

# 플랜트 건설의 현장시공 및 모듈시공에 대한 공사비 비교 사례연구 - Pipe Rack을 대상으로 공사비 산정 -

강현욱\*

\*광주대학교 건축학부 건축공학과 조교수

## A Case Study on Construction Cost Comparison for On-Site Construction and Off-Site Construction of Plant Project

Kang, Hyun Wook\*

\*Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Gwangju University

**Abstract :** The purpose of this study is to calculate and compare construction costs for On-Site Construction and Off-Site Construction in Plant Project. For this purpose, the target for calculating the construction cost was limited to the Pipe Rack(Steel Structure and Piping). The results derived according to the purpose of the study are as follows. 1)The direct construction cost for On-Site Pipe Rack construction was KRW 56 billion, with Steel Structure KRW 25.1 billion and Piping KRW 30.8 billion won. 2)Comparing the rate of change between On-Site Construction and Off-Site Construction, material costs increased by 1.9% and expenses by 192.1%, but labor costs decreased by -9.1%, resulting in a total direct construction cost increase of 8.4%. These results can be used as reference data to check the current status of the increase or decrease in construction costs when constructing Pipe Racks as Off-Site Construction.

**Keywords :** Plant Construction, On-Site Construction, Off-Site Construction, Pipe Rack, Direct Cost, Indirect Cost

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

국내·외 플랜트 건설사업에서 인력 및 자재조달 그리고 공사기간 및 안전규제 등의 제한적인 사업조건에 따라 효율적인 시공 및 생산성 향상을 위하여 모듈시공이 확대 적용되고 있다. 이에 따라 설계단계에서부터 모듈을 적용하기 위한 범위와 대상을 결정하고 모듈제작사와 운송경로 등을 검토하여 공사관리를 위한 계획에 반영한다(Kang, 2018). 즉, 플랜트의 시설물을 구성하는 Steel Structure, Pipe Rack, Process Equipment 등을 모듈로 제작하여 현장으로 운송한 후 설치하는 공법을 적용하고 있는 것이다.

이에, 모듈러 플랜트를 대상으로 공사관리, 위험관리, 원

가관리 등에 대한 연구가 진행되고 있으며, 모듈의 설계, 제작, 운송, 시공관리와 위험평가 등을 중점적으로 연구가 진행되었다(하기 2.2 주요 선행연구 고찰 참고).

반면에, 건설사에서는 플랜트를 설계하는 과정에서 현장시공<sup>1)</sup>과 모듈시공<sup>2)</sup>에 대한 대상과 범위를 결정하고, 그에 따른 공사비를 산정하여 경제적인 시공방법을 설계에 반영한다. 즉, 현장시공과 모듈시공에 대한 사업비와 생산성 그리고 간접적으로 절감되는 비용 등에 대한 효과를 비교 및 검토하는 것이다. 이에 따라 현장시공과 모듈시공에 대한 공사비를 비교하여 적정 시공방법을 결정하는 과정에서 참고할 수 있는 정량적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구의 주요 목적은 플랜트 건설에서 현장시공과 모듈시공에 대한 공사비를 산정하여 비교하는 것이다. 이를 위해서 현장시공으로 플랜트를 건설한 1곳의 사례를 선정하고 비용 자료와 전문가의 설문 및 면담을 통하여 현장시공과 모듈시공에 대한 공사비를 각각 산정한다. 그리고 공

\* **Corresponding author:** Kang, Hyun-Wook, Department of Architectural Engineering, Gwangju University, 277 Hyodeok-Ro, Nam-Gu, Gwangju, Korea

**E-mail:** khw@gwangju.ac.kr

**Received** March 11, 2023; **revised** April 24, 2023

**accepted** June 29, 2023

1) 현장시공의 영문을 On-Site로 표기하였으며, Stick Built와 동일한 의미임.

2) 모듈시공의 영문을 Off-Site로 표기하였으며, Modular와 동일한 의미임.

사비를 산정하는 대상은 대부분의 플랜트 건설에서 모듈시공을 적용하고 있는 Pipe Rack (Steel structure 및 Piping)으로 한정하며, 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

- 1) Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 비용 관련 자료를 조사하여 직접공사비를 산정한다.
- 2) 산정된 직접공사비에 따라 간접공사비와 공사원가를 산정하여 비용항목 별로 증감률을 비교한다.

### 1.2 연구 대상 및 방법

연구의 목적에 따라 현장시공과 모듈시공에 대한 공사비를 산정하고 비교하는 대상을 Pipe Rack으로 한정하며, 그 사유는 다음과 같다.

먼저, Pipe Rack은 H형강을 사용하는 철골구조로 형상이 정형화 되어 있어 제작 난이도가 상대적으로 간단하며, 1개의 Pipe Rack에 Pipe와 각종 계측장비(전기, 계장, 통신) 등이 모두 설치된다. 이에 모듈로 시공하는 경우 다수의 공종을 복합적으로 시공할 수 있으므로 시공 생산성이 향상된다.

다음으로, 플랜트를 구성하는 시설물 중에서 차지하는 비율이 가장 높으므로 건설현장에 투입되는 작업자가 감소될 수 있다. 특히, Pipe Rack을 모듈로 시공하는 경우 모듈을 제작한 제작공장에서 건설현장으로 운송된 Pipe Rack을 SPMT (Self Propelled Modular Transporter)에 상차한 후 현장에 설치(시공)하기 위하여 기 시공된 콘크리트 기초 사이(좌우 콘크리트 기초 사이)로 SPMT를 진입시킨다. 그리고 Pipe Rack의 철골기둥과 콘크리트 기초에 매입된 볼트를 접합하는 방법으로 설치(시공)하는 과정이 용이하여 모듈시공이 적용되고 있기 때문이다.

상기와 같이 연구의 대상으로 한정된 Pipe Rack을 기준으로 직접공사비와 간접공사비를 산정하여 비교한다(Fig. 1).

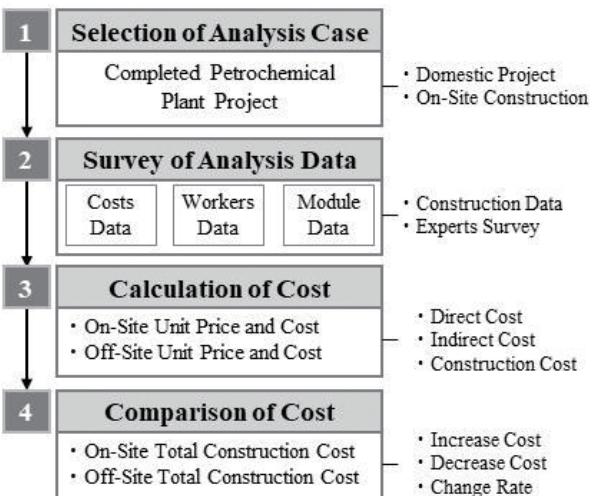


Fig. 1. Procedures and Methods of Research

1) Pipe Rack의 현장시공에 대한 공사비를 조사 및 산정하기 위해서 준공이 완료된 국내 석유화학 플랜트 건설사업 1곳을 사례로 선정한다.

2) 선정된 사례를 통하여 공사비를 산정하기 위해 필요한 자료 등을 수집하며, 비용 자료는 직접 제공이 불가능한 점을 고려하여 해당 건설회사에 방문한 후 내역서와 공사일보 등을 육안으로 확인하고 연구자가 별도로 준비한 비용 조사지에 기록하는 방법으로 조사한다. 그리고 Pipe Rack을 모듈로 시공한 플랜트 건설 사례를 확인하여 Pipe Rack 모듈을 제작한 지역, 건설현장의 위치, 운송경로, 운송비용(외주비 견적서 등) 자료를 수집한다.

3) 상기와 같은 방법으로 수집 및 조사된 비용 관련 자료를 기준으로 Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 물량과 단가 그리고 직접공사비를 산정하고 관련 전문가의 설문과 면담을 통하여 검토한다. 그리고 산정된 직접공사비를 기준으로 간접공사비와 공사원가를 산정한다.

4) Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대하여 산정된 직접공사비, 간접공사비를 비교하고 증감률 등을 도출한다.

## 2. 이론 및 선행연구 고찰

### 2.1 현장시공 및 모듈시공 고찰

현장시공은 건설현장에 자재, 인력, 장비를 투입하여 시공하는 공법이며, 모듈시공은 목적물의 일정부분을 건설현장이 아닌 외부의 공장에서 제작한 후 현장으로 운송하여 시공(설치)하는 공법이다. 이와 같은 모듈시공은 현장시공 대비 약 15% 정도 비용이 절감되고 공사기간의 단축과 시공 생산성의 향상에 매우 효과적인 공법으로 알려져 있다 (Tatum et al., 1987; Rogan et al., 2000; Lapp et al., 1977;

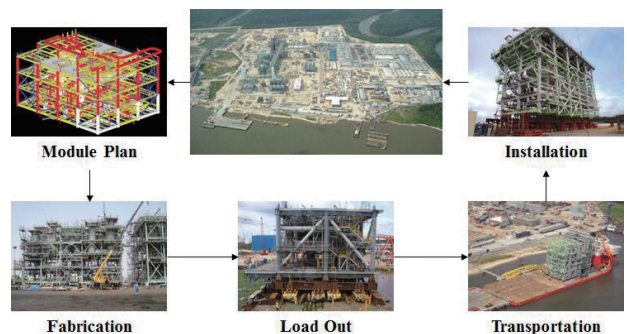


Fig. 2. Work Procedure of Modular Plant

3) Kang et al. (2018). "Risk Assessment and Contingency Prediction considering Work Characteristics for Modular Plant Construction Projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 19(5), pp. 81-89.

Park et al., 2016).

플랜트 건설사업에서 모듈시공은 상기 그림과 같이 설계된 모듈을 해당 건설현장이 아닌 별도의 제작장에서 제작한 후 SPMT (Self Propelled Modular Transporter)로 인근 항만에서 Barge Ship에 상차한 후 해상운송을 통하여 건설현장이 있는 항만으로 운송된다. 그리고 SPMT로 모듈을 운송하여 현장에 설치하는 과정으로 시공된다. 이에, 모듈을 제작하는 과정에서 계절적인 영향을 받지 않으며, 건설현장에 투입되는 근로자가 감소되고 모듈제작과 현장시공이 병행하여 이루어지므로 공사기간의 단축에 효과가 있다.

따라서 국내·외 대규모 플랜트 건설사업에서 모듈시공(모듈러 공법)이 확대 적용되고 있는 상황이다.

### 2.2 주요 선행연구 고찰

플랜트 건설사업에서 모듈러 공법에 대한 주요 선행연구를 요약하면 다음과 같다. 모듈러 공법의 적용에 따른 공사관리와 공사기간의 단축 효과에 대한 사례를 소개한 연구(Park, 2012), 모듈러 공법의 적용 여부를 결정하기 위하여 지식 기반 시스템을 활용한 방법을 제시한 연구(Murtaza et al., 1993), 입찰단계에서 모듈러의 적용에 대한 의사결정 모델을 개발하고 사례를 통하여 모델의 적정성을 검증한 연구(Park et al., 2016). 그리고 모듈러 플랜트의 위험평가 및 예비비를 예측하기 위한 모델을 제시한 연구(Kang, 2022; Kang et al., 2018; Kim, 2017) 등이 수행되었다. 또한, 플랜트 건설사업의 기획단계에서 개선견적을 위한 모델을 개발하는 것으로 비용 용량법, 비용 지수법, 계수 견적법을 적용한 모델을 개발하였으며, Silo본체 공사 사례를 적용하여 모델의 사용성을 검증하였다(Kim, 2019).

주요 선행연구를 고찰한 결과, 플랜트 건설사업에서 모듈공법을 적용하기 위한 공사관리, 위험관리 등을 중점으로 연구가 진행되었다. 공사관리 관련 연구는 모듈러 공법을 적용함에 따라 공사기간의 단축이 가능하며, 노동력, 생산성 등이 향상되어 현장작업의 최소화에 용이한 공법이라는 것을 주장하였다. 이에, 모듈러 공법을 60% 정도 적용한 해외 LNG Plant 건설사례를 들어 구체적으로 설명하였다. 그리고 사업초기단계에서 모듈러 공법의 적용에 대한 타당성을 검토 및 평가하기 위하여 Product Type, Project Type, Site Condition, Labor Availability, Project Size, Rationality of Duration으로 정립하여 의사결정 지원모델을 제시하였다.

또한, 해외 플랜트 건설사업을 진행하는 과정에서 발생 가능성이 상대적으로 높은 위험요인을 추출한 후 해당 위험요인이 발생되었을 경우 변동되는 공사비의 범위를 Monte Carlo Simulation을 활용하여 추정하였으며, 모듈러 공법을 적용하여 설계를 하는 경우에 모듈의 크기, 모듈의 제작 국

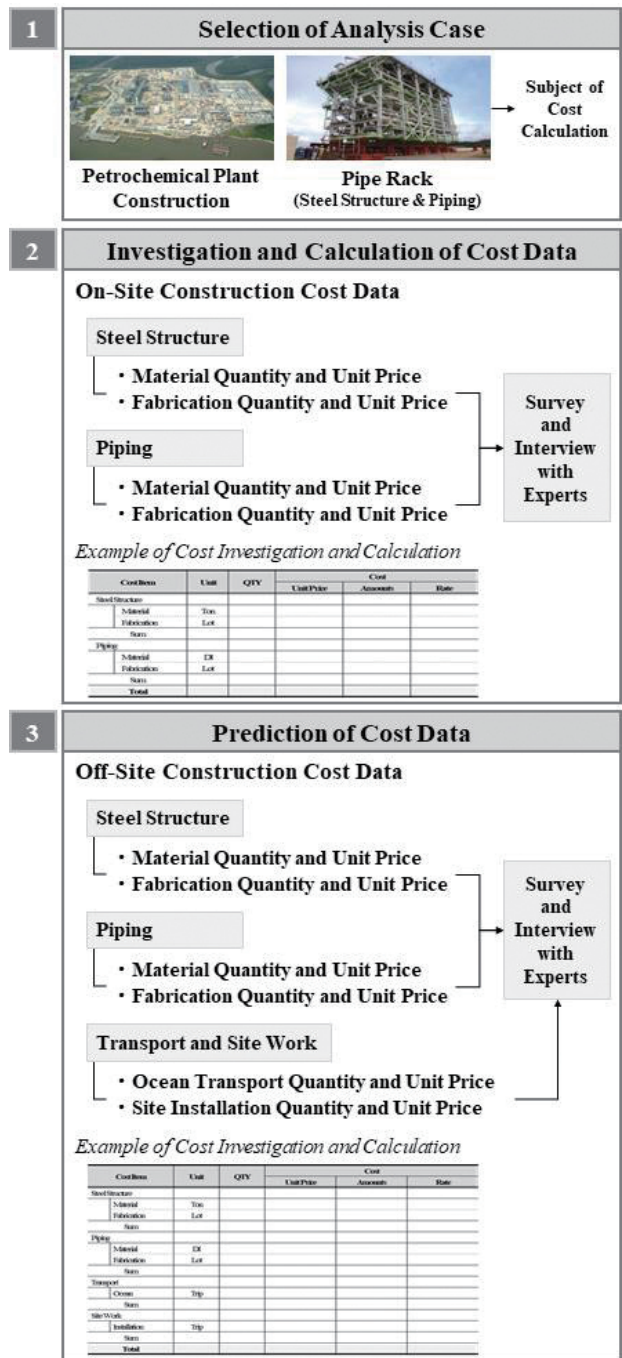


Fig. 3. Analysis Method of Construction Cost

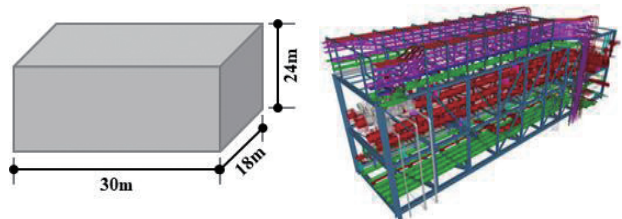


Fig. 4. Specifications of Pipe Rack

가, 모듈의 운송 경로 등을 상호 비교하여 최적 설계안을 도출하기 위한 모델을 제안하였다. 그리고 선행연구에서 모듈 공법을 적용하는 경우 약 15%의 비용절감 효과가 있는 것으로 나타난 결과는, 공사기간과 인력투입 등에 대한 간접적인 절감효과를 포함한 것인 반면에, 모듈시공의 직접공사비가 현장시공보다 상대적으로 높다는 실무자들의 의견을 반영한 연구가 부족한 상황이다. 이에, 현장시공과 모듈시공에 대한 직접공사비를 산정하여 비교한 연구가 필요하다.

### 3. 현장시공 및 모듈시공 공사비 산정

#### 3.1 현장시공 및 모듈시공 직접공사비 조사 방법

플랜트 건설에서 현장시공과 모듈시공의 직접공사비를 산정하기 위한 자료조사 방법은 다음과 같다(Fig. 3).

1) 플랜트 건설에서 Steel Structure, Pipe Rack, Process Equipment, Piping, Valve, Electrical and Instrumentation cable-trays, Insulation, Fireproofing, Platforms 등이 모듈로 적용되고 있으나(Exxon, 2013), 본 연구에서는 다수의 국내 건설사가 참여하고 있는 국내·외 플랜트 건설에서 적극적으로 모듈로 계획하고 있는 점, 대외비인 공사비 관련 자료조사의 제한이 있는 점 등을 고려하여 Pipe Rack (Steel Structure 및 Piping)을 공사비 산정 대상으로 선정하였으며, 해당 Pipe Rack의 규격(L:30m, H:24m, D:18m)과 유사도면은 다음과 같다(Fig. 4).

2) Pipe Rack의 현장시공에 대한 직접공사비를 조사하기 위해서 선정된 대상은 국내 건설사가 여수산업단지에 건설한 석유화학플랜트이다. 그리고 내역서를 구성하는 일위대가, 공종별 견적서, 물량 내역서, 원가계산서 등은 대외비로 관리되어 공종별 집계표와 공사별 내역서에서 Pipe Rack을 구성하는 Steel Structure와 Piping의 자재수량, 단가, 금액을 육안으로 확인하고 연구를 위해서 작성된 별도의 비용조사지에 기록하는 방법으로 수집하였다.

3) Pipe Rack을 모듈로 시공하는 경우 모듈공장(Module Shop)에서 제작된 Pipe Rack을 해상으로 운송하고 공사 현장(Site)에 설치하는 과정(육상운송)에 대한 비용이 포함되어야 하므로 이에 대한 조사는 국내 건설사 중에서 Pipe Rack을 모듈로 시공한 사례를 조사한 후 해당 건설사에 방문하여 해상운송비와 현장설치비(육상운송비)에 대한 외주 견적서 등으로 관련 비용을 조사하였다.

#### 3.2 현장시공 및 모듈시공 직접공사비 산정 방법

현장시공 및 모듈시공의 직접공사비를 산정하는 방법에서 중요한 내용은 Steel Structure 및 Piping에 대하여 조사된 단가가 단일단가(1식 단가)이므로 간접비를 포함한 공

사원가를 산정하기 위해서는 재료단가, 노무단가, 경비단가로 분류하는 것이다. 이에, 비용 자료와 전문가의 설문과 면담을 통하여 각각의 단가비율을 조사한 후 계산하였다(Fig. 5).

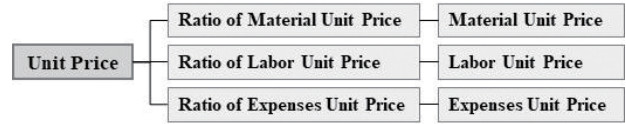


Fig. 5. Unit Price Calculation Method

단일단가는 사례로 선정된 석유화학플랜트 건설사업의 공종별 집계표와 공사별 내역서를 기준으로 조사하였다. 또한, 선정된 사례에서 조사된 단일단가를 재료단가, 노무단가, 경비단가로 분류하기 위해서 구성된 전문가는 아래와 같다.

- 설문 및 면담 전문가 구성 개요
  - 구성인원 : 현업 실무자 8명
  - 실무경력 : 플랜트 분야 설계, 시공, 공무 5년 이상
  - 참여분야 : 석유화학플랜트 건설사업
  - 조사내용 : 재료비, 노무비, 경비 단가비율  
모듈시공 노무비 감소 비율  
공사비 산정 결과 검토
  - 조사방법 : 직접 방문 설문 및 면담
  - 조사횟수 : 12번(설문조사 8회, 면담 4회)

#### 3.2.1 현장시공 직접공사비 산정 방법

먼저, Pipe Rack의 현장시공에 대한 직접공사비는 조사 대상으로 선정된 석유화학플랜트 건설사업의 공종별 집계표와 공사별 내역서에서 Steel Structure 및 Piping에 해당하는 자재수량과 단가를 선별한다. 수량과 단가를 선별하는 과정은 연구자가 조사한 내역서에서 Steel Structure와 Piping에 해당하는 세부적인 재료비(H형강, 볼트, 가설재 등) 항목별 수량 및 단가 그리고 시공비(제작비, 설치비 등) 항목별 수량 및 단가를 재료비 항목과 시공비 항목으로 각각 통합·정리하는 것이다.

다음으로, Steel Structure와 Piping의 재료비와 시공비로 통합·정리된 단가를 재료단가, 노무단가, 경비단가로 분리하기 위해서 관련 전문가의 설문 및 면담조사를 실시한다. 이와 같은 방법으로 조사된 단가비율에 따라 재료단가, 노무단가, 경비단가를 계산한 후 직접공사비를 산정한다.

#### 3.2.2 모듈시공 직접공사비 산정 방법

Pipe Rack의 모듈시공에 대한 직접공사비는 현장시공 직

접공사비에서 수량의 변동이 없는 재료단가와 경비단가를 동일하게 반영하고 공장제자에 따라 현장에 투입되는 작업자가 감소되므로 이를 반영하기 위해서 전문가의 설문을 통해 절감되는 비율을 조사한 후 현장시공 노무단가에 곱하여 재계산한다(Fig. 6).

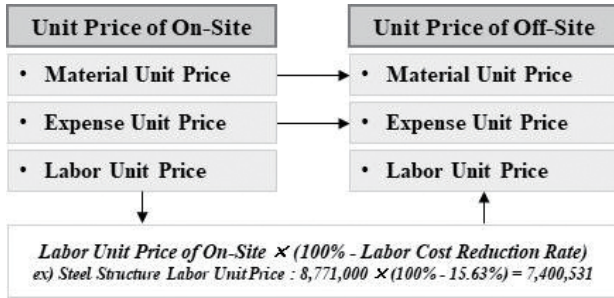


Fig. 6. Calculation method of Labor Unit Price for Off-Site

모듈운송비는 국내 건설사 중에서 Pipe Rack을 모듈로 시공한 사례가 울산에서 모듈을 제작하고 여수에 있는 건설현장에 설치한 것이므로 이에 대한 비용을 조사하여 모듈시공 직접공사비에 포함한다(Fig. 7).



Fig. 7. Module Transport Route

상기와 같은 운송경로에 따라 조사된 운송비는 해상운송과 육상운송(현장설치)으로 각각 분류하여 산정하고 단가 또한 재료단가, 노무단가, 경비단가로 분류한다.

### 3.3 현장시공 및 모듈시공 직접공사비 산정 결과

Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 직접공사비를 산정하기 위해서 상기 3.1절 및 3.2절에서 설명한 방법에 따라 도출된 결과는 다음과 같다.

#### 3.3.1 현장시공 직접공사비 산정 결과

사례대상의 비용 자료를 기반으로 Pipe Rack을 현장시공할 때 소요되는 수량과 단일단가(재료단가, 노무단가, 경비단가 포함) 그리고 금액을 산정하였다(Table 1).

Table 1. Direct Cost of On-Site Construction for Pipe Rack

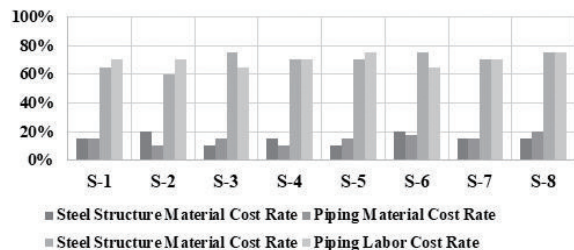
(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	Unit	QTY	Cost		
			Unit Price	Amounts	Rate
Steel Structure					
Material	Ton	7,530	1,680	12,650,400	
Fabrication	Lot	1	12,530,000	12,530,000	
Sum				25,180,400	44.9%
Piping					
Material	DI	125,000	165	20,625,000	
Fabrication	Lot	1	10,250,000	10,250,000	
Sum				30,875,000	55.1%
<b>Total</b>				<b>56,055,400</b>	<b>100%</b>

Steel Structure와 Piping의 시공비(Fabrication)는 비용 자료에 단일단가(1식 단일)로 반영되어 있었으며, 세부적인 시공수량의 산출과 확인이 불가한 점을 고려하여 이를 반영하였다. 이와 같이 조사된 시공비의 단일단가를 재료단가, 노무단가, 경비단가로 분류하기 위해서 전문가 8명의 설문과 면담을 실시하여 도출된 비율은 다음과 같다(Table 2).

Table 2. Classification Rate of Unit Price

Cost Item	Rate of Material Cost	Rate of Labor Cost	Rate of Expense	Sum
Steel Structure				
Fabrication	15%	70%	15%	100%
Piping				
Fabrication	12%	78%	10%	100%



전문가로부터 조사된 시공비(Fabrication)의 재료단가, 노무단가, 경비단가 비율을 상기 Table 1에서 제시된 Steel Structure와 Piping의 시공비 단일단가에 곱하여 재료단가,

노무단가, 경비단가를 계산하였다<Table 3>.

**Table 3. Unit Price of On-Site Construction**

(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	Unit	QTY	Unit Price			
			Material	Labor	Expense	Sum
Steel Structure						
Material	Ton	7,530	1,680	-	-	12,650,400
Fabrication	Lot	1	1,879,500	8,771,000	1,879,500	12,530,000
Piping						
Material	DI	125,000	165	-	-	20,625,000
Fabrication	Lot	1	1,230,000	7,995,000	1,025,000	10,250,000

Unit Price Calculation Formula

- Material Unit Price of On-Site : 12,530,000,000 × 15% = 1,879,500,000
- Labor Unit Price of On-Site : 12,530,000,000 × 70% = 8,771,000,000
- Expense Unit Price of On-Site : 12,530,000,000 × 15% = 1,879,500,000

상기와 같이 계산된 Steel Structure와 Piping의 재료단가, 노무단가, 경비단가에 수량(재료수량 및 시공수량)을 곱하여 공사금액을 산정한 결과는 다음과 같다<Table 4>.

**Table 4. Direct Cost of On-Site Construction**

(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	Unit	QTY	Cost (Amounts)			
			Material	Labor	Expense	Sum
Steel Structure						
Material	Ton	7,530	12,650,400	-	-	12,650,400
Fabrication	Lot	1	1,879,500	8,771,000	1,879,500	12,530,000
Sum			14,529,900	8,771,000	1,879,500	25,180,400
Piping						
Material	DI	125,000	20,625,000	-	-	20,625,000
Fabrication	Lot	1	1,230,000	7,995,000	1,025,000	10,250,000
Sum						30,875,000
<b>Total</b>						<b>56,055,400</b>

Pipe Rack의 현장시공에 대한 직접공사비를 산정한 결과, 공사비는 560억원(Steel Structure 44.9%, Piping 55.1%)이며, Steel Structure 251억원(재료비 50.2%, 시공비 49.8%), Piping 308억원(재료비 66.8%, 시공비 33.2%)으로 도출되었다. Steel Structure의 재료비(Material)에 포함되는 자재의 종류는 H빔과 앵글이며, 시공비(Fabrication)는 H빔 및 앵글 설치, 볼트조임 및 코팅을 포함한다. 그리고 Piping의 재료비에 포함되는 배관 규격은 3inch~18inch이고, 시공비는 배관설치 및 배관용접을 포함한다.

### 3.3.2 모듈시공 직접공사비 산정 결과

Pipe Rack을 모듈로 시공하는 경우에 대한 직접공사비는 상기 3.3.1항에서 산정된 현장시공의 직접공사비를 기준으로 Steel Structure와 Piping의 재료비(Material)는 동일하게 반영하고, 시공비(Fabrication)의 재료비와 경비 또한 단가의 변동이 미비하여 동일한 금액을 반영하였다. 그러나 모듈 시공은 현장에 투입되는 작업자가 감소하므로 그 비율을 전

문가 8명에게 조사한 후 현장시공의 노무단가에 곱하여 계산하였다<Table 5>.

**Table 5. Labor Cost Reduction Rate for Off-Site Construction**

Cost Item	Rate	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8
Steel Structure									
Fabrication	15.63%	15%	15%	20%	15%	10%	20%	15%	15%
Piping									
Fabrication	13.75%	15%	15%	10%	10%	15%	20%	15%	10%

전문가 8명을 통해서 Pipe Rack을 모듈로 시공하는 경우에 대하여 노무비가 감액되는 비율을 조사한 결과, Steel Structure는 약 -15.63%, Piping은 약 -13.75%가 감액되는 것으로 나타났다.

Pipe Rack을 모듈로 시공한 사례를 통하여 운송비를 조사한 결과, 해상운송은 약 45억원, 육상운송은 27억원이다. 일반적으로 플랜트 건설사업에서 모듈러 공법을 적용하는 경우 설계된 모듈을 제작하기 위한 제작사를 섭외할 때 제작장과 항만 간의 거리 및 항만 규모, 육상 및 해상운송장비 보유 여부, Barge Ship의 규모와 접안시설 현황 등을 검토한 후 견적금액을 받아서 최종 제작사를 결정한다. 이에, 본 연구에서 조사된 운송비의 경우 또한 건설사(원도급사)와 모듈제작사(외주사) 간에 체결된 도급금액(계약금액)에 모두 포함되어 있었으며, 그 세부적인 내역(모듈제작비, 해상 및 육상 운송비 등)의 확인이 불가하여, 해당 운송비 자료를 제공한 담당자의 면담을 통해 해상운송비와 육상운송비의 금액을 조사하였다.

해상운송은 모듈공장에서 SPMT (Self Propelled Modular Transporter)를 사용하여 Barge Ship에 상차하고 건설현장의 인근 항만까지 운송하는 것을 포함하며, 육상운송은 항만에 도착한 Pipe Rack을 SPMT(모듈 1set당 SPMT 2기 사용)로 Barge Ship에서 하차하고 현장에 설치하는 과정을 포함한다. 이와 같이 Pipe Rack을 모듈로 시공하는 경우 노무비가 감액되는 비율에 따라 계산된 노무비와 운송비를 포함한 직접공사비는 다음과 같다<Table 6>.

본 사례에서 Pipe Rack 모듈은 20set를 제작하여 1회 운송시 2set가 운송되어 전체 운송수량은 10회이다. 그리고 Pipe Rack을 모듈로 시공하는 경우에 대한 재료단가, 노무단가, 경비단가를 분류하면, 다음과 같다<Table 7>.

현장시공과 모듈시공에 대한 노무단가를 비교하면, Steel Structure는 현장시공 대비 -13억원, Piping은 -10억원이 감액되었다. 노무비가 절감되는 비율을 현장시공 노무단가에 곱한 이유는 시공비의 수량이 1식이므로 단가에 절감 비율을 곱하여도 금액의 변동이 없기 때문이다. 모듈시공의 직

접공사비를 산정한 결과는 다음과 같다(Table 8).

**Table 6. Direct Cost of Off-Site Construction for Pipe Rack**

(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	Unit	QTY	Cost		
			Unit Price	Amounts	Rate
Steel Structure					
Material	Ton	7,530	1,680	12,650,400	
Fabrication	Lot	1	11,159,531	11,159,531	
Sum				23,809,931	39.2%
Piping					
Material	DI	125,000	165	20,625,000	
Fabrication	Lot	1	9,150,688	9,150,688	
Sum				29,775,688	49.0%
Transport					
Ocean	Trip	10	450,000	4,500,000	
Sum				4,500,000	7.4%
Site Work					
Installation	Trip	10	270,000	2,700,000	4.4%
Sum				2,700,000	
<b>Total</b>				<b>60,785,619</b>	<b>100%</b>

**Table 7. Unit Price of Off-Site Construction**

(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	Unit	QTY	Unit Price			
			Material	Labor	Expense	Sum
Steel Structure						
Material	Ton	7,530	1,680	-	-	-
Fabrication	Lot	1	1,879,500	7,400,531	1,879,500	11,159,531
Piping						
Material	DI	125,000	165	-	-	-
Fabrication	Lot	1	1,230,000	6,895,688	1,025,000	9,150,688
Transport						
Ocean	Trip	10	68,063	61,875	320,063	450,000
Site Work						
Installation	Trip	10	-	32,063	237,938	270,000

**Table 8. Direct Cost of Off-Site Construction**

(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	Unit	QTY	Cost (Amounts)			
			Material	Labor	Expense	Sum
Steel Structure						
Material	Ton	7,530	12,650,400	-	-	12,650,400
Fabrication	Lot	1	1,879,500	7,400,531	1,879,500	11,159,531
Sum			14,529,900	7,400,531	1,879,500	23,809,931
Piping						
Material	DI	125,000	20,625,000	-	-	20,625,000
Fabrication	Lot	1	1,230,000	6,895,688	1,025,000	9,150,688
Sum			21,855,000	6,895,688	1,025,000	29,775,688
Transport						
Ocean	Trip	10	680,625	618,750	3,200,625	4,500,000
Sum			680,625	618,750	3,200,625	4,500,000
Site Work						
Installation	Trip	10	-	320,625	2,379,375	2,700,000
Sum			-	320,625		2,700,000
<b>Total</b>			<b>37,065,525</b>	<b>15,235,594</b>	<b>8,484,500</b>	<b>60,785,619</b>

Pipe Rack의 모듈시공에 대한 직접공사비를 산정한 결과, 공사비는 607억원(Steel Structure 39.2%, Piping 49.0%, Transport 7.4%, Installation 4.4%)이며, Steel Structure는 238억원(재료비 53.1%, 시공비 46.9%), Piping은 297억원(재료비 69.3%, 시공비 30.7%)으로 도출되었다.

현장시공에서 Pipe Rack을 시공하기 위해 투입되는 누적 작업자를 공사일보와 전문가의 면담을 통해서 확인해 보면, Steel Structure는 7,367명(노임단가 119만원)이며, Piping은 24,915명(노임단가 32만원)으로 조사되었다. 이에 따라 모듈 시공의 노무비에 노임단가를 나누어 보면, Steel Structure는 6,216명(-1,151명 감소, -15.63%), Piping은 21,490명(-3,426명, -13.75%)으로 나타났다.

**3.3.3 현장시공 및 모듈시공 직접공사비 산정 결과 종합**

Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 직접공사비를 비교하면, 현장시공은 560억원(재료비 64.9%, 노무비 29.9%, 경비 5.2%)이며, 모듈시공은 607억원(재료비 61.0%, 노무비 25.1%, 경비 14.0%)으로 산정되었다. 그리고 현장시공 대비 모듈시공의 노무비는 -9.1% 감액되었으나, 재료비(1.9%)와 경비(192.1%)가 증액되어 총 직접공사비는 약 8.4%(47억원)가 증액되었다. 즉, 모듈시공은 제작된 모듈을 운송하기 위해서 필요한 운송장비(Crane, SPMT, Barge Ship)의 임대료가 추가되어 현장시공 보다 높게 산정된 것이다.

**4. 현장시공 및 모듈시공 공사원가 산정**

**4.1 현장시공 및 모듈시공 공사원가 산정 방법**

공사원가는 Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 직접공사비를 기준으로 간접공사비를 산정하여 합산한 공사원가를 비교하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서 선정된 사례가 국내 건설현장이므로 공사원가 계산서의 간접공사비 항목에 대한 제비율은 조달청에서 제시된 “2023년 건축·산업환경설비공사 원가계산 간접공사비 제비율”을 적용한다.

따라서, 선정된 사례의 직접공사비와 공사기간을 기준으로 간접공사비의 항목별 제비율은 다음과 같다.

- 간접노무비 : 직접노무비의 10.1%(1,000억, 36개월 이상)
- 산재보험료 : 노무비의 3.7%(모든 건설공사)
- 고용보험료 : 노무비의 1.57%(1,200억 이상)
- 국민건강보험료 : 직접노무비의 3.545%(1개월 이상)
- 국민연금보험료 : 직접노무비의 4.5%(1개월 이상)
- 노인장기요양보험료 : 건강보험료의 12.81%(1개월 이상)
- 퇴직공제부금 : 직접노무비의 2.3%(1억원 이상)
- 산업안전보건관리비 : (재료비+직접노무비)의 2.15%

(800억 이상, 일반건설공사 갑)

- 환경보전비 : (재료비+직접노무비+기계경비)의 0.4% (플랜트)
- 기타경비 : (재료비+노무비)의 7.4%(1,000억, 36개월 이상)

상기와 같이 간접공사비 항목별로 적용되는 제비율에 따라 현장시공과 모듈시공에 대한 간접공사비를 각각 산정한다. 단, 이윤은 노무비, 경비, 일반관리비를 합산한 금액의 10%를 적용하나, 이는, 건설회사마다 다르게 요율이 적용되어 포함하지 않는 것으로 한다.

#### 4.2 현장시공 및 모듈시공 공사원가 산정 결과

먼저, Pipe Rack의 현장시공에 대한 공사원가(직접공사비 및 간접공사비)를 산정한 결과는 다음과 같다(Table 9).

Table 9. Total Construction Cost of On-Site Construction

(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	Cost	Rate
Material Cost		
Direct Material Cost	36,384,900	
Indirect Material Cost	-	
Sum	36,384,900	55.2%
Labor Cost		
Direct Labor Cost	16,766,000	
Indirect Labor Cost	1,693,366	
Sum	18,459,366	28.0%
Expense		
Machine Expense	2,904,500	
Accident Insurance	682,997	
Employment Insurance	289,812	
National Health Insurance	594,355	
National Pension Insurance	754,470	
Long-Term Care Insurance for Elderly	76,137	
Retirement Deduction Installment	385,618	
Safety and Health Management Expenses	1,142,744	
Environmental Management Expenses	224,222	
Other Expense	4,058,476	
Sum	11,113,330	16.8%
Sub Total(Net Construction Cost)	65,957,596	100%
General Management Expense	3,297,880	
Supply Value	69,255,476	
Value Added Tax	6,925,548	
<b>Total Construction Cost</b>	<b>76,181,023</b>	

현장시공에 대한 공사원가는 761억원이며, 그 중에서 순공사원가는 659억원(공사원가 761억원의 86.8%), 공급가액은 692억원이다.

다음으로, Pipe Rack의 모듈시공에 대한 공사원가를 산정한 결과는 다음과 같다(Table 10).

Table 10. Total Construction Cost of Off-Site Construction

(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	Cost	Rate
Material Cost		
Direct Material Cost	37,065,525	
Indirect Material Cost		
Sum	37,065,525	52.8%
Labor Cost		
Direct Labor Cost	15,235,594	
Indirect Labor Cost	1,538,795	
Sum	16,774,389	23.9%
Expense		
Machine Expense	8,484,500	
Accident Insurance	620,652	
Employment Insurance	263,358	
National Health Insurance	540,102	
National Pension Insurance	685,602	
Long-Term Care Insurance for Elderly	69,187	
Retirement Deduction Installment	350,419	
Safety and Health Management Expenses	1,124,474	
Environmental Management Expenses	243,142	
Other Expense	3,984,154	
Sum	16,365,590	23.3%
Sub Total(Net Construction Cost)	70,205,503	100%
General Management Expense	3,510,275	
Supply Value	73,715,779	
Value Added Tax	7,371,578	
<b>Total Construction Cost</b>	<b>81,087,356</b>	

모듈시공에 대한 공사원가는 810억원이며, 그 중에서 순공사원가는 702억원(공사원가 810억원의 86.8%), 공급가액은 737억원이다. 현장시공과 모듈시공의 공사원가를 비교하여 도출된 증감률은 다음과 같다(Table 11).

〈Table 11〉에서 정리된 Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 공사원가를 산정한 결과, 모듈시공이 해상운송에 필요한 Barge Ship의 임대료, Barge Ship에 상차된 모듈을 고정하기 위해서 설치되는 가설자재비, 연료비와 육상운송에 필요한 SPMT(1set 모듈에 2기 배치)의 임대료 등이 추가되어 현장시공 대비 6.4%(49억원) 증액되었다. 반면에, 모듈시공의 경우 현장에 투입되는 작업자가 감소하므로 직접 노무비가 현장시공 대비 -9.1%(15억원) 감액되었으며, 그와 연계된 간접공사비도 감액되었다.

그리고 〈Table 11〉과 같이 도출된 결과를 직접공사비, 간접공사비, 일반관리비, 부가가치세, 총 공사원가 항목으로 종합해 보면, Pipe Rack을 모듈로 시공하는 경우 현장시공 대비 직접공사비는 47억원(8.4%), 순공사원가는 42억원(6.4%), 공급가액은 44억원이 증액되었으나, 간접공사비는 -482백만원(-4.9%) 감액되었다(Table 12).



Table 11. Comparison of Total Construction Cost

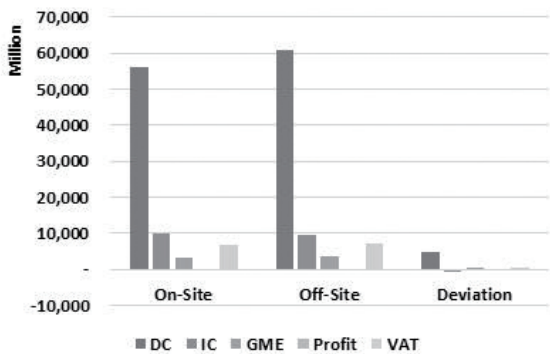
(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	On-Site Cost	Off-Site Cost	Variation (Off - On)	
<b>Material Cost</b>				
DMC	36,384,900	37,065,525	680,625	1.871%
IdMC				
Sum	36,384,900	37,065,525	680,625	1.871%
<b>Labor Cost</b>				
DLC	16,766,000	15,235,594	-1,530,406	-9.128%
IndLC	1,693,366	1,538,795	-154,571	-9.128%
Sum	18,459,366	16,774,389	-1,684,977	-9.128%
<b>Expense</b>				
ME	2,904,500	8,484,500	5,580,000	192.116%
AI	682,997	620,652	-62,344	-9.128%
EI	289,812	263,358	-26,454	-9.128%
NHI	594,355	540,102	-54,253	-9.128%
NPI	754,470	685,602	-68,868	-9.128%
LTCI for E	76,137	69,187	-6,950	-9.128%
RDI	385,618	350,419	-35,199	-9.128%
S&HME	1,142,744	1,124,474	-18,270	-1.599%
EME	224,222	243,142	18,921	8.438%
OE	4,058,476	3,984,154	-74,322	-1.831%
Sum	11,113,330	16,365,590	5,252,260	47.261%
Sub Total	65,957,596	70,205,503	4,247,908	6.440%
GME	3,297,880	3,510,275	212,395	6.440%
Supply Value	69,255,476	73,715,779	4,460,303	6.440%
Value Added Tax	6,925,548	7,371,578	446,030	6.440%
<b>Construction Cost</b>	<b>76,181,023</b>	<b>81,087,356</b>	<b>4,906,333</b>	<b>6.440%</b>

Table 12. Summary of Total Construction Cost

(Unit: 1,000 KRW)

Cost Item	On-Site Cost	Off-Site Cost	Variation (Off - On)	
Direct Cost	56,055,400	60,785,619	4,730,219	8.4%
Indirect Cost	9,902,196	9,419,885	-482,311	-4.9%
GME	3,297,880	3,510,275	212,395	6.4%
Value Added Tax	6,925,548	7,371,578	446,030	6.4%
<b>Construction Cost</b>	<b>76,181,023</b>	<b>81,087,356</b>	<b>4,906,333</b>	<b>6.4%</b>



Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 직접공사비 그리고 공사원가를 산정한 결과, 모듈시공에서는 직접 노무비가 감액되었고 직접 노무비와 연계되는 간접비(보험료 등) 또한 같이 감액되었으나, 제작된 모듈을 운송하기 위해서 추

가되는 운송비 보다 상대적으로 적은 금액이므로 모듈시공의 공사원가가 높게 산정되었다. 그러나 본 연구에서는 Pipe Rack을 모듈로 시공함에 따라 절감되는 간접적인 효과(노무인력 감소, 안전사고 발생 감소, 공사기간 단축 등)에 따라 절감되는 비용이 반영되지 않았으므로 이에 대한 절감비용을 포함할 경우 그 결과는 달리 도출될 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 연구의 목적은 플랜트 건설의 현장시공과 모듈시공에 대한 공사비를 산정하여 비교하는 것이며, 공사비를 산정하는 대상을 Pipe Rack으로 한정하였다.

연구 목적에 따라 Pipe Rack의 현장시공에 대한 공사비를 조사 및 산정하기 위해서 준공이 완료된 국내 석유화학 플랜트 건설사업 1곳을 사례로 선정하였다. 그리고 해당 건설 회사에 방문하여 내역서와 공사일보 등을 중점적으로 확인하고 연구자가 별도로 준비한 비용 조사지에 기록하였다. 또한, 모듈시공의 운송비는 Pipe Rack을 모듈로 적용한 플랜트 건설 사례를 확인하여 해당 모듈을 제작한 지역, 건설현장의 위치, 운송비용 자료를 조사하였다. 이와 같은 방법으로 Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 직접 및 간접 공사비를 산정한 후 결과를 비교하여 증감률을 도출하였다.

따라서, Pipe Rack의 직접공사비를 산정한 결과, 현장시공은 560억원(재료비 64.9%, 노무비 29.9%, 경비 5.2%)이며, 모듈시공은 607억원(재료비 61.0%, 노무비 25.1%, 경비 14.0%)으로 산정되었다. 그리고 현장시공 대비 모듈시공의 직접 재료비(1.9%)와 직접 경비(192.1%)가 증액되었으나, 직접 노무비는 -9.1% 감액되었다. 이에, 전체 직접공사비는 모듈시공이 약 8.4%(47억원)가 증액된 것으로 나타났다.

또한, 현장시공과 모듈시공의 직접공사비에 대한 증감률을 비교해 보면, 재료비 1.9%, 경비 192.1% 증액되었으나, 노무비는 -9.1% 감액되어 전체 직접공사비는 8.4%(47억원)가 증액되었다. 공사원가는 현장시공이 761억원(순공사원가는 659억원, 공급가액은 692억원), 모듈시공은 810억원(순공사원가는 702억원, 공급가액은 737억원)으로 모듈시공이 6.4% 증액되는 것으로 도출되었다.

본 연구에서 도출된 Pipe Rack의 현장시공과 모듈시공에 대한 직접공사비 및 공사원가를 산정한 결과는 선정된 사례의 세부적인 공사비 내역서 금액을 반영하는 것이 불가하 점을 보완하기 위하여 전문가 설문에 따라 조사된 결과를 적용하였으므로 건설사에서 산정된 비용과 차이점이 있을 것으로 사료된다. 이에, 본 연구의 결과는 사업초기에 공사비를 추정하기 위한 참고자료로 활용이 용이한 반면에, 모듈로 시공함에 따라 절감되는 간접적인 효과(노무인력 감소,

안전사고 발생 감소, 공사기간 단축 등)에 따라 절감되는 비용이 반영되지 않았으므로 이에 대한 추가적인 연구를 통하여 직접공사비와 간접적인 절감 효과에 따른 절감된 공사비를 모두 포함하여 현장시공과 모듈시공에 대한 경제성을 평가한 연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 2023년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.

## Reference

- Exxon Mobil (2013). Project Tender Document.
- Kang, H.W. (2022). "Risk based Value Index Evaluation Model for Modular Design Alternatives in Plant Construction Projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 23(5), pp. 98-107.
- Kang, H.W., Kim, J.W., and Kim, Y.S. (2018). "Risk Assessment and Contingency Prediction considering Work Characteristics for Modular Plant Construction Projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 19(5), pp. 81-89.
- Kim, J.W. (2017). "Scenario-based Risk Factor and Risk Cost Analysis Model for Modular Plant Construction." Thesis of M.S. The University of Chung-Ang.
- Kim, H.J., and Choi, J.H. (2019). "Development of a Conceptual Estimate Methodology for Plant Construction Projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(1), pp. 141-150.
- Lapp, C.W., and Golay, M.W. (1997). "Modular Design and Construction Techniques for Nuclear Power Plants." *Nuclear Engineering and Design*, 172(3), pp. 327-349.
- Murtaza, M.B., Fisher, D.J., and Skibniewski, M.J. (1993). "Knowledge-based approach to modular construction decision support." *Journal of Construction Engineering and Management*, 119(1), pp. 115-130.
- Park, C.H., Kim, H.J., Won, J.W., Jang, W.S., and Han, S.H. (2016). "A Study for Selecting Modular Construction Method." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 17(4), pp. 12-19.
- Park, K.J. (2012). "Introduction of Module Construction Method for Overseas Plant Projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 13(1), pp. 21-24.
- Tatum, C.B., Vanegas, J.A., and Williams, J.M. (1987). "Constructability Improvement using Prefabrication." Technical Report 297, Austin: Construction Industry Institute.
- Rogan, A.L., Lawson, R.M., and Bates-Brkljac, N. (2000). "Value and Benefits Assessment of Modular Construction." The Steel Construction Institute.

---

**요약 :** 본 연구의 목적은 플랜트 건설에서 현장시공과 모듈시공에 대한 공사비를 산정하여 비교하는 것으로 공사비를 산정하는 대상을 Pipe Rack으로 한정하였다. 이에, 현장시공으로 준공된 국내 석유화학플랜트 건설사업 1곳을 사례로 선정한 후 비용자료를 조사하여 도출된 결과는 다음과 같다. Pipe Rack의 현장시공에 대한 직접공사비는 560억원으로 Steel Structure 251억원, Piping 308억원이며, 모듈시공에 대한 직접공사비는 607억원으로 Steel Structure 238억원, Piping 297억원으로 산정되었다. 또한, 현장시공과 모듈시공의 증감률을 비교해 보면, 재료비 1.9%, 경비 192.1% 증액되었으나, 노무비는 -9.1% 감액되어, 전체 직접공사비는 8.4%(47억원)가 증액되었다. 그리고 공사원가는 현장시공이 761억원, 모듈시공은 810억원으로 모듈시공이 6.4%(49억원) 증액되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Pipe Rack을 모듈로 시공하는 경우 공사비가 증감되는 현황을 확인하기 위한 참고자료로 활용이 용이한 반면에, 모듈시공에 따른 간접적인 효과(노무인력 감소, 안전사고 발생 감소, 공사기간 단축 등)에 대한 연구가 필요하다.

**키워드 :** 플랜트 건설사업, 현장시공, 모듈시공, Pipe Rack, 직접공사비, 간접공사비

---