

# 기초지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획 내 산사태 적응대책의 종합적 평가와 개선 방안

김의찬\* · 송철호\*\* · 김선우\* · 이수종\*\*\* · 노민우\*\*\* · 이우균\*\*\*\*†

\*고려대학교 환경생태공학과 석사과정학생, \*\*고려대학교 오정리질리언스연구원 연구교수,

\*\*\*고려대학교 오정리질리언스연구원 박사후연구원, \*\*\*\*고려대학교 환경생태공학부 교수

## A comprehensive assessment and strategies to improve landslide adaptation measures in detailed action plans for local climate change measures

Kim, Uichan\* · Song, Cholho\*\* · Kim, Sunwoo\* · Lee, Sujong\*\*\* · Roh, Minwoo\*\*\* and Lee, Woo-Kyun\*\*\*\*†

\*M.S. Student, Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

\*\*Research professor, OJEong Resilience Institute (OJERI), Korea University, Seoul, Korea

\*\*\*Post-doc, OJEong Resilience Institute (OJERI), Korea University, Seoul, Korea

\*\*\*\*Professor, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

### ABSTRACT

The increase in localized heavy rainfall and intense storms due to climate change has led to a continuous rise in landslides. This study includes a full enumeration of detailed action plans for local climate change adaptation measures, the design of an integrated evaluation framework, and a comparison of municipalities' scores with actual landslide occurrences during the planning/implementation period to assess planning - execution - outcome alignment. A four-quadrant classification of 226 local governments identified policy underperformance in 11 (4.9%), policy success in 55 (24.3%), neglected vulnerabilities in 15 (6.6%), and overlooked latent risks in 145 (64.2%). Several locales showed disconnect between designated vulnerable zones and observed events, and investments in adaptation did not consistently translate into reduced occurrences. Many plans list annual timelines but omit explicit target locations and a clear logic linking measure types to budget allocation, constraining spatial targeting and performance management. To improve effectiveness, plans should codify linkages from assessment results to specific measures, target areas (with coordinates), schedules, and budgets; balance structural and non-structural actions; and integrate high-resolution spatial and meteorological data, region-specific calibration, and history-based weights to refine vulnerable-area selection. Collaboration at watershed/small-region levels is also recommended. Policy decisions should rest primarily on verifiable scientific evidence, with stakeholder perception surveys used complementarily. With these steps, adaptation planning can move beyond diagnosis to an actionable system that measurably reduces landslide risk.

*Key words : Climate Change Adaptation, Landslide Occurrence, Local Government Adaptation Measures*

### 1. 서론

기후변화는 사회·경제·환경 전반에 광범위한 영향을 미치며 국가의 지속가능한 발전을 위협한다. 특히 산림재해

인 산사태는 집중호우·태풍 등 극한기상에 민감하게 반응하는 대표적 재해로, 발생 빈도와 피해 규모가 증가하는 추세다(Houghton et al., 2001; Kim et al., 2015; Lim and Kim, 2022; Park and Lee, 2021). 우리나라의 산사태는 주

†Corresponding author : leewk@korea.ac.kr (145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Korea. Tel. +82-2-3290-3470)

ORCID 김의찬 0009-0003-6918-0273

이수종 0000-0002-6383-805X

송철호 0000-0002-8491-9545

노민우 0000-0003-0815-3469

김선우 0009-0002-6282-8623

이우균 0000-0002-2188-359X

로 폭우·국지성 집중강우의 강수 특성에 의해 유발되며, 이러한 경향은 실증적으로 확인되었다(Cha et al., 2018). 또한, 우리나라는 산지의 경사가 급하고 토양의 응집력이 낮은 미사토로 이루어진 곳이 많아 산사태에 취약한 특징을 지니고 있다(KFS, 2025a). 따라서 재해 위험을 완화하고 기후 회복력을 높이기 위한 체계적 적응정책의 수립·이행이 필수적이다.

전 세계적으로도 다수의 국가들이 기후변화로 인한 영향을 최소화하기 위한 다양한 적응 전략을 이미 도입하고 추진하고 있다(IPCC, 2022). 효과적인 대응을 위해서는 지역 기반의 위험 인식과 과학적 근거에 입각한 정책 설계가 요구된다(Kang et al., 2022).

우리나라는 「탄소중립·녹색성장 기본법」 제40조와 시행령 제43조에 따라 국가·지자체 차원의 기후위기 적응대책을 추진하고 있으며, IPCC (2022)가 제시한 바와 같이 지역에서 확인된 영향을 줄이기 위해 지역의 적응능력을 높이는 취지에 맞춰 기초지자체가 산사태 영향 저감을 목표로 세부시행계획을 수립·이행하고 있다. 이 과정에서 지자체는 VESTAP (Vulnerability assessment tool to build climate change adaptation plan), MOTIVE (Model of integrated impact and vulnerability evaluation of climate change), DIRECTION (Development of integrated model for climate change impact and vulnerability assessment and strengthening the framework for model implementation) 등을 활용해 정성·정량적 위험도를 산정하고, 이를 사업 우선순위와 정책 집행의 근거로 사용한다(Kang et al., 2022; UNEP, 2023). 이러한 지역 단위 계획을 뒷받침하기 위해 산림청은 사면 안정화·배수 정비·사방시설 확충 등 구조적 적응대책과 산사태 조기경보시스템 구축·운영, 위험지도 고도화, 주민 교육·훈련 등 비구조적 적응대책을 병행 추진하고 있다(KFS, 2025b)

그럼에도 불구하고, 산사태 발생은 여전히 증가세를 보인다(Cha et al., 2018). 실제로 2016~2024년 전국에서 총 5,351건의 산사태 피해가 집계되었고, 특히 2020년 2,348건으로 기간 중 최다를 기록했다. 이는 최근 기후변화의 영향을 시사함과 동시에, 현장에서의 적응대책이 충분히 효과적으로 작동하는지에 대한 점검 필요성을 제기한다(Chae et al., 2011). 또한, 현재 수립된 산사태 관련 기후변화 적응대책은 구조물 중심의 대응에 과도하게 의존하고 있어 비구조적 전략을 충분히 포괄하지 못하는 한계를 지닌다. 따라서 현행 대책의 구성과 실효성을 점검하는 과정이 요구된다.

최근 유럽과 일본 등에서는 기후변화에 따른 산사태 위험과 이에 대한 적응·저감 대책의 효과를 정량적으로 평가하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 연구는 기초지자체 수준의 기후변화 적응계획에 산사태 위험 평가와 비용·편익 분석을 결합하거나, 사방시설 확충 전후의 피해 정도를 비교함으로써 정책 수준에서의 적응성 성과를 실증적으로 검증하고 지역 맞춤형 대응전략 수립에 기여하였다. 반면 국내에서는 산사태 적응대책의 수립·이행 실태를 체계적으로 분석한 연구가 부족하며, 대부분 위험지도 작성이나 모델링 연구에 국한되어 있다.

이에 본 연구는 기초지자체 세부시행계획에서 추진되는 산사태 적응정책을 지역의 적응능력 제고를 통해 산사태 영향을 저감하려는 수단으로 이해하고, 각 지자체 대책이 실제 산사태 위험으로부터 어느 수준까지 대응하고 있는지를 평가하고자 한다. 각 기초지자체의 산사태 적응대책의 사업 수·예산·수립 현황을 정리하고, 동일 기간 산사태 발생 이력 및 종합평가 자료와의 비교·분석을 통해 현행 적응대책의 효과성과 한계를 진단한다. 이를 기반으로 2026~2030년 수립 예정인 제4차 국가 기후위기 적응대책을 염두에 두고, 지역 맞춤형 산사태 대응 전략 설계를 위한 개선 방향을 제시한다. 본 연구의 결과는 정책 우선순위 재조정과 예산 배분의 근거 강화, 그리고 지자체 현장 실행력 제고에 기여할 것으로 기대된다.

## 2. 연구 재료 및 방법

### 2.1. 기초지자체 산사태 적응대책 전수조사 및 수준 평가

본 연구에서는 기초지자체가 수립한 기후변화 적응대책 세부시행계획(Detailed Action Plans for Local Climate Change Adaptation Measures, 이하 ‘기초 세부시행계획’)을 활용하였다. 기초 세부시행계획은 국가기후위기적응포털(<https://kaccc.kei.re.kr/portal/>)을 통해 수집되었으며, 부족 자료는 각 지자체의 웹사이트 등을 통해 확인하였다(2025년 6월 11일 15:00시 기준).

지자체의 산사태 대응 수준은 수립 단계, 사업 수, 예산 규모의 세 가지 지표를 중심으로 평가하였다. 이 세 지표는 기후변화 적응역량을 구성하는 핵심 요소인 계획(Planning), 이행(Implementation), 재정(Finance)의 구조를 반영한 것으로, 국가 및 지자체 기후변화 적응대책 지침과 선행연구에서 제시된 적응정책 평가 틀을 참고하여 설정하였다(MOE, 2023; MOIS, 2024). 수립 단계는 단순한 계

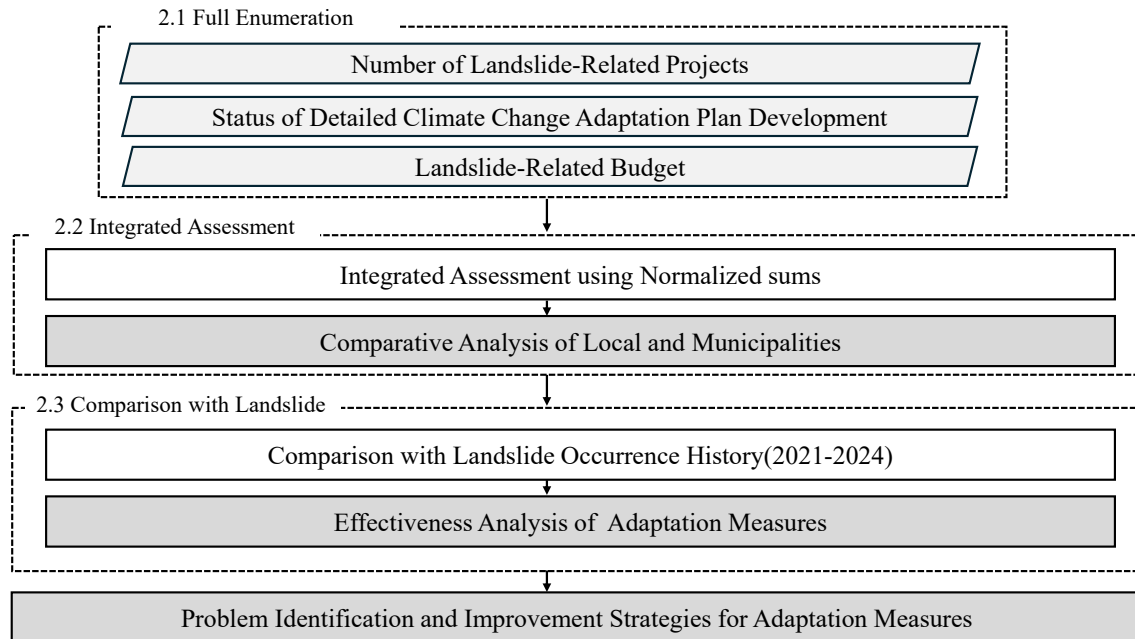


Fig. 1. Study flow

획의 존재 여부를 넘어 국가 적응정책의 반영과 갱신 주기를 평가하는 지표로, 미수립을 0점, 제2차 수립을 1점, 제3차 수립을 2점으로 점수화하였다. 제1차 수립은 법정 의무 이행 차원에서 형식적으로 작성된 경우가 많아 실질적 적응역량을 반영하지 못한다는 평가가 다수 제기되어 점수를 부여하지 않았다(MOE, 2023). 반면, 제2차 계획은 초기 체계의 보완과 사업화 단계로의 진전이 이루어진 시기로 평가되며, 제3차 계획은 국가 적응대책과의 정합성, 최신 기후리스크 반영, 이행 및 평가체계의 내재화가 이루어진 단계로 간주하여 가장 높은 점수를 부여하였다. 사업 수는 기초지자체의 계획이 구체적인 사업으로까지 구체화되었는지를 판단할 수 있는, 계획의 구체성과 실행 가능성을 나타내는 지표이다. 본 연구에서는 기초지자체별 산사태 관련 사업의 종류와 건수를 전수 조사하고, 이를 구조적 대책(예: 사방댐, 사면 보강, 배수 개선 등)과 비구조적 대책(예: 예·경보 체계, 인식 제고, 취약계층 지원 등)으로 분류하였다. 이러한 사업 건수를 통해 각 기초지자체가 산사태 적응대책을 얼마나 구체적으로 수립하였는지를 파악하고자 하였다. 이후 사업 유형별 빈도와 예산 규모를 비교·분석하여 지자체의 정책적 초점이 특정 유형에 편중되어 있는지, 혹은 균형적으로 추진되고 있는지를 평가하였다. 마지막으로 예산 규모는 산사태 관련 예산의 전체 기후변화 적응대책 예산 대비 비율을 계산하여 지자체 간 재

정적 우선순위를 비교하였다. 이를 통해 각 지자체의 계획적 대응 수준, 실행 역량, 재정 투입의 상대적 중요도를 종합적으로 파악함으로써, 지역 간 산사태 대응 수준의 차이를 정량적으로 평가하였다(Fig. 1).

## 2.2. 기초지자체 산사태 적응대책의 종합적 평가

종합평가를 위해 먼저 수립 단계·사업 수·예산 세 지표를 각각 정규화하고, 이를 합산하여 종합평가 자료(지수)를 구축하였다. 기후변화 적응대책의 적절성 평가는 통상 여러 변수를 조합한 종합 지수화(예: 사업 수, 예산 규모, 실행 시기 등)를 통해 수행되며, 이는 지자체의 정책 수립·집행 수준을 다각도로 분석하고 지역 간 비교 가능성을 높이기 위한 것이다(UNEP, 2020). 본 연구도 이 평가 체계를 준용하여 종합적 평가 프레임워크를 적용하여 각 기초지자체별 종합평가 결과를 비교 분석하였다(Fig. 1). 이러한 다중지표 기반 접근은 단일 지표로는 포착하기 어려운 정책 이행 수준과 지역 간 편차를 보다 정밀하게 드러내며, 향후 기초지자체 산사태 적응대책의 체계성·실효성 평가를 위한 핵심 기준값으로 활용될 수 있다.

## 2.3. 종합적 평가와 수립기간 내 산사태 발생과의 비교

국제적으로는 기후변화 적응대책의 효과성과 타당성을

Table 1. Framework for evaluating the alignment between landslide history and integrated assessment

Category	Condition	Description
Region with relatively low adaptation effectiveness	Adaptation Implementation High & Landslide Incidence High	Despite numerous adaptation measures being planned and implemented, the number of landslide events remains high. This suggests that policy effects have not materialized sufficiently, or that project selection and execution may have failed to reflect local geographic characteristics.
Relatively adaptation-intensive regions	Adaptation Implementation High & Landslide Incidence Low	This area is a policy success, where appropriately allocated adaptation measures have reduced landslide occurrence.
Relatively adaptation-deficient regions	Adaptation Implementation Low & Landslide Incidence High	Adaptation measures are insufficient or inadequately formulated, yet landslide frequency is high. These areas require urgent resource allocation and the rapid development of response strategies.
Latent-Risk-Overlooked Areas	Adaptation Implementation Low & Landslide Incidence Low	Landslide occurrence is currently low and adaptation efforts are relatively limited. Short-term risk is low, but climate change may increase latent risk; therefore, sustained monitoring and preventive management are recommended.

평가할 때, 수립된 정책계획과 실제 재난 발생 양상의 정합성을 검토하는 절차가 필수로 강조된다. UNEP (2020) 「Adaptation Gap Report」는 관찰된 결과를 함께 고려하는 사후 정합성 평가가 정책의 실질 성과를 객관화하는 핵심 절차임을 강조하고 있다.

이에 본 연구는 기초지자체 단위에서 산사태 발생이력이 높은 지역에 양질의 적응대책이 수립되었는지 진단하기 위해, 앞서 산출한 적응대책 종합평가 지표를 실제 산사태 발생 이력과 대조하였다(Fig. 1). 산사태 발생 이력은 기초 세부시행계획의 효과를 식별하기 위해 2차 수립기간(2021 ~ 2024) 자료를 사용하였고, 두 지표 모두 0 ~ 1 범위로 정규화하여 값이 1에 가까울수록 각각 적응대책 종합적 평가 점수가 높으며 산사태 발생이 많이 난 지역으로 정의하였다. Table 1에서는 정규화된 적응대책 종합평가와 산사태 발생 이력자료의 증감값을 경계로 ‘높음/낮음’을 판별하여 지자체를 분류하였으며, 이를 바탕으로 계획수립과 실행의 정합성 여부를 진단하였다. 이에 따라 지자체를 네 범주로 유형화하였다.

상대적 적응대책 효과 미흡지역(Region with relatively low adaptation effectiveness)은 종합평가 수준이 높음에도 산사태 발생이 높게 유지되는 경우로, 다수의 적응대책이 계획·이행되었지만 효과가 충분히 발현되지 않았거나 사업 선정·집행 과정에서 지역의 지형·지리적 특성이 제대로 반영되지 않았을 가능성을 시사한다. 상대적 적응대책 집중지역(Relatively adaptation-intensive regions)은 종합평가 수준이 높고 산사태 발생이 낮은 경우로, 적응대책이 적절히 배분·이행되어 실제로 산사태가 저감된 사

례로 해석된다. 상대적 적응대책 부족지역(Relatively adaptation-deficient regions)은 종합평가 수준이 낮음에 비해 산사태 발생이 높은 경우로, 취약지역의 선별 적절성에 한계가 있었음을 시사한다. 잠재적 리스크 지역(Latent-Risk Overlooked Area)은 종합평가와 발생이 모두 낮은 경우로, 단기 위험은 낮지만 기후변화로 잠재위험이 증가할 수 있으므로 지속적인 모니터링과 예방적 관리가 필요한 지역으로 정의하였다. 이러한 네 가지 범주를 통해 각 기초지자체의 산사태 적응대책이 실제 기후위험 수준에 적절히 대응했는지, 그리고 정책 수립 단계에서 위험지역을 효과적으로 식별했는지를 검토하였다.

### 3. 결과

#### 3.1. 기초지자체 산사태 적응대책 전수조사 및 수준 평가

본 연구에서는 전국 226개 기초지자체 중 자료 확보가 가능한 219개 지자체의 계획을 수집하여 분석에 활용하였다(Table 2). 기초지자체의 경우 제3차 세부시행계획 수립 비율은 전체 219개 중 32개 지자체로 약 14%에 불과하였다. 대부분의 기초지자체가 여전히 제2차 계획 수준에 머물러 있으며, 계획의 갱신 주거나 행정 역량 측면에서 제약이 존재함을 시사한다. 지역별로는 충청북도가 제3차 계획 수립률 50%로 나타났으며 가장 높은 수준을 보였다. 그 뒤로는 경기도, 충청남도가 뒤따랐다. 반면, 서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시 등 주요 광역도시 내 기초지자체는 모두 제2차 계획만을 유지하고 있다.

Table 2. Status and evaluation scores of local government detailed implementation plans for climate change adaptation

Metropolitan Municipality	Local Gov'ts	Submission Rate	2nd Plan	3rd Plan	Score
Seoul	25	100% (25)	100% (25)	0%	2
Busan	16	100% (16)	100% (16)	0%	2
Daegu	9	100% (9)	100% (9)	0%	2
Incheon	10	90% (9)	88% (8)	12% (1)	2.11
Gwangju	5	100% (5)	100% (5)	0%	2
Daejeon	5	100% (5)	100% (5)	0%	2
Ulsan	5	100% (5)	100% (5)	0%	2
Gyeonggi-do	30	100% (30)	73% (22)	27% (8)	2.26
Gangwon-do	18	100% (18)	95% (17)	6% (1)	2.05
Chungcheongbuk-do	11	90% (10)	50% (5)	50% (5)	2.5
Chungcheongnam-do	15	86% (13)	92% (10)	23% (3)	2.23
Jeollabuk-do	14	92% (13)	89% (12)	8% (2)	2.3
Jeollanam-do	22	86% (19)	89% (17)	11% (2)	2.1
Gyeongsangbuk-do	23	100% (23)	96% (22)	4% (1)	2.04
Gyeongsangnam-do	18	100% (18)	94% (17)	6% (1)	2.05
Total	226	97% (219)	86% (195)	14% (24)	2.10

기초지자체에서 수립한 산사태 관련 적응대책을 분석한 결과, 적응대책은 예방·위험지역 정비 및 사방사업과 같은 구조적 적응대책과, 인적 역량 강화, 대응 준비, 인프라 구축·관리로 구성된 비구조적 적응대책으로 구분되었다. 적응대책 수립 건수를 보면 사방사업이 42%로 가장 높았고, 다음으로 예방 및 위험지역 정비가 26%로 나타났다(Table 3). 전체 비중으로는 구조적 적응대책이 85%, 비구조적 적응대책이 15%로, 기초지자체 수준에서 수립된 적응대책이 주로 물리적 기반시설의 정비 및 위험지역의 직접적인 구조적 대응에 중점을 두고 있음을 보여준다. 반면, 비구조적 적응대책인 인적 역량 강화 및 대응준비와 인프라 구축 및 관리는 상대적으로 낮은 비중을 보였다.

산사태 적응대책별 예산을 분석한 결과 사방담 정책이 3,413억 9백만원으로 전체 50.08%를 차지하여 가장 높았으며, 그다음으로는 예방 및 위험지역 관리가 1,722억 36백만원으로 전체 25.27%를 차지하였다(Table 4). 사업 건수와 예산 모두에서 사방사업의 비중이 가장 높게 나타났다. 이는 기초지자체의 적응대책이 구조적 수단, 즉 물리적 기반시설 확충에 상대적으로 집중되어 있음을 보여준다.

각 기초지자체별 산사태 적응대책 사업 수를 조사한 결과 약 52%의 기초지자체가 산사태 대응을 위한 구체적인

정책을 수립하고 있었으며, 나머지 48%의 지자체에서는 산사태 관련 사업이 전혀 수립되지 않아 지역 간 대응 수준의 차이가 확인되었다. 경상남도 김해시가 총 5개의 관련 사업을 수립해 가장 높은 수준의 정책 다양성을 보였으며, 경상북도 의성군과 충청북도 괴산군이 각각 4개로 뒤를 이었다(Fig. 2(b)). 행정구역 단위로 평균 사업 수를 비교한 결과, 대전광역시 기초지자체당 평균 1.967개로 가장 높았으며, 울진군(1.647)과 충청북도(1.385)가 그 뒤를 이었다(Fig. 2(a)).

기초지자체별 기후변화 적응대책 중 산사태 관련 예산의 비중을 분석한 결과, 부산광역시 영도구가 전체 예산의 26%를 산사태 대응에 할당하여 가장 높은 수준을 기록하였다. 그 외에도 경기도 파주시(24%), 서울특별시 은평구(21%), 부산광역시 사상구(16%)이 뒤를 따랐다 (Fig. 3(b)). 광역지자체 단위의 평균 예산 비율을 살펴보면, 부산광역시가 3.29%로 가장 높았으며, 이어서 대전광역시(2.94%), 경기도(2.68%), 서울특별시(2.55%) 순으로 나타났다. 이는 일부 광역지자체가 산사태 위험에 대한 대응을 비교적 적극적으로 추진하고 있음을 보여준다. 한편, 산사태 관련 적응대책이 단 한 건도 수립되지 않은 기초지자체는 전체 219개 중 94개로, 전체의 약 42%에 해당하였다.

광역지자체별로는 서울특별시 25개 자치구 중 13곳, 부

Table 3. List and ratios of landslide adaptation measures in local climate change adaptation plans

Measure type	Category	List of initiatives under the climate change adaptation measures	Ratio
Structural adaptation measures	Prevention and Hazardous Area Management	Improvement of landslide-prone areas	26% (52)
		Reinforcement of vulnerable steep slope areas	
		Reinforcement of collapse-prone areas	
		Designation and field investigation of natural disaster hazard zones	
		Installation of rockfall protection nets	
		Safety inspection of converted forest land	
		Stream channel preservation	
		Construction and maintenance of forest roads	
	Construction of main forest roads	42% (82)	
	Erosion Control Projects		Erosion control work
Non-structural adaptation measures	Infrastructure Development and Management	Maintenance and management of landslide information systems	17% (33)
		Preparation and dissemination of landslide management manuals	
		Establishment of designation criteria for landslide management areas	
		Establishment of a landslide prevention system	
		Inspection of forest trails	
	Capacity Building and Disaster Preparedness	Operation of landslide prevention teams	15% (31)
		Implementation of disaster response training	
		Public awareness and education for landslide prevention	
		Afforestation and forest tending	

Table 4. Budget and ratios of landslide adaptation measures in local climate change adaptation plans

Category	Budget (million KRW)	Budget Ratio
Erosion Control Projects	341,309	50.08%
Prevention and Hazardous Area Management	172,236	25.27%
Infrastructure Development and Management	110,893	16.27%
Capacity Building and Disaster Preparedness	57,033	8.37%

산광역시 16개 구·군 중 7곳, 대구광역시 8곳, 인천광역시 5곳 등에서 산사태 적응정책에 대한 예산을 편성하지 않는 것으로 확인되었다(Fig. 3(a)).

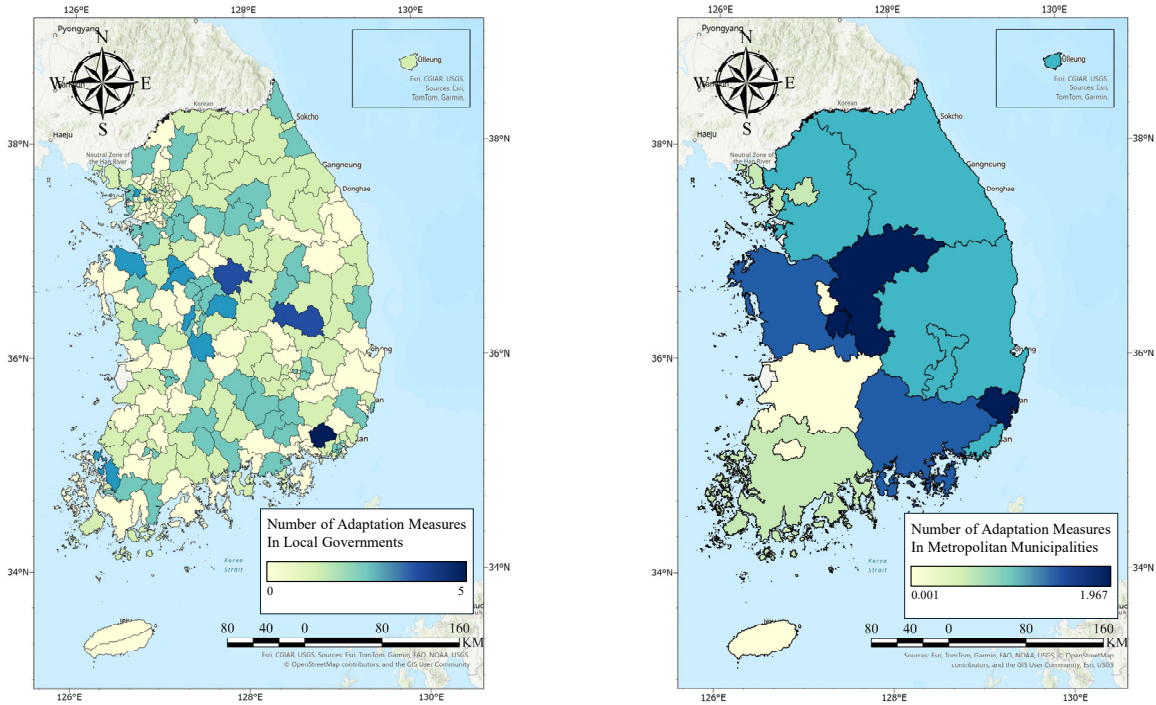
**3.2. 기초지자체 산사태 적응대책 종합적 평가**

앞서 조사된 지표들을 이용하여 종합적 평가를 시군구 단위 및 광역 행정구역 단위의 공간 분포 특성을 시각화한 지도를 작성함으로써, 지역 간 이행 수준을 분석하였다. 분석 결과, 경기도 파주시가 2.292점으로 전국에서 가장 높은 산사태 적응대책 이행 수준을 보였으며, 그 뒤를 이어 충청북도 괴산군(1.8114), 강원도 원주시(1.6261), 울산광역시 울주군(1.4593), 경기도 포천시(1.5027), 충청남도 예산군(1.4010) 순으로 나타났다(Fig. 4(b)). 이들 지역은 산사태

대응을 위한 다양한 사업을 수립하고, 이에 대한 예산 투입 역시 적극적으로 이루어진 것으로 판단된다. 한편, 광역 행정구역 단위에서 평균 점수를 살펴보면, 울산광역시가 1.123점으로 가장 높았고, 부산광역시(1.0809), 충청북도(0.7274), 경기도(0.6453) 등이 그 뒤를 이었다(Fig. 4(a)).

**3.3. 종합적 평가 와 수립기간 내 산사태 발생과의 비교**

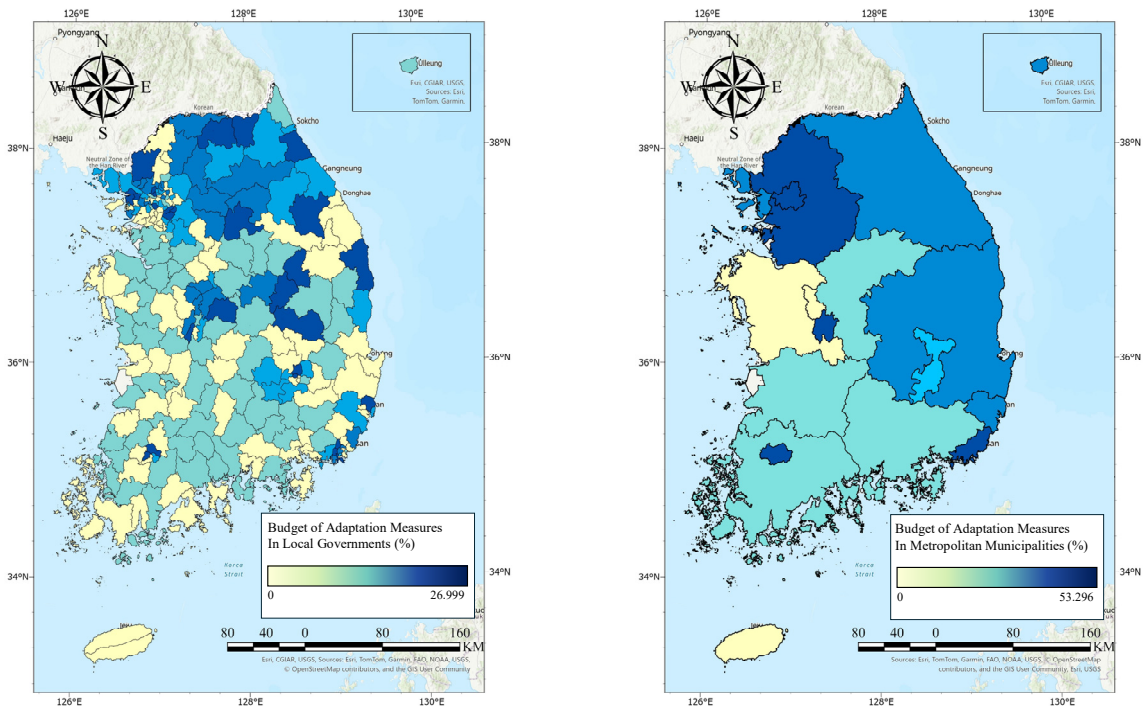
전국 산사태 발생 건수를 지자체 단위로 집계·분석한 결과, 부여군이 총 125건으로 가장 많은 산사태가 발생한 지역으로 확인되었다(Fig. 5(a)). 그 뒤를 이어 양평군이 88건, 봉화군이 78건, 논산시가 72건, 충주시가 68건을 기록하였다(Fig. 5(a)). 추가적으로 포항시 남구와 서천군도 산사태 발생이 많았다.



(a) Local Governments

(b) Metropolitan Municipalities

Fig. 2. Distribution of landslide-related adaptation measures map



(a) Local Governments

(b) Metropolitan Municipalities

Fig. 3. Distribution of budget allocations for landslide-related adaptation measures map

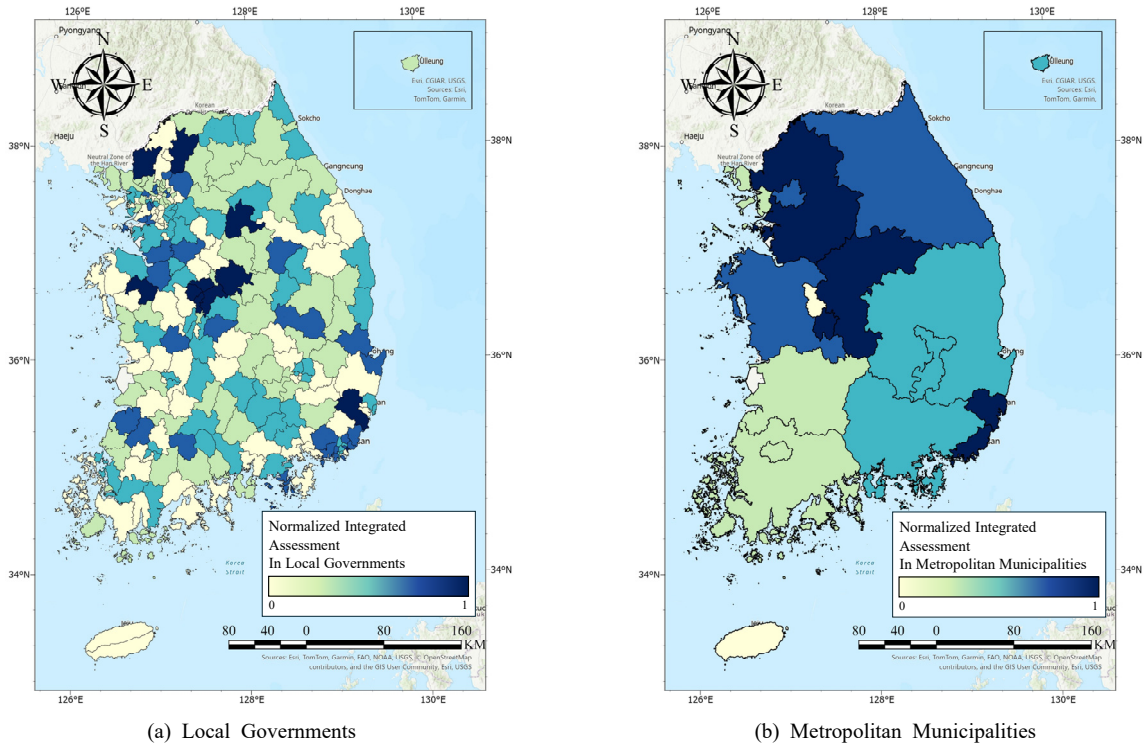


Fig. 4. Distribution of integrated assessment

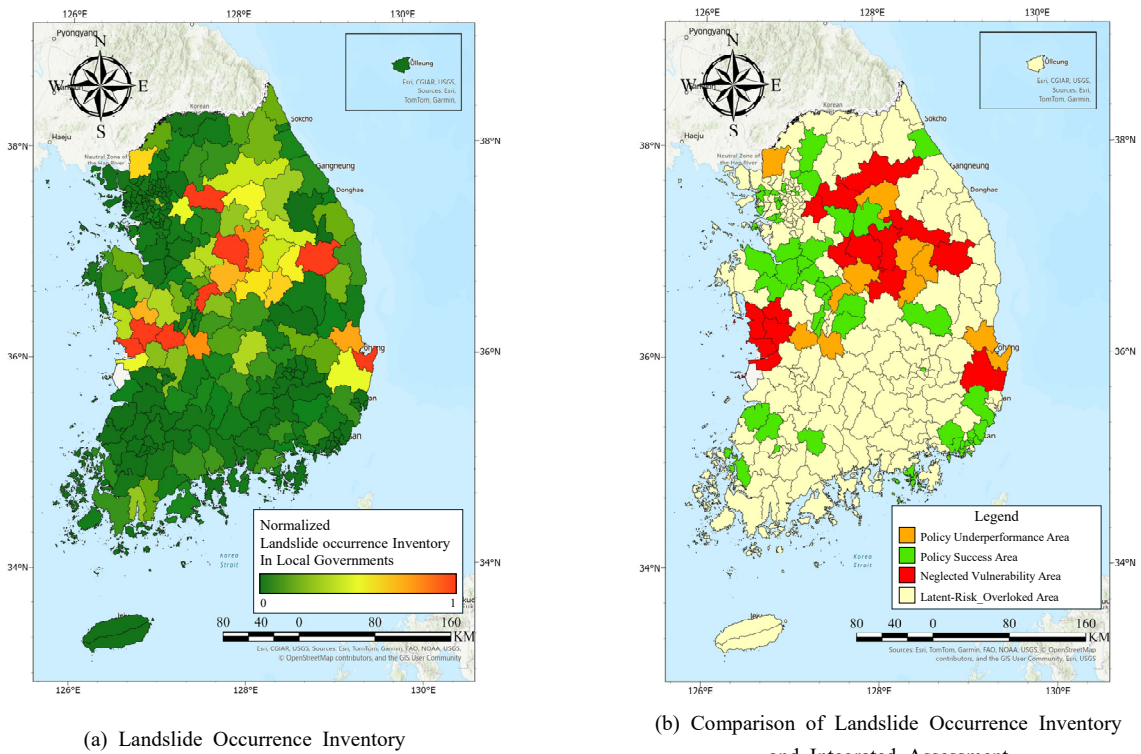


Fig. 5. Landslide occurrence inventory and comparison with integrated assessment

기초지자체의 산사태 발생수준과 적응대책 종합평가수준을 대조하여 Table 1에 의하여 분류한 결과, 상대적 적응대책 효과 미흡지역은 11곳(4.9%), 상대적 적응대책 집중지역은 55곳(24.3%), 상대적 적응대책 부족지역은 15곳(6.6%), 잠재적 리스크 간과 지역은 145곳(64.2%)으로 분류되었다. 상대적 적응대책 효과 미흡지역과 상대적 적응대책 부족지역은 총합 26곳으로 이는 일부 지역에서 취약지역의 공간적 선별이 실제 발생 위험과 불일치하며, 적응대책의 투입이 발생 저감으로 일관되게 연결되지 못하는 한계가 있음을 보여준다(Fig. 5(b)).

#### 4. 고찰

기초지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획 보고서를 수집·분석한 결과, 보고서가 수립된 지자체라 하더라도 산사태 적응대책의 내용이 구체적인 정책으로 반영되지 않는 경향이 확인되었다. 또한, 예산과 사업 수를 함께 분석함으로써 지자체별로 정책적·재정적 역량이 어느 분야에 집중되고 있는지, 그리고 사업 추진 방향성이 어떤 특징을 보이는지를 파악할 수 있었다. 다만 지자체 보고서는 취약성 및 영향평가와 과거 피해 이력, 주민 및 공무원 인식 설문조사 등 결과 산출물은 제시하지만, 그 결과가 사업 유형, 시간계획, 예산 배분으로 어떻게 구체화되는지는 충분히 설명하지 않는다. 이로 인해 평가 결과가 정책 설계와 집행에 어떻게 반영되고 성과로 이어지는지의 연계가 불명확하며, 다수 보고서에서 적응목표 설정 방법 또한 제시되지 않는다. 또한, 일부 적응대책의 선정은 기존 사업과의 단순 연계에 머물러, 해당 지자체의 취약성 저감에 실질적으로 기여하는지에 대한 효과 평가가 어렵다는 한계점이 있었다(Hyun et al., 2019).

적응대책 종합평가 수치와 산사태 발생 수치를 교차 비교한 결과, 정책 효과 부족 지역이 11곳으로 확인되었으며, 이는 다른 지자체에 비해 상대적으로 대응·예방 노력을 기울였음에도 산사태 발생이 여전히 높게 나타난 사례로, 기초지자체의 적응대책 선택과 구체적 사업 설계·배치가 충분히 뒷받침되지 않았을 가능성을 시사한다. 실제로 다수 지자체의 산사태 대응 사업은 사방사업과 위험지역 정비 등 물리적 기반시설 중심으로 편중되는 경향을 보였고, 예산 또한 사방사업에 절반 이상이 집중되는 것으로 나타났다(Park et al., 2024). 사방사업이 산사태 예방·대응의 핵심 수단이라는 점은 부인할 수 없으나, 인적 역량 강화, 대응 준비·훈련, 정보·경보 및 모니터링 등 비구조적

조치의 비중은 상대적으로 미흡하였다. 결과적으로 다층적 예방·대응 체계가 충분히 구축되지 않았음을 의미한다. 또한, 기초 세부시행계획의 산사태 적응대책은 수립기간 내 연차별 예산과 투입 일정 등 시간적 계획은 제시하고 있었으나, 사업의 공간적 범위와 대상지를 특정하는 계획은 부재하였다. 이로 인해 실제로 어디에서 어떤 사업을 우선 시행할 것인지를 확인할 수 없고, 그에 따른 구체적 이행계획 수립·현장 집행·성과 모니터링도 구조적으로 어렵다는 한계점을 가지고 있는 것으로 보였다. 따라서 향후 계획 수립에서는 사업의 공간적 대상지를 제시하고, 이를 근거로 한 구체적 실행계획을 마련해야 한다. 아울러 사면 안정화·배수·사방 등과 같은 구조적 수단과 조기경보·모니터링·교육·훈련·거버넌스 등과 같은 비구조적 수단의 균형을 확보하여, 산사태의 예방·대응·복구 전 주기를 포괄하는 통합적이고 지속 가능한 적응체계를 구축할 필요가 있다(Eu et al., 2025; Song et al., 2020).

또한, 상대적 적응대책 부족지역이 15곳 확인되었는데, 이는 상대적으로 산사태 취약지역의 선정이 부적절하거나 위험 수준이 과소평가되었을 가능성을 시사한다. 특히 일부 지자체가 취약지역 선정을 위해 활용하는 MOTIVE와 VESTAP 모형의 기초지자체 단위 해상도는 지역 고유의 지형·지질 조건, 토지이용 변화, 국지적 기상 특성, 과거 피해 이력 등 핵심 변수를 충분히 반영하지 못했을 개연성이 있다(Cha et al., 2023). 또한, 산사태 종합대책과 실제 발생 간의 관계는 계획 수립의 적정성에 좌우되기도 하지만, 궁극적으로는 각 지역의 지형, 토양특성과 미시 기상 조건에 따라 달라질 수 있다. 이에 따라 향후 연구에서는 고해상도 공간자료와 상세 기상자료의 결합, 지역별 보정 계수 적용, 지역의 지형 및 토양특성 고려, 장기 모니터링 자료의 활용을 통해 모형의 지역 적합성과 예측 정밀도를 제고할 필요가 있다(Lee and Lee, 2024; Lee et al., 2025). 특히 반복 발생 고위험지에 대해서는 이력 기반 가중치를 도입하여 평가 결과와 실제 재해 발생 간 정합성을 강화하는 접근이 요구된다. 궁극적으로 이러한 과학 기반의 평가·예측 체계를 고도화하고, 적응대책 수립 단계에서 해당 근거를 정책 설계·우선순위·예산 배분에 직접 연계하는 절차가 정착되어야 한다. 이때 주민·공무원 인식조사 등 비정량 자료는 보완적 근거로 활용하되, 정책 결정의 중심 기준은 검증 가능한 과학적 증거가 되어야 한다.

본 연구 결과는 기초지자체가 기후위기 대응의 최전선에 있음에도 불구하고, 일부 현행 산사태 적응대책이 실제 피해 양상과 맞물리지 못하고 있음을 보여준다. 특히

지자체별 평가 결과가 어떤 사업 유형으로 전환되고 예산이 어떻게 배분되는지에 관한 근거와 절차가 계획서에 충분히 제시되지 않아, 정책 우선순위 설정·자원 배분 방식·평가 체계·적용대책 수립 기준의 타당성이 불명확하다. 향후에는 평가-정책-예산 간 연계 원칙과 구체적 기준(사업 선정, 공간 표적화, 연차별 배분 규칙 등)을 명시하여, 적용대책의 정합성 검증이 이루어질 필요가 있다. 과학적 기법과 고해상도 공간·기상 자료를 기반으로 산사태 취약 지역을 보다 정밀하게 식별하고, 각 기초지자체의 지형·지질·토지이용 등 지역 특성을 반영한 맞춤형 적용대책을 수립해야 한다. 이를 바탕으로 적용대책의 공간적 범위에 대한 제시가 되어야 할 것이며, 구조적 수단과 비구조적 수단의 균형을 확보하여, 예방-대응-복구의 전 주기를 포괄하는 통합적·지속가능 체계를 갖추어야 한다. 나아가 개별 지자체를 넘어 유역 단위·소권역 단위 협력 체계를 구축해 공동 대응 역량을 강화하는 방향이 요구된다(MOE and KEI, 2025; Schlingmann et al., 2021). 결론적으로, 산사태 대응을 위한 기후변화 적용대책은 과학 기반 평가모형의 정확성을 제고하는 동시에, 실제 피해 데이터와의 연계성을 강화하는 등 평가 체계를 확립함으로써 정책 실효성을 높여나가야 할 것이다.

## 5. 결론

본 연구는 기초지자체를 중심으로 기후변화 적용대책 세부시행계획 내 산사태 대응 사업을 종합적으로 검토하여 지자체별 이행 수준을 평가하였다. 분석 결과, 계획서에 연차별 시간 계획은 제시되지만 공간적 대상지의 명시와 사업 유형과 예산 배분 간 연결 논리가 부족함을 확인하였다. 또한 실제 산사태 발생이력과 적용대책의 연계가 충분하지 않아, 일부 지역에서 산사태 발생이 높은데도 적용대책 수립이 미흡한 지역과 적용대책 수립이 미비한 데 발생이 높은 지역이 동시에 나타났다. 이는 적용대책 수립 및 취약지역 선정 절차가 정교하지 못함을 시사한다. 더불어 적용대책이 사망사업·위험지역 정비 등 구조적 수단에 편중되고, 조기경보·모니터링·교육·훈련 등 비구조적 수단은 상대적으로 미흡하여 예방-대응-복구 전 주기를 아우르는 체계가 충분히 작동하지 못하고 있었다.

향후에는 평가 결과가 어떤 사업 유형·대상·일정·예산으로 전환되는지에 관한 연계 원칙을 계획서에 기술하고, 우선권역·사업구역을 좌표 수준으로 특정하여 공간 표적화를 강화할 필요가 있다. 적용대책은 구조적과 비구조적

수단의 균형을 회복하고, 고해상도 공간·기상자료, 지역별 보정계수, 이력 기반 가중치를 도입해 취약지역 선정의 지역 적합성과 예측 정밀도를 높여야 한다. 또한 개별 지자체를 넘어 유역·소권역 단위 협력 기반을 마련해 공동 대응 역량을 확충하고, 정책 결정의 중심 기준은 검증 가능한 과학적 근거에 두어야 할 것이다.

## 사사

본 연구는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원 “신기후체제 대응 환경기술개발사업(RE202201636)”의 연구개발과 현대차 정몽구 재단 그린소사이어티 연구 지원 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## Reference

- Cha S, Lim C, Hong M, Lim J, Lee W. 2023. Landslide vulnerability assessment based on climate change scenarios using the maximum entropy (MaxEnt) model (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 14(2): 145-156. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.2.145
- Cha S, Lim C, Kim J, Kim M, Song C, Lee W. 2018. Analysis of landslide hazard area due to heavy rainfall in the Seoul Metropolitan Area (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Geospat Inf Sci* 26(3): 3-11. doi: 10.7319/kogsis.2018.26.3.003
- Chae H, Lee S, Lee H. 2011. A study on development of climate change adaptation strategies through county recognition (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Hazard Mitig* 11(6): 131-138. doi: 10.9798/KOSHAM.2011.11.6.131
- Eu S, Seo J, Lee K, Woo C, Lee C. 2025. Nonstructural landslide mitigation of the Republic of Korea. *Landslides* 22(3): 763-772. doi: 10.1007/s10346-024-02445-z
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA. 2001. *Climate change 2001: The scientific basis*. The Press Syndicate of the University of Cambridge. p. 873.
- Hyun J, Kim J, Yoon S, Park C, Jung H, Jung T, Lee D. 2019. A decision-making support strategy to

- strengthen Korea's local adaptation planning toward a pathways approach (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 10(2): 89-102. doi: 10.15531/KSCCR.2019.10.2.89
- IPCC. 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Pörtner H-O, Roberts DC, Tignor M, Poloczanska ES, Mintenbeck K, Alegría A, et al. (eds). Cambridge University Press.
- Kang Y, Kim GT, Lee JI. 2022. A study on the method of redesigning locally-based scientific culture policy in South Korea (in Korean with English abstract). *J Sci Technol Stud* 22(2): 4-30. doi: 10.22989/jsts.2022.22.2.1
- Kim H, Lee D, Park C, Kil S, Son Y, Park J. 2015. Evaluating landslide hazards using RCP 4.5 and 8.5 scenarios. *Environ Earth Sci* 73: 1385-1400. doi: 10.1007/s12665-014-3775-7
- Korea Forest Service (KFS). 2025a. Understanding landslides in 2025. Daejeon, Korea: Korea Forest Service.
- Korea Forest Service (KFS). 2025b. 2025 national comprehensive landslide prevention plan. Daejeon, Korea: Korea Forest Service.
- Lee S, Lee S. 2024. Landslide susceptibility assessment of South Korea using stacking ensemble machine learning. *Geoenviron Disasters* 11(1): 7. doi: 10.1186/S40677-024-00271-Y
- Lee S, Roh M, Jo H-W, Joon K, Lee W-K. 2025. Machine learning-based rainfall-induced landslide susceptibility model and short-term early warning assessment in South Korea. *Landslides* 22: 2809-2827. doi: 10.1007/s10346-025-02513-y
- Lim C-H, Kim H-J. 2022. Can forest-related adaptive capacity reduce landslide risk attributable to climate change? Case of the Republic of Korea. *Forests* 13: 49. doi: 10.3390/f13010049
- Ministry of Environment (MOE). 2023. The 3rd national climate change adaptation plan (2021-2025). Sejong, Korea: Ministry of Environment.
- Ministry of Environment (MOE), Korea Environment Institute (KEI). 2025. Impact assessment of climate change and international cooperation on climate crisis adaptation (case study of California's water sector). Ministry of Environment.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). 2024. Detailed guidelines for establishing comprehensive plans for natural disaster reduction [Notice No. 2024-89, enforced on November 21, 2024]. Sejong, Korea: Ministry of the Interior and Safety.
- Park S, Jee Y, Lee E. 2024. A study on the integrated improvement plan and system for non-structural measures to prepare for natural disaster (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Disaster Secur* 17(4): 91-105. doi: 10.21729/ksds.2024.17.4.91
- Park S, Lee D. 2021. Predicting susceptibility to landslides under climate change impacts in metropolitan areas of South Korea using machine learning. *Geomat Nat Hazards Risk* 12: 2462-2476. doi: 10.1080/19475705.2021.1963328
- Schlingmann A, Graham S, Benyei P, Corbera E, Sanesteban I-M, Marelle A, Reyes-García V. 2021. Global patterns of adaptation to climate change by Indigenous Peoples and local communities: A systematic review. *Curr Opin Environ Sustain* 51: 55-64. doi: 10.1016/j.cosust.2021.03.002
- Song YS, Park MJ, Lee JH, Kim BS, Song YH. 2020. Improvement measure of integrated disaster management system considering disaster damage characteristics: Focusing on the Republic of Korea. *Sustainability* 12(1): 340. doi: 10.3390/su12010340
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2020. Emissions Gap Report 2020. United Nations Environment Programme Reports. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2023. Adaptation gap report 2023: Underfinanced. Underprepared - Inadequate investment and planning on climate adaptation leaves the world exposed. <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2023>