

## HEC-RAS2D 와 GIS를 활용한 건물 침수피해 분석

## Analysis of Building Flood Damage Using HEC-RAS2D and GIS

김다희<sup>1</sup> · 조민경<sup>2\*</sup> · 윤홍식<sup>3</sup> · 이세윤<sup>4</sup>Da Hee Kim<sup>1</sup>, Min Kyung Cho<sup>2\*</sup>, Hong Sic Yun<sup>3</sup>, Se Yun Lee<sup>4</sup><sup>1</sup>Ph.D Student, Interdisciplinary Program in Crisis, Disaster and Risk Management, Sungkyunkwan University, Suwon, Republic of Korea<sup>2</sup>Ph.D. Candidate, Interdisciplinary Program in crisis Disaster and Risk Management, Sungkyunkwan University, Suwon, Republic of Korea<sup>3</sup>Processor, School of Civil, Architectural Engineering, and Landscape Architecture, Sungkyunwan University, Suwon, Republic of Korea<sup>4</sup>Master Course, Interdisciplinary Program in Crisis Disaster and Risk Management, Sungkyunwan University, Suwon, Republic of Korea

\*Corresponding author: Min Kyung Cho, cho1919@skku.edu

## ABSTRACT

**Purpose:** This study aims to quantitatively assess the direct damage to buildings caused by floods, which constitute the largest share of damage from natural disasters in South Korea. The evaluation employs HEC-RAS and GIS to develop a risk analysis model that contributes to the efficient allocation of resources and disaster management. **Method:** Scenarios were established based on river basic plans, and flood simulations were conducted using HEC-RAS 2D to visualize inundation depth and area. This data was used to create flood risk maps. Furthermore, building types, heights, and individual land value data were overlaid with the K-FRM model to predict direct flood damage. GIS integration enabled the incorporation and analysis of topographic and economic data for the study area. **Result:** A successful flood risk map creation system was developed, resulting in risk ratings based on inundation depth and area. By integrating building information and economic data analysis techniques, a method for predicting direct damage to domestic buildings that reflects structural and usage characteristics was proposed. **Conclusion:** The developed model can predict uncertain future losses, aiding in prioritizing disaster management projects and efficiently allocating resources. This research underscores the importance of risk and disaster management and provides crucial indicators for establishing safety plans.

**Keywords:** HEC-RAS, Flood Inundation Model, Flood Damage Estimation, Geographic Information System (GIS), K-FRM, Economic Analysis

## 요약

**연구목적:** 본 연구는 국내 자연재난으로 인한 피해액에서 가장 큰 비율을 차지하는 홍수로 인한 피해액 중 건물의 직접 피해액을 HEC-RAS와 GIS를 활용하여 정량적으로 평가하고자 하였다. 이를 통해 자원의 효율적 배분과 재난관리에 기여할 수 있는 리스크 분석 모델을 개발하는 것이 목표이다. **연구방법:** 하천 기본계획을 기반으로 시나리오를 설정하여 HEC-RAS 2D를 활용한 홍수 시뮬레이션을 통해 침수 깊이와 면적을 시각화하고, 이를 바탕으로 홍수 위험지도를 작성하였다. 또한, 건물의 종류와 층수(높이) 정보와 개별 공시지가 데이터를 중첩하여, K-FRM 모델을 근거로 홍수로 인한 직접 피해를 예측하는 방법을 연구하였다. 또한, GIS를 연계하여 연구지역의 지형정보와 경제데이터를 투입하고 분석하였다. **연구결과:** 홍수 위험지도 작성 체계를 성공적으로 구축하였으며, 침수 깊이와 면적에 따른 위험 등급을 도출하였다. 건물정보와 경제적 정보 분석기법의 통합을 통해 국내 건축물의 구조 및 용도를 반영한 직접 피해 예측 방법을 제시하였다. **결론:** 개발된 모델은 불확실한 미래의 손실을 예측하고 이를 통해 재난 관리 사업의 우선순위를 선정하고 자원의 효율적 배분에 기여할 수 있다. 본 연구는 리스크 및 재난 관리의 중요성을 강조하며, 안전계획 수립에 중요한 지표를 제시하고자 하였다.

**핵심용어:** HEC-RAS, 홍수범람모형, 홍수피해산정, 지리정보시스템(GIS), 다차원정량적 홍수피해산정법(K-FRM), 경제성분석

Received | 19 August, 2024

Revised | 8 November, 2024

Accepted | 15 November, 2024

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

## 서론

지구온난화 및 기후변화에 따른 환경 변화로 강우 강도가 급격히 증가하고 있으며, 이에 따라 대규모 홍수피해가 발생하여 매년 막대한 인적, 물적 피해가 발생하고 있다. 홍수는 매년 자연재난의 높은 비중을 차지하고 있으며, 특히, 2016년 국내에서 발생한 재난에 의한 전체 피해액 중 호우 및 태풍에 의한 피해액이 약 90%를 차지하였다(MOIS, 2017). 2021년 행안부에서 발간한 재해연보에서 홍수피해를 가장 크게 입은 2020년의 피해액은 1,318,177 백만 원이었으며, 복구에 필요한 경비는 피해액의 약 3.15배인 4,161,548 백만 원이 소요되었다. 또한, 최근 10년간 피해액 대비 복구액은 약 2배 이상이 소요됨을 확인할 수 있었다(MOIS, 2021). 정부는 홍수피해에 대한 대책으로 풍수해 저감 종합계획을 수립하여 시행하고 있으나, 홍수로 인한 피해는 꾸준히 발생하고 있다.

국내 홍수피해를 효과적으로 예방하기 위해서는 신뢰도가 높은 홍수 피해예측 결과를 도출하여 홍수피해방지 계획을 수립할 필요가 있다. 특히, 홍수로 인한 인적, 물적 피해가 증가함에 따라 홍수에 관한 리스크 평가를 하는 것이 요구되고 있다. 예상 유량을 활용하여 홍수 발생 기간 및 범위를 예측하고 홍수피해의 정량화를 시도할 필요성이 있다(Seong, et al., 2023). 홍수 관련 리스크 평가는 타 연구에서 다양하게 제시되었지만 본 연구에서는 홍수로 인해 발생하는 건물의 침수피해액을 추정하고자 한다.

본 연구의 목적은 침수로 인해 발생하는 경제적 피해액을 분석하여 효율적인 복구방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 수문공학센터 하천분석시스템(Hydrologic Engineering Centers River Analysis System, 이하 HEC-RAS) 2D를 통한 홍수범람 모델(침수피해 예측 시나리오) 구축하여 국내 정량적 홍수피해산정법인 K-FRM을 산정방법으로 채택하여 침수심별 각 건물의 직접 피해액 도출, Arc GIS를 활용한 전체 연구결과를 지도로 시각화하고자 한다.

## HEC-RAS 2D를 활용한 피해 범위 도출

### 입력데이터 구축

본 연구에서 활용한 데이터 인자는 총 11개이며, 활용한 프로그램은 총 3개이다. 먼저, GIS 건물정보 및 하천정보, 홍수피해 추정 모델을 활용하여 연구지역을 구성하였다. 데이터의 사용처는 HEC-RAS, Arc GIS, K-FRM이다. HEC-RAS 2D에 활용되는 수문데이터 구축을 위해 강우 자료를 수집하고 홍수량을 산정하였으며, 강우 자료는 목감천 유역의 기준자료인 한강홍수통제소 자료를 사용하였다. 인자 1은 빈도별 유량으로 홍수 시나리오 작성 시 활용되며, 인자 2는 유역면적으로 하천의 특정 지점의 침수면적 모사를 위해 활용되었다. 인자 3은 조도계수로 하천의 실제 형상 모사를 위해 활용되었으며, 인자 4는 설계홍수량, 인자 5는 설계빈도로 두 가지 인자는 하천의 치수능력 모사를 위해 활용되었다. 설계홍수량은 「홍수량 산정 표준지침(환경부, 2019)」을 바탕으로 HEC-HMS의 Clark 단위도법을 채택하여 산정하였다. 수문데이터는 하천 관리 지리정보 시스템을 이용하여 획득하였다. Arc GIS에 활용되는 데이터는 지형정보와 공시지가가 있으며, 인자 6 DEM, 인자 7 하천 단면 형상, 인자 8 단면 간 거리는 범람 시물레이션 시 지형에 따른 유수의 흐름을 반영한다. 인자 9는 건물 침수율에 따른 피해액 도출 시 활용된다. DEM은 국토지리정보원의 1:5,000 DEM을 활용하였으며, 하천 단면 형상 및 단면 간 거리는 하천 기본계획을 통하여 획득하였다. 공시지가는 한국부동산원 공시가격 알리미의 자료를 활용하였다. K-FRM에서 정의하는 건물/구조물 침수심 구간별 손상률은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 인자 10으로 나타낸 침수심 구간이며, 두 번째는 인자 11로 나타낸 건물용도이다. 인자 10은 침수 높이에 따른 피해액 도출 시 활용되며, 인자 11은 용도 및 침수심에 따른

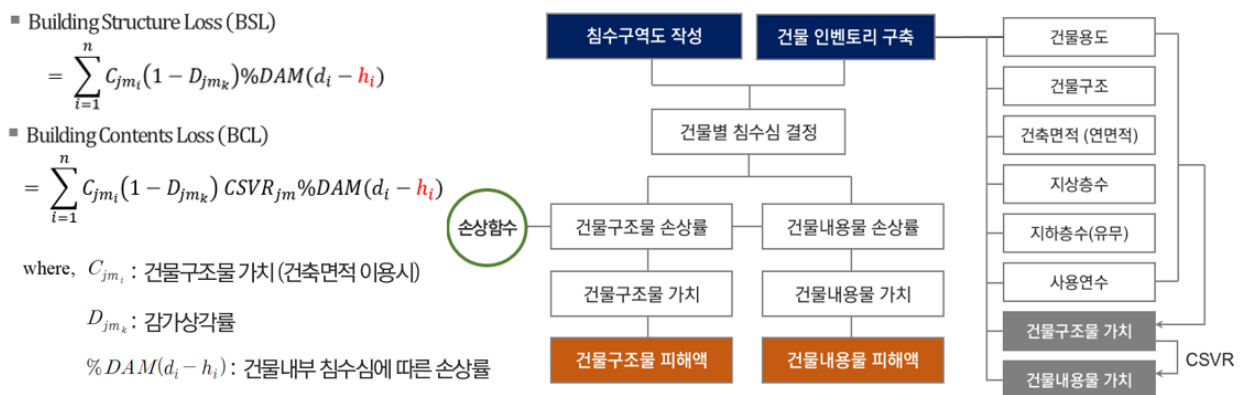
손상률 반영 시 활용된다. 건물/구조물 침수심 구간별 손상률은 한국건설기술연구원의 자료를 활용하였다. HEC-RAS의 수위 해석을 위해서 하류단 경계수위를 입력해야 하며, 정상류 해석에서는 하나의 수위를, 부정류 해석에서는 수위-수문곡선을 입력자료로 사용한다. Table 1은 입력데이터를 정리한 것이다.

**Table 1.** Data used in the research

구분	활용데이터	데이터 활용 목적	출처
HEC-RAS 2D	수문데이터	인자1 빈도별유량	홍수 시나리오 작성 시 활용
		인자2 유역면적	하천의 특정 지점의 침수면적 모사를 위해 활용
		인자3 조도계수	하천의 실제 형상을 모사를 위해 활용
		인자4 설계 홍수량	하천의 침수능력 모사를 위해 활용
		인자5 설계빈도	하천의 침수능력 모사를 위해 활용
Arc GIS PRO	지형정보	인자6 수치표고모델 (Digital Elevation Model)	홍수 시뮬레이션 시 지형에 따른 유수 흐름 확인
		인자7 하천 단면 형상	하천 기본 계획
		인자8 단면 간 거리	하천 기본 계획
K-FRM	공사지가	인자9 단위 면적 당(m <sup>2</sup> ) 개별 공사지가	건물 침수율에 따른 정량적 리스크평가수행
		인자10 건물구조물 침수심 구간별	침수 높이에 따른 피해액 도출 시 활용
		인자11 손상을 건물용도	용도 및 침수심에 따른 손상률반영 시활용

위 Table 1을 살펴보면, 총 3개의 프로그램이 활용되었으며, 각 프로그램 별로 3개 또는 5개의 데이터가 활용되었다. 데이터는 수문데이터와 지형데이터, 경제데이터로 구성되어 있으며, 각 데이터 특성에 따라 프로그램을 활용하였다.

건물 세부 정보를 토대로 개별 건물을 분석하고, 건물의 감가상각 고려하여 감가상각률을 반영한다. 손상함수는 피해조사 자료, 전문가 의견, 보험회사 Claim 자료 활용하여 직접 개발하여 건물 인벤토리(shp)와 침수구역도 간의 공간분석을 통해 건물의 침수심(m)을 결정하고, 손상함수(침수심(m)-손상률(%)관계)로부터 결정한 손상률(%)과 자산가치(원)을 곱하여 피해액 결정한다. Fig. 1은 건물 손상함수를 나타낸 것이다.



**Fig. 1.** Building damage vulnerability function

## 연구 대상 지역

연구 대상 지역 내 목감천은 2020년 1월 1일부터 지방하천에서 국가하천으로 승격되었으며, 이에 따른 하천기본계획을 새로 작성해야 하나, 아직 신규 하천기본계획이 작성되지 않은 상황이다. 또한, 2022년 8월 상류부 홍수위 범람에 따라 도시 침수 및 하천홍수 방지대책을 기반으로 하천 정비사업이 계획되어 있다. 목감천은 하류(도심지) 구간의 계획홍수량(765m<sup>3</sup>/s) 대비 28%(210m<sup>3</sup>/s)만 하도 분담이 가능해 치수적으로 매우 불안정한 하천이다. 특히, 2022년 8월에는 1시간 최대 강수량 109.5mm, 누적 강수량 503mm에 달하는 집중호우로 식곡교 인근 제방과 개명교 등 일부 지역에서 범람해 수재민이 발생하는 등 큰 피해가 있었던 지역이다. 또한, 기후변화에 따른 잦은 폭우로 인해 제3차 국가 기후위기 적응대책의 일환으로 정부는 기존 100년 설계빈도 기준 계획홍수량에서 200년 설계빈도 기준 계획홍수량 상향 지시를 하였다. 위와 같은 이유로 목감천 유역을 연구 대상 지역으로 선정하였다.

## GIS를 활용한 건물 피해액 추정 모델 구축

### 침수 피해 건물 추출 및 계산

HEC-RAS 2D를 활용하여 도출한 하천 범람 피해 범위를 TIF 파일로 만들어 GIS에서 전시할 수 있도록 하였다. 하천 범람 시 피해 범위 내에 있는 건물의 침수심을 도출하고 피해건물의 정보를 투입하였다. 또한, K-FRM의 건물용도 및 침수심별 손상함수를 활용하였다. 건축데이터 민간개방 시스템에서 건물의 용도 및 구조, 높이, 지상층수, 면적(연면적), 세대 수, 사용승인일 등이 포함된 건축물대장을 기반으로 살펴본 결과, 연구대상 지역인 목감천 인근 광명시 광명동의 전체 건물은 총 1,982채였다. Table 2는 연구 대상 지역 내 건물의 용도, 연면적, 높이, 지상층수, 건축물 구조 등을 정리한 표이다.

**Table 2.** Building Register of Gwangmyeong City, Gyeonggi Province

순번	건축물 용도	연면적 (m <sup>2</sup> )	높이(m)	지상층수	건축물 구조 및 재료
1	숙박시설	227.48	8	2	벽돌구조
2	위험물저장 및 처리시설	32	4.5	1	벽돌구조
3	의료시설	3940.2	40.6	10	철근콘크리트 구조
1980	업무시설	2059.18	40.95	12	철근콘크리트 구조
1981	제2종근린생활시설	1419.42	20	5	철근콘크리트 구조
1982	공동주택	630.96	12.8	4	철근콘크리트 구조

Table 2를 살펴보면, 목감천 일대의 광명시는 대도시 특성에 따라 지역의 건물이 전반적으로 벽돌과 철근콘크리트 구조로 건축물 용도가 업무시설 및 숙박시설 등 인명피해에도 취약한 특성을 지니고 있다. 경제적 피해액을 산출하기 위해 침수심에 따른 건물의 손상률과 현재 각종 세금의 기준이자, 실거래가의 기반이 되는 공시지가를 반영하였다. 시뮬레이션 결과로 나온 홍수 범람 지역의 침수심 높이 데이터를 GIS에 반영하여 건물의 높이와 침수심을 반영한 손상률로 도출하였다. 상기 구축한 건물 인벤토리(Shp 파일)와 침수구역도를 중첩 및 분석하여 해당 건물에서의 침수심을 결정하였다. 이때의 침수심은 건물

외부에서 침수심이므로, 지상층수와 건물 높이가 고려되었다. 건물 손상함수는 행정안전부, 풍수해 직접·간접피해를 고려한 피해 산정 및 예측기술개발에서 구축한 사유자산에 대한 직접 피해 평가 및 손상함수 개발(2020) 중 건물구조물 침수심 구간별 손상을 활용하였다. 건물구조물 침수심 구간별 손상을 정리한 것이다. 건물 높이와 침수심 데이터의 병합을 통해서 건물들의 침수심을 도출할 수 있었으며, 건물의 용도별로 다시 구분하여 침수심 및 용도를 반영한 손상을 도출할 수 있었다. 도출한 침수심 및 용도를 반영한 손실률과 공공데이터포털에서 획득한 경기도 광명동 일대의 건물 공시지가(2023.1월 기준) 자료를 추출하여 피해 범위 내에 포함된 건물들의 경제적 피해액을 도출하였다. 식(1)은 침수심 및 용도를 반영한 손실률과 건물 공시지가를 반영한 경제적 피해액을 도출하는 계산식을 나타낸 것이다.

$$\text{건물구조물 가치} = \text{연면적} \times \text{공시지가} \tag{1}$$

다음 식(2)는 앞서 기술한 수식에서 도출한 건물구조물 가치 금액을 나타내기 위하여 기존 손실률(%)을 소수로 변환하여 건물구조물의 가치와 곱하여 건물피해액을 나타낸 것이다.

$$\text{건물피해액} = \text{건물구조물 가치} \times \text{손상률}/100 \tag{2}$$

### 피해액 도출을 위한 데이터 전처리

GIS 건물 데이터와 강우사상에 따른 피해액 데이터 결합을 위해 프로그래밍 언어 Python을 활용하여 데이터 전처리를 수행하였다. Fig. 2는 GIS 활용 지오프로세싱 도구로 데이터 처리의 순서를 나타낸 것이다.

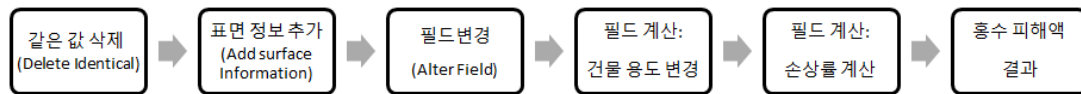


Fig. 2. Flowchart of Geoprocessing using GIS

먼저, 같은 값의 건물 데이터를 중복 값 제거로 처리하였다. 다음, 표면정보추가로 각 건물 표면의 겹치는 부분에서 파생된 침수심의 평균값으로 속성 입력되도록 하였다. 또한, 데이터 내의 필요한 필드만 남겨 필드이름을 변경하고 다수의 건물을 계산하기 위해 코드화 작업에 특화된 프로그래밍 언어 Python을 사용하였다. Fig. 3은 Python 활용하여 건물구조물의 손실률과 가치로 나누어 데이터를 처리한 흐름을 나타낸 것이다.

### 산출된 데이터값 계층화

먼저, HEC-RAS로 나온 Hazard Map에 건물 데이터를 중첩시키기 위해 데이터를 지오프로세싱에서 투영 정의로 TIF 파일과 건물 데이터 SHP 파일의 좌표계를 통일하였다. 먼저, 하천 설계지침에 따른 100년 빈도의 강우사상이 발생할 경우 예상되는 피해 범위 면적을 도출하였으며, 해당 면적을 침수심에 따른 손상함수를 활용하여 분석하고 이를 심볼화하였다. 다만, 연구지역 내에 건물 지형데이터 개수와 개별 공시지가 데이터의 개수가 상이하여 데이터 개체수가 적은 건물 지형데이터

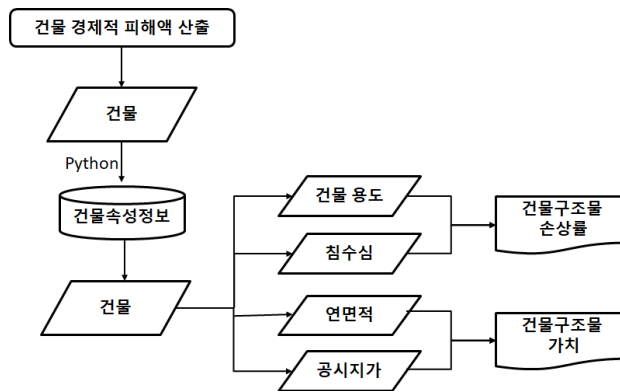


Fig. 3. Data preprocessing process using python

와 기준 지변을 병합하여 개수를 맞추어 분석하였다.

시물레이션 결과로 도출한 침수피해액을 새로운 열에 추가하여 Mapping 하는 작업을 시도하였다. Fig. 4는 시인성 향상을 위해 등도수 방법을 활용하여 침수피해액 레이블값을 오름차순으로 5단계로 구분하였고, 그 결과, 100년 빈도의 경우 1단계에서 가장 큰 피해액은 6,332만원, 5단계에서 가장 큰 피해액은 20억 1,104만원이었다.

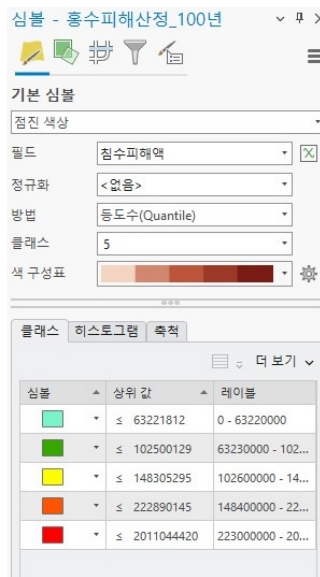


Fig. 4. Flood damage cost symbol

### GIS를 활용한 위험지도 도출

건축물대장과 공시지가 데이터를 통해 분석한 결과, 본 연구 지역인 목감천 인근 광명시 광명동 내 건물은 총 1,982개였다. HEC-RAS 2D를 활용한 홍수 시물레이션 결과, 100년 빈도 시나리오 하에서는 전체 건물의 34%가 침수되었으며, 200년 빈도 시나리오 하에서는 전체 건물의 53%가 침수되었다. Fig. 5는 100년 빈도와 200년 빈도의 강우사상이 발생할 경우의 침수 범위를 중첩한 것이다.

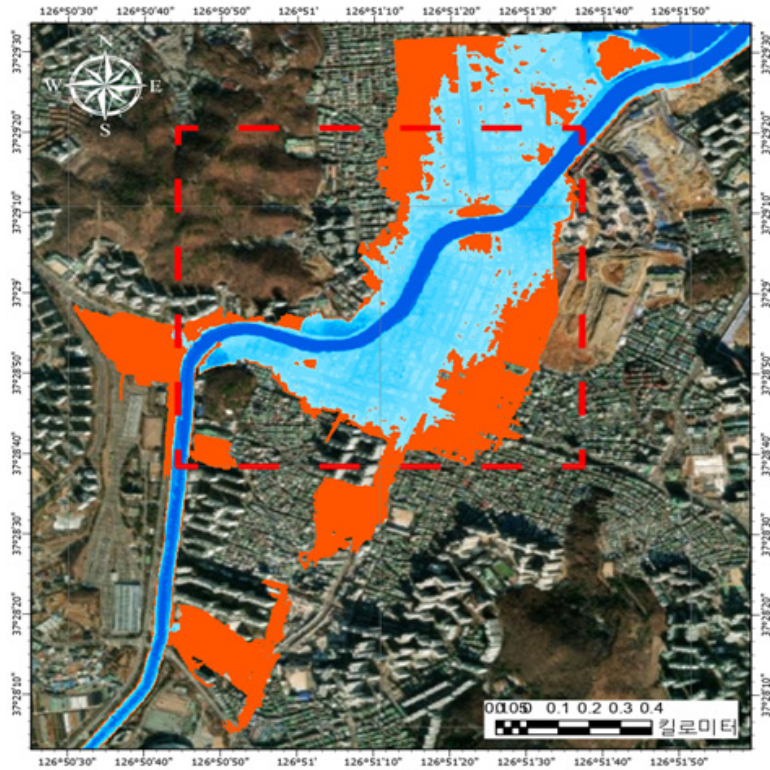


Fig. 5. Hazard map for 100/200year rainfall events

Fig. 5을 살펴보면, 200년 빈도에서 100년 빈도 외 지역의 침수가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 침수심에 따른 침수면적은 하천범람지도의 기준을 준용하여 5단계로 구분하였다. 100년 강우사상시 발생하는 침수면적과 200년 빈도 강우사상시 발생하는 침수면적을 비교한 결과, 약 46%의 면적이 추가 침수되는 것으로 분석되었다. Table 3은 각각 100년 빈도, 200년 빈도의 강우사상 시나리오에 따른 침수면적을 비교한 표이다.

Table 3. Inundation area according to flood depth for 100/200year frequency in Mokgam

침수심	100년 빈도 침수면적	200년 빈도 침수면적
0.5m 이하	0.87 km <sup>2</sup>	0.95 km <sup>2</sup>
0.5 ~ 1.0m	0.88 km <sup>2</sup>	0.92 km <sup>2</sup>
1.0 ~ 2.0m	1.66 km <sup>2</sup>	3.15 km <sup>2</sup>
2.0 ~ 5.0m	3.40 km <sup>2</sup>	4.80 km <sup>2</sup>
5.0m 이상	0.15 km <sup>2</sup>	0.32 km <sup>2</sup>
합계	6.96 km <sup>2</sup>	10.14 km <sup>2</sup>

Table 3을 살펴보면, 침수심에 따른 침수면적은 하천범람지도의 기준을 준용하여 5단계로 구분하였다. 200년 강우사상 시 침수범위는 침수면적이 10.14km<sup>2</sup>으로 시나리오에 따른 100년 빈도 침수면적과 비교 시 침수면적이 약 46% 높게 나타났다.

## K-FRM을 적용한 건물 침수피해액 도출

100년, 200년 강우빈도에 따른 건물의 침수피해액은 건물 용도별 및 침수심별에 따른 손상률을 활용하여 계산하였다. K-FRM을 적용하여 건물의 침수피해액을 산정한 결과는 다음과 같다.

Table 4는 건물용도별 피해건물 수를, Table 5는 건물용도별 피해액을 나타낸 표이다.

**Table 4.** Results of extracting the number of damaged buildings by overlay analysis

건물용도	피해건물 수(동)		
	100년	200년	
주거건물	단독주택 (조적조)	168	241
	단독주택 (철콘조)	67	116
	아파트	-	
	다세대연립주택/연립주택	249	308
비주거건물	1층근린생활	44	165
	2층근린생활	135	166
	종교시설	-	3
	문화/집회시설	-	
	판매시설	1	3
	운수시설		
	의료시설	4	
	장례시설		
	교육연구시설		9
	노유자시설		4
	수련시설		
	운동시설		
	공공업무시설	3	
	숙박시설	8	25
	위락시설	2	2
	일반공장		
	공해공장		
	창고시설		
	위험물저장/처리	1	2
	자동차관련시설		
	동/식물관련		
	분뇨쓰레기처리시설		
	교정 및 군사시설		
	발전시설		
	방송통신시설		
	묘지관련시설		
관광휴게시설			
합계	682	1,044	



**Table 5.** Results of extracting building damage costs through overlay analysis

건물용도	피해액 (백만원)		
	100년	200년	
주거건물	단독주택 (조적조)	15,115	160,765
	단독주택 (철콘조)	9,583	127,642
	아파트	-	
	다세대연립주택/연립주택	47,868	616,664
비주거건물	1종근린생활	7,855	1,027,020
	2종근린생활	24,396	784,424
	종교시설		20,393
	문화/집회시설		
	판매시설	281	305,022
	운수시설		
	의료시설	1,200	48,833
	장례시설		
	교육연구시설		27,513
	노유자시설		33,926
	수련시설		
	운동시설		
	공공업무시설	11,880	68,751
	숙박시설	775	69,771
	위탁시설	217	4,466
	일반공장		
	공해공장		
	창고시설		
	위험물저장/처리	13	415
	자동차관련시설		
	동/식물관련		
	분뇨쓰레기처리시설		
	교정 및 군사시설		
	발전시설		
	방송통신시설		
	묘지관련시설		
관광휴게시설			
합계	119,183	3,302,264	

Table 6을 살펴보면, Table 4에서 도출된 건물용도별 피해건물의 수를 정리한 표이다. 100년 강우빈도 상에서는 주거건물의 피해동수가 198개, 비주거건물 피해동수는 379개로 비주거 건물의 피해동수가 더 많았다. 200년 강우빈도 상에서도 주거건물의 피해건물 동수는 484개, 비주거건물 피해동수는 665개로 비주거건물 피해동수가 더 많았다. Table 6을 살펴보면,

100년 빈도의 총 피해건물 수는 682개, 200년 빈도의 총피해 건물 수는 1,044개였다. 주거건물과 비주거건물의 피해는 강우 빈도와 관계없이 비주거건물에 비해 주거건물의 피해 수는 40%에서 56%로 증가한 것을 확인하였다. 빈도가 200년으로 증가 시에 주거건물과 비주거건물 모두 181동의 피해건물이 추가적으로 발생하였는데 이를 통해, 침수면적이 넓어지면서 주거건물 외에 다중이용시설의 피해도 같이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 또한, Table 7을 살펴보면, 강우빈도에 따른 피해건물의 수보다 건물피해액에서 그 차이가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

**Table 6.** Assessment results by type of damaged buildings

홍수 빈도	주거건물 피해건물 수 (동)	비주거건물 피해건물 수 (동)
100년	198	379
200년	484	665
합계	682	1,044

**Table 7.** Results of building damage cost assessment

홍수 빈도	주거건물 피해액 (백만원)	비주거건물 피해액 (백만원)	피해액 합계 (백만원)
100년	72,566	46,616	119,183
200년	905,071	2,390,534	3,302,264

Table 7을 살펴보면, Table 5에서 도출된 건물용도별 피해건물의 경제적 피해액을 정리한 표이다. 건물 피해액은 빈도에 따라 약 27배 차이가 발생한 것을 알 수 있다. 건물의 용도에 따라 구분한 주거건물과 비주거건물의 살펴보면, 100년 빈도의 경우, 주거건물의 피해액이 약 1.5배 높았으나, 200년 빈도의 경우에는 비주거건물 피해액이 주거건물의 피해액보다 약 2배 높게 산정되었다. 이는 200년 빈도 시나리오의 경우, 100년 빈도에서는 침수되지 않았던 위험물저장 처리시설 및 교육 연구 시설 건물이 피해건물로 추가되면서 피해 금액이 크게 증가한 것으로 간주된다.

## GIS를 활용한 침수 피해 추정 모델 Mapping

### 홍수 피해건물 추출 및 계산

GIS를 활용하여 앞서 도출한 시나리오 Hazard Map과 건물피해액 결과를 중첩하여 나온 홍수피해지도를 작성하였다. Fig. 6(a)는 100년 빈도, (b)는 200년 빈도 강우사상일 때의 건물의 피해 규모를 나타낸 것이다. 홍수피해지도를 통하여 도출된 위험등급과 달리 건물의 침수피해액 산정 결과를 통하여 도출된 피해 등급은 피해 구역으로 구분되지 않고, 각 건물의 자산가치에 따라 나뉘는 것을 알 수 있다. 또한, 이전 연구에서 지역의 총 피해액만을 도출하였다면, 본 연구는 각 건물의 피해액을 산정하고 강우빈도에 따라 피해 등급이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 최종적으로 도출한 홍수피해지도를 활용하여 각 지역의 홍수피해 정도에 따른 건물의 침수피해액을 시각적으로 확인하여, 경제적인 피해액을 예측하는 지표로 활용할 수 있을 것이다. 재난 발생 시 예상 피해액은 지자체에서 복구비를 산정하고, 최악의 상황을 대비하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

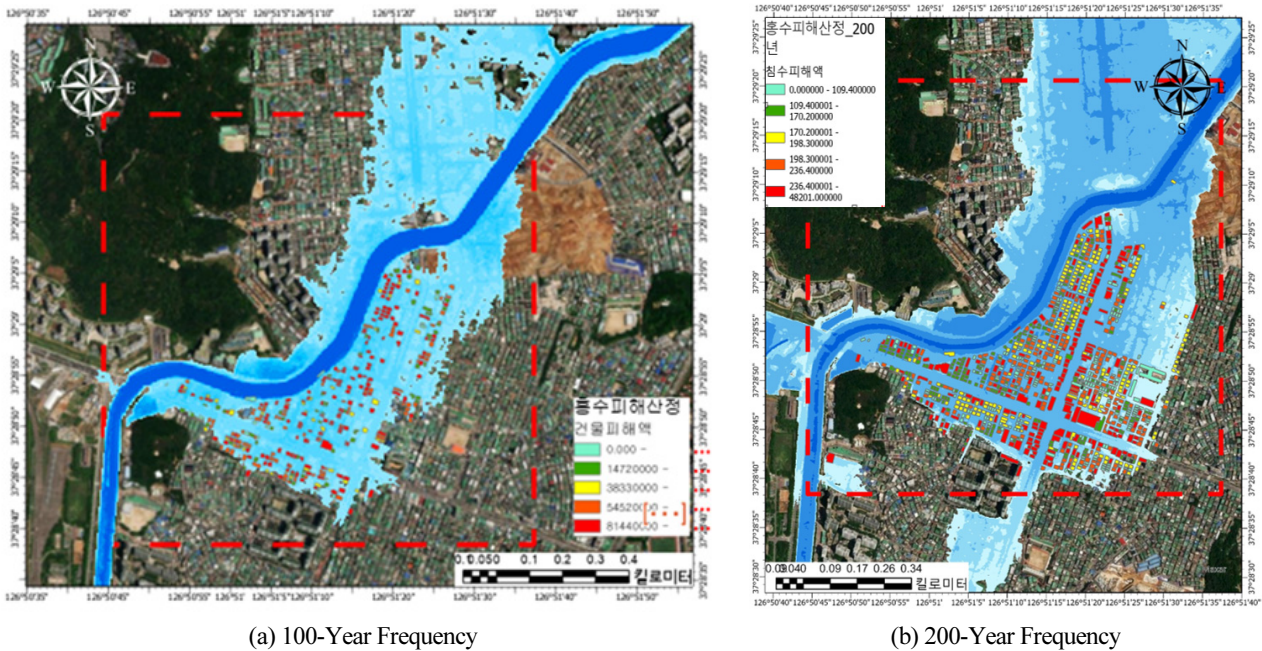


Fig. 6. Flood hazard map

## 결론

본 연구는 K-FRM을 적용하여 HEC-RAS2D 및 GIS를 활용하여 건물의 침수피해액을 정량적으로 분석하였다. 연구 방법으로 연구 대상지역의 5m 해상도 DEM과 100년, 200년 빈도 홍수량에 대한 홍수범람모형을 활용하여 HEC-RAS 2D 시물레이션을 수행하였으며, 침수피해액을 도출하기 위해 침수심에 따른 건물의 손상률을 산정하였다. 또한, 건물의 용도를 대분류하고 각 건물의 피해액을 도출하였으며, 최종적으로 GIS를 활용하여 홍수피해지도 시각적으로 나타내었다. 국내에서 홍수 피해산정법으로 활용되는 다차원 홍수 피해산정법(MD-FDA)은 일본 수치경제조사매뉴얼에서 제시한 함수를 사용하고 있으나, 건축법, 건물 특성, 건축공법 등 여러 측면에서 상당한 차이가 있으므로 국내 실정에 맞는 손상함수를 적용하였다. 기존 다차원 홍수 피해산정법(MD-FDA)의 침수심과 침수면적에 따른 피해조사와 차별성으로 침수심에 따른 개별 건물의 실질적 피해 산출을 통하여 각각의 건물의 취약성을 도출할 수 있었다. 건물피해액의 산정은 개별 공시지가 자료와 목감천의 100/200년 빈도의 강우 사상 및 HEC-RAS 2D 시물레이션으로 산출된 침수심의 곱으로 도출하였다. 건물 인벤토리 항목 중 높이 또는 구조 등 다양한 취약성 인자들을 추가한다면 홍수에 따른 건물피해액의 실질적 도출을 통하여 더욱 정밀한 정량적 리스크평가가 가능할 것이라 판단된다.

다만, K-FRM의 피해 항목 중 건물손상률에 한정된 침수피해액을 산출하였으므로 실제 홍수로 인해 발생하는 타 피해액에 대한 분석이 추가적으로 필요할 것으로 보인다. 향후 본 연구를 활용하여 농작물, 유형자산, 이재민 피해 등 K-FRM에서 정의하는 다양한 피해 항목들을 반영한다면 피해지역에 대한 전반적인 경제적 피해액을 산출할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 홍수 범람 모형으로 활용한 HEC-RAS 2D의 특성을 고려하여 고해상도의 DEM 데이터를 활용하여 시물레이션 수행한다면 하천의 형태를 더욱 유사하게 재현할 수 있을 뿐 아니라 더욱 실질적인 홍수위험지도를 작성할 수 있을 것이며, 추가로 GIS 및 Lidar 촬영 등 원격탐사 기술과의 활용을 통하여 더욱 신뢰도 높은 홍수피해 범위를 도출할 수 있을 것이다.

본 연구는 홍수로 인해 발생하는 경제적 피해를 정량적으로 추정함으로써 재난 복구 시 한정된 자원을 효율적으로 분배하는 데에 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 이는 재난관리 정책 결정 과정에서도 객관적인 근거로 활용될 수 있음을 시사한다.

## Acknowledgement

본 연구는 행정안전부 개발사업에 대한 빅데이터 기반 재해영향 평가 연구사업(과제번호: RS-2021-ND629011)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] FEMA (2004). Using HAZUS-MH for Risk Assessment. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- [2] Hwang, I.-G. (2022). Quantification of Flood Damage Using K-FRM. Master's Thesis, Kyungpook National University.
- [3] Institute for Water Resources (2018). HEC-RAS 2D User's Manual. US Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
- [4] Jeon, S.-M., Song, J.-H., Choi, S.-G., Lee, K.-D., Kang, M.-S. (2018). "Simulation of 1D and 2D flooding in riverine farmland using HEC-RAS." *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 60, No. 5, pp. 135-147.
- [5] Kang, J.-H. (2022). Quantitative Flood Risk Assessment Using Building Information Fusion Technology and Precision Terrain Data. Master's Thesis, Sungkyunkwan University.
- [6] Kim, D.-H. (2024). Analysis of Direct Flood Damage Using GIS and HEC-RAS 2D. Master's Thesis, Sungkyunkwan University.
- [7] Kim, G.-H., Kim, K.-T. (2021). "Development of the K-FRM analysis tool for estimating flood damage costs to support economic analysis of flood control projects." *Water for Future*, Vol. 54, No. 5, pp. 14-22.
- [8] Lee, G.-S., Lee, H.-S., Jung, K.-S. (2017). "Flood damage assessment using MD-FDA based on inundation map." *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, Vol. 19, No. 3, pp. 29-40.
- [9] Ministry of the Interior and Safety (2020). Development of Damage Assessment and Prediction Technology Considering Direct and Indirect Typhoon Damage. Ministry of the Interior and Safety, Seoul, South Korea.
- [10] Ministry of the Interior and Safety (2021). Disaster Yearbook. Ministry of the Interior and Safety, Seoul, South Korea.
- [11] Patel, D.P., Ramirez, J.A., Srivastava, P.K., Bray, M., Han, D. (2017). "Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling: A case application of the new HEC-RAS 5." *Natural Hazards*, Vol. 89, No. 1, pp. 93-130.
- [12] Seong, Y.-J. (2023). Quantification of Flood Risk and Uncertainty in Flood Inundation Model Based on Digital Twin. Ph.D. Dissertation, Kyungpook National University.