

## 「2024 년 춘천시 빅데이터 분석 경진대회」 결과보고서

춘천시 침수·산사태 취약지역 예측 및 분석  
- RCP 8.5 시나리오를 중심으로 -

2024. 10. 21.

춘천팻  
(김도균, 송정현, 옥근우)

# 목차

<b>I. 빅데이터 분석 .....</b>	<b>1</b>
1. 개요.....	1
추진배경.....	1
분석기간.....	2
참여자 .....	2
주요내용.....	2
2. 활용 데이터 .....	4
재해대응 취약성 데이터.....	4
물리적 취약성(침수) 데이터.....	5
물리적 취약성(산사태) 데이터 .....	5
강우 지수 데이터 .....	5
3. 빅데이터 분석.....	6
춘천시 담당자와의 협업 과정.....	6
데이터 분석 프로세스 수립 .....	7
데이터 수집 및 전처리.....	8
연구 방법론: LISA 클러스터링.....	16
4. 결과.....	19
각 지수에 대한 LISA 클러스터링.....	19
재해 유발 강우 지수에 따른 행정동 선정 .....	21
최종 분석결과.....	22
<b>II. 춘천시 행정적용 방안 .....</b>	<b>27</b>
1. 춘천시 행정 연관성 .....	27
2. 행정·정책 활용 방안 .....	28
유형화된 지역의 분석 .....	28
정책 제언.....	30
3. 기대효과 .....	33
연구의 한계점 및 후속 연구 방향.....	34

# I. 빅데이터 분석

## 1. 개요

### 추진배경

최근 기후변화로 인한폭우가 재난 수준에 이르고 있다. 과거와 달리, 여름철 강수는 장마기간에 집중되는 방식에서 벗어나 전 기간에 걸쳐 확산되고 있다. 이로 인해 예측하기 어려운 게릴라성 집중호우와 같은 기상이변이 빈번하게 발생하며, 이는 더 큰 피해를 초래할 수 있다. 예를 들어, 지난 7 월 강원도에 쏟아진 집중호우로 인해 경춘선 망우~별내 구간의 열차 운행이 전면 중단되어 지역 주민들에게 큰 불편을 초래했다.<sup>i</sup>

특히 강원도는 산악 지대가 많고, 하천과 계곡이 발달한 지형적 특성 때문에 산사태와 침수 피해의 위험이 매우 높다. 이러한 지형적 조건은 기후변화로 인한 호우 피해를 더욱 악화시키는 요인으로 작용한다. 실제로, 2024 년 여름에는 국도 5 호선 오월리 피암터널 인근에서 폭우로 인해 도로가 유실되었고, 강촌리 마을 일대가 침수 피해를 입었다. 뿐만 아니라, 2020 년 여름에는 북한강 주변에서 차량이 침수되고 도로가 전면 통제되는 등 여러 차례 큰 피해가 발생한 바 있다.<sup>iiiii</sup>

이러한 천재지변은 피할 수 없지만, 적절한 대비를 통해 피해를 최소화할 수 있다. 특히, 최근의 변화하는 기후 양상에 맞춘 선제적 대응이 필요하다. 과거의 강수 패턴에 기반한 재난 대응 체계로는 더 이상 기후변화의 영향을 충분히 대비할 수 없기 때문이다. 여름철에 집중되던 호우가 이제는 사계절 내내 예측할 수 없는 시기에 발생하고 있어, 기존의 재난 대응 체계를 전면 재검토하고 개선해야 한다는 필요성이 점점 더 커지고 있다.

이 과정에서 중요한 것은 단순히 누적된 과거 데이터를 분석하는 데 그치지 않고, 미래의 기후변화 시나리오를 반영한 선제적 대응책을 마련하는 것이다. 기후가 급격하게 변하고 있는 상황에서는 과거 데이터만으로는 다가올 기후 변화를 충분히 예측할 수 없다. 이를 보완하기 위해 기후변화 시나리오(RCP 8.5)와 같은 데이터를 활용하여 미래에 발생할 수 있는 기후 위험을 미리 대비해야 한다. RCP 8.5 는 온실가스 배출이 지속적으로 증가할 경우를 가정한 시나리오로, 이를 통해 극단적인 기상 상황에 대한 대응책을 더욱 체계적으로 수립할 수 있다.

따라서 산사태와 침수 위험 지역을 체계적으로 조사하고, 해당 지역에 대한 치밀한 관리가 필요하다. 이를 위해 데이터 분석은 매우 중요한 역할을 한다. 과거와 현재의 데이터를 정확하게 분석하는 것은 물론, 미래의 위험을 고려한 선제적 대응책 마련이 필요하다. 이러한

분석을 통해 취약 지역과 피해 가능성을 사전에 식별하고, 그에 따른 대응 방안을 마련함으로써 기후변화에 대한 효과적인 대비가 가능해진다. 이는 궁극적으로 지역 주민들의 안전을 보장하고, 재난으로 인한 피해를 최소화하는 데 기여할 것이다.

## 분석주제

춘천시 침수·산사태 취약지역 분석- RCP 8.5 시나리오를 중심으로 -

## 분석기간

9 월 9 일 ~ 10 월 14 일

## 참여자

김도균, 송정현, 옥근우

## 주요내용

본 연구는 춘천시의 복합 재해 취약성을 체계적으로 평가하고 대응 전략을 개발하기 위해, 재해 대응 취약성 지수, 물리적 취약성 지수(산사태 및 침수에 대한 취약성), 그리고 RCP 8.5 기후 시나리오에 기반한 미래 강우 취약성 지수를 통합적으로 분석하였다. 이 연구는 춘천시 각 지역의 재해 대응 능력과 물리적 취약성을 정량화하고, 기후 변화에 따른 미래 재해 위험을 예측함으로써, 재해 발생 가능성과 대응 능력 사이의 괴리를 식별하고자 하였다.

분석 과정에서 사용된 LISA 클러스터링 기법은 재해 대응 취약성, 물리적 취약성, 강우 취약성 각 지수에 따른 공간적 패턴을 분석하여, 지역별로 최우선 위험 지역 선별 및 위험 지역 유형화에 중요한 역할을 하였다. 이러한 공간적 패턴 분석을 통해 춘천시 내에서 재해 취약성이 높은 지역과 상대적으로 낮은 지역을 명확히 할 수 있었으며, 이는 향후 재해 대비 인프라 개선, 자원 배분, 그리고 교육 및 훈련 프로그램 설계에 핵심적인 정보를 제공한다.

연구 결과, 침수, 산사태 각각에 대해 재해 대응 취약성, 물리적 취약성에 따른 최우선 위험 지역을 선별할 수 있었고, 특정 지역에서 나타난 물리적 취약성 지수와 재해 대응 취약성 지수 사이의 차이에 따라 재해 대응이 필요한 지역들을 유형화할 수 있었다. 이는 춘천시 내 각 지역에서 재해 위험 유형에 맞는 대비가 필요함을 시사한다. 또한, 미래 강우 예측 지수는 기후

변화에 따른 잠재적 재해 위험을 평가하는데 중요한 요소로 작용하였고, 이에 따라 미래에 변화하는 기후 조건을 반영한 취약지역을 선별할 수 있었다.

본 연구는 춘천시의 정책 결정자들에게 각 지역의 재해 취약성을 기반으로 한 정책적 우선순위를 제시하고, 각 지역의 특성에 맞는 맞춤형 해결 전략을 구현할 수 있는 근거를 제공한다. 이를 통해 춘천시는 재해 발생 시 신속하고 효과적인 대응이 가능하며, 미래 기후 변화에 대비한 재해 리스크 관리를 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 활용 데이터

### 재해대응 취약성 데이터

#### 인구데이터

데이터명	데이터 설명	출처
고령인구수	총 고령인구 수(60 세~80 세) 합계, 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼
생산가능인구수	생산가능 인구 수(15~64 세) 합계, 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼
총인구수	총 인구 수 합계, 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼
유아인구수	유아인구 수(1 세~6 세) 합계, 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼

#### 건물 데이터

데이터명	데이터 설명	출처
지하층수	지하층수 평균, 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼
노후 건물수	20 년이상 노후 건물수 합계, 격자 500x 500500(m)	국토 정보 플랫폼
전체 건물수	전체 건물수 합계, 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼

#### 접근성 데이터

데이터명	데이터 설명	출처
소방서 접근성	소방서 접근성 평균, 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼
경찰서 접근성	경찰서 접근성 평균, 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼
병원접근성	병원 접근성 평균 ,격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼
응급의료시설접근성	응급의료시설접근성 평균 격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼

#### 회복성(경제력) 데이터

데이터명	데이터 설명	출처
공시지가	공시지가 평균격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼
개별주택가격	개별주택가격 평균격자 500x500(m)	국토 정보 플랫폼

## 물리적 취약성(침수) 데이터

데이터명	데이터 설명	출처
높이	국토지리정보원 연속수치지형도 표고점 데이터	V-WORLD 디지털트윈국도
경사도	전국 토양경사도를 조사한 공간정보데이터	V-WORLD 디지털트윈국도
불투수율	지구표면 지형지물의 형태를 일정한 과학적 기준에 따라 분류하여 동질의 특성을 지닌 구역을 나눈 후 지도의 형태로 표현	환경공간정보 서비스(토지피복지도)
배수등급	전국 토양의 물빠짐정도를 나타내는 배수등급을 조사한 공간정보데이터	V-WORLD 디지털트윈국도

## 물리적 취약성(산사태) 데이터

데이터명	데이터 설명	출처
산사태 위험등급	과거 전국 산림의 산사태 발생 이력자료(2 천 개소)를 활용하여 로지스틱 회귀분석을 통해 인자별 영향력에 따라 가중치를 부여하여 산출된 산사태 발생확률을 5 등급으로 구분하여 지도 제작 9 개 인자 : 임상(숲모습), 경급(나무지름크기), 사면경사, 사면방위, 사면길이, 사면곡률, 모암, 토심, 지형습윤지수	산림청 산사태 정보시스템

## 강우 지수 데이터

데이터명	데이터 설명	출처
RX1DAY	1 일 최대 강수량 - 행정동	기상청 기후정보포털
RX5DAY	5 일 연속 강수:최대 강수량 - 행정동	기상청 기후정보포털
Sdii	연평균 강수량 - 행정동	기상청 기후정보포털
80mm 강수량 일수	80mm 이상 온날 - 행정동	기상청 기후정보포털

### 3. 빅데이터 분석

#### 춘천시 담당자와의 협업 과정

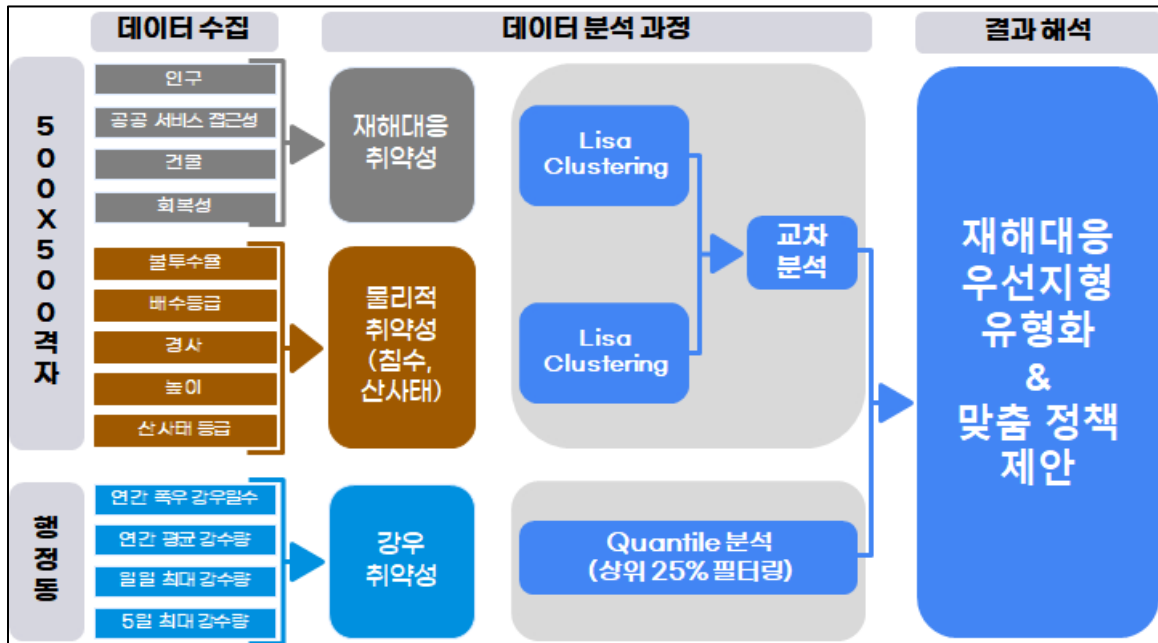
처음 춘천시를 방문했을 때, 춘천시 산림과 주무관님께 춘천시의 산사태 대응 시스템에 대해 문의하였다. 본 연구팀의 예상과 달리 춘천시는 이미 '산사태 위험지도'를 활용하여 산사태에 대응하고 있었다. 실시간 강우에 따른 산사태 위험도를 계산하여 위험 지역에 재난 문자를 전송하는 방식이었다. 따라서 토지 조건을 바탕으로 산사태 지수를 직접 생성하려 했던 초기 계획을 수정하게 되었다.

이후 춘천시 빅데이터 공모전 담당 주무관님과의 협의를 통해 춘천시 재해 대응 부서에서는 데이터를 기반으로 한 재해 대응 취약지역 선정 작업이 이루어지지 않았다는 사실을 확인하였다. 이에 따라 본 연구팀은 RCP 8.5 시나리오에 따른 강수 데이터, 춘천시 산림과에서 제공받은 산사태 위험 등급 데이터, 그리고 본 연구에서 개발한 침수 취약지수 및 재해 대응 취약지수를 활용하여 미래 극한 강우에 대비한 재해 대응 복합 취약지역을 선정을 진행하였다.

춘천시 공무원분들의 적극적인 협조 덕분에, 본 연구팀은 춘천시에 실질적인 정책 제안을 할 수 있는 실효성 있는 연구 주제를 선정할 수 있었다. 이번 연구는 춘천시의 재해 대응 역량 강화와 더불어, 기후 변화로 인한 극한 강우에 대비한 정책적 대응 방안을 마련하는 데 기여할 것으로 기대된다.



## 데이터 분석 프로세스 수립



(데이터 분석 프로세스)

본 연구는 **춘천시**의 재해 취약성을 평가하고, 재해 대응 능력과 물리적 취약성에 기반한 지역 유형화를 통해 향후 재해 예방 및 대응 전략을 제시하는 것을 목적으로 한다. **재해 대응 취약지수, 물리적(산사태, 침수) 취약지수에 대해 LISA(Local Indicators of Spatial Association) 클러스터링**을 적용하여 춘천시의 재해 위험이 높은 지역을 분석하였고, 이를 기반으로 각 지역의 특성을 유형화하였다.

또한, **재해 유발 강우 지수**를 활용하여 향후 10 년간 재해 위험이 높은 지역을 도출하고, 유형화된 지역과 교차 분석을 통해 재난 대응 방안을 모색하였다. 본 연구에서는 춘천시의 재해 취약성과 강우 패턴의 영향을 평가하기 위해 산사태 취약 등급 데이터와 재해 유발 강우 지수, 재해 대응 취약 지수를 중점적으로 분석하였다. 산사태 취약 등급 데이터는 산림청에서 제공하는 산사태 위험지도에 기반하여, 경사도, 습윤도, 토양 특성 등 여러 물리적 요인들에 대한 가중치를 적용하여 산사태 발생 가능성을 평가하였다. 이에 비해, 본 연구에서 산출한 재해 유발 강우 지수와 재해 대응 취약 지수는 각 변수에 가중치를 부여하지 않은 채로 계산되었다. 이는 각 변수가 가진 영향력을 동일하게 고려할 수 있다. 전문가의 설문을 바탕으로 한 가중치 설정은 일관성 유지를 할 수 없어, 객관성을 유지할 수 없고, 춘천시에 존재하는 침수 관련 재해 데이터를 확보할 수 없어 가중치를 설정할 수 없었다. 이후에 해당 연구를 바탕으로 추가적인 데이터 확보를 통해 더욱 정밀한 연구를 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 데이터 수집 및 전처리

### 재해 대응 취약 지수

본 연구는 재해 대응의 측면에서 취약한 지역을 분석하기 위해, 국제 사회에서 합의된 IPCC의 취약성 분석 방법론과 파리 협정에서 제시된 기후 변화 대응 원칙을 기반으로 취약성 요인을 정의하고자 한다. IPCC의 방법론은 기후 변화로 인한 재해에 대응하는 취약성 분석에서 공통적으로 사용되며, 이는 노출(Exposure), 민감성(Sensitivity), 그리고 적응 능력(Adaptive Capacity)을 핵심 요소로 고려한다.

본 연구에서는 선행연구<sup>iv</sup>를 참고하여 재해 취약성의 주요 요소로 인구와 건물 특성을 선정했다. 재해에 노출되는 인구 측면에서는 유아와 고령 인구 비율이 중요한 변수로 사용된다. 유아와 고령 인구는 신체적·환경적 한계로 인해 재해 발생 시 대응 능력이 제한적이기 때문에, 이 비율이 높을수록 해당 지역의 재해 대응 취약성이 높아진다. 반대로, 생산 가능 인구 비율이 높을수록 재해 대응과 회복이 빠르게 이루어진다는 연구 결과를 반영하여, 생산 가능 인구 비율이 높은 지역은 상대적으로 재해 대응 취약성이 낮을 것으로 분석된다.

건물 측면에서는 재해 발생 시 물리적 구조물이 피해를 최소화하거나, 복구 속도를 좌우할 수 있는 중요한 요소로 작용한다. 선행연구에 따르면, 지하층이 많은 건물은 침수나 구조 붕괴와 같은 위험에 더 취약하며, 20년 이상 노후된 건물도 재해 발생 시 구조적 손상을 입을 가능성이 크다. 따라서, 이러한 건물이 많은 지역은 재해 대응에 있어 취약할 가능성이 크다고 본다.

필수 시설에 대한 접근성도 중요한 고려 사항이다. 소방서, 경찰서, 병원과 같은 긴급 대응 시설의 접근성이 낮을수록 재해 발생 후의 초기 대응이 늦어지고, 이에 따라 피해 규모가 커질 가능성이 높다. 따라서, 필수 시설에 대한 접근성이 낮은 지역은 재해 대응 취약성이 높은 것으로 평가된다.

반면, 재해 대응 회복성 측면에서는 경제적 자원이 중요한 역할을 한다. 경제적 자원이 충분한 지역은 재해 이후 신속한 복구와 재건이 가능하다. 특히, '자연재해·재난 대응을 위한 탄력적 도시설계 연구'와 같은 선행연구에 따르면, 주택 가격 및 부동산 가격이 높은 지역은 재해 후 회복력이 강하다는 결과를 보여준다. 높은 부동산 가격은 해당 지역의 인프라와 경제적 자원이 잘 갖추어져 있다는 것을 의미하며, 이는 재해 후 복구 과정에서 큰 이점을 제공한다. 이러한 요소들을 종합하여, 본 연구는 재해 대응 취약 지수를 구성하는 요인들을 두 가지로 분류한다.

첫 번째는 취약성을 증가시키는 요인들로, 유아 및 고령 인구 비율, 노후 건물 비율, 지하층 건물 비율, 필수 시설 접근성 부족 등이 해당된다. 두 번째는 취약성을 감소시키는 요인들로, 생산 가능 인구 비율, 높은 주택 및 부동산 가격 등이 포함된다. 이를 바탕으로 재해 대응 취약성을 체계적으로 분석하고, 정책적 대응 방안을 제안하고자 한다.

### 재해 대응 취약 지수를 증가시키는 요인

- 인구: 유아 비율, 고령 인구 비율 (격자당 유아 수와 고령 인구 수를 격자당 전체 인구 수로 나누어 비율로 산출)
- 건물: 지하층 수, 20 년 이상 노후 건물 비율 (격자당 노후 건물 수를 격자당 전체 건물 수로 나누어 비율로 산출)
- 접근성: 소방서 접근성, 경찰서 접근성, 병원 접근성, 응급 의료 시설 접근성

### 재해 대응 취약 지수를 감소시키는 요인

- 회복성: 개별 주택 가격, 공시지가
- 인구: 생산 가능 인구 비율 (격자당 생산 가능 인구 수를 격자당 전체 인구 수로 나누어 비율로 산출)

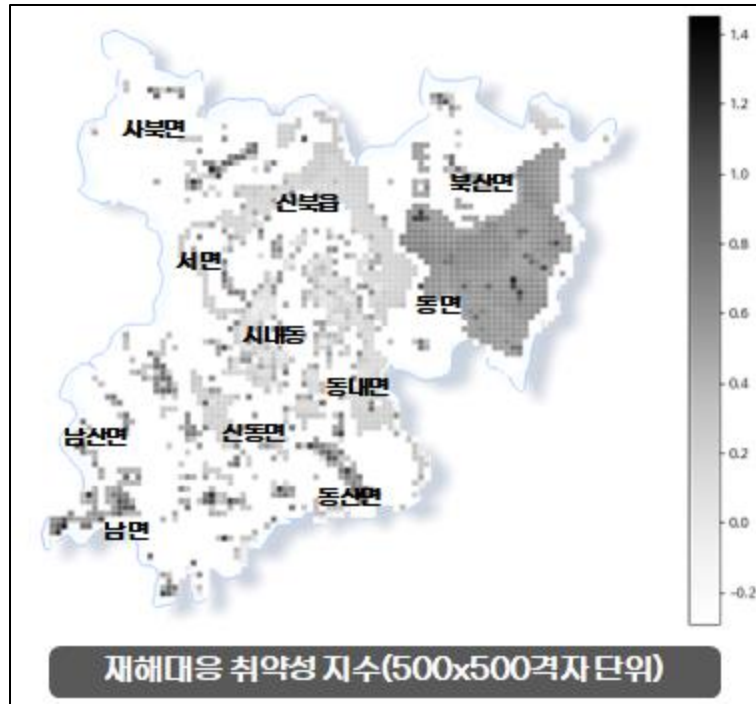
본 연구는 이러한 요인들을 바탕으로 재해 대응 취약 지수를 산출하며, 각 요인의 영향력을 종합하여 재해 대응 취약성을 분석하였다. 이 지수는 취약성을 증가시키는 요인과 감소시키는 요인을 반영하여, 재해 발생 시 각 지역의 대응 능력을 평가하는 데 중요한 지표로 활용된다.

### 재해 대응 취약 지수 산출 방식

본 연구에서 재해 대응 취약 지수는 다음과 같은 수식을 통해 산출된다:

$$\text{재해 대응 취약 지수} = \frac{\text{유아 비율} + \text{고령 인구 비율}}{2} + \frac{\text{지하층 수} + 20\text{년 이상 노후 건물 비율}}{2} + \frac{\text{소방서 접근성} + \text{경찰서 접근성} + \text{병원 접근성} + \text{응급의료 접근성}}{4} - \frac{\text{개별 주택 가격} + \text{공시지가} + \text{생산 가능 인구 비율}}{3}$$

해당 지수는 취약성을 증가시키는 인구 및 건물 요인과 필수 시설 접근성, 그리고 취약성을 감소시키는 경제적 회복성과 인구 구조를 종합하여 재해 대응 취약성을 평가하는 데 활용된다.



(재해대응 취약성 지수 시각화)

## 산사태 취약 지수

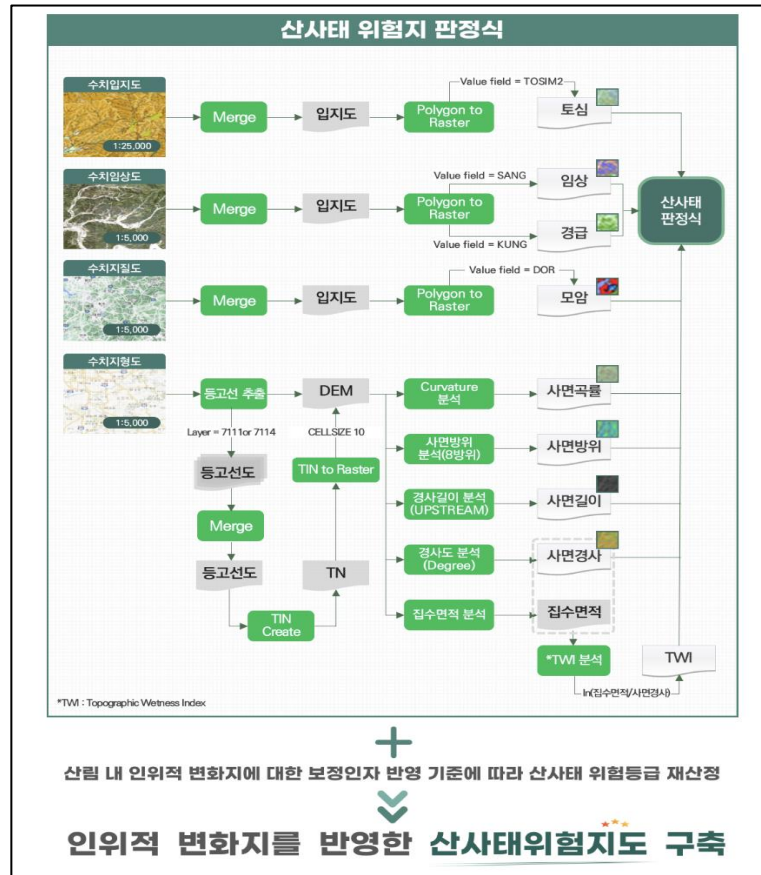
본 연구에서는 산림청에서 제공하는 산사태 위험지도 데이터를 활용하여 산사태 취약 지수를 산출하였다. 산사태 위험지도는 전국 산림 지역을 10m x 10m 격자로 세분화하여 산사태 위험 등급을 1~5 등급으로 제공하며, 1 등급은 가장 위험한 지역을 의미한다. 이 위험 등급은 경사면의 기울기, 지형 곡률, 집수 특성, 지형 습윤도 등 다양한 물리적 요인을 바탕으로 산출된 것으로, 산사태 발생 가능성을 과학적이고 체계적으로 평가할 수 있는 신뢰도 높은 자료이다.

이번 연구에서는 이러한 고해상도 데이터를 춘천시 지역에 맞춰 보다 실질적인 분석을 위해 500m x 500m 격자 단위로 재구성하였다. 이 과정에서, 산림청의 10m x 10m 격자 단위로 제공된 산사태 위험등급 값을 각 격자 내에서 평균을 내어 더 큰 격자로 변환하였다. 이러한 재구성 과정은 산사태 발생 가능성의 공간적 분포를 보다 거시적으로 파악하기 위함이다.

기존의 산사태 지수는 값이 1에 가까울수록 위험성이 높았으나, 이를 5에 가까울수록 위험성이 높은 지수로 변환하여 지역 간 비교가 용이하도록 조정하였다. 이 변환된 지수를 활용하여 각 격자에 대한 LISA Clusterig 을 수행함으로써 산사태 취약성을 보다 효과적으로 평가할 수 있도록 하였다.

최종적으로 산출된 산사태 취약 지수는 특정 지역의 산사태 발생 가능성을 물리적 특성에 기반해 정량적으로 평가한 값이다. 지수가 낮을수록 해당 지역이 산사태가 발생할 물리적

취약성이 높은 지역을 의미한다. 이 지수는 산사태 발생 가능성을 수치화하여, 춘천시 내에서 지역별 산사태 취약성의 차이를 보다 명확하게 구분하고, 재해 대응 및 예방 정책 수립에 유용한 기초 자료로 활용될 수 있다.



(산사태위험지도 구축 절차도)

## 침수 취약 지수

본 연구에서는 침수 취약 지수를 산출하기 위해, 토양의 배수 등급, 불투수율, 지형의 높이, 경사도와 같은 주요 물리적 지표들을 활용하였다. 이 지표들은 국내외 선행 연구와 침수 원인 분석 자료에서 침수 취약성을 평가하는 핵심 요소로 제시되었으며, 침수 발생 가능성을 평가하는 데 중요한 역할을 한다.

### 1. 배수 등급

배수 등급은 토양이 빗물을 얼마나 효과적으로 배출할 수 있는지를 나타내는 지표로, 토양의 투수성, 물의 흐름 속도, 지하수위 등의 요소에 의해 결정된다. 배수 등급이 낮을수록 물이

빠르게 배출되지 못해, 강우 시 물이 지면에 고일 가능성이 커져 침수 위험이 증가하게 된다. 본 연구에서 사용된 배수 등급은 "매우 양호"에서 "매우 불량"까지 6 단계로 구분되며, 배수 등급이 불량할수록 침수 취약성이 커진다. 배수 등급은 토양의 물리적 특성에 따라 침수 발생 가능성을 평가할 수 있는 중요한 물리적 지표로 채택되었다.

## 2. 불투수율

불투수율은 지표면이 빗물을 흡수하지 못하고 표면에 고이는 비율을 의미한다. 도시화가 진행된 지역에서는 도로나 건물과 같은 불투수층이 많아져, 빗물이 지면으로 스며들지 못하고 고이게 된다. 이는 도심 지역에서 침수 위험을 크게 증가시키는 주요 원인으로 지목되며, 불투수율이 높을수록 침수 취약성 또한 커진다. 본 연구에서는 불투수율을 중요한 변수로 반영하여, 불투수층이 많은 지역의 침수 위험을 평가하였다.

## 3. 지형의 높이

지형의 높이(고도)는 침수 취약성에 큰 영향을 미친다. 고도가 낮은 지역은 강우 시 물이 쉽게 고일 가능성이 높으며, 특히 하천 주변의 저지대는 침수에 매우 취약한 것으로 알려져 있다. 반면, 고도가 높은 지역은 물이 자연스럽게 아래로 흘러내려 침수 위험이 상대적으로 낮다. 따라서, 고도가 낮은 지역은 침수 취약성이 높은 지역으로 평가되며, 고도는 침수 취약성을 결정짓는 중요한 요인으로 활용된다.

## 4. 경사도

경사도는 물이 지표면에서 얼마나 빠르게 흘러내릴 수 있는지를 결정하는 요소이다. 경사가 완만한 지역은 빗물이 천천히 흐르거나 고일 가능성이 높아 침수 위험이 증가하는 반면, 경사가 급한 지역은 빗물이 빠르게 흘러내리기 때문에 침수 위험이 상대적으로 적다. 경사도는 이러한 물의 흐름 속도와 침수 위험성을 평가하는 필수적인 지표로 활용되며, 특히 평지와 경사지의 침수 취약성을 구분하는 데 중요한 역할을 한다.

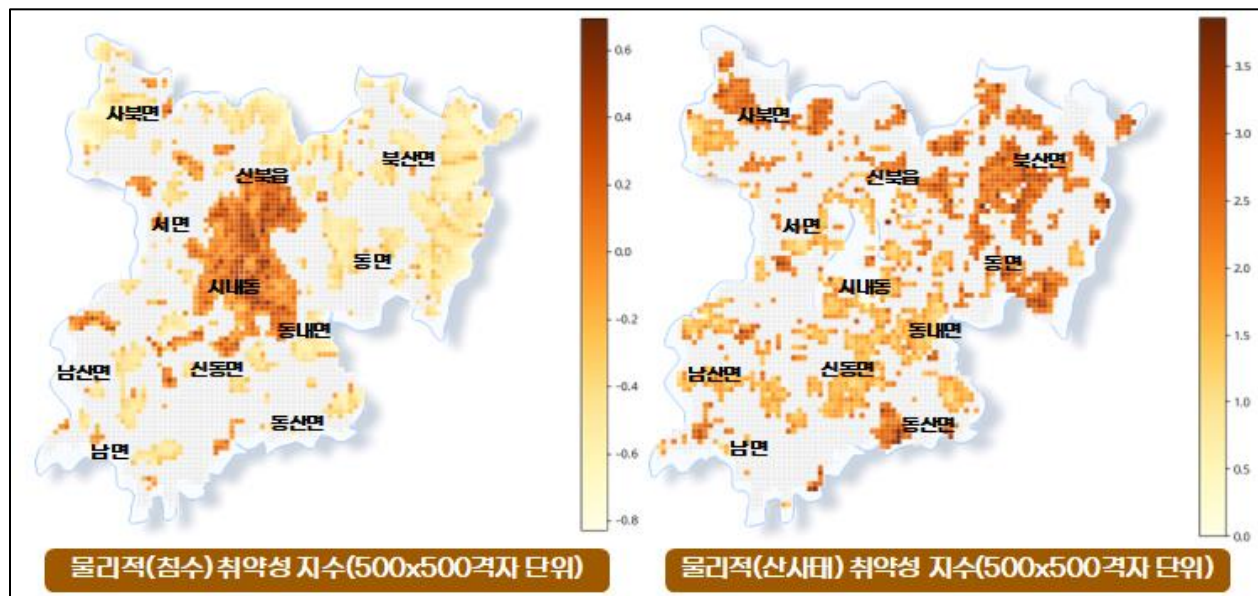
## 침수 취약 지수 산출 방식

이상의 물리적 지표들을 춘천시 격자(500x500)와 표고점 데이터의 좌표계를 통일하고, polygon 데이터의 교집합을 추출한 후, 이를 기준으로 격자의 면적을 재계산하여 가중합(격자 면적 x 데이터)을 계산하였다. 이후 본 연구에서는 각 지표의 특성을 고려하여 침수 취약 지수를 산출하였다.

$$\text{침수 취약 지수} = \frac{\text{배수 등급} + \text{불투수율}}{2} - \frac{\text{높이} + \text{경사도}}{2}$$

배수 등급과 불투수율은 침수에 취약한 요소로, 값이 클수록 침수 위험이 커진다. 반면, 높이와 경사도는 침수에 대한 저항성을 나타내며, 값이 클수록 침수 위험이 낮아진다. 침수 취약 지수가 높을수록 해당 지역은 물리적으로 침수에 더 취약한 것으로 평가된다.

이와 같은 방식으로 산출된 침수 취약 지수는 각 지역의 물리적 특성을 종합적으로 고려한 결과물로, 침수 위험을 객관적으로 평가하고 취약 지역을 파악하는 데 유효한 지표이다.



(침수 취약 지수와 산사태 취약 지수에 따른 시각화)

## 재해 유발 강우 지수

### RCP 8.5 시나리오 기반 재해 유발 강우 지수 산출

본 연구에서는 RCP 8.5 시나리오를 기반으로 재해 유발 강우 지수를 산출하였다. RCP 8.5 시나리오는 온실가스 배출이 현재 수준으로 유지될 경우, 21 세기 말까지 기온이 크게 상승하고 극한 강우가 빈번하게 발생할 가능성을 반영한 기후 변화 시나리오이다. 이러한 시나리오는 기후 변화가 재해 발생에 미치는 영향을 예측하는 중요한 기초 자료로 사용된다.

본 연구에서는 2026 년부터 2035 년까지의 강수 데이터를 사용하여 미래의 강우 패턴을 반영한 재해 유발 강우 지수를 산출하였다. 이 시나리오 기반 강우 데이터는 미래 기후 변화로 인한 극한 강우의 빈도와 강도를 예측하는 데 유용하며, 이를 통해 재해 발생 가능성을 사전에 평가하고 적절한 대응책을 마련하는 데 기여할 수 있다.

### 재해 유발 강우 지수 산출 과정

재해 유발 강우 지수는 산사태 및 침수 발생 가능성에 영향을 미치는 다양한 강우 요소를 반영하여 산출되었다. 산사태와 침수는 극한 강우에 의해 발생할 가능성이 높기 때문에, 해당 요소들은 자연 재해의 발생 위험을 예측하는 중요한 변수로 채택되었다. 각 변수에 Min-Max 스케일링 기법을 적용하여 값을 정규화한 후, 이를 종합하여 재해 유발 강우 지수를 산출하였다. 연구에서는 강우와 재해 발생 간의 상관관계가 높은 변수들을 중심으로 지수를 구성하여, 산사태 및 침수 발생 위험을 보다 정밀하게 평가하였다.

## 변수 선정 과정

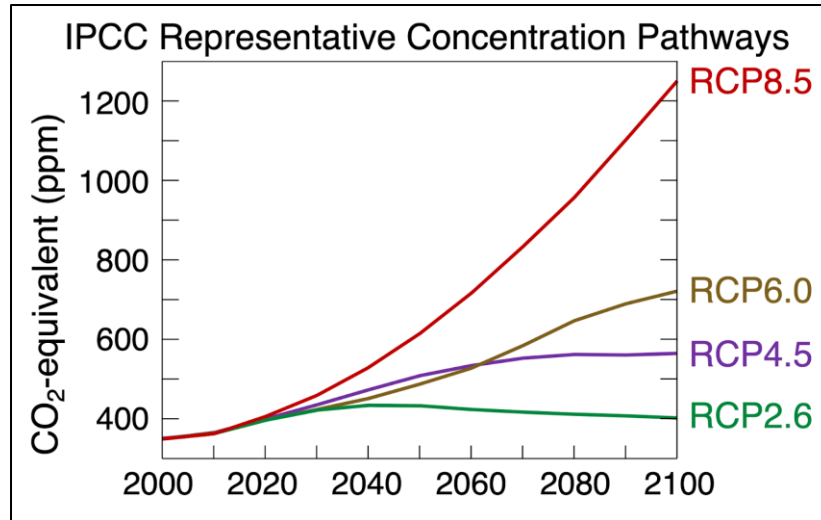
본 연구에서 산출된 재해 유발 강우 지수는 다음과 같은 변수들로 구성되었다:

1. RX1DAY (1 일 최대 강수량):  
하루 동안 기록된 최대 강수량을 반영하는 지표로, 집중적인 강우가 지반을 약화시키고 침수 위험을 증가시키는 주요 요인이다. 극한 강우는 산사태와 침수 발생의 주된 원인이기 때문에 이 변수는 매우 중요한 평가 요소로 채택되었다.
2. RX5DAY (5 일 최대 강수량):  
5 일 동안 누적된 강수량을 나타내며, 지속적인 강우는 지반을 포화 상태로 만들어 산사태와 침수 위험을 크게 증가시킨다. 장기간에 걸친 누적 강우는 토양과 지반의 안정성을 크게 감소시키기 때문에 산사태 위험 평가에서 필수적인 변수이다.
3. SCII(연평균 강수량):  
특정 지역의 전반적인 강우 패턴을 나타내는 지표로, 연간 강수량의 평균값을 기반으로 산사태 및 침수에 대한 장기적인 경향을 분석하는 데 유용하다. 이 변수는 특정 지역의 강우 특성을 이해하고 장기적인 기후 변화를 반영하는 중요한 역할을 한다.
4. RAIN80 (호우일수):  
하루 강수량이 80mm 이상인 날의 수를 나타내는 지표로, 극한 강우로 인해 발생할 수 있는 재해의 가능성을 예측한다. 이 변수는 극심한 강우와 산사태 및 침수 발생 간의 상관관계가 높아, 재해 발생 가능성을 평가하는 중요한 요소로 채택되었다.

## 변수 선정의 근거

이 변수들은 선행연구<sup>v</sup>를 참고하여 산사태와 침수 발생 위험을 정밀하게 평가할 수 있는 지표로 선정하였다. 이를 통해 지역 내 재해 대응과 예방을 위한 중요한 기초 자료를 제공하며, 향후 기후 변화에 따른 극한 강우 상황에 대비한 정책 수립에 실질적인 기여를 할 수 있다.





(시나리오별 이산화탄소배출량 변화량)

### 재해 유발 강우 지수 산출 방법

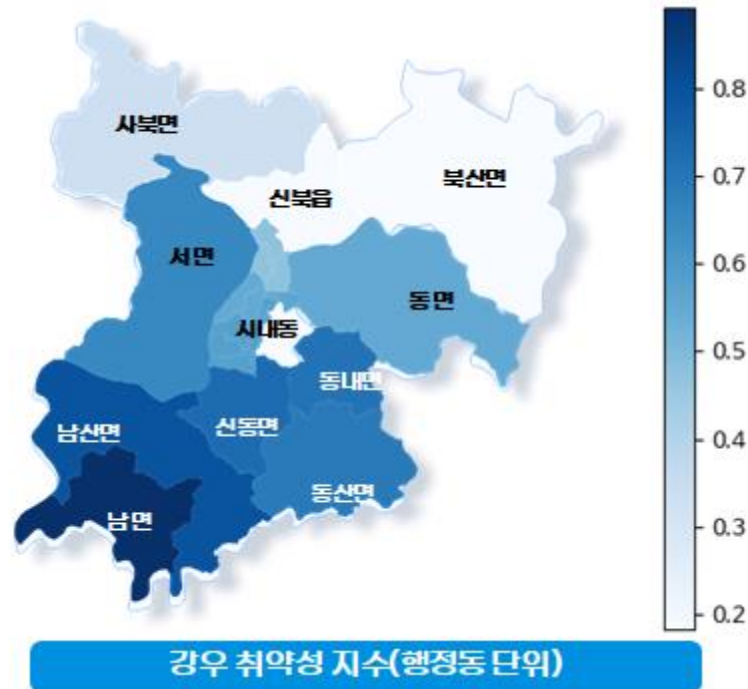
위와 같은 물리적 지표들을 바탕으로 본 연구에서는 재해 유발 강우 지수를 다음과 같이 산출하였다:

산출 방식은 다음과 같다:

$$\text{재해 유발 강우 지수} = \frac{\text{RX1DAY} + \text{RX5DAY} + \text{SCII} + \text{RAIN80}}{4}$$

위 수식은 산사태와 침수 발생 가능성에 영향을 미치는 극한 강우 요소들을 종합적으로 평가한 결과물이다. 각 변수의 값이 높을수록 재해 발생 가능성이 커지며, 산사태와 침수의 위험성을 예측하는 데 유용한 도구로 활용된다.

본 연구에서 산출된 재해 유발 강우 지수는 산사태와 침수 발생 가능성을 종합적으로 평가하기 위해, 강우 패턴과 재해 발생 간의 상관관계가 높은 변수를 사용하였다. Min-Max 스케일링을 통해 변수들을 정규화한 후 계산된 지수는, 극한 강우가 산사태 및 침수에 미치는 영향을 반영하여 해당 지역의 재해 위험성을 평가하는 데 효과적인 도구로 활용될 수 있다. 특히, RCP 8.5 시나리오를 기반으로 미래 강우 패턴을 반영하여, 기후변화로 인한 재해 발생 가능성을 예측하고 이에 대한 대비책을 수립하는 데 중요한 기초 자료로 제공될 것이다.



(재해 유발 강우 지수에 따른 연도별 행정동 시각화)

## 연구 방법론: LISA 클러스터링

### LISA 클러스터링이란?

LISA (Local Indicators of Spatial Association) 클러스터링은 공간적 자기상관을 분석하는 기법으로, 지역 단위에서 변수들이 어떻게 공간적으로 분포하고 있는지를 평가하는 데 사용된다. 이 방법은 특정 지역이 주변 지역들과 유사하거나 다른 패턴을 보이는지 확인함으로써 공간적인 군집 형성을 파악한다.

Moran's I는 특정 지역(공간 단위)에서 값들이 주변 값들과 얼마나 상관관계가 있는지를 나타내는 통계 지표이다. 값이 양수일 경우 비슷한 값들이 인접해 있음을 의미하며, 음수일 경우 서로 다른 값들이 인접해 있음을 나타낸다. 이를 기반으로 유의확률이 0.5 보다 작은 값들로 필터링하여 통계적 유의성을 확보하였다.

LISA 클러스터링의 핵심 목적은 지역 간의 상관관계가 존재하는 패턴을 찾아내는 것이며, 이 패턴은 네 가지 형태로 나타날 수 있다:

- High-High (HH): 특정 지역과 주변 지역 모두 값이 높은 지역.
- Low-Low (LL): 특정 지역과 주변 지역 모두 값이 낮은 지역.

- High-Low (HL): 특정 지역은 값이 높지만, 주변 지역은 값이 낮은 경우.
- Low-High (LH): 특정 지역은 값이 낮지만, 주변 지역은 값이 높은 경우.

이 방법을 통해 연구자는 관심 있는 지표가 공간적으로 어떻게 군집을 이루고 있는지, 그리고 이 군집이 재해 대응이나 취약성과 어떻게 연결되는지를 명확히 파악할 수 있다.

## 해당 연구에서 LISA 클러스터링이 적합한 이유

본 연구에서 LISA 클러스터링을 사용하는 것이 적합한 이유는, 연구의 목적이 춘천시 지역 내의 재해 대응 취약성과 관련된 공간적 패턴을 파악하는 데 있기 때문이다. 춘천시 내에서 산사태, 침수 등의 재해 위험과 대응 취약성은 단순히 개별 지역의 특성에만 의존하지 않고, 주변 지역과의 관계에 의해 영향을 받을 수 있다. LISA 클러스터링을 활용하면 다음과 같은 이유로 적합한 분석을 수행할 수 있다:

### 1. 공간적 상관관계 분석의 필요성:

재해 취약성이나 재해 대응 능력은 특정 지역만의 문제가 아니며, 주변 지역과의 상호작용에 의해 그 영향력이 커질 수 있다. 예를 들어, 한 지역이 산사태에 취약하다면 그 주변 지역 역시 유사한 지형적 특성을 가지거나, 근접한 물리적 요인들로 인해 산사태 위험에 함께 노출될 가능성이 크다. 이처럼 재해 취약성은 공간적으로 클러스터링되는 경향이 있을 수 있으며, LISA 클러스터링은 이러한 국지적인 공간적 상관관계를 분석하는 데 매우 유용하다. 이를 통해 연구자는 재해 대응 취약성이 높은 지역들이 어떻게 군집을 이루고 있는지, 그리고 어떤 지역들이 특히 취약한지 구체적으로 파악할 수 있다.

### 2. 군집 패턴 발견:

LISA 클러스터링은 단순히 재해 취약성이 높은 지역을 확인하는 것에 그치지 않고, 그 지역이 주변 지역과 비교하여 상대적으로 어떤 위치에 있는지 평가할 수 있게 한다. 예를 들어, High-High 클러스터는 재해 취약성이 높은 지역들이 주변의 다른 고위험 지역들과 함께 클러스터링되어 있는 경우를 나타내며, 이는 재해 발생 시 광범위한 영향을 미칠 수 있는 중요한 지역이다.

반대로 Low-Low 클러스터는 취약성이 낮은 지역이 집중되어 있음을 의미한다. 이러한 국지적 패턴을 통해 재해 대응에 우선적으로 집중해야 할 고위험 지역을 보다 구체적으로 파악할 수 있다. LISA 클러스터링은 High-Low 또는 Low-High 와 같은 이질적인 공간 패턴을 발견할 수 있다는 점에서도 강점이 있다. 이러한 패턴은 특정 지역이 주변과 다른 특성을 보이는 경우를 나타낸다. 예를 들어, 한 지역은 재해 대응 취약성이 매우 높은 반면, 주변 지역은 상대적으로 낮은 취약성을 가질 수 있다. 이러한 지역은 재해 대응 측면에서 특별한

정책적 접근이 필요할 수 있으며, LISA 클러스터링은 이러한 공간적 패턴을 식별하는 데 효과적이다.

### 3. 정책적 대응을 위한 우선순위 설정:

춘천시 내 재해 대응 취약 지역을 식별하고 대응 정책을 수립할 때, LISA 클러스터링은 취약 지역의 군집을 파악하고 우선순위를 정하는 데 중요한 기초 자료를 제공한다. 예를 들어, High-High 클러스터로 식별된 지역은 재해 발생 시 가장 큰 피해를 입을 수 있는 곳이므로, 이 지역에 대한 집중적인 재해 예방 및 대응 계획이 필요하다. 본 연구는 산사태, 침수 등 다양한 재해 요소를 통합적으로 고려한 재해 복합 취약성을 분석하고자 한다.

LISA 클러스터링은 High-High 클러스터를 활용해 가장 취약한 지역을 선별함과 동시에 이러한 복합적 취약성을 공간적으로 시각화하고, 지역 간의 상관성을 평가하는 데 유용하다. 재해 유형별로 발생 가능성이 높은 지역들을 군집화함으로써, 재해 대응 취약성에 대한 보다 통합적이고 실질적인 분석을 수행할 수 있다.

## 결론

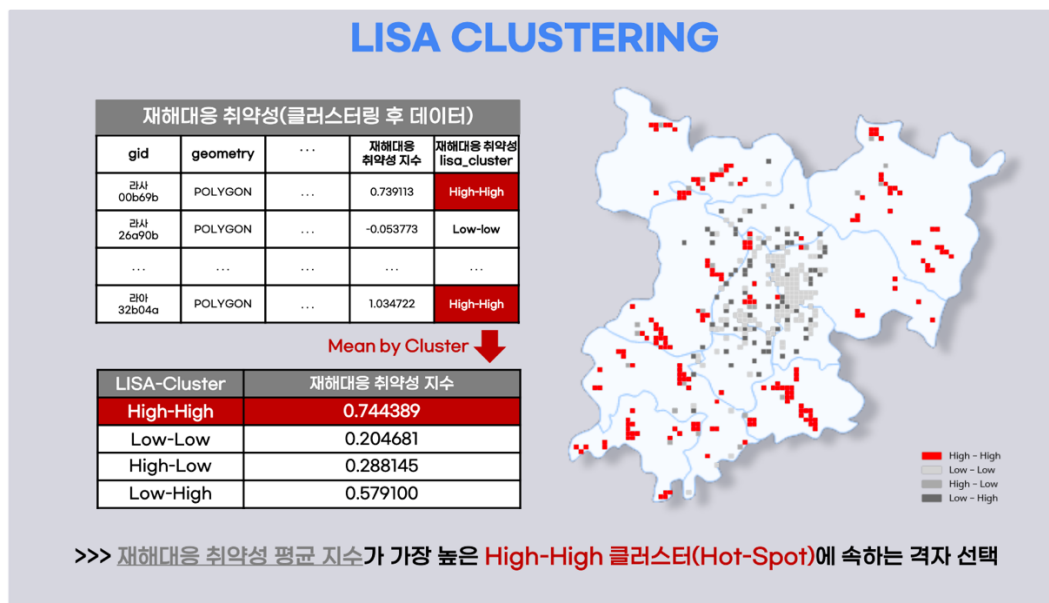
LISA 클러스터링은 춘천시와 같은 특정 지역에서의 재해 대응 취약성을 평가하고, 공간적으로 상관관계가 있는 취약 지역들을 군집화하는 데 매우 적합한 기법이다. 이를 통해 연구자는 지역별로 어떤 패턴이 나타나는지 명확하게 파악할 수 있으며, 재해 대응 정책의 우선순위를 효과적으로 설정할 수 있다. 또한, 산사태나 침수와 같은 복합 재해에 대한 공간적 연관성을 분석함으로써, 춘천시의 재해 대응 역량을 강화하고, 미래 재해에 대비한 정책적 대응책을 마련하는 데 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

## 4. 결과

### 각 지수에 대한 LISA 클러스터링

본 연구에서는 LISA 클러스터링 기법을 통해 춘천시 내에서 재해 대응, 산사태, 침수 등 재해 위험이 공간적으로 집중된 패턴을 분석하였다. 이를 통해 지역 간 재해 대응 능력과 물리적 취약성의 상관관계를 평가하고, High-High (H-H), High-Low (H-L), Low-High (L-H) 지역으로 분류하였다. 각각의 유형은 지역별 재해 대응 우선순위를 설정하고, 맞춤형 대응 방안을 마련하는 데 중요한 역할을 한다.

#### 1. 재해 대응 취약 지수에 대한 LISA 클러스터링



(재해대응 취약성 LISA 클러스터링 결과 시각화)

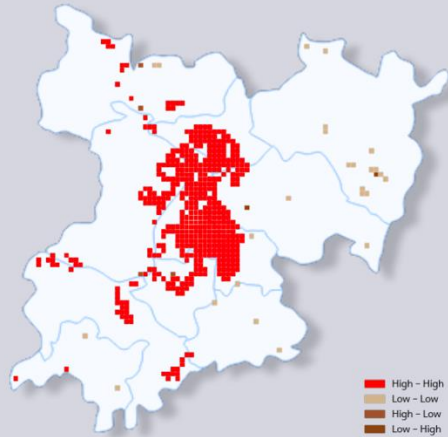
#### 2. 침수 취약 지수에 따른 LISA 클러스터링

## LISA CLUSTERING

물리적(침수) 취약성(클러스터링 후 데이터)				
gid	geometry	...	물리적(침수) 취약성 지수	물리적(침수) lisa_cluster
관사 00b69b	POLYGON	...	0.024752	High-High
관아 45b00a	POLYGON	...	-0.591338	Low-low
...	...	...	...	...
관아 12b02a	POLYGON	...	0.400649	High-High

Mean by Cluster ↓

LISA-Cluster	물리적 취약성(침수) 지수
High-High	0.112943
Low-Low	-0.478625
High-Low	-0.304877
Low-High	-0.135258



>>> 물리적(침수) 취약성 지수가 가장 높은 High-High 클러스터(Hot-Spot)에 속하는 격자 선택

(침수 취약성 LISA 클러스터링 결과 시각화)

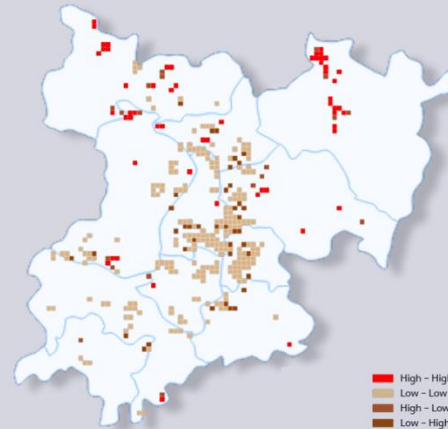
### 3. 산사태 취약 지수에 따른 LISA 클러스터링

## LISA CLUSTERING

물리적(산사태) 취약성(클러스터링 후 데이터)				
gid	geometry	...	물리적(산사태) 취약성 지수	물리적(산사태) lisa_cluster
관사 04a71a	POLYGON	...	2.59	High-High
관아 12a02a	POLYGON	...	0.97	Low-low
...	...	...	...	...
관아 46a01a	POLYGON	...	3.02	High-High

Mean by Cluster ↓

LISA-Cluster	물리적 취약성(산사태) 지수
High-High	2.538126
Low-Low	1.597539
High-Low	1.877333
Low-High	2.267164



>>> 물리적(산사태) 취약성 지수가 가장 높은 High-High 클러스터(Hot-Spot)에 속하는 격자 선택

(산사태 취약성 LISA 클러스터링 결과 시각화)

## 교차 분석

LISA 클러스터링을 통해 선별된 재해대응 우선 지역을 대상으로 교차 분석을 수행하여, 각 지역의 복합적인 재해 취약성을 평가하였다. 해당 분석의 결과는 크게 세 분류로 구분할 수 있다.

- 복합취약지역 : 취약성, 침수/산사태 등 물리적 요인 모두 취약한 지역으로써 자연재해에 대한 대비 및 대응이 최우선 적으로 이루어져야 하는 지역이다.
- 재해대응 취약지역 : 재해 대응 능력은 취약하지만, 침수/산사태 등 물리적 요인은 상대적으로 덜 취약한 지역으로써 복합취약지역에 비해 위험성이 떨어지나, 재해 발생 시 대처가 어려운 지역이므로 이에 대한 대비가 필요하다.
- 물리적 취약지역 : 재해 대응 능력은 상대적으로 양호하나, 침수/산사태 등 물리적 요인이 취약한 지역으로써 복합취약지역에 비해 위험성이 떨어지나, 재해가 발생하기 유리한 지역이므로 이에 대한 예방이 필요하다.

## 재해 유발 강우 지수에 따른 행정동 선정

본 연구에서는 2026년부터 2035년까지 춘천시 내 각 연도별 재해 유발 강우 지수의 4 분위수를 계산하여, 각 연도에서 75% 이상에 해당하는 강우 지수를 기록한 행정동을 식별하였다. 이러한 분석을 통해 극한 폭우에 노출될 가능성이 있는 읍면동을 선정하였으며, 10년간 데이터를 통해 한 번이라도 선정된 지역은 강남동, 근화동, 남면, 남산면, 동내면, 동면, 동산면, 사북면, 서면, 소양동, 신동면, 신북읍, 신사우동, 약사명동, 후평 1 동으로 파악되었다.

앞서 교차분석을 통해 추출된 위험 지역에 대해 강우 위험성이 높은 읍면동을 기준으로 필터링하였다. 이를 바탕으로 장기적인 기후 변화와 극한 기상 이벤트의 빈도 증가에 따른 재해 리스크를 보다 정밀하게 평가하였다.

최종적으로, 재해 대비 및 대응 계획의 우선순위를 설정하고, 해당 지역에 대한 맞춤형 대응 전략과 자원 배분을 최적화할 수 있는 기반을 마련하였다. 특히, 강우 지수가 높은 지역과 클러스터링에서 높은 위험성을 보인 지역의 겹치는 부분에 대해서는 강화된 인프라 개선과 대응 훈련을 중점적으로 실시할 필요가 있음을 확인하였다. 이는 장기적인 재해 관리 및 예방 계획에 있어 중요한 참고 자료로 활용될 것이며, 이는 춘천시가 기후 변화에 효과적으로 대비하고, 재해 발생 시 신속하고 효과적인 대응을 가능하게 하는 중요한 전략적 자원이 될 것이다. 이러한 접근 방식은 또한 다른 지역에 대한 재해 대응 계획 수립에도 모델로 활용될 수 있을 것이다.

## 최종 분석결과

- 실제 주소는 첨부자료를 참고

### 1. 산사태 고위험 지역

- 재해 대응 취약성과 산사태 취약성, 재해 유발 강우 지수 고위험 지역

지역	격자개수
강원특별자치도 춘천시 서면 당림리	3
강원특별자치도 춘천시 동면 상걸리	1
강원특별자치도 춘천시 동면 품걸리	1

### 2. 산사태 중위험 지역

- 재해 대응 취약성은 상대적 낮지만 산사태 취약성, 재해 유발 강우 지수 고위험 지역

지역	격자개수
강원특별자치도 춘천시 신북읍 지내리	2
강원특별자치도 춘천시 동면 감정리	2
강원특별자치도 춘천시 사북면 오탄리	2
강원특별자치도 춘천시 사북면 원평리	2
강원특별자치도 춘천시 사북면 지암리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 서상리	1
강원특별자치도 춘천시 신동면 팔미리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 오월리	1
강원특별자치도 춘천시 신북읍 용산리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 신매리	1
강원특별자치도 춘천시 후평동	1
강원특별자치도 춘천시 신북읍 발산리	1
강원특별자치도 춘천시 동산면 조양리	1
강원특별자치도 춘천시 동면 상걸리	1
강원특별자치도 춘천시 사북면 가일리	1

- 산사태 취약성은 상대적 낮지만 재해 대응 취약성, 재해 유발 강우 지수 고위험 지역

지역	격자개수
강원특별자치도 춘천시 동산면 원창리	10
강원특별자치도 춘천시 서면 당림리	7
강원특별자치도 춘천시 남산면 백양리	6
강원특별자치도 춘천시 남면 가정리	6
강원특별자치도 춘천시 남산면 방곡리	5
강원특별자치도 춘천시 동산면 조양리	4
강원특별자치도 춘천시 동산면 군자리	4
강원특별자치도 춘천시 사북면 송암리	3
강원특별자치도 춘천시 사북면 인람리	3
강원특별자치도 춘천시 동면 품걸리	3
강원특별자치도 춘천시 동산면 봉명리	3



강원특별자치도 춘천시 서면 방동리	3
강원특별자치도 춘천시 서면 덕두원리	3
강원특별자치도 춘천시 사북면 오탄리	3
강원특별자치도 춘천시 남면 발산리	3
강원특별자치도 춘천시 서면 안보리	3
강원특별자치도 춘천시 남면 한덕리	3
강원특별자치도 춘천시 남면 관천리	2
강원특별자치도 춘천시 남산면 강촌리	2
강원특별자치도 춘천시 동면 상걸리	2
강원특별자치도 춘천시 남산면 행촌리	2
강원특별자치도 춘천시 신동	2
강원특별자치도 춘천시 남면 추곡리	2
강원특별자치도 춘천시 서면 신매리	2
강원특별자치도 춘천시 남면 박암리	1
강원특별자치도 춘천시 신북읍 천천리	1
강원특별자치도 춘천시 동면 지내리	1
강원특별자치도 춘천시 사북면 지암리	1
강원특별자치도 춘천시 소양로 2 가	1
강원특별자치도 춘천시 소양로 4 가	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 창촌리	1
강원특별자치도 춘천시 사북면 고성리	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 광판리	1
강원특별자치도 춘천시 사북면 고탄리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 금산리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 현암리	1
강원특별자치도 춘천시 신동면 혈동리	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 수동리	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 방하리	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 산수리	1
강원특별자치도 춘천시 남면 후동리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 오월리	1
강원특별자치도 춘천시 온의동	1

## 1. 침수 고위험 지역

- 재해 대응 취약성과 침수 취약성, 재해 유발 강우 지수 고위험 지역

지역	개수
강원특별자치도 춘천시 사북면 오탄리	3
강원특별자치도 춘천시 남산면 방곡리	2
강원특별자치도 춘천시 서면 신매리	2
강원특별자치도 춘천시 동산면 군자리	2
강원특별자치도 춘천시 신동	2
강원특별자치도 춘천시 남면 관천리	1
강원특별자치도 춘천시 남면 가정리	1
강원특별자치도 춘천시 사북면 인암리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 방동리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 현암리	1

강원특별자치도 춘천시 서면 금산리	1
강원특별자치도 춘천시 온의동	1
강원특별자치도 춘천시 소양로 4 가	1
강원특별자치도 춘천시 소양로 2 가	1
강원특별자치도 춘천시 동면 지내리	1
강원특별자치도 춘천시 신북읍 천전리	1

## 2. 침수 중위험 지역

- 재해 대응 취약성은 상대적으로 낮지만 침수 취약성, 재해 유발 강우 지수 고위험 지역

지역	개수
강원특별자치도 춘천시 우두동	14
강원특별자치도 춘천시 신북읍 울문리	12
강원특별자치도 춘천시 동내면 거두리	12
강원특별자치도 춘천시 동면 만천리	11
강원특별자치도 춘천시 석사동	11
강원특별자치도 춘천시 사농동	11
강원특별자치도 춘천시 동면 장학리	10
강원특별자치도 춘천시 신동	9
강원특별자치도 춘천시 동내면 사암리	9
강원특별자치도 춘천시 신북읍 산천리	9
강원특별자치도 춘천시 신동면 증리	9
강원특별자치도 춘천시 신북읍 천전리	8
강원특별자치도 춘천시 신북읍 지내리	8
강원특별자치도 춘천시 근화동	7
강원특별자치도 춘천시 온의동	7
강원특별자치도 춘천시 삼천동	6
강원특별자치도 춘천시 신동면 정족리	6
강원특별자치도 춘천시 서면 안보리	5
강원특별자치도 춘천시 동면 지내리	5
강원특별자치도 춘천시 남산면 서천리	5
강원특별자치도 춘천시 남산면 광판리	5
강원특별자치도 춘천시 서면 금산리	5
강원특별자치도 춘천시 동내면 신촌리	4
강원특별자치도 춘천시 동내면 학곡리	4
강원특별자치도 춘천시 신북읍 용산리	4
강원특별자치도 춘천시 칠전동	4
강원특별자치도 춘천시 서면 덕두원리	4
강원특별자치도 춘천시 퇴계동	4
강원특별자치도 춘천시 신북읍 발산리	4
강원특별자치도 춘천시 후평동	4
강원특별자치도 춘천시 신동면 팔미리	4
강원특별자치도 춘천시 동내면 고은리	4
강원특별자치도 춘천시 신동면 의암리	3
강원특별자치도 춘천시 남산면 창촌리	3
강원특별자치도 춘천시 서면 방동리	3
강원특별자치도 춘천시 신북읍 유포리	3

강원특별자치도 춘천시 서면 오월리	3
강원특별자치도 춘천시 사북면 고탄리	3
강원특별자치도 춘천시 효자동	3
강원특별자치도 춘천시 서면 현암리	3
강원특별자치도 춘천시 서면 신매리	3
강원특별자치도 춘천시 서면 월송리	3
강원특별자치도 춘천시 송암동	2
강원특별자치도 춘천시 서면 서상리	2
강원특별자치도 춘천시 남산면 강촌리	2
강원특별자치도 춘천시 사북면 신포리	2
강원특별자치도 춘천시 소양로 1 가	2
강원특별자치도 춘천시 낙원동	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 방곡리	1
강원특별자치도 춘천시 교동	1
강원특별자치도 춘천시 소양로 2 가	1
강원특별자치도 춘천시 중도동	1
강원특별자치도 춘천시 약사동	1
강원특별자치도 춘천시 동산면 군자리	1
강원특별자치도 춘천시 조양동	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 백양리	1
강원특별자치도 춘천시 동면 월곡리	1
강원특별자치도 춘천시 사북면 송암리	1

- 침수 취약성은 상대적 낮지만 재해 대응 취약성, 재해 유발 강우 지수 고위험 지역

지역	개수
강원특별자치도 춘천시 동산면 원창리	10
강원특별자치도 춘천시 서면 당림리	9
강원특별자치도 춘천시 남산면 백양리	5
강원특별자치도 춘천시 남면 가정리	5
강원특별자치도 춘천시 동면 품걸리	4
강원특별자치도 춘천시 동산면 조양리	4
강원특별자치도 춘천시 서면 덕두원리	3
강원특별자치도 춘천시 남산면 방곡리	3
강원특별자치도 춘천시 사북면 송암리	3
강원특별자치도 춘천시 동산면 봉명리	3
강원특별자치도 춘천시 동면 상걸리	3
강원특별자치도 춘천시 남면 발산리	3
강원특별자치도 춘천시 남면 한덕리	3
강원특별자치도 춘천시 남산면 강촌리	2
강원특별자치도 춘천시 남면 추곡리	2
강원특별자치도 춘천시 사북면 인람리	2
강원특별자치도 춘천시 사북면 지암리	2
강원특별자치도 춘천시 남산면 행촌리	2
강원특별자치도 춘천시 서면 안보리	2
강원특별자치도 춘천시 동산면 군자리	2

강원특별자치도 춘천시 남산면 광판리	1
강원특별자치도 춘천시 사북면 고성리	1
강원특별자치도 춘천시 남면 관천리	1
강원특별자치도 춘천시 신동면 혈동리	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 수동리	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 산수리	1
강원특별자치도 춘천시 남산면 방하리	1
강원특별자치도 춘천시 서면 오월리	1
강원특별자치도 춘천시 남면 후동리	1
강원특별자치도 춘천시 남면 박암리	1
강원특별자치도 춘천시 사북면 오탄리	1

## II. 춘천시 행정적용 방안

### 1. 춘천시 행정 연관성

본 연구는 춘천시의 행정과 연계하여, 재해 대응 정책과 특히 산사태 및 침수 위험 관리 정책에 초점을 맞춘 데이터 기반 분석을 제공한다. 연구 초기, 춘천시 산림과에서 이미 활용하고 있는 '산사태 위험지도'의 존재를 확인했으며, 이는 지역 내 산사태 취약 지역의 파악 및 관리가 이미 일부 행정 절차에 통합되어 있음을 의미한다. 하지만, 침수 위험 관리에 대한 정보는 명확히 제공되지 않았고, 이에 팀은 춘천시가 침수 취약 지역 또한 파악하고 있을 것으로 추정하였다. 이후 춘천시 빅데이터 공모전 담당 주무관과의 논의를 통해 확인된 바에 따르면, 춘천시 재해 대응 부서에서는 아직 빅데이터 기반의 재해 취약 지역 선정 작업이 수행되지 않고 있었다.

이러한 상황을 바탕으로, 연구 팀은 RCP 8.5 시나리오를 통해 예상되는 미래 강우량 데이터와 춘천시로부터 제공받은 산사태 위험 등급 데이터를 결합하여, 새로운 침수 취약지수 및 재해 대응 취약지수를 개발하였다. 이 지수들을 활용하여 복합적인 취약성 분석을 수행하고, 극한 강우 사건에 대비한 재해 대응 복합 취약지역을 선정함으로써 춘천시의 재해 대응 전략을 보완하고 강화하는 것을 목표로 연구를 진행하였다.

이러한 과정은 춘천시의 재해 대응 정책에 직접적으로 기여할 뿐만 아니라, 재해 대응 계획의 과학적 기반을 강화하고, 행정의 재해 관리 절차를 체계화하는 데 중요한 역할을 한다.

결과적으로, 이 연구는 춘천시가 보다 효과적으로 재해를 예방하고 대응할 수 있도록 도와 지역 사회의 안전을 강화하고 재해로 인한 피해를 최소화하는 데 기여할 것이다.

## 2. 행정·정책 활용 방안

### 재해 대응 능력과 물리적 요인

본 연구에서는 재해 대응 능력과 물리적 요인을 종합적으로 평가하였다. 재해 대응 능력이 취약한 지역은 노후 건물 비율이 높고, 노인 및 유아 인구 비율이 많으며, 경찰서, 소방서, 의료시설과 같은 필수 시설에 대한 접근성이 떨어지는 지역으로 정의되었다. 이러한 지역은 재해 발생 시 대응 역량이 부족하여 피해가 크게 확대될 가능성이 높다.

반면, 물리적 요인이 취약한 지역은 경사도, 지형의 높이, 토양 특성 등에서 재해 발생 가능성이 높은 지역을 의미한다. 경사도가 가파르거나, 지형이 낮아 침수 위험이 높은 지역, 토양의 배수 능력이 떨어지는 지역이 이에 해당한다. 이러한 두 가지 요소를 기준으로 춘천시 각 지역을 평가하여, 재해 대응 능력과 물리적 취약성 측면에서의 차이를 분석하였다.

### 유형화된 지역의 분석: 산사태와 침수 맥락에서의 특성

#### 고위험 지역

- 재해 대응 능력과 물리적 요인, 재해 유발 강우 지수 모두 취약한 지역
- 산사태:  
고위험 지역은 경사도가 가파르고, 지형의 높이가 낮거나 불리하며, 토양 특성이 산사태에 취약한 지역이다. 이러한 물리적 요인으로 인해 산사태 발생 위험이 매우 높다. 또한, 이 지역은 노후 건물 비율이 높고, 필수 시설 접근성이 낮아 재해 발생 시 대응이 매우 어렵다. 즉, 산사태 발생 시 신속한 대응과 피해 복구가 불가능해 피해 규모가 클 것으로 예상된다.  
실제로 본 연구에서 산사태 고위험 지역으로 선정된 지역 중 남산면 방하리의 경우 과거 산사태가 발생하여 9 톤가량의 흙이 도로를 덮치는 사고가 발생한 기록이 있으며<sup>vi</sup>, 남산면 백양리와 동면 감정리는 2023 년 이미 산사태 위험지역으로 분류되어 사방댐을 설치를 진행한 이력이 있다.<sup>vii</sup>
- 침수:  
고위험 지역은 배수 시스템이 미비하고, 저지대에 위치해 있으며, 불투수율이 높은 지역이다. 이러한 요인으로 인해 침수 위험이 크며, 필수 시설에 대한 접근성이 낮아 침수 발생 시 대응 능력이 매우 취약하다. 따라서 침수 피해가 발생할 경우에도 피해 복구가 어렵고, 재해 피해가 확대될 가능성이 높다.  
실제로 본 연구에서 침수 고위험 지역으로 선정된 지역 중 남산면 강촌리의 경우 지난 7 월 폭우로 인해 상가 4 동이 침수되는 피해가 발생하였으며<sup>viii</sup>, 서면 신매리의 경우

지대가 낮고 하천 경사가 없어 지난 2017 년 상습 침수지역으로 선정되어 수해 방지사업을 진행한 이력이 있다.<sup>ix</sup> 또한 지난 6 월 소양로 인근에서 배수불량으로 침수피해가 발생한 사례가 있었다.<sup>x</sup>

#### 중위험 지역

- 재해 대응 능력은 취약하지만, 물리적 요인이 상대적으로 덜 취약한 지역

중위험 지역은 재해 대응 능력은 부족하지만, 물리적 요인이 상대적으로 덜 취약한 지역이다.

- 산사태:  
산사태 발생 가능성은 상대적으로 낮지만, 재해 대응 체계가 부족하여 재해 발생 시 신속한 대응이 어려운 지역이다. 물리적 특성은 비교적 양호하지만, 인프라의 부족으로 인해 재해 발생 시 피해가 커질 수 있다.
- 침수:  
물리적 요인은 상대적으로 덜 취약하지만, 침수 발생 시 대처 능력이 부족한 지역이다. 특히 필수 시설 접근성이 낮아, 침수 발생 시에도 효과적인 대응이 어렵고, 피해 복구가 지연될 수 있다.

#### 중위험 지역

- 재해 대응 능력은 상대적으로 양호하지만, 물리적 요인이 취약한 지역

중위험 지역은 재해 대응 능력은 상대적으로 양호하지만, 물리적 요인이 취약한 지역이다.

- 산사태:  
이 지역은 경사도나 지형적 특성으로 인해 산사태 발생 가능성이 높다. 그러나 재해 대응 능력이 비교적 양호해, 산사태 발생 시 신속한 대응과 복구가 가능하다. 물리적 취약성은 존재하지만, 대응 역량이 피해를 줄일 수 있다.  
실제로 지난 2013 년 여름 후평동에서 산사태가 발생하였으나, 중장비가 동원되어 복구 작업을 진행한 사례가 있었다.<sup>xi</sup>
- 침수:  
물리적 취약성이 높아 침수 발생 가능성이 크지만, 필수 시설 접근성이 양호하여 침수 발생 시에도 신속한 대응이 가능하다. 이 지역은 물리적 조건으로 인해 재해 발생 가능성이 높지만, 대응 능력이 이를 보완할 수 있는 지역으로 분석된다. 실제로 지난 2022 년 여름 집중호우로 인해 석사동 중앙고속도로 진입도로 주변에 침수되는 피해가

발생하기도 하였다.<sup>xii</sup>

본 연구에서 LISA 클러스터링을 통해 도출된 고위험 지역은 각각의 재해 유형에 따라 서로 다른 특성을 나타낸다. 고위험 지역은 재해 대응과 물리적 취약성 모두에서 높은 위험을 보이며, 즉각적인 관리와 대응이 필요하다. 반면, 중위험 지역은 각각 재해 대응 능력과 물리적 요인 중 어느 하나가 상대적으로 취약하며, 이에 맞는 맞춤형 재해 대응 전략이 필요하다.

## 정책 제언

본 연구는 춘천시의 재해 대응 시스템을 강화하고 극한 강우에 대비한 복합 취약 지역을 선정하고, 지역 특성에 따른 맞춤형 정책을 제안하는 데 중점을 두었다. 고위험 지역으로 분류된 지역은 재해 대응 능력과 물리적 취약성이 모두 높으므로, 이 지역에 대한 즉각적인 관리와 체계적인 대피 교육, 대피 시설 확충, 차수벽 설치 및 역류 방지 장치 지원과 같은 방재 설비 확대가 필수적이다. 중위험 지역은 각각의 특성에 맞추어 재해 대응 능력 강화나 물리적 취약성 해소에 중점을 두어야 한다. 예를 들어, 재해 대응 능력은 높으나 물리적으로 취약한 지역은 산사태 예방을 위한 토목 공사나 수해 방지 시설 구축이 요구되며, 반대의 경우 물리적 취약성은 낮으나 재해 대응 능력을 강화하기 위한 주민 대피 교육 및 훈련을 강화해야 한다.

### 재해 대응 취약성 해소를 위한 대책

#### 1. 주민 대피 교육 및 훈련

춘천시는 주민들이 재난 상황에서 적절히 대응할 수 있도록 체계적인 대피 교육을 정기적으로 실시해야 한다. 이 교육은 대피 경로, 대피소 위치, 대피 시 필수 물품 등에 대한 정보를 제공함으로써 재난 발생시 주민들의 안전하고 신속한 대피를 돕는다.

#### 2. 대피 시설 확충

춘천시는 충분한 수의 대피소와 긴급 대피 장소를 확보하고, 이 시설들이 비상 시 적절히 사용될 수 있도록 관리해야 한다. 대피소는 식수, 의료품, 비상 식량 등 필수 구호 물품을 상시 구비되어야 하며, 접근성이 좋은 위치에 배치해 모든 주민이 쉽게 도달할 수 있도록 해야 한다.

#### 3. 노후화된 건물 관리

춘천시는 노후화된 건물의 안전 점검을 주기적으로 실시하고, 구조적 취약점이 발견된 경우 즉시 보수 작업을 진행한다. 이는 건물이 자연재해에 대한 내성을 갖추도록 하여, 재해 발생 시 건물 붕괴로 인한 인명 및 재산 피해를 최소화하는 데 기여한다.

#### 4. 필수 시설 접근성 향상



춘천시는 소방서, 경찰서, 병원과 같은 필수 공공시설의 접근성을 향상시킨다. 이는 재난 발생 시 긴급 서비스가 신속하게 제공될 수 있도록 보장하는 중요한 조치이다. 도로 인프라 개선, 교통 관리 시스템의 최적화, 필수 서비스 위치의 전략적 배치를 통해 모든 주민이 긴급 상황에서 필수 서비스에 빠르게 접근할 수 있도록 한다.

## 물리적 취약성 해소를 위한 대책

물리적 취약성이 높은 지역은 자연재해에 대한 저항력이 낮아 큰 피해를 입을 가능성이 크다. 춘천시의 경우, 특히 산사태와 침수 위험이 높은 지역에서 이러한 위험을 줄이기 위해 인프라와 환경을 보강하는 것이 필수적이다. 이를 위한 구체적인 대책은 다음과 같다:

### 1. 산사태 예방을 위한 토목 공사

산사태 위험이 높은 지역, 특히 고지대나 급경사지에서는 다음과 같은 사방 시설을 설치하여 토사 유출을 방지해야 한다:

- **피암 터널과 사방댐:** 이러한 구조물은 토사 유출을 효과적으로 차단하고, 강우 시 물의 흐름을 조절하여 산사태 발생 위험을 감소시킨다.
- **사방림:** 나무 심기는 토양 침식을 방지하고, 물의 흡수력을 증가시켜 자연적인 산사태 방지 기능을 수행한다.

이러한 예방적 조치는 산사태 위험을 최소화하는 데 중요하며, 재난 발생이 예상되는 지역에서는 조기 대응을 위해 이러한 공사를 우선적으로 진행해야 한다.

### 2. 침수 예방을 위한 수해 방지 시설 구축

물리적 취약성이 높은 지역에서는 다음과 같은 수해 방지 시설을 구축하여 집중호우로 인한 침수 피해를 예방해야 한다:

- **빗물 펌프장:** 강우량이 많은 지역에서 물을 빠르게 배출할 수 있도록 펌프장을 설치하거나 기존 펌프장의 용량을 확대한다.
- **우수 저류 시설:** 임시로 빗물을 저장할 수 있는 저류 시설을 설치하여, 폭우 시 도시 배수 시스템에 가해지는 부하를 줄인다.
- **배수로 개선:** 배수 효율을 높이기 위해 배수로를 정비하고 확장한다. 이는 물의 원활한 배출을 보장하여 침수 위험을 감소시킨다.

## 도봉구에서 지원하는 풍수해예방 지원사업

반복되는 풍수해를 대비하는 든든한 혜택!  
**주택 침수방지시설 무료 설치사업**

도봉구에서는 집중호우 시 지하주택 등 침수예방을 위하여  
**침수 방지 시설(물막이판, 수중 펌프, 옥내역지변 등)을  
 무료로 설치해 드립니다.**

- 신청장소 : 동 주민센터 및 물관리과 (2091-4113~5)
- 신청자 : 건물주, 세입자
- 신청방법 : 침수 방지시설 설치 동의서 작성하여 신청
- 설치비용 : 무료 (유지관리 비용은 건물주 부담)

**물막이판**

설치전 → 설치후

**옥내역지변**

옥내역지변 배수용  
 옥내 펌크대용  
 침크대용(小) → 방배관 → 침크대용(大) 방배관

※ 옥내역지변은 평상시에는 가정에서 발생하는 오수를 공공하수관로로 자연스럽게 흘려보내지만,  
 집중호우시 공공하수관로의 빗물이 가정하수관으로 역류할 수 있도록 차단하는 장치입니다.

(서울 도봉구에서 실제로 진행한 풍수해예방 지원사업)

### 3. 기대효과

이 연구의 기대효과는 춘천시가 향후 재해 대응 정책을 수립하고 강화하는 데 매우 중요한 기초 자료를 제공하는 데 있다. 춘천시는 지역별로 산사태와 침수 취약성을 평가하여 각 지역의 특성에 맞는 대응 방안을 마련할 수 있다. 이러한 분석은 단순히 현재의 재해 위험만을 고려하는 것이 아니라, 기후 변화로 인해 점점 더 빈번하고 극심해지는 미래 재해에도 대응할 수 있는 기반을 제공한다.

특히, 본 연구에서 산출된 침수 취약 지수와 산사태 취약 지수에 기반한 LISA 클러스터링 결과는 춘천시와 주변 지역에서 침수와 산사태 위험이 높은 지역을 구체적으로 도출하였다. 이 결과를 통해 고위험 지역과 극한 강우 조건을 고려한 복합 취약 지역을 최우선 관리 대상으로 설정함으로써, 재해 대응에 있어 춘천시가 집중해야 할 핵심 지역을 명확하게 식별할 수 있었다.

이러한 방식은 춘천시가 기후 변화로 인한 재해 위험을 최소화하는 데 중요한 역할을 하게 된다. 재해가 발생했을 때, 신속하고 효과적인 대응이 가능한 체계를 구축함으로써 주민의 생명과 재산을 보호하는 데 기여할 수 있다. 또한, 침수 방지 시설이나 산사태 예방을 위한 토목 공사 같은 물리적 취약성 해소 대책도 더욱 정교하게 추진될 수 있으며, 이를 통해 재해로 인한 피해를 사전에 예방할 수 있다.

더 나아가, 춘천시가 지속적으로 재난 및 재해 데이터를 추가적으로 수집한다면, 이 연구는 더욱 정밀한 분석을 가능하게 할 것이다. 예를 들어, 더 많은 데이터가 통합되면 특정 지역의 재해 발생 패턴과 원인을 보다 명확히 파악할 수 있게 되어, 미래 재해 예측의 정확도를 높일 수 있다. 이러한 예측은 단순한 통계적 예측을 넘어서, 과거와 현재의 재해 발생 사례를 기반으로 더욱 세밀하고 실질적인 재해 대응 전략을 수립하는 데 기여할 것이다.

또한, 지속적인 데이터 업데이트는 춘천시의 재해 대응 능력을 지속적으로 강화하는 데 핵심적인 역할을 한다. 데이터가 축적될수록, 재난 관리 및 대응의 효율성은 극대화될 것이며, 춘천시는 변화하는 기후와 재해 환경에 더욱 능동적으로 대응할 수 있는 전략적 우위를 확보하게 될 것이다. 이 연구는 춘천시가 미래의 예측 불가능한 재해에도 빠르고 유연하게 대응할 수 있는 도시로 자리매김하는 데 중요한 밑거름이 될 것이다.

## 연구의 한계점 및 후속 연구 방향

### 가중치를 반영하지 못한 지수 산출

본 연구에서는 재해 유발 강우 지수와 재해 대응 취약 지수를 춘천시의 재해 데이터 부족으로 인해 가중치를 부여하지 않고 계산하였다. 일반적으로 각 변수에 가중치를 부여하는 과정은 실제 사고 데이터나 전문적인 분석을 통해 이루어진다. 그러나 춘천시의 재해 관련 데이터가 충분하지 않기 때문에, 본 연구에서는 모든 변수를 동일한 비중으로 평가하는 방식을 채택하였다.

이러한 방식은 각 변수의 본래 영향력을 균등하게 평가할 수 있다는 장점을 지니지만 변수 간의 중요도 차이를 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다. 예를 들어, 재해 대응 취약 지수는 인구 구조(유아 비율, 고령 인구 비율), 건물 특성(노후 건물 비율, 지하층 수), 필수 시설 접근성 등의 다양한 변수를 포함하지만, 이들 변수 간 상대적 중요도는 가중치 없이 동일하게 평가되었다. 재해 유발 강우 지수 역시 강우 패턴에 따른 변수의 중요도를 지역적 특성에 맞춰 차별화하지 않고 계산되었다.

### 실제 재해 발생 데이터의 부재

본 연구에서는 강수량, 토질 특성, 인구 특성, 건물 특성 등 다양한 데이터를 활용하여 침수 및 산사태 위험성을 분석하였다. 그러나 실제 재해 발생 데이터의 부재로 인하여 분석 알고리즘을 최적화하지 못한 점이 아쉬웠다. 또한 본 연구의 분석 결과를 객관적으로 평가하고, 모델의 성능을 검증하는 데 어려움이 있었다.

### 후속연구 방향성

현재 방법론에 활용된 각 지수 생성 식에 실제 재해 발생 데이터와 전문가 의견을 활용하여 가중치를 적용하게 된다면 더 적절한 취약지역을 분석할 수 있을 것이다. 이는 연구의 신뢰성과 객관성을 높이는 데 결정적인 역할을 할 것으로 기대된다.

또한 향후 실제 재해 발생 데이터가 확보된다면, 클러스터링을 비롯한 알고리즘의 성능을 더욱 향상시키고, 분석 결과의 신뢰성을 한층 강화할 수 있을 것이다. 이를 통해 보다 정교한 위험성 분석이 가능해지며, 재해 대응 방안의 실효성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

## 기타 참고 문헌

- 김현일, & 한건연. (2019). 로지스틱 회귀에 의한 도시 침수발생의 한계강우량 산정. 대한토목학회논문집, 39(6), 713-723.
- 김상욱, & 백경오. (2022). 춘천시에서 발생한 산사태 유발강우의 특성 분석. 한국안전학회지 (구 산업안전학회지), 37(6), 148-157.

---

<sup>i</sup> 김준겸, 최기영, "강원 140 mm 물폭탄...전철 운행 중단에 교량 웅벽 '와르르'", 강원일보, 2024.07.17.

<sup>ii</sup> 정윤희, "도로 침하 춘천 오월리 8 월 1 일까지 복구", 강원일보, 2024.07.22.

<sup>iii</sup> 김준겸, 유학렬, 허남윤, ""가슴팍까지 물이 차올랐다"...강원 영서 호우 피해 속출", 강원일보, 2024.07.24.

<sup>iv</sup> 이은석, 강현미, 한수경, 지석환, 윤호선. (2019). 자연재해·재난 대응을 위한 탄력적 도시설계 연구. 건축공간연구원.

<sup>v</sup> 이원영 and 성효현. (2018). 강원도 춘천 지역의 산사태 발생 강우 임계치 분석. 대한지리학회지, 53(5), 669-689.

<sup>vi</sup> 박승선, "산사태로 9 톤 흙 도로 덮치고...도심에 토사 쏟아져", 강원일보, 2011.06.30.

<sup>vii</sup> 서백, "춘천시, 올해 사방댐 신규 구축...22 억원 투입", 더팩트, 2023.03.20.

<sup>viii</sup> 오현경, "계속된 '물폭탄'...물에 잠기고 산사태 등 침수 피해 잇따라", 엠에스투데이, 2024.07.25.

<sup>ix</sup> 조명규, "[춘천소식]상습 침수지역 수해 방지사업 등", 뉴시스, 2017.06.09.

<sup>x</sup> "춘천시 소양로 일대 상가, 배수불량으로 침수 피해 발생, 춘천뉴스, 2024.06.30.

<sup>xi</sup> 홍성우, "춘천 소양 1 교 후평동 방향 산사태(1 보)", 뉴스원, 2024.07.17.

<sup>xii</sup> 이상학, "춘천 집중호우에 도로 침수", 연합뉴스, 2022.06.23.