

# 교량 공사 프로젝트의 정량적 리스크 평가에 관한 연구

## A Study on the Quantitative Risk Assessment of Bridge Construction Projects

안 성 진\*

Ahn, Sung-Jin\*

Researcher, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea

### Abstract

The recent bridge construction projects is demanded more sophisticated risk management measures and loss forecasts to brace for risk losses from an increase in the trend of bridge construction. This study aims to analyze the risk factors that caused the loss of material in actual bridge construction and to develop a quantified predictive loss model, based on the past record of insurance payment by major domestic insurance companies for bridge construction projects. For the development of quantitative bridge construction loss model, the dependent variable was selected as the loss ratio, i.e., the ratio of insurance payout divided by the total project cost, while the independent variable adopted 1) Technical factors: superstructure type, foundation type, construction method, and bridge length 2) Natural hazards: typhoon and flood 3) Project information: construction period and total project cost. Among the selected independent variables, superstructure type, construction method, and project period were shown to affect the ratio of bridge construction losses. The results of this study can provide government agencies, bridge construction design and construction and insurance companies with the quantitative damage prediction and risk assessment services, using risk indicators and loss prediction functions derived from the findings of this study and can be used as a guideline for future basic bridge risk assessment development research.

Keywords : bridge construction, risk assessment, quantitative assessment, regression analysis

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건설 프로젝트의 사업 규모가 커지고 건설 방식이 다양화 되어감에 따라 위험요소와 더불어 리스크의 불확실 요인이 증가하고 있다. 이에 건설공사 과정에서 체계적 리스크 관리의 필요성이 지속적으로 강조되고 있으나 각 건설주체의 공

사관리 기법자체가 실무적으로 정착되지 못하고 있다[1]. 대다수 실무에서 사용하는 건설 리스크 평가는 시공업체 및 건설 관리자의 경험에 의한 주관적 정보에 의존하므로 실제 공사관리의 적용과 활용에 한계성을 가지고 있다[1-3]. 교량의 건설 중에는 다양한 사고가 발생하여 인적 물적 피해를 초래한다. 교량의 건설은 다양한 형태의 리스크에 노출되어 있으며 하천, 강, 협곡 등의 환경조건과 고공의 작업으로 인하여 다른 건설현장보다 위험도가 높다고 볼 수 있다. 또한, 교량 건설은 설계 및 신기술의 발달로 장대화되는 추세이며, 이에 따라 작업공정의 복잡화에서 비롯한 리스크 요인 증가의 결과로 교량 공사 프로젝트의 건설재해 발생에 의한 광범위한 손실을 초래할 수 있다. 일반적 건설 산업은 부족한 정보를 바탕으로 의사결정을 해야만 하며, 이러한 불확실

Received : December 20, 2019

Revision received : January 21, 2020

Accepted : January 31, 2020

\* Corresponding author : Ahn, Sung-Jin

[Tel: 82-61-450-2457, E-mail: sungahn@mokpo.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

한 요인을 과학적 방법으로 분석하고 예측하여 리스크에 대비해야 한다. 건설 공사의 리스크 관리 수단은 리스크의 보유, 회피, 감소, 전가 및 분담으로 분류된다[4]. 일반적 건설 산업에서 리스크 관리는 보험가입을 통한 리스크의 전가와 더불어 위험 요인의 감소에 집중하고 있다. 이를 위해 공사 내외부의 여러 리스크 요인을 사전에 찾아 피해의 정도를 분석하여 그 원인에 따라 리스크를 분담하는 리스크 관리 수단이 필요하다[5]. 따라서, 건설프로젝트에서 활용 가능한 최소한의 정보를 바탕으로 잠재적 리스크 요소를 도출하여 손실에 대한 예측 및 분석이 매우 필요한 실정이다. 이러한 배경을 바탕으로 본 연구의 목적은 교량 공사 현장에서 준공에 이르는 과정에 내재된 리스크를 식별하고, 실제 손실데이터를 반영하여 정량화된 위험지수를 산정 및 제시함으로써 보다 체계적이고 효율적으로 리스크를 최소화하기 위한 기초자료를 제공함에 있다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 국내 보험회사의 실제 손해보상 지급금 데이터 중 교량공사 목적물 피해에 관한 내용을 토대로 교량공사의 리스크 요인을 분석하고 향후 교량 건설 손실 예측을 위한 피해예측 함수를 개발하고자 한다. 다시 말해 보상금 지급 규모를 통하여 리스크 요인을 도출하고, 도출된 리스크 요인과 프로젝트 대비 손실 비율을 각각 독립변수와 종속 변수로 선정하여 회귀분석을 실시하고 그 상관관계를 파악하였다.

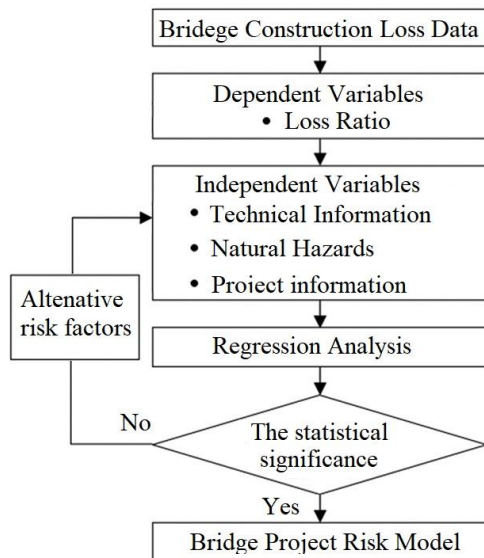


Figure 1. Study procedure

Figure1에 본 연구의 개략적 흐름을 표현하였다.

개발된 정량화 모델은 기존에 축적된 손실 데이터가 부족한 상황에서 최소한의 정보를 활용하여 향후 예측 가능한 리스크에 대한 방지대책 및 손실 보상에 대한 근거를 제공하며 정량적 리스크 모델 개발 방안을 제시한다.

## 2. 기존연구의 고찰

### 2.1 건설 프로젝트 손실 리스크 정량화

리스크 분석의 목적은 예측 가능한 리스크를 방지하고 사전에 관리하기 위하여 적절하고 효과적인 전략을 수립하기 위함이다. 다양한 분야에서 이러한 리스크의 개념에 대해 폭넓게 다루고 있으며, 리스크를 파악하고 측정하며 통제하기 위해 노력한다. 아래 Table 1은 기존 연구자들의 리스크에 대한 정의를 나타낸다.

Table1. Definition of risk in previous researches

Authors	Definition of risk
UNDHA(1992) [6]	Loss expected due to a disaster in a particular period and region.
Adams(1995) [7]	A combination of counterproductive degrees and probabilities
Smith (1996) [8]	A degree of exposure to damage or loss
Crichton(1999) [9]	Loss probability consisting of three elements: disaster, vulnerability, and exposure
Jones and Boer (2003) [10]	A combination of probabilities and consequences for potential events that cause damage

건설 산업은 사업의 복잡성과 특수성을 바탕으로 하고 있으며 다수의 프로젝트 참여자, 긴 시간과 상대적으로 큰 비용 규모로 인하여 리스크가 큰 분야로 평가되고 있다. 이러한 기술적, 전략적 복잡성은 불확실성에 근거한 위험을 야기한다[11]. 건설 프로젝트의 영역에서도 리스크 분석에 관하여 다양한 연구들이 수행되어 왔으나 리스크 평가는 여전히 논란이 되는 이슈로 남아 있다[12]. 전통적 리스크 분석 방법론은 정성적 분석의 영역에 머물렀으며 이는 리스크 예측과 정밀성의 한계를 지니고 있다. 이에 반해 정량적 리스크 평가 방법은 수학적 및 통계적 방법으로 리스크를 검토 및 분석하여 더 정교한 정확한 리스크 평가 및 예측을 기대할 수 있다. 건설 및 플랜트 산업은 보험이나 금융 등의 다른 산업에 비하여 고위험 산업임에도 불구하고 리스크 평가에 대한

태도와 적용은 다소 저조하다고 보고되고 있다[13]. Baker et al.[14]는 효과적인 정성 및 양적 위험 평가 기법을 분석하기 위해 건설·토목 회사를 조사했으며, 그 결과 개인적인 경험과 전문적인 공학적인 판단이 가장 자주 사용되는 정성적 평가 기법이라 파악하였다. Wood and Ellis[2] 또한 개인의 경험과 그 바탕에 의한 판단이 주요 리스크 평가 요소이며 위험 관리는 일반적으로 체크리스트나 조사와 같은 간단한 방법으로 수행되고 있음을 시사하였다. Dikmen et al.[3]은 건설 위험 평가 연구에서 정량적 방법보다 정성적 방법이 빈번하게 사용되었다는 것을 지적하며, 전문가 개인의 경험, 지식, 직관적 결정과 같은 주관적 평가 요소를 체계화하여 정량적 적용의 필요성을 언급하였다.

## 2.2 교량 공사 리스크

교량 공사의 리스크 요소에 대해서도 국내외에서 다양한 연구가 수행되어왔다. 그 중 주요 연구에서 교량 건설 리스크 분석을 위한 핵심 요소와 적용방법은 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Previous researches for bridge construction project

Author	Risk factors for bridge construction	Analysis method
Wang and Elhag (2007) [15]	Safety, Functionality, Sustainability, Environment	Fuzzy group decision making
Elhag and Wang (2007) [16]	Safety, Functionality, Sustainability, Environment (draw a comparison between neural networks and regression techniques)	Neural networks, regression techniques
Sea and Kang (2009) [17]	Temporary Work, Foundation work, Superstructure work (girder, slab ,deck), Substructures work(Butment, Pier)	AHP method
Decò and Frangopol (2011) [18]	Traffic loads, Environmental attacks, Scour, Earthquakes	Probabilistic evaluation of time-dependant
Hashemi et al. (2011) [19]	Change in regulations Construction permitting issues, Delayed payment on contract and extras, Design changes during construction, Insufficient technology, Pollutions and safety rules, Poor relationship among parties, Scope-related quantity increases, Shortage of labor, material, and equipment, Site management staffing	Bootstrap technique
Li et al. [20]	Economic risk, Contract and law risk, Building technology risk, Design risk, Environment risk, Staff risk, Material and equipment risk	Factor analysis
Choudhry et al. (2014) [21]	Financial risks, Contractual risks, Design risks, Health and safety risks, Management risks, Construction risks, External risks	Monte carlo simulation

다양한 연구가 교량 건설프로젝트의 위험 관리의 요인을 도출하고 정성적 데이터를 정량적으로 해석하기 위해 서로 다른 분석 방법을 사용했음에도 불구하고, 전문가의 의견 등과 같은 기초적인 정성적 데이터의 주관적 및 직관적 판단의 한계를 배제하기는 어렵다. 따라서 리스크 비용과 같이 정량화된 데이터베이스를 사용하여 위험요소와 예측모델의 검증이 필요하며, 교량건설 리스크 평가에 대하여 구체적이고 실질적 자료인 손실금액을 기준으로 한 정량적 평가가 요구된다.

## 3. 교량건설 리스크 지표

### 3.1 건설공사 보험

건설공사 보험은 토목 및 건축공사의 발주자, 시공자, 기타 공사관계자가 건설프로젝트 중에 예측하지 못한 사고로 인하여 본 공사 목적물, 공사용 자재, 공사용 장비 등에 입은 공사목적물 손해와 제 3자의 신체나 재산에 대한 배상책임손해를 종합적으로 책임지는 전위험담보 보험이다. 건설공사 보험의 가입 대상은 교량, 항만, 철도, 도로, 빌딩, 터널, 플랜트 및 수자원 관련 공사로 분류되며, 건설프로젝트의 착공시점부터 준공 후 발주자에게 양도까지 총 공사기간 동안의 리스크를 담보하게 된다. 제 3자 배상은 목적물 손해배상과 보상의 범위 및 리스크 관리요인의 차이가 있기에 본 연구에서는 그 범위를 목적물 손해에 대한 배상에 한하며, 유지관리 등에 의한 손실과 리스크는 포함하지 않는다. 본 연구에서는 교량건설 리스크 지표의 분류체계를 자연재해위험도, 프로젝트 규모, 교량 시공방법으로 구분하여 리스크 측정을 위한 요소를 파악하였다. 이에 본 연구는 정량적인 리스크 분석을 위해 2003-2017년 실제 교량공사 프로젝트의 건설공사보험 가입대상 중 목적물 손해 배상 183건을 분리하여 데이터를 수집하였다. 수집된 교량공사 데이터의 손실기록은 1) 사고내용 정보: 사고날짜 사고내용 및 주소 2) 교량 건설 프로젝트의 기술정보: 상부구조 하부구조, 가설방법 및 경간 3) 프로젝트 규모: 프로젝트 기간 및 총공사비의 세 가지 요소로 구분된다.

### 3.2 리스크 인자

수집한 교량건설 프로젝트의 손실기록 정보를 통해 분류한 리스크 지표 체계는 교량구조 형식, 자연해해요소 및 프로젝트 정보로 나누었다. 교량구조형식은 교량 상부구조,

교량경간, 하부구조와 가설방법으로 구성되었고 자연재해 요소는 홍수와 태풍을 포함하며 프로젝트요소는 공사기간과 총공사비를 포함한다.

교량 공사에 적용된 상부구조, 하부기초 가설공법의 요소는 안전성을 판단하는 것이 아니라, 구조형식을 선택한 교량 프로젝트의 기존 실제 손실 데이터를 바탕으로 해당 상부형식별 손실등급을 명목척도로 나누고 이를 통해 손실율의 변화를 파악하는데 사용되었다. 이는 기존의 실제 손실 발생 데이터를 바탕으로 통계적 유의미성을 판단함으로써 합리적 근거를 제공하기 위함이다. Table 3는 본연구에서 사용된 리스크 인자의 분류체계를 나타낸다.

Table 3. Category of risk indicator

Factor	Unit	Description	
Superstructure	Nominal scale	1: Arch 2: PSCI beam 3: Cable-stayed	
	Max span	m	Maximum span length
Engineering factor	Construction Method	Nominal scale	1: ILM 2: FCM 3: FSM 4: MSS
		Foundation	Nominal scale
Natural hazard factor	Flood	Zone	risk of flood in local area
	Typhoon	Zone	risk of Typhoon in local area
Project factor	Duration	Number	total duration of the project
	Total Cost	Number	total cost of the project

### 3.2.1 상부

교량 상부형식을 선정하기 위해서는 교량 계획 단계시 지형조건, 환경조건과 더불어 경제성 시공성 및 안전성에 대한 복합적 검토가 이루어져야 한다. 기존 연구는 경간수, 경간장, 개략공사비 등의 조건에 의하여 교량의 상부형식의 특성이 구별되고 그에 따른 최적조건의 상부구조 선정이 가능함을 제시한다[22].

국내 조달청의 입찰참가자격사전심사 기준에서는 교량 공사 시 교량등급을 분류하여 시공난이도를 A등급(현수교, 사장교), B등급(연륙교, 연도교, 해상교량, 아치교, 트러스교), C등급(경간 50m 이상 포함 교량, 1,000m 이상 일반교량), D등급(500m 이상인 일반교량) 으로 분류하여 유사실

적에 의한 평가를 하고있다.[23] 이러한 규모와 난이도에 의한 구분은 교량공사 리스크 분석의 주요 척도로 고려할 수 있다. 본 연구에서는 상부구조형식을 상부형식 특성에 따른 교량건설 목적물 보상금 분포에 의하여 아치교, PSCI교 및 사장교(Cable-stayed)의 명목척도 순으로 분류하였다.

### 3.2.2 교량 최장 경간

상부구조와 마찬가지로 교량의 길이는 PQ 심사의 난이도 등급의 기준이 되고 있으며, 또한 경간이 긴 교량의 경우 상대적으로 공기와 비용의 증가 및 풍속에 의한 영향으로 리스크가 증가 될 수 있다[24]. 본 연구에서는 50m이하, 100m이하 및 500m이하 의 기준으로 명목척도를 분류하였다.

### 3.2.3 하부 기초

집중호우 및 홍수로 인하여 단기간에 유량 및 유속이 급증하는 경우 교량 기초의 급격한 세굴은 예상치 못한 교량 붕괴사고를 초래할 수 있다. 세굴은 교량의 수명이나 안정성 유지에 중요한 요소로 작용한다[25]. 교량 건설에서 교각의 기초가 중요한 구조적 요인이며, 공사에 중대한 위험 요인과 불확실성이 존재하므로 위험도의 관리가 필요하다[26]. 이에 수집된 데이터 중 교량의 하부 기초형식 정보는 주요 리스크 요인으로 활용하여 시공 난이도와 손실 보상금의 분포의 종합적인 고려를 바탕으로 직접기초, 기성말뚝기초, 현장 타설기초 및 오픈케이스 기초의 명목척도 분류기준을 마련하였다.

### 3.2.4 가설 방법

기존 연구들은 교량의 가설 방법에 따라 구조적 안전성 최적설계 방법을 평가하였으며, 공법에 따른 하중의 영향과 경제적 설계방식의 필요성을 시사하였다[27-30]. 즉, 가설 방법에 따른 특성 및 이의 분류에 따른 리스크 분석이 필요한 것이다. Kim and Cho[31]는 교량 상부공사의 대표적 특수 공법을 ILM (Incremental Launching Method), FCM (Free Cantilever Method), FSM (Full Staging Method), 및 MSS (Movable Scaffolding System),으로 분류하여 개략공사비 산정모델에 적용하였으며, 이를 통해 상부공사 공법 특성에 따른 차이가 있음을 파악하였다. 본 연구에서는 가설공법에 따른 평균 피해손실 금액에 근거하여 ILM, FCM, FSM, MSS의 명목척도 기준으로 가설방법 분류기준을 마련하였다.

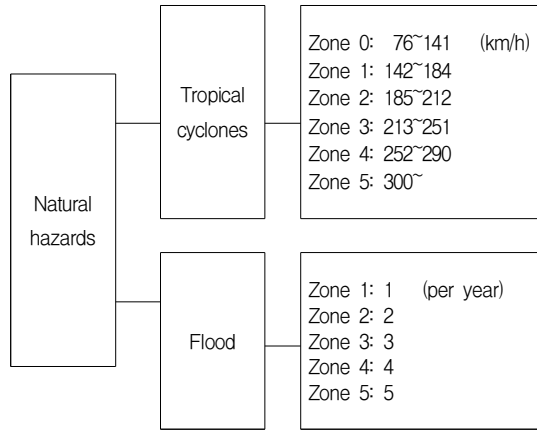


Figure 2. Natural hazards factors

### 3.2.5 기간/ 총 공사비

기존의 연구에서 프로젝트의 기간은 리스크 분석의 척도로 활용되었으며, 건설 프로젝트의 기간은 유의미한 손실율 산정의 척도가 될 수 있다[32]. 건축프로젝트의 경우 공사 기간이 길수록 손실률은 낮아진다는 결과를 확인하였다.

### 3.2.6 홍수/강우량/태풍

자연재해의 위험은 재보험사의 자연재해 평가 네트워크(NATHAN)를 이용하여 홍수, 태풍의 지표에 의해 산정되었다. 전 세계 자연 재해 지도 시스템은 홍수, 폭풍, 지진과 같은 자연 재해에 관하여 특정 장소의 특성을 정확하게 평가하기 위해 만들어졌다. 본 연구는 국내 자연 재해의 특징을 고려하여 홍수 및 태풍의 리스크를 자연 재해의 대표적인 요소로 채택하였다. 자연 재해 위험도는 각 건설 프로젝트의 위치 정보를 사용하여 수집되었다. Figure 2는 태풍 세기 정도에 따른 명목 척도와 홍수발생에 의한 명목척도의 정도를 나타낸다.

## 4. 회귀분석 및 결과

### 4.1 종속변수

교량 건설의 손실 비율로 표현하였다. 교량 건설시 사고에 의한 손실액이 상대적으로 높지 않음에도 총 공사비가 적은 경우에는 손실피해 강도가 클 수 있으며, 이에 반해 사고 손실비용이 높더라도 규모가 큰 대형 프로젝트의 경우 상대적 손실피해의 정도는 낮을 수가 있다. 이에 공사규모에 따른 객관적 손실척도를 파악하기 위하여 종속 변수는 각 사고 케이스에 해당하는 총공사 금액에 대비한 손실금액으로 표현하였으며, 이를 손실 비율이라 칭한다. 본 연구에서

는 총 296개의 교량 건설공사 프로젝트의 손실에 대한 보상 지급액과 총공사비를 활용하여 종속변수로 활용하였다. 손실 비율은 다음 식(1)로 표현된다.

$$\text{Bridge Loss Ratio} = \text{CP} / \text{TC} \text{ ----- (1)}$$

여기서, IP(Insurance Payout): 보험금 지급금액

TC(Total Cost): 총 공사금액

### 4.2 정규성 검토

본 연구는 통계적 근거 제공에 초점을 맞추고 있으므로, 샘플은 히스토그램, Q-Q플롯과 Shapiro-Wilk 테스트에 의해 정규성이 검정 되었다. 종속 변수인 손실 비율에 비하여 프로젝트의 비용이 극히 크므로 큰 양(+)의 값의 왜도로 0의 값에 치중되어 있으며 자연로그 변환을 통하여 손실비율의 데이터 분포가 정규성을 만족하도록 하였다. 또한 SW 정규성 테스트는 또한 정규 분포의 명확한 증거를 제공한다. Table 4와 Figure 3은 자연로그 변환 전후의 변환 손실비율의 분포의 비교를 나타낸다.

Table 4. Normality test of dependent value

Shapiro-wilk test						
	Statistic	df	sig.	Statistic	df	sig.
LR	.386	183	.000	Ln (LR)	.965	.084

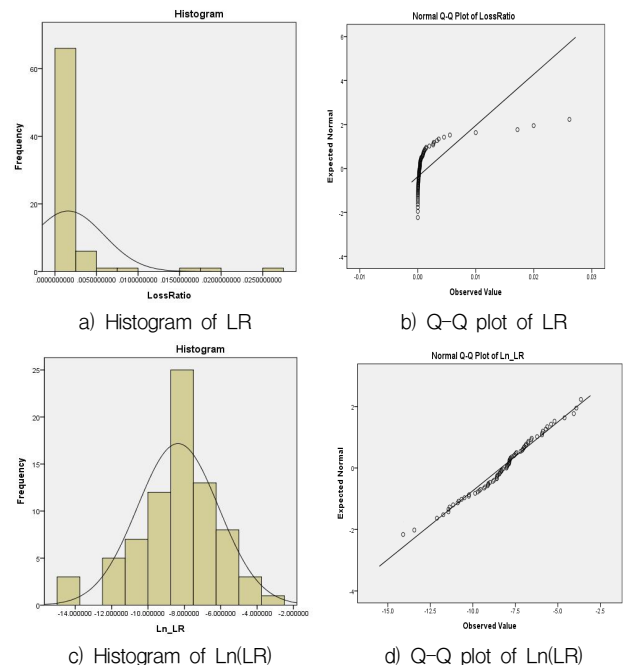


Figure 3. Normality test by histogram and Q-Q plot

본 연구에서 분석한 총 손실 건수는 183건이며 Table 5는 각 지표의 손실에 대한 기술통계량을 Table 6은 회귀분석 모형의 결과를 나타낸다.

Table 5. Descriptive statistics of the variables

Variables	Min.	Max.	Mean	Standard deviation
Dependent				
In(Loss Ratio)	3.64	14.93	8.34	2.26
Independent				
Superstructure	1.00	3.00	2.34	.75
Construction method	1.00	4.00	3.78	.59
Total duration	12.00	98.00	56.59	25.99

Table 6. Summary of the regression model

	Sum of square	df	Mean square	F	p-value	Adj. R <sup>2</sup>
Regression	63.935	3	21.312	4.924	.004	.264
Residual	379.894	180	4.328			

Table 7. Coefficients

Indicators	Coef.	Std. Error	Beta coef.	Sig.	VIF
(Constant)	2.510	1.747		.155	
Superstructure	.643	.309	.242	.027	1.006
Construction method	.222	.104	.227	.037	1.002
Total Duration	-.817	.074	-.219	.044	1.005

독립변수로는 교량 상부구조, 경간, 교량하부구조, 상부 가설방법, 태풍, 홍수, 총 공사기간, 및 총 공사비의 8개의 변수를 사용하였다. 분석결과 상부구조, 가설방법 및 공사기간의 3개의 독립변수가 교량공사 손실비율에 영향을 미치는 유의미한 지표로 확인되었다(Table 7). 또한 독립변수 중 경간, 하부구조, 프로젝트 규모는 유의확률이 0.05이상으로 손실률과 관련성이 유의미하지 않은 것으로 파악되었다. Table 6의 교량공사 손실비율의 회귀분석에서 수정된 R<sup>2</sup> 값은 0.264로, 손실률 변종 중 26.4%가 회귀모델로 설명될 수 있음을 말한다. R<sup>2</sup> 값은 회귀분석 모델의 오차율이 아닌 정확도를 의미하며 제시된 변수 외 유의미한 변수를 추가적으로 반영하면 R<sup>2</sup> 값은 증대될 수 있다.

또한 VIF값의 범위는 1.002부터 1.006 사이로 변수들 사이에 다중공선성이 없다는 것을 의미한다.

각 지표의 베타 계수의 절대값을 내림차순으로 나타내면 (1)공사기간(베타계수= -0.242) (2) 교량 상부구조 (베타계수=0.227) (3) 상부 가설공법(베타계수= 0.219)의 순으로 나타났다. 공사 기간이 긴 프로젝트일수록 손실 비율이 감소하며, 교량 상부구조형식과 가설공법의 명목척도의 변화(증가)에 따라 손실비율이 증가함을 나타낸다. 베타계수 (Beta Coefficient)는 모든 설명변수와 종속변수를 표준화하여 변환 후 측정된 계수 단위를 통일시킨 표준화된 값이기 때문에 서로 비교를 할 수 있다. 즉, 회귀계수를 표준화한 것으로 회귀계수의 중요도를 나타내며 변수의 베타 계수의 값이 높을수록 종속변수에 미치는 영향이 커진다고 판단할 수 있다.

### 5. 결론 및 고찰

최근 교량은 장대화 추세와 신공법의 도입에 따른 작업공정의 복잡화에 따른 위험요소의 증가로 교량 공사 프로젝트에서의 건설재해에 의한 손실의 발생은 지속적으로 증가될 것으로 예상된다. 교량공사는 적용공법이 다양하고, 복잡하며, 불안정한 환경 조건에서 대형 건설장비 사용과 지상 및 고소작업이 동시다발적으로 이루어지는 등 유해위험 요인이 교량공사 현장 전반에 산재하고 있기 때문에 교량공사 프로젝트에서 많은 재해가 발생한다. 건설재해는 안전시설장비, 안전지침 및 교육만으로 재해예방을 하는데 한계가 있기에 잠재적인 교량 건설재해에 의한 손실을 예측하고 대비할 필요가 있다.

본 연구에서는 실제 국내 보험회사의 손해보상 지급금 데이터 중 교량공사 목적물에 관한 내용을 토대로 교량 공사의 리스크 요인을 분석하고, 향후 교량 건설 손실 예측을 위한 피해예측 함수를 개발하고자 하였다. 과거 다양한 연구들이 건설 및 교량 공사의 리스크 요인 분석과 그에 따른 정량적 리스크 평가 방법을 제시해왔다. 그러나 상세한 실제 손실 기록에 의한 데이터의 부족 및 실제 손해기록 공개를 주저하는 건설사의 경향 등의 이유로 인해, 전문가의 설문을 바탕으로 한 분석이 수행되며 이러한 기초적인 정성적 데이터에서는 주관적 및 직관적 판단의 한계를 배제하기는 어렵다. 이에 반해 보험회사의 손실에 대한 청구금 지급은 가장 구체적이고 정확한 손실 데이터로써 각 교량건설에 포함된 특성을 살려 잠재된 프로젝트의 리스크를 평가하고 예측을 위한 객관적 자료로 활용할 수 있다.

본 연구에서 도출된 교량 리스크 분석 시 사용될 수 있는

지표는 상부 형식 가설 공법 및 공사 기간으로 나타났다. 상부구조는 아치교, PSCI교, 현수교의 순의 명목척도 기준이 유의미한 것으로 파악되었으며 PQ심사 기준 등급에 의한 분류와 유사함을 나타낸다. 가설구조는 공법에 따른 실제 난이도가 존재할 수 있으나 기존연구의 가설공법에 따른 개략적 공사비 순위와 유사한 경향을 보임을 나타냈다[31]. 또한, 공사기간이 길어짐에 따라 피해 손실비율은 상대적으로 낮아짐을 나타냈다. 이는 일반 건설과 플랜트 건설 프로젝트에서의 경우도 유사하게 나타났다[32]. 그러나 도출된 지표는 보험 지급액, 즉 손실과의 상관관계는 존재하지만, 인과관계에 관하여는 설명할 수 없으므로 추가적 조사를 통한 세부적 리스크 예방 대책 마련에 관한 후속 연구가 요구된다.

본 연구 결과의 활용은 교량건설의 특성을 반영한 효과적 리스크 대응 방안의 수립과 신속한 리스크 관리, 손실의 예방 및 최소화에 기여할 것으로 기대된다. 교량 건설의 주요 발주 주체인 중앙부처, 지자체 및 정부투자기관 등은 건설생 산성 향상을 위한 신기술의 개발뿐만 아니라 그에 따른 리스크 관리의 기법의 전반적 개선이 요구되며 국가가 주도하는 계획하는 기본적인 교량 건설 계획 정보를 바탕으로 향후 발생하는 손실에 대한 예측을 수립함으로써 재정적 리스크에 대한 대비를 가능하게 한다. 이 연구에서 제시된 지표 및 손실 함수 개발 프레임워크를 사용하여 건설사나 보험회사의 경우에도 보유한 최소한의 정보를 바탕으로 재정적인 손실의 예측을 도울 수 있다. 특히 보험회사 및 재보험회사는 이 연구의 리스크 지표를 손실 예측 모델을 재구성하는데 사용할 수 있다. 보험사는 특정 교량의 잠재적 위험을 측정하는 자체 모델을 재구성하여 예측 가능한 최대 손실을 추정하여 리스크를 평가하고 그 결과를 보험료의 기본 요율산정에 대한 핵심적 자료로 활용할 수 있다. 건설사들은 교량의 구조와 공법 및 적정 공사기간의 산정을 토대로 교량 공사에 발생 가능한 최대 손실을 평가함으로써 안전성과 경제적 이점을 최대화하는 기존 설계의 지침 개선에 활용할 수 있다. 궁극적으로 본 연구의 모델 개발 프레임워크를 통해 도출된 리스크 지표는 교량 사업의 계획과 설계 시 위험관리 및 안전 점검 수행 단계의 중점적 관리를 위한 기초 핵심 자료를 제공함으로써, 현장에서 위험지표에 따라 인력과 비용을 효율적으로 분배하고, 손실 발생의 위험성을 사전에 진단하는데 효과적으로 사용될 수 있다.

향후 보다 다양한 리스크 지표의 개발과 정량적 리스크 예측 모델의 정확도 향상을 위해 정부 기관 및 디자인과 엔지

니어링을 담당하는 건설 주체는 손실의 발생 시 더욱 폭넓고 정교한 손실기록 데이터베이스 구축시스템을 마련하고 데이터를 축적할 수 있는 기술적, 제도적 기반을 수립하기 위한 지속적인 노력이 필요할 것이다.

## 요 약

최근의 교량 건설 프로젝트는 교량 건설의 증가추세에 따라 위험 손실에 대비하기 위해 보다 정교한 리스크 관리 조치와 손실 예측을 요구하고 있다. 본 연구는 교량 건설 사업에 대한 국내 주요 보험사의 과거 보험료 지급 실적을 토대로 실제 교량 건설에서 목적물의 손실을 유발하는 위험 요인을 분석하고, 정량화된 예측 손실 모델을 개발하고자 하였다. 정량적 교량건설 손실모형 개발을 위해 사고 건당 보험지급액을 총공사비로 나눈 손실비율을 종속변수로 선정하였고, 독립변수로 1)기술적 요인: 상부 구조 유형, 하부 구조 유형, 상부 가설방법, 교량 길이 2) 자연재해요인 : 태풍, 홍수 3) 프로젝트 정보: 공사기간, 총공사비를 채택하였다. 선정된 독립변수 중 상부구조, 가설방법 및 프로젝트 기간이 교량건설 손실 비율에 영향을 미치는 지표로 나타났다. 본 연구 결과로 도출된 리스크 지표와 손실예측 함수는 정부 관련기관, 교량 건설 설계 및 시공사, 보험회사에 정량적 피해 예측 및 위험 평가 서비스를 제공하며, 향후 기초 교량 리스크 평가 개발 연구의 가이드라인으로 활용할 수 있다.

**키워드 :** 교량공사, 리스크 평가, 정량적 평가, 회귀분석

## Funding

This research was supported by a grant (NRF-2019R1A2C1009398) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

## ORCID

Sungjin Ahn, <http://orcid/0000-0002-3419-8639>

## References

1. Hong SW, Kim HI, Ahn YS. A study on development and real

- situation analysis for the risk management of domestic construction companies, *Journal of Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2003 May;19(5):153–60.
2. Wood G, Ellis RCT. Risk management practices of leading UK cost consultants. *Engineering Construction and Architectural Management*, 2003 Aug;10(4):254–62. <http://doi.org/10.1108/09699980310489960>
  3. Dikmen I, Birgonul MT, Arikan AE. A critical review of risk management support tools, 20th Annual Conference of Association of Researchers in Construction Management; 2004 Sep 1–3; Edinburgh, UK. Reading (UK): Association of Researchers in Construction Management; 2004. p. 1145–54.
  4. Emmett JV, Therese MV. *Essential of insurance: a risk management perspective*. New York: John Wiley & Sons; 1995. 656 p.
  5. Yu YJ, Son K, Kim T, Kim JM. A risk quantification study for accident causes on building construction site by applying probabilistic forecast concept. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2017 Jun;17(3):287–94.
  6. UNDHA. *Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management*. Geneva: United Nations Department of Humanitarian Affairs; 1992. 64 p.
  7. Adams J. *Risk*. London: University College London Press; 1995. 8 p.
  8. Smith K. *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. 2nd ed. London: Routledge; 1996. 12 p.
  9. Crichton D. *The risk triangle*. Natural Disaster Management, Leicester: Tudor Rose Holdings; c1999. Chapter 5, Risk Assessment; p. 102–3.
  10. Jones RN, Boer R. *Adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures*. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge; 2004. Chapter 4, Assessing current climate risks; p 91–117 [cited 2019 Sep 3]. Available from: <http://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Country%20Documents/General/apf%20technical%20paper04.pdf>
  11. Zou PX, Zhang G, Wang J. Understanding the key risks in construction projects in china. *International journal of project management*, 2007 Aug;25(6):601–14. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.03.001>
  12. Baloi D, Price AD. Modelling global risk factors affecting construction cost performance. *International Journal of Project Management*, 2003 May;21(4):261–9. [http://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00017-0](http://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00017-0)
  13. Laryea S. Risk pricing practices in finance, insurance and construction, COBRA 2008 The Construction and Building Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors; 2008 Sep 4–5; Dublin, Ireland. London (UK): The Construction and Building Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors; 2008. p. 1–16.
  14. Baker S, Ponniah D, Smith S. Techniques for the analysis of risks in major projects, *The Journal of the Operational Research Society*, 1998 Jan;49(6):567–72. <http://doi.org/10.2307/3010665>
  15. Wang YM, Elhag TMS. A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering*, 2007 Aug;53(1):137–48. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2007.04.009>
  16. Elhag TMS, Wang YM. Risk assessment for bridge maintenance projects: neural networks versus regression techniques. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2007 Nov;21(6):402–9.
  17. Seo SE, Gang GS. Risk index computation of work type for bridge construction using accident cases and the AHP method. *Proceedings of the Safety Management and Science Conference*; 2009 Nov 21; Seoul, Korea. Seoul (Korea): Korea Safety Management and Science; 2009. p. 441–59.
  18. Decò A, Frangopol DM. Risk assessment of highway bridges under multiple hazards. *Journal of Risk Research*, 2011 Oct;14(9):1057–89.
  19. Hashemi H, Mousavi SM, Mojtahedi SM. Bootstrap technique for risk analysis with interval numbers in bridge construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2011 Aug;137(8):600–8.
  20. Li QF, Li ZX, Niu J. Application of factor analysis to risk evaluation of bridge construction. *Advanced Materials Research*, 2011 May;243:1848–53. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR,243-249,1848>
  21. Choudhry RM, Aslam MA, Hinze JW, Arain FM. Cost and schedule risk analysis of bridge construction in Pakistan: Establishing risk guidelines. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2014 Mar;140(7):04014020–1–9. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO,1943-7862,0000857](http://doi.org/10.1061/(ASCE)CO,1943-7862,0000857)
  22. Yun SY, Kim CH, Kang LS. Development of model for selecting superstructure type of small size bridge using dual classification method. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 2015 Nov;35(6):1413–20. <http://doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.6.1413>
  23. Public Procurement Agency [Internet]. Standards for pre-qualification for contractor[cited 2019 Sep 3]. Available from: <http://www.law.go.kr/LSW//admRulLsInfoP.do?chrClsCd=&admRulSeq=2100000184412>



- 
24. Koh HM, Kim HJ, Lim JH, Kang SC, Choo JF. Lifetime design of cable-supported super-long-span bridges. Proceedings of the 5th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management; 2010 Jul 11–15; Philadelphia, PA, USA, London(UK): International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management; 2010. p. 26–42.
  25. Kim BI, Yoon KY, Lee SH. Field investigation of scour-protection methods for bridges in small size streams of central region of Korea, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 2005 Mar;5(1):45–53.
  26. Giroux RP. Relevance of roebling. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2009 Feb;23(1):2–4.
  27. Jo BW, Park JC, Kim CH. Wind characteristics of existing long span bridge based on measured data, *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2005 May;9(3):219–24. <http://doi.org/10.1007/BF02829053>
  28. Kim KW, Park MH, Chang CH. Research on the optimum design for PSC box girder bridges using the full staging method, *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, 2004 Feb;8(3):159–67.
  29. Lee HW, Jang JY. Design formula for launching nose of ILM bridge considering the interaction behavior with superstructure sections, *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 2006 Aug;23(1):53–60.
  30. Kwak HG, Son JK. Determination of design moments in bridges constructed with a movable scaffolding system, *Computers and Structures*. 2006 Dec;84(31–32):2141–50. <http://doi.org/10.1016/j.compstruc.2006.08.044>
  31. Kim SB, Cho JH. Development of the approximate cost estimating model for PSC box girder bridge based on the breakdown of standard work, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 2013 Mar;33(2):791–800.
  32. Kim JM, Kim T, Bae J, Son K, Ahn S. Analysis of plant construction accidents and loss estimation using insurance loss records, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2019 Dec;18(6):507–16. <http://doi.org/10.1080/13467581.2019.1687089>