

보호받지 못한 보호지역

보호지역 관리
실태 보고서 3

GREENPEACE

저자

• 최태영, 최혜원, 홍유인, 이하늬, 김미경 (그린피스 서울사무소)

시뮬레이션 제작

• Wojciech Pałubicki (Adam Mickiewicz University, Faculty of Mathematics and Computer Science)
• Andrzej Kokosza (Adam Mickiewicz University)

시뮬레이션 검토 의견

• 이시영 (강원대학교 방재전문대학원 명예교수)

자문 산불 현장 조사 및 보고서 작성 자문

• 윤여창 (서울대학교 농림생물자원학부 명예교수)
• 최진우 (서울환경운동연합 전문위원)

협조

• 국립공원공단

발간

2025년 5월

면책조항

본 보고서의 내용은 연구 기간 중 확보된 공개 정보와 협력 기관으로부터 제공받은 자료를 기반으로 작성되었습니다. 그린피스는 독립적인 분석을 수행했으며, 제공된 정보와 분석의 정확성을 확보하기 위해 최선을 다했으나, 본 보고서에 포함된 정보의 완전성 또는 오류의 부재를 보장하지 않습니다. 본 보고서는 정보 공유와 환경 보호를 위한 공익적 목적을 위해 작성되었으며, 본 보고서에 포함된 정보를 활용하여 발생하는 어떠한 결과에 대해서도 그린피스는 책임을 지지 않습니다. 그린피스는 지구 환경 보호와 세계 평화를 촉진하기 위해 독립적으로 활동하는 국제 환경 단체입니다. 그린피스는 정치적으로 독립적이며, 영토 분쟁이나 정치적 논쟁에 관여하지 않습니다. 본 보고서에 사용된 모든 시각 자료와 데이터는 해당 국가의 법률과 규정을 준수하며, 특정 정치적 입장을 대변하지 않습니다.

목차

I. 머릿말

II. 산불 개요 및 피해 현황

- 작은 불씨, 대한민국의 1.5%를 불태우다

III. 수종 다양성과 산불 피해

- 아담 미츠키에비치 연구진의 산불 시뮬레이션
- 논의와 한계

IV. 피해 현장 조사

- 산불 피해를 입은 주왕산 국립공원
- 한달 후
- 피해 현장 조사 방법
- 보호지역 외부의 피해
- 보호지역을 강타한 산불
 1. 침엽수 우점 지역 (1 번 영역)
 2. 활엽수 우점 지역 (4 번 영역)
 3. 중북부 활엽수 / 침엽수 우점 지역 (2 번 지역)
 4. 남부 침엽수 / 활엽수 우점 지역 (3 번 영역)
- 현장조사 시사점

V. 생태계의 회복과 천이

- 숲은 멈추지 않는다 : 천이의 이야기 / 극상림의 혜택
- 리와일딩으로 산불을 막는 나라들 / 한국의 극상림은?
- 극상림으로의 과정

VI. 정책 제언

Executive Summary

- 2025년 봄, 대한민국 역사상 최악의 산불이 발생하면서 소나무 단순림이 산불 피해를 키웠다는 논란이 불거졌다. 이에 관해 그린피스는 폴란드 아담 미츠키에비치 대학 연구진과 숲의 형태별 산불 시뮬레이션 연구를 진행했다. 주요 결과는 다음과 같다.
 - 산림 연료습도가 낮을 때, 침엽수 단순림은 산불 시작 2시간 뒤 시점에서 전체 산림의 30%가 넘는 바이오매스가 연소된 반면, 혼합림¹은 20%가 조금 넘는 정도의 바이오매스 피해에 그쳤다.
 - 단일림에 있는 침엽수가 혼합림 내 침엽수보다 더 큰 피해를 입은 것으로 나타났으며, 이는 단일림 구조가 상대적으로 취약할 수 있음을 시사한다.
 - 침엽수와 활엽수 단순림이 각각 산불에 취약한 지형이 있는 한편, 다양한 수종이 섞인 혼합림은 조사된 모든 지형에서 산불 피해 강도가 가장 낮았다.

- 이번 산불로 큰 피해를 입은 주왕산 국립공원 현장 조사에서도 이와 유사한 양상이 나타났다. 침엽수가 주를 이루는 지역은 피해가 극심했던 반면, 다양한 수종이 혼합된 혼합림과 활엽수림 지역은 피해가 적었다. 계곡 지형의 바람과 활엽수림의 효과로 거의 피해를 입지 않은 주왕산 내 너구마음이 대표적인 사례다.

- 산불 피해 이후 숲은 천이(Succession) 과정을 통해 극상림(Climax Forest)으로 회복된다. 천이는 교란 이후 생태계가 자연적으로 회복되는 과정으로, 이를 통해 다양한 생물이 균형을 이루며 안정적인 극상림에 도달할 수 있다.

1 두가지 종류 이상의 수종으로 이루어진 숲을 의미하며, 과거에는 ‘혼효림’으로 불렸으나 2010년 ‘혼합림’으로 변경되었다. ([산림청 안내 사항](#))

- 극상림은 뛰어난 생물다양성과 기후 재난에 대한 높은 회복력을 지닌 지속 가능한 생태계로 기능하며, 인간이 인위적으로 조성하기 어려운 천연 방화림의 역할도 수행한다.

- 위의 분석과 현장 조사 결과를 바탕으로 그린피스는 다음과 같은 정책 제언을 한다:
 - 산불 피해 지역의 복구는 자연적 천이가 이루어지도록 최우선으로 보장하고, 임도 설치와 같은 인공적 개입은 최소화해야 한다.

 - 생태계 서비스 지불제(PES)를 혁신적으로 개선하여 자연적 회복과 같은 생태 친화적이고 간접적인 활동에도 포괄적 보상이 이루어지도록 해야 한다.

 - 쿤밍 몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크(KMGBF)의 법제화를 추진해 보호지역 관리 및 생물다양성 보전의 실효성을 높여야 한다.

1. 머릿말

2025년 대한민국 역사상 최악의 산불이 진화된 지 두 달, 이후에도 크고 작은 산불이 반복되었습니다. 시민들은 '왜 이런 일이 반복되는가'라는 질문을 던지고 있습니다.

이제 시민들도 과거 전문가와 환경운동가 사이에서만 언급되던 '임도', '숲가꾸기', '인공림' 같은 전문 용어들을 언급하기 시작했습니다. 산불이 사회적 화두로 떠오르면서, 이를 둘러싼 갈등과 책임 공방도 심화되고 있습니다.

이런 혼란은 기존에 경험하지 못한 대형산불에 '무엇을 해야 할지 모르겠다'는 막막함에서 비롯된 것일지도 모릅니다.

그린피스는 이번 보고서에서 현장에서 발견한 희망에 주목하고자 합니다. 지금도 산불 피해 현장에서는 작은 새싹이 자라고 있습니다. 이 새싹이 숲으로 성장하기까지는 긴 시간과 인내가 필요할 것입니다. 그러나 우리가 지금 올바른 결정을 한다면 미래 세대가 깨끗한 물과 공기, 그리고 대형 재난으로부터 안전한 환경에서 살아갈 기반이 될 것입니다. 또한 무수한 동식물이 공존할 수 있는 삶의 터전이 될 것입니다.

그린피스 서울사무소는 지난해 두 편의 생물다양성 보고서를 통해 우리나라 보호지역이 실질적인 보호를 받지 못하고 있음을 지적했습니다. 그 결과 백두대간 보호지역 중 하나인 민주지산이 경제림 육성단지에서 해제되는 성과가 있었으며, 향후 다른 보호지역들도 경제림 육성단지와 명확히 분리하겠다는 정부의 약속을 이끌어냈습니다.

이번 보고서에서는 수종의 다양성과 산불 피해의 연관성을 분석하고, 산불로부터 생태계를 보호하고 효과적으로 복원하기 위한 실질적인 보호지역 관리 방안과 정책적 제안을 제시하고자 합니다.

마지막으로 이번 산불로 삶의 터전을 잃고 큰 고통을 겪고 있는 이재민 분들에게 깊은 위로의 마음을 전합니다. 이 보고서와 그린피스의 활동이 피해 지역 공동체 회복에 작은 보탬이 되기를 진심으로 바랍니다.

감사합니다.

II. 산불 개요 및 피해 현황

작은 불씨, 대한민국의 1.5%를 불태우다

2025년 3월 22일 오전 11시, 경상북도 의성군 안평면에서 산불이 시작되었다. 한 성묘객이 산소 주변의 마른 가지를 정리하기 위해 라이터를 켜는 것이 발화 원인으로 지목되었다.

당일 의성군의 낮 최고기온은 약 20.2도였다. 기상청의 '2025년 3월 기후특성' 분석에 따르면 당시 3월 전국 평균기온은 7.6도로 평년보다 1.5도, 전년보다 0.7도 높았다.² 평균적인 흐름을 감안해도 산불 발생 당시의 온도는 이례적으로 높았다고 할 수 있다.

여기에 공기는 바짝 말라 있었다. 산림청이 산불 위험성을 판단할 때 활용하는 '연료 습도'는 8% 수준으로 측정되었다.³ 연료습도란 낙엽, 마른 가지 등 산불의 연료가 되는 소재의 수분량을 의미하며, 10% 이하이면 매우 건조한 상태로 평가된다. 이 수치는 작은 불씨 하나로도 화재로 번지기 충분한 조건이었다.

산불이 시작된 산소는 해발고도 약 200미터 지점의 산 속에 있었다. 이 산의 정상은 천등산(해발 347.3m)으로 발화 지점은 6~7부 능선에 해당한다. 기상청 관측에 따르면 당시 평지 기준 바람은 초속 2m 수준으로 강하지 않았지만 6~7부 능선의 고도면 풍속은 2~3배까지 증가하는 경향이 있다. 즉 실제 현장에서는 초속 4~6m의 바람이 불었을 가능성이 높다. 바람은 산불 확산의 주요한 요인 중 하나다.

산소 주변은 소나무가 우점하고 있었다. 소나무는 테르펜 등 정유 성분이 20% 이상 함유된 송진을 포함하고 있어, 나무 가운데서도 특히 불에 잘 타는 수종으로 알려져 있다.⁴ 강원대학교 방재전문대학원 연구에 따르면 대형산불이 자주 발생하는 소나무림 지역에서는 실효습도 30~45% 범위가 2일 이상 지속되고 풍속이 7m/s 이상일 경우 '대형산불 주의보'를 발효하는 것이 타당하다. 실효습도 30% 미만이면 풍속이 11m/s 이상일 경우 '대형산불 경보'를 발효하는 것이 타당하다고 제시한다.⁵ 이 기준에 따르면 안평면의 당시 조건은 대형산불 주의보 발령 직전 수준으로 보인다. 며칠 뒤 기록된 초속 25m 이상의 강풍과 비교한다면 이때가 대형 산불을 막을 마지막 '골든 타임'이었다.

그러나 초기 진화는 실패로 돌아갔다. 의성에서 시작된 산불은 안동을 거쳐 청송과 영양을 지나 영덕 지역까지 확산됐다. 1~2일만에 무려 78km 떨어진 거리까지 이동한 것이다.

2 기상청. (2025). 「2025년 3월 기후특성 분석 결과 발표」. 보도자료. 기상청 홈페이지

3 국립산림과학원. (연도 미상). 『산불통계연보』. 국립산림과학원 산불정보시스템

4 BBS NEWS. (2019). 『바짝 마른 소나무의 송진, 기름과 같다...강원 산불 키웠다』

5 이우균 외. (2016). 「사례분석을 통한 소나무림에서의 풍속과 실효습도 변화에 의한 대형산불 위험예보」. 『한국환경복원기술학회지』, 제 19 권 제 5 호.

그 결과 약 104,000 ha의 산림이 불에 탔다. 이는 대한민국 전체 면적(약 1,000만 ha)의 약 1.5%에 해당한다. 31명이 목숨을 잃었으며 4,000여 채의 주택이 전소되었다. 수많은 이재민이 발생했을 뿐 아니라, 신라 시대 의상대사에 의해 창건되어 1,300년 동안 보전돼 온 고운사 사찰 또한 잣더미가 되었다. 수많은 나무와 야생동물을 비롯한 생태계 전반에 걸친 피해는 정확한 규모조차 파악하기 어렵다.

III. 수종 다양성과 산불 피해

식생, 기후환경과 인간 활동은 산불 발생의 주요한 요인이 된다.

기후환경은 산불의 발생과 확산에 직접적인 영향을 미친다. 이번 의성 산불에서도 초속 25m의 돌풍급 강풍과 평년 대비 높은 온도로 건조해진 환경이 산불의 피해를 키웠다. 산업화 이전과 비교하여 현재의 국내 산불 위험일이 연간 최대 120일 증가하고 산불 위험지수가 평균 10% 이상 증가했다는 그린피스와 카이스트 연구팀의 연구 결과 발표도 있었다.⁶

인간 활동 또한 산불 발생의 주요 요인이다. 산림청 통계에 따르면 최근 10년간 우리나라 산불 발생의 주요 원인은 입산자 실화, 쓰레기 소각, 논밭두렁 소각 등 인간 활동이 전체 산불 원인의 70% 이상을 차지한다. 이 중 논밭두렁 및 쓰레기 소각이 전체 산불 원인의 약 19%를, 입산자 실화가 약 18%를 차지한다. 다수의 방재 전문가들은 한국에서 자연적으로 발생하는 산불은 사실상 없다고 말한다.⁷

연료에 해당하는 식생 역시 산불 피해에 영향을 미치는 중요한 요인이다. 이 논쟁은 10여년 전부터 있었으나 이번 산불로 다시 큰 논쟁거리가 되었다. 특히 소나무를 비롯한 침엽수림이 산불에 취약하다는 점을 두고, 산림청이 그동안 숲가꾸기 정책으로 활엽수를 제거하고 소나무 단순림을 조성했다는 논란이 불거졌다.

그러나 산림청과 일부 학계는 이에 반박하고 있다. 이번 산불 지역 대부분은 임상도도 분류상 ‘천연림’에 속하는 소나무림이며, 기후변화로 인해 어떤 수종도 화재 위험에서 안전할 수 없다는 것이다. 또한 활엽수 역시 낙엽 축적 시 산불에 취약할 수 있다고 주장했다.

남성현 전 산림청장은 언론 인터뷰에서 “불에 강한 나무란 사실상 없으며 이번 산불 같은 극단적 조건에서는 어떤 수종도 위험하다”고 밝혔다. 그는 수종 변경보다는 초동 대응과 진화 역량 강화를 강조하며 대형 물탱크를 갖춘 헬기와 진화차, 임도 등 진화 인프라 확충이 더 시급하다고 주장했다.⁸

6 [그린피스. \(2025\). \[보도\] “산불 위험일, 기후위기로 산업화 이전보다 최대 120일 늘었다”](#)

7 [통계청, <산불 발생 및 피해 현황>, e-나라지표,](#)

8 [중앙일보. \(2024\). 불에 강한 나무 어디에도 없는데…산불 뒤 욕받이 된 소나무.](#)

이와 관련해 그린피스는 폴란드 아담미츠키에비치 대학교 연구진에게 시뮬레이션 연구를 의뢰했다. 시뮬레이션 배경은 백두대간 보호지역의 일부인 민주지산 지역으로, 단일수종 중심의 단순림과 다양한 수종으로 구성된 혼합림 시나리오에 초점을 맞추어 산불역학을 분석했다. 이를 통해 한국의 실제 산림조건에서 다양한 수종이 있는 환경이 산불 저항력이 높다는 주장을 실험적으로 검증할 수 있다.

아담 미츠키에비치 연구진의 산불 시뮬레이션 결과⁹

이 연구는 산불 역학을 분석하기 위해 첨단 컴퓨터 시뮬레이션을 사용했다. 이 시뮬레이션은 지형, 빛을 포함한 지상 및 지하 자원에 공간적으로 적응하는 나무 형태의 기하학적 표현(가지 단위까지), 물 유출 및 침투의 과정에 대한 상세한 모델링, 산불의 물리적 원리 시뮬레이션을 포함한 상세한 공간 정보를 통합한다는 점에서 생태학에서 사용되는 기존 모델과는 차별점을 가진다

시뮬레이션에서는 각 나무의 화학적 특성은 배제하고 형태적 특성만을 고려했다. 침엽수가 정유 함량이 높아 산불에 취약하다는 사실은 이미 다수의 국내외 연구^{10 11 12}를 통해 밝혀진 바 있다. 이번 시뮬레이션의 목적은 산불 확산의 과정을 정밀하게 재현하고, 잣나무와 소나무, 굴참나무와 신갈나무 등 서로 다른 수종이 형태적 특성과 그에 따른 연료 수분 분포의 차이로 인해 어떻게 산불 확산과 상호작용하는지를 확인하는 데 있다. 기존 연구가 주로 침엽수의 화학적 특성(정유 함량)에 주목해 산불 취약성을 설명했다면, 이번 연구는 침엽수의 구조적·형태적 특성(나무 모양)이 산불 확산에 어떤 영향을 미치는지, 그리고 혼합림(침엽수와 활엽수 등의 혼합)이 이러한 형태적 취약성을 얼마나 효과적으로 완화하는지를 보여준다.

시뮬레이션 시나리오 및 설계

본 시뮬레이션은 숲의 구성(단순림 vs 혼합림)뿐만 아니라 능선이나 계곡 등 지형의 형태(에 따라 산불의 확산 속도와 심각도가 달라진다는 가설을 바탕으로 설계되었다. 특히 3차원으로 구현된 식생, 토양 및

9 (Draft Manuscript in Review) Kokosza, A., Wrede, H., Yeo-Chang, Y., Michels, D. L., Pirk, S., & Pałubicki, W. (Draft Manuscript in Review). *Geometric Differences in Forest Types as a Key Determinant of Wildfire Severity*. Adam Mickiewicz University, Kiel University, Seoul National University, KAUST.

10 박주한, 문민규, Tristan Green, 강민석, 조성식, 임종빈, 김수진. (2024). [혼대림에서 수종 구성의 차이가 화재 저항성에 미치는 영향](#) 『*Forest Ecology and Management*, 제 572 권,

11 Seo, H.-S., & Choung, Y.-S. (2010). *Vulnerability of Pinus densiflora to forest fire based on ignition characteristics*. *Journal of Ecology and Environment*, 33(4), 343–349.

12 Proença, V., Pereira, H. M., & Vicente, L. (2010). *Resistance to wildfire and early regeneration in natural broadleaved forest and pine plantation*. *Acta Oecologica*, 36(6), 626–633.

대기의 명시적인 표현을 통해, 능선이나 계곡과 같은 지형 형태가 특정 숲 유형(혼합림과 침엽수 단순림)의 산불 피해 강도에 미치는 영향을 보다 정확히 평가했다. ‘지형위치지수(TPI)’를 활용하여 각 지형 유형이 산불 행동에 미치는 영향을 정밀하게 평가하였다.

산불 시뮬레이션 모델

1. 침엽수 단순림: 이 시나리오는 정사각형 격자 안에 1.8 미터 대각선 간격¹³으로 심어진 소나무과 (Pinaceae)의 잣나무(pinus koraiensis) 숲의 성장을 시뮬레이션했다.
2. 혼합림: 위와 대조적으로, 침엽수와 활엽수가 혼합된 생태계를 반영했다. 침엽수는 소나무 (Pinus densiflora)와 잣나무(pinus koraiensis)로, 활엽수는 굴참나무(Quercus variabilis)와 신갈나무(Quercus mongolica) 로 설정되었다. 그 외 기타 관목들이 조성되었다.

*컴퓨터 시뮬레이션 환경에서 두 숲은 조성된지 약 40 년이 지난 상태로 설정됨

본 시뮬레이션에서는 소나무 대신 소나무 과의 잣나무를 시뮬레이션했다. 이는 폴란드 아담 미츠키에비치 대학교 연구진이 제공받은 자료 중 「38 년간 장기 모니터링을 통한 잣나무 인공림의 생장 변화 분석」의 데이터가 신뢰성이 높은 것으로 판단했기 때문이다.¹⁴

소나무는 형태적으로 잣나무와 유사하다. 그러나 소나무는 화학적 특성(정유 함량 등)상 수관화로 전이될 가능성이 잣나무보다 높은 것으로 알려졌다.¹⁵ 따라서 형태적 특성만 고려한 본 시뮬레이션에서 잣나무를 사용한 결과는, 소나무를 포함한 침엽수림의 산불 피해를 오히려 보수적으로 평가한 것일 수 있다.

산불 시뮬레이션 모델 개요

산불 역학 시뮬레이션은 Kokosza 등 연구진의 논문인 ‘Scintilla: Simulating Combustible Vegetation for Wildfires’¹⁶에 설명된 방법을 사용하여 모델링되었다. 이 접근법은 다양한 가연성 물질과 그 상호작용을 통합하여 산불을 물리적으로 표현한다. 모델에는 가지 구조, 연료 습도, 그리고 풀,

13 산림청, [숲가꾸기 교재](#), p.51, 잣나무 식재 밀도 참고

14 정상현, 이대성, 진희준, 서영완, 최정기. (2024). [38 년 간 장기모니터링을 통한 잣나무 인공림의 생장변화 분석](#). 한국산림과학회, 한국산림과학회지, 113(4), 533-545.

15 김성용, 이병두, 김유승, 이영진, 윤석희, 장미나. (2015). [소나무림과 잣나무림의 산불 잠재위험성 비교](#). Crisisonomy, 11(11), 261-276.

16 Kokosza, A., Wrede, H., Gonzalez Esparza, D., Makowski, M., Liu, D., Michels, D. L., Pirk, S., & Palubicki, W. (2024). *Scintilla: Simulating combustible vegetation for wildfires*. ACM Transactions on

임내 연료의 수분 함량¹⁷, 낙엽층과 같은 다양한 가연성 물질의 공간 분포가 상세히 표현되어 있다. 이를 통해 연료 특성이 산불에 미치는 영향을 자세히 시뮬레이션할 수 있다. 이 동적 시뮬레이션은 대류, 연소, 그리고 식생, 토양, 대기 간의 열 전달 과정을 포함한다. 여기에는 지표 화재가 나무 꼭대기까지 번지는 수관화와 불씨와 불뚱이 산불을 확산시키는 과정이 포함된다. 이러한 방법을 사용하여 두 가지 산림형 시나리오에 대해 산불을 시뮬레이션했다.



<그림 1. 혼합림(위)과 침엽수 단순림(아래)에서 산불이 진행되는 과정을 단계별로 재현함 (낮은 연료 습도)>

산불 시뮬레이션은 낮은 연료 습도와 높은 연료 습도 조건에서 수행되었다. 각 조건은 소나무 단순림과 혼합림에 적용되었으며 혼합림은 활엽수, 관목 등 다양한 종으로 구성된 숲이다. 숲 내 연료 분포의 영향을 연구하기 위해 연료 습도와 나무 분포를 제외한 모든 요소는 모든 시뮬레이션에서 동일하게 설정되었다.

매개 변수 이름	낮은 연료 수분 조건	높은 연료 수분 조건
풍속	20km/h (5.6m/s)	20km/h (5.6m/s)
표면 연료 질량	1.65kg/m ²	1.8kg/m ²
표면 연료 수분 함량 ¹⁸	혼합림 : 35% 침엽수 단순림 : 25%	혼합림 : 55% 침엽수 단순림 : 45%

*혼합림은 관목의 습도가 포함되어 있어, 기본적으로 침엽수 단순림보다 수분 조건이 높은 것으로 설정

Graphics, 43(4), 1-21. <https://doi.org/10.1145/3658192>

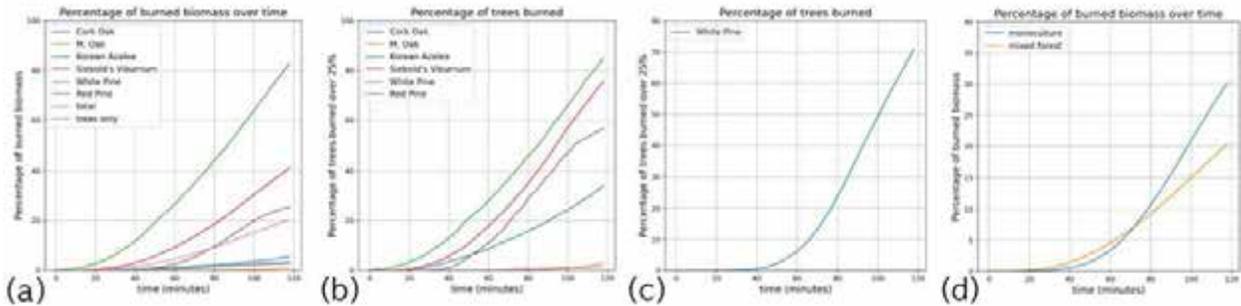
17 숲 속의 풀, 떨어진 나뭇가지 등 불에 탈 수 있는 요소의 수분 함량

18 산림청의 연료습도 추정 기준인 마른 가지와 잎사귀 등에서의 습도를 측정한 값 (Dead Fuel Moisture). 시뮬레이션에서는 관목 및 등 지하부의 유기물질 습도도 고려되었음. 산림청 기준의 습도로 환산할 경우, 낮은 습도는 10%, 높은 습도는 20%에 근접함.

이 숲들은 Palubicki et al. 2022 가 제시한 산림 성장 모델¹⁹을 사용해 생성되었으며 각기 다른 바이오매스 분포를 특징으로 한다. 소나무 단순림은 크기와 나이가 비슷한 나무들이 촘촘히 심어진 것이 특징이다. 혼합림은 관목과 침엽수, 활엽수 등이 포함되어 나무들이 더 크고 간격이 넓게 분포되어 있다. 또한 혼합림에서는 더 작은 식생이 지면 가까이 자리잡고 있다. 이러한 구조적 차이는 시뮬레이션에서 관찰되는 산불 패턴에 큰 영향을 미친다.

산불 시뮬레이션 결과 분석

1. 낮은 연료 습도에서의 산불 비교 (영상)



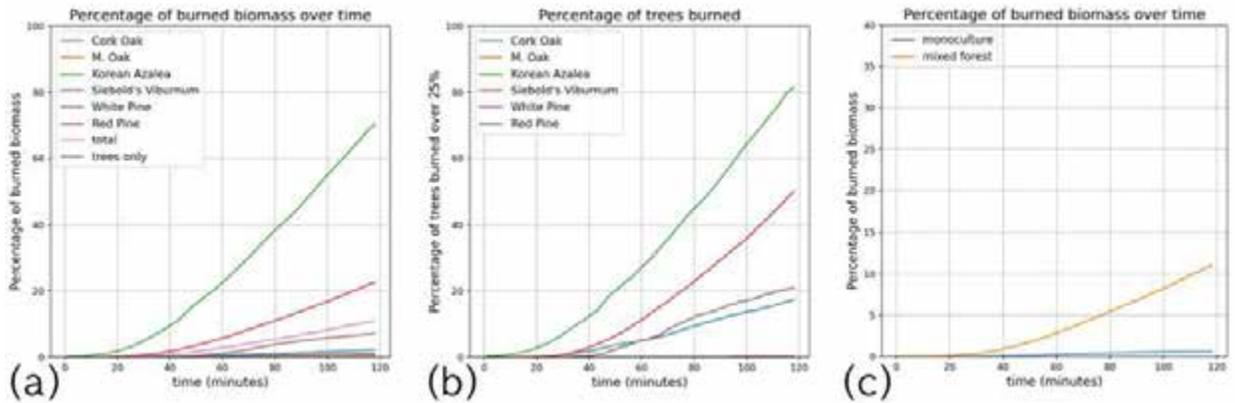
<그림 1. 낮은 연료 습도 조건에서의 침엽수 단순림과 혼합림의 연소 비율 비교. (a)는 혼합림에서 수종별 바이오매스 연소 비율을 나타낸 그래프이다. (b)는 혼합림 내 수종별로 바이오매스가 25% 이상 연소된 비율이다. (c)는 침엽수 단순림(잣나무)에서의 바이오매스 연소 비율을 나타낸다. (d)는 혼합림과 침엽수 단순림의 전체 바이오매스 연소 비율을 비교한 것으로, 초기에는 혼합림의 연소 비율이 더 높지만 시간이 경과하며 침엽수 단순림에서 수관화가 발생해 연소 비율이 급격히 증가하여 혼합림을 크게 초과한다. 특히 상단 그래프를 살펴보면 단순림에서는 거의 전부 전소된 잣나무가 혼합림속에서는 피해가 거의 없음을 확인할 수 있다.>

낮은 연료 수분 조건에서 두 숲 유형의 산불 행동은 현저히 달랐다. 초기에는 혼합림의 연료가 수직적으로 밀집되어 있어, 지표면의 철쭉과 같은 낮은 키의 관목 및 식생층(그래프 (a), (b)의 녹색 및 붉은색)을 거쳐 나무의 수관으로 빠르게 화재가 확산되며 더 심각한 산불 양상을 나타냈다. 관목과 식생층은 화재를 수직 방향으로 전파시키는 이른바 ‘사다리 연료(ladder fuel)’로 작용했다. 그러나 표면 연료가 점차 소모되면서 산불의 강도는 정체되었다. 결국 혼합림에서는 나무 수관 사이의 간격이 넓어 화재가 나무 꼭대기로 옮겨붙는 ‘능동적인 수관화(crown fire)’ 현상으로 발전하지는 않았다. 혼합림 내에서도 참나무에 비해 소나무와 관목이 더욱 큰 피해를 입었다는 도 주목할 만하다.

19 Pałubicki, W., Makowski, M., Gajda, W., Hädrich, T., Michels, D. L., & Pirk, S. (2022). *Ecoclimates: Climate-response modeling of vegetation*. ACM Transactions on Graphics, 41(4), 1–19. <https://doi.org/10.1145/3528223.3530146>

반면 침엽수 단순림은 초기 연소 속도가 상대적으로 느렸다. 관목이 없어 불길의 위쪽으로 확산될 수 있는 사다리 연료가 부족했기 때문이다. 그러나 화재가 진행되면서 불이 수관층으로 옮겨붙었고, 밀도가 높고 균일하게 배치된 나무 수관 때문에 빠르게 ‘능동적인 수관화(active crown fire)’로 발전했다. 이러한 수관화 현상은 부러진 가지나 경사진 지형 등과 같은 무작위적 요인에 의해 촉진될 수 있다. 이는 실제 시뮬레이션 중 여러 차례 발생했다. 침엽수 단순림 내 여러 지점에서 수관화가 시작되자 연소 속도가 급격히 증가했고 이는 그림 1의 (d) 그래프와 같이 단순림이 혼합림의 연소 비율을 능가하는 결과로 이어졌다.

2. 높은 산림 연료 습도에서의 산불 비교



<그림 2. 높은 연료 습도 조건에서의 침엽수 단순림과 혼합림의 연소 비율 비교. (a)는 혼합림에서 수종별 바이오매스 연소 비율을 나타낸 그래프이다. (b)는 혼합림 내 수종별로 바이오매스가 25% 이상 연소된 나무의 비율을 나타낸다. (c)는 혼합림과 침엽수 단순림의 전체 바이오매스 연소 비율을 비교한 것이다. 높은 연료 습도 조건에서는 침엽수 단순림에서 수관화가 발생하지 않고 지표화만 발생했다. 혼합림 내 활엽수는 낮은 연료 습도 조건의 산불 시뮬레이션과 비슷했다. 이는 연소된 바이오매스 비율이 시간이 지남에 따라 완만하게 증가하는 양상으로 나타나며, 높은 수분 함량이 산불 확산에 강한 저항력을 제공함을 보여준다. 다만, 국내에서는 높은 산림 연료 습도 조건에서 산불이 발생하는 사례가 거의 없다.²⁰⁾>

20 분 산불 시뮬레이션은 수종의 화학적·생리적 산불 취약도가 아닌, 구조적 형태만을 기준으로 화재 확산을 재현한 것이다. 따라서 실제 높은 습도 조건에서의 산불 확산은 본 시뮬레이션과 다른 양상으로 나타날 수 있다.

지형과 산림구성에 따른 산불 피해 평가

연구진은 이 모델을 지형위치지수(TPI, Topographic Position Index)²¹로 분류된 다양한 지형 유형에 적용하여 산불 피해 강도를 평가했다. 수종별 산불 확산 양상이 실제 지형에서 어떻게 나타나는지 검증하기 위해서다. 분석 결과 산불 피해 강도는 지형 유형 및 산림 구성과 유의미한 상관관계를 보였으며, 지형에 따라 수종의 피해 정도가 달랐다. 즉 일부 지형에서는 활엽수림이 침엽수림보다 더 취약한 반면, 다른 지형에서는 침엽수림이 더 큰 피해를 입는 양상을 보였다.

Table 1: Landform Categories and TPI Classification

Landform Categories	SN TPI	LN TPI
Canyons	TPI ≤ -1 Stand. Units	TPI ≤ -1 Stand. Units
Shallow Valleys	TPI ≤ -1 Stand. Units	TPI > -1 Stand. Units and TPI < 1 Stand. Units
Upland Drainages	TPI < -1 Stand. Units	TPI ≥ 1 Stand. Units
U-Shaped Valleys	TPI > -1 Stand. Units and TPI < 1 Stand. Units	TPI ≤ -1 Stand. Units
Plains	TPI > -1 Stand. Units and TPI < 1 Stand. Units	TPI > -1 Stand. Units and TPI < 1 Stand. Units
Open Slopes	TPI > -1 Stand. Units and TPI < 1 Stand. Units	TPI > -1 Stand. Units and TPI < 1 Stand. Units
Upper Slopes	TPI > -1 Stand. Units and TPI < 1 Stand. Units	TPI ≥ 1 Stand. Units
Hills in Valleys	TPI ≥ 1 Stand. Units	TPI ≤ -1 Stand. Units
Midslope Ridges	TPI ≥ 1 Stand. Units	TPI > -1 Stand. Units and TPI < 1 Stand. Units
High Ridges	TPI ≥ 1 Stand. Units	TPI ≥ 1 Stand. Units

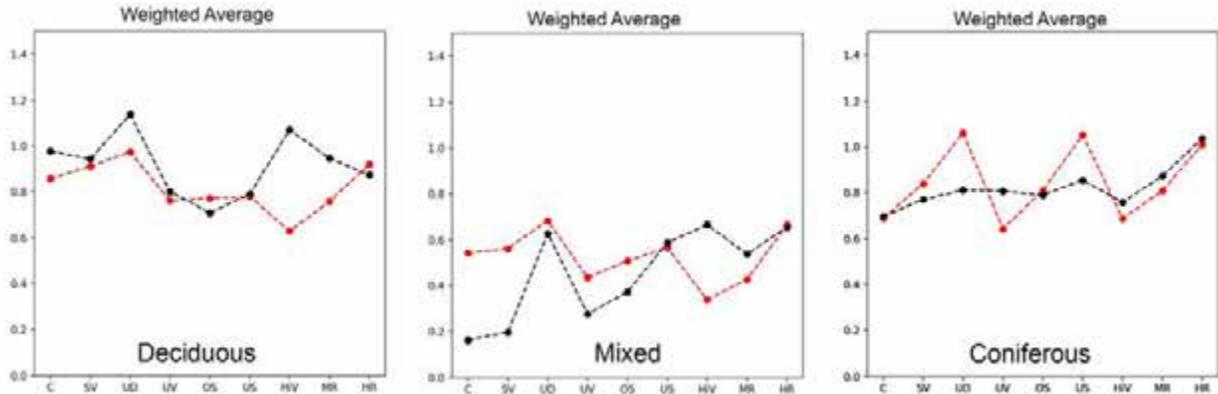
<

그림 3. Weiss(2001)에서 정의한 지형 카테고리 및 지형위치지수(TPI, Topographic Position Index) 분류 표>

산불 피해 강도의 정량적 평가는 ‘표준화 연소 비율(NBR, Normalized Burn Ratio)’을 통해 이루어졌다. NBR은 위성 원격탐사 데이터를 기반으로 산불 전후의 식생 상태 변화를 정량화한 지표로, 값이 클수록 산불 피해가 심각함을 나타낸다.

지형위치수 (TPI)는 특정 위치의 상대적 고도를 정량적으로 나타내는 지표로, 값이 양수이면 주변 지역보다 높은 위치(예: 능선, 산 정상)를 나타내고, 음수이면 주변보다 낮은 위치(예: 계곡)를 의미한다. 이를 통해 산불 피해가 지형 유형(능선, 계곡, 경사면 등)에 따라 어떻게 달라지는지를 구체적으로 분석할 수 있다.

21 Weiss, A. (2001). *Topographic position and landforms analysis*. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA



<그림 4. ‘지형 유형에 따른 산불 피해 강도(ΔNBR)’를 나타낸 그래프. 실제 한국에서 발생한 산불 3건(빨간색 선)과 26 회의 시뮬레이션 결과(검은색 선)를 왼쪽부터 활엽수 단순림, 혼합림, 침엽수 단순림으로 구분하여 제시하였다. 실제 관측된 데이터와 시뮬레이션 모두 혼합림이 단순림보다 낮은 ΔNBR 값을 나타냈으며 이는 혼합림이 단순림에 비해 산불 피해 강도가 낮다는 것을 의미한다>

연구진은 실제 한국 산불 데이터를 기반으로 한 국립산림과학원의 연구(Lee et al., 2008)²²를 활용하여 시뮬레이션 결과를 검증하였다. 국립산림과학원의 연구는 삼척(2000년), 청양(2002년), 양양(2005년)에서 발생한 산불을 대상으로 피해도를 분석하고 지형을 구분하여 지형과 산불 피해 간의 상관관계를 통계적으로 분석했다. 본 시뮬레이션에서도 실제 데이터와 유사한 경향이 나타났으며, 특히 침엽수림은 능선 및 상부 경사면에서 상대적으로 높은 산불 피해 강도를 보였다.

본 연구 시뮬레이션 결과와 추가 연구 논문 분석 결과 모두 혼합림(mixed forest)이 대부분의 지형에서 일관되게 낮은 산불 피해를 보였다. 이는 혼합림이 가진 생물다양성과 구조적 다양성이 산불 확산을 억제하는 데 중요한 역할을 함을 시사한다. **따라서 산불을 예방하고 피해를 줄이기 위해 생물다양성을 높이는 산림 관리 방안이 효과적인 전략으로 고려되어야 한다.**

논의와 한계

시뮬레이션 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 혼합림에서는 지표면 근처에 위치한 관목과 저지대 식생이 산불의 수직 확산을 촉진하는 ‘사다리 연료(ladder fuel)’ 역할을 하였다. 이에 따라 초기 화재 반응은 다소 격렬했으나 수관 간의 간격이 넓고 다양한 수종이 혼재되어 있었기 때문에 능동적 수관화(나무 윗부분으로 불이 옮겨붙는 현상)로 급격히 발전하지는 않았다.

²² 이병두, 원명수, 장광민, 이명보. (2008). 지형과 산불피해도와의 관계 분석. 『한국지리정보학회지』 제 11 권 제 1호, 58-67 쪽

- 반면 잣나무 중심의 단순림은 하층 식생이 부족하여 초기 확산 속도는 상대적으로 느렸지만, 수관 밀도가 높고 나무의 키와 연령이 균일해 일단 불이 수관으로 옮겨 붙은 이후에는 급격한 수관화가 진행됐다. 단순림의 피해 면적과 화재 확산 강도는 혼합림을 크게 웃돌았다.
- 침엽수 단순림에서는 잣나무가 산불에 매우 취약했지만, 다양한 수종으로 구성된 혼합림에서는 잣나무도 안전하게 생존했다. 이는 숲의 수종 다양성이 개별 수종의 산불 취약성을 완화할 수 있음을 보여주는 근거가 된다.

본 시뮬레이션 결과를 검토한 이시영 강원대학교 방재전문대학원 명예교수는 다음과 같은 의견을 제시하였다.

“침엽수가 불에 붙을 경우, 현실에서는 시뮬레이션 산불과 달리 강력한 대류 현상을 관찰할 수 있다. 대류 현상이란 공기가 가열되면서 밀도가 낮아져 상승하고 주변의 찬 공기가 하강하며 공기의 순환 운동이 일어나는 현상으로, 실제 산불 현장에서는 뜨거운 공기와 화염이 상승하면서 본 시뮬레이션은 단순 사면형 지형 조건에서의 산불 확산 양상을 분석한 것이다. 실제 산불 환경은 더욱 복잡하고 다양한 변수가 작용하므로, 이 결과를 현실에 적용할 때는 보다 다양하고 정밀한 추가 분석과 검증이 필요하다. 특히, 혼합림 내 활엽수의 경우, 실제 지난 3월 산불 당시에는 잎이 나지 않은 상태였기 때문에 시뮬레이션처럼 잎이 난 조건과는 차이가 있어 정확한 비교에는 한계가 있으며, 보다 정밀한 추가 분석과 검증이 필요하다. 또한 시뮬레이션에 들어간 변수가 상당히 복잡하여, 이를 정밀하게 분석하는 데에는 더 많은 시간이 걸린다. 그러나 본 연구에서 관찰된 산불 확산의 차이는 일정 부분 현실과 유사한 것으로 평가할 수 있다.

침엽수가 불에 붙을 경우, 현실에서는 시뮬레이션 산불과 달리 강력한 대류 현상을 관찰할 수 있다. 대류 현상이란 공기가 가열되면서 밀도가 낮아져 상승하고 주변의 찬 공기가 하강하며 공기의 순환 운동이 일어나는 현상으로, 실제 산불 현장에서는 뜨거운 공기와 화염이 상승하면서 불기둥 형태로 나타나는 특징을 가진다. 이는 산불의 강도를 더욱 높이고 산불이 빠르게 주변으로 확산되는 원인이 된다. 또한 침엽수에서는 습도가 높은 환경에서도 시뮬레이션처럼 수관화를 100% 억제하지 못하는 경우가 더 많이 목격된다.

특히 이번 의성 산불의 경우, 시뮬레이션에서 설정한 조건보다 훨씬 복잡하고 다양한 양상을 보였다. 실제 현장에서는 초속 25m 이상의 강풍이 불었고, 지형 역시 여러 차례 경사면을 오르내리는 등 민주지산보다 더 복잡한 구조였기 때문이다. 그럼에도 침엽수림에서 산불이 수관층으로 옮겨붙으며 빠르게 확산되고, 혼합림에서는 수관화의 확산이 느리게 진행되거나 억제되는 시뮬레이션 결과는 실제 산불의 양상과 상당 부분 유사하다. 또한 연료 습도가 낮을수록 산불 확산 속도가 빨라지고, 연료 습도가 높으면 산불 확산이 억제되는 경향 역시 이번 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있는 중요한 사실이다.”

이 시뮬레이션과 비슷한 연구 결과는 국내에서도 찾아볼 수 있다. 이시영 강원대학교 방재전문대학원 명예교수는 소나무가 참나무류보다 수피가 얇고 탈 수 있는 잎이 사계절 붙어있어 산불에 특히 취약하다고 밝힌 바 있다. 또한 이 교수는 소나무와 참나무류의 연소 실험에서 소나무는 송진으로 인해 발열량이 참나무류보다 약 1.5 배 높아, 소나무림에서 산불이 더 빠르게 확산될 수 있음을 확인했다고 언급했다.²³

본 시뮬레이션은 각 수종의 형태적 특성만을 고려하였기에, 소나무와 잣나무에 관한 생리적·화학적 특성이 충분히 반영되어 있지 않다. 그러나 국내 연구에 따르면 소나무와 잣나무는 모두 낮은 연료 수분 함량과 높은 휘발성 정유 함량을 가지고 있어 기본적으로 산불에 매우 취약한 침엽수에 속한다.

그렇다면 실제로는 어떠할까? 그린피스 서울사무소는 이번 산불로 큰 피해를 입은 주왕산 국립공원을 찾아가 보았다. 해당 국립공원은 국내 보호지역 중 가장 많은 침엽수가 있던 보호지역 중 한 곳으로 알려졌다.

23 이시영. (2017). 『우리나라의 산불발생 특성과 대응방안』 한국소방안전원, 소방안전플러스 웹진 2017년 6월호.

IV. 피해 현장 조사

산불 피해를 입은 주왕산 국립공원

보호지역은 생태계 보전을 위해 인간의 개발과 교란 행위를 최소화하기 위해 지정하는 지역이다. 우리가 익히 아는 국립공원이 대표적인 보호지역이다. 설악산, 지리산 등 국립공원도 보호지역에 해당한다. 보호지역의 숲이 산불 피해를 받는 일은 많지 않다. 그러나 이번 산불로 주왕산 국립공원은 가장 많은 산불 피해를 받은 보호지역 중 하나로 기록되었다.

주왕산 국립공원은 경상북도 청송군과 영덕군에 걸쳐 태백산맥의 지맥인 낙동정맥의 중간에 자리잡고 있다. 1976년 3월에 12번째 국립공원으로 지정되었으며, 총면적은 약 106.114km²이다. 주왕산은 백악기 회류응회암으로 구성된 독특한 지질 환경을 가지고 있어 기암단애, 용추협곡, 주산지 등 다양한 지질 명소가 있다. 생태적으로는 신갈나무, 소나무 군락을 비롯하여 망개나무 등 희귀 식물과 산양, 수달, 솔부엉이 같은 다양한 야생동물이 서식하고 있다.

문화적으로는 약 1,300년 역사를 자랑하는 천년고찰 대전사를 비롯하여 주왕과 관련된 다양한 전설과 유적지가 곳곳에 산재해 있다. 또한 탐방객들을 위한 다양한 탐방 코스가 잘 갖추어져 있고 수달래축제와 가을 단풍으로 유명하다. 이러한 가치를 인정받아 2017년 유네스코 세계지질공원으로 지정되었다.²⁴

주왕산으로 산불이 옮겨붙은 건 3월 25일이다. 24일까지만해도 의성군 내에 머물렀던 산불은 단 하루만에 약 50km가 떨어진 영덕까지 번지며, 주왕산의 약 1/3을 불태웠다. 26일에는 주왕산의 대전사 인근 숲까지 확산되었다. 이 기간동안 피해 면적은 약 3,200여 ha에 달한다.

국립공원공단이 지난 7일부터 조사한 바에 따르면, 조사 첫날 주왕산국립공원 내 유일한 마을인 너구마을에서 불에 탄 노루 사체 1개체가 발견됐다. 주왕산의 ‘깃대종’(생태계를 대표할 수 있는 주요 동·식물)인 솔부엉이와 멸종위기종인 하늘다람쥐, 담비, 수달 등에 대한 피해도 확인할 수 있었다고 한다. 국립산림과학원은 산불 이후 동·식물의 생태계가 제자리를 찾기까지는 35년 이상의 시간이 걸린다고 분석했다.²⁵

한편 산림청은 국립공원의 산불 진화 과정에서 임도가 부족해 어려움을 겪었다며, 임도 부족 등 보존 위주 정책이 산불 진화 어려움의 한 원인으로 작용했다고 밝혔다. 또한 “활엽수림 내 낙엽층이 최대 1m에 달할 정도로 두껍게 쌓여 있어, 헬기로 물을 뿌려도 표면만 적셔질 뿐 내부의 불씨가 계속 살아나 진화 작업이 반복됐다”고 설명했다.²⁶

24 한국관광공사. (2025). [추왕산국립공원](#) 『대한민국 구석구석』

25 박상현. (2025.04.09). [\[단독\] 국립공원에 난 산불, 국립공원은 손 못대…‘3분의 1 소실’ 주왕산 피해 키워](#) 『조선일보』

26 박찬수. (2025.04.08). [산림청장 "산청·하동 국립공원 내 임도 없어 산불 진화 애먹어"](#) 『뉴스 1』

그러나 국립공원공단은 임도가 산불 예방에 효과적이라는 산림청과는 다른 입장을 내놓았다. 국립공원공단이 최근 10 개월 동안 지난 5 년간 발생한 대형산불 피해지 5 곳과 국립공원 2 곳을 대상으로 풍속을 비교 분석한 결과, 임도에서의 바람 속도가 숲속보다 1.3 배에서 최대 2.4 배까지 빠르게 나타났다고 밝혔다. 공단은 이를 근거로 임도가 오히려 산불 확산의 원인이 될 수 있다는 점을 우려했다. 또한 국립공원공단은 산림청이 임도 확충의 근거로 인용한 일본과 오스트리아의 사례는 국내 상황과 기준이 달라 직접 비교가 어렵다고 설명하며, 국제적으로 통일된 기준을 적용할 경우 오히려 한국의 임도 밀도가 더 높은 수준이라고 덧붙였다. 현재 국내 임도는 총 2 만 km 로, 최근 10 년간 매년 약 745 km 씩 지속적으로 신설되고 있다.

산불 대응을 위한 임도 설치 논란은 과거부터 꾸준히 제기되어 왔다. 지난해 말 산림청은 산불 재난에 신속히 대응하기 위해 2027 년까지 총 3,332km 의 임도를 확충할 계획을 발표했다. 이는 경부고속도로 길이의 8 배에 달하는 길이이다.

문제는 이러한 임도 확충 사업이 생태자연도 1 등급 지역에서 이미 추진되고 있는 것으로 나타났다. 생태자연도 1 등급 지역은 보호지역으로 지정될 가능성이 높은 곳들이다. 실제 지난해 그린피스 조사 결과, 대우산·대암산 천연보호구역을 둘러싼 생태자연도 1 등급 지역에서도 임도 설치가 진행되고 있었다. 그리고 이번 주왕산 산불을 계기로 국립공원 내에서도 본격적인 임도 설치가 추진될 것이라는 우려가 제기되고 있다. 무분별한 임도 확장은 생태계 연속성을 단절시키고 보호지역을 파편화하여, 결국 보호지역 본연의 목적과는 반대로 인간의 교란을 가속화할 가능성이 크다.

한달 후

주왕산의 산불 피해가 심각하다는 소식이 전해지고, 그린피스는 식생 변화 지수 분석을 통해 산불 피해 현장을 확인했다. 의성에서 시작된 산불은 안동과 청송을 거쳐 주왕산의 서쪽으로 번졌다. 특히 북서쪽 월외탐방지원센터 입구 부근에서 피해가 두드러졌다.

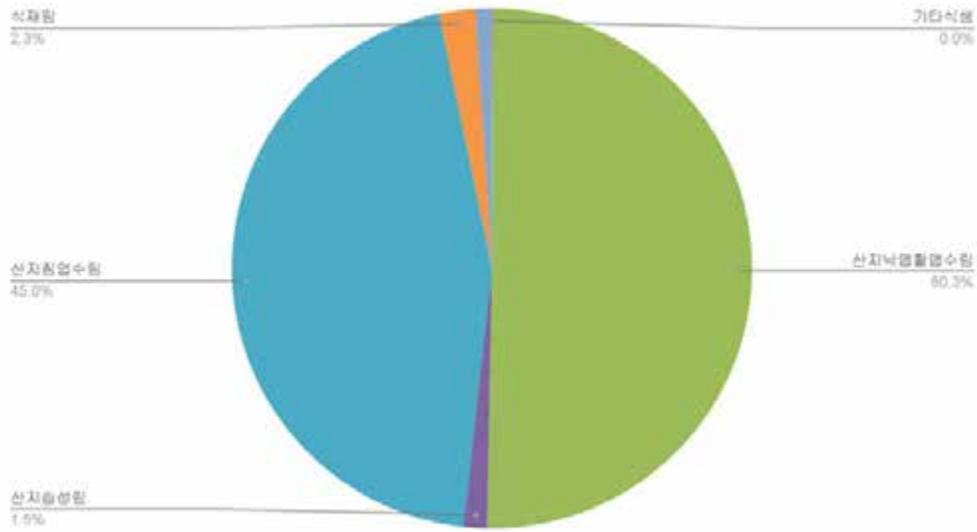


<식생 변화 지수로 확인한 산불 피해 상황. 검은 선 윤곽이 주왕산 국립공원. 주왕산 국립공원의 북서쪽과 북쪽부분에서 붉은 피해 영역이 확인된다>

그린피스는 국립공원공단으로부터 주왕산 산불 피해 지역의 정밀 식생도를 받아 분석했다. 주왕산국립공원에서 활엽수림은 비율은 60%가 넘으며 침엽수림 비율은 34% 정도다. 그러나 자료에 따르면 피해가 심했던 서쪽 지역은 주로 침엽수림이었으며, 동쪽 지역은 소나무 군락과 굴참나무 군락 등이 혼재되었다. 침엽수림에서 시작된 강력한 산불이 인접한 활엽수림까지 번지며 피해를 입힌 것으로 보인다.

주왕산 내 전체 산불 피해 지역의 정밀식생도 자료를 살펴보면, 산불 피해 면적에서 산지낙엽활엽수림이 약 50%(1,636ha), 침엽수림이 약 45%(1,463ha)를 차지하고 있다.

주왕산 산불 피해지 내 유형별 면적 분포



단순히 산불 피해 면적만 비교하면 활엽수림과 침엽수림이 비슷한 규모로 피해를 입었다고 할 수 있다. 그러나 인공위성 사진으로 관찰된 두 숲의 회복 모습은 큰 차이를 보였다. 인공위성 사진에서 산불 발생 전인 3월 21 일에는 대부분의 활엽수가 잎이 나지 않은 상태였다. 하지만 놀랍게도 산불 발생 이후인 4월 29 일 사진에서는 대다수 지역에서 잎이 새롭게 돋아난 모습을 확인할 수 있었다.

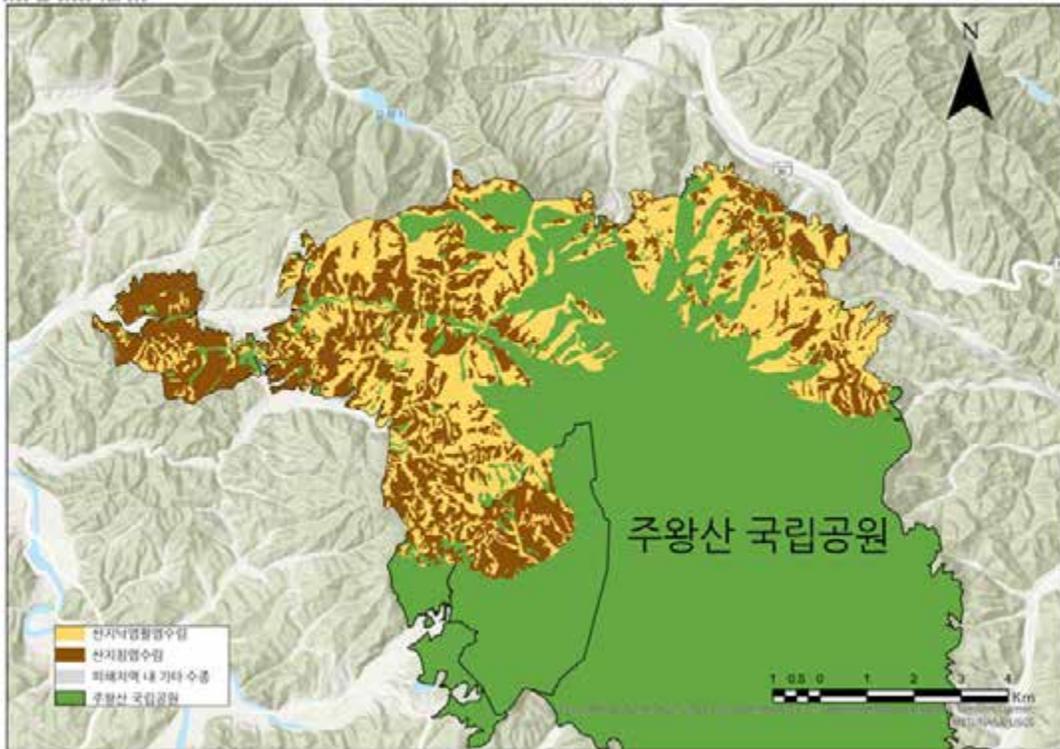


<2025년 3월 21일, 산불 발생 직전 주왕산의 인공위성 사진 © Planet.com>



<2025년 4월 29일, 산불 발생 한달 후 주왕산의 인공위성 사진 © Planet.com>

4월 29일의 인공위성 사진만 보면 북서쪽과 서쪽 일부 지역만 산불 피해를 입은 것으로 보일 수 있지만, 국립공원공단의 정밀 식생도를 함께 살펴보면 산불 피해를 입은 지역마다 침엽수와 활엽수의 비율이 조금씩 다른 것을 알 수 있었다.



<노란색 : 산지낙엽활엽수림 / 갈색 : 산지침엽수림 / 회색 : 피해지역 내 기타 수종 / 녹색 : 보호지역>

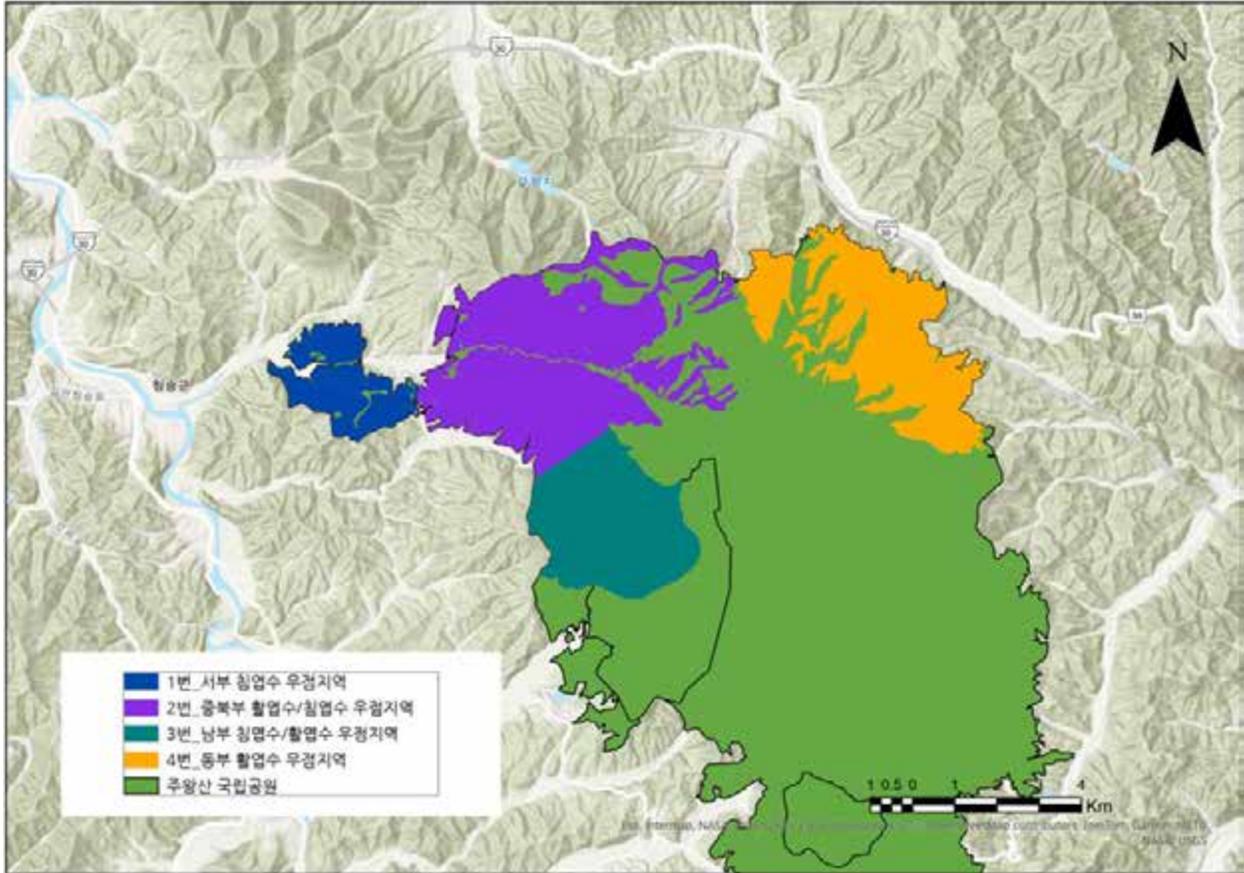
피해 현장 조사 방법

주왕산 국립공원의 피해가 다른 곳에 비해 얼마나 심각한지 그리고 산불 피해 현장에서 종 다양성이 어떻게 다른 결과를 낳는지를 확인하기 위해, 그린피스는 아래의 장소들을 방문했다.

- 보호지역 외부 피해 지역
 - 청송군청, 파천면 웅점리, 달기 약수터 (청송읍 약수길)
- 주왕산 내 침엽수림, 활엽수림, 기타 명확한 우점종이 없는 지역 (드론으로 현장 조사)
- 주왕산 내 너구마을

현장 조사는 2025년 4월 29일과 30일 양일간 이루어졌으며, 환경 및 산림 전문가와 드론 촬영팀이 함께 참여하였다. 주요 피해 지점에서의 드론 항공 촬영과 지상 육안 조사를 통해 식생 상태와 산불 피해 정도를 평가했다. 주왕산 내부 조사는 국립공원공단 주왕산사무소의 협조를 받아 진행되었다.

주왕산 국립공원의 현장 조사를 위해 산불 피해 지역을 크게 4가지 영역으로 구분했다. 국립공원공단의 정밀식생도에 따라 각 영역의 수종 구성에서 침엽수 또는 활엽수가 전체 면적의 60% 이상을 차지할 경우 해당 수종의 '우점지역'으로 설정했다. 특정 수종의 비율이 60% 미만일 경우 '명확한 우점종이 없는 지역'으로 구분하였다.



네 개의 영역은 다음과 같은 기준과 비율로 분류했다:

- 1번 영역 (파란색): 침엽수 우점지역 (침엽수 비율 78.8%)
- 2번 영역 (보라색): 명확한 우점종 없음 (활엽수 53.5%, 침엽수 42.2%)
- 3번 영역 (청록색): 명확한 우점종 없음 (침엽수 49.0%, 활엽수 43.6%)
- 4번 영역 (주황색): 활엽수 우점지역 (활엽수 비율 65.1%)

각 영역의 식생 별 면적 정보는 다음 표와 같다.

(단위 : ha (대분류/각 지역의 총 합계%))

대분류	1 번 영역	2 번 영역	3 번 영역	4 번 영역	총 합계
기타식생	0.78 (0.2%)	0.01 (0%)	0 (0%)	0.02 (0%)	0.82 (0%)
비식생	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0.61 (0.1%)	0.61 (0%)
산지낙엽활엽수림	51.26 (16.2%)	748.72 (53.5%)	324.04 (43.6%)	571.51 (65.1%)	1695.53 (50.8%)
산지습성림	0 (0%)	17.71 (1.3%)	26.19 (3.5%)	3.52 (0.4%)	47.41 (1.4%)
산지침엽수림	248.78 (78.8%)	590.49 (42.2%)	364.4 (49%)	277.48 (31.6%)	1481.15 (44.4%)
식재림	14.36 (4.5%)	35.59 (2.5%)	1.5 (0.2%)	24.72 (2.8%)	76.17 (2.3%)
암벽식생	0 (0%)	5.55 (0.4%)	27.8 (3.7%)	0 (0%)	33.34 (1%)
하반림	0.53 (0.2%)	0.61 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1.14 (0%)
총 합계	315.71	1398.68	743.92	877.85	3336.17

이러한 구분은 수종 면적에 대한 수치 분석을 바탕으로 설정한 것이므로, 일반적인 경관적 구분과는 다소 차이가 있을 수 있다. 또한 우점 수종 판단에 통일된 명확한 기준이 존재하지 않기 때문에 편의상 특정 수종이 60% 이상의 면적을 차지하는 경우를 '우점종'으로 정의하였다. 따라서 해당 우점종 구분은 상대적 비율에 따른 것이며 정확한 생태학적 정의와는 차이가 있을 수 있다.

보호지역 외부의 피해

청송군은 ‘푸른 소나무’라는 지명에서 알 수 있듯이 전체 면적의 83%가 임야이며 주로 소나무로 구성된 침엽수림이 많다. 아담 미츠키에비치 연구진 산불 시뮬레이션 결과에서도 엇볼 수 있듯, 산불에 취약한 종이 우점하여 피해가 컸던 것으로 추정된다. 실제 청송군에서는 주택 770 동이 전소되고 농가 951 호 및 농업 시설이 파괴되었다. 그리고 4 명의 사망자와 1 명의 중상자가 발생하였다.²⁷

27 양승미. (2025.03.31). 청송군산불대응상황보고(3 월 31 일 10 시)↓ 데일리대구경북뉴스(DailyDGNews).



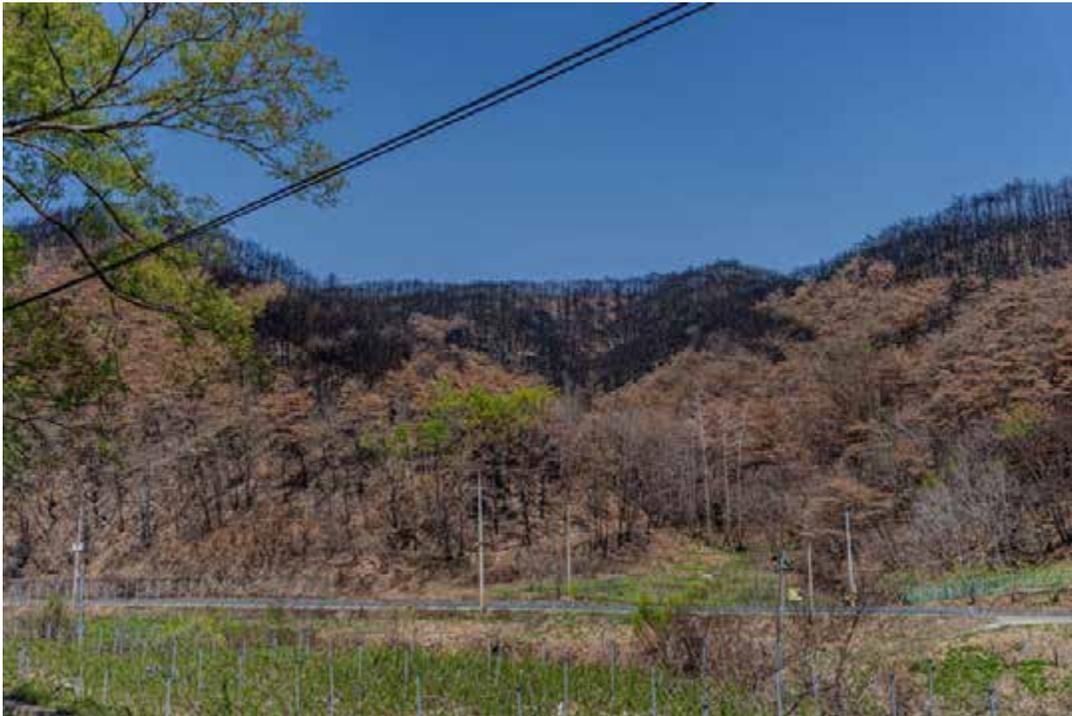
<2025년 4월 29일 청송군 파천면 웅점리 산불 피해 현장. 검게 탄 나무들은 완전히 소실된 지역이며, 갈색으로 보이는 부분은 열화 피해를 입은 것으로 추정된다>



<청송군 파천면 웅점리의 한 산불 피해 현장>

그린피스가 방문한 주왕산 인근 피해 마을에서는 대부분의 나무가 줄기와 가지까지 완전히 타버려 앙상하게 남거나, 산불의 열로 인해 잎이 말라 죽었다. 이러한 피해 유형을 각각 '전소'와 '열화'라고 한다. 산 정상부로 올라갈수록 소나무가 전소된 피해가 두드러졌다. 또한 대부분의 경우 침엽수가 마을까지 이어져 있어 피해가 더욱 컸다.

주왕산에서 동쪽으로 약 4~5km 떨어진 영덕군 지품면도 비슷한 양상으로 큰 피해를 입었다. 지품면은 국내 송이 생산량의 상당 부분을 차지하는 대표적 소나무 밀집 지역이다. 2023년 기준 전국 송이 생산량의 약 21%가 영덕에서 나왔으며 이 중 대부분이 지품면에서 채취되었다.²⁸ 이번 산불로 소나무 숲이 대부분 불에 타면서 주민들은 생계 수단까지 바꿔야 할 상황에 처했다.



<영덕군 지품면의 산불 피해 현장>

28 최현빈, 김정혜, 김나연, 강지수, 허유정. (2025.03.28). 『영덕 송이 산지도 잿더미… 농민들 마음도 시커멓게 타버렸다』 한국일보



<영덕군 지품면의 산불 피해 현장, 다수의 가구가 소실된 모습>

청송군청 인근까지 번진 산불은 군청 뒤 숲까지 피해를 줬다. 인근 청송여자중고등학교 앞에서는 130년 된 소나무가 타 쓰러지고 학교 앞 벤치와 정원까지 피해를 입혔다.



<청송군청과 산불피해를 받은 뒷산>



<산불 피해를 입은 청송여자중고등학교 앞 야산>



<산불 피해를 입은 청송여자중고등학교 앞 야산 내 130년 된 소나무. 속이 비어져 있어 화재 당시 부러지고 이후 토막냄>

청송군과 청송여자중고등학교는 주왕산 국립공원과 직선거리로 2~3 km 거리밖에 되지 않는다. 당시 초속 25m 강풍 상황을 고려한다면 보호지역으로 산불의 불씨가 이동하는 데 1~2 분 밖에 걸리지 않았을 것이다.

보호지역을 강타한 산불

1. 침엽수 우점 지역 (1 번 영역)

주왕산 국립공원의 서쪽 입구에는 달기약수터가 있다. 약수탕과 백숙 식당 등이 위치한 명소로 휴일이면 하루 평균 약 800 명의 관광객이 찾는 대표적인 관광지다. 이번 산불로 인해 일부 약수터가 완전히 소실되었고 나머지 약수터들도 재와 그을음으로 오염되었다.²⁹



<청송군 청송읍 부곡리, 달기 약수터의 산불 피해 현장>



<청송군 청송읍 부곡리, 달기 약수터의 산불 피해 현장>

29 [배운철. \(2022.06.16\). <커리두기 해제되자...청송 달기·신촌 약수 관광객 늘었다.> 영남일보](#)

달기약수터는 주변 산림 대부분은 침엽수림으로 이루어져 있다. 정밀식생도 자료에 따르면 이 지역 침엽수림 면적 비율은 약 78%로, 활엽수림의 면적보다 약 4.85 배 더 넓었다. 침엽수림이 집중된 산림 구조의 영향으로 달기약수터 일대는 보호지역 밖의 마을처럼 심각한 피해를 입었다.



<청송군 청송읍 부곡리, 달기 약수터 인근 산림>



<청송군 청송읍 부곡리, 달기 약수터 인근 산림>

그러나 달기약수터 남쪽 백운사는 온전했다. 백운사 양옆이 소나무 군락으로 이루어졌지만 사찰 건물 자체는 피해를 면했다. 백운사 동쪽이 절벽 지형으로 이루어져 있는데, 서쪽에서 불어오는 강풍이

능선과 절벽에 의해 약화되거나 차단되면서 불의 전파가 둔화되었을 가능성이 있다. 그리고 사찰 주변에 넓은 개활지가 형성되어 있었다. 식생이 부족한 개활지가 자연적인 방화대(防火隊)로 작용하여 불씨의 전파를 저지한 것으로 보인다. 이러한 요인들이 복합적으로 작용하면서 백운사는 주변 지역에 비해 상대적으로 산불 피해가 적었던 것으로 추정된다. 이는 식생구조 뿐 아니라 지형과 바람 또한 산불 대형화의 주요 요인임을 시사한다.



<청송군 청송읍 부곡리 백운사 피해 현장>

주왕산 서쪽의 달기약수터가 큰 피해를 입은 반면, 반대편인 동북쪽 지역의 피해 양상은 상반된 모습을 보였다.

2. 활엽수 우점 지역 (4 번 영역)



<영덕군 지품면 수암리 (주왕산 북동쪽 경계)>

주왕산 국립공원의 북동쪽 경계 지역은 활엽수가 약 65%를 차지한다. 육안으로 보더라도 서쪽 지역에 비해 피해가 덜 심각해 보였다. 특히 정밀 식생도 상 침엽수 군락이 있는 지점에만 열화 피해가 눈에 띄었다. 활엽수림도 피해 지역 안에 있었기 때문에 활엽수도 산불 피해를 입었지만 대부분 생존해 있을 피운 것이다. 이 영역에서는 전소된 나무도 거의 보이지 않았다.



<영덕군 지품면 수암리 (주왕산 북동쪽 경계), 주왕산 (좌측)과 일반 산림 (우측) 주변 일반 산림과 비교해 뚜렷한 차이가 확인된다>

3. 중북부 활엽수 / 침엽수 우점 지역 (2 번 지역)

중북부 지역에는 월외탐방지원센터가 있었으며 동쪽으로 외씨버선길이 이어진다. 이 영역은 활엽수(53.5%)와 침엽수(42.2%)가 거의 균등하게 형성되었다. 그러나 외씨버선길 좌우로 피해 양상이 극명히 달랐다.

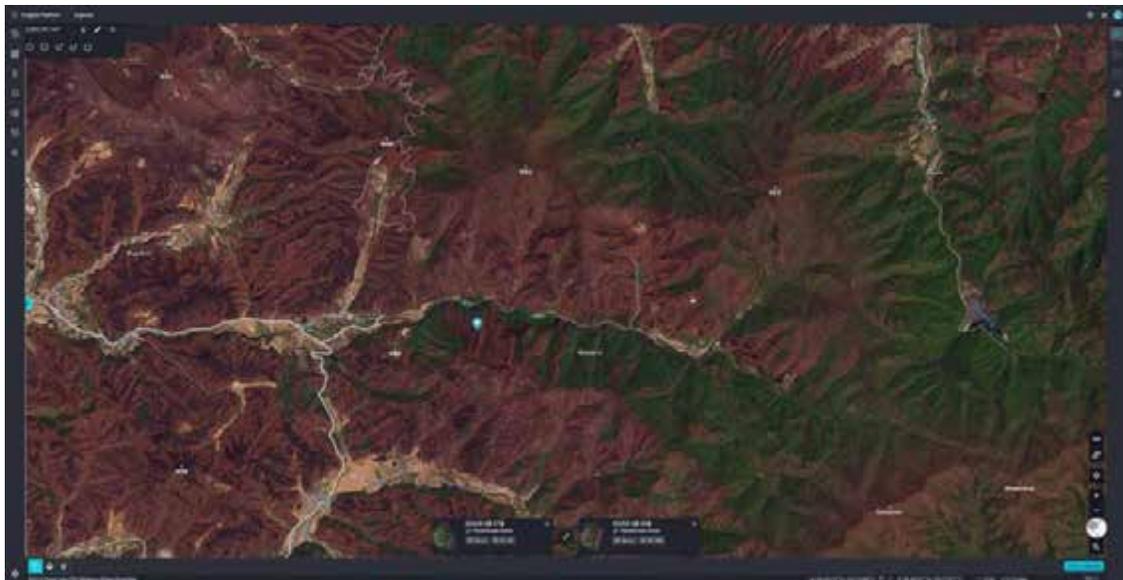


<주왕산 내 외씨버선길 드론 촬영물. 왼쪽과 오른쪽의 피해 양상이 대비된다>

길 왼쪽(북쪽)은 거의 모든 나무가 피해를 입었다. 정밀식생도 상 이 지역에도 활엽수가 상당히 많았다. 전년도 위성 사진과 비교해 보아도 침엽수로만 형성된 숲은 아닌 것으로 보인다. 활엽수림이 산불에 강하다고 해도 당시 산림연료습도는 6.5%로 매우 건조했고 기록적인 강풍으로 산불이 커져 피해를 입은 것으로 보인다.



<2024년 4월 27일 주왕산 인공위성 사진. 가운데 작은 길 위로 숲이 풍성한 모습>



<2025년 4월 28일 주왕산 인공위성 사진. 가운데 작은 길 위와 왼편이 산불 피해를 입은 모습>

반면 길 오른쪽(남쪽) 지역은 하천을 따라 많은 활엽수와 침엽수 수종이 생존했다. 특히 활엽수 중에도 물푸레나무, 졸참나무, 굴참나무, 신갈나무 등 산불에 강한 수종들이 군락을 이루고 있었다. 물푸레나무는 뛰어난 수분 저장 능력으로 산불에 강한 특성을 가진 것으로 알려져 있고, 굴참나무를 비롯한 참나무류 또한 두꺼운 수피와 높은 수분 함량 덕에 불에 강한 것으로 알려졌다.



<외씨버선길 드론 촬영. 뒤편으로 갈수록 더 많은 산림이 살아남았다. 오른편의 살아남은 활엽수림들이 방화림 역할을 한 것으로 추정된다>

이러한 수종 특성덕에 일본에서는 참나무류 등 활엽수들을 방화림(防火林, firebreak forest)의 주요 수종으로 활용한다. 활엽수는 침엽수에 비해 수분 저장 능력이 뛰어나고 수관화를 억제하여 산불 확산을 저지하는 효과가 있다.³⁰ 포르투갈 연구에서도 활엽수림이 산불 확산을 막는 방화림 역할을 한다는 점이 확인된 바 있다.³¹ 이러한 특성을 고려하면 하천을 따라 조성된 활엽수 군락이 천연 방화림 역할을 했던 것으로 보인다.

능선 위쪽 일부와 능선 너머 지역은 피해를 입었지만 동쪽으로 갈수록 산불 피해가 점차 줄어들었다. 서쪽에서 확산되던 산불이 다양한 층위로 이루어진 활엽수림을 만나 기세가 약화돼, 불길이 보호지역 외부로 우회하거나 차단된 것으로 보인다.

산불에 강한 수종이 자연적인 방화림 역할을 한 덕분에 보호지역 내 약 8가구로 이루어진 작은 마을인 '너구마을'은 산불로부터 건재할 수 있었다.

30 김동현, 강영호, 구교상, 정성현. (2012). [꼭외 산불 방화림 조성 및 방화선 구축 사례연구 -일본 사례를 중심으로 -](#) 『한국재난소방학회 2012년도 춘계학술발표회 초록집』, 488-491 쪽

31 Oliveira, A. S., Silva, J. S., Guiomar, N., Fernandes, P., Nereu, M., Gaspar, J., Lopes, R. F. R., & Rodrigues, J. P. C. (2023). [The effect of broadleaf forests in wildfire mitigation in the WUI - A simulation study](#). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 93, 103788.



<주왕산 국립공원 내 너구마을, 산불 피해 2달 후 모습>

너구마을은 주왕산 국립공원 해발 400m 고지에 위치한 작은 마을이다. 극심한 산불 피해를 입은 달기약수터로부터 차량 10분 거리에 떨어진 이 마을은 한 가구가 소실된 것을 제외하면 큰 피해 없이 보존되었다.



<너구마을에 가장 근접한 산불 피해 현장>

너구마을이 달기약수터와 정반대 양상을 보인 이유는 크게 두 가지로 추정된다.

첫째는 마을의 지형적 특성이다. 너구마을 주민들은 산불 당시 바람이 아래에서 위로 향했다고 한다. 마을이 계곡 지형에 위치해 있어 상승기류를 형성했던 것으로 보인다. 이로 인해 산불이 마을 근처로 내려오다가도 바람 방향을 따라 다시 위쪽으로 되돌아가거나 화세가 약화된 것으로 추정된다. 일반적으로 산불은 산 위쪽으로 빠르게 확산되는 반면, 산 아래로 내려오는 경우에는 확산 속도가 상대적으로 느리다. 당시의 바람 방향과 지형 조건이 마을의 피해를 줄이는 데 도움이 되었던 것으로 보인다.

둘째는 마을 주변의 수종 다양성이다. 마을 인근에도 낙엽송과 소나무 등 침엽수는 있었다. 그러나 침엽수만큼 굴참나무, 졸참나무 등 활엽수도 많이 있었다. 특히 마을 반경 약 50m 는 졸참나무-물푸레나무 군락과 굴참나무 군락으로 이루어졌다. 또한 마을 입구 가까이에 크고 오래된 느티나무 당산목이 있었고 주변으로 여러 그루의 느티나무가 생육하고 있었다. 그 결과 마을 인근으로 온 산불이 활엽수 군락에서 한 풀 꺾여 산불 진화가 쉬워졌을 가능성이 높다.

4. 남부 침엽수 / 활엽수 우점 지역 (3 번 영역)

3 월 25 일, 주왕산 북쪽을 강타한 산불은 다음 날까지 이어졌다. 산불은 남쪽으로 내려오며 주왕산의 대전사 인근을 위협했다. 불은 대전사 뒤편 ‘깃발바위’로도 불리는 기암(旗岩)으로 도달하기 전 진화되었다.



<주왕산 기암 드론 촬영 모습. 뒷 편에 열화된 흔적이 보인다>



<기암 뒤편의 드론 항공 촬영. 왼편에는 소나무와 활엽수가 촘촘히 섞여 있으며 오른편에는 일부 침엽수가 열화 피해를 입었다>

이 지역의 수종 분포는 침엽수가 약 49.0%, 활엽수가 약 43.6%로, 특정 수종이 우점한다고 보기는 어렵다. 침엽수의 비율이 활엽수보다 약간 더 높음에도 북쪽 지역보다 상대적으로 피해가 적었다. 산불이 남쪽으로 확산되는 과정에서 여러 능선과 활엽수 군락을 거쳐, 화재 강도가 점차 약화된 것으로 보인다. 4월 초 현장 조사를 진행한 명현호 국립공원연구원 박사는 “수분을 많이 머금은 습성림³²과 활엽수림의 활엽수들이 산불의 방어선 역할을 톡톡히 했다”고 밝히기도 했다.³³

해당 지역은 백악기 회류응회암으로 구성된 독특한 지질 환경을 가지고 있어, 가파른 암벽 지대가 발달되어 있다. 일반적으로 우리나라의 침엽수림은 토양이 척박하고 경사가 급한 험지에서 잘 자라는데 이 같은 환경으로 인해 이 지역도 침엽수림이 발달한 것으로 보인다. 나아가 이 침엽수림 내에서도 하층부에 활엽수가 자연스럽게 공존하며 혼합된 구조를 이루고 있었다. 이런 식생 구조가 산불 피해를 줄이는데 도움을 준 것으로 판단된다.

현장 조사 시사점

이번 주왕산 산불 피해 현장에서 식생 구조와 수종 비율이 다른 네 곳의 사례를 종합적으로 분석한 결과, 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다.

32 습성림은 환경부 전국자연환경조사의 식생 대분류 유형으로, 생태학자들의 식생 연구에 사용되고 있다. 산지습성림은 물푸레나무, 들메나무, 층층나무, 서어나무, 갈참나무 등 계곡부 식생을 뜻한다.

33 [천권필. \(2025.04.04\). 주왕산 덮친 불길 막아 세웠다…‘최후 방어선’ 뒤편 이 나무》중앙일보](#)

첫째, 일반적으로 활엽수림은 침엽수림보다 산불에 강한 것으로 나타났다. 통상적으로 활엽수는 높은 수분 함량과 두꺼운 수피를 가져, 산불의 확산 속도와 강도를 낮추는 데 효과적이다. 현장 조사에서도 활엽수림 지역은 산불의 진행 속도가 현저히 느려지거나 바뀌는 등 확산이 멈춘 흔적이 자주 관찰되었다. 특히 활엽수는 수피 조직이 불에 강하여 피해를 적게 입은 것으로 확인되었다. 다만 외씨버선길 북쪽처럼 **초대형 산불의 경우에는 활엽수림도 상당한 피해를 피할 수 없다는 한계를 보였다.**

34

둘째, 침엽수림은 활엽수림에 비해 산불에 상대적으로 취약한 것은 사실이다. 침엽수 자체가 산불 발생 시 연료 역할을 하여 피해를 키우는 경향이 있다. 이는 침엽수의 정유(기름) 함유량이 높아 산불에 취약하고 수관화와 비화를 유발하기 때문이다. 가령 소나무 송진의 정유 함유량은 20% 수준이다. 비화는 기름 먹은 소나무 솔잎이 불에 붙어 멀리 날아가는 불티의 영향이다. 이는 대형 산불로 이어질 수 있다.

다만 주왕산 내 침엽수림의 대부분은 천연림으로 해당 지역의 기후와 지형, 지질학적 특성에 따라 특정 지역에서 자연스럽게 침엽수가 우점하고 있었다. **하층부에 활엽수가 혼재되어 있는 지역에서는 산불 피해가 비교적 적었던 반면 침엽수가 과도하게 밀집된 지역에서는 불이 수관층까지 쉽게 확산되어 피해가 더욱 심각했다.**

이같은 내용은 종 다양성과 복합적인 수종 구성이 산불 피해를 저감하는 중요한 요소임을 시사한다. 다양한 종이 혼재된 지역에서는 식생 구조가 지속적인 방화대 역할을 하며 산불의 강도를 점차 약화시키고 확산을 저지했다. 이는 보호지역 내 수종 다양성을 유지하고 증가시키는 것이 산불 예방과 피해 저감에 효과적임을 시사한다.

셋째, 산불 피해의 규모와 확산 속도는 식생 구조뿐 아니라 지형이나 바람 등 기상 조건에도 큰 영향을 받는다. 폴란드 아담 미츠키에비치 대학교 연구진 시뮬레이션 결과에 따르면 혼효림의 식생 구조는 대부분의 지형에서 산불 피해를 효과적으로 줄이는 것으로 나타났고, 이는 주왕산 현장 조사에서도 일부 확인되었다. 그러나 현장에서 관찰한 바와 같이 계곡 지형이나 강풍과 같은 다른 환경적 요인도 피해 규모와 생존 수목 여부에 중대한 영향을 끼친다. 따라서 산불 피해를 평가할 때는 식생 구조뿐 아니라 지형적 요인과 기상 조건 등 다양한 환경적 요소를 종합적으로 고려해야 한다.

종합하면 주왕산 산불 피해 사례는 다양한 종이 공존하는 복합적이고 자연적인 숲을 적극적으로 유지하고 보호하는 것이 산불 예방과 피해 최소화를 위한 가장 효과적인 전략임을 보여준다. 따라서 **보호지역 내 임도 설치와 같은 인위적 개입은 오히려 생태적 회복력을 저하시켜 역효과를 낼 수 있다.** 앞으로의 산림 관리 정책에서는 이러한 생태적 원칙을 명확히 반영해야 할 것이다.

34 외씨버선길 북쪽은 토양습도가 높지 않았을 가능성도 보인다. 그러나 산림토양습도에 대한 조사가 이루어지지 않은 상태에서 확정적으로 판단하기는 어렵다.

그러나 아무리 잘 유지된 보호지역이라도 초대형 산불 앞에서는 피해가 불가피하다. 따라서 **산불 피해 자체뿐 아니라 피해 이후 생태계가 어떻게 회복되는지에 주목해야 한다.**

실제로 청송여자중고등학교 인근 피해지역에서는 모든 식생이 타버린 듯 보였으나, 이미 새로운 생명이 조금씩 싹트고 있었다. 까맣게 탄 소나무 사이에서 겨우 20cm 남짓 자란 참나무 새싹을 발견할 수 있었다. 앞으로 이 지역의 식생은 어떻게 변화하고 어떤 숲으로 회복될 것인가? 다음 장에서는 산불 이후의 생태계 회복 과정과 식생 변화 양상을 보다 면밀히 살펴본다.



<청송여자중고등학교 뒤편, 산불 피해 현장에서 자라나는 참나무 새싹>

V. 생태계의 회복과 천이

숲은 멈추지 않는다 : 천이의 이야기

숲은 정지된 것처럼 보이지만, 그 안에서는 끊임없는 변화와 치열한 생존 경쟁이 펼쳐지고 있다. 나무를 비롯한 식물은 햇빛을 받아 광합성을 통해 에너지를 생산한다. 곤충과 동물들은 이를 소비하고 죽은 생물은 미생물을 비롯한 분해자들에 의해 다시 토양으로 돌아간다. 이렇게 숲은 끝없는 순환을 통해 살아있는 생태계를 유지한다.

산림 생태계의 생명체들은 생존을 위해 포식, 기생, 공생과 같은 다양한 관계를 맺으며 치열하게 경쟁한다. 시간이 지나면서 다양한 생물이 균형을 이루며 해당 지역의 환경적 조건에 최적화된 생태계로 자리 잡게 된다. 결국 종 구성의 큰 변화가 더 이상 나타나지 않는 안정적인 상태에 도달하는데, 생태학에서는 이 일련의 과정을 ‘천이(Succession)’라고 부른다.

천이는 산불과 같은 큰 교란 후, 숲이 처음부터 천천히 다시 만들어지는 과정에서 쉽게 관찰할 수 있다.

산불 직후의 땅은 잿더미로 보이지만 생태계 입장에서는 새로운 시작이다. 산불로 인해 질소(N)와 황(S) 등 일부 영양소는 휘발되지만, 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 인(P), 칼륨(K) 등의 무기 영양소는 재(ash)에 남아 토양 표면에 공급된다. 이는 생태계 천이 초기 단계에서의 중요한 양분 공급원으로 작용한다.³⁵

이렇게 비옥해진 토양에 가장 먼저 자리 잡는 것은 초본류이며, 이후 작은 나무들로 구성된 관목들이 등장한다. 지역에 따라 출현하는 수종은 다를 수 있으나 지리산 삼신봉의 사례에서는 1997년 산불 이후 불과 4개월 만에 싸리류, 실새풀류, 닭의장풀류 등 초본층 식물이 빠르게 자리 잡았으며 약 1년 후부터는 산벚나무와 쇠물푸레나무 등 관목류가 자라기 시작했다.³⁶

씨앗은 바람에 날리거나 동물의 배설물을 통해서 들어온다. 다람쥐와 청설모는 신갈나무와 굴참나무의 도토리 먹고 땅에 묻어놓았다가 잊어버리거나 다른 장소에 떨어뜨린다. 이 과정에서 산불 피해 지역에도 씨앗이 퍼진다. 개미는 주로 제비꽃이나 현호색 같은 초본류의 씨앗을 지하로 옮겨 발아를

³⁵ DeBano, L. F. *The Effect of Fire on Soil Properties*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station

³⁶ 오기철, 김종갑, 정원옥, 민재기. (2001). *산불 후 산림식생 및 토양환경의 변화*. 『환경복원기술학회지』, 4(3), 19-29.

돕는다.³⁷ 새들 역시 직박구리나 까마귀 등이 열매를 먹고 먼 지역까지 씨앗을 운반한다.³⁸ 지렁이와 미생물은 땅속에서 낙엽과 죽은 생물을 분해하여 토양을 더욱 비옥하게 만든다.³⁹

중형 포식자도 숲의 회복 과정에서 중요한 역할을 한다. 삶이나 담비 같은 멸종위기종은 다람쥐, 청설모 등 작은 포유류의 개체수를 조절하여 씨앗이 지나치게 소비되는 것을 막고 숲의 재생을 돕는다. 고라니와 꽃사슴 같은 초식동물들은 어린 나무와 초본류를 먹고 배설물을 통해 씨앗을 퍼뜨리며 숲 경계를 유지한다.

시간이 흐르면 경쟁력이 강한 나무들이 우점하며 넓은 지역을 차지한다. 우리나라 대부분 지역에서는 신갈나무와 굴참나무 등 참나무류가 경쟁력을 가지고 숲을 점차 지배하게 된다. 하지만 숲의 우점종은 토양이나 기후 등 환경적 조건에 따라 달라질 수 있다. 동해안이나 높은 산악지역처럼 척박한 토양과 추운 기후에서는 소나무나 잣나무 같은 침엽수가 우점하는 경우도 많다. 초기 경쟁력이 강했던 우점종이 나중에 진출한 수종들에 의해 서서히 대체될 수도 있다.

이러한 과정을 통해 숲은 다양한 나무들이 공존하며 균형을 이루는 안정된 상태에 이른다. 이를 ‘극상림 (Climax Forest)’이라고 부른다.

1988년 미국 옐로스톤 국립공원에서 발생한 대형 산불 이후의 생태계 회복 과정이 대표적인 천이 사례다. 미국 콜로라도 주립대학교 연구진이 2011년 발표한 분석⁴⁰에 따르면, 당시 약 57만 헥타르가 불탔고 초기에는 식생이 전멸한 듯 보였다. 그러나 대부분의 초본류와 관목류는 1~3년 내에 지하 구조에서 되살아났다. 로지폴 소나무는 솔방울 덕분에 일부 지역에서 촘촘하게 자리를 잡았다.

이후 10년 만에 생태계의 순생산성은 성숙림 수준에 도달했으며 질소 등 주요 영양소의 손실도 예상보다 적어 빠르게 회복되었다. 엘크와 같은 초식동물은 개체 수가 단기적으로 급감했지만 화재 이후 초지가 점점 늘어나며 빠르게 회복했다. 수생 생태계 또한 단기간 내 안정을 되찾았다. 연구진은 이 논문을 통해 “옐로스톤의 생태계는 1988년 화재 이후 인간의 개입이 거의 없는 상황에서도 빠르게 회복되었다.” (Yellowstone's ecosystems recovered rapidly from the 1988 fires with little human intervention)고 밝혔다.

37 김희진, 김갑태. (2017). 채미가 종자를 산포하는 춘계단명식물 깽깽이풀과 현호색의 전파체, 종자산포 및 발아 특성. 한국환경생태학회지, 31(6), 485-491

38 Viana, D. S., Gangoso, L., Bouten, W., & Figuerola, J. (2016). Overseas seed dispersal by migratory birds. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 283(1822), 20152406.

39 van Groenigen, J., Lubbers, I., Vos, H. et al. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. Sci Rep 4, 6365 (2014). <https://doi.org/10.1038/srep06365>

40 Romme, William & Boyce, Mark & Gresswell, Robert & Merrill, Evelyn & Minshall, G. & Whitlock, Cathy & Turner, Monica. (2011). Twenty Years After the 1988 Yellowstone Fires: Lessons About Disturbance and Ecosystems. Ecosystems. 14. 10.1007/s10021-011-9470-6.

극상림의 혜택

오랜 천이 과정을 통해 다양한 종이 균형을 이루어낸 극상림은 풍부한 생물다양성을 유지하며 산불과 홍수, 산사태 등 외부 충격에도 강하다.⁴¹ 다양한 나무와 식물들이 층을 이루며 자라기 때문에 개별 수종이 특정 재난이나 질병으로 피해를 입더라도 다른 수종이 그 자리를 메울 수 있다. 예를 들어 기후변화로 특정 수종이 쇠퇴하거나, 산불이나 병충해로 나무들이 피해를 입어도 다른 나무들이 빠르게 빈자리를 차지하며 숲 전체의 구조적 안정성을 유지할 수 있다.⁴²

극상림은 특정 지역의 지형과 환경 조건에 가장 적합한 수종들이 자연스럽게 어우러져 형성되기 때문에, 인간의 계획적 조림으로는 재현하기 어려운 천연 방화림의 구조를 지니고 있다.

또한 극상림은 수많은 생명체들이 상호 의존적으로 얽혀 있어 생태계 전체가 쉽게 무너지지 않도록 한다. 다양한 종들이 복잡한 먹이사슬과 영양망을 형성하고 있어, 한 종의 개체 수가 감소하더라도 다른 종이 이를 보완하는 방식으로 생태계를 안정적으로 유지할 수 있는 것이다. 예컨대 특정 곤충 종이 병충해로 감소하면 다른 곤충이나 새들이 생태계 균형을 유지하도록 돕는다.

극상림의 다층 구조는 홍수나 가뭄 등 기후재난 대응력을 높이는 데 큰 역할을 한다. 극상림은 키가 큰 교목층, 그 아래의 관목층, 초본층, 지표층 등 다양한 층으로 구성되어 있다. 다양한 층의 식생 구조는 강우 시 토양의 침식 방지와 홍수 완화에 효과적이다.⁴³ 빗물은 나무의 잎과 가지, 초본층, 관목층 등을 거치며 천천히 땅으로 스며들어 홍수를 예방하고 지하수로 저장된다. 풍부한 지표층 식생과 유기물층은 수분을 오래 머금고 있어 극심한 가뭄 시에도 숲의 생존력을 높여준다.

나아가 다양한 수종과 복잡한 구조를 가진 극상림은 산불 저항력도 높다. 활엽수가 풍부한 극상림은 소나무 중심의 단순림보다 수관층이 덜 밀집되어 있어 산불 확산이 억제되는 효과가 있다. 불에 탄 후에도 빠르게 회복할 수 있는 능력도 있다.

이러한 극상림이 제공하는 다양한 혜택을 ‘생태계 서비스(Ecosystem Services)’라고 부른다. 극상림이 제공하는 생태계 서비스는 크게 네 가지로 구분할 수 있다.⁴⁴

41 [Mori AS, Furukawa T, Sasaki T. Response diversity determines the resilience of ecosystems to environmental change. Biol Rev Camb Philos Soc. 2013 May;88\(2\):349-64. doi: 10.1111/brv.12004. Epub 2012 Dec 6. PMID: 23217173.](#)

42 [Secretariat of the Convention on Biological Diversity. \(2009\). Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change: A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems \(CBD Technical Series No. 43\). Convention on Biological Diversity \(CBD\), UNEP](#)

43 [Bruijnzeel, L. A. \(2004\). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? Agriculture, Ecosystems & Environment, 104\(1\), 185-228.](#)

44 [Millennium Ecosystem Assessment. \(2005\). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.](#)

- 공급 서비스(Provisioning Services): 깨끗한 물과 공기 공급, 목재와 약재 생산 등을 통해 인간 생활에 필수적인 자원을 제공한다.
- 조절 서비스(Regulating Services): 기후 조절, 산불이나 홍수 같은 자연재해의 완화, 토양 보존 등 환경적 안정성을 제공한다.
- 지지 서비스(Supporting Services): 생물다양성 유지, 토양 형성, 양분 순환 등을 통해 생태계가 안정적으로 유지될 수 있는 기반을 마련한다.
- 문화 서비스(Cultural Services): 휴식, 여가, 교육적 가치, 정신적 안정감 제공을 통해 인간 삶의 질 향상에 기여한다.

이같은 극상림의 다양한 생태계 서비스는 지속가능한 환경과 안정된 사회를 구축하는 데 핵심적인 역할을 한다. 이러한 혜택을 후대에도 이어지게 하기 위해서는 극상림을 잘 보호하고, 산불 후 자연적으로 이루어지는 천이 과정을 최대한 존중하여 관리하는 것이 무엇보다 중요하다.

리와일딩으로 산불을 막는 나라들

극상림과 같이 건강한 생태계가 산불에 강한 특성을 가진다는 점을 고려해, 유럽 주요 국가들은 산불 예방과 생태계 회복을 위한 전략으로 ‘리와일딩’(Rewilding)을 적극 활용하고 있다. 리와일딩은 인간의 개입을 최소화하면서 자연 생태계가 본연의 복원력을 회복하도록 지원하는 접근법이다. 국내에서는 ‘재야생화’로 번역돼 사용되며 ‘야생의 자연이 알아서 제 갈길을 가도록 지켜본다는 의미’까지 담아 ‘활생’⁴⁵으로 번역하는 학자도 있다.

영국에서는 습지와 이탄지 복원을 통해 산불 위험을 감소시키는 리와일딩 프로젝트가 진행 중이다. 예를 들어 2018년 새들워스(Saddleworth) 지역에서 발생한 대형 산불은 복원된 습지 지역에서 자연적으로 진화되어, 습지 복원이 산불 확산을 억제하는 데 효과적임을 입증했다.⁴⁶

스페인의 갈리시아(Galicia) 지역에서는 야생마가 자연적인 방화선을 형성하여 산불 예방에 기여하고 있다. 야생마는 가연성 식물인 금작화(gorse)를 먹어치워 식생 구조를 조정하고, 산불 위험을 효과적으로 감소시키고 있다.⁴⁷

45 이윤진. (2020.10.16). [산비탈의 부서진 얼굴을 복원하라](#) 『한겨레』

46 [Trees for Life. \(2023\). The Role of Rewilding in Wildfire Prevention and Mitigation](#)

47 [The Week. \(2025\). How wild horses are preventing wildfires in Spain](#) 『』

포르투갈의 코아 밸리(Coã Valley)는 유럽에서 가장 심각한 인구 감소와 농지 방치 문제를 겪는 지역 중 하나다. 이곳은 과거 가축 방목과 경작으로 개발된 농경지가 조성되었다. 그러나 인구가 줄고 농업 활동이 중단되며 방목도 이루어지지 않았다. 결국 해당 지역은 소나무와 유칼립투스처럼 단순한 수종의 숲과 덩굴 덮이면서 대형 산불에 매우 취약한 상태가 되었다. 최근 EU의 농업 보조금 정책으로 소규모 방목이 일부 증가했지만 이는 오히려 과도한 방목과 서식지 파편화, 늑대와 갈등을 초래했다.

이에 ‘리와일딩 유럽’ (Rewilding Europe)은 야생마와 타우로스(Tauros) 등 야생 초식동물을 통한 자연적인 방목으로 보다 다양하고 연결성이 높은 모자이크 형태의 생태계를 조성하고 있다. 이러한 리와일딩 활동은 효과적인 방화선을 형성해 산불 위험을 현저히 낮추는 데 기여하고 있다. 또한 지역 주민들과의 협력을 통해 지속 가능한 생태관광을 활성화시키고 경제적 이익을 창출한다. 선순환 구조가 만들어진 것이다.⁴⁸

유럽 사례들은 리와일딩이 산불 예방과 기후 변화 대응, 생태계 건강성 유지에 있어 중요한 역할을 한다는 점을 명확히 보여준다.

한국의 극상림은?

우리나라에도 이러한 역할을 수행할 수 있는 극상림이 존재할까? 결론적으로 극상림으로 평가되는 숲들이 국내에도 존재하지만 그 수는 극히 적다. 우리나라에서는 일반적으로 숲의 건강성과 천이 상태를 진단할 수 있는 대표적인 지표종으로 서어나무가 있다. 국립수목원이 조성한 광릉숲에도 서어나무가 존재하나 이마저도 인간의 개입이 많아 극상림으로 평가할 수 있는지에 대해 논란이 있다.

현재 국내에서 극상림으로 분류될 수 있는 숲은 설악산 원시림 일부 지역과 지리산 국립공원의 특정 지역, 흑산도의 극상림 정도이다.⁴⁹ 특히 지리산의 경우 서어나무뿐만 아니라 거목 수종만 45 종에 달하며 전체적으로는 약 547 종의 식물상이 확인되고 있다. 농촌 마을의 작은 숲에서 약 23 종의 주요 수종이 확인되는 경우와 비교하면, 최소 2 배 이상의 종 다양성을 나타낸다.

극상림은 오랜 기간 인간의 간섭이 최소화된 상태에서 자연스럽게 형성되기에 보호지역일수록 그 비율이 높아야 한다. 그러나 우리나라의 보호지역 중 극상림으로 인정받는 지역은 극히 드물다. 일제강점기와 한국전쟁(6.25 전쟁) 등 역사적 사건으로 산림이 대규모로 훼손되었고, 이후에도 등산로 개설과 관광지 개발 등으로 인해 지속적인 인간 간섭이 이루어졌기 때문이다. 또한 보호지역 내에도 많은 지역이 인공림으로 조성되어 있으며 이곳에서는 생태적 천이를 복원하기 위한 연구와 노력이 진행 중이다.

48 [Rewilding Europe. \(연도 미상\). Greater Coã Valley - Portugal](#)

49 지리산 특정 지역도 극상림으로 보지 않는 의견도 있다.

극상림이 형성되기까지는 통상 100년 이상의 시간이 걸린다. 따라서 현재 국내 보호지역의 대부분은 극상림으로 나아가는 천이 과정 중에 있다고 볼 수 있다. 문제는 이 보호지역마저도 실질적인 보호가 제대로 이루어지지 않고 있다는 점이다

대표적 보호지역인 설악산은 매년 100만 명 이상의 관광객이 방문해 자연 생태계에 압력을 가하고 있다. 그럼에도 ⁵⁰ 여전히 관광객 유치를 목적으로 하는 케이블카 설치가 추진 중이다.⁵¹ 가덕도 신공항 역시 생태자연도 1등급에 해당하는 보전 가치가 높은 지역임에도 개발이 진행되고 있다.⁵² 이처럼 국내 보호지역과 생태자연도 1등급 지역은 개발 대상에서 배제되지 않는 사례가 빈번하다. 서류상으로만 보호되는 '페이퍼 보호지역'이 대부분이라는 비판이 계속되는 이유다.

인위적 간섭 요소들이 지속되는 한, 보호지역은 극상림으로 발전할 수 있는 필수적인 환경과 시간을 확보하기 어렵다. 이는 기후변화로 인해 더욱 심각해질 대형 산불을 막아줄 최적의 생태 방패를 잃게 되는 결과로 이어질 것이다.

극상림으로의 과정

100년 이상의 시간이 길게 느껴질 수도 있다. 하지만 앞서 언급했듯 우리나라에는 100년 이상 된 숲, 특히 극상림은 거의 없다. 현재 우리가 보는 숲 대부분은 1970년대 녹화 사업 이후 조성됐다. 숲 대부분이 30~50년 정도의 역사를 가진 것이다.

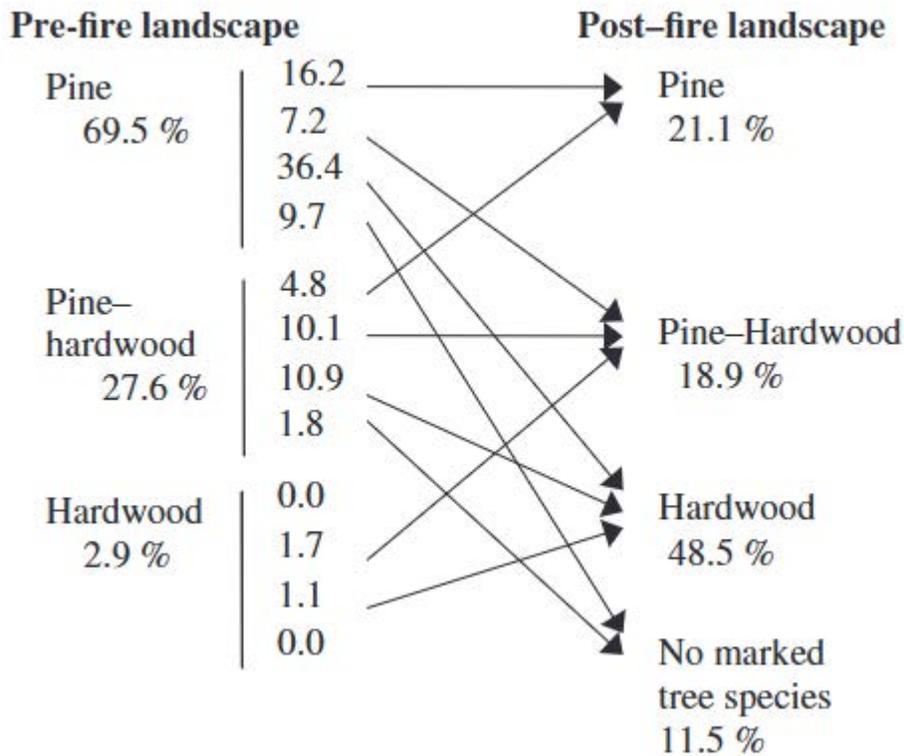
그렇다면 산불 피해의 회복 과정을 지켜보는 데도 30~50년이라는 긴 시간이 걸리는 걸까? 반드시 그렇지는 않다. 실제 2000년 동해안 산불 피해 지역 조사 결과, 참나무류(신갈나무, 굴참나무 등)는 산불 직후부터 뿌리나 줄기 밑동에서 활발히 움싹재생(resprouting; 맹아)을 시작하여, 불과 3개월만에 대부분 지역에서 빠르게 우점종으로 자리 잡았다. 이는 기존 하층 식생이 산불 이후에도 살아남아 맹아를 통해 활발히 재생하면서 오히려 숲의 천이를 가속화할 수 있음을 시사한다. 이를 도약천이라고 한다.⁵³

50 김연세. (2025.02.13). [작년 탐방객 2위 지리산, 5위 설악산, 10위 한라산](#) 『메트로신문』

51 박수혁. (2025.04.10). [‘무조건 추진’ 공약 내건 윤석열 파면…“설악산케이블카 백지화하라”](#) 『한겨레』

52 최윤. (2025.02.24). [“새들이 모여들지 않을 수 없는 지역”… 그 섬에 내려진 경고](#) 『오마이뉴스』

53 Choung, Y., Lee, B.-C., Cho, J.-H., Lee, K.-S., Jang, I.-S., Kim, S.-H., Hong, S.-K., Jung, H.-C., & Choung, H.-L. (2004). *Forest responses to the large-scale east coast fires in Korea*. *Ecological Research*, 19, 43–54



<활엽수의 적극적인 움싹재생으로 인해 산불 피해를 입은 숲의 구조가 바뀌었지만, 숲 자체가 완전히 사라지지는 않았다. 산불 전에는 소나무가 약 70%, 혼합림이 28%, 활엽수림이 약 3%였으나, 산불 후에는 활엽수림이 48.5%, 소나무림 21%, 혼합림 18.9%로 변화했다. © Ecological Research>

물론 모든 지역이 이런 빠른 회복 양상을 보이는 것은 아니다. 산불 이후 식생의 회복 속도와 성공 여부는 지형과 수종, 기상 조건 등 다양한 환경적 요인에 따라 크게 달라질 수 있다. 생태계에는 절대적인 법칙이 없다. 지리산 삼신봉 활엽수림의 사례를 보면 산불 직후(1997년 10월)에는 다양한 수종이 활발히 재생했으나, 1년도 채 지나지 않은 시점(1998년 8월)에는 신갈나무만 남았고, 이마저도 생육 상태가 매우 쇠퇴한 것으로 나타났다. 즉 초기의 빠른 회복이 장기적으로 지속되지 않을 수도 있다.⁵⁴

산불 피해 지역에서의 생태계 복원 및 건강성을 보다 정확하게 이해하기 위해서는 그 지역의 동물과 곤충 추이도 살펴보아야 한다. 국립산림과학원이 1996년 강원도 고성 지역의 산불 이후 해당 지역을 장기 조사한 바에 따르면 어류는 3년, 수서동물 9년, 곤충(개미)은 14년 안에 회복되었지만, 포유류는 20년이 지난 후에도 81~86%(개체수 기준), 조류는 62~72% 수준에 그쳤다.⁵⁵ 숲이 이전의 모습을 되찾은 후에도 이전처럼 건강한 생태계를 조성하기 위해서는 더 많은 노력이 필요한 것이다.

54 허만규, 최주수, 정영기, 허홍욱 and 문성기. (2005). 시루봉의 산불 이후 식생회복. 생명과학회지, 15(1), 27-32.

55 산림청. (2023.05.08). 『산불피해지 복원, 과학적 진단과 통합적 의사결정으로 산림의 회복력 높인다 (브리핑)』. 산림청 보도자료

결국 산불 피해를 입은 보호지역의 생태계 회복 여부를 선불리 단정 짓기보다는 지속적이고 세밀한 장기 모니터링을 시행하는 것이 필수적이다. 축적된 데이터를 바탕으로 보다 효과적이고 지속가능한 보호지역 관리 정책을 수립할 수 있을 것이다.

VI. 정책 제언

그린피스는 산불 시뮬레이션 연구, 주왕산 국립공원 현장조사 및 문헌 조사 결과를 바탕으로 다음과 같이 제언한다.

첫째, 자연 복원을 최우선으로, 지속가능한 생태계를 조성해야 한다. 보호지역의 산불 피해지역은 자연 천이를 방해하지 않는 자연 복원을 최우선으로 추진해야 한다. 극상림에 도달한 숲은 산불 대응력뿐 아니라 탄소 흡수, 수자원 보전 등의 생태계 서비스 측면에서도 탁월한 천연 방패막이 된다. 이는 우리 세대에서 완성하지 못하더라도 향후 기후 재난이 반복될 미래 세대가 지속가능한 삶을 영위할 수 있는 초석을 마련하는 것이다. 인위적 개입을 최소화하고 자연적 복원을 우선시해 장기적인 생태계 안정성을 높이는 것이 그 첫걸음이다.

최근 산불 피해지역에서 식생 복구를 명목으로 성급히 벌목하거나 인공 조림을 진행하는 사례가 있다.⁵⁶ 그러나 이는 토양 구조와 수분 유지 기능을 손상해 천이 과정을 지연시킬 수 있다. 실제 2000년 동해안 산불 후 연구에서 인공 조림보다 자연적 복원이 생물다양성 유지와 생태계 복원에 더욱 효과적임이 입증되었다.⁵⁷ 국립산림과학원의 연구에서도 자연복원지가 인공 조림지보다 토양 유기물과 양분 회복률이 각각 1.5 배, 1.3 배 높게 나타났다.⁵⁸

보호지역 내 임도 설치와 같은 생태계를 단절시키는 행위도 제한되어야 한다. 최근 산림청은 산불 진화 인프라 구축을 명분으로 임도 확대를 추진하고 있으나⁵⁹ 이는 생태계 파편화, 서식지 단절, 토양 유실과 같은 생태적 문제를 초래하여 자연적 천이를 방해한다. **특히 보호지역 내 임도 설치의 생태계를 보전한다는 보호지역 지정 취지와 상반되는 결과를 낳을 수 있다.**

결국 생태계의 지속 가능한 회복을 위해서는 인간의 개입을 최소화하고, 자연적인 천이 과정을 최대한 존중하는 복구 방식을 우선해야 한다. 이러한 접근은 인공 조림과 같이 적극적으로 관리하는 기존의 방식보다 비용이 적게 들 뿐 아니라 생태계 보전 효과도 더욱 뛰어날 것이다.

56 김양진. (2025). [산불 복구 현장 가보니...인위적으로 베어낸 굵이굵이 '민둥산'](#) 』한겨레 21 제 1558 호

57 이규송, 정연숙, 김석철, 신승숙, 노찬호, 박상덕. (2004). [통해안 산불 피해지에서 산불 후 경과 년 수에 따른 식생 구조의 발달](#) 』한국생태학회지, 27(2), 99-106.

58 산림청. (2023.05.08). [산불피해지 복원, 과학적 진단과 통합적 의사결정으로 산림의 회복력 높인다\(브리핑\)](#) 』산림청 보도자료

59 정새배. (2025.05.05). [또 불거진 임도 논란...‘효율 vs 환경’ 접점은?](#) 』KBS 뉴스

둘째, 장기적이고 과학적인 모니터링과 연구를 기반으로 한 복원 관리 체계를 강화해야 한다. 미국 옐로스톤 국립공원 사례처럼 인간의 적극적 개입 없이도 생태계가 신속하고 효과적으로 회복될 수 있다는 점은 이미 입증된 사실이다. 그러나 한국은 산불 피해지의 자연회복에 관한 장기 연구와 데이터가 매우 부족한 실정이다.

따라서 산불 발생 이후 즉각적이고 획일적인 인공복구나 식재사업을 서두르기보다는, 산불로 인한 식생 변화와 천이 과정의 특성을 장기적으로 모니터링하고 분석할 수 있는 연구 체계를 구축해야 한다. 이를 통해 자연복원과 인공복원의 효과를 비교 평가하여 생태적으로 더 지속 가능한 복구 방식을 도출하고, 복원 관리의 가이드라인과 정책 근거로 활용할 수 있어야 한다. 이러한 연구 결과는 보호지역 관리의 장기적이고 통합적인 전략 수립에도 유용하게 활용될 것이다.

셋째, 보호지역 내 주민 참여와 협력을 유도할 ‘생태계 서비스 지불제’(Payment for Ecosystem Services, PES)와 같은 인센티브를 혁신적으로 개선해야 한다. 지역 주민의 충분한 동의·협의 없는 보호지역 지정은 사유 재산권 침해 등 사회적 갈등을 야기할 수 있다. 생태계 서비스 지불제(PES)는 정부나 지자체가 보호지역 보전을 위한 계약을 주민과 체결하고 적절한 보상을 지급하는 제도로, 이러한 갈등을 완화하고 주민 참여를 촉진하는 데 효과적이다.⁶⁰

현재 한국의 생태계 서비스 지불제는 철새 서식지 보호 프로그램을 일부 계승, 발전시킨 형태로 실제 보호지역의 지정과 관리에 큰 도움이 되지 못하고 있다. 2025년 전국적으로 시행되는 생태계 서비스 지불제의 총 예산 규모는 약 43억 원으로, 정책의 목적을 효과적으로 달성하기에는 턱없이 부족하다는 지적이 많다.

현행 생태계 서비스 지불제의 근본적 개선이 필요하다. 산불 피해 지역의 자연 복원을 포함하여 생태계 보전 및 복원 활동 전반에 대한 지원을 더욱 확대해야 한다. 현행 제도는 산주의 노동 투입이나 직접적인 사업 참여를 지원 기준으로 삼고 있다. 이는 벌채를 하지 않고 자연적 천이 과정을 유도하는 천연 하중 갱신⁶¹과 같은 생태친화적이며 간접적인 활동에 대해서는 제대로 된 보상이 이루어지지 않는다는 한계가 있다. 이 같은 문제를 해결하기 위해 PES 지원 범위를 노동이나 직접적 관리 활동뿐 아니라 생태적 가치 향상에 기여하는 모든 활동으로 확대할 필요가 있다. 또한 보상 대상이 산주에 국한되지 않고 지역 공동체와 주민들에게 포괄적으로 돌아갈 수 있도록 제도의 설계를 근본적으로 개선해야 한다.

나아가 경제적 손실을 입는 주민들에게는 기본지불제 형태로 보상하고, 생태적 조건을 만족하는 추가 활동에 대해 조건부 지불을 적용하는 방식도 검토할 필요가 있다. 이를 통해 지역 주민들이 생태계 보전과 복원에 실질적으로 참여하고, 보호지역 관리 정책이 장기적으로 지속 가능한 방향으로 운영될 수 있도록 유도해야 한다.

60 환경부·국립생태원. (2023). 『생태계서비스지불제계약 안내서(2023년)』. 국립생태원.

61 주로 자연의 힘으로 후계림을 조성하는 것

유사한 사례는 해외에서도 쉽게 찾아볼 수 있다. 미국의 Conservation Reserve Program (CRP)은 간접적 활동에 대한 인센티브의 모범 사례로 꼽힌다. CRP는 농업 생산에서 제외된 환경 민감 지역의 토지를 10~15년간 비경작 상태로 유지할 경우 토지 소유자에게 연간 임대료를 지급한다.⁶² 토지 소유자는 이 프로그램을 통해 보전 행위 자체에 대해 경제적 보상을 받을 수 있다. 이는 수질 개선, 토양 침식 방지, 야생동물 서식지 보호 등 생태계 서비스 향상에 크게 기여하고 있다.

넷째, 쿤밍 몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임(KMGBF)을 법제화하여 실질적 보호지역 관리 및 확대가 이루어지도록 정책적 기반을 마련해야 한다. 한국을 포함한 유엔(UN) 산하 196개 당사국은 2022년 12월 KMGBF를 채택했다. 이 협약은 2030년까지 육지와 해양의 최소 30%를 보호지역과 자연공존지역(Other Effective area-based Conservation Measures, OECM)으로 지정하고, 훼손된 생태계의 30%를 복원하는 등 구체적인 수치를 담은 4가지 목표와 23가지 실천목표를 제시하고 있다.

현재 한국의 보호지역 관리 실태는 KMGBF 목표에 크게 미치지 못한다. 백두대간 보호지역 중 하나인 민주지산은 경제림과 중첩되어 이미 훼손된 바 있다. 설악산과 지리산 국립공원에서 케이블카 건설이 추진되는 등 보전의 실효성을 위협하는 사례가 지속적으로 발생하고 있다.⁶³ KMGBF가 국제 협약의 수준에 그쳐 국내에서 실질적인 법적 구속력과 강제성이 없어서 벌어지는 일들이다.

이는 보호지역의 지정 및 관리에 필수적인 재정 지원 부족으로도 이어진다. 예컨대 서울시가 2023년 폐기물 처리에 사용한 예산은 2,673억 원이다.,⁶⁴ 이는 2025년 생태계 서비스 지불제 예산(43억 원)의 약 62배에 달한다. KMGBF는 생물다양성 보전을 위한 재정 확보 방안으로 환경을 파괴하는 '환경유해보조금'을 식별하고 이를 환경 보전을 위한 인센티브로 전환할 것을 권고한다. 정부는 올해부터 환경유해보조금을 식별하겠다고 밝혔지만, 그 외에도 다양한 자원 확보 방안을 적극적으로 모색해야 한다. 이는 법적 근거가 마련되지 않으면 실효성 있게 진행되기 어렵다.

유럽의 경우 이미 KMGBF 목표에 맞추어 2030년까지 육지와 해양 면적의 최소 20%를 복원하는 자연복원법을 시행하고 있다. 한국 역시 국제적 흐름에 발맞추어 보호지역의 실질적 관리와 확대를 위한 법적 근거 마련에 나서야 한다. 이는 생물다양성 보전뿐 아니라 기후재난에 강한 생태계를 조성하는 중요한 전환점이 될 것이다.

따라서 기존의 생물다양성 법안의 혁신적 변화가 필요하다. 현행 생물다양성법은 국가생물다양성전략 수립을 의무화하고 있지만 전략의 이행 여부를 강제하거나 미이행시 제재할 수 있는 조항이 부족하여 실효성이 떨어진다. 국가생물다양성전략의 이행 의무를 명확히 법적으로 규정하고, 이를 독립적으로

62 U.S. Department of Agriculture, Farm Service Agency. (2025). *Conservation Reserve Program (CRP)*.

63 그린피스 서울사무소·산과자연의친구 우이령사람들. (2024). *돌아오지 못한 보호지역: 보호지역 관리 실태 보고서 2*』

64 서울특별시. (2025.02.11). *서울시 청소예산 재정자립도 통계*』 서울 열린데이터 광장.

평가·감시하는 별도의 조직을 설치해야 한다. 전략을 제대로 이행하지 않는 중앙부처, 지자체, 기업에 대해서는 과태료 및 과징금 부과, 반복 위반 시 인허가 제한 등 구체적인 행정적 제재를 도입하여 실질적인 구속력을 확보해야 한다.

이러한 변화를 위한 첫걸음으로 그린피스는 생물다양성 기본법의 제정을 제안한다. 아울러 국가생물다양성위원회의 역할과 권한을 확대하고, 법적 구속력을 높일 수 있는 구체적인 실행방안을 이해관계자들과 함께 논의하고 수립할 것을 제안한다.

본 보고서의 제안을 실현하기 위해서는 구체적인 후속 연구와 현장 모니터링이 필요하다. 특히 자연 복원 지역과 인공 조림 지역 간의 비교 연구, 보호지역의 법적 지위 개선을 위한 정책 연구, 그리고 주민과의 협력과 경제직 지원을 강화할 수 있는 실질적 프로그램 개발이 필수적이다.

그린피스는 계속해서 보호구역 지정 관리의 문제와 해결방법 제안, 더 나아가 생태계 복원 및 보호지역 관리를 위한 캠페인을 지속적으로 추진해 나갈계획이다. (끝)



보호받지 못한 보호지역
**보호지역 관리
실태 보고서3**

그린피스는 독립적인 국제 환경단체로
지구 환경의 보호와 평화를 위해 시민들의
인식과 행동을 바꾸는 캠페인을 진행합니다.

더 자세한 정보를 원하시면
press.kr@greenpeace.org

GREENPEACE