

태풍 재해에 대한 건물 취약성의 피해손실 데이터 기반 분석

Analysis of Building Vulnerabilities to Typhoon Disaster Based on Damage Loss Data

안 성 진¹김 태 희²손 기 영³김 지 명^{4*}Ahn, Sung-Jin¹Kim, Tae-Hui²Son, Ki-Young³Kim, Ji-Myong^{4*}*Researcher, Department of Architectural Engineering, Mokpo University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea¹**Professor, Department of Architectural Engineering, Mokpo University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea²**Assistant Professor, School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 44610, Korea³**Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Mokpo University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea⁴*

Abstract

Typhoons can cause significant financial damage worldwide. For this reason, states, local governments and insurance companies attempt to quantify and mitigate the financial risks related to these natural disasters by developing a typhoon risk assessment model. As such, the importance of typhoon risk assessment models is increasing, and it is also important to reflect local vulnerabilities to enable sophisticated assessments. Although a practical study of economic losses associated with natural disasters has identified essential risk indicators, comprehensive studies covering the correlation between vulnerability and economic loss are still needed. The purpose of this study is to identify typhoon damage indicators and to develop evaluation indicators for typhoon damage prediction functions, utilizing the losses from Typhoon Maemi as data. This study analyzes actual loss records of Typhoon Maemi provided by local insurance companies to prepare for a scenario of maximum losses. To create a vulnerability function, the authors used the wind speed and distance from the coast and the total value of property, construction type, floors, and underground floor indicators. The results and metrics of this study provide practical guidelines for government agencies and insurance companies in developing vulnerability functions that reflect the actual financial losses and regional vulnerabilities of buildings.

Keywords : damage record; building vulnerability; vulnerability function; natural catastrophe model

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 심한 폭풍우의 발생이 극적으로 증가함에 따라 그에 따른 손실도 급증하고 있다. 국내 태풍 발생 통계에 따르면 2001년부터 2017년 까지 개의 49개의 태풍이 발

생하여 매해 평균 2.8개의 태풍이 우리나라에 직접적 영향을 미쳤다. 우리나라에 상륙한 태풍 중 태풍 매미와 함께 가장 강력한 세력을 가진 태풍 중 하나 분류되는 태풍 루사는 2002년 특히 강원도 지방에 극심한 강우량을 보이며 막대한 경제적 손실 및 246명의 사망·실종자, 이재민 8만 8천여 명 등의 피해를 입혔다. 2007년 11호 태풍 나리는 특히 제주특별자치도 전체에 특별재난지역이 선포될 정도의 막대한 피해를 발생시켜 1600 여억 원의 재산피해와 유례없는 관광 자원의 피해를 기록하였다. 2010년 제 4호 태풍 덴무는 앞서 언급된 태풍에 비해 비교적 소형 태풍으로 분류되나, 같은 해 7호 태풍 곤파스와 9호 태풍 말로가 2개월간 연달아 발생함에 따라 이례적 피해를 기록하였다.

Received : September 30, 2019

Revision received : October 16, 2019

Accepted : November 12, 2019

* Corresponding author : Kim, Ji-Myong

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

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

특히 태풍 곤파스는 빠른 진행 속도로 인한 짧고 산발적인 강수로 강수 피해는 적었으나 한반도 다수의 지역에서 관측 이래 최대 풍속급강을 경신하는 강풍을 동반한 태풍으로 기록되었다. 해외의 경우 허리케인 카트리나는 2005년에 약 1080억 달러의 경제적 손실을 입혔고, 이 손실은 미국에서 가장 손실이 큰 자연 재해로 기록되었다. 2013년 수퍼태풍 하이옌(Haiyan)이 태풍의 진로 상 여러 나라를 강타해 태풍 때 육지에서 기록된 가장 극심한 태풍으로 기록 됐으며 남부 아시아 국가들에 극심한 피해를 입히며 총 손실액은 28억 8천만 달러로 추산되었다. 많은 선진 국가들은 태풍 재해에 의한 재정적 리스크를 이전시키는 방법의 일환으로 보험을 채택하고 있다. 보험업계 측면에서는 태풍에 의한 피해 리스크를 정확하게 평가하는 것이 중요하다. 보험회사들은 자체적으로 자연재해 모델인 CAT(Catastrophe) 모델과 과거 손실 기록을 활용해 개별 건물, 지역 또는 국가의 잠재적 경제적 손실을 예측하고 관리한다. CAT 모델은 컴퓨터를 기반으로 태풍, 홍수, 지진 등의 자연적 재난으로 인한 손실을 평가하는 모델이다. 과거 데이터와 통계적 기법을 기초로 다양한 가상의 재난 이벤트를 생성하여 발생 가능한 잠재적 손실을 추정하게 된다. 그러나 실제로는 상세한 손실기록이 부족하기 때문에 취약성 함수를 개발하기 어렵다. 보험회사에 청구된 보상 지급 금액은 구체적이고 정확한 손실 데이터다. 이는 건물재고 특성을 살려 개별 건물의 취약성을 평가하는 데 활용할 수 있다. 엔지니어와 클레임 조정자의 검사 결과에 따라 청구대금을 객관적으로 지불한다. 그럼에도 불구하고 보험회사는 데이터베이스를 만드는 데 시간이 많이 걸리고 비용도 중소기업뿐 아니라 대기업에서도 부담이 되기 때문에 건물형태, 건물연령, 건물높이, 건축자재 등 상세한 건물노출에 관한 자료를 기록하거나 문서화하는 데 주저하고 있는 실정이다[1]. 지금까지의 데이터 품질이 낮은 것은 정교한 CAT 모델의 요구 정보 수준을 따르지 않은 것에 기인하고 있으며 이로 인해 데이터의 부족과 일관성의 결여로 해당 지역의 잠재적 위험과 손실 간의 상관관계를 기술하기가 어렵다. 따라서 리스크는 계약기간 내에 할당된 최소한의 데이터양과 기본정보로 정확한 평가가 요구되며, 더욱이 경제적 여건으로 보험 보급률이 낮은 개발도상국에서는 특히 과거 손실 기록을 통한 취약성 함수의 개발을 요구하고 있다. 리스크 평가 모델의 불확실성을 줄이기 위해 리스크의 대리측정을 통한 작업 파악 및 개발에

대한 수요와 중요성이 높아짐에 따라 건물의 취약성을 쉽고 직접적으로 계산할 수 있는 지표와 모델이 필요하다. 본 연구의 목적은 연구의 목적은 태풍으로 인한 손실 데이터를 바탕으로 태풍 피해 예측 함수에 대한 평가지표를 개발하고 피해를 평가하기 위해 건물의 지역 취약성 함수를 제공함에 있다. 취약성 함수를 구축하기 위해 자연 재해 지표와 기본 건축물 정보 지표를 활용하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 태풍 손실, 자연 재해 지표, 기초 건물 정보 지표의 관계를 파악하고, 지역 취약성을 반영한 손실을 산출하기 위한 지표의 중요도를 결정한다. 또한 건축물 취약성을 반영한 손실 예측을 위해 태풍에 의한 손실을 자연재해 지표 및 건축물의 특성 지표의 상관관계의 유의미성을 파악하여 향후 피해예측 및 예방을 위한 피해 예측함수를 측정하는 체계적 방법을 구축하여 태풍에 의한 피해 손실의 감소를 도모한다. 이를 위해 본 연구에서 국내 메이저 보험회사의 태풍 매미에 의한 손실 기록을 활용하였으며 상업 및 주거용 건물로 범위를 제한한다. 손실액은 발생한 순수 기초손실인 손해에 따른 청구금에 대한 지급액이다. Figure 1은 본 연구의 흐름을 개략적으로 나타낸다.

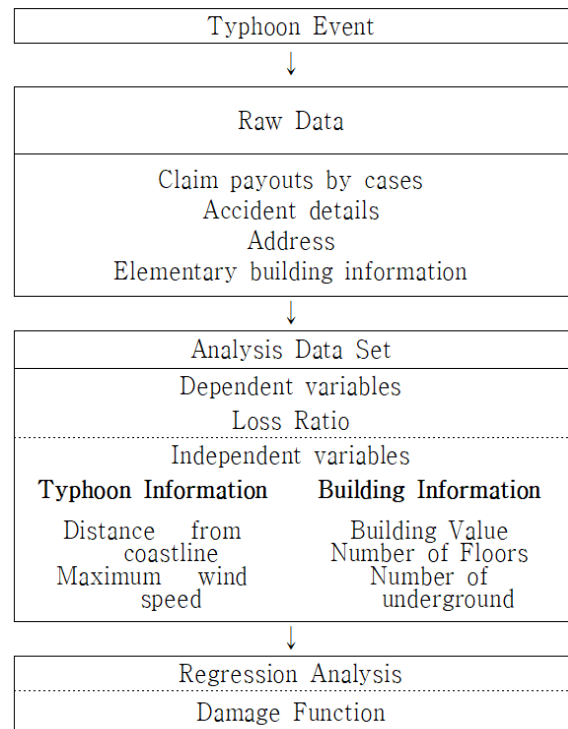


Figure 1. Research procedure

2. 자연재해 모델에 대한 고찰

2.1 주요 연구 현황

기존 연구에서는 태풍에 의한 피해에 관한 연구와 더불어 위험성 평가 지표 체계에 대한 다수의 연구들이 수행되었으며 체계화된 분석으로 태풍에 대한 건물의 취약성 및 손실추정에 대하여 바람의 속도, 풍향, 지속시간 및 진로형태를 고려하여 태풍 재해의 취약성에 대한 분석과 그에 따른 대책 마련에 대한 연구가 진행 되었다[2-5]. 또한 태풍으로 인한 손실에 관하여 지리정보 기반 재해관리와 강우량과 태풍 시 강우량 및 풍속에 다른 침수피해 예측 등과 같이 태풍 등의 자연재해 손실에 관한 연구가 수행 되었다 [6]. 또한 지리적 형태 및 특성을 바탕으로 한 태풍손실의 취약성을 분석하는 연구가 진행되어왔다[7,8]. Table 1에 국내외 연구 동향에 대한 요약을 정리하였다.

Table 1. Summary of previous studies

Researcher	Contents
Khanduri and Morrow (2003) [2]	Suggestion vulnerability factors of buildings to windstorms and insurance loss estimation
De Silva et al. (2008) [3]	Analysis of spatial dependencies in wind-related housing damage
Yang et al. (2016) [4]	Analyzing typhoon damage by path and develop to prediction model for building damage ratio by using multiple regression analysis
Lee and Ham (2011) [5]	Analyzing the fragility of building by comparing a relation between statistics of wind loads and resistances of building claddings
Lee et al. (2007) [6]	Estimating damage costs from natural disasters based on river length, maximum precipitation, financial independence, and disaster prevention effort
Choi and Seo (2013) [7]	Analysis of the effect of urban characteristics on the mount of damage loss by natural disaster
Choi (2003) [8]	Analysis of the Influence of urban land use, natural factors, and social factors on urban natural vulnerabilities

하지만 기존연구에서는 종속변수로써 정부기관의 공개 자료에 의한 피해 손실금액의 사용으로 객관성의 결여와 태풍의 특성만을 활용한 농경지, 도로, 토지이용 등의 기반 시설에만 국한되어있는 한계점이 있으며 사회적 요건과 자

연환경 요건만을 고려하여 건축물 정보를 배제한 분석으로 건축물 정보를 기반으로 한 태풍의 취약성 분석에 대한 연구가 요구된다. 또한 기존 연구들은 열대성 저기압의 지형적인 특성과 더불어 크기, 건물 상태에 따라 국내에 적용하기에는 힘든 부분이 있기에 국내에서 사용할 체계적인 건축물 피해 예측모델을 구축할 필요가 있다.

2.2 자연재해 모델

자연재해모델은 자연 재해 위험의 과학적 예측을 통하여 자연재해 위험을 관리 가능하도록 만드는 손해보험사의 기초 인프라이다. 초기에는 모델의 신뢰성 부족과 널리 사용되지 못했으나 허리케인 Andrew (1992)를 계기로 보급되기 시작하였으며, 최근 들어 기술의 발전으로 모델링 기술이 크게 개선 되었다. 특히 1990년대 이후 미국에서 자연재해로 많은 중소규모 보험사가 도산위기에 직면하면서 보다 정밀한 자연재해의 리스크 평가방법에 대한 요구가 증가하며 CAT 모델 활용의 필요성을 가지게 되었다. 미국의 연방재난관리청(FEMA)이 대표적 CAT 모델인 HAZUS-MH를 개발하여 사용하고 있고 현재 세계 각국의 정부, 보험사, 재보험사 (Reinsurance) 등에서 CAT 모델을 활용하고 있다.

CAT 모델은 기본적으로 해저드(Hazard), 목적물 (Inventory), 취약성(Vulnerability), 손실(Loss)의 모듈로 구성된다[2].

2.2.1 해저드 모듈

해저드 모듈은 재난의 종류, 기간 및 장소를 기반으로 재난의 발생 강도를 예측하기 위해 요구되는 자료로 통상적으로 과거 재난의 분석을 통하여 얻을 수 있다. 과거 발생한 재난 데이터로부터 여러 조합을 통해 새로운 재난이 만들어지며 물리모델을 거쳐 해당지역의 강도를 나타낸다. 강도는 지역의 지형, 지질, 해변으로부터의 거리 등과 같이 다수 변수들의 영향을 받으며 손실을 산정하는데 중요한 근거로 사용된다.

2.2.2 목적물 모듈

목적물 모듈에서 사용되는 목적물의 위치정보로 일반적으로 우편번호 및 주소 등을 활용하고, 목적물의 구조정보로 건물용도(상업용, 주거용), 건물분류(콘크리트, 철골, 목조 등), 건축년도, 건축물 높이 등으로 분류한다.

2.2.3 취약성 모듈

취약성 모듈은 취약성 기능을 이용해 손상과 위험 지표의 상관관계를 이용해 건물 속성에 따라 취약성에 의한 손상 정도를 정량화하는 모듈이다. 취약성 함수는 과거 폭풍 손실의 분석에서 발견되며, 기록된 손실에 의해서도 검증된다. 따라서 과거의 손상 데이터 및 품질 데이터의 존재에 의해 취약성 기능의 정밀도가 크게 영향을 받는다.

2.2.4 손실 모듈

손실 모듈은 자연재해로 인한 잠재적 손실을 추정된 후 공제액, 한도액 등 보험계약 조건들을 고려하여 손실을 계산하게 된다.

태풍 재해의 경우 리스크 평가는 해저드 모듈과 목적물 모듈에서 자연해저드 태풍의 경로, 풍속 정보 등의 자연해저드와 건축물의 구조, 가치, 층수 등의 목적물을 규명하고, 취약성 모듈에서 자연해저드(태풍 정보)에 대한 목적물(건축물 정보)의 취약성을 예측하여, 손실모듈에서 자연재해로 인한 손실을 추정된 후 보험손실을 산출하게 된다.

2.3 자연재해 위험의 정량화

자연 재해 위험 모델링에 대한 수요가 증가함에 따라, 몇몇 벤더(Vender)는 적용 보험 연구(AIR), 리스크 예측 및 관리 솔루션(RMS) 등의 사업을 하고 있다[9,10]. 이들 모듈은 전 세계 보험사와 재보험사가 허리케인, 쓰나미, 태풍, 홍수, 지진, 토네이도 등 자연재해의 위험도를 평가하기 위해 사용하는 것으로 자연재해위험에 대한 표준방법론이다. 하지만 연간 수수료가 비싸기 때문에 중소 보험사들이 쉽게 이용할 수 없는 실정이다. 또한 한정된 국가에서만 모듈을 개발하고 평가할 수 있는 것도 보편적인 자연재해위험 평가의 장애가 되고 있으며 더구나 평가가 가능한 나라는 한정되어 있다. 예를 들어 미국, 일본, 중국은 보험산업이 크고 자연재해의 손실에 대한 보험 지급의 경우가 많아 많은 벤더 기업이 모듈을 개발하고 있다. 반면 비싼 연회비를 감당할 수 없는 중소기업이나 단체, 이들 국가 이외의 개발도상 국가는 이 제공되는 벤더 모듈을 통해 평가할 수 없고 보험 가입자가 모듈이 적용되지 않는 지역의 위험을 평가를 요구한다면 문제가 될 수 있다. 기존의 표준 모듈만 사용하여 위험을 결정하는 것은 위험하며 보험회사가 자본, 사업 선호도, 포트폴리오가 달라 표준화된 모듈의 결과와 다를 수 있기 때문이다. 이에 모듈 개발 회사들은

보험자와 재보험자에게 위험을 식별하고 평가하기 위한 독립적인 모듈을 보유할 것을 권고한다.

대표적으로 미국의 HAZUS Multi Hazard (Multi Hazard, MH), 플로리다 주의 Florida Public Hurricane Loss Model (FPHLM), 남미 지역의 CAPRA (Central American Probability Risk Assessment) 등의 모듈이 개발되어 있으며 자연 재해의 위험을 더 정확하게 예측하고, 대응하기 위해 자연 재해 모듈을 개발하는 데 많은 자원을 투자한다. 이 모듈은 열대성 사이클론, 지진, 홍수, 폭풍우로 인한 국가 또는 지역사회 차원에서 직간접적 피해를 평가할 수 있다. 하지만 이러한 모듈들은 보험업무에서 다루어야 할 금융정보에 관한 모듈의 부재로 보험업계에서 손쉽게 다루도록 설계되지 않았다. 허리케인 카트리나(Katrina), 아이크(Ike), 샌디(Sandy) 등 기록적인 허리케인이 발생한 뒤 예상치 못한 엄청난 손실로 보험사들이 문을 닫거나, 피해에서 살아남은 기업들은 보험료와 요율을 조정해야 했다[11]. 이에 따라 보험사와 재보험사들은 이런 극도의 자연재해로 인한 손실에 대비해 최고수준의 자연재해를 고려하여 분석 및 보완하게 된다. 또한 이러한 극단적인 재난으로 인한 피해를 최소화하기 위해 분석 가능한 재난 구역과 한정적 범위를 선정하게 되는데 종전의 극한 재해의 기록을 핵심적 근거로 하여 기본적으로 재난 분석 구역과 범위를 설정하는데 활용한다. 게다가 자연재해의 잠재적 위험성은 보험료를 결정하는 주요 포인트 중 하나이다. 보험료는 순수 보험료, 비용, 이윤으로 구성되며 순수 보험료는 모델링된 재난 리스크, 모델링되지 않은 재난 리스크 및 화재, 번개, 폭발, 항공기와 같은 리스크의 조합이다. 기존의 발생한 극단적인 재난으로 인한 손실 기록은 이러한 CAT 리스크 분석의 기반이 되므로 극도의 재난을 분석하는 것은 위험을 할당하고 보험료 가격을 결정하는데 중요한 기여를 한다. 따라서 예상치 못한 피해를 정리하고 최대한의 손실을 계산하기 위해서는 극도의 재해에 대한 분석이 필요하다.

3. 태풍의 건물 취약성 지표

3.1 태풍 매미 개요

태풍 매미는 국내에서 피해가 가장 크고 그 크기와 강도로 인하여 슈퍼태풍 매미로 불리며 극도의 재난으로 분류할 수 있다. 태풍 매미는 2003년 9월 4일 괌 인근 해상에 열대

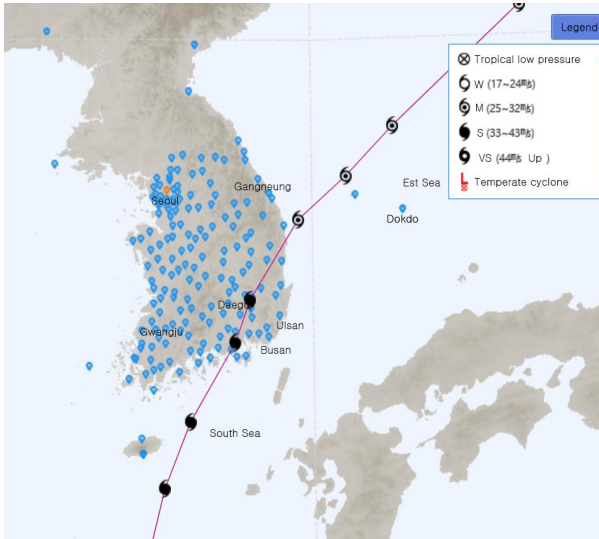


Figure 2. Typhoon Maemi's path

Table 2. Loss records from typhoon maemi

Province	Total	Claim Payouts (Mil. KRW)	No. of Claim Payouts
Gyongnam		11,075	107
Busan		10,185	134
Ulsan		925	25
Gyongbuk		518	20
Kangwon		238	4
Jeonnam		135	3
Daegu		87	4

성 사이클론을 발생시킨 뒤 일본 오키나와 현을 거쳐 11일 한반도 남해안에 상륙했다. 한반도의 동남쪽의 급속한 침투 후, 9월 14일 동해에서 사라졌다. 한반도에 영향을 미친 태풍 중 상륙 당시 가장 강력했다. 중심압력은 910hPa, 최대풍속은 54m/s, 최대규모는 460km(반경)이다. 심한 풍속과 폭풍우, 강수량 등으로 인한 피해도 컸다. 사망자는 135명, 피해자는 6만1000명, 재산 전체 피해액은 약 43억 달러(2003년 기준)로 집계됐다[12].

태풍 매미는 Figure 2와 같이 2003년 9월 11일 한반도를 강타하며 남해안에 있는 한반도에 내륙을 통해 동해안에 많은 도시들의 남쪽 해안에 극단적인 경제적 손실을 발생시켰다.

Table 2는 태풍 매미로 인한 지역별 손실분포를 나타낸 것이다. 특히, 한반도 남부와 부산, 경남 지역에 위치한 지방들은 태풍으로 인해 극심한 피해를 입었다. 경남은 이

태풍으로 총 손실액의 48.0%와 총 손실 건수의 35.4%에 해당하는 피해가 있었다. 부산도 총 피해액의 43.8%와 손실 건수의 45.0%로 큰 피해를 입었다.

3.2 취약성 지표

보험회사 데이터 기준의 손실기록은 1)사고내용, 주소, 손실금액, 사고일, 2)건물가치, 공사종류, 층수, 지하층수 등 2가지로 구성된다. 본 연구에서는 기존 위치정보를 바탕으로 풍속도, 해안선까지의 거리 등을 산출하였다. 풍속은 태풍의 강도를 나타내는 중요한 지표로 홍수, 폭풍우, 산사태, 등의 피해를 야기 시킨다[13,14]. 피해가 발생한 개별 건물의 풍속도는 사고 발생일과 지리정보시스템을 활용한 손실기록의 주소정보를 바탕으로 수집하였으며 풍속 정보는 일본 기상청의 최대 풍속(10분 지속기준) 기록에서 수집하였다. 건축물로부터 해안선까지의 거리는 지리정보시스템을 이용한 주소정보를 바탕으로 추정하였다. 건물과 해안선 사이의 거리는 또한 폭풍우에 대한 취약성을 묘사하는데 중요한 역할을 한다. Highfield et al.[15]은 볼리바르 반도에서 발생한 허리케인 아이크에 의한 손실과 해안선으로부터의 거리와의 관계를 파악하기 위해 건물에서 해안선까지의 거리를 추정하였으며 해안선으로부터의 거리가 증가함에 따라 손실을 감소하며 해안선에서 더 멀리 떨어진 건물은 해안선에 가까운 건물보다 풍속의 영향이 감소함을 밝혔다.

또한 기본건물정보, 예를 들어 총 자산가치, 건물형태, 층수, 지하층수 등을 지표로 활용하여 건물에 따른 태풍 취약성을 파악한다. 건물가치의 총액은 태풍에 의한 손실의 통계적으로 유의미함을 나타내며 자산가치와 폭풍우의 손실과는 음의 상관관계가 있다. 건물의 가치 즉, 자산총액이 감소할수록 폭풍우 손실이 커진다는 것을 나타낸다[16]. 건설 유형도 건물의 태풍 취약성을 보여주는 중요한 지표다. 예를 들어 건설 유형을 목재, 석재, 철근 콘크리트 등으로 나눌 수 있는 경우 일반적으로 철근 콘크리트, 철골, 석재, 목재의 순서로 태풍에 취약하다[2,17]. 본 연구에서는 건물의 형태를 보험사가 보험 가입 시 지정한 건물형태의 조건으로 철근콘크리트, 철골, 목조, 강판지붕 형식의 건물구조 형식을 사용하여 각 명목척도로 선정하였다. 건물 높이는 폭풍에 대한 취약성 정량화의 필수적인 지표로 간주된다[2,3]. 건물 높이는 재정손실 정도와 통계적 상관관계가 있기 때문에 건물의 허리케인에 대한 취약성을 정량

화하는 취약성 지수로 활용할 수 있다. 건물 높이와 태풍 손실은 음의 상관관계이며 건물 높이가 높아질수록 태풍 손실이 줄어든다[3,18]. 본 연구에서는 모델의 정량적 피해를 나타내는 종속변수는 식 (1)에 나타난 바와 같이 총 건물의 가치에 대한 보상금액의 비율로 표현하고 있는데, 이를 손실 비율(Loss Ratio)라고 칭한다.

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

여기서, LR= 손실비율(Loss Ratio)

CP= 총 보상지급 금액 (Claim Payout)

VP= 총 건물 가치(Building Value)

Table 3. Descriptive statistics of the variables

	N	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Dependent Variable					
Loss ratio (%)	213	1.68	5.21	.01	47.11
Independent Variables					
Total value of property (Mil. KRW)	213	24,537.46	31,715895	100.00	358,397.00
Construction type (number) †	213	1.31	0.75	.00	4.00
Floors (number)	213	13.75	9.04	1.00	30.00
Underground floors (number)	213	0.52	0.92	.00	6.00
Maximum wind speed (m/s)	213	36.48	1.23	30.24	38.56
Distance from coastline (km)	213	32.31	18.04	1.30	116.74

† 1)Reinforced concrete 2)Steel structure 3)Wood 4)Steel plate roof

본 연구에서 분석한 총 손실 건수는 213건이며 Table 3은 각 지표의 손실에 대한 기술 통계량을 나타낸다.

4. 분석결과

4.1 회귀분석 결과

Table 4와 Table 5에서는 상업시설과 주거시설의 태풍 매미의 태풍요소와 기본건물요소의 손실비율에 대한 회귀 분석 결과 값을 나타내고 있다.

Table 4의 상업용 건물의 회귀 분석에서, 조정된 R² 값은 0.345로, 손실 비율의 변종 중 34.5%가 회귀 모델로 기술할 수 있음을 나타낸다. 두 가지 중요한 변수, 즉 총 건물가치와 건물 유형은 태풍 손실에 대한 핵심적 취약성

요소로 파악 할 수 있다. 반면 다른 지표는 상업용 건물의 손실률과 관련이 없었다. 분산팽창인수(VIF) 값은 1.031에서 1.242 의 사이로 이는 변수 사이에 상당한 다공성이 없다는 것을 의미한다. 지표는 베타 계수의 내림차순으로 계층화를 하면 (1) 총 건물가치(베타계수 = -0.564)와 (2) 건설유형(베타계수 = 0.217)으로 건물의 가치가 높을수록 태풍에 의한 손실률은 감소하며 연구에서 제시한 건물유형의 명목척도(1:철근콘크리트조 2:철골조 3:목조 4:강판지붕)의 변화에 따라 손실률이 증가함을 나타낸다.

Table 4. Result of the regression model for commercial buildings

Variables	Commercial building			
	Coef.	Beta Coef.	p > z	VIF
Typhoon Info.				
Maximum wind speed	.083	.060	.566	1.022
Distance from coast	-.012	-.107	.301	1.031
Basic Building Info.				
Total value of property	-3.166e-005	-.564	.000	1.041
Construction type	1.094	.217	.037	1.037
Floors	.028	.091	.508	1.222
Underground floors	.082	.068	.771	1.242
N	57			
F	5.282			
Adj-R ²	0.345			

Table 5. Result of the regression model for residential buildings

Variables	Residential building			
	Coef.	Beta Coef.	p > z	VIF
Typhoon Info.				
Maximum wind speed	.481	.582	.000	1.106
Distance from coast	-.014	-.259	.000	1.043
Basic Building Info.				
Total value of property	-1.327e-005	-.420	.000	1.080
Construction type	-	-	-	-
Floors	.034	.175	.024	1.039
Underground floors	.023	.011	.714	1.051
N	156			
F	46.994			
Adj-R ²	0.579			

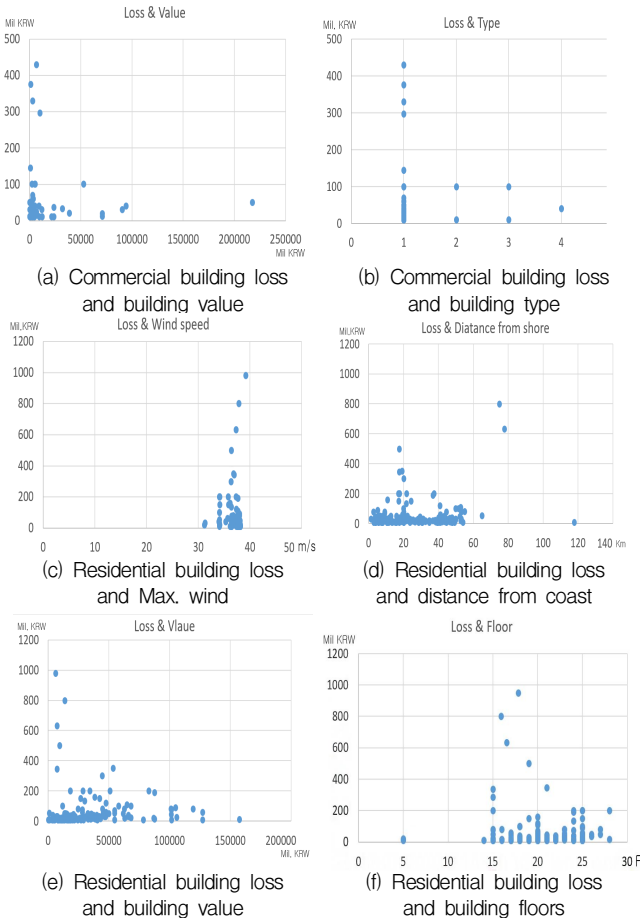


Figure 3. Scatter diagram of key indicators

Table 5의 주거용 건물의 회귀 분석에서 조정된 R^2 값은 0.579로, 손실률 변종 중 57.9%가 회귀모델로 설명될 수 있음을 뜻한다. 주거용 건물에서 태풍 손실의 심각성을 나타내는 지표로는 최대 풍속, 해안으로부터의 거리, 총 건물 가치, 층수로 4개의 중요한 변수가 확인되었다. 단, 기타 지표는 주거용 건물의 손실률과 관련되지 않았다. VIF값의 범위는 1.043부터 1.106 사이로 변수들 사이에 다중공선성이 없다는 것을 설명한다. 각 지표는 베타 계수의 내림차순으로 순위를 보면 최대풍속(베타계수= 0.582) (2) 총 건물 가치(베타계수=-0.420) (3) 건물의 해안선과의 거리(베타계수= -0.259), (3) 건물의 층수(베타계수=0.175)의 순으로 나타났다. 베타계수(Beta Coefficient) 값은 독립 변수의 단위 척도를 무시하는 표준화 계수를 지정해 독립 변수의 비교를 돕는다. 즉, 회귀계수를 표준화한 것으로 회귀계수의 중요도를 나타내며 변수의 베타 값이 0에 가까울수록 무의미한 변수로 해석되며 베타 계수의 값이 높을수록 종속 변수에 미치는 영향이 커진다고 판단할 수 있다.

4.2 주요지표의 산포도

Figure 3은 각 유의미한 지표와 손실과의 대응관계를 산점도로 표시하였다. 그래프에서 상업시설 및 주거시설의 건물가치에 따른 손실은 건물의 가치가 낮음에 따라 손실이 밀집되어 있으며 피해의 규모가 크을 알 수 있다. 또한 주거 시설의 손실과 건물층수의 관계에서 손실은 대부분 15~30층 사이에서 발생하였으며 그 구간에서의 손실은 층고에 반비례하는 경향을 확인 할 수 있다.

5. 결론 및 시사점

본 연구는 태풍 매미로 인한 피해상황을 통계적으로 분석해 태풍의 재난관리 경로를 토대로 태풍 피해의 특성을 확인하였으며 최악의 태풍 경우로 조사되었다. 태풍의 위력 때문에 슈퍼태풍 매미로 불릴 수 있고 극도의 재난을 분류할 수 있었다. 특히 손실 기록 분포와 관련해서는 부산, 경남 등 한반도 남부가 태풍으로 초토화됐다. 특히 손실분포는 경남의 오른쪽 측면이 왼쪽 측면에 비해 더 많은 피해가 발생했음을 보여준다. 태풍은 경남의 중부지방으로 상륙하여 태풍의 강풍과 강우로 이 지역 우측이 위험 반원으로 더 큰 영향을 미쳤기 때문이다[13].

상업시설 및 주거시설의 취약성 함수 모델 모두 P-value(0.000)가 0이기 때문에 통계적으로 유의하며 이는 종속변수와 독립변수의 관계가 있는 것을 의미한다. 각 회귀 모델에서 조정된 R^2 값과 유의한 지표가 다르게 나타났다. 상업용 건물 모델의 수정된 R^2 값은 0.345로, 종속변수의 분산의 34.5%를 2개의 지표(총 건물가치, 건물형태)로 설명할 수 있음을 나타냈다. 주거용 건물 모델의 조정된 R^2 값은 0.579로, 최대 풍속, 해안으로부터의 거리, 총 건물 가치, 층수의 4가지 지표로 손실률과 변수와의 관계를 57.9%를 설명할 수 있음을 나타낸다. 그러나 일부 확인되지 않은 지표로 인한 각각 나머지 상업시설의 65.5%와 주거 시설의 경우 42.1%는 본 연구에서는 고려하지 않았다. 회귀모델 중 유의지표와 R^2 가 다른 이유는 태풍 피해에 대한 피해 취약성이 건물용도에 따라 다르기 때문이며 또한 건축물의 사용용도에 따라 건물을 물리적/재정적 기능으로 분류할 수 있음을 나타낸다.

변수의 주요 지표 가운데 건물가치는 두 모델에서 공유되는 유의 지표다. 건물 가치는 태풍으로 인한 손실 정도와 음의 상관관계로 분석된다. 이는 건물가치가 낮을수록 손

실률이 높아진다는 것을 나타낸다. 즉 건물의 재산가치가 낮을수록 태풍에 취약함을 나타내며 이는 선행연구 결과와 일치한다[3,19]. 이전의 연구들은 건물의 재산가치가 태풍으로 인한 손실의 정도에 영향을 주고 손실 평가에 중요한 요소라고 언급했다. 해안으로부터의 거리 또한 폭풍에 대한 취약성을 설명하는데 필수적인 요인이라는 것을 증명한다. 해안과의 거리는 태풍으로 인한 손실과 음의 상관관계로 영향을 미치며 이는 해안에 가까워질수록 손실의 정도가 높아진다는 것을 의미한다. 해안과 가까운 건물일수록 태풍에 취약하다는 기존 연구 결과를 확인하고 태풍으로 인한 손실을 평가하기 위해 해안으로부터의 거리는 필수 지표임을 보여준다[15]. 태풍으로 인한 최대 풍속과 손실은 양의 상관관계가 있으며 이는 풍속이 높아지면서 손실이 증가함을 의미한다. 이는 최대 풍속이 태풍으로 인한 손실을 예측하는 필수적인 지표임을 제시한 기존 연구를 뒷받침한다 [11,14,20]. 또한 건물 유형은 건물의 태풍 취약성을 보여주는 주요 지표이다. 건물 유형과 손실률 사이에는 양의 상관관계가 있으며 건물 유형이 변화(철근 콘크리트, 철골, 목조, 강판지붕 순)에 따라 손실률이 증가함을 나타냈다. 이 결과는 이전의 연구들이 철근 콘크리트, 철골조, 석조, 목조 건물의 순으로 태풍에 취약함을 제시한 연구 결과와 상당부분 일치한다고 볼 수 있다. 건물 층수는 태풍에 의한 손실률과 양의 상관관계로 층수가 증가함에 따라 손실의 정도가 증가한다고 해석되며 이는 층수 즉 높이가 손실의 양을 측정하는 필수적인 지표임을 확인시켜준다.

본 연구에서 제시한 결과와 모델은 공공기관 및 재난관리 기관의 업무에 참고 자료로 이용될 수 있다. 예를 들어 공공행정기관은 본 연구에 제시된 지표와 함수를 통하여 재정손실을 예측하고 예상손실을 기준으로 태풍에 대한 완화전략을 수립함으로써 태풍에 의한 피해를 줄일 수 있다. 또한 본 연구의 프레임워크와 지표는 태풍에 의한 손실 데이터가 풍부하지 않은 다른 개발도상국에서 관련 연구에 사용될 수 있다. 이들 국가 및 기관은 본 연구에서 사용된 틀과 지표를 이용하여 폭풍 손실을 평가할 수 있으며 다른 지역 건물 취약성을 반영하기 위해서는 각 지역의 가중치에 의해 조정되어야 한다.

본 연구에서 제시된 지표들을 사용하여 보험사나 건설사의 경우에도 재정적인 손실을 예측하는 것이 가능하다. 보험 회사나 재보험 회사는 이 연구의 측정 기준을 사업 모델 을 재구성하는데 사용할 수 있다. 회사들은 이 모델을 사용

하여 개별 건물이나 그룹화 된 건물의 최대 손실을 추정하고, 사건 한도를 설정한 다음, 적절한 보험료 추정할 수 있다. 건설사들은 건물의 총 가치, 건물 형태, 건물 층수를 토대로 건물 취약성을 평가함으로써 기존 설계지침을 개선할 수 있다.

태풍은 전 세계적으로 심각한 재정적 손실을 초래한다. 따라서 보험사, 정부, 자치단체 등은 태풍 위험 평가 모델을 이용해 피해 수준을 추정하고 있다. 태풍재해 위험평가 모델의 취약성 함수는 보험회사와 국가의 통계자료 등 실제 손실분석을 바탕으로 생성, 검증된다. 그럼에도 불구하고 종합적인 손실 데이터의 부족은 취약성 함수 개발에서 통상적 문제 중 하나로, 경제력이나 정보력이 부족한 국가나 기관에서 더 문제가 되고 있다. 결과적으로, 본 연구는 국내 보험 회사의 손실 데이터 이용한 취약성 함수를 개발하는 방법을 제시한다. 본 연구의 결과와 프레임워크는 데이터가 부족한 분야에서도 지역 취약성 기능 영역의 상대적 취약성을 나타내는 지침을 제공할 수 있다.

따라서, 제시된 연구 결과는 정부 기관의 재난관련비상 기획관, 보험 회사, 재보험회사 및 건설사 등 여러 객체에서 손실을 예견하는데 필수적인 지침을 제공할 수 있다. 그러나 이번 연구에 사용된 데이터는 태풍 매미로 인한 피해일 뿐이며 이 연구 결과를 뒷받침하기 위해서는 다양한 범주의 태풍을 이용한 향후 연구가 필요하다. 조정된 R^2 의 각 값은 상업용 건물의 경우 0.345, 주거용 건물의 경우 0.579로 향후 연구에서는 모델의 설명력을 높이기 위하여 제시된 변수 외에 유효한 추가적 변수를 반영하여 개선시킬 필요가 있다.

요 약

태풍은 전 세계적으로 상당한 재정적 피해를 입힌다. 정부, 지방자치단체, 보험회사는 태풍 위험 평가 모델을 개발하여 자연 재해에 따른 재정 위험을 정량화하고 완화하고자 한다. 이에 태풍 위험 평가 모델의 중요성이 증가하고 있으며, 정교한 평가를 위한 국지적 취약성을 반영하는 것이 중요하다. 자연 재해와 관련된 경제적 손실에 대한 실질적인 기존 연구들이 필수적인 위험 지표를 확인했지만 취약성과 경제적 손실 사이의 상관관계를 다루는 종합적인 연구가 여전히 필요하다. 본 연구의 목적은 태풍 매미로 인한 손실

데이터를 바탕으로 태풍 피해 예측 함수에 대한 평가지표를 개발하기 위함이다. 본 연구에서는 취약성 함수를 만들기 위해 풍속과 해안가로부터의 거리, 그리고 건물가치, 건물 유형, 층수 및 지하층 수의 정보를 사용하였으며 국내 보험사가 제공하는 태풍 매미의 실제 손실 기록을 분석하고 취약성 함수를 개발하여 최대 손실 발생의 예방에 기여하고자 하였다. 본 연구의 결과와 지표는 건물의 실제 재정 손실과 지역 취약성을 반영하는 정부 기관 및 보험 회사의 취약성 함수 개발을 위한 실질적인 지침으로 활용될 수 있다.

키워드 : 손실 기록, 건물 취약성, 취약성 함수, 자연재해모델

Funding

This research was supported by a grant (NRF-2019R1F1A1058800) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

ORCID

Sungjin Ahn, <http://orcid/0000-0002-3419-8639>
 Taehui Kim, <http://orcid/0000-0003-0694-8559>
 Kiyoung Son, <http://orcid/0000-0002-5592-7458>
 Ji-Myong Kim, <http://orcid/0000-0002-1907-4291>

References

- Kim JM, Kim TH, Son KY. Revealing building vulnerability to windstorms through an insurance claim payout prediction model: a case study in South Korea, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2017 Jun;8(2):1333-41. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1337651>
- Khanduri AC, Morrow GC. Vulnerability of buildings to windstorms and insurance loss estimation, *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 2003 Mar;91(4): 55-67. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00408-7](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00408-7)
- De Silva DG, Kruse JB, Wang Y. Spatial dependencies in wind-related housing damage, *Natural Hazards*, 2008 Dec;47(3):317-30. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9221-y>
- Yang SP, Son KY, Lee KH, Kim JM. Typhoon path and prediction model development for building damage ratio using multiple regression analysis, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2016 Oct;16(5):437-45. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2016.16.5.437>
- Lee SS, Ham HJ. Evaluation of Typhoon Risk on Sandwich Panel Building Systems, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2011 Jan;27(1):77-84.
- Lee MY, Hong JH, Kim KY. Estimating Damage Costs from Natural Disasters in Korea, *Natural Hazards Review*, 2017 Nov;18(4):04017016-1-9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000259](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000259)
- Choi Y, Seo MH. Assessing the impact of the factors of urban characteristics on the damages caused by natural disaster using panel model, *Journal of Korea Planning Association*, 2013 Jun;48(5):309-18.
- Cohi CY. A study on natural hazards vulnerability in urban area by urban land use change: In case of kyonggi province, *Journal of Korea Planning Association*, 2003 Apr;38(2):35-48.
- Sanders DE, Brix A, Duffy P, Forster W, Hartington T, Jones G, Levi C, Paddam P, Papachristou D, Perry G, Rix S. The management of losses arising from extreme events, London: In Convention general insurance study group, GIRO; 2010. 45 p.
- Kunreuther H, Meyer R, Van den Bulte C, Chapman RE. Risk analysis for extreme events: Economic incentives for reducing future losses. Gaithersburg (MD): US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology. 2004. 93 p.
- Watson CC, Johnson ME, Simons M. Insurance rate filings and hurricane loss estimation models, *Journal of Insurance Regulation*, 2004 Mar;22(3):39-64.
- National Typhoon Center (Korea). Typhoon White Book [Internet]. 2011 [accessed on 15 December 2019]. Available from: <http://www.kma.go.kr/communication/webzine/typwhitebook.jsp>
- Kim JM, Woods PK, Park YJ, Kim TH, Son KY. Predicting hurricane wind damage by claim payout based on Hurricane Ike in Texas, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2015 Sep;7(5):1513-25. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1084540>
- Burton CG. Social vulnerability and hurricane impact modeling, *Natural Hazards Review*, 2010 May;11(2):58-68. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2010\)11:2\(58\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2010)11:2(58))
- Highfield WE, Peacock WG, Van Zandt S. Determinants &

- characteristics of damage in single-family island households from Hurricane Ike1. Proceeding of the NSF Engineering Research and Innovation; 2011 Oct 7–10; Minneapolis, USA, Minnesota (US): Association of Collegiate Schools of Planning; 2010. p. 7–10.
16. Kim JM, Kim T, Son KY. Revealing building vulnerability to windstorms through an insurance claim payout prediction model: a case study in South Korea. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2017 Jun;8(2):1333–41.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1337651>
 17. D' Ayala DA, Copping A, Wang HA. A conceptual model for multi-hazard assessment of the vulnerability of historic buildings. *Proceedings of Structural Analysis of Historical Constructions—Possibilities of Numerical and Experimental Techniques*; 2006 Nov 6–8; New Delhi, India. New York (US): Structural Analysis of Historical Constructions; 2006. p. 121–40.
 18. Kim JM, Son KY, Kim YJ. Assessing regional typhoon risk of disaster management by clustering typhoon paths. *Environment Development, and Sustainability*. 2019 Jan;21:2083–96.
<https://doi.org/10.1007/s10668-018-0086-2>
 19. Kim JM, Woods PK, Park YJ, Son KY. Estimating the texas windstorm insurance association claim payout of commercial buildings from hurricane Ike. *Natural Hazards*. 2016 Jun;84(1): 405–24.
<https://doi.org/10.1007/s11069-016-2425-7>
 20. Vickery PJ, Skerlj PF, Lin J, Twisdale Jr LA, Young MA, Lavelle FM. HAZus-mhhurricane model methodology. II: Damage and loss estimation. *Natural Hazards Review*. 2006 May;7(2): 94–103.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:2\(94\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(94))