

# 건설 프로젝트 사업비 (CAPEX/OPEX) 변동성 예측을 위한 리스크 분석 연구

나승범, 장우식, 박재완, 백정호, 조성주, 이영웅  
조선대학교  
woosik@chosun.ac.kr

## Development of a framework for predicting construction project cost (CAPEX/OPEX) volatility

Seoungbeom Na, Woosik Jang, Jae-Wan Park,  
Jeongho Baek, Seongjoo Jo, Youngwoong Lee  
Dept. of Civil Engineering, Chosun University

### 요약

해외 플랜트 건설 프로젝트는 대규모 프로젝트 특성상 다양한 리스크가 존재한다. 최근 국내 건설기업의 해외 건설 프로젝트 수주는 증가하고 있고, 그에 따라 발생 가능한 리스크의 관리, 사업비 예측의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 이에, 본 연구에서는 해외 플랜트 건설 프로젝트의 사업비(CAPEX, OPEX) 변동을 초래하는 리스크 분석 프레임워크를 제안하였다. 본 연구의 수행 절차는 다음과 같다. 첫째, 해외 건설프로젝트수행을 위해 고려해야 할 주요 리스크 요인을 정의하였다. 둘째, CAPEX, OPEX에 영향을 미치는 리스크의 영향강도와 발생확률에 대해 전문가 설문조사를 수행하였다. 셋째, PI 평가를 통해 CAPEX, OPEX 리스크 관리 우선순위를 도출하고 특수성을 비교분석하였다. 넷째, 몬테칼로 시뮬레이션을 활용하여 사업비의 변동 확률밀도함수를 도출하였다. 다섯째, 신뢰구간 90% 내 CAPEX와 OPEX 변동성을 추정하였으며 각각 초기 예측가치 대비 9.71%, 5.23% 변동할 확률이 있음을 도출하였다.

## 1. 서론

리스크란 일반적으로 사업목표에 손실이나 불이익 또는 유리하게 작용하는 불확실성의 영향으로 정의된다[1]. 해외 플랜트 건설 프로젝트에서 발생하는 리스크는 사업의 수익성 저하, 공기 지연 뿐만 아니라 사업 전체의 실패 원인이 될 수 있다[6]. 이는, 프로젝트에 대한 리스크 관리, 사업비 예측의 중요성이 더욱 증가하고 있음을 의미한다.[2]

본 연구에서는 해외 플랜트 건설 프로젝트 수행과정에서 고려해야 할 리스크 요인을 도출하고 평가함으로써 리스크 특성을 분석하고자 한다. 또한 사업비(CAPEX, OPEX)에 영향을 미치는 리스크 요인의 사업비 변동 확률밀도함수를 도출함으로써 변동성을 정량화하고자 한다.

건설 사업비는 크게 CAPEX와 OPEX로 구분할 수 있다. CAPEX(Capital Expenditures)는 이윤 창출 및 가치의 취득을 위해 지출된 투자 과정에서의 비용을 의미하고, OPEX(Operating Expenditure)는 갖춰진 설비를 포함한 운영 과정에서의 제반 비용을 의미한다[3]. 건설 산업에서 CAPEX

와 OPEX는 발생하는 리스크의 양상에 따라 변동될 수 있다 [4]. 이에, 본 연구에서는 해외 플랜트 건설 프로젝트를 수행하는데 있어 CAPEX, OPEX의 변동에 영향을 미치는 리스크 요인을 도출하여 평가하고, CAPEX(Capital Expenditures), OPEX(Operating Expenditure) 리스크 확률분포를 정의하여 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 확률밀도함수를 도출하여 사업비 변동성을 정량화하고자 한다.

## 2. 연구 방법론

### 2.1 사업비 리스크 분류체계 구축

본 연구는 해외건설사업 리스크 분류체계를 구축하고자 선행연구를 분석하였다. 안병호(2012)는 리스크의 중분류를 6개 Section(정치·정책, 경제·제정, 사회·문화, 제도·법규, 시장여건)으로 구분하여 39개의 사업비 리스크 요인을 도출하였다. 정우용(2017)은 3개의 대분류, 9개의 중분류로 총 54개의 사업비 리스크 요인을 도출하였다. 이에, 본 연구에서는 선행연구의 리스크 요인을 참고하여 건설분야 실무자 인터뷰를 통해 최종 리스크 요인을 도출하였다[5].

## 2.2 리스크 발생확률, 영향강도 설문조사

본 연구에서는 리스크 평가를 위해 개별 리스크의 발생확률과 영향강도에 관한 설문조사를 수행하였다. 설문 대상으로는 1) 해외기업에 종사한 경험이 있는 전문가, 2) 해외 건설 프로젝트 수행 경험이 있는 국내기업 전문가, 3) 유관부서의 업무를 수행한 경력을 가진 전문가를 대상으로 하였다. 본 연구에서는 설문지의 응답률을 높이기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다. 첫째, 응답자 입장에서 작성하기 곤란한 프로젝트 세부 정보는 구간, 범주 형태의 선택항목으로 제시하였다. 범주 혹은 구간 값으로 수집한 문항은 주관식으로 제시하였을 때보다 정밀도가 떨어지지만, 응답률을 높일 수 있다[5]. 둘째, 응답자가 가장 최근에 참여했던 프로젝트에 대한 기억을 상기시킬 수 있도록 하였다. 특정 사례 기반 실제 수행 프로젝트 리스크 평가를 실시하여 가장 최근에 참여했던 프로젝트에 대한 응답자의 기억을 상기시켜 리스크 발생 유/무를 먼저 체크하고, 응답자가 리스크가 발생했다고 선택한 항목에 대해서 사업비 영향정도를 평가할 수 있도록 하였다.

## 2.3 리스크 관리 우선순위 도출

본 연구에서는 리스크 발생확률, 영향강도 설문조사를 기반으로 PI 평가를 통해 리스크 관리 우선순위를 도출하였다. PI 평가란 공학적 측면에서의 리스크 평가를 위해 발생확률(Probability)과 영향강도(Impact)의 조합을 이용한다. 다수의 선행 연구에서는 이 두 가지의 기준에 따라 기대치를 표현한다. PI 평가는 발생확률과 영향강도의 조합에 좌표평면의 거리개념을 적용하여 중요도를 도출하는 방법이다. 거리개념은 원점을 기준으로하여 좌표평면상에 X축, Y축을 각각 발생확률과 영향도로 규정하여 원점으로부터의 거리를 산출하여 리스크를 평가하는 것이다. 본 연구에서는 설문조사를 통해 수집한 리스크 평가 데이터를 기반으로 발생확률(P), 영향강도(I)의 평균값을 각각 계산하여 PI 값을 도출한다. 이러한 평가방법은 순위순 배치 및 표현이 가능하고, 리스크의 위치가 확인되는 즉시 해당 리스크의 수준을 쉽게 파악할 수 있다는 장점이 있다[6].

## 2.4 사업비 변동성 추정

### 2.4.1 몬테칼로 시뮬레이션

본 연구에서는 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 사업비 변동성을 추정하기 위해 다음과 같은 순서에 따라 사업비 변동성 확률밀도함수를 도출하였다. 먼저, CAPEX, OPEX에 영향을 미치는 개별 리스크 요인의 영향강도, 발생확률에 대한 리스크 평가 결과를 활용하여 영향강도, 발생확률에 대한 개별 리스크의 확률분포를 정의한다. 여기서 영향강도 확률분포의 경우, 분포적합을 통해 가장 적합한 확률 분포를 도출한다. 발생

확률 확률분포의 경우 베르누이 분포를 적용하여 각 리스크가 발생할 확률을 정의한다. 다음으로, 앞서 정의한 확률분포를 활용하여 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 사업비를 구성하는 CAPEX, OPEX에 대해 각각 변동성 확률밀도함수를 도출하고, 도출된 변동성 확률밀도함수를 통해 90% 신뢰구간 내의 평균값을 도출하여 사업비의 변동성을 추정한다.

### 2.4.2 리스크 확률분포 정의

몬테칼로 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 먼저 개별 변수의 확률분포를 정의해야 한다. 확률분포란 확률변수 X의 함수로서 특정한 값을 가지게 되는데, 그 값을 가질 확률들은 일종의 함수와 같이 특정한 분포를 갖게 된다.

본 연구에서는 분포 적합을 활용하여 확률분포를 사업비 변동성(CAPEX, OPEX)에 대한 확률밀도함수로 정의하였으며 합리적이고 개별 특성을 적용할 수 있도록 하였다.

### 2.4.3 몬테칼로 시뮬레이션을 활용한 사업비 변동성 확률밀도함수 도출

확률밀도함수란, 확률변수 X가 연속확률변수일 때 X가 이루는 연속확률분포를 함수  $f(x)$ 로 나타낸 것을 말한다. 본 연구에서는 몬테칼로 시뮬레이션을 활용하여 CAPEX와 OPEX의 확률밀도함수를 도출하였다. 본 연구에서 도출한 확률밀도함수는 X축은 사업비 변동성, Y축은 리스크 발생확률로 해석할 수 있으며 면적은 확률을 의미한다. 이에, 본 연구는 누적 면적 계산을 통해 변동성을 추정하고자 한다.

### 2.4.4 사업비 변동성 추정

본 연구는 몬테칼로 시뮬레이션을 활용한 사업비 변동성 확률밀도함수를 통해, 90% 신뢰구간에서 평균값을 도출하고자 한다. 이것은 신뢰구간 90% 내 CAPEX와 OPEX의 변동성을 추정하였을 때, 초기에 산정한 프로젝트 사업비 대비 변동할 확률이 있다는 것을 의미한다.

## 3. 연구 결과

### 3.1 CAPEX 리스크 분류체계 구축

본 연구에서는 문헌분석 수행 결과를 기반으로 주요 리스크 요인 21가지를 구성하여 CAPEX 영향 리스크 인자 분류체계(RBS of CAPEX)를 Table 2.와 같이 구축하였다. RBS는 크게 'Political risk', 'Economic risk', 'Culture risk', 'Environment risk', 'Market risk', 'Legal risk'의 6개 항목으로 분류하였으며, 각 6개 항목에 포함되는 21개의 리스크 요인들로 구성 하였다.

### 3.2 OPEX 리스크 분류체계 구축

본 연구에서는 기존 CAPEX의 RBS를 기반으로 문헌분석을 통해 개별 리스크 요인을 추출하여 OPEX의 리스크 분류체계를 새롭게 구성하였다. 5가지 항목의 총 12가지 리스크 요인으로 구성하여 OPEX에 영향을 미치는 영향 리스크 인자 분류체계(RBS of OPEX)를 Table 3.와 같이 구축하였다. OPEX의 RBS는 크게 'Political risk', 'Economic risk', 'Culture risk', 'Environment risk', 'Market risk' 5개 항목으로 분류하였으며, 각 5개항목에 포함되는 12개의 리스크 요인들로 구성하였다.

### 3.3 리스크 관리 우선순위 도출

본 연구에서는 설문결과와 3.3의 수식을 활용하여 CAPEX, OPEX 리스크 관리 우선순위를 도출하였다. 리스크 PI 평가 결과, CAPEX와 OPEX에서 리스크 관리 우선순위가 다를 수 있다. 먼저, 전체 해외건설시장을 대상으로 CAPEX 리스크 우선순위를 분석한 결과 1. 기후·날씨 관련영향, 2. 인허가 및 건설 행정처리 절차지연, 3. 현지조달 자재/장비 확보 어려움 순으로 우선순위가 도출됨을 확인하였다. OPEX 리스크 우선순위는 1. 기후·날씨 관련영향, 2. 불가항력 영향, 3. 진출국 기술인력 보유 상태 순으로 우선순위가 도출되었다.

### 3.4 사업비 변동성 확률밀도함수 도출

본 연구에서는 Palisade社의 @risk 소프트웨어를 활용하여 반복횟수 10,000번으로 설정하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 사업비(CAPEX, OPEX)의 변동성 확률밀도함수를 도출하였다. CAPEX 변동성 분석결과, 신뢰구간 90% 내에서 최소 2.1%, 최대 17.3%, 표준편차 5.29로 도출되었으며, OPEX 변동성은 최소 0.29%, 최대 10.27%, 표준편차 3.41로 도출되었다.

### 3.5 사업비 변동성 추정

본 연구에서는 사업비(CAPEX) 변동성을 추정하기 위해 도출된 확률밀도함수의 90% 신뢰구간의 평균값을 활용하였다. CAPEX 변동성은 8.56%, OPEX 변동성은 4.57%로 도출되었다. 본 결과는 사업초기 예측된 사업비 가치에서 CAPEX는 8.56%, OPEX는 4.56% 변동할 가능성이 있다고 해석할 수 있으며, 본 결과는 사업 예비비 산정에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2023-00245737)

### 참고문헌

- [1] Iso, I. (2009). Risk management - Principles and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [2] Gyutae. Kim, Seokheon. Yun. (2022). Impact Analysis of Drop out Method on Machine Learning-based Construction Cost Estimation.6(4), 641-647.  
DOI : 10.33097/JNCTA.2022.06.04.641
- [3] Ministry of Economy and Finance Glossary of Current Economic Terms.  
<https://www.moef.go.kr/sisa/main/search>
- [4] Lee, Taewon, Joh, Won IL. (2017). Study on the Influence of the Risk Management Factors for Project Performance in the Construction Project, 32(1)  
DOI : 10.23839/kabe.2017.32.1.285
- [5] Sung-Eun Ki m, Lim Hyoung-chul.(2022).An Analysis on Importance of Factors for Modular School Facility.Journal of Next-generation Convergence Technology Association,6(11),2134-2143.  
DOI : 10.33097/JNCTA.2021.05.06.942
- [6] Jang, W.-S., Hong, H.-U., & Han, S.-H. (2011). Risk Identification and Priority method for Overseas LNG Plant Projects - Focusing on Design Phase -. Korean Journal of Construction Engineering and Management, 12(5), 146 - 154. DOI : 10.6106/KJCEM.2011.12.5.14