

확률론적 기법을 활용한 건설현장 외부 인명피해 정량화 모델 개발

Quantification Model Development of Human Accidents on External Construction Site by Applying Probabilistic Method

하 선 근¹

김 태 희²

손 기 영³

김 지 명⁴

손 승 현^{5*}

Ha, Sun-Geun¹

Kim, Tae-Hui²

Son, Ki-Young³

Kim, Ji-Myong⁴

Son, Seung-Hyun^{5*}

Master's course, School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 44610, Korea ¹

Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea ²

Assistant Professor, School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 44610, Korea ³

Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea ⁴

Doctor's course, Department of Architectural Engineering, Kyung Hee University, Yongin-Si, Gyeonggi-Do, 17104, Korea ⁵

Abstract

The researches have only conducted regarding construction safety management and risk on interior construction site(workers) and is insufficient about the exterior construction site(third party). As a result, ordinary people who were near construction sites have injured and hold a negative view when they think about the construction industry because construction industry have been exposed to them having a high accidents rate through media. In addition, the importance of industrial disaster prevention is emphasized at this point in time, the overall safety management system should be constructed with considering construction site external(third human) for improving the negative image of the construction industry among ordinary people. Therefore, the objective of this study is to develop the quantification model of human accident utilizing the insurance claim payout occurred construction site exterior(third party). In the future, it can be used as a reference for developing the safety management checklist in construction site interior·exterior and development for forecasting control system of human accident.

Keywords : third party insurance payout, human accident, monte carlo simulation, quantification risk.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설기술 및 경제가 발전함과 동시에 근로자들의 안전의식 중요성은 대두되고 있다. 이미 낮은 수준의 산업재해

율을 유지하고 있는 선진국의 경우, 안전관리란 비용(Cost), 일정(Schedule), 품질(Quality)관리를 수행함에 있어 중요한 요인으로 인식하고 있다. 하지만, KOSHA(Korea Occupational Safety & Health Agency)의 산업재해보고서에 따르면, 국내 건설업의 재해율은 2013년 23,349명에서 2017년 25,649명으로 매년 증가하고 있다[1]. 이는, 안전의식의 중요성이 증가한 만큼 안전관리수준도 향상 되어야 하지만 역동적으로 변화하는 건설업의 작업환경의 특성상 체계적으로 수행하지 있지 못함을 의미한다.

Go et al.[2]은 국내의 재해사례 분석하고 공중별 위험확률등급 표시하여 재해사례를 통합적으로 운영해야한다고 하

Received : October 8, 2018

Revision received : October 25, 2018

Accepted : November 22, 2018

* Corresponding author : Son, Seung-Hyun

[Tel: 82-31-201-3685, E-mail: seunghyun@khu.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

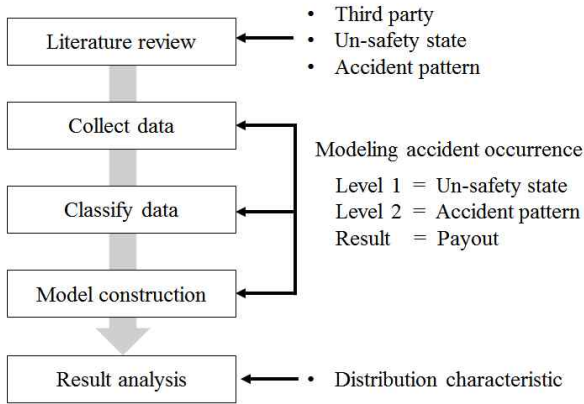


Figure 1. Methodology

였으며 Lee and Lee[3]은 중대재해의 대폭적인 감소를 위해서는 건설근로자의 재해 현황과 재해 원인을 분석하여 위험요소들을 분석할 필요가 있다고 보고하는 등 많은 연구자들이 안전관리체계 개선에 대해 언급하고 있다. 하지만, 연구자 및 정부산하기관에서 수행된 연구 및 보고서들은 건설현장에서 실제로 작업하는 근로자에 한해서 수행하였으며 공사현장 외부(제3자 인명사고 원인)에 대한 안전관리 연구는 미비한 실정이다[1,4,5,6]. 그 결과, 건설현장 주변의 일반인들이 피해를 받고 있으며 산재다발이라는 부정적인 이미지로 언론이나 일반대중들에게 투영되고 있다[7]. 일반대중들에게 부정적인 이미지를 탈피하고 건설업의 산업재해예방에 대한 중요성이 강조된 현 시점에서는, 건설현장 내부에만 집중되어있는 기존의 안전관리가 아닌 건설현장 외부에 대해서도 고려된 종합적 안전관리체계를 구축할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는, 실제 건설현장 외부에서 안전관리 미흡으로 발생한 인명사고 보상지급액(제 3자 대인 손해배상액) 데이터를 활용하여 건설현장 외부의 인명피해 리스크 정량화 모델 구축을 수행하고자 한다. 본 연구는 건설현장 내·외부 안전관리 매뉴얼 개발 기초연구로 수행되었으며 향후 참고자료로 활용될 것으로 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 절차

본 연구는 건설현장 외부에 대한 인명사고(제3자 대인) 정량화 모델을 개발하는 것이다. 이를 위해, 5가지 단계를 수행하였으며 다음 Figure 1과 같이 나타내었다. 첫째, 건설현장에서의 불안정한 상태와 인명사고 발생형태의 의미를 정의하기 위해 국내외 선행연구들을 고찰한다. 둘째, A 보험

사를 대상으로 국내 건설현장 외부에서 발생한 제3자 대인 손해배상액 데이터를 수집한다. 이때, 건설현장외부란 건설공사로 인해 발생하는 소음을 줄이고 안전사고를 예방하기 위해 설치하는 가설올타리(펜스 및 방음벽)를 기준으로 외부를 말한다. 셋째, 수집된 데이터의 사고내용을 분석하여 불안정한 상태(Level 1)와 인명사고 발생형태(Level 2)를 분류한다. 넷째, 제 3자 인명피해 리스크를 정량적으로 분석하기 위하여 리스크 정량화 모델을 구축하고 불안정한 상태, 인명사고 발생형태별 사고발생 확률과 손해배상액의 확률분포를 제시한다. 다섯 째, 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 도출된 사고형태별 분포결과를 분석한다.

2. 이론적 고찰

2.1 건설공사보험

건설공사보험이란 토목 및 건설공사의 발주자, 시공자 등 모든 이해관계자가 사전에 인지하지 못한 사고로 인해 공사 목적물, 자재 및 가설물, 공사용 중장비 등에 발생한 물적 손해와 제 3자에 대한 대인, 대물 배상책임손해를 종합적으로 보상받을 수 있는 보험이다. 제 3자란 보험자(노동부장관, 근로복지공단, 건설공제조합 등), 보험가입자(사업주), 피보험자(사업주 소속 근로자), 보험수입자(피재근로자, 유족)의 관계가 없는 자를 말한다.

일반적으로 보험사는 대수의 법칙을 적용하여 리스크 분석을 수행하고 있으며 이를 위해 건설현장에서 발생한 손해액 데이터를 지속적으로 수집하고 있다. 하지만, 건설기업은 산업재해로 발생할 수 있는 보험료 상승, PQ심사 시 불이익 등을 방지하기 위해 공상으로 처리하고 있는 실정이다[8]. 즉, 건설현장에서 발생하는 제3자 대인 손해배상 데이터는 상당히 제한적이라는 것을 의미한다. 이에 본 연구에서는 14년간의 데이터를 수집하였으며 건설현장의 제 3자 인명피해 리스크를 정량화하기 위해 제3자 대인 손해배상액을 대상으로 분석을 수행하고자 한다.

2.2 건설산업의 제 3자 손해배상액 관련 선행연구

BR(Business Roundtable)은 건설산업에서 안전사고가 발생함에 따라 발생하는 피해비용을 연구하였으며 건설산업 전체 금액의 6.5%를 차지한다고 보고하였다[9]. Everett and

Frank[10]은 시대가 변화하면서 손해보상액이 급격히 증가하였고 제 3자 손해배상 또한 수없이 많아진 것을 고려하여 BR(Business Roundtable)[9]의 연구를 개선하였다. 이를 위해, 사고와 부상에 대한 총비용을 재점검하고 WCI(Wokers' Compensation Insurance), OH&P (Overhead and Profit) 등 다양한 제약조건에 따라 직접비용과 간접비용을 산출하였다. 그 결과, 안전사고로 인해 발생하는 비용은 제약조건에 따라 건설산업 전체 비용의 7.9%~15.0% 증가하는 것으로 나타났다. Hinze and Appelgate[11]은 안전관리분야 전문가와의 인터뷰를 통해 100건의 사고 중 1건은 제 3자 손해배상 클레임이 발생할 것이라고 예측하였다. 또한, 안전사고로 인해 건설프로젝트에 미치는 영향력을 파악하기 위해 보험 청구비용을 정량화하였으며 그 결과, 근로자의 부상은 의료비와 같은 직접비용이 519.14달러, 작업손실 및 지연과 같은 간접비용 6,909.98달러로 나타났으며 제 3자의 경우, 직접비용이 442.4달러, 간접비용이 1,613.21달러로 나타났다고 보고하였다.

이와 같이, 제 3자에 손해배상액에 대한 연구들은 프로젝트 사업비용과 건설산업 전반에 미치는 영향력에 한정되어 있다. Hinze and Appelgate[11]의 경우, 제 3자를 대상으로 직접비용과 간접비용을 정량화하였으나 20건의 데이터만을 활용하였다는 한계가 있다. 제 3자 인명사고 리스크를 보다 체계적으로 정량화하기 위해서는 안전사고의 원인(Level 1)과 그에 따른 인명사고 발생형태(Level 2)을 고려하여 영향력(Impact)을 분석할 필요가 있다.

2.3 몬테카를로 시뮬레이션

건설프로젝트 내에 존재하는 리스크는 복잡화·다양화 되고 있다. 또한, 새로운 리스크들이 생성되고 있으며 사전에 인지하지 못하는 다양한 불확실성(Uncertainty)도 존재한다. 이에 리스크 예측모델을 구축 시, 변수 간의 관계가 확실히 정립되어 예측치를 정확하게 찾을 있는 확정론적 모형(Deterministic model)보다는 확률론적 모형(Probabilistic model)을 적용해야 한다. 즉, 건설프로젝트 수행 중 발생하는 인명피해의 빈도, 손해배상액은 하나의 값을 가지는 것이 아니라 분포로 나타남으로써 확률론적인 방법으로 수행해야 한다는 것을 의미한다.

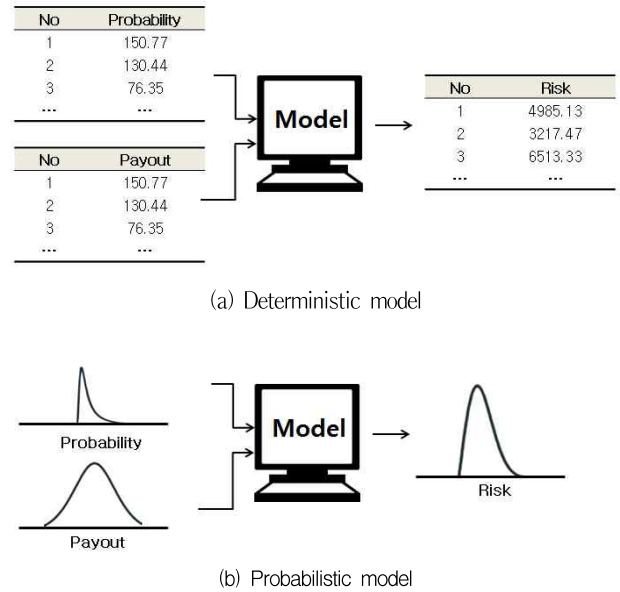


Figure 2. Analytical approach

확정론적 모형과 확률론적 모형의 해석방법은 차이가 있으며 다음 Figure 2와 같이 도식화하였다. 확정론적 모형(a)은 방정식으로 모델을 구축하고 수학적으로 풀어서 분석적 해(Analytic solution)를 도출한다. 반면에 확률론적 모형(b)는 결과값을 정확하게 예측할 수 없는 모형임으로 수치적인 방법으로 해를 찾는다. 수치적인 방법이란 확률모형의 모수나 변수에 대해 일련의 난수(Random number)를 생성하여 반복적으로 시뮬레이션을 수행하는 방법을 말한다. 예측치를 근사적으로 구할 수 있으며 이와 같은 분석방법을 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)이라 한다[12].

몬테카를로 시뮬레이션을 통해 예측된 값은 평균값과 분산을 가지는 확률분포로 도출된다. 분석방법으로는 평균값, 표준편차, 최대값 등의 분석방법이 있다. 이와 같은 분석방법을 통해 인명피해 리스크들을 정량화 할 수 있고 다양한 환경속에서 어떻게 변화하는지 예측할 수 있기에 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하고자 한다.

3. 데이터 수집

3.1 분석요인 정의 및 모델 설정

Heinrich[13]의 도미노 이론에 의하면, 사고발생은 사회적 환경, 개인적인 결함, 불안정한 행동 및 상태, 사고, 상해 순으로 발생한다고 하였다. 여기서 불안정한 상태란 ‘작업

장 환경, 기계설비, 작업방법의 결합 등과 같이 기계적, 물리적인 위험요소가 존재하는 것', 사고는 '불안전한 행동 및 상태가 직접적인 원인이 돼서 고의성이 없이 일어난 인적, 물적인 손실을 가져올 수 있는 사건', 상해는 '사람의 사망, 부상, 건강의 장애 등 사고의 결과로서 일어나는 상해'를 말한다.

본 연구의 목적은, 실제 건설현장 외부에서 안전관리 미흡으로 발생한 인명사고 보상지급액(제 3자 대인 손해배상액) 데이터를 활용하여 사고원인분석(Level 1), 인명사고 발생형태(Level 2)에 대한 정량화 모델을 개발하는 것이다. 이를 위해서는 선·후행요인과 결과요인을 정의하고 사고발생 및 분석 모델을 설정해야한다. 하인리히 이론에 입각하면, '건설현장에서의 안전관리 미흡'은 불안정한 상태(선행요인)로, '인명사고'는 사고(후행요인)로, '인명사고 보상지급액(제 3자 손해배상액)'은 상해(결과요인)로 정의할 수 있다.

불안전한 상태는 KOSHA의 산업재해 기록 분류에 관한 지침(KOSHA Guide G-08-2006)에 명시한 불안정한 상태 기준을 적용하였다. A-1) 물체, 기계기구 등의 취급상 위험, A-2) 방호조치의 부적절, A-3) 작업통로 등 장소불량 및 위험, A-4) 작업환경의 부적절과 같이 4가지로 분류하였으며 각 정의는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Un-safety state definition (Level 1)

Code	Level 1	Definition
A-1	Danger of object or equipment when it is handled	Storage and load of object, assembling faulty state or handle equipment or classify specific danger when it's used
A-2	Unsuitableness of defense	Protection device's faulty or omission, classify condition faulty of the establishment, omit the safety sign or defense measure
A-3	Danger and untidy in working place such as working passage	Classify danger factor such as faulty of passage, work plate, working, work site
A-4	Un-suitableness of working environment	Classify natural environmental danger factor such as toxic substance, noise and vibration, heat and cold wave, heavy rain and snow, typhoon

현재 KOSHA에서는, 인명사고 발생형태의 의미를 산업

재해 기록 분류에 관한 지침과 산업재해원인조사 보고서에 따라 서로 상이하게 정의하고 있다. 이에, 인명사고 발생형태의 개념을 명확하게 정의할 필요가 있으며 본 연구에서는 산업재해원인조사 보고서에서 명시하고 있는 정의를 적용하였다. 발생형태에 대한 정의는 Ha[12]의 연구에서와 같이 B-1) 넘어짐 : 사람이 미끄러지거나 넘어짐, 발을 헛디딤, B-2) 떨어짐 : 사람이 높은 곳에서 추락, B-3) 깔림 및 뒤집힘 : 물체가 경사, 평지, 계단, 경사로 등에서 구르거나 전복, B-4) 부딪힘 및 물체에 맞음 : 사람 혹은 물체와 충돌, 떨어지거나 날아오는 물체에 맞는 경우, B-5) 무너짐 : 설치된 구조물이나 적재된 물품이 무너지면서 다치는 경우로 정의하였다. 부딪힘과 물체에 맞음은 각 정의가 있으나 사고내용을 분석한 결과, 두 가지 사고발생형태가 상호작용을 하는 경우가 많아 그룹화 하였다.

3.2 데이터 수집

A보험사를 대상으로 2001년부터 2014년까지 14년 간 건설현장에서 발생한 인명사고 및 보상지급액 데이터 138개를 수집하였다. 그 중 사고원인에 따른 인명사고 발생형태 데이터 수가 0 또는 1개인 종류는 제외하였으며 138개의 데이터를 선정하였다. 이는 사건발생수가 0,1개인 변수를 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 확률분포 가정할 시, 각 변수의 분산이 0으로 도출됨으로 확률분포를 정의할 수 없기 때문이다[14]. 이에, 안전관리 미흡으로 인한 인명사고 발생건수가 2건 이상인 138개의 데이터를 선정하였으며 Level 1과 Level 2에 따라 분류하면 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Defined risk codes

Risk code	Definition
1	Slip when person handles equipment
2	Pin or overturning when person handles equipment
3	Impact or graze when person handles equipment
4	Slip due to unsuitableness of defense measure
5	Fall due to unsuitableness of defense measure
6	Pin or overturning due to unsuitableness of defense measure
7	Impact or graze due to unsuitableness of defense measure
8	Crumble due to unsuitableness of defense measure
9	Slip at danger working place
10	Fall from danger working place
11	Pin or overturning at danger working place
12	Impact or graze at danger working place
13	Crumble at unsuitableness working place

4. 리스크 정량화 모델 구축

건설현장 외부의 인명사고 위험도를 정량화하기 위해 식 (1)과 같은 함수식(모델)을 설정하였다. 건설현장 외부의 인명사고 발생 확률(O)은 Level 1과 Level 2를 고려한 사고 Code별 사고발생확률을 말하는 것이며, 인명사고 발생형태별 보상지급액(P)은 사고 Code에 따라 발생하는 인명사고 손해배상액을 말한다. 이 두 가지 변수는 인명사고 위험도를 산출하기 위한 확률모형의 입력변수로 작용한다.

$$R = O \times P \text{ ----- (1)}$$

R = 인명사고 위험도
 O = 건설현장 외부의 인명사고 발생 확률
 P = 발생형태별 손해배상액

확률분포 모형 추정 시, Crystall Ball 프로그램의 분포적합도 검사 기능을 활용하였다. 분포적합도 검사는 실제 데이터를 토대로 가장 적절한 분포형태를 결정할 수 있으며 A-D 통계량이 1.50 미만, P-value가 0.05 이상으로 도출되면 통계적으로 유의하다고 볼 수 있다[15]. 이때, 검정방법으로는 Anderson-Darling을 적용하였다.

4.1 사고발생 확률분포

몬테카를로 시뮬레이션을 수행하기 위해선, 각 변수에 대한 확률분포가 가정되어야 한다. 다음 식(2)은 건설현장 외부의 인명사고 발생 확률(O) 분포를 가정하기 위한 함수식이며 한 프로젝트에서 100년 동안 발생할 수 있는 인명사고 확률을 나타낸다.

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

O = 건설현장 외부의 인명사고 발생 확률
 A = 한 프로젝트에서 100년 동안 발생하는 사고 빈도
 B = 불안정한 상태 비율
 C = 인명사고 발생형태 비율

4.1.1 한 프로젝트에서 100년 동안 발생하는 사고 빈도

한 프로젝트에서 발생하는 사고빈도를 분석하기 위해 프로젝트별 사고발생건수를 프로젝트 기간으로 나누어 1년에 발생할 수 있는 사고 빈도를 도출하였다. 분석 결과, 55개의 프로젝트에서 발생 빈도 0.744회, 표준편차 0.579로 나타

났다. 하지만, B와 C는 비율로써 0~1의 값을 가지며 함수식을 통한 결과 값은 0으로 수렴한다. 이에, 원활한 비교를 위하여 100년 동안 발생하는 횟수를 산정하여 분석하였으며 분포 적합도를 이용한 결과 로그정규분포(평균: 75.967, 표준편차 : 70.273, 위치 : 10.927, A-D: 0.1549, P-value: 0.942)로 나타났다.

4.1.2 불안정한 상태별 발생확률

A의 확률분포와 불안정한 상태별(Level 1) 비율을 곱하여 하나의 프로젝트에서 발생할 수 있는 불안정한 상태 빈도의 확률분포를 제시하였다. 그 결과, 작업통로 등 장소불량이 평균 56회, 방호조치의 부적절이 평균 15회로 높게 나타났다. Lee et al.[6]의 연구에서 시사하는 바와 같이, 반복형 재해에 속하는 작업통로 등 장소불량, 방호조치의 부적절로 인해 발생하는 사고를 저감시키기 위해서 관리자는 작업통로를 확보하고 시설물에 대한 대책노력을 기울여야 한다는 것을 의미한다.

Table 3. Descriptive analysis of simulation results considering level 1

Code	A-1	A-2	A-3	A-4
Ratio	4.3	20.3	73.9	1.4
Distribution	Log	Log	Log	Log
Trial	100,000	100,000	100,000	100,000
Average	3	15	56	1
Median	2	11	41	1
Standard Deviation	3	14	53	1
Variance	9	202	2780	1
Minimum	1	2	9	0
Maximum	75	394	1288	32

4.1.3 인명사고 발생형태별 확률

추정된 불안정한 상태의 확률분포와 Table 4에서 제시된 인명사고 발생형태별 비율을 곱하여 안전관리 미흡으로 인해 발생하는 인명사고 발생형태별 확률분포를 제시하였다.

평균값을 비교한 결과, Code 9번은 32.08, Code 11번은 20.46으로 나타났으며 요철부위에 대해 적절한 조치를 취하지 않거나 쓰레기 및 공사도구·자재를 방치함으로써 발생하였다. Code 7번은 5.49로 나타났으며 펜스를 제대로 조립

하지 않았거나 다년간 사용으로 인해 노후화된 펜스를 사용하여 제 3자에게 전도된 것으로 나타났다. Code 1~3번이 모두 같은 값으로 도출된 이유는 Level 2의 사고비율이 동일하기 때문이다.

Table 4. Descriptive analysis of simulation results based on considering level 1, 2

Code	Ratio(%)	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
1	33.3				
2	33.3	1.10	1.02	0.17	25.03
3	33.3				
4	7.0	3.29	3.04	0.51	84.31
5	5.8	2.75	2.54	0.43	70.52
6	4.7	2.20	2.03	0.34	56.34
7	11.6	5.49	5.07	0.85	140.64
8	3.5	1.65	1.52	0.26	42.15
9	67.4	32.08	30.00	4.94	732.834
10	4.5	1.07	1	0.16	24.47
11	84.1	20.46	19.14	3.15	467.52
12	11.4	2.76	2.58	0.43	63.11
13	100	1	1	0	32

4.2 손해배상액 확률분포

14년(2001~2014) 동안 청구된 손해배상액은 시간의 흐름에 따라 화폐가치가 상이하기 때문에 물가상승률을 고려하여 해당년도 화폐가치를 2018년도의 현재가치로 환산하였다. 이를 바탕으로 보상지급액 전체데이터에 대한 분포적합도 검정 결과, 로그정규(평균: 10.35, 표준편차 14.37, 위치: 0.85, A-D: 0.701, P-value: 0.687)로 나타났다. 즉, 손해배상액 데이터는 전반적으로 로그정규분포를 따르므로 인명사고 발생형태별 손해배상액의 분포는 로그정규분포로 가정하고자 한다.

Level 2의 Code B-1, B-3, B-4번은 데이터 수가 15개 이상으로 분포적합도 검정결과 Table 5와 같다. 하지만, Code B-2, B-4번은 데이터 수가 15개 미만임으로 수집된 데이터를 바탕으로 분포적합도 검정을 할 수 없다. 로그정규분포를 가정하기 위해서는 평균, 표준편차, 위치가 필요하다. 이에, 정규성 검증을 수행한 후 평균과 표준편차를 구하고 위치는 전체 보험비 분포의 위치로 가정하였다. 정규성 검증을 수행하는 이유는, 경험적 데이터를 토대로 확률분포를 가정할 시, 기존의 데이터가 정규성을 만족해야하기 때문이다[16]. 정규성 검정(Shapiro-Wilk) 결과, Code B-2번은 통계량 0.809, 유의확률 0.050으로 나타났다. 또한, Code B-5번도 통계량 0.801, 유의확률 0.117으로 정규성

을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나, 보상지급액이 로그정규분포의 특징을 가지고 있으므로 로그정규분포로 가정하고자 한다.

Table 5. Distribution characters of insurance payout based on accident pattern

Code	Distribution	Loc.	Ave	Std.	AD	P
B-1	Log	0.70	7.77	8.20	0.3588	0.352
B-2*	Log	0.85	16.34	17.56	-	-
B-3	Log	1.32	12.66	18.27	0.527	0.125
B-4	Log	0.88	14.79	27.76	0.209	0.842
B-5*	Log	0.85	1.66	0.65	-	-

* Distribution location is assumed to be the distribution location of total data

4.3 제 3자 리스크 확률분포

기존의 안전사고 리스크 정량화모델들은 발생빈도만을 활용하여 안전사고 발생에 따른 영향력(Impact)을 고려하지 못했다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는, 리스크 영향력을 인명사고에 따른 손해배상액을 활용하였으며 확률분포로 제시하였다. 손해배상액을 확률분포로 제시한 이유는 손해배상액이 하나의 값을 가지는 것이 아니라 부상의 정도에 따라 손해배상액이 상이하기 때문이다.

Table 6. Descriptive analysis of simulation results based on quantified risk

Code	Average	Standard deviation	Kurtosis	Minimum	Maximum
1	17.51	31.61	326.92	0.20	1,882.48
2	4.53	5.00	76.61	0.36	169.90
3	7.99	13.82	494.39	0.25	967.99
4	22.20	24.84	64.54	1.12	737.46
5	29.52	46.94	851.91	0.77	4,255.23
6	49.31	100.33	190.29	0.62	3,967.31
7	99.32	148.04	142.70	2.09	7,126.79
8	2.75	2.91	106.73	0.26	137.79
9	214.23	364.27	184.29	6.50	15,701.26
10	32.29	55.06	2,745.00	0.44	7,070.23
11	257.81	441.00	219.46	4.69	22,182.88
12	13.04	18.76	294.67	0.51	1,050.14
13	4.59	6.89	343.72	0.18	430.44

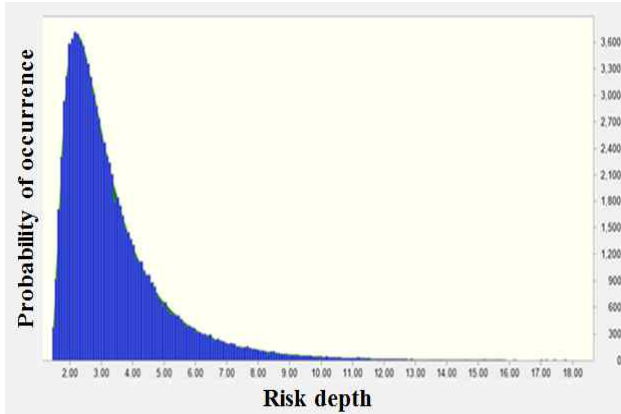


Figure 3. Histogram: probability vs risk depth

발생빈도와 리스크 영향력을 고려한 리스크 정량화 모델을 바탕으로 몬테카를로 시뮬레이션을 10만번 시행한 결과, Table 6과 같이 도출되었으며 모두 로그정규분포로 나타났다. 도출된 결과 값은 리스크 위험도의 예측 값이며 Figure 3과 같이, 평균값과 분산을 가지는 확률분포로 나타난다. 또한, 히스토그램에서 X축은 심도(인명사고 발생 빈도 × 손해배상액), Y축은 확률을 의미한다.

분석방법으로는 1)평균값, 2) 표준편차와 첨도, 3) 최댓값을 활용하고자 한다. 평균값은 인명사고 리스크의 순위(중요도)를 나열하는 기준으로 사용된다. 표준편차와 첨도는 리스크별 위험도의 변화폭을 의미하며 역동적으로 작업환경이 변화하는 건설현장에서 각 리스크가 어떻게, 얼마큼 변화할 수 있는지 예측하기 위한 기준으로 사용된다. 최댓값은 고위험의 사고발생확률을 나열하는 기준으로 사용된다.

4.3.1 위험도

사고코드별 위험도는 평균값을 활용하여 비교하였다. 그 결과, Code 11(257.81), Code 9(214.23)번은 다른 사고코드보다 월등히 높은 것으로 나타났다. 반면 Code 8(2.75), Code 2(4.53), Code 3(7.99), Code 13(4.59)번은 전체 평균값 58.08보다 매우 낮은 것으로 나타났다. 이를 고려하면, 각 건설업체들은 작업통로 등 장소불량으로 인해 발생할 수 있는 넘어짐과 전도를 중점적으로 예방하는 안전관리체계를 구축해야 한다. Code 2, 3, 8, 13번의 경우에는 평균값이 매우 낮은 수치로 나타남으로써 이에 대한 체계적 안전관리 수행의 필요성은 낮지만, 안전사고를 예방하기 위해선 사전에 인지·고려해야 한다.

4.3.2 위험도의 변화폭

표준편차와 첨도를 고려하여 리스크 범위의 순위를 나열한 결과, Code 11(441.00, 219.46), Code 9(364.27, 184.29), Code 7(148.04, 142.70)번이 매우 높은 것으로 나타났다. 이에 반해, Code 8(2.91, 106.73), Code 2(5.00, 76.61), Code 13(6.89, 343.72)번은 표준편차 평균값인 96.88보다 월등히 낮은 것으로 나타났다. 이는 Code 8, Code 2, Code 13번 리스크는 공사 환경이 변화함에 따라 리스크의 범위가 유동적으로 변화할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 사고예방을 위해선 다양한 사고발생 시나리오에 대한 대응방안을 준비해야 한다.

4.3.3 최댓값

최댓값을 토대로 리스크 순위를 나열한 결과, Code 11(22,182.88), Code 9(15701.26)번이 다른 사고코드보다 매우 높은 것으로 나타났다. 반면, Code 2(169.90) Code 8(137.79), Code 13(430.44)은 최댓값 평균치인 5052.30보다 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 많은 부상자를 수반하는 대형사고 발생 시 Code 11, Code 9번에 대한 사고위험성이 높다는 것을 의미한다.

5. 결 론

본 연구는 건설현장 내부에만 집중되어있는 기존의 안전관리 아닌 건설현장 외부에 대해서도 고려된 종합적 안전관리체계를 구축하기 위한 기초연구로써 건설현장 외부(제 3자) 인명사고를 정량화를 수행하기 위해 14년 간 건설현장에서 발생한 제 3자 인명사고 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터의 사고내용을 분석하여 인명사고 발생모델을 설정하였으며 몬테카를로 시뮬레이션 모델에 입력변수로 작용하는 불안정한 상태와 인명사고 발생형태별 사고발생 확률과 의 확률분포를 제시하였다. 불안정한 상태의 사고발생 확률은 작업통로 등 장소불량이 평균 56회, 방호조치의 부적절이 평균 15회로 높게 나타났다. 여기서 인명사고 발생형태를 고려하였을 경우, Code 9번(32.08)과 Code 11번(20.46), Code 7번(5.49)이 상대적으로 높게 나타났다. 손해배상액의 경우, 데이터 수가 15개 이상이면 분포적합도 검정을 수행하였으며 15개 미만의 경우에는 분포 위치를 가정하는 방법을 적용하였다. 그 결과, 모두 로그정규분포로 나타났으며

Code B-2(15.60), Code B-3(11.49), Code B-4번이 (17.66) Code B-1(6.86), Code B-5번(1.41)보다 월등히 높은 것으로 도출되었다.

몬테카를로 시뮬레이션을 통해 도출된 결과값은 평균값과 분산을 가지는 확률분포로 나타나며 분석기준으로는 평균, 표준편차와 첨도, 최댓값을 활용한다. 평균값의 경우, Code 11(240.53), Code 9(213.01)번은 다른 사고코드보다 월등히 높은 반면에 Code 13(4.21), Code 2(3.79), Code 4(2.32)번은 매우 낮은 것으로 나타났다. 위험도의 변화폭의 경우, Code 11(560.83, 1133.2), Code 9(362.8, 153.1), Code 7(146.23, 247.6)순으로 나타났다. 최댓값의 경우, Code 11(46715.49), Code 9(14503.68)번이 다른 사고코드보다 높은 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 5가지 인명사고 발생형태에 한해서 수행되었으며 데이터 수가 15개 미만의 사고 Code는 분포형태를 가정하였다는 한계가 있다. 이에, 다양한 사고발생형태와 사고 Code별 데이터 수를 보충하여 분석하는 추가연구가 필요하다. 하지만 건설현장 외부 안전관리 계획수립 시, 분석된 13가지 사고 Code에 대해 예측 및 대응방안 계획에 기여할 것이라 판단된다.

요 약

현재까지의 건설 안전관리와 리스크에 관한 연구들은 건설현장 내부(근로자)에 한정되어 있어 건설현장 외부(제 3자)에 대한 연구는 미비한 실정이다. 그 결과, 건설현장 주변의 일반인들이 피해를 받고 있으며 산재 다발이라는 부정적인 이미지로 언론이나 일반 대중들에게 투영되고 있다. 일반 대중들에게 부정적인 이미지를 탈피하기 위해서는 건설현장 내부(공중, 건축물)에만 집중되어있는 기존의 안전관리가 아닌 건설 현장 외부(제 3자)에 대해서도 고려된 종합적 안전관리체계를 구축해야 한다. 이에 본 연구에서는 건설 현장 외부(제 3자)의 인명사고 리스크를 정량화하고 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 리스크가 어떻게 변화할 것인지 예측하고자 한다. 이를 위하여 첫째, 선행연구를 고찰하여 불안정한 상태와 인명사고 발생형태를 정의한다. 둘째, 14년간 건설현장 외부에서 발생한 제 3자 인명 손해배상액 데이터를 수집한다. 셋째, 수집된 데이터의 사고내용을 분석하여 사고 발생분석 모델을 설정한다. 넷째, 리스크 정량화 모델

을 구축하고 불안정한 상태, 인명사고 발생형태별 사고발생 확률과 손해배상액 확률분포를 제시한다. 마지막으로 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 도출된 사고 형태별 분포결과를 분석한다. 본 연구의 결과는 향후 건설현장 내·외부 안전관리 체크리스트 개발 및 인명사고 예측 관리 시스템 개발의 참고 자료로 활용될 것으로 기대된다.

키워드 : 제 3자 대인 손해배상액, 인명사고, 몬테카를로 시뮬레이션, 리스크 정량화

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. Lee HS. Current status of industrial accident occurrence in 2016 [Internet]. Seoul(Korea): Ministry of Employment and Labor; 2017 Mar[cited 2017 Apr 12]. 27 p. Available from: http://www.kosha.or.kr/cms/generate/FileDownload.jsp?content_id=370792&category_id=554&version=5.1&file_name=370792_2016.hwp
2. Go SS, Song H, Lee HM. Development of the safety information management system according to the risk index for the building construction work. *Journal of the Architectural Institute of Korea (Structure & Construction)*. 2005 Jun;21(5):113-20.
3. Lee JJ, Lee CS. Accident characteristics of aged construction workers. *Journal of the Architectural Institute of Korea (Structure & Construction)*. 2008 Mar;24(5):201-8.
4. Kim DC, Kim HJ. A plan of the accident classification system for the analysis of disaster information in construction projects. *Journal of the Architectural Institute of Korea (Structure & Construction)*. 2001 Dec;17(11):139-45.
5. Anh HS. A study on the development of the accident classification systems for construction industry. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 1996 Jun;12(6):241-54.
6. Lee JS, Hong JS, Kim JJ. A self-control safety management activity model in construction sites through analysis of success factors. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2008 Oct;8(5):109-17.

-
7. Shin WS, Son CB. Analyzing the image status of construction industry and its improvement measures. *Journal of the Architectural Institute of Korea (Structure & Construction)*. 2013 Oct;29(10):141–8.
 8. Shim KB. A study on the improvement of industrial safety effects on construction site. 1st ed, Seoul (Korea): Construction & Economy Research Institute of Korea. 2007. 124 p.
 9. The Business Roundtable. More construction for the money[Internet]. Washington D,C(USA): The Business Roundtable; 1983 Jan. Available from: <http://faculty.ce.berkeley.edu/tommelein/BRTMoreConstructionForTheMoney.pdf>.
 10. Everett JG, Frank JrPB. Costs of accidents and injuries to the construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1996 Jun;122(2):158–64.
 11. Hinze J, Appelgate LL. Costs of construction injuries. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1991 Sep;117(3):537–50.
 12. Ha SG, Kim TH, Son KY, Kim JM. Quantification model development of human accidents based on the insurance claim payout on construction site. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2018 Apr;18(2):151–9.
 13. Heinrich HW. *Industrial accidents prevention: A scientific approach*. 4th ed, New York(USA): McGraw–Hill Book; 1959. 480 p.
 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):349–57.
 15. Jornadan M. *Analyze future risk using simulation*. 1st ed, Seoul (Korea): Eretec; 2005. 549 p.
 16. Kim DG, Park JS, Lee JH. Evaluation on intersection safety with respect to signalization and left–turn treatments. *Seoul Studies*. 2008 Sep;9(3):107–18.