

석사학위논문

산림재난 예방방안에 관한 연구

- 기술, 정책, 사회적 개선방안을 중심으로 -

2026년

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전정책전공

선 대 인

석사학위논문
지도교수 류종용

산림재난 예방방안에 관한 연구

- 기술, 정책, 사회적 개선방안을 중심으로 -

A Study on Forest Disaster
Prevention Measures

- Focusing on Technological, Policy, and Social
Improvement Measures -

2025년 12월 일

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전정책전공

선 대 인

석사학위논문
지도교수 류종용

산림재난 예방방안에 관한 연구

- 기술, 정책, 사회적 개선방안을 중심으로 -

A Study on Forest Disaster
Prevention Measures

- Focusing on Technological, Policy, and Social
Improvement Measures -

위 논문을 사회안전학 석사학위 논문으로 제출함

2025년 12월 일

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전정책전공

선 대 인

선대인의 사회안전학 석사학위 논문을 인준함

2025년 12월 일

심사위원장 박기수 (인)

심사위원 김진수 (인)

심사위원 류종용 (인)

국 문 초 록

산림재난 예방방안에 관한 연구 :
기술, 정책, 사회적 개선방안을 중심으로

한 성 대 학 교 행정 대 학 원
사 회 안 전 학 과
사 회 안 전 정 책 전 공
선 대 인

최근 기후변화가 가속화되면서 산불, 산사태, 병해충 등 다양한 산림재난이 전 세계적으로 증가하고 있다. 특히 우리나라는 급격한 기후변동과 도시 확장, 인위적 활동의 증가로 인해 산림의 재난 위험이 심화되고 있으며, 피해 양상 또한 복합적이고 연쇄적인 특성을 보인다. 그럼에도 불구하고 국내 산림재난 관리체계는 여전히 사후 복구 중심의 구조에 머물러 있어, 예방과 조기 대응을 위한 기술적·제도적·사회적 기반이 충분히 마련되지 못하고 있다. 이에 본 연구는 산림재난의 발생 요인과 현황을 분석하고, 기술·정책·사회적 측면을 유기적으로 통합한 예방 중심의 전략을 제시하고자 하였다.

먼저 기후변화에 따른 산림재난의 발생 원인과 유형별 특성을 고찰하고, 국내외 선행연구와 문헌을 분석하여 산림재난 예방 관련 기술과 정책의 흐름을 파악하였다. 이어 산림청, 국립산림과학원, 지방자치단체, 소방 등 주요 기관의 역할과 협력 구조를 분석하고, 해외 선진사례를 비교함으로써 국내 대응체계의 한계와 개선 방향을 도출하였다. 분석 결과, 우리나라 산림재난 대응은 기술적으로는 AI, 드론, 위성, IoT 등의 첨단 기술이 도입되고 있으나 실시간 데이터 통합과 예측 분석이 미흡하여 효과적인 조기경보가 어렵고, 정책

적으로는 부처 간 역할이 분절되어 있으며 법·제도의 예방 조항이 부족하고 지방정부의 인력과 예산이 한정되어 있었다. 또한 사회적 측면에서는 주민의 재난 인식과 참여가 낮고, 민간조직의 전문성 및 지역 간 협력체계가 미흡하여 기술과 정책이 현장에서 충분히 작동하지 못하는 구조적 한계가 확인되었다.

이러한 문제를 바탕으로 본 연구는 기술적·정책적·사회적 요인을 통합적으로 연계하는 대응전략을 제시하였다. 기술적으로는 AI 기반 위험도 분석모델의 고도화와 드론·위성·IoT의 융합형 감시체계 구축을, 정책적으로는 부처 간 협력 거버넌스 확립과 법·제도의 예방 중심 개편 및 재정지원체계 강화를, 사회적으로는 주민참여형 감시체계 구축과 교육·홍보를 통한 인식 제고, 공동체 복원력 향상을 통한 지속가능한 대응기반 확립을 강조하였다. 산림재난 관리의 패러다임을 사후 복구 중심에서 예방 중심으로 전환할 필요성을 제시하며, 첨단 기술의 실질적 적용과 정책적 제도화, 주민 참여의 결합을 통해 기후위기 시대에 대응하는 지속가능한 산림재난 예방체계 구축의 방향 개선에 기여할 수 있다.

【주제어】 산림재난, 기후변화, 자연재해, 조기경보체계, 예방정책

목 차

I. 서론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 연구 목적	3
1.3 연구 범위 및 방법	5
II. 이론적 고찰	9
2.1 기후변화	9
2.2 산림재난	13
2.3 기후변화와 산림재난	17
2.4 선행연구	27
III. 산림재난 대응 조직현황 분석	31
3.1 법률 현황	31
3.2 대응 조직의 구성	33
3.2 분석 결과	59
IV. 국내 외 사례분석	62
4.1 국내	64
4.2 해외	72
4.3 분석 결과	84
V. 산림재난 예방을 위한 개선방안	87
5.1 기술적 개선방안	88
5.2 정책적 개선방안	91
5.3 사회적 개선방안	95
VI. 결론	99

6.1 연구결과 요약	99
6.2 연구의 한계	102
참 고 문 헌	104
ABSTRACT	108

표 목 차

[표 2-1] 산불 발생 건수 및 면적 추이(2015년~2024년)	15
[표 2-2] 10년간 원인별 산불발생 현황	19
[표 3-1] 산사태 예·경보 기준 강화	36
[표 3-2] 산림재난 대응을 위한 연구분야별 전문 연구기관 역할	43
[표 3-3] 지방자치단체의 산림재난 유형별 대응 역할	46
[표 3-4] 소방 및 유관기관 산불 대응 자원 현황(2020년~2025년)	51
[표 3-5] 주요 산불 사례별 소방 및 유관기관 대응 특징	52
[표 3-6] 국내 주요 지자체 민간 방재조직 운영 현황(2023년 기준)	58
[표 4-1] 최근 국내 주요 산사태 피해 현황	67
[표 4-2] 해외 주요 산불 사례 비교	76
[표 4-3] 해외 산림 병해충 관리의 주요 특징	83
[표 5-1] 국내 산림재난 예방을 위한 기술 활용 현황	90
[표 5-2] 국내외 산림재난 정책적 전략 비교	94
[표 5-3] 국내외 산림재난 사회적 전략 비교	97

그림 목 차

[그림 1-1] 연구흐름도	8
[그림 2-1] 소나무재선충 피해율 예측결과	20
[그림 2-2] 참나무시들음 피해율 예측결과	21
[그림 2-3] 미국 캘리포니아주 몬테시토 산사태 현장	25
[그림 3-1] 우리나라의 대형산불	34
[그림 3-2] 산사태 예·경보모델 적용	37
[그림 3-3] 산림 병해충 발생 및 방제 현황	39
[그림 3-4] 산사태 위험도 예측 기술 개념도	42
[그림 3-5] 재난안전 대책본부 운영체계 흐름도	47
[그림 3-6] 차세대 산림재난 대응 지휘 플랫폼	55
[그림 3-7] 민·관·지역사회 협력 기반 재난안전 관리체계	57
[그림 4-1] 2025년 한반도 동남부 대형 산불 위성영상(MODIS 촬영)	65
[그림 4-2] 소나무재선충병 발생 위험 예측 정보	70
[그림 4-3] 2018년 미국 캘리포니아 “Camp Fire” 피해지역	73
[그림 4-4] 미국 서부 산불 피해지 산사태 발생 가능성 예측 지도	77
[그림 4-5] 스위스 알프스 지역 산사태 위험지도	79
[그림 4-6] 일본 실시간 산사태 모니터링 및 조기경보 시스템 구조도	80

I. 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

기후변화는 전 지구적으로 산림생태계에 광범위한 영향을 미치고 있으며, 우리나라의 산림재난 양상에도 구조적 변화를 초래하고 있다. 산업화 이전 대비 지구 평균기온은 약 1.2°C 상승하였으며, 우리나라의 경우 지난 100년 간 약 1.8°C 상승한 것으로 보고되고 있다(산림청, 2024). 이러한 온도 상승은 단순한 기온 변화에 그치지 않고, 강수 패턴 변화, 가뭄, 강풍, 이상고온 등 다양한 극한기상 현상을 동반하고 있다. 이러한 기후변화가 한반도 산불 발생의 시기와 공간적 분포에 유의미한 변화를 유발하며, 특히 봄철과 가을철에 고온·건조·강풍이 결합된 조건에서 대형 산불의 발생 확률이 급격히 증가한다고 분석하였다.(성미경 외, 2010)

국내 산림은 국토의 약 63%를 차지하며, 탄소 흡수, 수자원 보전, 재해 방지, 생물다양성 유지 등 다양한 공익적 기능을 수행하고 있다. 그러나 최근 기후변화에 따른 계절별 기상 패턴 변화는 산림재난의 발생 가능성을 상시적으로 높이고 있다. 예를 들어 겨울철 적설량 감소와 봄철 조기 건조 현상은 3~4월 산불 발생 위험을 크게 증가시키고 있으며, 여름철 집중호우는 산사태와 같은 2차 재난의 빈도를 높이고 있다(이기환 외, 2022). 이러한 변화는 단일 재난이 아닌 복합재난 형태로 나타나면서 피해 규모와 복구 난이도를 심화시키고 있다.

산불은 우리나라 산림재난 중 가장 빈번하고 피해 규모가 큰 유형이다. 2024년 한 해 동안 전국적으로 279건의 산불이 발생하였으며, 피해 면적은 약 132헥타르에 달했다(산림청, 2024). 발생 건수는 과거 대비 다소 감소했지만, 1건당 평균 피해 면적은 점차 증가하고 있어 대형화·장기화되는 경향을 보인다. 이는 기후변화로 인한 환경 조건 변화와 더불어, 인위적 요인(부주의한 화기 사용, 농·산림 인접지 소각 등)이 복합적으로 작용한 결과이다. 산불 초기 확산을 억제하기 위해 임도의 확충이 효과적임을 실증적으로 제시하였

으며, 이를 통해 진화 장비와 인력 접근성을 높이는 것이 피해 경감을 위한 핵심 개선방안임을 강조하였다(산림청 국립산림과학원, 2025).

산사태는 주로 집중호우와 지반 약화에 의해 발생하지만, 산불 피해지에서의 발생 확률이 현저히 높다. 연구에 따르면 과거 20년간 국내 산불피해지에서 산사태 발생 빈도가 비피해지 대비 유의하게 높았으며, 특히 강우 강도가 높은 해에는 산불 후 2~3년 동안 산사태 위험이 지속되는 것으로 나타났다(이기환 외, 2022). 이는 산불과 산사태가 서로 인과적으로 연결된 복합재난임을 보여준다. 병해충 피해 역시 기후변화와 밀접한 관련이 있다.

온난화로 인한 겨울철 기온 상승은 해충의 월동 생존율을 높이며, 그 결과 병해충 확산 범위와 피해 강도가 확대되고 있다. 특히 솔나방, 소나무재선충 등은 고산지대와 북부지역까지 확산하는 양상을 보이고 있으며, 이는 기존 방제 체계의 범위를 넘어서는 도전 과제를 제기한다.

현재 국내 산림재난 대응 체계는 산림청과 지방자치단체를 중심으로 운영되며, 발생 이후의 진화·복구 활동에 초점이 맞춰져 있다. 그러나 이러한 사후 대응 방식은 대형 재난의 피해를 근본적으로 줄이기 어렵다는 한계가 있다. 예컨대, 산불은 발생 후 수 시간 이내에 확산 규모가 결정되는데, 초기 대응 실패는 피해 면적과 복구 비용을 기하급수적으로 증가시킨다(산림청, 2024). 이러한 한계를 극복하기 위해 최근에는 예방 중심의 통합적 대응 개선 방안이 주목받고 있다. AI 기반 산불 예측 모델, 드론을 활용한 실시간 감시, 고해상도 위성 원격탐사 기술 등이 개발·도입되고 있으며, 산불·산사태 위험지도 제작과 IoT 센서 네트워크 구축과 같은 데이터 기반 감시 체계도 확산되고 있다. 하지만 기술적 인프라가 확보되더라도, 이를 운영할 전문 인력과 장기적 예산 지원, 부처 간 협력 체계가 미흡하면 실효성이 저하된다.

해외에서는 기술적 대응과 정책적 지원이 유기적으로 결합된 선진 사례가 다수 존재한다. 미국 캘리포니아주는 인공지능 기반 산불 예측 시스템과 고위험 지역 열 감지 센서를 결합하여 조기 경보 체계를 구축하고 있으며, 호주는 ‘Sentinel Hotspots’ 시스템¹⁾을 통해 위성 기반 화재 감시를 실시간으

1) Sentinel Hotspots : 호주 정부(Geoscience Australia)가 운영하는 위성 기반 실시간 화재 감시시스템으로, MODIS-VIIRS 등 원격탐사 위성 데이터를 활용하여 산불 발생 위치를 10분 ~ 1시간 단위로 업데이트 하며, 일반 국민과 기관에 웹 플랫폼 형태로 제공된다.

로 수행하고 있다. 캐나다는 드론과 원격 센서를 활용한 산림 모니터링 체계를 국가 차원에서 운용하고 있으며, 이를 기후 데이터와 결합하여 산불 확산 시뮬레이션에 활용하고 있다. 이러한 해외 사례는 국내 적용 가능성이 크지만, 지형·기후·산림 구조의 차이를 고려한 맞춤형 설계가 필요하다. 특히 우리나라의 경우 산지가 많고 마을과 산림이 근접해 있어, 재난 발생 시 인명·재산 피해로 직결될 가능성이 높다.

따라서 해외 기술 도입과 더불어, 지역 특성 반영과 주민 참여 확대가 필수적이다. 종합하면, 기후변화는 산불·산사태·병해충 피해의 빈도와 강도를 높이며, 복합 재난 형태로 발전시키고 있다. 기존의 사후 복구 중심 대응은 이러한 변화에 대응하기에 한계가 있으며, 예방 중심의 통합적 개선방안이 절실하다. 이를 위해서는 기술, 정책, 사회적 참여를 결합한 다층적 접근이 필요하며, 과학적 근거와 실증 자료를 바탕으로 한 장기적 대응체계 구축이 요구된다. 본 연구는 이러한 배경에서 출발하여, 산림재난 예방을 위한 효과적이고 지속 가능한 개선방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구 목적

산림은 지구 생태계와 인류 사회의 지속가능성을 유지하는 데 있어 필수적인 자원이다. 우리나라의 경우 국토의 약 63%가 산림으로 이루어져 있으며, 이는 탄소 흡수원으로서의 기능뿐 아니라 수자원 보전, 토양 유실 방지, 생물다양성 유지, 기후 조절 등 다양한 공익적 가치를 제공한다. 그러나 최근 기후변화 심화와 인간 활동 증가로 인해 산불, 산사태, 병해충 등 산림재난이 점차 빈번하고 복합적인 양상으로 나타나고 있다. 이러한 재난은 단순히 환경적 피해를 넘어, 지역사회의 경제 기반을 약화시키고, 주민 안전과 국가 재정에도 중대한 부담을 초래한다. 특히 산불은 고온·건조·강풍이라는 세 가지 조건이 충족될 경우 단기간 내 급속도로 확산될 수 있으며, 초기 진화에 실패하면 피해 규모가 기하급수적으로 증가한다. 산불 피해 이후 식생이 소실된 지역은 토양의 투수성과 결합력이 약화되어 강우 시 대규모 토사 유출과 산사태 위험에 노출된다. 이러한 산불-산사태 연계 피해는 재난의 복합성과

장기적 피해를 더욱 심화시키며, 피해 복구에도 수년 이상의 기간이 소요될 수 있다. 병해충 피해 또한 기후변화로 인한 겨울철 이상 고온 현상과 밀접하게 연관되어 있으며, 이는 해충의 월동 생존률을 높여 산림 생태계의 건강성을 장기적으로 위협한다.

기후변화가 한반도의 산불 발생 양상에 미치는 영향을 분석하면서, 평균기온 상승과 건조 기간의 증가가 산불의 발생 시기와 지역적 분포를 변화시키고 있음을 보고하였다. 연구 결과에 따르면, 기온 상승과 봄철 건조 기간의 연장은 대형 산불의 빈도를 높이는 주요 원인으로 작용하고 있으며, 이러한 경향은 향후 기후변화가 심화될수록 더욱 뚜렷해질 것으로 전망된다(성미경 외, 2010). 과거 20년간의 국내 산불 피해지를 분석하여, 산불 발생 이후 집중호우 시 해당 지역에서 산사태 발생 빈도가 높아진다는 사실을 확인하였다. 이러한 결과는 산불과 산사태가 상호 연관된 복합재난이라는 점을 뒷받침하며, 재난 대응에서 개별 재난이 아닌 통합적 관점의 필요성을 강조한다(이기환 외, 2022).

기존의 산림재난 대응은 주로 사후 복구 중심의 하향식 체계에 의존해 왔다. 재난 발생 이후 피해 복구와 재발 방지를 위한 조치가 이루어지지만, 대형 재난의 경우 초기 대응 실패가 피해 규모를 급격히 확대시키는 문제가 지속적으로 지적되고 있다.

특히 산불의 경우 발화 후 수 시간 내에 피해 면적이 수백 헥타르로 확산될 수 있어, 사전 감지와 신속한 초동 대응이 무엇보다 중요하다. 산사태 역시 사전 예측과 조기 경보 없이 발생하면 인명피해, 기반 시설 파손, 교통망 마비 등 회복 불가능에 가까운 피해를 남긴다. 병해충 피해는 그 확산 속도가 빠르기 때문에 피해지역뿐 아니라 인접 산림까지 영향을 미치며, 방제 지연 시 회복에 수십 년 이상이 소요될 수 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해서는 기존의 복구 중심 대응 체계를 예방 중심의 선제적 대응 체계로 전환할 필요가 있다. 즉, 재난이 발생하기 전 단계에서 위험 요인을 식별·분석하고, 이를 기반으로 조기 경보 시스템을 가동하여 피해 가능성을 최소화해야 한다. 이를 위해 인공지능(AI), 드론, 위성 원격 감지, IoT 센서 네트워크 등 첨단 기술을 활용한 실시간 모니터링과 예측

모델 개발이 필수적이다. 예를 들어 AI 기반 예측 모델은 기상 데이터, 토양 습도, 식생 상태, 바람 방향 등의 변수를 종합적으로 분석하여 산불이나 산사태 발생 가능성을 사전에 경고할 수 있으며, 드론과 위성 원격 감지 기술은 접근이 어려운 지역의 실시간 감시를 가능하게 한다.

또한 법·제도적 기반 강화와 지역사회 중심의 대응체계 구축이 병행되어야 한다. 현재 국내에서는 산림청과 국립산림과학원이 산불·산사태 위험지도, 조기 경보 시스템 개발, 재난 대응 훈련 등을 수행하고 있으나, 부처 간 정보 공유와 협력 체계가 미흡하다는 지적이 있다. 지방자치단체와 지역 주민이 재난 예방 과정에 주체적으로 참여할 수 있도록 권한과 책임을 부여하고, 맞춤형 대응 매뉴얼과 교육 프로그램을 제공하는 것도 중요하다.

따라서 본 연구의 목적은 산불, 산사태, 병해충 등 주요 산림재난의 발생 원인과 특성을 종합적으로 분석하고, 기술적·정책적·사회적 측면에서 예방 개선방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 국내외 사례를 비교 분석하여 우리나라 산림 환경과 행정 구조에 적합한 통합적 대응 방안을 도출하고, 재난 예방 효과를 극대화할 수 있는 구체적 개선방안을 제안하고자 한다. 이러한 연구는 기후변화 시대에 산림재난 대응의 새로운 패러다임을 제시함과 동시에, 정책 수립자, 실무자, 지역사회 모두에게 실질적이고 실행가능 한 대안을 제공할 수 있을 것이다.

1.3 연구 범위 및 방법

본 연구는 대한민국 산림지역에서 발생하는 주요 산림재난에 대한 예방개선방안을 분석하고 제안하는 것을 목표로 하며, 연구의 범위는 다음과 같다. 첫째, 대상 재난 유형이다. 산불, 산사태, 병해충 피해 등 우리나라 산림지역에서 빈번하게 발생하는 재난을 중심으로 분석한다. 각 재난이 산림 생태계와 인근 지역사회에 미치는 영향을 중점적으로 다루며, 특히 기후변화로 인해 발생 빈도와 규모가 증가하고 있는 산불과 산사태를 중심으로 연구를 진행한다.

둘째, 대상 지역이다. 전국 산림지역을 연구 대상으로 하되, 산림 면적 비중이 높고 재난 발생 빈도가 높은 강원도, 경상북도, 전라북도 일부 지역을 중점적으

로 선정한다. 해당 지역들은 지형적 특성과 기후 조건으로 인해 산림재난 발생 위험이 높으며, 피해 발생 시 지역경제와 주민 생활에 미치는 영향이 크다.

셋째, 분석 기간이다. 최근 20년간(2005~2024년)의 산림재난 발생 현황과 피해 규모가 큰 사례를 중심으로 분석을 진행하여 우리나라 산림재난의 발생 추세와 주요 특징을 파악하고자 한다. 특히 2025년 경북 영덕·울진 산불²⁾, 2022년 강원 동해·삼척 산불³⁾, 2019년 강원 고성 산불⁴⁾ 등 대형 재난 사례를 심층적으로 검토한다.

본 연구에서는 산림재난 예방개선방안을 체계적으로 분석하기 위해 다음과 같은 연구 방법을 활용한다. 첫째, 문헌연구를 진행한다. 문헌연구는 본 연구의 이론적 기초를 형성하는 핵심 방법론으로, 산림재난 대응과 관련된 국내외 학술논문, 정부 보고서, 산림청 및 국립산림과학원의 자료, 국제기구의 정책 문서 등을 수집·분석한다. 이를 통해 국내외 산림재난 예방 개선방안의 원칙과 기법을 파악하고, 우리나라의 산림지역에 적용 가능한 예방개선방안을 제안하고자 한다.

둘째, 사례분석을 수행한다. 사례분석은 문헌연구에서 도출된 이론적 모델과 실제 발생한 산림재난 간의 연관성을 검토하는 것을 중점으로, 최근 20년간 주요 산림재난 사례를 선정하여 분석한다. 재난 발생 당시의 기상 조건, 지형 특성, 산림 관리 상태 등을 분석하여 재난 발생 원인을 규명하고, 피해 규모와 유형을 정량적으로 산출한다. 이어서 적용된 대응개선방안의 효과성을 평가하며, 재난 대응의 신속성, 피해 저감 효과, 복구 기간 등을 기준으로 분석한다. 이를 통해 성공적인 예방·대응 사례와 한계점을 도출하고, 향후 개선 방안을 제시한다.

2) 2025년 3월 경북 영덕·울진 일대에서 발생한 산불은 강풍과 건조한 날씨를 타고 급속히 확산되어 수백 헥타르의 산림이 소실되었으며, 수백여 명의 주민이 대피하고 인근 지역 대기 질 악화, 농업 및 관광업 피해 등 광범위한 사회·경제적 손실을 초래하였다.

3) 2022년 3월 강원 동해·삼척 일대에서 발생한 산불은 강풍과 건조한 기후 조건 속에서 확산되어 1,000헥타르 이상 산림이 피해를 입었으며, 수백 명의 주민이 대피하고 다수의 주택과 시설물이 소실되는 등 대규모 피해를 기록하였다.

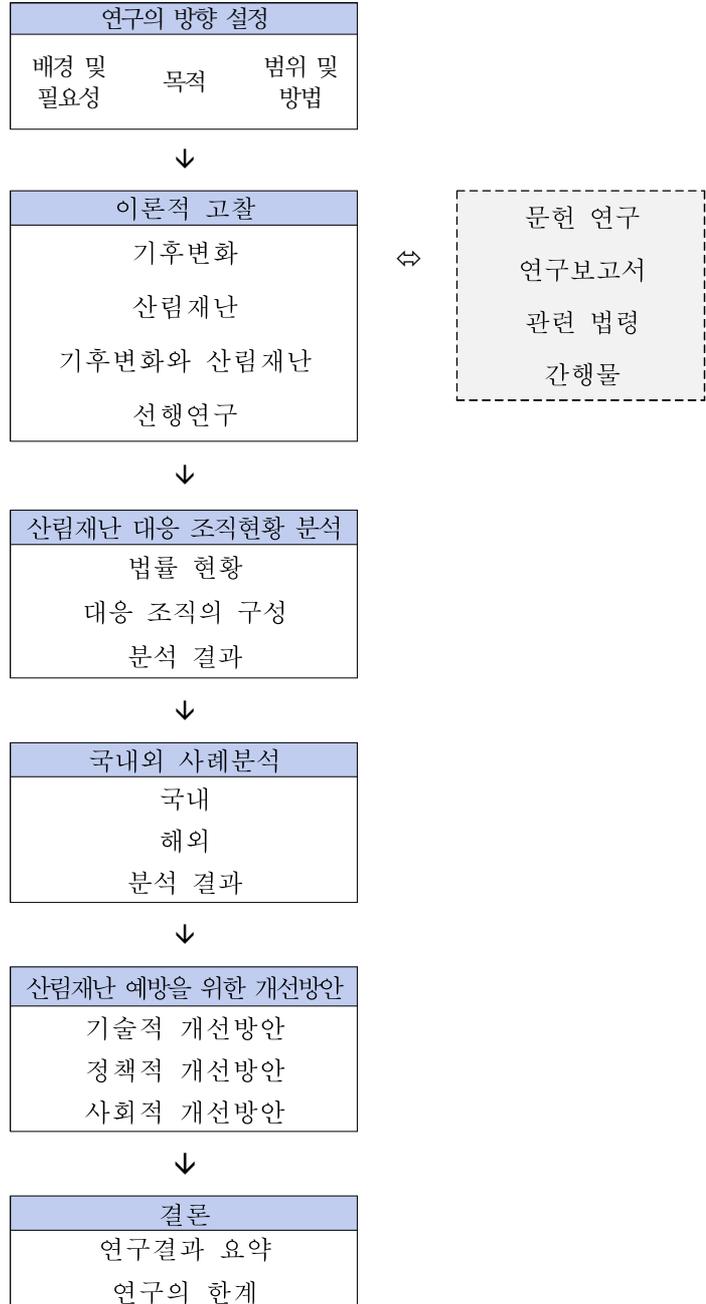
4) 2019년 4월 강원 고성·속초 일대에서 발생한 산불은 강풍을 타고 급속히 확산되어 약 1,757헥타르의 산림이 피해를 입었으며, 주택 500여 채가 소실되고 1명이 사망, 11명이 부상하는 등 인명·재산 피해가 컸다. 정부는 이를 ‘재난 사태’로 선포하고 전국 단위의 긴급 진화 및 복구 작업을 실시하였다.

셋째, 통계분석을 병행한다. 산림청 산불통계연보(2024), 기상청 기후데이터, 국립산림과학원 산사태 통계 등 공신력 있는 데이터를 활용하여 산림재난 발생 건수, 피해 면적, 발생 시기, 기후 요인 간 상관성을 분석한다. 이를 통해 재난 발생의 패턴과 위험 요인을 규명하고, 예방개선방안 수립의 근거자료로 활용한다.

결론적으로, 본 연구는 문헌연구를 통해 이론적 근거를 마련하고, 사례분석과 통계분석을 통해 실질적이고 현장 적용 가능한 산림재난 예방개선방안을 검토한다. 이러한 방법론적 접근은 연구 결과의 신뢰성을 높이고, 효과적인 정책 방안을 제시하는 데 기여할 것이다.

위와 같은 내용을 통해 전체적인 흐름을 나타내면 다음[그림 1-1]과 같이 표현된다.

[그림 1-1] 연구흐름도



Ⅱ. 이론적 고찰

2.1 기후변화

기후변화는 지구 평균기온 상승, 강수 패턴 변화, 해수면 상승 등 다양한 형태로 나타나며, 인류 사회와 자연환경 전반에 심대한 영향을 미치고 있다. 특히 산림 지역에서는 온도 상승과 극한 기상현상 증가로 인해 재난 발생 위험이 과거보다 현저히 높아지고 있다.

폭염, 가뭄, 집중호우와 같은 기상이변은 산림 생태계의 균형을 깨뜨리고, 산불이나 산사태와 같은 2차 재난으로 이어질 수 있다. 이러한 환경적 위험 요인은 단순히 자연 현상에 국한되지 않고, 사회·경제적 피해를 동반하며, 장기적으로 국가와 지역사회의 회복력(resilience)을 저하시킨다.

따라서 기후변화와 그로 인한 환경적 위험 요인의 상호작용을 종합적으로 분석하는 것은 산림재난 대응 전략 수립의 핵심 전제 조건이다.

2.1.1 기후변화로 인한 기상-기후 패턴 변화

최근 수십 년간 지구 기후 시스템은 산업화와 인구 증가, 화석연료 사용 증가 등에 따른 온실가스 배출량의 급격한 증가로 인해 뚜렷한 변화를 겪고 있다.

기후변화는 단순히 평균기온의 상승에만 국한되지 않고, 계절별·지역별 강수량 분포의 변화, 극한 기상현상의 빈도와 강도 증가, 그리고 대기 순환 패턴의 변화를 동반하고 있다.

이러한 변화는 산림재난 발생 가능성, 특히 산불 발생과 확산에 직접적인 영향을 미친다.

첫째, 평균기온의 상승은 산불 위험도를 높이는 가장 중요한 요인 중 하나이다. 기온이 상승하면 토양과 식생의 수분 함량이 빠르게 감소하며, 건조 상태가 지속될 경우 작은 불씨도 대규모 산불로 확산될 가능성이 커진다.

특히 한반도에서는 여름철 고온 현상이 점점 길어지고 있으며, 겨울철 기온 상승으로 인한 눈 적설량 감소와 봄철 조기 해빙은 봄철 산불 위험을 증가시키는 요인이 된다.

기상청 자료에 따르면 지난 30년간(1991~2020년) 한국의 연평균 기온은 1.6°C 상승하였으며, 이는 전 지구 평균 상승폭보다 높은 수치다.

둘째, 강수 패턴의 변화 역시 산림재난에 중요한 영향을 준다. 과거에 비해 강수량은 특정 시기에 집중되는 경향을 보이며, 건조기와 습윤기가 극단적으로 구분되고 있다.

이러한 변화는 건조기에 산림 연료물질이 축적되게 만들고, 이후 번개나 인위적 요인으로 발화가 발생하면 확산 속도를 가속화한다. 강원 동해안 지역은 편서풍과 지형적 특성으로 인해 건조한 양간지풍의 영향을 자주 받으며, 이 시기에 강수량이 평년보다 적으면 산불 발생 가능성이 급격히 높아진다.

셋째, 극한 기상현상의 빈도 증가는 산불의 대형화를 유발하는 또 다른 요인이다. 폭염, 장기 가뭄, 강풍은 산불 확산의 3대 촉진 조건으로 알려져 있다. 특히 동해안 지역에서 자주 발생하는 강풍은 발화 후 불길을 광범위하게 퍼뜨리며, 진화 활동을 어렵게 만든다.

2019년 강원 고성 산불, 2022년 강원 동해·삼척 산불, 2023년 강릉 산불 등 대형 산불 사례에서도 강풍이 피해 확산의 핵심 요인으로 지목되었다.

넷째, 계절 주기의 변화도 산불 발생 양상에 영향을 미친다. 기후변화로 인해 봄철이 빨리 시작되고, 가을철이 길어지는 경향이 나타나면서, 전통적으로 겨울·봄철에 집중되던 산불 위험 기간이 연중으로 확대되고 있다.

동해안 지역에서 발생한 대형 산불의 상당수가 3~4월뿐만 아니라 2월, 심지어 12월에도 발생한 것으로 보고되었다. 이는 계절 변화가 산불 위험 시기를 장기화시키고 있음을 보여준다.

마지막으로, 대기 순환과 기압계 패턴의 변화가 지역별 산불 발생 가능성에 미치는 영향도 무시할 수 없다. 한반도 주변의 제트기류 약화와 이상 고기압의 장기 정체 현상은 장기간의 건조·고온 상태를 유발한다.

이러한 기압계의 비정상적 패턴은 특정 지역에 국지적인 산불 위험을 지속적으로 부여하는 환경을 조성한다.

종합하면, 기후변화는 기온 상승, 강수 패턴 변화, 극한 기상현상 증가, 계절 주기 변화, 대기 순환 패턴의 변화 등 복합적인 방식으로 산불 위험도를 높이고 있다.

특히 강원 동해안과 같이 건조한 기후, 강풍, 침엽수림이라는 삼중 취약성을 가진 지역은 기후변화의 영향을 더 크게 받을 수밖에 없다. 이에 따라 산림재난 대응 전략 수립 시 기후변화로 인한 장기적 환경 변화 요인을 반드시 반영해야 하며, 위험도 예측과 방지 대책의 정교화를 위해 실시간 기상·기후 데이터와 장기 기후 시뮬레이션의 결합이 필수적이다(곽창재 외, 2023).

2.1.2 기후변화에 따른 산림 환경의 취약성 심화

기후변화는 우리나라 산림 생태계 전반에 걸쳐 구조적·기능적 취약성을 증대시키는 핵심 요인으로 작용하고 있다. 특히 기온 상승과 강수 패턴 변화는 산림의 수문순환, 토양 구조, 식생 분포 등에 복합적인 영향을 미치며, 이로 인해 산사태, 산불, 병해충 확산과 같은 산림재난의 빈도와 규모가 점차 확대되는 추세를 보인다.

최근 100여 년간 우리나라의 연평균 강수량은 약 140mm 증가했으나, 강수일수 증가는 불과 2일에 그쳐 강우강도가 현저히 높아졌고, 80mm 이상 강수일수와 95% 이상의 극한 강우일수도 통계적으로 유의한 증가세를 나타냈다.

이러한 강우 특성의 변화는 사면 토양의 장기적인 포화 상태를 유도하고, 사면 안정성을 약화시키며, 국지적인 집중호우 시 토사 붕괴를 촉진하는 물리적 환경을 조성한다.

1981~2000년 동안의 연평균 산사태 피해면적은 약 276.6ha였으나, 2001~2020년에는 평균 527.6ha로 두 배 가까이 증가하였다.

특히 2020년에는 54일간 이어진 역대 최장 장마로 인해 중부지방을 중심으로 1,343ha의 피해가 발생하였는데, 이는 1976년 이후 세 번째로 큰 규모였다. 이러한 피해 증가는 단순히 강수량 증가뿐 아니라, 강수 강도의 집중화, 국지적 폭우 빈도의 증가, 장마 및 태풍과 같은 극한 기상현상의 장기화가 복합적으로 작용한 결과이다.

강우 특성 변화는 산림 토양의 침식 저항력을 감소시키고, 임상 및 식생 회복 속도를 저하시켜 재난에 대한 회복력을 약화시킨다. 특히 침엽수 위주의 단일 수종 숲에서는 뿌리 구조가 얇아 토양 결속력이 낮아, 기후변화로 인한 집중 강우 시 산사태 위험이 더욱 증대되는 경향을 보인다.

기후변화 시나리오(SSP1-2.6, SSP5-8.5)를 적용하여 21세기 말까지 산사태 피해면적 변화를 예측한 결과, 두 시나리오 모두 기준 기간(1981~2010년)에 비해 피해면적이 크게 증가할 것으로 나타났다.

SSP1-2.6의 경우 2030년대부터 2070년대까지 지속적인 증가세를 보이다 2090년대에 다소 완화되는 양상을 나타냈으나, 여전히 기준 기간 대비 높은 수준을 유지하였다.

반면, 고탄소 배출 시나리오인 SSP5-8.5에서는 21세기 말까지 피해면적이 꾸준히 증가하여, 2090년대에는 최대 2.8배 확대될 것으로 예측되었다.

이러한 차이는 SSP5-8.5에서 1일 및 5일 최대 강우량, 평균 강우 강도, 극한 강우일수 등 모든 강우 지표가 장기적으로 상승하기 때문이며, 기후변화 완화 노력이 부족할 경우 산림 환경의 구조적 취약성이 누적적으로 심화됨을 시사한다(유송, 2023).

또한, 산사태와 같은 대규모 산림재난의 피해는 단기적인 물리적 피해에 국한되지 않고 장기적인 생태계 교란으로 이어진다. 산사태 발생 후 노출된 토양은 강우 유실에 취약해 추가적인 침식을 야기하고, 하류 지역의 하천 퇴적과 수질 악화를 유발한다.

이는 어류 서식지와 수생 생물 다양성을 저하시킬 뿐 아니라, 인근 농경지의 생산성 감소로 이어질 수 있다. 더불어, 기후변화는 병해충의 서식지 확장을 촉진하여 산림의 생물학적 저항성을 약화시키는데, 예를 들어 소나무재선충병과 같은 외래 병해충은 기온 상승과 온난한 겨울을 배경으로 확산 범위가 확대되는 양상을 보인다.

이러한 병해충 피해는 수목 고사와 임상 악화를 통해 토양 유실 저항력을 더욱 저하시키며, 결국 기후변화-병해충 피해-산사태 위험의 악순환 구조를 형성하게 된다.

따라서 기후변화로 인한 산림 환경의 취약성 심화를 완화하기 위해서는

물리적·생태적·정책적 대응이 종합적으로 이루어져야 한다.

물리적 차원에서는 사면 안정화 공법, 배수로 설치, 식생 복원 등을 통해 강우에 대한 저항력을 높이고, 생태적 차원에서는 수종 다양화, 혼효림 조성, 토착종 복원을 통해 생태계 회복력을 강화해야 한다.

정책적으로는 기후변화 시나리오 기반의 재난 예측·경보 시스템 구축, 산림 모니터링 네트워크 확대, 병해충 조기 탐지·방제 체계 확립 등이 병행되어야 한다.

이러한 다층적 접근은 기후변화에 따른 산림 환경의 취약성 심화를 완화하고, 장기적으로 산림재난 피해를 최소화하는 데 필수적인 전략이 될 것이다.

2.2 산림재난

산림재난은 산림지역에서 발생하는 다양한 형태의 자연적·인위적 재난으로, 인명과 재산뿐 아니라 생태계 전반에 광범위한 피해를 초래한다. 대표적으로 산불, 산사태, 병해충 확산 등이 있으며, 이는 기후변화, 토지이용 변화, 인위적 간섭 등 복합적인 요인에 의해 발생한다.

최근 들어 이상기후의 빈도와 강도가 높아지면서 산림재난의 발생 위험은 더욱 증대되고 있으며, 피해 규모 또한 과거보다 심각한 양상을 보이고 있다.

산림재난은 단일 원인보다 복합적인 인과관계 속에서 발생하기 때문에, 이를 이해하기 위해서는 재난의 개념과 특성뿐 아니라 그 발생 메커니즘에 대한 종합적 분석이 필수적이다.

2.2.1 산림재난의 개념과 유형

산림재난은 그동안 산불, 산사태, 산림병해충 등 개별 재난 유형으로 분류되어 관리되어 왔다. 그러나 이러한 분절적 접근은 하위 유형 간 취약성 공유, 재난 유형 간의 연계성, 그리고 공간 중심의 확산성 같은 현대 산림재난의 복합적 특성을 설명하는 데 한계가 있다.

기후 변화와 더불어 산림재난은 단순히 한 형태로 멈추는 것이 아니라, 예컨대 산불이 산사태를 유발하거나, 병해충이 산림 구조를 약화시켜 산사태

와 맞물리는 식으로 복합적으로 발생할 위험이 높아진다.

따라서 산림재난을 개별 유형으로만 인식하는 대신, 통합된 개념의 산림재난으로 재정립할 필요가 있다. 이는 단순한 행정·관리의 효율성을 넘어, 재난의 예방·대응 역량을 강화하는 데에도 필수적인 전제 조건이 된다. 예를 들어, 산림보호법의 개정 혹은 “산림보호 및 산림재난대책법”과 같은 새로운 법제도의 통합을 통해, 부처 간 조정 및 관련 법령과의 연계를 고려한 통합 방안을 제안한 바 있다(서재호, 2024).

이와 같은 개념의 확장은 정책뿐 아니라, 현장 대응에도 구조적 변화를 요구한다. 산림재난 발생 시 이를 관리하는 주체는 산림청, 지방자치단체, 소방, 환경 기관 등으로 나뉘어 있어, 대응의 일관성을 유지하기 어려운 실정이다. 이런 문제를 해결하기 위해서는, 산불·산사태·병해충 등을 동일한 관리 틀과 표준 아래에서 유기적으로 연결하는 시스템적 접근이 필요하다.

결국, 산림재난의 유형을 단순한 목록으로 나열하는 것이 아니라, 각각의 재난이 갖는 연계성이나 복합발생 가능성을 인지하고 대응 전략을 설계하는 것이 중요하다. 예컨대 산불 발생 후 사면 식생이 손실되어 산사태 위험이 증가하거나, 병해충 피해로 인해 산림 구조적 약화가 지속되면 산불 위험의 연쇄적 확대가 가능하다(김용 외, 2017).

이러한 관점은 재난 대책의 전주기(예방·대비·대응·복구)를 일관된 전략으로 수립하는 데 유효하다.

산림재난을 개별 유형이 아닌 통합된 개념의 재난 프레임워크로 이해하고, 이로부터 산불, 산사태, 병해충 등의 유형을 포괄하면서도, 이들이 갖는 교차성을 반영하는 방식으로 분류체계를 재구성하는 필요성을 강조한다.

2.2.2 산림재난의 발생 메커니즘

산림재난은 단순한 자연적 현상의 결과가 아니라, 기후·지형·토양·식생·인위적 요인이 복합적으로 상호작용하면서 발생한다. 이러한 메커니즘을 이해하는 것은 재난을 예측하고 대응 전략을 수립하는 데 핵심적인 전제가 된다.

산불, 산사태, 병해충은 각각 독립적으로 발생할 수 있지만, 최근에는 연

쇄적·복합적 발생 양상을 보이고 있어 메커니즘 연구의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

첫째, 산불 발생 메커니즘은 기상 조건, 연료(식생), 지형, 인위적 요인의 결합으로 설명할 수 있다. 건조한 계절적 기후와 강풍은 불씨가 확산되는 주된 원인이 되며, 산지의 급경사 지형은 화염의 상승 효과를 강화한다. 또한 산림 인접지의 불법 소각, 등산객의 부주의 등 인위적 요인이 불씨를 제공하는 경우가 많다. 이러한 요소들이 특정 시공간에서 동시에 작용하면, 단시간 내에 대형 산불로 확대된다. 특히 기후변화에 따른 봄철·가을철 고온·건조 현상이 빈번해지면서, 산불의 발생 확률과 피해 규모는 지속적으로 증가하고 있다.

[표 2-1] 산불 발생 건수 및 면적 추이(2015년~2024년)

구분	건수	면적(ha)
2015	623	418
2016	391	378
2017	692	1,480
2018	496	894
2019	653	3,255
2020	620	2,920
2021	349	766
2022	756	24,797
2023	596	4,992
2024	279	132
10년평균(2015~2024)	546	4,003

출처 : 산림청, 산불 발생 건수 및 면적 추이(2015년~2024년)

둘째, 산사태 발생 메커니즘은 토양의 수분 포화, 지반 약화, 지형적 조건, 식생 상태 등에 의해 결정된다. 집중호우로 인해 토양이 일정 한계 이상 포화되면 전단응력이 저하되어 지반 붕괴가 발생한다. 이때 산불로 인해 사면 식생이 소실되거나 뿌리 구조가 약화되면 토양의 결속력이 떨어져 산사태 위험은 급격히 높아진다. 즉, 산불은 산사태 발생 가능성을 선형적으로 높이는 주요 매개 요인으로 작용한다. 최근 국내 연구에서도 산불피해지에서 산사태 발생 빈도가 비피해지에 비해 현저히 높았으며, 이는 산불-산사태 연계형 재난 메커니즘을 입증하는 결과로 해석된다.

셋째, 산림병해충 발생 메커니즘은 기후변화와 밀접한 관련을 갖는다. 온난화로 인해 겨울철 저온일수가 감소하면서 병해충의 월동 생존율이 상승하고, 고온·건조한 여름철은 해충의 확산과 피해 범위를 넓히는 조건을 제공한다. 병해충에 의한 대규모 수목 고사지는 산불의 연료 공급원이 되거나, 토양 보호 기능을 상실시켜 산사태 발생 위험을 높인다. 이러한 연계성은 병해충이 단순한 생태적 문제를 넘어 산림재난의 촉진자 역할을 수행함을 의미한다.

넷째, 산림재난 발생 메커니즘은 인위적 요인과의 불가분의 관계를 맺고 있다. 도시화와 산지 개발은 산림과 인접한 지역사회의 취약성을 높이고, 임도 및 도로 건설은 재난 확산 경로와 동시에 진화·대응 경로로 작용하는 이중성을 지닌다. 또한 불법 소각, 쓰레기 투기, 무분별한 벌목 등은 산림 생태계의 회복력을 약화시켜 재난 위험을 누적적으로 증가시킨다.

다섯째, 최근 연구들은 산불·산사태·병해충이 단일 사건이 아니라 연쇄적·복합적 메커니즘으로 전환되는 양상을 강조한다. 예를 들어, 산불 이후 노출된 사면은 집중호우 시 산사태로 이어지고, 병해충 피해지는 산불 연료로 작용하는 식이다. 이러한 복합 메커니즘은 피해 규모를 기하급수적으로 확대하며, 대응의 복잡성을 높인다. 따라서 산림재난을 이해할 때 단일 유형의 발생 원인에 국한하기보다, 다차원적·연계적 메커니즘 분석이 필수적이다.

종합하면, 산림재난 발생 메커니즘은 자연적 요인(기후·지형·식생)과 인위적 요인(인간 활동)이 중첩되면서 나타나는 복합적 인과구조로 설명된다. 특히 기후변화로 인한 극한기상 증가와 산림의 구조적 취약성 확대는 산불, 산사태, 병해충을 상호 연계된 복합재난 체계로 전환시키고 있다.

이러한 이해는 향후 예방 및 대응 전략 수립의 과학적 토대를 제공하며, 나아가 산림재난 관리의 패러다임을 “단일 재난 대응”에서 “통합적 위험관리”로 전환해야 할 필요성을 강하게 시사한다(강성승 외, 2024).

2.3 기후변화와 산림재난

기후변화는 단순한 환경 변화가 아니라, 사회·경제 전반에 걸친 위기를 야기하는 복합적 현상으로 이해되고 있다. 특히 산림 영역에서는 기후변화가 직접적으로 생태계의 구조와 기능을 변화시키며, 이는 곧 산림재난으로 이어지는 경향을 보인다. 최근 30여 년간 전 세계 평균 기온은 지속적으로 상승해왔으며, 우리나라 역시 같은 기간 동안 기온 상승 폭이 글로벌 평균을 상회하는 것으로 보고되고 있다. 이러한 변화는 계절적 강수 패턴, 가뭄 빈도, 집중호우의 강도, 이상기온 현상 등에 구조적 변화를 가져오고 있으며, 이는 산불, 산사태, 병해충 피해와 같은 산림재난의 발생을 촉진하는 주요 배경 요인으로 작용한다.

산림재난을 설명하는 기존의 이론적 틀은 주로 단일 재난 유형, 산불의 확산 메커니즘, 산사태 발생의 지질학적 요인, 혹은 병해충의 생태학적 확산 과정에 초점을 맞추어 왔다. 그러나 기후변화라는 상위 환경 요인이 부각되면서, 재난을 개별적·분절적으로 이해하는 접근은 점차 한계를 드러내고 있다. 최근 연구들은 산림재난을 ‘복합재난(multi-hazard)’ 또는 ‘연쇄재난(cascading disaster)’의 관점에서 분석할 필요성을 강조한다.

대형 산불은 단기간에 산림의 식생과 토양 구조를 파괴하여 이후 강우기에 산사태 위험을 크게 증폭시키며, 병해충 피해로 약화된 수목은 산불의 연료 역할을 하여 피해 규모를 확대시킬 수 있다. 이처럼 산림재난은 서로 고립된 사건이 아니라, 기후변화라는 큰 틀 속에서 상호작용하며 확대되는 동태적 현상으로 이해되어야 한다.

이론적 고찰의 필요성은 또한 정책과 대응 전략의 정당성을 강화하는 데 있다. 기후변화와 산림재난의 연계성을 명확히 밝힘으로써, 단순히 ‘발생 후 복구’ 중심의 정책이 아닌 ‘예방과 대비’ 중심의 다층적 접근을 요구할 수 있다. 실제로 국제적으로는 복합재난 이론에 기반한 산림 관리 전략이 점차 강조되

고 있으며, 이는 국내 정책 설계에도 중요한 시사점을 제공한다.

미국 캘리포니아, 호주, 캐나다 등은 기후 데이터와 재난 예측 모델을 결합하여 조기 경보 체계를 구축하고 있으며, 이는 산불뿐만 아니라 산사태·병해충 관리에도 확장적으로 적용되고 있다. 반면, 우리나라의 경우 아직까지 산불·산사태·병해충을 각각의 부처와 제도가 분리해 관리하는 구조적 한계를 갖고 있다.

따라서 기존 연구들이 제시한 이론적 틀을 토대로, 기후변화와 산림재난의 관계를 보다 체계적으로 조망하고자 한다. 구체적으로는 기후변화가 산림재난에 미치는 직·간접적 영향, 재난 간 복합성과 연계성을 설명하는 이론적 관점, 그리고 이를 바탕으로 한 대응 전략의 시사점을 고찰한다.

이를 통해 산림재난을 단순한 자연재해의 하나로 국한하는 대신, 기후변화 맥락 속에서 발생하는 구조적이고 복합적인 위협으로 재정립하고자 한다. 이러한 접근은 이후 제시될 국내외 사례분석과 대응 방안 모색에 있어 이론적 토대가 될 것이다.

2.3.1 기후변화가 산림재난에 미치는 직·간접적 영향

기후변화는 전 지구적 차원에서 산림 생태계에 심대한 변화를 일으키고 있으며, 이는 산불, 산사태, 병해충 피해 등 다양한 산림재난의 발생 양상에 직접적·간접적으로 작용하고 있다.

과거 산림재난은 계절적 요인이나 국지적 요인에 의해 발생하는 것으로 이해되었으나, 최근에는 기후변화가 구조적 변화를 초래하면서 재난의 규모, 빈도, 강도 모두를 변화시키고 있다. 이에 따라 산림재난을 기후변화라는 거시적 틀 속에서 이해할 필요성이 커지고 있다. 기후변화의 직접적 영향은 주로 기상 조건의 변화를 통해 산림재난 발생을 유발한다.

첫째, 기온 상승은 산불 발생 위험을 증가시키는 가장 중요한 요인이다. 평균기온이 상승할수록 산림의 수분 함량이 감소하고, 이는 작은 불씨에도 대형 산불로 이어질 수 있는 조건을 만든다.

둘째, 강수량 및 상대습도 감소 역시 산불 확산을 촉진한다. 한국의 경우

봄철 건조주의보 발령일수가 증가하고 있는데, 이는 산불 발생 건수와 강하게 상관되어 있다.

셋째, 극한기상 현상의 빈도 증가가 재난을 직접적으로 유발한다. 폭우는 지반을 약화시켜 산사태를 발생시키며, 강풍은 산불의 확산 속도를 기하급수적으로 높인다.

[표 2-2] 10년간 원인별 산불발생 현황

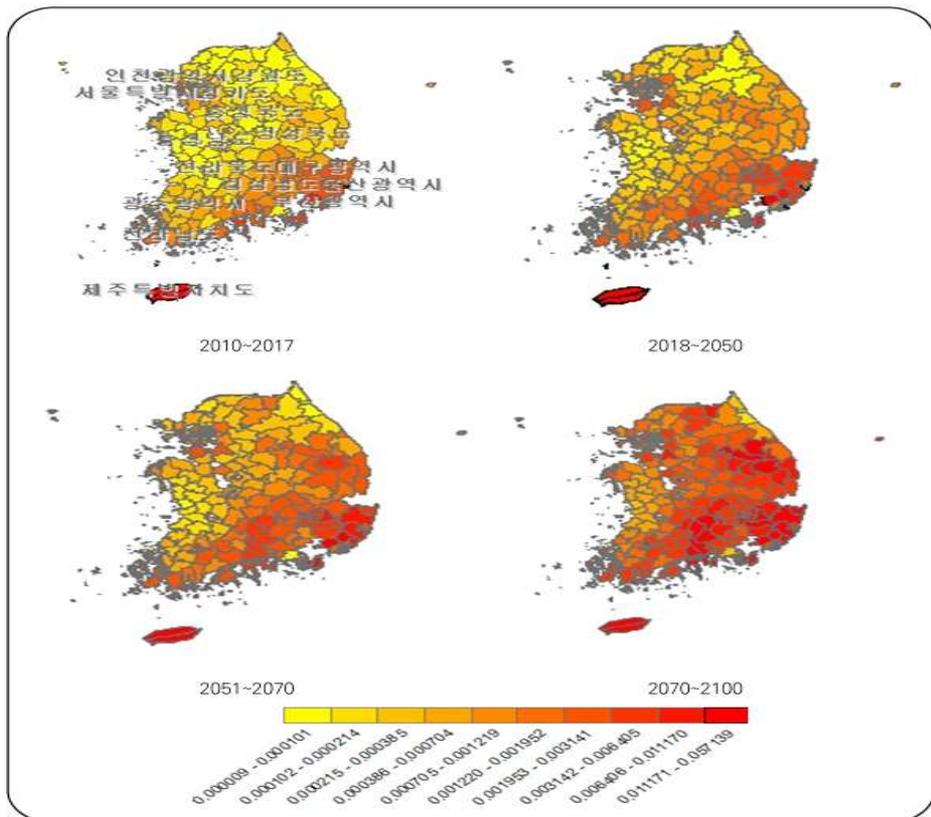
구분	2025.08.17. 까지		10년평균(2015년~2024년)		2024년	
	건수	면적(ha)	건수	면적(ha)	건수	면적(ha)
입산자실화	45	90.61	171.3	686.60	49	35.26
농산부산물소각	30	52,780.09	60.3	75.29	24	5.52
쓰레기소각	47	67.2	67.5	241.48	28	11.42
담뱃불실화	30	162.12	34.8	175.78	36	14.88
건축물화재비화	35	84.44	34.1	51.04	14	7.52
기타	202	51,792.23	177.5	2,772.98	128	57.34
합계	389	104,976.69	546	4,003.17	279	131.94

출처 : 산림청, 10년간 원인별 산불발생 현황(2015년~2024년)

반면, 기후변화의 간접적 영향은 산림의 구조적 취약성을 심화시키는 방향으로 나타난다.가뭄 심화는 토양 수분의 장기적 고갈을 유발하여 산림의 생태적 복원력을 약화시킨다. 이는 산불 발생 가능성을 높이고, 동시에 산사태 발생 시 피해 규모를 키운다.

병해충 확산도 간접적 영향의 대표적 사례이다. 겨울철 온난화로 인해 솔나방·소나무재선충 등 해충의 월동 생존율이 증가하면서 피해 범위가 확대되고 있다. 이는 숲의 건강성을 약화시켜 다른 재난의 도화선 역할을 한다.식생구조의 변화 역시 장기적 관점에서 중요한 요인이다. 고온·건조 환경에 적응하지 못한 수종은 쇠퇴하거나 도태되고, 그 자리에 불에 잘 타는 침엽수종이 자리할 경우 산불 위험은 구조적으로 높아질 수 있다.

[그림 2-1] 소나무재선충 피해율 예측결과



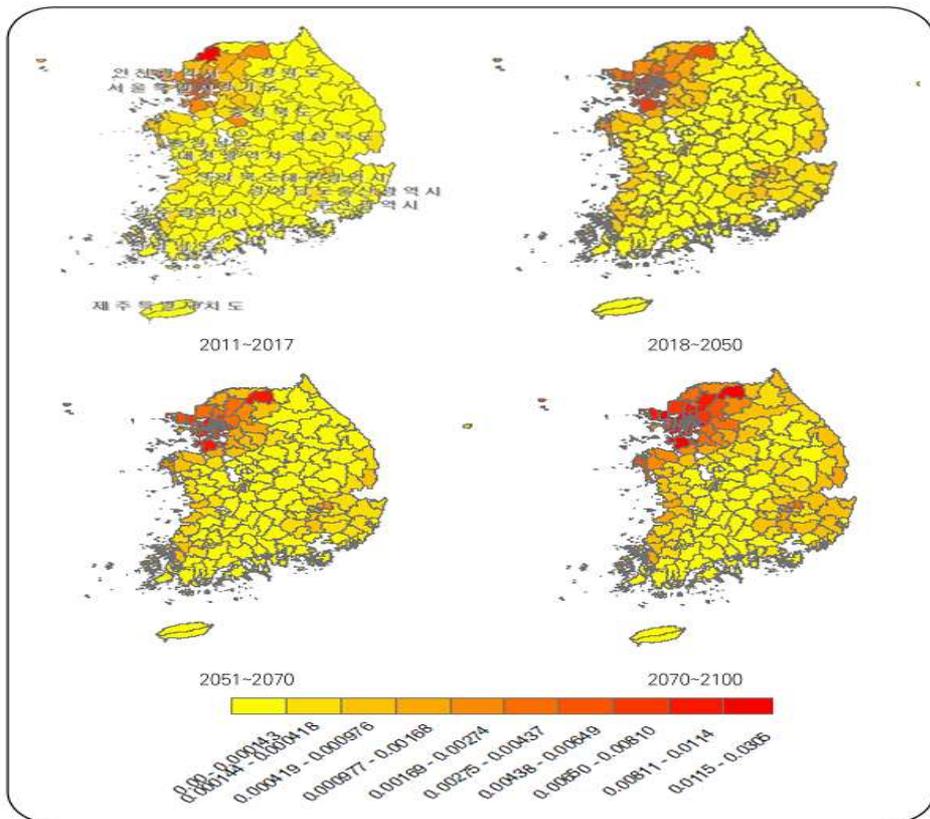
주: 미래 피해율을 기간당 평균치를 통해 예측함.

출처 : 안현진 외 2018, 기후변화에 따른 산림병해충 영향과 대응과제 p69

[그림2-1]과 같이 실제로 최근 연구에서는 소나무재선충 피해율이 봄 평균기온, 겨울 최저기온, 여름 평균기온, 가을 최저기온, 봄 상대습도, 겨울 적설량 등과 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 즉, 계절별 기온 상승은 피해율을 높이는 방향으로 작용하며, 여름철 강수량 감소는 수목의 수분 스트레스를 가중시켜 저항성을 약화시킴으로써 병해충 확산을 더욱 촉진시킨다.

다만, 여름 평균기온이 일정 수준(약 27° C 이상)을 초과하면 매개충의 활동 둔화로 인해 피해율 증가 효과가 줄어드는 것으로 보고되었다. 이는 고온이 반드시 피해 확산으로 이어지지 않음을 시사한다.

[그림 2-2] 참나무시들음 피해율 예측결과



주: 미래 피해율을 기간당 평균치를 통해 예측함.

출처 : 안현진 외 2018, 기후변화에 따른 산림병해충 영향과 대응과제 p70

또한, [그림2-2]와 같이 참나무시들음병의 경우에는 겨울 최저기온, 봄·여름 최고기온과 피해율이 양의 상관관계를 나타냈으나, 강수량과는 음의 상관관계가 확인되었다. 즉, 강수량이 줄어들수록 수목의 건전성이 약화되어 피해율이 높아지는 경향이 뚜렷하다. 특히 이 병해충은 소나무재선충과 달리 매개충 개체 수보다는 수목의 생리적 건강성이나 관리 요소(예: 방제 여부, 휴고직경, 지역 인구 규모)에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 병해충 관리가 단순히 매개충 방제에 국한되지 않고, 사전적 관리와 숲의 건강성 유지가 핵심임을 보여준다.

앞으로의 기후변화 시나리오 예측에 따르면, 소나무재선충 피해는 현재 남부 지역을 중심으로 발생하고 있으나, 2050~2070년대에는 충남과 경기 지역까지 확산될 가능성이 높으며, 2090년대 이후에는 강원도 일부를 제외한 전국으로 확산될 것으로 전망된다.

반면 참나무시들음병은 이미 수도권과 경기도에 집중적으로 발생하고 있으며, 기후변화 진행과 함께 수도권 북부와 동·서해안으로까지 피해 지역이 확장될 것으로 예상된다. 이러한 패턴은 과거 일본에서 참나무시들음병이 해안 지역을 따라 확산된 사례와 유사성을 갖는다. 따라서 기후변화에 따른 병해충 피해는 단순한 생태계 교란을 넘어, 산림재난의 복합적 발생 메커니즘의 중요한 단초로 이해될 필요가 있다.

산불·산사태와 달리 병해충 피해는 눈에 띄게 드러나지 않지만, 장기간 숲의 구조를 약화시켜 다른 재난의 도화선이 될 수 있다는 점에서, 정책적·관리적 대응이 시급하다(안현진 외, 2018).

국내 연구에서는 기후요인별 산불 발생 확률을 통계적으로 제시한 사례가 있으며, 이는 산불 위험도 예측지도의 제작에 활용되고 있다. 해외 연구에서는 IPCC 시나리오에 따라 산불 위험 지역이 확대될 것이라는 결과가 다수 보고되고 있다. 특히 미국과 호주는 고온·건조 조건에서 산불이 빈발하는데, 이는 한반도의 기후변화 전망과 유사한 경향을 보인다(김동욱 외, 2021).

2.3.2 산림재난의 복합성 및 연계성 이론

현대 사회의 재난은 단일한 양상으로 나타나기보다는 여러 위험이 동시에 또는 연쇄적으로 발생하는 복합재난의 형태로 나타나고 있으며, 산림 분야에서도 이러한 복합성과 연계성이 점점 더 두드러지고 있다.

복합재난은 하나의 사건이 다른 사건을 유발하거나 피해를 증폭시켜 결과적으로 더 큰 피해를 초래하는 특성을 지닌다. 산불, 산사태, 병해충, 가뭄과 같은 산림재난은 개별적으로도 막대한 피해를 유발할 수 있지만, 이들이 서로 상호작용할 경우 피해 규모와 속성은 질적으로 변화한다. 예컨대 대규모 산불은 지표식생과 유기물을 소실시켜 토양의 안정성을 약화시키고, 이로 인해 집중호우 시 산사태 발생 위험이 급격히 증가하는 연쇄적 효과를 낳는다(송영일 외, 2019).

또한 기후변화는 이러한 산림재난의 복합성을 더욱 심화시키고 있다. 이상고온과 가뭄은 산불 발생 가능성을 높이며, 산불 이후 발생하는 산림피해는 병해충 확산을 가속화한다. 병해충으로 인해 약화된 산림은 다시 토양 보호 기능을 상실하게 되고, 이는 집중호우 시 산사태의 선행 요인으로 작용한다. 결국 산림재난은 단일재난의 합으로 설명하기 어려운 복합성과 연계성을 내포하고 있으며, 이를 이해하는 것은 기후변화 시대의 재난관리 연구에서 필수적이다.

이러한 복합성과 연계성은 크게 연쇄재난(cascading disaster)과 동시재난(concurrent disaster)으로 구분할 수 있다. 연쇄재난은 하나의 재난이 다른 재난의 발생 조건을 강화하는 과정으로, 산불 이후 토양 응집력 약화와 수문순환 변화가 산사태를 촉발하는 현상이 대표적인 예이다.

산불 피해지에서는 토양의 발수층이 형성되어 빗물이 지표면을 따라 흘러 내리기보다는 토양 내부로 집중적으로 침투하면서 지반 붕괴 위험을 가중시키며 국내 연구에서도 산불 피해 후 1~5년 이내에 산사태 발생 위험이 특히 높게 나타나며, 심지어 10년 이상이 경과한 후에도 여전히 위험이 잔존한다는 분석이 보고된 바 있다(이기환 외, 2022).

반면 동시재난은 서로 다른 재난이 동일한 시공간에서 병렬적으로 나타나

면서 피해를 배가시키는 양상으로, 예컨대 병해충으로 쇠약해진 산림에서 건조한 기후조건과 대형 산불이 결합하는 경우 막대한 피해로 이어질 수 있다.

복합재난을 “동일한 장소에서 동시에 또는 순차적으로 발생하여 복합적인 피해를 초래하는 재난”으로 정의하며, 이러한 특성이 현대 재난관리의 핵심 과제임을 강조하였다(김효정, 2024).

산림재난의 복합성과 연계성을 해석하는 이론적 틀로는 연쇄재난 이론, 시스템 이론, 회복력 이론, 그리고 네트워크 이론 등을 들 수 있다. 연쇄재난 이론은 재난의 발생이 연속적으로 다른 재난의 조건을 형성하는 과정을 설명하며, 산불로 인한 토양 손실이 산사태를 유발하는 현상이 대표적이다. 시스템 이론은 산림을 사회-생태적 시스템으로 이해하면서, 부분적 충격이 전체 시스템에 확산되어 사회적·경제적 피해로 이어지는 과정을 설명한다. 회복력 이론은 복합재난 상황에서 시스템이 균형을 상실하고 붕괴되는 과정을 해석하며, 적응적 회복력(adaptive resilience)의 필요성을 강조한다.

국내 연구에서는 산불 후 산사태 잠재적 위험도를 분석하여 복합재난의 실증적 증거를 제시하였다. 이 연구에서는 산불로 인해 토양의 포화 전도도가 낮아지고 지반 강도가 약화되면서 강우 시 산사태 발생 확률이 급격히 증가함을 정량적으로 입증하였다(송영일 외, 2019).

국외에서도 미국 캘리포니아, 호주, 캐나다 등에서는 대형 산불 이후 집중 호우가 발생하여 대규모 산사태로 이어진 사례가 다수 보고되고 있으며, 이를 국가 차원의 관리 대상 복합재난으로 규정하고 있다. 이러한 해외 사례는 한국의 복합재난 관리체계 수립에 중요한 시사점을 제공한다.

[그림 2-3] 미국 캘리포니아주 몬테시토 산사태 현장



출처 : 연합뉴스, [사진현장] 대형 산불 이어 산사태…폭탄 맞은 캘리포니아,

[그림 2-3]은 미국 캘리포니아주 몬테시토(Montecito) 지역에서 2017년 대형 산불인 토머스 화재(Thomas Fire) 직후 발생한 산사태(데브리스 플로 우, Debris Flow) 현장을 보여준다. 토머스 화재는 약 1,140km²(280,000에이커)에 달하는 광범위한 산림을 소실시킨 당시 역대 최대 규모의 산불로 기록되었으며, 이 과정에서 토양 표면의 유기물과 식생이 거의 전소되었다. 그 결과 토양은 발수성(hydrophobic layer)을 띠게 되어 강우 시 빗물이 토양에 흡수되지 않고 지표면을 따라 빠르게 유출되는 특성이 강화되었다. 이후 2018년 1월 집중호우가 내리면서 산사태와 토석류가 연쇄적으로 발생하였고, 이로 인해 23명이 사망하고 수천 명이 대피했으며, 주택·도로·인프라 시설이 대규모로 파괴되는 막대한 피해가 초래되었다. 이 사례는 단일 재난(산불)이 단기간 내 또 다른 재난(산사태)을 촉발하여 연쇄재난(cascading disaster)의 전형적 모습을 보여주는 대표적 사례로 평가된다.

특히 몬테시토 사례는 복합재난 관리 차원에서 중요한 함의를 지닌다.

첫째, 산불 이후 일정 기간은 토양과 수문환경이 극도로 불안정하여, 비교적 적은 강우량에도 대규모 산사태로 이어질 수 있음을 입증하였다.

둘째, 지역사회 차원의 예방·대비체계가 충분히 마련되지 못할 경우, 피해는 단순히 산림생태계에 국한되지 않고 인명·재산·사회기반시설 등 사회 전 영역으로 확산될 수 있음을 보여준다.

셋째, 주정부 차원에서도 산불과 산사태를 분리된 재난으로 관리하는 기존 체계의 한계가 드러났으며, 이후 미국에서는 산불 후 토양 및 수문환경 모니터링을 의무화하는 등 복합재난 통합관리 체계로 전환하는 계기가 되었다. 따라서 [그림 2-3]은 산불과 산사태 간의 긴밀한 연계성을 시각적으로 보여줄 뿐만 아니라, 복합재난 시대에 예방 중심의 통합적 대응체계 구축이 얼마나 절실한가를 상징적으로 보여주는 장면이라 할 수 있다(Kean 외, 2019).

궁극적으로 산림재난의 복합성과 연계성은 단순한 학문적 논의 차원을 넘어 정책적 대응 체계의 전환을 요구한다. 최근 제정된 「산림재난방지법」(2025)은 산불, 산사태, 병해충을 통합 관리 대상으로 규정하여 복합재난 접근을 제도적으로 반영하기 시작하였다.

이는 기존의 분절적 관리체계의 한계를 극복하고 복합재난적 시각을 반영한 통합재난관리 체계로의 전환을 의미한다. 더 나아가 학문적으로는 복합재난 연구가 기후변화 적응 정책, 생태계 복원 전략, 재난예측모델 개발 등과 긴밀히 연계될 필요가 있다. 특히 인공지능·위성·드론과 같은 첨단 기술을 활용한 조기경보체계 구축은 복합재난 시대 산림관리의 핵심 과제가 될 것이다.

정리하면, 산림재난은 기후변화와 결합하여 점점 더 복합적이고 연계적인 양상으로 나타나고 있으며, 이는 재난관리 체계의 근본적 전환을 요구한다. 산불-산사태-병해충 등 재난 간 상호작용은 단순한 합이 아닌 상승 효과(synergistic effect)를 발생시켜 피해를 증폭시킨다.

따라서 산림재난 관리 전략은 단일 위험 중심이 아닌 복합재난 연계성 기반의 통합관리로 전환되어야 하며, 이를 위해 학문적 연구와 정책적 실천이 긴밀히 병행되어야 한다.

2.4 선행연구

산림재난은 기후변화의 심화와 맞물려 복합적이고 연계적인 양상으로 나타나고 있으며, 이를 규명하기 위한 다양한 학문적 연구가 진행되어 왔다.

선행연구들은 주로 산불과 산사태, 산불과 병해충, 그리고 기후변화와의 상관성을 중심으로 산림재난의 복합성을 분석해 왔으며, 최근에는 복합재난(cascading disaster) 이론을 바탕으로 한 체계적 관리 필요성이 강조되고 있다.

기존 연구들은 산림재난의 복합성과 연계성을 실증적·이론적으로 규명하며 기후변화 시대의 산림재난 관리 방향을 제시해왔다. 그러나 아직까지는 단일 연계성(예: 산불-산사태)에 집중된 경향이 강하며, 사회적·경제적 파급효과나 지역사회 회복력 차원에 대한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구는 기존 연구를 토대로 하되, 산림재난을 사회-생태적 시스템 관점에서 종합적으로 분석하고, 복합재난 대응 전략을 제시하는 데 초점을 맞추고자 한다.

2.4.1 선행연구 고찰

산림재난에 대한 학문적 논의는 기후변화의 심화, 재해 발생 양상의 복합화, 그리고 제도적 대응의 필요성이 대두됨에 따라 점차 다양한 연구로 확장되어 왔다. 기존 선행연구들은 주로 산불, 산사태, 병해충 등 개별 재난과 그 연계성을 분석하는 데 중점을 두었으나, 최근에는 복합재난(cascading disaster) 관점에서 산림재난의 상호작용과 관리방안을 심층적으로 고찰하고 있다. 이러한 연구의 진전은 산림재난을 단일한 자연현상이 아닌 사회-생태적 시스템의 복합적 산물로 이해하는 데 중요한 토대를 제공한다.

우선, 기후변화와 산불 발생의 상관성에 대한 연구는 산림재난의 복합성을 이해하는 데 필수적인 기반을 제공한다. 한반도에서 기후 변화에 따른 산불 발생 경향을 분석하면서, 기온 상승과 건조일수 증가가 산불 위험을 구조적으로 확대한다고 보고하였다(구교상 외, 2010). 이러한 결과는 산불을 기후변화의 직접적 산물로 파악하는 동시에, 향후 산림재난의 빈도와 강도가 더욱 심화될 것임을 시사한다.

같은 맥락에서 부분 최소 제곱 구조 방정식 모형(PLS-SEM)을 적용하여 기상·수문학적 요인이 산불 발생에 미치는 영향을 실증적으로 연구 결과, 기온·강수량·습도와 같은 환경적 요인이 산불 발생 확률과 유의한 상관관계를 보였으며, 이는 기후변화가 산불 발생 메커니즘에 구조적으로 결합되어 있음을 보여준다(김동욱 외, 2021).

산불과 산사태의 연계성 또한 주요한 연구 주제로 다루어져 왔으며 복합 재해 영향을 고려하여 산불 후 산사태 위험을 정량적으로 분석하였다. 연구에서는 산불로 인해 식생이 소실되고 토양의 발수층(hydrophobic layer)이 형성되면서 강우 시 빗물이 지표로 유출되지 않고 급격히 침투하여 지반이 약화된다는 사실을 확인하였다(송영일 외, 2019). 이는 산불이 단순히 산림을 파괴하는 데 그치지 않고, 이후 집중호우와 결합하여 산사태를 촉발하는 연쇄적 재난임을 실증적으로 뒷받침한다.

국내 산불 피해를 대상으로 한 연구에서 산불 발생 후 1~5년 이내에 산사태 위험이 가장 높으며, 심지어 10년 이상 경과한 지역에서도 여전히 위험이 잔존한다는 결과를 제시하였다(이기환 외, 2022). 이는 산불-산사태 간 연계성이 단기적 위험에 그치지 않고, 장기적·구조적 위험으로 확장된다는 점에서 복합재난 관리 차원의 심층적 논의가 필요함을 시사한다.

지역별 특성을 고려한 연구도 진행되었다. 충주 지역 숲길 부근의 산사태 발생 요인을 비교 분석하여, 지형적 요인과 토양 조건이 산사태 발생 위험을 결정 짓는 핵심 변수임을 밝혔다. 이는 산불 후 산사태 위험 평가가 획일적 접근이 아닌 지역 맞춤형 관리전략으로 수행되어야 함을 보여준다(강성승 외, 2024).

동해안 산불 피해 사례를 기반으로 격자체계를 활용한 산불위험분석을 수행하였으며, 세밀한 공간 단위에서 위험도를 산출함으로써 공간정보 기반 복합재난 관리의 필요성을 강조하였다(곽창재 외, 2023).

이러한 연구는 기존의 거시적 접근을 보완하고, 실제 정책 수립 시 지역 특성을 반영할 수 있는 정밀 자료를 제공한다는 점에서 의의가 크다. 기후변화와 산사태 위험의 연관성을 다룬 연구도 축적되고 있다. 기후변화 시나리오를 적용하여 향후 산사태 피해면적의 변화를 예측하였는데, 강우 패턴 변화와 강수량 증가가 산사태 발생 가능성을 가중시킨다고 분석하였다(유송,

2023). 이는 기후변화가 산불뿐 아니라 산사태와도 긴밀히 연결되어 있음을 보여주며, 복합재난적 접근의 필요성을 다시 한번 강조한다.

한편, 산림병해충 문제 역시 산림재난 연구의 중요한 한 축을 차지한다. 기후변화가 산림병해충의 발생 주기와 확산 속도를 촉진한다고 분석하였다. 특히, 고온과 건조한 기후 조건은 병해충의 생존과 번식을 유리하게 만들어 산림 생태계를 더욱 취약하게 한다는 점을 강조하였다(안현진 외, 2018). 이는 산불로 인해 약화된 산림이 병해충 확산에 취약해지고, 병해충 피해가 다시 토양의 보호 기능을 약화시켜 산사태 위험을 높이는 복합적 연쇄작용을 설명하는 근거가 된다.

제도적 차원에서도 산림재난을 통합적으로 관리하려는 연구가 나타나고 있다. 재난안전정보의 분류체계를 분석하면서 기존의 파편화된 관리 체계가 복합재난 대응의 효율성을 저하시킬 수 있음을 지적하고, 통합적 관리체계 구축 필요성을 제기하였다(김용 외, 2017). 산림재난의 개념화를 제도적으로 고찰하며, 산불·산사태·병해충을 개별적으로 다루던 전통적 관점의 한계를 지적하고 통합적 개념화의 필요성을 제시하였다(서재호, 2024). 이는 최근 제정된 「산림재난 방지법」이 산불·산사태·병해충을 통합 관리 대상으로 규정한 것과 연결되며, 학문적 논의와 정책적 제도의 접점을 형성한다(산림청, 2025).

소셜네트워크 분석을 통해 복합재난 대응 시나리오를 개발하면서, 재난 대응 과정에서 네트워크 협력체계의 중요성을 실증적으로 제시하였다(김효정, 2024). 이는 복합재난 대응이 단순히 기술적 차원이 아닌 사회적 협력망 구축과도 밀접하게 연계되어야 함을 시사한다. 이와 같은 학술 연구와 더불어 산림청의 공식 통계자료는 산림재난 연구의 기초자료로서 중요한 역할을 한다. 산불의 발생 원인, 피해 규모, 계절적·지역적 분포를 체계적으로 제시하고 있으며, 이를 통해 장기적 추세를 분석하고 예측모델을 개발하는 데 활용되고 있다(산림청, 2024).

나아가 국내외 사례를 종합하여 임도의 확충이 산불 확산 억제 및 대응에 효과적임을 실증적으로 보고하면서, 물리적 기반시설 확충이 복합재난 관리 전략의 핵심임을 강조하였다(산림청 국립산림과학원, 2025).

종합하면, 선행연구들은 산불, 산사태, 병해충, 기후변화 등 개별 재난의 특성과 그 연계성을 다양한 방법론을 통해 규명하였다. 그러나 기존 연구는 주로 산불-산사태, 산불-병해충 등 일부 연계성에 집중되어 있으며, 사회적·경제적 파급효과나 지역사회 회복력(resilience) 차원에서의 분석은 상대적으로 부족하다.

따라서 본 연구는 기존 성과를 토대로 산림재난을 단순한 단일 재난의 집합이 아니라 사회-생태적 시스템에서 발생하는 복합적 상호작용으로 이해하고, 기후변화 시대에 적합한 통합적 관리전략을 제시하는 데 초점을 두고자 한다.

Ⅲ. 산림재난 대응 조직현황 분석

3.1 법률 현황

우리나라의 산림재난 대응은 여러 법률적 기반 위에서 이루어지며, 각 법률은 산불, 산사태, 병해충 등 다양한 산림재난의 예방·대응·복구를 규정하고 있다. 대표적인 관련 법률은 산림보호법, 산불방지법, 재난 및 안전관리 기본법, 자연재해대책법, 산지관리법 등이 있으며, 이들 법률은 산림의 관리·보호, 재난 대응 체계 구축, 지역 단위 역할 분담 등을 다루고 있다. 그러나 법률들이 다층적으로 존재함에도 불구하고 실제 현장에서 통합적으로 작동하는 범위는 제한적이며, 각 법률 간 역할과 책임 체계가 중복되거나 분산되어 있다는 문제가 지적되고 있다.

먼저 산림보호법은 산림 보호 전반에 대한 기본 법률로서 산불·병해충·산림훼손 등 산림재난에 대한 예방 조치와 대응 활동을 규정하고 있다. 산림청은 동 법률에 따라 산불방지대책본부 운영, 산림감시 인력 배치, 병해충 예찰 체계 구축 등의 업무를 수행한다. 그러나 법률이 포괄적 개념 중심으로 구성되어 있어 산불, 산사태, 병해충 등 재난 유형별 세부 대응 절차가 충분히 구체화되어 있지 않다는 한계가 있다.

산불방지법은 산불 대응에 특화된 법률로, 산불 예방·진화·사후관리 등의 절차를 명시하고 있다. 산림청과 지방자치단체의 역할이 비교적 명확하게 구분되어 있으며 산불위험예보제 운영, 산불전문진 배치, 산불진화대 구성 등이 제도적으로 뒷받침되고 있다. 그러나 기후변화로 대형 산불이 증가하는 상황에서 항공 자원 운용, 유관기관 통합 지휘체계, 첨단 기술 기반 조기예측 등은 법률적 근거가 충분히 마련되지 않아 실무 적용에 제약이 발생한다.

재난 및 안전관리 기본법은 모든 유형의 국가 재난을 총괄하는 기본 법률로, 중앙재난안전대책본부와 지방재난안전대책본부의 지휘체계, 협력체계, 대응 단계 등을 규정한다. 산불이나 산사태가 대형 재난으로 확대될 경우 이 법률이 상위 법률로 작동하지만, 산림재난은 일반 재난과 다른 특수성이 강

함에도 이를 반영한 별도 프로토콜이 부족하다는 지적이 있다. 즉, 산림재난의 특성(지형, 기상, 생태, 확산 패턴 등)을 고려한 세부 규정이 미흡하여 실제 대응 과정에서 산림청, 소방청, 지자체 간 지휘권 조정에 혼란이 발생하기도 한다.

자연재해대책법은 태풍, 호우, 폭설 등 자연재해로 인한 산사태·토사유출 피해에 대한 대응체계를 규정한다. 산사태는 산림재난의 대표적 유형임에도 불구하고 법률상 관리 주체가 환경부·행정안전부·산림청으로 분산되어 있어, 사면관리(환경부), 재난대책(행안부), 산지관리(산림청)가 별도로 운영되는 구조적 단절이 존재한다. 이로 인해 산사태 사전 예측·위험지도·예방공법 등 분야에서 기관 간 정보 공유가 제한적으로 이루어지고 있다.

산지관리법은 산지의 개발·보전 기준을 규정하며, 산사태 위험지 지정, 산지관리지역 설정 등을 통해 산림재난 예방의 기반을 제공한다. 그러나 개발 수요 증가에 따라 산지전용 허가가 확대되면서 산사태 위험지역이 늘어나는 부작용이 발생하고 있어 법률의 예방기능이 충분히 작동하지 못하는 상황이다.

종합적으로 볼 때, 산림재난 대응과 관련된 법률은 체계적으로 구성되어 있으나 재난 유형별 법적 근거의 정합성 부족, 기관 간 책임의 중복 또는 공백, 예방 중심 조항의 제한, 첨단 기술 적용을 뒷받침하는 법률적 근거 부족 등의 문제가 존재한다. 특히 AI·드론·위성·IoT 기반 기술을 실시간 예측 및 감시에 활용하기 위한 법적 기반이 미비하고, 데이터 공유 체계와 개인정보·보안 문제에 대한 명확한 규정이 부재하여 기술 기반 대응체계 확립에 제약이 나타난다. 또한 법률 간 연계가 미흡하여 사전 예방보다는 사후 복구 중심의 대응 구조가 유지되는 경향이 강하다.

따라서 산림재난 대응에서 법률적 기반은 필수적 요소임에도 불구하고, 현행 법률 체계는 다중기관이 참여하는 산림재난의 특성과 기후변화에 따른 복합재난 양상을 충분히 반영하지 못하고 있다. 향후에는 각 법률의 기능과 역할을 명확히 재정립하고, 첨단 기술 활용과 예방·감시 기능을 강화할 수 있도록 법적 근거를 체계적으로 정비할 필요가 있다.

3.2 대응 조직의 구성

산림재난 대응은 단일 기관의 역량만으로는 한계가 있으며, 중앙정부, 지방정부, 전문 연구기관, 유관기관, 그리고 지역사회 등 다양한 주체의 협력이 요구된다. 기후변화로 인한 산불, 산사태, 병해충의 복합적 발생은 각 조직 간 유기적 협력과 역할 분담이 재난관리의 성패를 좌우하는 핵심 요인으로 작용한다.

중앙정부는 제도적 기반과 정책적 방향을 제시하며, 지방자치단체는 현장 중심의 대응체계를 운영한다. 연구기관은 과학적 근거와 기술적 지원을 제공하고, 소방·군경찰 등 유관기관은 인명 구조와 확산 차단의 핵심적 역할을 수행한다.

더불어 지역 주민과 민간 기업은 초기 대응과 모니터링 단계에서 중요한 주체로 부상하고 있다.

결국 산림재난의 효과적 대응은 이러한 다양한 조직이 개별적으로 활동하는 것이 아니라 상호보완적 협력체계를 구축할 때 가능하다. 따라서 본 절에서는 산림재난 관리와 관련된 조직의 구성을 중앙정부, 전문 연구기관, 지방자치단체, 소방 및 유관기관, 민간·지역사회 협력체계 등 다섯 가지 범주로 구분하여 고찰하고자 한다.

3.2.1 중앙정부 차원

산불은 단기간에 광범위한 산림을 소실시킬 뿐만 아니라 토양침식, 산사태, 수질오염, 생태계 붕괴 등 복합적인 2차 피해로 이어지는 대표적인 자연재난이다. 특히 우리나라의 경우 국토의 약 63%가 산림으로 이루어져 있어, 산불 발생은 단순한 산림 피해에 국한되지 않고 국가 전체의 사회·경제적 기반과 국민 안전에 심각한 영향을 미친다.

따라서 중앙정부 차원의 대응은 산림 관리 차원을 넘어 국가적 차원의 재난 관리 전략과 직결되는 중요한 과제라 할 수 있다.

[그림 3-1] 우리나라의 대형산불



출처 : 산림청, 우리나라 대형산불 현황

[그림 3-1]은 지난 20여 년간 우리나라에서 발생한 주요 대형 산불의 현황을 보여준다. 그림을 통해 확인할 수 있듯이, 산불은 특정 지역이나 시기에 국한되지 않고 전국적으로 반복적으로 발생해 왔으며, 그 피해 규모 또한 해가 거듭될수록 심화되는 경향을 보이고 있다.

이러한 사실은 중앙정부 차원의 대응 체계가 왜 중요한지를 잘 보여준다. 실제로 2005년 양양 산불을 시작으로, 2019년 강원 고성·속초 산불, 2022년 강원 동해·삼척 산불과 울진·삼척 산불, 그리고 2025년 경북 영덕·울진 산불에 이르기까지, 우리나라는 대규모 산불을 반복적으로 경험하면서 중앙정부의 신속하고 체계적인 대응의 필요성이 더욱 명확해지고 있다.

특히 2019년 4월 발생한 강원 고성·속초 산불은 강풍을 타고 급속히 확산되어 약 1,757헥타르의 산림이 피해를 입었으며, 주택 500여 채가 소실되고 1명이 사망, 11명이 부상하는 등 인명·재산 피해가 컸다. 당시 정부는 이를 ‘재난 사태’로 선포하고 전국 단위의 긴급 진화 및 복구 작업을 실시하였다.

이후 2022년 3월 강원 동해·삼척 일대에서 발생한 동해·삼척 산불은 강풍과 건조한 기후 조건 속에서 확산되어 1,000헥타르 이상 산림을 소실시켰고, 수백 명의 주민 대피와 다수의 주택·시설물 피해를 초래하였다. 같은 해 3월에 발생한 울진·삼척 산불은 전국적으로 가장 큰 규모의 산불 중 하나로 기록되었으며, 장기간 이어진 산불로 막대한 산림·주거·인프라 피해가 발생하였다.

더 나아가 2025년 3월 경북 영덕·울진 일대에서 발생한 영덕·울진 산불은 강풍과 건조한 날씨를 타고 급속히 확산되면서 수백 헥타르의 산림이 소실되었다. 이로 인해 수백여 명의 주민이 긴급 대피했으며, 대기질 악화와 농업·관광업 피해 등 광범위한 사회·경제적 손실이 발생하였다.

이와 같은 대형 산불 사례들은 단기간에 수천 헥타르의 산림을 잿더미로 만들고 수만 명의 주민 대피, 사회기반시설 마비를 초래했으며, 중앙정부가 컨트롤타워로서 얼마나 신속하고 효과적으로 대응하느냐에 따라 피해 규모가 크게 달라질 수 있음을 잘 보여준다. 따라서 중앙정부의 대응체계 구축은 단순한 행정적 조치가 아니라 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 국가적 책무임을 확인할 수 있다.

이러한 사건들은 중앙정부가 컨트롤타워로서 명확한 지휘권을 행사하고,

지방정부 및 군·경찰 등 다양한 기관과의 협력체계를 사전에 구축하지 못한 다면 피해가 기하급수적으로 확대될 수 있음을 보여준다.

우리나라 중앙정부의 산불 대응체계는 제도적 기반은 갖추고 있으나 현장에서 지휘체계 혼선, 장비 및 인력의 부족, 기관 간 협조 미흡 등 구조적인 문제가 지속적으로 제기되고 있다(김대진 외, 2022).

대규모 산불 이후에는 토양이 불에 타 발수층(hydrophobic layer)이 형성되며, 이는 강우 시 침투가 어려워지고 지표 유출을 증가시켜 산사태 가능성을 높인다. 특히 2022년 울진·삼척 산불 이후 국지성 호우가 내리자 산사태 위험 지역이 다수 보고되었으며, 산불 피해지의 주민 안전이 다시 위협받는 상황이 발생하였다.

중앙정부가 산불 대응 이후 산사태 예방·대응까지 연계하는 체계를 갖추지 못한 점을 한계로 지적한다(김대진 외, 2022). 실제로 산불 직후에는 대규모 인력·장비가 투입되지만, 산사태 위험이 본격화되는 시점에는 중앙정부의 개입이 줄어들고 지방정부에 과도한 부담이 전가되는 경향이 나타난다.

이를 개선하기 위해서는 산불 진화 단계에서부터 중앙정부가 사후 관리 프로토콜을 가동하고, 산사태 위험 예측·모니터링을 위한 기술적 지원과 예산을 지속적으로 투입해야 한다.

[표 3-1] 산사태 예·경보 기준 강화

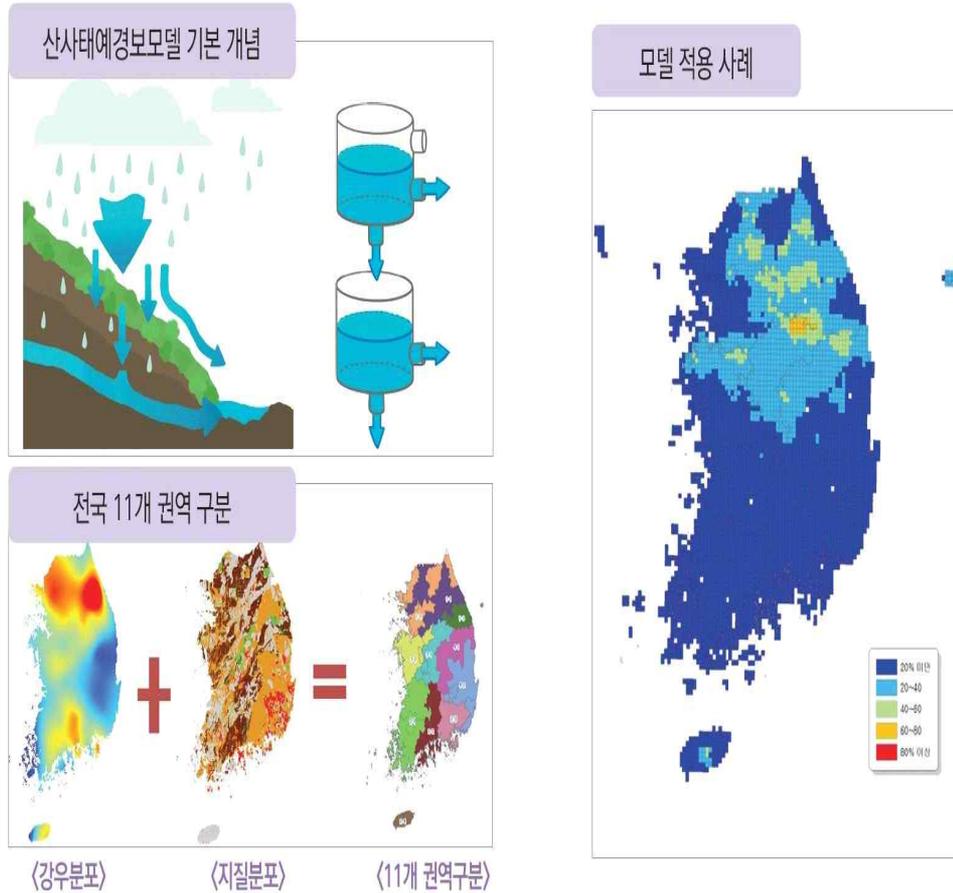
구분	기존 기준	산불피해지 기준
주의보	토양함수량 80%	토양함수량 60%
예비경보	토양함수량 90%	토양함수량 70%
경보	토양함수량 100%	토양함수량 80%

출처 : 산림청, 산사태 예·경보 기준표

[표 3-1]은 국립산림과학원이 산불 피해지의 특성을 반영하여 새롭게 조정한 산사태 예·경보 기준을 보여준다. 기존의 예·경보 체계가 토양함수량 80% 이상에서 ‘주의보’를 발령하던 것과 달리, 대형 산불 피해지역에서는 토양함수량 60% 수준에서도 산사태가 발생할 수 있음이 확인되었다.

이에 따라 중앙정부는 산불피해지를 별도의 관리대상으로 설정하고, 보다 엄격한 기준을 적용하여 조기경보 체계를 운영하고 있다. 이는 중앙정부 차원의 제도적 보안을 통해 산불과 연계된 산사태 위험을 사전에 관리하려는 시도의 일환이라 할 수 있다.

[그림 3-2] 산사태 예·경보모델 적용



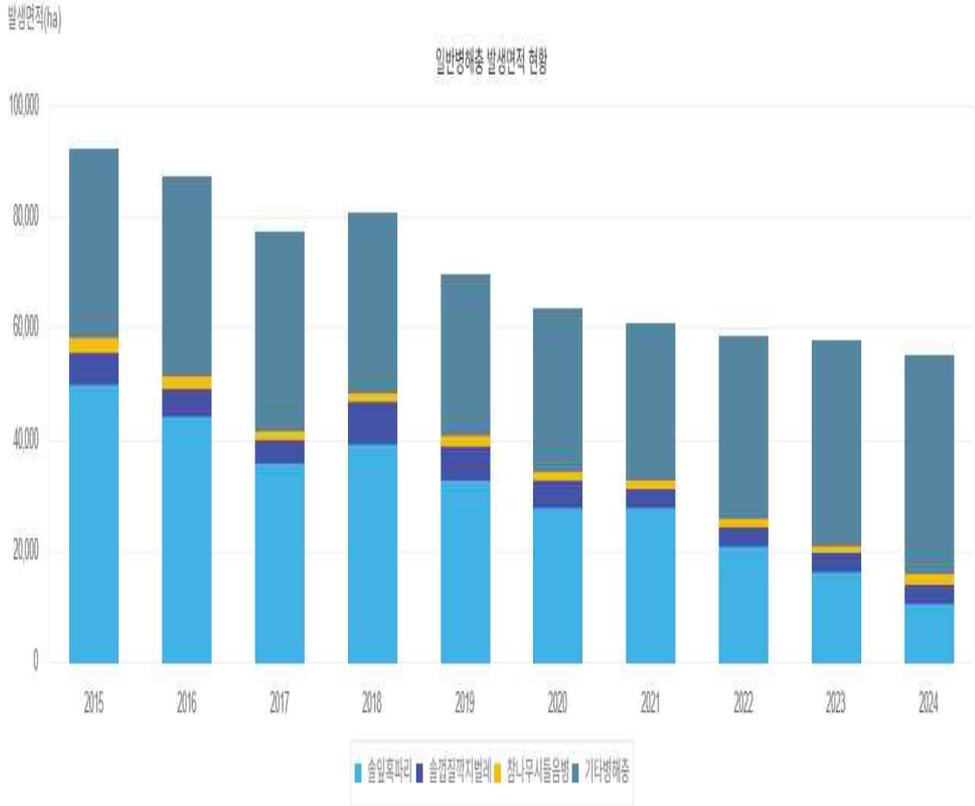
[그림 3-2]는 산림청 국립산림과학원이 구축한 산사태 예·경보모델의 기본 개념과 적용 사례를 보여준다. 이 모델은 강우 분포와 지질 특성을 고려하여 전국을 11개 권역으로 구분하고, 권역별 위험도를 실시간으로 산정하는 방식으로 운영된다.

그림에서 확인할 수 있듯이 산불피해가 심각했던 영남과 강원 일부 지역은 상대적으로 높은 산사태 위험도를 나타내고 있으며, 이를 통해 지역별 맞춤형 정보 발령이 가능하다.

중앙정부 차원의 이러한 모델 적용은 단순히 산사태 발생 이후의 대응을 넘어, 사전 예측과 예방을 중시하는 선제적 재난관리 전략을 보여주는 대표적인 사례라 할 수 있다. 산불이나 산사태와 같은 대형 재난 이후에는 산림 생태계가 급격히 약화되어 병해충 확산 위험이 커진다. 이는 산림의 단일 수종화, 기후변화로 인한 서식 환경 변화와 맞물려 산림재난의 또 다른 형태로 이어진다.

중앙정부와 지방정부 간 협력이 제대로 작동하지 않을 경우 개별 기관의 역량은 극히 제한적이며, 지역사회의 피해만 확대된다고 지적한다. 병해충 대응 역시 동일한 맥락에서 이해할 수 있다. 중앙정부는 단순히 예산을 배분하는 역할에 그치지 않고, 전국 단위의 예찰망 구축과 긴급 방제 지원을 총괄해야 한다(배귀희, 2010).

[그림 3-3] 산림 병해충 발생 및 방제 현황



출처 : 산림청, 산림 병해충 발생 및 방제 현황

[그림 3-3]은 2015년부터 2024년까지 우리나라 산림에서 발생한 주요 병해충의 발생 면적 추이를 보여준다. 그래프에서 확인할 수 있듯이, 솔잎혹파리와 같은 대규모 피해 병해충은 여전히 발생 면적에서 큰 비중을 차지하고 있으며, 솔껍질깍지벌레와 참나무시들음병 등도 꾸준히 보고되고 있다.

전체적으로 병해충 발생 면적은 다소 감소하는 추세를 보이지만, 이는 단순한 피해 축소라기보다는 방제 활동 강화와 정부 차원의 집중 대응의 결과로 해석할 수 있다.

특히 산불이나 산사태와 같은 대규모 산림재난 이후에는 산림 생태계가 급격히 약화되면서 병해충 확산 위험이 높아진다. 이러한 맥락에서 병해충 피해는 독립적인 재난이 아니라, 다른 산림재난과 연계되어 발생하는 복합재난의 성격을 갖는다.

예를 들어 산불 피해지역에서는 수종이 약화되고 토양이 교란되면서 매개층 밀도가 비피해 지역보다 훨씬 높게 나타나는데, 이는 병해충 확산의 직접적 원인이 된다(김대진 외, 2022).

따라서 병해충 관리 역시 중앙정부 차원의 통합적 대응 전략 안에서 다루어져야 한다. 단순한 개별 방제 차원을 넘어, 전국 단위의 예찰망을 구축하고 산불·산사태 대응과 연계된 병해충 관리 체계를 마련하는 것이 필요하다.

이는 재난의 장기적 피해를 최소화하고 산림 생태계 회복력을 높이는 핵심 요소라 할 수 있다(배귀희, 2010).

또한 산림재난 대응은 단기적 재난 진화·복구를 넘어 장기적 제도적 체계로 확장되어야 한다.

중앙정부가 단기적 위기 대응에는 적극적이지만, 복구·재발 방지 단계에서 지방정부 의존도가 높아지는 구조적 한계를 지적하였다(김대진 외, 2022).

이에 따라 중앙정부는 예방-대비-대응-복구의 전 주기적 관리 체계를 제도화하고, 산불·산사태·병해충과 같은 단일 및 복합재난을 모두 아우르는 법적·행정적 프레임워크를 마련해야 한다. 특히, 재난관리청 내 산림재난 전담 부서 신설, 기관 간 통합 상황실 운영, 위성·드론 기반 통합 모니터링 시스템 구축 등이 대표적 개선 방향이 될 수 있다.

결국, 중앙정부 차원의 대응은 산불-산사태-병해충으로 이어지는 연쇄적 피해를 통합적으로 관리하는 방향으로 나아가야 한다. 단편적이고 사건별로 분절된 대응은 재난 주기 전반에서 공백을 초래할 수 있다.

따라서 중앙정부는 컨트롤타워로서 법적 권한과 자원을 집중시키고, 지방정부 및 민간과의 협력 체계를 통해 종합적 대응력을 확보해야 한다. 이는 단순한 행정적 조치가 아니라 국민의 생명과 재산 보호를 위한 국가적 책무임을 다시금 확인할 수 있다.

3.2.2 전문 연구기관

산림재난 대응에서 전문 연구기관은 과학적 근거와 기술적 지원을 제공하는 핵심 주체로 기능한다. 기후변화의 심화로 산불·산사태·병해충이 복합적으

로 발생하는 상황에서, 단순한 행정적 조치만으로는 재난 관리에 한계가 뚜렷하다.

특히 산림재난은 광범위한 지역적 파급효과를 갖고 발생 양상이 불규칙하기 때문에, 예측과 예방 단계에서 과학적·기술적 접근이 필수적이다.

이에 따라 한국지질자원연구원(KIGAM), 국립산림과학원, 기상청 산하 연구기관 등은 각각의 전문 분야에서 재난 발생 메커니즘을 규명하고, 조기경보 및 대응기술을 개발하는 중요한 역할을 담당하고 있다.

우선, 한국지질자원연구원은 최근 대형 산불 이후 집중호우로 인한 산사태와 토석류 위험을 단시간 내에 예측할 수 있는 첨단 기술을 개발하였다.

기존의 산사태 예측 시스템은 토양함수량이나 강우량 기준을 단순 적용하는 방식으로 운영되어, 산불 피해지처럼 토양 구조가 급격히 약화된 지역에 적합하지 않은 한계가 있었다.

이에 연구원은 기상청의 국지예보모델(LDAPS)을 기반으로 한 물리기반 산사태 예측모델을 구축하여, 산불 피해지의 토양 불안정성과 강우 패턴을 동시에 반영한 예측이 가능하도록 하였다. 해당 기술은 산사태 발생 가능성을 2시간 30분 이내에 경보할 수 있으며, 예측 정확도가 85% 이상으로 보고되었다.

특히 토석류의 이동 경로를 2차원으로 시뮬레이션할 수 있는 모델까지 함께 개발하여, 실제 주민 대피 시간(골든타임) 확보에 크게 기여할 수 있다는 점이 주목된다(한국지질자원연구원, 2025).

한편, 국립산림과학원은 산불·산사태·병해충 대응에 있어 종합적 연구를 수행하고 있다. 앞서 제시된 [표 3-1] 산사태 예·경보 기준 강화는 국립산림과학원이 산불 피해지의 특성을 분석하여 마련한 결과로, 산사태 조기경보 체계를 실질적으로 강화하는 제도적 기반이 되었다.

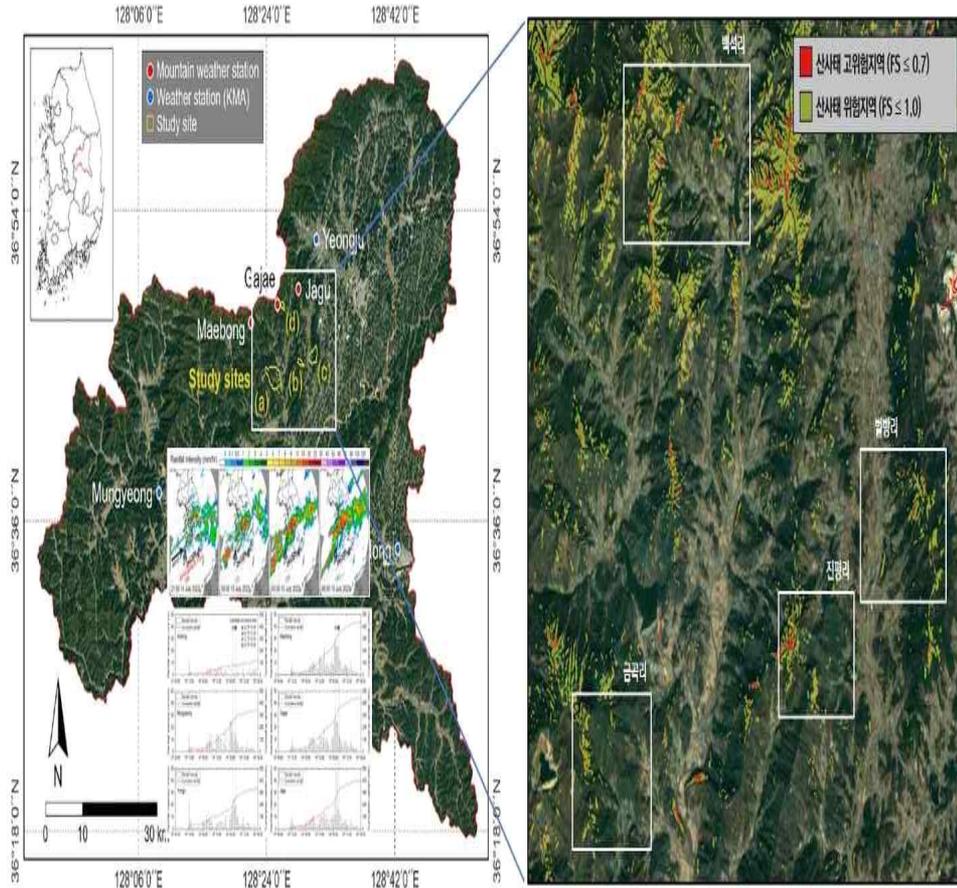
또한 국립산림과학원은 병해충 확산을 모니터링하기 위해 전국 단위의 예찰망을 운영하고 있으며, 위성·드론을 활용한 산림 건강성 분석 기술을 지속적으로 고도화하고 있다.

이를 통해 산불 이후 약화된 산림 생태계에서 병해충 피해가 가속화되는 현상을 실시간으로 파악하고, 중앙정부가 즉각 대응할 수 있는 자료를 제공하고 있다.

이와 더불어, 기상청 산하 연구기관과의 협력도 산림재난 대응에서 중요한 위치를 차지한다. 산불 발생 가능성을 높이는 건조지수, 강풍 예측, 그리고 국지성 폭우에 따른 산사태 위험도를 통합적으로 분석하여, 기후정보를 산림재난 관리에 접목하는 시도가 이루어지고 있다.

이는 기후변화 시대에 복합재난 대응을 위한 과학적 융합연구의 대표적 사례라 할 수 있다.

[그림 3-4] 산사태 위험도 예측 기술 개념도



출처 : 한국지질자원연구원, 산사태 위험도 예측 기술 개념도

[그림 3-4]에서 보듯이 기상청 강우 측정망과 지질자원연구원이 개발한 예측 시스템은 상호 연동되어, 강우 패턴이 실시간으로 입력되면 산사태 위험도가 곧바로 산출된다.

특히 산불 피해지와 같은 고위험 지역을 별도로 설정할 수 있어, 기존 전국 단일 기준을 보완하는 정밀한 정보 체계가 가능해졌다.

단순히 연구 성과를 설명하는 도식이 아니라, 실제 현장에서 적용 가능한 기술적 기반을 직관적으로 보여준다. 즉, 연구기관의 분석 결과가 추상적 데이터에 머무르지 않고 재난 대응 의사결정 과정과 직접 연결된다는 점을 강조한다.

현장 적용성 역시 중요한 성과로 꼽힌다. 기존의 예측모델이 중앙정부 차원에서 일괄적으로 활용되던 반면, 새롭게 개발된 기술은 지자체 재난안전대책본부, 산림청 산사태 정보시스템, 소방·경찰 등과 직접 연동이 가능하다. 이는 연구기관의 기술이 ‘논문’에만 머무르지 않고, 실제 재난대응 체계의 실행력을 높이는 사례라 할 수 있다.

[표 3-2] 산림재난 대응을 위한 연구분야별 전문 연구기관 역할

연구분야	주요 내용	주관 / 협력기관
산불대응	- 산불 확산 예측 모델 개발 - 기후·지형 기반 위험도 평가	국립산림과학원, 기상청
산사태 대응	- 산불 피해지 토양 분석 기반 산사태 위험도 예측 - 산사태 예·경보 기준 강화	한국지질자원연구원, 국립산림과학원
병해충 대응	- 소나무재선충 등 주요 병해충 발생 모니터링 - 전국 단위 예찰망 운영 및 방제 연구	국립산림과학원
통합 분석	- 산불·산사태·병해충 복합재난 연계 분석 - 빅데이터·위성·드론 기반 통합 모니터링	한국지질자원연구원, 국립산림과학원, 기상청

출처 : 한국지질자원연구원, 보도자료 및 기관 연구성 종합 재구성

[표 3-2]와 같이, 산림재난 대응은 단일 기관의 독자적 노력만으로는 충분하지 않으며, 연구 분야별 전문 기관들의 상호 보완적 역할 수행을 통해 실질적 성과를 거둘 수 있다.

각 기관의 연구 영역을 명확히 구분함과 동시에, 상호 협력이 이루어질 때 비로소 재난관리의 효과성이 극대화된다는 점을 시각적으로 보여준다. 다시 말해, 연구기관별로 고유한 전문성을 살리면서도, 실제 대응 단계에서는 유기적 협업이 전제되어야 한다는 사실을 확인시켜 준다.

이처럼 각 기관은 개별적으로는 산불, 산사태, 병해충 등 특정 분야를 중점적으로 담당하지만, 실제 재난 상황에서는 상호 연계된 협력 체계가 구축될 때 비로소 종합적 대응력이 발휘된다.

연구기관의 실질적 기여는 단순히 과학적 근거를 제공하는 차원에 머무르지 않고, 중앙정부와 지방정부가 정책을 수립하고 실행하는 과정에서 핵심적인 의사결정 기반이 된다. 특히 기후변화로 인해 산림재난의 발생 양상이 더욱 복잡·연쇄적으로 나타나는 상황에서, 이러한 성과는 장기적인 제도 개선과 재난관리 체계의 고도화를 견인하는 원동력이 된다.

따라서 산림재난 대응에서 전문 연구기관은 단순한 조력자가 아니라, 재난관리의 정당성을 부여하고 정부 차원의 대응체계를 실질적으로 강화하는 전략적 파트너로 자리매김해야 한다.

3.2.3 지방자치단체

지방자치단체는 산림재난 대응에서 현장의 최전선을 담당하는 주체로서, 중앙정부의 정책적·재정적 지원을 실제 주민 보호와 구호 활동으로 연결하는 핵심 고리이다.

「재난 및 안전관리 기본법」 제36조⁵⁾는 지방자치단체장을 지역 내 재난 안전관리의 최고 책임자로 규정하고 있다. 이는 단순한 형식적 권한이 아니라 재난 발생 시 모든 대응의 실질적 출발점이 지방정부임을 의미한다. 즉, 지방자치단체의 대응 역량은 피해 규모의 크기와 주민 생존권 보호 수준을 결정하는 가장 직접적 변수라 할 수 있다. 실제로 지방정부는 중앙정부와 달리 주민과 가장 가까운 행정 주체로서, 재난 발생 시 초기 경보 발령, 주민 대피, 임시 주거 제공, 응급 복구 등 즉각적이고 실질적인 역할을 담당한다(견승엽, 2019). 그러나 예산, 인력, 장비 등 제도적 제약이 여전히 크기 때문에, 권한 강화와 제도적 지원이 필수적이라는 평가가 제기된다.

지방자치단체의 재난관리체계가 중앙정부의 지침 의존도가 높아, 지역 맞

5) 「재난 및 안전관리 기본법」 제36조 (지방자치단체장의 책무) : 지방자치단체의 장은 해당 지역에서 재난 및 안전관리를 총괄·조정하며, 지역 재난안전대책본부의 본부장이 된다.

춤형 대응 능력이 미흡하다고 분석하였다(김건위, 2008). 재난 유형별 대응 매뉴얼은 존재하나, 실제 현장에서는 장비 부족, 전문 인력 부재, 지휘체계 혼선 등으로 매뉴얼이 효과적으로 작동하지 못하는 경우가 많았다. 이에 따라 지방자치단체의 역할은 단순한 ‘보조자’가 아니라, 독자적인 대응역량을 구축하고 중앙정부와 대등하게 협력할 수 있는 ‘주체적 파트너’로 전환될 필요가 있다.

실제 대응 사례를 보면, 지방자치단체의 강점과 한계가 동시에 드러난다. 2019년 강원 고성·속초 산불은 강풍을 타고 급속히 확산된 이 산불에서 지자체는 주민 대피를 즉시 명령하고, 체육관·학교 등 임시 대피소를 운영하였다. 그러나 진화 장비와 전문 인력이 부족하여 진화작업은 중앙정부 지원에 크게 의존할 수밖에 없었다.

2022년 강원 동해·삼척 산불의 경우 피해 면적이 1,000ha 이상으로 확산되면서, 지자체는 응급구호와 생활지원에 집중하였다. 긴급 주거시설 확보, 의료 지원, 생활필수품 제공 등이 지역 차원에서 신속히 추진되었으나, 대규모 진화작업은 산림청과 군·소방 항공 자산의 협력이 필수적이었다. 이는 재난 규모가 커질수록 지방정부가 주민 보호에는 강점을 가지지만, 재난 진압에는 구조적 제약이 있다는 사실을 보여준다.

최근 2025년 경북 영덕·울진 산불에서 지자체가 드론을 활용한 실시간 예찰, 주민 대상 대피 앱 알림 서비스, 지역 관광업 피해 최소화 대책 등 비교적 능동적이고 다차원적인 대응을 수행하였다. 그러나 피해 범위가 넓어질수록 중앙정부와의 공조가 절대적으로 요구되었으며, 지방 차원의 대응만으로는 역부족임이 재확인되었다. 이처럼 대형 산불 사례는 지방정부가 초기 대피와 주민 보호에는 비교적 효과적으로 대응하였으나, 전문 장비와 인력 부족이라는 구조적 한계를 드러냈다.

산사태 및 병해충 대응에서의 지자체 역할은 산불 피해 이후 발생하는 산사태 위험과 병해충 확산은 지방자치단체가 지속적으로 관리해야 할 과제이다. 산사태 위험 지역 주민에 대한 사전 대피훈련, 응급 도로 개설, 생활기반 복구 등은 지자체의 고유 영역이다. 병해충의 경우, 지자체는 드론 예찰 및 항공 방제를 통한 초기 차단에 나서고 있으나, 피해 확산이 전국적으로 번질

경우 지방 차원에서의 대응 한계는 여전히 존재한다.

[표 3-3] 지방자치단체의 산림재난 유형별 대응 역할

재난 유형	지방자치단체 주요 역할	한계점
산불	- 대피 명령, 대피소 운영, 긴급 구호지원	진화 장비·인력 부족, 중앙정부 의존
산사태	- 취약지 사전점검, 주민 대피, 응급복구(도로·주거)	전문 분석 능력 부족, 초기지연 발생
병해충	- 드론 예찰, 항공 방제, 지역 예찰망 운영	확산 시 지방 단독 대응 한계

출처 : 권승엽(2019), 재난 및 안전관리 기본법상 지방자치단체장의 권한 강화에 대한 연구

[표 3-3]에서 보듯이, 지방자치단체는 재난 유형별로 상이한 방식으로 대응하며, 공통적으로 주민과 가장 가까운 현장에서 즉각 대응력을 발휘한다.

지자체는 초기 재난 발생 시 소방, 경찰, 보건 등 지역 내 자원을 총동원하여 피해 확산을 최소화하는 역할을 수행한다.

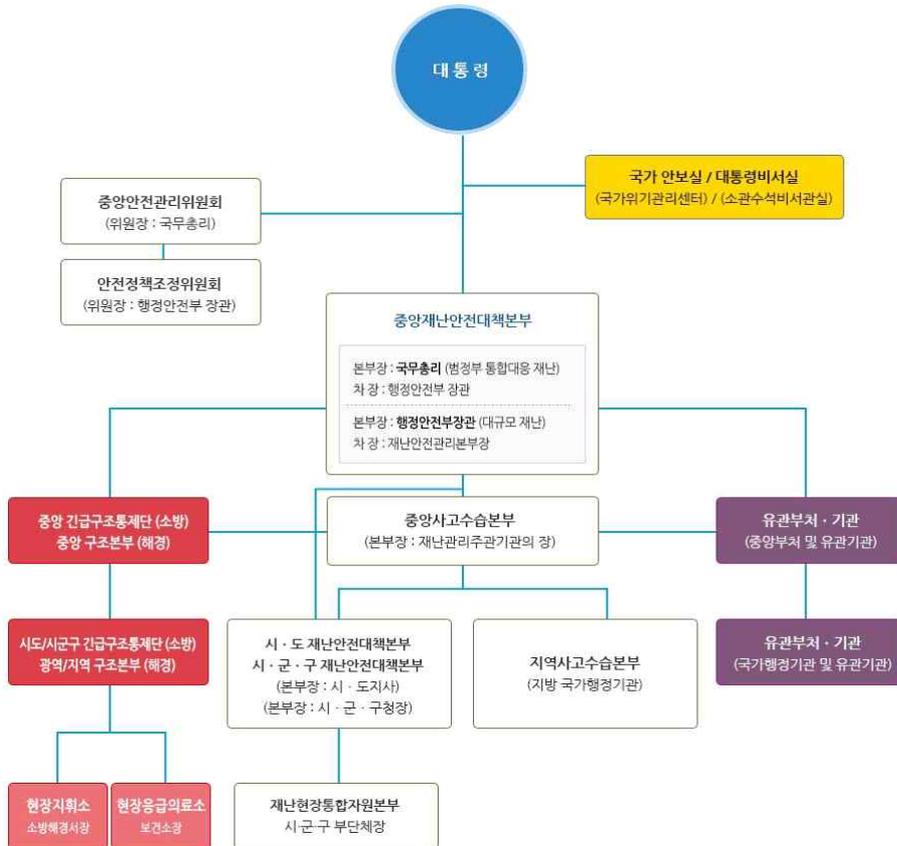
특히 산불이나 산사태와 같은 돌발적 재난의 경우, 재난 발생 직후 수분~수 시간 내의 조치가 피해 규모를 좌우하기 때문에 지방자치단체의 대응력은 무엇보다 중요하다. 또한 주민 대피와 임시 거주시설 운영, 재난취약계층 보호 등 생활밀착형 대응은 중앙정부보다 지자체가 더 효과적으로 수행할 수 있는 영역이다. 그러나 재난이 대형화되거나 장기화될 경우, 지방정부의 자원만으로는 대응에 근본적 한계가 드러난다. 예를 들어 광범위한 산불 피해 이후에는 광역적 장비 지원, 항공 진화 자원, 전문 연구기관의 과학적 분석이 반드시 필요하다. 병해충의 경우에도 발생 지역은 특정 시·군에 국한되지만, 확산 속도는 전국 단위로 전개될 수 있어 지자체 단독 대응만으로는 충분하지 않다. 따라서 재난의 초기 국지적 대응은 지자체가 주도하되, 일정 규모를 넘어서는 순간 중앙정부 및 전문 연구기관과의 유기적 협력이 가동되는 체계적 연계가 요구된다.

특히 기후변화로 인해 산불·산사태·병해충이 복합적 양상으로 나타나는 상황에서, 지방정부의 대응은 중앙정부의 정책적 지원 및 전문 연구기관의 과

학적 근거와 결합될 때 시너지 효과를 발휘한다. 즉, 재난관리 체계는 지방정부의 즉각성과 중앙정부의 조정능력, 연구기관의 전문성이 통합되어야 비로소 완결성을 갖는다.

지방정부의 경험과 현장정보는 중앙정부의 매뉴얼을 보완하는 역할을 하며, 전문기관의 데이터와 분석은 지자체가 보다 정밀한 대응을 설계할 수 있도록 지원한다. 결국 [표 3-3]은 지방자치단체가 단순한 현장 대응 주체를 넘어, 중앙정부 및 연구기관과 함께 종합적인 산림재난 관리체계의 한 축을 형성한다는 점을 보여준다. 이는 지방정부의 대응력이 독립적 한계 속에서만 이해되어서는 안 되며, 상호 협력적 구조 속에서 재평가되어야 함을 의미한다.

[그림 3-5] 재난안전 대책본부 운영체계 흐름도



출처 : 대구광역시, 재난안전대책본부 운영체계

[그림 3-5]는 지방자치단체 내 재난안전대책본부의 조직 체계와 기능을 시각적으로 정리한 도식으로, 지방정부의 대응 구조를 명확히 보여준다.

우선 본부장은 지방자치단체장이 맡아 재난 대응의 최종 책임을 지며, 상황판단과 자원 배분을 총괄한다. 그 아래에는 상황총괄반, 긴급구조지원반, 복구지원반, 행정지원반 등 기능별 부서가 편성되어 각기 다른 역할을 분담한다. 예컨대 상황총괄반은 재난 발생 현황을 수집·분석하여 의사결정에 필요한 정보를 제공하고, 긴급구조지원반은 소방·경찰·의료 등 인명 구조 활동을 집중적으로 수행한다. 또한 복구지원반은 도로·전력·통신 등 기반시설 복구를 담당하며, 행정지원반은 인력·예산·물자 지원 등 후방 행정을 맡는다.

이와 더불어 유관기관 협력 체계가 병렬적으로 도식화되어, 소방·경찰·군·의료기관·민간단체 등이 재난안전대책본부와 직접 연결되어 있음을 보여준다. 이를 통해 지자체가 재난 발생 시 ‘지휘·통제의 허브’ 역할을 수행하면서도, 다양한 기관의 자원과 역량을 통합할 수 있음을 확인할 수 있다. 즉, 지방정부가 재난관리에서 단순 대응 주체를 넘어, 협력 네트워크를 운영하는 조정자이자 조율자로 기능함을 강조한다.

특히 산불·산사태·병해충과 같은 복합재난 상황에서는 이러한 지휘체계가 각 기관의 중복 대응을 방지하고, 주민 안전을 최우선으로 하는 통합적 대응을 가능하게 한다. 그러나 실제 대응 과정에서 드러난 한계와 향후 과제를 감안하면, 지방자치단체의 산림재난 대응 역량 강화는 다음 세 가지 측면에서 집중적으로 논의될 필요가 있다.

첫째, 지방정부는 재난 발생 시 주민 안전 확보의 최전선에서 기능한다는 점에서 그 권한과 책임을 제도적으로 강화할 필요가 있다.

둘째, 산불·산사태·병해충 대응 경험에서 나타난 한계는 지방정부 단독 역량의 한계를 보여주며, 중앙정부와의 분담·협력 체계 구축이 핵심 과제임을 드러낸다.

셋째, 기후변화로 복합재난이 심화되는 상황에서 지방정부는 기존 행정적 조치에 그치지 않고, 디지털 예찰 기술(드론·위성), 지역사회 기반 훈련, 예산 자립성 확보 등을 통해 대응력을 높여야 한다.

지방자치단체는 산불, 산사태, 병해충 등 산림재난 대응에서 주민과 가장

가까운 행정 주체로서 현장 대응의 최전선에 서 있다.

그러나 재난이 대형화·복합화될수록 지자체 단독 대응에는 한계가 분명히 존재한다. 따라서 지방정부는 독자적인 대응 역량을 강화하는 동시에, 중앙정부·연구기관·민간과의 협력 속에서 역할을 재정립해야 한다.

지방자치단체의 성공적인 대응체계 구축은 결국 주민의 생명과 재산을 지키는 최종적 보루라는 점에서 중요한 정책적 함의를 가진다.

3.2.4 소방 및 유관기관

산림재난 대응체계에서 소방은 단순히 화재 진압 기관으로 한정되지 않는다. 오늘날 산림재난은 단일 원인으로 발생하기보다 산불, 산사태, 병해충 확산 등 복합적이고 연쇄적인 양상으로 나타나고 있으며, 이 과정에서 소방은 전문적 인력과 장비를 활용하여 현장 대응을 주도하는 핵심축을 담당한다.

지방자치단체가 주민 대피와 응급구호에 집중한다면, 소방은 진화와 구조를 전담하는 실질적 대응 주체라는 점에서 차별화된다. 이러한 특성은 대형산불이 빈번히 발생하는 최근 국내 사례를 통해서도 입증되며, 소방 조직의 기능은 단순한 물리적 진압을 넘어, 유관기관과 협력하여 종합적 대응을 조율하는 방향으로 확대되고 있다(권정일 외, 2022).

더 나아가 소방은 산불뿐 아니라 산사태, 병해충 확산 등 복합적 산림재난에 대응하는 역할도 확대되고 있다. 예컨대 산사태 발생 시 토사 제거 및 긴급 구조, 병해충 확산 시 방역 지원이나 약제 살포 지원 등으로 참여하며, 향후 이러한 다층적 기능은 더욱 강화될 필요가 있다.

소방의 법적 위상은 「소방기본법」과 「재난 및 안전관리 기본법」에 근거를 둔다. 전자는 소방의 목적을 “국민의 생명·신체 및 재산을 화재, 재난 및 각종 위급 상황으로부터 보호”하는 데 두고 있으며, 후자는 중앙 및 지방재난안전대책본부에 소방의 참여를 명시함으로써, 대규모 재난 발생 시 소방이 핵심 대응기관으로 기능할 수 있는 제도적 기반을 마련한다.

중앙 차원의 지휘를 담당하는 소방청은 전국적 인력과 자원 동원 권한을 가지며, 산림청·군·경찰·지자체 등과의 협력 구조 속에서 재난 현장을 지휘한

다. 그러나 실무 현장에서는 권한의 중첩과 지휘 라인의 불일치 문제가 반복적으로 제기되어 왔다. 산림청과 소방청은 모두 항공자산 운용 권한을 보유하고 있으나, 실제 상황에서는 임무 중복과 지휘 충돌이 발생해 효율성을 저해하는 사례가 보고되었다(김보균 외, 2021). 이는 소방이 법적으로는 중심적 권한을 부여받았음에도 불구하고, 제도적·운영상의 불일치가 현장 대응의 걸림돌이 되고 있음을 의미한다.

2025년 현재 소방 조직은 약 6만 명의 인력을 보유하고 있으며, 이 중 상당수는 구조·구급 업무를 병행한다. 특히 산불 대응의 핵심은 소방항공대로, 약 30여 대의 진화 헬기를 운영하고 있으며 필요 시 산림청 및 국방부와 협력해 최대 70대 이상의 항공자산을 동시에 투입할 수 있다. 이는 세계적으로도 드문 대규모 동시 운용 능력이다. 장비 측면에서는 산불 전용 특수차, 대용량 포수차, 고성능 드론 등 최신 장비가 지속적으로 도입되고 있다. 또한 통신망 장애를 대비해 위성 기반 무전기와 이동식 지휘본부 차량도 보급되면서, 현장 지휘와 정보 전달 체계가 점차 강화되고 있다.

경찰은 교통통제와 주민 대피를 담당하고, 군은 병력과 항공자산을 지원하며, 민간기업은 드론 영상·중장비·통신망 안정화를 지원하는 방식으로 역할 분담이 고도화되고 있다. 이러한 흐름은 [표 3-4]에서 확인된다. 표는 2020년부터 2025년까지 소방항공대 헬기, 산불 전용 특수차량, 드론 예찰 장비, 합동 항공자산의 변화를 수치로 제시하고 있다.

특히 드론 장비가 5년간 4배 이상 증가한 점은, 최근 소방 대응 체계가 단순 진화 중심에서 디지털 기반 예찰 및 정보 수집 능력 강화를 중점적으로 추진하고 있음을 보여주는 대표적 사례라 할 수 있다.

[표 3-4] 소방 및 유관기관 산불 대응 자원 현황(2020년~2025년)

구분	2020년	2022년	2025년	증감추이
소방항공대 헬기(대)	22	26	32	+10
산불 전용 특수차량(대)	80	110	160	+80
드론 예찰 장비(대)	50	120	250	+200
합동 항공자산 (산림청·군 협력)	40	60	75	+35

출처 : 소방청, 소방 및 유관기관 산불 대응 자원 현황(2020년~2025년)

소방의 대응 능력은 실제 재난 사례에서 가장 명확히 드러난다.

첫째, 2019년 강원 고성·속초 산불에서는 전국 소방력 동원령이 발령되어 약 1만 명의 인력과 50여 대의 헬기가 투입되었으나, 초기 지휘체계의 혼선으로 대피와 자원 배분이 비효율적으로 이루어졌다. 이는 “지휘 일원화 부재”라는 구조적 문제를 부각시켰다.

둘째, 2022년 강원 동해·삼척 산불은 산림청·군과 합동작전을 통해 대규모 헬기를 투입하고 성과를 거두었으나, 헬기 임무 중복과 자원 배분 비효율이 문제로 지적되었다.

셋째, 2025년 경북 영덕·울진 산불에서는 드론 예찰과 주민 대피 앱이 도입되었으며, 민간 통신사의 네트워크 지원을 받아 현장 정보 공유가 신속히 이루어졌다. 그러나 항공자산 부족 문제는 여전히 한계로 작용하였다.

이 세 가지 사례는 [표 3-5]에 종합적으로 제시된다. 표는 각 사례별 대응 성과와 한계를 나란히 보여주며, 소방이 일정 부분 성과를 내면서도 구조적 한계를 반복적으로 노출하고 있음을 명확히 한다.

[표 3-5] 주요 산불 사례별 소방 및 유관기관 대응 특징

구분	대응 성과	한계
2019 고성·속초	전국 소방력 신속 동원	초기 지휘체계 혼선
2022 동해·삼척	합동대응 성과, 응급구조	자원 중복 투입
2025 영덕·울진	드론·앱 활용, 민간 참여 확대	항공자산 중앙의존

출처 : 본 연구 정리, 소방청 및 산림청

한편, 소방의 활동은 산불에만 국한되지 않는다. 최근 경북·강원 지역에서 발생한 집중호우 산사태 현장에서는 소방이 굴삭기, 드론, 구조 인력을 투입하여 매몰자 수색과 토사 제거를 지원하였다.

또한 병해충 확산의 경우에도 산림청과 협력하여 항공 방제 작업을 보조하거나, 방역 인력을 지원하는 형태로 대응 영역을 확장해왔다. 이처럼 소방은 ‘산불 전문 기관’에서 ‘산림재난 전반 대응 주체’로 점차 전환하는 모습을 보여주고 있다.

2020년 경북 봉화 지역에서는 집중호우로 발생한 대규모 산사태 현장에서 소방이 굴삭기와 인력을 투입하여 토사 제거와 매몰자 수색을 주도하였다. 이 과정에서 드론을 활용한 항공 수색과 구조견 투입이 병행되면서 구조 시간이 단축되었으며, 이는 산불 대응 중심으로 인식되던 소방의 역할이 ‘토사 재난 대응 주체’로까지 확장될 수 있음을 보여주는 사례였다.

또한 2021년 충북 일대에서 발생한 소나무재선충 확산 상황에서는 산림청 주관 방역 활동에 소방이 참여하여 방제 장비 운송과 인력 지원을 담당하였다. 특히 고지대 접근이 어려운 지역에서는 소방항공대 헬기가 약제를 공중 살포하는 데 협력함으로써 병해충 확산 억제에 기여하였다.

이러한 경험들은 소방이 단순한 화재 진압 기관이 아니라, 산림재난 전반에 걸쳐 범용적으로 대응할 수 있는 핵심 조직임을 입증하는 사례로 평가된다.

사례를 통해 드러난 소방 및 유관기관의 구조적 한계는 다음 네 가지로 정리된다.

첫째, 중앙-지방-현장 간 지휘 라인이 중첩되어 신속한 의사결정을 저해하는 지휘체계 혼선

둘째, 항공자산과 장비의 중복 운용으로 나타나는 자원 배분 비효율성

셋째, 실시간 정보 공유 체계 부재로 인한 현장 데이터 전달 지연

넷째, 수도권과 산불 다발 지역 간의 지역 역량 격차이다.

이러한 문제들은 단순한 장비 확충만으로는 해결되지 않으며, 제도적·운영상의 개선이 필요하다(김보균 외, 2021).

향후 소방 및 유관기관의 대응 역량 강화를 위해 다음과 같은 전략이 필요하다.

첫째, 실시간 통합상황 플랫폼 구축으로 드론, 위성, AI 기반 데이터를 모든 기관이 동시에 공유할 수 있는 플랫폼을 마련해야 한다. 특히 향후 플랫폼은 산불뿐 아니라 산사태, 병해충 등 다양한 재난 데이터를 통합 관리할 수 있도록 확장성이 고려되어야 한다.

예를 들어 AI 기반 산사태 위험 예측 모델, 병해충 발생 지역 드론 예찰 정보가 실시간으로 공유된다면, 소방은 화재 진압을 넘어 종합적 산림재난 대응기관으로서의 기능을 수행할 수 있을 것이다.

둘째, 합동훈련의 정례화로 소방·산림청·군·경찰·민간기업이 모두 참여하는 합동훈련을 제도화하여, 실제 상황에서 기관 간 협력이 원활히 이루어지도록 해야 한다.

셋째, 지역 맞춤형 대응 역량 강화로 산불 취약 지역에 소방항공대를 우선 배치하고, 장비·인력의 중앙정부 차등 지원이 필요하다.

넷째, 민관 협력 제도화로 통신·운송·건설 등 민간 자원을 공식적으로 재난 대응에 연계하는 제도를 마련해야 한다.

이러한 개선 방향은 [그림 3-6]에서 시각적으로 설명된다. 그림은 기존의 분절적 지휘체계 한계를 극복하기 위한 차세대 산림재난 대응 지휘 플랫폼의 구조를 보여준다.

중앙에 위치한 인공지능(AI), 클라우드, 가상화 인프라가 핵심 기반을 형성하며, 이를 통해 신고 접수부터 현장 대응까지 전 과정이 하나의 통합 시스템에서 처리된다.

구체적으로는 지능형 신고 플랫폼과 초광역 출동지령 체계를 통해 상황

전파가 신속화되고, 유·무선 통합 위치정보, GIS 기반 지도 서비스를 통해 현장 정보를 실시간 공유할 수 있다. 또한 전국 표준화된 정보체계와 무선통신망, IP 방송·녹취 시스템이 상호 연동됨으로써, 지역별·기관별 정보 격차를 최소화할 수 있다.

이 플랫폼의 특징은 소방이 단순한 진화 주체를 넘어, 산림청·군·경찰·지자체·민간기업을 하나의 체계 안에서 연결하는 허브 역할을 수행한다는 점이다.

즉, 각 기관의 자원이 분절적으로 투입되는 기존 방식에서 벗어나, 실시간 통합상황 플랫폼을 기반으로 상호 조율과 협력적 대응이 가능해진다.

따라서 [그림 3-6]은 향후 산림재난 대응이 지향해야 할 이상적 모델을 시각화한 것으로, 기술적 융합과 제도적 협력이 결합될 때 재난관리 체계의 효율성과 효과성이 동시에 극대화될 수 있음을 보여준다.

[그림 3-6] 차세대 산림재난 대응 지휘 플랫폼



출처 : 소방청, 차세대 산림재난 대응 지휘 플랫폼

결론적으로, 소방 및 유관기관은 산림재난 대응에서 “1차 대응축”이라는 핵심적 위치를 점유한다. 그러나 반복된 사례에서 드러났듯, 단순한 장비 확충이나 인력 증원만으로는 한계 극복이 어렵다.

지휘체계 일원화, 자원 최적 배분, 실시간 정보 공유, 민관 협력 제도화 없이는 동일한 문제가 재현될 수 있다. 따라서 소방은 단순한 진압 기관을 넘어, 산림재난 대응의 허브이자 네트워크 조정자로 기능해야 한다.

이는 지방정부의 대피·구호 활동과 중앙정부의 전략적 지원이 유기적으로 결합될 때 비로소 가능하며, 산불 대응뿐 아니라 산사태, 병해충 등 복합적 산림재난으로 인한 사회·경제적 피해까지 최소화할 수 있는 가장 효과적인 전략이 될 것이다.

3.2.5 민간 및 지역사회 협력체계

산림재난은 화재, 산사태, 병해충 확산 등 다양한 형태로 나타나며, 그 피해 규모와 파급력이 방대하다는 점에서 공공기관 단독의 대응에는 한계가 뚜렷하다. 특히 대규모 산불이나 산사태와 같은 복합 재난 상황에서는 초기 대응 속도와 현장 밀착형 대응이 피해 경감의 관건이 되는데, 이는 민간과 지역사회의 적극적인 참여 여부에 따라 크게 좌우된다.

이러한 배경에서 최근 재난관리 패러다임은 ‘정부 주도형’에서 ‘거버넌스형’으로 전환되고 있으며, 민간과 지역사회의 협력은 재난 예방·대응·복구 전 과정에서 핵심 축으로 기능한다(김보균 외, 2021).

재난관리의 거버넌스 이론은 다수의 행위자가 수평적으로 의사결정과 집행에 참여하는 체계를 전제한다. 중앙 및 지방정부, 전문기관뿐 아니라 민간기업, 시민단체, 지역주민이 함께 참여해야 실질적 효과를 거둘 수 있다는 관점이다.

선행연구는 이를 “재난관리의 사회적 자본화”로 설명하며, 신뢰와 협력 네트워크 구축을 통해 피해 저감 효과를 달성할 수 있다고 강조한다(채종식, 2021). 즉, 민간과 지역사회의 참여는 단순한 인력 보조가 아니라, 재난관리 역량 강화를 위한 제도적 기반으로 이해되어야 한다.

민간 참여는 전문성과 자원 동원 능력 측면에서 중요한 의미를 지닌다. 민간기업은 드론·위성 기반 감시체계, 통신망 유지, 중장비 지원 등 첨단 기술과 자원을 제공할 수 있으며, 시민단체와 자원봉사 조직은 긴급 구호 및 주민 대피 지원을 담당할 수 있다.

의료기관과 제약업체는 응급환자 치료와 의약품 공급을 통해 피해 확산을 최소화하는 데 기여한다. 예컨대 최근 강원지역 대형 산불에서 민간 드론업체가 제공한 실시간 항공 영상은 현장 지휘본부의 전략적 의사결정에 결정적 기여를 하였으며, 이는 민간 부문이 단순 보조적 주체가 아니라 대응 체계의 핵심 축임을 입증한 사례라 할 수 있다.

지역 주민은 재난 발생 초기 위험을 가장 먼저 인지하고 대처하는 ‘최일선 대응자(first responder)’로 기능한다. 지역자율방재단은 이를 제도적으로 뒷받침하기 위해 운영되고 있으나, 전문성 부족과 인력 고령화, 재원 미비 등

으로 인해 한계가 지속적으로 지적된다(이시영 외, 2020).

강원도의 산불전문예방단은 계절별로 산불 예방활동을 집중 전개하지만 가동 시기가 제한적이며, 서울특별시의 안전문화운동추진협의회는 다양한 캠페인을 전개하나 실질적 대응 능력은 부족하다. 이는 지역 간 역량 격차가 존재함을 보여주며, 국가적 차원의 균형적 지원 필요성을 뒷받침한다.

민간 및 지역사회 협력체계는 병렬적 참여가 아니라 상호 연계적 거버넌스 구조로 구체화된다.

[그림 3-7] 민·관·지역사회 협력 기반 재난안전 관리체계



출처 : 경상남도 재난안전대책본부, 민·관·지역사회 협력 기반 재난안전 관리체계

[그림 3-7]은 산림재난 대응이 예방-대응-복구-산업 활성화로 이어지는 순환적 과정에서 주민, 지방정부, 유관기관의 협력 구조를 시각화한 것이다. 특히 주민이 첫 번째 주체로 제시된 점은 지역사회가 단순한 피해 수혜자가 아니라 능동적 참여자임을 강조한다. 이는 재난 대응 패러다임이 근본적으로 ‘참여형 구조’로 전환되고 있음을 보여준다.

민간 협력체계의 운영 실태는 지역별로 상이하다.

[표 3-6] 국내 주요 지자체 민간 방재조직 운영 현황(2023년 기준)

구분	주요 활동	조직 규모	특징 및 한계
서울특별시	지역자율방재단, 안전문화운동추진협의회	약 1만명	다양한 훈련 시행, 전문성 부족
강원도	산불전문예방단, 마을자율방재조직	약 7천명	산불 예방 중심, 계절적 가동 편차
경상남도	주민참여형 안전지킴이단, 민간 구호단체	약 9천명	지자체-도민 협력 강화, 재원 부족
충청북도	농촌마을 단위 방재조직	약 5천명	산사태·병해충 대응 병행, 조직 유지 어려움

출처 : 행정안전부, 국내 주요 지자체 민간 방재조직 운영 현황(2023년 기준)

[표 3-6]은 국내 주요 지자체의 민간 방재조직 운영 현황을 보여준다. 서울은 다양한 조직을 보유하고 있으나 전문성 부족이 지적되고, 강원도는 산불 예방에 집중하지만 계절적 가동 편차가 크다.

경상남도는 주민 주도형 참여가 활발하나 재원 부족 문제가 심각하며, 충청북도는 산림재난과 병해충을 동시에 다루지만 조직 유지가 어렵다. 이는 민간 조직이 중요한 역할을 담당하면서도, 지역별 편차와 제도적 한계가 존재함을 보여준다.

현행 「재난 및 안전관리 기본법」은 민간단체와 자원봉사자의 참여를 규정하고 있으나, 실질적 보상 체계, 안정적 재정 확보, 전문 교육 등은 부족하다. 따라서 다음과 같은 정책 과제가 요구된다.

첫째, 민관 협력 매뉴얼의 표준화 및 보급

둘째, 지자체 차원의 민간 협력 조정기구 설치

셋째, 민간 기업 참여 인센티브 제공(세제 혜택, 명예 인증 등)

넷째, 지역자율방재단의 전문성 강화를 위한 교육·훈련 제도화

산림재난의 양상은 지역의 산림 구조와 기후, 주민 생활양식에 따라 상이하다. 이에 따라 지역별 맞춤형 협력 모델이 필요하다.

강원도는 산불 예방 중심의 계절형 대응, 경상남도는 주민 참여형 공동 대응 매뉴얼, 충청북도는 농촌 지역 특성을 반영한 산사태 및 병해충 대응 훈련이 적합하다. 이러한 모델은 중앙정부의 획일적 정책보다 현장 실효성을 높이는 데 기여할 수 있다.

민간 및 지역사회 협력체계는 단순 보조적 역할이 아니라, 산림재난 관리 체계의 지속가능성을 뒷받침하는 핵심 축으로 재정립되어야 한다. 궁극적으로는 중앙-지방-민간이 실시간으로 정보를 공유하고, 역할을 분담하며, 공동의 책임성을 지니는 구조가 제도화될 때 비로소 산림재난 대응 체계가 완성형에 가까워질 것이다.

3.3 분석 결과

앞서 분석한 지방자치단체, 전문 연구기관, 소방 및 유관기관, 민간 및 지역사회의 역할을 종합하면, 우리나라 산림재난 대응체계는 일정한 성과에도 불구하고 구조적 한계를 동시에 드러내고 있다.

이러한 사실은 향후 제도적 개선과 정책적 보완을 위해 여러 가지 중요한 시사점을 제공한다. 우선, 산림재난 대응은 그 복잡성과 예측 불가능성으로 인해 단일 기관의 노력만으로는 효과적인 관리가 어렵다는 점을 보여준다. 지방자치단체는 주민 대피와 응급 구호에서 강점을 가지지만, 장비와 전문 인력이 부족해 중앙정부와 소방에 크게 의존할 수밖에 없었다. 소방은 전문적 인력과 장비를 활용해 재난의 확산을 차단하는 핵심 주체로 기능하지만, 산림청과의 항공자산 운용 권한 중첩 문제나 지휘 라인의 불일치 문제로 인해 효율성이 저하되는 사례가 반복되었다.

전문 연구기관은 과학적 예측과 기술적 지원을 통해 재난관리의 정당성을 보완하였으나, 현장 적용까지 이어지는 과정에서 제도적 연계가 충분히 확보되지 못하는 한계를 보였다. 민간 및 지역사회는 초기 대응의 ‘최일선 주체’임에도 불구하고 전문성 부족과 운영 지속성의 제약으로 인해 잠재력을 충분히 발휘하지 못하는 모습을 보였다. 이러한 분석은 산림재난 대응체계가 개별 기관의 역량을 넘어, 중앙정부·지자체·전문기관·소방·민간이 수평적으로 참여하는 다층적 거버넌스 구조로 발전해야 함을 시사한다. 단순히 각자의 기능을 병렬적으로 수행하는 수준이 아니라, 권한과 역할을 명확히 분담하고, 재난 현장에서 지휘체계를 일원화하여 자원의 중복 투입이나 의사결정 지연을 최소화할 필요가 있다.

특히 최근 사례에서 드러난 것처럼, 산불 확산 과정에서 초동 대응 지원이나 항공자산 배분의 비효율성이 반복된 것은 지휘체계 불일치와 협력 부족이 구조적으로 내재화되어 있음을 방증한다. 따라서 향후 제도적 개선은 지휘 일원화와 합동지휘본부의 상시 가동 체계를 마련하는 방향으로 이루어져야 한다. 또한 시사점은 현장 중심성의 중요성을 다시금 강조한다. 법과 제도가 아무리 정교하더라도 실제 재난 현장에서 작동하지 못하면 의미가 없다. 2019년 고성·속초 산불의 초기 혼선, 2022년 동해·삼척 산불의 자원 배분 문제, 2025년 영덕·울진 산불의 항공자산 부족 등은 제도적 기반만으로는 충분치 않음을 보여준다.

따라서 드론·위성·AI 기반의 실시간 정보 공유 플랫폼을 구축하고, 합동훈련을 정례화하며, 지역 주민이 참여하는 조기 경보 체계를 활성화하는 것이 필수적이다. 현장에서 신속하게 작동할 수 있는 정보와 지휘 체계가 마련될 때 비로소 재난 대응의 실행력이 담보될 수 있다.

아울러 지속가능성 역시 중요한 시사점으로 제기된다. 현재 다수의 민간 방재조직과 자율방재단은 인력의 고령화, 전문성 부족, 예산 불안정 문제로 운영의 연속성이 위협받고 있다. 이는 재난 대응을 단발성 이벤트로 만드는 결과를 초래하며, 장기적으로는 대응 체계 전반의 신뢰성을 약화시킨다.

따라서 안정적 재정 확보, 전문 인력 양성, 교육과 훈련의 제도화가 병행되어야 한다. 이를 위해서는 재난관리기금 배분 확대, 지자체 차원의 방재 전

문 교육센터 설립, 자원봉사 조직의 제도적 지원 등이 필요하다.

민관 협력의 제도화도 핵심적 과제이다. 지금까지 민간 참여는 보조적 역할에 머무는 경우가 많았으나, 실제 현장에서는 민간기업의 드론 영상 제공, 통신망 지원, 자원봉사자의 긴급 구호 활동 등 중요한 역할을 수행해왔다.

따라서 법·제도적으로 민관 협력의 위치를 명확히 하고, 기업 참여 인센티브를 제공하며, 표준화된 민관 협력 매뉴얼을 마련할 필요가 있다. 이는 재난 대응을 정부 중심에서 사회 전체가 공동으로 책임지는 구조로 전환하는 기반이 될 것이다.

마지막으로 산림재난의 복합성을 고려한 대응 체계 확립이 시급하다. 산불은 산사태와 병해충 확산으로 연쇄적으로 이어질 수 있으며, 기후변화의 심화는 이러한 복합재난의 발생 가능성을 더욱 높이고 있다. 그럼에도 불구하고 현재의 대응 체계는 여전히 산불 중심적 성격이 강하다. 산림재난을 단일 재난 유형으로 관리하는 한계에서 벗어나, 산불-산사태-병해충이 상호 연계된 복합재난 관리 체계를 구축해야 한다.

이를 위해서는 기후·지형·생태 데이터를 통합 분석하는 빅데이터 기반 플랫폼과, 다양한 재난 유형을 가정한 통합 훈련 프로그램이 필요하다. 이상의 논의를 종합하면, 산림재난 대응은 단순한 장비 확충이나 인력 증원만으로는 근본적 한계를 극복할 수 없다. 대응 체계가 효과적으로 작동하기 위해서는 거버넌스, 현장성, 지속가능성, 민관 협력, 복합재난 대응이라는 다섯 가지 축이 동시에 강화되어야 한다.

이는 중앙정부와 지방정부, 전문기관, 소방, 민간이 각각의 한계를 인식하고 상호 보완적 협력 구조를 구축할 때 가능하다. 결국 산림재난 대응의 핵심은 기술이나 자원의 절대량이 아니라, 이를 조율하고 연계할 수 있는 제도적·조직적 역량에 달려 있다.

이러한 시사점은 향후 국내외 사례분석과 대응 방안 모색에서 중요한 기초 토대가 될 것이다.

IV. 국내외 사례분석

산림재난은 산불, 산사태, 병해충과 같이 서로 다른 유형의 재난이 독립적으로 또는 복합적으로 발생하면서 사회·경제·환경 전반에 심대한 영향을 미친다. 특히 최근 기후변화의 심화는 건조와 폭염, 집중호우, 겨울철 이상고온을 동시에 초래하여 세 가지 재난의 발생 빈도와 규모를 높이고 있다. 이에 따라 단일 사건으로 이해되던 산림재난은 이제 “복합재난(cascading disaster)”의 형태로 전환되고 있으며, 재난 관리의 새로운 접근이 요구된다.

국내 사례를 살펴보면, 산불은 가장 빈번하고 피해 규모가 큰 유형이다. 2019년 강원 고성·속초, 2022년 동해·삼척, 2025년 영덕·울진 대형 산불에서 확인되듯, 기후·지형·인위적 요인이 결합할 때 단기간에 광범위한 피해로 이어진다. 특히 강풍과 건조 조건이 맞물릴 경우 불길은 진화 인력의 통제를 벗어나 급속히 확산되며, 이 과정에서 주택·도로 등 기반시설 피해뿐 아니라 주민 대피와 지역경제 위축을 동반한다.

실제로 2022년 동해·삼척 산불은 1,000헥타르 이상 산림을 소실시키며 수백 명의 이재민을 발생시켰고, 2025년 영덕·울진 산불은 관광·농업 기반까지 타격하여 광범위한 사회적 손실을 야기하였다. 이처럼 대형 산불은 단일한 환경 문제를 넘어 지역 공동체의 생존과 직결된 재난임을 보여준다.

산사태는 집중호우와 지반 약화가 주된 원인이지만, 산불 피해지에서 발생 빈도가 높아지는 특성이 확인되면서 “연쇄재난”으로서의 성격이 뚜렷하다. 산불로 식생이 소실된 지역은 토양의 응집력이 약화되고 수문 순환이 변형되어, 이후 폭우가 내리면 대규모 토사 유출로 이어질 가능성이 높다. 예컨대 2020년 기록적 장마로 중부지방에서 1,300헥타르 이상의 산사태 피해가 발생하였는데, 이는 평년 대비 길어진 장마와 집중호우가 결합된 결과였다.

더불어 과거 연구에서는 산불 피해지에서 비피해지보다 산사태 위험도가 수년간 높게 유지된다는 사실도 보고된 바 있다. 이는 산불과 산사태가 시간적으로 연속되는 복합재난임을 뒷받침하며, 재난 관리에서 두 현상을 별개가 아닌 연계 체계로 바라볼 필요성을 보여준다.

병해충 피해 또한 기후변화로 인한 겨울철 이상고온과 밀접하게 연결되어 있다. 대표적으로 소나무재선충은 과거 남부지역에 국한되었으나, 최근에는 충청·경기 지역으로 확산되고 있으며, 향후 강원도 일부를 제외한 전국으로 퍼질 가능성이 예측된다. 참나무시들음병 역시 수도권과 경기 지역을 중심으로 빠르게 확산되고 있으며, 강수량 감소와 수목 생리적 약화가 피해를 심화시키는 원인으로 지적된다. 이러한 병해충 확산은 산림 생태계의 구조적 회복력을 떨어뜨리고, 고사목이 산불의 연료로 작용하거나 산사태 위험을 높이는 악순환을 초래한다. 즉, 병해충 피해는 눈에 띄는 단기 피해보다는 장기적인 산림 약화를 통해 다른 재난을 촉발하는 ‘잠재적 위험 요인’이라는 점에서 심각성이 크다. 이처럼 국내의 산불·산사태·병해충 사례는 단순한 환경적 위협을 넘어, 지역 주민의 안전과 생계, 국가적 차원의 사회·경제적 기반을 위협하는 복합재난의 실체를 보여준다.

따라서 개별 재난의 원인과 양상에 대한 이해를 넘어, 상호 연계성과 복합성을 반영한 통합적 대응 전략 마련이 절실하다.

해외 사례는 산불·산사태·병해충 대응에서 다양한 교훈을 준다. 미국·호주·캐나다의 산불 관리에서 첨단기술을 적극 활용해 조기경보 체계를 발전시켰으며, 기후데이터와 연계된 정책적 지원을 통해 재난의 장기화·대형화에 대응하고 있다.

반면 알프스 산악권 국가인 스위스, 오스트리아, 이탈리아 북부는 산불뿐 아니라 산사태와 병해충을 포함한 복합재난 관리에서 선도적인 모델을 구축하였다.

스위스는 WSL 연구소 주도의 산사태·눈사태 위험지도와 조기경보시스템을 운영하며, 병해충 확산에 대한 모니터링 연구를 병행하고 있다.

오스트리아는 지방정부·주민 참여형 통합위험관리체계를 통해 산불과 산사태를 동시에 관리하며, 기후 데이터와 지역 지형 조건을 반영한 맞춤형 대응을 실현한다.

이탈리아 북부는 EU 기후적응 정책과 연계하여 드론·위성·센서 기반의 통합 산림재난 모니터링 체계를 발전시켰으며, 산불과 산사태가 복합적으로 나타나는 알프스 산악지대의 특수성을 고려한 예방·대응 전략을 강화하고 있다.

이러한 국가들은 산불뿐 아니라 산사태와 병해충까지 포괄하는 다층적 접근을 제도화하였다는 점에서 의미가 크다.

기술과 제도의 유기적 결합, 주민 참여와 지방정부의 적극적 역할은 우리나라가 향후 산림재난 예방체계를 설계하는 데 중요한 시사점을 제공한다. 따라서 본 장에서는 먼저 국내 주요 산불·산사태·병해충 사례를 검토하여 기후·지형·사회적 조건 속에서 나타난 특성과 대응 결과를 분석하고, 이어 해외 선진국의 사례를 살펴봄으로써 산림재난 관리의 기술적·정책적 차별성을 확인한다.

마지막으로 국내외 사례 비교를 통해 우리나라에 적용 가능한 교훈을 정리하여, 예방 중심의 통합적 대응 전략 수립에 기초 자료를 제공하고자 한다.

4.1 국내

4.1.1 산불

국내 산불은 기후적 요인과 인위적 요인이 중첩되며 발생 빈도와 피해 규모가 대형화·장기화되는 경향을 보이고 있다.

기후 측면에서 지난 30년간 산불이 주로 봄철(2~4월)에 집중되며, 습도 저하·적설량 감소·기온의 극단적 변동이 산불 발생 확률을 높이는 요인임을 입증하였다(이세림, 2018). 이러한 기후조건은 특히 강원 동해안과 경북 동해안 지역에서 퓌 현상과 강풍과 맞물리면서 대형 산불로 이어질 가능성을 크게 높인다.

최근의 구체적 사례로, 2019년 4월 강원 지역에서 동시다발적으로 발생한 강릉-동해, 고성-속초, 인제 산불은 국내 산불 특성을 잘 보여준다. 강릉-동해 산불은 전기합선으로, 고성-속초 산불은 전신주 개폐기 폭발로, 인제 산불은 잡초 소각 작업으로 발화하였으며, 총 피해 면적은 약 3,000ha에 달했다.

[그림 4-1] 2025년 한반도 동남부 대형 산불 위성영상(MODIS 촬영)



출처 : NASA Earth Observatory

[그림 4-1]은 2025년 3월 NASA MODIS 위성이 촬영한 자료로, 경북 울진·영덕을 비롯한 동남부 지역에서 발생한 대형 산불의 피해 양상을 보여준다. 거대한 연기 기둥이 동해안 일대를 따라 확산되는 모습이 관측되며, 이는 국내 산불이 기후·지형적 요인과 결합해 대형화·장기화되는 경향을 나타낸다.

위성영상 기반 연구에 따르면, 이들 지역 산불은 침엽수림에서 특히 피해가 집중되었으며, 산불피해 심각도가 높을수록 침엽수림 소실률은 90% 이상에 달한 반면, 활엽수림과 혼효림은 상대적으로 낮은 피해율을 보였다(오형식, 2025). 이는 국내 산불이 특정 수종(예: 소나무, 잣나무)에 구조적으로 취약하다는 사실을 실증적으로 보여준다. 또한 피해지의 산림 구성 특성을 보면, 산불 전후 임상·수종·경급·영급에서 큰 변동이 발생하였다.

강릉-동해와 고성-속초 지역은 산불 이후 젊은 영급의 임목들이 대규모로 고사하여 숲의 연령 구조가 불균형하게 변화했고, 이는 장기적으로 생태계 회복력 저하로 이어질 가능성을 내포한다. 특히 소나무와 같은 침엽수 위주의 단순림은 화재 확산을 촉진해 대형 산불로 연결되는 경향이 뚜렷하게 나타났다.

국내 대형 산불의 사회적·경제적 피해 역시 막대하다. 2019년 강원 산불에서는 주택 500여 채가 소실되고, 약 2,000명의 이재민이 발생했으며, 재산 피해 규모는 1,800억 원을 상회했다. 이어 발생한 2022년 강원 동해·삼척 산불은 1,200ha 이상을 태우고 주민 700여 명을 긴급 대피시켰다.

최근의 2025년 울진·영덕 산불은 피해 면적이 수만 ha에 달하며, 우리나라에서 기록된 최대 규모 산불 중 하나로 평가된다. 이 사건은 단순한 산림 피해를 넘어 관광·농업·산업 기반까지 무너뜨리며 지역경제 전반에 충격을 주었다.

더욱이 산불은 토양 유실·산사태 위험 증가·병해충 확산으로 이어지는 연쇄재난(cascading disaster)의 성격을 지닌다. 산불 피해지의 나무 고사목은 병해충의 매개체로 작용하고, 산림 복구 지연은 토양 유실과 산사태를 가속화한다. 따라서 국내 산불은 단순한 단기적 환경 재난이 아니라, 기후변화 시대에 복합재난의 출발점으로 기능한다는 점에서 관리의 시급성이 크다.

4.1.2 산사태

국내 산사태는 국토의 약 70%가 산지로 이루어진 지형적 특성과 여름철 집중호우가 결합되면서 반복적으로 발생하고 있다. 특히 최근 기후변화의 영향으로 강수 패턴이 변동성을 띠고, 단기간에 집중되는 국지성 호우의 빈도가 높아짐에 따라 산사태 위험은 과거보다 크게 증가하였다.

일반적으로 산사태는 사면의 경사도, 사면 길이, 지질 특성, 토심, 식생 조건 등이 주요 원인이지만, 우리나라의 경우 강우가 직접적이고 결정적인 유발 요인으로 작용한다. 24시간 누적 강우량이 300mm를 초과할 경우 대규모 산사태가 발생할 가능성이 급격히 증가하며, 얇은 토심을 가진 지역에서는

그 취약성이 더욱 두드러진다.

2020년 기록적 장마 기간 동안 발생한 전국 산사태를 분석하면서, 기존 산사태 위험지도에서 ‘위험 없음(5등급)’으로 분류된 지역에서조차 다수의 산사태가 발생하였다고 지적하였다(김동영, 2022). 이는 기존 위험등급 체계가 강우 특성을 충분히 반영하지 못하여 현실적 예측력이 부족하다는 사실을 보여주며, 강우의 강도·지속시간·선행강우량 등 동적 요인을 고려한 새로운 위험등급 산정 방식의 필요성을 제기하였다.

[표 4-1] 최근 국내 주요 산사태 피해 현황

연도 / 사건	주요 원인	피해 규모	비고
2011년 서울 우면산	시간당 100mm 호우	사망 16명, 주택·도로 붕괴	대표적 도시형 산사태
2020년 기록적 장마철	285~320mm 집중호우	피해면적, 1,300ha 이상, 복구비 3천억원	전국적 동시다발 발생

출처 : 산림청, 최근 국내 주요 산사태 피해 현황

[표 4-1]은 최근 발생한 국내 산사태 사례들은 이러한 문제를 단적으로 보여준다. 2020년 장마철에는 전북 장수, 전남 곡성, 경기 안성·가평 등에서 동시다발적인 산사태가 발생하였다. 하루 동안 285~320mm의 집중호우가 쏟아지면서 인명피해와 대규모 토지 훼손이 발생하였고, 피해 면적은 전국적으로 1,300ha를 초과하였다. 복구 비용은 3천억 원 이상으로 추산되었으며, 이는 지방자치단체 재정에 큰 부담을 주었다.

또한 2011년 서울 우면산 산사태는 시간당 100mm가 넘는 폭우가 유발하여 16명의 사망자를 발생시킨 대표적인 도시형 산사태 사례이다. 해당 사례는 인공사면 및 도시 근교 개발지에서 산사태가 발생할 수 있음을 입증하였고, 기후변화로 인한 국지성 호우가 도시와 농촌을 가리지 않고 재난을 촉발할 수 있음을 보여주었다.

산사태는 산불과의 연계성 측면에서도 중요한 복합재난적 성격을 지닌다. 산불 후 산사태 잠재적 위험도를 분석한 연구에서, 산불로 인해 표토가 고온에 노출될 경우 토양의 유기물이 소실되고 수리전도도가 감소하여 강우 침투

가 제한된다고 설명하였다(이동근 외, 2019). 이로 인해 산불 피해지에서는 비가 내릴 경우 짧은 시간이나 적은 강우량에도 사면 붕괴가 쉽게 발생하는 특성이 확인되었다.

실제 강원도 지역을 대상으로 한 실증 분석에서도 산불 피해 이력이 있는 지역에서 산사태 발생 비율이 약 40%로 나타나, 산불 피해가 없는 지역의 25%와 비교해 현저히 높았다. 이러한 연구 결과는 산불 이후 산사태가 발생할 가능성이 구조적으로 증가함을 뒷받침하며, 산림재난 관리에서 두 재난의 연계성을 반드시 고려해야 함을 시사한다.

산사태 피해는 단순히 토사의 유실에 그치지 않고 사회·경제 전반에 걸쳐 광범위한 파급 효과를 가져온다.

2020년 장마철 산사태로 인한 피해 복구 비용만 3천억 원 이상으로 집계되었고, 이는 단기간의 직접적 피해에 불과하다. 피해 지역에서는 주민 재정착 지연, 농업 기반 훼손, 관광 자원 붕괴, 하천 탁수 발생으로 인한 수질오염 등 다양한 2차 피해가 발생하였다.

특히 산불 피해지역에서 연이어 산사태가 발생하는 경우, 생태계 회복 지연과 지역사회 기반 붕괴가 동시에 나타나면서 복합재난의 성격이 더욱 뚜렷해진다.

이상의 사례와 분석을 종합하면, 국내 산사태 관리에는 몇 가지 중요한 시사점이 도출된다. 첫째, 기후변화 적응형 관리 체계가 필요하다. 강우의 불확실성이 증가함에 따라 기존의 정적 위험등급 체계는 한계를 드러내고 있으며, 강우 특성을 반영한 동적 위험지도가 개발되어야 한다.

둘째, 산불-산사태 연계성을 고려한 복합재난 관리가 필수적이다. 산불 피해 이후 토양의 수리전도도 저하와 식생 소실이 산사태 위험을 가속화하므로, 산불 복구 과정에서 산사태 예방 대책을 동시에 강구할 필요가 있다.

셋째, 정책적·제도적 보완이 요구된다. 산사태 위험지도의 개선, 기후변화 시나리오의 반영, 지역 맞춤형 대응 전략 수립 등을 통해 실효성 있는 산사태 관리 체계를 확립해야 한다.

넷째, 지역사회 기반 대응이 강화되어야 한다. 우면산 산사태 사례에서 보듯 도시형 산사태, 농촌 산사태 등 다양한 발생 유형에 따라 지역 특성에 맞는 대응전략이 마련되어야 한다.

따라서 국내 산사태는 기후변화와 산불, 강우 특성이 복합적으로 작용하면서 발생하는 복합재난의 성격을 강하게 띠고 있으며, 향후 관리 전략은 기존의 단일재난 대응 방식에서 벗어나 기후 적응·복합재난 대응·지역사회 참여를 아우르는 통합적 접근이 필요하다.

4.1.3 병해충

국내 산림병해충은 기후변화, 산림 구조적 특성, 외래종 유입 등이 복합적으로 작용하면서 발생 양상이 점차 다양화·대형화되고 있다.

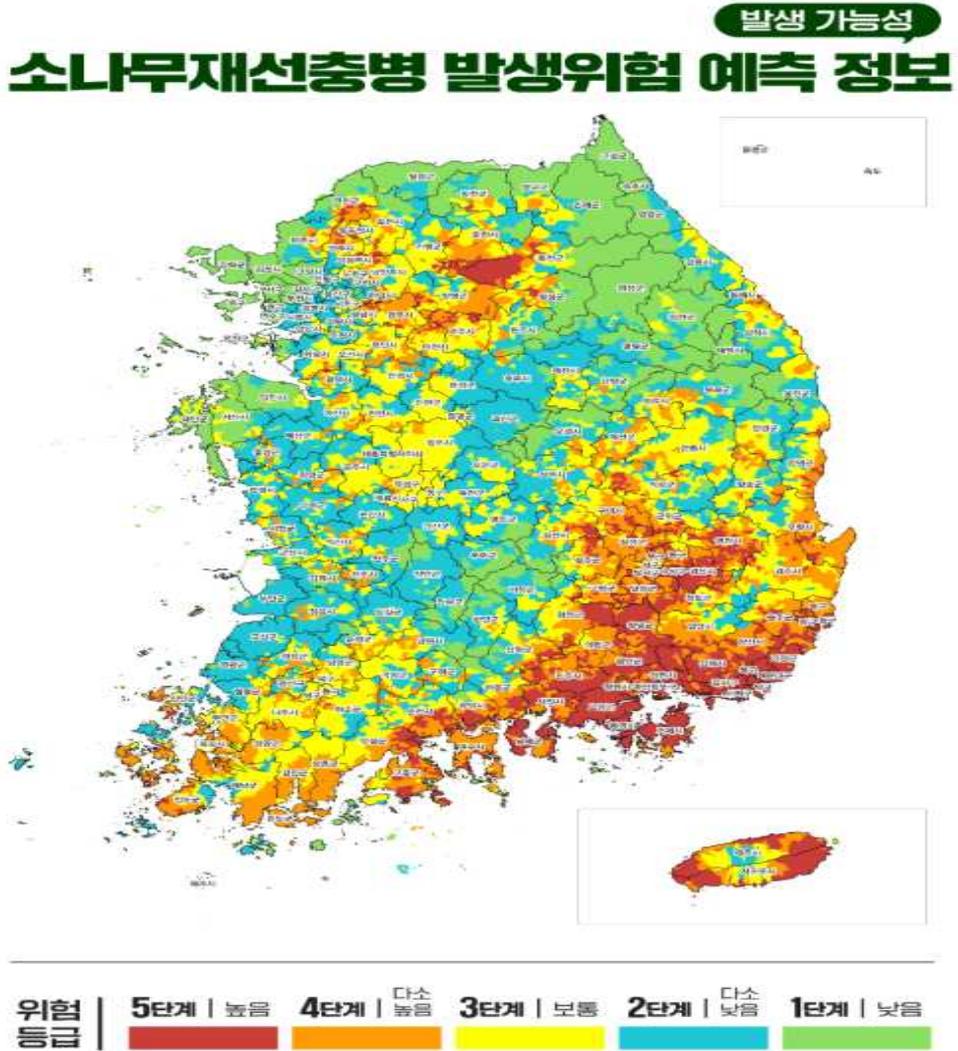
우리나라 산림은 국토의 약 63%를 차지하며, 이 중 침엽수 비율이 높아 소나무류를 가해하는 병해충의 피해가 두드러지게 나타난다. 대표적으로 소나무재선충병, 솔잎혹파리, 솔껍질깍지벌레, 참나무시들음병 등이 집중 관리 대상으로 분류되며, 이들은 산림생태계와 경제적 기반에 심각한 영향을 미쳐 산불·산사태와 함께 산림재난의 3대 축을 형성하고 있다.

소나무재선충병은 1988년 부산 금정산에서 처음 발생한 이후 전국적으로 확산되면서 우리나라 산림 병해충 관리의 핵심 과제로 자리잡았다. 소나무재선충은 매개충인 솔수염하늘소를 통해 전파되며, 일단 수체에 침입하면 감염률은 100% 고사하는 특성을 가진다.

2000년대 들어 경남·울산·경북·전남 등으로 확산되면서 피해 본수가 급증하였고, 이에 따라 2005년 「소나무재선충병 방제특별법」이 제정되어 국가차원의 관리가 본격화되었다.

방제 방식은 감염목의 벌채·소각, 훈증, 나무주사, 유인트랩 설치 등 물리·화학적 방법이 병행되었고, 최근에는 드론과 위성영상 기반 예찰, 매개충 발생 예측모델, 현장진단키트 등 과학적 기술이 도입되었다. 그 결과 2021년 기준 피해 본수는 약 31만 본 수준으로 관리되고 있으며 신규 확산 지역은 감소세를 보이고 있으나, 여전히 남해안 도서지역과 일부 경북 내륙에서는 발생 건수가 지속되고 있어 완전한 박멸은 어려운 실정이다.

[그림 4-2] 소나무재선충병 발생 위험 예측 정보



출처 : 산림청, 소나무재선충병 발생 위험 예측 정보

최근에는 GIS 기반의 예측·경보 체계가 마련되어 소나무재선충병 발생 가능성을 사전에 파악할 수 있다.

[그림 4-2]는 산림청이 제공하는 발생위험 예측 정보로, 전국을 행정동·리 단위로 구분하여 발생 가능성을 5단계로 제시한 자료이다. 특히 경북·경남, 강원 동해안, 제주 지역은 발생 위험이 높게 나타나고 있으며, 이를 통해 지

방자치단체는 피해 확산 전에 선제적 방제를 실시할 수 있다.

솔잎혹파리는 소나무류 새순을 가해하여 수세를 약화시키는 대표적 해충으로, 1990년대 이후 전국적으로 확산되었으나 2010년대 이후 집중 방제를 통해 발생 면적이 감소하였다. 피해 극심지에 대한 집약적 벌채와 슈아베기, 그리고 천적을 활용한 생물학적 방제인 솔잎혹파리먹좀벌 방사가 적극적으로 이루어졌다. 그 결과 2019년 발생 면적은 3만 3천 ha로, 2010년 대비 약 29% 수준으로 줄어들며 친환경 방제의 효과를 입증하였다.

솔껍질깍지벌레는 주로 해송림에 피해를 주며 해안선을 따라 급속히 확산되었는데, 피해 지역에서는 나무주사와 유인트랩, 약제 살포가 실시되었고 국립공원과 문화재 지역 등 주요 산림자원에 대해서는 집중 관리가 이루어졌다. 그 결과 2019년 발생 면적은 6천 ha 수준으로 줄어들며 2010년 대비 약 27% 수준으로 감소하였다.

참나무시들음병은 매개충에 의해 확산되며 참나무류의 집단 고사를 유발하는 병해로, 2000년대 이후 급속히 확산되었다. 그러나 최근에는 끈끈이 롤트랩 설치, 고사목 벌채·훈증, 매개충 대량포획 등이 실시되며 피해 본수가 감소하였다.

2019년 피해 본수는 약 15만 8천 본으로 2010년 대비 13% 줄어든 것으로 집계되었다. 다만 여름철 폭염과 겨울철 이상고온이 반복되면서 매개충의 월동 생존율이 높아져 장기적 확산 가능성은 여전히 존재한다.

최근에는 기후변화로 인한 신종·외래 병해충의 위협도 커지고 있다. 겨울철 이상고온과 여름철 폭염, 국지성 가뭄이 반복되면서 병해충의 발생 빈도와 확산 속도는 더욱 빨라지고 있으며, 국립산림과학원 조사에 따르면 연평균 10만 ha 이상의 면적에서 산림병해충이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 기존 방제 체계의 한계를 보여주는 것으로, 새로운 외래 해충에 대한 예측·조기경보 시스템 구축이 필요하다는 점을 시사한다.

우리나라의 산림병해충 관리정책은 「산림보호법」과 「소나무재선충병 방제특별법」을 근거로 중앙정부와 지방정부가 협력하는 다층적 체계로 운영되고 있다. 예찰방제단 운영, 공동방제의 날 시행, 농림축산식품부·환경부·지자체와의 협업 등은 병해충 확산 방지에서 일정한 성과를 거두었다. 그러나

여전히 재선충병의 완전 박멸 미달성, 외래 해충 대응 체계의 미비, 기후변화에 대응할 수 있는 방제기술 부족 등이 한계로 지적된다.

종합하면, 국내 산림병해충은 기후변화 시대에 산불·산사태와 함께 복합재난으로 작용하며 산림생태계와 지역사회의 지속가능성을 위협하고 있다. 향후 대응 전략은 예측·경보 기반의 과학적 방제 강화, 친환경·생물학적 방제 확대, 지역사회 참여형 관리, 국제적 협력 강화 등을 중심으로 마련되어야 할 것이다.

4.2 해외

4.2.1 산불

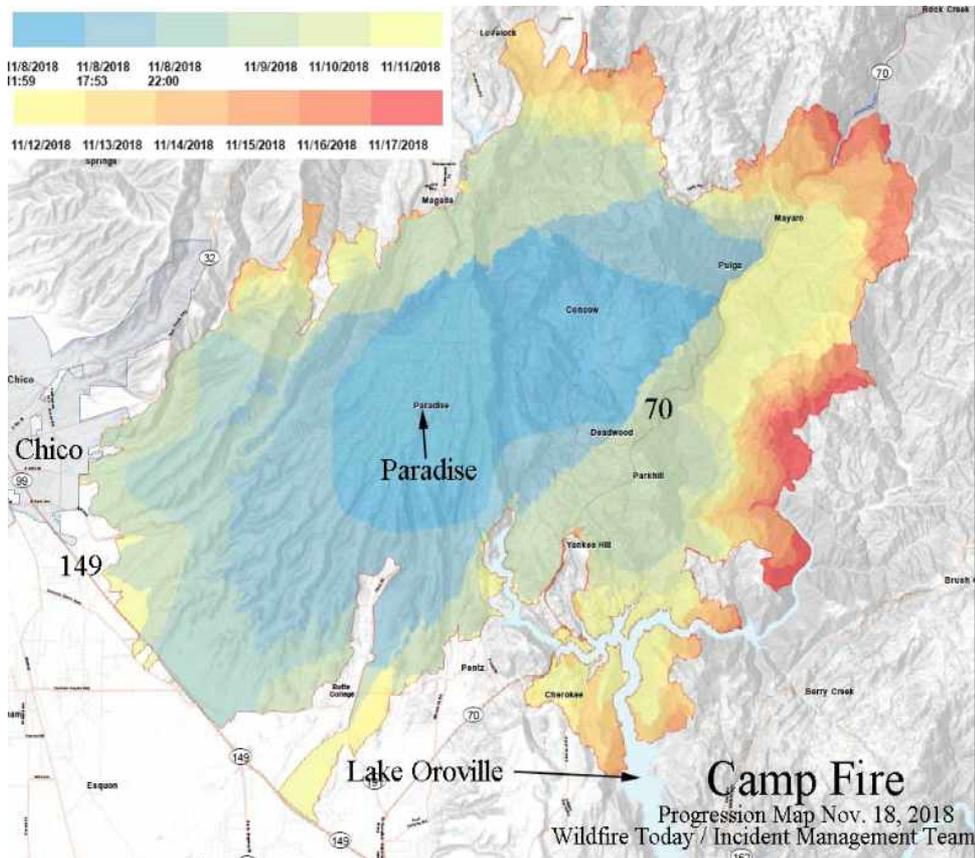
해외의 산불 사례는 기후변화 심화와 기후변동성, 그리고 각국의 사회·경제적 조건이 맞물리면서 대형화·장기화되는 특징을 보여준다.

미국·호주·캐나다와 같은 대륙형 국가에서는 수백만 헥타르 규모의 산불이 반복적으로 발생하며, 피해가 국경을 넘어 초국가적으로 확산된다. 반면 유럽 알프스 산악권 국가는 산불 자체의 규모는 상대적으로 작으나, 산불을 산사태·눈사태와 연계한 복합재난으로 인식하며 대응 체계를 발전시켜왔다. 이러한 사례들은 우리나라 산불 관리 정책에 있어 중요한 비교·분석의 근거를 제공한다.

미국 서부, 특히 캘리포니아 지역은 세계적으로 대표적인 산불 다발 지역이다.

1983년부터 2020년까지 미국 서부 지역은 평균 기온 상승과 강수량 감소로 토양 건조도가 점차 심화되었으며, 이로 인해 산불 발생 가능성이 구조적으로 확대되었다(김정연, 2023). 실제 분석 결과, 2001년부터 2010년까지의 기간과 2011년부터 2020년까지의 기간을 비교했을 때, 산불 발생 건수는 서부 전역에서 약 37% 증가하였고, 특히 캘리포니아 지역에서는 45% 증가한 것으로 나타났다. 이는 장기적인 기후 조건 변화가 산불 발생 빈도를 실질적으로 끌어올렸음을 보여준다.

[그림 4-3] 2018년 미국 캘리포니아 “Camp Fire” 피해지역



출처 : Wildfire Today “Progression map of the Camp Fire”

대표적인 사례로 2018년 캠프 파이어(Camp Fire)는 단일 산불로 85명의 사망자와 1만 8천여 채의 건물 소실을 초래하였다. [그림 4-3]은 Camp Fire 발화 이후 확산 경로와 피해 지역을 시각화한 지도로, 초대형 산불이 어떻게 도시 지역을 직접 위협했는지를 명확히 보여준다.

2020년에는 “August Complex Fire”가 100만 ha 이상을 태워 미국 역사상 최대 규모 산불로 기록되었다. 이처럼 초대형 산불은 인명·재산 피해뿐 아니라 대기질 악화까지 동반하였다. 위성 분석과 기후화학 모델링 결과, 산불 기간 동안 대기 중 일산화탄소(CO) 농도는 평상시 대비 수백 ppbv 이상 증가했으며, 오존(O₃) 농도 또한 10~15% 높아져 대기오염 문제가 심화된 것으로 나타났다.

또한 엘니뇨·라니냐와 같은 대규모 기후 변동(ENSO)과 산불 발생 간의 연계성도 확인되었는데, 북서부 지역은 엘니뇨 시기에, 남서부 지역은 라니냐 시기에 산불이 증가하는 경향을 보였다. 이는 산불 발생이 단순히 국지적 현상이 아니라 지구적 기후 변동과 긴밀히 연결된 복합재난임을 시사한다. 미국은 이러한 경험을 바탕으로 드론·위성 기반 모니터링, AI 예측 모델, 긴급 대피 정보 시스템, 보험 및 복구 제도 강화 등 다층적인 대응 체계를 마련하였다.

호주는 2019~2020년에 발생한 ‘블랙 서머(Black Summer)’ 산불로 세계적 주목을 받았다. 당시 폭염과 장기 가뭄이 겹치면서 산불 피해 면적은 약 1,860만 ha에 달했고, 수억 마리의 야생동물이 폐사하였으며 수천 채의 주택이 전소되었다. 산불로 인한 대기오염은 시드니·멜버른 등 대도시에까지 영향을 주어 공기질 지수가 위험 수준을 기록했다. 대응 과정에서는 위성 모니터링이 피해 확산을 실시간으로 추적하였고, 지역사회 자원봉사 소방조직인 Rural Fire Service(RFS)가 현장 대응의 핵심적 역할을 수행하였다. 그러나 피해 규모가 워낙 광범위해 단순한 소방 대응만으로는 한계가 뚜렷하게 드러났으며, 기후변화 적응 전략과 국가 차원의 장기 복구 정책 필요성이 제기되었다.

캐나다도 2023년 기록적 산불로 피해 면적이 1,800만 ha를 넘어서며, 북반구 온대 지역에서도 초대형 산불 위험이 현실화되고 있음을 보여주었다. 대륙적 기후 특성과 건조한 여름 기후 조건이 맞물리면서 대형 산불이 확산되었고, 그 영향은 캐나다 국내에 그치지 않고 미국 동부와 유럽까지 미세먼지와 연기를 확산시켜 초국경적 피해를 유발하였다. 대응 과정에서 원주민들의 전통 화전(火田) 관리 지식을 재해석하여 예방적 소규모 화재를 활용하는 실험이 이루어졌으며, 미국·호주·남아프리카공화국 등 국제 소방대의 지원을 받는 등 국제적 협력이 본격화되었다. 이는 산불 관리가 더 이상 단일 국가의 역량에 의존할 수 없음을 잘 보여준다.

유럽 알프스 산악권 국가인 스위스·오스트리아·이탈리아 북부는 산불 자체의 규모는 제한적이지만, 산불을 산사태·눈사태 등과 연계된 복합재난으로 관리하는 체계를 구축하고 있다. 스위스의 WSL 연구소는 산불·산사태 위험지도를 제작해 통합 관리하고 있으며, 오스트리아는 지방정부와 주민이 함께 참여하는 통합위험관리체계를 운영한다.

이탈리아 북부는 EU 기후적응 정책과 연계하여 드론·위성·센서를 활용한 산불 모니터링과 조기경보 체계를 발전시키고 있다. 이들 국가는 산불을 단순한 화재가 아니라 기후변화 시대의 복합재난으로 인식하고 제도화된 관리 전략을 운영한다는 점에서 특징적이다.

종합하면, 해외 산불 사례는 기후변화로 인한 산불 대형화·장기화, 피해의 초국가적 확산, 첨단기술과 지역사회 기반 대응의 필요성, 복합재난 관리로의 확장 등 중요한 시사점을 제공한다.

미국은 기후변화와 ENSO 등 기후 변동이 산불 위험을 증폭시키는 메커니즘을 실증적으로 보여주었으며, 호주와 캐나다는 초대형 산불의 사회·경제·생태적 피해와 국제적 협력 필요성을 부각시켰다.

유럽 알프스 국가는 산불을 복합재난의 하나로 포괄적으로 관리하는 선진적 접근을 보여주었다.

[표 4-2] 해외 주요 산불 사례 비교

국가/지역	주요 사건	피해 규모	원인 요인	대응 특징
미국	2018 Camp Fire, 2020 August Complex Fire	건물 1만 8천 채 소실, 피해 면적 100만 ha 이상	기온 상승, 강수량 감소, ENSO 영향, 강풍	드론·위성 모니터링, AI 예측모델, 대피 정보 시스템, 보험·복구 제도
호주	2019-2020 Black Summer	피해 면적 1,860만 ha, 주택 수천 채 소실, 야생동물 수억 마리 폐사	폭염·가뭄	위성 모니터링, 지역 소방봉사조직(RFS) 대응, 국가 차원 복구 논의
캐나다	2023 대형 산불	피해 면적 1,800만 ha 이상, 연기·미세먼지 북미·유럽 확산	건조한 여름, 대륙성 기후	원주민 화전 관리 지식 활용, 국제 소방 협력
유럽 알프스 (스위스·오스트리아·이탈리아·아부부)	산불-산사태-눈사태 복합재난	대규모 피해 사례 제한적	고산지대 기후, 국지적 산불	위험지도(WSL), 지방정부·주민 참여형 관리, EU 기후 적응 정책 연계

출처 : Wildfire Today “Progression map of the Camp Fire”, 김정연(2023), 미국 서부 지역의 산불과 대류권 오존의 변화에 대한 연구, WSL 오스트리아 지방정부 보고서 재구성

[표 4-2]는 미국, 호주, 캐나다, 유럽 알프스 산악권의 대표적 해외 산불 사례를 비교한 것이다.

국가별 산불의 원인과 피해 양상, 대응 체계는 상이하지만, 공통적으로 기후 변화에 따른 건조·폭염·강풍이 주요 배경으로 작용하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 첨단기술 활용과 지역사회·국제사회의 협력이 대응 과정에서 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

4.2.2 산사태

해외 선진국들은 기후변화와 복합재난에 대응하기 위해 산사태 관리 체계

를 제도화·과학화해왔다.

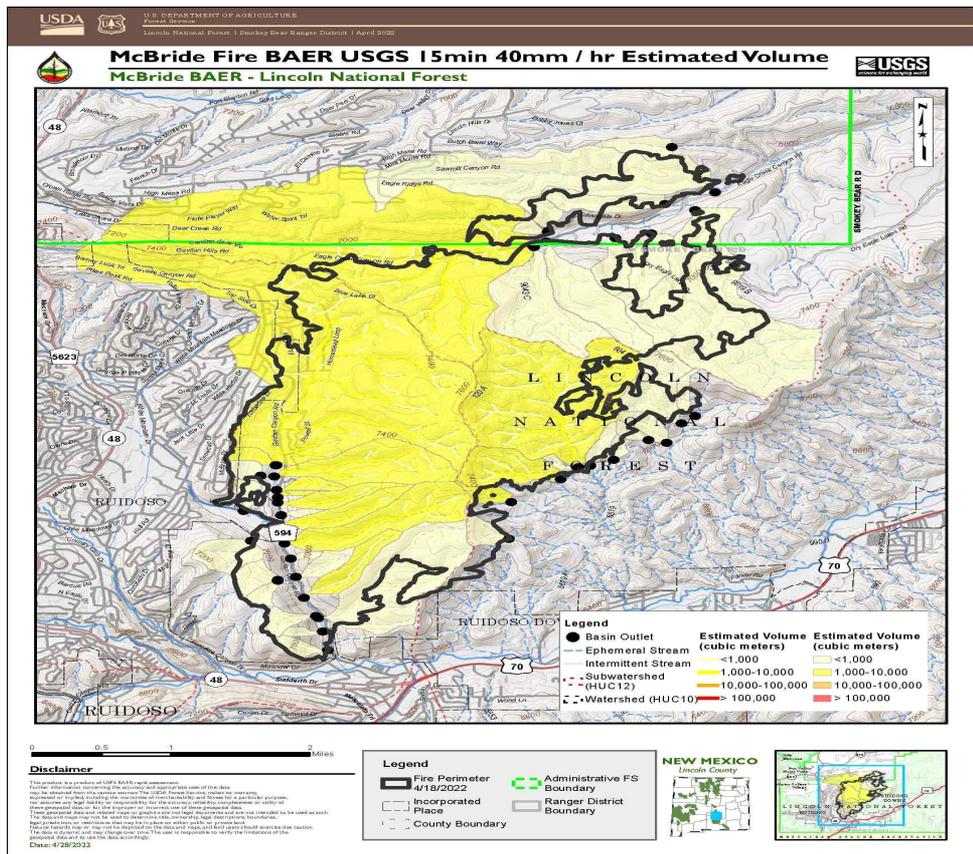
해외 산사태 사례는 지형적 특성, 기후변화, 산불과의 연계, 인위적 요인 등이 복합적으로 작용하여 발생하며, 국가별 대응 전략은 지역의 자연·사회적 조건에 따라 차별적으로 발전해왔다.

미국 서부, 알프스 산악권, 이탈리아, 일본 등은 산사태 다발 지역으로서, 연구와 제도적 관리가 꾸준히 축적되어 있다.

특히 최근에는 산불 이후 집중호우가 겹치면서 발생하는 복합재난형 산사태(post-fire debris flow), 기후변화로 인한 단기간 집중호우, 도시개발과 맞물린 인명피해 증가 등 새로운 양상이 부각되고 있다.

미국 서부 지역은 산불 이후 산사태 발생이 빈번하게 나타나는 대표적인 사례로 꼽힌다.

[그림 4-4] 미국 서부 산불 피해지 산사태 발생 가능성 예측 지도



출처 : USGS “McBride Post-Fire Debris-Flow Hazard Map”

[그림 4-4]는 미국 오리건주 McBride 화재 피해를 대상으로 작성된 산불 후 산사태(토석류) 발생 위험도 지도이다.

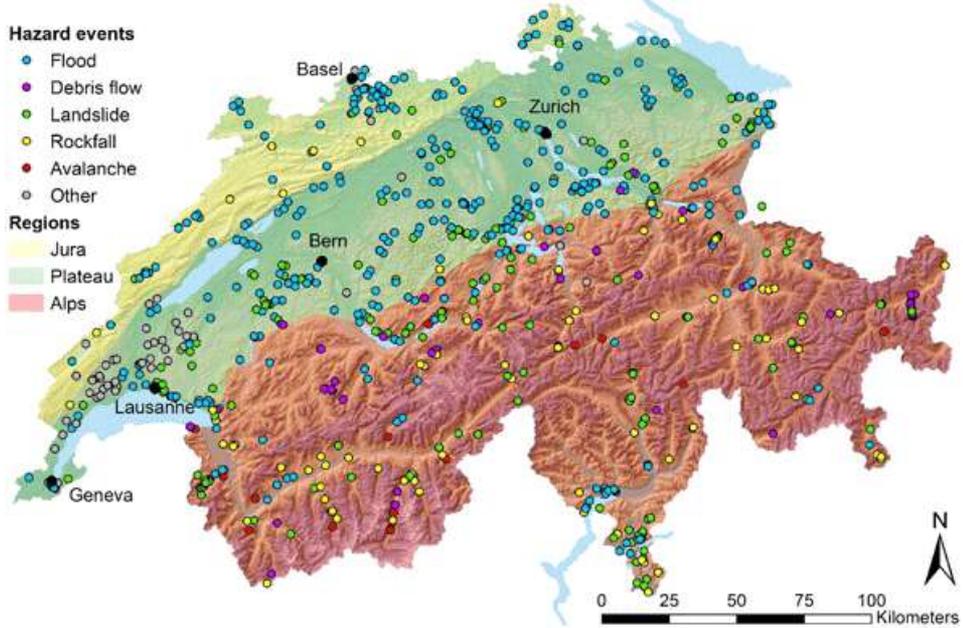
사면 경사, 토양 깊이, 강우량 등을 종합적으로 고려하여 위험도가 높은 지역을 색상으로 구분하고 있으며, 이를 통해 산불 피해지에서 집중호우 시 토석류 발생 가능성이 높은 구간을 직관적으로 파악할 수 있다. 특히 서부 산불 피해 지역을 대상으로 강우 강도와 지속시간 임계값을 예측하는 공간적으로 구체화된 모델(spatially explicit model)을 개발하였다(Staley 외, 2017).

이 연구는 전통적으로 경험적 통계에 의존하던 방식에서 벗어나 실제 지형 조건과 강우 특성을 반영함으로써 산사태 발생 가능성을 보다 높은 정확도로 제시하였다. 분석 결과, 15분 동안 10mm 이상의 강우가 발생하거나 30분 동안 15mm 이상의 집중호우가 내릴 경우 산불 피해 사면에서 토석류 발생 위험이 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 기존 위험지도에 반영되지 못했던 산불 후 단기 재난의 특성을 실증적으로 뒷받침하는 결과로 평가된다.

미국 캘리포니아에서는 2018년 Camp Fire 직후 강우가 내리면서 대규모 토석류가 발생해 추가 인명피해가 발생한 사례가 보고되었다. 이는 대형 산불 직후 발생하는 집중호우가 단순한 2차 피해를 넘어, 산불 피해지 주민의 재정착과 복구를 크게 지연시키는 복합재난임을 보여준다. 이러한 경험을 바탕으로, 미국 지질조사국(USGS)은 Post-Wildfire Debris Flow Hazard Assessment 체계를 구축하여 산불 직후 해당 지역의 강우량·토심·경사도를 반영한 위험지도를 제공하고 있다. 이 체계는 지방정부와 긴급구호 기관이 신속한 대피 및 복구 계획을 수립하는 데 중요한 근거가 된다.

유럽 알프스 산악권 국가들도 산사태 관리에서 선도적인 모델을 구축하고 있다. 스위스의 경우, 연방 산림·설·경관연구소(WSL)와 연방 환경청(FOEN)이 공동으로 산사태·눈사태 위험지도를 제작하여 법적·행정적 관리 도구로 활용한다.

[그림 4-5] 스위스 알프스 지역 산사태 위험지도



출처 : WSL “Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research”

[그림 4-5]는 알프스 산악 지역의 지형과 강우 조건을 반영하여 산사태 위험도를 색상으로 구분한 자료로, 건축 제한구역 설정과 같은 정책적 활용뿐 아니라 주민의 위험 인식 제고에도 활용된다. 특히 알프스 산악 지대는 빙하 용해, 극단적 강수, 지반 약화가 복합적으로 작용하여 산사태가 발생할 가능성이 높다. 스위스는 위험지도를 토대로 건축 제한구역을 설정하거나, 산사태 위험 지역에 방호벽·배수시설을 설치하여 예방적 조치를 취한다. 또한 위험지도는 주·지방정부뿐만 아니라 일반 국민에게도 공개되어 주민 스스로 위험을 인식하고 대비할 수 있도록 하고 있다.

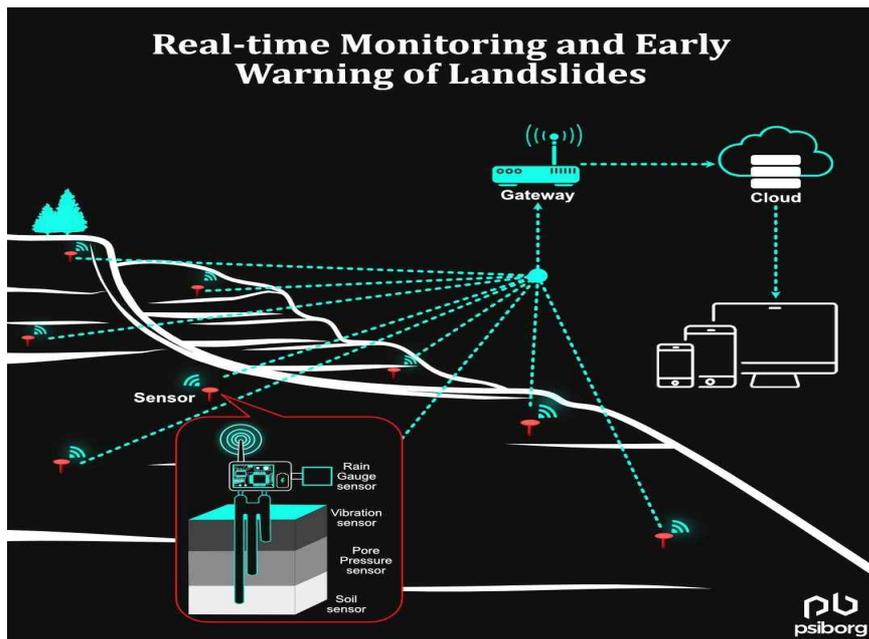
오스트리아와 이탈리아 북부 역시 산사태 관리에서 제도적 기반을 갖추고 있다. 이탈리아는 국가 차원의 IFFI 프로젝트(Inventory of Landslide Phenomena in Italy)를 통해 약 62만 건 이상의 산사태 발생 기록을 데이터베이스화하였다. 이 데이터는 기후변화 시나리오와 결합되어 산사태 취약지 예측, 토지이용계획, 복구사업 우선순위 결정 등에 활용된다.

2017년 리구리아 지방에서는 집중호우와 연속된 폭풍으로 수십 건의 산사

태가 발생했는데, IFFI 데이터베이스를 통해 위험지역이 사전에 식별됨으로써 인명피해를 최소화할 수 있었다. 이처럼 산사태를 체계적으로 기록하고 공개 데이터베이스화하는 제도적 장치는 우리나라에도 시사점이 크다.

일본 또한 산사태 관리의 대표적 사례를 제공한다. 일본은 국토의 70% 이상이 산지이며, 매년 태풍과 집중호우로 인해 대규모 산사태가 발생한다. 일본 국토교통성은 전국 산사태 위험지역을 지정하여 데이터베이스화하고, 위험 지역 내 개발행위를 제한하고 있다. 또한 조기경보시스템을 통해 주민 대피를 유도하며, 사면보강·배수시설 설치 등 구조적 대책을 병행하고 있다. 2018년 히로시마현에서 발생한 집중호우 산사태는 수백 명의 인명피해를 초래했지만, 이후 경보 체계와 대피 지침 강화로 피해 규모를 줄일 수 있었다.

[그림 4-6] 일본 실시간 산사태 모니터링 및 조기경보 시스템 구조도



출처 : Psiborg Technologies, “Real-time Monitoring and Early Warning of Landslides”

[그림 4-6]은 강우량계, 진동센서, 간극수압계, 토양센서 등 현장 센서에서 수집된 자료가 게이트웨이와 클라우드 서버를 통해 실시간 분석·전송되는 과정을 보여준다. 이러한 체계는 일본 국토교통성(MLIT)과 일본 기상청(JMA)이 운영하는 산사태 조기경보 시스템의 기술적 기반을 대표적으로 보여준다.

종합하면, 해외 산사태 사례는 기후변화 적응형 관리, 산불-산사태 연계

대응, 데이터베이스 기반 관리, 주민참여형 제도 운영이라는 네가지 핵심적인 특징을 보여준다.

4.2.3 병해충

해외 산림 병해충 관리의 특징은 기후변화, 외래종 유입, 생태계 구조의 불안정성이 맞물려 복합적 양상을 보인다는 점에서 국내 사례와 궤를 같이 한다. 그러나 각국은 고유의 생태·사회적 조건에 따라 방제 전략을 차별화해 왔으며, 특히 통합병해충관리(IPM: Integrated Pest Management)와 국가 차원의 위험분석(PRA: Pest Risk Analysis) 체계를 발전시켰다. 이는 기후변화 시대의 산림재난 관리에 있어 중요한 비교대상이 된다.

첫째, 통합병해충관리(IPM)의 지역 적응은 캐나다와 남미, 유럽 일부 국가에서 활발히 진행되고 있다. IPM이 단순히 방제 기술의 집합이 아니라 지역의 생태적·사회경제적 조건에 맞추어 조정되는 동적 전략임을 강조한다(Stastny 외, 2024). 예컨대 북미에서는 솔수염하늘소와 같은 침입 해충 관리에서 화학적 방제와 생물학적 방제가 병행되지만, 산림의 경제적 가치가 높은 지역에서는 화학적 개입이 상대적으로 강화되는 반면, 보호구역이나 생태적 민감지역에서는 생물학적 방제와 모니터링 강화가 중점적으로 이루어진다. 이처럼 동일한 해충이라도 지역의 우선순위, 예산, 주민 수용성에 따라 방제 방식이 달라지며, 이는 IPM이 획일적 접근이 아닌 지역 맞춤형 관리 전략임을 보여준다. 또한 기후변화로 인해 해충의 발생 주기와 확산 경로가 변화하면서, IPM 전략도 이에 적응해야 한다고 분석한다(Stastny 외, 2024). 예를 들어 온난화로 인해 과거 월동이 불가능했던 해충이 북상하면서, 새로운 지역에서의 모니터링 체계와 대응책이 필요하다는 것이다.

둘째, 외래종 침입에 대한 국가 차원의 위험분석(PRA)은 유럽에서 체계적으로 발전해왔다. 일본딱정벌레(*Popillia japonica*)의 프랑스 침입 사례를 분석하며, 국가 차원의 Pest Risk Analysis가 단순 예측을 넘어 실질적 대응 전략 수립의 핵심 도구로 작동했음을 보여준다(Poggi 외, 2022). 일본딱정벌레는 다식성 해충으로 300여 종의 식물을 가해할 수 있으며, 농업뿐만 아니라

산림 생태계에도 심각한 위협을 가한다. 프랑스 정부는 PRA를 통해 일본딱정벌레의 잠재적 확산 경로, 기후적 적합성, 피해 가능성을 평가하고, 이를 토대로 행정단위별로 방제 우선순위를 설정하였다. 특히 국경지역과 공항·항만 등 유입 가능성이 높은 지점을 집중 관리 대상으로 지정하여, 감시·포획·검역 절차를 강화하였다. 이러한 국가 차원의 위험분석은 새로운 외래종에 대한 선제적 대응의 모범사례라 할 수 있다.

셋째, 해외 사례는 주민 참여와 지역사회 기반 대응의 중요성을 강조한다. 캐나다와 미국 일부 지역에서는 원주민 공동체가 전통적 지식과 현대적 방제 기술을 접목해 외래 해충 대응에 기여하고 있다. 예컨대 전통적 화전(火田) 관리 경험은 특정 해충의 서식지를 줄이는 데 활용되었으며, 이는 생태적 수용성과 주민 참여도를 동시에 높이는 효과를 가져왔다. 유럽에서는 농업·임업 이해관계자들과 지방정부가 협력하여 감시 네트워크를 구축하고, 조기경보 시스템 운영을 주민 교육과 결합시킴으로써 확산 억제력을 강화하였다. 이러한 다층적 협력체계가 일본딱정벌레 침입의 확산 속도를 늦추는 데 실질적 효과가 있었다고 평가하였다(Poggi 외, 2022).

넷째, 정책·제도의 제도화 역시 중요한 특징이다. 북미와 유럽의 IPM이 단순히 연구·실험 단계에서 머무르지 않고, 법제화와 국가 전략으로 제도화됨으로써 지속성을 확보했다고 지적한다(Stastny 외, 2024). 예를 들어 캐나다 일부 주정부는 산림병해충 관리계획을 법적 의무 사항으로 규정하여, 민간 소유림과 공공림 모두에서 IPM을 적용하도록 하고 있다. 프랑스의 PRA 역시 법적 근거를 통해 시행되며, 농업·산림·환경 당국 간의 협업을 제도화하였다. 이는 우리나라의 소나무재선충병 특별법처럼 특정 해충 중심의 대응을 넘어, 범국가적 시스템으로 발전한 사례라 할 수 있다.

다섯째, 기후변화와 신종 해충 대응은 해외에서도 주요 과제로 떠오르고 있다. 북미·유럽에서 기후 온난화로 인해 수피딱정벌레류의 발생 주기가 짧아지고, 피해 범위가 확대되는 추세를 지적하였다. 또한 일본딱정벌레가 유럽 대륙에서 확산 가능성이 높아지는 배경으로 기후변화를 꼽으며, 이는 장기적인 방제정책에 새로운 도전이 되고 있음을 강조하였다(Stastny 외, 2024). 결국 해외 국가들은 기존 병해충 관리에서 나아가, 기후변화 시나리오를 통합한

예측모델과 조기경보 체계를 고도화하고 있다.

[표 4-3] 해외 산림 병해충 관리의 주요 특징

구분	주요 내용
통합병해충관리 (IPM) 지역 적응	지역의 생태·사회경제적 조건에 맞추어 조정되는 동적 전략. 경제적 가치가 높은 지역은 화학적 방제, 보호구역은 생물학적 방제 강화
국가 차원의 위험분석 (PRA)	외래종 침입 가능성 평가, 확산 경로·기후 적합성 분석 후 방제 우선순위 설정. 국경·항만 등 유입 가능성이 높은 지점 집중 관리
주민 참여 및 지역사회 기반 대응	원주민 전통지식과 현대 방제기술 결합, 주민 교육·조기경보 네트워크 운영을 통해 확산 억제 효과 강화
정책·제도적 제도화	연구·실험 단계를 넘어 법제화 및 국가 전략으로 제도화. 산림병해충 관리계획 의무화, 범부처 협업체계 운영
기후변화·신종 해충 대응	기후 온난화로 수피딱정벌레류 확산, 일본딱정벌레의 유럽 확산 가능성 증가. 기후 시나리오를 반영한 예측·경보 체계 고도화

출처 : Stastny 외(2024), Poggi 외(2022) 재구성

종합하면, [표 4-3]은 해외 산림병해충 관리의 주요 특징을 정리한 것이다. 표에서 보듯, 해외 사례는 단순한 병해충 방제를 넘어 지역 맞춤형 전략, 국가 차원의 체계적 분석, 주민과 공동체의 참여, 제도적 기반 마련, 기후변화 대응이라는 다섯 가지 측면에서 차별화된 접근을 보여준다. 특히 통합병해충관리(IPM)는 동일한 해충이라도 지역의 경제적 가치, 생태적 민감도, 주민 수용성에 따라 다른 방식으로 적용됨을 보여주며, 이는 획일적 방제 방식의 한계를 보완하는 중요한 시사점을 제공한다. 또한 Pest Risk Analysis(PRA)는 외래종 유입 가능성을 조기에 평가하고, 행정적·제도적 대응으로 연결함으로써 피해를 최소화하는 핵심 도구로 기능한다.

이는 병해충 관리가 단순한 방제 차원을 넘어, 예측-예방-대응-회복을 아우르는 통합적 체계로 진화하고 있음을 보여준다.

4.3 분석 결과

국내외 사례를 종합적으로 살펴본 결과, 산림재난은 단순히 개별적인 환경 문제를 넘어 기후변화 시대의 복합적·구조적 재난임이 확인되었다.

국내 사례에서는 산불·산사태·병해충이 각각 독립적 요인으로 발생하는 동시에, 상호 간의 연계성을 통해 연쇄적 피해로 확대되는 특성이 뚜렷하게 나타났다.

예컨대 대형 산불은 주민 생계와 지역 경제를 위협할 뿐만 아니라, 이후 발생하는 산사태와 병해충 확산의 촉매로 작용하였다. 반면 해외 선진국의 사례에서는 복합재난 인식에 기반한 제도적 관리와 과학기술적 대응 체계가 강조되었다.

이는 우리나라의 산림재난 관리 체계를 고도화하기 위해 반드시 참고해야 할 중요한 교훈을 제공한다.

첫째, 복합재난 인식과 통합 관리의 필요성이다. 국내 사례에서 확인되었듯, 산불 피해지에서의 산사태 발생률 증가는 개별 재난 대응의 한계를 보여준다. 산불·산사태·병해충은 서로 별개의 현상이 아니라 시간적·공간적으로 연속된 과정(cascading process)임을 고려해야 한다. 해외 사례에서도 알프스 지역이 산불·산사태·눈사태를 하나의 복합재난으로 관리하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 국내에서도 산불, 산사태, 병해충을 통합적으로 인식하고, 대응 단계별 연계 매뉴얼을 구축하는 것이 필요하다.

둘째, 기후변화 적응형 관리체계 구축이다. 국내외 사례는 모두 기후변화가 산림재난의 근본적 배경임을 입증하였다. 국내의 봄철 대형 산불, 여름철 집중호우에 따른 산사태, 겨울철 이상고온으로 인한 병해충 확산은 기후 패턴 변화와 밀접히 연결되어 있다. 해외에서는 기후데이터 기반의 예측모델과 시나리오를 통합하여 관리 체계를 고도화하고 있다. 미국은 ENSO(엘니뇨·라니냐)와 산불 발생 간의 상관관계를 분석해 위험도를 산정하고 있으며, 유럽은 산사태 위험지도 작성 시 기후변화 시나리오를 반영하고 있다. 따라서 우리나라도 기존의 정적 위험지도에서 벗어나, 기후변화 동향을 반영한 동적 위험평가 및 적응형 대응 전략을 마련해야 한다.

셋째, 첨단기술 기반의 예측·경보 강화이다. 해외 사례에서 확인된 주요

특징은 위성·드론·AI 모델을 활용한 조기경보 체계였다. 미국은 위성자료와 AI 기반 산불 예측모델을 운영하며, 일본은 실시간 센서 네트워크로 산사태 위험을 조기 파악한다. 병해충의 경우 캐나다·유럽은 GIS와 예측모델을 접목해 발생 위험도를 시각화하고 있다. 반면 국내의 경우 아직도 방제 활동의 상당 부분이 인력 중심의 대응에 의존하고 있다. 따라서 산림청, 기상청, 지자체가 연계한 빅데이터·인공지능 기반 예측시스템을 구축하고, 현장 대응을 자동화·지능화하는 방향으로 정책을 전환할 필요가 있다.

넷째, 주민 참여와 지역사회 기반 대응 강화이다. 국내 사례에서 산불·산사태 피해는 주민의 대피 지연이나 지역사회의 대응 역량 부족으로 피해가 확대된 경우가 많았다. 반면 해외에서는 지역사회 기반 대응이 중요한 특징으로 나타났다. 호주의 RFS(자원봉사 소방조직), 캐나다 원주민 공동체의 전통지식 활용, 유럽 알프스 지역의 주민 참여형 관리체계는 대표적인 사례이다. 이는 재난 관리가 단순히 정부 주도의 하향식 체계에 머물러서는 한계가 있음을 보여준다. 우리나라에서도 마을 단위의 산림재난 대응 교육, 주민 주도의 예찰활동, 공동방제의 날 운영 등을 제도적으로 강화할 필요가 있다.

다섯째, 정책·제도적 기반의 고도화이다. 해외 국가들은 산림재난 관리 전략을 단순한 연구·실험 단계에 머무르지 않고, 법제화와 국가 전략으로 제도화하였다. 프랑스의 PRA(위험분석) 제도, 캐나다 주정부의 IPM 법적 의무화, 스위스의 위험지도 법적 활용 등은 대표적 사례다. 반면 국내는 아직 특정 해충에 대한 특별법 제정이나 일시적 대응이 중심이며, 종합적·통합적 법제도는 미흡하다. 따라서 우리나라도 산림재난 전반을 아우르는 「산림재난관리기본법」 제정을 통해 산불·산사태·병해충을 포괄하는 법적 기반을 마련할 필요가 있다.

여섯째, 국제적 협력의 중요성이다. 해외 사례에서 드러난 또 하나의 공통점은 초국경적 피해와 이에 대응한 국제 협력이다. 캐나다 산불은 북미·유럽까지 영향을 미쳤고, 국제 소방 협력이 이루어졌다. 병해충의 경우 일본딱정벌레는 국경을 넘어 확산되며 유럽 전체에 위협을 가했다. 따라서 산림재난은 단일 국가 차원의 대응만으로는 한계가 있으며, 국제 협력과 정보 공유가 필수적이다. 우리나라도 동북아시아 산림협력체, 국제기구와의 공동 모니터링 및 연구를 확대해야 한다.

종합하면, 국내외 사례 비교를 통해 도출된 시사점은 다음과 같다.

첫째, 산불·산사태·병해충을 독립적 사건이 아닌 복합재난으로 인식하고 통합 관리해야 한다. 둘째, 기후변화 적응형 관리체계를 강화해야 한다. 셋째, 첨단기술 기반의 예측·경보 시스템을 고도화해야 한다. 넷째, 주민 참여와 지역사회 기반 대응을 제도적으로 확립해야 한다. 다섯째, 법제화·제도화를 통해 정책적 지속성을 보장해야 한다. 여섯째, 국제적 협력을 확대해야 한다.

이와 같은 시사점은 산림재난을 단순한 환경 문제가 아닌 사회·경제·생태 전반에 영향을 미치는 복합재난으로 인식하게 하며 체계적이고 지속가능한 관리 전략을 마련하는 데 중요한 토대를 제공한다.

V. 산림재난 예방을 위한 개선방안

앞선 이론적 고찰을 통해 확인했듯이, 기후변화는 산불·산사태·병해충 등 산림재난의 빈도와 강도를 높이는 핵심 요인으로 작용하며, 이들 재난은 단일하게 발생하지 않고 복합적·연쇄적으로 확대되는 경향을 보인다.

기존 선행연구들은 이러한 특성을 분석하면서도 여전히 사후 대응과 복구 중심의 접근이 주를 이루고 있어, 예방적 관점에서의 실질적 전략은 상대적으로 미흡한 실정이다. 이는 현대 산림재난 관리에서 가장 근본적인 한계로 지적될 수 있다.

조직현황 분석 결과, 우리나라의 산림재난 대응 체계는 산림청, 국립산림과학원, 지자체, 소방 등 여러 기관이 참여하고 있음에도 불구하고, 각 기관별 역할이 분절적이고 사후 대응에 치중되어 있다는 점이 드러났다. 특히 부처 간 정보 공유의 부족, 지휘 체계의 복잡성, 현장 대응력의 불균형은 대형 재난 상황에서 효과적인 예방과 초기 진화를 제약하는 주요 요인으로 작용한다. 이러한 구조적 한계는 재난의 피해 규모를 확대시키고, 복구 비용과 시간을 가중시키는 결과를 초래하고 있다.

국내외 사례분석을 통해 확인된 차이 또한 의미가 크다. 해외에서는 인공지능 기반 예측 시스템, 위성·드론을 활용한 실시간 감시, 민관 협력형 조기경보 체계 등 기술·정책·사회적 요소가 긴밀히 결합된 예방 중심 전략이 운영되고 있었다.

미국과 호주는 기후 데이터와 첨단 감시체계를 연계하여 조기 탐지를 실현하고, 캐나다는 국가 차원의 정책 지원과 주민 참여를 결합하여 예방 효과를 높이고 있다. 반면 우리나라는 첨단 기술의 도입은 빠르게 이루어지고 있으나, 이를 안정적으로 뒷받침할 제도적 기반과 주민 수용성은 여전히 부족하여 성과의 지속 가능성이 낮다는 한계를 보였다. 이상의 분석 결과는 산림재난 관리에서 단편적 대응이 아니라, 기술·정책·사회적 측면이 상호 보완적으로 작동하는 통합적 전략이 필요함을 분명히 시사한다.

기술은 예측과 감시 능력을 강화하지만, 정책적 지원과 법·제도적 기반 속

에서만 안정적으로 정착할 수 있다. 정책은 사회적 신뢰와 주민 참여가 확보 될 때 실질적인 효과를 발휘하며, 사회적 전략은 기술과 정책을 현장에 연계 시키는 매개 역할을 한다.

따라서 지금까지의 이론적 고찰, 조직 분석, 사례 검토를 종합하여, 산림 재난 예방을 위한 기술적, 정책적, 사회적 개선방안을 제시한다.

이는 개별적 개선방안이 아닌 상호 연계된 다층적 체계로서, 기후위기 시대의 산림재난을 효과적으로 예방하기 위한 실질적 대안을 제공할 것이다.

5.1 기술적 개선방안

현재 우리나라의 산림재난 기술 대응체계는 첨단 장비의 도입에도 불구하고 여러 한계를 지닌다.

첫째, 산림청·기상청·국립산림과학원 등 기관별로 관리되는 데이터가 분산 되어 있어, AI 예측모델의 정확도가 낮고 통합 분석이 어렵다.

둘째, 드론·위성·IoT 등 첨단기술이 시범적으로만 활용되고, 다중센서 융합이나 실시간 예측모델 등 고도화된 기술 적용은 미비하다.

셋째, 현장 인력의 기술 활용 능력 격차로 인해 첨단 장비의 운용 효율이 낮으며, 지방 단위 현장에서 기술 지원이 제한적이다.

이러한 문제들은 기술적 발전이 예방효과로 이어지지 못하게 하는 구조적 제약으로 작용하고 있다. 따라서 기술적 전략은 이러한 한계를 명확히 인식한 뒤, 데이터 통합·기술 융합·인력 역량 강화의 방향으로 추진되어야 한다.

산림재난은 기후변화, 인위적 요인, 산림 생태계의 구조적 취약성이 복합적으로 작용하면서 발생한다.

우리나라의 경우 최근 10년간 연평균 546건의 산불이 발생하였으며, 피해 면적은 4,003ha에 달한다(산림청, 2024). 산불은 고온·건조·강풍 조건에서 짧은 시간에 대규모로 확산되는 특성이 있어 초기 대응 실패 시 피해 규모가 기하급수적으로 증가한다. 또한 산불로 인한 식생의 소실은 사면 안정성을 약화시켜 산사태와 토석류 발생 위험을 높이며, 그 영향은 수년간 지속된다(이기환 외, 2022).

한편 병해충 피해 역시 기후변화와 직결된다. 소나무재선충병은 이상고온 조건에서 급속히 확산되고, 참나무시들음병은 강수 패턴의 변화와 맞물려 전국적으로 확산하는 양상을 보이고 있다.

이러한 피해는 장기간 누적되어 산림의 건전성과 생태적 복원력을 약화시키며, 나아가 탄소흡수원으로서의 기능까지 저하시킨다.

이처럼 산불·산사태·병해충은 개별적으로도 심각한 피해를 유발하지만, 상호 연계된 복합재난으로 확대될 경우 사회·경제·환경적 손실이 커진다. 따라서 단편적이고 사후적인 대응 체계로는 한계가 뚜렷하며, 이에 따라 AI, 드론, 위성, IoT 등 첨단 기술을 활용한 예방 중심의 기술적 전략이 필수적이다.

우리나라에서는 산림청과 국립산림과학원을 중심으로 산불, 산사태, 병해충 예방을 위한 다양한 기술적 대응 방안이 추진되고 있다.

산불 분야에서는 드론감시단 운영과 AI 기반 산불위험예보제가 대표적이며, 산사태 분야에서는 DEM(수치표고모델) 제작과 IoT 기반 센서 시범사업이 이루어지고 있다.

병해충 분야에서는 NDVI(정규화 식생지수) 분석을 활용한 원격탐사와 드론을 활용한 항공 방제가 도입되고 있다. 해외에서도 기술 기반의 대응은 핵심적이다.

호주는 Sentinel Hotspots 시스템을 통해 전국 단위 위성 기반 화재 감시 및 경고 체계를 구축하였다(Geoscience Australia, 2023).

미국은 NASA의 MODIS 및 VIIRS 위성을 활용해 산불 확산을 실시간으로 예측·모니터링한다(NASA, 2022).

일본은 산사태 조기경보를 위해 기상레이더와 강우량 네트워크를 통합 운영하며, 유럽 일부 국가는 생물학적 방제와 기후모델 기반 예측을 결합해 병해충 피해를 최소화하고 있다(European Forest Institute, 2021).

[표 5-1] 국내 산림재난 예방을 위한 기술 활용 현황

구분	주요 기술	운영 현황	특징
산불	드론 감시·진화	드론감시단 37개단(211명), 드론 진화대 시범운영	험준지·야간 산불 조기탐지 및 진화 지원
	AI·빅데이터	산불위험예보제 고도화	기상·기후데이터 기반 산불 위험지도 작성
산사태	위성·드론·DEM 분석	국립산림과학원 위험지도 제작	취약 사면 모니터링 및 예측
	IoT 기반 센서	일부 시범지 적용	토양수분·지반변위 실시간 측정
병해충	원격탐사(NDVI)	위성·드론 영상 활용	활력 저하 수목 탐지
	IoT+페로몬 트랩	시범 운영 단계	해충 밀도 자동 측정 및 데이터 전송
	드론 방제	항공 드론 방제 실시	광역적·효율적 방제 가능

출처 : 산림청(2024) 2024년 산불통계연보, 이기환 외(2022) 재구성.

[표 5-1] 은 국내 산림재난 예방을 위해 현재 적용되고 있는 주요 기술을 정리한 것이다.

산불 분야에서는 드론 감시와 진화대 운영, AI 기반 위험예보제가 점차 확산되고 있으나, 해외 사례와 비교했을 때 국가 차원의 통합적 경보체계는 아직 제한적이다.

호주의 Sentinel Hotspots가 전국 단위 위성 감시와 경보를 제공하는 것과 달리, 국내는 지역 단위 시범사업 수준에 머무르고 있다.

미국의 경우 위성자료와 AI 모델을 결합해 산불 확산을 실시간 예측하는데 비해, 국내는 기초 단계에 머물러 있다는 점도 주목할 필요가 있다.

산사태 예방 기술 역시 일부 시범 적용 단계에 머무르고 있다. 국내에서는 드론·위성 DEM 분석과 IoT 기반 지반 센서가 적용되고 있으나, 일본처럼 기상레이더와 강우량 네트워크를 연계한 종합적인 조기경보체계로 발전하지는 못했다.

병해충의 경우 NDVI 분석과 드론 방제가 도입되고 있으나, 유럽과 같이 생물학적 방제와 기후모델을 접목하는 연구는 아직 미흡하다(European

Forest Institute, 2021). 따라서 표 5-1은 국내 현황을 종합하는 동시에 해외 사례와의 비교를 통해 개선의 필요성과 발전 방향을 함께 제시하는 의미를 가진다.

국내 기술적 전략은 산불·산사태·병해충 분야에서 점진적인 진전을 이루고 있으나, 여전히 해외 선진사례에 비해 시범적·부분적 수준에 머무르고 있다. AI 기반 예측은 기초 단계, 드론·위성 활용은 지역적 적용, IoT 센서망은 제한적 범위에 국한되어 있다. 반면 해외에서는 국가 차원의 통합 시스템, 기후 모델과 연계된 예측, 생물학적 방제까지 포함한 종합적 접근이 이루어지고 있다.

이러한 기술적 한계를 극복하기 위한 핵심 전략은 다음과 같다.

첫째, 산림재난 관련 데이터를 통합·공유하는 국가 단위 플랫폼을 구축하고, AI 기반 예측모델을 고도화하여 위험지역별 발생 가능성을 실시간으로 산출해야 한다.

둘째, 드론·위성·IoT 센서망을 융합해 산불·산사태·병해충을 동시에 감시하는 복합형 조기경보체계를 구축해야 한다.

셋째, 기술 인력의 재교육과 현장 활용 훈련을 정례화하여, 기술의 지역별 활용격차를 줄여야 한다.

넷째, 기관 간 장비와 플랫폼의 표준화(Interoperability)를 통해 중복투자를 방지하고 실시간 연계성을 확보해야 한다.

따라서 우리나라의 기술적 전략은 개별 기술 도입에서 나아가 통합적 시스템 구축으로 발전할 필요가 있다.

산불·산사태·병해충을 별도로 관리하는 것이 아니라, AI-드론-위성-IoT를 연계한 복합재난 조기경보체제로 확대해야 하며, 이는 정책적 지원과 사회적 참여가 수반될 때 실질적 효과를 발휘할 수 있을 것이다.

5.2 정책적 개선방안

현재의 산림재난 대응 정책은 예방 중심으로 전환되기 위한 여러 구조적 한계를 지니고 있다.

첫째, 부처 간 역할이 분절되고 정보 공유 체계가 미흡하여, 중앙정부·지자체 간 정책 일관성이 확보되지 못한다.

둘째, 관련 법·제도가 사후 복구에 초점을 맞추고 있어 예방과 조기대응을 명시한 조항이 부족하다.

셋째, 지방정부의 인력과 예산이 한정되어 있어 지역 실정에 맞는 독립적 예방정책 수립이 어렵다.

이러한 문제들은 기술적 대응의 현장 적용을 제약하고, 사회적 참여 기반의 정책 실행을 어렵게 만드는 요인으로 작용하고 있다. 산림재난은 단순한 자연현상을 넘어 사회적·제도적 대응 역량과 밀접히 관련된다. 앞서 살펴본 기술적 전략이 조기 탐지와 신속한 대응을 가능하게 한다 하더라도, 이를 실질적으로 작동시키는 기반은 정책과 제도적 뒷받침이다. 그러나 국내 산림재난 관리체계는 여전히 사후적 복구 중심 성격이 강하며, 예방과 대비 단계의 법·제도적 장치가 미흡하다.

중앙정부와 지자체, 민간 조직 간 역할이 분산되어 있으나, 통합적 거버넌스가 부족하여 대응 효율성이 낮아지는 문제점이 지속적으로 지적된다. 특히 지역 주민 참여 기반의 제도가 충분히 활성화되지 못하고, 중앙정부의 정책이 하향식으로 추진되는 경향이 강하다. 이러한 구조는 현장의 대응력과 주민 수용성을 약화시키며, 기술적 전략의 실질적 효과를 제한한다. 따라서 산림재난을 예방하고 피해를 최소화하기 위해서는 법·제도적 기반 강화, 민관 협력 거버넌스 확립, 주민 참여형 제도화가 종합적으로 추진되어야 한다.

현재 우리나라의 산림재난 대응 정책은 산림청과 행정안전부를 중심으로 마련되어 있으며, 산불방지대책본부 운영, 지역자율방재단 활동, 의용소방대 참여 등이 이루어지고 있다. 그러나 여러 연구에서 지적하듯이 제도의 실효성에는 한계가 존재한다. 국내 민간 방재조직의 운영 실태를 해외와 비교하면서, 법적·재정적 지원 체계가 미비하고, 훈련과 교육 시스템이 체계적으로 갖추어지지 못한 점을 주요 한계로 지적하였다(김보균 외, 2021).

미국의 경우 민간 조직이 법률에 의해 제도적으로 보장되고 정기적인 훈련과 보상 체계가 뒷받침되는 반면, 국내는 자율적 봉사 수준에 머무르며 전문성이 축적되기 어렵다는 것이다.

또한 지역자율방재단의 운영 문제를 분석하면서, 인력 이탈, 교육·훈련 미흡, 보상제도의 한계, 리더십 역량 부족 등을 지적하였다(이시영 외, 2020). 이로 인해 실제 재난 발생 시 자율방재단의 대응력이 제한적이며, 중앙정부 정책과 현장 대응 간의 괴리가 발생한다고 설명한다.

해외 선진국들은 산림재난을 포함한 자연재난 관리에서 정책적·제도적 기반을 강화하여 예방 중심 전략을 실현하고 있다. 미국은 「로버트 T. 스테퍼드 재난구호 및 긴급지원법」에 근거하여 연방·주·지방정부 간 협력 체계를 법률로 규정하고, 민간조직과 주민 참여를 제도적으로 보장한다(NASA, 2022).

산불 예방과 진화에 민간 소방조직과 자원봉사단체가 참여하며, 연방 차원의 보조금이 지원된다.

일본은 지역 방재계획에 주민 참여를 법제화하여, 마을 단위의 자율방재조직이 지자체와 긴밀히 연계되어 활동한다. 이들은 정기적 교육·훈련을 의무적으로 시행하고 있으며, 지방정부의 예산과 정책적 지원을 통해 운영된다.

유럽 일부 국가는 산림병해충 대응을 포함한 산림재난 관리에서 생물학적 방제와 기후모델 기반 예측을 정책적으로 지원하며, 국가 연구기관과 민간단체가 긴밀히 협력한다.

이와 비교할 때 우리나라는 주민참여형 제도가 있으나 법적 강제력이 약하고, 재정적·교육적 지원이 부족해 실질적 성과를 내기 어렵다는 점이 확인된다. 따라서 해외사례에서 나타난 법·제도적 기반 강화, 주민 참여 제도화, 민관 협력 거버넌스 확립은 국내 정책적 전략 수립에서 중요한 시사점을 제공한다.

[표 5-2] 국내외 산림재난 정책적 전략 비교

구분	국내 현황	해외 사례	시사점
법·제도 기반	산림보호법, 재난안전관리 기본법 중심. 예방·주민참여 조항 미흡	미국 : Stafford Act에 근거한 연방·주·지방 협력체계	법적 근거 강화, 예방·참여 조항 명문화 필요
		일본 : 지역 방재계획에 주민참여 의무화	
민간 조직 역할	의용소방대·지역자율방재단 활동, 법적 지위·보상체계 미흡	미국 : 민간 소방·자원봉사 조직 제도화	민간조직 법적 보장, 재정·교육 지원 필요
		일본 : 자율방재조직에 지자체 예산 지원	
교육·훈련 체계	일부 자율방재단 훈련, 체계성 부족	일본 : 정기적 교육·훈련 법제화, 주민 참여형 훈련 활성화	교육·훈련 의무화, 지역 맞춤형 프로그램 필요
주민참여	자율적 참여 중심, 제도적 강제력 부족	일본 : 마을 단위 자율방재조직, 정책 반영 보장	주민참여 법제화, 참여 메커니즘 제도화
재정 지원	지자체별 차등, 지속성 부족	미국 : 연방 차원 보조금 제도, 일본 : 지방정부 예산 지원	안정적 예산 지원 체계 마련 필요

출처 : 김보균 외(2021), 이시영 외(2020), NASA(2022) 재구성.

[표 5-2]는 국내외 산림재난 정책적 전략을 항목별로 비교한 것이다.

표에서 알 수 있듯, 국내는 법적 근거와 제도적 강제력이 부족하고, 민간 조직과 주민참여 제도가 자율적 수준에 머물러 있다.

반면 미국, 일본 등은 법률에 기반한 제도화와 예산 지원, 정기적 교육·훈련을 통해 예방 중심 정책을 강화하고 있다. 이는 국내 정책이 나아가야 할 방향이 법·제도 기반 강화, 민간조직 제도화, 주민참여 법제화, 안정적 재정 지원임을 시사한다.

정책적 전략으로는 첫째, 법·제도적 기반을 강화하는 것이다. 현행 「산림보호법」과 「재난안전관리 기본법」에 예방 단계의 조항을 보완하고, 산림

재난 조기경보 및 주민참여를 의무화하는 장치를 마련해야 한다. 또한 중앙 정부 차원의 안정적 예산 배분과 지자체 보조금 지원을 통해 지속 가능한 제도 운영을 보장해야 한다.

둘째, 민관 협력 거버넌스를 확립하는 것이다. 산림청, 소방, 지자체, 국립산림과학원뿐만 아니라 민간 기업·시민단체·주민조직이 함께 참여하는 협력구조가 필요하다. 해외는 민간조직이 법적으로 보장되고 전문적 교육과 보상체계가 마련된 반면, 국내는 여전히 자발적 봉사 수준에 머무르고 있다(김보균 외, 2021). 따라서 민간조직의 제도적 지위를 강화하고, 정기적 훈련과 보상체계를 마련하여 제도화할 필요가 있다.

셋째, 주민참여 제도화 및 역량 강화를 추진해야 한다. 지역자율방재단의 역량 강화를 위해 교육·훈련 체계화와 보상제도 개선이 필요하며, 농촌 맞춤형 교육과 리더십 강화 프로그램 도입이 요구된다(이시영 외, 2020). 또한 지자체는 주민참여형 방재계획을 수립하고 주민 의견이 정책에 반영될 수 있는 메커니즘을 제도화해야 한다.

넷째, 중앙-지자체-지역조직 간 연계를 강화하는 것이다. 미국·일본과 같이 법률로 협력체계를 규정하고 정기적 합동훈련을 제도화한다면 산림재난 예방·대응 역량을 한층 높일 수 있을 것이다.

정책적 전략은 기술적 전략의 기반이자 사회적 전략의 실현을 가능하게 하는 제도적 틀이다. 법·제도적 기반 강화, 민관 협력 거버넌스 확립, 주민참여 제도화, 중앙-지자체-지역조직 연계 강화는 상호 보완적으로 작동해야 한다.

이를 통해 산림재난 관리체계는 단순한 사후 복구에서 벗어나 예방 중심으로 전환될 수 있으며, 기후위기 시대에 효과적인 산림재난 관리의 지속 가능성을 확보할 수 있을 것이다.

5.3 사회적 개선방안

기술과 정책이 효과적으로 작동하기 위해서는 사회적 기반이 필수적이거나, 현재 우리 사회의 산림재난 대응에는 다음과 같은 문제가 존재한다.

첫째, 주민의 재난 인식 수준이 낮고 참여가 자발성에 의존하고 있다.

둘째, 자율방재단·의용소방대 등 민간조직의 활동이 단기적이며, 전문성 축적이 어렵다.

셋째, 지역 간 협력체계가 부재하여 광역적 대응이 어렵고, 재난 이후 심리·사회적 회복 지원도 미흡하다. 이로 인해 기술적·정책적 대책이 현장에서 지속성을 확보하지 못하고 있다. 따라서 사회적 전략은 주민참여 제도화, 민관협력 네트워크 강화, 공동체 복원력 제고를 중심으로 구축되어야 한다.

산림재난은 단순히 기술이나 제도로만 해결할 수 없는 복합적 특성을 지닌다. 산불·산사태·병해충 등은 주민의 삶과 직결된 문제이며, 실제 초기 대응의 성패는 현장에서 주민과 지역공동체의 인식, 행동, 협력 수준에 달려 있다. 따라서 사회적 전략은 산림재난 관리체계의 현장 작동성을 보장하는 핵심 축이다. 이는 주민참여와 공동체 신뢰, 민관협력, 사회적 자본의 축적을 통해서만 가능하다.

그러나 국내에서는 여전히 산림재난 대응이 중앙정부·지자체 주도의 하향식 정책에 의존하고 있으며, 주민참여 제도는 형식적 수준에 머무르는 경우가 많다. 또한 주민 교육과 훈련의 체계성이 부족하고, 피해 이후 지역사회의 심리적 회복과 공동체 복원력을 강화하는 정책도 미흡하다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 사회적 전략을 별도의 축으로 확립하고, 기술·정책과 상호보완적으로 작동하게 해야 한다.

해외사례를 보면, 스위스와 오스트리아 알프스 지역은 주민 공동체가 자율적 감시 네트워크를 형성해 위험 징후를 공유하고 있으며, 국가 차원의 위험 지도와 주민 교육이 결합되어 마을 단위의 대응이 제도화되어 있다(WSL, 2021; Austrian Service for Torrent and Avalanche Control, 2022).

캐나다 브리티시컬럼비아 주는 원주민 공동체와 지방정부가 협력하여 산불 예방 및 대응 훈련을 실시하는데, 원주민의 전통적 화전 관리 지식을 현대적 대응체계와 결합해 생태적·문화적 회복력을 높이고 있다(Government of British Columbia, 2022).

호주는 대형 산불 피해 이후 단순한 피해 복구를 넘어 주민 심리적 회복과 공동체 복원력 강화를 위한 프로그램을 운영하며, 상담·커뮤니티 모임·재

건 워크숍 등을 통해 주민이 스스로 회복과 재건의 주체로 참여하도록 유도하고 있다(Australian Institute for Disaster Resilience, 2021).

[표 5-3] 국내외 산림재난 사회적 전략 비교

구분	국내 현황	해외 사례	시사점
주민참여	자율방재단·의용소방대 운영, 자발성 의존	캐나다 : 원주민 공동체와 지방 정부 협력	주민참여 제도화, 지역 고유 지식 활용 필요
조직 간 협력	기관 분절 대응, 협력문화 부족	스위스·오스트리아 : 주민 자율 감시 네트워크	기관 간 협력 및 주민 네트워크 결합 필요
지자체 협력	제도적 기반 부족, 단기적 협력	협력 활성화 및 주민 서비스 효과성 상승	지자체 거버넌스 버제화 필요
공동체 복원력	피해 이후 심리·사회적 회복 지원 부족	호주 : 산불 피해 후 심리 회복·재건 지원	재난 이후 공동체 복원력 강화 정책 필요
사회적 자본	주민 간 신뢰·네트워크 취약	유럽·캐나다 : 주민 네트워크와 공동체 기반 강화	사회적 자본 기반의 상호 신뢰 구축 필요

출처 : 박재희 외(2022), WSL(2021); Austrian Service for Torrent and Avalanche Control(2022), Government of British Columbia(2022); Australian Institute for Disaster Resilience(2021) 재구성.

[표 5-3]은 국내외 사회적 전략을 항목별로 비교한 것이다. 표에서 보듯 국내는 주민참여가 자발성에 의존하고 교육·훈련 체계가 부족하며, 기관 간 협력과 지자체 거버넌스가 제도적으로 뒷받침되지 못하고 있다. 반면 해외는 주민 주도형 제도화, 정기적 교육·훈련, 공동체 복원력 강화, 사회적 자본 기반 네트워크 등 사회적 기반을 체계적으로 구축하고 있다. 따라서 [표 5-3]은 국내외 사례를 비교·분석하여 한국이 보완해야 할 사회적 전략의 방향을 구체적으로 제시한다.

이를 토대로 제안할 수 있는 사회적 전략은 다음과 같다.

첫째, 주민 리더십 육성과 참여 제도화이다. 지역별로 ‘주민 방재리더 인

증제'를 도입하여 주민 리더가 실제 대응 매뉴얼 작성과 훈련을 주도하도록 하고, 지자체가 이들의 활동을 공식적으로 인정·지원해야 한다. 이를 통해 주민은 단순 참여자가 아니라 정책 실행의 공동 주체로 자리매김할 수 있다.

둘째, 교육·훈련과 사회적 자본 강화이다. 계절별 시나리오 기반 훈련(산불·폭우·병해충 등)을 실시하고, 참여 주민에게는 봉사시간·인센티브를 부여하는 방식으로 참여를 유도할 수 있다. 동시에 '마을별 대응 네트워크 지도'를 작성하여 주민 간 정보 공유와 상호 지원을 체계화하면 지역 공동체의 신뢰와 연대가 강화된다.

셋째, 기관 간 협력문화 제도화이다. 법적·제도적 협력에 더해, 소방·산림청·지자체·주민조직이 함께하는 합동 워크숍과 시뮬레이션 훈련을 정례화해야 한다. 이는 현장에서 각 조직의 역할을 사전에 조율하고, 위기 시 혼선을 줄이는 협력 문화를 형성할 수 있다.

넷째, 지자체 협력 거버넌스 구축이다. '광역단위 산림재난 협의회'를 법적으로 설치해 인접 지자체 간 인력·장비·예산을 공유하고 합동 대응계획을 수립해야 한다. 이는 개별 지자체의 한계를 넘어 광역적 재난에 효과적으로 대응할 수 있는 기반이 된다.

다섯째, 공동체 복원력 강화이다. 호주의 사례처럼 피해 이후 주민 심리 상담, 커뮤니티 재건 워크숍, 세대별 맞춤 프로그램(학교 안전교육, 노인 훈련 등)을 제도화하여 물리적 복구를 넘어선 사회적·심리적 회복을 지원해야 한다. 이를 통해 주민은 재난 이후에도 지역에 정착하고 공동체 회복의 주체로 참여할 수 있다.

결론적으로 사회적 전략은 기술과 정책만으로는 부족한 산림재난 관리의 공백을 메우는 중요한 축이다. 주민참여와 리더십, 사회적 자본 형성, 기관·지자체 간 협력, 공동체 복원력 강화는 산림재난 대응의 실질적 효과성을 높인다.

해외사례에서 확인된 공동체 기반 대응, 심리적 회복 지원, 사회적 자본 강화 전략을 적극 도입한다면 한국의 산림재난 대응체계는 예방 중심의 지속 가능한 사회적 전략을 확립할 수 있을 것이다(박재희 외, 2022).

VI. 결론

본 연구는 기후변화로 인한 산림재난의 심화와 복합적 특성에 주목하여, 우리나라에서 빈번하게 발생하는 산불, 산사태, 병해충을 중심으로 효과적인 예방방안을 모색하였다.

산림은 국토의 대부분을 차지하는 중요한 자원이자 탄소흡수원, 수자원 보전, 생태적 균형 유지 등 다양한 공익적 기능을 수행하지만, 최근 기후위기의 가속화로 인해 그 안전성이 크게 위협받고 있다.

특히 산림재난은 단일 재난으로 끝나지 않고 사회·경제·환경 전반에 걸쳐 연쇄적 피해를 초래하는 복합재난으로 발전하고 있어, 기존의 사후 복구 중심 대응체계로는 한계가 명확하다.

따라서 본 연구는 문헌연구, 국내외 사례분석, 통계자료 검토를 통해 산림재난 관리체계를 예방 중심으로 전환할 필요성을 강조하고, 기술적·정책적·사회적 측면에서의 통합적 전략을 제시하였다.

이러한 과정을 통해 우리나라 산림재난의 현황과 문제점을 다각적으로 검토하고, 국내외 대응사례와 비교분석을 수행함으로써 산림재난 대응전략의 효과성과 한계를 심도 있게 분석하였다.

6.1 연구결과 요약

본 연구에서는 우리나라 산림에서 반복적으로 발생하는 산불, 산사태, 병해충의 특성과 피해 양상을 심층적으로 검토하고, 이를 바탕으로 예방적 관점에서의 효과적인 대응 전략을 도출하고자 하였다.

분석 결과, 산림재난은 기후변화와 밀접히 연결되어 있으며 단일 요인으로 발생하지 않고 상호 복합적으로 작용하여 사회·경제·환경 전반에 걸쳐 광범위한 영향을 미친다는 점이 확인되었다.

특히 최근 10여 년간의 피해 추세와 구체적 사례들은 기존의 사후 복구 중심 대응체계의 한계를 보여주었으며, 피해의 심각성과 복구 비용의 증가를 고

려할 때 예방 중심의 패러다임으로 전환하는 것이 절실하다는 점이 도출되었다.

기술적 측면의 분석에서는 산림재난의 조기탐지와 예측 가능성이 첨단 기술의 활용 여부에 따라 크게 좌우됨을 확인하였다.

인공지능(AI) 기반의 예측모델은 기상자료, 토양조건, 식생 상태, 바람 패턴 등을 종합적으로 분석하여 산불 발화 가능성을 사전에 경고할 수 있는 기능을 제공하였다. 이는 과거 단순 통계자료에 의존하던 예측 방식과 달리 선제적 대응을 가능케 하는 중요한 수단으로 평가된다.

드론과 위성 영상은 지리적으로 접근하기 어려운 산림지역의 상황을 실시간으로 모니터링할 수 있게 하며, 공간정보의 정밀성을 높여 대응의 정확도를 제고하였다. 또한 IoT 센서 네트워크는 산림 내 온도, 습도, 토양수분, 해충 발생 패턴 등 다양한 데이터를 상시 수집하여 위험 신호를 조기에 탐지하는 역할을 하였다. 이러한 기술적 도구들은 단순한 보조수단을 넘어 예방 중심 산림재난 관리체계의 핵심 요소로 작용할 수 있음을 보여주었다.

더 나아가 이러한 기술은 단편적인 활용에 그칠 것이 아니라 국가적 재난 관리시스템과 통합적으로 연계될 필요가 있으며, 이를 통해 정보의 실시간 공유와 효율적인 자원 배분이 가능해질 것이다.

정책적 측면에서는 제도적 기반과 협력체계의 미비가 여전히 문제점으로 드러났다. 현재 국내의 대응체계는 산림청, 지방자치단체, 소방 등 여러 기관이 분절적으로 운영되고 있어, 정보공유와 협업 부족으로 현장에서 혼선이 발생하는 경우가 빈번하다. 이는 초기 대응의 지연으로 이어져 피해 규모를 확대시키는 원인이 되고 있다. 따라서 중앙정부 차원의 일원화된 지휘체계 확립과 광역 단위의 협력 거버넌스 구축이 필요하다.

더불어 「재난 및 안전관리 기본법」과 「산림보호법」 등 현행 법률의 예방적 측면을 강화하고, 산림재난 관리에 특화된 법적 장치를 마련하는 것이 필요하다.

예방 중심 정책을 제도화하고 이를 뒷받침할 장기적 예산 지원을 확보하는 것은 향후 정책 설계에서 핵심적 과제가 될 것이다. 해외 선진국의 사례에서도 확인되듯이, 예방적 투자는 장기적으로 복구 비용을 절감하고 피해를 최소화하는 효과를 가져온다는 점에서 중요한 의미를 지닌다.

특히 우리나라의 경우 산림재난의 발생이 특정 지역과 시기에 집중되는 특성이 있기 때문에, 지역 간 협력체계와 광역 단위의 공동대응체계를 법적으로 제도화하는 것이 필요하다. 이는 개별 지자체의 역량 한계를 보완하고 국가 전체 차원에서의 재난 대응력을 높이는 데 기여할 수 있을 것이다.

사회적 측면에서는 재난 대응의 실질적 효과성이 주민과 공동체의 참여 수준에 크게 의존한다는 사실이 확인되었다. 재난 발생 초기 단계에서 현장 대응의 성패는 주민들의 인식과 행동에 달려 있음에도 불구하고, 국내의 주민참여 제도는 형식적 수준에 머물고 있으며 주민 대상 교육과 훈련도 체계적으로 이루어지지 못하였다. 따라서 주민이 자발적으로 참여할 수 있는 제도적 장치 마련, 지역 리더십 형성을 위한 교육 프로그램 운영, 세대별 맞춤형 훈련 체계 구축이 필요하다. 또한 피해 이후에는 단순한 물리적 복구에 그치지 않고 심리적·사회적 회복을 지원함으로써 공동체 복원력을 강화할 수 있는 정책이 요구된다. 이는 사회적 자본을 축적하여 장기적으로 재난 대응체계의 실질적 효과성을 높이는 핵심 요소로 작용할 것이다.

해외 사례에서 확인된 주민 심리상담, 커뮤니티 재건 프로그램, 학교 및 노인을 대상으로 한 맞춤형 안전교육은 국내에서도 충분히 도입 가능한 모델이다. 이와 같은 사회적 전략은 단기적으로는 대응의 속도와 효율성을 높이고, 장기적으로는 공동체의 지속가능성을 보장한다는 점에서 그 의미가 크다.

국내외 사례분석은 이러한 연구결과를 뒷받침하는 중요한 경험적 근거를 제공하였다. 국내의 강원 고성·속초 산불, 동해·삼척 산불, 영덕·울진 산불 사례는 산불이 대형화·장기화하는 추세 속에서 초기 대응의 중요성을 분명히 보여주었다. 또한 중부지방 집중호우와 산사태, 소나무재선충 확산 사례는 우리나라 산림재난 관리체계가 여전히 단편적이며 재난 유형 간의 연계성을 고려하지 못하고 있음을 드러냈다.

반면, 해외의 미국·호주·캐나다는 인공지능 기반 조기경보시스템과 위성 모니터링을 제도화하여 예방적 대응 역량을 강화하고 있었으며, 스위스와 오스트리아는 산사태 위험지도를 법제화하여 고위험 지역의 개발을 제한하는 방식으로 피해를 사전에 차단하였다.

일본은 지역 주민이 직접 참여하는 산사태 대응 조직을 제도적으로 운영

하여 현장 대응 역량을 강화하였다. 이러한 해외 사례는 우리나라 산림재난 예방 전략이 기술적 혁신, 정책적 기반, 사회적 참여를 아우르는 통합적 구조로 발전해야 함을 명확히 보여주었다.

종합적으로 볼 때, 산림재난은 단일 기술이나 정책, 혹은 주민참여만으로는 효과적으로 예방하기 어렵다는 점이 확인되었다. 기후변화라는 구조적 요인 속에서 복합적이고 연쇄적으로 발생하는 산림재난의 특성을 고려할 때, 기술적 혁신, 제도적 기반 강화, 주민참여 확대가 상호 유기적으로 결합할 때 비로소 실질적인 효과를 발휘할 수 있다.

따라서 산림재난 관리의 패러다임은 사후 복구 중심에서 예방 중심으로 전환되어야 하며, 본 연구는 이러한 방향성을 구체적으로 제시하였다. 이는 우리나라 산림재난 대응 전략의 발전과 정책 수립 과정에서 중요한 학문적·실천적 근거로 활용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구는 산림재난을 단순한 환경 문제로 한정하지 않고, 사회·경제·정책적 차원을 아우르는 종합적 관점에서 분석하였다는 점에서 의의가 있으며, 이는 향후 산림정책 수립과 재난 관리 연구에 기초자료로 기여할 수 있을 것이다.

6.2 연구의 한계

본 연구는 산불, 산사태, 병해충을 중심으로 산림재난의 복합성을 분석하고 통합적 예방 전략을 제시하였다는 점에서 의의가 있으나 몇 가지 한계를 안고 있다.

연구 방법에 있어서는 문헌연구와 사례분석에 주로 의존하였기 때문에 기술적 전략의 실증적 효과나 정책적 대안의 실행 가능성을 현장에서 직접 검증하지 못하였다.

인공지능 기반 예측모델이나 드론 모니터링, 주민참여 프로그램 등이 실제로 적용되었을 때의 효과를 계량적으로 분석하지 못한 점은 본 연구의 제약으로 남는다. 또한 연구 범위 역시 산불, 산사태, 병해충이라는 대표적 산림재난에 한정되어 있어 가뭄, 집중호우, 대설, 한파 등 기후변화와 밀접히 관련된 다른 재해 유형을 충분히 포함하지 못하였다.

연구 대상 지역도 국내 주요 피해지역과 일부 해외 선진국 사례에 국한되어 있어 다양한 지형과 기후 조건을 반영한 일반적 타당성을 확보하기에는 어려움이 있었다. 아울러 사회적 전략의 경우 주민참여와 공동체 회복력의 중요성을 강조하였으나, 이를 제도적으로 실현하기 위한 재정적 지원체계나 법적 장치에 대한 구체적 설계는 충분히 제시하지 못하였다. 이러한 한계는 향후 연구에서 실증적 검증 확대, 다양한 재해 유형과 지역을 포괄하는 확장 연구, 주민참여 제도화와 공동체 기반 회복력 강화를 위한 구체적 실행방안 마련을 통해 보완될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1, 국내 문헌

- 강성승, 김형신, 노정두, 문성우, 서용석. (2024). “충주도 숲길 부근의 산사태 위험에 영향을 미치는 요인 비교”. 「국제학술지」 11(3), 1-17.
- 견승엽. (2019). “재난 및 안전관리 기본법상 지방자치단체장의 권한 강화에 대한 연구”. 청주대학교 대학원, 박사학위 논문.
- 곽창재, 김구윤, 이미란, 한지혜. (2023). “동해안 산불피해 사례기반 격자체계를 활용한 산불위험분석”. 「한국원격탐사학회지」 39(5-2), 785-798.
- 권정일, 최정민. (2022). “소방안전활동 영향 요인 연구”. 「한국화재소방학회지」, 36(4), 79-84.
- 구교상, 성미경, 임규호, 윤희수, 이윤영, 최은호. (2010). “기후 변화에 따른 한반도 산불 발생의 시공간적 변화 경향”. 「한국기상학회지」, 20(1), 27-35.
- 국가법령정보센터. (2024). “소방기본법”.
- 국가법령정보센터. (2025). “재난 및 안전관리 기본법”.
- 김건위, 이병기. (2008). “지방자치단체 재난관리체계의 개선방안”. 「한국지방행정연구원」, 기본보고서.
- 김대진, 정경옥. (2022). “산불사고 현황과 대응체계 분석을 통한 안전관리 개선방안 연구”. 「한국재난정보학회」, 18(3), 457-469.
- 김동영. (2022). “강우 특성을 고려한 산사태 위험등급 개선에 대한 연구”. 서울시립대학교 과학기술대학원, 석사학위 논문.
- 김동욱, 김태웅, 손호준, 유지영. (2021). “부분최소제공구조방정식모형을 이용한 경기도 지역 산불 발생 요인에 대한 기상 및 수문학적 요인의 영향 분석”. 「한국수자원학회 논문집」, 54(3), 145-156.
- 김보균, 이정혁, 채종식. (2021). “국내외 민간 방재조직의 특성에 관한 비교 분석”. 「한국응급구조학회지」, 25(3), 127-143.
- 김용, 김수정, 박태연, 한희정. (2017). “재난안전정보의 통합 관리를 위한 분

- 류체계 현황분석 및 개선방안에 관한 연구”. 「한국비블리아학회지」, 28(3), 125-150.
- 김정연. (2023). “미국 서부 지역의 산불과 대류권 오존의 변화에 대한 연구”. 연세대학교 대학원, 석사학위 논문.
- 김효정. (2024). “소셜네트워크 분석을 활용한 복합재난 대응 시나리오 개발”. 「한국방재학회논문집」, 24(2), 17-27.
- 김희영, 이상민, 최준영. (2018). “기후변화에 따른 산림병해충 영향과 대응과제”. 「한국농촌경제연구원」, 71-72.
- 박재희, 유수동. (2022). “지자체 간 협력체제의 활성도가 소방서비스의 효과성에 미치는 영향에 관한 연구”. 「한국지방행정연구원」, 36(1), 33-62.
- 박주용. (2021). “우리나라 주요 산림병해충 방제 정책에 대한 성과 분석”. 강원대학교 대학원, 석사학위 논문.
- 배귀희. (2010). “산불재난 대처를 위한 조직간 협력에 관한 연구 : 양양산불 사례를 중심으로”. 「한국지방행정연구원」, 24(4), 143-178.
- 산림청. (2023). “2023 산림재난 대응 보고서”.
- 산림청. (2024). “2024년 산불통계연보”.
- 산림청. (2025). “2025년 산림재난 방지법”.
- 산림청 국립산림과학원. (2025). “국내외 연구 통해 입증된 임도의 산불 대응 효과, 지속적 확충 필요!”. 1-3.
- 서재호. (2024). “산림재난의 제도적 개념화에 관한 연구”. 「서울행정학회지」, 35(3), 137-165.
- 송영일, 이동근, 이종욱. (2019). “복합재해 영향을 고려한 산불 후 산사태 잠재적 피해 위험도 분석”. 「한국환경복원기술학회」, 22(1), 33-45.
- 안현진, 이상민, 최준영. (2018). “기후변화에 따른 산림병해충 영향과 대응과제”. 「한국농촌경제연구원」, 71-72.
- 오형식. (2025). “산불피해지역의 산림구성 특성 연구”. 대구한의대학교 일반대학원, 석사학위 논문.
- 유송. (2023). “기후변화 시나리오를 적용한 산사태 피해면적 변화예측”. 「한

- 국농림기상학회지」, 25(4), 376-386.
- 이기환, 이창우, 유승. (2022). “과거 20년간 국내 산불 피해지에서 산사태 발생 경향 연구”. 「한국방재학회지」, 22(4), 47-55.
- 이세림. (2018). “기후변화에 따른 국내 산불 발생 빈도 분석 및 산불위험성정”. 고려대학교 생명환경과학대학원, 석사학위 논문.
- 이시영, 채종식. (2020). “우리나라 지역자율방재단의 운영에 관한 개선방안 연구”. 「한국방재학회논문집」, 20(4), 261-272.
- 한국지질자원연구원. (2025). “산불 뒤 강우에 대비한 산사태 위험도 예측 기술 개발”. 보도자료.
- 채종식. (2021). “한국 재난관리 체계에서 민간 방재조직의 전문성 제고 방안”. 「한국응급구조학회지」, 25(3), 163-178.

2, 국외문헌

- Australian Institute for Disaster Resilience. (2021). Community Resilience Framework for Emergency Management. Melbourne: AIDR.
- Austrian Service for Torrent and Avalanche Control. (2022). Community-based monitoring programs in Austria. Vienna.
- European Forest Institute. (2021). Biological Control and Climate-based Pest Forecasting in European Forests. Helsinki: EFI.
- Geoscience Australia. (2023). Sentinel Hotspots – Satellite-based Fire Detection System. Canberra: Government of Australia.
- Government of British Columbia. (2022). Indigenous and Local Government Partnerships in Wildfire Management. Victoria: BC Wildfire Service.
- NASA. (2022). MODIS and VIIRS Active Fire Products. Washington D.C.: NASA Earth Science Division.
- Poggi, S., Desneux, N., Jactel, H., Tayeh, C., & Verheggen, F. (2022). “A nationwide pest risk analysis in the context of the ongoing Japanese beetle invasion in continental Europe: The case of

- metropolitan France”. *Frontiers in Insect Science*, 2, 1079756.
- Staley, D. M., Negri, J. A., Kean, J. W., Laber, J. L., Tillery, A. C., & Youberg, A. M. (2017). “Prediction of spatially explicit rainfall intensity–duration thresholds for post–fire debris–flow generation in the western United States”. *Geomorphology*, 278, 149–162.
- Stastny, M., Corley, J. C., & Allison, J. D. (2024). “Regional adaptation of integrated pest management to control invasive forest insects”. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 23(5), e2829.
- WSL (Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research). (2021). *Integrated natural hazard risk management in Alpine regions*. Birmensdorf: WSL.

ABSTRACT

A Study on Forest Disaster Prevention Measures – Focusing on Technological, Policy, and Social Improvement Measures –

Sun Dae-in

Major in Social Disaster and Safety Policy

Dept. of Social Disaster and Safety

Graduate School of Public Administration

Hansung University

As climate change accelerates, various types of forest disasters—such as wildfires, landslides, and pest outbreaks—are increasing worldwide. In particular, Korea is experiencing heightened risks due to rapid climatic fluctuations, urban expansion, and intensified human activities, resulting in more complex and cascading patterns of damage. Nevertheless, the nation's current forest disaster management system remains primarily focused on post-disaster recovery, lacking sufficient technological, institutional, and social foundations for prevention and early response. Accordingly, this study analyzes the causes and current conditions of forest disasters and proposes prevention-oriented strategies that organically integrate technological, policy, and social dimensions.

The study first examined the causes and types of forest disasters associated with climate change and reviewed domestic and international research to identify trends in technologies and policies related to forest disaster prevention. It then analyzed the roles and cooperative structures of

major institutions, including the Korea Forest Service, the National Institute of Forest Science, local governments, and fire departments, and compared advanced overseas cases to identify the limitations and areas for improvement in Korea's current response system. The analysis revealed that although advanced technologies such as artificial intelligence (AI), drones, satellites, and the Internet of Things (IoT) have been introduced, real-time data integration and predictive analysis remain insufficient for effective early warning. From a policy perspective, fragmented roles among ministries, the absence of preventive legal frameworks, and limited manpower and budgets at the local government level have constrained proactive management. Socially, low public awareness and participation, along with weak professionalism in civic organizations and underdeveloped regional cooperation networks, have limited the practical effectiveness of technology and policy in the field.

Based on these findings, this study proposes an integrated response strategy that interlinks technological, policy, and social factors. The technological strategy emphasizes the advancement of AI-based risk assessment models and the establishment of an integrated monitoring system combining drones, satellites, and IoT technologies. The policy strategy focuses on strengthening inter-agency governance, reforming laws and institutions toward prevention, and enhancing financial support mechanisms. The social strategy highlights the development of community-based monitoring networks, education and awareness programs, and initiatives to enhance community resilience for building a sustainable response foundation. The study underscores the necessity of shifting the paradigm of forest disaster management from post-disaster recovery to proactive prevention and aims to contribute to the establishment of a sustainable forest disaster prevention system suited to the era of climate crisis through the integration of advanced technology, institutional reform, and civic participation.

【Keywords】 Forest Disaster, Climate Change, Natural Disaster, Early Warning System, Preventive Policy