

# 모듈러 플랜트의 업무특성을 고려한 위험 평가 및 예비비 예측

강현욱<sup>1</sup> · 김종욱<sup>2</sup> · 김용수\*  
<sup>1</sup>건설원가연구원 · <sup>2</sup>무영CM

## Risk Assessment and Contingency Prediction considering Work Characteristics for Modular Plant Construction Projects

Kang, Hyunwook<sup>1</sup>, Kim, Jongwook<sup>2</sup>, Kim, Yongsu\*

<sup>1</sup>The Chartered Research Institute of Construction Costs

<sup>2</sup>Corporation of Moo-Young Construction Management

**Abstract :** The purpose of this study is to assess the risk and predict the contingency for modular plant construction projects. Considering the work characteristics of the modular plant, The adapted research method is that suggest models for assessment impact of risk and predict the contingency considering risk. Based on the proposed models, It is selected one modular plant construction project and assessment impact of risk factors and predicted the contingency. The results of this study are as follows: Assessment the probability of occurrence of risk factors and intensity of impact, and extract 15 important risk factors, These are classified as Engineering, Procurement, Fabrication, Transportation, Construction phases to consider the work characteristics of the modular plant, The predicted contingency is that 6.739%(Engineering 2.850%, Procurement 6.225%, Fabrication 6.211%, Transportation 4.165%, Construction 8.168%) to prepare the basic business expense. The model is used as a way to derive quantitative results in the decision-making process for risk management in construction projects.

**Keywords :** Modular Plant, Risk Assessment, Contingency Prediction

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

최근 해외 플랜트 건설사업은 복잡한 공정의 생산성 향상을 통한 공사기간 단축을 위하여 현장시공(Stick Built) 공법을 공장에서 모듈을 제작하여 현장에 설치하는 모듈러 공법으로 추진되고 있다. 모듈러란 Steel Structure frame, Process equipment, Piping, Valves, Electrical and Instrumentation cable-trays, Insulation, Fireproofing, Platforms 등이 제작되어 시험까지 완료된 상태를 의미한다(E Exxon, 2013). 이와 같은 모듈러 공법을 적용한 해외 플랜트 건설사업은 해당 국가의 인력조달, 자재조달, 노동

근로규제, 안전규제 등에 대한 제한적인 환경에 대응하기 위하여 적용범위를 확대하고 있다.

기존의 현장시공은 설계, 구매·조달, 시공단계로 업무가 분류되는 반면, 모듈러 플랜트는 제작, 운송단계가 추가됨에 따라 별도 추가비용의 고려와 함께 제작공장(Module Shop), 운송장비(육상 및 해상), 하역장(Jeety), 가설도로 등에 대한 사업관리업무의 범위가 확장된다. 특히 모듈을 제작하고 운송하는 과정에서 불확실한 위험의 발생과 영향은 비용의 변동을 유발하기 때문에 위험에 대한 분석, 평가, 대응방안을 위한 계획이 중요하다.

모듈러 플랜트와 관련된 주요 선행연구를 종합하면 다음과 같다. 모듈러 플랜트 건설사업에 대한 소개와 모듈러 공법의 적용에 따른 공사관리 내용과 공사기간의 단축 효과에 대한 사례를 소개하였다(Park, 2012). 또한 모듈러 공법을 적용할 경우 비용의 변동과 더불어 공사단계별로 고려되어야 하는 제약조건을 제시하였다(CII, 2013). 모듈러 플랜트의 사업관리 측면에서 모듈러 공법의 적용 여부를 결정하기 위하여 지식 기반 시스템을 활용한 타당성 분석 방법을 제

\* Corresponding author: Kim, Yongsu, Faculty, Department of Architectural Engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea.

E-mail: yongsu@cau.ac.kr

Received May 13, 2018; revised July 31, 2018

accepted August 28, 2018

시하였다(Murtaza et al., 1993). 또한 입찰단계에서 모듈러 플랜트에 대한 의사결정 모델을 개발하고 사례검증을 통하여 모델의 적절성을 확인하였다(Park et al., 2016).

주요 선행연구는 모듈러 플랜트의 사례연구와, 모듈러의 적용범위, 적용대상 등에 대한 의사결정 모델을 중심으로 연구되었다. 이는 현재 플랜트 건설사업에서 모듈러 공법의 적용이 확대되고 있음에 따라 모듈러의 적용에 따른 사업관리 계획에 대한 의사결정의 중요성이 대두되고 있기 때문이다.

현장시공(Stick Built) 공법에서 모듈러 공법으로 변화됨에 따라 설계, 구매·조달, 시공단계와 더불어 제작과 운송 단계에 대한 비용, 공정, 위험, 품질 등의 관리가 매우 중요하다. 특히 제작, 운송단계에서 비용과 공정의 변동을 유발하는 불확실한 위험에 대한 고려가 필요하다. 즉 제작, 운송단계에서 발생가능성이 상대적으로 높은 위험에 대한 분석 및 평가 그리고 위험에 대응하기 위하여 필요한 예비비에 대한 예측이 요구된다. 이에 따라 모듈러 플랜트의 업무 단계에 대한 특성을 고려하여 위험을 평가하고 위험에 대응하기 위한 예비비를 예측하는 모델(방법)의 연구가 필요하다. 이와 같은 모듈러 건설사업의 업무절차와 환경조건 등을 반영하여 위험요인을 평가하고 예비비를 예측하는 모델을 적용함으로써 사업을 추진하는 단계별로 예방적 위험 관리가 가능하여 계획된 이익의 손실을 최소화함에 따라 경제성이 확보된다.

따라서 본 연구의 목적은 모듈러 플랜트 건설사업의 업무특성을 고려하여 위험요인의 영향을 평가하고 예비비를 예측하는 것으로 구체적인 내용은 다음과 같다.

첫째, 위험요인의 영향을 평가하기 위한 모델(방법)과 예비비를 예측하기 위한 모델(방법)을 제시한다.

둘째, 모듈러 플랜트 건설사업을 사례대상으로 선정하여 위험요인의 영향을 평가하고 예비비를 예측한다.

### 1.2 연구 범위 및 방법

본 연구의 목적에 따라 연구대상은 모듈러 플랜트 건설 사업으로 한다. 그리고 연구범위는 위험요인의 영향을 평가하여 중요 위험요인을 선정한 후 해당 위험요인에 대응하기 위하여 필요한 적정 예비비를 예측한다. 연구 절차를 설명하면 <Fig. 1>과 같다.

본 연구의 절차에 따른 방법을 설명하면 다음과 같다.

2장에서는 연구의 대상인 모듈러 플랜트 건설사업에 대한 개념과 특징을 설명하고 위험요인의 평가와 예비비를 예측하는 방법에 대하여 고찰한다.

3장에서는 연구의 목적에 따른 모델(방법)을 제시한다. 모델은 위험요인의 영향을 평가하기 위한 모델과 위험요인

의 영향을 고려하여 예비비를 예측하기 위한 모델로 구성된다.

4장에서는 제시된 모델을 기반으로 사례를 선정하여 위험요인의 영향을 평가하고 위험요인의 영향을 고려한 예비비를 예측한다. 사례는 모듈공법을 적용한 플랜트 건설사업이며, 위험요인의 평가와 적정 예비비를 예측하기 위하여 관련 전문가를 대상으로 설문 및 면담 조사를 실시한다. 상기와 같은 연구의 절차와 방법에 따라 모듈러 플랜트에 대한 위험요인의 평가와 위험을 고려한 예비비를 예측한다.

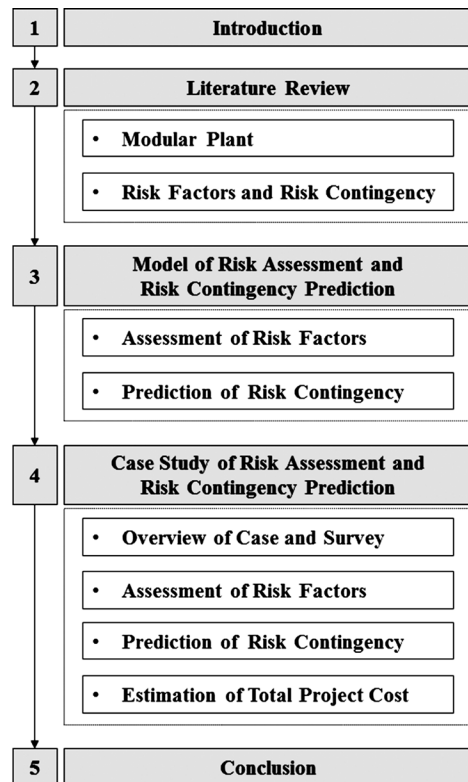


Fig. 1. Procedure of Research

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 모듈러 플랜트 고찰

모듈러 플랜트는 생산물을 제조하는 프로세스 공정을 대상으로 모듈의 적용범위, 크기 등을 검토하여 기존의 현장시공(Stick Built)에서 모듈을 제작하여 설치하는 것이다. 이와 같은 모듈은 설계된 모듈을 별도의 공장(Module Shop)에서 제작하고 현장(Site)으로 운송하여 설치된다(Kim, 2017). 이에 따라 현장과 공장에서 동시에 시공과 제작이 병행됨에 따라 공사기간의 단축에 매우 효과적이다. 상기와 같은 모듈러 플랜트의 모듈제작 및 시공과정을 요약하면 <Fig. 2>와 같다(Park, 2012; Kim, 2017; Hwang et al., 2014).

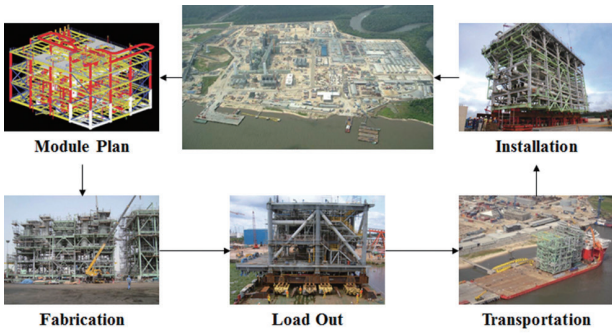


Fig. 2. Work Procedure of Modular Plant

모듈러 공법은 건설사업의 생산성, 품질성, 시공성을 향상하고 공사기간을 단축할 수 있는 방법이다. 이에 따라 플랜트 건설사업에서의 모듈러 공법은 시공기술의 경쟁력과 수익성의 확보, 그리고 사업국가의 노동력 시장의 변화에 대응하기 위한 방법으로 적용범위가 확대되고 있다(Tatum et al., 1987; Rogan et al., 2000; Park et al., 2016). 상기와 같은 모듈러 공법이 적용되어 플랜트 건설사업을 수행할 경우의 세부적인 업무는 설계, 구매, 제작, 운송, 시공으로 분류된다. 반면 기존의 현장시공(Stick Built)공법이 적용되는 경우는 설계, 구매, 시공으로 분류되며, 이를 비교하면 <Fig. 3>과 같다.

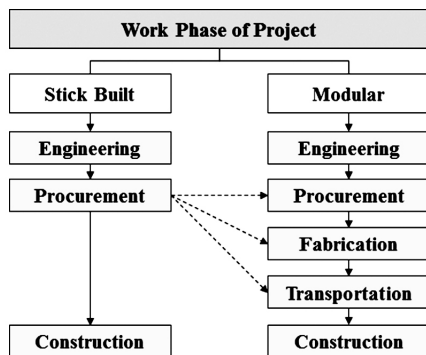


Fig. 3. Comparison of Work Phase

모듈러공법이 적용되는 경우 구매·조달 업무에 포함된 제작과 운송 업무가 중요함으로 인하여 3단계 업무에서 5단계 업무로 분류된다. 따라서 본 연구에서는 모듈러 플랜트의 업무특성을 고려하여 위험평가와 예비비 예측을 5단계 업무를 기준으로 분류하여 분석 및 예측한다.

## 2.2 예비비 분석 방법 고찰

예비비(Contingency)는 사업을 추진하는 과정에서 발생하는 불확실성으로 인하여 요구되는 비용이며, 총 사업비에는 책정된 예비비를 포함한다(AACE, 2009). 이와 같은 예비비는 사업을 수행하는 과정에서 예측하지 못한 위험

의 발생에 대응하기 위하여 활용된다(CERIK, 2000; FTA, 1994).

예비비를 예측하기 위하여 선행연구에서 제안된 방법을 종합하면 비율을 입력하는 방법과 비용을 입력하는 방법으로 분류된다(Kang, 2017; Texas, 2010; California, 2012). 즉 발생가능성이 높은 위험요인의 영향에 대응하기 위하여 비용항목에 비율 또는 비용을 입력하는 방법으로 위험비용을 예측한다. 예비비를 산정하기 위한 비율 입력 방법과 비용 입력 방법은 다음과 같다.

### ○ 비율 입력 방법

$$\text{Total Project Cost} = \text{Cost} + (\text{Cost} \times \text{Contingency ratio})$$

- Total Project Cost: 예비비를 포함한 총 사업비
- Cost: Prime cost, Material cost, Labor cost, etc
- Contingency ratio: 위험을 고려한 예비비 비율

### ○ 비용 입력 방법

$$\text{Total Project Cost} = \text{Cost} + \text{Contingency}$$

- Total Project Cost: 예비비를 포함한 총 사업비
- Cost: Prime cost, Material cost, Labor cost, etc
- Contingency: 위험을 고려한 예비비

본 연구에서는 설문조사의 응답성이 상대적으로 용이한 비율 입력 방법을 적용하여 예비비를 분석 및 예측한다.

## 3. 위험요인 평가 및 예비비 예측 방법

### 3.1 평가 및 예측 방법 개요

본 연구에서 제시되는 위험요인 평가 및 예비비 예측 모델은 분석 단계별로 도출된 결과를 연계하여 통합된 분석 과정으로 구성한다. 즉 위험요인 평가 모델에서 도출된 중요 위험요인을 예비비 예측 모델로 연계하여 필요한 예비비를 예측한다. 이는 고려되어야 하는 모든 위험요인을 반영할 경우 과대한 예비비가 예측됨에 따라 적절한 수준의 예비비를 예측하기 위하여 상대적으로 위험영향지수가 높게 분석된 위험요인만을 선별하여 적용한다.

모듈러 플랜트를 대상으로 위험요인에 대한 평가와 위험요인을 고려한 예비비를 예측하기 위하여 모델(방법)을 구성한다. 모델은 위험요인을 평가하는 단계(Model-1: Assessment of Risk Factors) 그리고 위험요인을 고려한 예비비를 예측하는 단계(Model-2: Prediction of Contingency)로 구성되며, 모델간의 연계는 <Fig. 4>와 같다.

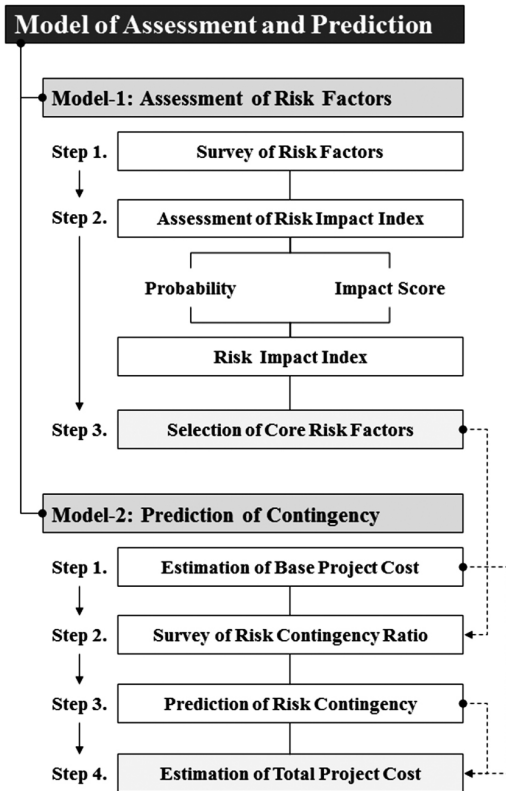


Fig. 4. Model of Assessment and Prediction

Model-1의 목적은 위험요인을 평가하여 위험영향지수를 도출하는 것이며, Model-2의 목적은 Model-1에서 선정된 중요 위험요인을 고려하여 대응하기 위한 예비비를 분석 및 예측하는 것이다. 이와 같은 두 가지 모델의 평가 및 예측 대한 구체적인 방법은 다음 3.2절에서 설명한다.

### 3.2 평가 및 예측 방법 구체화

위험요인의 조사, 평가 그리고 중요 위험요인을 선정하는 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

#### 3.2.1 Model-1: Assessment of Risk Factors

##### 1) Step 1: Survey of Risk Factors

Model-1, Step 1에서는 해외건설사업, 플랜트 건설사업, 모듈러 플랜트 건설사업 등을 대상으로 사업을 추진하는 과정에서 발생가능한 위험요인을 조사한 후 동일한 의미의 요인을 통합하여 목록(List of Risk Factors)을 생성한다. 이를 위하여 관련 선행연구, 연구기관에서 발간된 연구보고서, 건설회사에서 작성된 위험요인 자료 등을 참고한다.

##### 2) Step 2: Assessment of Risk Impact Index

Model-1, Step 1에서 조사된 위험요인을 대상으로 발생확률(Probability)과 영향점수(Impact Score)를 분석한다. 이를 위하여 위험요인에 대한 발생확률은 5%~95% 척도를 적용하며, 영향점수는 5점~95점 척도를 적용하여 전문가를

대상으로 설문조사를 실시한다. 그리고 위험요인에 대한 발생확률과 영향점수를 활용하여 위험영향지수(Risk Impact Index)를 평가한다. 이는 위험요인이 발생할 확률 즉 발생가능성과 발생할 경우 사업을 추진하는 과정에서 중요하게 관리되는(품질, 공기, 비용 등) 항목에 미치는 영향을 종합적으로 평가하기 위함이다. 위험영향지수를 분석하는 산정식은 다음과 같다.

$$\text{위험영향지수(RI)} = \text{발생확률(P)} \times \text{영향점수(I)} \quad (1)$$

- RI: Risk Impact Index
- P: Probability
- I: Impact Score

위험요인의 영향지수를 산정하는 방법에 대하여 관련된 주요 선행연구를 검토한 결과, 위험요인에 대한 발생확률, 발생빈도, 비용영향도, 공기영향도, 품질하락, 비용손실, 중요도 등과 같은 다양한 변수를 조합하여 위험도 즉 본 연구에서 정의된 위험영향지수를 산정하기 위한 방법을 제시하였다(Lee, et al., 2009; Lee et al., 2009; Kang et al., 2012; Kim et al., 2015; Kim, 2007; Kang et al., 2012). 그러나 위험요인은 불확실한 미래에 발생할 가능성을 예측하여 대응방안을 계획하고 발생할 경우 비용의 변동에 미치는 영향을 분석하여 필요한 예비비를 추정하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 상대적으로 발생가능성과 비용의 변동에 미치는 영향이 높은 위험요인을 선별함에 따라 예방적 위험관리가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 위험요인에 대한 위험영향지수를 평가하기 위하여 발생확률(P)과 영향점수(I)를 곱하여 위험영향지수(RI)를 도출한다.

##### 3) Step 3: Selection of Core Risk Factors

Model-1, Step 2에서 분석된 위험요인에 대한 발생확률과 영향점수를 활용하여 평가된 위험영향지수를 기준으로 중요 위험요인을 선정한다. 중요 위험요인을 선정하기 위한 평가척도는 다음 <Fig. 5>와 같다.

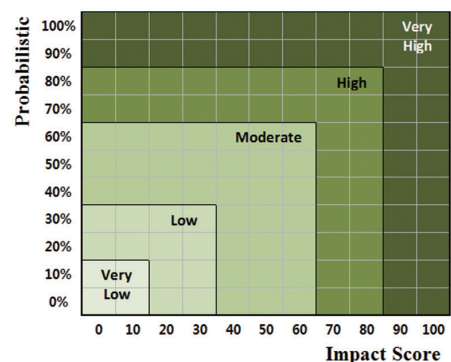


Fig. 5. Assessment Scale for Risk Impact

중요 위험요인을 고려하여 예비비를 예측하는 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

### 3.2.2 Model-2: Prediction of Contingency

#### 1) Step 1: Estimation of Base Project Cost

Model-2, Step 1에서는 중요 위험요인을 고려한 예비비를 예측하기 위하여 선정된 대상의 초기 사업비를 산정한다. 초기 사업비는 2.1절 <Fig. 3>에서 제시된 설계(E), 구매(P), 제작(F), 운송(T), 시공(C)단계로 분류한다. Step 1에서 산정되는 초기 사업비는 위험요인을 고려한 예비비를 반영(포함)하지 않은 비용이다.

#### 2) Step 2: Survey of Contingency Ratio

Model-2, Step 2에서는 Model-1, Step 3에서 선정된 중요 위험요인을 대상으로 사업을 추진하는 과정에서 위험요인이 발생할 경우 이를 해결(조치)하기 위하여 추가로 요구되는 예비비에 대한 비율을 조사한다. 이를 위하여 전문가(경력자)의 설문조사를 실시하며, 예비비에 대한 비율을 조사하는 방법의 예시는 다음과 같다.

위험요인	비용구분	예비비 비율(%)
설계 오류	설계비(E)	0.10%
	구매비(P)	0.22%
	제작비(F)	0.30%
	운송비(T)	0.00%
	시공비(C)	0.35%

#### 3) Step 3: Prediction of Risk Contingency

Model-2, Step 3에서는 Step-2에서 조사된 위험요인에 대한 예비비 비율을 적용하여 예비비를 예측한다. 위험요인에 대한 예비비를 예측하는 방법은 상기 2.2 예비비 분석 방법 고찰에서 설명된 비율 입력 방법을 적용하며, 산정식은 다음과 같다.

$$\text{예비비} = \text{비용} \times \text{예비비 비율} \quad (2)$$

- 예비비: 위험요인의 영향을 고려한 예비비
- 비용: 공사비, 원가 등(예비비를 포함하지 않은 비용)
- 예비비 비율: 위험요인에 대한 예비비 반영 비율

#### 4) Step 4: Estimation of Total Project Cost

Model-2, Step 4에서는 Model-2, Step-1에서 산정된 초기 사업비에 Model-2, Step-3에서 예측된 예비비를 합산하여 분석대상 사업에 대한 총 사업비를 산정하며, 산정식은 다음과 같다.

$$\text{총 사업비} = \text{기초 사업비} + \text{예비비} \quad (3)$$

- 총 사업비: 예비비를 포함한 사업비
- 기초 사업비: 예비비를 포함하지 않은 사업비
- 예비비: 위험요인의 영향을 고려한 예비비

상기에서 구체적으로 설명된 위험요인의 평가방법과 예비비의 예측방법에 따라 사례연구를 수행한다.

## 4. 위험 평가 및 예비비 예측

### 4.1 사례연구 개요

3장에서 제시된 위험요인의 평가와 예비비를 예측하기 위한 모델을 활용하여 사례연구를 한다. 사례연구의 주요 목적은 제시된 모델의 활용성과 결과도출의 신뢰성 등을 검토하기 위함이며, 선정된 사례개요는 다음 <Table 1>과 같다.

Table 1. Case Overview

Category	Explain
Project name	Petrochemical Plant
Contract method	EPC Lump-Sum Turnkey
Site location	Saudi Arabia
Project period	2008. 10 ~ 2011. 06
Company	Construction company in domestic

사례에서 모듈이 적용된 범위는 Pipe Rack이며, 모듈은 제작된 국가에서 Barge Ship을 이용하여 해상으로 운송되었다. 선정된 사례를 대상으로 사업을 추진하는 과정에서 발생가능한 한 위험요인을 조사하고 위험영향지수를 평가한다. 그리고 위험요인에 대응하기 위하여 요구되는 예비비를 예측한다.

### 4.2 위험요인 조사 및 평가

중요 위험요인을 선정하기 위하여 먼저 관련 선행연구와 연구보고서 등을 참고하여 의미가 유사한 위험요인을 통합하여 위험요인 목록을 구성한다. 그리고 관련 전문가를 대상으로 설문과 면담을 실시하여 위험요인에 대한 발생확률과 영향점수를 조사한다. 발생확률의 평가척도는 5~95%이며, 영향점수 평가척도는 5~95점을 적용한다. 이와 같이 조사된 발생확률과 영향점수를 반영하여 위험영향지수를 산정한다.

전문가의 설문과 면담은 해외 플랜트(모듈러 플랜트 포함) 건설사업 현장관리(공사, 공무 등) 경력자 13명(경력 5

년 이상, 2건 이상)을 대상으로 약 4개월(2016. 6~10) 동안 실시하였다. 설문과 면담은 2회 실시하며, 1회는 위험요인 목록을 대상으로 발생확률과 영향점수를 조사하고 2회는 중요 위험요인을 대상으로 예비비 비율을 조사한다.

위험요인 목록을 대상으로 조사된 발생확률과 영향점수 그리고 도출된 위험영향지수를 정리하면 다음 <Table 2>와 같다.

Table 2. Assessment of Risk Impact Index

Code	Risk Factors	Probability	Impact Score	Risk Impact Index
R-01	Error in detail design	75.9%	75.9	57.62
R-02	Error in working design	83.2%	87.7	72.97
R-03	Error in Invited to Bid review	52.7%	60.0	31.64
R-04	Error in piping & instrument diagram	78.6%	79.1	62.19
R-05	Variation in material cost	33.6%	63.6	21.40
R-06	Error in equipment design	53.2%	76.4	40.61
R-07	Error in connection(pipe to pipe)	81.4%	75.0	61.02
R-08	Lack of material specification	51.4%	64.5	33.15
R-09	Lack of local subcontractor	52.3%	64.5	33.74
R-10	Delay in module fabrication schedule	77.3%	73.6	56.90
R-11	Lack of ocean transportation route	46.4%	82.7	38.36
R-12	Delay in construction payment	40.0%	59.1	23.64
R-13	Accident in procurement	16.4%	58.2	9.52
R-14	Accident in construction	14.1%	59.5	8.39
R-15	Lack of local manpower	54.5%	53.2	29.01
R-16	Error in module fabrication	76.8%	84.5	64.95
R-17	Variation in material quantity	83.2%	90.5	75.24
R-18	Change in equipment specification	73.6%	75.0	55.23
R-19	Delay in design payment	40.9%	44.1	18.04
R-20	Delay in procurement payment	44.5%	38.6	17.21
R-21	Lack of skill fabrication	62.7%	74.5	46.76
R-22	Change in construction method	55.0%	51.4	28.25
R-23	Lack of jetty specification	65.5%	78.6	51.47
R-24	Lack of construction machine	38.6%	48.6	18.79
R-25	Error in tariff estimation	49.5%	67.3	33.33
R-26	Lack of ocean transportation machine	74.5%	80.9	60.31
R-27	Error in HSE application	47.3%	56.4	26.64
R-28	Error in module design	78.4%	85.0	66.61
R-29	Lack of site transportation route	60.5%	84.1	50.84
R-30	Strike by workers	45.5%	59.5	27.07

Table 3. Selection of Core Risk Factors

Code	Risk Factors	Probability	Impact Score	Risk Impact Index
R-01	Error in detail design	75.9%	75.9	57.62
R-02	Error in working design	83.2%	87.7	72.97
R-03	Error in piping & instrument diagram	78.6%	79.1	62.19
R-04	Error in equipment design	53.2%	76.4	40.61
R-05	Error in connection(pipe to pipe)	81.4%	75.0	61.02
R-06	Delay in module fabrication schedule	77.3%	73.6	56.90
R-07	Lack of ocean transportation route	46.4%	82.7	38.36
R-08	Error in module fabrication	76.8%	84.5	64.95
R-09	Variation in material quantity	83.2%	90.5	75.24
R-10	Change in equipment specification	73.6%	75.0	55.23
R-11	Lack of skill fabrication	62.7%	74.5	46.76
R-12	Lack of jetty specification	65.5%	78.6	51.47
R-13	Lack of ocean transportation machine	74.5%	80.9	60.31
R-14	Error in module design	78.4%	85.0	66.61
R-15	Lack of site transportation route	60.5%	84.1	50.84

각각의 위험요인 30개에 대한 발생확률과 영향점수는 13 명이 응답한 평균값이며, 위험영향지수는 상기 3.2절에서 설명된 산정식을 적용하여 계산되었다. 그리고 위험영향지수가 High~Very High 범위에 포함된 위험요인 15개를 중요 위험요인으로 선정하였으며, 정리하면 다음 <Table 3>과 같다.

위험영향지수가 높게 평가된 위험요인 15개를 선정한 이유는 발생가능성이 높으며, 발생될 경우 미치는 영향이 높은 위험요인을 중심으로 예비비를 예측하기 위함이다. 또한 위험을 고려한 예비비는 과소 또는 과대하게 예측하기 보단 직접공사비, 간접공사비, 수익 등의 비용항목별로 책정된 비용을 고려하여 적절한 수준으로 예측이 필요하기 때문이다.

### 4.3 예비비 및 사업비용 예측

중요 위험요인을 대상으로 예비비를 분석 및 예측하기 위하여 선정된 사례에 대한 기초사업비는 <Table 4>와 같다.

사례의 기초사업비는 설계(E), 구매(P), 시공(C)으로 구분되었으나, 본 연구에서는 모듈러 플랜트의 업무특성을 고려하여 설계(E), 구매(P), 제작(F), 운송(T), 시공(C)으로 재분류하였다.

Table 4. Estimation of Base Project Cost

(Unit: 1,000 KRW)

Category	Base Project Cost	Category	Base Project Cost
Engineering	28,534,570	Engineering	28,534,570
Procurement	325,255,680	Procurement	189,103,652
-	-	Fabrication	93,933,840
-	-	Transportation	42,218,187
Construction	256,713,346	Construction	256,713,346
Total	610,503,596	Total	610,503,596

중요 위험요인에 대한 예비비를 분석 및 예측하기 위하여 상기 2.2절 예비비 분석 방법 고찰에서 설명된 방법 중 비율 입력 방법을 적용하여 예비비 비율을 조사한다. 위험요인별로 예비비 비율을 조사하기 위하여 상기 4.2절 위험요인 조사 및 평가에서 선정된 전문가 13명을 대상으로 설문조사를 실시한다. 예비비 비율을 조사하는 설문에서 중요한 내용은 위험요인의 영향과 각 업무단계별로 책정된 비용의 변동 유발정도에 대한 연계를 고려한다. 이와 같은 방법으로 조사된 위험요인별 예비비 비율은 <Table 5>와 같다.

Table 5. Survey of Risk Contingency Ratio

Item	Engineering	Procurement	Fabrication	Transportation	Construction
R-01	0.404%	0.667%	0.292%	-	1.038%
R-02	0.435%	0.838%	0.777%	-	1.423%
R-03	0.454%	0.772%	0.554%	0.904%	0.854%
R-04	0.338%	0.875%	-	-	1.312%
R-05	-	-	0.515%	-	0.142%
R-06	-	-	0.373%	0.938%	-
R-07	-	-	-	0.292%	-
R-08	-	0.242%	0.608%	-	-
R-09	0.417%	1.462%	1.185%	1.054%	2.262%
R-10	0.331%	0.785%	0.919%	-	0.764%
R-11	-	-	0.176%	-	-
R-12	-	-	-	0.338%	-
R-13	-	-	-	0.277%	0.119%
R-14	0.472%	0.585%	0.812%	-	-
R-15	-	-	-	0.362%	0.254%
Sum	2.850%	6.225%	6.211%	4.165%	8.168%

위험요인별로 입력된 예비비 비율은 13명의 전문가들이 모두 응답한 평균 비율이며, 모두 응답하지 않은 비율은 미반영하였다. 이와 같이 조사된 위험요인별 예비비 비율을 사업비용에 적용하여 예측된 예비비는 <Table 6>과 같다.

Table 6. Estimation of Risk Contingency

(Unit: 1,000 KRW)

Item	Engineering	Procurement	Fabrication	Transportation	Construction
R-01	115,236*	1,261,176	274,576	-	2,665,869
R-02	124,016	1,585,561	729,794	-	3,653,228
R-03	129,503	1,459,007	520,249	381,587	2,191,937
R-04	96,579	1,653,930	-	-	3,366,894
R-05	-	-	484,121	-	365,323
R-06	-	-	350,445	396,201	-
R-07	-	-	-	123,407	-
R-08	-	458,213	570,829	-	-
R-09	118,967	2,763,823	1,112,755	444,915	5,805,671
R-10	94,384	1,483,736	863,469	-	1,960,895
R-11	-	-	165,468	-	-
R-12	-	-	-	142,892	-
R-13	-	-	-	116,912	306,081
R-14	134,551	1,105,529	762,309	-	-
R-15	-	-	-	152,635	651,657
Sum	813,235	11,770,975	5,834,014	1,758,550	20,967,556

Formula: Project Cost × Contingency Ratio

\* 28,534,570(Engineering base project cost) × 0.404%(R-01 risk contingency ratio) = 115,236(R-01 risk contingency)

중요 위험요인 15개를 기준으로 예측된 총 예비비는 약 41,144,330(천원)이며, 설계(E) 2.0%, 구매(P) 28.6%, 제작(F) 14.2%, 운송(T) 4.3%, 시공(C) 51.0%를 차지한다. 이와 같이 예측된 예비비를 사례의 기초사업비(Base Project Cost)에 반영한 총 사업비(Total Project Cost)는 <Table 7>과 같다.

Table 7. Prediction of Total Project Cost

(Unit: 1,000 KRW)

Category	Base Project Cost	Contingency	Total Project Cost
Engineering	28,534,570	4.7%	29,347,805
Procurement	189,103,652	31.0%	200,874,627
Fabrication	93,933,840	15.4%	98,763,485
Transportation	42,218,187	6.9%	43,976,737
Construction	256,713,346	42.0%	277,680,902
Total	610,503,596	100%	650,643,557

중요 위험요인 15개를 적용하여 예측된 예비비를 반영한 총 사업비와 반영하지 않은 기초사업비를 비교하면, 예비비를 반영함에 따라 총 사업비는 기초사업비 대비 약 6.739% 증액되었으며, 설계(E) 2.850%, 구매(P) 6.225%, 제작(F) 6.211%, 운송(T) 4.165%, 시공(C) 8.168%가 증액되었다.

#### 4.4 예측 모델 및 결과 활용

현재 해외 플랜트 건설사업의 경우 해당 국가의 인력수급, 자재조달, 건설관련법규정, 사업지(Construction site)의 환경 조건 등을 고려하여 ITB (Invited to Bid)에서 모듈러 플랜트 적용을 요구하고 있다. 이에 따라 입찰을 준비하는 단계에서부터 모듈의 적용범위, 대상, 규모 등에 대한 설계와 동시에 구매, 제작, 운송, 시공에 대한 사업관리 계획을 수립한다.

설계와 사업관리 계획에 대한 의사결정 과정에서는 기존의 Stick Built 공법 대비 불확실한 위험을 고려해야 한다. 즉, 모듈러 플랜트를 적용할 경우 현장제작이 간소화 되어 공사기간이 단축되는 반면, 제작과 운송단계가 추가됨에 따라 고려해야 하는 위험요인(변수)이 확장되기 때문에 대응을 위한 예비비의 예측과 책정이 필요하다.

따라서 본 연구에서 제시된 위험요인의 평가와 위험요인을 고려한 예비비를 예측하는 모델(방법)은 입찰단계, 설계단계 그리고 건설사업을 추진하는 각 단계에서 해당 전문가들의 의견을 수렴하여 개략적인 예비비의 예측에 활용된다. 이렇게 예측된 예비비는 원가관리와 최초 계획된 수익의 확보를 위해 사용되는 비용으로 활용된다. 즉 사업초기에 예방적인 위험관리를 위한 계획을 수립하는 과정에서 도출된 정량적인 결과를 참고하여 위험 및 비용의 통합관리를 위한 의사결정을 지원하는 모델(방법)으로 활용이 용이하다.

### 5. 결론

본 연구의 목적은 모듈러 플랜트 건설사업에 대한 업무특성을 고려하여 위험요인을 평가하고 위험요인에 대응하기 위한 예비비를 예측하는 것으로 세부적인 내용은 다음과 같다. 첫째, 위험요인의 영향을 평가하기 위한 모델(방법)과 예비비를 예측하기 위한 모델(방법)을 제시한다. 둘째, 모델을 기반으로 모듈러 플랜트 건설사업을 대상으로 위험요인의 영향을 평가하고 예비비를 예측한다.

연구의 목적에 따라 모듈러 플랜트의 업무특성을 고려하여 설계(E), 구매(P), 제작(F), 운송(T), 시공(C)단계로 분류하고 위험요인을 평가하였다. 위험요인은 발생확률과 영향점수를 조사하여 위험영향지수를 분석하여 평가하였다. 그리고 예비비는 위험요인의 영향과 각 업무단계별로 책정된 비용의 변동 유발강도(정도)에 대한 연계를 고려하여 예비비 비율을 조사하여 예측하였다.

연구의 목적과 방법에 따라 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 위험요인의 발생확률과 영향점수를 분석하여 평가하는 모델과, 예비비 비율을 적용하여 위험요인에 대응하기 위한 예비비를 예측하는 모델을 제시하였다. 둘

째, 위험요인 목록으로 구성된 30개의 요인을 대상으로 발생확률과 영향점수를 조사하여 위험영향지수를 평가하였다. 그리고 위험영향지수가 상대적으로 높게 평가된 중요 위험요인 15개를 선정하였다. 선정된 중요 위험요인 15개를 대상으로 예비비 비율을 조사하여 예비비를 예측하였다. 이에 따라 예측된 예비비는 41,144,330(천원)이며, 설계(E) 2.0%, 구매(P) 28.6%, 제작(F) 14.2%, 운송(T) 4.3%, 시공(C) 51.0%를 차지한다.

본 연구에서 제시된 위험요인의 평가와 위험요인을 고려한 예비비 예측 모델(방법)은 사업초기에 예방적인 위험관리를 위한 계획을 수립하는 의사결정 과정에서 활용이 용이하다. 그러나 제시된 모델의 활용을 검증하기 위한 사례연구가 자료조사의 한계로 인하여 다수의 사례를 적용하지 못한 제약이 있다. 이에 따라 위험을 고려한 평균적인(보편적인) 예비비를 추정하지 못한 한계점이 있다. 또한 모듈러 플랜트의 제작단계와 운송단계에서 중요하게 고려되어야 하는 위험요인(변수)을 조사하여 반영한 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 플랜트 연구개발 사업(No.14IFIP-B091004-04)의 연구비지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부임.

### References

- AACE (2009). Cost Engineer's Notebook Vol. I & II (Estimation Contingency). American Association of Cost Engineering.
- California (2012). Project Risk Management Handbook, California Department of Transportation.
- Construction Industry Institute (CII). (2013). "SPC" 47th ASC Annual International Conference Proceedings.
- CERIK (2000). The Necessity of Contingency Prediction System for Construction Projects, Construction and Economy Research Institute of Korea.
- Exxon Mobil (2013). Project Tender Document.
- FTA (1994). Risk Assessment in Fixed Guide way Transit System Construction.
- Hwang, J., Choi, S., Lee, J., and Kim, Y. (2014). "Development of Bill Service Framework for Modular Housing Construction." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(5), pp. 138-146.



- Kang, H. W. (2017). "Model of Risk Contingency Prediction Based on Risk Information in Construction Projects." Thesis of Ph.D The University of Chung-Ang.
- Kang, H. W., Won, Y. M., Kang, M. G., and Kim, Y. S. (2012). "An Analysis on the Probability Costs Variation Ranges of the Cost Items from the Risk Factor Model for Construction Phase of Overseas Gas Plant Projects." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, AIK, 28(1), pp. 191-198.
- Kang, H. W., Kim, M. S., Kim, S. H., and Kim, Y. S. (2012). "A Study on the Analysis of Risk Factors in Engineering, Procurement and Construction Phase for Overseas Plant Project." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, AIK, 28(5), pp. 111-118.
- 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, S. G. (2015). "Risk Value Calculation Method for Moderate Risk Concentration Type at Qualitative Risk Analysis Phase." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 16(2), pp. 38-45.
- Kim, S. G. (2007). "A Model of the Construction Risk Management System for Site Personnel in the Construction Project." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 8(2), pp. 90-98.
- Lee, H. C., Lee, G., Yeo, S. K., and Go, S. S. (2009). "A Study on the Risk Evaluation of Construction Management Based on Risk Identification." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 10(3), pp. 83-91.
- Lee, H. C., Shin, S. B., Hong, J. H., and Go, S. S. (2009). "A Study on the Risk Evaluation of Apartment Development Project based on VE." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 10(4), pp. 14-25.
- 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, 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.
- Park, C. Y., 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.
- Rogan, A. L., Lawson, R. M., and Bates-Brkljac, N. (2000). "Value and benefits assessment of modular construction." The Steel Construction Institute, Ascot.
- Tatum, C. B., Vanegas, J. A., and Williams, J. M. (1987). "Construction Improvement using Prefabrication." Pre-assembly and Modularization, Technical Report 297, Austin: Construction Industry Institute.
- Texas (2010). Risk-Based Construction Cost Estimating Reference Guide. Texas Department of Transportation.

---

**요약 :** 본 연구의 목적은 플랜트 건설사업에서 모듈러 공법의 적용이 확대됨에 따라 모듈러 플랜트에 대한 업무특성을 고려하여 위험을 평가하고 위험에 대응하기 위한 예비비를 예측하는 것이다. 연구방법은 모듈러 플랜트의 업무특성을 고려하여 위험의 영향을 평가하기 위한 모델(방법)과 예비비를 예측하기 위한 모델(방법)을 제시한다. 그리고 제시된 모델을 기반으로 모듈러 플랜트 건설 사업 1곳을 사례로 선정하여 위험요인의 영향을 평가하고 예비비를 예측한다. 상기와 같은 목적과 방법에 따라 도출된 결과는 다음과 같다. 위험요인의 발생확률과 영향점수를 평가하여 중요 위험요인 15개를 선정하였다. 그리고 모듈러 플랜트의 특성을 고려하기 위하여 설계(E), 구매(P), 제작(F), 운송(T), 시공(C)단계로 업무를 분류하여 예측된 예비비는 기초사업비(610,503,596 천원) 대비 약 6.739%이며, 설계(E) 2.850%, 구매(P) 6.225%, 제작(F) 6.211%, 운송(T) 4.165%, 시공(C) 8.168%로 도출되었다. 본 모델은 위험관리를 위한 의사결정 과정에서 정량적인 결과를 도출하는 방법으로 활용된다.

**키워드 :** 모듈러 플랜트, 위험 평가, 예비비 예측

---