

지역적 특성을 반영한 도시 위험성 평가 모델 개발 및 적용

Development and Application of a Regional Urban Risk Assessment Model

이 영 석¹⁾ · 유 진 권²⁾ · 원 진 영³⁾ · 송 영 갑[†]

Youngsuk Lee · Jinkwon Yoo · Jinyoung Won · Youngkarb Song

Received: 8th November 2024; Revised: 11th November, 2024; Accepted: 13th November, 2024

ABSTRACT : This study focuses on developing a disaster risk assessment model tailored to the specific characteristics of Seoul. The existing national government's evaluation system has limitations in fully reflecting the unique disaster and accident traits of Seoul. To address this limitation, this study proposes a customized risk assessment model that integrates four key indicators: hazard, vulnerability, exposure, and mitigation. The model identifies 23 priority disaster types including emerging and complex disasters that need to be managed by Seoul and calculates detailed risk and mitigation grades for each district. Based on this model, the disaster response capabilities of Seoul's 25 districts can be systematically analyzed, enabling efficient resource allocation and proactive response strategies. The findings suggest that this model enhances a preventive approach to disaster management and is expected to serve as a valuable assessment tool applicable not only to Seoul but also to other areas.

Keywords : Urban risk assessment, Region-specific disaster management, Disaster management resource planning

요 지 : 본 연구는 서울의 지역적 특성을 반영하고, 위험과 대응 역량을 평가할 수 있는 도시 위험성 평가 모델과 재난 유형별 세부지표를 제시하여 보다 정교한 도시 위험 평가를 가능하게 하고자 하였다. 기존의 국가 단위 위험성 평가 모델과 세부지표는 서울과 같은 복잡한 도시 환경의 재난 및 안전사고 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 위해성, 취약성, 노출성, 저감성이라는 네 가지 핵심 지표를 통합한 맞춤형 위험성 평가 모델을 제시하고, 지역 특성을 고려한 재난 유형별 세부지표를 도출하였다. 서울시에서 우선적으로 관리해야 할 23가지 주요 재난 유형(신종 및 복합재난 포함)을 도출하였으며, 기초자치구별로 세부적인 위험도 및 저감도 등급을 산출함으로써 각 지역의 재난 대응 역량을 체계적으로 평가할 수 있다. 이 평가 결과는 서울시 25개 자치구별로 재난 대응 역량을 비교·분석할 수 있는 기반을 제공하며, 자원의 효율적인 배분과 예측기반의 대응 전략 수립에 기여할 수 있다. 또한, 서울뿐만 아니라 다른 대도시에도 적용 가능한 유용한 평가 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 도시 위험성 평가, 재난유형 및 위험요소, 안전관리계획, 상시 위험관리

1. 서 론

도시 위험성 평가(Risk assessment)는 복잡한 도시 환경에서 발생할 수 있는 재난과 사고의 위험을 사전에 파악하고 대비하기 위한 필수적인 위험관리(Risk management) 작업이다(ISO and IEC, 2019). 평가 결과를 토대로 재난 저감 및 안전관리계획을 수립하여, 예방, 대비, 대응, 복구의 각 단계에서 효과적인 전략이 마련되어야 한다.

최근 기후 변화, 도시화, 사회적 변화 등으로 인해 도시의 재난 위험성은 더욱 복잡해졌으며, 이에 따라 지역 맞춤형 평가 모델의 필요성이 강조되고 있다(남수용 외, 2022). 그러나 지자체들은 지역의 재난정보와 분석체계의 미비로 데이터

기반의 재난 관리가 미흡하며, 객관적인 평가 또한 어려운 실정이다. 도시의 재난 및 잠재적인 위험을 종합적으로 평가하고 관리하기 위한 방안으로 중앙정부에서 제시하는 지역 안전지수, 자연재해안전도, 미래위험목록 등의 지표가 사용되고 있지만, 이들은 전국 단위의 비교를 위해 설계되어 지역적 특성을 반영하기에는 부족함이 있다. 예를 들어, 위험 목록은 기초지자체의 세부적인 문제점을 도출하기 어렵고, 지역안전지수는 자연재난을 고려하지 못하며, 자연재해 안전도 진단은 평가 지표가 제한적이어서 실제 위험성을 측정하는 데 한계가 있다.

따라서 본 연구는 이러한 한계를 보완하기 위해 위험목록, 지역안전지수, 자연재해안전도 등 기존 지표와 더불어 해외

1) Researcher, The Seoul Institute

2) Research Fellow, The Seoul Institute

3) Senior Researcher, National Disaster Management Research Institute

† Research Fellow, The Seoul Institute (Corresponding Author : yksong@si.re.kr)

재난 선진국에서 활용되는 평가 모델을 참고하여, 서울시의 지역적 특성을 반영한 맞춤형 재난 위험성 평가 모델을 제시하고자 하였다. 제시된 모델은 서울시 및 25개 자치구 안전관리계획, 재난 유형별 위험평가 보고서, 그리고 서울시 공공데이터를 기반으로 각 자치구의 재난 발생 및 대응 특성을 종합적으로 분석하여 보다 정교한 위험성 평가와 대응책 마련함에 중점을 두었다. 이를 통해 재난 및 안전·사고의 종합적 수준을 평가하고 취약성 저감사업 등의 재난관리정책 수립이나 재정요구, 실무 부서의 재난 정책 및 업무 계획 수립에 기본 자료로 활용될 중요한 지표가 될 것으로 기대된다.

2. 국내외 주요 위험성 평가제도

2.1 IPCC 및 UNDRR

기후 변화 적응(Climate change adaptation) 및 재난 위험 감소(Disaster risk reduction) 분야에서, 위험성은 일반적으로 세 가지 요소인 위해성(Hazard), 노출성(Exposure), 취약성(Vulnerability)의 곱으로 평가(위험성 = 위해성 × 노출성 × 취약성)한다(UNDRR, 2009; IPCC, 2012). 위해성은 기후 변화에 의해 유발된 자연 현상, 노출성은 그 영향을 받는 사람이나 자산의 정도, 취약성은 해당 재해에 대한 대응 능력이나 영향 정도를 의미한다.

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 기후 변화로 인해 발생할 수 있는 자연 재해를 대상으로 각 요소의 종합적 분석을 수행한다. 또한, 유엔 재난 위험 감소 사무국(UNDRR, United Nations Office for Disaster Risk Reduction)에서도 다중 위험을 고려하여 재해 위험을 줄이기 위한 정책과 대응 방안을 마련하기 위해 위험성 평가를 한다. 두 기관 모두 국가별 재난 관리 수준과 위험 수준을 파악하고, 위험 기반 의사 결정을 통해 재해와 기후 변화로 인한 위험을 종합적으로 평가하는 다차원적 접근을 취하고 있다.

2.2 영국 위험목록

영국의 위험등록제도는 국가적 차원의 국가 위험등록(National risk register)과 지역사회 차원의 지역사회 위험등록(Community risk register)으로 구분된다. 특히, 런던 광역정부는 런던 전역에 걸친 주요 위험에 대한 위험성 평가를 실시하며, 각 자치구는 개별적으로 위험을 평가하고 대책을 마련한다(Greater London Authority and London Resilience Group, 2022). 이 평가는 역사적 데이터와 과학적 모델링,

전문가의 의견을 바탕으로 향후 5년간 발생할 가능성이 있는 ‘합리적인 최악의 시나리오’를 기준으로 이루어진다. 평가 결과는 발생 가능성(Likelihood)과 그로 인한 영향(Impact)을 점수화하여 산출(위험성 = 발생 가능성 × 영향)하며, 국제표준화기구(ISO)의 ISO 31000 위험 관리 가이드라인(ISO and IEC, 2019)에 따라 수행된다.

2.3 지역안전지수

지역안전지수는 「재난 및 안전관리 기본법」에 따라 지자체의 재난 안전 수준을 정량화하여 2015년부터 매년 공개하고 있다. 지역안전지수의 평가는 매년 전년도 통계를 바탕으로 사망자 수, 사고 발생 건수 등의 위해지표와 관련된 요인들을 회귀 분석하여 산출된다. 주요 평가지표는 위해지표(사망자 수 등 위험 요소), 취약성지표(위험 요인), 경감지표(안전 요인), 의식지표(주민 의식)를 포함하며, 최종 지수는 5개의 등급으로 표시된다.

2.4 자연재해 안전도

자연재해 안전도 진단은 2007년부터 매년 시행되고 있는 제도로, 「자연재해대책법」에 근거하여 지자체별 자연재해 안전도를 평가하고 방재 역량을 강화하기 위해 시도 및 시·군·구별로 실시하고 있다. 평가는 위험요인, 재난관리, 시설관리 세 분야에서 33개 지표를 활용하여, 지자체별 자연재해 안전도를 5등급으로 평가한다. 위험요인 분야에서는 재해 발생 가능성, 피해 규모 및 취약성 요인을 포함한 지표가 사용되며, 재난관리와 시설관리는 재해 예방 행정과 방어 능력에 중점을 두고 있다. 평가 결과는 중앙진단반의 검증을 통해 도출되며, 안전도 지수 산출 후 등급이 산정된다.

2.5 미래위험목록 보고서

행정안전부는 지자체의 안전관리계획 수립과 재난 대응 역량 강화를 지원하기 위해 미래위험목록 보고서를 매년 발간하고 있다. 이 보고서에서는 재난 발생 가능성과 취약 계층·지역·시설을 정량적으로 평가하는 방법을 제시하고 있다. 평가지수는 Table 1과 같이 재난으로 인한 발생 건수, 인명 피해, 재산 피해는 피해지수로 반영하며, 취약지수는 재난에 취약한 사회적·경제적·인구학적 특성을 나타낸다. 위험지수는 피해지수와 취약지수의 가중평균(피해지수 40%, 취약지수 60%)으로 산정하고 있다(국립재난안전연구원, 2023a). 이 지표들은 전국 단위의 비교와 중앙정부 데이터에 기반하여 설계되었기 때문에, 개별 기초자치구의 환경 및 특화된 위험 요인을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다.

Table 1. Evaluation indicators of the future risk register

Indicator	Definition
Damage	Index that describes the direct damage caused by disasters and accidents. It includes statistics on the number of occurrences, human casualties, and property damage.
Vulnerability	Index that reflects the social, economic, and demographic characteristics that may increase the damage scale. It consists of vulnerable groups, areas, and facilities, and includes hydrometeorological factors in the case of natural disasters.
Risk	Index that explains the likelihood of direct damage occurring as a result of a disaster or accident.

2.6 정책적 함의 및 한계점

서울시의 재난 관리 체계를 고도화하기 위해서는, 해외 및 국내 위험성 평가 모델을 참고하여 서울의 재난발생 특성과 지역적·환경적 특성을 반영한 지역 맞춤형 평가 모델을 개발하는 것이 필요하다. 특히, 영국과 행정안전부의 미래위험목록에서 보여준 과학적 데이터와 전문가 판단의 결합 방식은 서울시의 특수한 재난 관리 체계를 세밀화하는 데 중요한 시사점을 제공한다.

- (1) 지자체별 세밀한 재난관리의 필요성: 영국은 국가 및 지역 차원에서 위험을 평가하고, 중앙정부와 지방정부 간의 협력을 통해 지역 맞춤형 대응책을 수립하는 방식으로 재난 관리 체계를 운영한다. 반면, 한국의 미래 위험목록에서 사용되는 평가지표는 전국 단위의 통일성을 유지하는 데 중점을 두고 있어, 기초자치구가 관리 중인 지역 특화 데이터를 충분히 반영하기 어려운 한계가 있다. 또한, 광역자치구 단위에서는 위험 등급과 취약 등급을 모두 제공하지만, 기초자치구 단위에서는 취약 등급만 제시되어, 지역별 특성에 맞는 세부적인 문제를 도출하는 데 한계가 있다.
- (2) 중앙정부 정책과의 연계성을 고려한 평가 모델: 서울형 위험성 평가 모델을 설계할 때, 중앙정부의 지표를 위험성 평가 프레임워크의 대분류 및 세부분류에 연계하는 것이 중요하다. 특히, 행정안전부의 위험도 평가 제도와의 정합성을 유지하고, 기존 평가지표와 데이터를 효과적으로 활용하는 방향으로 모델을 구축해야 한다. 또한, 서울시의 특수성을 반영한 평가 요소를 추가하고, 과거 발생 사례, 빈도, 재해경감 활동 및 시설 등을 고려하여 기초자치구별 맞춤형 평가를 수행하는 것이 필요하다. 이를 통해 각 지역의 위험도와 관리 역량을 보다 세밀하게 평가할 수 있으며, 평가 과정에서 자료의 연속성과 신뢰성을 확보하며, 기초

단위의 특성을 반영한 평가 체계를 구축하는 것이 필수적이다.

- (3) 기존 60종의 재난 관리 유형 외에도, 서울시가 직면할 가능성이 있는 신종 대형 재난 발생 요소를 발굴하여 평가 요소에 반영할 필요가 있다. 이를 통해 기존 관리 체계에서 다루지 못한 새로운 유형의 재난에 대비할 수 있는 대응 방안을 마련하고, 선제적으로 대비할 수 있는 재난 관리 체계를 구축할 수 있다.

3. 서울형 도시 위험성 평가 모델

미래위험목록은 역사적 데이터와 전문가 의견을 기반으로 각 재난·안전사고 유형에 대한 위험성을 평가한다. 해외 및 국내 중앙정부의 평가 방법론과 정합성을 유지하면서, 서울시의 특성에 부합하는 평가 프레임워크를 재설계하고, 객관적이고 과학적인 데이터와 현장 전문가 및 관리자의 경험을 반영하여 보다 구체적이고 실효성 있는 재난 예방 및 대응을 위한 평가 모델을 개발해야 한다.

본 연구를 통해 제시된 서울형 도시 위험성 평가 모델은 서울형 중점 재난유형 선정, 평가 프레임워크 설계, 세부지표 선정, 가중치 도출, 위험 및 저감지수 산출, 종합 위험 진단, 등급화 및 시각화 단계를 거쳐 평가하였으며, 각 단계별 세부 내용은 Fig. 1에 나타내었다.

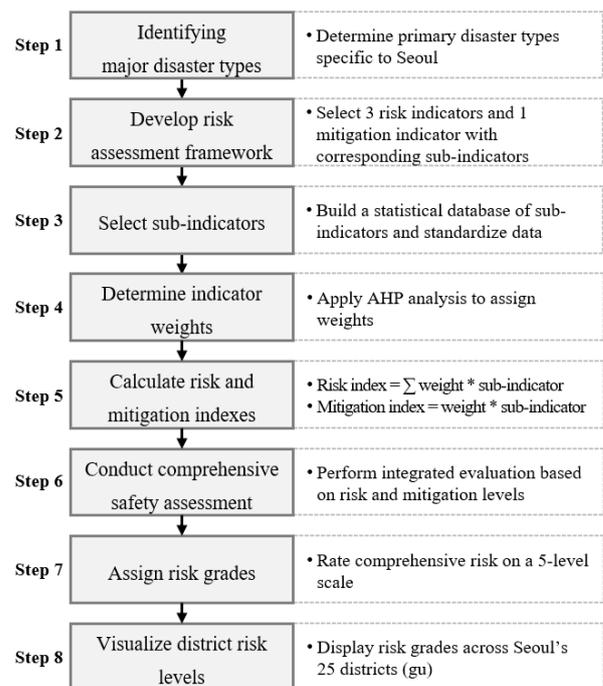


Fig. 1. Urban risk assessment process

3.1 서울형 중점 재난유형 선정

서울시에서 우선적으로 관리해야 할 재난 유형을 도출하기 위해 과거, 현재, 미래 시점을 반영하고자 하였다. 과거는 재난 발생 통계를 기반으로, 현재는 시민 설문 조사 결과를 반영하였으며, 미래는 전문가 전망 조사를 통해 서울시 안전관리계획(서울특별시, 2023)에 포함된 60개의 재난이외의 미래 발생 가능한 재난 유형을 발굴하였다. 이를 기반으로 서울시에서 중점적으로 관리해야 할 재난 유형을 도출하였다. 도출된 중점 재난유형은 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Major disaster types in Seoul

Natural Disasters	Social Disasters	Safety Accidents	Emerging/Complex Disasters
Storm and Flood	Fire/Explosion	Electricity/Gas Accident	Mass Casualty Accident
Drought	Forest Fire	Mountain/Recreational Accident	Information/Communication/Cyber Attack
Yellow Dust	Infrastructure Disaster	Water Leisure Accident	Ground Subsidence
Heavy Snow/Cold Wave	Road Traffic Disaster	Crime	Water Supply Interruption
Heat Wave	Railway Traffic Disaster	Suicide	Large-Scale Construction Collapse
-	Aviation Disaster	*Natural Dis. (5EA) Social Dis. (8EA) Safety Acc. (5EA) Emerging/Complex Dis. (5EA)	
-	Chemicals Disaster		
-	Infectious Disease		

3.2 위험성 평가 프레임워크 설계

서울형 평가 모델은 IPCC 및 UNDRR의 방법론, 행정안전부의 미래위험목록, 국내외 여러 연구의 평가 프레임워크를 고려하여 설계하였으며(Lee et al., 2019; 장대원 외, 2019; Chakraborty et al., 2021; Gallina et al., 2016), 결과는 Fig. 2와 같다. 대분류 지표는 현행 진단체계인 위험목록, 지역안전지수, 자연재해 안전도진단의 위험 지표를 위해성, 노출성, 취약성으로 구성하였으며, 저감지표(Mitigation Capacity)를

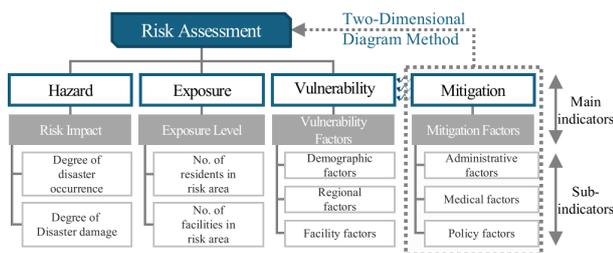


Fig. 2. Risk assessment framework

별도로 제시하여 서울시 자치구별 재난 대응 역량을 체계적으로 평가할 수 있도록 하였다.

각 대분류 지표는 Table 3과 같이 정의하였다. 특히 노출성 지표는 재난의 규모와 더불어 해당 재난에 노출되는 자원과 인구를 고려하는 것이 중요하다. 이를 통해 25개 자치구의 재난 대응과 자원 배분을 보다 효율적으로 계획할 수 있다.

위험성 및 저감성의 평가 방법을 수식으로 Eq. (1)과 같이 제시하였다.

$$R = \left(\sum_{i=1}^n w_i^{H2} \cdot H_i + \sum_{j=1}^m w_j^{E2} \cdot E_j + \sum_{k=1}^p w_k^{V2} \cdot V_k \right)$$

$$M = \left(\sum_{l=1}^q w_l^{M2} \cdot M_l \right) \quad (1)$$

여기서, R 은 재난 A의 위험지수, M 은 재난 A의 저감지수를 나타낸다. 위험성 및 저감성 평가 지표는 Eq. (2)와 같다.

$$H_i = \sum_{i=1}^n w_i^{H3} \cdot h_i, \quad E_j = \sum_{j=1}^m w_j^{E3} \cdot e_j,$$

$$V_k = \sum_{k=1}^p w_k^{V3} \cdot v_k, \quad M_l = \sum_{l=1}^q w_l^{M3} \cdot m_l \quad (2)$$

여기서, h_i, e_j, v_k, m_l 는 재난 A의 표준화된 세부지표 값이며, H_i, E_j, V_k, M_l 는 재난 A의 대분류지표 값을 의미한다. 대분류 지표의 가중치는 계층2(H2)에서 $w_i^{H2}, w_j^{E2}, w_k^{V2}, w_l^{M2}$ 로 나타내며, 세부지표의 가중치는 계층3(H3)에서 $w_i^{H3}, w_j^{E3}, w_k^{V3}, w_l^{M3}$ 로 나타내었다.

서울시 25개 자치구의 재난 위험성과 관리 역량을 파악하기 위해 국립재난안전연구원(2023b)에서 제안한 도해적 방법(Fig. 3)을 고려하였다. x축에는 위험성(Risk), y축에는 저감성(Mitigation capacity)을 각각 1:1의 비율로 설정하여, 두 지수를 0에서 1까지의 범위로 2차원 좌표에 도식화하였다.

Table 3. Evaluation indicators of risk assessment

Major indicator	Definition
Hazard	Factors that give direct impact and frequency of occurrence of disasters, including human, physical, and geographical elements.
Exposure	Elements that could be affected in the event of a disaster, including human, physical, and geographical aspects.
Vulnerability	Factors that make certain elements more susceptible to disaster impacts, including human, physical, and geographical components.
Mitigation	Medical, administrative, and policy measures that can reduce the damage caused by disasters.

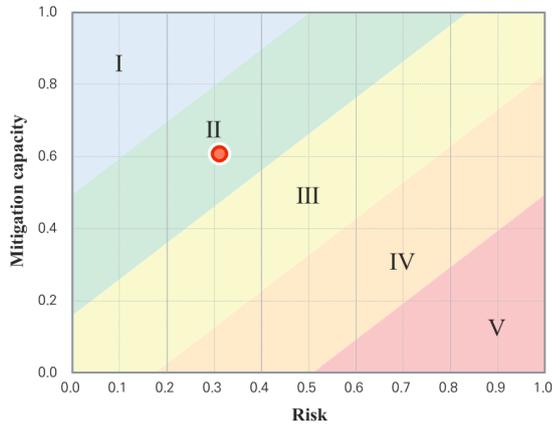


Fig. 3. Risk and mitigation capacity matrix (National Disaster Management Research Institute, 2023b)

각 구역은 I에서 V까지 총 5개의 등급으로 구분되며, 이들 등급은 위험성과 저감성을 결합하여 각 자치구의 위험 정도와 재난 대응 역량을 직관적으로 파악할 수 있다. 자치구 간의 역량 차이를 비교하고 광역시 차원에서 자치구의 지원 우선순위를 도출하는 데 유용하게 활용할 수 있다. 또한, 행정안전부의 재난관리평가 및 서울시 자체 기초자치구 평가와 연계하여 기존 평가 결과를 활용할 수 있다는 점에서도 큰 이점이 있다.

3.3 세부지표 선정

3.3.1 지표 선정

서울시의 재난 위험성 평가를 위한 세부지표는 중앙정부 지표와의 연계성, 재난 유형별 특성을 대표할 수 있는 대표성, 그리고 서울시의 지역적 특성을 반영하는 것을 기본 전제로 선정하였다. 또한, 서울시 재난관리 부서별 관리 항목과 재난유형별 관련 연구자료를 검토하여 최종 세부지표를 Fig. 4의 절차로 선정하였다.

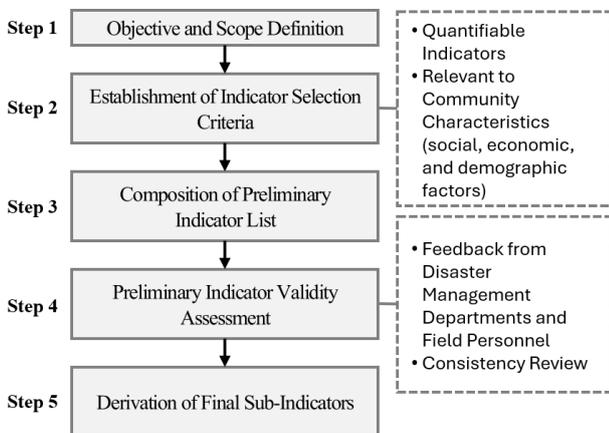


Fig. 4. Sub-indicator selection process

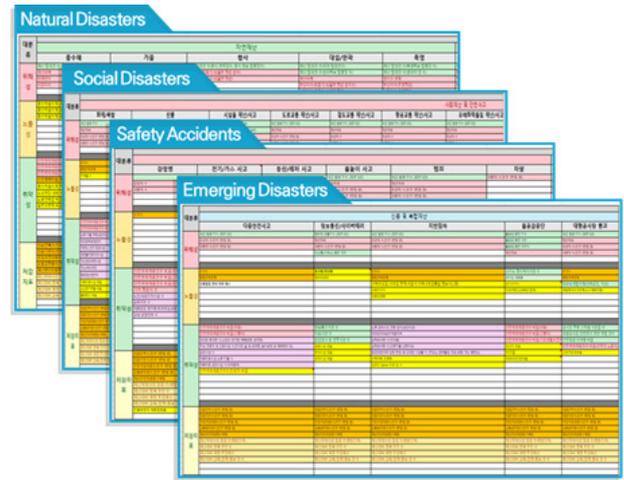


Fig. 5. Selected sub-indicators by disaster group

이러한 기본 원칙을 바탕으로 서울시 위험성 평가지표는 Fig. 5에 제시된 바와 같이 위해성 86개, 노출성 92개, 취약성 156개로 구성되었으며, 공통 세부지표로 저감성 9개가 추가되어 총 343개의 지표를 제시하였다.

3.3.2 서울형 재난안전DB 구축

서울시 재난 데이터는 서울시 차원에서 종합적으로 축적되지 않는 구조적 문제가 있다. 각 자치구가 데이터를 개별적으로 관리하고 있으며, 재난 안전 관련 데이터는 서울시의 공개 DB 플랫폼인 ‘열린데이터 광장’ 등에 분산되어 있다. 또한, 데이터의 체계적 분류 및 축적이 제한적으로 이루어져 있어 활용이 제한적이다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 서울형 재난 안전 데이터베이스(DB)를 구축하여 재난 안전 통계 자료를 체계적으로 수집하고 활용할 수 있는 기반을 마련하였다. Fig. 6과 같이 우선 세부지표에 대한 데이터를 수집하였으며, 표준화

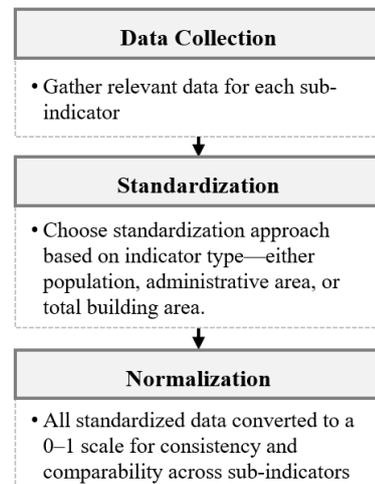


Fig. 6. Data processing of sub-indicators

는 통계 종류에 따라 주민등록인구, 행정구역 면적, 건축물 연면적 등을 기준으로 수행하되, 일부 중요 지역과 시설은 예외로 하였다. 정규화는 Re-scaling 기법을 사용하여 데이터를 0에서 1 사이로 변환함으로써 객관적이고 일관된 평가 기준을 제공하도록 하였다.

주요 데이터 출처로는 Table 4와 같이 서울시 열린데이터 광장, 서울시 빅데이터 캠퍼스, 자치구별 재난관리 평가 보고서 및 통계 연보 등을 활용하였다. 이를 통해, 서울시 지역 특성을 반영한 맞춤형 재난안전 DB를 구축하였다.

Table 4. Sources of disaster and safety data in Seoul

Category	Source
Ministry of the Interior and Safety (MOIS)	Disaster Yearbook (Natural and Social Dis.), National Disaster and Safety Portal, Future Risk Register, Regional Safety Index, Natural Disaster Safety Diagnosis
Government statistics	National Statistics Portal, Korea Disease Control and Prevention Agency (Patient Statistics), National Fire Information System (Fire Incidents), Wildfire Yearbook (Damage Statistics), Traffic Accident Analysis System (Accident Data), Air Quality Yearbook (Air Pollution Data), Police Crime Statistics, National Emergency Medical Information Network Statistical Yearbook, 119 Ambulance Service Statistical Yearbook
Seoul Metropolitan Government	Seoul open data platform (Traffic, Environment, Disaster, Population, etc.)
District statistics	Seoul disaster management evaluation report, Statistical yearbooks from each district office

3.4 가중치 도출

재난 유형과 평가 지표의 가중치 도출을 위해 Fig. 7과 같이 계층적으로 구조화하였다. 1계층(H1)은 재난 유형별 특성의 상이성과, 복잡한 판단 과정을 고려해 자연재난, 사회재난, 안전사고 및 신종·복합재난으로 구분하였고, 2계층(H2)은 그룹 내 재난 유형, 3계층(H3)은 대분류지표, 4계층(H4)은 세부지표를 포함하도록 설계하였다.

평가 모델은 위험성과 저감성 평가로 2개로 구성하였다. 위험성 평가 모델에서는 각 위험 지표에 대해 위험성, 노출성, 취약성의 상대적 중요도를 평가하는 것이고, 저감성 평가 모델은 공통 저감지표의 중요도를 평가하여 재난 발생 시 피해를 줄이기 위한 대응 전략과 저감 조치의 중요도를 도출하는 것이 목적이다.

이후 계층화 분석(AHP, Analytic Hierarchy Process)을 위한 설문조사를 실시해 각 지표의 가중치를 도출하였다. AHP 기법은 다기준 의사결정 모델로, 문제를 계층적 또는 네트워크 구조로 표현하고 대안 간의 선호도를 평가하는 방법으로 재

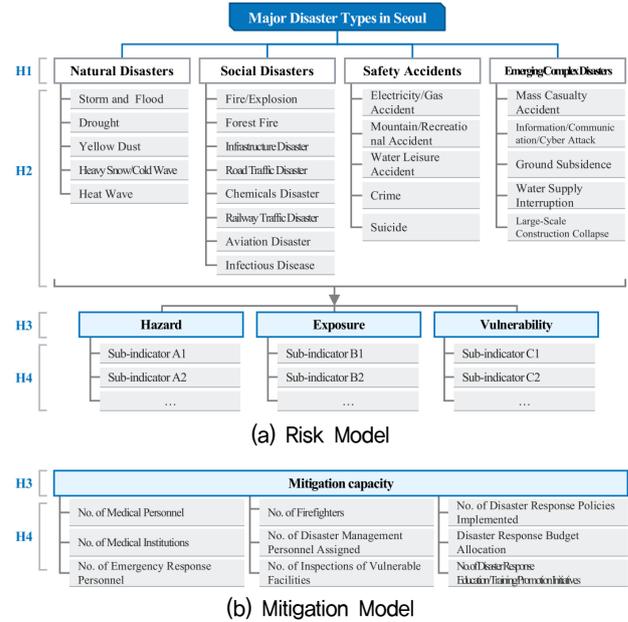


Fig. 7. AHP hierarchical structure

난 및 안전 전문가들의 경험과 지식을 의사결정 과정에 반영하는 데 있어 유용한 방법으로 여러 연구에서 활용하고 있다 (Im et al., 2021; Cho & Choi, 2021; Shin et al., 2024).

AHP 설문은 재난 및 재해 관련 분야에서 10년 이상의 연구 경력을 가진 전문가 25명과 서울시 재난 관리 담당자 25명으로 구성된 총 50명을 대상으로 실시하였다. 설문은 외부 전문 AHP 시스템을 통해 진행되었으며, 설문 중 일관성 비율(CR, Consistency Ratio)에 오류가 발생할 경우 즉시 수정할 수 있는 기능을 포함하고 있다. 그 결과, 평균 0.05의 CR 값이 도출되었고, 이는 Satty & Kearns(1985)가 제안한 기준인 0.1 이내에 부합하여 일관성 있는 결과로 판단된다.

3.4.1 대분류지표 가중치 선정 결과

서울의 중점 재난유형 23개 중 자연재해 그룹에서 가장 높은 중요도(H2, 40.8%)를 보인 풍수해의 지표 가중치 결과를 대표로 Table 5에 정리하였다.

3계층의 상대 가중치는 취약성(36%), 위험성(34%), 노출성(30%) 순으로 나타났으며, 저감성은 단일 지표로 100%의 값을 갖는다. 각 지수별 지표 수를 고려한 단순 평균에서 취약성과 위험성의 중요도가 거의 동일하게 평가되었다. 위험성은 재난의 발생 확률과 그에 따른 피해 원인을 평가하는 지표이며, 취약성은 재난과 사고에 대한 취약성을 측정하는 지표이다. 취약성 지표가 다소 크게 평가된 결과는 위험목록의 값과 유사하나 지역안전지수의 결과와는 다소 차이가 있는 부분이다. 이번 AHP 설문 결과는 기존의 국가 통계 기반 위험성 평가에서 위험성에 중점을 두었던 것과 달리, 지자체 수준에서 취약성에 대한 고려가 중요하다는 것을 시사한다.

3.4.2 세부지표 가중치 선정 결과

세부지표 가중치 분석 결과(Table 5), 각 지표가 재난 및 사고의 위험성을 평가하는 데 중요한 역할을 하며, 재난 유형에 따라 지표의 중요도가 다르게 나타났다. 이 결과는 재난 유형별로 차별화된 대응 전략을 수립하는 데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

저감성 지표에서는 재난 취약시설 예방 점검 수가 가장

Table 5. Weights for major and sub-indicators derived from AHP analysis

Disaster type (H2)	Major indicator (H3)	Sub-indicator	Weight (H4)
Storm and Flood (40.8%)	Hazard (34%)	Occurrence of disaster events	14.1%
		Property damage	34.6%
		Number of displaced persons	33.3%
		Number of fatalities	18.0%
	Exposure (30%)	Population living in flood-prone areas	40.2%
		Number of buildings in flood-prone areas	36.0%
		Road area within flood-prone areas	23.8%
	Vulnerability (36%)	Percentage of children in vulnerable population	11.3%
		Percentage of elderly in vulnerable population	18.1%
		Percentage of disabled in vulnerable population	12.3%
		Number of designated natural disaster risk improvement zones	12.6%
		Percentage of flood-prone areas	13.0%
		Ratio of underground roadway length to total road length	9.1%
		Percentage of old buildings	8.7%
		Percentage of impermeable surface area	14.9%
	Mitigation (100%)	Number of Medical Personnel	8.9%
		Number of Medical Facilities	9.2%
		Number of Rescue and Emergency Response Personnel	11.5%
		Number of Firefighters	11.3%
		Allocation of Disaster Management Resources	10.9%
Inspections of Disaster-Vulnerable Facilities		12.8%	
Implementation of Disaster Preparedness Policies		11.7%	
Budget Allocation for Disaster Preparedness		12.6%	
Number of Disaster Preparedness Training/Education/Outreach Activities		11.2%	

높은 중요도를 보였으며, 의료 인력 수 항목이 가장 낮은 중요도를 나타냈다. 그러나 전반적으로 지표 간 편차는 크지 않은 것으로 분석되었다. 예방 점검과 예산 확보와 같은 사전 대비 조치가 높은 중요도를 보인 것은 재난 관리에서 예방의 중요성을 의미한다고 판단된다.

4. 종합 위험진단 및 시각화

서울형 도시 위험성 평가 모델은 각 자치구의 상대적 위험성과 저감성을 등급화하여 재난관리 자원의 효율적 배분과 우선순위 설정, 안전관리계획 수립, 재난관리 자원의 배분, 재난 예산의 효율적 투입 등에 활용될 수 있다. 또한 자치구별 재난관리 수준을 비교·분석하고, 종합적인 안전 진단이 가능할 것으로 판단된다.

4.1 위험 및 저감지수의 등급화

중앙정부와의 정합성을 고려하여 미래위험목록과 동일하게 등급화를 수행하였다. 위험도는 5등급으로 나누어 매우 위험(5등급), 위험(4등급), 보통(3등급), 양호(2등급), 매우 양호(1등급)으로 구분하며, 각 등급은 10 : 25 : 30 : 25 : 10의 비율로 배분하였다.

반면, 저감도는 자치구의 재난 발생 시 피해를 줄이기 위한 예방 및 대응 역량을 평가하는 지표이다. 위험도가 높을수록 위험에 노출된 수준이 큰 반면, 저감도가 높을수록 해당 지역의 재난 대응 역량이 충분하다는 것을 의미한다. 따라서, 저감도는 매우 높은 대응 역량(1등급), 높은 대응 역량(2등급), 보통 수준의 대응 역량(3등급), 낮은 대응 역량(4등급), 매우 낮은 대응 역량(5등급)으로 등급화된다. 저감도가 높은 자치구는 재난에 대한 대응 능력이 충분한 지역으로 평가되며, 저감도가 낮은 자치구는 재난에 대한 대응 역량이 부족한 지역으로 분류된다.

4.2 종합진단 및 시각화

위험도와 저감도를 Fig. 8과 같이 도해적 기법을 기반으로 종합적인 안전도를 분석할 수 있도록 제시하였다. 예를 들면, 1등급 자치구는 위험도가 낮고 저감도가 높은 지역으로, 대응 역량이 충분한 지역으로 분류된다. 이러한 지역은 주기적인 예방 조치와 체계적인 재난 대응 계획이 잘 구축된 상태를 나타낸다. 반면, 5등급 자치구는 위험도가 높고 저감도가 낮은 지역으로, 특별한 관심과 자원 배분이 필요한 취약 지역으로 분류된다. 해당 지역은 재난 발생에 대비한 추가적

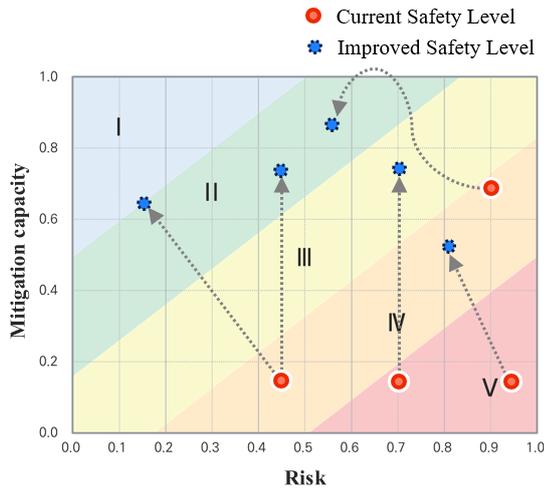


Fig. 8. Sample case of comprehensive safety assessment results

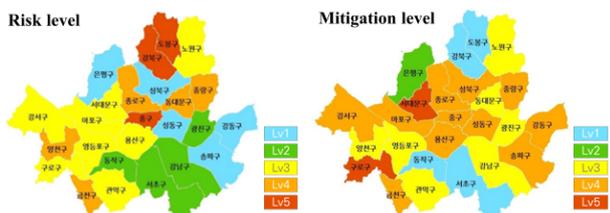


Fig. 9. Sample case of risk and mitigation level distribution across 25 districts

인 대응 역량 강화와 자원의 우선적 배분이 필요하다고 판단할 수 있다.

또한, 위험도와 저감도를 Fig. 9와 같이 시각적으로 표시하여 자치구별로 취약한 부분과 개선할 부분을 파악할 수 있다. 이러한 결과는 자치구 간 재난 대응 역량 차이를 명확히 하고, 지자체의 우선적인 지원과 자원 배분 전략을 수립하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 서울의 지역적 특성을 반영한 맞춤형 재난 위험성 평가 모델을 개발함으로써, 기존 중앙정부 평가 체계의 한계를 보완하고, 서울시의 복잡한 도시 구조와 다양한 재난 특성을 고려한 효율적인 재난 대응 체계를 제안하였다. 연구에서 도출된 주요 성과는 다음과 같다.

첫째, 서울시 위험성 평가 모델은 기존 모델에서 고려하던 위해성과 취약성 지표 외에 노출성과 저감성 지표를 추가하여 지역의 재난 관리 특성을 보다 정교하게 반영하였다. 노출성 지표를 통해 재난이 미치는 인구와 자산에 대한 영향을 명확하게 평가할 수 있으며, 저감성 지표를 통해 자치구별 재난 대응 역량을 객관적으로 평가할 수 있다.

둘째, 서울시에서 중점적으로 관리해야 할 23가지 재난 유형(신종 및 복합 재난 포함)을 도출하고, 해당 재난의 발생 특성을 설명할 수 있는 세부 지표와 가중치를 산정하였다. 이는 각 자치구에서 활용 가능한 데이터를 기반으로 하여 지역별 재난 관리 특성을 반영할 수 있도록 하였다.

셋째, 위험도와 저감도를 도해적 기법으로 종합 진단함으로써 자치구별 재난의 위험도와 대응 역량을 직관적으로 비교·분석할 수 있다. 이를 통해 위험 요소를 식별하고, 기초자치구의 재난 관리 사업 및 정책 효과를 모니터링할 수 있다. 또한, 광역 차원에서 재난관리 자원의 효율적인 배분이 가능하며, 예방적 재난 관리를 강화할 수 있다.

본 연구에서 제시한 서울형 재난 위험성 평가 모델은 다양한 정책적 활용이 가능할 것이며, 재난 안전 사각지대를 해소하고 취약 계층 및 지역을 우선적으로 관리하는 중요한 도구로 활용될 수 있을 것이다.

결론적으로, 서울시의 재난 관리 수준을 향상시키고, 지역 맞춤형 대응 체계를 구축하여 시민 안전을 강화할 수 있을 것이다. 또한, 본 모델은 서울뿐만 아니라 다른 지역과 다양한 재난 유형에도 적용되어 전국적인 재난 대응 체계 개선에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 서울연구원의 “도시위험성 평가에 기반한 상시 위험관리체계 전환 방안(2024-PR-11)” 과제의 지원을 받아 연구하였습니다.

References

1. 국립재난안전연구원 (2023a), 2023년에 바라본 미래 위험목록 보고서, 국립재난안전연구원, pp. 1~3.
2. 국립재난안전연구원 (2023b), 지자체 역량강화를 위한 사회재난 위험분석 및 컨설팅 체계 구축 연구, 국립재난안전연구원, pp. 17~18.
3. 남수용, 황순미, 엄호식, 이상호 (2022), 기후변화에 따른 해안가 복합재난 피해위험성 평가기술 개발, 물과 미래: 한국수자원학회지, Vol. 55, No. 5, pp. 6~15.
4. 서울특별시 (2023), 2023년 서울시 안전관리계획(안).
5. 장대원, 김연수, 김덕길 (2019), 사회재난 위험성 평가를 위한 재난유형 재분류 및 위험성 평가, 물과 미래: 한국수자원학회지, Vol. 52, No. 3, pp. 30~36.
6. Chakraborty, L., Thistlethwaite, J., Minano, A., Henstra, D. and Scott, D. (2021), Leveraging hazard, exposure, and social vulnerability data to assess flood risk to indigenous communities in Canada, International Journal of Disaster Risk Science, Vol. 12, No. 6, pp. 821~838.

7. Cho, H. and Choi, S. (2021), Investment priorities of the budgets for disaster and safety management projects based on euclidean distance with AHP, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 21, No. 3, pp. 23~37 (In Korean).
8. Gallina, V., Torresan, S., Critto, A., Sperotto, A., Glade, T. and Marcomini, A. (2016), A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment, *Journal of Environmental Management*, Vol. 168, pp. 123~132.
9. Greater London Authority and London Resilience Group (2022), *London Risk Register, Version 11*, pp. 4~7.
10. IPCC (2012), *Summary for Policymakers*. In: Field, Cambridge University Press, pp. 3~21.
11. ISO and IEC (2019), *IEC 31010, Risk Management - Risk Assessment Techniques*, pp. 12~22.
12. Lee, J., Kim, S.-W. and Kim, Y. (2019), Natural disaster risk assessment in local governments for estimating disaster management resources, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 19, No. 1, pp. 331~340 (In Korean).
13. Satty, T. L. and Kearns, K. P. (1985), *Analytical Planning*, Pergamon Press, pp. 19~62.
14. Shin, J., Sohn, J., Lee, H., Yoo, N. and Kim, Y. (2024), Developing safety project district selection indicators to reduce complex accidents, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 24, No. 4, pp. 45~55 (In Korean).
15. UNDRR (2009), *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*, UNISDR, pp. 35~35.
16. Im, H., Ahn, M., Yi, C., Lee, S. and Lee, J. (2021), Development of a comprehensive diagnosis index for disasters in declining areas and comparison of risks between regions: a case of Seoul, *Journal of the Korean Regional Science Association*, Vol. 37, No. 4, pp. 33~47 (In Korean).