

# 확률론적 추정 개념을 적용한 건설 공사 현장의 사고원인별 리스크 정량화 연구

## A Risk Quantification Study for Accident Causes on Building Construction Site by Applying Probabilistic Forecast Concept

유 영 진<sup>1</sup>

손 기 영<sup>1</sup>

김 태 희<sup>2</sup>

김 지 명<sup>3\*</sup>

Yu, Yeong-Jin<sup>1</sup>

Son, Kiyoung<sup>1</sup>

Kim, Taehui<sup>2</sup>

Kim, Ji-Myong<sup>3\*</sup>

*School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 44610, Korea <sup>1</sup>*

*Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea <sup>2</sup>*

*Construction Science Department, Texas A&M University, College Station, 77843, USA<sup>3</sup>*

### Abstract

Recently the construction project is becoming large-sized, complicated, and modernize. This has increased the uncertainty of construction risk. Therefore, studies should be followed regarding scientifically identifying the risk factors, quantifying the frequency and severity of risk factors in order to develop a model that can quantitatively evaluate and manage the risk for response the increased risk in construction. To address the problem, this study analyze the probability distribution of risk causes, the probability of occurrence and frequency of the specific risk level through Monte Carlo simulation method based on the accident data caused at construction sites. In the end, this study derives quantitative analysis by analyzing the amount of risk and probability distributions of accident causes. The results of this study will be a basis for future quantitative risk management models and risk management research.

Keywords : building construction, risk analysis, monte carlo simulation method, accident cause analysis

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 산업기술의 발달과 함께 리스크 관리는 새로운 관심 분야로 제고되고 있다. 특히, 2009년 국제 표준화 기구에서는 ISO 31000(리스크 관리 - 원칙 및 지침)을 새로이 공표하여 리스크의 개념을 목표에 대한 불확실성의 영향이라고 새롭게 정의하였으며, 리스크 분석의 개념을 미래 목표에 대한 불확실성을 과학적인 방법으로 가능한 범위에서 예측을 구체화하는 것이라고 언급하였다[1].

또한, 최근 산업 기술의 성장으로 대형화·복잡화·첨단화가 이루어지는 건설 산업은 타 산업과 비교했을 때, 비정형적이고 주관적인 경향으로 다양한 불확실 요소를 가지고 있어 리스크 분석이 반드시 요구되는 산업이다[2]. 국내 건설 산업은 이러한 리스크 관리에 대한 중요성을 인지하고 있으며, 리스크에 대해 식별(identification), 분석(analysis), 대응(control)하는 다양한 연구가 지속해서 이루어져 왔다.

이중 리스크 식별 및 분석은 프로젝트 계획 단계에서 수립되어야 하지만 건설 프로젝트의 특성상 복합적으로 발생하는 모든 불확실 요소를 파악할 수 없으며, 긴 프로젝트 기간과 유연한 변동성으로 인해 불완전한 조건 아래에 이루어진다. 하지만 건설 프로젝트는 원활한 프로젝트 진행을 위해서는 계획단계에서 진행에 대한 구체적인 예측이 이루어져야 어느 정도 리스크를 감당할 수 있는지 합리적이고 객관적인 결정이 가능하다. 따라서 불확실 요소에 대응해 건설 현장의 리스크 요인과 결과를 체계적으로 평가할 수 있는 확률론적

Received : January 17, 2017

Revision received : March 10, 2017

Accepted : May 8, 2017

\* Corresponding author : Kim, Ji-Myong

[Tel: 82-2-758-4655, E-mail: jimy6180@gmail.com]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

인 분석이 필요하다.

이에 본 연구에서는 확률론적 추정 개념을 토대로 건설 공사 현장의 사고원인별로 분류하여 리스크를 분석하는 것을 목적으로 한다. 향후 본 연구의 결과는 정량적 위험관리 모델 및 위험관리 연구를 위한 기초 자료로 이용될 것이다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 확률론적 추정 개념을 적용한 건설 공사 현장의 사고원인별 리스크 정량화 연구를 수행하기 위해 다음과 같은 순서로 수행되었다.

첫째, 건설공사의 리스크 분석에 대한 이론적 분석 및 국내외 연구 동향 분석을 토대로 고찰한다.

둘째, 정량화된 사고 데이터 수집을 위해 지난 12년간 건설 프로젝트 현장에서 발생한 사고 데이터를 수집한다.

셋째, 건설공사위험도 추정모형을 개발을 위해 정량적인 리스크 분석 기법인 사고 발생 확률과 발생 강도 분석방법을 선정한다. 확률누적분포를 통해 사고 발생 확률과 발생 강도를 분석하여 보상금 지급액을 모수 추정한다.

다섯째, 최종적으로 확률론적 시뮬레이션으로 추정된 사고원인별 모집단을 활용하여 사고 원인별 위험도 분포 특성을 분석한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 건설공사보험

건설공사보험이란 건축, 토목공사에서 적용되는 손해 보험으로 공사 기간 중 발생하는 모든 손해에 대하여 보상하는 보험이다. 일반적으로 손해보험사는 대수의 법칙에 따라 리스크 분석을 수행하기 위해 건설 프로젝트의 진행 중 발생한 손해액 데이터를 지속해서 수집 및 보유하고 있다. 이러한 데이터는 보험 가입자가 선택한 보장 가능한 손해로 목적물 손해 배상과 제 3자 배상으로 분류할 수 있다.

제 3자 배상은 해당 공사와 연관이 없는 제 3자의 대인, 대물 피해에 대한 법률상의 배상책임을 말한다. 또한, 목적물 손해란 우연히 발생한 사고로 공사목적물, 공사용 재료, 공사용 가설물 등의 재물에 입힌 손해이며, 사고가 발생한 경우 분류에 따라 보험사에서 직접 보상을 처리하게 된다. 본 연구에서는 건설 공사 현장에서 발생하는 사고의 피해 금액을 집중적으로 파악하기 위해 우선하여 목적물 손해를 대상으로 분석을 수행하고자 한다.

### 2.2 확률론적 분석

리스크 분석 방법은 일반적으로 변수의 입력 값에 따라 결정론적 방법과 확률론적 방법으로 분류된다. 결정론적 방법은 변수별로 확정된 하나의 값이 하나의 결과를 산출하는 방법이며, 확률론적 방법은 변수로 확률 분포 특징이 입력되어 확률분포로 결과값을 얻을 수 있다.

특히 확률론적 분석 방법은 추정하고자 하는 모델의 입력 변수의 불확실성을 나타낼 수 있다. 또한, 결과값이 평균과 분산 등 범위로 나타나며, 이를 토대로 사업에서 나타나는 리스크 변수의 영향을 계산하여 정량화가 가능하다. 결정론적 분석 방법과 다르게 통계적 특성을 파악하여 실제 현장에서 예상치 못한 변수를 고려할 수 있다.

### 2.3 국내외 연구동향

건설 리스크 분석을 수행하기에 앞서 리스크 특성을 분류하는 리스크 분류 체계가 요구된다. 프로젝트의 특징에 따라 체계적으로 리스크 요인을 분류하는 것이 중요하기 때문이다. 이러한 리스크 분류체계에 관한 연구는 국내외 건설 산업에서 다양하게 수행돼 왔다.

예를 들어 국내에서 Kim et al.[3]은 CRMS(Construction Risk Management System)에서의 리스크 확인을 위해서 공사단위나 단계별로 리스크 요소나 범위로 정의하여 리스크 분류체계를 제시하였다. Kim[4]은 실질적인 건설현장 사례연구를 통해서 총 19가지의 리스크를 도출하였으며, 제약조건과 영향인자의 상관분석을 통해 9개의 리스크 분류체계를 제시하였다. 해외에서는 Sameh[5]가 리스크 인자를 외부 리스크 요인과 내부 리스크 요인으로 분류하여 발주자, 설계자, 시공사(원도급), 하도급자, 공급업체, 정치, 사회문화, 경제, 환경, 기타로 대분류하였으며, 전문가 설문조사를 통해 42가지의 세부인자를 제시하였다. Dariusz[6]은 리스크를 재정, 경제, 정치, 제도, 기능 등으로 대구분하고 이를 5가지 기준으로 평가하였다. Sun et al.[7]은 리스크 요소를 내부적 요소와 외부적 요소로 분류하여 AHP분석을 실시함으로써 25가지의 세부적인 리스크 분류체계를 분석하였다. Nasir et al.[8]은 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 공사 기간을 예측하기 위해, 리스크 분류체계를 지리, 환경, 노무, 자재, 발주자, 설계, 정책 등 10개의 대분류와 59개의 세 분류로 구분하고 있다. Lee et al.[9]는 문헌 조사를 통해 27개의 큰 범주의 분류체계를 제시하였으며, 이를 통계 기반 자료 조사, 전문가 설문조사를 거쳐 10개의 대표적인 요인으로 도출하였다.

Table 1과 같이 기존 리스크 분석 연구는 사회·경제적, 기술·경영적, 지리·환경적 요소로 구분하여 폭넓게 제시하고 있으나, 이러한 분류체계 대부분의 리스크 인자는 정성적 평가 때문에 관련성만 언급되어 실효성이 적다. 하지만, 건설현장을 위한 높은 신뢰성을 가진 리스크 분류체계를 위해서는 정량적인 평가 및 건설 현장에 집중된 분류체계가 요구된다[11]. 이에 본 연구에서는 불확실성이 큰 건설 현장의 특성을 고려한 건설현장의 리스크 인자 분류를 위해 정량화된 사고 데이터를 활용하여 리스크 분석을 수행하고자 한다.

Table 1. Previous research analysis

Author	Risk influence factor		
	Social-econ-omic factor	Technical-man-agement factor	Geographical-env-ironmental factor
Kim et al.[3]	●	●	
Kim[4]		●	●
Sameh[5]	●	●	●
Dariusz[6]	●	●	
Sun et al.[7]	●	●	
Nasir et al.[8]	●	●	●
Lee et al.[9]		●	●
Kim[10]	●	●	●

## 2.4 몬테카를로 시뮬레이션을 활용한 확률누적분포

건설 현장의 위험을 예측하기 위해선 위험의 불확실성을 고려하는 것이 중요하다. 결정론적 방법 (Deterministic Method)에서는 입력 변수가 고정되어 불확실성을 고려하는 데 한계가 있다. 그러나 확률론적 방법 (Probabilistic Method)은 확률 분포 (Probabilistic Distribution)를 사용하여 불확실성을 통계적인 방법으로 산출할 수 있다[12]. 확률 분포는 확률 신뢰 구간 (Probability Confidence Interval) 혹은 리스크 레벨 (Risk Level)을 통해 불확실성을 나타내며, 이를 제공하기 위해 몬테카를로 시뮬레이션 (Monte Carlo simulation)이 널리 사용된다[13]. 몬테카를로 시뮬레이션은 난수를 활용하여 최솟값, 최댓값, 평균값 그리고 최빈도값 등을 통해 확률 분포를 제공함으로써 위험의 분포를 정의해 준다. 본 논문에서는 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 건설현장에서 발생하는 주요 위험 원인들의 리스크 레벨에 따른 위험의 누적 분포를 알아보고 아울러 위험의 변화량 및 변동 범위를 알아보고자 한다.

## 3. 데이터 수집

### 3.1 데이터 수집 개요

본 연구에서 사용된 데이터는 A보험사의 건설공사보험

가입자의 피해액 데이터를 표본추출 하였으며, 사고년도 기준으로 2001년부터 2012년까지 국내 건축공사에서 발생한 목적물손해(Material damage)를 가입대상으로 선정하였다. 선정된 가입대상은 건설공사보험의 약관에 따라 건설공사 중 발생하는 사고를 구분하였다.

이러한 사고원인을 국내 보험사에서는 도난, 시공결함, 화재 및 폭발, 태풍, 집중호우, 폭설, 번개, 작업자 부주의, 홍수, 진동·소음·먼지, 기계 고장, 누전, 합선 등의 전기적 사고, 기타 보상하지 않는 손해에 포함되지 않는 모든 사고까지 총 13가지로 분류하고 있다[14]. 하지만, 본 연구에서는 지급 건수가 2건 이상을 대상으로 분석하였으며, 그에 따라 Table 2와 같이 총 10가지로 사고원인을 분류할 수 있다.

Table 2. Damage cause code

Code	Damage cause	No.	Ave.
1	Stolen	4	124
2	Failure of construction	24	77
3	Fire & Explosion	22	165
4	Typhoon	38	63
5	Heavy rain	23	163
6	Heavy snow & Cold wave	2	17
7	Carelessness of worker	7	82
8	Flooding	7	120
9	Electric accident	2	23
10	Etc.	6	140
total		135	107

본 연구에서는 번개, 진동·소음·먼지, 기계 고장 및 누전은 분석대상에서 제외하였다. 제외한 이유는 지급 건수가 0 또는 1인 경우, 해당 해의 사고 빈도 및 보상금 지급액의 분산이 0으로 나타나서 시뮬레이션 모수 추정 시 오류가 발생하기 때문이다. 또한, 통계분석 시 오류를 발생시키는 다음과 같은 데이터는 제외된다고 가정한다.

- 1) 하나의 사고가 다른 사고를 유발해 각 사고 데이터 간의 독립성이 훼손될 수 있는 경우
- 2) 사고 과정이 복합적으로 해석되어 동일한 사고의 처리 과정에서도 손해배상 금액의 차이가 생기는 경우
- 3) 한 프로젝트에서 동일한 사고 원인으로 서로 다른 가입자 간의 손해가 발생한 경우

### 3.2 데이터의 특징

기존의 연구는 안전보건공단 등의 자료를 사용하여 실제 현장의 사고 사례를 포함하고 있으나 인명 사고 위주의 사례

이고, 실제 공사목적물에 대한 사고 크기를 반영하기에는 어렵다고 판단된다. 이에 비해 본 연구에서 사용된 보험손실액은 건설현장에서 발생하는 사고원인의 정량화 연구에 유용한 데이터이다. 보험 데이터를 활용함으로써 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, 기존의 연구가 실제로 영향이 거의 없는 요소까지 포괄적으로 다루고 있는 것과 달리 실제 건설 현장의 실효성을 고려한다. 불확실성이 큰 현장의 사고 원인을 활용하여 보다 현장에 집중된 결론을 도출하고자 한다. 둘째, 본 연구의 데이터는 건설공사보험의 기본담보 대상인 목적물로 손해 대상을 한정한다. 이는 리스크 관리 대상을 한정하여 실제 현장에서 효율적인 평가 및 운영이 가능하리라 기대할 수 있다. 셋째, 기존의 안전보건공단의 데이터와 달리 확률론적 결론으로 불확실 요소에 대응해 건설 현장의 리스크 요인과 결과를 체계적으로 평가할 수 있는 자료로 활용 가능하다. 넷째, 본 연구에서 사용된 데이터는 보험회사의 건설 현장에서 발생한 보험손실액으로써 건설현장 위험 정량화 연구에 적합한 데이터라고 판단된다. 보험손실액은 보험회사의 규정화된 보상절차와 검증된 손해사정사에 의해 보상액이 지출되기 때문에 사고원인 및 발생 장소 등의 유용한 정보뿐만 아니라 실제 사고의 심도를 적절하게 반영하고 있다.

#### 4. 건설공사위험도 추정모형

##### 4.1 분석 방법

본 연구에서는 사고원인별 건설공사위험도 모형 개발을 위해 건설공사에서 발생하는 리스크 빈도 및 심도 분석을 통해 평가모형을 제시하고, 누적분포함수를 이용해 발생 확률에 따른 건설공사위험도를 분석한다. 식(1)은 리스크 분석을 수행하기 위한 함수식을 나타낸다[15]. 식(1)에서 사고원인별 발생 빈도 및 심도는 각각 추정모형을 위한 변수로 설정하여 목표지수인 건설공사위험도를 파악하고자 하였다. 여기서, 사고원인별 발생 빈도는 한 프로젝트에서 발생할 수 있는 1년간 사고 원인별 발생 빈도이며, 사고원인별 심도는 사고원인에 따라 한 사고에서 발생할 수 있는 손해액을 나타낸다.

$$R = F \times S \text{ ----- (1)}$$

여기서,

R: 건설공사위험도(Construction risk)

F: 사고원인별 발생 빈도(Damage frequency)

S: 사고원인별 심도(Damage severity)

##### 4.2 누적분포함수

본 연구에서는 수집한 데이터의 형태를 파악하고, 누적분포함수(Cumulative distribution function)를 이용하여 건설공사위험도를 추정하였다. 이를 위해 사고원인별 발생 빈도 및 심도에 대해서 파악할 필요가 있다.

###### 4.2.1 사고원인별 발생 빈도

본 연구에서 사고원인별 발생 빈도는 전체사고원인에 대한 사고원인별 비율에 사고원인별 사고 발생 확률을 곱으로 산출할 수 있다. 이에 사고원인별 발생 빈도를 파악하기 위해서 식(2)와 같은 함수를 세웠다.

$$F = A \times B \text{ ----- (2)}$$

여기서,

A: 사고원인별 사고 발생 확률

B: 전체 사고원인별 사고 발생 비율

함수에 사용되는 각각의 요인을 다음과 같이 정리하였다. 첫째, 사고원인별 사고 발생 확률을 구하기 위해 Table 3과 같이 10년간 사고 빈도 데이터를 사고원인에 따라 연도별로 기술통계 분석을 실시하였으며, 이를 Figure 1과 같이 사고원인별 확률누적분포로 나타내었다.

Table 3. Analysis of frequency by accident causes

Code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ave	0.4	2.4	2.2	3.8	2.3	0.2	0.7	0.7	0.2	0.6
Std	0.9	2.0	2.1	4.9	2.7	0.6	0.8	1.2	0.6	1.2
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	3	6	8	16	9	2	2	4	2	4

Figure 1과 같이 리스크 레벨이 낮은 경우, 사고원인별 빈도가 시공결함, 화재, 태풍, 폭우, 작업자 부주의 순으로 높게 나왔으며, 리스크 레벨이 높을수록 태풍, 폭우, 화재, 시공결함 순서대로 높게 나왔다.

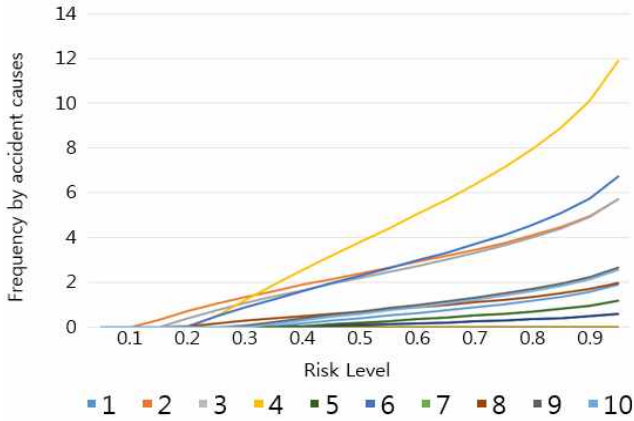


Figure 1. Cumulative distribution of frequency by accident causes

둘째, 전체 사고원인별 사고 발생 비율을 구하기 위해 Table 4와 같이 전체 사고 발생에서 각 사고원인별 사고 발생 빈도가 차지하는 비율을 구하였다.

Table 4. Occurrence rate by accident causes

Code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
rate (%)	3	18	16	28	17	1	5	5	1	4

#### 4.2.2 사고원인별 심도

사고원인별 발생 심도를 파악하기 위해 10년간 사고원인에 따른 년도 별로 손해액 데이터 분석의 필요하지만 본 연구의 데이터는 동질의 손해액 자료로 로그 정규분포가 적합하다고 판단할 수 있다[4,5].

Table 5. Analysis of ln(severity) by accident causes

Code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ave	4.1	3.9	4.0	3.4	4.1	2.8	4.0	4.5	3.1	4.0
Std	1.5	0.9	1.4	0.9	1.4	0.3	1.1	0.9	0.5	1.5
Min	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.6	2.4	3.1	2.7	2.4
Max	5.9	6.3	7.2	6.9	7.2	3.0	5.5	5.8	3.4	6.2

따라서 본 연구에서 수집한 손해액 데이터의 모형은 정규성 검토 결과, 모든 사고원인의 p-value가 0.05 이하로 누적분포함수 분석에 적합한 로그 정규분포를 따르는 것으로 나타났다. 따라서 Table 5와 같이 기술통계 분석을 수행하였다. 또한, 로그 손해액 데이터를 이용하여, Figure 2와 같이 사고원인별 전체 손해액 확률누적분포로 나타내었다.

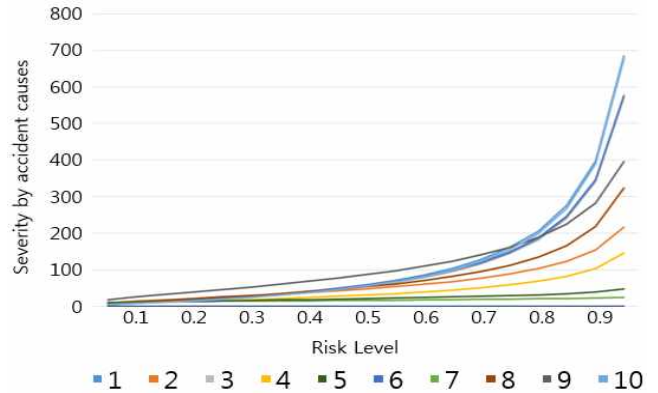


Figure 2. Cumulative distribution of severity by accident causes

리스크 레벨이 낮은 경우, 사고원인별 손해액이 홍수, 폭설, 시공결함, 전기적 사고 순으로 높게 나왔으며, 리스크 레벨이 높을수록 도난, 기타, 폭우, 화재, 시공결함 순서대로 높게 나타났다.

#### 4.2.3 건설공사위험도 빈도-심도 추정모형

상기 분석한 데이터를 바탕으로 식(1)에 따라 분석한 사고원인별 발생 빈도와 심도를 이용하여 확률누적분포를 그래프로 나타내었다. 분석결과, Figure 3과 같이 리스크 레벨이 낮은 경우, 건설공사위험도가 시공결함, 태풍, 폭우, 홍수, 화재 순으로 높게 나왔으며, 리스크 레벨이 높을수록 폭우, 화재, 태풍, 시공결함, 기타가 높은 것으로 분석되었다.

위 분석한 확률누적분포는 건설 프로젝트에서 발생할 수 있는 손해분포에 대해서 파악할 수 있으나, 향후 건설공사의 리스크를 분석할 때 적절하게 사고원인별 특성을 반영하는 데에는 한계가 있다. 따라서 몬테카를로 시뮬레이션을 통해서 사고원인별 확률분포를 분석하였다.

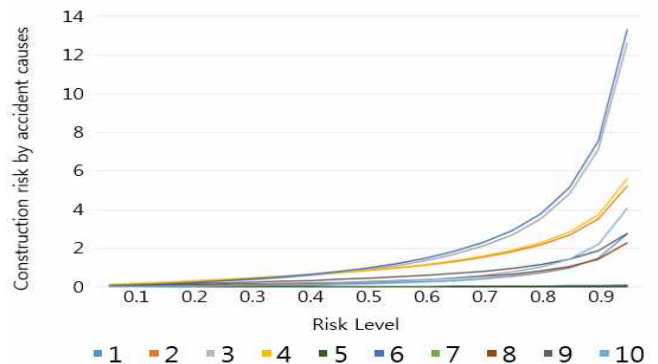


Figure 3. Cumulative distribution of construction risk

Table 6. Descriptives analysis of simulation results by accident cause

Statics	Theft	Failure of Construction	Fire & Explosion	Typhoon	Heavy rain	Heavy snow & Cold wave	Carelessness of Worker	Flooding	Electric accident	Etc
Trial	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Mean	0.3	1.8	1.7	2.9	1.7	0.2	0.5	0.5	0.2	0.5
Median	0.2	1.1	1.0	1.7	1.0	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3
Standard Deviation	0.4	2.5	2.2	3.9	2.3	0.2	0.7	0.7	0.2	0.6
Variance	0.2	6.0	5.1	15.1	5.5	0.0	0.5	0.5	0.0	0.4
Skewness	5.47	5.47	5.47	5.47	5.47	5.47	5.47	5.47	5.47	5.47
Kurtosis	55.01	55.01	55.01	55.01	55.01	55.01	55.01	55.01	55.01	55.01
Coeff. of Variability	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maximum	6.7	40.2	36.9	63.7	38.6	3.4	11.7	11.7	3.4	10.1
Mean Std. Error	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4.2.4 사고원인별 확률분포

건설공사의 잠재 위험 분석을 위해서는 다양한 피해 원인의 불확실성을 참작할 수 있는 확률론적 분석이 필요하다. 그래서 본 연구에서는 위험요인의 확률분포 및 리스크 레벨별 위험의 발생 확률과 위험의 발생 빈도를 몬테카를로 기법

을 통해 시뮬레이션해 보았다. 몬테카를로 기법을 통해 확률 (Probability)과 무작위 수 (Random Number)를 사용하여 객관적 자료를 분석하여 사고원인별 계량적 분석 결과를 도출하였다.

본 연구에서 시뮬레이션은 식(1)을 근거로 건설공사위험

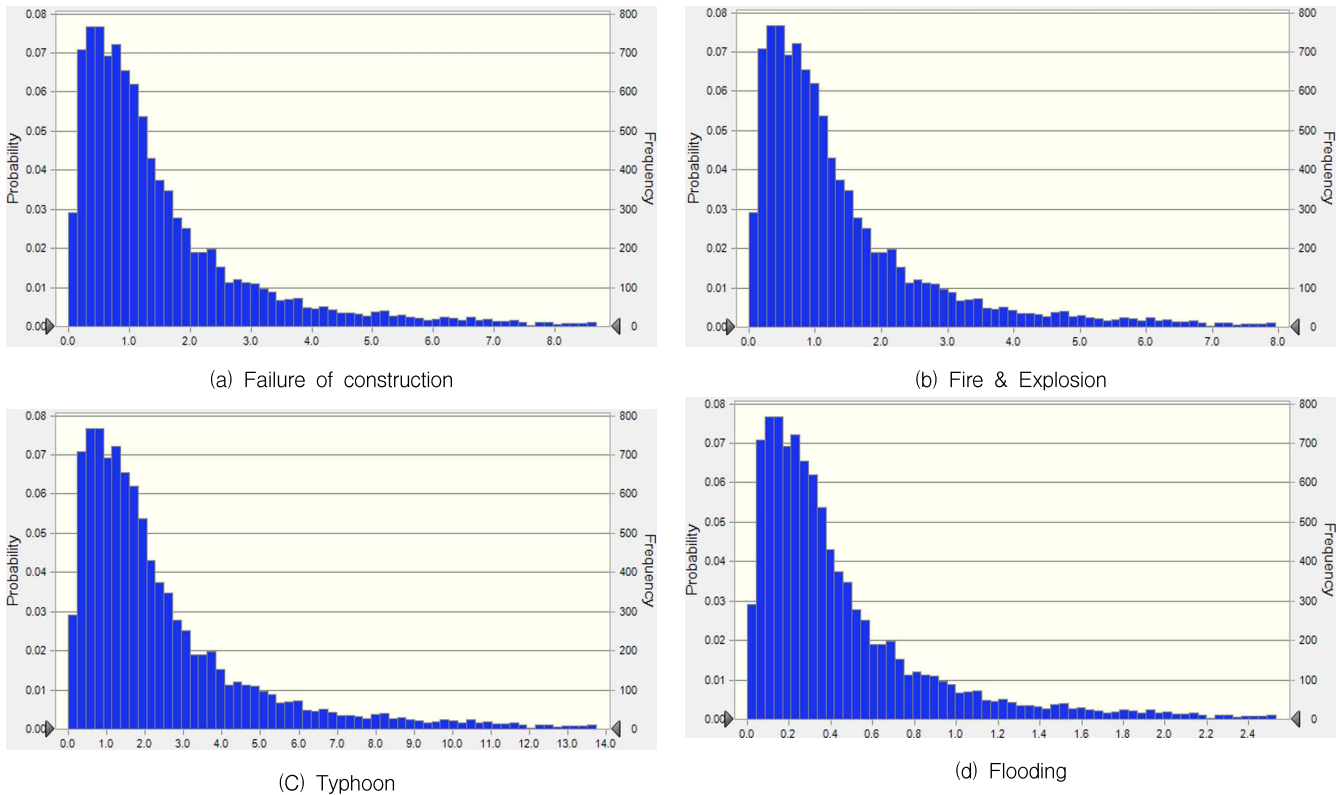


Figure 4. Simulation results for key damage causes

도를 추정된 확률누적분포의 리스크 레벨을 0~1 사이의 난수로 주어진 삼각분포에 따라 이용하였으며, 실험결과 추출을 10,000회 반복하여 역함수를 취득하였다.

도난, 시공결함, 화재 및 폭발, 태풍, 집중호우, 폭설, 작업자 부주의, 홍수, 합선 등의 전기적 사고, 기타 보상하지 않는 손해에 포함되지 않는 모든 사고에 대한 건설공사위험도를 시뮬레이션해본 결과의 기술통계는 Table 6과 같다.

Figure 4는 주요 사고원인의 히스토그램(Histogram)으로 확률변수의 분포를 나타낸다. X축은 피해 원인의 위험도(피해 발생 빈도 × 피해 발생 심도)를 나타내고, Y축은 발생 확률(Occurrence Probability)를 나타낸다. 이를 통해 피해 원인별 확률 분포 및 위험도의 변화, 아울러 각 피해원인별 상대적 위험도를 추정해 볼 수 있다. 예를 들어, 건설공사 위험도 평균 비교를 통해, 상대적으로 위험이 가장 큰 것은 태풍(2.9), 시공결함(1.8), 폭우(1.7), 화재 및 폭발(1.7) 등의 순으로 나타났다. 위험도의 표준 편차를 통해 위험도의 변화폭을 알 수 있는데, 결과에서는 태풍(3.9), 시공결함(2.5), 폭우(2.3), 화재 및 폭발(2.2) 순으로 위험의 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 히스토그램의 우측 왜도 분포(Positive Skew, large tail to the right)는 위험의 발생이 낮은 집단(lower boundary)에 많이 분포한다는 것을 잘 보여준다.

또한, 히스토그램 꼬리의 길이는 고위험의 발생률을 보여 주는데, 예를 들어 홍수의 꼬리 길이는 사고원인 중 가장 긴데 이것은 홍수가 타 사고원인보다 고액 사고의 발생률이 높음을 나타내며, 반대로 전기적 사고는 사고원인 중 꼬리가 가장 짧는데 이는 전기적 사고가 타 사고 원인에 비해 고액 사고의 발생률이 낮음을 보여준다. 이러한 연구 결과들은 향후 정량적 위험관리 및 위험관리 연구를 위한 기초 자료가 될 것이다.

## 5. 결 론

최근 산업기술 발달로 리스크 관리에 대한 관심이 제고되고 있다. 특히 건설 산업은 리스크 관리가 반드시 필요한 분야로 다양하게 연구되고 있지만, 건설 프로젝트의 특성상 복합적으로 발생하는 모든 불확정 요소를 파악할 수 없다. 이에 본 연구에서는 확률론적인 시뮬레이션 방법으로 접근하여 건설 공사 현장의 사고원인 분석을 수행하였다.

이를 위해서 A보험사의 건설공사보험 가입자의 피해액 데이터를 표본추출 하였으며, 건설공사 위험도 산정 식을 적용하였다. 모델의 입력 변수에 불확실성을 내포하기 위해 사고 발생 빈도, 심도 및 건설공사위험도를 Figure 1,2,3과 같이 확률누적분포를 통해 나타내었으며, 각각의 사고 원인별 확률분포의 특징을 다음과 같이 리스크 레벨에 따라 분석해보았다.

- 1) 사고원인별 빈도가 시공결함, 화재, 태풍, 폭우, 작업자 부주의 순으로 높게 나왔으며, 리스크 레벨이 높을수록 태풍, 폭우, 화재, 시공결함 순서대로 높게 나왔다.
- 2) 사고원인별 평균 손해액은 리스크 레벨이 낮은 경우, 사고원인별 손해액이 홍수, 폭설, 시공결함, 전기적 사고 순으로 높게 나왔으며, 리스크 레벨이 높을수록 도난, 기타, 폭우, 화재, 시공결함 순서대로 높게 나타났다.
- 3) 건설공사위험도는 리스크 레벨이 낮은 경우, 건설공사 위험도가 시공결함, 태풍, 폭우, 홍수, 화재 순으로 높게 나왔으며, 리스크 레벨이 높을수록 폭우, 화재, 태풍, 시공결함, 기타가 높은 것으로 분석되었다.

상기 분석은 실제 사례를 토대로 분석한 결과이며, 사고 원인에 따른 모델을 최적화하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소모되는 점을 극복하기 위해 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 각 사고 원인별로 10,000회의 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었으며 이를 이용하여 히스토그램을 작성하였다. 각각의 사고 원인별 히스토그램 분석을 통해 발생 확률 대비 사고 심도로 평가가 가능하고, 이를 통해 사고원인별 정량화된 예측이 가능하다.

아울러, 사고원인별 통계 분석에서 태풍(2.9), 시공결함(1.8), 폭우(1.7), 화재 및 폭발(1.7) 순으로 평균손실액이 나타났으며, 이는 건설현장에서 발생하는 사고 원인별 심도를 판단할 수 있다. 또한, 표준편차는 태풍(3.9), 시공결함(2.5), 폭우(2.3), 화재 및 폭발(2.2) 순으로 나타났으며, 이는 사고 원인별 변량의 크기를 판단할 수 있다.

본 연구의 결과는 건설 프로젝트에서 리스크를 정량화하기 위한 기초 연구이며, 향후 건설 프로젝트에 대한 정량적 위험관리 모델 및 위험관리 연구를 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 아울러, 실제 건설 프로젝트에 적용하여 계획단계부터 발생 가능한 사고에 대한 피해예측 및 그에 대한 대책 마련, 공정 단계별 사고 예방 전략 수립 등에 기여할 것이다.

## 요 약

최근 건설프로젝트가 대형화·복잡화되어 감에 따라, 건설공사에서의 리스크 및 불확실성이 급증하고 있다. 증가하고 있는 건설 공사의 위험을 정량적으로 평가하고 관리 할 수 있는 모델 개발을 위해서는 위험 인자를 식별하고 위험 인자의 발생 빈도와 심도를 계량화하는 연구가 우선되어야 한다. 이에 본 연구에서는 건설현장에서 발생한 사고 데이터를 기반으로 하여 위험요인의 확률분포 및 리스크 레벨별 위험의 발생 확률과 위험의 발생 빈도를 몬테카를로 기법을 통해 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션을 통해 사고 원인의 확률 분포 및 사고 원인별 위험도를 분석하여 계량적 분석 결과를 도출하였다. 본 연구의 결과는 향후 정량적 위험관리모델 및 위험관리 연구를 위한 기초 자료가 될 것이다.

**키워드** : 건설 공사, 리스크 분석, 몬테카를로 기법, 사고원인 분석

## Acknowledgement

This research was supported by a grant (NRF-2016R1A2B4009909) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

## References

1. Kim JH, Park DJ, A study on the review of risk concepts. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2013 Oct;28(6):90-6.
2. Park JB, Cho Y, Kwon KB, Paek JH, Feasibility analysis model study of realstate development: focused on construction project development of apartment and stores. *Journal of the Architectural Institute of Korea (Structure & Construction)*. 2008 Mar;24 (3):179-86.
3. Kim CH, Kang LS, Park HT, Development of a risk management procedure model for the construction project using construction risk management system. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 2010 July;30(4D):423-32.
4. Kim JH, A study of the risk reflection on the expansion of construction insurance. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2010 Jun;10(3):99-111.
5. Sameh MES, Risk assessment and allocation in the UAE construction industry. *International Journal of Project Management*. 2008 May;26(4):431-8.
6. Dariusz S, Identification and initial risk assessment of construction projects in poland. *Journal of management in engineering*. 2008 Jul;24(3):120-7.
7. Sun Y, Fang D, Wang S, Dai MD, Lv X, Safety risk identification and assessment for Beijing olympic venues construction. *Journal of Management in Engineering*. 2008 Jan;24(1):40-7.
8. Nasir D, McCabe B, Hartono L, Evaluating risk in construction-schedule model :Construction schedule risk model. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2003 Oct;129(5): 518-27.
9. Lee HS, Kim HS, Park MS, Teo EAL, Lee KP, Construction risk assessment using site influence factors. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2012 May;26(3):319-30.
10. Kim KS, A Study of the risk reflection on the expansion of construction insurance [dissertation]. [Seoul (Korea)]: Han-yang university; 2009. 59 p.
11. Lee HS, Kim HS, Park MS, Lee KP, Lee SB, Construction risk assessment methodology using site risk influence factors. *Journal of Construction Engineering and Project Management*. 2009 Nov;10(6):117-26.
12. Muga H, Mukherjee A, Mihelcic J, An integrated assessment of the sustainability of green and built-up roofs. *Journal of Green Building*. 2008 Mar;3(2):106-27.
13. Kim TH, Choi JS, Park YJ, Son KY, Life cycle costing: maintenance and repair costs of hospital facilities using monte carlo simulation. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2013 Dec;13(6):541-8.
14. Yu YJ, Son KY, Kim JM, Risk analysis using construction insurance claim payouts. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2016 Aug;16(4):349-357.
15. Project Management Institute, Project management body of knowledge. 5th ed, Pennsylvania: Project Management Institute; 2013. Chapter 11, Project risk management; p. 309-53.