

교량공사 제3자 피해 손실에 의한 리스크 분석 연구

A Study on Bridge Construction Risk Analysis for Third-Party Damage

안 성 진¹

남 경 용^{2*}

Ahn, Sung-Jin¹

Nam, Kyung-Yong^{2*}

Lecturer, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea ¹

Senior Researcher, UTOP E&A, Hwasun-gun, Jeollanam-do, Hwasun, 58120, Korea ²

Abstract

The recent bridge construction projects demand thorough and systematic safety and risk management, due to the increase of risk factors following the introduction of new and complex construction methods and technologies. Among many types of damages that can occur in bridge construction projects, the damages to third parties who are not directly related to the existing property of the contractor construction project can also bring about critical loss in the project in order to compensate the damages. Therefore, risks that could be caused by the loss occurred to indemnify the third party damages should be clearly analyzed, although there are not subsequent amount of studies focusing on the issue. Based on the past record of insurance payment from domestic insurance companies for bridge construction projects, this study aimed to analyze the risk factors of bridge construction for loss caused to compensate the third-party damages happened in actual bridge construction projects and to develop a quantified and numerical predictive loss model. In order to develop the model, the loss ratio was selected as the dependent variable; and among many analyzed independent variables, the superstructure, foundation, flood, and ranking of contractors were the four significant risk factor variables that affect the loss ratio. The results produced can be used as an essential guidance for balanced risk assessment, supplementing the existing analysis on material losses in bridge construction projects by taking into account the third-party damage and losses.

Keywords : bridge construction, risk analysis, loss, quantitative analysis ,third-party damage

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근에 건설되는 교량은 장대화 및 신공법 도입에 따른 고도의 전문화, 작업 공정의 복잡화 등 변화를 거치는 추세이다. 그러나 이 결과 그 피해가 광범위하며 다양한 위험 요인이 증가하고 있으며, 그로 인해 교량 공사에서의 안전 및 리스크 관리

에 대한 새로운 고찰이 필요하다. 건설 프로젝트의 규모와 복잡성이 증가함에 따라 건설 사업에 대한 리스크 정보의 신뢰도를 높여 합리적 의사결정 및 전략수립의 도구로 활용하는 것이 중요하다. 정부 주도 리스크 및 안전관리 시스템을 의존하기에 한계가 있으며 민간부문 역할의 수행이 강조되고 있다[1]. 건설 프로젝트의 현재 리스크 관리 패러다임은 전문가의 통찰력과 경험에만 의존할 것이 아니라 보다 객관적이고 정량화된 모델을 요구한다[2]. 국제 표준화 기구 (ISO: International Organization for Standardization)의 리스크 관리의 원리 (Principle for risk management)에서 정의한 리스크 관리 는 1) 의사결정의 일부부이어야하며, 2) 불확실성을 명확히 다루어야 하며, 3) 이용 가능한 최선의 정보들을 기초로 하며, 4) 특정한 목적이나 방법에 맞춰야 하며, 5)명백하고 포괄적이

Received : January 10, 2020

Revision received : March 25, 2020

Accepted : April 8, 2020

* Corresponding author : Nam, Kyung-Yong

[Tel: 82-62-530-8750, E-mail: skaruddyd@hanmail.net]

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

어야 한다고 명시한다. 일반적으로 건설업에서 리스크 관리는 건설보험가입을 통해 리스크를 전가시킴과 더불어 리스크 요인을 감소시키는데 집중하고 있다[3]. 이를 위해 건설공사 내적 외적 리스크 요인을 사전에 인지하여 손실의 정도를 분석하여 그 원인에 따라 리스크를 분담하는 리스크 관리 수단이 필요하다. 현재 건설현장의 건설관리 및 손실예측 모델은 보다 정교하고 과학적인 방법론을 필요로 하며, 물적 피해와 더불어 건설활동의 영향에 의해 직간접적으로 손실을 야기시키는 제3자 피해에 의한 손실을 고려하여야한다[4,5]. 기존의 연구들은 건설현장의 현장 내부 작업자와 구조물에 한하여 안전사고 및 위험요소 관리에 집중하여 수행되었으며, 현장 내부의 사고가 원인이 되어 현장 외부의 제3자 피해 분석과 관리에 대한 연구는 미비한 실정이다[6-8]. 제3자 피해의 발생은 비용보상, 공사 중지 및 행정 처벌로 이어져 건설공사 생산성의 감소와 경제적 손실 및 건설기업 브랜드 이미지의 하락을 초래할 수 있다. 이는 생산성과 수익성 향상을 위해 원가절감, 공기단축 등의 방법을 통한 노력에도 불구하고 예상하지 못한 부차적 손실을 발생시키게 된다. 많은 건설 기업들이 잠재 손실 원인을 최소화하기 위한 보다 선진화 된 리스크 평가 및 관리 방법을 개발하고 강화하는 시점에서 종합적 리스크 관리체계를 구축할 필요가 있다[9]. 이러한 배경을 바탕으로 본 연구의 목적은 교량 공사의 특성이 가진 리스크를 식별하고, 실제 손실데이터를 반영하여 정량화된 위험지수를 산정 및 제시함으로써 보다 체계적인 방법으로 제3자 피해 손실에 대한 리스크를 최소화하기 위한 기초자료를 제공함에 있다. 이 연구에서 도출된 결과는 건설 프로젝트에 대한 손실 평가 모델 개발에 필수적인 지침으로 활용할 수 있으며 건설 환경과 자연재해의 영향이 유사한 타 지역 및 국가에도 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 교량 건설 프로젝트에서 발생한 손실과 제3자 피해에 대한 교량건설 리스크 지표 사이의 관계를 파악하기 위하여 국내 보험회사의 교량건설공사 손해배상 지급 데이터 중 제3자 피해에 대한 내용을 바탕으로 분석하였다. 일반적으로 보험사 및 재보험사, 정부기관 및 건설사 등에서의 리스크 확인을 위해서는 객관적 지표가 필요하며 일반적 보험사의 요율 산정 시 과거 데이터로부터 손실요소를 파악하고 통계분석을 통해 리스크 지표 혹은 보험요율을 산정하는 방법을 따른다[10]. 보험금 지급 데이터에서 해당 3자 피해사건에 대한 손실 비율을 종속변수로, 교량 건설공사 특성 정보와 자연재해 발생

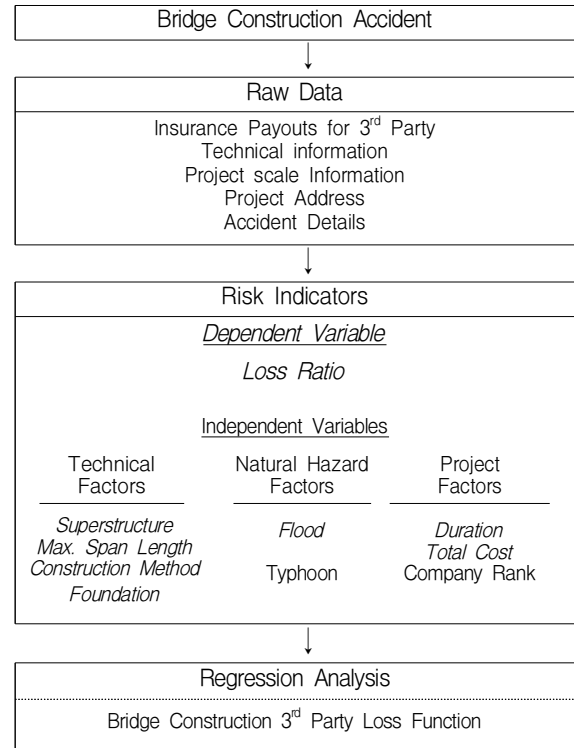


Figure 1. Study procedure

에 따른 리스크 요인을 독립변수로 하여 회귀분석을 수행하였으며 변수간의 상관관계를 파악하였다. 본 연구에서 통계 해석을 위한 프로그램으로 IBM® SPSS® Statistics 20을 이용하였다. Figure 1에 연구의 흐름을 도식화 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 건설공사 보험

건설공사 보험은 건축 및 토목공사 중 공사장 내에서의 예기치 못한 돌발적인 사고로 인하여 가설공사, 본 공사, 공사용 재료 등에 발생하는 손해를 보상하는 보험이다. 건설공사보험에서 발생한 이러한 손실의 보상은 공사장 내에 있는 공사 목적물에 대한 보상과 건설작업과 관련된 사고로 공사현장 외부에서 제3자에게 발생한 신체상, 재산상의 손실에 대한 제3자 보상으로 구분할 수 있다. 최근 공사프로젝트의 목적물 피해와 더불어 제3자 피해에 의한 손실 및 보상에 대한 규제가 강화되고 있다. 일례로 중앙정부나 지방자치단체가 발주하는 공사에 대해서는 주로 대형건설업체가 수주하게 되는 설계·시공 일괄 입찰 또는 대안입찰로 집행하는 공사와 PQ 대상공사 (경간 50m 이상인 교량)에 대해서 건설공사 보험가입을 의무화하고 있다. 또한 이 때 가입하는 보험은 계약목적물에 대한 손해담보

와 제3자 손해배상책임을 담보할 수 있는 보험이어야 한다고 명시하고 있다(정부 입찰·계약 집행기준 55조). 조달청 또한 2019년 8월부터 직접 설계, 시공 관리를 하는 도심지 공공 건축공사에 제3자 배상책임을 포함하는 공사손해보험을 의무 적용하여 건설사의 손실 부담 감소와 신속한 피해 보상의 지원을 도모하고 있다. 건설공사 보험은 건설업자를 위해 건설 프로젝트의 모든 단계에서 예상치 못한 손실의 전체 범위를 포함하도록 설계되었다. 제3자 피해에 의한 손실은 건설공사 중 공사 현장 외부의 공사와 관련이 없는 제 3자의 물적, 인적 손해의 발생으로 인한 손실을 의미한다. 이러한 손실은 각종 건설공사 사고로 인한 피해보상, 완공 지연 등으로 발주자에게 악영향을 미치게 된다. 예로써 중앙 환경 분쟁 조정위원회는 2006년 영산호 교량건설 공사장에서 발생하는 소음 및 수질오염으로 인하여의한 양식장 대량 폐사 피해로 시공사측에 약 1억 5천만원의 배상을 결정하였으며, 2012년 전남 화순군 교량철거공사 소음으로 인한 양봉피해 건으로 3천 2백만 원의 배상을 결정한 바있다. 본 연구에서는 이러한 3자 피해에 대한 공사손해보험의 보상 지급기록을 손실과 관련된 리스크 지표로 사용하였다. 보험 보상 지급금이 해당 분석의 데이터로 사용된 것은 데이터의 명확성과 비용의 객관화 등의 이점으로, 건설공사에서 재정적 손실을 나타내는 가장 좋은 수단 중 하나이기 때문이다[3]. 정량화된 보험 자료는 손실내역, 사업정보 등 상세한 정보로 각각의 사례에 대해 독립적으로 조사하고, 엔지니어와 손해사정사의 검토에 따라 공정한 절차를 거쳐 손실이 결정되기 때문에 특히 유용하다.

2.2 제3자 피해 손실

대형 건설기업들은 건설공사 중 발생하는 손실을 평가하기 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 보험회사와 재보험회사는 잠재적 손실을 추정하기 위해 자체적 손실 평가 모델을 만들어 왔다[11]. 이러한 손실 평가 모델은 보험사와 고객이 건설공사에 잠재된 위험을 이해하고 평가하는 데 도움이 된다. 하지만 이들 모델은 보험사나 한정된 고객만 이용할 수 있어 타 건설주체들은 쉽게 이용할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 건설 프로젝트 중 발생한 제3자 피해손실을 일반 사업자나 공공기관에서 평가하기는 상당히 어려운 실정이다. 또한 다양한 벤더(예: Risk Management Solution, EQECAT)는 건설 위험을 평가하기 위한 모델을 제공하여 보편적으로 사용되도록 설계되었지만, 각 지역 및 국가의 건설 프로젝트에 이 모델을 사용하는 것은 다소 한계성을 지닌다[12]. 건축공사의 지역적 취약 특성

및 자연재해 규모와 빈도의 변화가 예측 결과의 불확실성을 증가시킬 수 있고, 한 국가 혹은 지역의 특성을 적절히 반영하지 못한 모델은 오류가 발생할 수 있기 때문이다. 이는 주변 환경의 영향을 많이 받는 제3자 손실 파악에 더 큰 차이를 만들게 된다. 제3자 손실은 공사 현장 이외의 장소와 사람에게 발생한 손실이기 때문에 여러 가지 주위 환경적 요소와 건축 법규로 인해 지역마다 차이가 발생한다. 따라서 모델 사용자는 블랙박스 형식의 알고리즘으로 인해 물질적 손실과 제3자가 어떻게 생성되는지를 이해하기는 힘들고 프로젝트의 다른 중요한 특성을 반영하여 모델을 조정할 수 없다. 그러므로 정교한 제3자 피해에 의한 손실을 평가하는데 있어 보다 쉽게 접근할 수 있으며 지역적 특성이 고려된 제3자 피해 손실이 반영될 수 있는 연구가 필요하다.

Table 1. Previous bridge risk studies

Authors	Bridge construction risk influence factors			
	Technical	Social	Environmental	Economic
Wang and Elhag[13]	○		○	
Sea and Kang[14]	○			
Hashemi et al.[15]	○	○	○	
Li et al.[16]		○		○
Choudhry et al.[17]	○	○		○

Table 1은 기존 국내외의 교량 건설 리스크 요인분석에 대한 연구를 나타낸다. 기존 연구들은 기술적, 사회적, 환경적 및 경제적 요소로 구분되어 폭넓게 제시되어왔다. 대부분의 연구는 손실 평가 모델에 다양한 지표를 포함해야 함을 시사한다. 그 이유는 리스크는 재난(Hazard), 취약도(Vulnerability) 및 노출도(Exposure)의 복합체이기 때문에 리스크가 독립적으로 결정되지 않기 때문이다[18]. 그간 교량건설 리스크 평가 방법과 교량건설에서의 손실에 관한 다양한 기존 연구가 수행되어 왔다. 이러한 연구를 통해 손실 지표가 확인되었음에도 불구하고, 제3자 손실에 중점을 둔 통합적 및 정량적 연구는 여전히 부족하다. 대부분의 연구는 교량공사 목적물 손실에 대한 리스크 분석을 대상으로 수행되었으며 물질적 손실과 제3자 손실을 구분하지 못하기 때문에 제3자 손실만을 평가하는 것은 어렵다. 제3자 손실에 대한 과학적이고 객관적인 분석을 위해서는 제3자 손실에 대한 통계적 분석을 통해 위험의 크기

를 정량화하는 것이 필수적이다. 정량적 방법을 사용하여 손실의 특징을 분석하고 식별하는 것은 제3자의 손실 평가 모델 개발의 초기 단계이다. 즉, 통계 분석을 활용한 다양한 범주의 손실 지표를 포함하는 정량적 손실 검증은 제3자 피해손실을 위한 효율적인 리스크 평가 모델을 개발함에 있어 중요성을 가진다.

3. 교량공사 리스크 분석

3.1 데이터 수집

본 연구는 정량적 리스크 분석 및 평가를 위해 1999-2016년 동안의 실제 교량공사 프로젝트의 건설공사보험 가입대상 중 제3자 손해 배상 186건을 분리하여 데이터를 수집하였다. 수집된 보험금 지급기록은 교량건설프로젝트에서 사고발생일 및 장소, 구조종류, 공사기간, 손실내용, 보험가입금액 및 손실금액 등의 정보가 포함하였다. 체계적 리스크 분석으로의 활용을 위해 수집된 교량공사 손실 데이터는 1) 사고내용 정보(사고 날짜, 현장 주소 및 사고내용) 2) 교량 건설 프로젝트의 특성정보(상부구조, 최장경간 하부구조, 상부 가설공법) 3) 프로젝트 규모(총 공사 기간, 총공사비, 건설사 도급순위)의 요소로 분류하여 사용하였다.

3.2 제3자 피해손실 분석

Table 2는 본 연구에서 확보된 교량건설 손실 데이터로부터 목적물 손실과 제3자 피해에 의한 손실의 통계에 의한 비교를 나타낸다. 1999-2016년 동안의 교량공사 프로젝트의 보상금 지급 768건 중 유효한 목적물 손실은 391건 제3자 손실은 186건으로 파악이 되었다. 제3자 손실의 빈도는 목적물 손실에 비하여 낮으나 제3자 피해 손실에 의한 평균 금액은 목적물 손실을 상회한다. 보다 명확한 비교를 위해 두 손실 대상간의 평균손실액을 t-test를 통하여 수행하였으며 Table 2에서 t-test 결과에 보논비와 같이 p값은 유의확률 값 (0.05)을 크게 상회하며 두 그룹간 평균의 차이가 존재한다는 통계적 유의성을 가지지 못한다. 즉, 공사장 내외부에서 발생하는 평균 손실에 명확한 차이가 존재하지 않는다는 것을 나타낸다. 이는 향후 교량 건설현장에서 리스크 분석 시 목적물에 의한 손실뿐만 아니라 제3자 피해 손실에 대한 분석 또한 동등하게 고려되어야 하며 목적물과 제3자 피해에 의한 손실의 균형 있는 객관적 리스크 관리가 필요함을 시사한다.

Table 2. Comparison with materials and third-party losses

Category	Frequency	Avg. Loss Mil. KRW	Max. Mil. KRW	Min Mil. KRW	Std. Dev.
Material	391 (67.8%)	75.98	1,915	1.15	328.22
Third-party	186 (32.2%)	90.34	801	1.03	176.41
t-test result		t= -0.342,	p=0.733		*p<0.05

3.3 교량 건설 리스크 지표

본 연구는 교량건설 기술적 정보(상부구조 타입, 최대 경간장, 기초 타입, 가설방법)와 자연재해 정보(홍수, 태풍) 및 공사 규모 정보(공사기간, 총공사비, 도급순위) 세 가지 범주를 독립변수로 규정하였다.

교량 상부는 교량의 교대 및 교각 위에 있는 구조를 지칭하며 지형 및 환경조건과 더불어 시공성, 경제성, 안전성에 대한 복합적 판단으로 결정된다. 조달청 교량공사 시 PQ(입찰참가자격사전심사)기준에서 시공 난이도에 따라 A~D등급으로 분류하여 유사 실적을 평가하고 있다. 또한 Yun[19]은 교량 스패의 수, 스패의 길이 및 개략공사비 등의 요소를 고려하여 교량 상부구조 선정의 최적화를 제시하였다. 상부구조의 특성에 따른 구별은 교량공사 시 리스크에 영향을 미치는 요인으로 고려할 수 있으며 본 연구에서는 상부구조형식을 상부형식 특성에 따른 교량 건설 목적물 보상금 분포에 의하여 PSC (Prestressed Concrete) beam교 및 사장교 (Cable-stayed)의 서열척도순으로 분류하였다. 또한 경간이 긴 교량의 경우 시공의 난이도가 증대되며 공기와 비용의 증가 및 풍속에 의한 영향으로 리스크가 증가될 수 있다[20]. 본 연구에서는 50m이하, 100m이하 및 500m이하의 기준으로 서열척도를 분류하였다.

교량 건설에서 교각의 기초가 중요한 구조적 요인이며, 공사에 중대한 위험 요인과 불확실성이 존재하므로 위험도의 관리가 필요하다[21]. 세굴의 발생은 교량의 수명과 안정성 유지에 치명적 위험 요소로 작용한다[22]. 태풍 및 홍수로 인한 유량과 유속의 증가는 교량의 기초에 세굴현상을 야기 시키며 예상치 못한 교량의 손상 및 붕괴를 초래하여 프로젝트의 목적물에 대한 손실은 물론 제3자 피해에 의한 손실을 발생시킬 수 있다. 이에 수집된 데이터 중 교량의 하부기초 정보는 주요 리스크 요인으로 활용 할 수 있으며 평균 손실 보상금 분포를 바탕으로 직접기초, 기성말뚝기초, 현장타설 기초 및 오픈케이스 기초의 서열척도 분류기준을 마련하였다.

가설공법은 경제성, 시공속도 및 형하공간 (교량본체의 최하단에서 수면 또는 노면까지의 유효높이)에 따라 결정된다.

기존의 연구들은 교량의 가설 공법에 따라 구조적 안전성 검증과 최적설계 방법을 분석하였다[23,24]. 공법에 따른 하중의 영향과 경제적 설계방식의 차이가 존재하며 가설공법에 따른 특성 및 이의 분류에 따른 리스크 분석이 요구된다. Kim and Cho[25] 는 교량 상부공사의 대표적 가설공법 분류에 따른 개략공사비 추정모형을 개발하였으며, 이를 통해 상부공사 공법의 특성에 따른 분류가 필요함을 파악하였다. 본 연구에서는 가설공법 분류에 따른 평균 피해손실 금액을 기초로 ILM, FCM, MSS의 가설방법 분류기준을 마련하였다.

자연재해에 의한 손실은 재보험사의 자연재해 평가 네트워크(NATHAN)를 이용하여 홍수와 태풍의 지표를 통하여 산정되었다. 전 세계 자연 재해 지도는 기존의 자연재해 발생 데이터를 이용하여 특정 지역에 관한 홍수, 태풍 및 지진과 같은 재해에 위험을 지수화 하여 나타낸다. 본 연구는 홍수 및 태풍의 리스크를 자연 재해의 대표적인 요소로 사용하였다. 자연 재해 위험도는 각 건설 프로젝트 현장의 위치 정보(주소)를 사용하여 수집하였다. 자연재해는 건설 리스크에 영향을 미치는 핵심요소로 고려되어왔다[26,27]. 허리케인의 주된 발생 지역에 위치한 건설현장은 허리케인으로 인한 돌풍과 홍수로 인해 빈번한 공사 지연의 피해가 있으며 자연재해의 위험 등급에 따라 건설 리스크에 직접적 관련성이 존재한다[28].

기존 연구에서 프로젝트의 기간은 리스크 분석 척도로 활용되었으며, 건설 프로젝트 기간은 주요한 손실비율 산정 지표가 될 수 있다[29]. 일반적 건축물 공사의 경우 총공사 기간이 긴 프로젝트일수록 손실률은 낮아진다는 결과를 도출하였다. 또한 건설회사의 규모는 안전사고 예방 및 리스크 관리에 대한 인식과 지원에 큰 차이가 존재함을 시사하며 이는 리스크 분석의 주요 척도로 활용할 필요가 있다[30]. Table 3은 상기 제시한 교량 건설프로젝트의 리스크 요소의 분류기준을 나타낸다.

4. 회귀분석

4.1 종속변수

본 연구에서는 다중 회귀분석법을 이용하여 손실과 지표 간의 상호 관계를 정의하여 손실에 따른 손실 추정 모형을 생성하였다. 본 연구는 제3자의 손실을 조사하는데 있어 그 위험요소를 정량적 수치로 파악하고, 이 중 유의미한 손실 지표를 식별하고자 하였다. 종속 변수인 손실 비율은 건축공사장 외부의 제3자 피해 손실을 건설사업 규모(총 보험가입금)로 나눈 지표이며 다음 식 (1)과 같다.

Table 3. Criteria of the bridge risk factors

Factor	Unit	Description
Superstructure	Ordinal scale	1: PSC beam 2: Cable-stayed
	Length	m Max. span length
Engineering Factor	Construction Method	Ordinal scale 1: ILM 2: FCM 3: MSS
	Foundation	Ordinal scale 1: precast con'c pile 2: cast in place 3: open caisson
Natural hazard factor	Flood	Zone Zone 1: 1 (per year) Zone 2: 2 Zone 3: 3 Zone 4: 4 Zone 5: 5
	Typhoon	Zone Zone 0: 76~141 (km/h) Zone 1: 142~184 Zone 2: 185~212 Zone 3: 213~251 Zone 4: 252~290 Zone 5: 300~
Project Factor	Total Duration	Month Total duration of the project
	Total Cost	Number Total cost of the project
	Company Ranking	Number Company ranking by contract amount

$$LR = CP / TSI \text{ ----- (1)}$$

여기서,

LR(Loss Ratio)= 손실비율

CP (Calim Payout)= 보험 지급금

TSI (Total Sum Insured)= 총 보험가입금

각 사고 케이스별 손실금액은 총 보험 가입금에 비해 상대적으로 작기 때문에 식(1)에 의해 표현된 대부분의 손실비율 값은 극히 왼쪽 (0값)에 치우친 분포를 나타내므로 종속변수는 자연 로그에 의해 정규분포로 변환되었다. 회귀분석에 사용된 종속 변수의 값은 다음 식 (2)와 같다.

$$\text{Transformed Loss Ratio} = \ln(LR) \text{ ----- (2)}$$

Table 4. Nomality test of dependent value

Shapiro-Wilk test							
	Statistic	df	sig.	Statistic	df	sig.	
LR	.386	186	.000	Ln (LR)	.965	186	.084

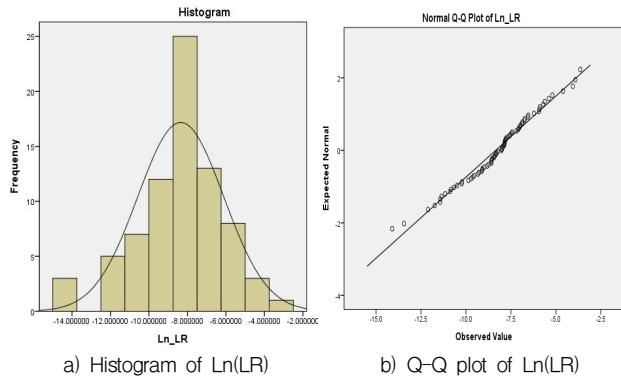


Figure 2. Normality test by histogram and Q-Q plot

회귀분석을 위해 종속변수에 대한 정규성 검정을 실시하였다. 보험 지급액을 총 보험가입액으로 나눈 값, 즉 종속변수인 손실비를 값은 지나치게 왼쪽으로 편중되어있어 정규 분포로의 변환이 필요하며, 식(2)와 같이 종속변수를 로그화 시킨 후 히스토그램, Q-Q 플롯 (Figure 2) 및 Shapiro-Wilk 테스트를 통하여 정규성 검정을 하였다. Table 4에서 보는 바와 같이 Shapiro-Wilk 테스트는 유의확률이 0.05 이상으로 종속변수 데이터는 정규 분포를 이루고 있다고 해석할 수 있다.

4.2 분석결과

Table 5는 변수들의 기술 통계량을, Table 6은 회귀 모형 요약을 나타낸다. 독립변수로는 교량 상부구조, 교량 하부구조, 상부가설공법, 최대 경간장, 태풍, 홍수, 총 공사기간, 총 공사비 및 도급순위의 9개의 변수를 사용하였다. 본 연구에서는 회귀모델의 구축을 위하여 일반적으로 사용 되는 단계적 선택(Stepwise selection) 방법을 적용하였다. 분석결과 상부구조, 하부구조, 홍수 및 건설사 도급순위의 4개의 독립변수가 교량공사 제3자 피해에 의한 손실비율에 영향을 미치는 유의미한 지표로 확인되었다. 상기 4가지의 지표를 활용한 회귀 모형에 대한 F검정 통계량은 0.05이하로 유의미한 분석 모델로 판단 할 수 있다. 또한 독립변수 중 가설방법, 최대 경간장, 홍수 및 프로젝트 규모는 유의확률이 0.05이상으로 손실비율과 관련성이 유의미하지 않은 것으로 파악되었다. Table 7의 교량공사 손실비율의 회귀분석에서 수정된 R² 값은 0.367로, 손실률 변종 중 36.7%가 회귀모델로 설명될 수 있음을 말한다. 또한 VIF값의 범위는 1.039부터 1.089 사이로 변수들 사이에 다중공선성이 없다는 것을 의미한다.

Table 5. Descriptive statistics of the variables

Variables	Min.	Max	Mean	Std. Deviation
Dependent variable				
In(Loss Ratio)	4.14	13.41	8.27	8.26
Independent variables				
Superstructure	1.00	2.00	1.34	.45
Foundation	1.00	3.00	2.78	.79
Flood	1.00	5.00	2.82	1.73
Ranking	2.00	44.00	15.59	6.42

Table 6. Summary of the regression model

	Sum of square	df	Mean square	F	P-value	Adj. R ²
Regression	39.212	4	9.806	4.321	.011	.367
Residual	67.604	182	4.225			

Table 7은 회귀분석 각 지표의 계수 값 및 유의확률을 나타낸다. 표준화 계수(BETA 값)은 독립변수가 종속변수에 미치는 영향력의 크기를 비교하기 위해 독립변수와 종속변수의 관계 값을 표준화 한 값이다. 즉, 회귀계수를 표준화한 것으로 회귀 계수의 중요도를 나타내며 변수의 베타 계수의 값이 높을수록 종속변수에 미치는 영향이 커진다고 판단할 수 있다. 각 지표가 손실에 미치는 영향력을 파악하기 위해 베타 계수의 절대 값의 우선순위로 나타내면 1) 교량 상부구조(베타계수= 0.707) (2) 회사 도급순위 (베타계수=-0.572) (3)교량 하부구조(베타계수 = 0.452) (4)홍수(베타계수=0.352)의 순으로 나타났다. 분석 값에 의하면 독립변인 교량 상부구조의 값을 '1'단위의 서열척도 단위로 변화 시킬 때 손실비율에 '0.707'의 양의 변화량을 가져온다. 즉, 교량 상부구조가 PSC beam교 보다 현수교의 시공방법 시 제3자 피해 손실이 높아짐을 예측 할 수 있다. 회사 도급순위에 의한 영향은 도급순위가 높은 회사일수록 제3자 피해 손실이 적은 것으로 나타났다. 교량 하부구조는 기성 콘크리트 파일, 현장 타설, 오픈케이슨 기초의 방법으로서 선택 변화에 따라 손실비율에 '0.452'의 영향을 주며 홍수의 위험등급이 한 단계씩 클수록 종속변수인 손실비율에 '0.352'의 영향을 미치며 이는 홍수의 위험 등급이 높은 지역(Zone)일수록 제3자 피해에 의한 손실비율은 높아진다고 해석할 수 있다.

Table 7. Coefficients in the model

Indicators	Coef.	Std. Error	Beta coef.	Sig.	VIF
(Constant)	-3.424	3.664		.364	
Superstructure	4.556	1.690	.707	.016	1.089
Foundation	2.255	1.182	.452	.045	1.053
Flood	1.085	.649	.352	.041	1.071
Ranking	-.092	.040	-.572	.034	1.039

5. 결 론

건설사업 규모와 복잡성의 증가 및 급격한 도시화로 인해 건설 프로젝트의 위험요인과 손실량이 증가하고 있으며 이에 따라 객관적이고 정량적 리스크 예측평가 모델에 대한 개발이 크게 요구되고 있다. 특히 교량 공사는 불안정한 환경 조건에서 특수 건대형 건설장비 가동, 고소작업 등의 위험 요인이 교량공사 현장 전반에 산재하고 있기 때문에 보다 철저한 리스크 관리가 요구된다. 기존 공사현장의 리스크 관리 연구는 공사현장 내부에서 발생하는 리스크 요인과 손실을 파악하였으며 현장 외부 즉 제3자 피해에 의한 손실 또한 무시될 수 없는 손실량을 포함하고 있다. 이에 보다 객관적인 건설현장의 손실지표를 파악하고 손실평가 모델을 개발하기 위해서는 제3자 손실에 대한 리스크 분석이 필요하다. 본 연구는 국내의 교량공사 제3자 피해 손실에 대한 보험금 지급 데이터를 바탕으로 다중선형 회귀분석을 통하여 손실 예측모델을 개발하였다. 분석결과 교량 상부구조, 교량 하부구조, 홍수 및 도급순위에 의한 랭킹의 4개의 독립변수가 교량공사 중 제3자 피해에 의한 손실비율에 영향을 미치는 유의미한 지표로 확인되었다. 본 연구에서 교량공사 리스크 분석에 있어 적용되는 구조 형식과 공법에 반영된 서열적도 단위는 구조적 안전성 및 시공 난이도를 의미하는 것은 아니다. 기존 발생한 손실 데이터를 통하여 잠재된 리스크의 수준을 파악함에 있으며 기존의 보유하고 있는 최소한의 정보를 활용하여 향후 교량 리스크 분석을 예측하여야 하는 상황에서 확보된 교량정보가 손실예측에 미치는 영향을 통계적 검증을 통하여 파악하고자 하였다. 본 연구의 결과는 보험회사, 건설 회사, 그리고 건설 프로젝트의 금전적 손실을 추산하고 손실을 경감하고 관리하고자 하는 프로젝트 관련자에게 중요한 참고자료를 제공한다. 또한, 건설 환경과 자연 재해의 측면에서 한국과 어느 정도 유사한 조건을 갖는 다른 나라들은 손실 추정에 이 연구의 프레임워크와 결과를 적용할 수 있을 것이

다. 그러나 도출된 지표는 보험 지급액, 즉 손실과의 상관관계는 존재하지만, 인과관계에 관하여는 객관적으로 설명할 수 없다. 예로써 건설공사의 도급순위가 높을수록 제3자 피해에 의한 손실은 감소하는 상관관계를 파악 할 수 있으나 손실비율을 감소시키는 원인이 회사 내부의 우수한 안전 관리나 재해예방 조치 등의 원인에 기인하는지는 현 분석으로는 파악하기가 힘들며 향후 이러한 인과관계를 파악 할 수 있는 추가적 조사와 분석을 통하여 보다 실효성 있는 리스크 예방 대책 마련에 관한 후속 연구가 요구된다. 교량 건설 프로젝트와 관련하여 기존연구에서 실제 손실비용(피해 보상금)을 활용한 분석이 미흡한 실정이며 손실을 표현하는 가장 객관적인 '손실비용' 데이터를 이용함으로써 기존연구들과 차별성을 두고자 하였다. 하지만 확보한 데이터는 정량적 특성을 가지고 있으나 기존연구들에서 제시된 다양한 분류체계에 적용시키지는 못하며 향후 연구에서 사회적, 경제적 요인도 고려한 확장된 모델 개발을 통해 예측 모델 설명력을 높일 필요가 있다. 또한 본 연구는 한국에서 한 보험에서 발생한 보험금 지급을 조사하였으며 향후 연구에서 여러 타 보험사 자료를 취합하여 본 연구에서 제시한 모델의 검증과 보완이 요구된다.

요 약

최근 교량은 장대화, 신공법의 도입에 따른 위험요인의 증가로 교량공사에서의 철저한 안전 및 리스크 관리 체계가 필요하다. 공사 현장 주변에 있는 발주자 건설공사 관련자 및 공사와 관련이 없는 제 3자의 기존 재산에 손해를 발생시킬 수 있어 제3자 피해 손실로 인한 리스크가 명확히 분석되어야 함에도 불구하고 연구가 미비한 실정이다. 본 연구는 교량 건설 사업에 대한 국내 주요 보험사의 과거 보험료 지급 실적을 토대로 실제 교량 건설에서 제3자 피해 손실로 인한 손실에 대한 교량건설 특성에 따른 리스크 요인을 분석하고, 정량화된 예측 손실 모델을 개발하고자 하였다. 정량적 교량건설 손실모형 개발을 위해 사고 건당 보험지급액을 총공사비로 나눈 손실비율을 종속변수로 선정하였고, 상부구조, 하부구조, 홍수 및 도급순위가 교량건설 중 제3자 피해에 의한 손실비율에 영향을 미치는 지표로 나타났다. 도출된 결과는 건설 프로젝트에 대한 손실 평가 모델 개발에 기존의 프로젝트 내부에서 발생한 손실과 더불어 제3자 피해손실을 고려함으로써 더불어 균형 있는 리스크 평가에 필수적인 지침으로 활용할 수 있다.

키워드 : 교량공사, 리스크 분석, 손실, 정량적 평가, 제3자 피해

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

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

Kyung-Yong Nam, <http://orcid/0000-0002-7468-5116>

References

1. Kim SJ, Yoon MO. A study on the improvement program of bridge safety management through public-private governance. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 2018 Jan 31;18(1): 145-56. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.1.145>
2. 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*. 2003 May;19(5):153-60.
3. Odeyinka HA. An evaluation of the use of insurance in managing construction risks. *Construction Management and Economics*. 2000 Oct;18(5):519-24. <http://dx.doi.org/10.1080/014461900407329>
4. Ha SG, Kim TH, Son KY, Kim IM, Son SH. Quantification model development of human accidents on external construction site by applying probabilistic method. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2018 Dec;18(6):611-9. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2018.18.6.611>
5. 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. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1996\)122:2\(158\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1996)122:2(158))
6. 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.
7. Ahn 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.
8. 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. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2008.8.5.109>
9. Lee JS, Ahn BJ, Kim JJ. Evaluating and suggesting key risk factors according to risk hierarchy of occurrence field of occurrence field in the overseas development projects. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2012 May;13(2):70-9. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.2.070>
10. Kim JM, Son K, Yoo Y, Lee D, Kim DY. Identifying risk indicators of building damage due to typhoons. Focusing on Cases of South Korea. *Sustainability*. 2018 Nov;10(11):3947. <https://doi.org/10.3390/su10113947>
11. Kim JM, Kim T, Son K, Yum SG, Ahn S. Measuring Vulnerability of Typhoon in Residential Facilities: Focusing on Typhoon Maemi in South Korea. *Sustainability*. 2019 Jan;11(10):2768. <https://doi.org/10.3390/su11102768>
12. Kunreuther H, Meyer R, Vandenbulte C. Risk analysis for extreme events: Economic incentives for reducing future losses. New York (USA): National Institute of Standards and Technology; 2004 Oct. 103 p. Report No.: NIST GCR 04-871
13. Wang YM, Elhag TM. A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering*. 2007 Aug;53(1):137-48. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.04.009>
14. 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; Yongin, Korea. Incheon (Korea): Korea Safety Management and Science; 2009. p. 441-59.
15. Hashemi H, Mousavi SM, Mojtahedi SMH. Bootstrap technique for risk analysis with interval numbers in bridge construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2011 Jan;137(8):600-8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000344](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000344)
16. Li QF, Li ZX, Niu J. Application of factor analysis to risk evaluation of bridge construction. *Advanced Materials Research*. 2011 May;243-249:1848-53. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.1848>
17. 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):401-20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000857](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000857)
18. Crichton, D. Role of insurance in reducing flood risk. *The Geneva Papers on Risk and Insurance-Issues and Practice*, 2008 Dec;30(1):117-32. <https://doi.org/10.1057/palgrave.gpp.2510151>
19. 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. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.6.1413>
20. 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. <https://doi.org/10.1007/BF02829053>
 21. Giroux RP. Relevance of roebbling. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2009 Feb;23(1):2-4. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2009\)23:1\(2\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2009)23:1(2))
 22. 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.
 23. 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.
 24. 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*. 2010 Aug;23(1):53-60.
 25. 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 Korea Society of Civil Engineers*. 2013 Mar;33(2):791-800. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.2.791>
 26. Choi, HH, Mahadevan. S. Construction project risk assessment using existing database and project-specific information. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2008 Nov;134(11):894-903. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:11\(894\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:11(894))
 27. Kuo YC, Lu ST. Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects. *International Journal of Project Management*. 2013 Nov;31(4):602-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.10.003>
 28. Chan DW, Chan AP, Lam PT, Yeung JFY, Chan JHL. Risk ranking and analysis in target cost contracts: Empirical evidence from the construction industry. *International Journal of Project Management*. 2011 Aug;29(6):751-63. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.08.003>
 29. Kim JM, Kim TH, Bae JS, Son KY, Ahn SJ. 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. <https://doi.org/10.1080/13467581.2019.1687089>
 30. Cañamares MS, Escribano BMV, García MNG, Barriuso AR, Sáiz AR. Occupational risk-prevention diagnosis: A study of construction SMEs in Spain. *Safety science*. 2017 Feb;92:104-15. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.09.016>