고운사 사찰림 자연복원
모니터링 프로젝트

1년차 결과보고서 (종합편)



GREENPEACE 불교환경연대 서울환경연합 생명다양성재단 강동환경운동연합 후원 생태전환지원재단 Ecological Transformation Support Fund

Contents

핵심 요약 3

불탄 숲은 어떻게 스스로 돌아오는가 – 천이의 1년 7

식생 – 고운사 사찰림 유역 1년간의 식생 변화 18

동물 – 고운사 일대 산불 피해지, 야생동물의 1년 33

음향 – 숲의 소리로 기록한 산불 이후 첫 1년 46

곤충 – 고운사 사찰림 유역 1년간의 곤충상 76

부록 – 시민과학자 조사 결과 96



핵심 요약

핵심 요약

고운사 자연복원 프로젝트

2025년 3월 의성 산불은 천년고찰 고운사의 전각 18개소를 태우고 사찰림 248.87ha의 97.61%를 잿더미로 만들었다. 통상 산불 피해지는 벌목과 조림으로 이어지지만, 고운사는 이 경로를 택하지 않았다. 한국 불교 종단 차원에서 자연복원을 공식 선언한 최초의 사례다.

이 결정 이후의 숲의 모습을 기록하기 위해, 그린피스 서울사무소, 안동환경운동연합, 불교환경연대, 서울환경연합과 생명다양성재단은 식생·야생동물·생물음향·곤충 분야의 전문가들과 함께 모니터링을 2025년 8월부터 시작했다.

식생 분야는 2026년 5월 별도 보고서로 먼저 발표되었다. 본 보고서는 야생동물·생물음향·곤충 세 분야의 1차년도 결과를 처음 공개하고, 네 분야를 하나의 천이(succession) 서사로 종합한다.

1. 바탕 — 식생은 돌아왔다

기존의 소나무 단순림이 본래의 활엽수림으로 되돌아가는 천이가 시작되었다.

- 위성 식생지수(NDVI)는 산불 직후 0.14에서 1년 만에 0.516으로, 평년의 약 70% 수준까지 회복했다.
- 산불 전 58.51%를 차지하던 소나무림은 0.58%로 줄었고, 그 자리의 약 87%를 참나무류가 채웠다.
- 산불 전 활엽수림이었던 자리는 약 98%가 회복된 반면 침엽수림이었던 자리는 약 40%만 회복됐다. 활엽수는 살아남은 뿌리에서 되살아나고, 소나무는 그 능력이 없다.
- 식생이 땅을 덮으면서 큰비 때 토양 침식량이 산불 직후보다 약 72% 줄었다.

2. 그 위에서 — 새로 재생되는 나무와 죽은 나무를 바탕으로, 새로운 생태계가 시작되고 있다.

- 1차년도에 곤충 403종 141,827개체가 채집됐다. 자연복원지 곤충 개체수의 93.2%는 그을려 약해진 나무를 파고들어 목재를 분해 경로로 되돌리는 나무좀아과다. 산불 피해가 없는 자연림에서 이 비중은 18.4%였다.
- 그 곤충을 먹는 딱따구리 3종이 2026년 번식기에 274건 탐지됐고, 딱따구리가 판 구멍을 둥지로 쓸 수 있는 새(박새류·동고비·소쩍새·올빼미 등) 13종이 1,502건 탐

지됐다. 산불 피해가 가장 심한 상류계곡에서도 딱따구리는 반복해서 확인됐다.

- 2026년 번식기 조류는 53종. 새벽 6시 녹음의 97%에서 새소리가 들렸고, 밤에는 소쩍새·쏙독새가 다른 시간대를 차지했다.
- 법정보호종: 멸종위기 Ⅱ급 애기뿔소똥구리(곤충), 올빼미·팔색조·긴꼬리딱새·수리부엉이(조류), 천연기념물 원앙. 산불 지표종 침엽수비단벌레도 자연복원지에서만 확인됐다.
- 곤충 종다양성은 자연림보다 유의하게 낮다. 특정 종이 우점하는 교란지 초기의 전형이다. 자연복원지와 인공복원지 사이에는 아직 뚜렷한 차이가 없다. 조류는 산불 전 자료가 없어 회복률을 말할 수 없으며, 이번 결과는 향후 비교의 첫 기준선이다.

3. 그 위에서 — 멀리 다니는 동물은 돌아왔다. 작은 동물은 아직이다.

- 법정보호종 수달·담비·삵 3종 모두 확인. 수달은 8km 떨어진 미천에서 물길을 거슬러 찾아왔고, 담비 3~5마리는 능선·계곡·비피해 대조구(수정사)를 잇는 통로를 쓰고 있었으며, 삵은 2~3일 간격으로 나타나는 정주 개체였다.
- 노루·고라니·멧돼지, 오소리·너구리·족제비 등 중부 산림의 중대형 포유류가 거의 빠짐없이 확인됐다. 핵심구역에서 확인된 종수(12종)는 산불을 겪지 않은 수정사(12종)와 같았다.
- 반면 설치류는 조사 지역에서 가장 살기 좋은 구역에 덫 30개를 놓았는데도 0마리였다.
- 벌목·임도 공사가 집중된 능선부는 8종으로 가장 빈약했고, 삵은 능선에서 확인되지 않았다. 사람의 벌목이 능선 쪽 회복을 늦추고 있다.
- 마리 수는 표지-재포획이 아닌 전문가 어림값이며, 대조구와 조사 기간·카메라 대수가 달라 종수 비교는 신중히 읽어야 한다.

4. 앞으로 나아가야 할 길

- 고운사 사찰림의 향후 전망을 보자면 다음과 같다. 씨앗을 나르는 설치류의 귀환. 벌목이 멈춘 뒤 능선부의 회복. 나무좀이 줄어드는 시점이다. 고운사에서 그 변화가 관찰되면 천이가 다음 단계로 넘어갔다는 지표가 된다. 그리고 다층 활엽수림, 극상림까지의 시간까지 숲이 완전히 회복되기까지는 10년 이상이 걸린다.
- 이 전망에 따라 앞으로 연구가 보완해야 할 것은 다음과 같다. 산불 전 자료와 비피해 대조구를 갖춘 반복 조사, 고사목 → 곤충 → 딱따구리 → 둥지로 이어지는 사슬의 현장 검증, 소형 포유류 정밀 조사, 능선 벌목이 동물 이동에 미치는 영향 추적. 연구 연대체는 이 공백을 2차년도 조사 설계에 반영하는 방안을 검토하고 있다.

1차년도가 확인한 것은 회복의 완료가 아니라, 회복이 분명히 시작되었다는 사실이다.

[표 1] 1차년도 조사 개요

분야	수행	기간	규모
식생·토양	이규송 (강원대) / 위성분석 그린피스 동아시아(GPEA)	2025.8~2026.5	유역 401.29ha, 방형구 55개
야생동물	한상훈·김호진 (한반도야생동물연구소)	2025.9~2026.5	카메라트랩 19대, 고운사 3구역 + 수정사 대조구
생물음향	기경석 (상지대)	2025.9~2026.6	1분 녹음 8,736개(145.6시간), 조류 57종
곤충	홍석영 (생명다양성재단)	2025.10~2026.5	조사지 9곳(자연복원·인공복원·자연림 각 3), 403종
시민과학 (부록)	그린피스 서울사무소, 안동환경운동연합, 불교환경연대	2026.4~6, 월 1회	참여 40여 명, 관찰 기록 369건·142종



불탄 숲은 어떻게 스스로 돌아오는가

– 천이의 1년

불탄 숲은 어떻게 스스로 돌아오는가 – 천이의 1년

숲은 멈추지 않는다.

재난이 지나간 자리는 흔히 인간이 개입해 되돌려야 할 대상으로 그려진다. 그러나 산불과 산사태, 화산 폭발 같은 교란은 자연의 오랜 역사 속에서 반복되어 온 사건이다. 자연은 이런 변화에 스스로 대응하고, 다시 회복하는 힘을 가지고 있다. 황폐해진 땅에는 초본이 먼저 들어오고 그 뒤를 관목과 교목이 잇는다. 식생이 자리를 잡으면, 그 식생에 기대어 사는 수많은 생물들이 따라 돌아온다. 큰 교란을 겪은 뒤 숲이 처음부터 다시 만들어지며 안정된 상태에 이르는 이 과정을 생태학에서는 천이(succession)라 부른다.

산불 직후의 땅은 모든 것이 소멸된 한갓 잿더미로 보이지만, 생태계의 입장에서는 새로운 시작의 터전이다. 불이 타오르면서 질소와 황은 휘발되나 칼슘·마그네슘·인·칼륨 같은 무기 영양소는 재에 남아 토양 표면에 공급되어, 천이 초기의 첫 양분이 된다.

본 장에서는 현재까지 이루어진 천이의 과정을 살펴보고, 앞으로 어떤 변화가 있을지를 역시 천이의 개념을 통해 그려본다. 이후 장에서는 각 분야별 전문가들이 1년간 벌인 조사 결과를 소개한다.

1. 재 위에 돋는 첫 생명

두텁게 쌓인 재 위에 가장 먼저 자리 잡는 것은 초본류이고, 뒤이어 작은 나무들로 이루어진 관목이 등장한다. 1997년에 산불이 났던 지리산 삼신봉에서는 불과 4개월 만에 싸리류·실새풀류 같은 초본이 자리잡았고, 약 1년 뒤부터 관목이 자라기 시작했다.

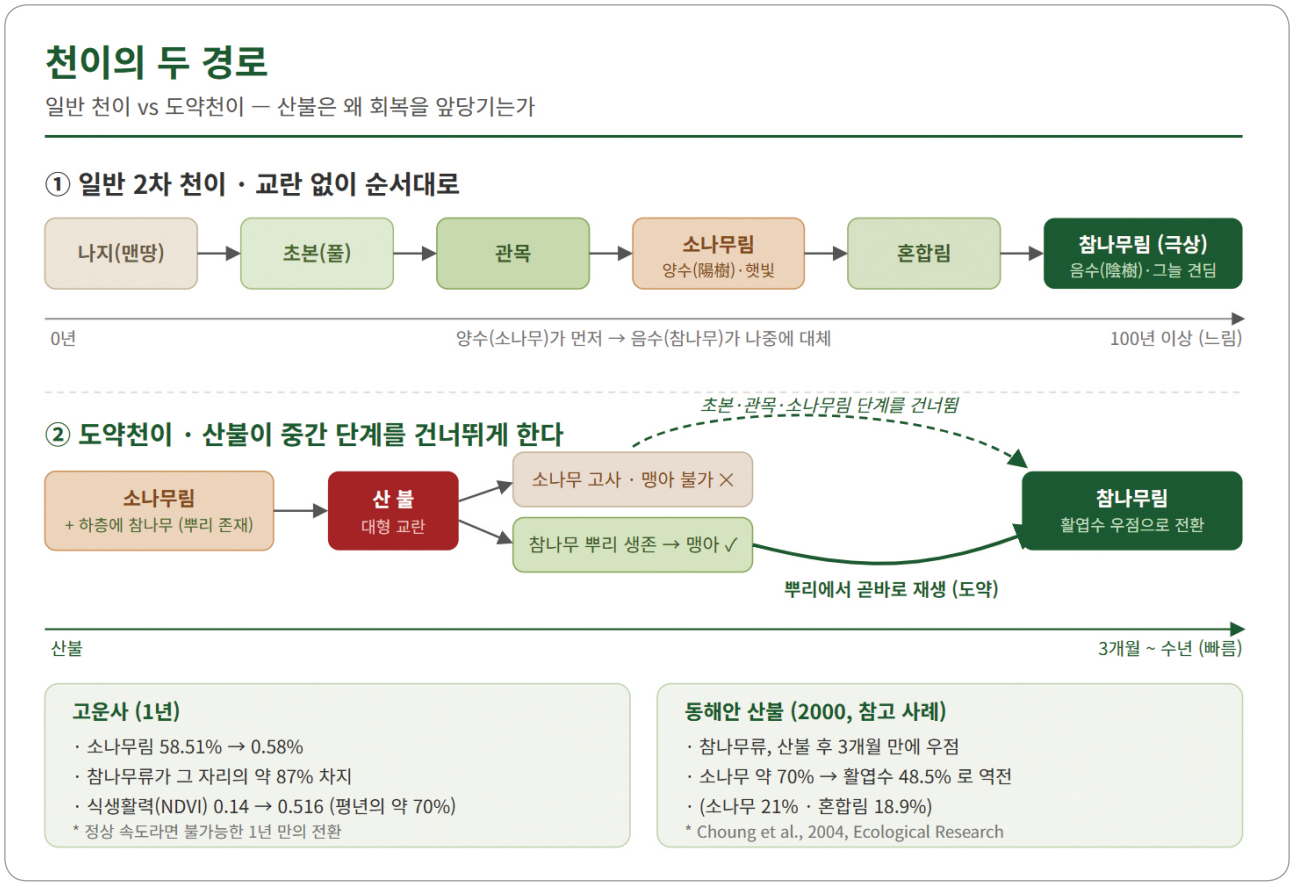
고운사의 회복을 특별히 빠르게 만드는 열쇠는, 기존의 식생이 재생되며 천이 과정의 단계를 건너뛰는 '도약 천이'이다. 예컨대 참나무류는 산불로 줄기가 타도 살아남은 뿌리와 밑동에서 새싹을 밀어 올리며(맹아, resprouting), 이런 과정을 통해 초본부터 다시 시작하는 천이 과정을 건너뛰는 것이다. 2000년 동해안 산불에서 참나무류는 산불 직후부터 재생을 시작해 불과 3개월 만에 대부분 지역에서 우점종이 되었다. 산불 전의 숲은 소나무 약 70%, 활엽수 약 3%의 구성이었으나, 산불 후 활엽수 49%, 소나무 21%로 뒤바뀌었다.[1] 기존 하층 식생이 산불 이후에도 살아남아 맹아로 재생하면서, 천

1 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(1), 43-54. https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00607.x

이가 가속될 수 있음을 보여준 사례다.

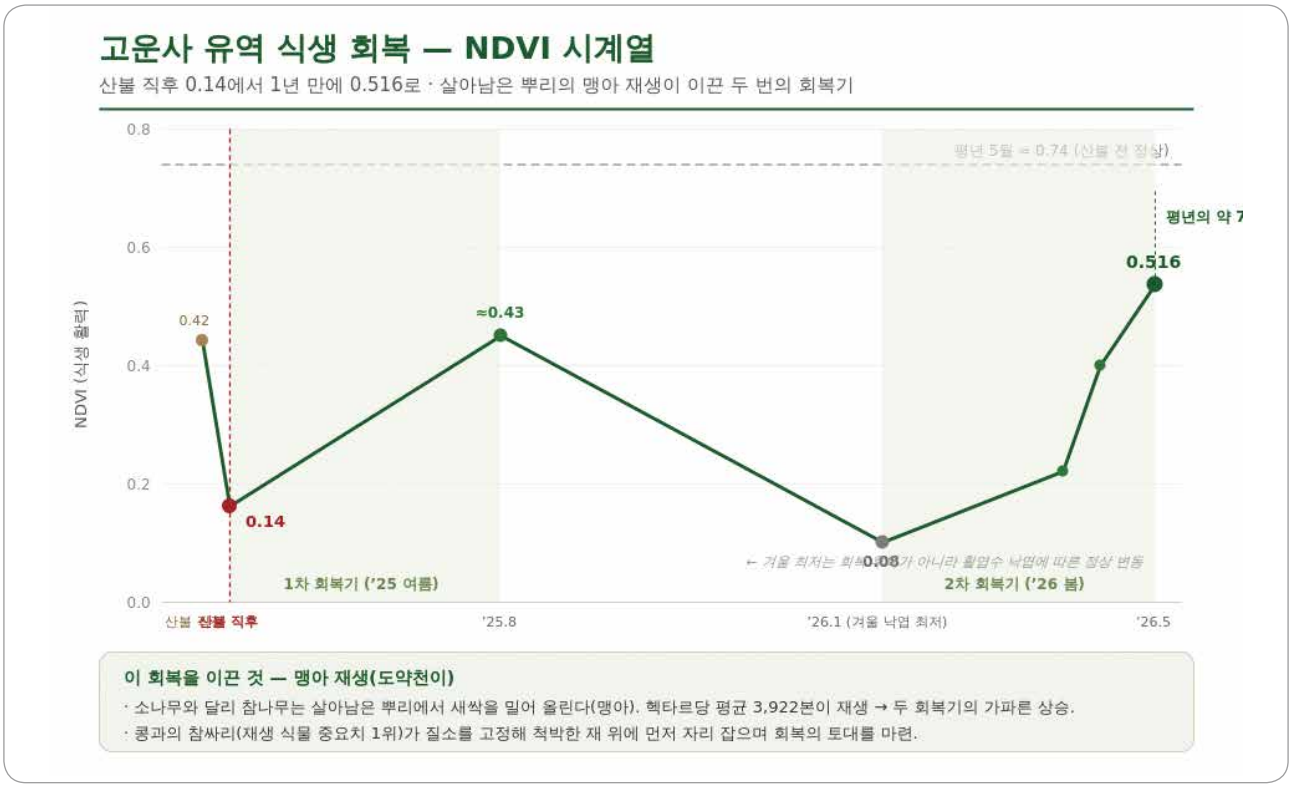
고운사도 같은 장면을 보여준다. 콩과 식물인 참싸리가 뿌리혹박테리아로 공기 중 질소를 고정하며 척박한 재 위에 가장 먼저 자리 잡았고, 헥타르당 평균 3,922본의 참나무 맹아가 솟았다. 산불 전 58.51%를 차지하던 소나무림은 0.58%로 줄었고, 그 자리의 약 87%를 참나무류가 채웠다. 정규식생지수(NDVI)는 산불 직후 0.14에서 1년 만에 0.516으로, 평년의 약 70% 수준까지 올라왔다. NDVI가 1에 가까울수록, 눈에 보이는 푸르름이 더 강하다.

[그림 1] 산불 후 생태계 천이 단계 개념도 (재의 양분 → 초본 → 관목 → 교목 → 극상림)



토양이 평균 21.6cm로 얕은데도 회복이 진행되는 것은, 맹아가 새 묘목과 달리 살아남은 뿌리망을 그대로 활용하기 때문이다. 불길을 견뎌낸 계곡부 활엽수림은 이 재생의 씨앗과 생명이 출발하는 자리가 되었다.

[그림 2] 도약천이(맹아 재생) 개념 / 고운사 참싸리·참나무 맹아와 NDVI 회복 곡선(0.14 → 0.516)



2. 죽은 나무가 여는 자리

산불이 지나간 숲에서 가장 먼저 눈에 들어오는 것은 검게 탄 채 서 있는 나무들이다. 겉으로 보면 생명을 잃은 잔재지만, 생태계의 관점에서는 그렇지 않다. 1차년도 조사에서 가장 뚜렷하게 드러난 사실 하나는, 이 죽은 나무들이 지금 고운사에서 개체수로는 가장 활발한 생명 활동의 무대라는 것이다.

숫자가 그것을 보여준다. 1차년도 곤충 조사에서 채집된 곤충은 403종 141,827개체였다. 그런데 이 방대한 개체수를 만든 것은 거의 한 무리다. 산불로 그을려 약해진 나무를 파고들어 번식하는 나무좀아과(Scolytinae)가 자연복원지 전체 개체수의 93.2%, 인공복원지의 92.5%를 차지했다. 자연복원지에서는 나무좀아과 한 종만으로 80,034개체가 채집되었다. 산불 피해가 없었던 자연림에서 나무좀아과의 비중은 18.4%에 그쳤다.

나무좀은 죽어가는 목재를 분해 경로로 되돌린다. 그리고 그 곤충을 먹는 새가 뒤따른다. 음향 조사에서 오색딱따구리·쇠딱따구리·청딱따구리 세 종이 2026년 번식기에만 274건 탐지되었다. 산불 피해가 가장 심한 상류계곡에서도 딱따구리류가 반복적으로 확인되었다.

딱따구리가 중요한 이유는 자신만 고사목을 쓰기 때문이 아니다. 딱따구리가 판 구멍(수동)은 스스로 구멍을 만들지 못하는 다른 동물에게 넘어간다. 박새, 쇠박새, 진박새,

곤줄박이, 동고비, 소쩍새, 올빼미, 파랑새, 원앙 등 수동을 이용할 가능성이 있는 조류가 13종 1,502건 탐지되었다.

고사목 → 나무좀 → 딱따구리 → 수동 이용종. 이 사슬의 고리 하나하나가 고운사에서 확인되었다. 다만 고리와 고리가 실제로 이어졌는지는 아직 검증되지 않았으며, 그 검증은 다음 연차의 과제로 남아 있다.

죽은 나무를 다른 방식으로 쓰는 곤충도 확인되었다. 산불 과정에서 발생하는 적외선과 연기를 감지해 산불피해지로 이동하는 침엽수비단벌레가 자연복원지에서 5개체 발견되었다. 개체수는 적지만, 산불로 형성된 자원이 아직 이 숲에 남아 있다는 신호다.

다만 짚어둘 점이 있다. 음향 조사가 확인한 것은 해당 종이 녹음기의 탐지범위 안에서 소리를 냈다는 사실이다. 딱따구리가 실제로 그 고사목에서 먹이를 찾았는지, 수동을 만들었는지, 박새류가 그 수동에서 번식했는지는 이번 조사에서 직접 확인하지 않았다. 현재 단계에서 확인된 것은 고사목의 생태적 기능이 아니라 그 기능과 연결될 수 있는 조류군의 활동이다.

그럼에도 방향은 분명하다. 도로·탐방로·건축물 주변에서 사람에게 직접 위험을 주는 고사목은 안전을 위해 관리할 필요가 있지만, 안전 위험이 낮은 산림 내부에서는 다양한 크기와 부후 단계의 고사목을 일정 부분 유지할 생태적 근거가 있다.

3. 씨앗의 순환, 그리고 비어 있는 자리

초본과 맹아가 땅을 덮기 시작하면, 새로운 씨앗이 바깥에서 들어오거나 땅속에 있던 씨앗이 땅 위로 올라온다. 다람쥐와 청설모는 신갈나무·굴참나무의 도토리를 땅에 묻어 둔다. 필요 이상으로 남긴 씨앗은 땅속에 그대로 둔다. 개미는 초본류의 씨앗을 지하로 옮겨 발아를 돕는다. 직박구리·까마귀류 새는 열매를 먹고 먼 곳까지 씨앗을 나른다. 땅속에서는 지렁이와 미생물이 낙엽과 죽은 생물을 분해해 토양을 더욱 비옥하게 만든다.

고운사에서도 씨앗을 나르는 새는 확인되었다. 2025년 가을 음향 조사에서 가장 자주 탐지된 새는 직박구리로, 3개월 동안 284건이 기록되었다. 분해자 곤충도 활발했다. 포유류의 분변을 땅속으로 되돌리는 소똥구리류가 세 유형의 조사지 모두에서 확인되었고, 그 가운데 멸종위기 야생생물 Ⅱ급 애기뿔소똥구리는 자연복원지에서 41개체로 가장 많이 발견되었다(자연림 20, 인공복원지 11). 이들이 발견되었다는 것은 산불 이후에도 이용할 수 있는 분변 자원이 존재하고 그 생태적 상호작용이 유지되고 있음을 뜻한다.

그러나 이 절의 핵심은 확인된 것이 아니라 확인되지 않은 것이다.

땅 위 작은 동물들의 세계는 아직 비어 있었다. 생포 트랩 조사에서 핵심구역과 산악구

역에서 등줄쥐가 각각 두 마리와 한 마리 잡혔을 뿐이다. 조사 지역 전체에서 동물이 가장 살기 좋은 곳으로 꼽힌 주변구역에서는, 하루 동안 덫 30개를 놓았는데도 한 마리도 잡히지 않았다.

이것은 단순히 동물이 적다는 문제가 아니다. 흰넓적다리붉은쥐·다람쥐·청설모처럼 나무 열매를 물어 옮기고 땅에 묻어 씨앗을 퍼뜨리는 동물이 아직 드물다는 뜻이다. 참나무가 도토리를 멀리 퍼뜨려 새로운 자리에서 싹을 틔우려면 이 '씨앗 나르는 동물'이 있어야 하는데, 그 자리가 비어 있다.

왜 비었는가. 돌아온 동물과 아직 오지 않은 동물을 가르는 것은 '얼마나 멀리 잘 돌아다니느냐'다. 넓은 범위를 오가는 담비, 물길을 수 km씩 오르내리는 수달, 능선을 넘나드는 노루는 살아남은 숲에서 불탄 곳으로 비교적 쉽게 돌아왔다. 반대로 좁은 곳에서 평생을 사는 설치류는 불탄 곳으로 이동해 오기가 어렵다.

작은 동물의 회복 여부는 이 숲 전체가 얼마나 회복되었는지를 알려주는 지표가 된다.

4. 조절자의 귀환

먹이와 은신처가 갖춰지면 상위 동물이 돌아온다. 삵과 담비 같은 중형 포식자는 다람쥐·청설모 등 설치류의 개체수를 조절해 씨앗이 지나치게 소비되는 것을 막는다. 노루·고라니·멧돼지와 같은 포유류가 어린 나무와 초본을 먹고 배설물을 통해, 또 털과 발굽 등의 부착을 통해 씨앗을 퍼뜨리며 숲의 경계를 유지한다. 저마다 각자의 방식으로 숲의 재생을 돕는 것이다.

동물의 귀환은 숲을 돕는 데 그치지 않는다. 그 자체가 숲이 되살아나고 있다는 가장 분명한 신호다. 고운사의 카메라트랩에는 국가 법정보호종인 담비·삵·수달 세 종이 모두 포착되었고, 노루·고라니·멧돼지를 포함해 중부 산림생태계의 중대형 포유류가 거의 빠짐없이 확인됐다.

어떤 서식지든 충분한 먹이와 은신처가 없으면 상위 동물은 머물지 않는다. 이들이 돌아왔다는 것은, 이 숲이 다시 그들을 먹여 살릴 수 있는 상태로 회복되고 있으며 개체군이 되살아날 잠재력을 지녔다는 뜻이다.

특히 담비는 능선과 계곡을, 수달은 하천 5~8킬로미터 구간을 오가며, 불길을 견딘 계곡부 잔존지와 불에 탄 피해지를 잇는 이동 네트워크를 사용하고 있었다. 이는 산불로 조각났던 서식지가 다시 하나의 생태계로 이어지고 있음을 보여준다. 살아남은 숲이 피해지로 생명을 흘려보내는 통로가 열린 것이다.

소리로 기록한 1년도 같은 방향을 가리킨다. 산불 발생 이듬해 번식기(2026년 4~6월) 음향 조사에서 53종, 7,907건의 조류 탐지기록이 확인되었다. 분석한 1분 녹음

가운데 71.98%에서 한 종 이상의 새소리가 들렸다. 가장 많이 탐지된 종은 큰유리새 1,376건, 되지빠귀 1,297건이었다. 두 종만으로 전체 탐지의 33.8%를 차지한다. 법정보호종도 확인되었다. 멸종위기 야생생물 Ⅱ급 올빼미·팔색조·긴꼬리딱새·수리부엉이가 탐지되었고, 천연기념물 원앙도 기록되었다.

새들은 공간만이 아니라 하루의 시간까지 나누어 쓰고 있었다. 번식기 양성 녹음률은 04시 55.49%에서 05시 82.97%, 06시 97.25%로 치솟았다. 06시에는 조사된 거의 모든 1분 녹음에서 새소리가 들렸다. 전형적인 새벽합창(dawn chorus)이다. 해가 진 뒤에는 다른 종이 숲의 시간을 차지했다. 소쩍새 551건과 쏙독새 396건이 낮에 활동하는 새들과 거의 겹치지 않는 시간대에 발성했고, 두 종을 합하면 전체 탐지기록의 약 12%다.

이는 고운사의 조류군집이 단순히 여러 종이 같은 공간에 존재하는 집단이 아니라, 하루의 시간까지 나누어 이용하는 군집이라는 뜻이다. 다만 음향 탐지는 그 종이 녹음기 범위 안에서 소리를 냈다는 사실을 뜻할 뿐, 실제 번식 성공이나 산불 이전 수준으로의 회복을 증명하지는 않는다.

한 가지 덧붙일 점이 있다. 산불 첫해 가을(2025년 9~11월) 조사에서, 산불 피해가 더 심했던 상류계곡이 중류계곡보다 오히려 종수와 음향활동이 높게 나타났다(상류 22종·574건, 중류 20종·288건). 다만 두 지점은 피해 강도 외에도 사면·계곡 구조·잔존 식생이 다르므로, 이를 '심피해지에서 새가 더 많았다'는 일반적 결론으로 확대해서는 안 된다.

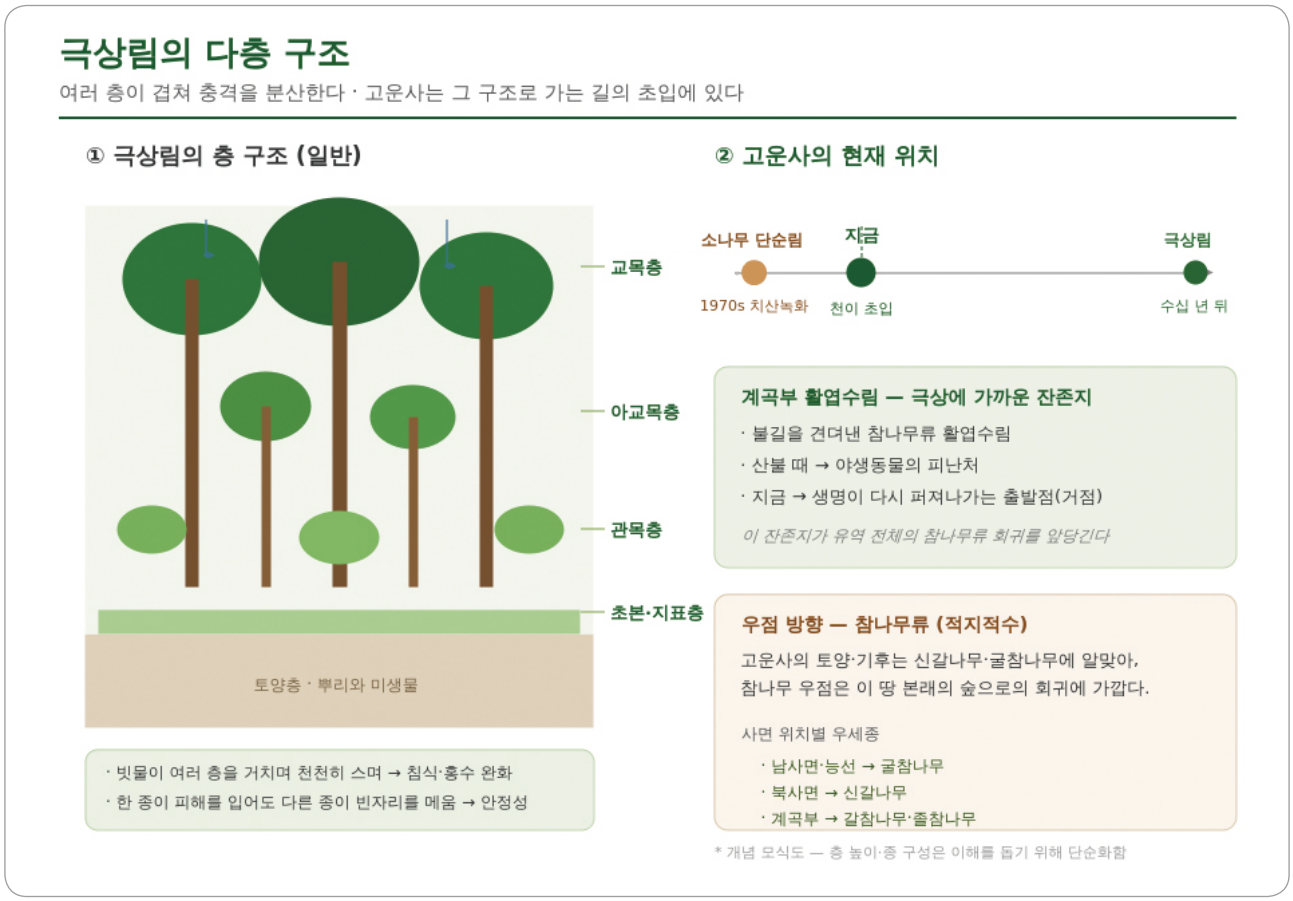
5. 극상림을 향하여

시간이 흐르면 경쟁력이 강한 나무가 넓은 지역을 차지한다. 우리나라 대부분의 온대 산지에서는 신갈나무·굴참나무 같은 참나무류가 숲을 점차 지배하며, 다양한 나무가 층을 이루며 공존하는 안정된 상태, 즉 극상림(climax forest)으로 이행하고 있다. 다만 동해안이나 높은 산악지처럼 척박하고 추운 곳에서는 소나무 같은 침엽수가 우점하기도 하므로, 우점종은 토양과 기후에 따라 달라진다.

극상림은 키 큰 교목층부터 관목·초본·지표층까지 여러 층으로 이루어져, 개별 수종이 병해충이나 재난으로 피해를 입어도 다른 종이 빈자리를 메우며 숲 전체의 안정성을 유지한다. 이런 다양성과 다층 구조가 극상림을 외부 충격에 강하게 만든다. 다만 우리나라에는 이런 극상림이 극히 드물다. 지금 우리가 보는 숲의 대부분은 1970년대 녹화사업 이후 조성된 30~50년 된 젊은 숲이고, 극상림에 다다르기 위해선 통상 약 100년이 걸리기 때문이다.

고운사 사찰림은 그 극상림을 향한 긴 길의 초입에 있다. 고운사 유역의 토양과 기후는 신갈나무·굴참나무가 자라기에 알맞은 조건이어서, 참나무류가 우점해 가는 방향은 이 땅에 본래 어울리는 숲으로의 회귀에 가깝다. 불길을 견딘 계곡부 활엽수림은 이미 극상에 가까운 잔존지로서, 산불 때는 생명의 피난처였다가 이제는 생명이 다시 퍼져나가는 출발점이 되고 있다.

[그림 3] 극상림의 다층 구조 개념 / 고운사 계곡부 활엽수림 잔존지와 참나무류 우점 방향



6. 재난에 더 강한 숲으로 나아가는 길

이 천이에는 겉으로 드러나는 회복 이상의 의미가 있다. 산불을 거치며 돌아오는 숲이, 산불 이전의 숲보다 재해에 더 강한 숲이라는 점이다. 핵심은 수종의 전환에 있다.

고운사의 데이터는 활엽수림이 침엽수림보다 산불에 훨씬 강하다는 것을 분명하게 보여준다. 산불 전 활엽수림이었던 자리는 약 98%가 빠르게 회복된 반면, 침엽수림이었던 자리는 약 40%만이 회복됐다. 두 배가 넘는 차이다. 회복의 방향도 한쪽으로 굳어지고 있다. 활엽수림이었던 자리는 99%가 다시 활엽수림으로 재생했고, 침엽수림이었던 자리조차 62%가 활엽수림으로 전환됐다. 소나무는 맹아 재생 능력이 없고 산불로

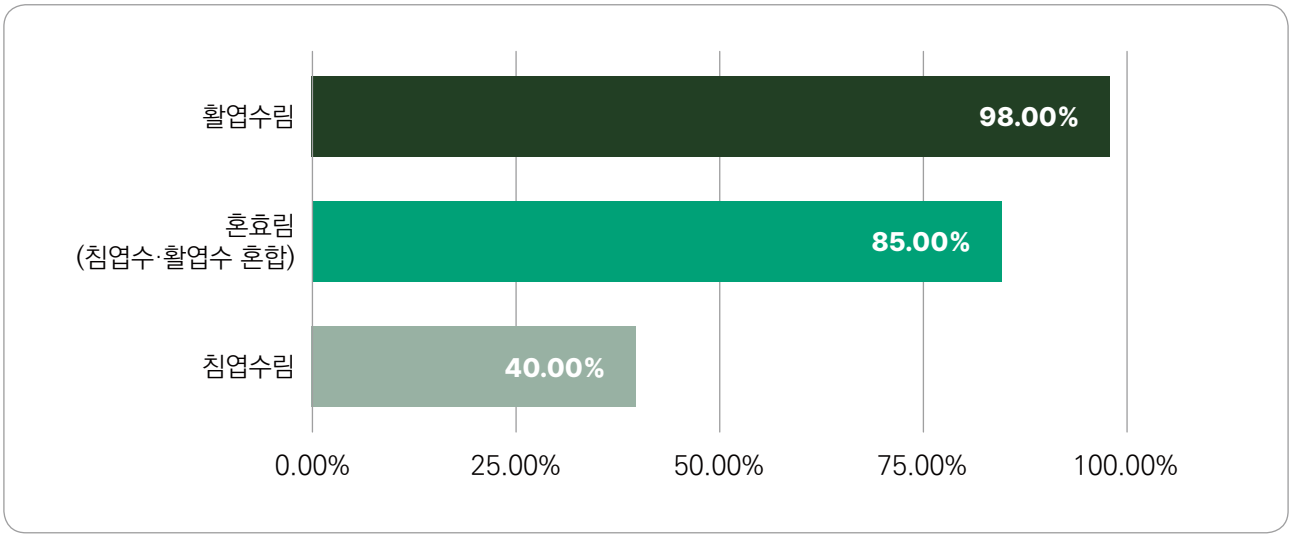
종자 공급원까지 잃는 반면, 참나무는 살아남은 뿌리에서 되살아나 척박한 자리를 먼저 차지하기 때문이다.

이렇게 바뀌는 숲은 다음 산불에 더 잘 견딘다. 참나무 같은 활엽수는 두꺼운 껍질과 수분이 많은 잎, 상대적으로 덜 밀집한 수관 구조 덕분에 불이 나무 꼭대기까지 번지는 대형 수관화로 발전하기 어렵다. 송진이 많아 한 번 불붙으면 산 전체로 번지는 소나무 단순림과는 정반대다. 결국 이번 산불은 '타기 쉬운 소나무 숲'을 '덜 타는 참나무 숲'으로 바꾸는 촉매가 된 셈이다.

숲이 강해지는 징후는 이미 땅에서도 나타난다. 새로 돋은 풀과 맹아가 지면을 덮으면서, 같은 강우 조건에서도 토양이 깎여나가는 양이 4개월 만에 약 3.57배 줄었고 침식 위험 구간은 51.1%에서 10.8%로 축소됐다. 산불 직후 산사태의 위험을 안고 있던 맨땅이, 스스로 재해를 막아내는 방향으로 움직이기 시작한 것이다.

다만 이것은 고운사가 이미 강한 극상림이 되었다는 뜻이 아니다. 다층의 활엽수림이 지닌 완전한 재해 저항력은 앞으로 수십 년의 시간이 더 쌓여야 갖춰진다. 지금 확인된 것은 도달이 아니라 방향이다 — 고운사의 숲은 더 강한 숲을 향해 첫 걸음을 뗐다.

[그림 4] 산불 전 식생 유형별 회복률(활엽수 98% vs 침엽수 40%)과 활엽수림으로의 전환 / 식생 회복에 따른 토양침식 위험 감소



7. 앞으로 지켜볼 사항

그러나 생태계에 절대적인 법칙은 없다. 회복의 속도와 성공 여부는 지형·수종·기상에 따라 크게 달라진다. 지리산 삼신봉에서는 산불 직후 다양한 수종이 활발히 되살아났으나, 1년도 채 지나지 않아 신갈나무만 남았고 그마저 생육이 쇠퇴했다. 초기의 빠른 회복이 늘 오래 이어지는 것은 아니다.

동물의 회복은 특히 더디다. 1996년 강원도 고성 산불 장기조사에 따르면 어류는 3년, 수서동물은 9년, 곤충(개미)은 14년 안에 산불 이전 수준으로 회복됐지만, 포유류는 20년이 지난 뒤에도 개체수 기준으로 81~86%, 조류는 62~72% 수준에 머물렀다(산림청, 2023). 숲이 겉모습을 되찾은 뒤에도 이전처럼 건강한 생태계에 이르기까지는 더 긴 시간이 필요하다.

고운사에도 이런 그늘이 있다. 곤충 조사에서 종다양성(Shannon·Simpson 지수)은 불에 타지 않은 자연림에서 유의하게 높았던 반면, 개체수는 자연복원지에서 유의하게 많았다. 소수의 종이 대량 발생해 군집을 채우는 것은 교란지 초기에 나타나는 전형적인 모습으로, 자연복원지가 아직 천이의 초기 단계에 있다는 신호다. 소형 포유류의 종수와 개체수도 여전히 빈약하다. 식생·토양을 종합한 진단에서 유역의 60.6%는 안정 구간에 들었으나 13.8%는 주의가 필요한 취약지이며, 남향 급경사 사면의 최대 침식 위험은 여전히 남아 있다.

숲이 완전히 회복되기까지는 10년 이상이 걸릴 것이다.

그래서 회복 여부를 섣불리 단정하기보다, 지속적이고 장기적으로 세밀하게 모니터링을 할 필요가 있다. 위성이 본 1년, 땅에서 확인한 1년, 소리로 들은 1년, 그리고 땅속 분해자가 증언한 1년 — 네 개의 시선은 같은 방향을 가리킨다. 고운사의 소나무 단순림은 한 세기 만에 본래의 활엽수림으로 되돌아가는 천이의 첫 장에 들어섰다. 지금 확인된 것은 회복의 완료가 아니라, 회복이 분명히 시작되었다는 사실이다.

[표 2] 고운사 사찰림 자연복원 모니터링 1차년도 조사 과제 개요

과제명	연구 수행자	조사 구역	조사 항목
식생·토양	이규송 교수 (강원대학교) 위성영상 분석: 그린피스	• 고운사 사찰림(248.87ha)을 포함한 의성군 구계리 일대 유역 401.29ha • 유역 안 55개 조사 지점 (10m×10m) • 2025년 8월~2026년 봄	• 인공위성 영상으로 본 숲 전체의 회복 속도 • 새로 자란 나무와 풀의 종류·양 • 토양 상태(토심, 산도, 유기물 등) • 큰비가 왔을 때의 토양 침식 위험

과제명	연구 수행자	조사 구역	조사 항목
야생동물	한상훈 박사 (한반도야생동물연구소)	• 3개 권역 — 산불 피해 중심부, 등운산 능선부, 구계2리 계곡부 • 고도와 지형(숲 안, 평지, 산록, 능선, 계곡)에 따라 구분 • 2025년 8월~2026년 5월, 2개월마다 조사	• 카메라트랩으로 본 중·대형 포유류 • 생포트랩·초음파 감지기로 본 소형 포유류와 박쥐 • 배설물·발자국 등 서식 흔적 • 조류·양서파충류 관찰 • 법정보호종(수달·담비·삵) 출현과 이동 경로
음향	기경석 교수 (상지대학교)	• 고운사 권역 2개 지점 — 상류(남사면), 중류(북사면) • 수정사 권역(산불 미피해 대조구) 추가 예정 • 2025년 9~11월 녹음 분석	• 무인 녹음기로 24시간 숲의 소리 수집 • 소리로 확인한 새의 종류와 우는 횟수 • 시간대·계절에 따른 변화 • 산불로 이득을 본 종과 취약한 종의 회복 양상
곤충	홍석영 박사 연구팀 (생명다양성재단· 서울대학교)	• 총 9개 지점 — 자연복원지(고운사 사찰림) 3곳, 인공복원지(의성 산불피해지) 3곳, 자연림(산불 미피해) 3곳 • 2025년 10월, 2026년 4~5월	• 세 종류의 트랩으로 곤충 채집 (나는 곤충, 땅을 걷는 곤충, 분해자 곤충) • 확인된 종수와 개체수 • 복원 방식에 따른 종다양성 비교 • 멸종위기종·외래종·산불 지표종 출현 여부
(부록) 시민과학	그린피스 서울사무소, 안동환경운동연합, 불교환경연대 자문: 이규송·기경석 교수	• 고운사 사찰림 내 관찰 정점과 「짝꿍나무」 • 2026년 4~6월 매월 1회, 시민과학자 약 40명 참여	• 조사 구역 안에 자라난 식물의 종류 기록 • 관찰한 새의 종류와 마릿수 기록 • 지정한 「짝꿍나무」의 생육 변화 관찰

※ 각 과제의 세부 결과는 본 보고서의 식생·동물·음향·곤충 장(章)에 수록하였다. 시민과학 모니터링 결과는 부록에 정리하였다.

식생

- 고운사 사찰림 유역 1년간의 식생 변화

식생 – 고운사 사찰림 유역 1년간의 식생 변화

1. 조사 방법 및 지점 개요

연구의 배경과 질문

본 연구는 2025년 3월 의성 산불로 면적의 97.61%가 피해를 본 고운사 사찰림을 대상으로, 산불 이후 일어난 식생 변화를 1년에 걸쳐 정량적으로 진단한 1차년도 연구다. 통상 산불 피해지는 벌목과 조림으로 이어지지만, 고운사 사찰림은 한국 불교계 종단 차원에서 이 같은 경로를 선택하지 않고 자연복원을 공식 선언한 최초의 사례이다. 본 연구는 이러한 결정 이후 산림의 회복 과정을 기록한다.

연구는 세 가지 질문에 답하고자 했다.

1) 산불은 이 숲을 어디에서 어떤 강도로 변화시켰는가.
2) 이 숲은 자연복원 가능성이 있는가 – 어떤 식생이 어디서 어떤 속도로 재생하고 있는가.
3) 이 숲은 안정적인가 – 식생 회복과 토양 침식 위험을 함께 고려할 때, 각 지점이 추가 재해(산사태·토사 유출)에 얼마나 취약한가.

세 질문에 대한 답은 자연복원의 향후 궤적을 예측하고 인위적 개입이 필요한 지점을 판별하는 기초 자료가 된다.

조사 지역과 시기

조사 대상은 고운사 사찰림(248.87ha)을 포함한 경상북도 의성군 단촌면 구계리 산 222·산 213번지 일대 유역(401.29ha)이다. 사찰림만이 아니라 유역 전체를 분석 단위로 삼은 것은, 생태계 물질 순환의 기본 단위가 행정구역이 아니라 비·흙·식생이 함께 움직이는 유역(watershed)이기 때문이며, 동시에 유역 내에 보호지역(사찰림, 자연복원)과 비보호지역(외부 사유림, 일반 관리)이 공존해 서로 다른 복구 전략을 비교할 조건이 갖추어지기 때문이다. 1차년도 조사는 2025년 8월에 시작해 같은 해 말까지 집중 수행되었으며, 2026년 봄까지 보완 조사가 이어졌다.

* **집필** 이규송 (강원대학교 생명과학과)

본 장의 식생·토양 조사 결과는 이규송 교수 연구팀이 수행한 1차년도 연구에 기반하며, 위성영상(NDVI) 분석은 그린피스 동아시아(GPEA)가 수행하였다.

세 가지 조사·분석 방법

1차년도 조사는 △위성영상 분석 △현장 방형구 조사 △토양침식 모형 분석의 세 축으로 설계되었다. 위성이 유역 전체의 큰 그림을 그리면, 현장 조사가 그곳에 실제로 무엇이 자라는지를 확인하고, 모형이 그 식생이 토양을 얼마나 붙잡는지를 예측한다. 세 결과를 결합하면 어느 곳에서 자연복원이 잘 되고 있고 어느 곳이 추가 위험에 노출되어 있는지를 종합적으로 진단할 수 있다.

[표 3] 1차년도 조사 방법 개요

단계	핵심 방법	산출물
위성영상 분석	Sentinel-2 위성영상(dNBR·NDVI)과 기존 주제도 통합 분석	산불피해 강도 분포도, 재생 현존식생도, 생태계 안정성 평가도
현장 조사	55개 표본 지점(10m×10m 방형구)에서 식생·입지·토양 정밀 측정	식생조사표, 입지·토양 데이터
SEMMA 모형 분석	한국형 산지 토양침식 모형으로 침식 위험 추정	토양침식 위험도 분포도, 생태계 안정성 평가도

위성 지표 — dNBR와 NDVI

위성은 식물이 반사하는 근적외선(NIR)과 단파적외선(SWIR), 그리고 광합성에 흡수되는 적색광을 측정하고 이 값들을 조합해 두 지표를 산출한다. dNBR(정규화 연소비율 차이)는 산불 전후의 NBR을 비교해 피해 강도를 진단하며, 값이 클수록 피해가 심하다. NDVI(정규식생지수)는 같은 자리를 반복 측정해 식생 활력의 회복 궤적을 추적하며, −1에서 +1 사이 값 중 1에 가까울수록 광합성을 활발히 하는 건강한 숲을 의미한다.

NBR = (NIR − SWIR) / (NIR + SWIR)
dNBR = NBR(산불 전) − NBR(산불 후)
NDVI = (NIR − 적색광) / (NIR + 적색광)

dNBR이 산불 전후 두 시점을 비교한다면, NDVI는 수십 개 시점을 이어 붙여 회복의 곡선을 그린다. 본 연구의 NDVI 시계열은 그린피스 동아시아(GPEA)가 2023년 1월부터 2026년 5월까지의 기간 중 구름이 적은 모든 날의 Sentinel-2 영상을 추출해 유역 전체(401.29ha) 단위로 산출했다.

현장 방형구

55개 표본 지점은 유역을 대표하도록 산불 피해 강도와 재생 식생 유형이 골고루 포함되게 선정했다. 각 지점에 10m×10m 방형구를 설치하고, 식생을 교목층·아교목층·관목층·초본층으로 나누어 각 층의 피도와 빈도를 기록했다. 해발고도, 경사, 사면 방향과 토심, 토성, 유기물 함량, 자갈 비율, 낙엽층 두께 등 입지 조건도 함께 측정했다. 토양은 유효 토심을 지점당 10회 이상 측정해 평균을 냈고, 낙엽층을 걷어낸 뒤 5곳 이상에서 표토를 채취·혼합해 SEMMA 모형의 입력값으로 사용했다.

SEMMA 모형

SEMMA(Soil Erosion Model for Mountain Area, 산지 토양침식 모형)는 강원대 연구팀이 한국 산지 환경에 맞춰 개발한 토양 침식 예측 모형이다. 강우·식생·토양·지형 네 인자를 결합해, 특정 지점에서 일정량의 비가 왔을 때 토양이 얼마나 깎여나갈지를 t/ha 단위로 추정한다. 미국 농경지에서 개발된 RUSLE와 달리 경사 인자의 가중치를 낮추고 토심, 자갈 비율, 식생 회복의 반영도를 높여, 경사가 급하고 토양이 얕은 한국 산지에서 실측 범위에 부합하는 예측치를 낸다.

* 본 연구에서 두 모형을 같은 자료로 적용한 결과, RUSLE는 실측 침식량(최대 약 200 t/ha) 대비 2~3배를 초과 산정했고 현장 식생피복도와의 상관성도 낮았다(RUSLE R^2=0.002, SEMMA R^2=0.50).

산불피해 강도 분류

위성의 dNBR 값과 현장 답사, 드론 사진을 결합해 사찰림 전역을 세 가지 피해 유형으로 구분했다. 지표화(地表火)는 땅바닥의 풀과 낙엽만 탄 약한 화재이고, 수간화(樹幹火)는 나무 줄기까지 탄 중간 강도의 화재로 참나무는 대체로 생존하지만 소나무는 대부분 죽는다. 수관화(樹冠火)는 나무 꼭대기까지 탄 가장 강한 화재로 대부분의 나무가 죽는다.

2. 피해 직후 식생 현황 (초기 조건)

산불 후 회복을 이해하려면 산불 전 그 자리에 무엇이 있었는지, 그리고 산불이 그것을 어떻게 태웠는지를 먼저 알아야 한다. 이것이 회복의 출발점이다.

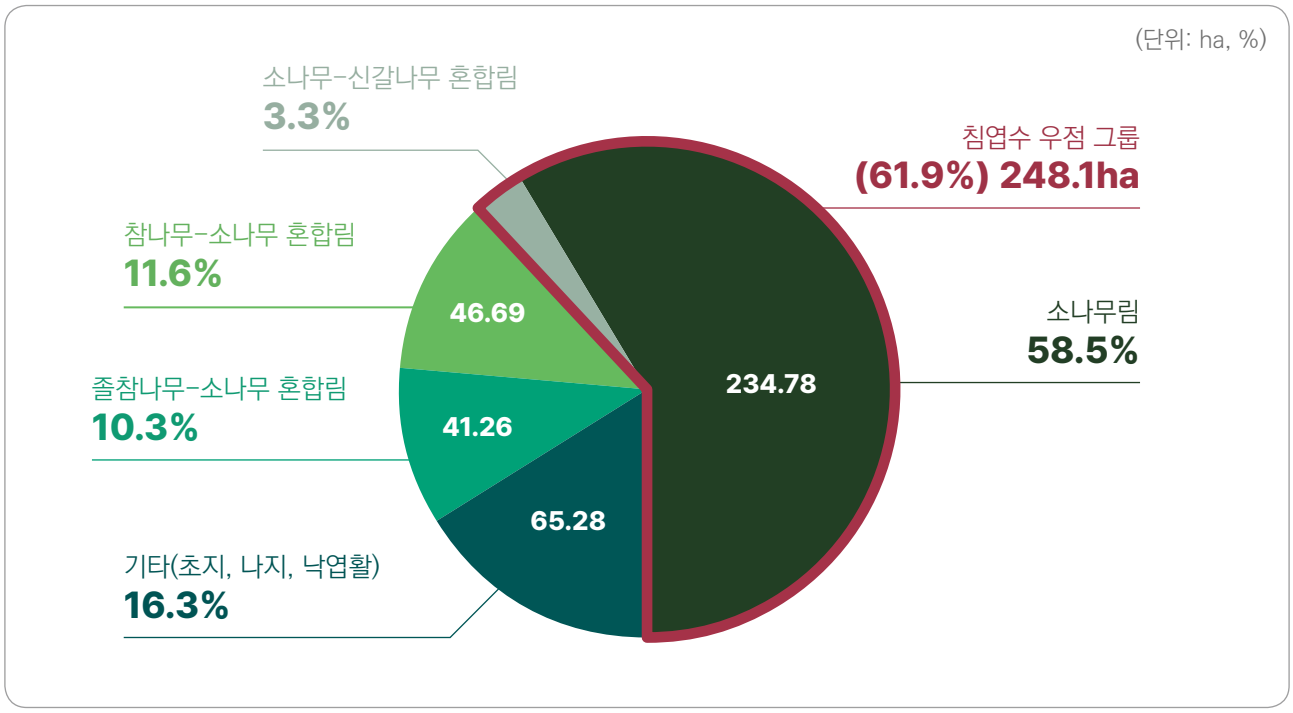
한 세기에 걸쳐 만들어진 소나무 단순림

연구팀은 100년 전 지형도에서부터 분석을 시작했다. 1910~1930년대 종이지도에서 고운사 유역은 계곡부를 따라 소규모 취락과 경작지가 분포했고, 주변 산지는 산림 황폐화가 진행 중이었다. 1969년 항공사진에서는 사면 전반이 식생이 빈약한 민둥산 형태로

나타난다. 일제강점기와 한국전쟁을 거치며 산림 훼손이 광범위하게 진행된 결과였다.

전환점은 1970~1980년대 치산녹화사업이었다. 빠르게 자라는 소나무를 중심으로 한 침엽수림이 유역 전반에 조성되었고, 2011~2023년 항공사진에서는 소나무림이 능선부와 사면 전체에 높은 밀도로 자리잡은 모습이 확인된다. 민둥산을 덮었다는 점에서는 성공이었지만, 한 수종이 산 전체를 뒤덮는 단순림 구조가 고착된 것이기도 했다. 산불 직전 고운사 유역의 약 61.9%가 소나무 단순림이거나 소나무가 우점하는 혼합림이었다.

[그림 5] 산불 전 고운사 유역 식생 구성



산불 피해 강도 분포 : 사찰림의 절반이 수관화

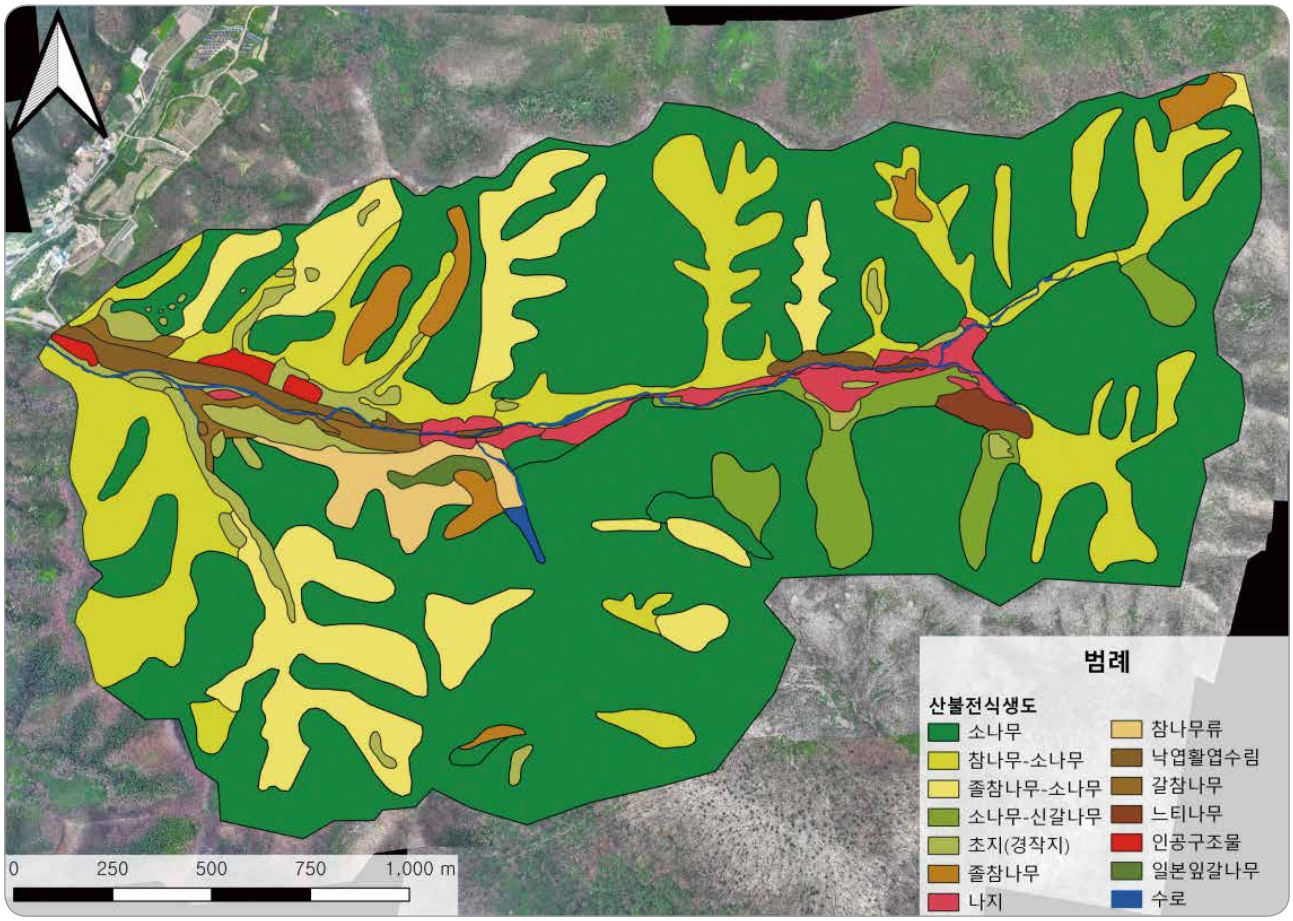
송진이 많은 소나무는 한 번 불이 붙으면 나무 꼭대기까지 번지는 수관화로 발전하기 쉽다. 그 결과, 유역 피해의 절반 가까이가 가장 강한 화재인 수관화로 분류되었다.

[표 4] 산불피해 강도 분포 (이규송 외, 2026)

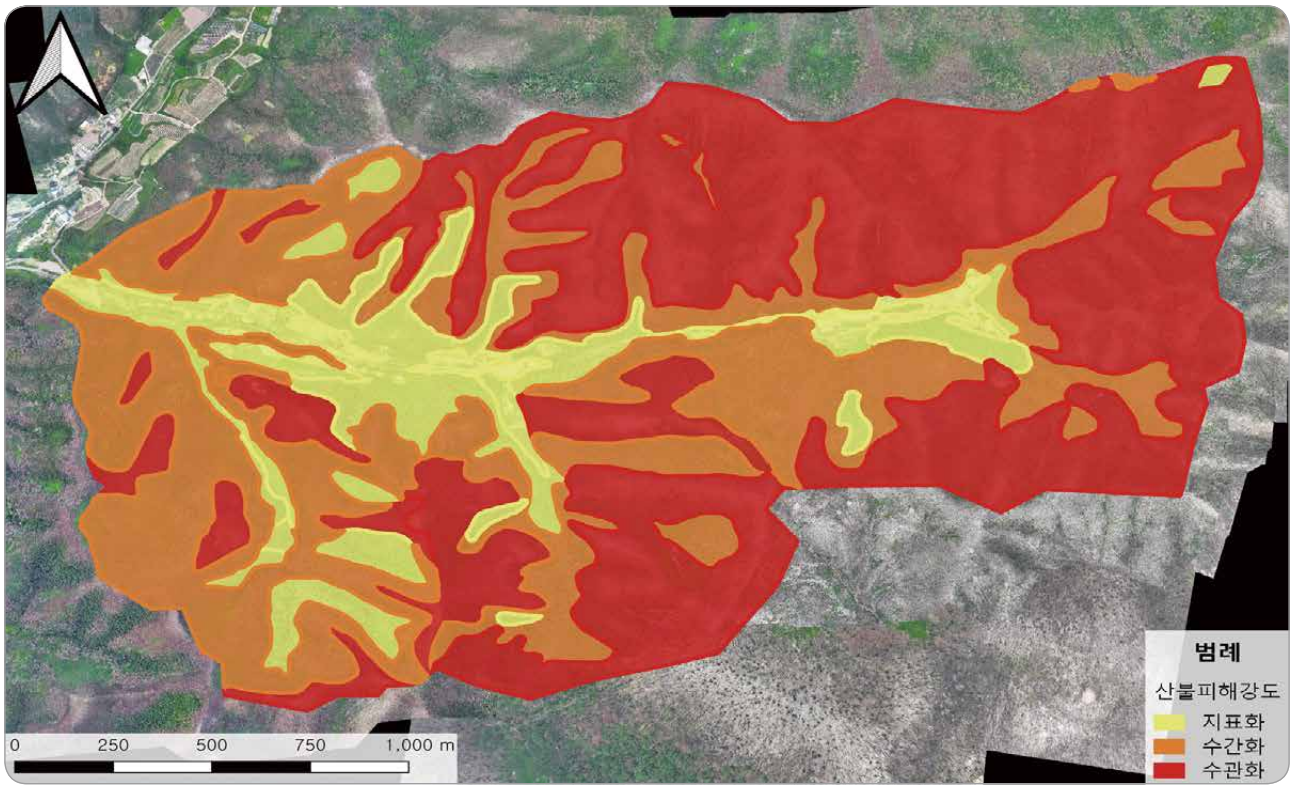
피해 유형	면적(ha)	비율(%)	의미
지표화 (地表火)	59.52	14.83	풀과 낙엽만 탄 약한 화재
수간화 (樹幹火)	142.85	35.60	나무 줄기까지 탄 중간 화재
수관화 (樹冠火)	198.91	49.57	나무 꼭대기까지 탄 가장 강한 화재
합계	401.29	100.00	

피해 강도 분포를 산불 전 식생 분포와 겹쳐 보면 뚜렷한 패턴이 드러난다. 능선부 소나무 우점림에서 수관화가 강도 높게 발생한 반면, 계곡부와 하천변은 상대적으로 피해가 약했다. 한편 위성 dNBR은 산불 직후의 불 높이를 잘 설명하지만 소나무가 산불 후 천천히 고사하는 특성은 충분히 반영하지 못하므로, 실제 복구 계획에는 현장에서 확인한 피해 강도 분포가 더 적합한 기준이 된다.

[그림 6] 산불 전 식생 분포도



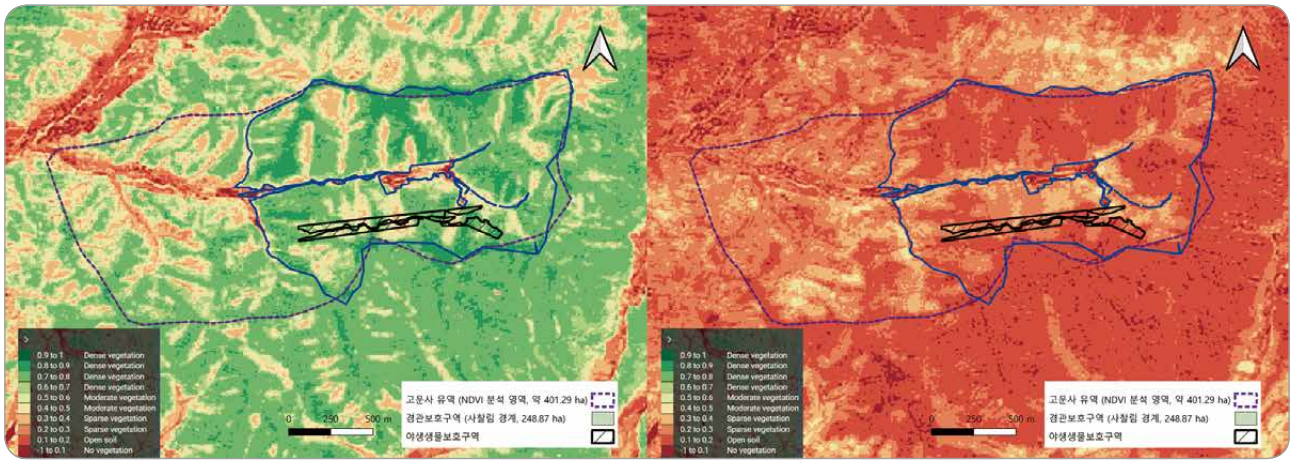
[그림 7] 산불 피해 강도 분포



회복의 출발선 — 산불 직후 NDVI 0.14

위성이 본 유역 평균 NDVI는 산불 발생 전인 2023~2024년 봄철 약 0.58~0.60으로 울창한 숲을 보여주었다. 산불 직전인 2025년 3월 19일에는 잎 전개 전이라 0.4235로 낮아진 상태였고, 3월 31일 산불 직후에는 0.1373으로 급락했다. 유역의 푸르름이 단 12일 만에 3분의 1 수준으로 떨어진 것이다. 이 0.14가 이후 모든 회복이 시작되는 지점이다.

[그림 8] 고운사 유역(약 401.29 ha) NDVI 인공위성 영상



좌측은 2025년 2월 17일 산불 전, 우측은 같은 해 4월 8일 산불 직후. 청색 실선이 사찰림(248.87 ha) 경계, 보라색 점선이 분석 유역 경계

3. 1년 후 회복 현황

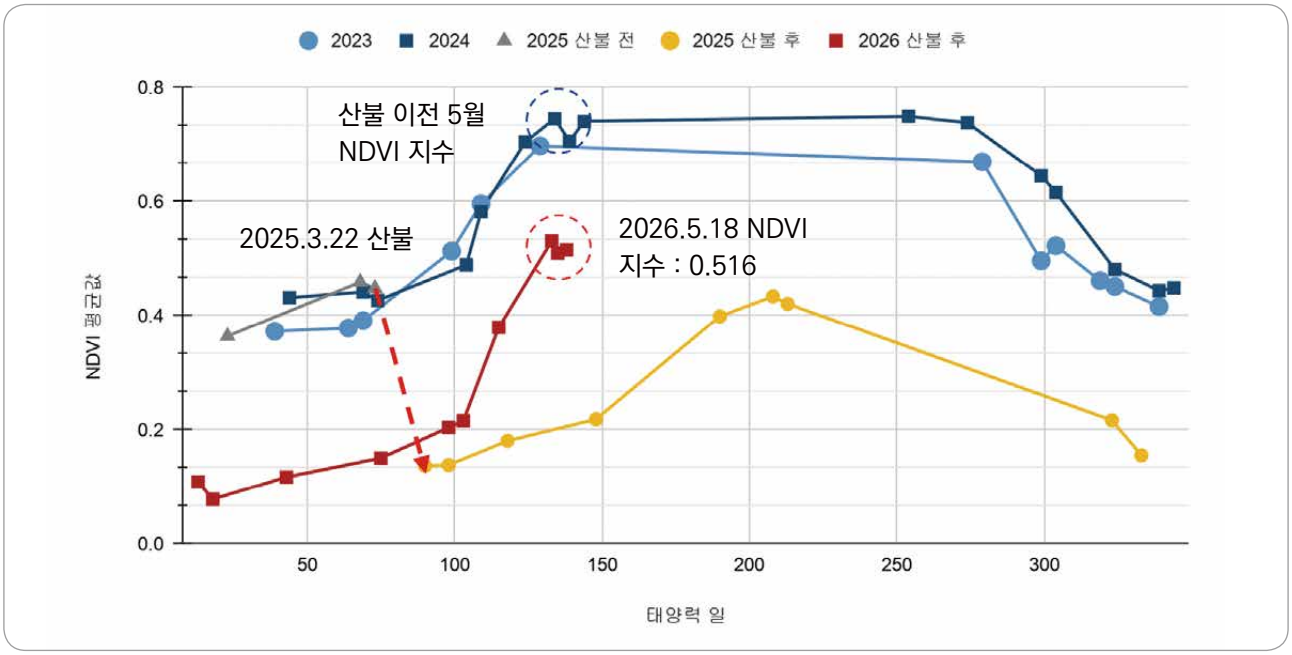
이번 조사에서 적용된 세 방법론은 회복의 각기 다른 측면을 조명한다. 위성은 유역 전체의 활력 회복 속도를, 현장 조사는 그 자리에 실제로 자라는 식생과 토양의 상태를, 모형은 식생 회복에 의한 토양 침식 위험의 완화 정도를 보여준다.

위성으로 본 회복 — 두 번의 회복기

NDVI는 산불 직후 급락한 뒤 두 번의 회복기를 거쳤다. 1차 회복기(2025년 5~8월)는 산불 두 달 후부터 본격적으로 시작되어, 8월 1일 평균 약 0.43에 도달했다. 이는 산불 전 같은 시기(약 0.70~0.75)의 60% 수준에 불과하지만 산불 직후(0.14)와 비교하면 세 배 이상 회복된 값으로, 살아남은 뿌리에서 솟아난 맹아가 본격적으로 자라난 결과였다. 가을·겨울 동안 활엽수의 낙엽으로 NDVI는 자연스럽게 낮아져, 2026년 1월 18일 0.08로 시계열 최저점을 기록했다.

2차 회복기(2026년 봄)는 더 가팔랐다. 3월부터 오르기 시작해 4월 8일(0.20)에서 4월 25일(0.38)까지 불과 17일 만에 값이 거의 두 배가 되었고, 5월 18일에는 0.516까지 올라왔다. 이는 평년 같은 시기(2023·2024년 5월 중순 약 0.74)의 약 70% 수준이다. 주목할 점은 2차 회복기가 1차보다 더 급속히 진행되었다는 것이다. 1차 회복기에 NDVI는 5개월에 걸쳐 0.43에 이른 반면, 2차 회복기에는 겨울 휴면 후 3개월 만에 0.38에 도달했다. 살아남은 뿌리 시스템이 2년차에 더 빠르게 잎을 틔우고 있으며, 회복은 정체가 아니라 가속의 국면에 있다.

[그림 9] 고운사 유역(약 401.29 ha) 4년 NDVI 시계열 (2023~2026.5.18, GPEA 분석)



2023·2024는 산불 전 정상 시계열, 2025 산불 전(1~3월)·산불 후(4~11월), 2026 산불 후(1~5월). 2026년 5월 18일 기준 NDVI 0.516으로 평년 같은 시기(약 0.74)의 약 70% 회복

어디가 빠르고 어디가 느린가 — 회복의 불균일성

평균만으로는 보이지 않는 것이 있다. 4월 25일 기준으로 유역 전체는 산불 전의 약 65% 수준을 회복했지만, 세부적으로는 차이가 컸다. 회복이 빠른 상위 10% 지점(P90)은 0.55로 산불 전의 약 85%까지 따라온 반면, 느린 하위 10% 지점(P10)은 0.23으로 44% 수준에 머물렀다. 산불 전에 P10과 P90의 격차는 0.13에 불과해 숲 전체가 고르게 울창했지만, 산불 1년 후 그 격차는 0.32로 두 배 이상 벌어졌다.

이 불균일함은 무작위로 벌어진 것이 아니다. 현장 데이터를 통계적으로 분석한 결과, 세부 지역 간의 회복 속도 차이를 가장 크게 설명하는 요인은 산불 피해 강도(25.4%)였고, 토양의 암반·자갈 특성(13.2%)이 그 뒤를 이었다. 피해가 강했던 능선부 수관화 지역과 약했던 계곡부 지표화 지역이 서로 다른 속도로 회복 중인 현상이 이 분석과 일치한다.

현장에서 본 회복 — 55개 방형구가 확인한 것

피복률 — 76.6%가 뚜렷한 회복

55개 표본 지점에서 측정한 1년 후 식생 회복은 피복도에 따라 1등급~3등급의 셋으로 나뉜다. 그 중 유역의 76.6%가 새로 자란 식생이 땅의 3분의 2 이상을 덮고 있는 3등급이었다.

[표 5] 식생 피복도 분포 및 식생 회복탄력성 등급 (이규송 외, 2026)

식생 회복탄력성	면적(ha)	비율(%)	의미
1등급 (1/3 미만)	34.58	8.62	회복 느림
2등급 (1/3~2/3)	59.33	14.79	중간 회복
3등급 (2/3 이상)	307.38	76.60	뚜렷한 회복

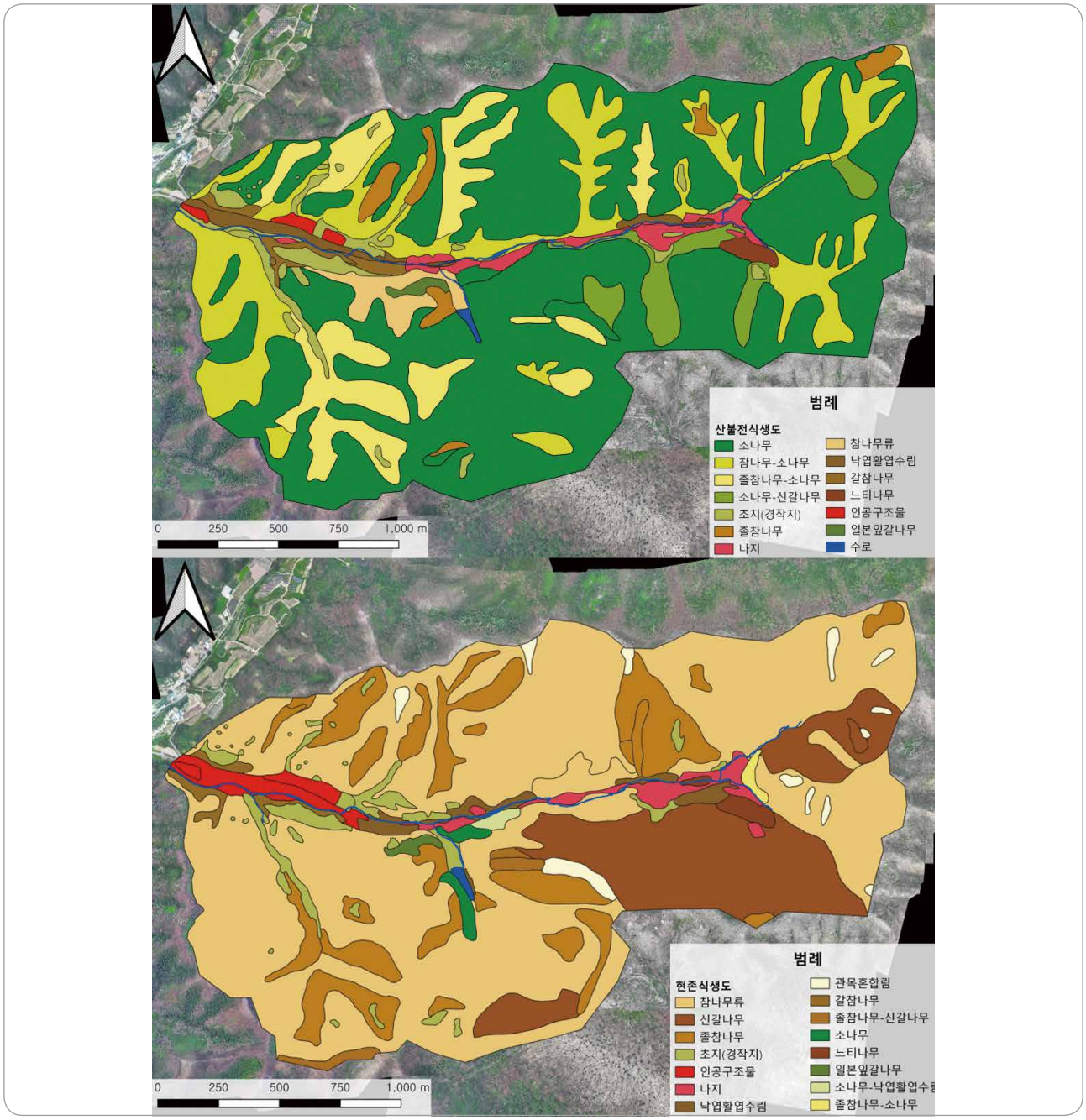
출현 종 — 소나무에서 참나무로

헥타르당 평균 3,922.2본의 맹아가 자라고 있었으며, 특히 굴참나무와 신갈나무의 맹아 재생이 두드러졌다. 소나무는 산불 후 천천히 고사하고 맹아 재생 능력도 없는 반면, 낙엽활엽수는 살아남은 뿌리에서 빠르게 새싹을 틔운다. 그 결과, 산불 전 58.51%를 차지하던 소나무림은 0.58%로 100분의 1 가까이 급감했고, 그 자리의 약 87%를 참나무류가 채우며 우점하기 시작했다.

가장 빈번하게 관찰된 재생 식물은 참싸리로, 목본층 군집 조사에서 중요치 13.66%로 1위를 기록했다. 굴참나무(9.40%)와 신갈나무(8.65%)가 뒤를 이었다. 콩과 식물

인 참싸리는 뿌리혹박테리아와 공생해 공기 중 질소를 토양에 고정한다. 산불로 척박해진 토양에 먼저 자리잡아 흙을 비옥하게 만들고 큰 나무가 자랄 조건을 마련하는 선구종의 전형적 역할이다. 현재 관찰되는 패턴은 남사면·능선부에서 굴참나무, 북사면에서 신갈나무, 계곡부에서 갈참나무·졸참나무가 우세하다. 본래 우리나라 산지가 온대 몬순형 낙엽활엽수림대라는 점에서, 연구팀은 고운사 유역의 신갈나무·굴참나무가 적지 적수에 해당한다고 분석했다.

[그림 10] 고운사 유역 산불 전·후 현존식생도 비교



상: 산불 직전, 하: 산불 1년 후. 산불 전 활엽수림이었던 자리(연한 베이지·갈색)는 같은 자리에 다시 활엽수림이 재생했고, 침엽수림이었던 자리(진녹색)는 활엽수로의 전환이 일어났다. 산불 전 식생 유형이 회복 속도뿐 아니라 회복 방향까지 결정한다는 사실이 한 장에 드러난다.

토양 — 얕은 흙이 오히려 자연복원을 뒷받침한다

55개 방형구의 평균 토심은 21.6cm에 불과했다. 지표에는 암반성 자갈이 많고 토양은 수분 보유력이 낮은 건조산림토양이었다.

[표 6] 고운사 사찰림의 토심 및 토양 정보

지표	평균	특징
토심	21.6 cm	매우 얕음 (SD 7.2cm)
2mm 이상 자갈 비율	48%	매우 높음
pH	5.36 (4.8-6.25)	약산성
유기물 함량	7.80%	변이계수 71.1% (지점별 편차 큼)
모래/미사/점토	56.9 / 23.5 / 19.6%	사질양토
평균 암반 피도	28.20%	지표면의 1/4 이상이 바위

토양이 얕고 자갈이 많은 곳은 묘목이 뿌리를 깊게 내릴 수 없어, 인공조림을 시도해도 활착하지 못하고 고사할 가능성이 크다. 고운사의 등운 주지스님이 자연복원을 결정한 이유 중 하나가 바로 이 토양 조건이었으며, 현장 데이터가 그 판단을 뒷받침한다. 다만 토양 상태가 이렇다고 하여 맹아가 재생되지 못하는 것은 아니다. 살아남은 뿌리에서 새싹이 솟는 자연복원 방식은 새 묘목을 심는 것과 달리 기존 뿌리망을 그대로 활용하기 때문에, 척박한 토양에서 오히려 더 효과적인 회복 방법이 된다.

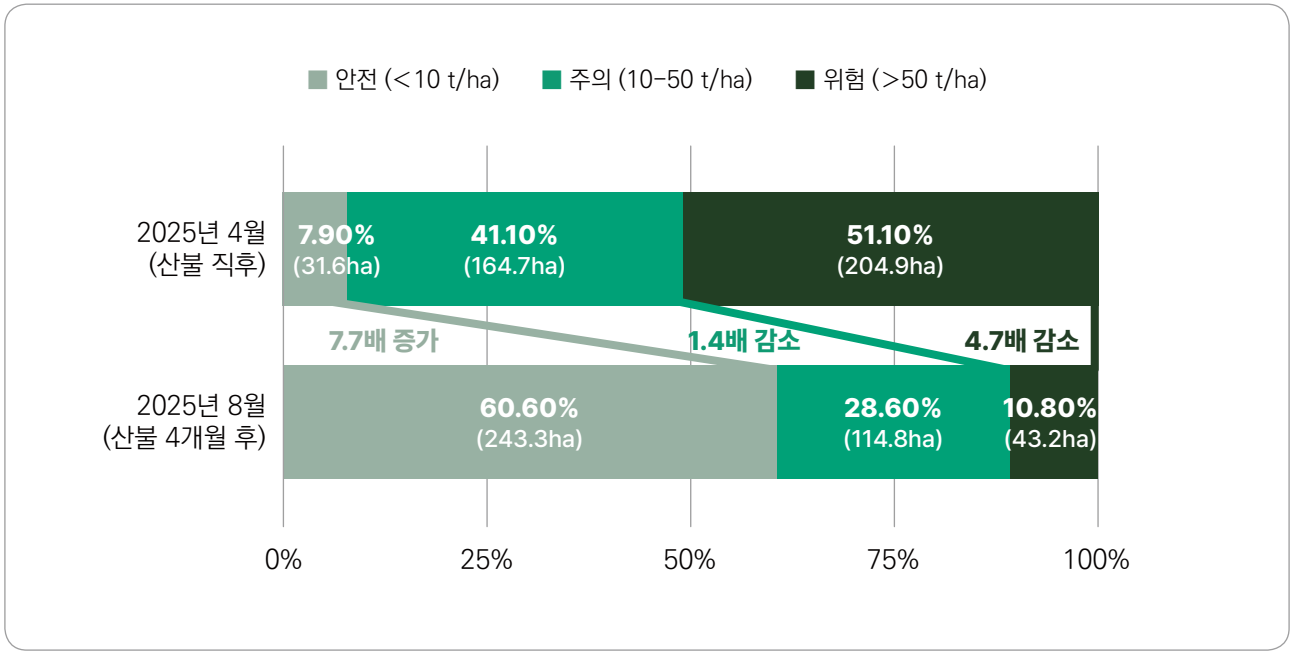
모형으로 본 회복 — 토양 침식 위험의 급감

산불은 한 번으로 끝나는 재해가 아니다. 뿌리가 죽고 낙엽층이 사라진 맨땅에 첫 장맛비가 내리면 토사가 골짜기로 쓸려 내려가고 심하면 산사태로 이어진다. 실제로 1996년 고성, 2000년 동해안, 2022년 울진 산불 당시에도 그해 여름에 토사 유출과 산사태가 보고되었다. 산불 후 자라난 풀과 맹아는 그저 푸르름을 회복하는 데 그치는 것이 아니라 다음 여름의 산사태를 막는 녹색 방패가 된다.

고운사 산불 직후인 2025년 4월 8일에 SEMMA 분석 대상인 사찰림 구역의 평균 NDVI는 0.10으로 사실상 식생이 사라진 상태였다. 4개월 뒤인 8월 1일에는 0.28로 올랐고 현장 평균 식생피복률은 63.20%에 이르렀다. SEMMA 모형으로 50년 빈도 강우(24시간 누적 약 210mm)를 가정해 추정한 결과, 같은 양의 비가 오더라도 산불 4개월 뒤의 평균 침식량은 산불 직후보다 약 72% 감소했다. 평균값뿐만 아니라 위험 등급의 분포도 뒤집혔다. 위험 구간은 51.1%에서 10.8%로 5분의 1 정도 줄었고, 안전 구간은 7.9%에서 60.6%로 대폭 늘어났다.

식생피복도와 침식량의 관계가 이 변화를 뒷받침한다. 피복도가 20%에 못 미치는 지점에서는 침식량이 50 t/ha를 넘는 경우가 많았으나, 60%를 넘는 지점에서는 대부분 20 t/ha 이하에 머물렀다. 식생이 땅의 60% 이상을 덮으면 침식 위험은 사실상 안전 구간으로 들어선다. 다만 회복이 전 구역에서 균일하게 진행되지는 않았다. 평균 침식률은 약 72% 줄었지만 최대 침식률은 4월 120.74 t/ha에서 8월 116.58 t/ha로 거의 변화가 없었다. 남향 사면처럼 식생 회복이 더딘 곳에는 여전히 높은 침식 위험이 남아 있어 추가 관찰이 필요하다.

[그림 11] 토양 침식 위험 변화 : SEMMA 50년 빈도 강우 모의 결과 (이규송·신승숙 외, 2026)



4. 자연 회복의 생태학적 의미 해석

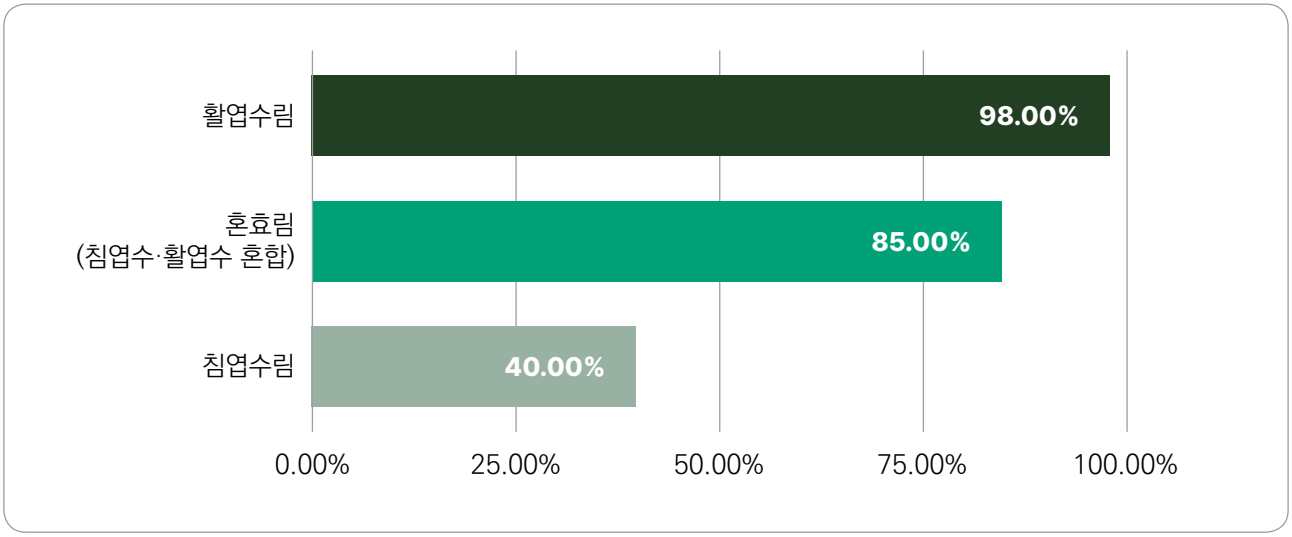
산불 전 무엇이었느냐가 회복을 결정한다

세 방법론이 공통으로 보여주는 가장 중요한 사실은, 회복의 속도와 방향을 결정짓는 요인이 바로 '산불 전 그 자리가 어떤 숲이었는가'라는 사실이다. 같은 산불 피해를 입었음에도, 활엽수림이었던 자리는 약 98%가 빠르게 회복된 반면 침엽수림이었던 자리는 약 40%만이 회복되었다. 두 배 이상의 차이다.

이렇게 차이가 나는 이유는 재생 메커니즘에 있다. 활엽수는 뿌리와 줄기에서 새싹을 틔우는 맹아 능력을 지니고 있어, 줄기가 타도 살아남은 뿌리에서 빠르게 새 가지를 낸다. 반면 침엽수는 맹아 재생 능력이 없고 산불로 종자 공급원마저 소실되므로 근본적으로 자연 회복에 한계가 있다. 기존 숲의 성격에 따라 회복의 방향도 나뉘어졌다. 활엽수림 자리는 99%가 다시 활엽수림으로 재생했지만, 침엽수림 자리는 62%만 활엽수림으로 전환되고 38%는 회복이 지연되었다.

또한 산불 전 숲가꾸기 사업에서 살아남은 큰 나무일수록 큰 맹아를 왕성하게 발생시켰다. 이는 숲가꾸기로 인한 소나무 단순림화가 산불 피해 강도를 높였을 뿐 아니라, 산불 후 식생 회복탄력성에도 영향을 미쳤음을 뜻한다. 인간의 손길로 만들어진 소나무 단순림이 산불을 거치며, 본래의 활엽수림으로 되돌아가고 있는 것이다.

[그림 12] 산불 전 식생 유형별 회복탄력성



생태계 안정성 — 종합 진단

식생 회복탄력성과 토양 안정성을 한 지도 위에 겹치면 유역 각 지점의 회복 상태를 종합 평가할 수 있다. 두 요인을 결합할 때 연구팀은 토양 안정성을 식생 회복탄력성보다 상위에 두었다. 식생이 잘 돌아왔더라도 흙이 깎여나가면 식생도 함께 휩쓸릴 수 있어, 식생 회복은 결국 토양이 받쳐주어야 가능하기 때문이다. 이러한 고려 위에서 두 가지 요인이 맞물린 아홉 가지 조합을 설정하고, 이를 회복 상태 순으로 다섯 등급(아주 높음·높음·중간·낮음·아주 낮음)으로 분류했다.

[표 7] 생태계 안정성 순위

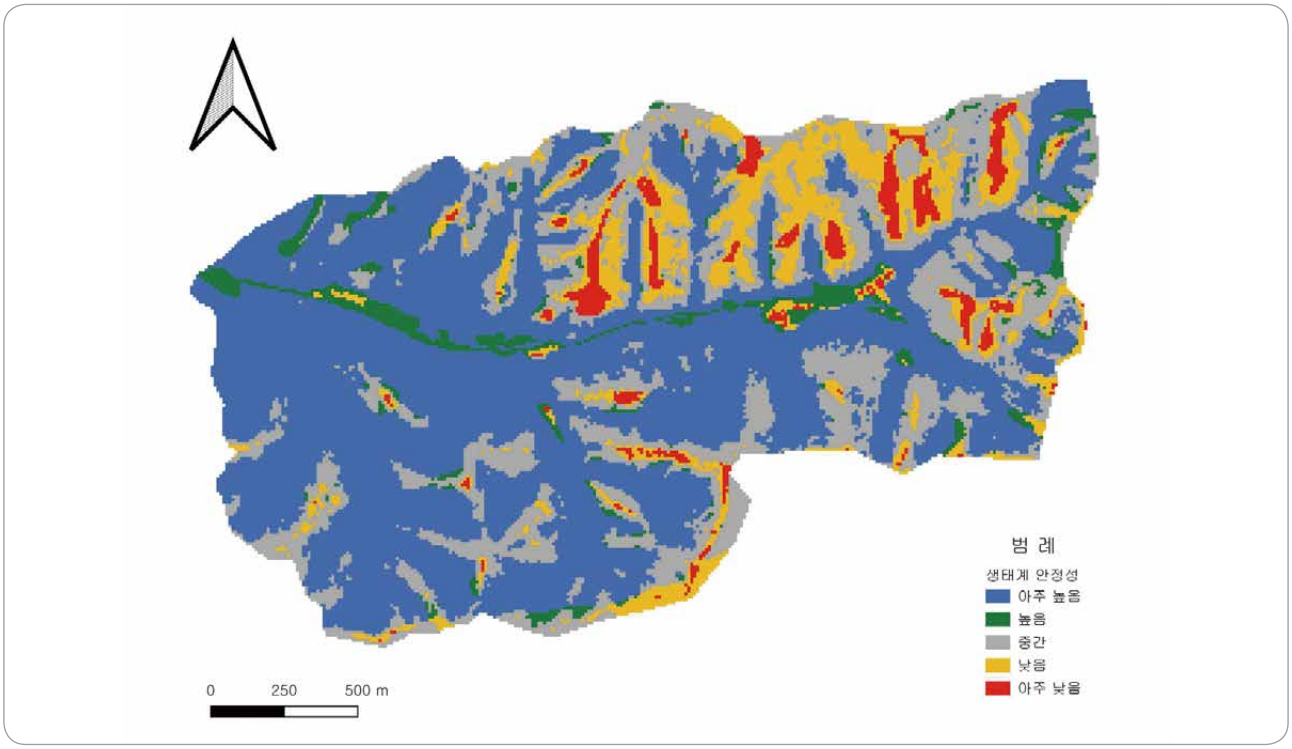
식생 회복탄력성	토양 안정성	생태계 안정성	면적(ha)	비율(%)
3등급 (높음)	안전	아주 높음	226.1	56.3
3등급 (높음)	주의	중간	71.3	17.8
3등급 (높음)	위험	낮음	10	2.5
2등급 (중간)	안전	높음	7.7	1.9
2등급 (중간)	주의	중간	31.4	7.8
2등급 (중간)	위험	낮음	20.2	5

식생 회복탄력성	토양 안정성	생태계 안정성	면적(ha)	비율(%)
1등급 (낮음)	안전	높음	9.5	2.4
1등급 (낮음)	주의	낮음	12.1	3
1등급 (낮음)	위험	아주 낮음	13.1	3.3
합계			401.3	100

진단 평가도는 '아주 높음' 56.3%(226.1ha)에 '높음' 4.3%(17.2ha)를 더한 유역의 60.6%(243.3ha)가 자연복원만으로 충분히 회복되고 있는 안전한 구간임을 보여준다. 이 가운데 식생·토양이 모두 최상인 '아주 높음' 등급이 56.3%(226.1ha)를 차지한다. 다음 25.6%(102.7ha)는 '중간' 등급으로, 식생이 더 자라 토양을 덮으면 다음 해 평가에서 상위 등급으로 이동할 가능성이 크다. 주의가 필요한 구간은 13.8%(55.4ha)로, 이 중 '아주 낮음' 등급(3.3%, 13.1ha)은 식생 회복탄력성이 낮고 토양도 위험 수준인 가장 취약한 구간이며 능선 상부와 남향 급경사 사면에 집중되어 있다.

이 평가도는 이 숲 전체가 자연복원에 적합하다는 단순한 답을 내놓지 않는다. 대신 어디가 안전한지, 어디를 더 지켜봐야 하는지, 또 어디에 정밀 진단이 필요한지 공간별로 차별적인 진단을 제시한다. 이처럼 진단에 기반하여 현 상황에 적응하는 관리야말로 자연복원의 다음 단계다.

[그림 13] 고운사 사찰림 생태계 안정성 평가도 (이규송 외, 2026)



한 세기 만의 천이, 그리고 국제 학계와의 일치

위성·현장·모형의 세 시선은 같은 결론에 다다른다. 위성은 사찰림의 NDVI가 P90 기준 산불 전의 85%까지 회복되었으며, 동시에 회복 속도가 공간적으로 불균일함을 보여주었다. 현장 조사는 이 회복이 단순한 풀의 재생이 아니라 침엽수에서 활엽수로의 전환, 즉 한 세기 만의 천이 변화임을 확인했다. 모형은 그 식생이 토양 침식 위험을 산불 직후보다 약 72% 줄였음을 수치로 보여주었다.

고운사에서 1년간 벌어진 일은 글로벌 학계의 축적된 연구 결과와도 일치한다. 국제 공동 연구진이 열대림을 대상으로 133개 연구를 분석한 결과, 자연복원은 인공조림보다 생물다양성 회복에서 34~56%, 식생구조 회복에서 19~56% 더 높은 성공률을 보였다.[2] 국제자연보전연맹(IUCN) 등이 참여한 연구에서는 전 세계 훼손지의 15%를 우선 복원하면 멸종 위기종의 60%를 보호하면서 약 299기가톤의 이산화탄소를 흡수할 수 있는 것으로 나타났고,[3] 숲의 재생과 기후 문제를 다룬 또다른 최근 연구는 자연복원과 조림의 비용 효율이 지역에 따라 서로 다르게 나타나며, 재조림에 적합한 땅의 약 절반에서 자연복원이 묘목 식재보다 더 낮은 비용으로 탄소를 흡수했고, 두 방식을 적절히 혼합하는 것이 최적일 수 있음을 보였다.[4]

본 조사의 결과는 자연복원이 끝났다는 것이 아니라 이제 막 시작됐다는 점을 확인한다. 숲이 완전히 회복되기까지는 10년 이상이 필요하다. 본 조사의 1차년도 진단에 이어 앞으로 영구방형구를 통한 장기 모니터링, 그리고 인근 수정사 유역(산불 미발생 대조구) 및 인공조림 지역과의 비교가 이어질 것이다. 위성이 본 1년, 땅에서 본 1년, 모형으로 본 1년이 가리키는 방향은 하나다. 인간이 자연을 통제하기보다 그 힘을 믿고 기다릴 때, 불탄 숲은 스스로 더 강한 숲으로 돌아온다.

2 Crouzeilles, R., Ferreira, M. S., Chazdon, R. L., Lindenmayer, D. B., Sansevero, J. B. B., Monteiro, L., Iribarrem, A., Latawiec, A. E., & Strassburg, B. B. N. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. Science Advances, 3(11), e1701345. https://doi.org/10.1126/sciadv.1701345

3 Strassburg, B. B. N., Iribarrem, A., Beyer, H. L., Cordeiro, C. L., Crouzeilles, R., Jakovac, C. C., et al. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. Nature, 586(7831), 724-729. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9

4 Busch, J., Bukoski, J. J., Cook-Patton, S. C., Griscom, B., Kaczan, D., Potts, M. D., Yi, Y., & Vincent, J. R. (2024). "Cost-effectiveness of natural forest regeneration and plantations for climate mitigation." Nature Climate Change, 14(9), 996-1002.



동물

- 고운사 일대 산불 피해지, 야생동물의 1년

동물 – 고운사 일대 산불 피해지, 야생동물의 1년

식생 조사가 '숲의 나무가 다시 자라는가'를 묻는다면, 야생동물 조사는 조금 다른 질문을 던진다. 불이 휩쓸고 간 자리에서, 그 숲에 기대어 살아가던 동물들 — 넓은 땅을 오가는 동물, 서로 잡아먹고 잡아먹히는 동물, 먹이사슬 맨 위에서 다른 동물을 사냥하는 동물 — 이 여전히 이 땅을 쓰고 있을까. 숲의 겉모습이 원래의 모양으로 돌아오는 것과, 그 안에서 동물들이 다시 어우러져 사는 것은 다른 문제다. 1차년도 야생동물 조사는 고운사 일대의 불탄 숲에서 포유류와 새들이 어떻게 살아가고 어디로 움직이는지를 9개월에 걸쳐 지켜봤다.

[그림 14] 고운사 유역에 설치된 카메라 중 하나



* **집필** 한상훈·김호진 (한반도야생동물연구소)
이 장의 야생동물 조사 결과는 한반도야생동물연구소가 2025년 9월부터 2026년 5월까지 진행한 1차년도 연구를 바탕으로 한다.

1. 어떻게 조사했나

조사한 곳은 고운사를 중심으로 한 반경 3km 안팎의 불탄 숲이었으며, 비교를 위한 대조구로서 인근의 수정사 숲도 함께 조사했다. 고운사 일대는 지형과 사람의 활동에 따라 세 구역으로 나눠 살펴봤다. 핵심구역은 고운사 입구(주차장)를 중심으로 하여 반경 1km 안의 하천·계곡·논밭·저수지이고, 주변구역은 반경 3km 안의 마을·산·계곡·저수지이며, 산악구역은 등운산 능선과 임도(산속에 낸 길)가 지나는 높은 산속이다. 비교 대상인 수정사 지역은 이번 산불의 피해를 받지 않은 가까운 숲으로, 불탄 곳의 동물상을 견주어 볼 기준이 된다.

고운사 지역은 2025년 9월부터 2026년 5월까지 9개월 동안, 수정사 지역은 2025년 11월부터 2026년 5월까지 6개월 동안 조사했다.

[그림 15] 카메라 트랩에서 확인된 오소리 영상



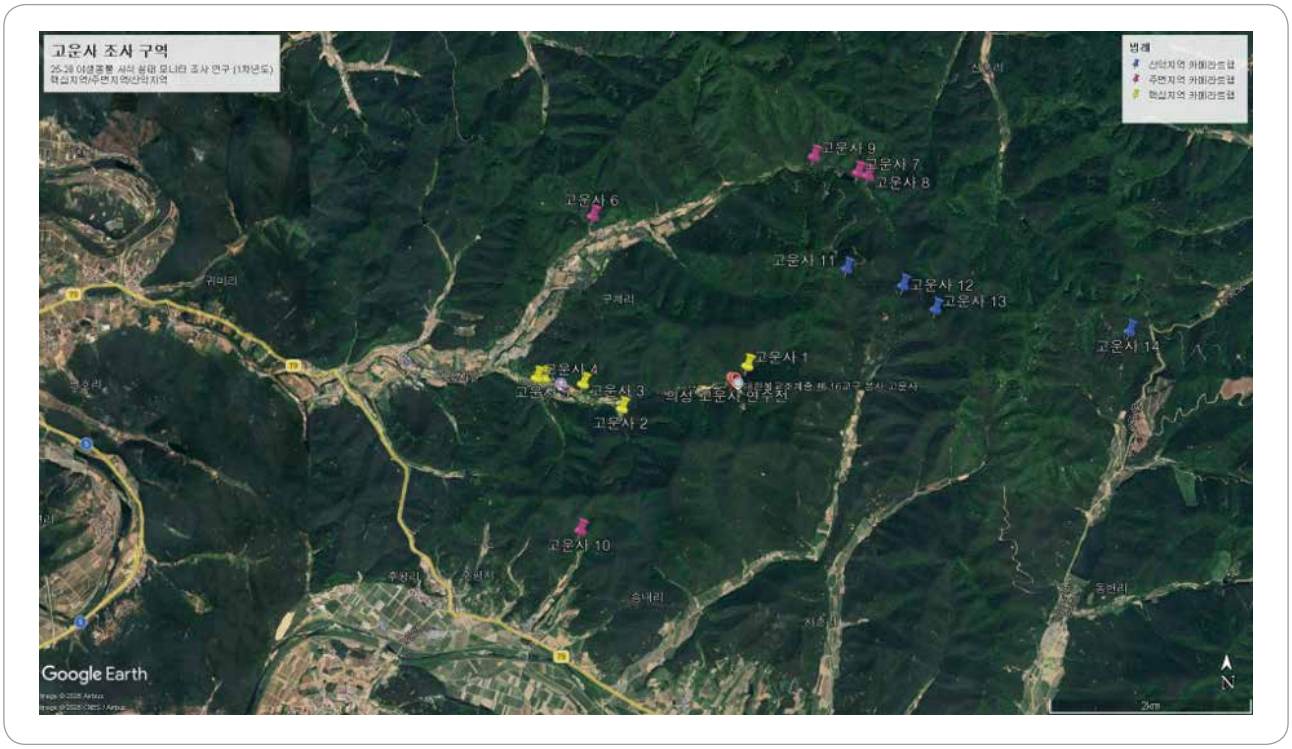
다섯 가지 방법으로 동물을 찾다

포유류와 조류에 속하는 다양한 동물들은 사는 방식이 저마다 달라서, 어느 하나도 놓치지 않기 위해 다섯 가지 방법을 함께 썼다. 먼저 동물이 남긴 발자국이나 똥 같은 흔적을 현장에서 찾았고, 설치류는 산 채로 잡는 덫(셔먼 트랩)으로 포획하여 어떤 종인지 확인한 뒤 놓아줬다. 밤에 움직이는 박쥐는 이들이 내는 초음파를 잡아내는 장치와 야간 관찰로 조사했다. 새는 눈으로 직접 보거나 울음소리로 종류를 알아냈고, 몸집이 큰 편인 포유류는 카메라 덫(카메라 트랩)으로 밤낮없이 오가는 모습을 찍었다.

카메라 트랩은 고운사 세 구역에 14대(핵심 5, 주변 5, 산악 4), 수정사 구역에 5대를 설치했다. 조사 과정이 순조롭지만은 않았다. 능선에 달아둔 카메라 몇 대가 불탄 나무를 베어내는 벌목 공사 중에 사라지거나 회수됐는데, 이런 사실 자체가 그 무렵 높은 산속에서 어떤 일이 벌어지고 있었는지를 증언하는 하나의 기록이기도 하다.

조사한 동물의 숫자와 관련하여 한 가지 짚어둘 점이 있다. 이 장에 나오는 '몇 마리'라는 숫자는, 동물 한 마리 한 마리에 표시를 달아 다시 잡아 세는 정밀한 방법으로 측정한 것이 아니라, 카메라에 찍힌 모습(크기, 생김새, 나타나는 방식)을 전문가가 보고 어림한 값이다. 그래서 여기 나오는 마리 수는 '적어도 이만큼'에 가까우며, 정확한 수는 앞으로의 조사로 더 명확히 밝혀내야 한다.

[그림 16] 고운사 3개 구역(핵심·주변·산악)과 수정사의 카메라트랩 조사 구역 개념도



2. 1년 동안 확인된 사항

90%가 탄 숲에도 동물이 살아 있었다

결과는 뜻밖이었다. 숲의 90%가 넘는 면적이 탔는데도, 우리나라 중부 내륙의 건강한 산에 사는 노루·고라니·멧돼지 같은 덩치 큰 초식동물이 모두 확인됐다. 담비·삵·오소리·너구리·족제비처럼 다른 동물을 잡아먹는 육식동물도 빠짐없이 살고 있었다. 특히 눈에 띈 것은 물가 생태계의 깃대종[5] 수달이다. 수달은 8km나 떨어진 미천에서 물줄기

5 깃대종: 그 지역 생태계가 건강한지를 대표해 보여주는 상징적인 동물

를 거슬러 올라와 고운사 핵심·주변구역을 자주 드나들었다.

다만 어디나 똑같이 동물이 많은 것은 아니었다. 확인된 동물 종류는 핵심구역 12종, 주변구역 11종, 산악구역 8종, 수정사 12종으로 구역마다 뚜렷이 달랐다. 가장 많은 동물이 드나든 곳은 핵심구역 안 고운2교 안골로, 전체 12종 가운데 11종이 여기서 확인됐다. 이 지역은 사람이 밭으로 일궈서 자주 드나드는 곳인데도, 핵심구역 중에서는 산불 피해가 가장 적어 동물이 살기 좋은 환경이 가장 잘 유지되는 자리였다. 주변구역의 구계2리 안골은 물이 넉넉한 저수지와 10km에 이르는 긴 계곡을 낀 곳으로, 조사한 지역 전체에서 동물이 가장 살기 좋은 곳으로 꼽혔다. 반대로 산악구역은 가장 빈약한 결과를 보였다. 능선을 따라 임도 보수와 벌목 공사 차량이 빈번하게 오가면서, 노루·멧돼지·오소리 등이 즐겨 다니던 길목에 동물 발길이 크게 줄었다.

[그림 17] 고운사 능선에서 발견된 노루



법정보호종 세 동물의 서로 다른 이야기

이번 조사에서 가장 눈여겨볼 대목은, 법정보호종인 수달·담비·삵 세 종이 모두 이 불탄 숲에 살아 있다는 사실이다. 세 동물은 저마다 다른 방식으로 이 땅을 쓰고 있었다.

수달은 물길을 따라 찾아오는 손님에 가까웠다. 8km 떨어진 미천 본류에서 갈래 물줄기인 안망천을 거슬러 올라와, 구계리 입구의 물길이 갈라지는 곳에서 고운사 핵심구역 혹은 주변구역인 구계2리를 골라 오갔다. 카메라에 찍힌 생김새나 크기를 살펴본 결과, 암

수와 나이가 다른 또 한 마리 등 세 마리가 짧게는 하루에서 며칠씩 머물며 먹이를 잡는 것으로 보였다. 정작 이들이 지나는 안망천의 물 사정은 좋지 않다. 하천이 도로와 맞닿아 있고, 전체적으로 물이 적으며 어떤 구간은 아예 완전히 말라 있기도 하다. 그런데도 수달이 이 척박한 물길을 따라 찾아온다는 것은, 미천과 고운사 사이가 물길로 아직 이어져 있다는 뜻이다.

담비는 세 구역과 수정사를 모두 넘나드는 '먼 거리 여행자'였다. 원래 넓은 범위를 돌아다니며 사는 습성 그대로, 산악 능선은 지나다니는 길로, 핵심구역 계곡물은 가끔 들르는 통로로 썼고, 특히 주변구역인 구계2리의 저수지와 이어진 개울·계곡은 한 달에 한 번 이상 꾸준히 오가는 길목이었다. 전체 수효는 셋에서 다섯 마리로 어림된다. 여러 구역을 실처럼 꿰며 오가는 담비의 움직임은, 산불로 조각났던 동물들의 서식지가 다시 하나로 이어지고 있음을 보여준다.

[그림 18] 카메라를 발견한 담비



삵은 이 땅에 자리잡고 눌러사는 동물이었다. 출현 지역에서 2~3일 간격으로 자주 모습을 보여, 사실상 1년 내내 이곳을 자기 생활 터로 삼는 것으로 보인다. 핵심구역에서

는 세 지점에 걸쳐 두 마리가, 주변구역에서는 구계2리 저수지 위쪽과 아래쪽에 각각 한 마리가 늘 활동했다. 다만 산악구역 능선에서는 삵의 흔적이 나오지 않았다. 산불만 아니었다면 능선에서도 살 수 있는 동물인데, 아직 높은 산속에는 자리잡지 못한 것이다. 삵의 서식지 분포는 산불 이후의 회복이 낮은 곳부터 이뤄지고 높은 곳은 아직 진행되지 않는 식으로 구역에 따라 편차가 크다는 사실을 잘 보여준다.

[그림 19] 고운사 유역에 나타난 삵의 뒷 모습



[표 8] 법정보호종 세 동물(수달·담비·삵)이 구역별로 나타난 현황 (● 나타남, - 확인 안 됨)

종 / 구역	고운사(핵심)	고운사(주변)	고운사(산악)	수정사
수달	●	●	-	●
담비	●	●	●	●
삵	●	●	-	●

아직 비어 있는 자리 — 작은 동물들

덩치 큰 동물이 보여준 활기와 달리, 땅 위 작은 동물들의 세계는 아직 비어 있었다. 산채로 잡는 덫으로 조사했더니, 핵심구역과 산악구역에서 등줄쥐가 각각 두 마리와 한 마리 잡혔을 뿐, 가장 살기 좋은 곳으로 꼽힌 주변구역에서는 하루 동안 덫 30개를 놓았는데도 한 마리도 잡히지 않았다.

이처럼 작은 동물들이 발견되지 않는 것은 단순히 '동물이 적다'는 문제가 아니다. 흰넓적다리붉은쥐나 다람쥐, 청설모처럼 나무 열매를 물어 옮기고 땅에 묻어 씨앗을 퍼뜨리는 동물이 아직 드물어 숲의 회복이 지연된다는 뜻이기 때문이다. 참나무가 도토리를 멀리 퍼뜨려 새로운 자리에서 싹을 틔우려면 이런 '씨앗 나르는 동물'이 꼭 있어야 하는데, 그 자리가 아직 비어 있는 것이다. 또한 삵과 담비, 맹금류 등 육식동물들의 주요 먹이로서도 소형 포유류의 역할이 중요한 만큼, 생태계를 장기적으로 유지하기 위해서는 작은 동물들의 출현이 필요한 상황이다.

[그림 20] 고운사 유역 산악지역에서 확인된 등줄쥐



[그림 21] 고운사 유역 산악지역에서 확인된 문둥이박쥐



밤의 사냥꾼과 계절 따라 오가는 새들

눈에 잘 띄지 않는 동물들도 이 숲의 먹이 관계가 살아 있음을 보여줬다. 밤에 움직이는 박쥐를 확인하려고 미천 일대에서 초음파 장치를 이용한 조사와 야간 관찰을 함께 진행했다. 미천 물 위로는 애기박쥐와 우수리박쥐(또는 큰발윗수염박쥐)가 활발히 먹이를 사냥했고, 다리 아래에서는 문둥이박쥐와 집박쥐가 쉬고 있었다. 고운사 입구 구조물의 나무 틈에서도 쉬고 있는 박쥐 한 마리가 눈에 띄었다. 물가의 벌레를 잡아먹는 박쥐가 활발히 움직인다는 것은, 피식자(수서곤충)와 포식자(박쥐)의 먹이사슬이 건강하게 유지되고 있다는 증거이다.

새는 눈으로 보거나 울음소리로 확인한 결과, 세 구역에서 모두 30여 종이 나왔다. 카메라에는 밤 시간에 핵심구역에서 법정보호종인 소쩍새가, 주변구역에서는 올빼미가 각각 포착되었다. 딱새·노랑때까치·박새류·곤줄박이·노랑할미새·노랑턱멧새 같은 새들은 핵심구역과 구계2리 주변구역에서 새끼를 치며 살고 있었고, 겨울에는 맹금류인 말똥가리도 주변구역 저수지 숲에서 보였다. 천연기념물인 원앙도 점곡저수지에서 20~30마리가 무리 지어 겨울을 났고, 2026년 5월에는 구계2리 저수지에서 암컷 한 마리가 영상에 담겼다. 1년 내내 사는 텃새에서부터 봄·여름에 오는 철새, 겨울에 오는 철새까지 모두 나타나고 새끼치기와 겨울나기가 이루어졌다는 것은, 이 숲이 사계절 내내 새들이 기댈 수 있는 보금자리로 되돌아가고 있음을 뜻한다.

여기 나온 새 조사는 눈으로 보고 소리를 들어 확인한 것으로, 녹음기로 울음소리 횟수를 분석한 '음향' 분야의 결과와는 방법이 다르다. 두 조사는 서로 다른 각도에서 같은 숲의 새들을 비춘다.

[그림 22] 고운사에서 발견된 검은댕기해오라기 유조



3. 이 결과가 말해 주는 것 : 돌아온 동물과 아직 오지 않은 동물

먹고 먹히는 관계가 되살아나고 있다

1차년도 조사가 보여준 가장 뚜렷한 사실은, 숲의 90% 넘는 지역이 불탔는데도 이 숲 안에서 먹고 먹히는 관계가 다양한 단계에서 함께 돌아가고 있다는 점이다. 도토리와 풀을 먹는 노루·고라니·멧돼지, 이들의 새끼나 사체까지 노리는 담비, 쥐·새 등 작은 동물을 사냥하는 삵, 작은 동물과 곤충·열매를 두루 먹는 오소리·너구리·족제비, 물길을 오르내리는 수달, 밤하늘의 소쩍새·올빼미와 물가의 박쥐 등이 확인되었다. 풀을 먹는 동물부터 다른 동물을 사냥하는 동물까지, 낮에 움직이는 동물부터 밤에 움직이는 동물까지 여러 자리가 모두 채워져 있었다. 식생 조사가 '무엇이 자라는가'를 보여준다면, 동물 조사는 '그 위에서 먹고 먹히는 관계가 돌아가는가'를 보여주는데, 고운사에서는 그 관계가 끊기지 않고 유지되고 있었다.

[그림 23] 고운사에서 발견된 노루 약성체



주목할 것은 대조 지역으로 설정한 곳과 비교한 결과이다. 산불을 겪지 않은 수정사 구역에서 확인된 동물이 12종인데, 90% 넘게 탄 고운사 핵심구역에서 확인된 동물도 똑같이 12종이었다. 불탄 숲에 사는 덩치 큰 동물의 종류가, 산불 피해를 입지 않은 인근 숲에 뒤지지 않는다는 뜻이다. 다만 이러한 비교 결과는 조심해서 해석해야 한다. 두 곳의 조사 기간이 다르고(고운사 9개월, 수정사 6개월) 설치한 카메라 대수도 달라서 조사에 들인 노력이 같지 않고, 확인되는 동물의 종 수는 조사 기간이나 방식에 따라 쉽게 달라지는 값이기 때문이다. 또 종 수가 같다는 것은 서식하는 동물의 종류가 비슷하다는 뜻일 뿐, 그들의 개체수까지 같다는 뜻은 아니다. 실제로 산불 피해를 보지 않은 수정사 구역에서도 카메라에 찍힌 동물의 마리 수가 많지 않았는데, 이는 이번 조사의 결과로 고운사에 어떤 동물이 돌아왔는가를 확인할 수는 있지만, 그 숫자가 충분한 정도인지는 판단하기는 어렵다는 것을 말해 준다.

조사 결과에 나타난 것처럼 동물들이 다양하게 남아 있을 수 있었던 발판은 불길을 견뎌 낸 계곡에 있다. 동물 조사에서 가장 살기 좋은 곳으로 확인된 계곡과 저수지 일대는, 식생 조사에서 천이의 가장 안정된 마지막 단계에 가까운 활엽수림으로 지목된 바로 그 자리다. 산불의 피해가 적었던 이 구역이 동물들에게는 피난처이자 다시 주변으로 서식지를 넓혀가는 거점이 되고 있다.

[그림 24] 수정사에서 발견된 노루



잘 돌아다니는 동물부터 먼저 돌아온다

그런데 회복은 고르지 않았고, 그 편차에는 뚜렷한 규칙이 있었다. 돌아온 동물과 아직 오지 않은 동물을 가르는 것은 '얼마나 멀리 잘 돌아다니느냐'다. 넓은 범위를 오가는 담비, 물길을 수 km씩 오르내리는 수달, 능선을 넘나드는 노루처럼 멀리 잘 다니는 동물들은 살아남은 숲에서 불탄 곳으로 비교적 쉽게 돌아왔다. 반대로 좁은 곳에서 평생을 사는 설치류는 불탄 곳으로 이동해 오기 어려운 탓에, 가장 살기 좋은 것으로 평가된 주변구역에서조차 덫에 거의 잡히지 않았다.

이 문제는 단순히 동물의 개체수가 적다는 데 그치지 않는다. 씨앗을 옮기고 묻는 작은 동물이 드물다는 것은, 참나무가 도토리를 다른 곳으로 퍼뜨리기가 아직 어렵다는 뜻이기 때문이다. 숲이 다음 단계로 진행하는 일은 바로 이 '씨앗 나르는 동물'이 돌아오는 것과 관련되어 있어서, 작은 동물의 빈자리는 숲이 자라나는 속도를 늦추는 원인이 될 수 있다. 따라서 작은 동물의 회복 여부는 이 숲 전체가 얼마나 회복되었는지를 알려주는 지표가 된다.

동물 서식의 편차는 장소에 따라서도 나타난다. 벌목과 임도 공사가 몰린 산악 능선에서는 동물의 이동과 서식 모습이 잘 발견되지 않았다. 조사를 위해 나무에 달아둔 카메라 자체가 잇따라 사라진 것이 상황을 잘 보여준다. 산불만 없었다면 능선에서도 살았을 삶이 아직 높은 산지에서 발견되지 않은 것도 같은 맥락이다. 자연이 스스로 회복하고 있는 것과는 달리, 사람이 벌이는 벌목 때문에 능선 쪽 동물의 회복이 늦어지고 있는 셈이다.

앞으로 지켜볼 점

동물의 회복은 나무·풀의 회복보다 더 오랜 시간에 걸쳐 서서히 이루어진다. 숲이 겉모습을 되찾은 뒤에도 그 안의 동물들이 예전 상태로 돌아가기까지는 수십 년이 걸릴 수 있다. 따라서 1차년도 조사 결과는 '회복이 끝났다'가 아니라 '회복이 시작됐다'로 읽어야 한다. 앞으로 특히 눈여겨볼 점은 세 가지다. 첫째, 불탄 나무를 베어내는 벌목이 능선 쪽 동물의 이동과 서식에 어떤 영향을 주는지, 그리고 나무를 모두 걷어낸 높은 산지가 장마·태풍 때 산사태나 토사 유출 같은 재해를 겪지 않을지다. 둘째, 추가적이고 장기적인 조사를 통해, 스스로 옮겨 오기 어려운 작은 동물이 얼마나 회복하는지를 더 세밀하게 확인해야 한다는 점이다. 셋째, 큰 산불 뒤에 다양한 생물이 어떤 과정을 거쳐 돌아오는지를 오랜 시간에 걸쳐 지켜보는 일이다.

나무나 풀은 활발히 회복되고 있는 것처럼 보이지만, 이 숲의 동물들은 아직 회복의 첫머리에 서 있다. 1차년도 조사가 확인한 것은 회복의 완료가 아니라, 이동성이 높은 동물부터, 그리고 낮은 지역에서부터 회복이 점차 시작되고 있다는 점, 그리고 90% 넘게 탄 숲에서도 풀 먹는 동물부터 사냥하는 동물까지 이어지는 먹이 관계가 유지된다는 사실이다.

[그림 25] 고운사에서 발견된 멧돼지



음향

- 숲의 소리로 기록한 산불 이후 첫 1년

음향 – 숲의 소리로 기록한 산불 이후 첫 1년

본 장은 2025년 9월부터 2026년 6월까지 고운사 산불피해 자연복원지에서 자동녹음기를 이용해 수집한 생물음향 자료 가운데 조류 음향군집을 분석한 결과를 요약한 것이다. 전체 조사에서는 8,736개의 1분 녹음자료, 총 145.6시간의 음원을 분석하였으며, 종 수준에서 확정된 조류 57종과 8,769건의 유효 탐지기록을 확보하였다.

1. 어떻게 숲의 소리를 조사했나

생물음향 모니터링의 의미

산불이 지나간 숲을 바라보면 가장 먼저 눈에 들어오는 것은 검게 탄 나무와 다시 돋아나는 풀과 새싹이다. 그러나 숲의 회복은 눈에 보이는 식생 변화만으로 이루어지는 것은 아니다. 다시 자라는 식물 사이로 곤충과 새가 돌아오고, 낮과 밤에 여러 동물이 활동하면서 숲의 생태적 기능도 함께 재편된다. 이러한 변화를 확인하는 한 가지 방법이 숲의 소리를 장기간 기록하는 생물음향 모니터링(passive acoustic monitoring, PAM)이다.

조류는 종마다 서로 다른 노랫소리와 울음소리를 내기 때문에 숲에서 어떤 종이 언제 활동하는지를 소리로 확인할 수 있다. 특히 자동녹음장치를 숲에 설치하면 조사자가 현장에 없는 시간에도 같은 위치에서 반복적으로 소리를 기록할 수 있다. 사람이 직접 조사하기 어려운 새벽과 야간도 포함할 수 있다는 점은 생물음향 조사의 큰 장점이다.

전통적인 조류 조사는 조사자가 정해진 시간에 현장을 방문해 눈으로 관찰하거나 울음소리를 듣는 방식으로 이루어진다. 이 방법은 개체의 행동이나 서식환경을 직접 확인할 수 있다는 장점이 있지만, 조사시간이 제한되고 조사자의 숙련도와 현장 여건에 따라 결과가 달라질 수 있다. 반면 자동녹음기는 동일한 지점에서 동일한 방법으로 장기간 반복자료를 축적할 수 있으며, 저장된 소리를 다시 듣거나 스펙트로그램[6]으로 확인할 수도 있다.

고운사 연구에서 생물음향 모니터링을 적용한 가장 중요한 이유도 여기에 있다. 산불 이후 숲의 변화는 하루나 한 계절에 끝나는 과정이 아니라 여러 해에 걸쳐 진행된다. 따

* **집필** 기경석(상지대학교 조경산림학과)

6 소리나 파동의 시간에 따른 주파수 변화와 강도를 2차원 이미지로 시각화한 분석 도구

라서 산불 발생 초기부터 같은 방법으로 자료를 남겨두면, 훗날 동일한 장소와 계절을 다시 조사하여 어떤 종이 유지되고, 새로 나타나고, 사라지며, 활동시간과 군집구성이 어떻게 달라지는지를 비교할 수 있다. 이번 조사는 그 장기적인 변화의 첫 기준선을 기록하는 작업이다.

또한 생물음향 자료는 주간 조류만을 대상으로 하지 않는다. 2025년과 2026년 조사에서는 소쩍새·쏙독새·올빼미·수리부엉이처럼 밤에 주로 활동하거나 발성하는 종도 기록되었다. 따라서 숲을 하루 24시간 이용하는 조류군집을 보다 넓은 시간범위에서 파악할 수 있었다.

다만 생물음향 자료를 해석할 때 중요한 주의점이 있다. 녹음기에서 한 종이 여러 차례 확인되었다고 해서 그 지역에 그만큼 많은 개체가 있다는 뜻은 아니다. 같은 새 한 마리가 반복해서 울었을 수도 있고, 번식기에는 같은 개체가 비번식기보다 훨씬 자주 울 수도 있다. 따라서 본 연구에서 사용하는 '탐지건수'는 개체수나 총 울음횟수가 아니라, 특정 1분 녹음에서 해당 종이 한 번 이상 확인된 횟수를 의미한다. 본 장에서는 이를 조류의 상대적인 음향활동을 나타내는 지표로 사용하였다.

조사 지점과 조사 시기

생물음향 조사는 고운사 일원의 산불피해 정도와 지형·서식처 조건을 고려하여 세 지점에서 이루어졌다. 첫 번째는 산불피해가 큰 상류계곡, 두 번째는 피해가 상대적으로 낮은 중류계곡, 세 번째는 저수지와 주변 산림이 함께 있는 아리골 저수지이다.

상류계곡은 본 연구에서 산불 심피해지로 구분하였다. 주변 산림에는 수관과 줄기가 크게 손상된 나무와 다수의 고사목이 남아 있고 비교적 개방된 환경이 형성되어 있다. 그러나 계곡이라는 지형적 특성 때문에 일부 살아남은 수목과 식생도 함께 존재한다. 상류계곡은 2025년 가을과 2026년 번식기에 모두 조사하여 전체 연구기간을 연결하는 핵심 모니터링 지점으로 이용하였다.

중류계곡은 상류계곡보다 산불피해가 상대적으로 낮은 중피해 계곡산림으로 구분하였다. 상류와 마찬가지로 계곡을 따라 산림이 형성되어 있어 2025년 첫 조사에서는 두 계곡을 함께 비교하였다.

아리골 저수지는 산불피해가 비교적 약한 지역으로, 저수지 수면과 수변부, 관목층, 산림 가장자리와 주변 산림이 짧은 거리 안에 함께 존재한다. 따라서 단순한 약피해 산림이라기보다 여러 종류의 서식처가 결합된 복합서식처라는 특징이 있다.

[그림 26] 고운사 생물음향 조사 지점과 조사기간



2025년 9월 1일부터 11월 30일까지는 상류계곡과 중류계곡에서 동시에 녹음하였다. 이 시기는 산불 발생 약 6개월 후의 가을에서 초겨울로 이어지는 기간으로, 여름철새의 이탈과 가을 이동, 겨울철새의 유입이 함께 이루어지는 계절이다.

첫해 조사 후 두 계곡의 환경과 초기 음향자료를 검토한 결과, 제한된 두 대의 녹음기를 모두 유사한 계곡산림에 계속 설치하는 것보다 다른 서식처를 추가하는 것이 연구의 범위를 넓히는 데 유리하다고 판단하였다. 이에 따라 중류계곡의 장비를 아리골 저수지로 이동하였다.

2026년 4월 1일부터 6월 30일까지는 상류계곡과 아리골 저수지에서 조사하였다. 이 시기는 텃새의 번식활동과 여름철새의 도래가 본격화되는 봄부터 초여름까지로, 조류의 영역송과 구애음 등 발성이 가장 활발한 시기 가운데 하나이다.

따라서 2025년과 2026년의 결과를 단순한 '1년 사이의 증가 또는 감소'로 비교해서는 안 된다. 2025년은 가을철, 2026년은 번식기이고, 비교지점도 중류계곡에서 아리골 저수지로 변경되었기 때문이다. 두 시기의 차이에는 산불 후 경과시간뿐 아니라 계절, 철새 이동, 번식활동과 서식처 차이가 함께 포함되어 있다.

[표 9] 고운사 생물음향 조사설계 및 분석자료 개요

조사 시기	조사지점	피해·서식처 특성	조사기간	1분 녹음 수	녹음시간
2025년 가을	상류계곡	심피해 계곡산림	2025.9.1~11.30	2,184	36.4시간
2025년 가을	중류계곡	중피해 계곡산림	2025.9.1~11.30	2,184	36.4시간
2026년 번식기	상류계곡	심피해 계곡산림	2026.4.1~6.30	2,184	36.4시간
2026년 번식기	아리골 저수지	약피해·수변·산림경계 복합서식처	2026.4.1~6.30	2,184	36.4시간
합계	3개 지점		6개월	8,736	145.6시간

주: 실제 녹음주기는 모든 지점에서 시간당 1분이었다.

녹음과 분석 방법

조류의 소리를 기록하기 위해 Wildlife Acoustics사의 Song Meter SM4 자동녹음장치(ARU)를 사용하였다. 녹음기는 조사 지점의 수목에 지상 약 1.5m 높이로 설치하였다. 조사자가 현장에 머물지 않아도 미리 설정된 시간에 자동으로 작동하기 때문에 동일한 장소에서 장기간 반복적으로 자료를 수집할 수 있다.

모든 조사 지점에서는 매시간 1분씩 하루 24회 녹음하였다. 한 지점에서 하루 24개의 1분 음원이 생성되는 방식이다. 각 조사시기는 91일이므로 지점당 2,184개의 녹음자료가 만들어졌다. 네 개의 지점·시기 자료를 모두 합하면 총 8,736개의 1분 녹음, 즉 145.6시간의 음원이 분석대상이 되었다.

각 1분 녹음에서 조류의 울음이나 노랫소리를 확인하고 종을 기록하였다. 하나의 녹음에서 여러 종이 함께 들리면 각각의 종을 별도로 기록하였다. 반대로 동일한 종이 한 녹음에서 여러 번 울더라도 해당 1분 동안에는 그 종의 탐지 1건으로 처리하였다.

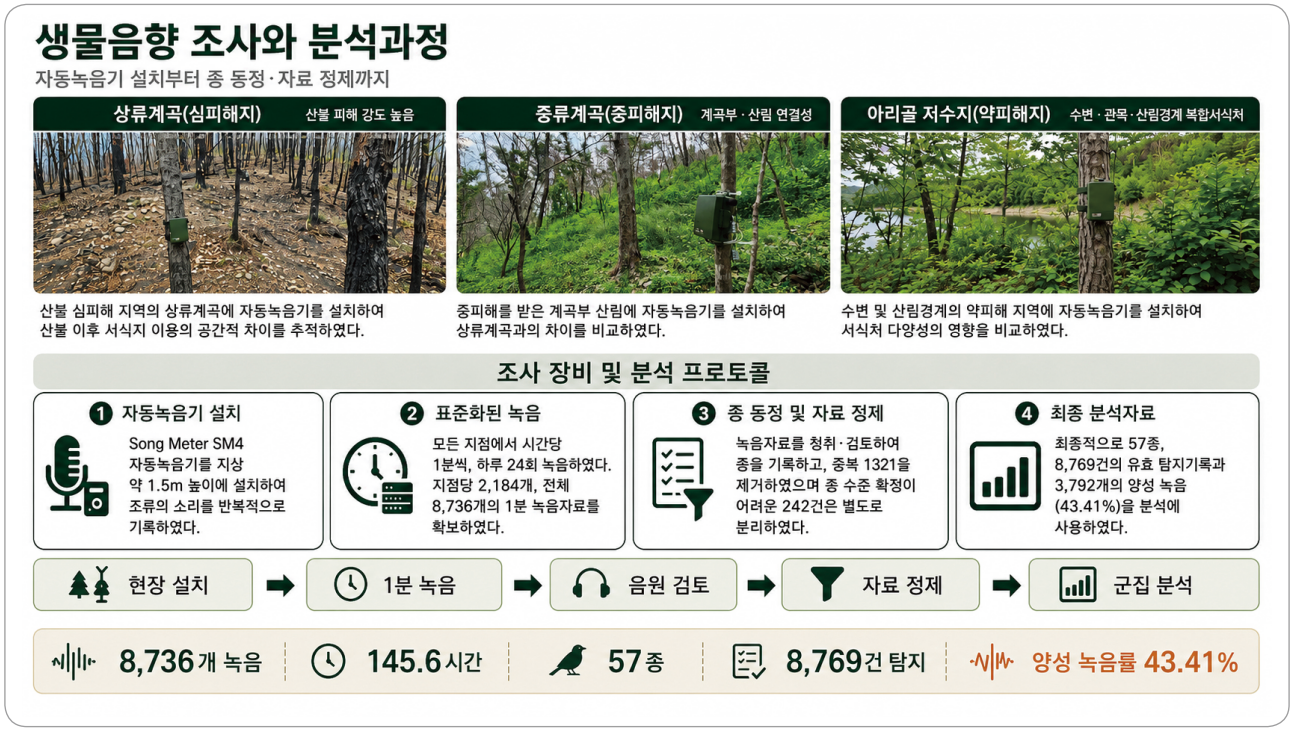
예를 들어 한 개의 1분 녹음에서 박새가 여러 번 울고 쇠박새가 한 번 울었다면, 박새 탐지 1건과 쇠박새 탐지 1건으로 기록하였다. 이러한 방법을 사용하면 특정 종의 울음 횟수보다는 '얼마나 많은 녹음 시간대에서 그 종이 확인되었는가'를 비교할 수 있다.

분석 전에 원자료의 종명을 하나의 기준으로 통일하고 자료 오류를 점검하였다. 동일한 1분 음원에 같은 종이 중복 입력된 13건을 제거하였으며, 박새류·미동정 멧새류처럼 종 수준에서 확정하기 어려운 24건은 별도로 분리하였다. 이러한 정제과정을 거쳐 최종적으로 57종, 8,769건의 유효 종 탐지기록을 분석에 사용하였다.

조류가 한 종 이상 확인된 녹음은 '양성 녹음'으로 정의하였다. 전체 8,736개의 녹음 가운데 3,792개에서 한 종 이상의 조류가 확인되어 전체 양성 녹음률은 43.41%였다.

다만 이 값 역시 숲에 새가 존재한 시간의 정확한 비율을 의미하지 않는다. 시간당 1분만을 녹음했기 때문에 나머지 59분 동안 울었던 새는 기록되지 않을 수 있기 때문이다.

[그림 27] 생물음향 조사와 분석과정 및 전체 자료 규모







분석에서는 단순한 종목록뿐 아니라 확인 종수, 종별 탐지빈도, 양성 녹음률, 월별 변화, 시간대별 활동, 종다양성 및 기능군 구성을 함께 살펴보았다. 또한 상류계곡과 중류계곡, 상류계곡과 아리골 저수지에서 어떤 종을 공유하고 어떤 종이 다르게 나타나는지도 비교하였다.

다만 이 연구에서 가장 중요한 해석 원칙은 “많이 들렸다는 것이 반드시 많이 살고 있다는 뜻은 아니다”라는 점이다. 종마다 울음의 크기와 빈도가 다르고, 번식기에는 발성량이 크게 증가한다. 바람이나 계곡물 소리, 식생의 밀도도 녹음기의 탐지범위에 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는 탐지건수를 개체수나 서식밀도로 환산하지 않고, 표준화된 시간당 1분 녹음에서 나타난 조류의 상대적 음향활동으로 해석하였다.

또한 이번 조사는 산불 이전 자료와 비피해 대조지가 없는 1차년도 조사다. 따라서 현재 자료만으로 “산불 전 수준으로 회복되었다”거나 “자연복원의 효과로 조류가 증가하였다”고 판단할 수는 없다. 이번 조사의 가장 중요한 의미는 산불 발생 첫해부터 어떤 새들이 어느 계절과 시간대에 이 숲을 이용했는지를 동일한 방법으로 기록해 두었다는 데 있다. 앞으로 같은 지점에서 같은 계절에 조사를 반복하면, 이번 기록이 고운사 자연복원의 방향을 판단하는 기준선이 될 수 있다.

2. 산불 첫해 가을 — 불탄 숲에도 새들은 남아 있었다

2025년 3월 대형산불이 고운사 일대를 지나간 뒤 약 6개월이 지난 9월부터 11월까지, 상류계곡과 중류계곡에서 첫 번째 생물음향 조사가 이루어졌다. 산불피해가 컸던 숲은 겉으로 보면 고사목과 열린 수관이 두드러졌지만, 녹음자료에서는 다양한 조류의 소리가 계속 확인되었다. 이 시기의 자료는 산불 직후 조류군집이 얼마나 ‘회복되었는

가’를 판단하는 자료라기보다, 산불 발생 첫해 가을에 어떤 새들이 남아 있거나 찾아왔고, 계절이 진행되면서 군집이 어떻게 바뀌었는지를 기록한 초기 기준선이라는 데 의미가 있다.

산불 첫해 확인된 조류군집

2025년 9월 1일부터 11월 30일까지 상류계곡과 중류계곡에서 각각 2,184개씩, 총 4,368개의 1분 녹음자료를 분석하였다. 총 녹음시간은 72.8시간이었다. 이 가운데 한 종 이상의 조류가 확인된 양성 녹음은 648개였고, 전체 양성 녹음률은 14.84%였다. 종명 표준화와 불확실 기록 분리를 거친 뒤에는 총 26종, 862건의 유효 탐지기록이 확인되었다.

상류계곡에서는 22종·574건, 중류계곡에서는 20종·288건이 탐지되었다. 양성 녹음률도 상류계곡이 18.64%로, 중류계곡의 11.03%보다 높았다. 산불피해가 더 심했던 상류계곡에서 오히려 종수와 음향활동이 더 높게 나타났다는 점은 눈에 띄는 결과다. 다만 두 지점은 피해강도 외에도 사면, 계곡구조, 잔존식생 등 여러 환경조건이 다르므로 이를 ‘심피해지에서 새가 더 많았다’는 일반적 결론으로 확대해서는 안 된다.

두 지점에서 공통으로 확인된 종은 16종이었다. 곤줄박이, 딱새, 멧비둘기, 박새, 상모솔새, 소쩍새, 쇠딱따구리, 쇠박새, 오목눈이, 오색딱따구리, 직박구리, 청딱따구리, 큰부리까마귀 등이 포함되었다. 산불피해 정도가 달랐음에도 두 계곡에는 기본적인 산림성 조류군이 상당 부분 공통으로 남아 있었던 것이다.

반면 상류계곡에서만 확인된 종은 6종, 중류계곡에서만 확인된 종은 4종이었다. 다만 일부 특이종은 전체 조사기간 동안 1~3건에 불과해, 실제 서식처 차이보다는 일시적 통과나 제한된 탐지기회의 영향을 받았을 가능성이 있다.

2025년 전체에서 가장 많이 탐지된 종은 직박구리 284건이었다. 이어 소쩍새 89건, 쇠박새 84건, 큰부리까마귀 58건, 노랑턱멧새 48건 순이었다. 상위 5종이 전체 탐지기록의 약 65%를 차지하여, 첫해 가을의 음향군집은 일부 자주 발성하는 종의 영향이 큰 구조를 보였다.

[표 10] 2025년 가을철 조류 음향군집 핵심 결과

항목	상류계곡	중류계곡	전체
분석대상 녹음	2,184개	2,184개	4,368개
양성 녹음	407개	241개	648개
양성 녹음률	18.64%	11.03%	14.84%
유효 탐지기록	574건	288건	862건
확인 종수	22종	20종	26종
공통종	16종	16종	16종

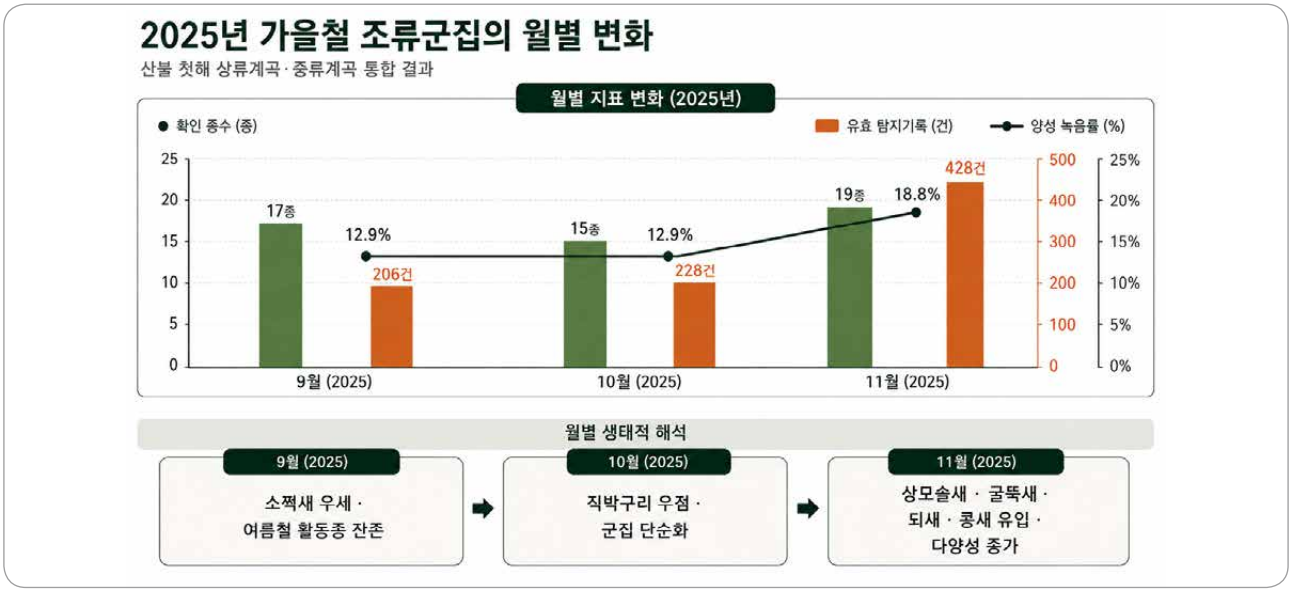
주: 탐지기록은 개체수가 아니라 해당 1분 녹음에서 특정 종이 한 번 이상 확인된 횟수이다.

이 결과가 보여주는 가장 중요한 사실은 산불 발생 첫해에도 조류군집이 사라지지 않았다는 점이다. 특히 상류계곡에서는 박새류와 딱따구리류, 소쩍새와 쏙독새 같은 야간 발성종까지 확인되었다. 이는 산불 이후에도 계곡부 잔존림, 살아남은 수목, 고사목과 주변 산림이 여러 조류에게 활동공간으로 이용되었을 가능성을 보여준다. 그러나 현재 자료만으로 이러한 구조가 실제 먹이활동이나 번식에 이용되었다고 확정할 수는 없다.

가을이 깊어지며 달라진 새들의 구성

첫해 가을의 조류군집은 세 달 동안 같은 모습으로 유지되지 않았다. 9월에는 17종, 10월에는 15종, 11월에는 19종이 확인되었다. 유효 탐지기록은 9월 206건, 10월 228건, 11월 428건으로 11월에 크게 증가하였다. 양성 녹음률도 9월 12.9%, 10월 12.9%에서 11월 18.8%로 높아졌다.

[그림 28] 2025년 가을철 조류군집의 월별 변화



하지만 이 변화에서 더 중요한 것은 숫자의 증가 자체보다 어떤 종이 빠지고 어떤 종이 새롭게 들어왔는가이다.

9월에는 소쩍새가 89건으로 전체 탐지의 43.2%를 차지하며 가장 두드러졌다. 멧비둘기, 곤줄박이, 쇠박새 등도 주요 구성종이었다. 소쩍새와 쏙독새처럼 여름과 초가을에 활동하는 종이 확인되어 아직 여름철 군집의 흔적이 남아 있었다.

10월에는 전체 종수가 15종으로 줄었고, 군집의 중심이 크게 바뀌었다. 소쩍새와 쏙독새는 더 이상 탐지되지 않은 반면, 직박구리가 141건으로 전체 탐지의 61.8%를 차지하였다. 이 때문에 종수의 감소 폭은 크지 않았지만 Shannon 다양성과 균등도는 세 달 가운데 가장 낮았다. 즉, 10월의 숲은 새가 크게 사라졌다기보다 몇몇 종의 음향활동이 특히 강하게 집중된 군집이었다.

11월에는 다시 종구성이 크게 달라졌다. 직박구리는 10월과 같은 141건이었지만, 쇠박새 47건, 노랑턱멧새 46건, 상모솔새 36건, 딱새 31건, 굴뚝새 19건 등이 더해졌다. 특히 상모솔새·굴뚝새·되새·콩새·힝둥새가 새롭게 확인되면서 늦가을과 초겨울의 군집으로 전환되는 모습이 나타났다.

이에 따라 11월에는 확인 종수뿐 아니라 Shannon·Simpson 다양성과 균등도도 세 달 중 가장 높았다. 한 종이 압도적으로 우점했던 10월과 달리 여러 종의 탐지기록이 상대적으로 고르게 분산되었기 때문이다.

이 변화는 산불 이후 숲이 두세 달 사이에 빠르게 '회복'되었다는 뜻은 아니다. 9~11월은 조류의 계절 이동이 매우 활발한 시기다. 여름철새가 빠져나가고, 통과철새와 겨울철새가 유입되며, 텃새도 기온과 일장 변화에 따라 발성활동이 달라진다. 따라서 첫해 가을의 핵심은 종수가 단순히 증가했다는 것보다, 산불피해지의 조류군집이 계절의 진행에 따라 계속 교체되고 있었다는 점이다.

이를 가장 간단히 표현하면 다음과 같다.

9월은 여름철 활동종과 텃새가 함께 있던 숲, 10월은 일부 우점종에 탐지가 집중된 전환기의 숲, 11월은 겨울철새와 늦가을 이동종이 합류하면서 다시 다양한 소리가 들리기 시작한 숲이었다.

하루 중 언제 가장 많이 들렸나

생물음향 조사의 장점 가운데 하나는 새벽이나 밤처럼 현장조사가 쉽지 않은 시간까지 동일한 방법으로 기록할 수 있다는 것이다. 2025년 자료에서는 하루 중 조류의 소리가 가장 활발하게 기록된 시간이 뚜렷하게 나타났다.

전체 26종의 시간대별 출현을 분석한 결과, 가장 많은 종이 확인된 시간은 07시로 19종이었다. 08시에는 17종, 10시에는 16종, 09시와 11시에는 각각 15종이 확인되었다. 전체적으로 07~12시가 종풍부도와 탐지활동이 가장 높은 핵심 시간대였다.

양성 녹음률도 07시에 가장 높았다. 07시에 분석된 녹음 가운데 46.70%에서 한 종 이상의 조류가 확인되었다. 종별 탐지기록 역시 07시에 139건으로 하루 중 가장 많았고, 07~12시에 기록된 탐지건수만 합해도 전체 862건의 약 60%를 차지하였다.

그러나 모든 종이 같은 시간에 활동한 것은 아니다. 직박구리와 쇠박새, 딱새, 상모솔새는 주로 이른 아침에 탐지가 많았고, 큰부리까마귀와 오목눈이는 오전 후반과 정오까지 비교적 넓게 활동하였다.

가장 뚜렷한 예외는 소쩍새였다. 소쩍새 89건은 모두 19시부터 다음 날 05시 사이에서 탐지되었으며, 06~18시에는 한 건도 확인되지 않았다. 주간 조류의 활동이 끝난 뒤 야간 음향군집의 중심을 소쩍새가 차지한 것이다. 쏙독새도 탐지량은 2건에 불과했지만 모두 19시에 확인되었다.

월에 따라서 하루의 소리 구조도 달라졌다. 9월에는 소쩍새가 많이 탐지되어 낮과 밤 모두에서 조류 소리가 기록되었지만, 10월과 11월에는 야간 탐지가 크게 줄고 대부분의 활동이 07~17시에 집중되었다. 즉, 가을철 군집의 계절적 교체는 어떤 종이 나타나는지 뿐 아니라 하루 중 숲이 언제 가장 시끄러운지까지 변화시켰다.

다만 이 분석은 일출과 일몰을 기준으로 한 것이 아니라 고정된 시계시간을 사용하였다. 9월에서 11월로 갈수록 일출이 늦어지고 일몰이 빨라지므로 같은 07시라도 실제 광환경은 서로 다를 수 있다. 따라서 시간대 차이는 조류의 일주기 행동뿐 아니라 계절에 따른 일장 변화도 함께 반영되어 있다.

첫해 가을의 생물음향 자료를 종합하면, 불탄 숲은 하루 종일 침묵한 공간이 아니었다. 아침에는 박새류·직박구리·딱따구리류와 여러 산림성 조류의 소리가 집중되었고, 해가 진 뒤에는 소쩍새와 쏙독새가 다른 시간적 생태지위를 차지하였다. 산불 이후 남은 숲은 낮과 밤에 서로 다른 조류가 번갈아 이용하는 생태적 공간으로 기능하고 있었다.

다만 이것이 산불 이전 수준으로 생태계가 회복되었다는 의미는 아니다. 첫해 가을 조사가 보여준 것은 보다 제한적이지만 중요한 사실이다. 대형산불 이후 약 반년이 지난 시점에도 고운사 산불피해지에서는 다양한 조류의 음향활동이 지속되었고, 그 군집은 계절과 시간에 따라 계속 재편되고 있었다.

3. 산불 이듬해 번식기 — 다시 커진 숲의 소리

2026년 4월부터 6월까지의 조사는 산불 발생 이듬해 봄부터 초여름에 해당한다. 이 시기는 텃새의 번식활동이 본격화되고 여름철새가 순차적으로 도래하면서 조류의 영역송과 구애음이 활발해지는 시기다. 따라서 2025년 가을보다 훨씬 많은 종과 탐지기록이 확인되었지만, 이를 곧바로 산불피해지의 '회복량'으로 해석할 수는 없다. 2025년은 가을철, 2026년은 번식기였고, 조사 지점도 중류계곡에서 아리골 저수지로 일부 변경되었기 때문이다. 이번 결과는 산불 발생 이듬해 번식기에 고운사 일원이 어떤 조류에게 이용되고 있었는지 보여주는 두 번째 기준선으로 해석하는 것이 적절하다.

번식기에 확인된 53종

2026년 4월 1일부터 6월 30일까지 상류계곡과 아리골 저수지에서 각각 2,184개씩, 총 4,368개의 1분 녹음자료를 분석하였다. 총 녹음시간은 72.8시간이었다. 종 수준에서 확정되지 않은 기록을 제외한 결과, 총 53종, 7,907건의 유효 탐지기록이 확인되었다. 한 종 이상의 조류가 확인된 양성 녹음은 3,144개로, 전체 양성 녹음률은 71.98%였다.

상류계곡에서는 39종·3,654건, 아리골 저수지에서는 51종·4,253건이 탐지되었다. 두 지점의 공통종은 37종이었다. 상류계곡에서만 확인된 종은 물까치와 해오라기 2종이었고, 아리골 저수지에서만 확인된 종은 긴꼬리딱새, 꾀꼬리, 되솔새, 물총새, 원앙, 수리부엉이, 흰눈썹황금새 등을 포함해 14종이었다. 다만 이 가운데 상당수는 탐지기록이 매우 적었으므로 '그 지점에서만 서식하는 종'이라기보다 이번 조사에서 다른 지점에서는 탐지되지 않은 종으로 이해해야 한다.

2026년 번식기 음향군집에서 가장 많이 탐지된 종은 큰유리새 1,376건이었다. 다음으로 되지빠귀 1,297건, 소쩍새 551건, 멧비둘기 503건, 직박구리 483건, 쏙독새 396건, 뻐꾸기 361건 순이었다. 큰유리새와 되지빠귀 두 종만 합해도 전체 유효 탐지기록의 약 33.8%를 차지하였다. 이는 두 종이 번식기 고운사 음향군집에서 매우 활발하게 발성했음을 의미한다.

특히 2026년에는 야행성 조류의 활동도 뚜렷하게 기록되었다. 소쩍새와 쏙독새는 각각 551건과 396건이 탐지되었으며, 두 종을 합하면 전체 탐지기록의 약 12%에 해당한다. 주간 현장조사만으로는 충분히 포착하기 어려운 야간 조류의 활동을 확인했다는 점에서 생물음향 모니터링의 장점이 잘 드러난 결과다.

법정보호종과 보전관심종도 확인되었다. 환경부 지정 멸종위기 야생생물 Ⅱ급에 해당하는 올빼미, 팔색조, 긴꼬리딱새, 수리부엉이가 탐지되었고, 천연기념물인 원앙도 확인되었다. 올빼미는 두 지점에서 반복적으로 탐지되었으며, 팔색조는 주로 5월 이후, 긴꼬리딱새는 아리골 저수지에서 6월에 확인되었다. 수리부엉이는 아리골에서 1건 기록되었다.

이러한 기록은 산불 발생 이듬해에도 고운사 일원이 다양한 산림성 조류와 여름철새, 야행성 조류 및 법정보호종이 이용하는 공간이었다는 점을 보여준다. 다만 음향탐지는 해당 종이 녹음기의 탐지범위 안에서 발성했다는 사실을 의미할 뿐, 그곳에서 실제로 둥지를 틀었거나 번식에 성공했다는 것을 증명하지는 않는다.

[표 11] 2026년 번식기 조류 음향군집 핵심 결과

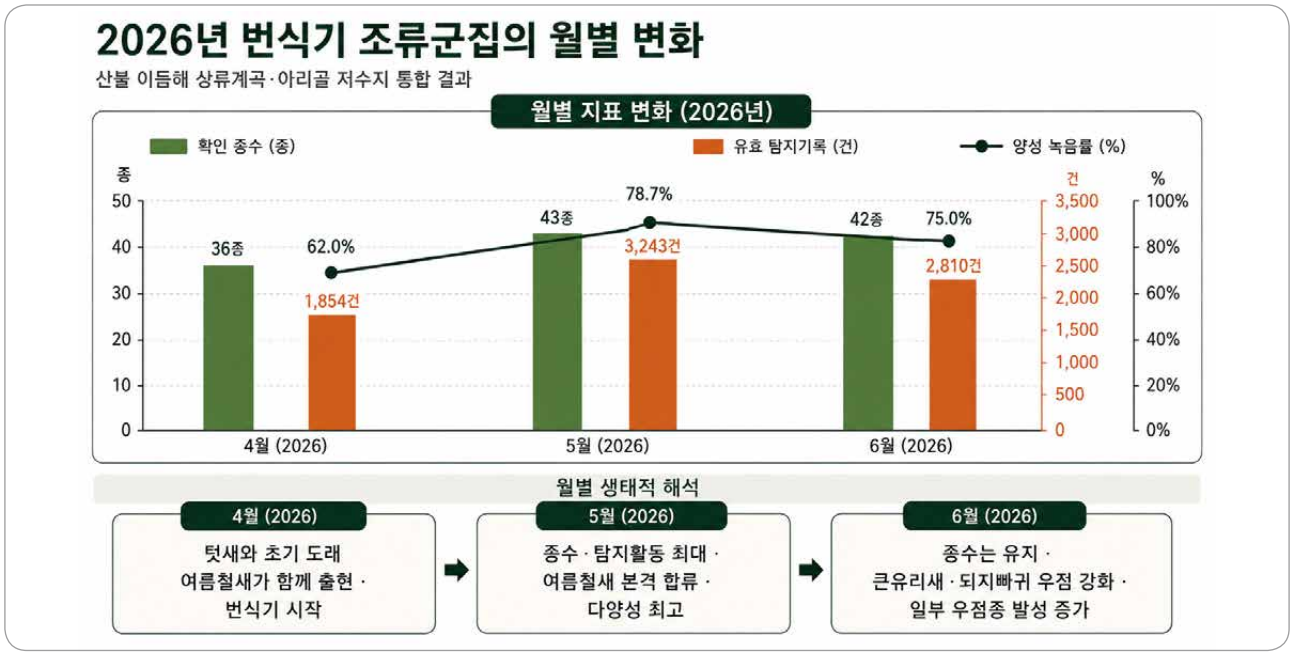
항목	상류계곡	아리골 저수지	전체
분석대상 녹음	2,184개	2,184개	4,368개
양성 녹음	1,526개	1,618개	3,144개
양성 녹음률	69.87%	74.08%	71.98%
유효 탐지기록	3,654건	4,253건	7,907건
확인 종수	39종	51종	53종
공통종	37종	37종	37종

주: 탐지기록은 개체수나 총 발성횟수가 아니라, 해당 1분 녹음에서 특정 종이 한 번 이상 확인된 횟수이다.

4월에서 6월까지의 군집 변화

2026년 번식기 조류군집은 4월부터 6월까지 고정된 모습으로 유지되지 않았다. 월별 확인 종수는 4월 36종, 5월 43종, 6월 42종이었다. 유효 탐지기록은 4월 1,854건, 5월 3,243건, 6월 2,810건으로 5월에 가장 많았다. 양성 녹음률도 4월 62.01%에서 5월 78.70%로 크게 높아졌고, 6월에는 75.00%로 높은 수준을 유지하였다.

[그림 29] 2026년 번식기 조류군집의 월별 변화



4월의 군집은 겨울을 보낸 텃새와 일찍 도착한 여름철새가 함께 구성하였다. 큰유리새와 되지빠귀는 이미 4월부터 확인되기 시작했고, 소쩍새도 활발하게 발성하였다. 반면 일부 여름철새는 아직 출현하지 않았거나 탐지빈도가 낮았다.

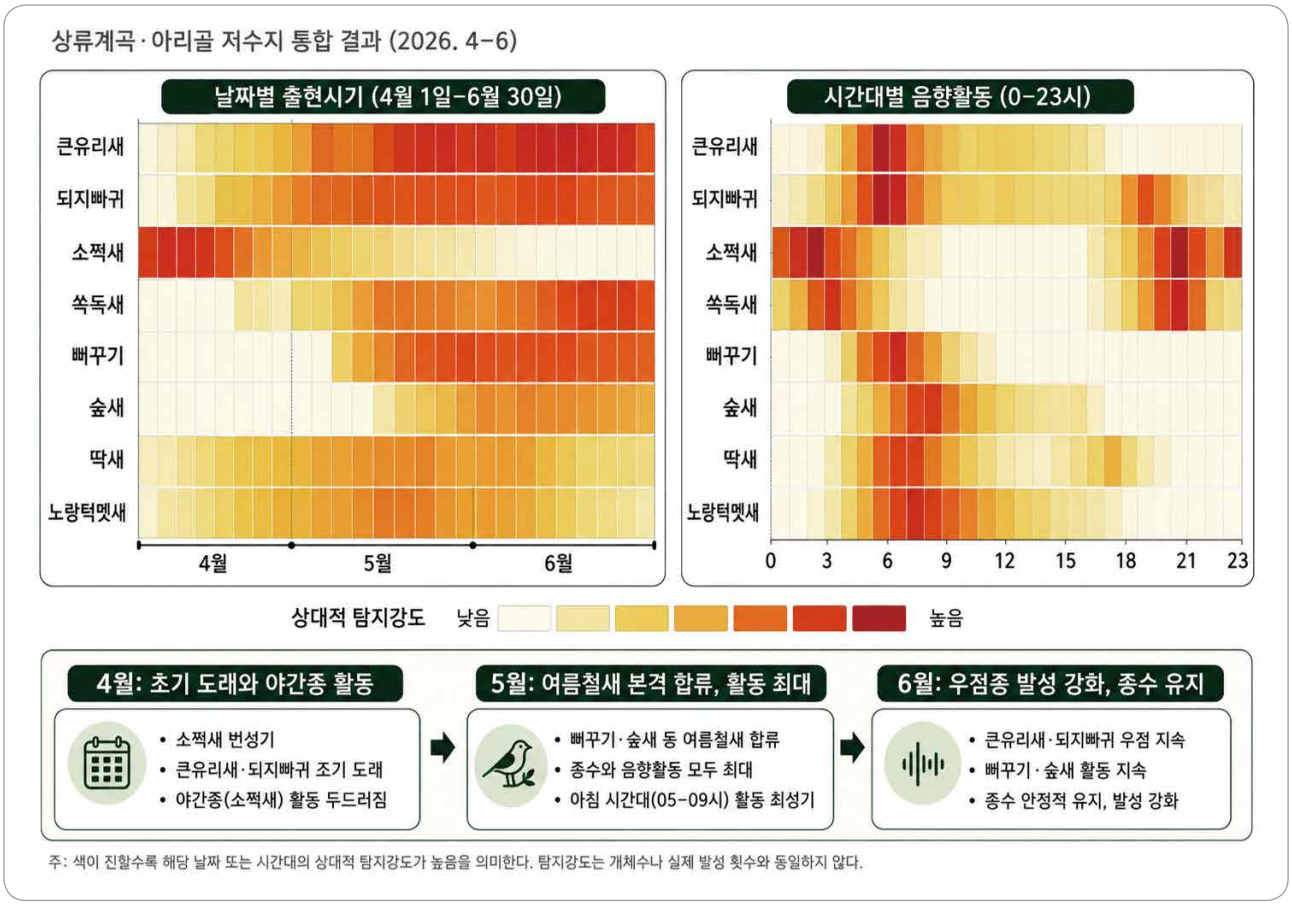
5월에는 군집이 가장 풍부하고 활발해졌다. 큰유리새와 되지빠귀의 탐지가 크게 증가하였고, 뻐꾸기·숲새·칡때까치·흰눈썹황금새 등 여러 여름철새가 추가되거나 활동을 늘렸다. 전체 확인 종수는 43종으로 세 달 가운데 가장 많았고, 탐지기록과 양성 녹음률도 최고치를 기록하였다. Shannon 다양성 역시 5월에 가장 높았다.

6월에는 전체 종수는 42종으로 5월과 비슷한 수준을 유지했지만 군집 내부의 균형은 달라졌다. 큰유리새와 되지빠귀의 탐지가 계속 증가하면서 일부 우점종에 기록이 집중되었고, 이에 따라 Shannon과 Simpson 다양성은 5월보다 낮아졌다. 즉, 6월에는 새가 적어진 것이 아니라 많은 종이 여전히 활동하는 가운데 일부 번식기 우점종의 소리가 더 강해진 군집으로 변화한 것이다.

종별 출현시기를 보면 번식기 군집이 한 번에 완성된 것이 아니라 순차적으로 형성되었음을 알 수 있다. 큰유리새와 되지빠귀는 4월부터 확인된 뒤 5~6월에 탐지가 증가하였다. 뻐꾸기는 5월 9일부터, 칡때까치는 5월 23일부터 확인되었다. 반면 소쩍새는 4월에 가장 많이 탐지된 뒤 5월과 6월로 갈수록 탐지량이 감소하였다. 이는 각 종마다 도래시기와 번식단계, 발성활동의 정점이 서로 다르기 때문이다.

따라서 4~6월의 변화는 단순한 '종수 증가'보다는 봄에서 초여름으로 넘어가는 동안 여름철새가 순차적으로 합류하고, 번식단계에 따라 각 종의 소리가 커졌다가 다시 줄어드는 과정으로 이해하는 것이 적절하다.

[그림 30] 2026년 주요 조류의 출현시기와 일주기 음향활동



이 그림은 2026년 결과를 가장 압축적으로 보여주는 자료다. 어떤 종이 언제 나타났는지와 하루 중 언제 주로 발성했는지를 한 장에서 함께 확인할 수 있어, 번식기 군집의 계절적 변화와 시간적 분화를 동시에 보여준다.

새벽합창과 밤의 새들

2026년 번식기에는 하루 중 조류의 소리가 크게 증가하는 시간이 매우 뚜렷했다. 전체 자료에서 양성 녹음률은 04시 55.49%에서 05시 82.97%로 급격히 증가했고, 06시에는 97.25%, 07시에도 96.70%를 기록하였다. 즉, 06시에는 조사된 거의 모든 1분 녹음에서 한 종 이상의 새소리가 들렸다.

탐지기록 역시 같은 패턴을 보였다. 06시에 793건, 07시에 749건이 탐지되어 하루 중 가장 높은 음향활동을 기록하였다. 05시부터 새소리가 빠르게 증가하여 06~07시에 정점을 형성하고 이후 점차 감소하는 전형적인 새벽합창(dawn chorus)이 나타난 것이다.

종별로도 새벽 활동의 차이가 확인되었다. 큰유리새는 06시, 되지빠귀도 06시에 가장

많이 탐지되었다. 멧비둘기 역시 06~07시에 활동이 집중되었고, 뻐꾸기는 05~07시에 탐지량이 높았다. 딱따구리류도 주로 06~07시에 탐지가 많았다. 따라서 번식기의 이른 아침은 여러 산림성 조류의 영역방어, 구애, 개체 간 의사소통이 동시에 집중되는 시간이었다.

오후로 갈수록 음향활동은 점차 감소했지만 하루의 소리가 그대로 끝나지는 않았다. 18~19시에 두 번째 작은 활동 정점이 나타났다. 양성 녹음률은 18시 82.42%, 19시 88.46%였으며, 특히 되지빠귀는 06시뿐 아니라 19시에도 탐지량이 높아 새벽과 저녁에 두 차례 활동 정점을 보였다.

해가 진 뒤에는 낮에 활동하던 새들의 소리가 줄고 다른 종이 숲의 시간을 차지하였다. 대표적인 종이 소쩍새와 쏙독새였다.

소쩍새는 20시에 가장 많이 탐지되었고 04시, 23시, 03시에도 높은 탐지량을 보였다. 쏙독새 역시 20시에 가장 많이 기록되었으며, 04시와 22시에도 활발하게 탐지되었다. 이 두 종은 낮에 활동이 집중된 큰유리새·되지빠귀·박새류와 거의 겹치지 않는 시간대에 발성하였다.

이 결과는 고운사 조류군집이 단순히 여러 종이 같은 공간에 함께 존재하는 집단이 아니라 하루의 시간까지 나누어 이용하는 군집이라는 점을 보여준다. 새벽과 오전에는 다양한 산림성 주행성 조류가 숲의 소리를 채우고, 해질 무렵에는 일부 종의 활동이 다시 증가하며, 밤에는 소쩍새와 쏙독새 같은 야행성 조류가 별도의 음향공간을 형성하였다.

특히 이런 야간 활동은 생물음향 조사의 가치를 잘 보여준다. 일반적인 주간 조류조사만 실시했다면 산불피해지에서 소쩍새와 쏙독새가 어느 정도 지속적으로 활동하는지, 그리고 그 활동이 하루의 어느 시간대에 집중되는지를 같은 조사노력으로 확인하기 어렵다.

다만 시간대별 탐지량 역시 개체수와 동일하지 않다. 번식기의 새벽에는 같은 개체가 강한 영역송을 반복할 수 있고, 종에 따라 발성거리와 발성빈도도 크게 다르다. 따라서 새벽의 높은 탐지량은 '새의 수가 06시에 가장 많다'는 의미가 아니라 조류의 음향활동이 일출 전후에 가장 강하게 집중되었다는 뜻으로 이해해야 한다.

2026년 번식기 자료를 종합하면, 고운사 산불피해지는 봄부터 초여름까지 다양한 산림성 조류와 여름철새가 활동하는 공간이었다. 4월에서 5월로 진행되면서 종수와 음향활동이 증가했고, 6월에는 일부 번식기 우점종의 소리가 강화되었다. 하루의 시간축에서도 새벽합창, 주간 활동, 저녁의 두 번째 정점, 야간 조류의 발성이 연속적으로 이어졌다.

따라서 산불 발생 이듬해의 고운사에서 확인된 것은 단순히 '새소리가 많아졌다'는 사실보다 더 중요하다. 산불피해지에서도 번식기 조류군집이 계절과 하루의 시간에 따라 서로 다른 종으로 끊임없이 구성되고 있었으며, 심피해지를 포함한 조사범위 전체가 다양한 조류의 활동공간으로 이용되고 있었다. 다만 이는 번식 성공이나 산불 이전 상태로의 완전한 회복을 의미하지 않으며, 향후 동일한 봄철 조사를 반복할 때 비로소 자연복원의 장기적인 방향을 판단할 수 있다.

4. 같은 산불 피해지에서도 서로 다른 새들의 숲이 만들어졌다

2026년 번식기 조사에서 가장 두드러진 결과 가운데 하나는, 같은 고운사 산불피해지 안에서도 조사지점에 따라 조류군집의 모습이 달랐다는 점이다. 상류계곡과 아리골 저수지는 같은 기간에 같은 방법으로 조사되었지만 확인 종수, 탐지활동, 다양성, 지점특이종과 기능군 구성에서 차이를 보였다. 이는 산불피해지의 회복과정이 하나의 균일한 방향으로 진행되는 것이 아니라, 산불피해 정도와 남아 있는 식생, 계곡과 수변, 관목층과 산림 가장자리 등 국지적인 서식처 조건에 따라 서로 다른 조류군집이 형성될 수 있음을 보여준다.

상류계곡과 아리골 저수지의 차이

2026년 4월부터 6월까지 상류계곡과 아리골 저수지에서는 각각 91일 동안 시간당 1분씩 총 2,184개의 녹음자료를 수집하였다. 두 지점의 조사기간과 녹음주기가 같았기 때문에 조사노력의 차이 없이 군집 특성을 비교할 수 있었다.

상류계곡은 산불로 수관과 임목이 크게 손상된 심피해 계곡산림이었다. 반면 아리골 저수지는 산불피해가 상대적으로 약하고, 저수지 수면과 수변부, 관목층, 산림 가장자리와 주변 산림이 짧은 거리 안에 함께 존재하는 복합적인 서식처였다. 따라서 두 지점의 차이는 단순히 '심피해지와 약피해지의 차이'라기보다 산불피해 정도와 서식처 구조가 함께 다른 두 공간의 차이로 보아야 한다.

전체 조사기간 동안 상류계곡에서는 39종·3,654건, 아리골 저수지에서는 51종·4,253건이 확인되었다. 아리골 저수지의 종수는 상류계곡보다 12종 많았고 탐지기록도 599건 많았다. 양성 녹음률은 상류계곡 69.87%, 아리골 저수지 74.08%로 아리골에서 4.21%p 높았다.

두 지점은 완전히 다른 조류군집으로 이루어진 것은 아니었다. 전체 53종 가운데 37종을 공통으로 공유하였다. 큰유리새, 되지빠귀, 소쩍새, 멧비둘기, 쏙독새, 뻐꾸기, 박새류와 딱따구리류 등 번식기의 주요 산림성 조류 상당수가 두 지점에서 함께 확인되었다.

차이는 공통종보다 추가로 확인된 종에서 더 뚜렷했다. 상류계곡에서만 확인된 종은 물

까치와 해오라기 2종이었지만, 아리골 저수지에서는 긴꼬리딱새, 꾀꼬리, 되솔새, 물총새, 원앙, 수리부엉이, 흰눈썹황금새 등 14종이 다른 지점에서는 확인되지 않았다. 다만 이 가운데 일부 종은 1~5건 정도만 탐지되어, 아리골에만 정착한 종이라기보다 일시적인 이용이나 낮은 탐지확률이 반영되었을 가능성도 있다.

두 지점에서 자주 들린 새도 서로 달랐다. 상류계곡에서는 딱새, 노랑할미새, 큰유리새, 소쩍새, 방울새와 오색딱따구리의 상대적인 탐지비율이 높았다. 반면 아리골 저수지에서는 숲새, 오목눈이, 뻐꾸기, 직박구리, 노랑턱멧새, 붉은머리오목눈이와 쇠딱따구리가 상대적으로 많이 들렸다.

특히 차이가 큰 종도 있었다. 딱새는 상류계곡에서 251건, 아리골에서 11건이 탐지된 반면, 숲새는 상류계곡 3건에 비해 아리골 저수지에서 258건이 확인되었다. 오목눈이 역시 상류 7건, 아리골 183건으로 큰 차이를 보였다. 이는 단순히 한 지점에서 새가 더 많았다는 의미보다, 두 공간에서 서로 다른 종들이 상대적으로 더 활발하게 활동하고 있었음을 보여준다.

같은 날짜를 짝지어 비교한 분석에서도 이러한 차이는 반복적으로 나타났다. 일평균 탐지종수는 상류계곡 12.07종, 아리골 저수지 13.66종이었으며, 일평균 탐지기록도 각각 40.15건과 46.74건이었다. 양성 녹음 수, 탐지종수, 탐지기록 모두에서 아리골 저수지가 높은 방향의 차이가 확인되었다.

그러나 이 결과를 “약하게 탄 숲이 심하게 탄 숲보다 더 건강하다”라고 단순화해서는 안 된다. 아리골에는 상류계곡에 없는 저수지와 수변부, 관목층과 경계부가 포함되어 있다. 따라서 두 지점의 차이는 산불피해 강도뿐 아니라 서식처 이질성의 차이까지 함께 반영된 결과이다.

물새를 제외해도 남는 차이

아리골 저수지의 종수가 많은 가장 단순한 이유로는 ‘저수지가 있기 때문에 물새가 추가되었기 때문’이라고 생각할 수 있다. 실제로 아리골에서는 원앙, 왜가리, 물총새 등 상류계곡에서 거의 또는 전혀 확인되지 않은 수변 조류가 나타났다.

그렇다면 이러한 물새를 제외하면 두 지점의 차이는 사라질까?

이를 확인하기 위해 전체 조류를 이용한 비교 외에 수변·물새류를 단계적으로 제외하는 민감도 분석을 실시하였다. 엄격한 수변·물새류로 원앙, 왜가리, 해오라기, 물총새, 호반새 및 물레새를 제외하였다.

전체 종을 포함했을 때 상류계곡은 39종·3,654건, 아리골 저수지는 51종·4,253건이

었다. 수변·물새류를 제외한 뒤에는 상류계곡이 37종·3,652건, 아리골 저수지가 46종·4,237건이었다. 물새를 제외한 뒤에도 아리골의 종수는 9종 많았고 탐지기록도 585건 많았다.

양성 녹음률 역시 거의 변하지 않았다. 수변종 제외 후 상류계곡은 69.83%, 아리골 저수지는 74.04%였다. 이는 수변·물새류의 탐지기록 자체가 전체의 극히 작은 부분을 차지했기 때문이다.

다양성의 차이도 유지되었다. 수변종을 제외한 Shannon 지수는 상류계곡 2.703, 아리골 저수지 2.870이었으며, Hill 다양성 q=1도 각각 14.92와 17.63으로 아리골이 높았다.

좀 더 엄격하게 비교하기 위해 물새뿐 아니라 개방지·인가지·수변 중심 종을 제외하고 산림성 조류만을 따로 분석하였다.

그 결과 상류계곡에서는 22종·2,440건, 아리골 저수지에서는 26종·3,120건의 산림성 조류가 확인되었다. 양성 녹음률도 상류계곡 64.74%, 아리골 저수지 70.15%로 아리골이 높았다. Shannon 지수와 Hill 다양성도 같은 방향을 보였다.

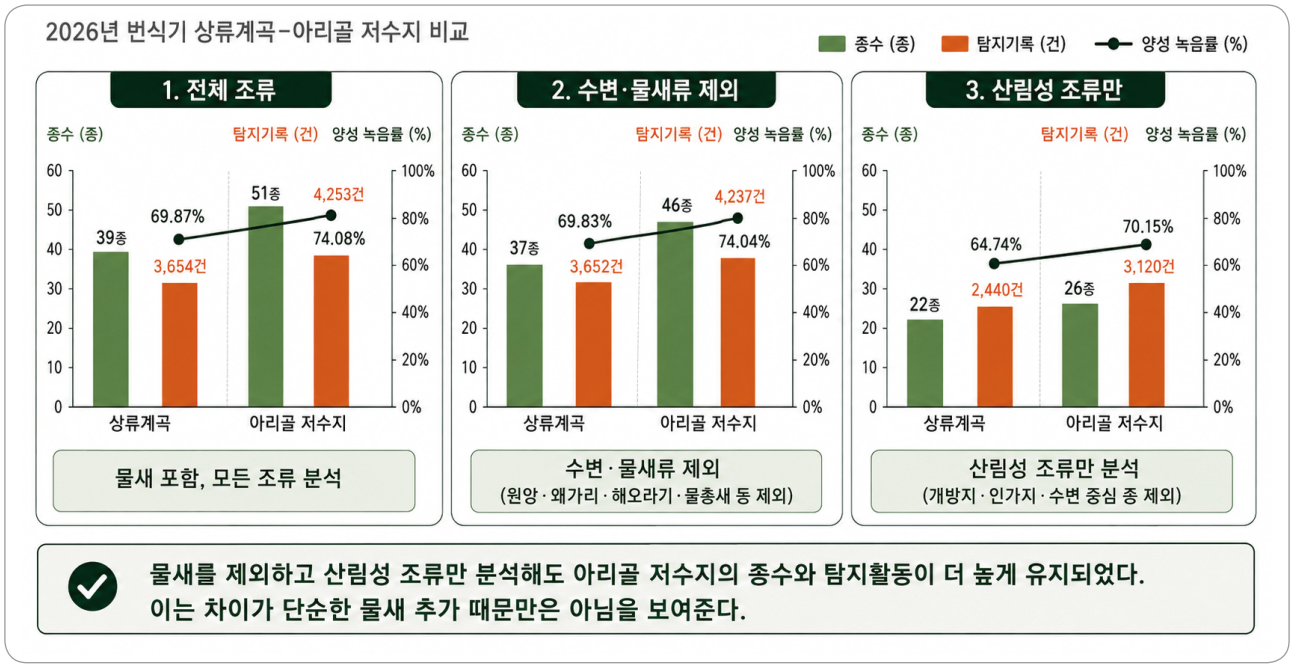
즉, 아리골 저수지의 높은 다양성은 단순히 원앙이나 물총새 같은 물새 몇 종이 추가된 결과만은 아니었다. 물새를 제거하고 산림성 조류만 놓고 보아도 아리골에서 더 많은 종과 높은 음향활동이 확인되었다.

[표 12] 2026년 상류계곡과 아리골 저수지의 단계별 조류군집 비교

분석 범위	상류계곡	아리골 저수지	핵심 의미
전체 조류	39종·3,654건	51종·4,253건	아리골에서 종수·탐지활동 높음
수변·물새류 제외	37종·3,652건	46종·4,237건	물새 제외 후에도 차이 유지
산림성 조류만	22종·2,440건	26종·3,120건	산림조류 자체에서도 차이 유지

주: 탐지건수는 개체수가 아니라 1분 녹음에서 해당 종이 확인된 종-녹음 단위의 수이다.

[그림 31] 물새 제외 및 산림성 조류만을 이용한 지점 차이 민감도 분석



산림성 조류만을 비교하면 두 지점 사이의 군집 유사도는 오히려 높아졌다. 전체 조류를 이용한 Bray-Curtis 유사도[7]는 0.721이었지만 산림성 조류만 비교하면 0.811로 증가하였다. 이는 상류와 아리골이 기본적인 산림조류군을 상당 부분 공유하고 있다는 뜻이다.

그러면서도 아리골의 종수와 음향활동이 상대적으로 높게 유지된 것은, 저수지 수면 자체보다 잔존 산림, 관목층, 수변부와 산림 가장자리가 서로 가까이 연결된 복합적인 공간구조가 함께 작용했을 가능성을 보여준다.

따라서 아리골을 단순히 '물이 있어 새가 많은 곳'으로 해석하는 것은 충분하지 않다. 오히려 아리골의 특징은 서로 다른 서식처가 좁은 공간 안에서 만난다는 것에 있다.

종수보다 중요한 기능군의 차이

산불 이후 생태계를 평가할 때 단순히 '몇 종이 나타났는가'만 보는 데는 한계가 있다. 똑같이 20종이 확인되더라도 울창한 숲에 의존하는 종 20종과 개방된 초지에 주로 사는 종 20종은 전혀 다른 생태적 상태를 의미한다.

7 두 샘플 간의 종 구성이나 풍부도(Abundance) 차이를 측정하여 얼마나 비슷한지를 0과 1 사이의 값으로 나타내는 지표, 0부터 1까지의 값을 가지며, 1에 가까울수록 두 샘플의 종 구성이 완전히 동일함을 뜻하고, 0에 가까울수록 공통된 종이 전혀 없음을 의미

따라서 이번 조사에서는 조류를 산림의존성, 서식처 이용, 먹이, 채이공간, 둥지 이용방식과 이동성 등 생태적 기능에 따라 나누어 살펴보았다. 이 분류는 각 종의 모든 생태적 특성을 고정적으로 규정한 것이 아니라, 고운사 자연복원의 변화를 추적하기 위한 기능적 관찰 틀로 사용하였다.

2026년에는 산림 내부 또는 산림구조에 대한 의존성이 높은 조류가 26종·5,560건 탐지되어 전체 탐지기록의 약 70.3%를 차지하였다. 큰유리새, 되지빠귀, 흰배지빠귀, 박새, 쇠박새, 동고비, 딱따구리류, 산솔새, 흰눈썹황금새, 팔색조와 긴꼬리딱새 등이 포함되었다.

심피해지인 상류계곡에서도 산림성 조류 22종·2,440건이 확인되었다. 이는 산불로 수관이 크게 훼손된 지역에서도 모든 산림성 조류가 사라진 것이 아니라, 일부 종들이 계곡부 잔존림과 주변 산림, 남은 수목구조 등을 이용하고 있었을 가능성을 보여준다.

동시에 산불로 형성된 열린 환경을 이용하는 종도 확인되었다. 딱새, 방울새, 때까치류, 붉은머리오목눈이, 노랑턱멧새 등 개방지·관목지·산림 가장자리 이용종이 함께 나타났다.

특히 상류계곡에서는 딱새와 방울새가 상대적으로 많이 탐지되었다. 딱새는 상류계곡에서 251건, 아리골에서 11건이었고, 방울새는 각각 98건과 7건이었다. 이는 산불로 열린 수관과 고사목, 노출된 지표면이 많은 상류계곡의 구조와 관련되어 있을 가능성이 있다.

반면 아리골에서는 숲새·오목눈이·붉은머리오목눈이·노랑턱멧새 등이 상대적으로 많이 탐지되었다. 숲새는 상류계곡에서 3건에 불과했지만 아리골에서 258건이었고, 오목눈이도 상류 7건에 비해 아리골 183건이 확인되었다. 이는 아리골 주변의 관목층과 산림 가장자리, 잔존 수관이 보다 다양한 수직적 식생구조를 제공했을 가능성을 시사한다.

아리골에는 여기에 수변 기능군이 추가되었다. 원앙, 왜가리, 물총새 등은 산림 내부에서는 이용하기 어려운 수면과 수생 먹이자원을 활용한다. 양적인 탐지기록은 많지 않았지만 산림에는 없는 새로운 생태적 기능이 전체 군집에 더해진 것이다.

먹이 이용에서도 특징적인 구조가 나타났다. 2026년에는 곤충을 주요 먹이자원으로 이용하는 조류가 31종·5,804건으로 전체 탐지기록의 약 73.4%를 차지하였다. 큰유리새, 되지빠귀, 쏙독새, 뻐꾸기, 박새류와 딱따구리류 등 많은 번식기 조류가 여기에 포함되었다. 번식기에 새끼를 키우는 조류에게 동물성 먹이는 중요한 자원이므로, 고운사 일원에서 다양한 곤충식 조류의 활발한 발성이 확인되었다는 것은 중요한 기록이다.

다만 이 결과만으로 산불 이후 곤충자원이 증가하거나 먹이망이 완전히 회복되었다고

단정할 수는 없다. 음향조사는 새의 소리를 기록했을 뿐 실제 먹이량을 측정하지 않았기 때문이다. 따라서 “번식기에 다양한 곤충식 조류의 음향활동이 확인되었다”는 수준으로 해석하는 것이 적절하다.

또 하나 중요한 기능군은 딱따구리류와 수동 이용종이다.

오색딱따구리·쇠딱따구리·청딱따구리는 죽거나 약해진 나무의 줄기에서 곤충을 찾고 스스로 둥지구멍을 만들 수 있다. 이들이 만든 수동은 이후 박새류, 동고비, 소쩍새·올빼미류 등 스스로 구멍을 만들지 못하는 여러 동물에게 다시 이용될 수 있다.

2026년에는 수동을 이용할 가능성이 있는 조류가 13종·1,502건 탐지되었다. 이는 고사목과 잔존목이 단순히 불탄 흔적이 아니라 향후 먹이·번식·휴식과 관련된 구조적 자원이 될 가능성을 보여준다. 이 부분은 다음 절에서 별도로 살펴본다.

이렇게 보면 상류계곡과 아리골 저수지는 어느 한쪽이 일방적으로 ‘좋고 나쁜’ 관계라기보다 서로 다른 생태적 역할을 가진 공간으로 이해하는 것이 적절하다.

상류계곡은 심한 산불로 만들어진 고사목과 열린 수관, 계곡부 잔존식생이 함께 존재하면서 딱따구리류와 일부 개방환경 이용종, 그리고 산림성 조류가 공존하는 초기 천이공간이었다. 반면 아리골 저수지는 잔존 산림과 관목층, 수변·저수지, 산림 가장자리가 함께 존재하면서 더 많은 기능군이 한 공간에서 중첩되는 복합서식처였다.

따라서 산불 이후의 자연복원을 평가할 때 중요한 것은 특정 시점에서 종수를 최대한 많이 만드는 것만이 아니다. 오히려 잔존림, 고사목, 관목지, 개방지와 수변부처럼 서로 다른 구조가 남아 있어 서로 다른 생태적 기능을 가진 종들이 함께 살아갈 수 있는 공간적 이질성이 유지되는가를 살펴보는 것이 중요하다.

고운사의 2026년 생물음향 결과는 바로 이러한 사실을 보여준다. 같은 산불피해지 안에서도 장소에 따라 서로 다른 새들이 더 많이 들렸고, 그 차이는 단순한 물새 몇 종의 추가가 아니라 산림의 구조와 수변, 관목, 고사목과 경계부가 결합되는 방식의 차이와 함께 나타났다.

5. 고사목과 잔존림 — 불탄 나무는 죽은 서식처인가?

산불이 지나간 숲에서 가장 먼저 눈에 띄는 것은 검게 탄 채 서 있는 나무들이다. 겉으로 보면 이 나무들은 생명을 잃은 잔재처럼 보이지만, 생태계의 관점에서는 반드시 그렇지만은 않다. 산불로 죽거나 약해진 나무는 곤충의 서식처가 되고, 딱따구리류의 먹이터가 되며, 시간이 지나면서 여러 조류가 이용하는 수동(樹洞)을 제공할 수 있다. 또한 불을 피한 계곡부와 잔존림은 산불 직후 생물들이 머물거나 다시 피해지로 이동하는 거점이 될 가능성이 있다.

고운사 생물음향 조사에서도 이러한 가능성을 보여주는 조류들이 반복적으로 확인되었다. 다만 음향자료만으로 특정 고사목을 실제로 이용했는지, 둥지를 만들었는지, 번식에 성공했는지까지 확인할 수는 없다. 따라서 본 절에서는 고사목과 잔존림의 기능을 직접 입증했다기보다, 그 기능과 연결될 수 있는 조류군의 활동이 확인되었다는 점에 초점을 맞추어 해석하였다.

딱따구리류와 수동 이용종

산불 후 남겨진 고사목은 모든 생물에게 동일한 의미를 갖지는 않는다. 일부 조류에게는 오히려 새로운 먹이와 둥지자원을 제공할 수 있다. 대표적인 종이 딱따구리류다.

딱따구리류는 나무줄기와 수피 아래에 사는 곤충을 찾아 먹고, 부후되거나 약해진 나무에 직접 구멍을 파서 둥지를 만든다. 산불로 죽거나 스트레스를 받은 나무에 목재성 곤충이 증가하면 딱따구리류에게 새로운 먹이자원이 형성될 수 있고, 시간이 지나 목재가 부후하면서 수동을 만들기 쉬운 구조가 될 수도 있다.

2026년 조사에서는 오색딱따구리, 쇠딱따구리, 청딱따구리 3종이 모두 확인되었으며, 총 274건이 탐지되었다. 상류계곡과 아리골 저수지 모두에서 세 종이 확인되었다.

종별로는 분포가 서로 달랐다. 오색딱따구리는 상류계곡에서 83건, 아리골 저수지에서 39건으로 상류계곡에서 더 많이 탐지되었다. 반대로 쇠딱따구리는 상류계곡 12건에 비해 아리골 저수지에서 84건이 확인되었다. 청딱따구리는 상류계곡 31건, 아리골 저수지 25건으로 비교적 비슷하였다.

특히 주목할 점은 산불피해가 큰 상류계곡에서도 딱따구리류가 반복적으로 확인되었다는 사실이다. 심피해지라고 해서 수간을 이용하는 조류가 사라진 것은 아니었다. 산불 이후 남겨진 고사목과 부분적으로 살아 있는 피해목, 계곡부 잔존목이 딱따구리류의 활동공간으로 이용되었을 가능성을 보여준다.

월별로는 딱따구리류 탐지가 4월 73건, 5월 126건, 6월 75건으로 5월에 가장 많았다. 이는 번식기의 영역행동과 드러밍, 둥지 형성 등으로 음향활동이 증가했을 가능성

이 있다. 그러나 실제로 조사범위의 특정 고사목에 둥지를 만들었는지는 확인하지 않았으므로, 탐지량의 증가를 곧바로 번식 증거로 해석해서는 안 된다.

딱따구리류가 중요한 이유는 자신만 고사목을 이용하기 때문이 아니다. 딱따구리가 만든 수동은 이후 스스로 구멍을 만들기 어려운 다른 동물들이 사용할 수 있다. 이러한 종을 흔히 2차 수동 이용종으로 볼 수 있다.

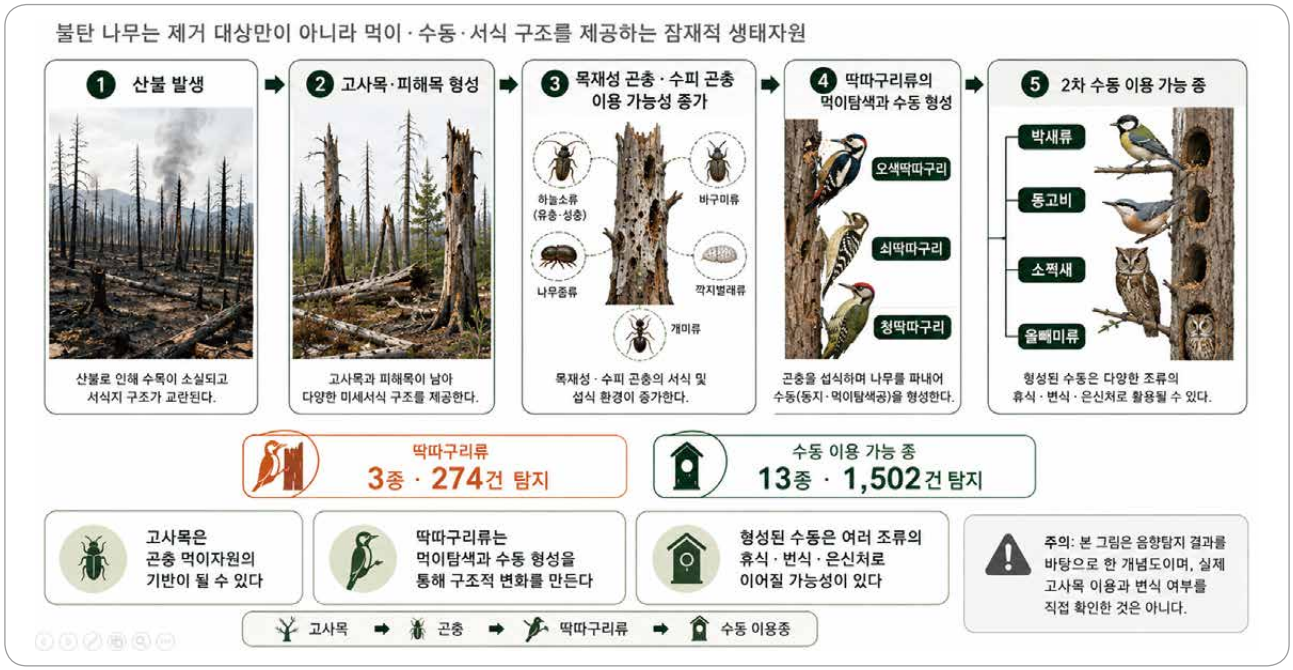
고운사 조사에서는 박새, 쇠박새, 진박새, 곤줄박이, 동고비, 소쩍새, 올빼미, 파랑새, 원앙 등 수동을 이용할 가능성이 있는 조류가 함께 확인되었다. 2026년 자료에서는 이러한 수동 이용 가능 종이 13종, 1,502건 탐지되었다. 상류계곡에서는 702건, 아리골 저수지에서는 800건이었다.

이는 고사목과 잔존목이 단순한 산불 잔재라기보다, 시간이 지나면서 여러 조류에게 먹이·휴식·번식과 관련된 구조적 자원이 될 가능성을 보여준다.

다만 여기서 매우 중요한 점이 있다. 음향조사로 확인된 것은 “이러한 종들이 해당 녹음 범위 안에서 소리를 냈다”는 사실이다. 실제로 딱따구리가 고사목에서 먹이를 찾았는지, 수동을 만들었는지, 박새류나 올빼미류가 그 수동을 번식에 이용했는지는 본 조사에서 직접 확인하지 않았다.

따라서 고사목의 생태적 기능을 보다 정확하게 평가하려면 향후에는 고사목의 직경과 수고, 부후단계, 수동의 수, 딱따구리 굴착 흔적, 실제 둥지 이용 여부 등을 현장에서 함께 조사할 필요가 있다.

[그림 32] 산불 후 고사목을 중심으로 연결되는 조류 기능군



이러한 관점에서 보면 고사목은 단순히 '죽은 나무'가 아니다. 산불 이전에는 살아 있는 교목이 제공하던 기능 가운데 일부는 사라졌지만, 그 대신 수피와 목재, 구멍과 부후부, 횃대와 먹이기질이라는 새로운 구조가 생긴다. 즉 나무 한 그루는 죽었더라도 그 구조 자체는 생태계 안에서 다른 역할을 계속 수행할 수 있다.

계곡·잔존림의 잠재적 피난처 기능

산불은 숲을 균일하게 태우지 않는다. 지형과 바람, 수분조건, 연료량에 따라 피해강도가 달라지고, 일부 계곡과 수변, 산림 패치에는 살아 있는 나무와 하층식생이 남는다. 이렇게 산불의 영향을 상대적으로 적게 받은 공간은 산불 당시 생물이 피할 수 있는 피난처(fire refugia)가 되고, 산불 이후에는 주변 피해지로 다시 이동할 수 있는 출발점이 될 가능성이 있다.

고운사에서도 계곡부와 잔존림은 중요한 의미를 가진다. 특히 상류계곡은 산불피해가 심한 지점임에도 계곡이라는 지형적 특성 때문에 일부 잔존식생과 살아 있는 수목이 남아 있었다. 완전히 열린 나지라기보다 심하게 탄 공간과 살아남은 구조가 함께 존재하는 모자이크형 환경이었다.

그런데 바로 이 상류계곡에서 2026년 39종·3,654건의 조류가 확인되었다. 산림성 조류만을 따로 보아도 22종·2,440건이 탐지되었다. 큰유리새, 되지빠귀, 박새류, 딱따구리류, 올빼미, 팔색조 등 다양한 산림성 또는 산림구조 이용종이 포함되었다.

이는 심피해지에서 모든 산림 기능이 사라진 것은 아니라는 점을 보여준다. 조류가 이용할 수 있는 계곡부 잔존 수관, 살아남은 나무, 고사목, 주변의 덜 탄 산림과의 연결성이 남아 있었을 가능성이 있다.

다만 여기에서도 '계곡부가 실제로 피난처 역할을 했다'고 단정해서는 안 된다. 이를 직접 증명하려면 산불 당시의 개체 위치나 생존자료, 산불 직후의 이동경로, 잔존림과 피해지 사이의 재정착 과정을 추적해야 한다. 현재 생물음향 자료는 그러한 과정을 직접 관찰한 것이 아니라, 산불 이후에도 계곡과 잔존 산림 주변에서 다양한 산림성 조류의 활동이 지속되었다는 간접적인 증거를 제공한다.

아리골 저수지 역시 비슷하지만 조금 다른 의미를 갖는다. 이곳은 산불피해가 상대적으로 약했고 저수지와 수변식생, 관목층, 산림 가장자리와 잔존 산림이 함께 존재한다. 2026년에는 아리골에서 상류계곡보다 더 많은 51종이 확인되었다.

중요한 점은 이 차이가 단순한 물새의 추가만으로 설명되지 않았다는 것이다. 앞 절에서 살펴본 것처럼 수변·물새류를 제외한 뒤에도 아리골에서는 46종, 상류계곡에서는

37종이 확인되었고, 산림성 조류만 비교해도 아리골 26종, 상류 22종으로 차이가 유지되었다.

이 결과는 산불피해지의 회복에서 잔존림의 존재뿐 아니라 서로 다른 서식처가 서로 가까이 연결되어 있는 구조가 중요할 수 있음을 보여준다.

계곡과 수변의 잔존림은 여러 기능을 동시에 가질 수 있다.

첫째, 상대적으로 습하고 수관이 남은 곳은 산불 이후에도 산림 내부에 가까운 미기후를 유지할 가능성이 있다.

둘째, 살아남은 나무와 관목은 조류에게 먹이터와 은신처, 노래자리와 잠재적인 번식장소를 제공할 수 있다.

셋째, 계곡은 산림을 길게 연결하는 선형구조이므로 주변의 덜 탄 숲에서 피해지역으로 이동하는 통로가 될 가능성이 있다.

넷째, 수변과 주변 식생은 육상산림에는 부족한 물과 수서곤충 등 새로운 먹이자원을 제공한다.

즉, 계곡과 잔존림은 단순히 '덜 탄 곳'이 아니라 산불 전의 생태적 구조를 일부 보존하면서 산불 후 새롭게 형성되는 서식처와 연결하는 매개 공간이 될 수 있다.

고운사 전체 조사 결과를 놓고 보면, 산불 후 중요한 것은 피해지 전체를 동일한 모습으로 빠르게 만들려는 것이 아닐 수 있다. 심하게 탄 곳의 고사목, 덜 탄 계곡부의 잔존림, 새롭게 자라는 관목, 수변과 산림 가장자리처럼 서로 다른 구조가 함께 남아 있는 것 자체가 다양한 조류에게 서로 다른 자원을 제공할 가능성이 있기 때문이다.

따라서 고사목과 잔존림을 모두 같은 '산불 잔재'로 보는 것은 적절하지 않다. 도로·탐방로·건축물 주변에서 사람에게 직접적인 위험을 주는 고사목은 안전을 위해 관리할 필요가 있지만, 안전위험이 낮은 산림 내부에서는 다양한 크기와 부후단계의 고사목과 살아남은 잔존목을 일정 부분 유지할 생태적 근거가 있다.

고운사 생물음향 자료가 보여주는 것은 불탄 나무 자체가 곧 회복의 증거라는 사실이 아니다. 보다 정확하게는, 산불 이후에도 고사목과 잔존림이 남아 있는 공간에서 딱따구리류, 박새류, 산림성 조류와 야간 조류가 지속적으로 활동하고 있었다는 것이다.

따라서 고사목과 계곡·잔존림은 제거 여부를 일률적으로 결정할 대상이라기보다, 안전성과 생태적 기능을 함께 평가하면서 장기적으로 이용 여부를 지켜볼 핵심 자연복원 구조라고 할 수 있다.

6. 소리로 본 고운사 자연복원의 첫 번째 기준선

이번 생물음향 조사는 산불 발생 이후 고운사 자연복원지가 어느 정도 '회복되었다'고 판정하기 위한 조사가 아니다. 보다 정확하게는, 산불 발생 첫해 가을과 이듬해 번식기에 어떤 조류가 언제, 어디에서, 어떤 방식으로 활동하고 있었는지를 기록한 첫 번째 기준선(baseline)을 구축한 조사다.

총 8,736개의 1분 녹음자료, 145.6시간의 음원을 분석한 결과 종 수준에서 확정된 조류는 57종이었으며, 8,769건의 유효 탐지기록이 확보되었다. 이 자료는 앞으로 동일한 지점에서 같은 계절과 같은 방법으로 조사를 반복할 때, 조류군집이 어느 방향으로 변화하는지를 비교할 수 있는 출발점이 된다.

이번 조사에서 확인된 것

산불 첫해에도 숲은 침묵하지 않았다

2025년 9~11월 산불 발생 첫해의 상류계곡과 중류계곡에서는 총 26종·862건의 유효 탐지가 확인되었다. 전체 4,368개의 녹음 가운데 648개에서 한 종 이상의 조류가 확인되었으며, 양성 녹음률은 14.84%였다.

특히 산불피해가 큰 상류계곡에서도 22종·574건이 확인되었다. 박새류와 딱따구리류, 직박구리·딱새와 같은 주행성 조류뿐 아니라 소쩍새·쏙독새와 같은 야간 발성종도 기록되었다. 이는 산불 발생 약 반년 뒤에도 피해지와 계곡부, 잔존림을 이용하는 다양한 조류의 음향활동이 지속되고 있었음을 보여준다.

따라서 첫 번째로 확인된 사실은 단순하다.

대형산불 이후에도 고운사 산불피해지는 생물학적으로 비어 있는 공간이 아니었다.

계절이 바뀌면서 새들의 구성도 계속 바뀌었다

첫해 가을의 군집은 고정되어 있지 않았다. 9월 17종, 10월 15종, 11월 19종으로 종수가 변했고, 탐지기록은 206건, 228건, 428건으로 달라졌다.

9월에는 소쩍새의 야간 발성이 두드러졌고, 10월에는 직박구리가 강하게 우점하였다. 11월에는 상모솔새·굴뚝새·되새·콩새 등 늦가을과 겨울철에 관련된 종이 추가되면서 군집의 구성이 다시 바뀌었다.

따라서 첫해 가을 자료의 핵심은 단순한 '증가'가 아니라 여름철 활동종의 감소와 이동·월동종의 유입이 이어지는 계절적 군집 교체였다.

산불 이듬해 번식기에는 훨씬 다양한 소리가 기록되었다

2026년 4~6월에는 상류계곡과 아리골 저수지에서 총 53종·7,907건의 유효 탐지가 확인되었다. 양성 녹음률은 71.98%였다.

큰유리새·되지빠귀·소쩍새·멧비둘기·직박구리·쏙독새·뻐꾸기 등이 주요 음향군집을 구성하였으며, 여름철새가 순차적으로 합류하면서 5월에 종수와 음향활동이 가장 높았다.

또한 올빼미·팔색조·긴꼬리딱새·수리부엉이 등 보전가치가 높은 종도 확인되었다. 이는 산불 발생 이듬해 번식기에 고운사 일원이 다양한 산림성 조류, 여름철새와 야행성 조류의 활동공간으로 이용되고 있었음을 보여준다.

같은 산불피해지 안에서도 서로 다른 새들의 숲이 만들어지고 있었다

2026년 같은 기간에 조사한 상류계곡과 아리골 저수지는 뚜렷한 차이를 보였다.

상류계곡에서는 39종·3,654건, 아리골 저수지에서는 51종·4,253건이 확인되었다. 두 지점은 37종을 공유했지만 아리골에서 14종이 추가로 확인되었다.

중요한 점은 이러한 차이가 물새 몇 종 때문만은 아니라는 것이다. 수변·물새류를 제외한 뒤에도 아리골은 46종, 상류는 37종이었고, 산림성 조류만 분석해도 아리골 26종·3,120건, 상류 22종·2,440건으로 차이가 유지되었다.

따라서 아리골의 높은 다양성은 단순한 저수지 효과보다 잔존 산림, 수변, 관목층, 산림 가장자리 등이 결합된 높은 서식처 이질성과 관련되었을 가능성이 크다.

산림성 조류와 개방지·수변 조류가 함께 존재했다

2026년에는 산림 내부 또는 산림구조 의존성이 높은 조류가 26종·5,560건 확인되었다. 동시에 딱새·때까치류·방울새·붉은머리오목눈이와 같은 개방지·관목지·경계부 이용종도 함께 나타났다.

즉, 산불 이후의 고운사는 산림성 조류가 사라지고 개방지종으로 단순하게 대체된 공간이 아니었다. 잔존림, 고사목, 관목지, 개방공간과 수변이 혼재하면서 서로 다른 기능군이 함께 이용하는 초기 천이의 모자이크형 서식처가 형성되고 있었다.

고사목과 잔존림의 잠재적 기능도 확인되었다

2026년에는 오색딱따구리·쇠딱따구리·청딱따구리 등 딱따구리류가 274건 탐지되었다. 또한 수동을 이용할 가능성이 있는 조류는 13종·1,502건이었다.

심피해 상류계곡에서도 산림성 조류 22종과 딱따구리류가 반복적으로 확인되었다. 이는 산불 이후 남아 있는 고사목과 잔존목, 계곡부 산림이 먹이탐색·휴식·수동 형성 및 잠재적인 번식구조로 기능할 가능성을 보여준다.

다만 실제 이용 여부를 직접 확인한 것은 아니므로, 현재 단계에서는 '고사목의 생태적 기능 가능성'으로 해석해야 한다.

하루의 시간도 새들이 나누어 이용하고 있었다

번식기 음향활동은 05시부터 급격히 증가하여 06~07시에 가장 높았고, 18~19시에는 두 번째 작은 활동 정점이 나타났다.

큰유리새·되지빠귀·박새류와 딱따구리류는 주로 새벽과 아침에, 소쩍새와 쏙독새는 저녁과 야간에 활동하였다. 따라서 고운사의 조류군집은 공간뿐 아니라 하루의 시간대도 서로 나누어 이용하는 구조를 보였다.

[그림 33] 생물음향으로 확인한 고운사 산불 이후 첫 1년의 핵심 결과



아직 말할 수 없는 것

이번 조사는 고운사 산불피해지에서 다양한 조류의 음향활동을 확인했지만, 이를 곧바로 자연복원의 성과나 개체수 증가로 해석할 수는 없다. 2025년 가을과 2026년 번식기는 계절·철새 이동·발성률·조사지점이 서로 달라 직접적인 연차 비교가 어렵고, 탐지건수 역시 개체수가 아니라 1분 녹음에서 해당 종이 확인된 상대적 음향활동을 의미한다. 또한 조류의 발성이 확인되었다고 해서 실제 번식이나 고사목 이용이 입증된 것은 아니며, 상류계곡과 아리골의 차이도 산불피해 강도와 서식처 유형의 영향이 함께 얽혀 있어 피해강도만의 효과로 분리하기 어렵다. 더구나 산불 이전 자료와 독립적인 비피해 대조구가 없으므로 현재 군집이 산불 전 수준으로 얼마나 회복되었는지도 판단할 수 없다. 따라서 이번 조사의 가장 정확한 의미는 회복률을 확정한 것이 아니라, 향후 동일 지점·동일 계절의 반복조사를 통해 자연복원 경로를 평가할 수 있는 첫 번째 생물음향 기준선을 구축했다는 데 있다.

앞으로 지켜볼 변화

이번 조사는 고운사 자연복원의 장기 변화를 추적하기 위한 첫 기준선을 마련했다. 앞으로는 같은 장소·같은 계절·같은 방법으로 반복 조사하는 것이 가장 중요하다. 2025년 가을 자료는 이후 가을과, 2026년 봄·초여름 자료는 이후 번식기와 비교하고, 상류 계곡과 아리골 저수지는 동일 위치에서 지속적으로 모니터링할 필요가 있다. 또한 수정사 등 유사한 비피해 산림을 대조지로 추가해 피해지의 변화가 자연적인 연차 변동과 어떻게 다른지 비교해야 한다.

장기 모니터링에서는 단순한 종수 증가보다 어떤 종과 기능군이 어떻게 바뀌는지를 살펴봐야 한다. 수관 회복에 따라 산림 내부종이 증가하는지, 초기 개방환경 이용종과 관목층 이용종이 어떻게 변하는지, 딱따구리류와 수동 이용종이 고사목의 부후·도복 과정에 어떻게 반응하는지를 추적할 필요가 있다. 특히 고사목의 수·크기·부후단계·수동·굴착 흔적 등을 함께 조사하면 고사목 → 곤충 → 딱따구리 → 수동 이용종으로 이어지는 생태적 연결관계를 검증할 수 있다.

또한 식생·토양·곤충·포유류 자료와 생물음향 자료를 같은 시간축에서 통합하고, 기온·강수·풍속·일출시각 등 기상자료를 결합하면 조류군집 변화의 원인을 보다 정확하게 설명할 수 있다. 결국 이번 조사의 가장 큰 의미는 자연복원이 완료되었음을 보여준 데 있는 것이 아니라, 산불 이후 숲의 변화를 앞으로 비교할 수 있는 첫 번째 생물음향 기준선을 구축했다는 데 있다.

곤충

- 고운사 사찰림 유역 1년간의 곤충상

곤충 - 고운사 사찰림 유역 1년간의 곤충상

본 장은 서울대학교 생명과학부 연구팀이 수행한 「고운사 사찰림 자연복원 모니터링(곤충) 1차년도 최종보고서」(2026)를 요약·정리한 것이다. 조사 기간은 2025년 10월~2026년 5월이며, 전체 출현종 목록을 비롯한 상세 자료는 원 보고서에 수록되어 있다.

1. 조사 방법 및 지점 개요

연구의 배경과 질문

2025년 3월 전국에 동시다발적으로 산불이 발생하여 104,788ha의 국토가 소실되었다.[8] 이는 그 이전까지 가장 큰 산불 기록이었던 동해안 고성 산불의 약 4배에 해당하는 규모로, 대한민국 역사상 최대 규모의 산불로 기록되었다. 이 중 피해 규모가 가장 컸던 의성발 산불은 경북 의성에서 영덕까지 총 99,490ha를 태우며 산불 대응 3단계, 소방 대응 3단계, 소방 동원령 3호, 경찰 재난비상 갑호, 국가유산 재난 위기경보 심각, 방송통신 재난 위기경보 주의 등 국가적 비상사태를 초래했다.[9] 특히 천년고찰 고운사의 전각 18개소가 전소되는 안타까운 일도 발생했다.

산불피해지의 복원은 피해목을 제거하고 묘목을 식재하는 인공복원과, 산림의 자연적인 회복 과정을 유도하는 자연복원 등 다양한 방식으로 이루어질 수 있다. 고운사는 산불 피해 이후 산림이 자연적으로 회복할 수 있도록 하는 자연복원을 선택하였다.[10] 이러한 방식에 생태계가 어떻게 반응하는지 확인하기 위해서는 산림생태계가 자연적으로 회복되는 과정을 장기적으로 모니터링할 필요가 있다.

* **집필** 홍석영·김지훈·방우준·한상진·임광묵 (서울대학교 생명과학부)

8 이종섭, 「'역대 최악' 피해 남기고…봄철 산불조심기간 종료」, 경향신문, 2025. https://www.khan.co.kr/article/202505161526001

9 권준범, 「의성 산불, 최고 대응 3단계 격상」, TBC뉴스, 2025; 김락현, 「의성 산불에 국가유산 재난 위기경보 '심각' 격상」, 경북매일, 2025; 소방청, 「경북 의성 산불 | 소방 대응 3단계 상향」, 2025; 유창재, 「산불 확산… 과기정통부, 방송통신재난 위기경보 '주의' 발령」, 오마이뉴스, 2025; 이무열, 「경북경찰, 의성산불 확산에 '재난비상 갑호' 발령」, 뉴시스, 2025.

10 그린피스, 「고운사-환경단체, 산불피해에 국내 최대 규모 자연복원 착수 "인공복원 대안 제시"」, 2025. https://www.greenpeace.org/korea/press/34934/presslease-gounsa_project1/

[그림 34] 2025년 3월 발생한 경북 의성지역 화재발생지. 의성에서 영덕까지 산불이 퍼진 흔적이 남아 있다.



사진 출처: NASA Earth Observatory, “South Korea Charred by Fire”, 2025

산불은 식생뿐만 아니라 서식처의 구조, 먹이자원 및 미소서식지(큰 생태계 안에서 빛, 온도, 습도 등 특정한 물리적 조건을 갖추어 작은 생물이 살아가기에 적합한 아주 작은 규모의 서식 공간)를 변화시키며 다양한 생물군의 군집 구조에도 영향을 미친다.[11] 특히 곤충은 생활사와 서식 특성이 다양하고 환경 변화에 민감하게 반응하기에, 산불 이후 생태계의 변화와 회복 과정을 모니터링하는 데 유용한 생물군[12]이며, 미소서식지의 환경 변화에 민감하여 교란 여부를 판단하는 지표생물로도 널리 활용된다.[13] 따라서 산불피해지에서 곤충 군집의 변화를 지속적으로 조사하면 자연복원 과정의 생태적 회복 정도를 평가하는 데 활용할 수 있다.

11 Kim, G. & Jung, J.-K. (2025). Review of wildfire effect on arthropods of forest ecosystems in Korea. Journal of Forest and Environmental Science, 41(3), 320-328; Bieber, B.V. et al. (2023). Increasing prevalence of severe fires change the structure of arthropod communities: Evidence from a meta-analysis. Functional Ecology, 37(8), 2096-2109; Moretti, M., Duelli, P. & Obrist, M.K. (2006). Biodiversity and resilience of arthropod communities after fire disturbance in temperate forests. Oecologia, 149(2), 312-327.

12 Kim & Jung (2025); Bieber et al. (2023) — 앞의 주 11 참조

13 Chowdhury, S. et al. (2023). Insects as bioindicator: A hidden gem for environmental monitoring. Frontiers in Environmental Science, 11. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1146052

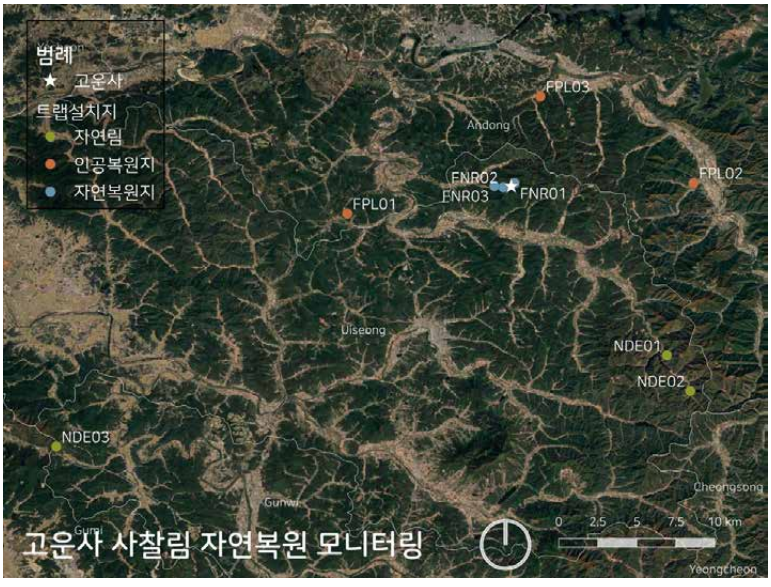
본 연구는 산불 피해 이후의 곤충 군집을 조사하여 자연복원지·인공복원지·자연림 간의 군집 구조와 종다양성을 비교·분석하고, 산불 피해 이후 천이 초기 단계의 곤충 군집 특성을 파악하는 것을 목적으로 하였다. 아울러 향후 동일 조사지에 대해 지속적으로 모니터링함으로써 숲의 복원 과정에서 곤충 군집의 종다양성·개체수·군집 구조가 시간에 따라 어떻게 변화하는지를 추적하고, 장기적인 천이 과정에서 멸종위기종·희귀종·외래종 및 산불피해 관련 지표종의 출현 여부를 확인하여 산불피해지의 생태적 회복 상태를 평가하고 자연복원 및 관리 방향을 설정하는 데 활용하고자 한다.

조사 지역과 시기

산불 피해 이후 자연복원지의 곤충 군집 특성을 객관적으로 평가하기 위해, 인공복원지와 자연림을 추가로 조사하여 복원 방법에 따른 곤충 군집을 비교하였다. 자연복원지는 고운사 사찰림 내에서 3개소를, 인공복원지는 경북 의성 산불피해지 내 인공복원 예정지 중 3개소를, 자연림은 산불피해가 없었던 지역 중 참나무가 우점하는 곳으로 3개소를 선정하여 총 9개 조사지에 채집용 트랩을 설치하였다.

참나무림을 대조군으로 설정한 이유는 우리나라 기후대에서 자연식생을 대표하는 산림유형으로 판단하였기 때문이다.[14] 별도의 교란이 없을 경우 복원지는 장기적으로 이와 유사한 산림 생태계로 천이할 가능성이 있으므로, 이를 복원지와 비교하기 위한 참조 생태계(reference ecosystem)로 활용하였다.

[그림 35] 고운사 사찰림 자연복원 모니터링을 위해 선정한 조사지



NDE는 자연림, FPL은 인공복원지, FNR은 자연복원지를 의미한다.

14 이우철·백원기·김문기 (1994). 설악산 신갈나무림의 식물사회학적 연구. 환경연구소 연보, 11, 179-191.

1차년도 첫 조사는 2025년 10월에 실시하였다. 말레이즈 트랩과 함정 트랩은 10월 3일에 설치하여 10월 26일에 회수하였고, 미끼 트랩은 10월 23일에 설치하여 10월 26일에 회수하였다. 두 번째 조사는 2026년 4월에 실시하였다. 모든 트랩을 4월 18일에 설치하였고, 미끼 트랩은 4월 26일에, 말레이즈 트랩과 함정 트랩은 5월 9일에 회수하였다.

세 가지 트랩

본 연구에서는 각종 환경 변화 및 교란에 민감하게 반응하는 것으로 알려진 파리목 곤충(Diptera),[15] 딱정벌레목 딱정벌레과 곤충(Carabidae),[16] 분식성 딱정벌레(Scarabaeidae and Geotrupidae, 이하 소똥구리)와 송장벌레(carrion beetle, Silphidae)[17]를 주로 채집하되, 전반적인 곤충상 파악을 위해 다른 분류군도 추가로 확인하였다. 주요 분류군별로 적합한 트랩을 설치한 것은, 각 분류군의 서식 및 행동 특성을 고려하면서도 일정한 방법으로 반복 채집할 수 있어 정량적인 비교가 가능하기 때문이다.[18]

[표 13] 곤충 채집에 사용한 세 가지 트랩

트랩	주요 대상	채집 원리	설치
말레이즈 트랩 (Malaise trap)	파리목·딱정벌레목· 나비목·벌목 등 비행성 곤충	곤충이 흰 천막에 반사되는 태양빛에 유인되어 날아오고, 그 다음 벽면을 타고 올라가는 습성을 이용	복원 유형별 대표 1개소 (총 3개소)
함정 트랩 (pitfall trap)	지표배회성 딱정벌레목·메뚜기목 및 기타 지표성 절지동물	지표면을 이동하다 트랩에 빠지는 곤충을 채집	조사지당 3개 × 9개 조사지 = 27개 조사지 내 트랩 간 5 m
미끼 트랩 (baited pitfall trap)	소똥구리·송장벌레 등 미끼 없이는 채집되지 않는 분류군	미끼로 유인해 함정에 빠뜨림	조사지당 3개(분변 2 + 육류 1) × 9개 조사지 = 27개 조사지 내 트랩 간 5 m

15 Thompson, H.M., Lesser, M.R., Myers, L. & Mihuc, T.B. (2022). Insect Community Response Following Wildfire in an Eastern North American Pine Barrens. Forests, 13(1), 66.

16 Rainio, J. & Niemelä, J. (2003). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. Biodiversity & Conservation, 12(3), 487-506.

17 Gardner, T.A. et al. (2008). The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. Ecology Letters, 11(2), 139-150; Hong, S.Y., Oh, M., Heo, Y. & Lee, E.J. (2025). Identifying Priority Habitats for Dung Beetle Conservation: Taxonomic and Functional Responses Across a Land-Use Disturbance Gradient. Ecology and Evolution, 15(10).

18 Southwood, T.R.E. & Henderson, P.A. (2000). Ecological Methods (3rd ed.). Oxford: Blackwell Science.

말레이즈 트랩은 장기간 설치하여 많은 비행성 곤충을 채집할 수 있기 때문에 각 복원 유형별로 1개소를 대표 조사 지점으로 선정해 총 3개소에 설치하였다. 함정 트랩은 채집되는 개체수가 상대적으로 적고 미끼 트랩은 채집 기간이 상대적으로 짧기 때문에, 9개 조사지마다 각각 3개씩(종류별 총 27개) 설치하였으며 같은 조사지 안에서 같은 종류의 트랩은 5 m 간격을 두었다. 반면 미끼의 유인 효과가 다른 트랩의 채집 결과에 영향을 미치는 것을 최소화하기 위해, 미끼 트랩과 말레이즈 트랩 사이는 50 m 이상 떨어뜨려 설치하였다.[19]

말레이즈 트랩과 함정 트랩은 장기간 설치해 두기 때문에, 말레이즈 트랩은 에탄올을, 함정 트랩은 에탄올-프로필렌글리콜 1:1 용액을 활용해 채집물을 고정한 뒤 연구실로 가져와 현미경 등으로 동정(同定)하였다. 미끼 트랩으로 채집한 소똥구리와 송장벌레는 현장 동정이 비교적 용이하고 설치 기간이 짧았기 때문에 현장에서 동정한 후 방생하였으며, 동정이 어려울 경우 사진을 촬영하거나 채집해 연구실에서 동정하였다.

[그림 36] 트랩 설치지 사진



자연림(a, b), 인공복원지(c, d), 자연복원지(고운사, e, f)에서 말레이즈 트랩(a, c, e), 함정 트랩 및 미끼 트랩(b, d, f)을 설치하였다.

19 Larsen, T.H. & Forsyth, A. (2005). Trap Spacing and Transect Design for Dung Beetle Biodiversity Studies. Biotropica, 37(2), 322-325.

분석 방법

채집한 곤충 군집에 대한 분석은 복원 방법별로 곤충의 군집 구조, 종다양성, 개체수를 비교하는 방식으로 수행하였으며, 향후 조사 연차가 쌓인 뒤에는 연도별 비교 분석도 진행할 예정이다. 먼저 채집된 곤충 종이 조사지에 어떤 구성으로 나타났는지 시각화하기 위해 Sankey diagram을 활용하였다. 이때 개체수가 가장 많이 출현한 나무좀아과 한 종은 제외하였다.

군집 분석에서는 조사지, 복원 방법, 조사 시기를 설명변수로 하여 군집 간의 유사성 혹은 거리(Bray-Curtis distance)를 계산하고,[20] 이를 기반으로 비모수 다차원 척도법(Non-metric Multidimensional Scaling, NMDS)을 수행하였다. 통계적으로 유의한 차이가 있는지는 PERMANOVA(Permutational Multivariate Analysis of Variance)로 검토하였으며,[21] 유의성이 나타날 경우($p<0.05$) 자연림·자연복원지·인공복원지 간의 차이를 구체적으로 확인하기 위해 pairwise 사후검정을 실시하였다. 말레이즈 트랩은 반복수가 부족했기 때문에 유의성 검정에서는 미끼 트랩과 함정 트랩에 채집된 개체들만 활용하였다. 또한 희귀종의 과도한 영향을 줄이고 개체수 차이가 큰 우점종의 영향을 완화하기 위해 fourth square-root transformation 후 Wisconsin double standardization으로 개체수를 변환하여 분석에 활용하였다. 종수와 개체수가 상대적으로 많은 주요 분류군에 대해서는 별도로 각각 군집 분석을 실시하였다.

종다양성은 두 조사 시기의 자료를 자연림·자연복원지·인공복원지로 통합하여 종다양성 지수(Shannon-Wiener, Simpson, Chao1)를 계산하고, 이를 활용해 복원 방법 간 차이를 비교하였다. Shannon-Wiener 지수와 Simpson 지수는 종 풍부도와 균등도를 모두 고려한 지표로, Shannon-Wiener 지수는 희귀종에, Simpson 지수는 우점도에 가중치를 준다.[22] Chao1 지수는 희귀종의 출현 빈도를 바탕으로 잠재적인 종 풍부도를 추정하는 지표다.[23] 종 풍부도와 개체수도 동일한 방법으로 복원 방법 간 차이를 확인하였으며, 여기에 추가로 beta dispersion을 활용해 조사지 간 군집 구성의 이질성 정도를 비교하였다.[24]

20 Bray, J.R. & Curtis, J.T. (1957). An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. Ecological Monographs, 27(4), 325-349.

21 Anderson, M.J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. Austral Ecology, 26(1), 32-46.

22 Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal, 27(3), 379-423; Simpson, E.H. (1949). Measurement of Diversity. Nature, 163(4148), 688.

23 Chao, A. (1984). Nonparametric Estimation of the Number of Classes in a Population. Scandinavian Journal of Statistics, 11(4), 265-270.

24 Anderson, M.J. (2006). Distance-Based Tests for Homogeneity of Multivariate Dispersions. Biometrics, 62(1), 245-253.

위 지표들이 조사지별로 유의미한 차이를 보이는지 검토할 때, 말레이즈 트랩 결과는 반복수가 부족했기 때문에 유의성 검토에서 제외하였다. 자료의 분포 특성을 먼저 검토한 후, 정규분포하는 경우 분산분석(ANOVA)을, 그렇지 않을 경우 Kruskal-Wallis 검정을 활용하였고, 유의한 차이를 보이는 경우 사후검정(post-hoc test)을 실시하였다. 마지막으로 조사지 간 공간적 거리에 따른 자기상관의 영향을 검토하기 위해 Moran's I를 이용해 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)을 분석하였다.[25]

모든 분석은 R 프로그램을 활용하여 수행하였다.[26] Sankey diagram은 ggalluvial 패키지를,[27] 군집 간 거리 계산과 PERMANOVA, Shannon·Simpson 종다양성 계산에는 vegan 패키지와 pairwiseAdonis 패키지를,[28] Chao1 종다양성 계산에는 iNEXT 패키지를,[29] 공간적 자기상관성 분석에는 ape 패키지를 활용하였다.[30]

2. 확인 종 목록 및 특기 종

403종 141,827개체

1차년도 조사를 통해 403종 141,827개체의 곤충이 채집되었다. 이 중 딱정벌레목(Coleoptera)이 176종 137,061개체로 종 수와 개체수가 모두 가장 많았으며, 다음으로 파리목(Diptera, 131종 2,834개체), 벌목(Hymenoptera, 46종 1,301개체), 메뚜기목(Orthoptera, 25종 475개체) 순으로 확인되었다. 복원 방법별로는 자연림에서 230종 4,923개체, 인공복원지에서 150종 48,331개체, 자연복원지에서 198종 88,573개체가 확인되었다.

[표 14] 고운사 사찰림 자연복원 모니터링 1차년도 조사 출현종 및 개체수

목(目)	자연림		인공복원		자연복원		종합	
	종 풍부도	개체수	종 풍부도	개체수	종 풍부도	개체수	종 풍부도	개체수
바퀴목 (Blattodea)	2	20	2	29	2	24	2	73
딱정벌레목 (Coleoptera)	108	3,802	72	46,916	72	86,343	176	137,061

25 Moran, P.A.P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. Biometrika, 37(1/2), 17-23.

26 R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

27 Brunson, J.C. & Read, Q.D. (2026). ggalluvial: Alluvial Plots in 'ggplot2' (R package version 0.12.6).

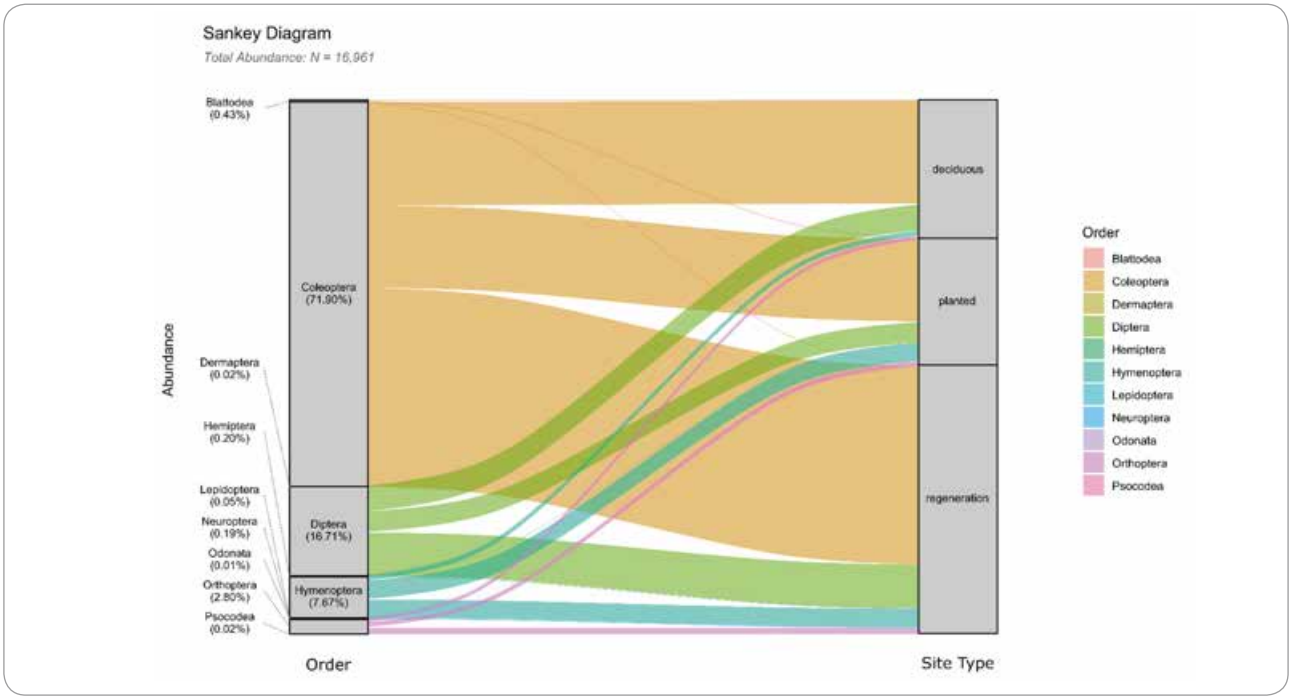
28 Oksanen, J. et al. (2024). vegan: Community Ecology Package; Martinez Arbizu, P. (2020). pairwiseAdonis: Pairwise multilevel comparison using adonis.

29 Hsieh, T.C., Ma, K.H. & Chao, A. (2024). iNEXT: Interpolation and Extrapolation for Species Diversity.

30 Paradis, E. & Schliep, K. (2019). ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. Bioinformatics, 35(3), 526-528.

목(目)	자연림		인공복원		자연복원		종합	
	종 풍부도	개체수	종 풍부도	개체수	종 풍부도	개체수	종 풍부도	개체수
집게벌레목 (Dermaptera)	1	4	-	-	-	-	1	4
파리목 (Diptera)	72	813	42	641	79	1,380	131	2,834
노린재목 (Hemiptera)	6	8	2	11	5	15	12	34
벌목 (Hymenoptera)	25	150	18	576	27	575	46	1,301
나비목 (Lepidoptera)	3	5	2	2	1	2	6	9
풀잠자리목 (Neuroptera)	-	-	2	2	2	30	2	32
잠자리목 (Odonata)	-	-	-	-	1	1	1	1
메뚜기목 (Orthoptera)	13	121	10	154	8	200	25	475
다듬이벌레목 (Psocodea)	-	-	-	-	1	3	1	3
합계	230	4,923	150	48,331	198	88,573	403	141,827

[그림 37] 곤충 목(目)별로 출현한 지역의 개체수를 나타낸 Sankey diagram



딱정벌레목 나무좀아과 한 종은 개체수가 10,000개체 이상이었기 때문에 제외하였다.

나무좀이 만든 숫자

개체수 규모는 특정 분류군 하나가 좌우했다. 개체수가 가장 많았던 나무좀아과(Scolytinae) 종들은 인공복원지와 자연복원지 전체 개체수의 각각 92.5%, 93.2%를 차지하였다. 나무좀은 산불로 그을려 약해진 나무를 파고들어 번식하는 천공성 곤충으로, 죽어가는 목재를 분해 경로로 되돌리는 역할을 한다. 자연복원지에서는 나무좀아과 한 종(Scolytinae spp1)만으로 80,034개체가 채집되었다. 반면 산불 피해가 없었던 자연림에서 나무좀아과가 차지한 비중은 전체 개체수의 18.4%에 그쳤다.

특기 종 — 멸종위기종과 산불 지표종

출현한 곤충 중 멸종위기 야생생물로 등재된 종은 멸종위기 야생생물 Ⅱ급 애기뿔소똥구리(Copris tripartitus Waterhouse, 1875) 1종이었으며, 자연림을 비롯한 모든 복원 유형에서 발견되었다(자연림 20개체, 인공복원지 11개체, 자연복원지 41개체). 애기뿔소똥구리를 포함한 소똥구리(분식성 딱정벌레)는 포유류의 분변을 먹이자원으로 삼아 땅속으로 되돌리는 분해자다.

또한 산불 피해 이후 발생하는 것으로 알려진 침엽수비단벌레(Melanophila acuminata (DeGeer, 1774))가 자연복원지(고운사)에서 5개체 확인되었다. 이 종은 산불 과정에서 발생하는 적외선과 연기를 감지해 산불피해지로 이동하는 습성을 가지고 있다.

확인된 곤충 전체 403종 가운데 10개체 이상 출현한 종과 특기 종을 정리하면 다음과 같다. 여기 수록한 97종이 전체 채집 개체수의 99.5%를 차지하며, 여기서 빠진 306종은 대부분 1~5개체만 확인되었거나 종 수준까지 동정되지 않은 형태종이다(합계 689개체, 전체의 0.5%). 403종 전체 목록은 원 보고서에 수록되어 있다. 종별 개체수는 2025년 10월과 2026년 4월 두 차례 조사의 합계이며, '-'는 해당 유형에서 채집되지 않았음을 뜻한다.

[표 15] 주요 출현 곤충 종 목록

국명	학명	자연림	인공복원	자연복원
바퀴목 Blattodea·수록 1종 (전체 2종 73개체)				
산바퀴	Blattella nipponica Asahina, 1963	18	26	20
딱정벌레목 Coleoptera·수록 46종 (전체 176종 137,061개체)				
Biphyllus sp1	Biphyllus sp1	-	2	16
Chilothorax punctatus	Chilothorax punctatus (Waterhouse, 1875)	12	-	-
Epuraea sp1	Epuraea sp1	11	1	1

국명	학명	자연림	인공복원	자연복원
Synuchus spp	Synuchus spp	1,274	16	49
검정무늬밑빠진벌레	Epuraea ocularis Fairmaire, 1849	25	-	4
검정수시렁이	Dermestes tessellatocollis Motschulsky, 1860	-	26	-
검정혹가슴소똥풍뎅이	Onthophagus (Gibbonthophagus) atripennis Waterhouse, 1875	12	8	2
고려소똥풍뎅이	Onthophagus koryoensis Kim, 1985	6	8	-
곡식쑤시기과 sp1	Cryptophagidae sp1	11	1	3
곰보송장벌레	Thanatophilus rugosus Linnaeus, 1758	-	47	-
긴허리머리대장	Placonotus modestus (Say, 1827)	-	14	18
길쭉벌레아과 sp1	Colydiinae sp1	-	5	5
꼬마곰보소똥풍뎅이	Onthophagus punctator Reitter, 1893	26	4	4
꽃알벌레과 sp1	Phalacridae sp1	7	-	4
나무좀아과 sp12	Scolytinae sp12	115	-	1
나무좀아과 sp2	Scolytinae sp2	44	83	293
나무좀아과 sp8	Scolytinae sp8	16	5	28
나무좀아과 sp9	Scolytinae sp9	1	5	5
나무좀아과 spp1	Scolytinae spp1	529	44,303	80,034
나무좀아과 spp2	Scolytinae spp2	199	293	2,200
넉점박이송장벌레	Nicrophorus quadripunctatus Kraatz, 1877	10	-	2
네눈반날개아과 sp1	Omaliinae sp1	12	-	-
대유동방아벌레	Agrypnus argillaceus (Solsky, 1871)	27	-	-
두점박이먼지벌레	Planetes puncticeps Andrewes, 1919	-	6	5
둥근가시벌레과 sp1	Byrrhidae sp1	9	1	1
레나아드우단풍뎅이	Maladera (Maladera) renardi (Ballion, 1871)	36	-	-
모가슴소똥풍뎅이	Onthophagus (Phanaeomorphus) fodiens Waterhouse, 1875	505	47	59
무당벌레	Harmonia axyridis (Pallas, 1773)	-	-	14
바수염반날개아과 sp8	Aleocharinae sp8	18	-	6
바수염반날개아과 spp	Aleocharinae spp	5	5	20
소요산소똥풍뎅이	Onthophagus japonicus Harold, 1874	537	423	401
솔곰보바구미	Hylobius (Callirus) haroldi Faust, 1882	4	4	23
솔흰점박이바구미	Shirahoshizo rufescens (Roelofs, 1875)	-	1	13
알락소바구미	Opanthribus tessellatus (Boheman, 1829)	-	15	20
애기뿔소똥구리	Copris tripartitus Waterhouse, 1875	20	11	41

국명	학명	자연림	인공복원	자연복원
애송장벌레아과 spp	Cholevinae spp	121	9	91
왕바구미	Sipalinus gigas Fabricius, 1775	-	15	17
우리딱정벌레	Eucarabus sternbergi sternbergi Roeschke, 1898	13	-	1
이마무늬송장벌레	Nicrophorus maculifrons Kraatz, 1877	28	1	7
작은꼬마소똥구리	Caccobius brevis Waterhouse, 1875	-	12	5
작은모래거저리	Opatrum subaratum Faldermann, 1835	-	39	-
제주거저리	Blindus strigosus Faldermann, 1835	1	16	-
줄주둥이바구미아과 sp1	Entiminae sp1	16	-	1
침엽수비단벌레	Melanophila acuminata (DeGeer, 1774)	-	-	5
허리머리대장과 sp1	Laemophloeidae sp1	2	1,287	2,800
허리머리대장과 sp2	Laemophloeidae sp2	1	138	74
파리목 Diptera·수록 33종 (전체 131종 2,834개체)				
Euxesta notata	Euxesta notata (Wiedemann, 1830)	-	17	17
가시날개파리과 sp1	Heleomyzidae sp1	12	1	2
가시날개파리과 sp2	Heleomyzidae sp2	9	-	1
검정날개버섯파리과 spp	Sciaridae spp	62	68	31
고려꽃등에	Paragus (Pandasyopthalmus) haemorrhous Meigen, 1822	1	18	7
곰보날개왕애기각다귀	Libnotes (Libnotes) puella	27	3	2
기생파리과 spp	Tachinidae spp	7	-	3
기생파리아과 sp1	Dexiosoma caninum (Fabricius, 1781)	19	4	11
긴다리파리과 sp1	Strongylopthalmyia raricornis Shatalkin, 1981	-	19	-
깜장파리과 sp2	Lonchaeidae sp2	-	13	-
꼬마검정파리	Pollenia japonica Kano and Shinonaga, 1966	-	-	243
꼭지파리속 sp1	Sepsis sp1	-	98	-
꽃파리과 spp	Anthomyiidae spp	5	31	66
나방파리과 spp	Psychodidae spp	19	7	8
노랑굴파리과 spp	Chloropidae spp	5	35	189
노랑털집파리	Dichaetomyia bibax (Wiedemann, 1830)	-	8	4
등기생파리아과 spp	Exoristinae spp	73	-	20
띠기생파리족 sp1	Vibrissina sp1	-	-	10
버섯파리과 spp	Mycetophilidae spp	84	27	40
벼룩파리과 spp	Phoridae spp	161	49	348

국명	학명	자연림	인공복원	자연복원
쉬파리과 spp	Sarcophaga spp	2	3	6
주홍가슴검정날개버섯파리	Sciara thoracica Matsumura, 1916	21	-	-
집파리과 spp	Muscidae spp	72	30	51
초록허리꽃등에	Chalcosyrphus (Xylotomima) nemorum (Fabricius, 1805)	-	5	5
초파리과 spp	Drosophilidae spp	42	125	127
춤파리과 spp	Empis spp	45	2	8
큰날개파리과 sp1	Lauxaniidae sp1	-	4	32
큰날개파리과 sp2	Lauxaniidae sp2	7	9	-
털파리과 spp	Bibionidae spp	8	1	1
풀기생파리족 sp1	Pales sp1	-	-	15
풀기생파리족 sp2	Goniini sp2	7	-	8
호리꽃등에	Episyrphus (Episyrphus) balteatus (De Geer, 1776)	12	13	20
혹파리과 spp	Cecidomyiidae spp	14	11	2
노린재목 Hemiptera·수록 2종 (전체 12종 34개체)				
땅별노린재	Pyrrhocoris sibiricus Kuschakewitsch, 1866	-	10	-
흰솜털검정장님노린재	Charagochilus angusticollis Linnavuori, 1961	-	-	11
벌목 Hymenoptera·수록 11종 (전체 46종 1,301개체)				
고동털개미	Lasius japonicus Santschi, 1941	-	8	97
곰개미	Formica japonica Motschoulsky, 1866	-	9	16
그물등개미	Pristomyrmex punctatus (Smith, 1860)	1	19	-
극동혹개미	Pheidole fervida Smith, 1874	13	-	32
땅벌	Vespula flaviceps (Smith, 1870)	2	1	8
스미드개미	Nylanderia flavipes (Smith, 1874)	16	125	265
일본열마디개미	Solenopsis japonica Wheeler, 1928	-	22	2
일본왕개미	Camponotus japonicus Mayr, 1866	69	116	68
일본장다리개미	Aphaenogaster japonica Forel, 1911	20	9	28
주름개미	Tetramorium tsushimae Emery, 1925	-	243	2
흑개미	Formica fusca Linnaeus, 1758	-	7	26
풀잠자리목 Neuroptera·수록 1종 (전체 2종 32개체)				
산뱀잠자리붙이	Hemerobius humulinus Linnaeus, 1758	-	1	28
메뚜기목 Orthoptera·수록 3종 (전체 25종 475개체)				
극동귀뚜라미	Velarifictorus (Velarifictorus) micado (Saussure, 1877)	-	55	47

국명	학명	자연림	인공복원	자연복원
꼽등이	Tachycines (Tachycines) coreanus Yamasaki, 1969	11	-	1
알락귀뚜라미속	Loxoblemmus spp.	85	90	142
수록 97종 소계		4,602	48,193	88,343

10개체 이상 출현한 종 및 특기 종(애기뿔소똥구리·침엽수비단벌레). 전체 403종 141,827개체 중 97종 141,138개체(99.5%)를 수록하였다. 전체 목록은 원 보고서 참조.

3. 복원 유형에 따른 곤충 군집의 차이

군집 구조 — 목(目) 수준에서만 갈린다

전체 곤충 군집을 대상으로 분석한 결과, 복원 방법에 따른 군집구조의 유의한 차이는 확인되지 않았다(그림 38b; p=0.243). 그러나 목(目)별로 나누어 분석해 보았을 때, 파리목(p=0.018)과 메뚜기목(p=0.048)에서만 유의한 차이가 확인되었다(표 16). 사후검정 결과, 두 분류군 모두 자연림과 인공복원지 간 군집구조에서 유의한 차이가 나타났다(파리목 p=0.008, 메뚜기목 p=0.011; 표 17). 파리목에서는 자연복원지와 인공복원지 간에도 차이가 나타나는 경향이 있었으나 통계적으로 유의하지는 않았다(p=0.058).

[표 16] 복원 방법에 따른 곤충 군집의 차이를 PERMANOVA로 확인한 결과

Group	Df	SumOfSqs	R^2	F	Pr(>F)	
baitfall, pitfall & all Orders	2	0.9014	0.06570	1.1602	0.243	
	33	12.8186	0.93430			
	35	13.7199	1.00000			
baitfall, pitfall & Coleoptera	2	0.9345	0.06687	1.1824	0.223	
	33	13.0405	0.93313			
	35	13.9750	1.00000			
baitfall, pitfall & Diptera	2	0.8331	0.23818	2.0322	0.018	*
	13	2.6647	0.76182			
	15	3.4979	1.00000			
baitfall, pitfall & Hymenoptera	2	0.7960	0.13667	1.1873	0.220	
	15	5.0281	0.86333			
	17	5.8241	1.00000			
baitfall, pitfall & Orthoptera	2	1.2396	0.21039	1.7319	0.048	*
	13	4.6522	0.78961			
	15	5.8918	1.00000			

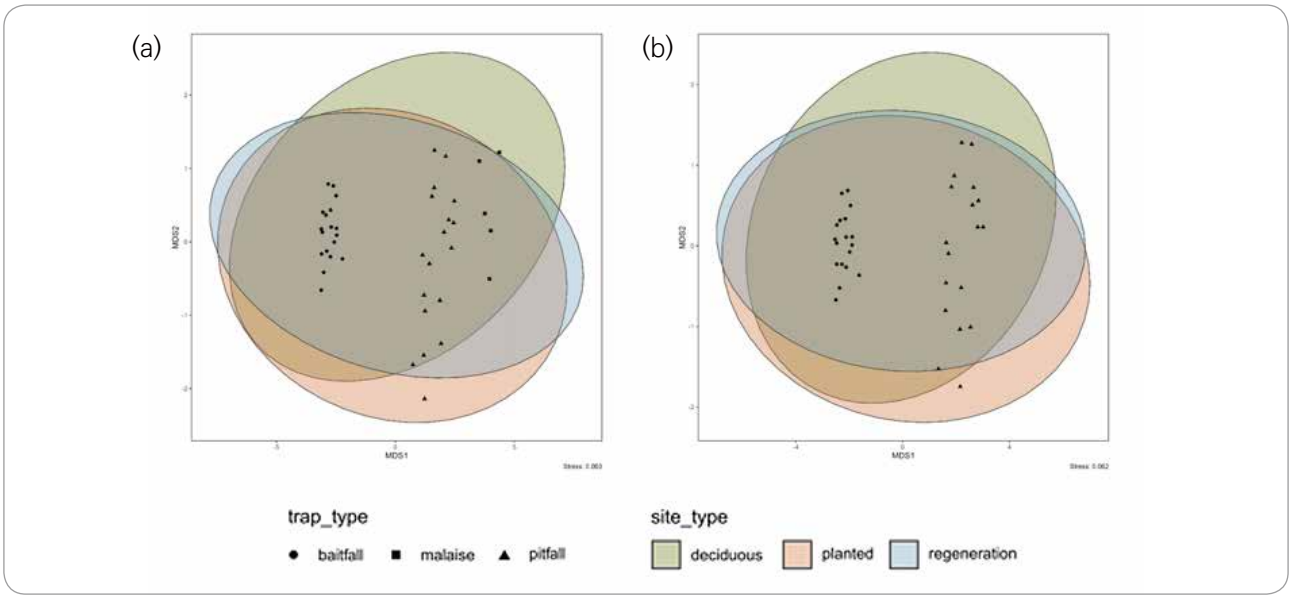
유의수준: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, + p<0.1

[표 17] PERMANOVA에서 유의한 결과를 나타낸 파리목·메뚜기목에 대한 pairwise 사후검정 결과

Group	Site type	Df	SumOfSqs	R^2	F	Pr(>F)	
baitfall, pitfall & Diptera	자연복원 vs 인공복원	1	0.4153	0.18041	1.9811	0.058	+
		9	1.8868	0.81959			
		10	2.3021	1.00000			
	자연복원 vs 자연림	1	0.2605	0.12009	1.2283	0.275	
		9	1.9084	0.87991			
		10	2.1688	1.00000			
	인공복원 vs 자연림	1	0.5897	0.27762	3.0745	0.008	**
		8	1.5344	0.72238			
		9	2.1241	1.00000			
baitfall, pitfall & Orthoptera	자연복원 vs 인공복원	1	0.3587	0.10741	0.9627	0.451	
		8	2.9808	0.89259			
		9	3.3395	1.00000			
	자연복원 vs 자연림	1	0.4679	0.12175	1.2477	0.268	
		9	3.3753	0.87825			
		10	3.8432	1.00000			
	인공복원 vs 자연림	1	1.0090	0.25497	3.0801	0.011	*
		9	2.9483	0.74503			
		10	3.9573	1.00000			

유의수준: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, + p<0.1

[그림 38] 본 조사에 출현한 곤충 종 구성을 비모수 다차원 척도법(NMDS)으로 나타낸 그림



(a) 모든 트랩에 채집된 개체, (b) 미끼 트랩과 함정 트랩에 채집된 개체. Deciduous는 자연림, planted는 인공복원지, regeneration은 자연복원지를 의미한다.

종다양성 — 자연림이 높고, 개체수는 자연복원지가 많다

말레이즈 트랩의 종다양성 분석에서는 통계적 유의성을 검정하지 못했지만, 자연림에서 종 풍부도와 종다양성이 상대적으로 높게 나타났으며 개체수는 자연복원지에서 상대적으로 높게 나타났다(그림 39 a). 미끼 트랩과 함정 트랩의 경우에는 충분한 반복수를 확보하였기 때문에 유의성 검정을 실시하였으며, Shannon-Wiener 다양성 지수와 Simpson 다양성 지수는 자연림에서 유의하게 높게 나타났고 개체수는 자연복원지에서 유의하게 높게 나타났다(그림 39 b). 한편 종 풍부도와 Chao1 다양성 지수, beta dispersion은 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 자연림에서 상대적으로 높은 값을 보였다(그림 39 b).

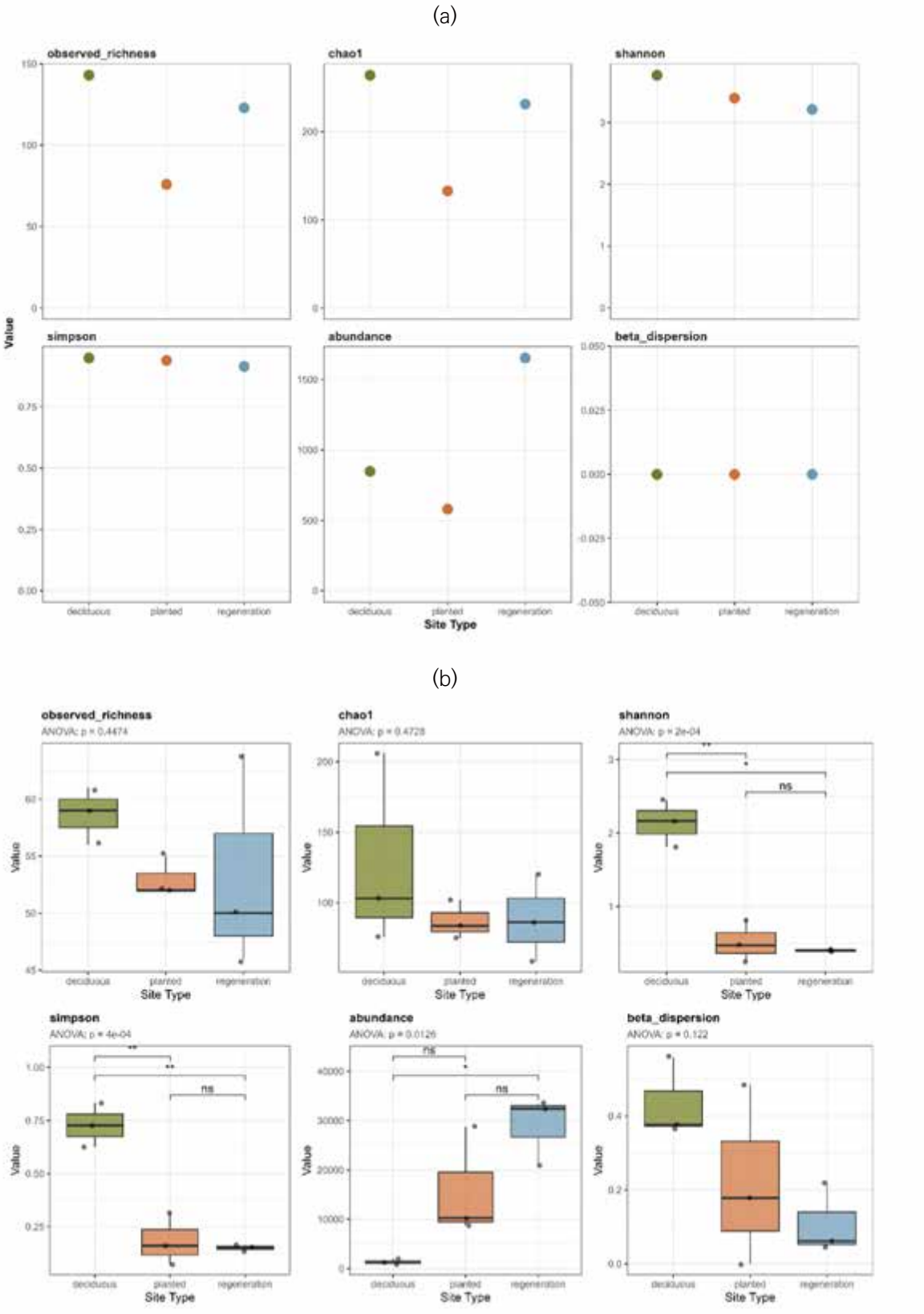
조사지 간 공간적 거리에 따른 자기상관은 확인되지 않아, 위 차이가 조사지의 지리적 인접성에서 비롯된 것이 아님을 확인하였다(표 18).

[표 18] 종다양성 지수에 대한 공간적 자기상관성 검토 결과

metric	Moran's I	p	자기상관
observed_richness	−0.2830	0.2146	없음
chao1	−0.0317	0.4939	없음
shannon	−0.3059	0.2151	없음
simpson	−0.2497	0.3931	없음
abundance	−0.1372	0.9313	없음
beta_dispersion	−0.0889	0.7987	없음

종다양성 지수는 조사 지점의 공간적 배치와 연관성이 없는 것으로 나타났다.

[그림 39] 말레이즈 트랩(a)과 미끼 트랩·함정 트랩(b)에 채집된 곤충들의 복원방법에 따른 종다양성



종 풍부도, 세 가지 종다양성 지수, 개체수 및 beta dispersion 값을 나타낸 box plot. 'ns'는 유의하지 않음을, '**'는 p<0.01로 유의함을 의미한다.

4. 산불 피해지 곤충상 천이의 생태학적 맥락

본 연구는 산불피해 이후 자연복원지에서 나타나는 곤충 군집의 초기 상태를 파악하고, 자연복원지와 인공복원지 및 산불피해가 없었던 자연림의 곤충 군집을 비교함으로써 향후 산불피해지의 복원 및 관리 방향을 설정하기 위한 기초자료를 마련하고자 수행하였다. 1차년도 조사에서는 총 403종 141,827개체의 곤충이 확인되었으며, 복원 유형에 따라 종다양성·개체수 및 일부 분류군의 군집구조에서 차이가 나타났다. 그러나 자연복원지와 인공복원지 간에는 전체 곤충 군집 수준에서 뚜렷한 차이가 확인되지 않아, 현재 시점에서 두 복원 방법의 생태적 효과를 직접적으로 비교하기에는 한계가 있었다.

자연복원지와 인공복원지 모두 특정 분류군이 대량 발생하면서 전체 개체수가 크게 증가하였지만, 종다양성과 균등도는 자연림에 비해 상대적으로 낮았다. 이는 특정 종이 우점하는 교란지에서 나타나는 군집 특성과 유사하다.[31] 특히 복원지에서는 약해진 수목을 자원으로 삼는 나무좀아과 종들이 우점하고 있었기 때문에, 산불피해지의 초기 생태계를 보여주고 있는 것으로 판단된다. 북미에서 진행된 연구에서는 산불로부터 2년이 지난 뒤 나무좀의 개체수가 다시 줄어든 것으로 보고되었는데,[32] 본 산불피해지에서도 향후 산불로 형성된 자원의 감소와 함께 나무좀의 개체수가 감소할 가능성이 있으며, 이러한 변화가 실제로 관찰된다면 산불 이후 천이가 진행되고 있음을 보여주는 하나의 지표가 될 수 있을 것이다.

자연복원지에서는 산불과 밀접한 관련이 있는 종인 침엽수비단벌레가 출현하였다. 침엽수비단벌레는 산불 과정에서 발생하는 적외선과 연기를 감지해 산불피해지로 이동하는 습성을 가지고 있다.[33] 개체수는 매우 적었지만 침엽수비단벌레가 발견되었다는 것은 산불로 형성된 자원이 아직 조사지에 남아 있으며, 산불 이후 초기 천이 단계의 특성이 일부 유지되고 있음을 시사한다.

31 Hong et al. (2025) — 앞의 주 17 참조; Sutton, G.F. et al. (2023). Anthropogenic disturbance affects specialist, but not generalist, endophagous insects associated with two African grasses. Biocontrol Science and Technology, 33(11), 1051-1064; Liao, Z. et al. (2024). Elevation and Human Disturbance Interactively Influence the Patterns of Insect Diversity on the Southeastern Periphery of the Tibetan Plateau. Insects, 15(9), 669; Nichols, E. et al. (2007). Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation. Biological Conservation, 137(1), 1-19; Rivera, J.D. et al. (2023). Beyond species loss: How anthropogenic disturbances drive functional and phylogenetic homogenization of Neotropical dung beetles. Science of The Total Environment, 869, 161663.

32 Palmer, J.F., Coyle, D.R., Heaton, W.C., Nowak, J.T. & Hartshorn, J.A. (2024). Response of Ips bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) to prescribed fire in South Carolina. Forest Ecology and Management, 561, 121870.

33 Schmitz, H. & Schmitz, A. (2010). Thermoreception: Invertebrates. In M.D. Breed & J. Moore (Eds.), Encyclopedia of Animal Behavior (pp. 401-408). Oxford: Academic Press; Sowards, L.A. et al. (2001). Characterization of Beetle Melanophila acuminata (Coleoptera: Buprestidae) Infrared Pit Organs. Annals of the Entomological Society of America, 94(5), 686-694.

또한 멸종위기 야생생물 Ⅱ급 애기뿔소똥구리를 비롯한 분식성 딱정벌레(소똥구리)가 확인되었다. 소똥구리는 포유류의 분변을 먹이자원으로 활용하는데,[34] 이 곤충들이 발견되었다는 것은 산불 이후에도 이들이 이용할 수 있는 분변 자원이 존재하고 있고 이러한 생태적 상호작용이 유지되고 있음을 시사한다. 다만 특정 곤충의 출현만으로 생태계 전체의 회복을 판단하기는 어려우므로, 향후 다른 생물군 및 환경요인과 함께 지속적으로 관찰할 필요가 있다.

군집 구조 분석에서는 전체 곤충을 대상으로 했을 때 자연림·자연복원지·인공복원지 간 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 목(目) 수준으로 구분했을 때 파리목과 메뚜기목에서 차이가 확인되었다. 이는 파리목과 메뚜기목 곤충이 산불 이후 복원 과정에 따른 환경 변화를 반영하고 있을 가능성을 보여준다. 파리목 곤충은 다양한 생태적 지위를 가지고 있기 때문에 산불 천이과정에 따라 군집의 변화가 나타날 수 있고,[35] 메뚜기목 곤충은 지표면의 식생 및 토양 환경의 영향을 크게 받으므로 산불로 인한 지표면·토양 환경의 변화가 산란 및 초기 생활사에 영향을 주었을 가능성이 있다.[36] 본 결과는 모든 곤충 분류군이 산불 피해에 동일하게 반응하지 않고 분류군 혹은 생태적 특성에 따라 상이하다는 것을 시사한다.[37] 아울러 본 조사에서 종 수와 개체수가 가장 많았던 딱정벌레목은 다양한 생태적 지위를 가진 분류군을 포함하고 있기 때문에, 전체 딱정벌레목을 하나의 군집으로 분석할 경우 하위 분류군의 상이한 반응이 서로 상쇄될 가능성이 있다. 따라서 향후에는 과(科) 또는 생태적 기능 수준으로 세분화하여 분석할 필요가 있다.

1차년도 조사에서는 자연림과 산불피해지 사이에서 종다양성 및 일부 분류군의 군집 구조에 차이가 나타났지만, 자연복원지와 인공복원지 사이에서는 뚜렷한 차이가 확인되지 않았다. 이는 두 복원지가 모두 산불 이후 초기 천이 단계에 있어 복원 방법에 따른 차이가 아직 충분히 분화되지 않았기 때문일 가능성이 있다. 따라서 현재 결과만으로 두 복원 방법의 우수성을 판단하기보다는, 이번 조사를 복원 이후 변화 양상을 비교하기 위한 초기 기준선(baseline)으로 활용하는 것이 적절하다.

향후 인공복원지와 자연복원지가 어떻게 변화해 가는지 확인하기 위해서는 동일한 조사지에서 장기적인 모니터링을 실시하여 종다양성 및 군집 구조의 변화를 추적해야

34 Hanski, I. & Cambefort, Y. (Eds.) (1991). Dung Beetle Ecology. Princeton, NJ: Princeton University Press.

35 Thompson et al. (2022) — 앞의 주 15 참조.

36 Branson, D.H. & Vermeire, L.T. (2007). Grasshopper egg mortality mediated by oviposition tactics and fire intensity. Ecological Entomology, 32(1), 128-134.

37 Bieber et al. (2023) — 앞의 주 11 참조; Thompson et al. (2022) — 앞의 주 15 참조.

한다.[38] 이러한 장기 자료를 활용한다면 보다 신뢰성 있고 견고한 연구 결과를 도출할 수 있을 것이며,[39] 과학적 근거에 기반한 산불피해지의 복원 및 관리 정책 수립에 기여할 수 있을 것이다. 또한 향후 복원 및 관리 정책이 시행된 이후 실제 복원 효과와 관리 수준을 평가할 수 있는 사후 모니터링 기준을 마련하는 데에도 도움이 될 수 있을 것이다.[40]

38 Moretti et al. (2006) — 앞의 주 11 참조.

39 Didham, R.K. et al. (2020). Interpreting insect declines: seven challenges and a way forward. Insect Conservation and Diversity, 13(2), 103-114.

40 The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017). Effective Monitoring to Evaluate Ecological Restoration in the Gulf of Mexico. Washington, DC: The National Academies Press; Lindenmayer, D.B., Lavery, T. & Scheele, B.C. (2022). Why We Need to Invest in Large-Scale, Long-Term Monitoring Programs in Landscape Ecology and Conservation Biology. Current Landscape Ecology Reports, 7(4), 137-146.

부록

- 시민과학자 조사 결과

부록 – 시민과학자 조사 결과

전문 연구진의 조사에 더해, 그린피스·안동환경운동연합·불교환경연대는 함께 시민들이 직접 사찰림에 들어가 회복의 과정을 눈으로 확인하고 손으로 기록하는 '고운사 사찰림 자연복원 시민과학자' 활동을 전개하였으며, 그 과정과 결과를 이 부록에 담았다. 전문 연구진의 연구 데이터에 더하여 시민들이 현장에서 발견한 변화와 그 과정에서 느낀 생각이 기록된 자료다.



1. 시민과학자들이 고운사 숲을 찾았다

지난해 봄, 예상치 못한 산불은 천년고찰 고운사를 품은 울창한 숲에 깊은 상처를 남겼다. 검게 그을린 나무와 잿더미만 남았던 그 자리에 다시 생명의 기운이 움트기 시작했고, 이 회복의 과정을 곁에서 지켜보고 기록하기 위해 시민들이 모였다. 큰불이 났을 때는 모두가 주목하지만, 일단 불이 꺼지고 나면 그 이후의 이야기는 좀처럼 들리지 않는다. 시민과학자 활동은 바로 그 '이후'를, 회복이 시작되는 첫 1년을 시민의 눈높이에서 함께 확인하고 남기기 위한 프로젝트다.



활동은 2026년 3월 14일 고운사 강당에서 열린 발대식으로 시작됐다. 전국 각지에서 모인 시민과학자 40여 명과 관계자·전문가 약 15명이 참석했으며, 식생·조류 자연복원 현황 강의와 시민 조사 방법 교육, 산행 안전 교육이 이어졌다. 참가자들은 이날 배운 방법을 바탕으로 4월부터 6월까지 매월 1회 사찰림 현장에 올라 조사를 진행했으며, 관심과 체력에 따라 식생팀과 조류팀으로 나뉘어 활동했다.

전문가들이 진행한 연구가 '숲이 얼마나, 어떻게 회복되는가'를 탐구한다면, 시민과학자 활동은 그 회복을 '누가, 어떤 마음으로 지켜보는가'를 기록한다는 데 뜻이 있다. 누군가 세심하게 관찰하고 기록하지 않으면 알아챌 수 없는 숲의 변화와 그에 대한 사람의 반응을 시민들이 직접 참여하여 관찰하고 남긴 결과다.



2. 시민과학자들이 발견한 숲의 주요 변화

시민과학자들은 4월에서 6월까지 매달 사찰림을 찾아 식생과 조류를 조사하고, 짝꿍나무의 변화를 반복 관찰했다. 현장에서 생물을 발견하면 시민과학 플랫폼 네이처링에 사진과 위치정보(GPS)를 등록해 언제, 어디서 어떤 생물을 관찰했는지 기록했다. 세 차례의 현장 방문을 통해 네이처링에 총 369개의 관찰 기록과 142종의 생물 관찰 기록을 남겼다. 이렇게 현장에서 직접 관찰하고 기록을 남기며, 산불 이후 숲에서 나타나는 변화를 시민의 눈으로 따라갔다.

다시 자라기 시작한 식물들 (식생팀)

식생 분야를 이끈 이규송 교수(강원대학교 생명과학과)의 지도 아래 시민과학자들은 방형구를 설치하고, 그 안에서 자라는 식물의 종류와 땅을 덮고 있는 정도를 기록했다.

처음에는 낯설었던 조사 방법도 활동을 거듭하면서 조금씩 익숙해졌다. 같은 장소를 다시 찾아 식물의 종류와 자라는 모습을 살펴보며 산불 이후 숲이 어떻게 달라지고 있는지 직접 관찰했다.

시민과학자들의 식생 관찰 기록:

- 4월 조사 — 사찰림 내 총 90종의 식물 관찰·기록 / 산불 피해지에서 새롭게 돋아나는 식물 확인
- 5월 조사 — 팀별 방형구 조사 및 출현종·피도등급 야장 기록 / 4월에 비해 맹아와 초본류가 늘어나며 녹색으로 채워지는 모습 관찰
- 6월 조사 — 무성해진 수풀 사이 3개 방형구 반복 조사 / 식물의 성장과 변화 확인









숲으로 돌아온 새들의 소리를 듣다 (조류팀)

조류 분야를 이끈 기경석 교수(상지대학교 조경산림학과)는 '생물 음향 지표'를 활용해, 새들이 돌아와 지저귄다는 것은 숲이 생명체가 살 수 있는 서식지로서 건강함을 되찾기 시작했다는 가장 확실한 신호라고 설명했다. 실제로 2025년 9월부터 11월까지 진행된 음향 조사에서 총 26종의 새가 862회에 걸쳐 확인되었다.

시민과학자들도 전문가와 함께 숲을 걸으며 새의 모습을 찾고 소리에 귀를 기울였다. 쌍안경으로 숲 곳곳을 살피고 울음소리를 들으며 어떤 새들이 다시 이 숲을 찾고있는지 직접 관찰하고 기록했다.

시민과학자들의 조류 관찰 기록:

- 4월 조사 — 한 차례 조사에서 18종 41개체의 조류를 발견.
- 5월 조사 — 19종 55개체를 발견(먹이 먹고 목욕하는 되지빠귀를 오래 관찰).
- 6월 조사 — 14종 59개체를 발견(박새·때까치류 등, 새 둥지, 새가 부리에 먹이를 문 장면 관찰).

짝꿍나무를 통해 조사한 내용

'짝꿍나무'는 시민과학자가 사찰림 안에서 나무 한 그루를 자신의 '짝꿍'으로 정하고, 조사 때마다 같은 나무의 변화를 이어서 기록하는 방법이다. 넓은 숲의 회복을 한눈에 담기는 어렵지만, 한 그루를 꾸준히 지켜보면 잎이 돋고 가지가 자라는 작은 변화를 직접 확인할 수 있다. 단 한 명의 기록일지라도, 그 나무의 이야기가 곧 숲 전체의 회복을 보여 주는 창이 된다.





시민과학자들은 짝꿍나무의 키와 잎, 가지의 상태를 살펴보고 함께 기록했다. 4월 90cm였던 나무는 5월 2.5m까지 자랐고, 잎과 가지의 상태도 뚜렷하게 달라졌다. 불에 탄 줄기 아래에서 돋아난 맹아가 한 달 사이 눈에 띄게 굵어진 모습도 함께 기록되었다.

한 참가자는 프로젝트 전체에서 가장 기억에 남는 순간으로 "짝꿍나무를 정하고 한 달 만에 많이 자란 모습을 보았을 때"를 꼽았다. 짝꿍나무 관찰 기록은 데이터인 동시에, 시민과 숲이 맺은 가장 개인적인 관계의 기록이기도 했다.

3. 시민과학자들의 목소리

각자의 이유로 시작된 마음은, 이제 하나의 기록으로 이어졌다. 시민과학자들이 발대식과 조사 현장에서 남긴 말들은 이 프로젝트가 무엇을 남겼는지를 데이터보다 더 선명하게 보여 준다.

숲으로 모인 이유

> "큰불이 났을 때는 모두가 주목하지만, 그 이후에는 관심이 사라지잖아요. 자연이 어떻게 회복되는지 알아야 한다고 생각했습니다." — 김래영 시민과학자
>
> "같은 산불 피해를 입은 산청 주민으로서, 다른 지역의 상처는 어떻게 회복이 되고 있는지, 그 회복 과정에서 사람들은 어떤 역할을 하고 있는지 확인하고 싶었습니다. 여기서 배운 것들이 저희 지역에 꼭 보탬이 되었으면 좋겠습니다." — 김은영 시민과학자(산청 주민)
>
> "환경과학자를 꿈꾸는 고등학생으로서, 책으로 이론만 배우기보다, 실제 현장의 생태계와 복원 과정을 눈에 담고 싶었습니다. 실제로 보니 자연이 이렇게까지 파괴될 수 있구나 생각했어요." — 공서윤 시민과학자(고등학생)
>
> "언론 기사로 볼 때와는 전혀 다르더라고요. 중요한 순간에 내가 함께하고 있다는 느낌이 들었어요." — 홍정인 시민과학자

조사를 마치며 — 시민과학자들이 다시 쓴 문장

조사가 거듭될수록 참가자들의 문장은 짧고 단단해졌다. 검게 탄 줄기 아래에서 녹빛 맹아가 돋고 그 위로 파란 하늘이 열리는 장면 앞에서, 많은 이들이 같은 결론에 이르렀다. 자연은 그저 두면 스스로 회복한다는 것이다.

"스스로, 저절로 회복하면 더욱더 건강해집니다. 심지어 비용도 전혀 들지 않아요!" — 윤수현 시민과학자

"역시 인간이 건드리지 않은 자연이 건강하다. 전에는 인간이 복원을 돕는 쪽이 좋지 않을까 생각했는데, 이번 조사를 계기로 인공 개입은 최소한으로만 하고 조사는 지속적으로 하는 것이 좋다는 결론을 배워 간다." — 이은진 시민과학자

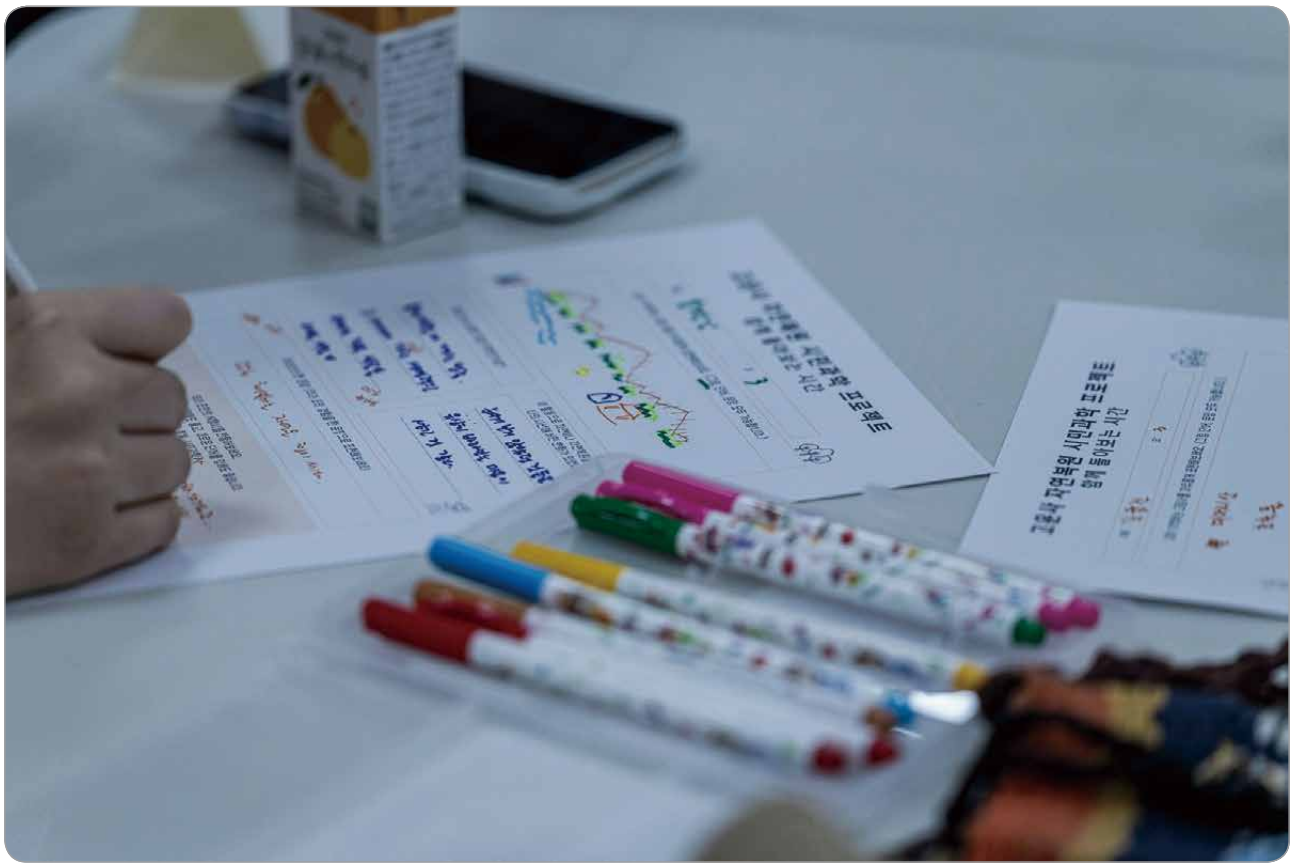
"불탄 줄기 아래로 녹빛 맹아, 위로는 파란 하늘." — 이은진 시민과학자 — '가장 기억에 남는 순간'

"나의 정체성이 '자연 회복의 목격자'로 변화했다. (방관자 → 목격자)" — 윤수현 시민과학자

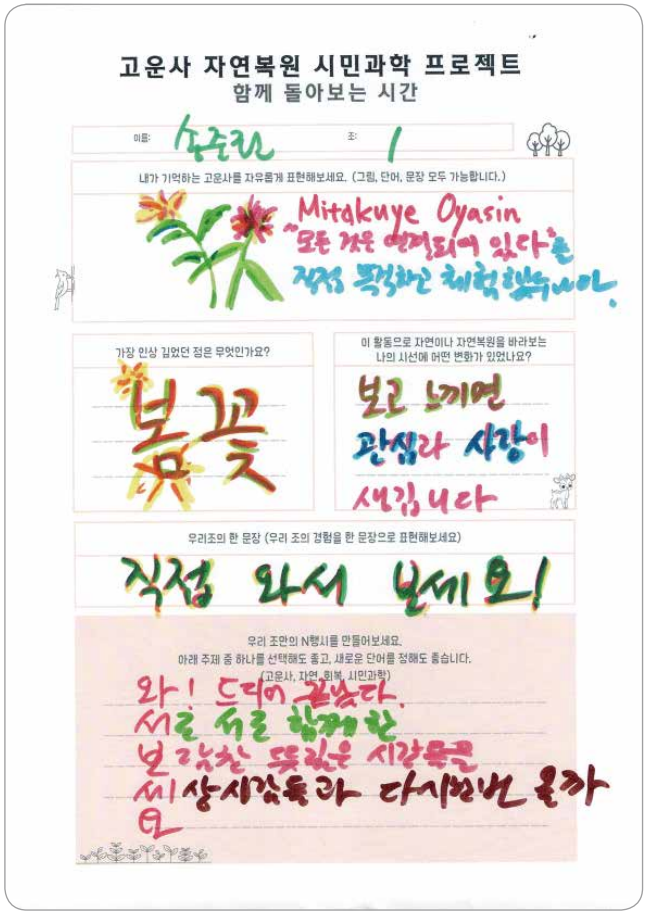
"내비둬~ 자연은 힘이 세다!" — 서옥림 시민과학자 — '자연복원을 한마디로 설명한다면'

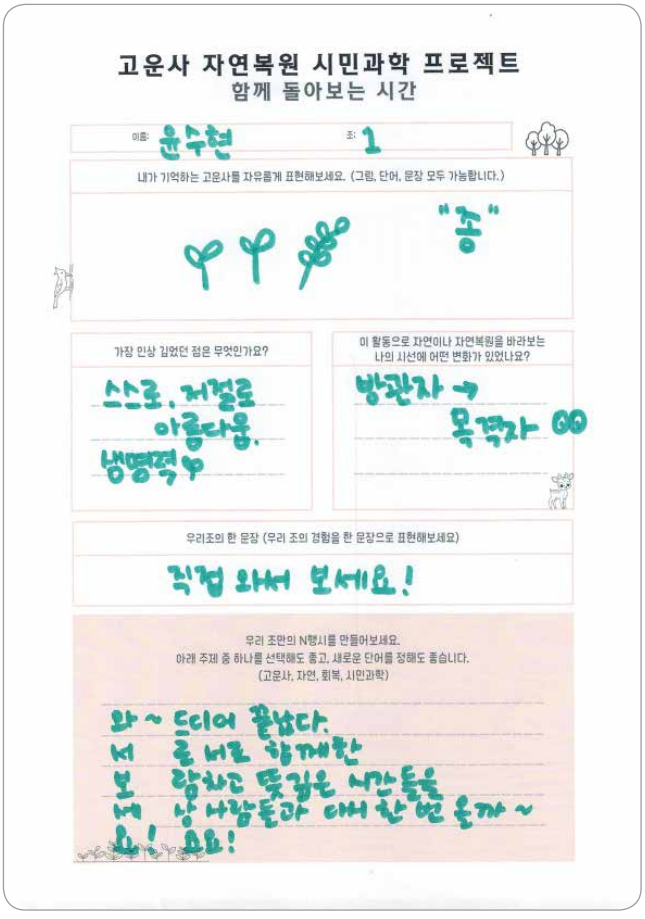
'참나무'를 주제로 지은 삼행시에는 이 마음이 압축돼 있다. "참지 못하고 왔어! / 나는 고운사 사찰림의 시민과학자! / 무심 무지한 인공 복원, 이제 그만!" — 참가자 이은진

현장의 사진




우리 조가 함께한 3개월은
이었습니다.


고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간
이름: 송준호 조: 1
내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)
Mitakuye Oyasin
"모든 것은 연결되어 있다"를
직접 확인한 체험활동이었다.
가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?
이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는
나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?
보고 느끼면
관심과 사랑이
생깁니다
우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)
직접 와서 보세요!
우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)
와! 드디어 끝났다.
서로 서로 함께한
보람찬 뜻깊은 시간들은
세상사람들과 다시한번 온까요


고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간
이름: 윤수현 조: 1
내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)
"숲"
가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?
스스로, 저절로
아름다움.
생명력♥
이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는
나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?
방관자 → 목격자 ◎◎
우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)
직접 와서 보세요!
우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)
와~ 드디어 끝났다.
서 로 서로 함께한
보 람차고 뜻깊은 시간들을
세 상 사람들과 다시 한 번 온까~
요! 요!

고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간

이름: 최 수빈 조: 1

내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)

Stay — 머물고 싶은 곳.

가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?

비전문가 일반 시민들의 참여.

이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는 나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?

자연은 자연 그대로

우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)

그 대 로.

우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)

회 심
복 구

고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간

이름: 경덕수 조: 1

내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)



가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?

폐허 속에서도 다시 살아나는 생명들의 경이로움을 몸소 느낄 수 있었던 점.

이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는 나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?

한두 부분을 인공적으로 복원하는 개발 방식이 더욱 맞지 않다는 생각이 생김.

우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)

직접 가서 보세요.

우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)

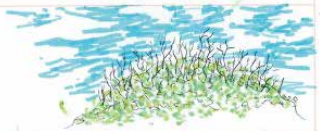
와 ~ 드디어 끝났다
서로서로 함께한
보람차고 뜻깊은 시간들을
세상 사람들과 다시한번 온까
요 ~ ?

고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간

이름: 이은지 조: 2

내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)

인상적인 점은 이끼에 뒤덮혀도 안쓰럽고 황량한 고목이었는데 새 자연스럽게 회복되고 있는 모습이 정말 극적이었다.



가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?

점에 난 줄기 아래로 보라색이 꾹꾹 눌러온 청나래 엠마 x ∞

이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는 나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?

자연복원에 어떻게 이루어지는지 아예도 몰랐는데, 생각만 앞서 되지않고 손으로 직접 자라는 것을 보며 감동. 최고!

우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)

모니터링 영화자. 계속 하자. 주말 데까지 해.
(이어령)

우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)

참 : 회복하고 왔어!
나도 고운사 시민과학자! (feat. 식생조사)
무 : 심목지는 인공복원 이제 그만!!

고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간

이름: M 국형 조: 2조

내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)

눈 버린 맵.

깨깽깽풀. 노란할미새. 털두꺼비하늘. 모람목. 백선. 참매까지. 산리뱀초메새.

가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?

빠른 회복

만들지 않은 날것

이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는 나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?

더 알아보고 싶다.

재미 있다.

우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)

우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)

고. 고목이 봄에도 새싹이 돋아나는
운. 은 경에 변한 땅따먹기와 다른 동지에
N. 사[redacted]가 살고 있네요.
랑스런 동네

고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간

이름: 이자안 조: 2.

내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)



가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?

이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는 나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?

우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)

시민과학자 프렌즈? // 포레스터

우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)

시: 고:
민: 운:
과: 사:

고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간

이름: 김하현 조: 2조

내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)



가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?

생명체는 물에 적응의 놀라운 유동과 새로움이 풍성하여 자연 과정.

이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는 나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?

자연복원의 목표는 평소의 생동이 활발한 상태에 가까게 됨.

우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)

또 오자!

우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)

쉬는 것으로 뜻이다.
딱딱거리며 나무 구멍을 통로 박쥐들에게
따뜻 그 속에
구멍들을 생태적 먹이를 돌보 구멍 서
다음을 대비 딱딱딱딱.

자연은!
연결이다!
생명을 돌보다.
우리선에 결정 나무결
다양한 사람은 생명은 다양한 종을

고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간

이름: 홍정인 조: 3

내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)



가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?

불탄나무들과 깨진 병조.
그 사이에서 꿋꿋히 서있던 자라나는 작은 식물들
키미를 세로♥

이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는 나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?

늘게 보지 않았던 것들을 유심히 바라보는 마음이 생긴 것 같다.

우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)

스스로 회복하는 자연을 지켜 세다.

우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)

고: 고운사에 방문하다.
운: 물들어가는 계절에 시간을 보내어.
사: 산책을?
자: 자연은 넓고 아름다워.
연: 연두색을 갖추게 어우러져.
회: 회복이 필요하구나.
복: 복원이 필요하구나?

시: 시간은 흐르고 있었고.
민: 인간은 자연을 파괴하는 존재이지만
과: 과학적 지식을 가지고
학: 학생들이 자연을 지켜 세대로 '보이 되길 바라.
스스로 회복하는

고운사 자연복원 시민과학 프로젝트
함께 돌아보는 시간

이름: 유재림 조: 3

내가 기억하는 고운사를 자유롭게 표현해보세요. (그림, 단어, 문장 모두 가능합니다.)



가장 인상 깊었던 점은 무엇인가요?

불탄 고목과 크른 곤충(?)의 대비. 식물의 빠른 성장.
대단한 식생

이 활동으로 자연이나 자연복원을 바라보는 나의 시선에 어떤 변화가 있었나요?

자연의 리질적이 바른구나.
순환하는 자연.
자연복원 정책이 큰 의미가 있는 것 같다.

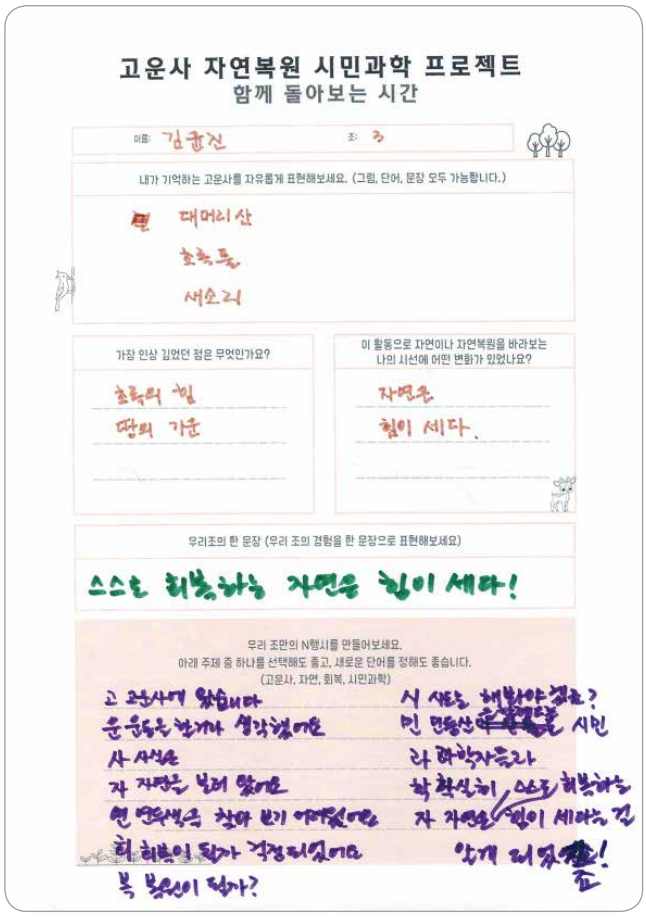
우리조의 한 문장 (우리 조의 경험을 한 문장으로 표현해보세요)

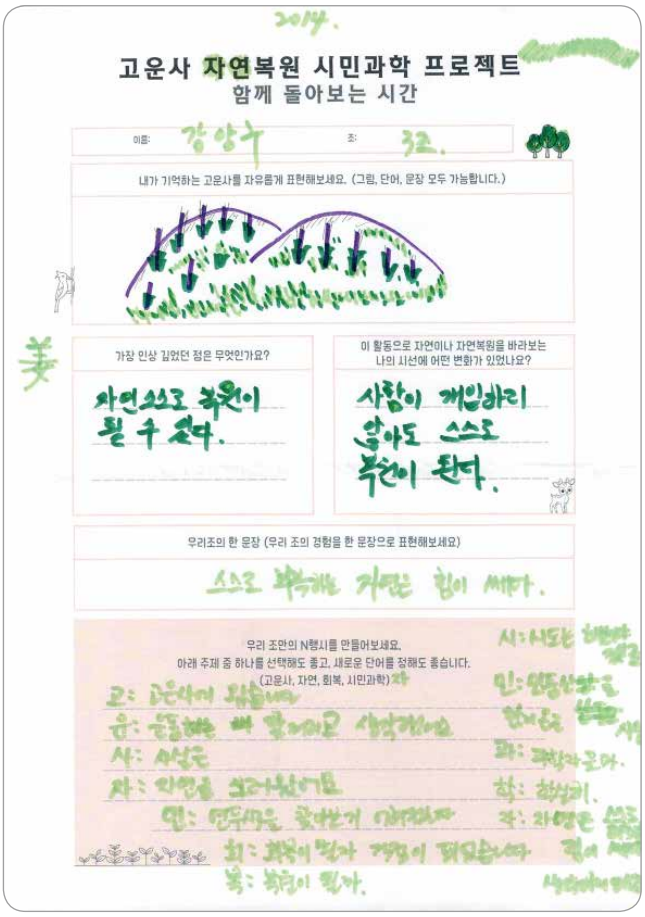
강하다. 힘이 세다. 스스로 극복. 스스로 회복하는 자연은 힘이 세다.

우리 조만의 N행시를 만들어보세요.
아래 주제 중 하나를 선택해도 좋고, 새로운 단어를 정해도 좋습니다.
(고운사, 자연, 회복, 시민과학)

고 운사에 방문하다.
운 동을 하러 생각하며
사 실은
자 연을 보러 왔으며
연 두은 참 예쁘게 어우러졌습니다.
회 복이 필요한 곳이 되었기에

복 원이 잘까?
시 간도 해보아야겠고
민 간인들 함께모은 시민과학으로
과 학지식을
학 생들이
자연은 힘이 세다는 것 알기 위해서
스스로 회복하는





4. 숲의 회복을 함께 기록한 사람들

숲의 위대한 변화는 하루아침에 일어나지 않는다. 작은 변화가 쌓여가는 과정을 누군가가 계속 바라보고 기록할 때, 비로소 숲이 어떻게 회복되고 있는지 알 수 있다.

2026년 봄, 시민과학자들은 전문가들과 함께 고운사 숲을 반복해서 찾으며 산불 이후 이어지는 숲의 시간을 함께 지켜봤다. 그리고 이 활동을 계기로 하여 앞으로도 숲의 회복을 관심 있게 지켜볼 사람들이 되었다. 숲의 변화를 함께 지켜보고 증명해 나간 이들의 이름을 여기에 남긴다. 여러분의 이름 한 줄이 숲의 역사를 완성한다.

시민과학자

강승미	강양구	고영미	공서윤	김경희	김덕수	김동한	김래영	김성애
김영란	김예숙	김윤진	김은영	김현희	김혜경	김혜경	김혜련	박영순
박은주	박진성	박춘성	서한나	송승현	안연희	양태주	오창준	윤수현
이은진	이재희	이현숙	장정희	전상원	정숙자	조수현	조자영	주길영
채수헌	최순덕	최은지	홍정인					

고운사 자연복원 모니터링을 후원해 주신 분들

간은균, 강경아, 강나연, 강동원, 강동호, 강민주, 강병민, 강보현, 강분연, 강선영, 강수민, 강수진, 강순희, 강신숙, 강애심, 강연희, 강영화, 강영희, 강요주, 강유경, 강윤정, 강은제, 강이정, 강지숙, 강지연, 강태욱, 강태호, 강현우, 강혜진, 강희영, 경호연, 계영희, 고미자, 고수연, 고승현, 고연금, 고영숙, 고영철, 고유겸, 고유신, 고은경, 고은미, 고은영, 고재민, 고정현, 고태훈, 고하나, 고혜은, 고혜정, 공효, 곽소윤, 곽예람, 곽은송, 곽의정, 구달서, 구미영, 구유경, 구자경, 구행숙, 권계영, 권기명, 권다현, 권명숙, 권서구, 권애현, 권영미, 권영복, 권영진, 권예인, 권오한, 권용희, 권유정, 권은희, 권정희, 권주은, 권진우, 권혁란, 권혜란, 권혜숙, 권희순, 금광현, 김가영, 김가영, 김겸, 김경아, 김경옥, 김경희, 김경희, 김광복, 김광숙, 김규리, 김근희, 김금란, 김금옥, 김기대, 김기봉, 김기성, 김기숙, 김기은, 김길수, 김나경, 김남운, 김남은, 김노을, 김다혜, 김대겸, 김대성, 김대승, 김덕환, 김도연, 김도영, 김도윤, 김도희, 김동주, 김두선, 김명숙, 김명숙, 김명순, 김모세, 김미경, 김미경, 김미애, 김미애, 김미연, 김미영, 김미영, 김미영, 김미영, 김미정, 김미정, 김미혜, 김민경, 김민경, 김민교, 김민선, 김민선, 김민순, 김민영, 김민영, 김민정, 김민준, 김민지, 김민지, 김별이, 김병화, 김보경, 김보배, 김보영, 김보운, 김복선, 김봉덕, 김봉진, 김상대, 김상미, 김상미, 김상복, 김서진, 김선경, 김선애, 김선양, 김성경, 김성남, 김성민, 김성애, 김성주, 김성희, 김세은, 김세하, 김세환, 김소연, 김소연, 김소정, 김소현, 김소희, 김소희, 김송영, 김송현, 김수섭, 김수아, 김수연, 김수연, 김수운, 김수은, 김수인, 김수현, 김수현, 김숙영, 김숙영, 김순, 김승구, 김승배, 김승주, 김승희, 김시하, 김아름, 김양숙, 김양옥, 김언경, 김영, 김영길, 김영대, 김영모, 김영미, 김영미, 김영미, 김영민, 김영선, 김영선, 김영숙, 김영숙, 김영애, 김영욱, 김영임, 김영주, 김영준, 김영춘, 김영희, 김영희, 김영희, 김예원, 김예인, 김옥진, 김옥희, 김용미, 김우덕, 김우영, 김유강, 김유리, 김유림, 김유지, 김유진, 김윤경, 김윤산, 김윤아, 김윤주, 김윤지, 김은경, 김은미, 김은아, 김은영, 김은정, 김은진, 김은진, 김은혜, 김은화, 김은희, 김인숙, 김재승, 김재원, 김정도, 김정란, 김정미, 김정민, 김정숙, 김정숙, 김정숙, 김정욱, 김정운, 김정은, 김정의, 김정택, 김정하, 김정현, 김정현, 김정화, 김정화, 김정희, 김정희, 김정희, 김조우, 김종렬, 김종분, 김종순, 김종순(보연스님), 김종은, 김종태, 김종하, 김주은, 김주혜, 김지수, 김지숙, 김지아, 김지안, 김지양, 김지영, 김지유, 김지은, 김지은, 김지인, 김지현, 김지현, 김지현, 김지희, 김진미, 김진원, 김진철, 김진태, 김진형, 김용호, 김창희, 김채은, 김춘오, 김쾌수, 김태경, 김태섭, 김태완, 김태윤, 김태은, 김태자, 김태형, 김태훈, 김태희, 김하란, 김하얀, 김하영, 김하율, 김학동, 김학선, 김해경, 김해주, 김향중, 김헌기, 김현경, 김현경, 김현수, 김현숙, 김현숙, 김현주,

김현주, 김현철, 김형보, 김혜경, 김혜경, 김혜선, 김혜숙, 김혜숙, 김혜영, 김혜원, 김혜진, 김호식, 김화영, 김환민, 김희경, 김희경, 김희선, 김희진, 나미경, 나효원, 남경희, 남광호, 남미형, 남민경, 남수정, 남지완, 남찬양, 남화진, 남희성, 노경식, 노동욱, 노미래, 노선희, 도상윤, 도승연, 도형초, 류선희, 류수민, 류재향, 맹선영, 맹소현, 맹지은, 문강진, 문경, 문수정, 문용식, 문윤주, 문재훈, 문종순, 문주리, 문지선, 문향란, 민금란, 민명수, 민봉기, 민영진, 민은숙, 박건희, 박경란, 박경삼, 박경옥, 박경진, 박경화, 박경희, 박계영, 박기용, 박누리, 박라희, 박미경, 박미선, 박미정, 박미화, 박민석, 박민이, 박민지, 박병순, 박비아, 박비오, 박상진, 박서영, 박선아, 박선영, 박선희, 박성근, 박성민, 박성연, 박성호, 박성희, 박성희, 박세연, 박세인, 박세훈, 박소정, 박소현, 박수영, 박수홍, 박승철, 박시이, 박애란, 박애숙, 박영호, 박우근, 박윤만, 박은경, 박은경, 박은아, 박은영, 박은주, 박은하, 박은혜, 박이수, 박인숙, 박일권, 박일호, 박장번, 박재성, 박재숙, 박정순, 박정주, 박정하, 박종규, 박종빈, 박종영, 박종인, 박지선, 박지수, 박지숙, 박지영, 박지해, 박진아, 박진영, 박진주, 박진홍, 박진희, 박창혁, 박필원, 박해신, 박현미, 박현숙, 박현숙, 박현심, 박형진, 박혜경, 박혜상, 박혜숙, 박환조, 박효정, 박효진, 박후현, 박희서, 박희영, 박희호, 반현숙, 방명주, 방형찬, 배경미, 배경자, 배경희, 배문정, 배미숙, 배병록, 배병조, 배상선, 배은희 김종필, 배정미, 배종현, 배지은, 배지혜, 배현실, 배현정, 배호순, 백설애, 백송희, 백은정, 백지연, 백지연, 변공심, 변민석, 변소희, 변수연, 변융태, 변주원, 사현영, 서경아, 서동철, 서복안, 서상연, 서성원, 서영은, 서영철, 서유정, 서익교, 서준호, 서지혜, 서태희, 석인스님, 석현수, 석효림, 선우준, 설승희, 성계숙, 성명주, 성석환, 성선영, 성순애, 성우경, 성윤영, 성윤제, 성지원, 성현자, 세웅, 손미란, 손영자, 손영호, 손정민, 손정원, 손혁호, 송기동, 송명숙, 송미라, 송선미, 송선이, 송수연, 송영아, 송영호, 송유미, 송윤호, 송인동, 송인숙, 송임순, 송정숙, 송정순, 송주영, 송지희, 송창희, 송형근, 신상미, 신선미, 신숙영, 신승수, 신영선, 신유경, 신장호, 신재윤, 신태영, 신현희, 신혜원, 신효린, 신희순, 심경옥, 심다영, 심동우, 심숙경, 심영주, 심은정, 심정화, 심현, 심현정, 심혜정, 심홍주, 안명희, 안민, 안서현, 안성은, 안소영, 안소영, 안순란, 안연희, 안은영, 안재희, 안주경, 안진솔, 안치헌, 안희옥, 안희진, 양경화, 양동현, 양미현, 양선석, 양선영, 양소흔, 양승찬, 양승환, 양아름, 양연심, 양영희, 양은경, 양은준, 양정주, 양지수, 양혜은, 양효정, 양효진, 양희진, 어소담, 엄영노, 여현진, 염상열, 염아영, 염유진, 염혜진, 예은영, 오두리, 오명환, 오미연, 오미영, 오민경, 오세연, 오솔샘, 오영신, 오원경, 오유현, 오은영, 오인혜, 오하림, 오현숙, 옥경원, 왕나연, 우경아, 우민진, 우연희, 우지현, 우하나, 우해경, 원마니, 원유호, 원종민, 원희숙, 유경순, 유덕원, 유미, 유선화, 유선희, 유세찬, 유소연, 유수연, 유수진, 유승우, 유승희,

유시현, 유연재, 유연주, 유영훈, 유유미, 유육화, 유은옥, 유은채, 유재란, 유재영, 유정윤, 유지애, 유진미, 유철호, 유충식, 유현자, 유혜리, 육금이, 육승희, 육준우, 육청미, 육현주, 윤강로, 윤경희, 윤기덕, 윤나리, 윤동일, 윤문정, 윤미령, 윤민희, 윤아나, 윤양자, 윤영라, 윤영미, 윤은주, 윤은주, 윤익준, 윤정운, 윤정일, 윤정훈, 윤종성, 윤태석, 윤태순, 윤한나, 윤현아, 윤혜경, 윤혜민, 은미애, 이, 이강산, 이경국, 이경숙, 이경순, 이경연, 이경옥, 이경지, 이계승, 이계옥, 이곤지, 이관희, 이광민, 이규석, 이규연, 이근영, 이근우, 이금둘, 이기라, 이기만, 이기민, 이기수, 이기순, 이기엽, 이기호, 이기훈, 이나미, 이나윤, 이노수, 이동열, 이동욱, 이두희, 이명분, 이명숙, 이명숙, 이명재, 이명화, 이문희, 이미령, 이미애, 이미영, 이미옥, 이미정, 이미화, 이미희, 이민정, 이민정, 이민혁, 이병찬, 이병훈, 이상미, 이상민, 이상민, 이상빈, 이상옥, 이상운, 이상은, 이상현, 이상훈, 이서경, 이서희, 이선로, 이선미, 이선영, 이선영, 이선영, 이선정, 이선희, 이선희, 이성희, 이세영, 이소연, 이소영, 이소영, 이소현, 이송금, 이송현, 이수경, 이수돌, 이수명, 이수민, 이수정, 이수진, 이수진, 이순아, 이순옥, 이순재, 이순지, 이승자, 이시문, 이신우, 이에스더, 이연기, 이연수, 이연숙, 이연주, 이영미, 이영미, 이영숙, 이영옥, 이영주, 이영철, 이영혜, 이영호, 이영희, 이예분, 이원화, 이유빈, 이유진, 이윤동, 이윤영, 이윤정, 이은경, 이은경, 이은경, 이은경, 이은민, 이은영, 이은정, 이은정, 이은주, 이은주, 이은지, 이은형, 이은희, 이은희, 이의정, 이인묵, 이인선, 이인엽, 이일숙, 이재구, 이재용, 이재원, 이점애, 이정민, 이정석, 이정선, 이정순, 이정아, 이정욱, 이정원, 이정자, 이정주, 이정현, 이정현, 이정호, 이정화, 이정환, 이정희, 이종근, 이종역, 이주연, 이주연, 이주영, 이주옥, 이주현, 이주현, 이주희, 이준우, 이준호, 이지연, 이지영, 이지우, 이지원, 이지현, 이지홍, 이지후, 이지훈, 이진령, 이진원, 이진희, 이찬우, 이창우, 이채영, 이태환, 이하빈, 이한무, 이한영, 이해원, 이향주, 이향희, 이현숙, 이현주, 이형신, 이혜란, 이혜린, 이혜린, 이혜진, 이호자, 이호정, 이홍락, 이홍식, 이화정, 이훈구, 이희택, 임도화, 임묘진, 임미경, 임미자, 임선애, 임성숙, 임성호, 임성훈, 임소애, 임수진, 임수진, 임순화, 임승주, 임양신, 임연아, 임영미, 임영진, 임유경, 임은효, 임지혜, 임지효, 임채환, 임형미, 임혜미, 임호, 자세히, 장명주, 장명희, 장미애, 장봉수, 장소희, 장수진, 장수진, 장순우, 장연주, 장예림, 장옥신, 장유림, 장유진, 장윤정, 장은영, 장은정, 장인홍, 장인희, 장재필, 장정순, 장주영, 장준호, 장진영, 장호수, 장회영, 전경점, 전광수, 전근태, 전대영, 전명수, 전민경, 전민서, 전병문, 전소연, 전순화, 전시환, 전영미, 전윤호, 전은, 전은영, 전은영, 전제숙, 전주경, 전주미, 전지안, 전지연, 전혜림, 전혜순, 정기명, 정길수, 정다희, 정도환, 정명자, 정미향, 정미현, 정민정, 정상미, 정선영, 정세라, 정소연, 정소효, 정수빈, 정수영, 정수월, 정수현, 정순진, 정승원, 정신아, 정연옥, 정연욱, 정영은,

정영천, 정영희, 정옥분, 정유빈, 정유진, 정유진, 정윤성, 정윤희, 정윤희, 정윤희, 정은성, 정의정, 정인숙, 정인조, 정재웅, 정재헌, 정재희, 정정식, 정정인, 정제필, 정주영, 정준락, 정진영, 정해옥, 정헌택, 정현숙, 정현주, 정형숙, 정혜지, 정호진, 정홍주, 정희경, 제효원, 조경남, 조경수, 조경임, 조규용, 조남경, 조대현, 조동희, 조명옥, 조백훈, 조병구, 조상희, 조선기, 조선희, 조성귀, 조성환, 조성희, 조순희, 조슬기, 조영규, 조영숙, 조영희, 조용구, 조원란, 조유진, 조윤, 조윤예, 조윤정, 조은경, 조은연, 조은정, 조인숙, 조인주, 조인희, 조재연, 조정민, 조중태, 조지은, 조한걸, 조현숙, 조현아, 조현영, 조현주, 조형경, 조혜경, 조희연, 조희진, 좌경윤, 좌은경, 주경덕, 주성권, 주영미, 주영진, 주종두, 지은주, 진도희, 차성호, 차정미, 차정섭, 채장, 채종화, 천광주, 천도스님, 천민서, 천송이, 천영주, 천희정, 최경민, 최경숙, 최경희, 최경희, 최고은, 최광훈, 최규영, 최명운, 최미경, 최미정, 최미주, 최민선, 최병두, 최봉영, 최서정, 최선, 최성우, 최성자, 최수빈, 최순주, 최승욱, 최아영, 최여진, 최연아, 최영문, 최영주, 최예은, 최유진, 최윤경, 최윤서, 최윤성, 최은경, 최은미, 최은정, 최은정, 최은희, 최읍순, 최장군, 최정미, 최정민, 최정선, 최정순, 최정아, 최정환, 최정희, 최종영, 최종천, 최지윤, 최진배, 최진주, 최창학, 최태경, 최필선, 최하나, 최하진, 최향화, 최현자, 최현주, 최현철, 최형록, 최혜수, 최혜영, 최혜영, 최혜진, 최화영, 최훈선, 추경란, 추정우, 탁인선, 태성준, 표제현, 하다경, 하석민, 하선주, 하성환, 하수민, 하용삼, 하지영, 하춘실, 한금아, 한미라, 한미정, 한상준, 한숙원, 한승희, 한은희, 한의경, 한일구, 한주영, 한지혜, 한진희, 한혜원, 함경화, 함유경, 함화정, 허귀숙, 허보범, 허영애, 허은선, 허은정, 허인영, 허정회, 허지영, 현미숙, 홍경아, 홍다원, 홍명희, 홍미영, 홍미의, 홍배견, 홍상화, 홍선의, 홍성민, 홍수찬, 홍승일, 홍예원, 홍유실, 홍유진, 홍은희, 홍정아, 홍주영, 홍진숙, 황선희, 황성욱, 황성한, 황성화, 황수연, 황수영, 황숙진, 황순영, 황은아, 황이슬, 황인진, 황인진, 황정숙, 황정화, 황정희, 황지예, 황지인, 황철호, 황해수, 황혜선, 황효경, hyojinkim, Kim Eunice Ye Sung, Kyuwon Kim, Kyuwon Kim(김규원), Woohyun James Chun

후원해 주셔서 진심으로 감사합니다.