

제27호 2024
ISSN-1226-8321

산리환경



사단법인
한국산지환경연구회



(사)한국산지환경연구회 소개



설립목적

- ▶ 산림환경에 관련된 종합적인 조사·연구와 과학적인 산림자원 관리
- ▶ 산림정책 수립에 필요한 산림자원 통계생산 및 기본정보 제공으로 임업발전에 기여하며 사업을 통하여 취약계층에게 일자리를 제공하고 사회서비스를 확충하며 사회에 공헌함을 목적으로 함



주요활동

- ▶ 산림입지도양도(1:5000) 제작 사업
- ▶ 입상도(1:5000) 제작 및 현행화 구축 사업
- ▶ 소나무재선충병 예찰조사 사업
- ▶ 산림토양 이화학성 분석
- ▶ 양묘장 토양조사 및 관리방안 연구
- ▶ 임업관련기술 맞춤형 컨설팅 및 교육 서비스
- ▶ 산림경영계획(산림조사) 및 임목축적 조사·분석
- ▶ 산림수자원 유역시험지 토양조사 및 주제도 작성
- ▶ 산림토양 세분류 공동연구 및 연구시험지 토양조사
- ▶ 산지전용을 위한 산림 및 토양조사
- ▶ 임산물 재배적지 선정 연구 및 산양삼 생산적합성조사
- ▶ 산지재해 방지 및 환경영향 평가
- ▶ 산림생태환경조사 분석 및 평가
- ▶ 국내·외 임업기술 협력 및 정보교환



일반현황

- ▶ 기관명 : (사)한국산지환경연구회
- ▶ 회 장 : 변재경
- ▶ 연 혁
 - 1996. 8. 사단법인설립 산림청장 허가(115221-0001820)
 - 1996. 9. 임업서비스업 사업자등록(132-82-03732)
 - 2001. 3. 산림사업 법인등록(영림계획-산림청2001-5호)
 - 2011. 2. 소프트웨어사업자 신고(신고번호 B18-153360)
 - 2011. 3. 엔지니어링 활동주체 신고(신고번호 E-12-000210)
 - 2018. 7. 시험 검사 및 분석기관 등록
 - 2019. 3. 임업소득분야 전문교육기관 지정(산림청)
 - 2019. 8. 산림형 예비 사회적기업 지정(산림청)
 - 2019. 8. 초경량 비행장치 사용사업등록(서울지방항공청)
 - 2021. 2. 신사옥 이전(경기도 남양주시 별내동 지식산업센터)
 - 2021. 9. 농약 등의 약효·약해 시험연구기관 지정(농촌진흥청)
 - 2021.12. 대한민국 산림환경대상(사단법인 산림환경포럼)
 - 2022. 9. 사회적기업 인증(고용노동부)
 - 2023.10. 측량업(지도제작업)등록(국토지리정보원)
- ▶ 주소 : 경기도 남양주시 순화공로 272, 동광비즈타워 715호
- ▶ 전화번호 : 031)572-1678, 0063, 0127 팩스 : 031)572-7387
- ▶ 홈페이지 : <http://www.ksfer.or.kr> E-mail : ipji7387@hanmail.net

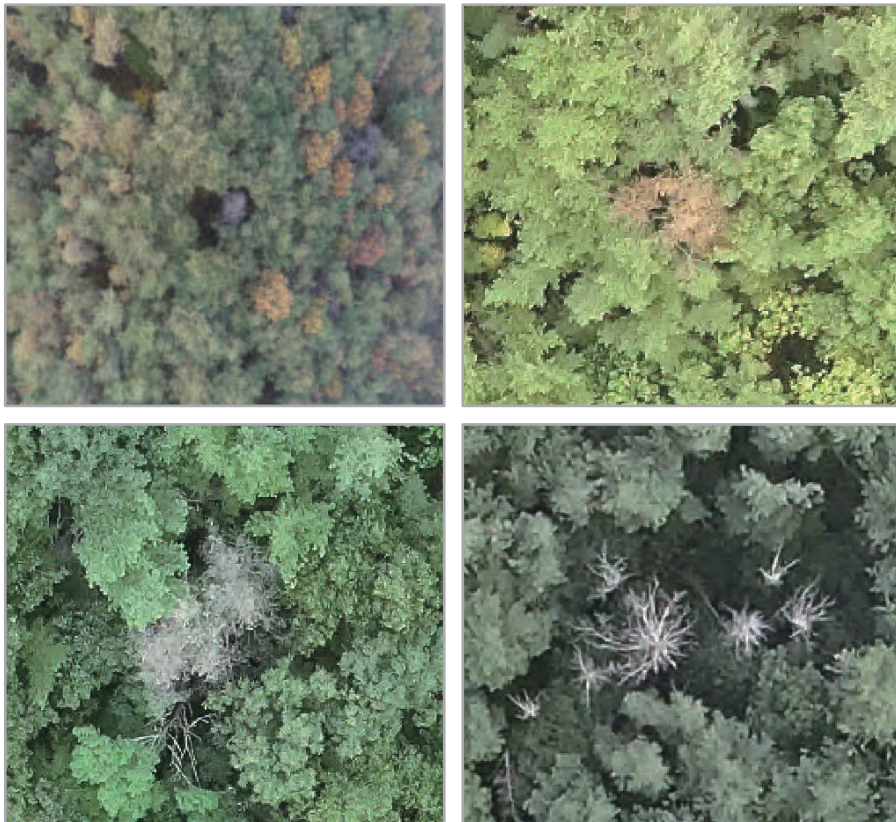
주요 사업실적

소나무재선충병 무인항공기 예찰조사(영상분석)	'20~'23 : 180만ha
2022년 산림공간정보 조사구축 품질관리	'22
임상도 정보변경 및 사전 조사	'22
시·군·구 산림해충 방제지원 시스템 구축 사업	'22~'23
산림입지도양도(1:5,000) 제작	'08~'21 : 1,962천ha(5,118도엽)
임상도(1:5,000) 현행화 구축 사업	'14~'21 : 자연(4,489도엽), 인위(19,894도엽)
국·사유양묘장 토양조사	'06~'22 : 42지역 (국유 29, 사유 15)
임산물소비촉진사업 임산물재배 전문과과정 교육	'21~'23
소나무재선충병 무인예찰조사 사업 품질평가	'19 : 8.8만ha
산양삼 종자공급단지 조성사업	'17 : 중부권역(충주)
산양삼 생산적합성조사 시료채취 및 생산과정 확인	'14~'18 : 생산적합성조사(1,633건) 및 생산과정확인(3,491건)
산림수자원 유역시험지 정밀산림입지도양도 제작	'16~'19 : 13개 유역시험지
수원함양림 입분 및 토양환경 실태조사	'17~'18 : 309개소
산사태 발생 우려지의 토양 및 환경특성 조사	'21 : 1,028개소
2050 탄소중립 관련 하천변(강천선) 숲 조성 자원량 용역	'21 : 24개소
우리나라의 주요 모암 및 해발고도별 산지적응이 강한 산양삼 품종 선발(연구개발과제)	'21~'22
산림공간정보 구축 효율화 및 개선방안 마련(토양시료분석)	'18~'19 : 산도(pH) 16,000점, 토성 10,650점
소나무 재선충병 선단지 무인기 예찰조사	'18 : 경기·강원도
소나무재선충병 무인기 예찰조사 사업 감리 품질평가 용역	'19 : 전국 88,000ha
산림치유자원조사 용역	'19 : 10개소 27개 지점
산지훼손 1차 일제조사 통계 불일치지역 현행화	'19 : 충청북도 673도엽
생활권 수목 생육기반환경 평가를 위한 토양조사	'19 : 서울숲공원
산림입지조사(1:25,000) 및 입지도 제작	'96~'02 : 2,899천ha
산림입지구획(항공사진 판독)	'96~'02 : 1,1162천ha
공원지역 토양조사(서울숲, 경남경마공원, 인천송도)	'09~'12 : 3지역
국유림 잡종재산 실태조사	'01~'02 : 2,877필지
국유림경영계획(산림조사)	'00~'13 : 299천ha
임상도(1:5000) 제작	'09~'12 : 1,051도엽
충국북경, 서부, 미얀마 중부지역 산림종합경영 시범사업 및 조림사업 PCM 용역	'00~'07 : 3지역
산림과학원 시험림(광릉, 제주) 토양조사 및 도면제작	'05~'07 : 2지역
DMZ지역 산림토양 및 산지이용실태조사	'05
녹색사업단 숲체험 교육사업	'14
광릉시험림 공간분포 및 산림토양 특성	'14
광릉시험림 정밀산림조사	'15
기타 연구 용역(산림 훼손지 실태 및 건강 모니터링 등)	'09~'12 : 16건

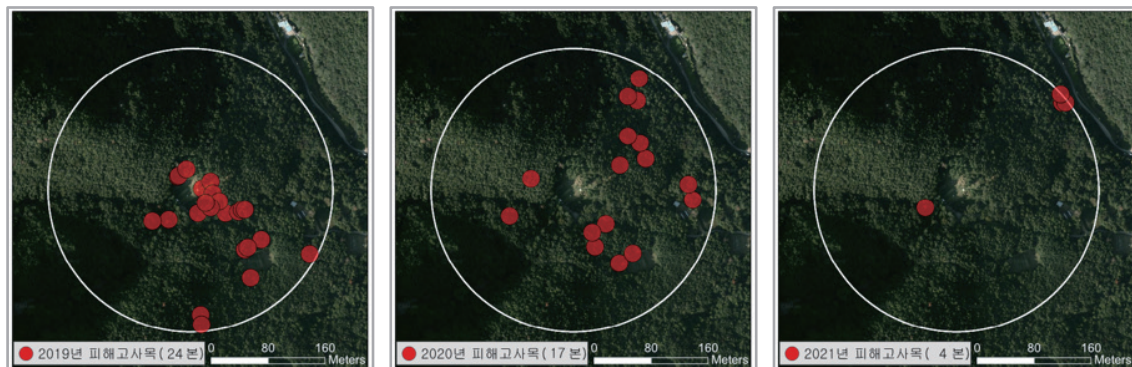


2023 한국산지환경연구회 주요활동

1. 2023년 소나무재선충병 무인항공기 예찰조사(영상분석)



2. 소나무재선충병 지역별 발생 현황 분석 및 주제도 제작



3. 2023년 소나무재선충병 무인항공기 예찰조사(2구역-송광) 용역



4. 조림 시험지 조성 관리 및 조림목 생육특성 조사

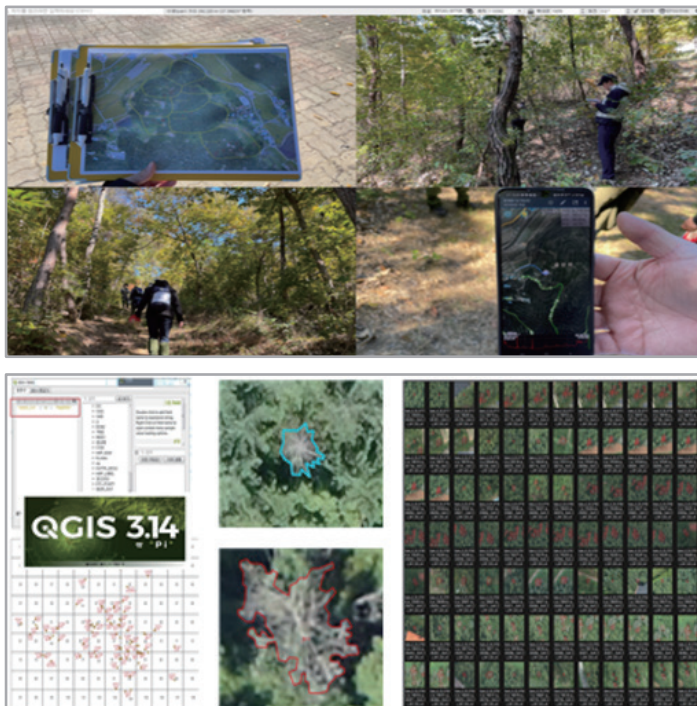




5. 전국 단위 현지조사를 통한 간벌 및 수확벌채가 산림탄소 저장에 미치는 영향 구명



6. AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축 사업



7. 2023년 국유양묘장(춘양, 서벽) 토양조사



8. 경상북도 울진군 산림복원 타당성 평가 토양조사



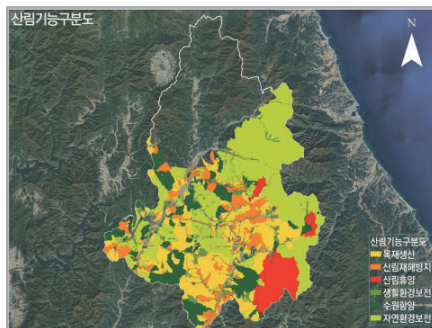
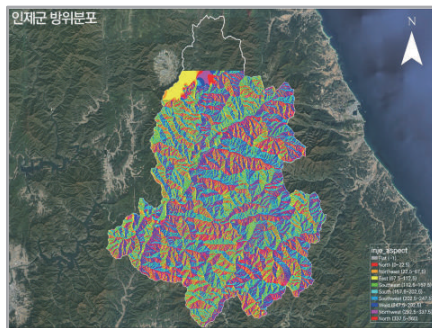


2023 한국산지환경연구회 주요활동

9. 담양 제2일반산업단지 정밀 산림토양조사 용역



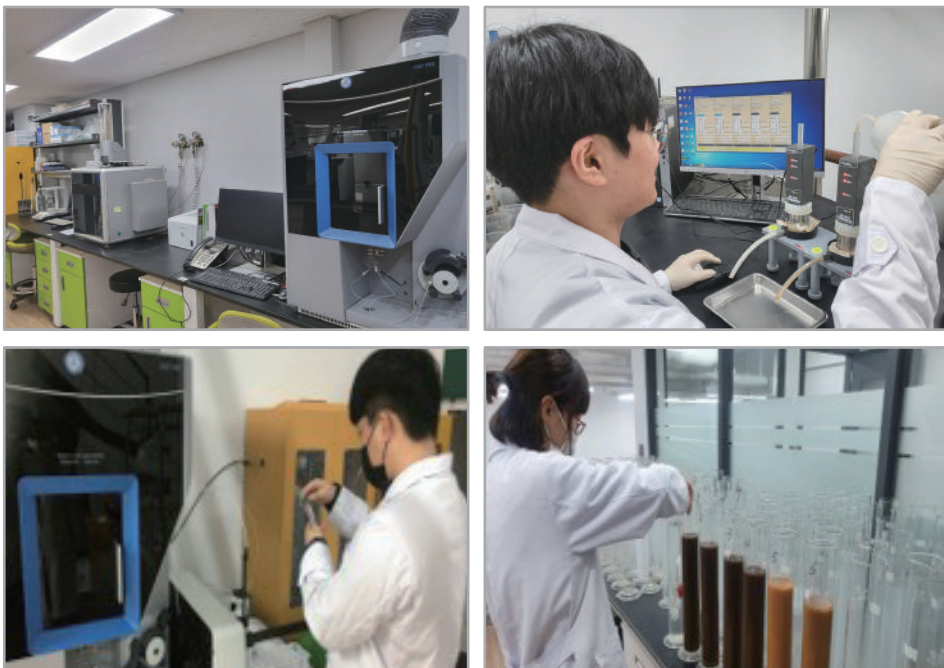
10. 인제군 제2의 자작나무숲 조성대상지 적합성조사 용역



11. 2023년 임산물 소비촉진 공모사업



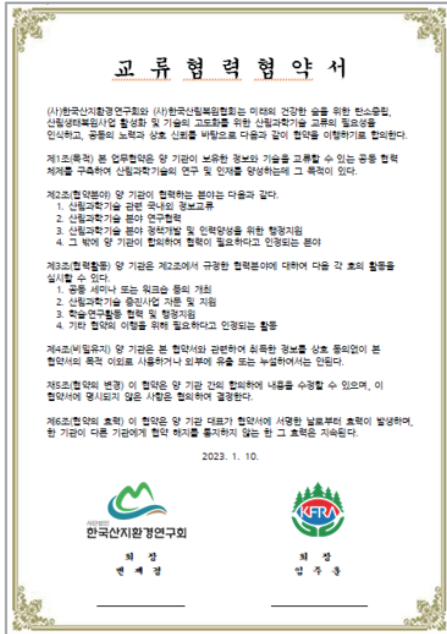
12. 토양물리화학성 분석



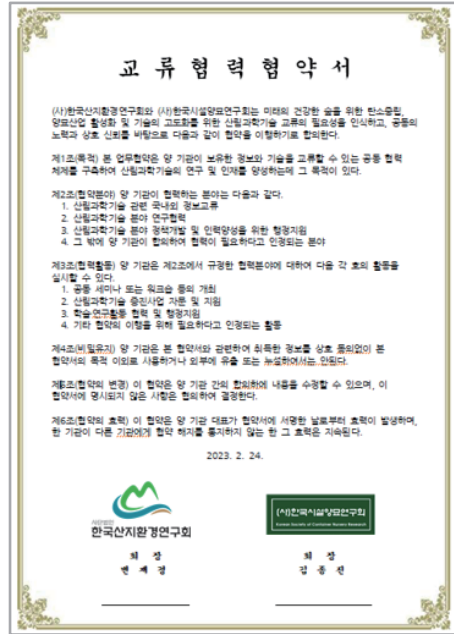


수상 및 대외행사

1. 한국산림복원협회와 MOU체결



2. 한국시설양묘연구회와 MOU체결



3. 측량업등록

측량업등록증

상호 및 명칭	사립법인 한국산림자연연구회	등록연월일	2023-10-13
상명(대표자)	박재용	사업자등록번호	1328203732
주된 영업소 소재지	12106 경기도 남양주시 순화동로 272 (순화4동) 715호 (연락처: 031-521-1678)		
지점 소재지			
업종	지도제작		

*공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 제44조 및 같은 법 시행령 제35조에 따라 측량업 등록을 하였음을 증명함.

2023년 10월 13일

국토지리정보원장

4. 청년혁신활동가 양상사업 참여 협약

사회적경제 청년혁신활동가양상사업 참여 협약서

제1조(목적) 이 협약은 남양주시와 한국산림자연연구회(이하 "참여기업"이라 한다,以下简称 "참여기업") 간에 「2023년 사회적경제 청년혁신활동가양상사업」(이하 "사업") 시행에 필요한 사항을 정하고, 이를 성실하게 준수할 것을 목적으로 한다.

제2조(협약기간) 본 협약의 유효기간은 2023년 3월 12일부터 2023년 12월 31일까지로 한다. 단, 예산 변동 등에 따라 지원기간이 단축될 수 있다.

제3조(근로조건) ① 근로자의 근무장소, 업무내용, 근로시간, 학점인급 등 근로조건은 당사자가 정한 근로계약서에 따른다.
② 다만, 학점인급은 최저 월 2,000원인 이상 지급하여야 하며, 기본급 및 정기적으로 지급하는 수당 등을 구분하여야 한다.
③ "참여기업"은 "참여청년"과 상호협력로 근로계약서의 일부를 변경할 수 있으나 「근로기준법」에 반하는 계약은 체결할 수 없으며, 근로계약 변경 시 "남양주시"에 통보하여야 한다.

제4조(참여기업의 협력의무) "남양주시"는 사업 지원에 의거하여 "참여기업"에게 자료 제출을 요구하거나, 제도정기 및 이를 위한 사업장 출입을 할 수 있고, "참여기업"은 이에 성실히 응해야 한다.

제5조(지원금 지급) ① "남양주시"는 매월 "참여기업"에 근로계약서 상 월 임금액 중 기입된 양상금(10%)을 제외하고 최대 180만원(90%)을 "참여기업"의 고유유치 조건 하에 월마다 지급한다. 단, 각기 미소급 등 예산 변동 시 초기 지원 중단이 가능하다.
② "참여기업"은 채용 청년의 근무 개시 후 1월이 경과한 날 이후 매월 단위로 급여일제 급여를 지급한다. 다만, 10일 이내에 근무장소변경(출근장), 임금대장 및 임금명세서(또는 임금명, 사내보통기입명세서, 사회보험료 원장명세서 등)를 첨부한 지원금 신청서를 "남양주시"에 제출한다.
③ "남양주시"는 "참여기업"과 "참여청년" 사이에 근로계약이 체결되거나, "참여청년"이 중도에 근무를 포기한 경우 근무기간에 비례하여 지원금(연간비)을 조정·지급한다.
④ "참여기업"은 지원금 수령권과 관계없이 근로계약서에서 정한 날에 우선 기입된 부당으로 급여를 지급하여야 한다.
⑤ "남양주시"는 "참여기업"이 본 협약 체결일 이전에 제출한 청년취업에 대하여는 지원금을 지급하지 않는다.

5. 직원역량 강화를 위한 외부 전문가 초청 교육 및 자체세미나



6. 제27차 정기총회





제27호 차례

- 발간사
..... 변재경 / 014
- 신년사
..... 남성현 / 016
- 신년사
..... 배재수 / 022
- 신년사
..... 이강오 / 025

1	산지계류에 있어서 유목방지대책으로서의 계반림 정비(1)	전근우 · 김석우 / 028
2	산지계류에 있어서 유목방지대책으로서의 계반림 정비(2)	전근우 · 서정일 / 041
3	산지수변림의 구조와 갱신동태	김석우 / 050
4	기후위기 시대에 산림생태복원의 중요성	김경하 / 058
5	탄소중립 및 기후변화 적응을 이루어내기 위한 생태적 전략	이창석 / 075
6	기후위기 시대, 산지재해 통합관리를 위한 돌발홍수 대응	최형태 / 087
7	소나무재선충병 방제 총력 대응으로 피해감소 추세로의 전환 발판 마련!	유석봉 / 102
8	소나무재선충병 관리기술의 스마트한 발전과 적용	황진형 / 108
9	산림생태복원사업 시공단계와 토양복원의 중요성	임주훈 / 117
10	생활권 수목 해충 발생동향	문일성 / 127
11	소나무재선충병 감염의심목의 영상분석 방안	최인규 / 141
12	AI기술을 활용한 소나무재선충병 예찰조사 시스템 구축과 발전방안	박성범 / 152
13	인공위성 영상을 활용한 산림변화 모니터링	정양수 / 160

* 부 록

정관 및 주요일지	169
-----------	-----

발 간 사



존경하는 임업인 여러분!

사단법인 한국산지환경연구회 회장 변재경입니다.

최근 산불, 산사태 및 기후변화에 따른 재난이 대한민국뿐만 아니라 전 세계적으로 발생하고 있습니다. 소나무재선충은 피해 면적과 규모가 급증하고 있으며, 기후변화로 인해 집단적으로 고사하는 나무들이 나타나고 있습니다. 또한 기상이변으로 하절기에 집중호우가 이어지고, 이로 인해 크고 작은 산사태가 지속적으로 발생하고 있습니다. 이러한 상황에서 대한민국 산림의 발전을 위해 불철주야 노력하시는 산림행정가, 후학양성과 미래 산림산업을 위해 연구에 힘써주시는 교수 및 연구자 여러분의 노고에 진심으로 감사 말씀드립니다.

산림청에서는 산림의 경제적, 환경적, 사회문화적 기능을 극대화하여 선진국형 산림경영 관리를 도모하는 산림르네상스 추진전략을 발표하였습니다. 저희 연구회도 산림르네상스 시대에 발맞춰 ICT 기반 소나무재선충병 예찰조사 시스템 구축을 통해 인공지능으로 소나무재선충병 감염의심목을 탐지하기 위한 기술개발에 힘쓰고 있습니다. 또한 산림청 연구개발 과제 「간벌 및 수확벌채가 산림탄소 저장에 미치는 영향 구명」 연구 수행을 통해 탄소중립을 실현하기 위해 노력하고 있습니다. 아울러 산불 피해지의 산림복원을 위한 토양조사와 복원계획 연구를 수행하여 각종 산림재해에 대응할 수 있도록 다양한 활동을 해왔습니다.

한편 우리 연구회는 산림청 인증 교육기관으로서 전국의 임산물 재배자 및 재배 희망자를 대상으로 임산물재배 전문가 양성교육을 실시하였습니다. 그 밖에도 농촌진흥청에서 지정한 시험연구기관으로서 토양분석실을 운영하여 산림의 공익적 가치 증대를 위한 수원함양 연구와, 도시숲의 관리지표 마련을 위해 신속하고 정확한 데이터를 제공하여 임업발전에 기여하고 있습니다.

저희 연구회의 역사와 함께 성장한 『산지환경지』가 올해로 27번째 출간을 맞이했습니다. 『산지환경지』에 애정을 가지고 관심 있게 지켜봐 주신 임업인 가족 여러분들 덕분에 올해도 알찬 내용으로 정성을 담아 회지를 만들 수 있었습니다. 제27호 『산지환경지』 발간을 위해 많은 도움을 주신 관계자 여러분께 진심으로 감사의 말씀 드립니다.

특히 학계의 넓고 깊은 지식을 아낌없이 나눠 주신 국립강원대학교 전근우 교수님, 김석우 교수님, 국립공주대학교 서정일 교수님, 국립강릉원주대 김경하 교수님 그리고 서울여자대학교 이창석 교수님께 감사의 말씀드립니다. 아울러, 바쁜 업무에도 옥고를 전해주시는 국립산림과학원 최형태 연구관님께도 감사한 마음을 전해드립니다. 한국임업진흥원 유석봉 본부장님, 황진형 실장님, 한국산림복원협회 임주훈 회장님께도 진심으로 감사의 인사를 드립니다. 마지막으로 『산지환경지』 지면에 원고로 참여해준 저희 (사)한국산지환경연구회 문일성 박사님과 최인규 이사, 박성범 차장 그리고 (주)미래생태공간 정양수 차장을 비롯하여 발간을 위해 애써주신 편집위원의 노고에도 고마움을 전합니다.

산림으로 미래를 준비하는 임업인 가족 여러분!

기후변화 위기로 탄소를 저장하고 산소를 배출하는 산림의 중요성이 갈수록 높아지고 있습니다. 머지않은 미래에는 임업이 고부가가치 산업으로 각광을 받을 것입니다. 저희 연구회는 임업의 최전선에서 미래산업을 주도한다는 책임감과 자부심으로 소속 임직원 모두가 기후변화와 생태환경 변화를 극복할 수 있도록 매진하겠습니다.

다시 한번 제27호 『산지환경지』 발간을 위해 수고를 아끼지 않아 주신 분들께 감사의 말씀을 드리며, 임업인 여러분들 가정에 건강과 행운이 가득하시길 기원합니다.

감사합니다.

(사)한국산지환경연구회 회장 변재경

신년사



숲으로 잘사는 글로벌 산림강국을 만들어 나가겠습니다.

전국의 220만 산주와 임업인 여러분,
산림공직자와 국민 여러분!

2024년, 새해가 밝았습니다.

새해를 맞아 여러분과 여러분의 가정에 희망과 행복이 가득하시길
기원합니다.

돌이켜보면, 지난해는 우리 산림행정과 산림산업분야에서 아주 중요한 전환점이 되었던 한 해였습니다.

국토녹화 50주년을 맞아 숲으로 잘사는 대한민국을 위한 ‘산림 100년 비전’을 선포하였습니다. 우리의 산림녹화 기록물을 유네스코 세계기록유산에 등재 신청했습니다. 국민과 함께 가꾼 ‘대한민국 100대 명품숲’과 ‘건기 좋은 명품숲길 50선’을 선정하여 국민께 숲을 돌려드릴 수 있는 계기를 마련하였습니다.

임업인과 청년들이 산에서 소득과 일자리를 얻을 수 있도록 각종 규제와 제도도 개선하였습니다. 숲경영과 산림복지를 융합한 ‘숲경영체험림’ 제도는 임업인의 새로운 소득 창출 기반이 될 것입니다.

산림이 탄소중립 실현을 주도할 수 있도록 ‘국외산림탄소배출감축법’을 제정하고 ‘제3차 탄소흡수원 증진 종합계획’을 마련하였습니다.

탄소감축 효과가 큰 국산 목재를 이용하는 목재산업을 녹색성장의 핵심 동력으로 육성하기 위해 목재친화도시와 목조건축 등을 국가 정책으로 활성화하였습니다.

쾌적한 생활공간 창출을 위해 도시숲과 가로수의 질적 관리를 강화하고 일상에 반려식물과 정원문화를 확산하였습니다. 건강보험과 접목하여 산림치유를 활성화하고 ‘동서트레일’ 등 산림복지를 다각화하여 우리 숲을 국민을 위한 치유와 휴식의 공간으로 조성하였습니다.

이와 함께 산림청과 지자체가 협력하여 ‘순천만국제정원박람회’와 ‘강원세계산림엑스포’를

성공적으로 개최함으로써 우리 숲은 지역 발전과 지방시대를 이끌어 나갈 글로벌 핵심 자산으로 자리매김할 수 있었습니다.

국제사회의 생물다양성 강화 움직임에도 선제적으로 대응하여 생물다양성의 보고인 산림보호구역을 확대하고 기후변화 취약 식물 관리를 강화하였습니다.

자생식물을 활용하여 훼손된 백두대간 등 핵심 산림 생태축을 복원하여 산림의 건강성도 증진하였습니다.

캐나다 대형 산불 진화를 위해 산불진화대를 최초로 파견하여 국위를 선양하는 한편 우리의 선진적인 산불 대응역량이 세계로 뻗어나가는 쾌거를 올리기도 하였습니다.

안타깝게도 기후변화와 극한호우 등으로 대형 산불과 산사태가 유난히 잦아, 이로 인해 많은 인명과 재산 피해가 발생하였습니다.

이에 관계부처와 합동으로 ‘대형 산불 대응전략’과 ‘기후위기 재난대응 혁신방안’을 수립하는 등 국민의 생명과 재산을 안전하게 보호하는 데 총력을 기울여 왔습니다.

지난 한 해 어려운 여건 속에서도 뜻깊은 성과들을 거둘 수 있도록 아낌없는 지지를 보내주신 국민 여러분과 산림 현장에서 묵묵히 최선을 다해주신 산주와 임업인, 산림공직자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

전국의 산주와 임업인, 산림공직자와 국민여러분!

우리에게 나무가, 숲이, 산이 없었다면 어떻게 되었을까요?

우리의 나무와 숲, 그리고 산은 소중한 삶터이자 쉼터, 일터입니다. 국민의 삶과 떼려야 뗄 수 없는 관계를 맺고 있습니다.

우리 숲은 420조원의 가치를 창출하는 아주 소중한 생태자원이자 경제, 환경, 사회문화적 자산입니다. 연간 161조원의 경제적 가치를 창출하고 61만개의 일자리를 제공하는 중요한 경제자산입니다. 천혜의 아름다운 경관, 깨끗한 물, 맑은 공기 등을 제공하며 연간 259조원의 공익가치도 제공합니다.

매년 국민의 82%가 찾는 최고의 휴식, 힐링 공간이며, 최근에는 기후위기에 대응하여

탄소중립과 녹색성장을 위한 핵심적인 방안으로 중요성이 커지고 있습니다.

이에 올해 산림청은 무엇보다 윤석열 정부 3년차 국정과제를 충실히 이행하여 산림의 경제, 환경, 사회적 가치를 극대화하겠습니다. 특히 산림을 디지털, 스마트, 빅데이터로 첨단화하는 ‘산림정책 디지털 플랫폼’을 촉진하여 산림의 미래 가치를 창출하겠습니다.

우리의 선진 산림 기술을 활용하는 산림협력을 활성화하여 세계를 선도하는 중추 국가로 거듭나겠습니다.

이를 위해 올해 산림청은 ‘숲으로 잘사는 글로벌 산림강국’ 실현을 목표로 삼고 다음의 다섯 과제를 중점적으로 추진하겠습니다.

첫째, 일상화, 대형화되고 있는 산림재난으로부터 국민의 생명과 안전, 그리고 우리의 소중한 숲을 지키겠습니다.

먼저 산불 대응을 빈틈없이 하겠습니다. 올해는 기후 여건상 대형 산불 발생의 위험이 큼니다. 산림청은 산불의 주요 원인인 영농부산물과 생활폐기물 소각으로 인한 산불을 사전에 차단하는 등 봄철 대형 산불이 빈발하는 5월까지 유관 부처, 지자체와 협력하여 산불 예방에 총력을 다하겠습니다.

‘지능형 산불방지 ICT 플랫폼’ 등 첨단 과학기술로 전국의 산불을 촘촘히 감시하고 산불 진화인력과 장비를 확충하여 진화역량을 강화하겠습니다.

산사태 대응체계를 극한호우 등 변화된 여건에 맞게 강화하여 산사태로 인한 인명피해가 더 이상 발생하지 않도록 하겠습니다.

산림과 산림 주변의 모든 비탈면의 붕괴위험을 ‘디지털 사면통합 산사태 정보시스템’으로 통합 관리하여 산사태를 정확하게 예측하겠습니다. 산사태 취약지역을 농경지 등 산림 외의 지역까지 확대하여 산사태 사각지대를 해소하겠습니다. 주민들이 신속히 대피할 수 있도록 예비경보 단계를 도입하고 대피소와 현장 안내 인력도 확대하겠습니다.

소나무재선충병으로부터 우리의 소중한 소나무를 지켜나갈 수 있도록 총력을 기울이겠습니다.

이와 함께 ‘산림재난방지법’을 제정하여 산불, 산사태 등의 산림재난에 대한 대응 역량을

강화하겠습니다.

둘째, 임업인의 소득안정과 산림복지서비스를 강화하겠습니다.

임산물 생산, 가공, 유통 기반을 현대화하여 고품질의 청정임산물 생산을 확대하고 수출을 촉진하겠습니다. 석재산업을 자연 친화적인 산업으로 육성하기 위해 정책 지원을 강화해 나가겠습니다.

산을 갖고 계신 산주와 임업인들이 우리 산을 자유롭게 경영하여 소득과 권익을 증진할 수 있도록 규제와 세제를 개선하겠습니다. 임업직불제와 임산물 재해보험 등 임업인의 소득안전망을 강화하고, 국유림 등을 활용하여 산촌을 활성화하겠습니다.

1인당 국민소득 3만달러 시대에 걸맞게 선진국형 산림복지 서비스를 강화하여 국민 삶의 질을 높이겠습니다.

모든 국민이 우리 숲에서 건강을 증진하고 힐링할 수 있도록 산림치유와 숲교육 등의 생애주기 산림복지를 강화하고, 반려동물과 함께 누릴 수 있는 인프라도 확충하겠습니다.

쾌적한 녹색 생활공간 창출을 위해 학교 운동장, 벽면 등으로 도시숲 인프라를 확대하고, 생활 속 정원 도시를 조성하겠습니다.

아울러 우리 숲에 문화의 옷을 입히고 인문학을 가미하여 국민들을 위한 품격높은 문화예술 공간으로 창출하겠습니다.

셋째, 건강하고 지속가능하게 산림자원을 육성하여 탄소중립과 녹색성장에 이바지하겠습니다.

기후위기에 잘 적응하고 부가가치가 높은 다양한 산림자원을 육성해 나가겠습니다. 선도 산림경영단지 등 경제림을 중심으로 임도, 임업기계 등을 집중적으로 투자하여 나무를 심고, 가꾸고, 수확하여, 이용하는 선진국형 산림자원 순환경영을 활성화하겠습니다.

목재산업의 경쟁력을 높여 녹색성장을 이끌어나가겠습니다. 범부처 협력으로 목조건축 활성화를 위한 법률을 제정하고 규제를 개선하겠습니다. 목재친화도시 등 공공부문에서의 국산목재 이용을 활성화하여 기후변화 대응과 생활환경 개선에 기여하겠습니다.

산림부문 국가온실가스감축목표가 원활히 달성될 수 있도록 광역, 기초지자체 단위의 감축목표를 설정하고, 신뢰도 높은 검증체계를 구축하겠습니다. 산림탄소상쇄제도를 국제 자발적 탄소시장과 연계하여 민간의 참여를 촉진하겠습니다.

생물다양성 협약에서 채택된 ‘글로벌 생물다양성 프레임(GBF)’을 체계적으로 이행하기 위해 생물다양성 보전에 기여하는 보호구역 외 산림도 OECM(준보호지역)으로 관리될 수 있도록 하겠습니다. 이와 함께 산림보호구역으로 지정되는 산주에게 대가를 지불하는 ‘산림 공익가치 보전지불제’도 도입하겠습니다.

넷째, 산림경영·관리의 디지털화, 스마트화, 빅데이터화를 촉진하고 산림과학 연구개발을 강화하여 산림산업을 첨단화하겠습니다.

‘산림정책 디지털 플랫폼’을 중심으로 산림산업의 디지털 전환을 촉진하겠습니다. 2025년에 발사 예정인 농림위성의 활용 기반을 구축하고 산림 분야에 특화된 전용 위성도 개발하겠습니다. 디지털트윈으로 산림을 3차원 가상공간으로 재현하고 정밀하게 관리하겠습니다.

과학적인 산림행정을 실현하기 위해 산림의 빅데이터화도 촉진하겠습니다. 산림수계·경관지도 등 산림자원 정보를 데이터화하고 이에 기초한 의사결정 지원체계를 구축하겠습니다. 공공데이터는 민간 창업 등 다양한 용도로 활용할 수 있도록 적극적으로 개방하겠습니다.

산림분야 원천기술 확보와 현안 대응을 위해 연구와 개발을 확대하고 성과는 민간에 이전하여 산림의 첨단 산업화를 촉진하겠습니다. 다가오는 바이오경제 시대에 대비하여 산림생명자원을 활용하는 바이오산업도 육성하겠습니다.

다섯째, 국익에 기여하고 국가 위상을 높이는 국제 산림협력을 확대하겠습니다.

임업선진국인 독일과 기술협력을 시작한 지 50년이 되는 올해, 독일과 함께 개발도상국 산림복원 지원을 강화하고 우리의 선진과학기술을 토대로 양자간, 다자간 국제산림협력을 확대해 나가겠습니다.

정상회의 등 다양한 채널을 활용하여 신규협력 국가를 발굴하고 협력 범위도 확대하겠습니다.

글로벌 이슈와 메가트렌드에 신속히 대응하여 국제기구의 산림협력과제 이행에 동참하는 등 미래 지향적인 협력관계로 나아가겠습니다.

민간이 개발도상국 산림황폐화 방지사업(REDD+)에 적극적으로 참여할 수 있도록 지난해 제정한 ‘국외산림탄소배출감축법’ 하위법령 마련을 포함한 후속 조치를 빈틈없이 하겠습니다. ‘EU 산림전용방지법’ 발효 등 국제 통상환경 변화에 발맞춰 국내 산림 산업계의 대응력 강화도 지원하겠습니다.

우리의 산림녹화기록물을 인류의 기록으로 보존하기 위해 세계기록유산 등재에도 총력을 다하겠습니다.

전국의 산주와 임업인, 산림공직자와 국민여러분!

산림행정은 산림과학 연구를 기초로 하는 과학기술행정입니다. 전국의 산지, 산림·목재산업, 임업인, 산촌을 대상으로 하는 현장행정입니다. 지방시대의 지자체와 지역주민들과 함께하는 종합행정입니다. 미래를 준비하며 나무를 심고 가꾸는 미래관리행정입니다.

지난 50년간의 국토녹화 성공을 토대로 새로운 미래 산림 100년으로의 첫발을 내딛는 올해, ‘숲으로 잘사는 글로벌 산림강국’의 성공을 위해 그 어느 때보다도 국민, 산주, 임업인과 산림공직자가 함께 힘을 모아야 하는 이유입니다.

산림청은 올 한해 우리 산을 임업인들에게는 돈이 되는 보물산으로, 국민에게는 힐링과 문화의 자산으로 만들기 위해 역지사지(易地思之)하는 마음과 실사구시(實事求是) 하는 자세로 최선을 다하겠습니다.

새해에도 국민 여러분의 적극적인 참여와 협조를 부탁드립니다. 새해 복 많이 받으십시오.

감사합니다.

산림청장 남 성 현

신 년 사



푸른 용의 해인 갑진년(甲辰年) 새해가 밝았습니다. 회원 여러분 모두의 건강과 행복을 기원하며, 가슴 뛰는 한 해가 되기를 기원합니다.

우리는 지금 사회, 경제, 문화 등 국가와 사회 전반에서 큰 변화를 겪고 있습니다. 예측할 수 없는 미래는 우리에게 위기이자 기회이기도 합니다. 위기를 기회로 바꾸기 위해서는 세상의 변화를 읽어내고 더욱 명확한 목표와 현실적인 전략을 수립해야 합니다.

국립산림과학원은 산림과학기술의 개발과 보급이라는 고유 임무를 갖고 있습니다. 우리의 임무는 지금보다 더욱 영향력 있는 연구를 수행하여 국민의 삶의 질과 국민경제가 나아지는 데 이바지하는 것입니다. 영향력 있는 연구를 수행하려면 목표와 성과가 뚜렷한 연구를 설계하고 수행해야 합니다. 이를 위해 우리는 2023~2027년간 추진할 ‘중기 기술개발 실행계획’을 수립하였습니다. 이 계획은 6개의 대주제 아래 19개의 전략과제로 구성하였으며, 5년 동안 달성할 예상 산출물 47개를 도출하였습니다.

하지만 계획 수립보다 중요한 것은 이행입니다. 목표지향적이고 영향력 있는 연구를 이행할 수 있도록 새로운 연구 사업 관리 체계를 구축하였습니다. 연구의 출발이자 지침인 연구 설계를 목표와 성과 중심으로 작성할 수 있도록 개편하고 연구자의 자율성을 높이는 평가제도를 만들어 연구 수행의 추진력을 높이고 질 높은 성과를 창출하려 합니다.

더불어 국립산림과학원이 관리하는 5,600ha의 산림과학연구시험림을 실효성 있게 관리하여 위하여 중장기발전방안을 마련하고 국민과 임업인, 연구자에게 도움이 되는 산림과학기술정보 공유 플랫폼을 구축할 계획입니다. 특히, 올해 5월에는 2025년 발사될 농림위성에서 제공하는 자료를 수신, 가공, 공유하는 프로세스를 전담하는 국가산림위성정보활용센터(산림위성센터)가 신설됩니다. 새로운 산림위성센터 설립을 포함하여 국립산림과학원의 미래 비전과 현안에 대응할 수 있도록 조직역량을 재분배할 예정입니다.

올해는 이러한 미래지향적 연구관리 체계와 조직 개편을 바탕으로 산림정책을 선도하고 국민 만족도가 높아지도록 산림 분야 국정과제를 지원하는 연구과제에 집중할 계획입니다.

먼저, 임업인 소득 안정 및 산림복지서비스 강화 관련 연구입니다. 임업인의 정책지원 확대와 산림자원 활용을 촉진하기 위한 연구를 추진하겠습니다. 산림의 공익가치 증진하는 활동의 효과를 화폐 가치로 환산하는 방법을 개발하여 산주의 소득을 높이고, 산림과수 재배자를 위한 현장 실증연구를 강화하는 한편, 국산 목재의 자급률을 높일 수 있도록 하는 목조건축 관련 기술을 개발하겠습니다.

다음은 건강하고 지속가능한 산림자원 육성 관련 연구입니다. 먼저 올해는 산림재해에 대응하는 연구에 집중하겠습니다. 대형산불 예방 및 진화 기술 고도화 연구와 산불 예보 정보를 적시에 신속하게 제시하여 정책을 지원하겠습니다. 산사태 연구 분야는 디지털 사면통합 산사태정보시스템을 구축하고 유역단위 재해 안전 기술을 개발하는 데 연구 역량을 집중하겠습니다. 산림병해충 연구는 국내 4대 산림병해충(소나무재선충병, 솔잎혹파리, 솔껍질깍지벌레, 참나무시들음병)의 예찰과 진단 분야에 최신 유전자 진단 기술과 첨단 ICT 기술을 적용하여 과학적 모형을 개발하겠습니다.

마지막으로 국가온실가스감축목표(NDC)와 탄소중립에 기여하는 국립산림과학원의 역할을 강화하겠습니다. 「임업·산림분야 기후변화 영향평가 종합보고서」를 발간하고 기후변화협약에 「산림분야 격년투명성보고서(BTR)」 제출 등을 통해 NDC와 탄소중립 목표 달성에 기여하겠습니다.

올해는 국립산림과학원 개원 75주년을 맞이하는 뜻깊은 해입니다. 개원 75주년을 기념하는 슬로건으로 ‘미래 백년, 그 이상의 가치’로 선정하였습니다. 현재 국립산림과학원의 비전은 ‘숲과 과학기술로 더 나은 세상을 만들겠습니다!’입니다. 비전은 풍요롭게 산림을 보전하고 지혜롭게 산림을 이용하며, 이로부터 나오는 이익을 다 함께 공유하는 지속 가능한 사회와 대한민국을 지향하고 있습니다. ‘미래 백년, 그 이상의 가치’는 현재 우리 비전이 담고 있는

가치인 지속가능한 보전과 이용, 이익 공유의 공간적 범위를 우리나라에서 국제사회로 확대하고, 산림과 연계된 다양한 생태계서비스로 연구로 확장하겠다는 의지를 담고 있습니다.

국립산림과학원은 지난 역사와 성과를 바탕으로 새로운 변화와 도약을 위해 역량을 집중하겠습니다. 여러분께서도 저희의 노력에 관심과 성원을 부탁드립니다.

끝으로 여러분 모두 새해에는 소망하는 모든 일들이 이뤄지길 바랍니다.
감사합니다.

국립산림과학원장 배재수

신 년 사



2024 갑진년 청룡의 해를 맞이하여

2024년 대학교수들이 뽑은 사자성어는 견리망의(見利忘義)라고 합니다. 장자의 말씀인데요. “눈앞의 이익을 보면 의로움을 잊어버린다”라는 뜻입니다. 우리사회가 이익만 쫓지 말고 의로움을 지켜야 한다는 메시지로 읽혀집니다. 다사다난했던 2023년을 돌이켜보면 각자도생(各自圖生)이 가장 큰 화두가 아닌가 싶습니다.

사회가 점점 개인화되고 자신의 이익만을 추구하는 세상은 불행해질 뿐만 아니라 더 많은 비용을 초래하게 됩니다. 의로움을 지킨다는 것은 곧 공동체의 이익을 추구한다는 의미라고 생각합니다. 새해에는 개인의 이익도 중요하지만 대한민국이라는 공동체, 지구 공동체의 이익도 함께 고려되는 사회가 되길 소망합니다.

우리 주변에서 서로 의지하고 공동체의 이익을 지키는 가장 모범된 질서를 가진 곳이 ‘숲’입니다. 숲에서는 동식물들이 서로 치열하게 경쟁하고 살아가지만, 동시에 나무와 새가 함께 살아가고, 곤충과 풀꽃들이 서로 의지하며 살아갑니다. 임업은 다른 산업과 달리 재료와 노동을 투입하면 그만큼의 양을 생산할 수 있는 시스템이 아닙니다.

임업은 ‘숲’이라는 생태계를 관리하고 이를 통해서 재화와 서비스를 얻는 산업입니다. 물질만능주의와 각자도생의 시대에 ‘숲과 임업과 산촌’은 우리 사회의 공동체성을 회복할 수 있는 대안입니다.

지난 반세기 우리는 눈부신 성장을 통해 경제와 문화분야에서는 선진국 대열에 올라섰지만, 자살률·출산율 등 공동체를 유지하는 힘은 OECD 최하위권입니다. 그래서 숲을 지속가능하게 관리하고 임업을 육성하고 산촌을 활성화시키는 것이 곧 우리 사회의 새로운 비전이어야 합니다. 한국임업진흥원의 존재이유가 여기에 있습니다.

그러나 아직 한국의 임업은 규모가 작고 열악한 상황입니다. 2021년부터 저희 진흥원은

K-forest FOOD, WOOD, STONE이라는 우리 숲의 대표 임산물을 브랜드화하고 생산, 가공, 유통 분야에서 혁신을 위해 노력해왔습니다.

첫째, 임산물 생산분야에서는 지속가능성sustainability을 높여나가야 합니다. 숲의 경제적 가치와 공익적 가치를 조화롭게 하는 일이 지속가능성을 높이는 것입니다. 산림탄소경영을 통해 새로운 수익이 창출되고, 산림인증제도를 확대하여 소비자들에게 우리 임산물의 지속가능성에 대한 인식을 높여나가겠습니다.

둘째, 임산물의 가공분야에서는 끊임없는 혁신renovation을 통해 비용을 절감하고, 부가가치를 높일 수 있도록 임업인과 산업계를 지원하겠습니다.

마지막으로 유통분야에서는 우리 지역에서 생산되는 다양하고 청정한 임산물의 컬처파워culture power를 키워나가도록 하겠습니다. 더불어 임업발전을 위해서는 지역이 중심이 되어야 합니다. 지자체가 산주와 임업인과의 협력을 통해 지역임업, 지역산림경영을 체계화시켜 산촌지역활성화에 이바지 할 수 있도록 노력하겠습니다.

2024년 1월 26일 저희 진흥원이 12번째 생일을 맞이합니다. 초심을 잃지 않고 열심히 달려가겠습니다. 산주와 임업인, 그리고 숲을 사랑하는 국민여러분 새해 복 많이 받으시고, 12살 한국임업진흥원에 많은 격려와 응원 부탁드립니다.

한국임업진흥원장 이 강 오



원 고

- 1 산지계류에 있어서 유목방지대책으로서의 계반림 정비(1)
..... 전근우 · 김석우 / 028
- 2 산지계류에 있어서 유목방지대책으로서의 계반림 정비(2)
..... 전근우 · 서정일 / 041
- 3 산지수변림의 구조와 갱신동태
..... 김석우 / 050
- 4 기후위기 시대에 산림생태복원의 중요성
..... 김경하 / 058
- 5 탄소중립 및 기후변화 적응을 이루어내기 위한 생태적 전략
..... 이창석 / 075
- 6 기후위기 시대, 산지재해 통합관리를 위한 돌발홍수 대응
..... 최형태 / 087
- 7 소나무재선충병 방제 총력 대응으로 피해감소 추세로의 전환 발판 마련!
..... 유석봉 / 102
- 8 소나무재선충병 관리기술의 스마트한 발전과 적용
..... 황진형 / 108
- 9 산림생태복원사업 시공단계와 토양복원의 중요성
..... 임주훈 / 117
- 10 생활권 수목 해충 발생동향
..... 문일성 / 127
- 11 소나무재선충병 감염의심목의 영상분석 방안
..... 최인규 / 141
- 12 AI기술을 활용한 소나무재선충병 예찰조사 시스템 구축과 발전방안
..... 박성범 / 152
- 13 인공위성 영상을 활용한 산림변화 모니터링
..... 정양수 / 160

산지계류에 있어서 유목방지대책으로서의 계반림 정비(1) -계반림 정비의 적용범위와 기본방침-



전 군 우 / 김 석 우

강원대학교 산림환경과학대학 명예교수 / 교수

kwchun@kangwon.ac.kr / kimsw@kangwon.ac.kr

산지재해가 발생하면 토사에 의한 피해뿐만 아니라 사면 위에 생육하는 임목 등도 함께 유하하여 교량 등을 차단함으로써 토사의 범람지역이 확대되고, 피해가 가중되는 유목재해가 나타나고 있다. 이때 붕괴토사의 유하·퇴적구간에 위치하고 있는 산림에서는 유출토사 등이 계류 주변의 임목이나 도목을 유목화하여 피해를 확대시킬 위험성이 높은 것으로 지적되고 있다.

따라서 유목방지대책을 수립할 때에는 슬릿댐을 포함한 사방시설 및 산림정비에 의한 토사붕괴 등의 억지나 토사·유목의 이동 억제, 계류 주변에 퇴적 또는 도복된 임목의 처리 등, 피해를 방지하기 위한 방안을 강구하고 있지만, 이와 함께 산지재해 발생 시에 토사나 유수와 함께 유목화될 우려가 있는 계반지역의 산림에 대해서도 하류지역의 피해를 경감한다는 관점에서 대책을 마련하는 것이 유효할 것으로 생각된다(林野庁, 2018).

1. 계반림 정비의 적용범위 등

계반림은 일반적으로 하천 상류의 계류 주변에 성립된 산림군락을 의미하지만, 그와 같은 정의는 입지나 기능에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 예를 들면, 지형적인 관점에서는 토석류 단구나 곡벽 사면부에 성립된 산림, 구조적인 관점에서는 계류 등 수역의 물리적·생리적 영향을 받는 과정에서 성립된 산림, 기능적인 관점에서는 계류생태계의 환경형성에 직접적으로 영향을 미치는 산림 등을 들 수 있다.

그러나 이 지침에서는 유목에 의한 피해를 방지·경감한다는 관점에서 산지붕괴 등의 발생원이 되는 0차곡을 기점으로 그곳으로부터 유하하여 퇴적하기까지의 산지계류 주변의 산림을 계반림 정비의 대상범위로 하였다(그림 1).

1.1. 정비대상 범위(종단방향)의 구분

유목재해의 발생 메커니즘이나 붕괴토사 및 유목의 형태에 입각한 산림 정비를 실시하기 위하여 발생원으로부터 퇴적되기까지의 지역을 발생구역, 유하구역, 퇴적구역으로 구분한다(그림 2).

즉, 발생구역은 붕괴나 유목 등의 발생원이 되는 소계류 일대를 대상으로 하는 곳으로, 유로가 명확하게 형성되지 않은 곡두부의 집수지역(0 차곡) 등이며, 소위 계반지역의 원두부로 경사가 비교적 급한 구역이다. 그리고 유하구역은 토석류의 유하 에너지가 큰 상태로 계상의 토사나 계류 주변의 입목과 함께 유하하는 구역을 대상으로 한다. 또한, 퇴적구역은 계상물매가 완만하여 유목이나 토석류의 유하 에너지가 감쇠하고, 유하범위가 확산되기 때문에 토사 등이 퇴적되기 쉬운 구역을 대상으로 한다.

1.2. 정비대상의 폭(횡단방향)

계반림 정비대상의 폭은 계안으로부터의 한쪽 방향을 30m로 하는 사례가 많기 때문에 계류지역의 계안 각부로부터 한쪽 방향으로 30m 정도, 양쪽 방향으로 60m 정도를 정비범위로 한다(그림 3). 다만, 산지계류의 경우, 계안부가 V자곡 지형이나 한쪽 사면이 급애지인 경우에는 대상 폭은 좁아지게 된다. 또한, 하류부의 퇴적구역 등으로 하천의 폭이 넓고 고저차가 없는 장소나 선상지인 경우에는 대상 폭이 넓어지므로, 정비대상의 폭은 지형조건 등에 따라 적절하게 조정한다.

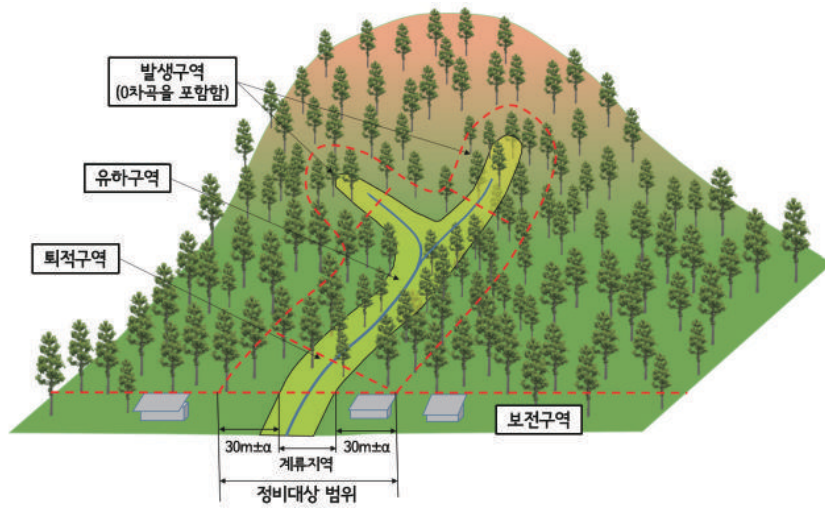


그림 1. 계반림 정비대상 범위의 개념도

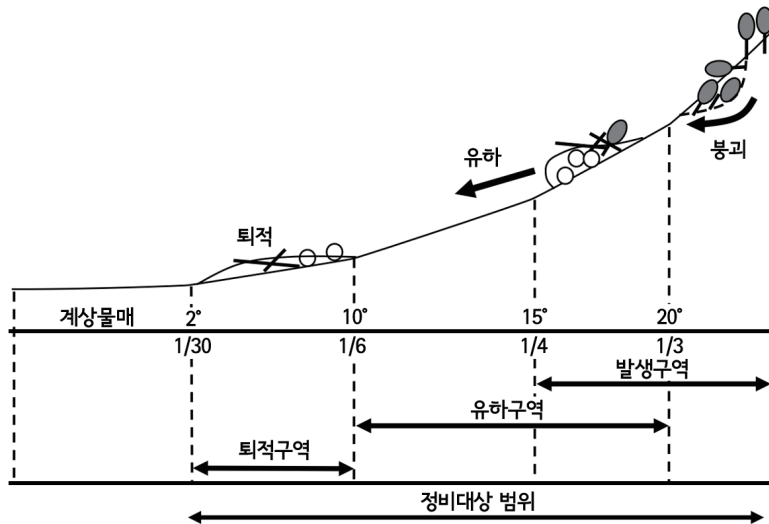


그림 2. 유목의 발생에서 퇴적까지의 관계(계상물매와 토사 및 유목의 이동상황)

각 구역의 계상물매는 일반적으로 발생구역에서 15~20도 이상, 유하구역은 10~20도 정도, 퇴적구역은 10도 이하인 것으로 알려지고 있다.

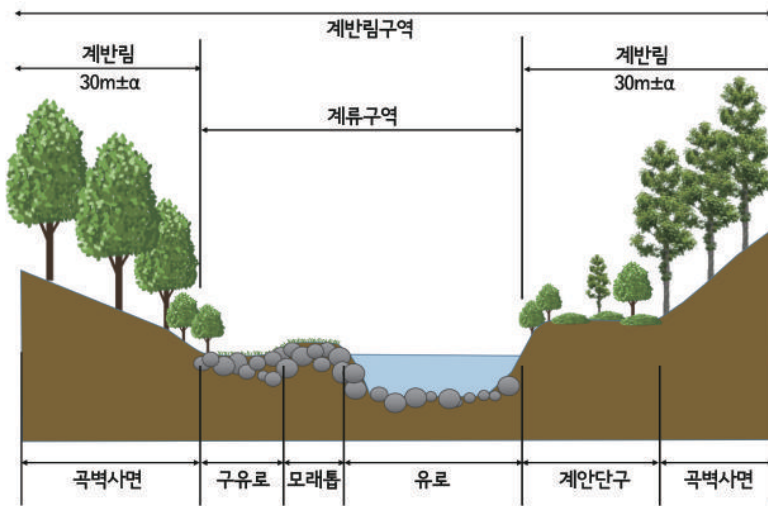


그림 3. 계반림의 명칭과 폭의 관계

※ 모래톱·구유로는 교란의 빈도가 높고, 유수에 의하여 반복적으로 영향을 받은 토양이 발달하지 않은 경우 계류지역으로 포함하고, 교란의 빈도가 낮고 토양이나 식생이 발달한 경우에는 계반림으로 정비한다.

2. 계반림 정비의 기본방침

유목재해를 방지·경감하기 위한 계반림 정비는 적절한 정비에 의하여 산림의 재해방지기능을 최대한으로 발휘시키고, 유목화가 우려되는 퇴적목이나 입목 등의 제거 등이 중요하기 때문에 대상으로 하는 산지계류가 어떠한 계류환경인지 그리고 그곳에 생육하는 산림의 현황이 어떠한 상황인지를 파악한 후, 산림의 정비목표에 따른 정비방침을 책정할 필요가 있다. 특히, 보전대상과 대상계류의 위치관계를 파악하고, 정비 우선도를 평가하여

효율적인 정비를 추진하는 것이 바람직하다.

따라서 문헌조사 및 현지조사에서 획득된 기초자료를 기본으로 하여 필요한 조사를 실시하고, 정비개소의 목표, 정비방침, 정비 우선도 등을 설정한다.

한편, 사방사업에 있어서의 일반적인 조사항목, 조사방법에 대하여는 치산기술기준·산지치산편(임야청), 토석류·유목대책 지침(임야청) 등에 제시하고 있기 때문에 이번에는 산림의 정비를 검토한다는 면에서 최소한으로 필요로 하는 항목을 선정하였다.

2.1 현황 파악과 평가

(1) 조사항목

정비하여야 할 산림의 추출, 개소의 선정, 정비 우선도를 파악하는 데에 필요한 조사항목으로 다음의 세 가지를 선택하였다(그림 4).

1) 산림현황

계반림 구역의 산림현황을 파악하고, 산림정비 방침을 검토하기 위하여 임황(자연림, 2차림, 인공림, 무림목지 등의 임분구성, 수종, 입목본수, 흉고직경, 수고 등의 생육상황), 식피상황(하층식생, 낙엽낙지, 나지 등), 기상·병해충·동물 등에 의한 피해상황, 기타 자연환경에 관한 조사를 실시한다.

2) 입지(계류)환경

토석류나 유목의 발생구역, 유하구역, 퇴적구역을 구분하기 위하여 계류지역의 폭, 계류의 모양(홍수의 흔적, 교란상황), 계상물매, 사면경사, 기설 사방시설 등의 설치상황 등을 조사한다.

3) 보전대상

해당 계류에서 발생하는 유목재해의 영향을 받을 것으로 예상되는 범위의 집락(인가 등), 공공시설, 도로, 농지, 하류지역에 있어서 접속 하천, 교량 등의 위치관계 등을 조사하고, 리스크를 판단한다.

(2) 조사방법

1) 산림현황조사

정비대상 산지계류지역의 산림현황은 사전조사 및 현지조사에 의하여 현황을 파악한다.

[사전조사]

사전조사에서는 대상으로 하는 산지계류지역의 산림기본도, 산림조사부, 항공사진, 디지털 수치정사영상, 수치지형도, 식생도 등이 포함된 지리정보시스템(GIS)을 활용하여 가공 출력한 후 간이 임상구분도를 작성하면 효과적이다.

[현지조사]

현지조사에서는 간이 임상구분도를 기본으로 현지를 답사하여 인공림, 천연림, 무입목지 등의 임상구분을 확정한다. 현지답사 시에는 풍도목, 동물에 의한 피해목, 병해충 피해목 등과 같은 피해상황을 확인하고, 계반부의 식생상황(교란의 유무)을 확인한 후, 정비대상 범위를 확정하여 산림정비를 검토할 때에 참고자료로 활용한다.

인공림에 대하여는 임상이 서로 다른 임분을 대상으로 수종, 임령(유령림, 장령림, 노령림), 흉고직경, 수고, 본수 등의 임분구조를 파악하기 위하여 표준지조사를 실시하고, 산림정비를 검토할 때의 기초자료로 활용한다.

한편, 표준지조사 결과에 따라 수목위치도, 흉고직경, 임분단면도 등을 작성할 경우, 지상레이더 계측방법을 사용하면 효율적이다.

2) 입지(계류)환경조사

대상계류지역 및 0차곡을 답사하여 발생구역, 유하구역, 퇴적구역 등으로 유역을 구분한다.

[사전조사]

산림현황조사와 마찬가지로 지리정보시스템 등을 활용하여 계류 주변의 붕괴상황, 계상물매, 기존 사방시설의 설치상황에 대한 개략도를 작성하고, 산복붕괴의 위험성이 예상되는 0차곡(오목지형을 포함)을 포함한 발생구역, 토석류나 유목이 유하할 것으로 예상되는 유하구역, 계상물매가 완만해지는 퇴적구역의 추정선을 삽입한 구분도를 작성하여 현지 확인용 개략도로 활용한다.

[현지조사]

현지 확인용 개략도를 기본으로 대상 계류를 답사하여 소요지점별로 계류지역의 폭, 계류의 상태(석력분포, 홍수흔적, 교란상황), 지점 사이의 계상물매 등을 기록하고, 기설 사방시설의 배치상황 등을 조사한다.

이외에 0차곡 부근에서는 황폐상황, 집수지역의 용출수 지점이나 천급선을 확인하고, 계상물매나 불안정 토사의 퇴적상황, 홍수흔적 등으로부터 발생구역, 유하구역, 퇴적구역의 추정선을 현지에서 확정하여 유목재해의 발생기작에 대응하는 지대구분도를 작성한다.

3) 보전대상

전체 대상의 종류와 수량을 파악할 뿐만 아니라 유목재해라는 관점에서 하류지역의 접속 하천, 교량 등에 대해서도 파악한다.

[사전조사]

산림현황조사와 마찬가지로 지리정보시스템 등을 활용하여 보전대상의 분포에 대한개략도를 작성한다.

[현지조사]

보전대상의 분포 개략도를 기본으로 현지에서 청취조사를 실시하여 보전대상(인가, 공공시설, 도로, 교량 등) 및 하류지역의 하천과의 접속 유무, 수량, 위치 확인 등을 실시하고, 도표에 정리한다.

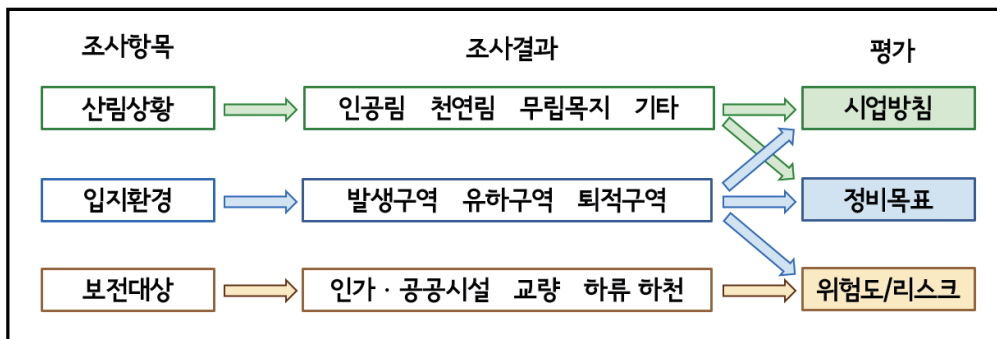


그림 4. 조사항목과 평가의 관계

2.2 정비목표

산림현황조사, 입지환경조사, 보전대상 등과 같은 현지조사 결과에 근거하여 정비개소를 선정하고, 정비목표를 설정한다.

(1) 정비대상 계류의 구역별 정비방침

유목의 발생에서 퇴적까지를 형태적으로 구분한 「발생구역」, 「유하구역」, 「퇴적구역」의 각 구역에 대하여 정비목표 및 정비방침을 설정한다.

1) 발생구역

발생구역에서는 0차곡 등의 오목지형에 집중된 강우가 산복붕괴 등을 유발하고, 발생한 토사가 유목과 함께 유하하여 하류지역에 피해를 야기할 것으로 우려되므로, 붕괴를 발생시키지 않는 것을 목적으로 붕괴방지기능을 발휘할 수 있는 산림정비를 실시한다(표 1, 그림 5).

침엽수 인공림은 적절한 밀도관리를 실시하면 임목의 근계가 발달하여 토양의 긴박력을 증대시킬 뿐만 아니라 임내의 광환경을 개선하여 하층식생을 발달시키고, 표면침식이나 토사이동을 억제할 수 있다. 따라서 발생구역에서는 이와 같은 산림의 붕괴방지기능을 고도로 발휘시키기 위하여 본수조정벌채 등을 실시한다.

그리고 해당 산림정비 대상에 대하여는 개별에 의한 근계의 긴박력의 저하(벌채 후 약 10~20년 이후)를 초래하지 않도록 극단적인 개벌을 피하도록 한다.

[정비목표]

본수조정벌채 등에 의하여 다음과 같은 내용을 지향할 수 있다.

① 근계가 발달하고, 토양의 긴박력이 큰 산림

근계의 네트워크가 발달하게 되면 산지의 사면이 보강되고, 붕괴의 발생을 억제할 수 있다.

② 광환경의 개선에 의한 하층식생이 발달한 산림

하층식생이 발달하여 지표가 피복되고, 이로 인하여 표면침식이나 토사의 유출을 방지할 수 있다.

구체적으로는 산림의 현상을 파악하고, 침엽수 인공림을 대상으로 본수조정벌채 등에 의한 적절한 밀도관리를 실시한다. 또한, 나지, 초지 등 무림목지가 확인될 경우에는 식재를

실시한다.

한편, 붕괴가 발생할 수 있는 개소 등을 정확하게 예측하기 곤란하기 때문에 0차곡을 중심으로 한 일련의 산림에 대하여 붕괴를 예방한다는 관점에서 사업 대상지를 약간 확대하여 본수조정벌채를 실시한다. 그리고 황폐될 우려가 있는 개소에 대하여는 표면침식을 방지하고 토사의 이동을 억제하기 위해 흙막이 등과 같은 사방시설을 함께 정비하는 것이 바람직하다. 또한, 계류지역에는 필요에 따라 사방댐 등을 설치하여 산각을 고정하고, 붕괴나 이에 동반되는 유목의 발생을 방지한다(표 1).

표 1. 발생구역에 있어서의 정비방침

항목	정비방침	공종
산림정비 등	· 침엽수 인공림의 본수조정벌채를 실시함 ⇒ 수목의 근계 발달 촉진 ⇒ 토양의 긴박력 증대 ⇒ 붕괴방지기능 발휘 ⇒ 하층식생 발달 · 목본식물의 침입을 촉진함 ⇒ 표도유출 방지 · 무립목지 ⇒ 입지에 적합한 수종 식재 ⇒ 표도유출 방지	· 본수조정벌채 · 식재 등 · 사슴의 식해대책 [표도유출억지공] · 벌도목 가로쌓기
사방시설정비	· 산림정비를 실시하여 식생이 회복하기까지 토사유출을 방지하도록 함 · 계단 모양의 흙막이를 설치하도록 함 ⇒ 오목사면에서의 퇴적토사 이동억지 기대 · 간이 보강토공을 정비하도록 함 · 계단 모양의 차수형 댐 설치⇒계상물매의 완화, 산각의 고정, 토석류·유목의 발생 방지	[유목발생억지공] · 간이 흙막이 · 보강토공 · 흙막이 [유목포착공] · 편책공, 와이어네트 등

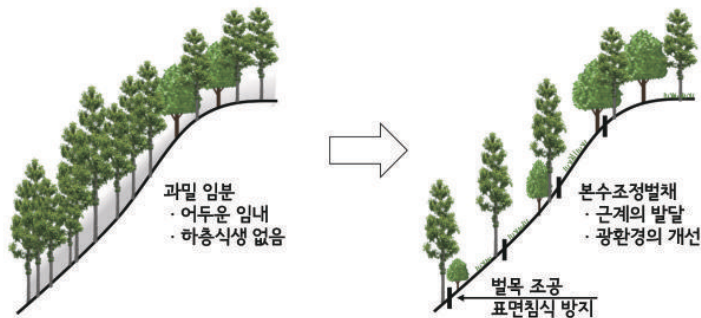


그림 5. 산림정비의 이미지(발생구역)

2) 유하구역

유하구역에서는 발생구역의 토사나 입목이 토석류가 되어 계류 주변의 입목이나 계안지역의 토사와 함께 유하할 경우, 하류지역의 유목재해를 확대시킬 수 있다. 따라서 유하구역에서는 아래쪽으로 유하하는 에너지를 감쇠하고, 유목발생량을 감소시킬 대책으로 침엽수 인공림에 있어서의 본수조정벌채이나 계류 내의 도복목, 퇴적목, 위험목의 제거 등을 정비하도록 한다(그림 6, 표 2).

[정비목표]

본수조정벌채 및 도복목, 퇴적목, 위험목의 제거 등에 의하여 다음과 같은 내용을 지향할 수 있다.

- ① 근계가 발달하고, 수간의 지지력, 토양의 긴박력이 큰 산림
- ② 유목발생량의 억제

구체적으로는 산림의 현상을 파악하고, 본수조정벌채에 의하여 밀도를 관리한다. 본수조정벌채는 근계의 발달을 촉진하고, 임내의 광환경이 개선하여 습성 환경에 적합한 식생(계반림의 구성종, 선구종)의 침입 등을 기대할 수 있다. 또한, 입지조건이 열악한 구역에서는 본수조정벌채를 반복하여 침활혼효림화를 지향하도록 한다.

그리고 토석류 등의 발생 시에 유목화될 우려가 있는 계류지역의 입목에 대하여는 벌채하여 제거하도록 한다. 이 경우 벌채적지에 대하여는 토사유출 등의 위험이 없는 경우에는 자연 추이에 맡기도록 한다. 또한, 계류 내에 퇴적된 유목군의 퇴적목이나 도복목은 재이동할 위험성이 있기 때문에 제거하도록 한다.

한편, 유목의 유출 확대를 방지하기 위하여 유목포착식 사방댐 등과 같은 사방시설을 함께 정비하는 것이 바람직하다(표 2).

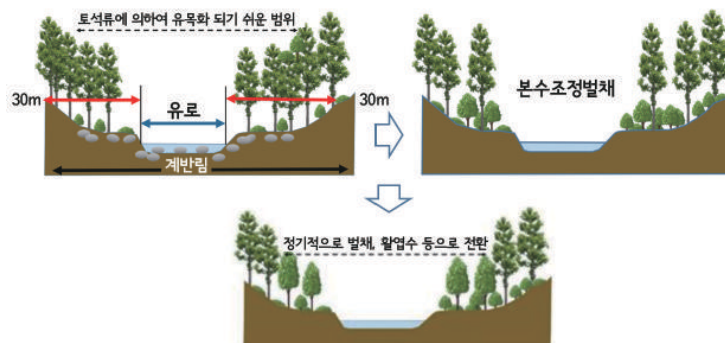


그림 6. 산림정비의 이미지(유하구역)

표 2. 유하구역에 있어서의 정비방침

항목	정비방침	공종
산림정비 등	• 침엽수 인공림의 본수조정벌채를 실시함 ⇒ 수목근계의 발달 촉진 ⇒ 토양의 긴박력 증대 ⇒ 붕괴방지기능의 발휘 ⇒ 하층식생·목본식물의 침입 촉진 ⇒ 표토유출 방지 ※ 입지조건이 열악한 구역에서는 침활혼효림 등으로 전환하도록 함 ※ 느티나무 등과 같은 일부 활엽수는 토사가 퇴적된 부분에서 부정근이 발생하여 고사되지 않는 경우가 있음 • 계류지역의 입목 벌채 제거⇒자연 추이에 맡기도록 함 • 계류생태계의 보전에 유의하도록 함 • 계류 내에 토적된 유목군의 퇴적목이나 도복목은 재이동할 위험성이 있기 때문에 제거하도록 함 • 갱신 폭은 기존 사례에 따르면 약 30m 전후가 적당함	• 본수조정벌채 • 식재 등 • 위험목 벌채 제거 • 퇴적목, 도복목의 제거 【표토유출억지】 • 벌도목 가로쌓기
사방시설정비	• 계단 모양의 차수형 사방댐을 설치하도록 함 ⇒ 토석류의 확대 방지와 에너지의 완화, 계반림 침식 방지, 유목량 감소 • 유목을 효과적으로 포착할 수 있는 장소에 유목포착식 사방댐을 정비하도록 함 ⇒ 토사·유목의 유출 억지·조절 • 기슭막이를 정비하도록 함 ⇒ 수충부에서는 계안침식, 붕괴에 동반되는 유목의 발생 예방	【유목발생억지공】 • 골막이 • 기슭막이 • 산복공(흙막이) 【유목포착공】 • 유목포착식 사방댐

3) 퇴적구역

퇴적구역에서는 계상물매가 완만해지기 때문에 토사나 유목을 동반한 토석류의 유하 에너지가 감쇠하여 계반림에서 퇴사를 촉진하고, 유목을 포착할 수 있다.

이러한 효과를 기대하기 위해서는 입목의 비대성장, 근계나 하층식생의 발달이 필요하므로, 본수조정벌채 등에 의한 적절한 밀도관리를 실시한다(표 3).

【정비목표】

본수조정벌채 등에 의하여 다음과 같은 내용을 지향할 수 있다.

① 근계가 발달하고, 수간의 지지력이 큰 산림

② 비대성장의 촉진

③ 광환경의 개선에 의한 하층식생의 발달

구체적으로는 산림의 현상을 파악하고, 본수조정벌채 등에 의하여 적절한 밀도관리를 실시한다. 계상물매가 완만한 퇴적구역에서는 완충림에 의한 퇴사의 촉진, 유목의 포착효과를 기대할 수 있으므로, 본수조정벌채에 의하여 밀도를 관리하고, 입목의 비대성장 및 근계 등의 발달을 촉진한다. 다만, 토양조건이나 형상비를 감안하여 비대성장을 예상할 수 없을 경우에는 활엽수(느티나무, 팽나무 등)로의 전환을 검토한다.

그리고 산림 내의 최하류부에 있어서 유목이나 토사의 유출 확대 등에 의한 피해를 방지하기 위하여 유목포착식 사방댐 등과 같은 사방시설을 함께 정비하는 것이 바람직하다(표 3).

표 3. 퇴적구역에 있어서의 정비방침

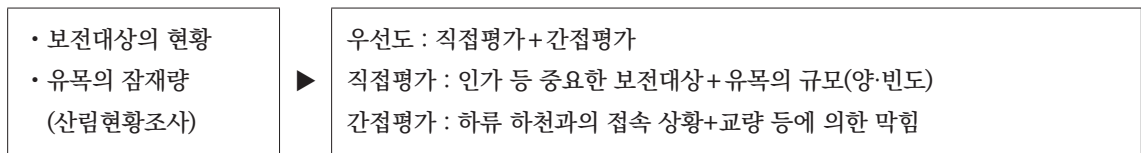
항목	정비방침	공종
산림정비 등	- 토석류 퇴적범위 내의 침엽수 인공림의 본수조정벌채를 실시하도록 함 ⇒ 입목의 비대성장 ⇒ 근계의 발달 ⇒ 수간 저항력이 있는 대경목으로의 유도, 토석류의 완충, 퇴사의 촉진, 유목의 포착 - 계상물매 10° 정도 이하의 퇴적구역 하류에서는 완충림의 배치를 검토하도록 함 - 사방시설과 조합하여 배치하도록 함	- 본수조정벌채 - 식재 등
사방 시설정비	- 유목포착식 사방댐을 정비하도록 함 ⇒ 효율적인 토석류 및 유목 포착, 하류에 미치는 영향의 방지 및 경감 - 차수형 사방댐을 정비하도록 함 ⇒ 산림 내의 최하류부에 있어서의 포착토사의 재유출에 의한 피해 방지, 종횡침식 방지	- 유목포착식 사방댐 - 차수형 사방댐

(2) 보전대상 등에 의한 정비 우선도

정비 우선도는 ① 계류의 형상, 보전대상의 위치관계로부터 유목에 의한 피해가 인가 등의 보전대상에 직접 미칠 것으로 예상되거나, ② 계류 주변의 임분상황이나 유목의 발생규모 등으로부터 평가하여 계반림의 정비 대상구역을 선정한다. 또한, 유목이 교량 등에 의하여

차단되면 유로가 막히거나 저수지 등으로 유입되어 범람을 일으키게 되어 간접적인 피해가 확산되는 경우도 있으므로, 하류지역의 하천 상황, 교량이나 저수지 등의 구조물에 대해서도 고려할 필요가 있다.

따라서 정비의 우선순위는 보전대상의 중요성과 유목발생의 규모에 의한 영향 정도, 더욱이 계류나 하천을 횡단하는 교량이나 저수지 등과의 위치관계 등을 고려하여 리스크를 판단한 후에 결정하도록 한다.



참고문헌

林野庁. 2018. 溪畔林整備指針(素案). 18pp.

산지계류에 있어서 유목방지대책으로서의 계반림 정비(2) -산림 형태별 정비내용과 본수조정별채의 실시방침-



전 근 우 / 서 정 일

강원대학교 산림환경과학대학 명예교수 / 국립공주대학교 산업과학대학 교수

kwchun@kangwon.ac.kr / jungil.seo@kongju.ac.kr

계류 주변의 산림, 즉 계반림을 정비할 때에는 산림계획제도와 관계 법령 등을 충분히 고려하여 대응하여야 하며, 계반림 정비의 대상이 되는 산림과 그에 포함되는 계류는 산지재해방지기능을 발휘한다는 관점에서 적절한 지정 시업요건을 설정해야 한다.

만일 계반림 정비를 사방사업으로 실시할 경우에는 별채허가 대상이 되지는 않지만, 사방사업 이외의 사업이나 산림 소유자 등이 실시하는 사업은 지정 시업요건의 범위 내에서 별채허가 등에 근거하여 정비하여야 한다. 또한, 사방사업으로 계반림을 정비한 산림은 산지재해방지기능을 발휘한다는 관점에서 적절한 지정 시업요건을 만족하는지를 확인하고, 특히 본수조정을 목적으로 별채를 실시한 개소는 토양침식 및 토사유출이 우려되기 때문에 향후 택벌에 의한 산림정비가 요구되는 개소에 대해서는 반드시 택벌에 의한 시업이 이루어질 수 있도록 지정하는 것이 바람직하다(溪畔林整備指針(素案), 2018年).

이상의 관점에서 이 연구에서는 산림형태별 정비내용과 본수조정을 위한 별채의

실시방침에 대해 정리하였다.

1. 산림형태별 정비내용

계류 주변의 산림은 대개 활엽수를 주체로 한 천연림의 형태로 성립되지만, 실제로는 계류 주변까지 인공으로 조성된 경우도 많아 인공림의 수목이 유목화되어 하류에 피해를 미치는 사례가 다수 보고되고 있다. 이러한 유목피해에 대한 방지대책으로서의 구체적인 계반림 정비내용을 유하구역 위주로 한정하여 정리하였다. 먼저 산림현황조사의 결과를 기본으로 하여 계반림을 인공림, 천연림(자연림·2차림), 무입목지로 구분한 후, 각각의 정비목표를 표현하는 산림형태를 「자연추이형」, 「인공림개량형」, 「인공림유지형」, 「산림창출형」으로 구분하였다. 또한, 이상의 목표를 달성하기 위하여 계반림의 산림시업을 본수조정벌채와 식재, 천연갱신 등으로 집약하여 실시하도록 하였다.

그림 1은 계안으로부터 산쪽으로 30m 정도 범위의 계반림에 있어서 산림형태별 시업내용을 추출하기 위한 흐름도이다. 대상 임분이 자연림이나 2차림 등의 천연림인 경우에는 자연스럽게 추이되는 것을 기본으로 한다. 또한, 대상 임분이 무입목지인 경우, 교란빈도가 높은 임지는 자연스럽게 추이할 수 있도록 하고, 교란빈도가 낮은 임지는 천연갱신 등에 의한 활엽수림화를 지향하도록 한다. 그리고 대상 임분이 인공림인 경우, 입지조건이 좋고 재해발생 이력이 없는 임지는 목재생산의 적지이기 때문에 목재 생산활동을 통하여 산림의 공익적 기능을 발휘할 수 있도록 한다. 그러나 입지조건이 불량하고 재해발생 이력이 있어 방재기능이 요구되는 구역에서는 침활혼효림화를 지향하도록 한다. 다만, 흉고직경이 30cm 이상(벌기 상당)인 임분에서는 인공림 유지형태를 지향하도록 한다. 반대로 흉고직경이 30cm 미만인 임분의 경우, 형상비가 높은 과밀림은 기상재해 등을 고려하여 약도의 본수조정벌채를 단계적으로 실시하여 활엽수를 도입하도록 하고, 형상비가 상대적으로 낮은 임분은 본수조정벌채에 의하여 활엽수를 도입하도록 한다. 참고로 수고를 흉고직경으로 나눈 값인 형상비가 75~80 정도 이상이 되면 기상재해의 영향을 받아 줄기가 부러지기 쉽기 때문에 해당지역의 기상특성 등을 고려하여 형상비의 고저를 판단해야 한다.

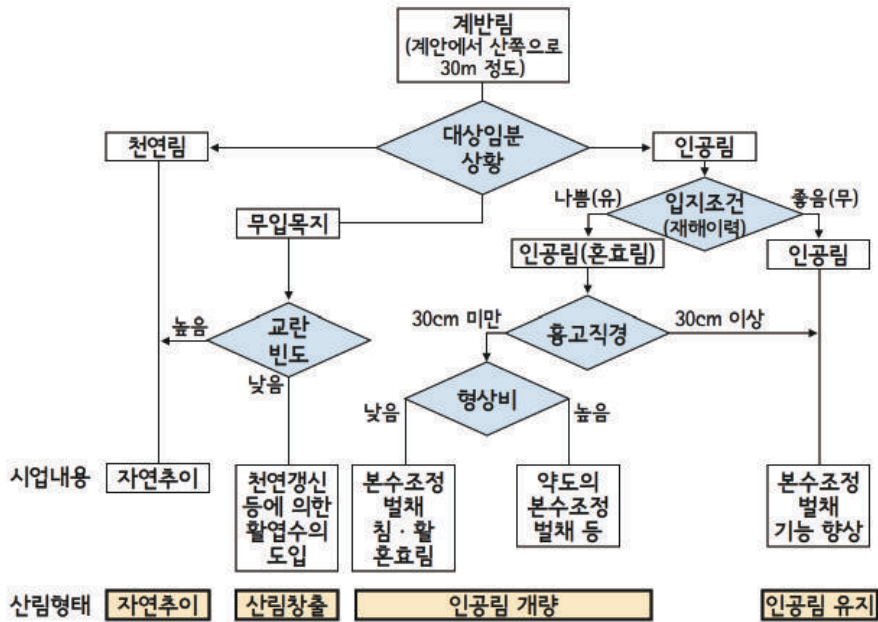


그림 1. 산림형태별 정비선정 흐름도

산림형태별 정비방법은 다음과 같다.

1) 자연추이형

주로 활엽수로 이루어진 자연림, 2차림 및 교란빈도가 높은 임지의 무입목지를 대상으로 한다. 원래 계류 주변에 산림이 자연적으로 성립된 구역에서는 계반림으로서의 다양한 기능을 보전한다는 관점에서 특별한 정비를 하는 것이 아니라 자연적인 추이를 유도하는 것을 기본으로 한다. 다만, 기상재해 등에 의하여 계류 주변에 다량의 도복목이나 퇴적목이 발생한 경우에는 유목화하지 않도록 제거한다.

2) 인공림개량형

주로 침엽수로 이루어진 인공림 중에서 입지조건이 열악하여 목재생산이 적합하지 않거나 재해 발생이력이 있는 토석류 유하지역, 만곡부의 외곽사면 등과 같이 토석류의 영향을 받기 쉬어 방재기능의 발휘를 기대해야 하는 구역을 대상으로 한다. 이들 구역에 있어서는 유목발생량을 줄이는 등 유목재해를 방지·경감한다는 관점에서 침활혼효림으로 유도하는

것을 기본으로 한다. 구체적으로는 본수조정벌채를 실시하고, 임분조건에 따른 통상 벌채율(20~30%)에 대하여 10~20% 정도를 할증하여 본수조정벌채의 실시를 검토하도록 한다.

불량 조림지나 야생동물에 의한 피해 등으로 밀도가 낮은 임분에 대해서는 침활혼효림으로 신속하게 유도하기 위하여 계반림의 구성종 또는 성장이 양호한 선구종의 식재 등을 실시한다. 또한, 형상비가 높은 과밀임분에 대하여는 본수조정벌채를 실시하면 풍해 등의 기상재해를 받을 가능성이 높아지기 때문에 약도의 본수조정벌채를 단계적으로 실시할 필요가 있다는 점에 유의하도록 한다.

활엽수를 도입하고자 하는 경우, 모수가 존재하는 등 조건이 양호하면 천연갱신을 유도하고, 반대로 모수가 없으면 식재를 실시하도록 한다. 다만, 식재 시에는 야생동물에 의한 식해에 충분히 유의하여야 한다.

계류지역 내에 식재된 침엽수 등을 제거하여도 토사유출 등의 우려가 없는 경우에는 위험목으로 간주하여 벌채한다. 이후의 관리로서 도복목을 제거하는 것 외에는 자연의 추이에 맡기도록 한다.

3) 인공림유지형

주로 침엽수로 이루어진 인공림 중에서 임도나 작업로 등이 있어 접근성이 양호한 목재 생산활동의 적지를 대상으로 한다. 이들 구역에 있어서는 본수조정벌채 등에 의하여 근계나 하층식생이 잘 발달하도록 유도하는 것을 기본으로 한다.

보육이 불충분한 과밀임분의 경우, 토석류 발생 시에는 입목이 유목화될 위험이 있고, 평상시에도 하층식생이 충분히 생육하지 못하여 토사유출로 이어질 수 있기 때문에 조기에 본수조정벌채를 실시하도록 한다. 다만, 과밀임분에 본수조정벌채를 실시하면 풍해 등의 기상재해를 받을 가능성이 높다는 점에 유의하여 약도의 본수조정벌채를 단계적으로 실시할 필요가 있다.

계류지역 내에 식재된 침엽수 등을 제거하여도 토사유출 등의 우려가 없는 경우에는 위험목으로 간주하여 벌채하고, 이후에는 도목 등을 제거하는 경우를 제외하면 식재 등을 실시하지 않고 자연의 추이에 맡기도록 한다.

4) 산림창출형

계반림 주변의 벌채적지, V자형 초지나 교란빈도가 낮은 퇴적지 등의 무입목지를

대상으로 하며, 이들 구역에서는 활엽수림화를 지향하는 것을 기본으로 한다. 「神奈川県溪畔林整備の手引き(神奈川県自然環境保全センター, 2017年 3月)」에 따르면, 천연갱신은 모수가 30m 이내에 존재할 때 성공 가능성이 높은 것으로 알려져 있어 이에 해당하는 경우에는 천연갱신을 실시한다. 그러나 주위에 모수가 없고, 치수나 실생의 발생도 확인되지 않을 경우에는 식재를 실시하도록 한다.

최근 식재목이 야생동물에 의한 식해를 받아 갱신이 방해를 받는 사태가 문제가 되고 있다. 이 경우 별도의 대책이 필요하기 때문에 사전에 야생동물의 서식상황에 대하여 조사하며, 확인항목으로는 식생의 식해 흔적, 배설물, 수피의 벗겨짐 등의 유무를 확인하도록 한다.

교란빈도가 높은 모래톱·구유로를 포함한 계류지역은 식재 등을 실시하지 않고 자연의 추이에 맡기도록 한다.

2. 본수조정벌채의 실시방침

계반림 정비의 주요한 정비목표로는 본수조정벌채를 실시하여 입목의 근계 발달을 촉진하고, 토양의 긴박력과 수간의 지지력을 향상시키며, 임내의 광환경을 개선하여 하층식생을 발달시키는 것 등이다. 이러한 정비목표를 달성하기 위한 구체적인 산림사업은 본수조정벌채와 천연갱신·식재이므로 이에 관련된 방법, 기준 등에 대하여 정리하였다.

2.1. 본수조정벌채

1) 본수조정벌채의 기준

본수조정벌채는 현재의 산림 상태와 정비목표와의 차이에 해당하는 입목을 벌채하는 작업으로, 단순동령림에서의 적정 본수를 구하는 기준으로 수량비수(収量比数)(R_y)가 널리 사용되고 있다. 수량비수는 수고, 흉고직경, ha당 본수의 관계를 밀도관리도로 나타낸 것이며, 임분의 성장이 최적인 밀도에서의 수량비수(R_y)는 0.7 전후인 것으로 알려져 있다. 또한, 하층식생이 양호하게 생육하기 위해서는 상대조도(RLI: 임내의 광량/임외의 광량 $\times 100$)가 약 20% 이상이 필요한 것으로 보고되었다. 이러한 상대조도와 수량비수 사이에는 높은 상관관계가 있는데, 수량비수 $R_y=0.65$ 이하에서 상대조도 20%를 확보할

수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 계반림구역에 있어서 본수조정벌채의 기준으로는 $R_y = 0.65 \sim 0.70$ 을 인공림의 중용 밀도로 하고, 현황산림의 밀도를 판정하는 기준으로 한다. 또한, 침활혼효림을 목표로 하는 경우에는 상대조도 20%를 확보하기 위하여 $R_y = 0.65$ 정도 이하의 밀도로 설정할 필요가 있다.

한편, 수량비수에 의한 밀도판정은 같은 수종의 동령림으로 생육조건이 일정한 인공림에 제한되기 때문에 수목의 형상 등이 일정하지 않은 활엽수 주체의 임분 등에서는 상대간거리비(相對幹距比)(S_r), 형상비(F_r), 흉고단면적 합계(G) 등의 수량비수 이외의 지표를 기준으로 하는 것이 바람직하다.

표 1. 인공림의 본수조정벌채 산정 시의 지표·기준

항목	계반림	건전한 산림	불건전한 산림
중층식생	중층의 수관을 형성	중층의 수관을 형성	없음
하층식생	밀생(密生)	중~밀생 (중층식생이 상록수인 경우는 소생(疎生))	소생(疎生)
지하고(수고비)	1/2 미만	1/2~2/3	2/3 이상
수량비수	0.65 이하	0.7 전후	0.75 이상
평균형상비	65 미만	70 미만	75 이상
상대간거리비	20% 이상	15~20%	15% 이하

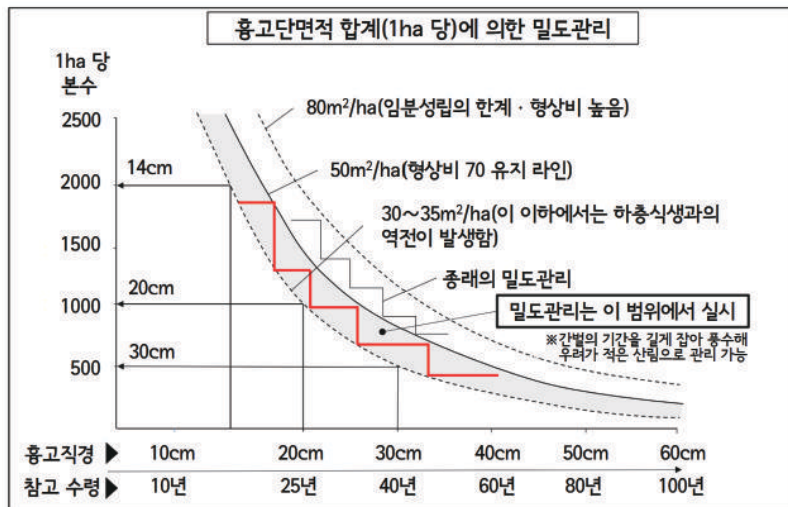


그림 2. 흉고단면적에 의한 밀도관리도

2) 본수조정벌채의 방법

본수조정벌채의 방법은 기초자치단체 산림정비계획 등에 규정된 간벌의 기준 및 방법을 준용하도록 한다. 간벌의 방법은 하층간벌, 상층간벌, 열상간벌, 정성간벌 등의 방법이 있지만, 기본적으로 우세목과 지하고가 낮은 수목을 남기고, 본수조정벌채 이후의 입목간격(幹距)은 가능하면 균등하도록 선목(選木)한다. 또한, 본수조정벌채에 의하여 대경목림으로 유도할 경우, 형상비가 작고 수관의 길이 비율이 높은 입목을 남겨두도록 선목에 유의하여야 한다.

3) 본수조정벌채에 의한 벌목의 이용

본수조정벌채에 의한 벌목은 반출하거나 현장 내에서 이용하는 것이 바람직하다. 현지에서 이용할 경우에는 산비탈흙막이, 누구막이, 조공 등과 같은 간이 사방시설의 재료로 이용하고, 임내에 존치할 경우에도 사면의 수평방향으로 배치하거나 계류에서 충분히 떨어진 장소에 쌓아 정리하는 등 적정하게 처리하도록 한다.

2.2. 천연갱신·식재

천연갱신이나 식재는 목표로 하는 임분의 형태로 개량 및 유도하기 위하여 신속하게 식생을 도입하는 것을 목적으로 한다.

1) 천연갱신·식재 후보수종

천연갱신은 결과적으로 후보지 부근에 모수가 존재한다는 것으로, 현지의 환경에 적합한 수종으로 갱신될 수 있을 것이다.

식재수종은 습성 환경에 적합한 종, 흉고직경이 정상적으로 성장할 수 있는 종, 근계의 수간 지지력이 큰 종을 선정조건으로 한다. 또한, 느티나무, 참피나무, 계수나무, 칠엽수, 버드나무류 등의 계반림 구성종이나 사방오리, 오리나무, 서어나무류 등의 선구성 수종부터 해당 지역의 계반림을 구성하는 수종을 참고하여 선정하도록 한다.

2) 식재 묘목

식재에 사용하는 묘목은 일반 조림용 묘목을 기본으로 하지만, 근원직경이 굵고 측근의 발달이 양호한 수종, 가지가 곧고루 잘 발달하는 수종, 병해충 피해를 잘 받지 않는 수종 등을 기본조건으로 하여 선정한다.

표 2. 일본에 있어서 계반림 구성종에 대한 일람 예시

식생형태·군락명		지역	홋카이도 (北海道)	도후쿠 (東北)	간토(関東) 주부(中部)	긴키(近畿) 주코쿠(中国)	규슈 (九州)
습 성 목 본 군 락	버드나무 관목군락 (갯버들·개키버들)		-	홍수단구 2m 미만·계상	홍수단구 전체·계상	-	-
	버드나무 교목군락 (새양버들 등)		홍수단구 2m 미만	홍수단구 전체		계상	
	벗나무군락 (층층나무·느티나무·까치박달· 나래쪽동백·단풍나무·틸고로쇠)		-	-		-	
	호두나무군락 (칠엽수·계수나무·호두나무)			홍수단구 2m 미만·계상		홍수단구 2m 미만	
	물오리나무군락			홍수단구 전체			
	들메나무군락 (오리나무·쥐똥나무·팽나무·푸조나무)		홍수단구 전체	-	-	홍수단구 전체	
	예덕나무군락		-				
	해장죽군락		-				

3. 정리

전술한 1 및 2에 입각하여 산림형태별 정비방법을 정리하면 표 3에 제시한 바와 같다.

표 3. 산림형태별 계반림 정비방법

산림형태	현황	정비방법
자연추이형	자연림·2차림 ·무입목지 (교란빈도 높음)	정비를 실시하지 않고, 자연상태에서 추이를 지켜본다(필요에 따라 정비를 검토).
인공림개량형	인공림	- 수량비수(R_y)에 의한 관리($R_y=65$ 이하) - 침활혼효림화를 목표로 한다. - 우세목과 지하고가 낮은 수목을 남기고, 본수조정벌채 이후의 입목 간격(幹距)은 가능하면 균등하게 되도록 선목한다. - 과밀림에서는 약도의 본수조정벌채를 단계적으로 실시한다. - 활엽수를 도입할 경우, 필요에 따라 식재 등의 시업을 실시한다. - 활엽수림의 경우, 상대간거리비 S_f에 의한 관리를 실시한다. - 계류지역의 입목은 벌채하여 제거한다.

산림형태	현황	정비방법
인공림유지형	인공림	• R_y에 의한 관리($R_y=0.65\sim0.70$) • 우세목과 지하고가 낮은 수목을 남기고, 본수조정벌채 이후의 입목 간격(幹距)은 가능하면 균등하게 되도록 선택한다. • 과밀림에서는 약도의 본수조정벌채를 단계적으로 실시한다. • 대경목림으로 유도할 경우, 형상비가 작고 수관 길이 비율이 높은 입목을 우선적으로 존치한다. • 계류지역의 입목은 벌채하여 제거한다.
산림창출형	무입목지 (교란빈도 낮음)	• 주위에 모수가 있는 경우에는 천연갱신을 유도한다. • 치수나 실생이 없는 경우에는 계반림 구성종이나 선구종을 기본으로 한 수종을 선정하여 식재한다. • 식재 시에는 야생동물 대책(방호책의 설치, 포획 등)에 대하여 검토한다.

계류에 대해서도 주변의 산림과 일체적으로 관리하는 것이 바람직한 것이므로 결국 계류지역을 대상으로 사방사업 이외의 산림정비·위험목 제거 등에 대하여 벌채허가 등과 같은 절차를 적절하게 실시할 필요가 있다. 또한, 교란의 빈도가 높고 유수에 의하여 반복적으로 침수되어 건전한 토양이 발달할 수 없는 유로부는 암석지 등과 마찬가지로 식재의무를 부과하지 않도록 하여야 한다.

산지수변림의 구조와 갱신동태 -지형적 입지여건과 홍수 교란을 중심으로-



김 석 우

강원대학교 산림환경과학대학 교수

kimsw@kangwon.ac.kr

우리나라는 국토면적의 약 64%가 산림이며, 산림 내를 흐르는 산지계류는 차수법칙에 따라 1~2차수로 정의할 경우 우리나라 전체 하천길이의 70% 이상(김익재와 한대호, 2008)을 차지한다. 따라서 산림의 녹색댐 기능과 다양한 공익적 기능의 가치를 생각한다면 유역 상류의 수계를 따라 연속적으로 분포하는 산지수변림은 입지적 특성에서 유역 환경의 관리를 위한 생태적·경관적 보전가치가 매우 높은 곳이다.

I. 산지수변림의 구조

산지수변림은 산지계류 주변에 성립하여 유수에 의한 침식과 퇴적작용의 영향을 받고 있는 범위 내의 산림을 말한다(砂防学会, 2000; 그림 1). 즉, 구조적으로는 유수의 영향을

받는 지형구조(사력퇴, 범람원, 단구 등)상에 성립하여 계류의 영향을 지속적으로 받는 산림, 그리고 기능적으로는 일사차단, 유기물(낙엽, 도류목 등) 공급 등을 통해 계류의 물리·화학·생물학적 환경에 영향을 미치는 범위 내에 분포하는 산림으로 정의된다(中村, 1995; 그림 2).



그림 1. 우리나라의 산지수변림(강원대학교 학술림 내)

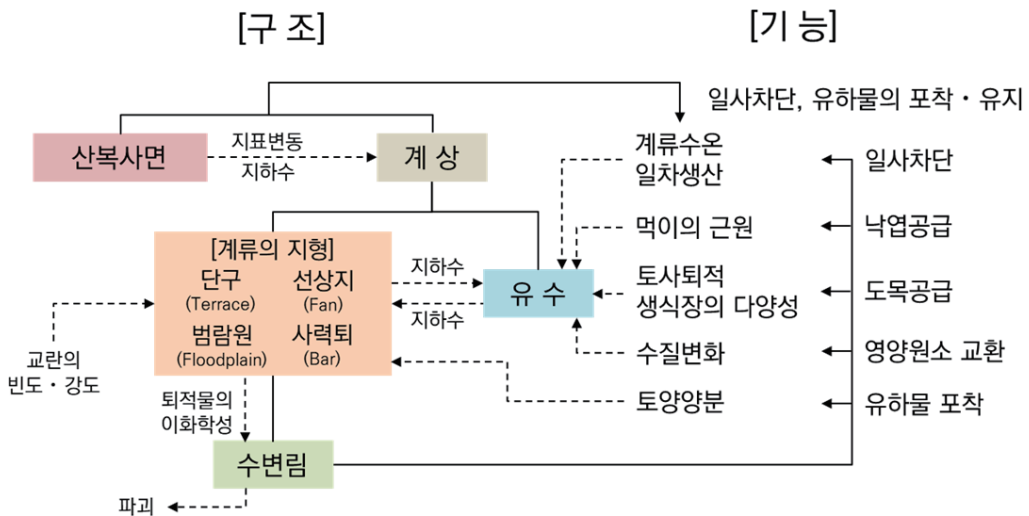


그림 2. 수변역의 구조와 기능(中村(1995)의 자료를 토대로 재작성)

산지수변림은 산지사면과 계류의 중간역에 위치하며, 계류의 유황(流況) 변화에 적응한 식생으로 구성되어 있기 때문에 수변 특유의 경관·생태적 환경을 유지하고 있다(砂防学会, 2000; 그림 3). 특히 계류 내 미지형의 다양성과 유수에 의한 빈번한 교란으로 인해 산지수변림은 주변 사면의 산림보다 종다양도와 종풍부도가 높은 특징을 보인다(Gregory et al., 1991). 신규 벌채지부터 임령 500년이 넘는 노령림까지를 포함한 미국 오리건(Oregon) 지역에서의 연구사례에 따르면 수변림은 상부 사면의 산림보다 종 수가 두 배 이상이었다고 보고된 바 있다(Gregory et al., 1991).

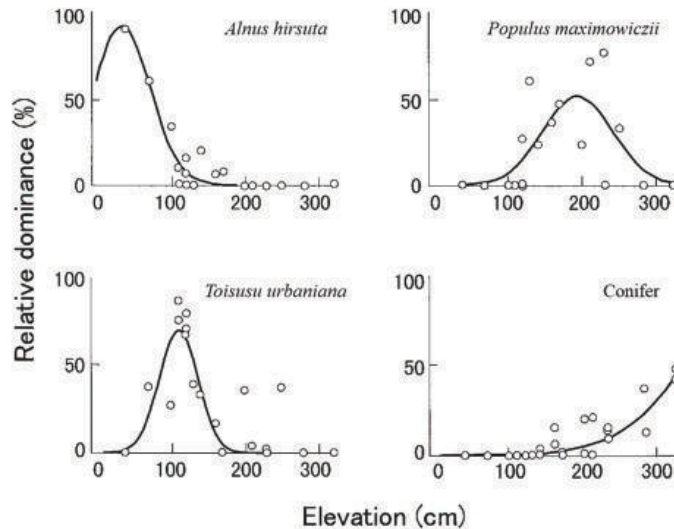


그림 3. 유로에서의 높이에 따른 주요 수종의 상대우점도 변화(Nakamura et al., 1997)

II. 산지수변림의 교란

산지수변림은 유수의 영향을 받는 범위 내에 있기 때문에 산지수변림의 동태(성립, 파괴, 갱신)에 영향을 미치는 대표적 교란요인에는 홍수와 토석류가 있다. 이러한 교란의 유형과 빈도·강도에 따라 산지수변림의 피해 양상은 다르며, 피해 후의 초기 성립과 재생과정에서도 다양한 경관구조와 종 구성을 보이게 된다(伊藤와 中村, 1994; Bendix,

1997; 그림 4). 특히 토석류는 대규모의 토사이동에 따른 큰 충격력으로 산지수변림을 파괴하고 유목을 발생·유출시킴으로써 하류에 큰 피해를 야기하기도 한다(그림 5; Nakamura et al., 2000).

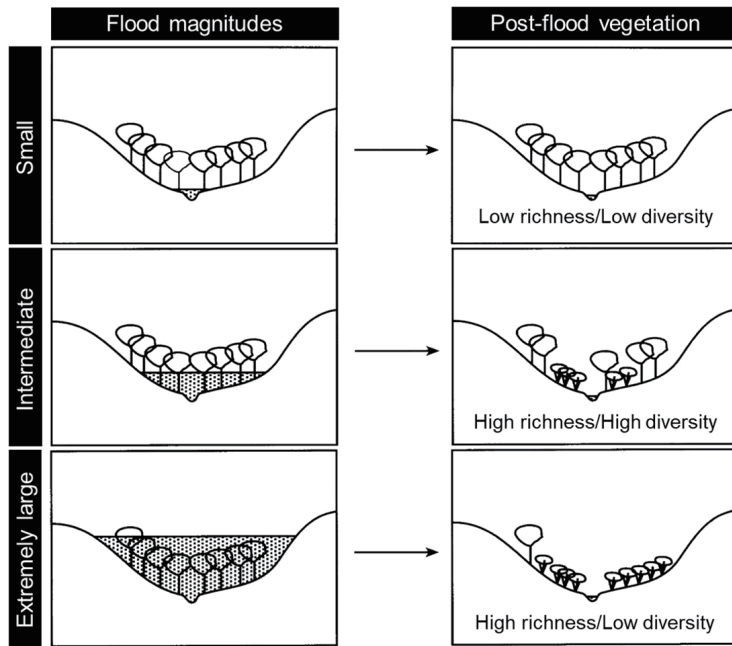


그림 4. 홍수교란 강도에 따른 수변림의 변화 모식도(Bendix(1997)의 자료를 일부 수정).

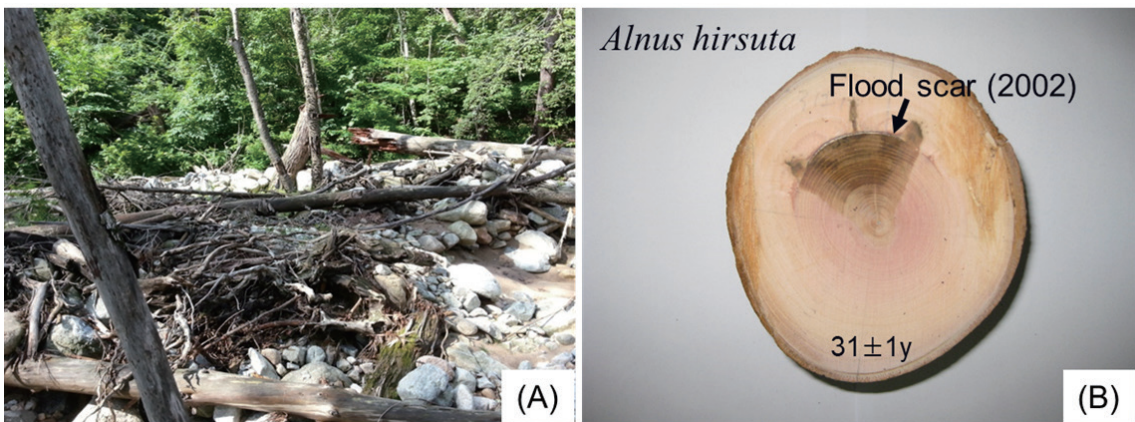


그림 5. 토석류 발생 후 산지수변림의 피해 흔적(A: 유목, B: 상흔).

유목은 산림교란의 지표이며, 수변림에 남아 있는 상흔(flood scar)은 연륜연대학적 분석을 통해 과거 홍수의 발생 시기와 규모를 추정하는데 활용된다.

Ⅲ. 산지수변림의 재생

홍수나 토석류는 유하과정에서 산림에 피해를 초래하지만, 경사가 완만한 지점이나 계류의 폭이 넓은 곳에서는 운반물질을 퇴적시킴으로써 산지수변림의 새로운 성립 공간을 조성하기도 한다(Gecy and Wilson, 1990; 그림 6). 홍수나 토석류에 의한 교란 후 산지수변림의 초기 성립 패턴은 인접 지역 산림의 식생구조(종 구성)의 영향을 받으며(Hull and Scott, 1982), 이는 후기의 천이패턴을 결정하게 된다(Egler, 1954).

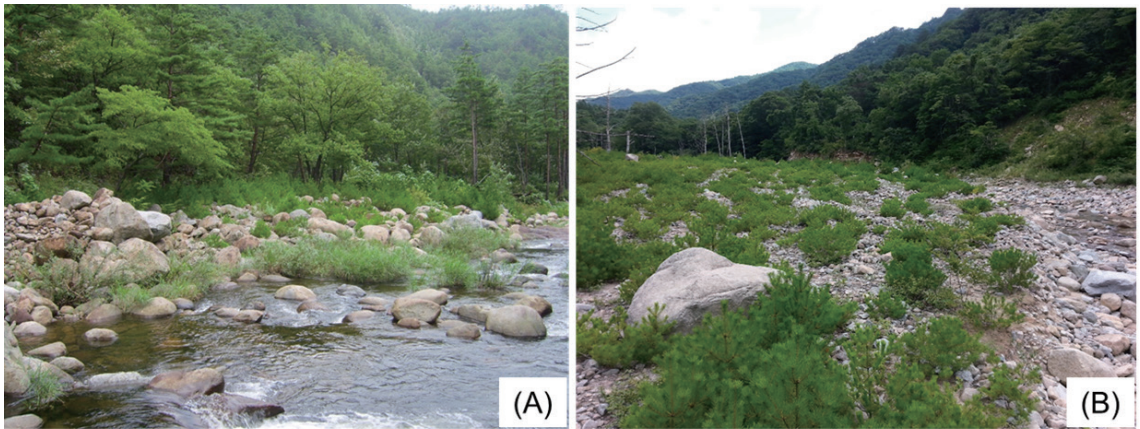


그림 6. 토석류 피해 후 산지수변림의 초기 성립(A: 강원도 삼척시 추천 상류, B: 강원도 인제군 한계천 상류). 선구수종인 버드나무류와 함께 대표적인 양수(陽樹)이자 척박한 토양에 잘 적응하는 소나무가 눈에 띈다.

또한, 산지수변림의 초기 성립과 재생 패턴은 생육지점의 지형적 입지여건(site condition)의 영향을 받는다. 즉, 계류의 지형구조(사력퇴, 범람원, 단구 등)상 임의의 지점에 성립한 식생은 유로에서의 높이와 거리에 따라 초기 성립 이후에도 차별적인 홍수·토석류 교란의 영향을 지속적으로 받게 된다. 일반적으로 유로부터 생육지점의 높이와 거리가 증가할수록 유수(홍수) 교란의 빈도와 강도가 감소하므로 생육지점의 안정성은 증가하게 된다(Nakamura et al., 1997). 이는 결국 산지수변림의 종 구성과 성장에도 영향을 미치는 요인으로 작용하게 된다. 2006년 토석류 피해 후 산지수변림의 재생이 진행되고 있는 강원도 인제군의 한계천을 대상으로 조사한 결과, 주요 우점 수종인 소나무의 평균 임령은 유로에서

퇴적지 내 조사구까지의 높이와 함께 증가하였고, 동일 임령의 연평균 수고성장량도 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다(그림 7, 8). 이는 전술한 바와 같이 유로로부터의 퇴적지의 높이가 증가할수록 결국 홍수범람의 영향 정도가 작기 때문에 생육공간의 안정도가 높아짐에 따라 식생의 정착이나 생장이 원활하게 이루어진 결과로 판단된다.

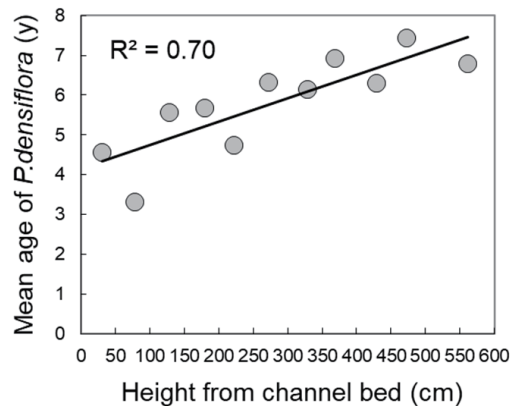


그림 7. 유로로부터의 퇴적지의 높이와 소나무의 평균 임령과의 관계(강원도 인제군 한계천에서의 조사결과)

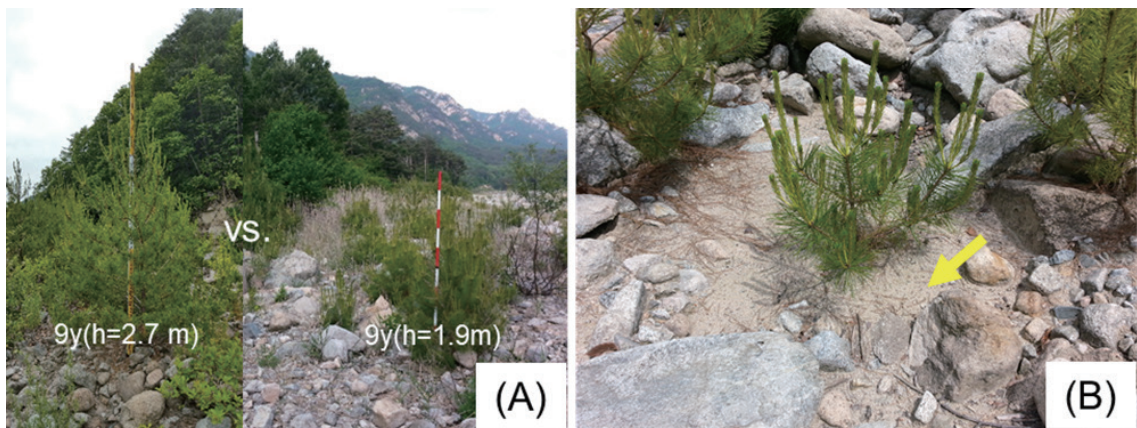


그림 8. 강원도 인제군 한계천 내 토석류 퇴적지의 소나무 생육상황(A)과 모래 퇴적물(B).

유로로부터 퇴적지 내 식생 생육지점의 높이와 거리에 따라 유수(홍수) 교란의 빈도와 강도가 달라지며, 월류로 인한 토사의 퇴적은 수목의 성장에도 영향을 미칠 것으로 생각된다.

이러한 산지수변림 생육지의 지형여건은 장기적으로 산지수변림의 천이 양식과 군집특성에도 영향을 미치게 된다. 일본 홋카이도의 도카치강(Tokachi River)에서의 연구사례에서도 유로부터의 거리와 높이에 따른 입지여건의 안정도에 따라 수변림의 성립 시기와 종풍부도·종다양도가 다르며, 동일한 임령이라도 보다 안정적인 입지에 생육하는 군락이 종다양도가 높은 것으로 보고되고 있다(Nakamura et al., 1997; 그림 9).

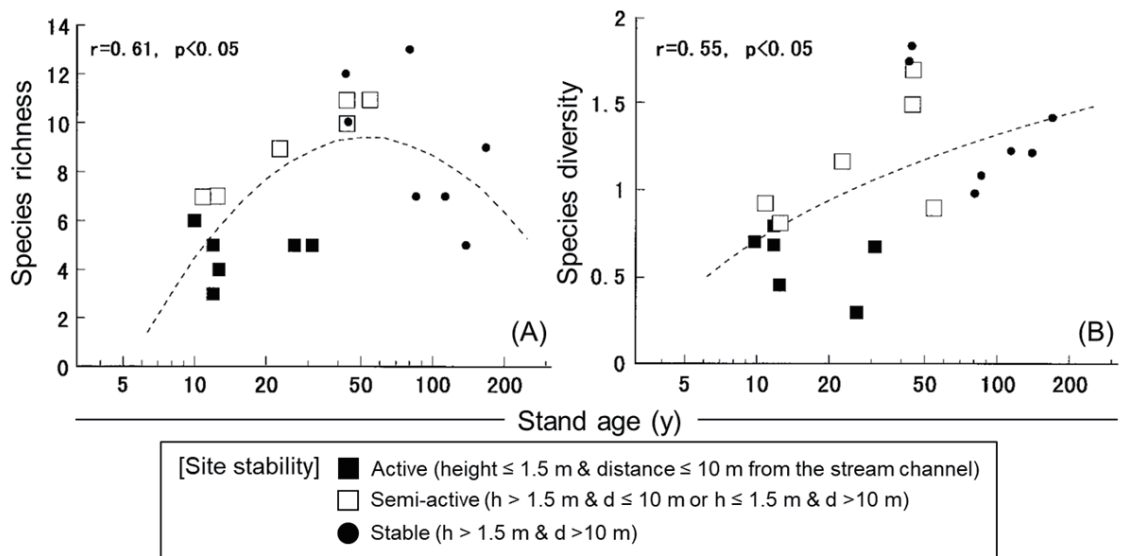


그림 9. 수변림의 종 풍부도(A) 및 종 다양도(B)와 임령과의 관계
(Nakamura et al.(1997)의 자료를 일부 수정)

앞에서 살펴본 바와 같이 산지수변림은 지형적 입지여건에 따라 인접 산림의 영향과 유수(홍수)의 차별적인 영향을 지속적으로 받으며 변화하고 있는 매우 다이내믹한 공간이다. 이러한 산지수변림의 동태 해석은 산림유역의 교란과 수변환경을 이해하는 데 중요한 정보를 제공하며, 생물지형학적 관점에서 다학제적으로 접근해야 할 것이다.

[감사의 글] 이 원고는 산림청(한국임업진흥원)
“산림과학기술 연구개발사업(2021342B10-2323-CD01)”의 지원에 의하여 작성되었습니다.

참고문헌

- 김익재, 한대호. 2008. 수생태계 보호를 위한 소하천 관리 방안. 한국환경정책·평가연구원 연구보고서. 149pp.
- Bendix, J. 1997. Flood disturbance and the distribution of riparian species diversity. *Geographical Review* 87: 468-483.
- Egler, F.E. 1954. Vegetation science concepts I. Initial floristic composition-a factor in old-field vegetation development. *Vegetatio* 4: 412-417.
- Gecy, J.L., Wilson, M.V. 1990. Initial establishment of riparian vegetation after disturbance by debris flows in Oregon. *The American Midland Naturalist* 123: 282-291.
- Gregory, S.V., Swanson, F.J., McKee W.A., Cummins K.W. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience* 41: 540-551.
- Hull, J.C., Scott, R.C. 1982. Plant succession on debris avalanches of Nelson County, Virginia. *Castanea*, 47: 158-176.
- Nakamura, F., Swanson, F.J., Wondzell, S.M. 2000. Disturbance regimes of stream and riparian systems- a disturbance cascade perspective. *Hydrological Processes* 14: 2849-2860.
- Nakamura, F., Yajima, T., Kikuchi, S. 1997. Structure and composition of riparian forests with special reference to geomorphic site conditions along the Tokachi River, northern Japan. *Plant Ecology* 133: 209-219.
- 伊藤哲, 中村太士. 1994. 地表變動に伴う森林群集の攪乱様式と更新機構. *森林立地* 36: 31-40.
- 砂防学会. 2000. 水辺域管理. 古今書院. 328pp.
- 中村太士. 1995. 河畔域における森林と河川の相互作用. *日本生態学会誌* 45: 295-300.

기후위기 시대에 산림생태복원의 중요성



김 경 하

국립강릉원주대 스마트인프라연구소 연구교수

kkyha6011@gwnu.ac.kr

1. 들어가기

1-1. 기후위기는 글로벌 리스크 1순위

매년 1월 스위스의 고급 휴양지인 다보스에서 개최되는 ‘세계경제포럼’은 매년 글로벌 리스크 인식을 조사하고 있다. 2023년 1월 11일자 ‘The Global Risks Report 2023’은 향후 10년간 인류를 위협할 글로벌 최대 리스크의 상위 10개 중 1위부터 4위까지를 ‘기후변화 대응 실패’와 ‘생물다양성 손실 및 생태계 붕괴’라고 하였다.

〈표 1. 장단기 글로벌 리스크 순위〉

〈 향후 2년간 인류를 위협할 단기 리스크 〉		〈 향후 10년간 인류를 위협할 장기 리스크 〉	
1	생활비 위기	1	기후변화 완화 실패
2	자연재해와 이상기후	2	기후변화 적응 실패
3	지정학적 대립	3	자연재해와 이상기후
4	기후변화 완화 실패	4	생물다양성 손실 및 생태계 붕괴
5	사회결속력 약화 및 양극화	5	대규모 비자발적 난민사태
6	대규모 환경피해	6	천연자원 위기
7	기후변화 적응 실패	7	사회결속력 약화 및 양극화
8	사이버범죄 및 사이버불안 확산	8	사이버범죄 및 사이버불안 확산
9	천연자원 위기	9	지정학적 대립
10	대규모 비자발적 난민사태	10	대규모 환경피해
경제		환경	
사회		기술	
지정학			

〈KISTEP 브리프 58, 23.02.02〉

최근 기후위기는 규모 면에서 대형화되고 시기적으로 일상화되고 있다. 금년 8월에 하와이에서 발생한 산불은 98명의 사망자를 내면서 1918년 이후 미국에서 가장 큰 인명피해를 기록하였다. 리비아에서는 작년 9월 최악의 홍수가 발생하여 약 6천명이 사망하고 9천여명이 실종되었다. 우리나라도 예외는 아니다. 지난해 8월 폭우로 금강 본류와 미호강 제방이 붕괴해 인명과 재산 피해가 발생하였고 여름 장마 기간에도 극한호우로 하천제방이 붕괴해 인근 오송 지하차도가 침수되면서 14명의 사망자가 발생하였다.

이제 기후위기는 먼 미래의 이야기가 아니라 눈앞의 닥친 현실이 되었다. 지난해 9월 지구 평균 기온이 16.38℃로 관측 이래 최고를 기록하였다(코페르니쿠스 기후변화 서비스). 산업화(1850~1900년) 전보다 1.75℃나 높은 기온이다. 이 수치는 2015년 파리협정의 목표치인 1.5℃보다 높다. 지난해 7월 안토니우 구테흐스 유엔 사무총장은 ‘지구온난화(Global warming) 시대는 끝났다. 이제는 지구열대화(Global boiling) 시대가 도래했다’라고 언급하였다.

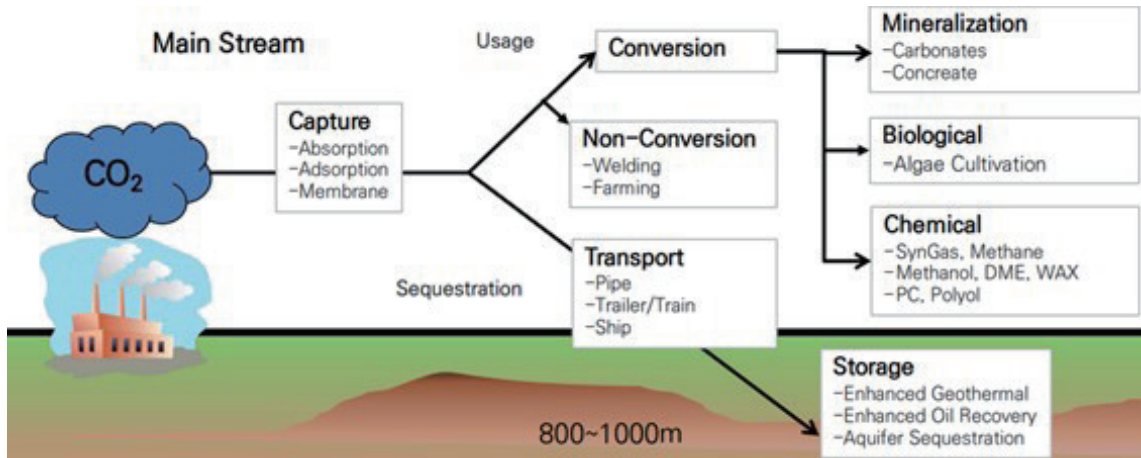
기후위기는 산업화 이후 인류의 과도한 화석연료 사용과 온실가스 배출이 원인이다. 지금 같은 기온 상승 속도는 45억년 지구 역사에서도 보기 드문 현상이다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에 따르면 지구 온도는 산업혁명 이전보다 평균 1.1℃ 올랐다고 한다.

우리나라는 최근 30년(1991~2020년) 동안 연평균 기온이 과거(1921~1940년)에 비해 1.6℃ 상승해 전세계 평균보다 온난화가 빠르게 진행되고 있다. 이러한 기온상승은 극한 기후를 몰고와 사람의 목숨과 경제를 위협한다. 세계기상기구(WMO) 보고서에 따르면 기후변화와 기상이변으로 인해 1970~2021년 사이에 전 세계에서 200만여명이 목숨을 잃고 약 4조 3천억 달러의 경제적 손실이 발생하였다고 한다. 이 위기에서 벗어나는 길은 빠른 속도로 온실가스 배출량을 줄이고 늦어도 2050년까지는 전 세계가 탄소중립에 도달하는 것이다.

1-2. 기후위기 대응 방안

전 세계는 1992년 유엔기후변화협약(UNFCCC)을 창설한 이후 지금까지 온실가스를 줄이기 위해 부단한 노력을 기울였다. 기후위기에 대응하는 방법은 IPCC 제6차 종합보고서에서 언급했듯이 기후변화를 완화하거나 기후변화에 적응하는 것이다. 완화는 온실가스의 배출량을 줄이는 감축과 대기 중에 배출된 온실가스를 줄이는 흡수로 구분할 수 있다. 흡수는 대기의 온실가스를 포집하여 고밀도로 압축한 후 지하공간에 저장하는 탄소포집·저장·이용(CCUS, CO₂ Capture, Utilization & Storage)과 같은 인공기반기술(Artificial Based Technique)과 산림을 조성하여 목재 속에 탄소를 저장하는 자연기반기술(Nature Based Technique)로 구분할 수 있다.

온실가스 배출량 감축은 화석연료를 신재생에너지로 대체하거나 산업생산의 규모를 줄여야 가능하므로 경제성장의 희생과 직결되어서 진전 속도가 느리다. 대기 중 온실가스 흡수는 최근에 CCUS기술이 급부상하고 있다. CCUS는 당초 온실가스 저감에 큰 역할을 할 것으로 기대되었다. 2005년 IPCC는 2020년의 CCUS 설비 규모를 최대 연간 49억톤으로 전망하였으나 2020년 기준 현재 전세계에 설치된 CCUS 설비는 4천만톤에 불과하다. 더욱이 이 시설조차도 대부분(75%)은 포집된 이산화탄소를 지층으로 밀어 넣은 압력을 활용해 지층 속 원유를 뽑아내는 원유회수기술로 활용하고 있다. 실제로 원유회수형 CCUS는 온실가스 저감 사업이라기 보다는 화석연료 개발 사업에 더 가까우며 심지어 CCUS가 아니었다면 생산되지 않았을 화석연료를 추가 생산하는 상황이므로 온실가스 감축에 기여하지 못한다는 문제가 있다.



〈그림 1. CCUS 모식도, 2021, 기술과 혁신 446권〉

1-3. 산림은 기후위기 대응을 위한 유효한 자연기반해법 (Nature based Solution, NbS)

CCUS기술은 당초 기대했던 것과 달리 여러 가지 문제점으로 인하여 차츰 추진동력을 상실하고 있다. 대신 전통적인 이산화탄소 흡수원인 산림이 차츰 더 주목을 받고 있다. 산림은 광합성을 통해 대기 중의 이산화탄소를 흡수하여 리그닌과 셀룰로스 등 바이오매스로 저장할 뿐만 아니라 다양한 종류의 생태적 서비스를 우리에게 제공한다. 1992년 유엔기후변화협약이 채택될 당시에도 산림의 중요성이 강조되었다. 2005년 기후변화협약 당사국총회는 개발도상국의 산림전용으로 인해 발생하는 탄소배출을 감축하는 활동을 처음 논의하기 시작하였다. 드디어 2013년 ‘바르샤바 REDD+ 프레임워크’가 채택되면서 국제사회의 실제적인 산림을 통한 기후위기 대응이 더욱 가속화되었다. 산림과 REDD+는 2015년 파리협정에서도 개별 조항으로 포함될 만큼 온실가스 배출과 흡수에서 중요한 부분을 담당하고 있다. 산림은 기후위기 대응에서 점점 더 중요하게 다루어지기 시작하였는데, 2021년 영국 글래스고에서 열린 기후변화협약 제26차 당사국총회(COP26)는 어느 해 보다도 산림의 중요성이 부각된 총회였다. COP26이 공표한 ‘산림 및 토지이용에 관한 글래스고 정상선언’은 2030년까지 전 세계 산림전용을 막고 산림복원을 위해 노력하겠다는 내용으로, 전 세계 산림 90.9%의 면적(총 36억9,100만 ha)을 점유하고

있는 141개국 정상들이 서명하였다. 또한 이를 위해 120억 달러를 조성하기로 한 ‘글로벌 산림재원서약’ 등 산림 이니셔티브가 출범하였다. 2022년 11월 이집트에서 개최된 COP27에서는 산림기후 정상회의를 개최해 ‘산림과 기후 지도자 파트너십(FCLP, Forest and Climate Leader’s Partnership)’을 공식 발족하였다. FCLP는 글래스고 정상선언의 내용을 실질적으로 진전시키고자 산림의 중요성과 산림 재원의 필요성을 재확인했다.

1-4. 지속가능성 확보를 위한 산림의 생태적 복원

기후변화협약이 인정하는 산림조성을 통한 흡수원 사업으로 CDM(Clean Development Mechanism, 청정개발체제)이 있다. CDM은 온실가스 감축의무를 가진 선진국이 개도국에 투자해 온실가스 감축 사업을 시행하고, 그 감축분을 해당 선진국의 온실가스 감축 목표 달성에 활용할 수 있도록 한 제도다. 2024년부터는 CDM이 SDM(Sustainable Development Mechanism, 지속가능발전체제)으로 개편될 예정이다. SDM은 개도국에서만 온실가스 감축 사업을 할 수 있었던 CDM과 달리 선진국을 포함한 모든 국가에서 사업 추진이 가능하다. SDM은 농업, 폐기물 처리사업 등 다양한 사업이 있으며 그 중 산림과 관련된 것은 신규조림과 재조림이다.

신규조림이나 재조림은 50년동안 산림이 아닌 타용지에 조림하거나 1990년 이후 타용지로 전용되었던 곳에 재조림하는 사업이다. 기존에 산림이 아닌 토지에 산림을 조성할 경우 수목의 생육기반이 충분하게 갖추지 않은 상태에서 조림이나 재조림을 실시하면 사업을 실패할 가능성이 높다. 산림이 지속가능하게 성장하기 위해서는 그 지역의 생물군계(Biome)에 맞는 생태적 원리를 적용한 산림생태복원을 실시해야 한다.

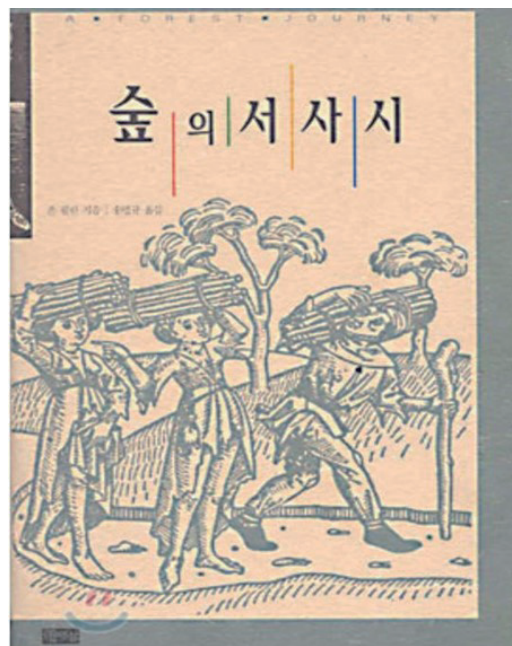


〈그림 2. SDM의 신규조림과 재조림〉

2. 세계 산림자원의 역사적 변천 과정

다소 거칠기는 하지만 역사적으로 지금까지 타용도로 전환된 산림은 다시 산림으로 복원할 가능성이 있다고 가정하면, 세계적으로 지금까지 산림이 어떤 이유로 어디에서 어떻게 소실되어 왔는가를 살펴 볼 필요가 있다.

2-1. 산업혁명 이전의 산림 현황



〈그림 3. 존펠린의 숲의 서사시, 2005〉

약 3만년 전 지구의 산림은 육지면적의 약 50%인 65억 ha였다. 지금은 육지면적의 약 30%인 약 40억 ha로 25억 ha의 숲이 사라진 셈이다. 2005년 발간된 『존 펄린』의 ‘숲의 서사시’에 따르면 영국은 중세 이후 난방뿐만 아니라 제철, 유리, 소금 생산을 위해 산림을 대규모로 벌채하였다. 17세기 초 산림이 파괴되어 목재연료가 부족해지자 밀 가격이 크게 상승하고 기근이 만연했다. 당시 농업전문가인 『아서 스탠디시』는 “산림이 없으면 왕국도

없다”라고 할 정도로 산림의 파괴와 기근의 관련성을 경고하였다. 17세기 당시 대포를 장착할 수 있을 정도 큰 전함을 만드는데는 최소한 백년 묵은 참나무 2백 그루가 소요되었다.

2-2. 산업혁명 이후의 산림 현황

산업혁명은 많은 에너지를 필요로 하였다. 당시까지 주 에너지원은 목재와 석탄이었다. 산림은 산업혁명을 겪으면서 면적이 급격하게 감소하였다. 18세기 중엽 산업혁명은 제철 및 운송로 건설에 많은 나무가 필요해서 산림을 대규모로 파괴하였다. 산림이 파괴되어 나무가 없어지자 석탄을 사용하기 시작했지만 다량의 황 성분으로 대기오염이 심해졌고 철의 품질이 하락하였다.

19세기 프랑스의 정치가이자 위대한 작가인 『샤토브리앙』은 젊은 시절 북미대륙의 원시 대자연을 여행하고 돌아와 단편소설 ‘아탈라’를 출간하였다. 이 책에서 그는 자연 속에서만이 인간 본연의 감정을 찾을 수 있다고 하면서 당시 산업혁명으로 급속하게 공업화와 도시화가 진행되고 있던 유럽의 모습을 매우 안타깝게 생각하였다. 그는 “문명 앞에 숲이 있고, 문명 뒤에 사막이 남는다”는 글을 통해 유럽에서 산림이 사라지는 것을 매우 안타까워하였다. 심지어 미국의 독립전쟁도 ‘보스턴차’ 사건이 발단이 아니라 신대륙 목재를 놓고 빚어진 미국 이주민들과 영국 사이의 갈등 때문이라는 것이다. 당시 영국은 해군병력 증강을 위해 돛대감으로 미국산 통나무가 필요해서 좋은 나무마다 영국 국왕의 표시를 해두었는데 이것이 이주민들의 반발을 불러 일으켰다는 주장이다.

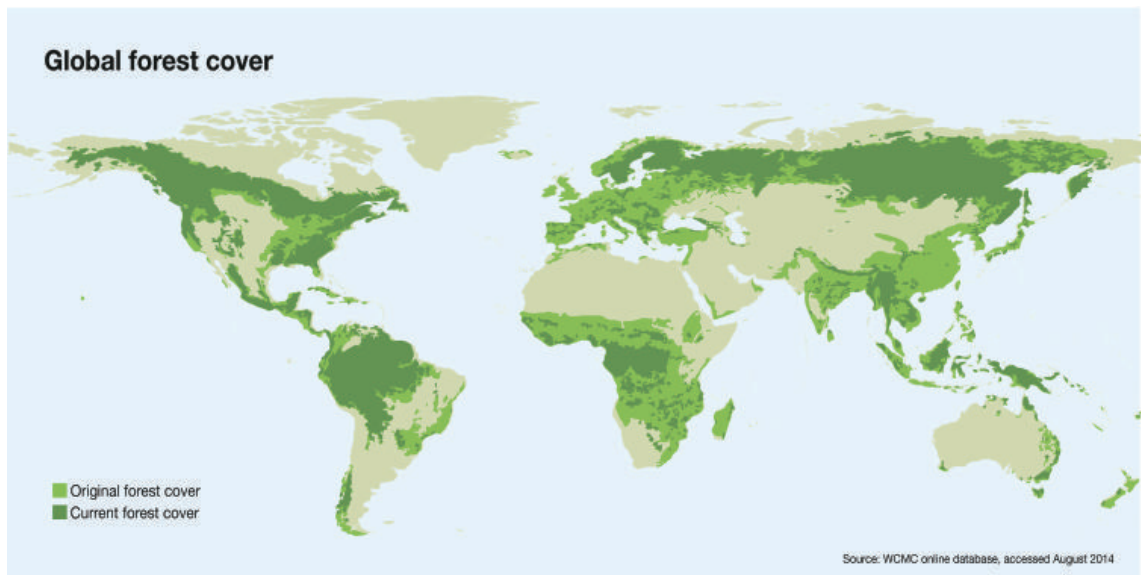
2-3. 산림소멸이 문명소실로 이어진 사례 : 이스터섬

남미 칠레에서 서쪽으로 3,500km 떨어진 외딴섬인 이스터섬은 『샤토브리앙』의 산림과 문명의 관계를 잘 보여 주는 사례이다. 이스터섬은 유럽인들이 부활절에 발견한 것을 기념하여 붙여진 이름이다. 이 섬에는 현재도 평균 4m가 넘는 대형 석조물인 모아이가 600여 개나 남아 있다. 이스터섬의 모아이는 아직도 세계적인 불가사의이다. 처음 이스터섬에 정착한 사람들은 폴리네시아 계열의 원주민들인데 서기 900년경에 카누를 타고 이 섬에 처음 들어왔다고 한다. 당시는 화산 덕분에 토양이 비옥했으며 섬 전체가 울창한 숲으로 덮여 있었다. 그러나 섬을 덮고 있던 울창한 산림이 농경지를 조성하면서 주민들의 손에 의해 파괴되기 시작했고 또한 조상신인 모아의 대형 석상을 제작하여 운반하는데

막대한 양의 나무가 필요하였다. 숲이 파괴되자 토양이 황폐해졌고, 숲에서 얻을 수 있었던 많은 자원들도 사라졌다. ‘총·균·쇠’의 저자로 유명한 『재러드 다이아몬드』는 그의 저서 ‘문명의 붕괴’에서 “이스터섬은 산림파괴의 결과를 보여주는 세계에서 가장 극단적인 예이다”라고 하였다.

3. 생태적 지식과 정보를 응용한 산림복원기술

과거 울창했던 산림은 산업혁명 이후 문명이 고도로 발달하면서 약 25억 ha가 사라졌다. 그림 4는 원래의 산림분포지와 현재의 상황을 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 산림지역이 사라진 곳은 대부분 경제발전이 이루어진 유럽과 미국 등 선진국과 인구밀도가 높은 중국과 인도 그리고 아프리카 지역이다. 이론적으로는 원래 산림지역이었던 곳은 잠재적으로 산림을 복원할 수 있는 가능성이 높다. 물론 도시화가 고도로 이루어진 곳은 제외하더라도 말이다.



〈그림 4. 세계 산림분포의 변화, Grid-Arendal, 2014〉

3-1. 산림생태복원의 국내외 현황

3-1-1. 국내 현황

우리나라에서 산림생태복원을 처음 시행했던 곳은 1974년 대관령 특수조림지를 들 수 있다. 이후에 다양한 산림복원 사업이 이어졌다. 예를 들어, 국립산림과학원은 1996년 강원도 고성 산불피해지와 2000년 동해안 산불피해지 중 삼척 지역에 장기연구지를 설치하여 생태계의 회복 과정을 밝히고, 복원기술을 개발하는 연구를 수행하였다. 또한, 산림청은 ‘백두대간 보호에 관한 법률’에 근거하여 2011년부터 백두대간 복원사업을 실시하였다. 우리나라에서 산림생태복원이 본격적으로 추진된 시기는 제1차 산림복원 기본계획(2020~2029)이 공표된 2020년 1월 21일 이후부터이다. 물론 이전에도 백두대간 마루금이나 폐석장 등에 대한 산림복구 및 복원사업이 실시되었지만 본격적인 생태적 복원보다는 산림복구 측면이 강하였다. 제1차 산림복원 기본계획은 법적 근거가 있는 첫 번째 계획이라는 점에서 의미가 크다. 내용은 산림복원 기반구축, 기술개발 및 제도 구축, 산업 육성 그리고 한반도 산림복원을 담고 있다. 본 기본계획은 아직까지 산림복원에 대한 기술적·정책적 기반이 미흡한 상황을 고려하여 기반 구축에 중점을 두고 있다.

제1차 산림복원 기본계획



〈그림 5. 제1차 산림복원 기본계획 표지〉

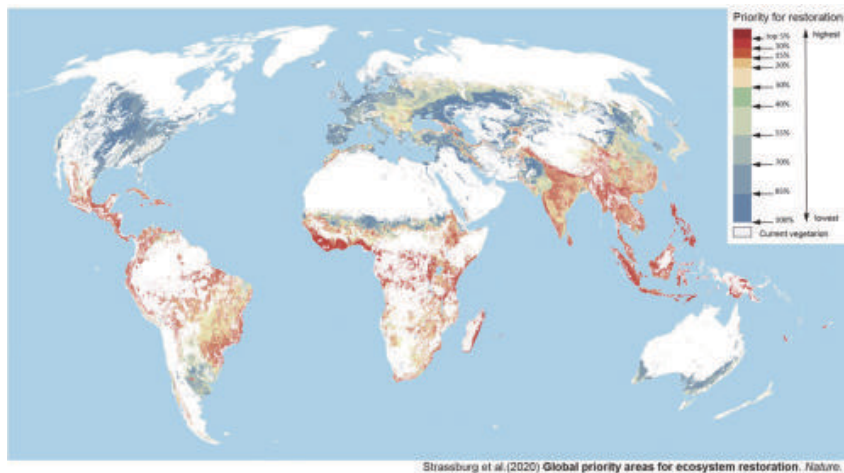
우리나라 산림생태복원이 법적·행정적 근거를 갖춘 것은 산림청이 산림생태복원과를 신설(2021.03.30.)하고 산림자원 조성 및 관리에 관한 법률을 일부개정(2023.10.31)함과

동시에 구체적으로 시행령에 내용을 담아 일부 개정(2023.12.19.)한 이후부터라고 할 수 있다. 상기 내용을 통해서 알 수 있듯이 최근에는 비로서 국내의 산림생태복원은 법적·행정적 꼴을 갖추고 출발하는 단계이다.

3-1-2. 국제 현황

국제적으로 산림생태복원은 산림 생태계서비스의 기반이 되는 생물다양성을 회복하고 기후위기에 대응하기 위해 시급한 현안이다. ‘생태계복원 유엔 10개년 계획’은 2021년 6월 5일 세계환경의 날에 공표되었다. 이 계획은 2011~2020년 시행되었던 ‘유엔 생물다양성 10개년 계획’의 후속조치로서 유엔환경계획(UNEP)과 식량농업기구(FAO)가 공동으로 주도하며 국제임업연구센터(CIFOR), 국제자연보전연맹(IUCN), 지구경관포럼(GLF) 등이 참여하고 있다. 현재 전세계 약 20억 ha의 황폐지가 산림생태계 복원의 대상지이며 2030년까지 최소한 3억 5천만 ha의 황폐지를 산림으로 복원하도록 계획하고 있다.

그 밖에 국제자연보전연맹(IUCN)이나 국제생태복원학회(SER) 등과 같은 국제적인 민간기구나 전문가 단체들도 많이 활동하고 있다. 국제자연보전연맹은 산림경관복원 7대 원칙, 즉 자연생태계 유지, 경관차원 중심, 생태기능의 복원, 지역여건 감안, 이해당사자 참여, 장기적 관리 그리고 다양한 혜택 발굴 등을 강조하고 있다. 국제생태복원학회는 산림생태복원의 원리와 핵심개념에 대한 국제표준을 만들어 국제사회에 제공하고 있다.



〈그림 6. 세계 산림생태복원 우선 순위도, Strassburg et al.(2020), Nature〉

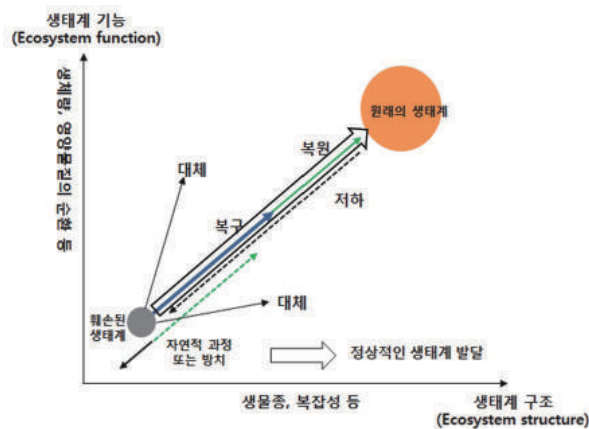
그림 6은 Nature지(2020.10, 586호)에 게재된 지구 상에서 산림생태복원 우선지역을 나타낸 것이다. 우선순위는 생물다양성, 기후변화 저감, 복원 비용 등 3가지 요인을 반영하여 산출한 결과이다. 가장 붉은색 지역이 5% 이내에 드는 산림생태복원이 시급한 지역이다. 이 시나리오에 따르면 우선순위 지역 황폐지의 15%를 복원하면 예상되는 생물멸종의 60%를 피할 수 있는 동시에 산업혁명 이후 발생한 총 CO₂의 30%인 299기가톤을 줄일 수 있다고 한다.

3-2. 산림생태복원의 사업적 특성

기후위기에 대응하는 자연기반해법으로서 산림조성, 특히 산림생태복원은 생태학적 원리를 기반으로 실행하기 때문에 다양한 측면에서 기존의 관행적 산림복구나 조성사업과 다른 특성을 가지고 있다.

3-2-1. 사업 방향의 융통성

산림복구와 산림생태복원은 그림 7과 같이 사업의 목표와 방향이 다르다. 산림복구는 지형복원에 가까우며 산지의 침식과 붕괴를 막는 것이 목표이다. 사업방향도 정해진 매뉴얼이나 설계에 따라 일방향으로 진행하며 설계대로 시공이 끝나면 준공 검수라는 절차를 거쳐서 사업이 종료된다. 반면에 산림생태복원은 훼손된 생태계를 원래의 생태계(참조생태계)로 돌려놓는 것이 목표다.

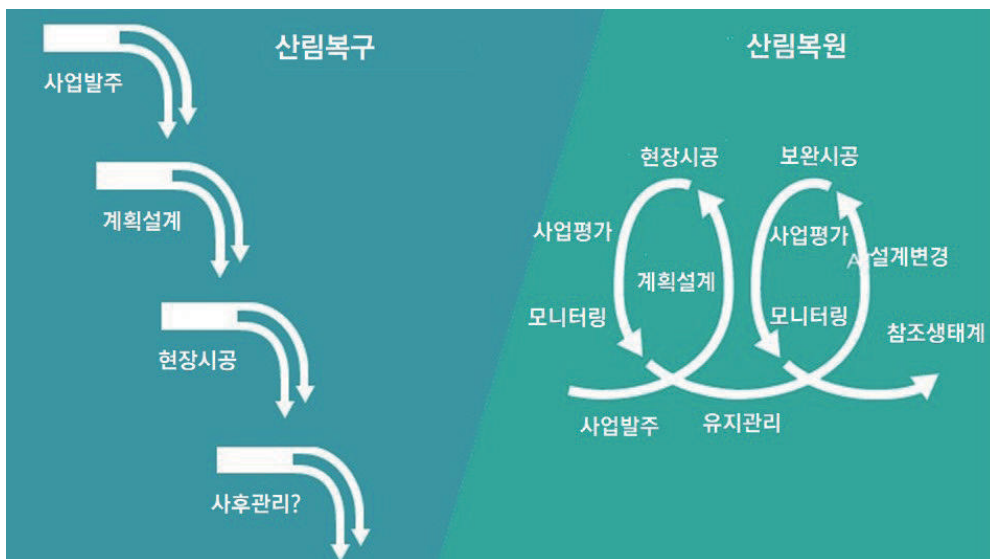


〈그림 7. 산림복구와 복원의 목표 및 방향, Bradshaw, 1997〉

만약 대상지의 지형이 심각하게 훼손되었다면 산림생태복원은 다양한 산림복구공법을 적용하는 지형복원부터 실시해야 한다. 즉 산림생태복원은 산림복구를 포함할 수도 있다. 산림생태복원은 목표에 도달하는 것도 중요하지만 생태적인 과정을 더 중요시 하므로 제대로 진행이 되지 않으면 다시 앞 과정으로 되돌아간다. 즉, 산림생태경영의 핵심 개념인 적응식 관리(Adaptive Management)가 산림생태복원 과정에도 똑같이 적용되고 있다. 산림생태복원은 목표를 경직되게 설정하지 않고 경우에 따라서는 다른 형태의 생태계로 대체할 수도 있는 융통성이 있다.

3-2-2. 순환형 사업추진 방식

산림생태복원은 자연적 또는 인위적으로 훼손된 산림생태계를 생태적 회복력 등을 고려하여 훼손되기 이전의 생태적 구조와 기능을 가진 원래의 상태로 회복시키는 일련의 과정이다. 산림생태복원은 일반 토목공사나 산림복구기술과 같이 단기간에 명확한 목표(침식방지나 붕괴방지 등)를 설정하는 것이 아니라 장기간 생태계 변화를 추적하고 예측하여 훼손되기 이전의 참조생태계로 회복하는 것을 추구하기 때문에 추진과정이 매우 중요하다.



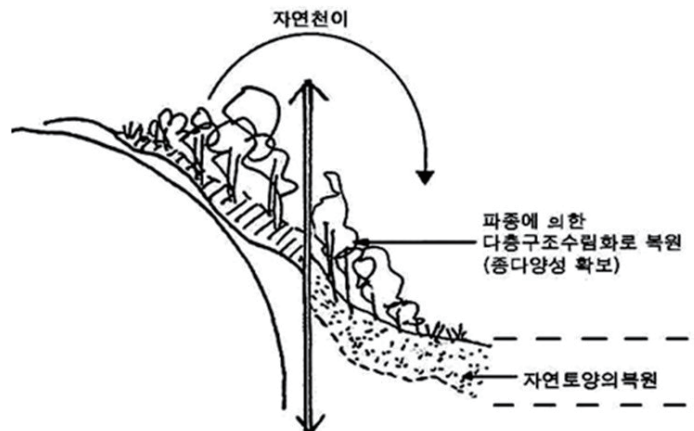
〈그림 8. 산림복구와 복원의 사업흐름, 김경하, 2023〉

그림 8과 같이 산림복구는 일방적으로 흐르는 계단형(Cascade Type)방식이지만 산림생태복원은 시공과정을 지속적으로 모니터링하면서 당초 계획했던 생태적 과정을 벗어날 경우, 예를들면 예상하지 못했던 편향천이가 진행되는 등 잘못된 부분이 확인되면 앞 과정을 보완하여 다시 진행하는 순환형(Cycling Type)방식을 추구한다. 산림생태복원도 목표인 참조생태계에 도달하기까지 오랜 시간이 걸리므로 현실적으로 전문가의 관점에서 모니터링을 통해 생태적 안정성이 확보되었다고 판단이 되면 사업을 종료한다.

3-3. 산림생태복원의 내용적 특성

3-3-1. 대상지의 생태적 회복력 고려

산림생태복원 설계는 대상지의 특성에 따라 내용이 달라진다. 산림생태복원 대상지는 훼손 유형이나 정도 또는 형태 등이 다양하다. 훼손지는 서로 다른 생태적 회복력(Ecological Resilience)을 가지고 있다. 생태적 회복력은 잠재 회복력(Potential Resilience)에 의해 좌우된다. 잠재 회복력은 종자공급, 종간관계, 천이 그리고 입지 잠재력 등 4가지로 구분할 수 있다. 첫째, 종자공급 잠재력은 종자공급 가능성인 공급처(source)와 수용처(sink) 간의 거리, 종자이동

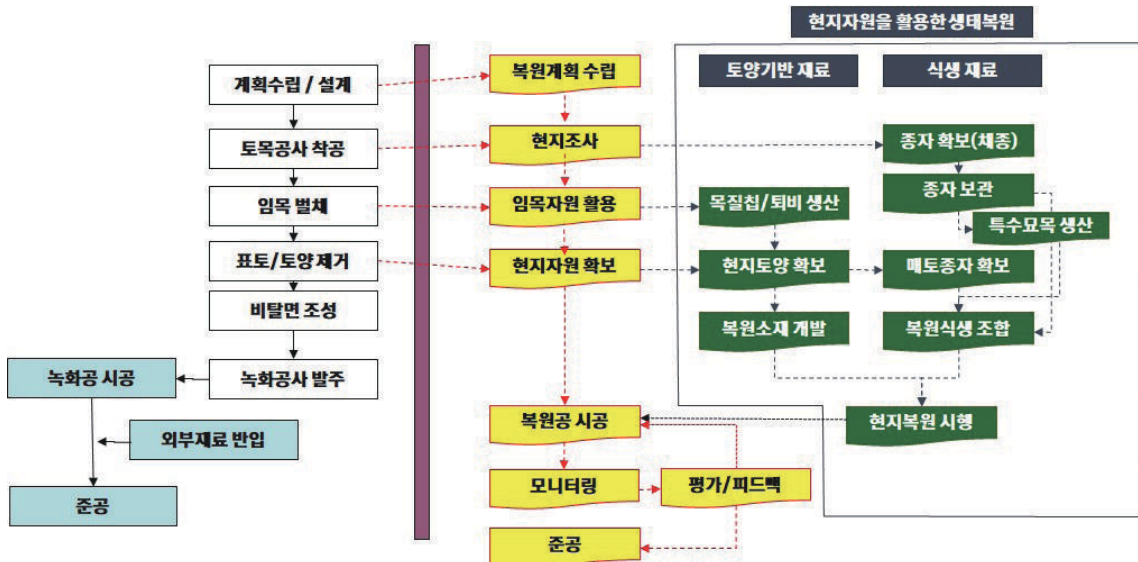


〈그림 10. 종자공급 잠재력〉

매개 동물의 유무, 매토종자의 양 등으로 결정된다. 둘째, 중간관계 잠재력은 종간의 경쟁, 공생, 기생 그리고 중립 중 어떤 관계를 유지하고 있는지가 중요하다. 다양한 관계의 종들이 복잡하게 얽혀 있는 경우가 단순한 관계의 경우 보다 생태적 안정성이 높다. 셋째, 천이 잠재력은 천이과정이 진행되는 방향, 속도 그리고 계열 종류 등에 따라서 결정된다. 마지막으로 입지 잠재력은 기후, 지형 그리고 수문 특성에 좌우된다. 산림생태복원의 대상지는 다양한 생태적 회복력을 가지고 있으므로 설계 전에 이에 대한 정확한 조사가 필요하다.

3-3-2. 대상지의 현지자원 활용

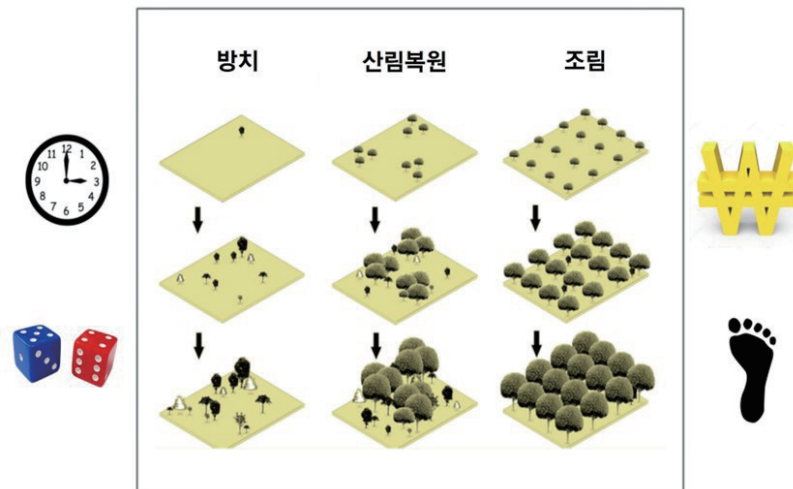
산림생태복원은 사업 대상지에서 얻을 수 있는 현지자원을 최대한 활용하여 복원재료로 재활용한다(그림 11). 사업 대상지에 있는 피해목은 벌채하여 파쇄한 후 피복재나 부숙시켜 퇴비로 이용한다. 산림 표층토는 선별적으로 채취하여 잘 보관한 후 대상지에 포설함으로써 매토종자를 통한 식생도입과 복원용 식생기반 토양으로 활용한다. 현지에서 발생한 심토도 다른 곳에 적치하였다가 대상지의 복원용 토양으로 사용한다.



〈그림 11. 기존 사업(좌)과 현지자원 활용 생태복원사업 절차도, 김경훈, 2021〉

3-4. 사업추진의 제약 요인

산림생태복원은 기존의 관행적인 산림복구나 조성사업에 비해 추진과정이 복잡하고 많은 제약 요인을 가지고 있다. 사업추진의 제약 요인은 일반적으로 4가지를 예로 들 수 있다. 첫째, 시간의 문제이다. 사업이 생태적인 변화과정을 모니터링하면서 실시하므로 사업 기간이 길다. 현실적으로 복원에서부터 참조생태계에 도달할 때까지 백 년 이상 소요된다. 그러므로 쉽지 않은 일이지만 복원 전문가의 판단에 의거 적절한 시기에 사업을 종료해야 한다. 둘째, 불확실성의 문제다. 생태복원 과정은 다양한 형태와 경로(천이)로 나타나므로 어느 것이 정답인지 모르기 때문에 불확실성이 높다. 그러므로 복원 전문가의 판단에 의해 불확실성을 제거해야 한다. 셋째, 시공비의 문제다. 생태복원은 기본적으로 현지 자생종을 이용해야 한다. 현지 자생종은 대부분 시장에서 거래되지 않으므로 시공 과정에서 종자 채취나 삼목 또는 구근 등을 확보하여 묘목을 생산해야 한다. 표토나 심토 또는 퇴비 등 시공 자재들도 가급적 대상지에서 확보한다. 대부분 자재가 시장에서 거래되지 않기 때문에 시공비가 상대적으로 높다. 넷째, 인력 작업의 문제다. 시공의 대부분이 천연재료를 주의 깊게 사용해야 하므로 기계 작업이 아닌 전문 인력을 통해 이루어진다. 작업을 인력 위주로 진행하는 부분은 시공비의 상승을 가져오는 원인 중의 하나이기도 하다.



〈그림 9. 산림생태복원 사업의 제약 요인들〉

상기 내용과 같이 산림생태복원은 많은 제약 요인을 가지고 있다. 하지만 많은 제약 요인에도 불구하고 사업이 정상적으로 이루어질 경우 복원 대상지는 일정한 단계만 지나면 생태적으로 안정된 상태를 유지한다. 이후부터는 별도의 자원을 투입하지 않아도 생태적 자발성에 의해 지속가능하게 천이가 진행되므로 장기적으로 훨씬 유리하다.

산림생태복원은 다양한 종류의 제약 요인이 사업적·정책적 진입단계에서 치명적인 장애물로 작용할 수도 있다. 사람들은 기존에 자리잡은 관행에 안주하는 경향이 있다. 산림생태복원이 조속히 사업적·정책적으로 자리를 잡기 위해서는 기술적인 표준화와 자생식물이나 천연재료 등 필요한 자재들의 공급망이 구축되어야 한다. 그 밖에도 전문가 육성이나 산림생태계서비스 혜택 등 사업의 효과도 객관적으로 밝히는 일에도 소홀하지 않아야 한다.

4. 나오며

기후위기는 이제 예측의 시기를 넘어 우리의 일상이 될 정도로 현실이 됐다. 최근 일어나고 있는 지구의 극한 기상과 대형 산불 그리고 극심한 가뭄은 글로벌 경제에도 치명적인 악영향을 주고 있다. IPCC는 기후위기로 인한 파국을 막으려면 2100년까지 지구 평균 기온상승을 1.5℃ 이하로 유지해야 하며 이를 위해서는 최소한 2050년까지 지구차원의 탄소중립 즉 탄소배출량과 흡수량을 같게 만들어야 한다고 강조하고 있다.

탄소배출은 현대문명이 유지되는 동안 거의 모든 분야에서 일어난다. 최근 축산업을 포함한 농업과 식품 생산 과정에서 발생하는 온실가스 배출량은 2019년 기준으로 전 세계 온실가스 배출량의 약 31%를 점유하고 있다. 현대문명을 유지하면서 온실가스를 줄이는 것이 얼마나 어려운 일인가를 단적으로 보여준다. 온실가스 흡수는 IPCC가 2005년 보고서에서 기대했던 CCUS방법이 있지만 기술적·경제적 문제를 해결하지 못해 지금도 관련 기술개발은 지지부진하다.

결론적으로 남아있는 선택지는 자연기반해법이다. 문명에 의해 사라진 산림을 생태적으로 복원하는 방법이다. 산림을 생태적으로 복원할 경우 온실가스 흡수량을 늘릴뿐만 아니라 산림이 가지고 있는 다양한 생태계서비스 혜택도 얻을 수 있다. 하지만 먼저 지구 생태계를 제대로 이해하는 지혜가 필요하다.

참고문헌

1. 김경훈. (2021) 생태복원 콘서트-자연이 던지는 질문....왜? 그리고 어떻게?.
넥서스환경디자인연구원 출판부. 203pp.
2. 김남춘, 이태옥, 전기성, 하영진, 김경훈. (2018) 지속가능성을 위한 생태복원공학-
자연재생과 녹화이론을 중심으로. 도서출판 보문당. 570pp.
3. 김다은, 김유신. (2023) 세계경제포럼(WEF) Global Risks 2023 주요내용 및 시사점.
KISTEP 브리프 58. 14pp.
4. 김도훈. (2023) 필연적으로 발생할 극한기상과 지구온난화 피해를 줄이는 ‘기후적응’도
중요한 때. 나라경제. KDI 경제정보센터. 31p.
5. 윤여일. (2021) 탄소중립 해결책으로 CCUS 기술이 급부상 중!. 기술과 혁신 V.446.
19~22.
6. John Perlin (2005) A Forest Journey: The Story of Wood and Civilization.
412pp.
7. Strassburg et al. (2020) Global priority areas for ecosystem restoration. Nature
586. DOI: 10.1038/s41586-020-2784-9.

탄소중립 및 기후변화 적응을 이루어내기 위한 생태적 전략



이 창 석

서울여자대학교 생명환경공학과 교수

leecs@swu.ac.kr

탄소중립이란 이산화탄소를 배출한 만큼 이산화탄소를 흡수하는 대책을 세워 이산화탄소의 실질적인 배출량을 제로로 만든다는 개념이다. 이 개념은 기후변화의 원인이 지구가 흡수할 수 있는 양보다 많은 이산화탄소를 배출하여 발생한다는 사실이 밝혀지고, 지금까지 배출된 이산화탄소만으로도 당분간 기후변화가 이어져 지구생태계가 지속가능하기 어려워질 수 있다는 사실이 알려지면서 더 이상 탄소 배출을 방관할 수 없다는 절박함에서 오래전부터 요구된 개념이다 (UNFCCC 2015, United Nations General Assembly 2015).

이러한 탄소중립 정책은 빠르게 진행되고 있는 기후변화의 진행속도를 늦추기 위해 국제사회가 준비한 전략으로서 우리나라는 국제사회의 일원으로 책임을 다하기 위해 이러한 전략을 준비하여 동참하고 있다. 기후변화를 유발하는 주요인으로 국제사회는 과도한 화석연료 사용과 토지이용을 꼽고 있다 (Shimel 1995). 지금까지 국제사회는 화석연료를 사용하여 얻는 에너지 대신 재생에너지 사용을 늘려 온실가스 배출을 줄이는 전략을 많이 논의해왔다.

한편, 우리나라에서는 상대적으로 관심도가 낮지만 국제사회는 기후변화를 유발하는 다른 주요인인 토지이용에도 높은 관심을 가져 자연기반해법 (nature based solutions) 이나 (IUCN) 상처받은 지구치료 전략 (UN decade on ecosystem restoration)을 추진해오고 있다 (UNEP and FAO). 그리고 2021년 제26차 기후변화당사국총회에서는 산림 파괴를 막고 훼손된 토지를 복원하기 위해 우리나라를 포함해 105개국의 합의 하에 산림 및 토지에 관한 선언 (declaration on forests and land)을 채택하기에 이르렀다 (이 2024).

현재 우리나라의 이산화탄소 배출량은 6억 8,000만 ton 가량이지만 그 흡수량은 4,500만 톤을 조금 넘는 수준으로 그 차이가 매우 크다. 탄소중립위원회 발표자료를 보면, 2050년에 달성하기로 국제사회와 약속한 탄소중립 계획을 중간 점검하는 해인 2030년 발생량은 5억 3,600만 ton이고, 도달 목표연도인 2050년 발생량은 지금의 1/10 수준인 8,000만 ton으로 나타나 있다. 숲에 의한 흡수량은 2030년 지금의 절반 수준인 2,210만 ton으로 감소하고 2050년에는 2030년보다 조금 늘어난 2,530 ton으로 나타나 있다. 여기서 나타난 발생량과 흡수량 차이는 탄소를 포집하여 저장하는 기술로 해결하겠다고 한다 (Figure 1).

그러나 재생에너지 확보기술의 효능이 전주기 평가를 하였을 때 크게 떨어진다는 사실이 밝혀지고 탄소포집저장 기술의 문제점도 지적되고 현실에서 그 실현가능성에 대해서는 많은 의문이 남는다.

또 탄소중립 정책은 그 출발이 기후변화문제를 해결하기 위해 준비되었다. 그런데 기후변화는 탄소를 비롯한 온실가스만 유발하는가? 열을 발생시키는 장파장의 문제도 있다. 온실가스가 열파장의 외부 유출을 차단하여 생기는 문제가 기후변화이기 때문이다. 그런 점에서 기후변화문제를 해결하고 탄소중립을 이루어내기 위해서는 토지이용의 문제가 함께 검토되어야 한다 (Figure 2 참고).

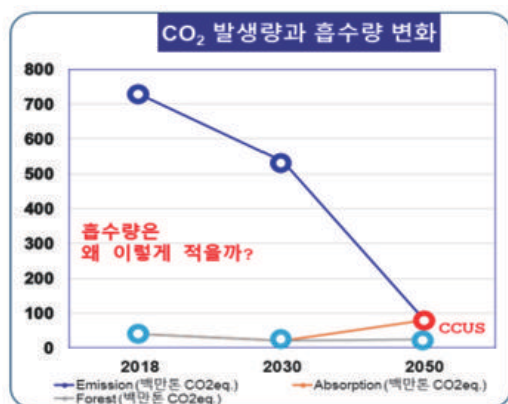


그림 1. 우리나라에서 이산화탄소 발생량과 흡수량의 변화 전망

(The Government of the Republic of Korea 2020에 근거하여 작도).

인공위성 사진을 분석하여 얻은 서울지역 지표온도의 공간분포를 보면, 한강을 비롯한 하천 주변과 북한산을 비롯한 산림지역의 온도가 낮고, 도시화된 지역의 온도가 높게 나타났다. 표면온도는 도시화 지역 사이에도 차이를 보여 오래된 아파트가 많은 강남권의 온도가 강북의 도심지역보다 낮게 나타났다. 한강이나 중랑천이 위치한 지역은 물론 복원된 양재천이 지나가는 지역의 온도도 주변과 비교하여 크게 낮다. 이러한 결과는 산림이나 하천 복원을 비롯하여 식생복원이 기온상승 억제효과를 발휘하여 기후변화를 완화시킬 수 있음을 의미한다. 하천복원이 가져오는 기온상승 저감효과는 복원된 청계천 주변에서도 이미 확인된 바 있고, 자연을 보존하고 복원하여 지속가능한 토지이용을 이루어내는 것이 기후변화를 완화시킬 수 있는 기후변화 적응대책이 될 수 있다는 사실도 이미 밝혀진 바 있다 (Lim et al. 2022).

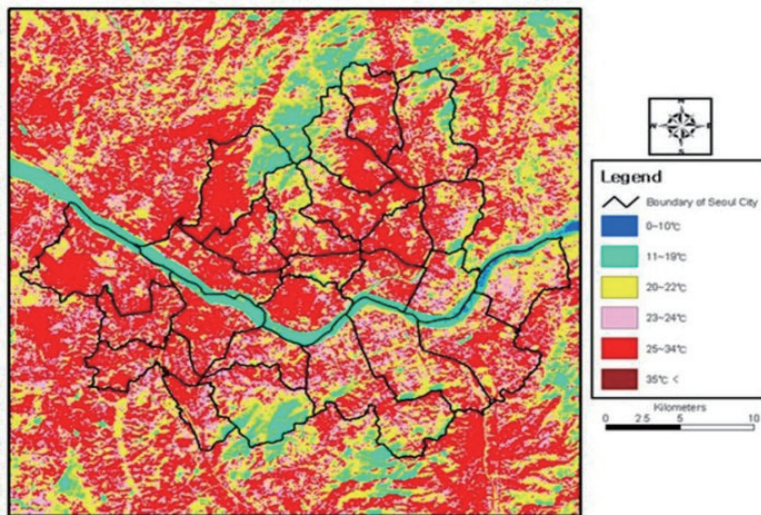


그림 2.
서울에서 위성영상으로부터
도출된 지표온도의 공간 분포.

기후변화는 왜 일어나는가?

전문가들이 지적하고 있는 기후변화의 원인은 물질순환의 일환인 탄소 순환의 이상에서 비롯된 열수지의 균형 이상이다 (이 등 2011). 그렇다면 탄소순환의 이상은 왜 발생하는

것인가? 그것은 인간 활동으로 인해 발생하는 이산화탄소의 양이 자연의 정화작용으로 인한 그것의 흡수량 보다 많아서 생기는 문제이다. 이산화탄소 발생량은 우리 인간이 공장을 가동하고, 자동차를 이용하며, 냉·난방 시설을 가동하는 등 문명생활을 영위하는 과정에서 에너지를 과도하게 사용하며 늘어나는 것으로 알려져 있다. 다른 원인도 있다. 전자보다는 훨씬 덜 알려져 있지만 우리가 토지를 과도하게 이용하며 이산화탄소 흡수량을 줄이는 것도 대기 중 이산화탄소 농도 증가를 가져오는 중요한 요인이 되고 있다. 이처럼 발생량은 늘어나는 반면에 그 흡수량이 줄어드니 양자 사이에 불균형이 발생할 수밖에 없는 것이다.

그러나 적어도 지금까지 이 문제를 해결하기 위한 우리의 대책은 발생원을 줄이는데 초점을 맞추어 왔다. IPCC의 대책도 1997년에 채택된 교토 프로토콜 시대까지는 감축에 중점을 두어 왔다. 그러나 2015년에 의결되어 2016년에 채택된 파리협정 이후 그 대책은 탄소 중립, 즉 발생원과 흡수원 사이의 수치 균형을 맞추는 쪽으로 변하였다 (UNFCCC 2015, United Nations General Assembly 2015). 바른 선택이고 결정이다.

탄소중립정책은 빠르게 진행되고 있는 기후변화의 진행속도를 늦추기 위해 국제사회가 준비한 전략으로서 우리나라도 국제사회의 일원으로 책임을 다하기 위해 이러한 전략을 준비하고 있다. 전문가들은 기후변화를 유발하는 주요인으로 과도한 화석연료 사용과 토지이용을 꼽고 있다. 그렇지만 적어도 지금까지는 화석연료를 사용하여 얻는 에너지 대신 태양광, 풍력, 조력 등과 같은 자연에너지 사용을 늘려 온실가스 배출을 줄이는 전략을 많이 논의해왔다. 그러나 과도한 토지이용이 가져온 영향을 강조하는 전문가들도 많다 (이 2024).

그 중에는 도시화 및 그것으로 인한 에너지 사용 증가로 인한 온난화 영향이 이산화탄소 농도가 두 배로 증가하였을 때 나타나는 영향만큼 크다는 주장도 있다 (Lee et al. 2019). 서울의 기온 자료를 분석해보니 도심지역과 도시 외곽 사이의 평균 기온이 5°C 정도 차이를 보였다 (Figure 3).

우리는 이 정도의 기온 차이를 일교차로도 겪고 있기 때문에 그 차이를 심각하지 않게 받아들이고 있지만 그 차이는 위도 5°에 해당될 만큼 큰 차이이다. 도시화, 즉 과도한 토지이용이 가져 온 결과가 이렇게 크다. 우리나라의 측후소 중 30년 이상 측정치를 확보하고 있는 측후소를 대상으로 기온자료를 수집하여 시간 경과에 따른 기온 변화 사이의 관계식으로부터 기온상승계수를 구하였다. 그런 다음 그 수치의 등치선 지도를 작성해보니 기온 상승의 정도가 토지이용유형과 밀접한 상관관계를 보였다. 지역의 탄소수지도 유사한 추세를 보였다. 이러한 결과는 토지이용이 기후변화에 중요한 영향을 미치고 있다는 확실한 증거가 된다 (Lim et al 2022, Figure 4).

기온상승계수 분포도에서 등치선 수가 많은 것은 기온상승이 빠르게 일어나고 있음을 의미한다. 탄소수지에서 음의 값은 이산화탄소 흡수량이 배출량보다 많은 것을 의미하고 양의 값은 그 반대의 경우를 의미한다. 세 지도를 비교하면 기온상승과 탄소수지가 토지이용에 의해 결정되고 있음을 알 수 있다. 즉, 산림이 사라지고 토지이용 강도가 높으면 기온상승이 빠르게 일어나고 탄소수지 불균형이 커짐을 알 수 있다.

우리는 어떻게 탄소중립에 도달하고 기후변화문제도 해결할 수 있을까?

기후변화를 포함하여 모든 환경문제는 인간 활동의 영향으로 그것이 본래 가지고 있던 생태적 기능이 파괴됨에 따라 그 역기능이 초래되어 생태계의 질서와 법칙이 깨진 상태를 말한다. 그러면 그러한 환경문제는 왜 발생하는 것일까? 많은 사람들은 환경문제의 발생을 오염물질의 배출과 연관 시킨다.

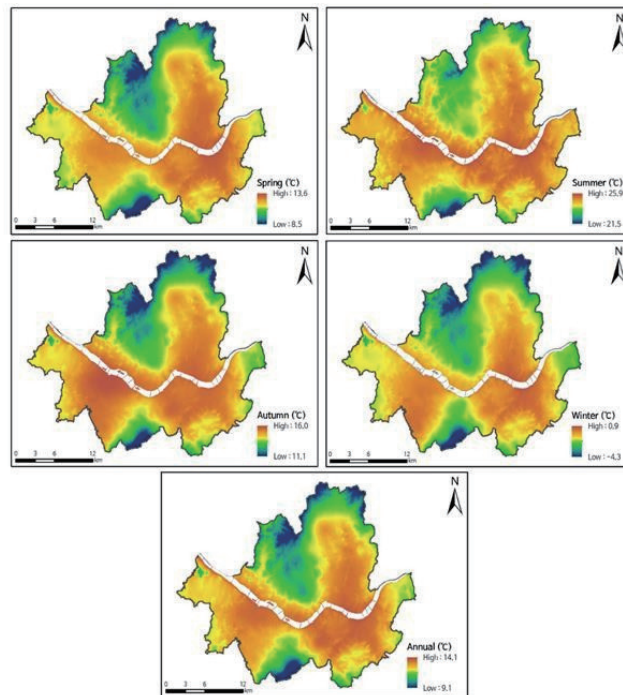


그림 3. 서울에서 연평균 기온의 공간 분포.

그러나 환경문제가 오늘날과 같이 심각하게 대두되지 않았던 옛날에도 오염물질은 배출되었다. 그러면 환경문제는 오염물질이 많은 양으로 배출되어 발생하는 것일까? 물론 그렇게 인식할 수도 있다. 그러나 여기에서 우리는 많다는 의미를 다시 생각해 보아야 할 것이다. 환경을 지배하는 생태학 (ecology)의 원리를 적용하면, 이 말은 발생원 (source), 즉 인간환경과 그 흡수원 (sink), 즉 자연환경 사이의 기능적 관계를 저울질하여 평가할 수 있다. 발생원이 흡수원보다 크면 많다는 표현을 할 수 있을 것이고, 그 반대의 경우라면 적다는 표현이 가능할 것이다. 그런 점에서 발생원을 줄이기 위한 노력뿐만 아니라 그 흡수원을 늘리기 위한 노력 또한 중요한 환경문제 해결책이라고 볼 수 있다. 전자가 기술적 환경문제 해결책이라고 한다면 후자는 생태적 해결책이라고 부를 수 있다.

원래 균형을 유지하던 지구적 차원의 탄소수지가 과도한 화석연료 사용과 토지이용 변화로 균형을 상실하며 기후변화를 주도하고 있다. 기후변화를 주도하는 CO₂농도는 지구적 차원은 물론 국지적 차원에서도 지속적으로 증가하는 추세에 있지만 그것의 연 변화는 뚜렷한 계절현상으로 보여 겨울에 높고 여름에 낮다. 이것은 온대지역의 숲이 이산화탄소의 흡수원 (sink)으로 작용한 결과이다. 또 Eddy 공분산법을 적용하여 토지이용유형이 다른 두 지소의 탄소흐름을 분석한 필자의 연구 결과는 도시의 주거지역과 자연공원지역이 탄소수지에서 각각 발생원 (source)과 흡수원으로 기능하고 있음을 분명하게 보여주고 있다 (Park et al. 2013).

이런 점에서 이제 우리는 기후변화 문제를 접근하는데 있어서 우리의 사고를 바꾸어야 할 것으로 판단된다. 기후변화를 비롯하여 모든 환경문제에는 발생원과 고정원이 있다. 우리는 환경문제 해결을 발생원을 줄여서 해결할 수도 있지만 흡수원을 늘려서 해결할 수도 있다. 기존의 해결책으로서 전자는 주로 공학기술에 근거하고, 후자는 생태적 해결책으로서 생태계서비스 기능에 토대를 둔다.

자연이 발휘하는 탄소흡수능을 이해하고 활용하여야 탄소중립 이루어내고 기후변화 문제 해결할 수 있다!

정부의 탄소중립정책은 탄소발생량이 적은 자연에너지 사용, 에너지 이용효율 향상, 발생한 탄소 포집 등 기술적 측면에 초점을 맞춘 느낌이다. 그러나 자연이 발휘하는 역할은 매우 크고 포괄적이어서, 그 기능을 높이면 탄소중립을 실현하는데 큰 기여를 할 수 있다.

우리나라는 앞서 언급한 바와 같이 탄소 발생량이 흡수량의 15 배도 넘을 정도로 그 차이가 매우 크다 (The Government of The Republic of Korea 2020). 따라서 지금의 발생량을 흡수량과 같은 수준으로 줄이기 위해서는 그야말로 각고의 노력이 필요하고, 갖은 노력에도 불구하고 목표한 수준에 도달하지 못할 수도 있다. 따라서 진정으로 탄소중립을 실현하려면 그 정책은 어느 한 곳에 치우치지 말고 가능한 모든 부분이 총 망라된 포괄적 접근이 요구된다.

가장 먼저 생각할 수 있는 것이 자연의 힘을 빌리는 것이다. 더구나 자연이 발휘하는 역할은 우리가 생각하는 것보다 크다. 더구나 그들은 탄소흡수 외에 기후조절 기능도 발휘해 직·간접적으로 탄소중립에 기여할 수 있다. 우선 탄소의 발생원과 흡수원 사이의 차이가 크고 열섬현상을 유발하여 기후변화 유발에 크게 기여하는 도시지역에 조성되는 공원이나 아파트 정원도 지금의 고전적 조경 수준을 넘어 생태적 복원의 수준으로 진화시키면 큰 효과를 거둘 수 있다. 현재의 공원이나 아파트 정원에 조성된 숲의 탄소흡수능력이 우리의 마을 주변에서 흔히 볼 수 있는 상수리나무숲이 발휘하는 흡수능의 1/3도 안 되는 수준이기 때문이다 (Lim et al. 2022).

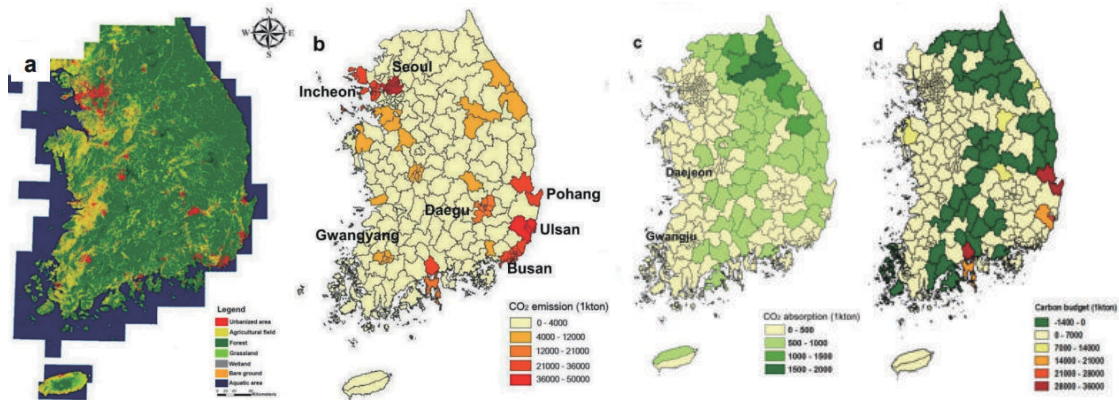


그림 4. 우리나라 기초지자체별 토지이용 (a), 탄소배출량 (b), 탄소흡수량 (c) 및 탄소수지 (d)를 보여주는 지도. 음의 표시 (-)는 배출량보다 흡수량이 많은 경우를 나타낸다 (Kim et al 2022).

산림의 탄소흡수능력도 크게 개선할 수 있다. 수명을 다 해가고 있는 기존의 조림지를 그 장소에 어울리는 자생종이 우점하는 숲으로 천이를 유도하는 것이다 (Photo 1). 그러나

이때 기존 숲을 모두 베어내고 어린 숲으로 바꾸는 방법은 오히려 탄소수지를 악화시킬 수 있기 때문에 바람직한 방법이 되지 못한다. 기존 숲을 모두 베어내면 온도가 상승하여 토양 속에 저장된 유기물이 분해되어 다량의 이산화탄소를 발생시킬 수 있기 때문이다 (Kim et al. 2020). 이러한 시업체계를 현재 선진사회에서 적용하고 있는 전주기 평가 (life cycle assessment) 체계를 적용하여 탄소수지를 평가하면 새로 만들어내는 숲이 탄소흡수원이 아니라 발생원이 될 수도 있다. 또 이러한 시업이 적용되는 범위는 기존의 조림지로 한정해야 한다. 그것은 국제사회의 규정이기도 하다. 우리나라의 인공조림지가 성립한 지형적 위치는 대체로 산중턱 이하이다. 성숙림에서 교란 후 진행되는 자연재생의 모습을 모방할 필요가 있다. 현재 이러한 조림지의 하층에는 다양한 자생식물이 정착해 있다. 이미 정착한 이러한 식물들이 잘 자랄 수 있도록 자연에서 일어나는 숲 틈 발생기작을 모방하여 숲 틈을 유도하는 방법이다 (이 1995a,b, Lee et al. 2018). 또 새로운 식물을 도입할 경우에는 생태복원에서 적용되는 참조생태정보를 활용할 필요가 있다 (이 2024). 그렇게 해야 탄소흡수능력을 극대화할 수 있기 때문이다. 이러한 위치에 성립할 수 있는 숲은 갈참나무숲, 졸참나무숲, 굴참나무숲 등이다. 이들의 생태적 특성이 상수리나무숲과 유사하므로 마찬가지로 탄소흡수원으로서 중요한 역할을 해 줄 수 있을 것으로 기대된다. 나아가 새로 조성하는 숲은 지금처럼 튼돌나무, 편백나무 같은 외래종을 도입하지 말고 반드시 자생종으로 조성하여야 한다. 그래야 안정적인 탄소흡수원으로 기능할 수 있기 때문이다.



사진 1.
리기다소나무 조림지의 모습. 조림을 위해 도입된 리기다소나무는 미국에 자생하는 외래종이지만 그 조림지 임상에는 신갈나무, 졸참나무 같은 참나무류를 비롯해 여러 자생식물들이 정착하여 그 숲이 자연림으로 회국할 준비를 하고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 산림이 감소하면 기온 상승 또한 빠르게 진행되며 기후변화를 가속화 시키는 것으로 나타났다 (Figures 2 and 3). 탄소수지를 악화시키며 추가적인 기후변화를 악화시킬 가능성도 보였다. 이런 사실을 바르게 인식한 UN은 상처받은 지구를 치유하여 환경을 개선하는 것은 물론 식량 안보를 비롯해 빈곤 퇴치를 포함하는 생태계복원 10년 (2021 - 2030)을 선포하고 이를 실천에 옮기고 있다. 이 기간 동안 UN은 남한 전체면적의 35배에 달하는 3억 5000만 ha의 토지를 복원할 계획을 수립하고 있다. 이러한 복원이 실현되면 3억 5000만 달러에 해당하는 혜택을 얻고 대기로부터 13 내지 26 기가톤 (Gt)의 온실가스를 제거할 수 있을 것으로 추정하고 있다 (United Nations General Assembly 2015).

이러한 결과는 자연이 발휘하는 생태계서비스가 현재 실현 가능성이 매우 떨어지는 탄소중립의 실현 가능성을 높이는 것은 물론 날로 심각해지는 기후변화에 대한 적응을 이루어 내는 데도 크게 기여할 수 있음을 암시한다. 이에 더하여 식량이 부족하던 시절 농경지로 전환하였으나 일손이 부족하여 방치되고 있는 폐경지 (Photo 2), 산업화와 도시화의 과정에서 상처 입은 토지 (Photo 3), 우리의 생활공간 속에 남아 있는 쌈지 형 토지, 나아가 도시를 가득 메우고 있는 건물 사이와 지붕에도 숲을 도입하고 (Figure 5), 기존의 숲 중 가능한 곳을 선정하여 이산화탄소 흡수능이 높은 체계로 전환하며, 그러한 과정에서 발생한 자연소재로 우리의 생활용품을 대체한다면 너무 크게 벌어진 발생량과 흡수량 사이의 차이를 줄이면서 탄소중립을 실현하는데 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 이 모든 생태적 지혜가 모아져야 탄소중립은 실현 가능한 목표가 된다.



사진 2. 높은 탄소흡수능을 가진
버드나무 숲으로 천이가
진행 중인 묵논의 모습.



사진 3. 극심한 대기오염으로 훼손된 경상북도 봉화군 석포면에 위치한 영풍제련소 주변 숲의 모습. 극심한 대기오염과 그 영향으로 발생한 토양의 선성화로 식생이 쇠퇴하여 온 산에서 산사태가 발생하고 있다.



그림 5. 탄소발생량을 줄이고 그 흡수량을 늘려 탄소중립을 이루고 나아가 기후변화 적응을 이루어내기 위한 전략 (Lim et al. 2020로부터 재작도).

참고문헌

- 이창석. 1995a. 한국 소나무림의 교란체제. 한국생태학회지 18: 179-188.
- 이창석. 1995b. 한국 소나무림의 교란 후 재생과정. 한국생태학회지 18: 189-201.
- 이창석. 2024. 우리나라에서는 왜 생태복원이 국제사회와 다르게 진행되는가? J. Wetland Research 25 (4): 394-407.
- 이창석, 김학운, 임종환, 공우석, 윤원태, 배상근, 조현제, 이정택, 조광우, 신호성, 김해동, 한기주 (역). 2011. 기후변화학. 라이프사이언스, 서울. 213p.
- Jung SH, Kim AR, An JH, Lim C.H., Lim, HS., Lee, C.S., Lee. 2020. Abnormal shoot growth in Korean red pine as a response to microclimate changes due to urbanization in Korea. International Journal of Biometeorology. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01843-6>.
- Kim GS, Kim AR, Lim BS, Seol J, An JH, Lim CH, Joo SJ, Lee CS. 2022. Assessment of the Carbon Budget of Local Governments in South Korea. Atmosphere 2022, 13, 342. <https://doi.org/10.3390/atmos130203>.
- Lee CS, Chun YM, Lee H, Pi JH, Lim CH. 2018. Establishment, Regeneration, and Succession of Korean Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) Forest in Korea. In Conifers. IntechOpen.
- Lim, CH, Lim, BS, Kim, AR, Kim, DU, Seol, J, Pi, JH, Lee, H, Lee, CS. 2022. Climate change adaptation through ecological restoration. In: Jhariya, MK, Meena, RS, Banerjee, A, Meena, SN (eds.). Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability. Elsevier, Amsterdam. pp. 151-172.
- Park MS, Joo SJ, Lee CS. 2013. Effects of urban park and residential area on the atmospheric CO2 concentration and flux in Seoul of Korea. Advances in Atmospheric Sciences. doi: 10.1007/s00376-012-2079-7.
- Schimel DS. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. Glob. Chang. Biol. 1(1): 77-91.

The 2050 Carbon Neutral Strategy of The Republic of Korea. 2020. Towards A Sustainable and Green Society. The Government of The Republic of Korea, Seoul.

UNEP and FAO. 2020. Strategy of the UN decade on ecosystem restoration. United Nations Environment Programme and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Nairobi and Rome.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2015. The Paris Agreement. UNFCCC, Paris, France.

United Nations General Assembly. 2015. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. United Nations General Assembly, New York, New York, USA.

기후위기 시대, 산지재해 통합관리를 위한 돌발홍수 대응



최 형 태

국립산림과학원 도시숲연구과 연구관

choiht@korea.kr

1. 돌발홍수의 정의

- 돌발홍수는 일반적으로 좁은 지역에서 강우 후 짧은 시간 내에(일반적으로 6시간 미만) 발생하는 특정 유형의 홍수를 말함. 폭우나 과도한 집중호우로 인해 발생하는 경우가 많으며, 농촌과 도시 등 지역 특성과 상관없이 강우 조건만 충족해도 발생할 수 있음.
 - 배덕효와 김진훈(2007)은 “100km² 이내의 지형이 좁고 경사가 급한 유역에서 느리게 유역을 통과하는 호우 또는 국지적 지역 내에서 빠르게 움직이는 집중호우(2시간 동안 100mm 이상)나 태풍으로 인하여 짧은 시간(몇 분 또는 몇 시간) 내에 하천수위의 급격한 상승을 유발하는 홍수”를 돌발홍수로 정의하였음.
- 돌발홍수는 기본적으로 지면이 흡수할 수 있는 양보다 더 많은 빗물이 단기간에 집중되면

발생하지만, 최근에 강우가 있어서 토양이 포화되어 있거나 콘크리트 및 아스팔트와 같이 빗물을 흡수하지 못하는 불투수성 표면이 많은 도시지역 또는 토양이 너무 단단해 투수성이 나쁜 지역에서는 상대적으로 더 적은 강우량에도 발생할 수 있음.

- 따라서, 돌발홍수는 지형적으로 급경사 소유역(산악지역)에서 집중호우로 인해 단시간 내에 발생하며, 상류하천 유량의 급격한 증가, 급류의 형성, 산사태, 상류 소형 댐의 붕괴에 의한 피해가 지배적임. 이로 인해 계곡의 야영객이나 등산객, 도시하천을 산책하던 사람들이 급류에 휩쓸리거나 실종되는 인명피해가 발생함.

2. 돌발홍수와 산사태의 차이

- 산사태와 돌발홍수는 주로 급경사 산지에서 집중호우 등에 의해 발생하는 유사한 매커니즘을 가지고 있으나, 위험지역과 피해양상에서는 뚜렷한 차이가 있음.
 - 특히, 산사태는 7부 능선 이상의 토심이 깊은 급경사지에서 많이 발생하나, 돌발홍수는 계곡부에서 많이 발생하고, 토심이 얇을수록 더 큰 위험성을 가지게 됨.
 - 또한, 산사태 발생에는 유역, 수계형상, 계곡 특성(경사, 폭, 제방높이, 조도계수 등)이 큰 영향을 주지 못하나, 돌발홍수에서는 유역면적이 클수록, 수계형상이 우상(羽狀)에 가까울수록, 계곡 경사가 급하고 폭이 좋고, 제방높이가 낮으며, 조도계수가 높을수록 위험성이 높아짐.
 - 피해양상에 있어서 산사태는 붕괴된 토석에 의한 파괴, 매몰 등에 의한 피해가 주를 이루지만, 돌발홍수의 경우에는 주로 제방 붕괴 또는 제방 높이를 넘는 홍수량에 의한 범람과 침수로 인한 피해가 주를 이룸. 특히, 도시화 등에 의한 불투수면적 증가는 빗물의 토양 침투를 막고 홍수량을 증가시키는 중요한 요인으로 작용하기 때문에 도심홍수 규모 및 피해를 증가시키는 요인이 됨.
- 돌발홍수가 주로 계곡 및 산지 하류에서 피해를 발생시킨다는 측면을 고려하면, 산사태의 일종인 토석류와 유사한 특성을 가지고 있으나, 돌발홍수가 주로 급류 형성 및 수위 상승으로 피해를 발생시키는 반면에 토석류는 산사태로 붕괴된 토석과 나무가 물과 혼합되어 비탈면과 계곡을 따라 빠르게 흘러내리면서 진행방향의 인명과 재산에 심각한

타격과 피해를 발생시킨다는 점에서 차이를 보임.

- 따라서, 산지 돌발홍수는 산사태 또는 토석류와 동시에 동일한 지역에서 발생할 개연성은 충분하나, 산사태 위험이 적은 지역에서도 발생할 수 있으며, 지속시간이 짧아 토양이 포화되지 않았더라도 토양침투량을 초과하는 강우강도가 충분히 크면 짧은 시간 내에도 발생할 수 있는 특성을 가지고 있음.
- 그러나, 기본적으로 돌발홍수와 산사태는 급경사의 산지에서 집중호우 시기에 발생하는 산지 재해라는 시공간적 공통점을 가짐. 따라서 방재 효율성 제고를 위해 돌발홍수와 산사태를 통합 재해관리의 관점에서 접근할 필요가 있음.

3. 산림과 돌발홍수

3.1. 산지 홍수 위험 증가

가. 산간계곡 돌발홍수로 인한 인명피해 현황

- 국지성 또는 계절라성 집중호우가 급증함에 따라 이로 인한 산간계곡에서 돌발홍수 발생으로 인한 급류, 저지대 침수, 등산객 고립 등의 사고 빈발
 - * 지난 5년간('16~'20) 집중호우 사망사고 62건 중 급류에 의한 원인이 28건으로 최다
- 2011년부터 2022년까지 12년간 산간계곡에서 돌발홍수로 인한 확인된 인명피해는 총 83명(사망 52명, 실종 31명)에 달하며, 870여 명이 고립 후 구조되는 등 산지 돌발홍수로 인한 인적·물적 피해 지속 발생(표 1 참조)
 - * 서울 삼천사 계곡('11년 7월, 실종 2명), 파주 설마리 계곡('11년 7월, 사망 2명)청도 오토캠핑장 계곡('14년 8월, 사망 7명), 화천 광덕리 계곡('16년 7월, 사망 4명), 가평 승안리 계곡('16년 7월, 52명 구조), 홍천 서석면 계곡('17년 7월, 구조 37명), 강릉 왕산리 계곡('19년 8월, 사망 2명), 단양 심곡리 계곡('20년 8월, 사망 2명) 등

〈표 1〉 최근('11~'22년) 연도별 산간계곡 홍수로 인한 주요 인명 피해 현황

(단위 : 명)

연도	사망	실종	구조	인명피해 발생지역
2011	9	14	240	포항, 제천, 영월, 밀양, 청주, 남양주
2012	1	-	-	포항
2013	3	5	99	가평, 횡성, 화천, 구례, 하동
2014	12	5	-	곡성, 청도, 가평, 창원
2015	1	-	9	가평
2016	7	-	80	정선, 평창
2017	3	1	307	화천, 양평
2018	1	2	5	광주, 양주, 보은
2019	5	-	13	하동, 거창, 울산, 구례, 봉화, 강릉, 청도
2020	6	4	2	무주, 구례, 괴산, 영덕, 철원, 단양, 가평, 양평
2021	2	-	1	해남, 청도
2022	2	-	120	평창, 강릉
합계	52	31	876	

나. 산지 돌발홍수 재해 위험은 지속 증가 중

- 향후 더욱 심화될 것으로 우려되는 기후변화와 아울러, 최근 이른바 ‘숲세권’과 같은 도시생활권 확대와 산림복지시설 및 이용객 증가로 산지 돌발홍수 재해 위험에 노출되는 인구 및 시설은 증가 추세임.
 - 최근 6년간('16~'21) 귀농어·산촌 인구는 총 298만여 명으로 연평균 약 497천 명에 달하며, 코로나 팬더믹으로 인한 사회경제적 여파, 농산촌에 대한 관심 증가, 도시주택 가격 등으로 인해 지속적으로 증가할 것으로 예상됨(표 2 참조).
 - 2020년 기준 전국에 설치, 운영 중인 산림복지시설은 자연휴양림 175개소, 치유의 숲 28개소, 산림욕장 204개소를 비롯하여 총 1,213개에 달함. 또한, 1997년 이래 2022년까지 국립자연휴양림 이용자수가 8.3배 증가하는 등, 2022년 현재 산림휴양시설 이용자수는 1,910만 명에 달함(표 3 및 그림 1 참조).

〈표 2〉 최근 ('16~'21년) 연도별 귀농어·산촌 인구 현황

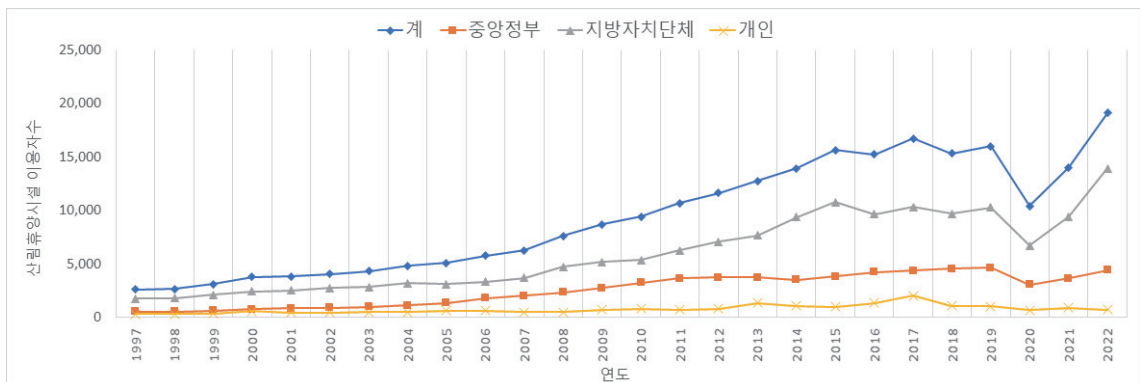
구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	합계
귀농어· 산촌 인구(명)	497,386	518,176	491,615	461,879	495,766	516,931	2,981,753
귀산촌 인구(명)	69,900	66,251	56,339	57,478	59,294	59,317	368,579
귀산촌 가구수	50,273	49,272	43,155	43,665	46,212	46,347	278,924

(자료 : 임업통계연보, 2022)

〈표 3〉 산림복지시설 조성 현황

산림복지시설	자연휴양림	치유의 숲	유아숲체험원	산림교육센터	수목장림	숲속야영장	산림치유원
개소수	175	28	277	15	72	14	1
산림복지시설	수목원	정원	국민의 숲	도시숲	산림레포츠시설	산림문화자산	산림욕장
개소수	62	42	173	89	1	60	204

(자료 : 한국산림복지진흥원, 2020)



〈그림 1〉 산림휴양시설 이용자 현황 (자료 : 임업통계연보, 2022)

- 2022년 기준 전국에서 운영되고 있는 야영장 및 캠핑장 2,945개소 중 900여개소 이상과 국공립산림복지시설 중 300여개소 이상 등 총 1,200여개소 이상의 산림복지 및 휴양시설이 산지계류 및 계곡에 인접해 있기 때문에 극한호우에 의한 산지 돌발홍수 재해위험에 노출되어 있는 시설은 전국적으로 분포하고 있음.

3.2. 기후변화 적응을 위한 홍수 대응 강화

가. 기후재난 극복을 위한 정부 차원의 홍수대응 강화 추진

- 기후위험으로부터 안전한 국가를 구현하기 위하여 환경부, 기상청 등 관계부처 합동으로 온실가스 감축과 함께 기후변화 대응의 양대축 중 하나인 기후변화 적응을 이행하기 위한 ‘제3차 국가 기후변화 적응대책(‘21~‘25)을 수립, 시행
 - 물관리 부문에 있어서는 홍수·가뭄 위험에 대비하기 위해 조기경보체계를 구축하고, 지역 맞춤형 재난대응사업을 추진하며, ‘물순환 목표관리제’ 시행으로 물순환 회복을 추진
- 2022년 8월 수도권 집중호우와 9월 태풍 힌남노로 큰 홍수 피해가 발생하면서 기후변화로 극한 강우가 늘어날 것이라는 전망과 함께 이를 고려한 기후변화 적응대책이 중요한 화두로 부각
 - 한강 등 유역별 제척자료의 체계적인 관리로 홍수 예측 정확도를 높이고, 이를 토대로 설계기준의 개선과 본류와 지류를 아우르는 홍수 예·경보체계의 구축을 추진
 - 도시의 홍수 방어 능력을 향상하기 위해 지역별 특성에 맞는 대책을 마련하고, 홍수방어 목표를 설정할 때에도 과거 최대 홍수량을 고려하는 방안 등 다양한 정책 개발 추진
- ‘기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)’에서 새로운 기후전망이 발표(AR6, 2022. 2. 27.)되고 기후 재난 피해가 심화됨에 따라 정부는 ‘제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)’에 사회 전반의 적응 기반시설(인프라)을 강화하고 현장에 적용할 수 있는 실행계획을 보강한 ‘제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023~2025)’을 수립 시행함.
 - 기후재난 극복 및 안전사회 실현을 위하여 홍수방어 능력 강화의 필요성이 크게 대두됨에 따라 소하천 범람 대비 설계빈도의 상향(100년→200년)과 대심도터널, 지하방수로, 강변 저류지 등 관련 적응 기반시설의 지속적 확충 추진

- 인공지능(AI) 홍수예보 시스템 도입으로 예·경보를 더욱 빠르게(3시간 전→6시간 전)하고, 돌발·극한 호우 정보가 신속하게 전달될 수 있도록 기상청이 국민들에게도 직접 휴대전화 문자를 제공할 수 있게 개선

나. 실효적 홍수대응을 위한 지류·지천 등 상류지역 관리 확대

- 최근 5년간('17~'22) 하천 홍수피해(시설수 기준)의 98.7%가 지방하천과 소하천에 집중됨에 따라 지류·지천·소하천의 홍수관리 강화 필요성 대두
 - '21년 기준 국가하천의 정비율은 95%인 반면 지방하천은 77.5%에 그쳤으며 소하천까지 확대하면 제방 정비율은 50%를 밑도는 상황임
- '23년 7월 하천법 개정으로 국가하천의 '배수영향구간'에 있는 지방하천에 대한 국가의 직접 정비추진 등 통합적 홍수관리체계 확대
 - 국가하천 배수영향구간에 대한 국가의 하천공사 직접 시행 및 비용 부담을 통해 지방하천에 대한 국가 책임을 확대하고 집중호우로 인한 홍수 대응력 강화 추진
- 극한홍수 발생의 골든타임 확보 및 방어능력 제고를 위한 인프라 확대
 - 전국 지류·지천 중 홍수 발생 우려가 높은 109개소를 대상으로 수위관측소 설치 추진
 - 레이더 기반의 단기 강우 및 돌발홍수 예측기술 개발, 소형 강우레이더 확대 구축(2기 → 9기, ~'25년) 등을 통한 상류지역 돌발홍수 조기에보시스템 구축 추진
 - 기후변화에 대비한 홍수방어능력 제고를 위해 도시지역 소하천에 대한 설계빈도 상향(최대 100년 빈도 → 200년 빈도)

4. 돌발홍수 대응체계 현황

4.1. 국내 돌발홍수 대응체계 현황

- 국내에서 돌발홍수를 대응하기 위해 실제로 운영되고 있는 시스템은 특별히 없는 실정임. 단지 지역단위의 경보시설인 자동우량경보시설만이 실제로 운영되고 있는 돌발홍수 대응 시스템이라 할 수 있음.
- 돌발홍수 예보시스템이 강우레이더를 기반으로 하여 연구 개발되었으나, 아직까지 현업에 사용하지는 못하고 있는 실정임.

- 홍수위험지도가 국가하천과 지방하천을 대상으로 제작되어 온라인으로 공개되어 있으나, 소하천 및 산지하천과 계류, 계곡은 제외되어 있음

가. 자동우량경보시스템 설치 및 운영현황

- 자동우량경보시설은 1999년도 수해방지종합대책 중 방재정보의 신속한 전달체계 구축방안의 일환으로 산간계곡, 하천변 유원지 상류지역의 강우상황을 관측, 하류지역에 자동으로 경보발령 및 안내방송을 실시하여 재해상황을 전파하여 행락 및 야영객의 인명을 보호하기 위한 시설임.
- 산간계곡 중·상류 지역에는 자동우량관측시설, 하류 지역에는 경보시설, 각 재해대책본부와 읍·면·동사무소에는 원격통제 및 감시시설을 설치하고, 중·상류 지역의 강우상황에 따라 하류지역을 감시하고 보호하는 재해경보시스템임. 시스템은 통제시설, 우량관측 및 경보시설, 지역에 맞게 CCTV를 통한 감시시설 및 수위관측시설로 구성됨.
- 2020년 전국 지자체에서는 돌발홍수 위험이 높은 전국 340개 지구에서 1,608개의 자동우량경보시설을 운영하고 있으며, 산간계곡 야영지나 하천 유원지 등 재난의 우려가 높은 지역에 재해문자전광판을 설치하거나 자동음성통보시설을 이용하여 국민행동요령 및 재난관련 예경보를 전파하는 시스템을 운영중임(표 4 참조).

〈표 4〉 국내 재난예경보시설 현황(자동우량경보시설)

합계		자동음성통보시설		자동우량경보시설		재해문자전광판	
설치지구	시설(수)	설치지구	시설(수)	설치지구	시설(수)	설치지구	시설(수)
1,153	19,245	239	16,686	340	1,608	574	951

(자료 : 황우석, 2022)

- 자동우량경보시스템은 홍수예측이 아닌 현재 내리는 강우량만을 이용하여 경보를 발령하는 시스템으로서, 지역조건 및 발령기준에 따라 경보발령이 너무 빈번하거나 또는 너무 적게 발령되는 등 문제점이 제기되고 있음.
- 또한, 현재 내리는 강우량 기준으로 경보발령을 실시하기 때문에 재난상황 발생 시 피난과 대응을 위한 골든타임 확보가 쉽지 않다는 문제점을 가지고 있음.

- 이를 극복하기 위해 재해기간과 비재해기간을 구분하여 발령기준을 적용하거나, 지역여건 및 지형학적 조건 등을 고려한 경보발령 기준을 재설정하여 운영하고 있으나 발령의 정확성에는 일정정도 한계를 가지고 있음.

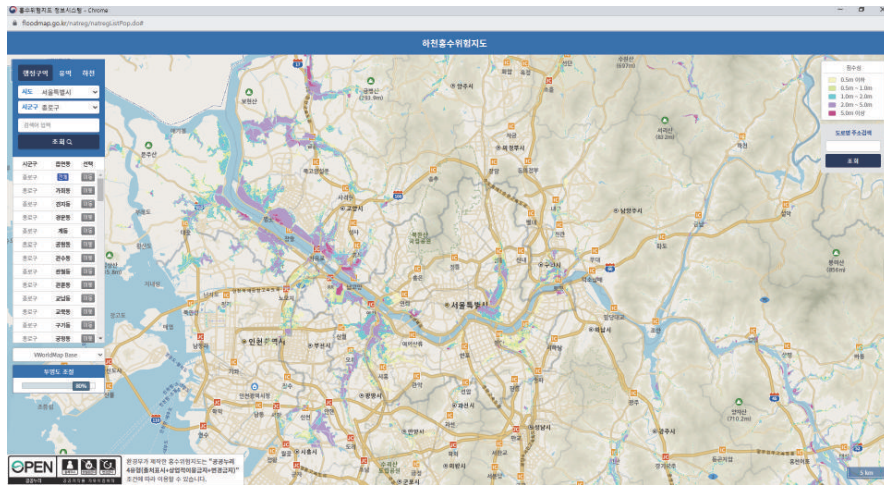
나. 돌발홍수 예측시스템 개발 현황

- 국립재난안전연구원은 전국 자동우량경보시설 설치지구 중 4개소에 대해서 산지 돌발홍수 예경보 개선을 위한 시험유역을 구축('17년 2개소, '18년 2개소)하고 수위자료 계측을 통한 경보발령기준 개선 및 산악지형 수위계측 모듈 개발 연구를 실시한 바 있음.
- 한국건설기술연구원 돌발홍수연구센터는 2019년, 강우레이더 기반 실시간 도시·산지·소하천 돌발홍수 예측 시스템을 개발, 시험운동을 하고 있음.
 - 지역 특성을 반영하지 않은 단순 강우량 중심의 현행 호우특보는 실제 겪을 수 있는 국지적·돌발적 홍수위험까지 정밀하게 예측하기 힘들. 즉, 돌발홍수 위험을 정확히 전달하기 위해서는 강우량 외에 지형 등 해당 지역별 홍수 발생 특성을 고려하여 빠르고 정확한 돌발홍수 해석과 예측이 이루어져야 함.
 - 개발된 강우레이더 기반 실시간 돌발홍수 예측 시스템은 강우레이더 시스템을 기반으로 지역별 홍수 예측의 정확도를 높이고, 홍수위험 정보를 제공하고 있으나, 실증자료의 부족으로 예측 정보의 검증이 미흡한 상황임.

다. 홍수위험지도 제작 현황

- 홍수위험지도는 홍수에 대비한 비구조물적 대책으로 재난 발생·예상 시 피해가 최소화될 수 있도록 홍수피해의 위험도 예측하여 하천 주변지역의 침수위험범위와 침수깊이 등을 나타내는 지도임.
- 홍수위험지도는 전국 국가하천(2,892km)과 한강, 낙동강, 금강, 영산·섬진강권역의 지방하천(1만 8,795km) 구간을 대상으로 제작되었으며, 홍수위험지도정보시스템에서 하천명을 검색하여 침수위험 범위와 침수 깊이를 찾을 수 있음.
 - '01년부터 '16년까지 한강권역(1,019km), 낙동강권역(840km), 금강권역(616km), 영산·섬진강권역(418km) 등 국가하천 총 2,892km에 대한 제작 완료
 - 이후, '16년부터 '21년까지 한강, 낙동강, 금강, 영산·섬진강권역 지방하천 총 1만 8,795km에 대한 홍수위험지도 제작 완료하여 온라인으로 공개

- 행정안전부에서는 생활안전지도의 도로침수위험 구역 정보 제공과 풍수해보험관리지도 작성시 수해 부문 위험도 평가에 홍수위험지도 성과를 활용하고 있으며, 지자체에서는 자연재해저감종합계획 수립, 재해영향평가 협의, 비상대처계획 수립, 재해정보지도 작성 등에 활용하고 있음



〈그림 2〉 환경부 하천홍수위험지도정보시스템

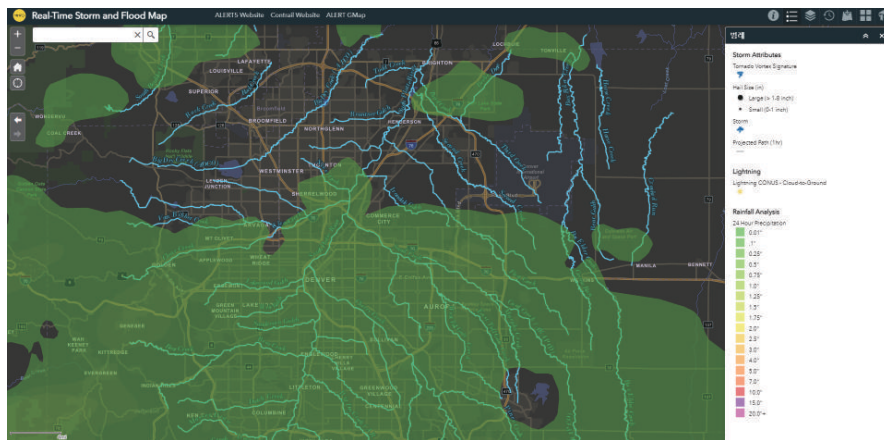
4.2. 국외 돌발홍수 대응체계 현황

가. 미국

- 미국에서는 1979년 돌발홍수 예측 프로그램(Flash Flood Prediction Program, F2P2)을 개발하고 지속적으로 향상시켜 왔으며, 미국 기상청(National Weather Service, NWS)은 지상관측망, GOES 위성, 도플러 레이더로부터 기상자료를 대용량 전산시스템 및 인터넷망을 통하여 수집·관리하는 선진기상연계처리시스템(Advanced Weather Interactive Processing System, AWIPS)을 활용하여 돌발홍수 모니터링 및 예측(Flash Flood Monitoring and Prediction, FFMP)모형을 제안하였음.
- 미국은 1960년대 이후부터 침수위험이 있는 지역의 홍수위험지도를 제작하여 홍수방어를 위한 국가홍수보험프로그램(National Flood Insurance Program, NFIP), 스마트 성장(Smart Growth), 홍수터관리프로그램(Floodplain Management

Programs, FMP) 등을 시행하고 있음.

- 1970년대 초 지역단위 홍수 예경보 시스템(LFWS: Local Flood Warning System)이 설치되기 시작하였는데, 이는 지역을 기반으로 홍수피해를 경보하기 위한 것으로 강우 및 수위관측자료를 기반으로 하였음. 그러나, 실황자료 바탕으로만 운영, 충분한 선행시간을 확보하지 못하였으며, 이를 개선하기 위하여 강수량 예측시스템을 근거로 한 선진 수문예측 서비스 (AHPS: Advanced Hydrologic Prediction System)를 개발함.

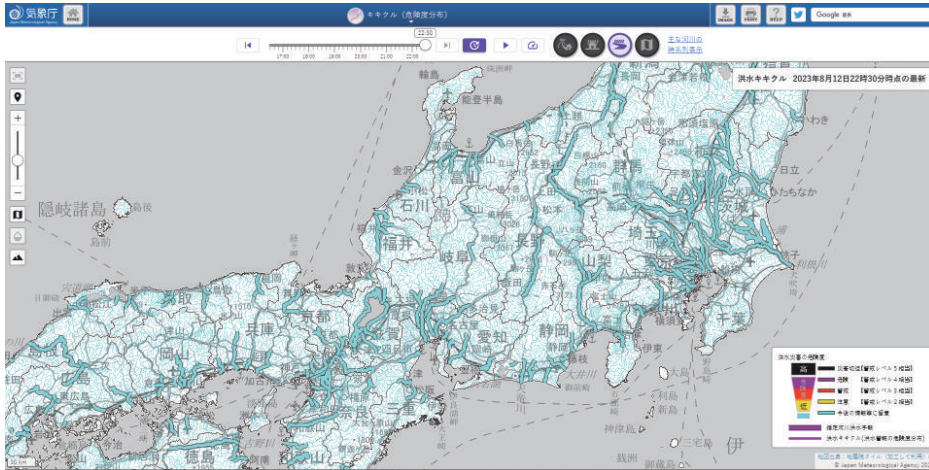


〈 그림 3〉 미국 실시간 집중호우 및 홍수지도 정보시스템
(<https://mhfd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer>)

나. 일본

- 일본은 산지 지형이 많아 강우관측의 어려움을 극복하기 위해 2006년부터 레이더망을 이용한 상세 공간홍수 예경보시스템 구축에 전력을 기울이고 있음. 일본 기상청 및 국토교통성, 지자체의 행정기관에서는 레이더 정보를 활용하기 위해 강수의 단시간 예보와 나우캐스트(Nowcast)를 이용함.
- 일본 방재연구소(National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, NIED)에서는 레이더 강우의 추정과 수문모델을 융합한 초단기 홍수 예·경보를 제공하고 있음. 또한 내수침수예측시스템을 개발하여 실시간으로 Web GIS와 연계하여 침수 위험지도도를 제공함.
- 또한, 토사재해로부터 인명을 보호하기 위해 2002년부터 국토교통성 하천국 사방부와

기상청 예보부가 협력하여 새로운 토사재해경계 정보 제공에 관한 검토를 실시하였으며, 강우예측을 바탕으로 토사재해가 예측될 때, 방재대응을 적절하게 판단할 수 있도록 지원하고 있음.

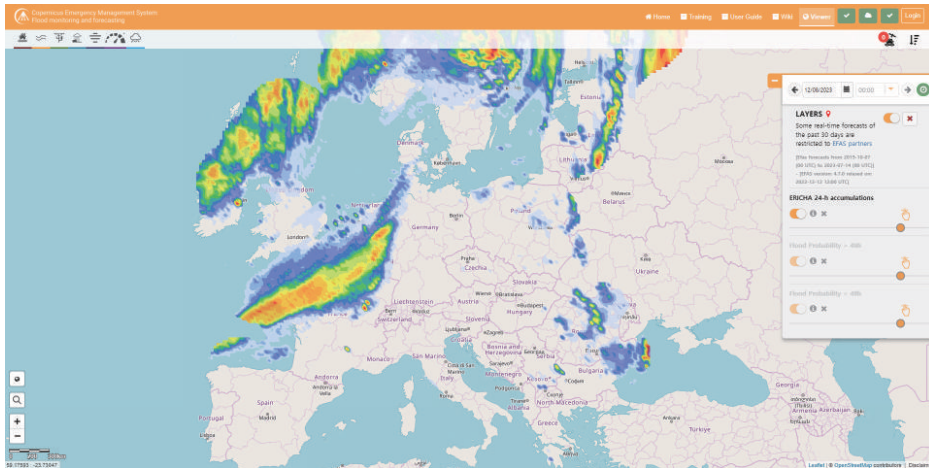


〈그림 4〉 일본 기상청에서 운영하는 실시간 홍수정보시스템

(<https://www.jma.go.jp/bosai/risk/#elements:flood>)

다. 유럽

- 영국 환경청은 영국의 지역별 홍수 발생 가능성을 예측하여 지도에 표시한 ‘실시간 홍수 경고 지도 (Live Flood Warning map)’ 서비스를 제공하고 있음.
 - 이는 홍수 예측에 필요한 강우량, 지표 고도, 토양, 지질, 배수, 홍수 이력 등의 과거 다양한 정보를 빅데이터 관계 분석을 통하여 위험지역을 도출하고, 홍수 발생 가능성을 경보에서 해제까지 4단계로 구분하여 웹서비스로 제공함.
- 유럽 홍수경보시스템(European Flood Awareness System, EFAS)은 유럽 전역에서 홍수를 모니터링하고 예측하는 최초의 본격적인 유럽 시스템임.
 - EFAS는 유럽 국가 및 지역 당국에 홍수 예·경보 정보(홍수 예보, 돌발 홍수 지표 또는 영향 예보) 및 유럽 전역에서 진행 중이거나 향후 발생할 수 있는 홍수 사건에 대한 정보를 유럽 비상대응조정센터(Emergency Response Coordination Centre, ERCC)에 제공함.



〈그림 5〉 유럽 홍수경보시스템(EFAS)

(https://www.efas.eu/efas_frontend/#/home)

5. 결론 및 시사점

가. 기후위기 시대, 산지 재해 위험성은 계속 증가하고 있다.

- 극한호우가 더욱 빈번해지면서 홍수, 산사태 등 자연재해로 인한 인명 피해와 재산 손실이 급증하고 있음. 이러한 경향은 앞으로 더욱 대형화, 가속화될 것으로 예상됨.
- 도시화가 진행되고 산림복지시설과 이용객수가 증가함에 따라 산림 및 주변지역에서는 주거공간과 휴양활동이 증가하고 있음. 이로 인해 산지 재해 위험에 노출된 인명과 재산이 늘어나고 있음.

나. 이제 산지에서 돌발홍수 재해관리가 필요하다.

- 지난 10여 년간 산간계곡에서 돌발홍수로 인한 급류사고로 총 83명이 희생되고 876명이 구조되는 등, 돌발홍수는 이미 산림지에서 대형 인명 사고의 원인이 되고 있음.
- 지금까지 산지에서 집중호우에 따른 방재 대책은 주로 산사태에 초점을 맞추어 왔음. 그러나 최근 극한호우 등 극단적인 이상기상의 심화로 인해 산지 재해는 산사태, 돌발홍수가 연쇄적 혹은 동시다발적으로 발생하는 대형 복합재난으로 확대되고 있음.
- 따라서 앞으로 산지에서의 재해관리는 더 이상 산사태만을 대비하는 것에 그치지 않고,

돌발홍수 재해관리를 포함하는 통합적 재해관리체계로의 전환이 필요함.

다. 산사태와 돌발홍수의 통합 재해관리로 방재 효율성을 증대하자.

- 산사태와 돌발홍수는 산지라는 동일한 공간에서 집중호우 시기에 발생하는 재해라는 시공간적 공통점을 가짐. 따라서 이들을 통합 재해관리의 관점에서 접근함으로써 방재 효율성을 극대화할 수 있음.
- 통합 재해관리는 정보 수집, 위험 예측, 신속한 대응, 효과적인 복구에 초점을 맞추며, 이를 위해 지역 사회, 당국, 전문가들 간의 협력 강화가 필수적임
- 산사태와 돌발홍수는 서로 연관성이 높아, 통합된 접근은 자원의 효율적 분배와 경제적 피해 최소화에 기여할 수 있음. 산림 관리와 사방시설 강화, 예방 및 대응전략의 통합 및 재조정을 통해 위험을 완화하고, 주민들의 재난 대응 능력을 향상시키는 노력이 중요함.

라. 통합 홍수관리를 위한 상류지역 관리 강화에 선제적 대응이 필요하다.

- 정부는 집중호우로 인한 홍수 대응력 강화를 위하여 지방하천에 대한 국가 책임을 확대하고 극한홍수 발생의 골든타임 확보 및 방어능력 제고를 위한 인프라 및 예보시스템 구축을 지류·지천 등 상류지역으로 확대하고 있음.
- 효과적 홍수관리는 단순히 홍수 발생에 대응하는 것을 넘어서 상류부터 하류까지의 포괄적인 통합 관리가 필수적임. 특히 상류는 홍수의 출발 지점으로, 지형과 토지이용상태, 강우량에 따라 홍수의 진행과 영향을 결정짓는 중요한 역할을 함.
- 따라서, 국토의 63%를 차지하며 상류지역의 대부분을 이루는 산림지의 특성과 관리는 하류로 향하는 수량과 수질을 조절하는 데 매우 중요한 역할을 함.
- 주요 하천 및 지류·지천의 상류 산림유역에 대한 홍수정보 수집 및 재해관리에 선제적으로 대응함으로써 국가·지방하천의 홍수재난관리 체계와의 연계 및 상·하류 통합 재난대응 체계의 실효성 제고에 기여할 수 있음.

마. 산지 돌발홍수 관리역량 강화를 위한 모니터링 및 R&D 확대가 필요하다.

- 우리나라 홍수재해 관리는 국가하천 등 대하천과 도시를 중심으로 추진되어 왔으며, 산림 및 산지계류에 대한 기초자료 및 기술 개발은 부족한 실정임. 특히, 산지계류는 경사가 급하고 지형 변화가 커서 상대적으로 경사가 완만하고 잘 정비된 일반 하천의 홍수 예측

기술을 적용하기는 어려움이 많음.

- 따라서 우리나라 특성에 맞는 산지 돌발홍수 및 홍수피해 예측/대응/복구체계 구축이 필요하며, 이를 위해 산지 돌발홍수의 실시간 모니터링 및 위험 예측·경보체계 구축, 산지 돌발홍수 위험지역 평가 및 지도 제작, 기후변화를 고려한 산지 방재성능 상향 개선 및 시설물별 설계기준 최적화 등을 위한 적극적인 연구개발 확대와 맞춤형 산림정책 발굴이 필요함.

6. 참고문헌

- 1) 공공데이터포털. 한국관광공사 전국 야영장 등록 현황
- 2) 관계부처 합동. 2020. 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)
- 3) 관계부처 합동. 2023. 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023~2025)
- 4) 국립산림과학원 2022. 산림재해백서
- 5) 배덕효, 김진훈. 2007. 한국형 돌발홍수 예경보시스템 개발(I) 이론 및 시스템 설계. 대한토목학회논문집, 제27권, 제3호, pp. 237-243.
- 6) 산림청. 2022. 임업통계연보
- 7) 한국건설기술연구원. 2019. 4차산업혁명기술융합돌발홍수예측특화전략연구
- 8) 한국산림복지진흥원. 2020. 한눈에 보는 산림복지통계
- 9) 환경부. 하천홍수위험지도정보시스템
- 10) 황우석, 표경수. 2022. 국내 재난 예경보 시스템 현황 및 통합 방안에 대한 분석 연구. 방송공학회논문지 제27권 제1호. pp 80-90.
- 11) <https://mhfd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer>
- 12) https://www.efas.eu/efas_frontend/#/home
- 13) <https://www.jma.go.jp/bosai/risk/#elements:flood>

소나무재선충병 방제 총력 대응으로 피해감소 추세로의 전환 발판 마련 ! -한국임업진흥원, 입체적 예찰을 통한 건강한 산림자원 보호에 앞장서다-



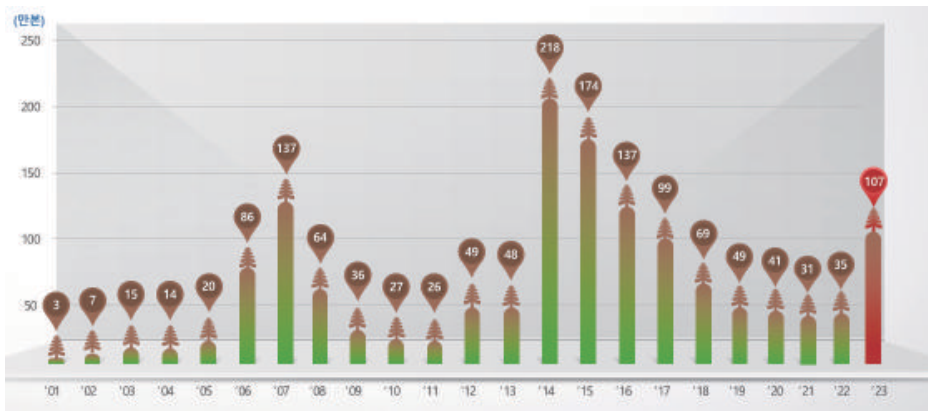
유 석 봉

한국임업진흥원 소나무재선충병모니터링본부 본부장

yoosb1@kofpi.or.kr

최근 산림청의 국정과제 중 하나는 건강하고 지속가능한 산림 자원을 육성하는 것이다. 이를 위해선 산림재난으로부터 산림을 보호하는 것 또한 중요한데, 산림재난이란 크게 산불·산사태·산림병해충 3가지를 나타낸다. 그 중 산림병해충은 인간의 생명과 생계에 직접적으로 피해를 주는 산불과 산사태보다 일반적으로 피해가 약하다고 느낄 수 있지만, 한번 발생하면 지속적인 피해를 입힘으로 관리하기 어렵다는 특징이 있다. 또한 기후변화로 인한 외래종의 침입 및 생태계 변화 등으로 인하여 산림병해충의 피해를 예측하여 대응하는 건 몹시 어려운 일이다.

따라서 한국임업진흥원 소나무재선충병모니터링센터에서(이하 센터)는 보다 과학적이고 체계적인 관리 강화를 통해 산림병해충의 피해확산 저지 및 피해 예방을 위해 끊임없이 노력하고 있다.



〈연도별 소나무재선충병 발생 현황〉

센터는 지난 2014년 소나무재선충병(이하 재선충병)의 2차 확산으로 인해 218만 그루의 피해목이 발생했을 때, 산림청이 해당 문제를 해결하고자 2015년 「소나무재선충병 방제특별법」을 개정하였으며 이를 통해 2016년 재선충병 전담 기관으로 개소하였다. 이후 센터는 재선충병 조기발견을 위한 예찰시스템을 강화하고, 방제사업장 품질관리, 기술 교육훈련 및 재발생을 조사, 통계관리 등 산림병해충에 대한 신속하고 정확한 대응체계 확립하여 재선충병 피해감소를 위해 노력하였다. 재선충병은 산림청, 지자체, 센터 등의 노력으로 2021년도까지 꾸준히 감소추세를 보였으나, 2022년 38만 그루로 전년 대비 7만 그루 증가를 시작으로 2023년 107만 그루로 전년 대비 2.8배 증가하며 3차 확산의 징조를 나타내고 있다. 이러한 피해 증가의 주요 원인으로는 최근 겨울철 가뭄과 봄철 고온, 대형 산불 등의 여러 요인으로 인해 소나무재선충의 매개충이 활동하기에 적합한 최적의 환경이 조성되었기 때문이라 할 수 있다.

재선충병은 감염목 1그루만 방제를 하지 못해도 그 피해가 기하급수적으로 확산될 수 있어 체계적인 관리가 필요하다. 따라서 센터는 QR 코드, 드론, NFC 등 4차 산업기술과 연계하여 재선충병 예방·예비관찰(이하 예찰)부터 방제·사후관리까지 전 과정에 걸친 관리체계를 완성하여 전략적으로 피해에 대응하고 있다. 2020년도부터 전국단위 ‘드론 예찰조사’ 사업을 수행하여 확산위험·집중피해지역에 대한 재선충병 감염의심목 정보를 방제기관에 실시간으로 제공함에 따라 예찰 효율성을 향상시키고 험준지, 비가시권의 예찰누락 등의 인력예찰 한계점까지 보완하였다. 올해는 전국 55만ha 규모의 드론 촬영뿐만 아니라 드론

활용 컨설팅을 제공함으로써 드론 예찰 기반의 방제 품질 향상을 목표로하고 있다. 더불어 전국 320개 유관기관을 대상으로 'IoT 기술'을 활용한 「이력관리 시스템」을 운영함으로써 재선충병 예방·예찰·방제·사후관리 전 과정에 대한 데이터를 관리해오고 있으며, 특히 웹과 모바일을 이용해 실시간으로 전국단위 고사목 예찰 및 방제상황을 관리·점검하고 있다. 아울러 지속적인 시스템 고도화를 통해 재선충병 관리체계를 강화하고 피해발생 감소에 기여하고자 한다.



〈QR코드를 활용한 소나무재선충병 이력관리 시스템〉

센터는 재선충 피해를 감소시키고자 현장에서 재선충병 피해 저감을 위한 다양한 노력을 하고 있다. 재선충병 피해량 예측에 기본이 되는 '소나무재선충병 재발생률 조사'를 진행 중이며 전국 재선충병 피해지에 표준지를 설치하여 조사구역 내 70% 이상 고사가 진행된 나무를 전수조사 한다. 추후 월별고사율, 합동예찰 감염률 분석 등을 통해 재선충병 피해량 예측과 더불어 방제예산편성 및 방제효과 분석에 기초자료로 활용 할 예정이다.

그리고 산림청과 센터 합동으로 「소나무재선충병방제대응반」을 구성하여 운영 중이며, 전국 재선충병 발생 지자체를 대상으로 권역을 나누어 담당자를 배치하고 방제가 완료되는 차년도 4월까지 설계 타당성 검토·방제컨설팅·현장점검·품질점검 등을 실시하고 더불어 지자체별 피해특성에 맞는 방제전략 수립 지원으로 체계적인 방제사업이 이루어질 수 있도록 선제적으로 대응 할 계획이다.



〈고사목 시료채취〉



〈소나무재선충병 방제사업장 부실사례 현장점검〉

담당자 직무역량 강화를 위해 산림병해충 방제관계자(담당공무원, 예찰·방제단, 방제사업자 등)를 대상으로 매년 진행되는 ‘산림병해충 예찰·방제 전문기술교육’에서도 최신 주요정책 변경사항들을 신속하게 반영해 교육과정을 재개편하여 교육의 품질을 제고하고 있다. 지난 2023년도에는 개선된 지침에 맞춘 지역별 방제전략 수립 및 안전교육 강화, 재선충병 드론 예찰 교육, 방제전략 우수·미흡사례 공유 및 방제전략 토론 등의 과목을 신설하고 기존 안전교육 등을 강화하는 등 교육 효과 제고를 위해 노력하고 있다.



〈산림병해충 예찰·방제 전문기술교육〉



〈예찰 및 방제방법 실습〉

또한 센터 내 진단실에서도 재선충병 조기발견과 피해확산 저지를 위한 노력은 계속되고 있다. 소나무류 고사목에 대해 신속 정확한 감염여부 진단 서비스를 제공하여 방제전략 수립에 근거자료를 제공하며, 전국 지자체 및 유관기관과 업무 협업 체계를 구축하여 새로운 진단 기술을 발굴하고 개선하는데 노력하고 있다.

센터에서는 재선충병 이외에도 산림병해충, 방제약제 시험 및 등록, 나무의사 자격시험 운영 등의 산림보호를 위한 다양한 업무를 담당하고 있다. 재선충병 외에도 산림에 피해를 주는 산림병해충에는 주요 산림병해충과 신규·돌발·외래 병해충 등 피해를 주는 다양한

병해충들이 존재한다. 최근 제주도에서 발생한 신규 외래병해충인 노랑알락하늘소, 전남지역에 발생한 돌발 병해충 맵시혹나방 등이 이에 해당된다. 산림병해충의 피해 최소화 및 확산방지를 위해선 병해충의 발생초기 및 방제적기에 신속히 대응하는 것이 중요하기에 센터에서는 지상예찰, 항공예찰 뿐만 아니라 페로몬 트랩, 끈끈이 롤트랩 등을 활용하여 해당 병해충에 대한 신속한 예찰 및 모니터링 지원으로 산림병해충 확산 저지와 방제 품질 관리의 기초자료로 활용하고 있다.



〈끈끈이 트랩 활용 참나무시들음병 발생 조사〉

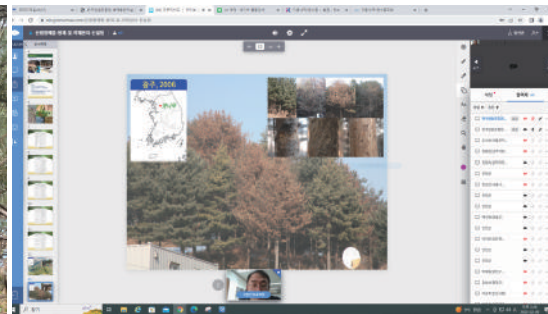


〈신규 외래해충 노랑알락하늘소 예찰 조사〉

산림병해충 방제를 위해 사용되는 약제 등록시험에서도 농약시험연구기관으로써 발 빠른 대응하고 있다. 정책변화나 방제 시급성에 따라 병해충별로 방제현장에 사용할 수 있도록 방제약제 등록시험을 실시하고 있으며, 약제사용 안내 교육 및 컨설팅을 제공하여 부적절한 방제약제 사용을 근절하고 있다. 또한 임가에서도 산림병해충을 방제하는데 활용할 수 있도록 임산물별 병해충 방제 가이드북을 제작하여 제공하는 등 산림병해충 피해 최소화를 위해 노력하고 있다.



〈방제약제 등록시험〉



〈산림병해충 방제 컨설팅〉

산림이 아닌 생활권 도시숲에 있어도 예외는 없다. 도시 생활권에도 산림병해충에 대한 피해 발생이 증가됨에 따라 전문가에 의한 수목방제가 점차 늘어나고 있는데, 일부 지역에서는 비전문가에 의한 고독성 농약 사용 등의 문제가 지속 발생하였다. 뿐만 아니라 아파트, 인근공원 등 수목진료 업무범위 확대 등으로 관련 산업의 급성장이 예상되나, 전문성이 부족하고 전문 인력을 양성할 수 있는 체계가 미흡하였다. 이에 따라 2018년 나무의사 제도가 시행되었고, 나무의사 자격시험 시행관리 및 자격증 발급업무를 산림청에서 위임 받아 진행하고 있다.

안정적인 나무의사 제도 운영을 통해 생활권 수목진료체계 기반을 구축하여 수목진료전문가에 의한 수목피해 진단 및 진료를 통해 건전한 수목관리가 가능하게 하며 나아가 적절한 농약 사용 등을 통해 대국민 안전도 보호하고자 노력하고 있다.



〈나무의사 자격시험 시행〉

끝으로 한국임업진흥원 소나무재선충병모니터링센터는 산림병해충 피해로부터 대한민국의 푸르른 산림을 지키고, 그 산림을 국민들이 맘껏 누릴 수 있도록 오늘도 최선을 다하고 있습니다.

소나무재선충병 관리기술의 스마트한 발전과 적용 -이력관리시스템 및 드론 활용 중심으로-



황 진 형

한국임업진흥원 소나무재선충병모니터링본부 예찰분석실장

jhhwang@kofpi.or.kr

우리나라 산림분야에 종사하는 사람이라면 모를 수 없는 4대 병해충에는 8~90년대 강원과 경북 소나무림을 황폐화시켰던 솔잎혹파리(*Thecodiplosis japonensis*)와 90년대 남부지방 해안가 곰솔림에 큰 피해를 주었던 솔껍질깍지벌레(*Matsucoccus thunbergianae*), 2004년 경기도 성남시 참나무류 임분에서 최초 발견된 참나무시들음병(병원균: *Raffaelea quercus mongolicae*), 그리고 오늘 이야기하고자 하는 소나무재선충병(*pine wilt disease*)이 있다.

국내 소나무재선충병(이하 재선충병)은 1988년 부산광역시 동래구 금정산에서 최초 발견되어 1997년 전남 구례군과 경남 함안군으로, 현재는 인천광역시를 제외한 141개 시군구에 발생, 전국으로 확산되어있다.

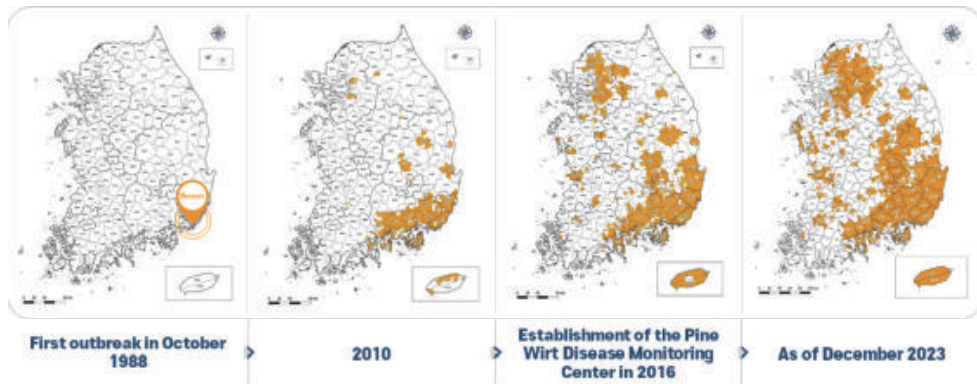


그림 1. 소나무재선충병 국내 발생 현황

소나무류에 감염이 되면 고사할 수밖에 없는 치명적인 재선충병의 관리는 QR코드를 활용한 이력관리시스템이 시작된 2020년 이전과 그 이후로 나누어 볼 수 있다.

오늘은 재선충병 예비관찰(이후 예찰)부분인 이력관리시스템과 드론(무인기)를 활용한 조사에 대하여 기술하고자 한다.

‘88년 재선충병 발생 이후 예찰과 방제 조사방법은 수기에 의존 되었던 방식에서 2020년부터는 4차 산업기술인 IoT기술을 도입, QR코드를 이용하여 실시간으로 조사 및 방제이력현황을 관리 할 수 있게 고도화되었다.

이는 예찰, 검경을 포함하여 설계, 시공, 감리 및 사후관리, 예방사업 부분인 나무주사까지 누락 없는 관리가 이루어질 수 있게 되었고, 이와 관련된 자료 통계의 실시간 반영이 가능하도록 시스템을 현재 운영중이다.

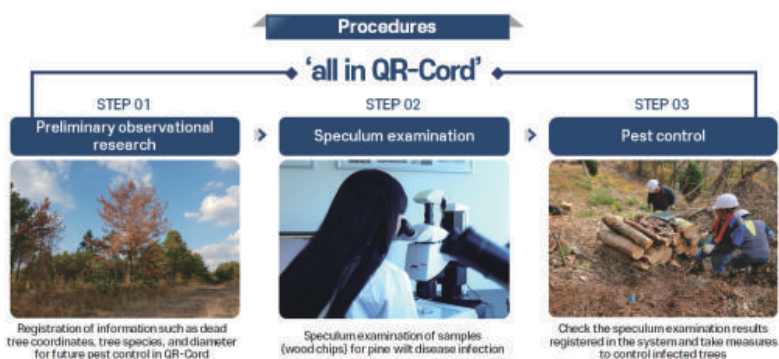
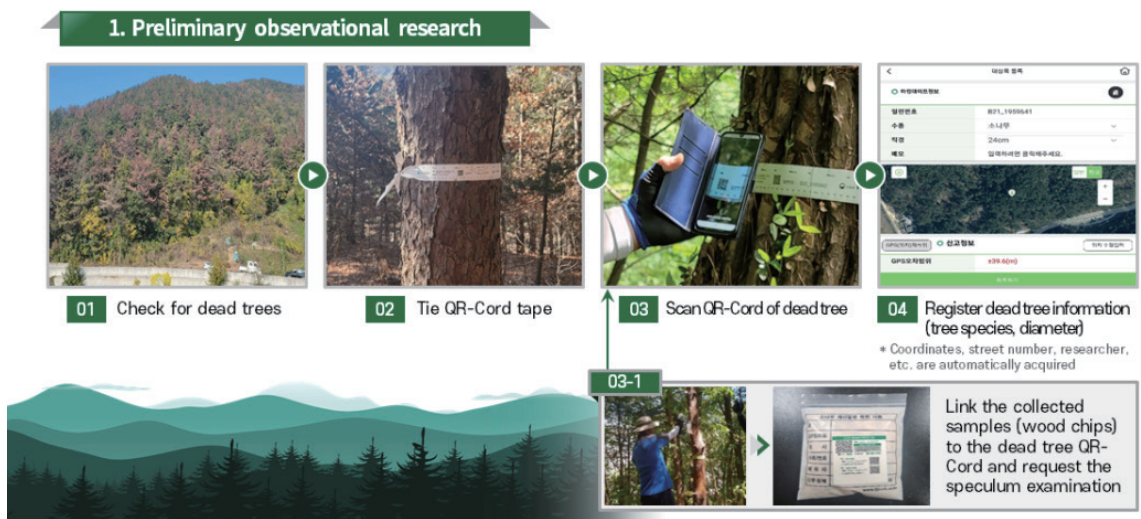


그림 2. 이력관리시스템 요약

이력관리시스템은 QR-code(큐알코드:정보무늬)가 새겨진 조사용 테이프와 조사할 고사목을 특정, 두 객체 정보를 연결하여 고사목에서 채취한 목편 속 선충을 추출하여 검경, 재선충병 감염결과를 동기화 한다.

QR(Quick Response)이라는 이름에서도 알 수 있듯이 사용자가 입력하고자 하는 속성정보를 빠르게 앱(app)을 활용하여 시스템(web)과 연동하여 정보를 저장하므로 현장에서의 작업 속도뿐 아니라 수기입력으로 인한 정보누락이나 오류도 개선되었다.



3. Pest control



그림 3. 이력관리시스템 현장조사 적용 절차

검경까지 동기화된 감염목이나 고사목 관련정보는 현장에서 방제작업자가 인지하여 방제설계 후 작업(훈증, 소각, 매몰)이나 감리정보 등 현장에서 행하여지는 여러 작업종이나, 세부정보를 QR코드에 입력하여 작업처리가 완료되고 추후 현장에서 방제작업정보를 알기 위해 QR코드를 스캔하게 되면 방제이력 뿐 아니라 관련된 여러 정보를 알 수 있도록 데이터베이스(DB)에 방제와 관련된 정보를 저장되도록 설계된 시스템이다.

Preliminary ground observational research using the management system (QR-Cord)



그림 4. 방제정보의 간편한 등록과 관리

본 시스템의 장점은 기존 방제정보가 종이문서 위주로 관리되고 있어 오기나 누락, 문서의 분실, 훼손 등 수기입력의 불편함이 사라짐과 동시에 실시간으로 사용이 힘들었던 방제정보를 디지털정보로 변환하기에 방제정보를 즉시 사용하여 관리함으로서 정보전달의 신속성 및 정보가공(기본방제계획 등 설계) 등 데이터 활용성이 크게 향상되었다는 장점이 있다.

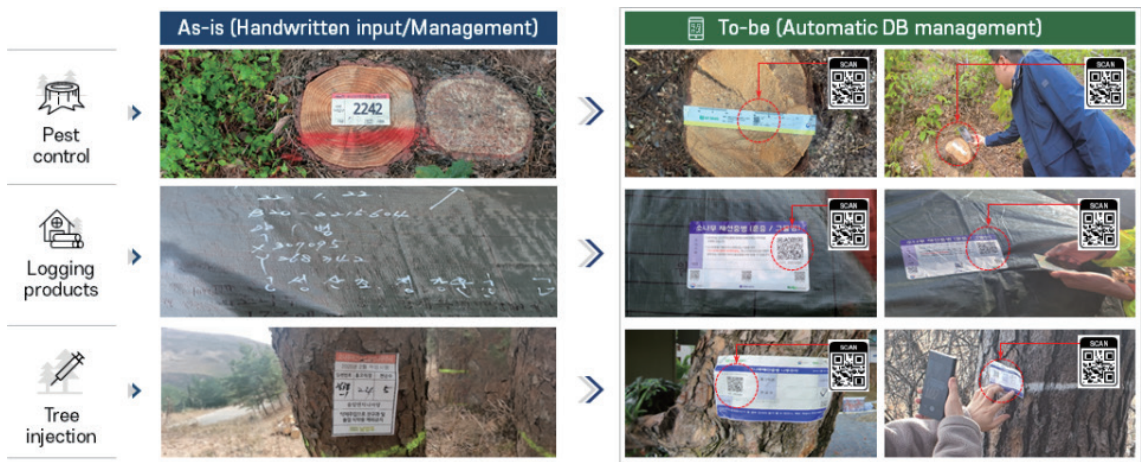


그림 5. 이력관리시스템 적용 및 개선(방제, 방제산물, 나무주사)

위에서 기술하였지만 현장 중심의 시스템을 개발, 적용하였더라도 인력을 활용한 예찰이 재선충병 조사의 기반이 되는 것은 숨길 수 없는 사실이다.

고사목을 제대로 예찰하지 못하고 그 고사목 중 재선충병 감염목 존재, 방제시기를 일실한다면 그 피해 또한 눈덩이처럼 커지게 마련이다.

최근 발생한 경기도 안산지역의 신규발생 조사결과를 예로 들면 최초발생지 반경 2km내 조사된 고사목은 575본이었고, 이중 감염목은 294본으로 나타나 재선충병 감염률이 50%를 넘었다.

이는 ‘안산지역이 최근에 재선충병이 발생한 지역이라 할 수 있을까?’ 라는 의문을 자아내게 만든다.

이러한 예찰 한계를 극복하기 위해 한국임업진흥원(이하 진흥원)은 차량 및 도보를 통한 지상예찰뿐 아니라 드론(무인기)을 활용한 예찰을 진행하고 있다.

진흥원에서는 매년 50만ha 이상의 산림면적을 대상으로 재선충병 무인기 예찰을 선행하여 효율적 방제를 추진하기 위한 고사목정보를 방제기관에 전달하고 있으며 이는 인력대비 약 8배 정도의 비용절감효과*가 있다.

* 산출근거(재선충병 방제지침) :

$$(드론예찰(3,456\text{원}/\text{ha})/\text{인력예찰}(45,458\text{원}/\text{ha}))\times 100=7.6$$

유인헬기에 의한 예찰은 탑승자 안전, 탑승인원, 예찰시기 및 기상환경 등 여러 제한사항이 존재하며 인력에 의한 지상예찰은 위험대상지(절벽 등) 도보조사 제한, 시간 및 거리제한, 가시권 외 예찰불가 등 어려움이 존재하기에 현재 진흥원은 국가선단지와 집중발생지, 특별방제구역*에 대하여 드론(무인기)을 활용한 예찰을 산림청과 협업하여 실시하고 있다.

* 소나무재선충병 특별방제구역 : 대구달성, 안동임하, 고령다산, 성주선남, 말양상남, 포항호미곶 40,483ha

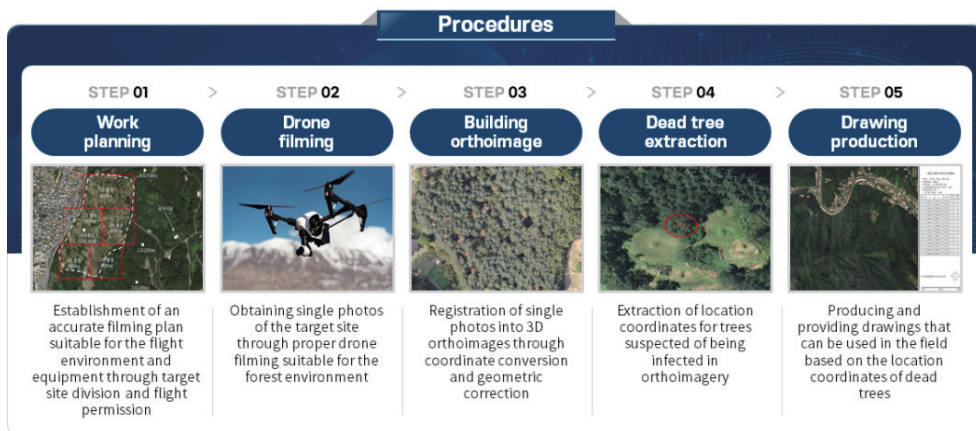


그림 6. 드론을 활용한 고사목 추출 및 정사영상 제작

드론을 활용한 예찰을 실행하기 위해서는 드론을 운용할 수 있는 자격증 취득이 선행되어야 하며 이후 촬영대상지에 대하여 운행계획(비행승인 등)을 세우고 현장에 맞는 기체로 촬영,

정사영상 제작하여 전용 소프트웨어를 활용 고사목 추출 후 고사목 정보가 담긴 도면제작 순으로 진행되며 결과물은 재선충병 방제기관에 전달된다.

조금 더 자세히 들여다 보자.

드론을 활용한 고사목 탐지 첫 번째 단계는 촬영준비이다.

150m이상 촬영고도가 필요할 경우 비행임시공역설정, 비행허가 뿐 아니라 촬영대상 산림을 기반으로 소유자가 가진 드론이 얼마나 비행 할 수 있는지 주어진 면적에 대해 비행가능한 시간 내 몇 회 비행하여야 하는지 촬영하고자 하는 시기의 기상상황 등 여러 조건을 계획해야만 촬영이 가능하다.

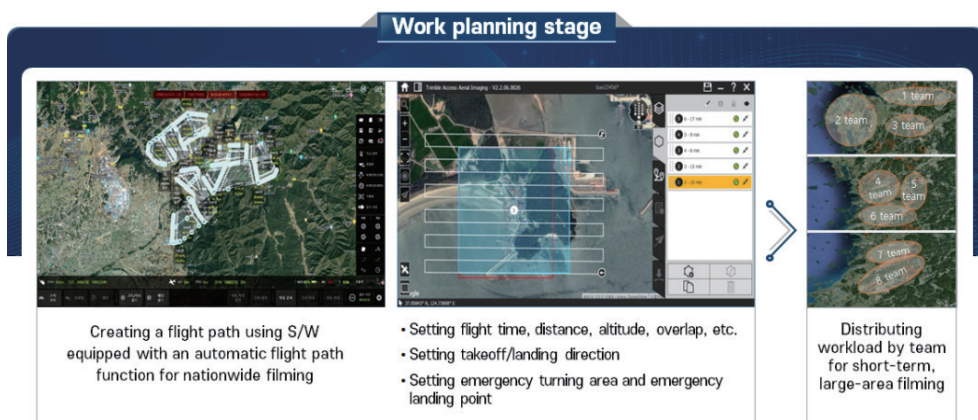


그림 7. 촬영 계획 노선도 및 고려사항

촬영계획이 이루어진 후 다음 단계는 사람이 직접 드론을 조종, 관제하여 촬영을 시행한다.

촬영은 보통 2인 1조의 팀으로 이루어지며 횡중복도와 종중복도를 고려 후 촬영이 진행되는데 현재 생산되는 회전익과 고정익 드론의 경우 대부분이 등고선을 따라 수평비행하면서 촬영하는 기술을 택하고 있다.

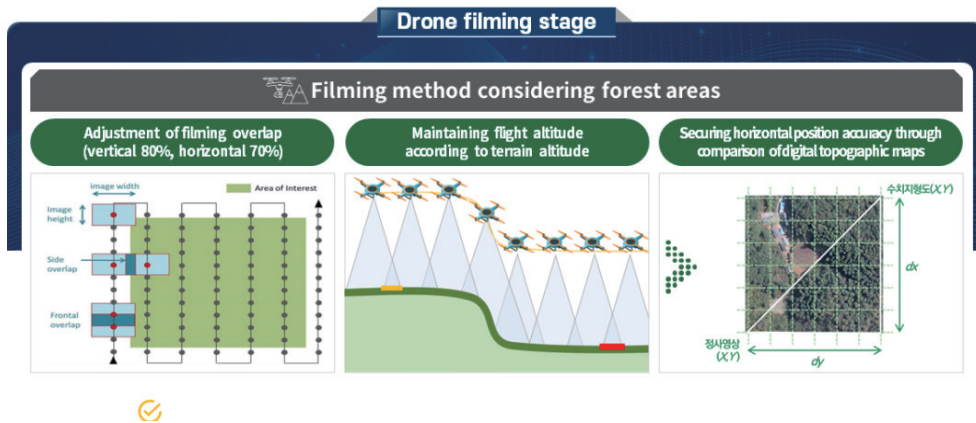


그림 8. 드론촬영 단계

위처럼 재선충병 감염이 의심되는 지역에 드론촬영을 하였다면 세 번째는 촬영결과물 대상으로 정사영상 프로그램을 활용하여 제작 후 소나무류 고사목을 구분해야 한다.

현재 소나무류 고사목 구분은 사람의 육안으로 이루어지며 진흥원은 고사목 정의를 4가지로 분류하고 있고 그 정의*는 아래와 같다.

* 고사목 구분 : 1. 황(적)갈색고사목 2. 회백색고사목 3. 탈리고사목 4. 도복(넘어진)고사목

Preliminary aviation observational research using drones



그림 9. 소나무류 고사목 육안 구분

소나무 고사목에 대하여 육안분석을 마쳤다면 이후 마지막 단계는 방제에 활용하기 위해 촬영결과물과 그에 대한 정보를 해당기관에 제공하는 것이다.

‘23년의 경우 선제적으로 정사영상 분석좌표를 자체 서버를 구축하여 해당기관에 방제설계나 예찰을 위해 9월부터 선제적으로 제공하였고 ‘24년 1차 방제나 추가방제를 위해 ‘23년 12월에 도면을 제작 전국 106개(76만ha) 시군구 정보를 제공하였다.

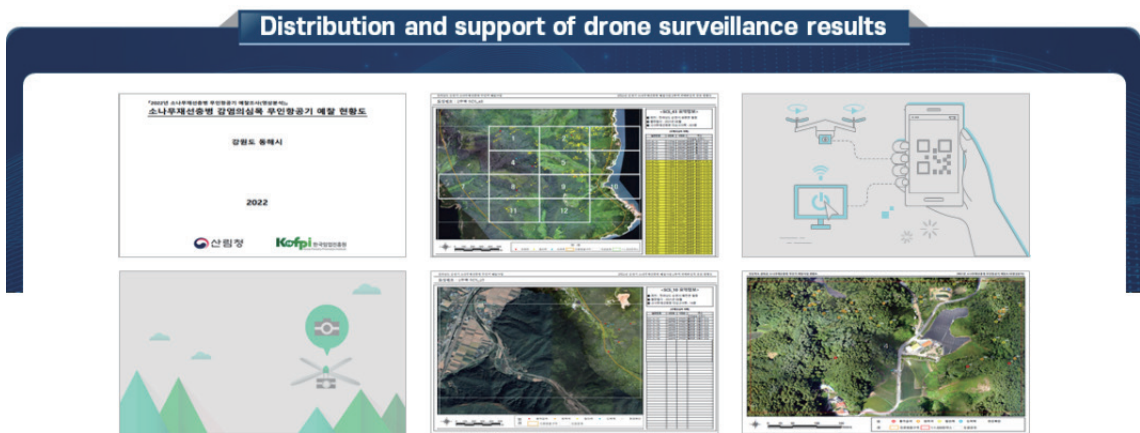


그림 10. 소나무재선충병 드론 예찰 결과물

한국임업진흥원 소나무재선충병모니터링본부 예찰분석실은 재선충병 분야에서 선제적 예찰과 효율적인 방제를 실현하고자 드론예찰과 더불어 지상에서도 QR코드를 활용한 이력관리시스템을 운영함으로써 재선충병의 효과적인 관리와 4차산업 기술을 활용한 선도기술 확산에 노력하고 있다.

현재 진흥원과 산림청, 과학기술정보통신부가 함께 2022년 ‘인공지능 융합 프로젝트 (AI+X) 사업’의 일환으로 ‘AI 기반 산림해충 방제지원 시스템’ 구축 사업도 최선을 다해 추진하고 있다.

2024년 갑진년(甲辰年)은 4차 산업기술을 활용한 이력관리시스템, 드론활용 기술과 AI기반 병해충 분석기술까지 현장적용 되어 국민모두가 병해충피해가 최소화된 산림에서 편안하고 안전하게 복지혜택을 누리고, 대한민국이 숲으로 잘 사는 글로벌 산림강국이 되기를 기원하면서 글을 마무리 하고자 한다.

산림생태복원사업 시공단계와 토양복원의 중요성



임 주 훈

(사)한국산림복원협회 회장

forefire@naver.com

1. 산림생태복원사업

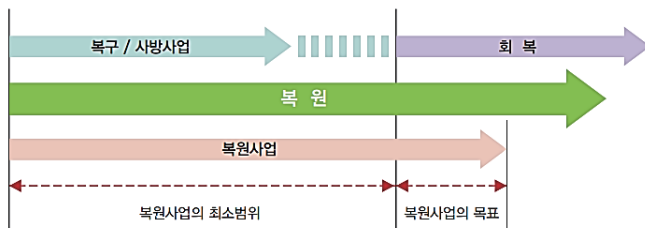


그림 1. 복구·복원·회복의 수준과 복원사업의 범위와 목표

목표는 자연이 스스로 회복할 수 있는 단계에 이르도록 훼손지에 인공적인 노력을 가해 산림생태계가 적절한 구조와 기능을 갖도록 조성해 주는 것이다(그림 1).

산림생태복원사업이란 자연 또는 인간활동에 의해 훼손된 산림을 훼손되기 이전의 원상태, 즉 지형, 토양, 식생, 서식지, 종의 구조와 기능을 원상태처럼 되돌리는 행위를 의미한다. 산림생태복원사업의

산림생태복원사업의 추진 절차는 ① 국토계획 및 지역계획 등 대상지역과 관련된 계획, 지역의 역사와 문화, 지역사회의 의견 수렴 등 복원사업 시행 가능 여부 및 사업 여건 파악이 필요하며 ② 대상지 생태계의 구조와 기능, 참조 생태계 현황 등 대상지역의 가치와 외부 영향 요인 등 현황 파악이 필요하며 ③ 복원사업 추진을 위한 기본계획, 기본설계, 타당성 평가, 실시설계 등 계획과 설계 ④ 실시설계에 따른 시공과 시공의 적절성에 대한 감리 ⑤ 사업 결과에 대한 모니터링과 모니터링 결과에 따른 평가, 보완사업을 실시하는 과정을 거친다(최윤희 2022).

산림생태복원사업은 토목공사, 수계공사, 토양 반입과 교정, 식생 도입, 서식지 환경 조성, 종의 보전과 같은 다층적인 작업이 수반되며 회복 기간 중의 모니터링을 통하여 필요한 경우 추가적인 작업을 수행하여야 한다.

산림복원사업이 완수된 시점에 갖추어야 할 조건은

- ① 참조생태계에 출현하는 특징적인 종집합체 보유
 - ② 실행 가능한 최대 규모의 토착종으로 구성
 - ③ 지속적인 발달 또는 안정성 유지에 필요한 모든 기능군 출현 또는 점유 가능성
 - ④ 종개체군을 지속적으로 재생 또는 발달시킬 수 있는 물리적 환경
 - ⑤ 생태학적 발달단계에서 정상적으로 기능
 - ⑥ 더 큰 규모의 생태학적 기질이나 경관으로 적합하게 통합
 - ⑦ 건강성과 온전성에 대한 잠재적 위험 제거 또는 감소
 - ⑧ 온전성을 유지하기 위해 국지환경 스트레스를 견디는 충분한 회복력
 - ⑨ 참조생태계 수준의 자기 유지 가능, 환경조건에 무한정 견딜 수 있는 잠재력 보유
- 등이다(국제생태복원학회 SER, 2002),

복원사업에 대한 모니터링은 1, 3, 5, 10년차에 수행한다. 복원사업후 1, 3년차의 모니터링 결과에 따라 보완사업을 시행하며 5년, 10년차에는 원하는 방향으로 산림이 회복되어 가는가를 판단하는 모니터링을 실시한다. 따라서 산림복원사업이 완수되었다고 판단할 수 있는 시점은 산림복원 사업후 모니터링과 보완사업을 추진하는 5년차까지라고 할 수 있다. 물론 시공 직후에 원하는 생태계를 구성한다면 가장 좋다. 가장 좋은 생태계는 아극상 단계의 식물종 구성과 숲 구조를 가지고 있으며 구성 인자 간의 상호 관계가 잘 유지되어 장차 극상 단계로 진입할 수 있는 가능성이 보여야 한다.

2. 산림복원사업 시공 진행순서

산림복원사업의 종류는 여러가지 이지만 복원사업 시공 진행 순서에 따른 단계별 과정은 기반 환경 복원과 식생 복원으로 대별할 수 있다. 기반 환경 복원은 지형 복원, 수리·수문 복원, 토양 복원으로 세분할 수 있으며 토양 복원을 기반 환경 복원과 별개로 구분하는 경우도 있다. 식생 복원은 식생 복원, 서식지 복원, 종 복원으로 세분할 수 있으며 이를 각각 더 큰 단계로 구분하기도 한다. 각 과정의 중요성은 대상지의 성격에 따라 달라지므로 그 위격도 다르게 할 수 있겠다.

가. 기반환경 복원

(1) 지형 복원

훼손지를 산림으로 복원시키기 위해서는 원지형이 가지고 있던 지형의 굴곡, 높낮이의 차이 등을 고려하여 형상을 만드는 과정이 우선시되어야 한다. 훼손된 지형을 본래의 형태로 복원하는 원지형 복원과 야생동물 이동 생태통로 조성 등 산림의 생태적 기능을 복원하는 기능적 복원이 있다.

원지형 복원은 채석지 등 비교적 소규모로 훼손된 지역에 적용하며 기능적 복원은 단절된 생태축 연결, 훼손된 산림에서 토양침식 및 토사 유출 저감을 우선적으로 고려하며 백두대간 마루금 훼손지, 산사태 등 자연재해에 의한 훼손된 산지, 역사·문화적 지형 훼손지, 도로, 철도 등으로 단절된 백두대간 마루금, 절토로 인하여 능선이 단절된 곳, 폐군사시설 복원지, 채석·채광지, 택지 조성이나 댐 조성 등의 대규모 훼손지 등에 적용한다.



그림 2. 이화령 백두대간
생태축 잇기 사업
- 터널 공사 후 지형복원사업 중
(사진: 최윤희)

(2) 수리·수문 복원

복원된 지형의 높낮이의 차이가 발생하기 때문에 강수에 의한 수문현상이 발생하며 물이 순환하는 과정에서 토양이 침식되고 토석류가 흘러내리는 토사유출현상을 동반한다. 따라서 골이 진 부분에 대해서는 계류 공간을 조성해 주어야 한다.

(가) 계류 복원

야계사방사업과 산림생태복원 간의 차이가 극명한 부분으로서 야계사방에서는 강수의 빠르고 원활한 배수를 촉진하기 위하여 돌이나 콘크리트 구조물 등을 이용하고 사방댐을 설치하는 공종을 도입하지만 생태복원에 있어서는 강수의 원활하고 자연적인 흐름을 전제로 자연소재를 이용하여 골막이나 계안 복원을 실시한다. 즉, 야계사방에서는 계상(바닥)과 계안(기슭)에 대해 모두 수평적·수직적 인공구조물을 대입하지만 생태복원사업에서는 계상은 골막이를 하여 토사의 과도한 유출을 억제하는 작업만 실시하고 계안은 자연경사를 고려하여 부분적 개선작업을 실시한다.

(나) 산림습원 복원

산간 계곡부에 존재하는 묵논이나 군부대 연병장(운동장) 등으로 사용하던 곳은 지형적으로 움푹 파인 상태로 방치되어 우수에 의해 자연적인 습지가 형성되는데 생태복원사업에 있어서는 이러한 곳을 매우 중요하게 취급한다. 습원은 햇빛이 잘 드는 수면과 수변공간을 창출하기 때문에 다양한 분류군이 서식하는 산림 내 생물 다양성 증진의 보고이기 때문이다. 산림습원의 복원을 위해서는 주변의 토사가 들어와 육화가 진행되는 현상을 막아주고 수면이 유지될 수 있도록 자연소재를 이용한 소규모의 보를 만들어 주는 작업을 실시한다. 이를 통하여 지표수 수문체계가 개선되며 육화가 방지되어 수변공간에는 자연적으로 친수성 식물이 유입되고 적당한 규모의 습원이 유지된다.

나. 토양 복원

산림생태복원사업의 최종 목표는 식생의 안정적인 정착이기 때문에 훼손지에 대한 기반환경복원사업을 통해 지형·수리·수문 조건이 안정화된 곳에 대해서 산림식생을 도입하기 위한 토양복원을 실시한다. 기반환경을 조성하기 위한 지형복원에서는 토석을 이용하여 형상을 만드는 작업을 하였다면 토양복원은 그 기반 위에 식물을 식재하거나 자연유입시키는

서식공간을 만들어 주어야 한다. 폐광지 복구사업에 있어서 깊이 60cm로 복토해야 하는 것이 법에 명시되어 있듯이 강수에 의한 침식과 식물의 뿌리가 자랄 수 있는 적정깊이를 고려하여 토양층위를 조성해 주는 것이다. 대부분의 교목성 수목은 토심 1.5m 정도까지 측근이 발달하기 때문에 이 정도의 깊이로 토양복원을 실시하는 것이 좋겠지만 과다한 비용이 발생하기 때문에 최소한의 깊이로 토양을 적재해 준다. 기존의 산림토양이 형성되어 있는 경우에는 표토를 긁어 모아서 적재하였다가 토양복원에 활용하기도 한다. 즉, 복원지역 표토를 다른 대상지에 보관했다가 공사 후 보관했던 표토를 그대로 사용하여 복원한다. 이 방법은 식생복원에도 효과적인데 표토 속에 들어있는 매토종자가 발아되어 원래 서식하고 있던 식생종들이 자연적으로 형성되기 때문이다.

채광 활동이나 불법 경작, 폐유 방출 등으로 인해 산림토양의 화학적 성질이 교란된 경우에는 훼손된 토양을 제거하고 외부의 건전한 토양을 반입하여 충전하며 불가능할 경우에는 원 토양과 혼합한다.

다. 식생 복원

지형·수리·수문·토양 조건이 안정화된 곳에서 산림식생의 회복을 고려하여 식물을 식재한다. 이 경우 도입하는 식물은 식생천이 상으로는 아극상 단계에 있는 종을 기준으로 한다. 교목성 수종과 아교목성 수목, 관목성 수목을 식재하는 것인데 우리나라에서는 강수에 의한 표토 침식을 우려하여 초본류도 식재하고 있다. 즉 주변의 산림생태계와 구조와 기능적인 측면에서 유사한 식생을 조성하는 작업이다. 식생복원을 위해 주변의 미피해지의 식생을 참조 생태계로 조사하며 조사 결과에서 추출한 식생 단위를 바탕으로 복원사업을 진행한다.

참조 생태계는 생태복원을 위한 모델 또는 벤치마킹할 수 있는 유기체(Biotic)와 무생물(Aboitic)의 공동체로서 복원체계에 존재했던 식물상, 동물군, 비생물적 요소, 기능, 과정 및 연속적인 상태를 갖춘 생태계의 변형되지 않은 형태이어야 한다. 따라서 일본잎갈나무나 리기다소나무 등의 외래종이 식재되어 있는 산림은 조사 대상에서 제외되며 사면식생으로는 참나무류를 주수종으로 하는 이차림이 대상이 되며 계곡의 경우에는 느릅나무, 버드나무류 등의 적윤성 또는 친수성 식물군락이 조사 대상이 된다.

라. 서식지 복원

생물다양성 보전 측면에서 야생 동·식물 등 목표종이 서식하는 공간의 서식 환경을 조성하는 작업이다. 서식 환경 조성은 각 분류군(식물, 곤충류, 양서·파충류, 조류, 포유류 등)에 맞는 서식 조건을 복원해야 한다. 이처럼 산림생태계는 복잡 생태계이기 때문에 생태계 구성종 간의 역할을 구명한 소생물권 조사를 통하여 식생 단위별 서식 생물들의 먹이사슬이 원만히 이루어질 수 있도록 복원하는 것이 중요하다. 2022년 울진 산불피해지를 예로 들면, 산양 서식지조사 결과 피해지 전역에 걸쳐 서식하는 것으로 나타났기에 뚜렷한 서식지 복원작업을 적용할 수는 없었지만 산양의 이동통로인 능선부에 피해목을 잔존시킴으로서 개방시키지 않고 울폐된 상태를 유지해 주는 작업을 적용하였다. 꼬리진달래의 경우에는 주서식가 암반 노출지로서 소나무 하부에 군상으로 분포하는 특성이 있어 암반지를 보전함으로서 자연적으로 회복될 수 있는 환경을 제공하였다.

마. 종 복원

산림훼손으로 인하여 희귀 및 보호 대상 생물의 개체군 크기가 감소했거나 훼손된 경우 원래의 서식 범위 안에 자라는 목표종을 인위적으로 이동시키거나 자연 유입을 유도하여 목표종의 생존 가능성을 증가시키는 작업이다. 목표종의 설정은 과거 기록 분석, 현장조사, 환경 잠재력 평가 등을 통해 이루어진다.

3. 토양복원의 중요성

산림식생의 회복 및 산림생태계의 다양성 증진을 위해 산림의 토양 개선 또는 개량이 필요하거나 토양의 이화학적 개량 및 치환을 고려해야 한다. 즉 객토작업을 통해 답압되거나 경화된 토양을 정상적인 산림토양에 가까운 구조와 기능을 가질 수 있도록 복원해 주는 것이다.

토양복원에서 흔히 간과하는 것은 흙과 산림토양을 구분하지 않는 점이다. 산림토양이 가지고 있는 층위적 특성, 즉 O층(유기물층), A층(용탈층), B층(집적층), C층(모재층)으로 구성된 수직구조를 가지고 있는 바, 생태복원사업에서는 토양개량재나 퇴비 등을 유입토양에

섞어줌으로써 토양이 가지고 있는 물리·화학적 성질을 만들어 준다. 즉 B층에는 개량재의 양을 적게 처리하고 A층에는 충분히 처리하여 식재하는 수목의 생육에 지장이 없도록 작업한다. 다만 산불피해지처럼 대규모로 피해를 받은 경우에는 기반환경복원 시 충분하게 토석을 쌓아주고 수목을 식재할 위치에 직경 60cm, 깊이 60cm 정도의 식재혈을 판 후 바닥에 개량재를 섞은 흙을 넣고 수목을 식재한다.

이러한 작업이 중요한 이유는 식생복원에 사용하는 식물이 산림토양에 충분한 양분을 함유한 단계에 출현하는 아극상 단계의 식물군락 또는 임분을 조성해야 하기 때문이다. 내장산의 주요 임분의 서식지 선택 특성에서 알 수 있듯이 해발고, 사면의 방향(사면향), 사면위치(계곡으로부터 산정 또는 능선에 이르기까지)에 따라 출현하는 위치가 다르며 각각의 임분에 나타나는 식물 구성종을 달리하여 식재하여야 하기 때문이다(그림 3). 만약 모재층만 쌓아놓고 이들 식물을 식재한다면 토양이 척박하고 구조가 단단하기 때문에 토양수분과 양분의 공급이 원활하지 않아 대부분 고사해 버릴 것이다. 그리고 인근 지역에서 유입되는 식물종자들이 발아를 하지 못하거나 발아했다 해도 고사해 버릴 것이다.

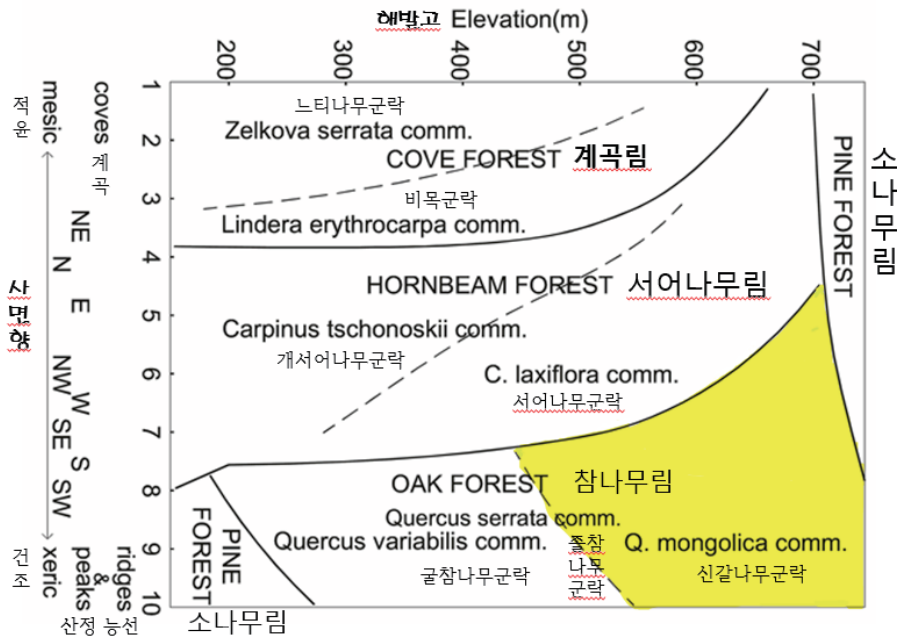


그림 3. 내장산의 주요 임분의 서식지 선택 특성(김정언 1987 수정)



그림 4. 원토양과 토양개량재의 혼합작업(새만금방조제 2009)

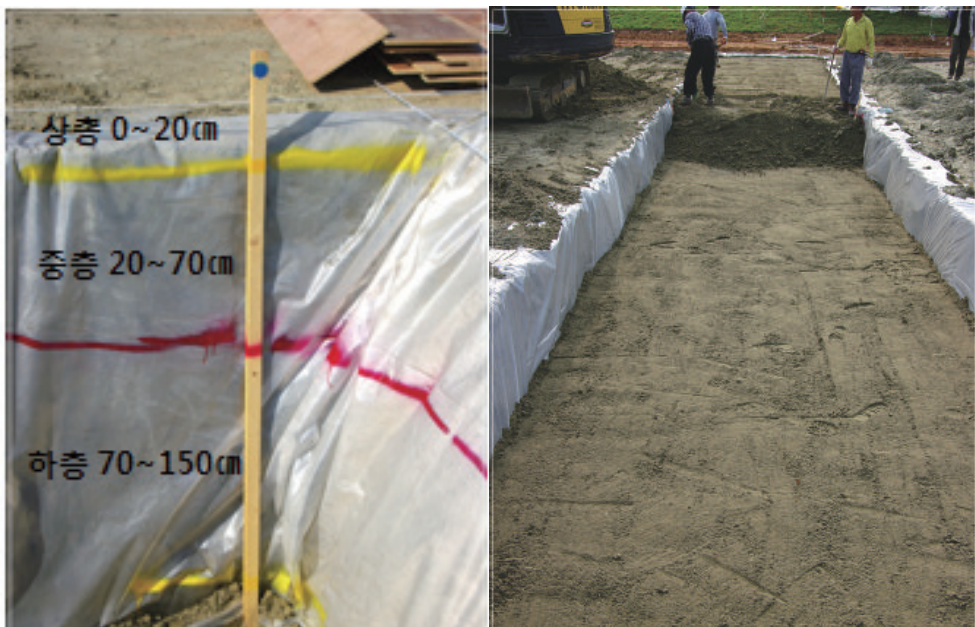


그림 5. 층위별로 토양개량재 혼합 비율을 조정하여 시공(사진 김혜수)

이를 극복하기 위해서 토양개량재를 혼합하여 주는데 토양개량재 사용 시에는 매우 주의할 점이 있다(그림 3). 작업 전에 사용 예정인 개량재를 배지로 하여 발아시험을 해야 한다.

만약 발아되어 식물이 발생한다면 식생 복원을 저해하게 될 것이기 때문이다. 사용에 적합한 개량제는 톱밥 배지를 사용하되 유기물질 및 미생물과 교반한 뒤 한 달 이상의 기간동안 적재하여 숙성시킴으로써 발열작용에 의해 모든 종자가 죽게 하는 과정을 거친 것이다.



그림 6. 토양개량제 제조 과정 중 톱밥과 유기물질, 미생물과 혼합 숙성시키는 과정(사진 김정호)

산림생태복원의 중점은 전 과정에 걸쳐 현장의 환경에 적합한 시공을 하는 것이며 그 중 가장 근간이 되는 과정인 토양복원을 성실히 수행하는 것이라 할 수 있다.

산림생태복원사업의 미래는 밝다. 국제적인 호응 속에 규범화되어 실행될 것이기 때문이다. 아마도 모든 복구사업이 산림생태복원사업으로 변모할지도 모른다. 이와 같은 국제적 흐름에 부응하여 식생의 식재와 유입이 가능한 비옥한 토양을 만드는 작업에 보다 많은 지식과 정보가 부여되어야 할 것이다.

참고문헌

- 김경훈. 2021. 생태복원 콘서트. 넥서스환경디자인연구원 출판부. 203pp.
- 김경훈, 김학성, 조인환, 조준호. 2019. 석회석광산의 생태적 복원. 넥서스환경디자인연구원 출판부. 226pp.
- 산림청. 2020. 산림복원 업무처리지침. 167pp.
- 최윤희. 2022. 백두대간 생태축 복원의 미래 방향.

임주훈

- 1976년~1990년 고려대학교 졸업(농학사, 농학석사, 농학박사)
- 1997년~2017년 국립산림과학원 근무(산림복원연구과장 역임)
- 2017년~2024년 현재 해밀산림생태·임지연구소(산림기술사사무소) 운영
- 2022년~2024년 현재 (사)한국산림복원협회 회장
- 2023년~2024년 현재 (사)숲과문화연구회 회장
- 2022년~2024년 현재 국민대학교 겸임교수

생활권 수목 해충 발생동향



문 일 성

(사)한국산지환경연구회 전문위원

moonils@daum.net

1. 서언

생활권역에 식재되어 있는 수목들은 토양환경변화, 시설물에 의한 뿌리의 성장제한, 자동차 배기가스 등에 의한 대기오염피해, 도시의 기후온난화, 고층건물에 의한 미기상 등 생육환경의 변화로 산림에서 정상적으로 성장하고 있는 수목보다 수세가 현저히 쇠약하여 수목 병해충에 의한 생물적 피해와 부적합한 생육환경변화 등으로 야기되는 비생물적 피해를 상대적으로 많이 받고 있는 실정이다.

또한 현재 아파트단지 등 공동주택, 도시근린공원, 학교 등 생활권역 안에 있는 수목에 피해를 주는 생물적피해와 비생물적피해에 대한 예방, 진단, 치료에 대한 관리가 미흡한 실정이다.

생활권 주변 수목병해충의 효율적 관리를 위해서는 생활권역 수목에 피해를 주는 병해충의

종류 및 발생실태 파악과 생육환경변화로 발생하는 수목의 동계건조, 동열, 피소 등 비생물적피해에 대한 수목관리기준의 마련이 필요한 것으로 생각된다.

이에, 경기 서울지역의 생활권 내 수목해충의 종류 및 피해실태 파악으로 국민과 가장 밀접한 생활권역인 도시 숲 내 수목의 생물적 피해의 관리기준을 마련하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 해충 발생상황

가. 생활권 수목 해충의 종류

수도권 지역의 아파트 및 도시 숲 등 생활권 주변 수목에 발생한 수목해충의 종류로는 <표 1>과 같이 느티나무알락진딧물 등 61종의 해충이 66개 수종에서 발생하였다.

표 1. 해충별 피해수종

해충		피해 수종
면충류	검은배네줄면충	느릅나무
	소나무숨벌레	섬잣나무
	외발톱면충	배나무
방패벌레류	배나무방패벌레	벗나무, 명자나무
	버즘나무방패벌레	버즘나무
	진달래방패벌레	산철쭉, 영산홍
진딧물류	느티나무알락진딧물	느티나무, 느릅나무
	담뱃대진딧물	산철쭉, 영산홍
	모감주진사진딧물	모감주나무
	목화진딧물	무궁화, 석류나무
	배롱나무알락진딧물	배롱나무
	벗잎혹진딧물	벗나무류
	복숭아혹진딧물	매실나무, 벗나무, 복사나무, 살구나무, 아그배나무, 자두나무

해충		피해 수종
진딧물류	붉나무소리진딧물	산수유
	사사끼진딧물	벗나무류
	소나무왕진딧물	소나무
	아까시아진딧물	무궁화
	자바못털진딧물	보리수나무
	조팝나무진딧물	꽃사과, 매실나무, 모과나무, 백당나무
	진사진딧물	단풍나무, 복자기, 신나무
	진사왕진딧물	잣나무, 섬잣나무
	짚레수염진딧물	장미
	측백왕진딧물	서양측백나무
	호리왕진딧물	소나무, 스트로브잣나무
	팽나무알락진딧물	팽나무
깍지벌레류	감나무주머니깍지벌레	감나무
	공깍지벌레	복사나무, 살구나무
	벗나무깍지벌레	벗나무, 매실나무, 살구나무, 자두나무
	사철깍지벌레	사철나무
	소나무가루깍지벌레	소나무
	소나무껍질깍지벌레	소나무
	식나무깍지벌레	주목
	장미흰깍지벌레	장미
	주머니깍지벌레	배롱나무
	줄솜깍지벌레	중국단풍, 단풍나무
	쥐똥밀깍지벌레	쥐똥나무
매미충류	외점애매미충	매실나무, 벗나무, 복사나무, 살구나무, 자두나무
	철쭉애매미충	산철쭉, 진달래, 영산홍, 백당나무
매미충류	미국선녀벌레	주목
	꽃매미	가죽나무, 복사나무, 장미
	말매미	감나무, 계수나무, 고욤나무, 꽃사과, 느티나무, 단풍나무, 대추나무, 두충나무, 모과나무, 목련, 박태기나무, 백합나무, 버즘나무, 벗나무, 산수유, 살구나무, 수수꽃다리, 아그배나무, 앵도나무, 자두나무, 중국단풍, 층층나무, 회화나무
식엽성해충	목화명나방	무궁화

해충		피해 수종
식엽성해충	무궁화잎밤나방	무궁화
	미국흰불나방	가죽나무, 감나무, 계수나무, 고욤나무, 꽃사과, 낙상홍, 네군도단풍, 느릅나무, 느티나무, 단풍나무, 당느릅나무, 편참나무, 대추나무, 두충나무, 매실나무, 명자나무, 모과나무, 목련, 박태기나무, 배롱나무, 버즘나무, 벚나무, 복자기, 비목나무, 뽕나무, 산수유, 살구나무, 석류나무, 수수꽃다리, 아그배나무, 이팝나무, 자두나무, 장미, 중국단풍, 쥐똥나무, 층층나무, 칠엽수, 포플러
	장수췌기나방	감나무, 살구나무
	회양목명나방	회양목
	종명미상 1종	회화나무
	개나리잎벌	개나리
	무지개납작잎벌	살구나무
충영형성 해충	사철나무혹파리	사철나무
	솔잎혹파리	소나무
천공성해충	알락하늘소	칠엽수
	사향하늘소	벚나무
침엽수응애	구상나무먼지응애	서양측백나무, 화백
	전나무잎응애	구상나무, 독일가문비, 섬잣나무, 소나무, 잣나무, 전나무
	주목응애	주목
	향나무잎응애	향나무
	응애류	메타세콰이아
활엽수응애	벚나무응애	꽃사과, 매실나무, 명자나무, 벚나무, 복사나무, 살구나무, 아그배나무, 앵도나무, 자두나무, 황매화
	점박이응애	개나리, 꽃사과, 장미
	회양목혹응애	회양목

나. 해충별 발생상황

발생한 해충의 가해습성 별로 분류한 결과 <표 2>와 같이 진딧물, 깍지벌레 등 흡즙성해충이 43종으로 약 71.7%를 차지하였으며, 나방 등 식엽성해충과 응애류가

8종(13.3%), 천공성해충 2종으로 생활권 수목에 피해를 주는 해충은 진딧물, 깍지벌레와 응애와 같은 흡즙성해충의 주종을 이루고 있다. 흡즙성해충의 경우 진딧물류는 느티나무, 단풍나무, 벚나무류, 소나무류에 피해를 주는 느티나무알락진딧물, 진사진딧물, 복숭아혹진딧물, 조팝나무진딧물, 소나무왕진딧물이며, 깍지벌레류는 벚나무, 살구나무 등 벚나무류에 기생하는 벚나무깍지벌레와 공깍지벌레, 사철나무에 피해를 주는 사철깍지벌레를 들 수 있다. 방패벌레류는 벚나무, 명자나무 등에 피해를 주는 배나무방패벌레, 철쭉 등에서 피해가 심한 진달래방패벌레, 매미충은 복사나무, 살구나무, 매실나무 등 과수와 벚나무 잎 뒷면에서 흡즙하여 응애의 피해 유사한 피해를 주는 외점매미충과 산철쭉, 영산홍 등에 피해를 심하게 주는 진달래방패벌레의 피해 증상과 비슷한 피해를 주는 철쭉매미충을 들 수 있다. 수목의 1년생 가지 조직 속에 산란하여 가지를 고사시키는 말매미도 중요한 해충으로 벚나무 등 23수종에 피해를 주었다.

표 2. 수목해충의 가해 습성별 해충 및 피해수종

해충군		가해해충(출현율)	피해수종
흡즙성 해충	진딧물류	19	27
	면충류	3	3
	깍지벌레류	11	15
	방패벌레류	3	4
	매미충류	3	8
	매미	2	26
	충영형성 해충	2	2
	소계	43 (71.7%)	85
식엽성 해충	나방류	6	40
	잎벌레	2	2
	소계	8 (13.3%)	42
천공성 해충	알락하늘소	1	1
	소계	1 (1.7%)	1
응애	침엽수 응애	5	11
	활엽수 응애	3	12
	소계	8 (13.3%)	23
합계		60	151

식엽성해충은 정기적으로 발생하는 미국흰불나방이 2화기인 8월에 대발생하여 감나무 등 38수종에 피해를 주었다. 회양목을 가해하는 회양목명나방 역시 4~5월에 월동유충이, 7월에 1화기의 피해가 비교적 많았다. 개나리를 식해하는 개나리잎벌도 4~5월에 발생하여 피해를 주었다.

응애는 침엽수에서 전나무잎응애, 향나무잎응애, 주목응애, 구상나무먼지응애의 피해가 심했고, 활엽수에서는 벚나무응애의 피해가 심했다. 주목응애를 제외한 응애들은 4월부터 밀도가 상승하기 시작하여 6~7월에 최고에 달했고, 주목응애는 7월부터 밀도가 상승하기 시작하여 10월까지 상승하였다.

다. 해충의 시기별 발생 동향

수목해충의 발생상황변화를 4월부터 10월까지 월별 해충의 발생건수를 가지고 비교하여 본 결과는 <표 3>과 같다. 흡즙성해충의 경우 진딧물은 4~6월에, 깍지벌레는 5~6월 사이에 많이 발생하였으나 7월 이후에는 발생수가 급격히 감소하였고 밀도도 아주 낮았다.

산철쭉, 영산홍의 중요 흡즙성해충인 진달래망패벌레와 철쭉애매미충, 벚나무, 복사나무, 살구나무, 매실나무, 자두나무의 흡즙성해충인 외점애매미충은 6월부터 밀도가 높아져 피해증상이 급격히 나타나기 시작하였다.

표 3. 수목해충의 월별 발생 상황

(단위: %)

구분		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	계
진딧물류	발생율	28.3	32.1	17.6	11.3	1.2	3.8	5.7	100
깍지벌레류	발생율	1.6	65.6	21.8	7.8	1.6	-	1.6	100
방패벌레류	발생율	-	-	15.9	29.5	20.5	22.7	11.4	100
매미충류	발생율	-	1.7	17.8	23.7	22.9	23.7	10.2	100
매미류	발생율	-	3.8	1.9	2.9	51.9	39.5	-	100
충영형성해충	발생건수(건)	-	4	1	-	-	-	-	5
나방류	발생율	-	6.4	5.2	23.7	64.7	-	-	100

구분		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	계
잎벌류	발생건수(건)	1	4	1	-	-	-	-	6
알락하늘소	발생건수(건)	-	-	1	-	-	-	-	1
응애	발생율	10.1	15.3	20.3	20.8	8.3	12.7	12.5	100
합계	발생율	8.2	16.8	15.6	18.0	21.5	12.8	7.1	100

울음소리로 여름철의 소음 공해의 주범인 말뚝미는 수목 가지의 조직 속에 산란하여 가지를 말라 죽게 하는 피해를 주는데 7~9월에 감나무 등 23 수종에 피해를 주어 새로운 방제대상 해충으로 대두되었다.

식엽성해충으로는 회양목을 가해하는 회양목명나방의 월동유충이 4월 하순부터 발생하였고 피해는 1화기 유충의 가해기인 7월에 심했다. 각종 활엽수를 가해하는 미국흰불나방은 6월에 1화기가 발생한 후 7~8월에 2화기에 대발생하여 큰 피해를 주었다. 피해 받은 수종은 가죽나무 등 38수종으로 미국흰불나방이 조경수목에 가장 피해가 큰 해충이었다. 무궁화나무의 해충인 목화명나방, 무궁화밤나방의 피해가 일부 지역에서 7~9월에 발생하였으나 큰 피해는 없었다. 일반적으로 미국흰불나방 2화기 발생 이후인 9월에 들어 수목에 큰 피해를 주는 식엽성해충의 발생은 없었다. 잎벌류로는 개나리의 해충인 개나리잎벌이 5월 상순에 피해를 주었다.

응애류는 6~7월에 밀도가 높아졌다가 8월에 밀도가 상당히 낮아진 후 10월부터 다시 밀도가 높아지는 추세였다. 활엽수를 가해하는 뽕나무응애 점박이응애, 침엽수의 응애류인 전나무잎응애, 구상나무먼지응애, 향나무잎응애는 4월부터 밀도가 높아지기 시작하여 7월에 가장 밀도가 높았다. 주목에 기생하는 주목응애는 7월부터 올라가기 시작하여 9~10월까지 밀도가 높았다.

수목해충의 시기별 발생율은 7월과 8월에 18.0%, 21.5%로 다른 월에 비하여 상대적으로 많이 발생하였다.

▶ 참고(수목의 주요 해충 방제력)

〈화학적 방제는 농약정보서비스(pis.rda.go.kr)활용〉

(1) 양버즘나무 해충

방제시기 해충명	4월			5월			6월			7월			8월			9월			10월			방제 방법
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
버즘나무방패벌레							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				디노테퓨란· 에마멕틴벤조에이트 분산성액제 성충 발생초기 수간주사(0.2㎖/원액), 람다사이할로트린 유충발생 초기 1000배액 살포
거북밀까지벌레							○	○	○	○	○	○										피해 받은 가지나 잎을 제거하거나, 밀도가 높지 않을 경우는 면장갑을 낀 손으로 제거
뿔밀까지벌레							○	○	○	○	○	○	○	○	○							“
말채나무공작지벌레							○	○	○													“
알락하늘소										○	○	○	○									피해목이나 가지를 채취하여 소각, 철사를 침입공으로 넣어 서식하고 있는 유충을 찢어 죽임.
미국흰불나방							○	○	○				○	○	○	○						기계적방제(유살법) : 월동하는 번데기를 채취하여 제거, 어린 유충이 집단으로 있을 가해할 때 잎을 제거 및 유충 제거. 디플루벤주론 수화제, 비티 쿠르 스타기 수화제 등 살포
남방차주머니나방										○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	월동 시기에 유충이 보이면 주머니를 끊어내리는 식의 포살법
차주머니나방			○	○	○	○	○	○					○	○	○							“
어스랭이나방				○	○	○	○	○	○													4월 이전에 나무줄기의 알 덩어리를 제거하여 소각 어린유충기인 5월에는 군서 생활을 하므로 피해 잎을 채취하여 땅에 묻거나 소각
박쥐나방							○	○	○	○	○	○										어린 유충기에는 초목류를 가해하므로 풀깎기를 철저히 피해목, 고사목을 제거하여 소각, 침입구멍에 철사를 이용하여 유충을 찢어 죽인다
응애류							○	○	○	○	○	○	○	○	○							

[illegible]

(3) 가문비나무류 해충

방제시기 해충명	4월			5월			6월			7월			8월			9월			10월			방제 방법
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
소나무숨벌레				○	○	○	○	○	○													등록된 약제 없음
전나무잎응애				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	아바멕틴· 설펍사플로르를 발생초기 나무주사(원액0.5ml/ 흉고직경 cm)
하늘소류	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					아세타미프리트 수관살포 및, 티아메톡삼 성충 우화전 나무주사
나방류							○	○	○	○	○	○	○	○								가해초기 델타메스린유제, 에토펙프로스유제 등 1,000배액 살포

(4) 가시나무류 해충

방제시기 해충명	4월			5월			6월			7월			8월			9월			10월			방제 방법
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
선녀벌레				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					사용가능한 농약 정보는 농촌진흥청에서 운영하는 농약정보서비스 (pis.rda.go.kr)활용
밤나무왕진딧물							○	○	○	○	○	○	○	○								
집싹지벌레	○	○	○	○	○	○																
거북밀까지벌레							○	○	○	○	○	○										피해 받은 가지나 잎을 제거하거나, 밀도가 높지 않을 경우는 면장갑을 낀 손으로 제거
뿔밀까지벌레							○	○	○	○	○	○	○	○								“
루비까지벌레										○	○	○										
도토리나방				○	○	○	○	○	○													
뒷흰가지나방			○	○	○	○	○	○	○													
참나무재주나방													○	○	○	○	○	○				
붉은머리재주나방													○	○	○	○	○					
붉은매미나방	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○										
흰독나방							○	○	○	○	○	○	○	○	○							

(5) 개나리 해충

방제시기 해충명	4월			5월			6월			7월			8월			9월			10월			방제 방법
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
아까시아 진딧물				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				사용가능한 농약 정보는 농촌진흥청에서 운영하는 농약정보서비스 (pis.rda.go.kr)활용
가루깍지벌레				○	○	○	○	○								○	○	○	○	○		피해 받은 가지나 잎을 제거하거나, 밀도가 높지 않을 경우는 면장갑을 낀 손으로 제거
거북밀 깍지벌레							○	○	○	○	○	○										
개나리잎벌			○	○	○	○																
좀검정잎벌						○	○	○	○	○												
점박이응애							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

(6) 단풍나무류 해충

방제시기 해충명	4월			5월			6월			7월			8월			9월			10월			방제 방법
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
말매미										○	○	○	○	○								사용가능한 농약 정보는 농촌진흥청에서 운영하는 농약정보서비스 (pis.rda.go.kr)활용
진사진딧물	○	○	○	○																		
단풍주머니 깍지벌레				○	○	○																
거북밀깍지벌레							○	○	○	○	○	○										“
뿔밀깍지벌레							○	○	○	○	○	○	○	○	○							“
줄숨깍지벌레							○	○	○	○	○											“
알락하늘소									○	○	○	○										피해목이나 가지를 채취하여 소각, 철사를 침입공으로 넣어 서식하고 있는 유충을 찔러 죽임.
미국흰불나방							○	○	○			○	○	○	○							가해초기 람다사이할로트린수화제 델타메트린유제1,000배액, 디플루벤주론수화제 6,000배액 10일 간격 1~2회 살포. 어린 유충기에 벌레집 제거 포살.
매미나방			○	○	○	○																가해초기 에토펜프록스유제, 페니트로티온수화제 1,000배액, 디플루벤주론수화제 2,500배액을 살포.

(7) 느티나무 해충

방제시기 해충명	4월			5월			6월			7월			8월			9월			10월			방제 방법
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
말매미										○	○	○	○	○								사용가능한 농약 정보는 농촌진흥청에서 운영하는 농약정보서비스 (pis.rda.go.kr)활용
느티나무외줄진딧물	○	○	○	○	○	○																
느티나무알락진딧물				○	○	○	○	○	○													
집싹까지벌레	○	○	○	○	○	○																
뽕나무까지벌레				○	○	○							○	○	○							
주둥무늬차색풍뎡이				○	○	○	○	○	○													
느티나무비단벌레				○	○	○	○	○	○													
느티나무벼룩바구미	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											
독나방	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
흰독나방							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
미국흰불나방							○	○	○			○	○	○	○							

(8) 무궁화나무 해충

방제시기 해충명	4월			5월			6월			7월			8월			9월			10월			방제 방법
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
목화진딧물		○	○	○																		사용가능한 농약 정보는 농촌진흥청에서 운영하는 농약정보서비스 (pis.rda.go.kr)활용
아까시아진딧물	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
뽕밀까지벌레							○	○	○	○	○	○	○	○	○							
뽕나무까지벌레				○	○	○							○	○	○							
점노랑들명나방													○	○	○							
목화명나방				○	○	○	○			○	○	○		○	○	○						
큰붉은잎밤나방							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
무궁화잎밤나방							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				

(9) 동백나무 해충

방제시기 해충명	4월			5월			6월			7월			8월			9월			10월			방제 방법
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
선녀벌레				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				사용가능한 농약 정보는 농촌진흥청에서 운영하는 농약정보서비스 (pis.rda.go.kr)활용
탱자소리진딧물				○	○	○																피해있 발견 즉시 채취하여 소각
붉나무소리진딧물			○	○	○	○	○	○	○													“
거북밀까지벌레							○	○	○	○	○	○										
뿔밀까지벌레							○	○	○	○	○	○	○	○	○							
이세리아까지벌레							○	○	○				○	○	○				○	○	○	
가루까지벌레						○	○	○								○	○	○				
루비까지벌레										○	○	○										
뿔나무까지벌레				○	○	○							○	○	○							
오리나무좀	○	○	○	○	○	○																
차주머니나방			○	○	○	○	○	○					○	○	○							
차독나방	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○							
동백나무먼지응애							○	○	○	○	○	○	○	○	○							

(10) 배롱나무 해충

[illegible]

소나무재선충병 감염의심목의 영상분석 방안



최 인 규

(사)한국산지환경연구회 이사

zuaeri@naver.com

I. 소나무재선충병 영상분석 개요

소나무재선충병(Pine wilt disease)은 한 번 감염되면 치료 회복이 불가능하여 100% 고사하는 치명적인 산림병해충이다(한국임업진흥원). 매개충에 의해 감염되며, 확산 예측이 어렵고, 기후변화로 인해 발생 면적도 점차 넓어지고 있다.

산림청과 한국임업진흥원에서는 소나무재선충병의 확산 방지를 위해 무인항공기 예찰 활동을 비롯한 다양한 노력을 하고 있다. 무인항공기 예찰은 신속한 방제를 위해 무인항공기(드론)를 이용하여 영상을 촬영하고, 촬영한 영상 내에서 소나무재선충병의 감염이 의심되는 나무(이하 감염의심목)를 분석한다. 이러한 자료는 방제계획 수립과 효율적인 예찰을 위한 데이터로 사용된다.

무인항공기 예찰에는 신속한 영상 촬영과 함께 촬영한 영상 내에서 감염의심목을 정확히 찾아내는 기술이 중요하다. 하지만, 감염되어 고사 중인 나무는 수목이 가지고 있던 고유의 특성을 잃어버리기 때문에, 고사가 진행 중인 수목이 소나무재선충병에 감수성 수종인지를 판단하는 것은 매우 어렵다.

감염의심목의 패턴은 영상 촬영의 계절적 시기와 시점 그리고 기상 상황에 따라 다양하게 나타나므로 소나무재선충병 영상분석에는 오랜 경험과 기술이 필요하다.

정확한 영상분석을 위해서는 다양한 시기의 영상 활용 함께 현장 조사를 바탕으로 제작된 임상도(1:5,000)를 활용한 영상 패턴의 지속적 학습이 필요하다.

II. 소나무재선충병 영상분석 방법

1. 영상분석시 고려사항

소나무재선충병 감염의심목의 패턴은 영상이 촬영된 환경에 따라 변화한다.

동일한 수목이라도 카메라 센서, 계절적 시기, 더 짧게는 하루 중 촬영 시간, 구름이나 습도 등의 기상에 따라서도 색상, 질감, 패턴이 다르게 나타난다.

또한 지형적 요인으로 인해 급경사지의 왜곡, 방위에 따른 명암의 차이가 발생한다. 위와 같은 고려사항에 대해 충분한 이해를 한 뒤에 영상분석의 세부 사항에 대해 접근하는 것이 영상분석의 정확도를 높이는 방법이다.

1.1. 계절적 시기에 따른 영상패턴의 차이

소나무재선충병에 걸린 수목은 일시에 고사하기 때문에 마치 단풍이 드는 것처럼 황갈색으로 급변하고, 이후 회백색으로 서서히 변화한다.

위와 같은 현상은 단풍이 드는 것과 유사하여, 늦가을에 촬영한 영상에서는 감염의심목과 단풍이 든 수목의 구분이 어렵다. 단풍의 시기는 입지환경(위도, 고도, 방위)에 따라 차이가 발생한다. 따라서 효율적인 영상분석을 위해서는 11월이 지나서는 촬영하지 않는 것이 좋다.

불가피하게 11월 단풍이 든 시기에 촬영이 되었다면, 국토지리정보원의 과거 항공사진,

QGIS와 연동한 다음지도, 네이버 지도를 비교하여 단풍 이전 시기의 영상 확인이 필요하다.

더불어 임상도와 중첩분석을 통해서 활엽수를 오판독한 경우는 없는지 재확인 함으로써 영상분석의 정확도를 높일 수 있다.

1.2. 태양 고도 및 가시광의 광도 차이

대기 습도, 구름, 태양 고도로 인한 가시광의 차이는 수목의 영상 패턴에 큰 영향을 주며, 일반적으로 화창한 날보다는 다소 흐린 날에 수목이 선명하게 촬영된다.

가시광이 심한 날에는 침엽수의 잎을 감싸고 있는 큐티클층이 빛을 반사하여, 회색빛으로 나타날 때가 있다.

실제 수목의 색감과 비교하여 영상 밝기에 왜곡이 발생한 경우 GIS 프로그램에서 대비(contrast)와 밝기(Brightness)를 조절함으로써 감염의심목을 보다 명확히 구분할 수 있다.

2. 영상분석 프로세스

영상분석은 소나무재선충병에 감수성 수종인 소나무, 잣나무, 해송, 섬잣나무의 고사목을 찾는 과정이다. 감염의심목 영상분석은 큰 틀에서 수목 ⇒ 임상 ⇒ 수종 순서로 확인한다.

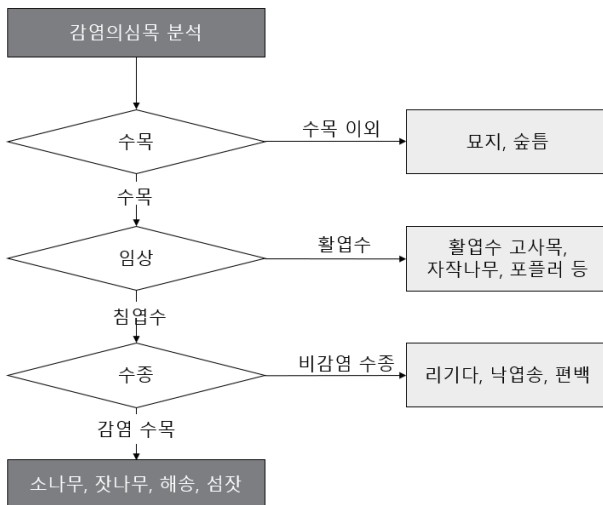


그림 1.

소나무재선충병 감염의심목 분석 프로세스

2.1. 수목 확인

나무가 없지만, 감염의심목과 유사한 패턴을 보이는 것에는 묘지와 산림의 수관 일부가 열려 있는 틈(숲틈)이 있다. 숲틈은 주변 수목보다 낮은 곳에 있어 그 경계부에 수목의 그림자가 나타나는 특징이 있다.

또한, 숲틈은 수목과 비교하여 영상이 편차 없이 동질한 질감을 나타낸다. 아래 사진과 같이 수관 하나의 크기만큼 숲틈이 나타나는 경우 오판할 수 있으므로 그림자와 질감의 재확인 필요하다.

자세히 살펴보면 고사목은 우측 사진과 같이 상대적으로 밝게 보이는 초두부와 입체적으로 구성된 잎으로 인해 거친 질감이 나타나지만, 숲틈은 아래 좌측 사진과 같이 한가지 톤으로 나타남을 알 수 있다.



a. 숲틈

b. 고사목

그림 2. 숲틈과 고사목의 구분

관리되지 않은 묘지는 지표면 토양이 노출되어 봉분이 초두부처럼 보이기도 한다. 토양이 노출되어 갈색빛이 나타날 때 감염의심목과 혼동 되지만, 상대적으로 거친 질감 없이 균질한 영상 패턴이 나타나는 특징이 있다.

2.2. 임상 확인

소나무재선충병에 걸리는 수종은 모두 침엽수이기 때문에 감염의심목으로 생각되는 지점이 침엽수인지 판단해야 한다. 수관의 형태와 질감으로도 임상 구분이 가능하지만, 되도록

활엽수의 잎이 떨어진 시기에 촬영된 과거 영상을 활용하는 것이 필요하다.

아래 좌측 사진은 낙엽으로 인해 붉게 나타나 감염의심목과 유사한 패턴을 보이지만 겨울 영상을 확인하면 우측 사진과 같이 해당 지역은 활엽수림인 것을 알 수 있다.



그림 3. 활엽수(좌측)와 잎이 떨어진 활엽수(우측)

2.3. 수종 확인

감염의심목으로 생각되는 수목이 소나무재선충병의 감수성 수종인지 판단하는 것은 영상분석의 정확도를 높이는 중요한 요인이다. 고사 중인 수목은 수종 고유의 특성을 잃어버리기 때문에 고사 전에 촬영된 영상과 주변 수목을 살펴볼 필요가 있다.

영상 촬영의 환경에 따라 변화하는 수종 패턴을 지속적으로 익히고, 임상도와 과거 영상의 확인 과정이 필요하다. 즉, 영상분석은 고사목을 색별하고, 이후 감수성 수종인지를 판단하는 과정이다.

2.3.1. 잣나무

▣ 잣나무 정상 수목

잣나무는 사람이 인위적으로 심은 즉, 인공림이기 때문에 식재열 패턴이 나타나며, 동일한

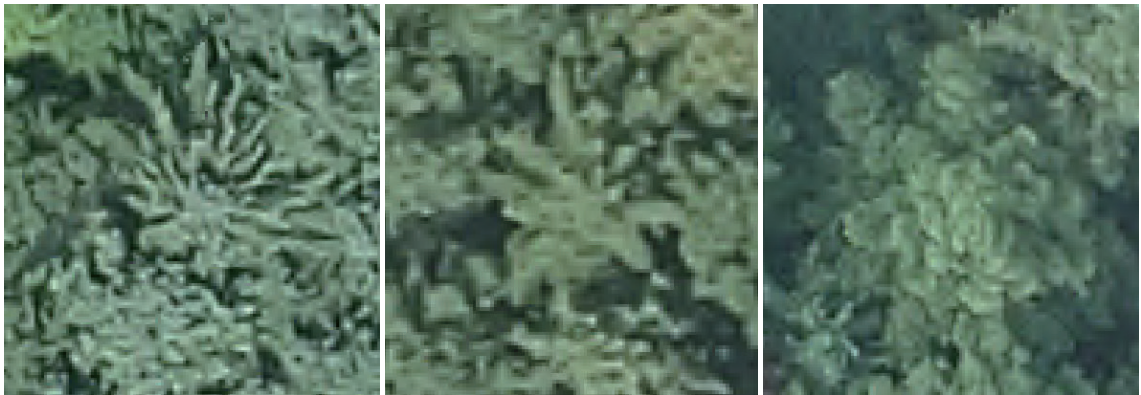
시기에 심었기 때문에 수관의 크기가 일정한 특징이 있다. 또한 인위적인 관리로 타수종의 침입 없이 대체로 단일 임분의 형태를 띠고 있으며, 개체목의 독립적 구분이 뚜렷하다.

정아가 측아의 생장을 억제하는 정아우세 현상이 뚜렷하여 원추형의 수관형태가 나타나며, 이로인해 위에서 바라볼 때 수관의 축을 중심으로 균등한 생장 특성을 보인다.

초두부가 보다 밝은 색으로 보이며, 별모양의 형태가 나타나는 것이 특징이며, 영상의 계절적 시점과 촬영 일기에 따른 차이가 있지만, 대체로 회색빛이 도는 녹색에 가깝다.

잣나무와 낙엽송은 초두부를 중심으로 방사형으로 가지가 뻗어가는 유사한 형태를 나타나기 때문에 주의가 필요하다. 하지만 잣나무는 보다 회색빛 강한 반면 낙엽송은 연두빛이 강하다.

단풍이 들기 직전의 늦여름 낙엽송은 잎이 겹겹이 겹쳐있는, 다육식물을 위에서 내려다본 느낌으로 표현되어 잣나무와 구분하기 쉽다. 하지만 여름철 특정 시기에는 잣나무와 색감만 다르고, 매우 비슷하여 혼동하기 쉽다.



a. 잣나무(여름)

b. 낙엽송(여름)

c. 낙엽송(늦여름)

그림 4. 잣나무와 낙엽송 영상패턴 비교

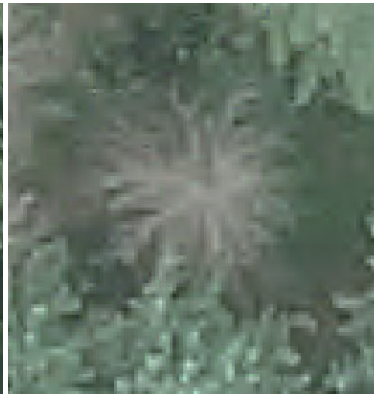
▣ 잣나무 감염의심목

살아 있을 때와 마찬가지로 고사 중인 잣나무는 낙엽송과 그 형태가 매우 유사하기 때문에 고사 전 영상의 확인이 필요하다. 형태적으로 낙엽송 가지가 더 얇고 그 수가 많아서 낙엽송 탈리목의 경우에는 얇은 가지가 사방으로 뻗어있는 느낌이 있다. 반면, 잣나무 탈리목은 상대적으로 굵은 가지가 뻗어 있는 것처럼 보인다.

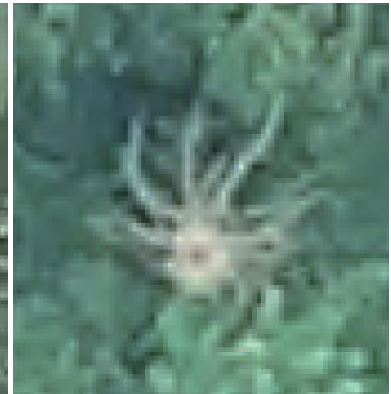
낙엽송은 낙엽이 지는 침엽수이기 때문에 잎이 떨어지는 탈리 현상이 빠르게 진행되므로 대부분의 고사목은 가시만 남은 형태가 많이 분포한다.



황적갈색 고사목



회백색 고사목

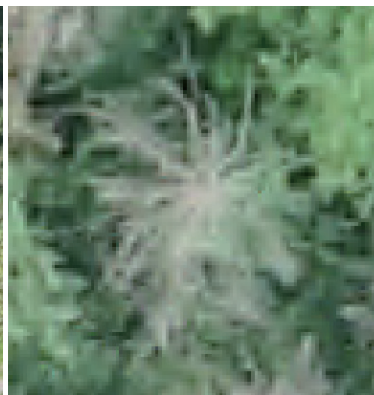


탈리된 고사목

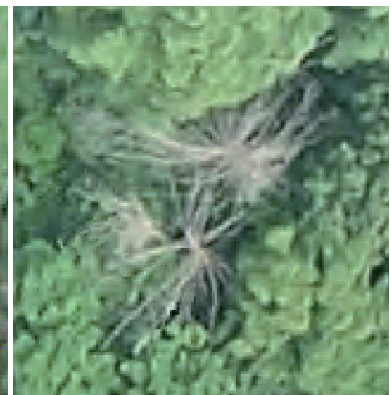
그림 5. 잣나무 감염의심목 영상패턴



황적갈색 고사목



회백색 고사목



탈리된 고사목

그림 6. 낙엽송 고사목 영상패턴

2.3.2. 소나무

▣ 소나무 정상 수목

우리나라 소나무는 생육 지역에 따라 형태적 차이가 나타난다. 동북형, 금강형,

중남부고지형은 원추형 수관이 나타나 수관축을 중심으로 비교적 균일한 형태를 나타낸다.

하지만 중부평지형과 안강형은 수간이 굵고, 수관이 평평하여 개체목간의 구분이 안되는 경우가 많고, 초두부를 뚜렷하게 구분하기는 어렵다.



그림 7. 지역별 소나무 수관형(출처: 산림청)

천연 소나무림은 개개목 간의 크기의 차이가 나타나며, 나무의 높이도 서로 다른 입체적인 특징이 있다. 따라서, 수간이 서로 겹쳐 있기 때문에 하나하나의 개체를 구분하기가 쉽지 않다. 잣나무가 회색빛이 도는 녹색에 가깝다면, 소나무는 보다 천연의 녹색에 가깝다.

■ 소나무 감염의심목

굵은 수간 형태를 보이는 중부지방 소나무는 하나의 개체가 온전한 형태를 띄지 않고, 상하 입체적으로 피압된 형태를 보인다. 따라서, 개개목의 명확한 구분이 어렵고, 수관의 형태도 매우 다양하게 나타난다.

상대적으로 통직한 수간인 강원지방소나무는 한 개의 개체가 온전한 공간을 가지고 생육하기 때문에 개개목이 명확히 구분되는 특징이 있다. 초두부를 중심으로 방사향으로 뿔어나는 형태를 가지고 있으나, 그 정도가 잣나무나 낙엽송에 비해서는 불규칙하다.

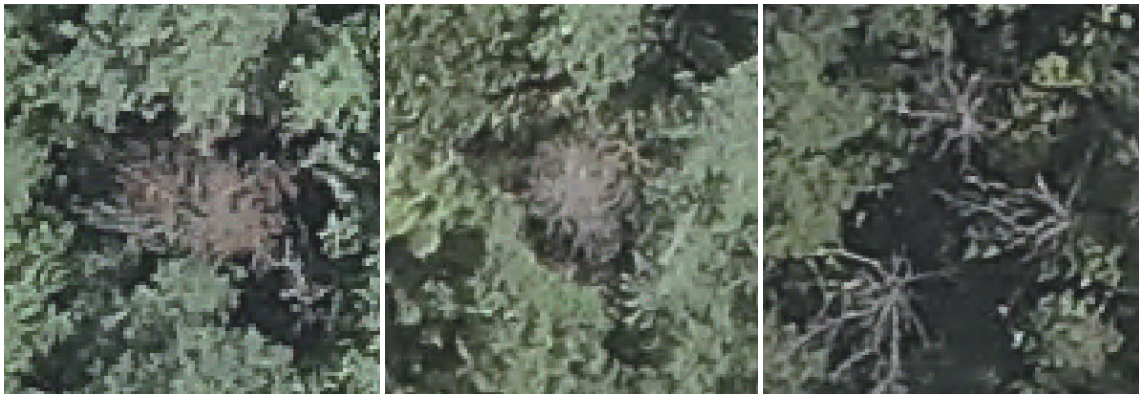


황적갈색 고사목

회백색 고사목

탈리된 고사목

그림 8. 중부지방 소나무 감염의심목 영상패턴



황적갈색 고사목

회백색 고사목

탈리된 고사목

그림 9. 강원지방 소나무 감염의심목 영상패턴

2.3.3. 곰솔

▣ 곰솔 정상 수목

곰솔은 해안 지역과 남부 산지에 많이 생육한다. 원추형 수형에 가까워서 수간 축을 중심으로 줄기가 뻗어나가는 형태가 나타난다. 소나무가 입체적으로 임분을 구성한다면, 곰솔은 다소 평면적인 특징이 있으며, 개체목간의 구분이 뚜렷하다.



그림 10. 곰솔의 영상패턴

잣나무가 수간축을 중심으로 촘촘히 균일하게 뻗은 형태라면, 곰솔은 수간 축을 중심으로 가지가 뻗어나가는 형태는 같지만 그 뻗어나가는 크기가 다소 불균일하다.

수간이 통직한 강원지방 소나무와 특징이 유사하여 구분이 어렵다.

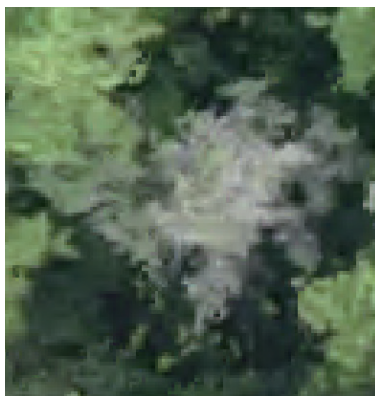
곰솔은 다소 연녹색에 가까운 색감이지만, 색감은 촬영시기와 카메라의 센서에 따라 차이가 발생하므로, 임상도를 활용하여 수종의 영상 패턴을 익히는 것이 중요하다.

■ 곰솔 감염의심목

곰솔 감염의심목은 강원지방 소나무와 매우 유사한 특징이 있다. 회백색 고사목과 탈리된 고사목만으로는 곰솔을 구분하기 어렵다. 주변에 살아있는 수목과 비교하거나, 고사 전 영상의 확인이 필요하다.



a. 황적갈색 고사목



b. 회백색 고사목



c. 탈리된 고사목

그림 11. 곰솔 감염의심목 영상패턴

III. 결론 및 고찰

소나무재선충병 확산 방지를 위하여 산림청과 한국임업진흥원에서는 다양한 노력을 하고 있다. 지상예찰과 함께 무인항공기를 도입하였고, 빠른 예찰이 가능하게 되었다. 최근에는 AI 기술을 이용한 감염의심목의 자동분류를 위해 노력하고 있다.

AI 기술은 알고리즘과 함께 학습 데이터 구축이 중요하다. 하지만, 살아있는 생물을 다룬다는 점과 계절적 시기, 카메라 센서에 따라 학습 데이터의 품질이 다양한 것은 AI 기술 도입의 어려움으로 작용한다.

물론, 사람의 눈으로 감염의심목을 구분하는 것에도 한계는 있다. 작업자의 경험과 기술이 성과물에 영향을 주며, AI 기술에 비해 상대적으로 오랜 시간이 걸린다.

하지만, AI 기술의 핵심 요소인 학습데이터가 육안분석으로 사람이 구축한다는 점에서 인적 기술은 빼놓을 수 없다. AI 기술의 고도화를 위해 지속적으로 노력하는 한편, 감염의심목의 육안분석 고도화 및 인력 양성도 함께 진행되어야 한다.

본 원고는 한국임업진흥원의 ‘2023년 소나무재선충병 무인항공기 예찰조사(영상분석)’ 사업의 결과를 바탕으로 작성하였습니다.

AI기술을 활용한 소나무재선충병 예찰조사 시스템 구축과 발전방안



박 성 범
(사)한국산지환경연구회 차장
black_eyes@hanmail.net

1. 서론

▣ 우리나라의 소나무재선충병 발생 현황

소나무재선충병은 소나무, 잣나무, 곰솔, 섬잣나무 등의 침엽수 수종이 매개충(솔수염하늘소, 북방수염하늘소)에 의해서 전파된 선충이 침투하여 감염되는 병이다. 소나무재선충은 북미에서 처음으로 발견되었으며, 유럽과 한국을 포함한 아시아로 전파되어 산림자원에 막대한 피해를 주고 있다. 특히, 최근에는 지구 온난화 및 가뭄 등 급격한 기후변화로 인해 그 확산세가 가속화되고 있다. 우리나라에서는 1988년 부산 동래구 금정산에서 최초로 발생한 이후 2023년 5월 기준, 소나무재선충병이 발생한 시군구는 140개로 전년도 대비 5개가 증가하였다. 발생 본 수도 1,065,967본으로 687,888본(약

182%)이 증가하였다. 우리나라는 국토면적의 약 64%가 산림이고, 산림면적의 약 31% 이상이 침엽수림이다. 침엽수림 중 대부분이 소나무재선충병에 감염될 수 있는 감수성 수종이기 때문에 소나무재선충병이 확산되기 쉬운 환경이다.

■ 우리나라의 소나무재선충병 예찰조사 방법의 변화

산림청에서는 소나무재선충병의 확산을 막기 위해 노력하고 있다. 매년 각 지자체 및 지방산림청으로부터 소나무재선충병 발생현황을 종합하여 소나무재선충병 발생지역과 선단지를 포함한 미발생지역으로 구분하여 예찰 및 방제 방법을 관리하고 있다. 과거에는 소나무재선충병을 예찰하기 위해 인력이 직접 현장에서 병징목을 확인하는 지상 정밀예찰 및 헬기를 이용한 항공예찰 방법을 주로 활용하였으나, 이 방법은 시간적, 공간적인 한계가 있었다. 이후로는 한국임업진흥원 산림병해충모니터링센터에서 무인항공기를 이용하여 전국의 선단지를 중심으로 예찰조사를 실시하고 있다. 무인항공기를 활용함으로써 기존의 인력예찰보다 빠른시간에 넓은 면적에 대한 예찰이 가능해졌고 인력으로 접근하기 어려운 험준지에 대해서도 고사목 탐지가 가능해졌다.

■ 무인항공기 예찰조사 방법과 한계

무인항공기를 활용한 소나무재선충병 예찰조사의 수행절차는 예찰대상지 선정, 드론촬영 및 정사영상 제작, 영상분석을 통한 감염의심목 추출 순이다. 이 중 영상분석 단계에서는 정사영상을 통해 수종을 구분할 수 있는 전문인력이 육안으로 직접 감염의심목을 추출한다. 방제의 주체인 각 기관에서는 원하는 시기에 원하는 지역에 대해서 방제설계가 가능하도록 사전에 대상지에 대한 현황을 파악하고자 한다. 하지만 아직까지는 방제 주체 기관에서 무인항공기를 통한 영상분석을 충분히 활용할 수 있는 인프라가 없는 실정이다. 한국임업진흥원에서는 매년 전국 선단지 중심의 무인항공기 예찰을 실시하여 각 지자체에 정보를 제공하고 있다. 하지만 지자체에의 관심지역이 아니거나, 원하는 시기에 데이터를 제공받지 못하고, 지자체 소나무재선충병 방제 담당자의 빈번한 인사교류로 업무를 잘 파악하지 못했다는 의견이 다수 있었다. 따라서 정보통신산업진흥원(NIPA)에서는 소나무재선충병 방제 주체 기관에서 방제대상지에 대한 영상정보를 입력하면 인공지능(AI) 분석을 통해 해당 지역의 소나무재선충병 감염의심목의 공간정보 데이터를 제공하는

시스템을 개발하여 아래와 같은 효과를 얻고자 하였다.

- ① 방제 주체 기관에서 방제 대상지 및 방제설계 수립 시 예찰가능
- ② GIS 프로그램 사용 미숙자도 활용가능한 온라인 시스템 구축
- ③ AI기반 영상분석으로 통일성 있는 결과물 획득
- ④ 정사영상 입력 후 신속한 데이터 획득 가능

이러한 시스템이 효과적으로 활용 되기 위해서는 사용방법의 편의성도 중요하지만 AI 알고리즘 분석의 정확도가 무엇보다 중요하다. 따라서 현재 소나무재선충병을 탐지하기 위한 AI 기술이 어떻게 개발되고 있고, 앞으로 어떻게 개선되어야 하는지 알아보려고 한다.

2. 본론

■ AI를 활용한 소나무재선충병 탐지 방법

소나무재선충병 탐지를 위한 AI 시스템에서는 산림분야 전문가가 가지고 있는 감염의심목 영상분석 노하우를 인공지능이 학습하여 정사영상을 바탕으로 감염의심목을 추출 후 공간정보 데이터를 제공한다. 소나무재선충병을 탐지하기 위한 AI 학습데이터는 객체탐지를 위한 라벨링 데이터와, 의미분할을 위한 수종, 유형, 산림/비산림 데이터로 구분된다. 라벨링 데이터는 정사영상을 기준으로 명확히 구분되는 이미지 대상 픽셀 경계를 구획한 데이터를 말한다. 수종 데이터는 소나무재선충병에 감염되는 수종인 소나무, 잣나무와 그 외 수종인 기타침엽수와 기타활엽수로 구분한다. 유형 데이터는 소나무류 고사목이 고사된 이후 시간이 지남에 따라 수관의 색상이 변하는 것을 기준으로 황적갈색고사목, 회백색고사목, 탈리된고사목으로 구분한다. 산림/비산림 데이터는 나무가 있는 산림지역과 도로, 농경지, 건물, 나대지와 같은 비산림지역으로 구분한다. 학습데이터는 산림분야 전문가가 경험적 지식을 근거로 구축한다. 구축된 데이터는 AI 알고리즘(YOLO, Segformer)에 학습시켜 객체를 탐지하고 추출된 객체를 의미분류기(random forest, SVM등)를 통해 수종 및 유형을 분류하여 데이터를 획득한다.

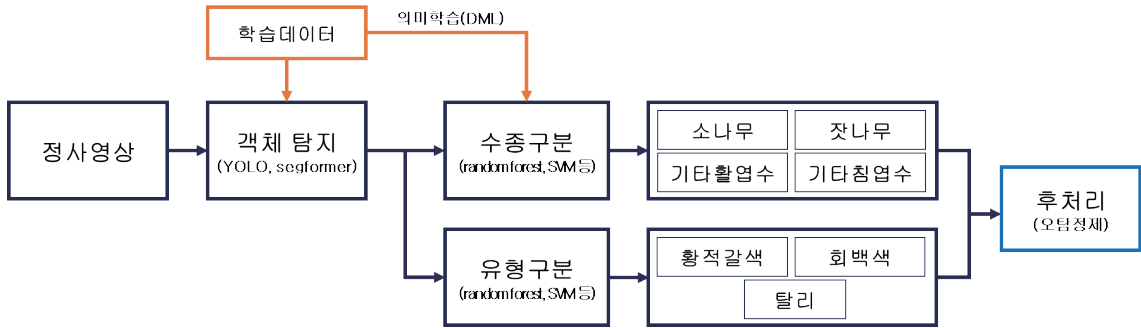


그림 1. AI를 활용한 소나무재선충병 탐지 프로세스

▣ 소나무재선충병 감염의심목 탐지 객체검출 알고리즘 선정

객체검출 알고리즘은 색채와 형상을 모두 학습하여 의심목을 찾는다. 2019년도에는 YOLO v.5, Faster R-CNN 방식의 객체검출 기법이 많이 쓰였다. 정확도 향상을 위해 최근까지 개선된 알고리즘을 사용하여 재검증과 타 알고리즘과 비교 평가를 통해 우수한 기법을 적용하였다. 그 결과 YOLO v8과 SegFormer 모델이 선정되었다.

표 1. [AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축 사업] 탐지알고리즘 성능 비교 결과

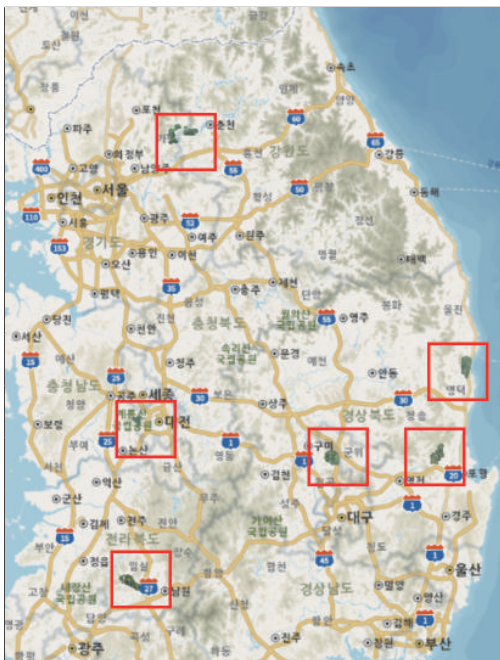
구분	모델	mIoU	비고
목표	-	0.83	목표
모델별 결과	YOLO v5	0.74	목표미달
	Faster R-CNN	0.56	목표미달
	Unet	0.70	목표미달
	DeepLab v3+	0.69	목표미달
	SegFormer	0.87	목표만족
	YOLO v8	0.88	목표만족

※ mIoU(Mean Intersection over Union) : 객체 탐지의 성능 척도

■ 소나무재선충병 감염의심목 탐지 알고리즘 분석 결과의 정확도

소나무재선충병 AI 탐지 알고리즘의 실증을 위해 6개 지역(공주시, 구미시, 포항시, 가평군, 순창군, 영덕군) 약 3.1만ha에 대해서 소나무재선충병 AI 알고리즘 분석을 실시하였다.

표 2. 소나무재선충병 AI 알고리즘 탐지 대상지

	지역	공주	구미	영덕
	면적	1,540ha	5,430ha	5,880ha
	본수	5,203본	15,273본	18,536본
				
	지역	포항	순창	가평
	면적	5,620ha	5,700ha	7,231ha
	본수	27,289본	21,368본	16,237본
				

AI 알고리즘 탐지 결과 전체 97,610개의 객체가 탐지되었다. 탐지 결과의 정확도를 알아보기 위해 전체 데이터에 대해서 전문가 육안판독에 의한 객체분석을 실시하였다. 다만, 유형의 정확도를 판단하기에는 객관적 지표가 없으므로 수종 구분의 일치 여부로만 정확도를 판단하였다. 탐지하여 의미분할한 객체에 대해서만 정확도를 산출하고자 하였으므로 누락목은 고려하지 않았다. 비교결과 AI 탐지결과와 전문가 육안검증 결과가 일치한 비율은 약 38%였으며, 나무가 아니거나, 기타수종을 분류된 경우는 약 62%로 나타났다.

표 3. AI 탐지결과와 육안검증결과 본수 비교(후처리 전)

지역	정탐목 (개)	오탐지(개)				합계	오탐율 (%)
		나무 외*	활엽수**	기타**	소계		
공주	22	3,720	38	1,129	4,887	4,909	99.6
구미	7,432	4,941	280	1,483	6,704	14,136	47.4
순창	2,656	11,204	3,581	2,682	17,467	19,923	87.7
영덕	8,420	4,691	3,111	986	8,788	17,208	51.1
포항	12,348	6,672	962	5,700	13,334	25,682	51.9
가평	5,910	5,967	2,664	1,211	9,842	15,752	62.5
합계	36,788	37,195	10,363	12,991	60,549	97,610	62.0

* 건출물, 전봇대, 태양광 패널, 도로 등 인공물과 묘지, 바위, 나대지와 같은 나무가 아닌 자연물

** 나무는 맞지만 고사하지 않았거나 살아있는 가지가 탐지된 경우, 그밖에 육안으로는 판단하기 어려운 객체

■ AI 탐지 알고리즘 성능 향상 방법(오탐분류기 적용)

학습데이터 자체 오류, 학습데이터의 통계적 불균형, AI 알고리즘의 불확실성 등의 문제로 탐지결과 중 감염의심목과 유사한 패턴으로 나타나는 오탐지 데이터도 다수 포함되어 있어 개선이 필요하다. 따라서 탐지결과에 대한 오탐분류를 통해 AI 알고리즘 성능을 강화하였다. 그 결과 오탐지 객체 중 ‘나무 외’는 93%가 제거되었고 ‘활엽수’와 ‘기타’는 각 6%, 22%가 제거되었다. 오탐정제 데이터를 적용하는 후처리 공정에는 ‘나무 외’에 대한 데이터만 적용하였기 때문에 ‘활엽수’와 ‘기타’ 오탐 데이터에 대해서는 제거율이 비교적 낮게 나타난 것으로 보인다.

표 4. AI 탐지결과(후처리 후)

구분	정탐목 (개)	오탐지(개)				합계	오탐율 (%)
		나무 외	활엽수	기타	소계		
오탐제거 전	36,788	37,195	10,363	12,991	60,549	97,610	62.0
오탐제거 후	35,322	2,508	9,963	10,170	22,641	57,963	39.1
변동량	-1,466	-34,687	-673	-2,821	-38,181	-39,647	-
제거율 (%)	4%	93%	6%	22%	63%	41%	-

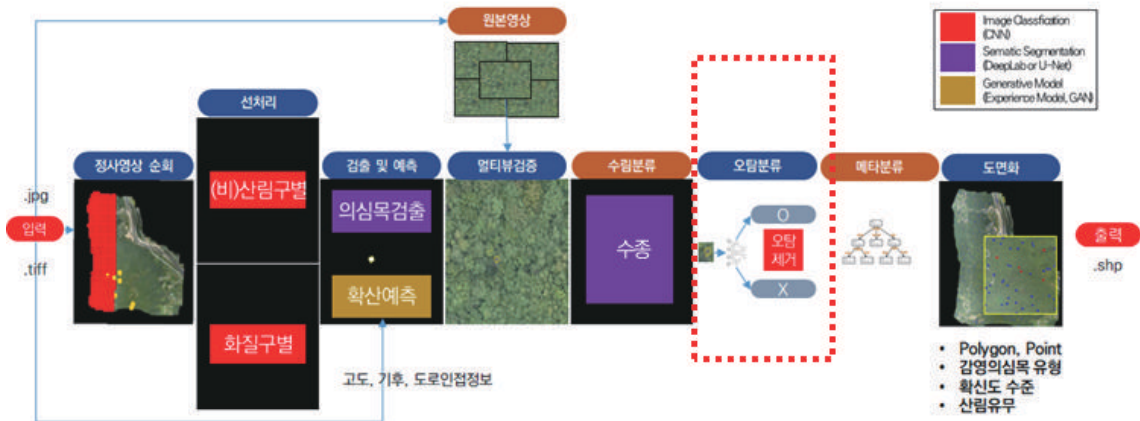


그림 2. AI 탐지 알고리즘 프로세스(오탐분류 후처리 공정)

결론

▣ 발전방안

오탐분류 데이터를 적용하기 전 AI 탐지결과는 오탐지 비율이 약 62%(나무 외, 활엽수, 기타)이고, '나무 외'에 대한 오탐분류 데이터 적용 후에는 탐지결과가 오탐비율이 약 39%로 오탐지되는 데이터가 감소한 것으로 나타났다. 향후에는 '나무 외'에 대한 오탐분류 데이터

강화 및 활엽수와 기타 분류를 포함하여 AI로 오염분류 성능 확보 시 정탐률 성능이 87%에서 91%까지 향상될 것으로 예상된다.

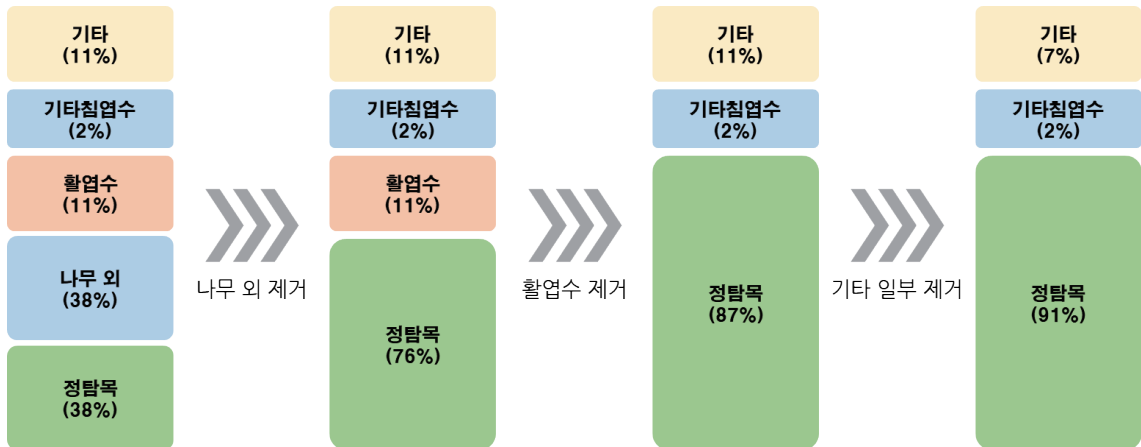


그림 3. 오염분류 후처리 공정을 통한 AI 탐지결과 성능 향상 계획

■ 한계점

오염분류를 통한 AI 알고리즘의 성능향상은 오염분류를 실시한 대상지역의 특수성을 가질 가능성이 높기때문에 오염분류를 실시하지 않은 지역에서는 높은 정확도를 보장하지 못한다. 따라서 후처리 공정의 비율을 줄이고 1차 AI 탐지에서 유의미한 정확도를 확보하는 것이 중요하다. AI 탐지 자체의 성과를 높이기 위해서는 ‘나무 외’, ‘활엽수’, ‘기타’와 같은 탐지결과와 오류 유형들을 후처리 공정에서 적용하는 것이 아닌 학습데이터화하여 사전에 필터링 될 수 있도록 성능을 강화해야 할 것이다.

본 연구는 정보통신산업진흥원 소관의 기금사업
‘AI기반 산림해충 방제지원 시스템구축 사업’에 의해 수행되었습니다.

인공위성 영상을 활용한 산림변화 모니터링



정 양 수

(주)미래생태공간 차장

yangsue@kakao.com

1. 서론

전 세계 육지 표면의 31%, 약 40억 ha에 달하는 산림은 생물다양성을 책임지고 6,620억 톤의 탄소를 함유하여 기후변화 완화에 큰 역할을 한다. 하지만 18세기 중반부터 시작된 산업혁명의 여파로 도시와 농경지의 확장이 이루어졌고 산림면적은 지속적으로 감소하였다. 20세기 후반과 근세기에 이르러서야 산림생태계의 가치를 인정하고 보전의 노력을 기울이고 있으나 산림용도의 전환으로 생물다양성 감소와 지구온난화, 기후변화 탄력성 감소 및 가속화, 물 부족 및 식량 생산량 감소 등의 전 지구적 문제가 발생할 것으로 우려되는 상황이다.

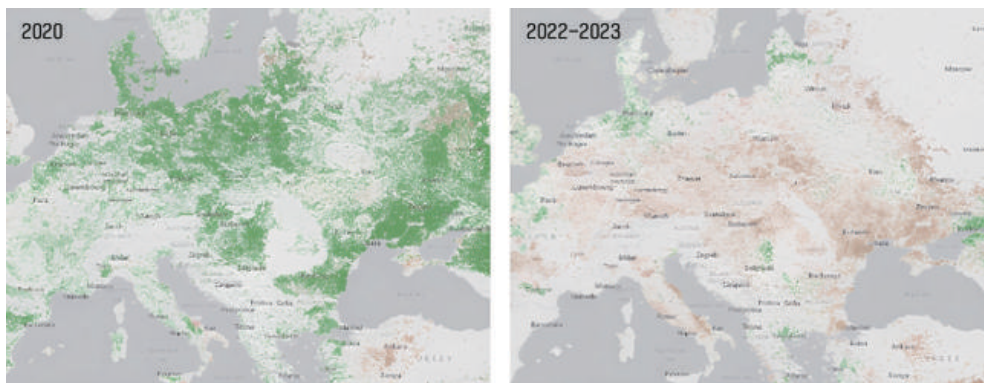


그림 1. 유럽과 우크라이나 일대의 정규식생지수(NDVI) 데이터.

2022년 2월 시작된 러시아-우크라이나 전쟁으로 해당 지역의 식물 생장률이 크게 떨어진 것을 알 수 있다.

(출처: dongascience)

산림피복 현황과 시간에 따른 변화의 경향을 알아가는 것은 산림생태계 보전을 위한 중요한 기초 자료가 된다. 그러나 산림은 광대한 지역에 분포되어 있으므로 그 피복변화를 확인하는 것은 어려운 일이다.

인공위성 원격탐사 자료를 연구자들이 이용할 수 있음에 따라 산림변화 연구에 큰 발전이 있었다. 또한 인공위성 원격탐사 자료의 분석과 이 자료를 토대로 한 모형 작업을 통해 산림피복의 변화 속도와 경향, 그리고 산림 개발과 파괴가 가져올 수 있는 영향에 대한 기술이 가능하게 되었다.

표 1. 인공위성 영상을 활용한 임업분야 연구사례

연구사례	주요 연구내용
- 산림정보 처리해석	- 지형정보처리 기법개발 - 임분구조 및 생장특성 해석
- 병해충 피해 동태 분석	- 소나무재선충병 피해지역 분석 - 피해지역 확산경로 예측
- 산림 측정기법 개발	- 최적 임상분류 방법 개발 - 임상별 산림자원량 추정식 유도 및 자원량 산출

연구사례	주요 연구내용
- 산림자원의 변화탐지	• 시기별 산림 및 토지이용형태 변화 • 지역별, 요인별 산림자원의 변화특성 분석
- 산사태 위험지역 탐지	• 산사태 위치탐지 비교연구 • 위성영상 및 공간분석을 통한 산사태 예측
- 산불피해현황분석	• 산불피해지역 및 피해정도 구분 • 산불 취약지역 탐지
- 북한의 산림자원조사	• 임상별 산림면적 분석 • 비무장 지대의 산림실태조사

산림피복에 대한 접근을 가능하게 한 대표적인 인공위성 원격탐사 자료는 Landsat, MODIS, Sentinel, KOMPSAT 등 인공위성에 탑재된 센서로부터 얻은 것이다. 이 자료는 인터넷(EarthExplorer 등) 상에서 다운로드하거나 저렴한 비용으로 구매하여 사용할 수 있다.

본론에서는 산림피복 연구에 광범위하게 활용되고 있는 인공위성 원격탐사 기술에 대한 기본적인 내용과 연구에 이용되는 광학지수에 대해 정리해 보고자 한다.

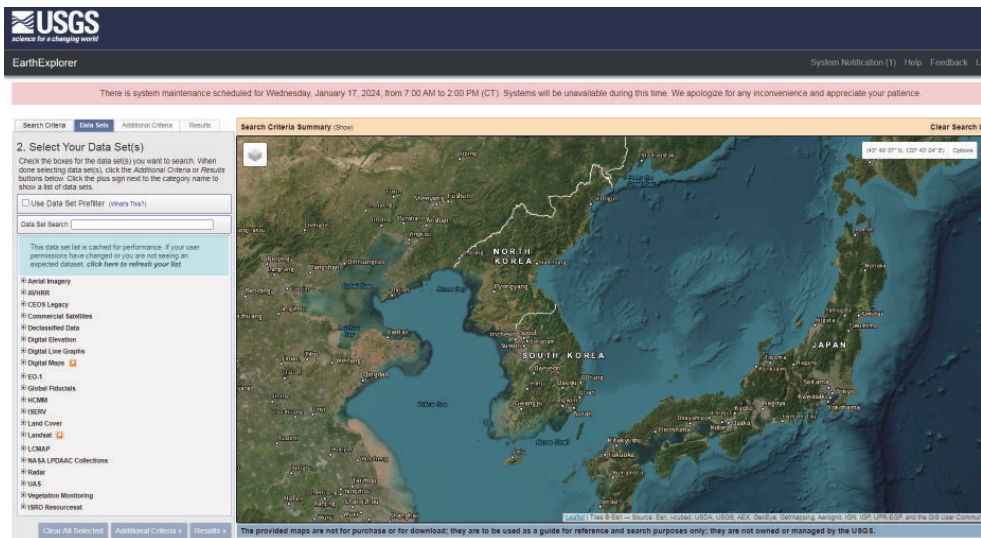


그림 2. 위성영상 Dataset (출처: EarthExplorer.usgs.gov)

2. 원격탐사의 정의

원격탐사란 “인공위성, 유/무인 항공기, 드론 등에 탑재된 각종 센서를 이용하여 물체와 물리적 접촉 없이 정보를 획득하는 것”으로 정의된다. 이러한 원격탐사는 농업(성장 상태 파악, 수확량 예측), 임업(산불 예측, 병충해 파악), 해양(수면 온도 파악, 해류 이동 관찰), 환경(생태계변화, 녹지 파악), 토양(지질 분류, 토양 변화 파악)등 다양한 방면에서 활용되고 있다.

원격탐사가 광범위하게 활용되는 이유는 조사나 분석 대상에 있어 물리적 접촉을 하지 않더라도 현장 상황을 객관적으로 확인할 수 있고, 인간의 개입으로 인해 발생하는 현장 교란을 막을 수 있다는 점이다. 또한, 체계적으로 데이터를 수집하여 분석할 수 있어 자료 수집의 오류나 오차를 줄이고 데이터화 하는 데에도 기여할 수 있다. 반면, 데이터의 보정과 분석 단계가 필요하고 빛의 굴절, 흡수, 산란 등의 현상에 따라 자료의 왜곡이나 오류가 발생할 수 있다는 단점을 가진다.

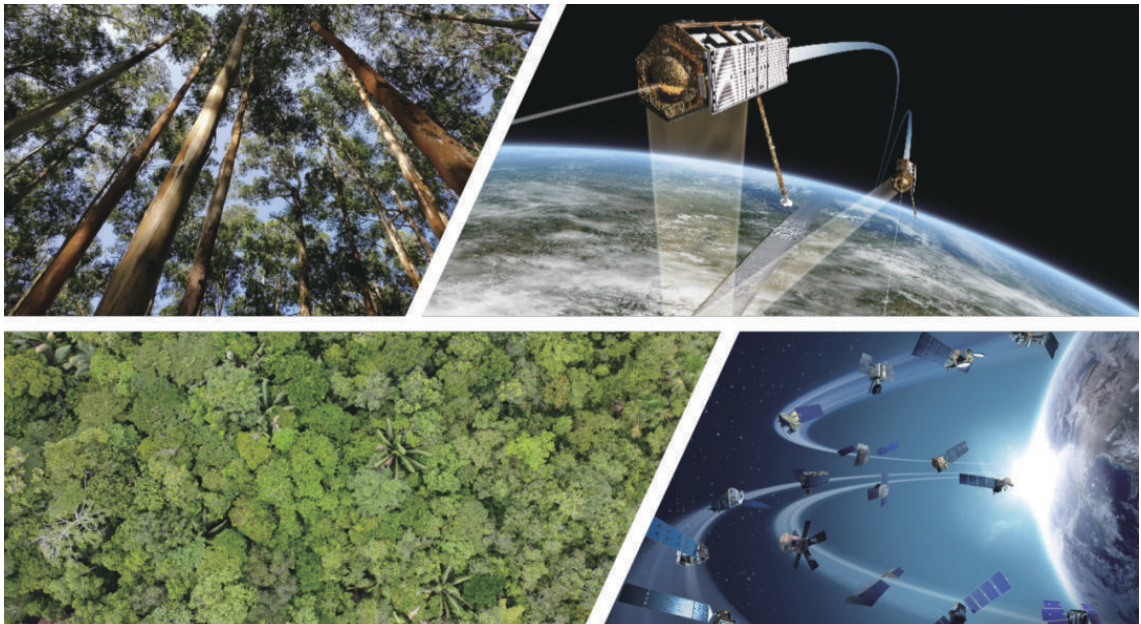


그림 3. Multi-Sensor Forest Monitoring (출처: Canopy Remote Sensing Solutions)

3. 인공위성 종류와 활용성

인공위성 원격탐사 자료는 시공간 해상력과 방사에너지의 주파대에 따라 매우 다양하다. 따라서 각 자료의 장단점과 입수 가능성을 검토한 후 연구에 이용해야 한다.

1) Landsat

Landsat 위성은 미국항공우주국(NASA)과 미국지질조사국(USGS)에 의하여 개발된 민간 인공위성으로 현재까지 8회 발사되어 운용 중에 있다. 가장 최근에 발사된 Landsat 8호 위성은 지상에서 705km 높이에서 운용되고 있으며 속도는 7.5km/s로 16일 간격으로 지구를 공전한다. 해당 위성은 가시광선, 적외선 등을 활용하며 공간해상도 30m인 다중분광 영상을 제공한다. 이에 따라 산림, 수자원, 환경, 도시계획, 재난대응, 연안관리 등 여러 용도에서 활용이 가능하다.

2) Sentinel

Sentinel 위성은 유럽우주국(ESA), 유럽 기상 위성개발 기구(UMETSAT), 유럽 중거리 기상 예보 센터(EXMWF), EU 기관과 Mercator Ocean이 함께 개발한 관측 위성이다. 2014년 1호 위성이 발사되었고 지금까지 6회 발사되어 운용되고 있다. 가장 먼저 발사된 Sentinel-1 위성은 같은 지역을 6일 간격으로 촬영하며 C-밴드 합성 개구 레이더(SAR) 센서를 탑재하고 있다. 총 2개의 위성으로 구성되어 있으며 기상조건에 영향을 받지 않아 광범위하게 활용된다.

3) MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

미국항공우주국(NASA)의 위성을 활용한 MODIS는 지구 전역의 장기적 관측 계획인 EOS(Earth Observing System)에 의거하여 발사된 지구 관측 위성이다.

총 36개의 밴드가 존재하며 고도는 705km 수준으로 태양동기궤도를 돌며 지구 전 표면을 관측할 수 있다. 하루에 1~2회 같은 지점을 지나는 속도이며 시야각 $\pm 55^\circ$, 관측 폭은 2,330km이다. 종류는 Terra와 Aqua 두 종류이며 Terra는 육상 관측을 위해 Aqua는 해상 관측을 위해 주로 활용된다. 전 지구를 살필 수 있고 육지와 해양 표면 온도와 토지 피복, 구름 상태, 기온 분포 및 산불관측 등에 활용된다.

4) KOMPSAT(Korea Multi-Purpose Satellite)

KOMPSAT 위성은 한국항공우주연구원(KARI)이 개발한 실용 위성이다. 국민 공모에 따라 그 명칭이 지어져 ‘아리랑 위성’이라는 별칭이 있다. 1회 위성이 처음 발사된 후에 2013년 5호 위성이 발사되어 운용되고 있다. 기술력을 더한 6호, 7호 위성의 발사가 준비되고 있었으나 러시아-우크라이나 전쟁으로 인해 무기한 연기된 상태이다. 1~3호 위성은 광학 센서를 중심으로 하고 5호 위성은 SAR 센서로 영상을 획득한다. 6~7호 위성은 초정밀 광학 및 적외선 센서를 탑재하였다.

4. 원격위성 탐사자료의 보정

광학센서(Optical Sensor)를 통해 수집되는 원격위성 탐사자료는 지표면에 대한 정보를 제시할 때, 대기 상태에 따라 노이즈가 발생하거나 위성의 궤도 및 지구 자체의 곡면 오차로 인해 자료의 왜곡과 훼손이 나타날 수 있다. 이는 수집된 데이터의 분석을 진행할 시 오차 요인의 존재를 인식해야 함을 뜻한다. 따라서 원격위성 탐사자료를 분석할 때는 분석 전 적합한 형태로 영상자료를 보정해야 한다. 이를 영상의 전 처리 과정이라고 부르며 방사보정, 지형보정, 기하보정, 대기보정으로 구분한다.

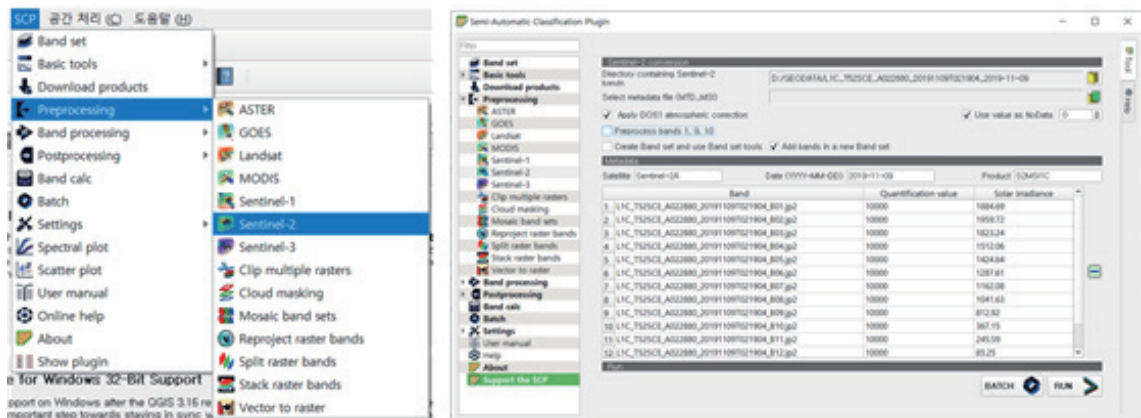


그림 4. SCP(Semi-Automatic Classification Plugin)활용 위성영상 전처리

5. 광학지수

5.1. 분광반사 특성

그림 5는 위성영상의 물, 토양, 식물에 대한 분광반사특성을 보여준다. 식물의 경우 활력이 우수하고 건강할 경우 가시광선파장 영역내의 ($0.4\mu\text{m} \sim 0.7\mu\text{m}$) $0.55\mu\text{m}$ 근처에서 높은 반사율을 나타낸다. 한편, $0.65\mu\text{m}$, $1.4\mu\text{m}$, $1.9\mu\text{m}$ 파장에서 볼 수 있는 반사율의 감소는 식물의 광합성 작용을 위해 태양으로부터 들어오는 광선을 선별적으로 흡수하고, 그 외 다른 파장대 영역의 광선은 반사시키기 때문에 나타나는 현상이라 할 수 있다. 물에 대한 반사율은 약 $0.5\mu\text{m}$ 부터 파장이 증가함에 따라 반사율이 감소하여 근적외선 범위에서의 반사율은 사실상 0을 나타낸다. 토양 곡선은 식물과 물에 비해 상대적으로 규칙적인 변화를 보여주지만 토양 질감, 표면의 거친정도, 유기물의 존재 등에 의해 영향을 받을 수 있다. 이와같이 파장에 따른 분광반사 특성을 통해 산림 피복변화를 추정할 수 있다.

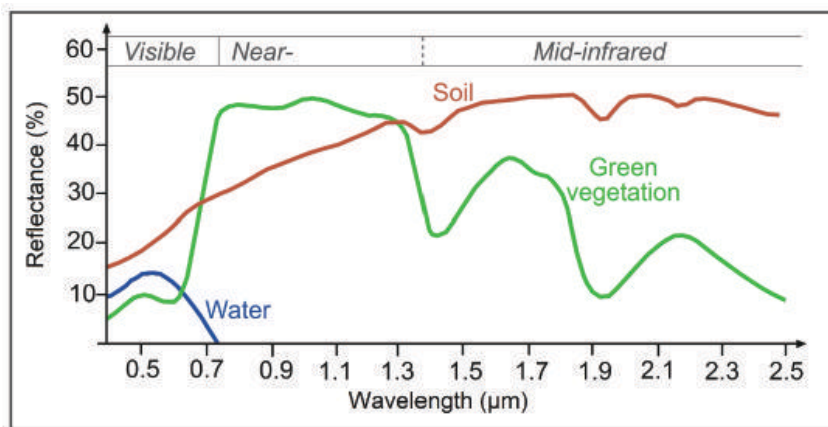


그림 5. 파장(μm)에 따른 물, 토양, 식물의 분광반사율 곡선 (출처 : seos-project.eu)

5.2. 정규식생지수(NDVI)

정규식생지수(NDVI: normalized difference vegetation index)는 Landsat 위성영상 밴드 에서 근적외선 영역($0.7 \sim 1.1\mu\text{m}$)과 가시광선 중 적색 영역($0.6 \sim 0.7\mu\text{m}$)만을 사용하여 계산하는 식으로, 식생 특성과의 상관관계가 높아 전 세계적으로 가장 많이 활용되는

지수이다. 이 지수는 Kriger(1969)에 의해 처음 설명되었고, Rouse(1973) 등이 활용사례를 제안하여 주로 식생의 활력도로 해석된다.

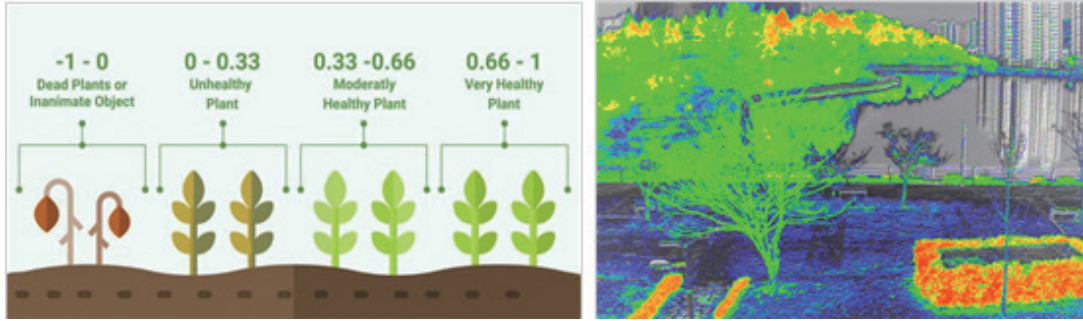


그림 6. NDVI의 예 (출처: EOS DATA ANALYTICS)

식생이 활발한 생장을 보이는 지역은 근적외선 영역의 반사율이 크기 때문에 그림 6과 같이 1에 가까운 높은 값을 보인다. 반면, 나지나 토양은 반사도의 차이가 거의 없으므로 0에 가까운 근사치를 보이며, 음수 값일 경우 적색 영역 반사율이 높은 구름이나 적설, 수계 등으로 판단할 수 있다. 따라서 계산된 지수는 -1부터 1의 사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 식생활력도가 높음을 뜻한다.

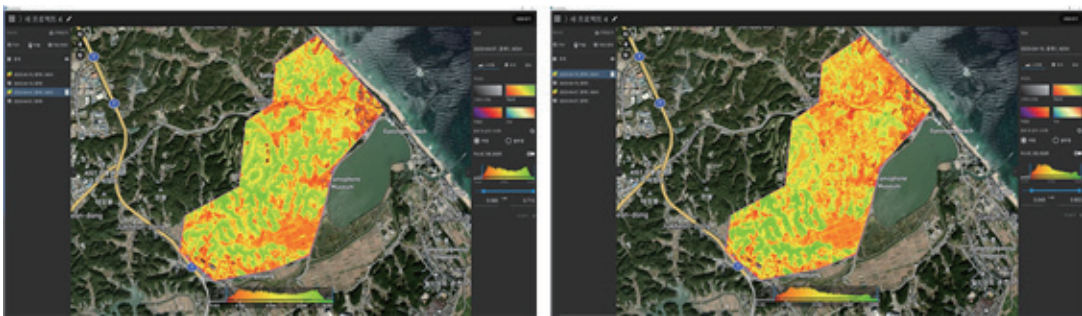


그림 7. 산불직후 NDVI 지수변화(붉은색 부분: 산불피해지-식생활력도 저하)

5.3. 정규수분지수(NDWI)

정규수분지수(Normalized Difference Water Index)는 잎의 수분 함량변화로 계산되는

광학지수이다. NDWI 광학지수는 Gao(1996)에 의해 처음 활용되기 시작하였는데 주로, 근적외선(NIR)과 단파장 적외선(SWIR)을 사용한다. 이후, McFeeters(1996)에 의해 근적외선(NIR)과 가시광선 녹색 파장($0.5\sim0.6\mu\text{m}$)을 통해 수역의 수분 함량 변화를 감지하는 용도로 활용되었다. NDWI는 식생의 수분 함유량을 파악하여 산불과 산사태 등 산림 재해관리에 이용할 수 있으며, 농작물재배지를 분류하거나 재배면적 산출을 통해 작황조사에 활용할 수 있다. 특히 정규식생지수와 함께 지역의 변화를 탐지하는데 사용하기도 한다. NDWI 결과는 -1에서 1의 사이의 값을 보이며, 결과에 대한 해석은 NDVI와 흡사하다.

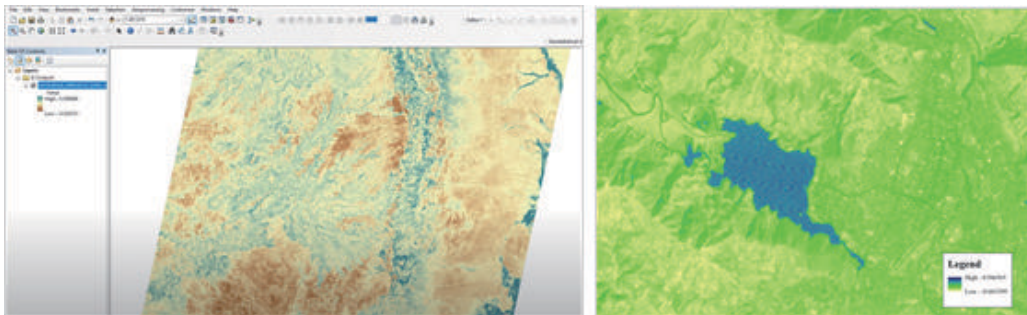


그림 8. Landsat-8 위성영상을 활용한 정규수분지수(NDWI) 분석

6. 결론

이처럼 위성영상을 활용한 국토자원의 분석은 광범위한 지역의 정보를 효과적으로 파악할 수 있다. 특히, 토지피복 분류와 같은 국토자원을 정량적으로 분석하고 시계열적 자료로 축적하여 변화 탐지와 예측이 가능한 장점을 가진다.

한편, 위성영상의 분석과정에는 여전히 한계가 존재한다. 분석결과에의 정확성은 오랜 숙제이며, 분석자의 의도나 자료의 품질에 따라 분석결과가 좌우될 수 있다. 따라서 위성영상처리 분석은 전문적인 접근이 필요하며, GCP나 트레이닝 데이터에 필요한 정확한 자료수집과 일관성 있는 분석방법을 수립할 필요가 있다.

또한 GIS자료와의 결합 및 현장조사, 지형도, 기타 주제도 등과 같은 추가적인 데이터를 더하여 분석의 정확도를 향상시키기 위한 노력이 필요할 것으로 생각된다.



부 록

- 정 관

170

- 회원명단

179

- 주요일지

180

- 연도별 회지 목록

183

부 록

정 관

1996. 8. 9 허가
1998. 4. 28 개정
1999. 11. 13 개정
2001. 3. 26 개정
2005. 12. 6 전문개정
2009. 10. 1 개정
2017. 8. 14 개정
2019. 3. 29 개정
2020. 3. 31 개정
2020. 11. 23 개정
2021. 4. 9 개정
2022. 4. 11 개정
2023. 5. 9 개정

제 1 장 총 칙

제1조 (명칭) 본 회의는 사단법인 한국산지환경연구회(이하“본회”)라 한다.

제2조 (목적) 본 회의는 산림환경에 관련된 종합적인 조사·연구와 과학적인 산림자원 관리 및 산림정책 수립에 필요한 산림자원 통계의 생산 및 정보 제공으로 임업발전에 기여하며 사업을 통하여 취약계층에게 일자리를 제공하고 사회서비스를 확충하며 사회에 공헌함을 목적으로 한다.

제3조 (사무소) 본 회의 주 사무소는 경기도 남양주시에 두고 필요에 따라 특, 광역시 및 각도에 지회를 둘 수 있다.

제4조 (사업) 본 회의는 제2조의 목적을 달성하기 위하여 다음 각 호의 사업을 행한다.

① 다음 각 호의 사업에 대하여 조사 및 연구·개발한다.

1. 산림자원조사 및 모니터링

2. 산림입지환경조사 및 산지이용구분조사
3. 산림자원의 가치 및 지속가능성 평가
4. 산림생태환경의 조사 및 영향평가
5. 산림경영계획의 작성
6. 산림재해 방지 및 수자원 보존을 위한 오염실태조사
7. 원격탐사기법 등 산림측정 기술개발 연구
8. 산림지리정보 시스템개발 및 DB구축
9. 산림토양의 이화학적 분석 및 평가
10. 임업소득 향상을 위한 교육, 임산물의 조사 및 생산단지 조성지에 대한 컨설팅
11. 수목의 피해원인 조사, 진단 및 평가
12. 기타 임업에 관련한 자문 및 컨설팅
- ② 임업기술과 관련된 해외 기술협력 및 정보교환
- ③ 본 회 목적과 관련된 정보수집, 교류, 세미나, 기술교육 및 간행물 발간
- ④ 본 회 목적과 관련된 사업의 수탁 및 용역

제 2장 회 원

제5조 (회원의 구성) 본 회의 회원은 정회원 및 일반회원으로 한다.

제6조 (회원의 자격)

- ① 정회원은 본 회의 목적에 동의하고 회원가입을 원하는 개인 또는 단체
- ② 일반회원은 본 회 및 임업발전에 기여한 자

제7조 (회원의 가입) 본 회의 회원으로 가입하고자 하는 자는 소정의 가입신청서를 제출하고 이사회의 승인을 얻어야 한다.

제8조 (회원의 권리)

- ① 정회원은 임원에 대한 선거권, 피선거권(단체회원 제외) 및 총회에서의 발언권과 의결권을 가진다.

- ② 일반회원은 발언권만 가진다.

제9조 (회원의 의무) 본 회의 회원은 정관규정을 준수하고 이에 따른 규정과 총회 및 제반업무 수행에 적극 협조 하여야 한다.

제10조 (회원의 탈퇴, 자격상실, 제명 및 자격정지)

- ① 회원은 임의로 탈퇴할 수 있다.
- ② 금치산, 파산선고, 사망 및 제명 처분을 받았을 때에는 자격을 상실한다.
- ③ 제9조의 의무를 이행하지 않거나 본 회의 목적에 위반 행위를 한 자는 이사회의 의결에 의하여 제명할 수 있다.

제 3장 임원 및 조직

제11조 (임원의 구성) 본 회의는 다음의 임원을 둔다.

- ① 회 장 : 1인
- ② 부 회 장 : 1인
- ③ 등기이사 : 7인이내(근로자대표 1인 포함)
- ④ 상임이사 : 1인
- ⑤ 감 사 : 1인

제12조 (임원의 자격 및 선출)

- ① 임원은 이사회의 제청으로 총회에서 선출한다.
- ② 상임임원은 3인 이내로 하되 회장, 부회장 및 상임이사로 한다.
- ③ 회장 및 부회장은 비상임으로 할 수 있다.

제13조 (임원의 임기)

- ① 상임임원의 정년은 만65세 되는 당해년도 말까지로 한다.
- ② 회장의 임기는 3년으로 하고 연임할 수 있으며, 그 임기는 최대 6년으로 하되 상임임원의 정년연한 이내로 한다.

- ③ 회장 취임 후 정년이 도래되어 3년 임기를 채우지 못할 경우 그 임기는 3년 으로 한다.
- ④ 보선에 의하여 취임한 임원의 임기는 전임자의 잔여임기로 한다.
- ⑤ 회장을 제외한 임원의 임기 중 궐위 또는 유고 시 이사회의 의결을 거쳐 선임하고 총회에 보고한다.
- ⑥ 감사의 임기는 2년으로 하고 연임할 수 있다.
- ⑦ 등기이사 임기는 3년으로 하고 연임할 수 있다.

제14조 (임원의 직무) 임원은 다음의 직무를 행한다.

- ① 회장은 본 회를 대표하여 업무를 총괄하고 총회와 이사회의 의장이 된다.
- ② 부회장은 회장을 보좌하며 회장 유고시에는 부회장 중에서 연장자순 으로 그 직무를 대행한다.
- ③ 상임이사는 회장의 명을 받아 이 조사연구회의 업무를 집행한다.
- ④ 이사는 이사회에 참석하여 본회의 업무추진에 관한 사항 및 의안을 심의·의결한다.
- ⑤ 감사는 본 회의 재산 및 업무집행 상황을 감사하여 총회에 보고하고 이사회에 참석하여 의견을 진술할 수 있다.

제15조 (임원의 보수)

- ① 상임임원은 유급으로 한다.
- ② 비상임임원은 근무기간을 정하거나 출장 등 외부에서 업무수행 시 보수 또는 수당을 지급할 수 있다.

제16조 (임원의 해임) 임원은 다음 각 호의 1에 해당하는 경우 총회의 결의로 해임할 수 있다.

- ① 본 회의 명예를 훼손하였을 때
- ② 본 회의 부정행위가 있을 때
- ③ 고의 또는 중대한 과실로 본 회의 중대한 손실을 초래한 때
- ④ 재적회원 3분의 1이상이 해임 요구가 있을 때

제17조 (고문, 자문위원 및 전문위원)

- ① 본 회의 연구발전과 조사기술개발에 대한 자문을 받기위하여 고문, 자문위원 및 전문위원을 둘 수 있다.

- ② 자문이나 회의참석 시 소정의 수당을 지급할 수 있으며, 업무수행을 위해 기간을 정하여 근무할 경우 보수는 별도의 기준으로 지급할 수 있다.
- ③ 고문, 자문위원 및 전문위원은 이사회의 의결을 거쳐 회장이 위촉한다.

제18조 (조직) 본 회의 업무를 원활하게 수행하기 위하여 필요한 조직 및 업무분장 등에 관한 사항은 내규로 정한다.

제 4장 회 의

제19조 (회의 종류) 본 회의 회의는 총회 및 이사회로 한다.

제20조 (총 회)

- ① 총회는 정기총회와 임시총회로 한다.
- ② 정기총회는 매년 2월중에 개최하고 회장이 소집한다.
- ③ 임시총회는 회장이 필요하다고 인정할 때, 재적이사 3분의 1이상의 요청이 있을 때, 재적회원 3분의 1이상의 요청이 있을 때, 또는 감사가 긴급을 요하는 중요한 사유를 발견 할 때 회장이 소집한다.
- ④ 총회는 다음 각 호의 사항을 심의 결의한다.
 1. 사업계획, 예산 및 결산에 관한사항
 2. 정관개정 및 법인의 해산에 관한사항
 3. 임원선출 및 해임에 관한 사항
 4. 사업계획 및 사업보고에 관한 사항
 5. 기타 중요한 사항
- ⑤ 총회는 재적회원 과반수의 출석으로 개최하고 출석회원 과반수의 찬성으로 의결한다.
- ⑥ 총회의 의사결정을 과정 등을 명확히 하기 위하여 의사록을 작성하고 의장과 출석한 이사는 기명 날인 또는 서명한다.

제21조 (이사회)

- ① 본 회의는 회장, 부회장, 이사, 상임이사로 구성되는 이사회를 둔다.

- ② 이사 중 1인은 근로자 대표로 선임하며, 서비스 수혜자 또는 관련단체나 연계기업 대표 등 다양한 이해관계자를 이사로 선임한다.

제22조 (이사회 개최)

- ① 이사회는 회장이 필요하다고 인정하거나 재적이사 과반수이상의 요구가 있을 때에는 회장이 이를 소집하여야 한다.
- ② 회장이 이사회를 개최하고자 할 때에는 회의개최 7일 이전에 목적, 일시, 장소를 정하여 이사에게 통지하여야 한다.

제23조 (이사회 의결사항) 이사회의 의결사항은 다음과 같다.

- ① 업무의 집행에 관한 사항
- ② 사업계획의 운영에 관한 사항
- ③ 예산, 결산서 작성
- ④ 총회에서 위임 받은 사항
- ⑤ 정관에 의하여 그 권한에 속하는 사항
- ⑥ 기타 회장이 필요하다고 인정하는 사항

제24조 (의결정족수) 이사회는 구성원 과반수의 출석으로 개최하고 출석인원 과반수로 의결하되 가부동수일 때에는 의장이 이를 결정하고 필요에 따라 서면으로 결의할 수 있다.

제 5장 재산 및 회계

제25조 (재산 및 재정) 본 회의 재산과 재정은 다음 수입으로 충당한다.

- ① 사업수익금
- ② 찬조금, 기부금
- ③ 기타 수입금

제26조 (회계연도) 본 회의 회계연도는 정부의 회계연도에 준한다.

제27조 (예산의 편성) 회장은 사업연도 초에 사업계획서와 예산을 편성하여 이사회의 의결을 거쳐 총회의 승인을 받아야 한다.

제28조 (예산의 결산) 회장은 매 회계연도 종료 후 2개월 이내에 회계연도 말 현재 감사의 의견서를 첨부하여 사업보고서와 세입·세출결산서를 이사회의 의결을 거쳐 총회의 승인을 받아야 한다.

제29조 (잉여금의 처분) 회계연도 말에 잉여금이 생긴 때에는 총회의 결의에 따라 그 전부 또는 일부를 재산으로 적립하거나 다음 회계연도에 이월시켜야 한다.

제 6장 지 회

제30조 (설치) 본회는 제3조의 규정에 의하여 필요한 지역에 지회를 둘 수 있다.

제31조 (운영) 각 지회는 본회의 정관에 준하여 운영한다.

제32조 (지회장 선출) 각 지회는 지회장, 총무를 선출하고 선출 즉시 임원명단, 회의록 및 취임 승낙서를 첨부하여 본회 대표에게 보고하고 인준을 받아야 한다.

제 7장 보 칙

제33조 (감사) 본회의 감사는 정관 제14조 제5항의 규정에 따라 회의 업무 및 재무에 관한 사항을 연 1회 이상 감사하여 총회에 보고해야 한다.

제34조 (해산) 본회의 해산은 이사회의 의결을 거쳐 총회에서 회원의 3분의 2이상의 출석과 3분의 2이상의 찬성으로 의결하여 산림청장에게 신고하여야 한다.

제35조 (청산 재산의 처리) 본회의 청산 잔여재산은 산림청장이 지정하는 국가, 지방단자치단체

또는 유사목적을 가진 다른 비영리 법인에 귀속한다.

제36조 (정관의 개정)

- ① 정관의 개정은 재적회원의 과반 수 이상의 출석과 출석회원 3분의 2 이상의 찬성으로 의결한다.
- ② 전항의 정관개정은 주무부처의 승인을 받아야 한다.

부 칙 (1996. 8. 9)

- ① (시행일) 본 정관은 산림청장의 허가 날로 부터 효력을 발생한다.
- ② (경과조치) 허가당시 창립총회에서 선출된 임원은 본 정관에 의하여 선출된 것으로 본다.
- ③ 본 정관에 없는 사항은 법령 및 관례에 따른다.

부 칙 (1998. 4. 28)

- ① (시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

부 칙 (1999. 11. 13)

- ① (시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

부 칙 (2001. 3. 26)

- ① (시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

부 칙 (2005. 12. 6.)

- ① (효력발생) 이 정관은 산림청장의 허가를 받아 등기한 날로부터 그 효력을 발생한다.
- ② (준용) 이 정관에 규정되지 아니한 사항은 민법의 규정에 의한다.
- ③ (경과규정) 이 정관 개정당시 재임중인 임원의 임기는 2007년 2월 말일 까지로 한다.

부 칙 (2009. 10. 1.)

- ① (효력발생) 이 정관은 산림청장의 허가를 받아 등기한 날로부터 그 효력을 발생한다.
- ② (준용) 이 정관에 규정되지 아니한 사항은 민법의 규정에 의한다.
- ③ (경과규정) 이 정관 개정당시 재임중인 임원의 임기는 잔여임기 까지로 한다.

부 칙 (2017. 8. 14.)

- ① (효력발생) 이 정관은 산림청장의 허가를 받아 등기한 날로부터 그 효력을 발생한다.
- ② (경과규정) 이 정관 개정 당시 명예회원은 일반회원으로 가입 된 것으로 본다.

부 칙 (2019. 3. 29.)

- ① (효력발생) 이 정관은 산림청장의 허가를 받아 등기한 날로부터 그 효력을 발생한다.
- ② (경과규정) 제13조 ①항에서의 상임임원 임기는 2018년 12월말 현재 근무중인 상임임원에 한하여 1년의 유예기간을 두어 만66세로 한다.

(사)한국산지환경연구회 회원 명단

임원

- 회 장 : 변재경
- 이 사 : 심중보 이윤희 박영규 최인규
- 고 문 : 류택규 김규현 안병영
- 감 사 : 김종찬
- 부 회 장 : 김정환

| 자문위원 | 김석권, 김성식, 박승종, 박재순, 송장호, 이동섭, 오종환, 전현선, 홍인표

| 전문위원 | 배상원, 문일성, 조병훈

| 정회원 (10명) | 김기남, 김정환, 김종찬, 박영규, 박성범, 변재경, 심중보, 이윤희, 최인규, 안효진

| 일반회원 (40명) | 구창덕, 김경하, 김규현, 김석권, 김선경, 김성식, 김소현, 김용석, 김윤경, 김재원, 김철수, 김춘식, 류주형, 류택규, 문일성, 박병배, 박승종, 박재순, 박종해, 배상원, 서호석, 성주한, 손요환, 송장호, 안병영, 오종환, 이동섭, 이대섭, 이창우, 장영기, 전현선, 조병훈, 조재형, 지성구, 최 경, 최명섭, 최형태, 홍인표, 홍의기, 황효태

주요 일지

설립약사

- 1995. 10.29. 창립총회
- 1996. 8. 9. 사단법인 설립허가(산림청장)
- 1996. 8.31. 법인등기(등록번호 115221-0001820)
- 1996. 9. 9. 사업자등록(등록번호 132-82-03732)
- 1998. 4.28. 제1차 정관개정 승인
- 1999. 11.13. 제2차 정관개정 승인
- 2001. 3.17. 산림사업을 목적으로 설립된 법인등록(산림청 제2001-5)
- 2001. 3.26. 제3차 정관개정 승인
- 2005. 12. 6. 제4차 정관개정(전문개정)승인
- 2009. 10. 1. 제5차 정관개정 승인
- 2011. 2.28. 소프트웨어 사업자 신고(신고번호 B11-39525)
- 2011. 3.23. 엔지니어링 활동주체 신고(신고번호 12-000210)
- 2017. 8.14. 제6차 정관 중 일부개정 승인
- 2018. 7.29. 시험검사 및 분석기관 등록
- 2019. 3.11. 임업소득분야 전문교육기관 지정
- 2019. 3.29. 제7차 정관개정 승인
- 2019. 8.13. 산림형 예비 사회적기업 지정
- 2019. 8.26. 초경량비행장치 사용사업 등록
- 2021. 9.16. 농약 등의 약효·약해 시험연구기관 지정
- 2022. 9.16. 사회적기업 인증(고용노동부)
- 2023. 10.13. 측량업(지도제작업)등록(국토지리정보원)
- 2024. 2.27. 1997. 2. 21. 제1차 정기총회 이후 2024년까지 제28차 정기총회 개최

주요 사업실적(1996년~2023년)

- 2022년 산림공간정보 조사구축 품질관리 '22
- 임상도 정보변경 및 사전 조사 '22
- AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축 사업 '22
- 소나무재선충병 예찰조사

- AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축(2022~2023) : 학습데이터 약 34,000건 구축
- 무인항공기 예찰조사 영상분석(2020~2023) : 약 1,800,000ha
- 무인항공기 예찰조사 품질관리(2019) : 약 88,000ha
- 산림입지조사 및 1:25,000 산림입지도 제작
 - 산림입지조사(1996~2000년) : 1,640,975ha
 - 산림입지조사 보완(1999~2002년) : 1,040,494ha
 - 산림입지구획을 위한 항공사진 판독(1996~2000년) : 2,485,014ha
- 국유림경영계획 작성을 위한 산림조사
 - 산림조사면적(2000~2011년) : 298,987ha
 - 조사 경영계획구 : 27개 경영계획구
 - 조사 경영구명 : 철원, 인천, 원통, 영해, 보은(보완), 단양(보완), 성산, 울릉, 단양, 진안, 무주(보완), 진부, 교가, 옥천, 화천, 화성, 순천, 기린, 보은, 순천, 포항, 곡성, 창촌, 대전, 횡성, 국립수목원, 공주(보완)
- 국유림 잡종재산 실태 조사 : 2,877필지
- 산림정밀지도 제작 및 활용시스템 구축
 - 사업기간 : 2007~2009 (3년간)
 - 조사지역 : 단양(64,219ha), 경주(34,683ha), 달성(26,079ha)
- 공원지역 토양조사
 - 서울숲 및 부산 경남경마공원 토양조사 : 2009년 2건
 - 인천 송도지구 삼성바이오로직스 조경공사지 토양조사 : 2012년 1건
- 연구용역
 - 사방댐 및 황폐지 복구등 사방 관련 시험연구 4건
 - 민통선지역의 산림토양 및 산지이용실태 조사연구 1건
 - 산림훼손실태 및 건강모니터링 1건
 - 광릉, 제주시험림의 입지환경조사 및 토양도 작성 2건
 - 국·사유양묘장 토양조사(2006~2023) : 국유양묘장 31, 사유양묘장 15
 - 임지생산 능력급수도 현행화 및 임상·토양정보 활용모델개발 : 2012년 1건
 - 광릉숲 토양속성 및 공간분포 특성조사 1건
 - 광릉시험림 정밀 산림조사(산림생산기술연구소) 1건
 - 녹색자금 숲체험 교육사업 1건
 - 산림수자원 유역시험지 정밀산림입지토양도 제작 3건
 - 산림물지도 제작을 위한 현장 토양조사 및 토양분석 1건
 - 수원함양림 임분 및 토양환경 실태조사 1건

- 소나무 재선충병 선단지 무인기 예찰조사 1건
- 전국 땅밀림 우려지 추출 및 조사기법 개발 연구 1건
- 산림공간정보 구축 효율화 및 개선방안 마련 1건
- 우리나라의 주요 모암 및 해발고도별 산지적응이 강한 산양삼 품종 선발 1건
- 전국 단위 현지조사를 통한 간벌 및 수확벌채가 산림탄소 저장에 미치는 영향 구명 1건
- 외국 관련 용역
 - 중국 서부지역(5개지역) 조림사업 PMC용역 1건
 - 미얀마 중부지역 녹화시험단지 조성사업 1건
 - 중국 북경지구 산림종합경영 시범사업 PMC용역 1건
- 산림공간정보 구축사업
 - 1:5,000 산림입지도양도 제작 : 2008년~2021년까지 5,118도엽(1,962,000ha)
 - 1:5,000 입상도 현행화 : 2009년~2021년까지 자연적변화 4,489도엽, 인위적변화 19,894도엽
 - 접경지역 입상도 감리 : 2013년 670도엽의 12%(81도엽)
- ‘산지환경’회지 발간 : 27회
- 산림토양 세분류 조사 : 3년
- 산양삼 생산적합성조사 시료채취 및 생산과정 확인 : 적합성조사 1,513건, 생산과정확인 3,491건

2023년 수행사업

- 2023년 소나무재선충병 무인항공기 예찰조사(영상분석) [한국임업진흥원]
- 소나무재선충병 지역별 발생 현황 분석 및 주제도 제작 [(사)한국수목보호협회]
- 2023년 소나무재선충병 무인항공기 예찰조사(2구역-송광) 용역 [순천시]
- 조림 시험지 조성 관리 및 조림목 생육특성 조사 [국립산림과학원]
- 전국 단위 현지조사를 통한 간벌 및 수확벌채가 산림탄소 저장에 미치는 영향 구명 [산림청]
- AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축 사업 [정보통신산업진흥원]
- 2023년 국유양묘장(춘양, 서벽) 토양조사 [산림청]
- 경상북도 울진군 산림복원 타당성 평가 토양조사 [(사)한국산림복원협회]
- 담양 제2일반산업단지 정밀 산림토양조사 용역 [담양군]
- 인제군 제2의 자작나무숲 조성대상지 적합성조사 용역 [인제군]
- 2023년 임산물 소비촉진 공모사업 [산림청]
- 토양시료분석 [한국산림복원협회, 한국치산기술협회, 강원대학교 등]

연도별 회지 목록

창간호 1998

창간사	김태옥
축 사	
산지환경 창간호 발간을 축하하며	이보식
격려사	
전문회지로 발전하기를 기원하며	이여하
산지환경지 창간을 축하하며	김사일
산림경영과 산지환경	
산지환경과 산지활용	류택규 / 9
특별기고	
산림청에서는 이런일을 하고 있다	산림청 공보실 / 16
논 단	
자연친화적 산지개발을 위한 생태학적 고찰	이창석 · 유영한 / 19
숲의 중요성	전영우 / 39
생물다양성과 산림 생태계	조현제 / 50
입지환경	
산림토양조사 역사	정진현 / 63
우리나라의 산림입지조사	안병영 / 76
제 언	
효과적인 산림입지조사 추진방향	김시민 / 104
산림종합 정보망 구축에 의한 우리의 미래상	이광섭 / 106
국내외 기술정보	
독일의 산림입지조사	배상원 / 108
미국의 토양 분류체계	박관수 / 119
국가지리정보 체계의 구축과 산림입지환경조사	마호섭 / 123
부 록	
정관, 회원명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 129

제 2호 1999

머리말

김태옥

논 단

산림기능평가와 산림관리	김현식 / 5
산림과 水 환경	손희만 / 13
산림토양분야연구의 발전과 전망	손요한 / 16
지역개발과 산림	안상남 / 24

특 집

1998산사태 발생특성과 21세기를 대비한 방재대책	최 경 / 31
물 순환과정 조절을 통한 친환경적 산원수자원증대방안	정용호 / 51

입지환경

바람직한 산지 구릉지 개발의 추진방향에 관한 소고	최영국 / 64
지구환경오염을 말한다(I)	이충화 / 84
산림생산력과 임지양분유효도 향상	김춘식 / 88
석회암지역의 임지관리	안병영·김정환 / 92

제 언

산지환경개선을 위한 산림경영방안	이병기 / 98
21세기를 향한 산지환경정책	김동수 / 100

국내외 기술 정보

뉴질랜드 토지이용의 지속가능성의 문제	구창덕 / 102
독일 헛센주의 산림입지조사	배상원 / 113

부 록

회원명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 124
---------------------	-------

제 3호 2000

머리말

김태옥

논 단

산지 관리제도(요약) 해설	전범권 / 5
풍요로운 새 천년을 위한 임업 설계	이원규 / 11
대기오염(산성비)에 의한 산림피해 현상과 대책	유정환 / 17
도시산림, 녹지의 중요성과 식생관리계획	조현제 / 26
토양 중 탄소축적에 대한 산림경영의 영향	박관수 / 32
기후변화와 산림내 탄소	김춘식 / 39

특 집

21세기 임업과학의 전망	심종섭 / 44
영월댐이 하류 수질환경에 미치는 영향	김범철 / 46

입지환경

생태띠숲 조성관리(I)	구교상 / 54
송이 증산을 위한 입지환경	김재수 · 구창덕 / 60
자생식물을 이용한 임도비탈면 복원	박완근 / 65
지구환경오염을 말한다(II)	이충화 / 73

국내외 기술 정보

산림입지도의 활용	배상원 / 76
산사태 유형	최 경 / 81
수량 수질확보를 위한 수원함양보안림 확충 및 관리	정용호 / 94

부 록

정관, 회원 명단 및 임원 주소록	/ 108
--------------------	-------

제 4호 2001

머리말

김태옥

논 단

임업경영과 환경보전과의 관계해명	김사일 / 5
제3종 수원함양보안림 실태 및 대책	정용호 / 9
생태학을 응용하는 개념과 경관임업	구창덕 / 16
산림은 깨끗한 에너지의 보고	박순조 / 22

특 집

국토생태통합 네트워크의 구축과 관리방향	김선희 / 24
지속가능한 산림경영을 위한 활용 방안	정진현 /

39입지환경

산불발생임지의 토양특성 변화	김춘식 / 47
폐탄광지 현황과 복구공법	최 경 / 56
지구환경 오염을 말한다(III)	이충화 / 81

국내외 기술 정보

일본의 환경친화적 계류사방	전근우 / 87
식물을 이용한 오염물질 정화	유정환 / 94
산림유역의 물 순환과 유역시험 결과	김경하 / 102
국내의 흰개미 분포 및 피해	강창호 / 116

제 언

임업계를 대변할 비정부기구(N.G.O)육성	박순조 / 121
-------------------------	-----------

부 록

정관, 회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 124
--------------------------	-------

제 5호 2002

머리말	류택규
논 단	
21세기 국유림 관리 기본방향	김용하 / 5
지속가능한 생태를 향한 조림	구창덕 / 20
소나무재선충의 피해와 방제방안	신상철 / 26
특 집	
일본에 있어서 수변지역 관리와 보전(I)	전근우 / 34
백록담 분화구의 수리 수문학적 특성	정용호 / 43
수변구역 산림의 수원함양 및 수질정화기능 증진을 위한 몇 가지 방안	박재현 / 51
입지환경	
황사현상과 발원지의 황사방지 방법	이천용 / 92
중국의 방호림대와 모래막이 울타리의 사막화 방지기능	최 경 / 99
밤 재배지의 토양특성 변화 및 재배적지	구교상 / 113
기 술	
산불의 대형화와 위험지역 구분	이시영 / 120
국립공원 자연자원조사	송인순 / 131
자연 친화적 산지기계류 복원기법(I)	김경하 / 138
묘포 토양의 특성 및 관리방안	변재경 · 정진현 / 153
제 언	
광릉숲 보존에 관하여	김도경 / 174
부 록	
정관, 회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 178

제 6호 2003

머리말

류택규

특별기고

산지환경조사연구회에 바란다

조정무 / 5

전국토 완전녹화 기념관 건립을 촉구함

김사일 / 7

논 단

사유림 경영 활성화를 위한 대안

김의경 / 11

새로운 산림조사의 체계 및 방향

이승호 / 16

특 집

일본에 있어서 수변지역 관리와 보전(II)

전근우 / 33

계곡 및 야계에 설치되는 인공구조물의 순기능과 역기능에 관한 고찰

박재현 / 42

입지환경

임지 산성화의 생태적 의미와 회복을 위한 토양개량

이승우 / 61

전국 산림입지조사 및 수치산림입지도 구축 활용 방안

원형규 · 정진현 / 70

국내외 기술 정보

자연 친화적 산지계류 복원기법(II)

김경하 / 82

일본의 오존, 산성비 및 토양산성화에 대한 연구동향

이충화 / 95

중국 서부지역 사방조림 지원사업 현장 정밀조사

안병영 / 105

제 언

우리나라 국유림 경영관리에 대한 제언

최정기 / 123

북한의 식량사정과 사방조림을 통한 지원 필요성

이태수 / 127

부 록

정관, 회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지

/ 132

제 7호 2004

머리말	류택규
산림정책	
2004년도 산림정책 방향	김남균 / 5
논 단	
우리나라 수원함량 보안림제도에 대한 고찰	김사일 / 14
지구규모의 환경파괴와 토양	이원규 / 23
특 집	
일본에 있어서 수변지역의 관리와 보전(III)	전근우 / 28
계곡 및 야계에 설치되는 인공구조물의 관리전략	박재현 / 35
입지환경	
산림사업관리가 산림토양에 미치는 영향	김춘식 / 68
국내외 기술정보	
뉴질랜드 라디아타소나무의 지속가능한 조림	구창덕 / 73
산림경관 보전을 위한 철강재 사방댐의 경관향상 기법개발	안병영 · 최경 · 오종환 · 홍한표 / 89
중국서부지역 사방조림 지원사업 추진방향	최 경 / 119
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	/ 132

제 8호 2005

머리말

류택규

산림정책

숲다운 숲을 가꾸어 산림복지 국가를 이룩합시다

조연환 / 3

특별기고

백두대간 보호에 관한 법률의 허와 실

김사일 / 8

경기도 산지전용 현황과 관리대책

황인표 / 12

산불피해지 수토보전기능 실태 및 조기회복 방안

정용호 / 19

전국산림입지조사 성과와 수치산림입지도 구축

정진현 / 31

수치산림입지도의 효율적인 활용방안 제시

안병영 / 42

논 단

일본에 있어서 수변지역의 관리와 보전(IV)

전근우 / 44

중국의 산림피해 및 대기오염 실태

이충화 / 49

중국서부지역 사방조림 지원사업 추진현황과 성과(I)

최 경 · 안병영 / 54

북한의 산림황폐 실태 및 복구 전략

박재현 / 84

연구논문

산사태의 지질학적 원인

박 경 · 임주훈 · 이명보 / 102

산불로 인한 산림토양의 변화

이계한 / 114

해외정보

산림경영을 위한 입지와 임분형 구분

배상원 / 122

제 안

임도시설시 고려하여야 할 사항

윤하공 / 130

부 록

정관, 회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지

/ 135

제 9호 2006

머리말	류택규
축 사	서승진
축 사	김성훈
산림정책	
우리나라 산림정책 현안과 과제	김사일 / 7
논 단	
수목을 이용한 환경 오염지 정화기술	이충화 / 14
조사연구	
2005년 중부지역 산림건강 모니터링 조사연구	오종환 / 18
동해광산 북구지역의 생태환경조사연구	최 경 외 / 31
비무장지대에 인접한 민통선지역의 유존군락 및 산림이용실태 조사연구	홍인표 / 47
광릉시험림의 천연림소나무 보존대책	안병영 외 3 / 62
산림경관 보전을 위한 철강재사방댐의 경관향상 기법개발	안병영 외 8 / 73
제주시시험림 서귀포 상호지역 산림입지환경 조사연구	안병영 외 3 / 83
조사용역사업	
전국산림입지조사	한국산지환경조사연구회 / 91
국유림 영림계획 산림조사	한국산지환경조사연구회 / 92
수도권 잡종재산 실태조사	한국산지환경조사연구회 / 94
전국 선사유적지 토양조사	한국산지환경조사연구회 / 95
해외사업	
중국서부지역 사방조림 지원사업 추진현황과 성과	최 경 외 6 / 103
미얀마중부지역 산림녹화시범단지 조성사업	류택규 외 3 / 118
중국북경지구 산림종합경영 시범사업	최 경 외 2 / 131
부 록	
정관, 회원명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 138

제 10호 2007

머리말	김규현 / 3
특별기고	
몽골사막지역에 녹화성공신화 다시 쓴다	윤영균 / 5
지구온난화 방지를 위한 지속가능한 바이오 에너지 개발	김사일 / 8
논 단	
국유림경영과 산림경영인증	백을선 / 13
산림경영 인증의 이해와 과제	정세경 / 18
논 문	
수변림의 효과적 이용방안	박재현 / 22
대기오염 및 산성비에 의한 산림생태계 변화	이충화 / 44
국유 묘포의 현황 및 토양조사 추진계획	변재경 / 50
조사연구	
임진강유역 황폐지 복구방안에 대하여	김경하 외 4인 / 55
2006년 중부지역 산림건강모니터링 조사연구	오종환 외 10인 / 67
비무장지대 인접한 민통선지역의 야생식물 유존자원과 산지이용실태조사연구	홍인표 외 7인 / 87
기술정보	
건강한 숲을 만들어가는 국유림 산림조사	장관웅 / 103
합리적인 산림경영을 위한 맞춤형 적지적수프로그램개발	원형규 / 116
세계측지계의 이해와 좌표변환	김철민 / 121
부 록	
정관,회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 130

제 11호 2008

머리말	김규현 / 3
제27대 하영제 산림청장 취임사	산림청 / 5
특별기고	
새 정부에 대한 임업계의 기대감	김사일 / 9
산림정책	
도시숲 정책 현황과 추진전략	김경목 / 15
논 단	
우리 임업 발전 방향설정에 대한 소고	박순조 / 31
21세기를 바라본 산림의 기능별 발전방안	이춘택 / 35
산림보전을 위한 산림환경 서비스 지불제의 도입	박경석 / 40
논 문	
탄소 흡수원으로서 산림의 역할	손영모 / 45
조사연구	
2007년 산림건강 모니터링 조사연구	안병영외 6명 / 52
중국북경지구 산림종합경영 시범사업 추진현황	최 경 · 이시영 / 64
기술정보	
국가 재해예방사업으로서의 산림유역관리	정용호 / 81
산불발생 억제를 위한 산불원인 감식 및 산불위험 정보활용	구교상 / 93
부 록	
정관, 회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 104

제 12호 2009

머리말	김규현 / 3
제28대 정광수 산림청장 취임사	산림청 / 5
산림정책	
녹색성장과 산림의 역할	이창재 / 9
산림입지도의 의의 및 활용	황효태 / 12
논 단	
비정부 측면에서 본 산림청 등록단체 소고	박순조 / 16
녹색뉴딜 4대강 살리기 프로젝트와 산림분야 사업	이춘택 / 18
새만금 매립토 확보가 어렵다면 준설토를 활용해야	정용호 / 24
논 문	
과학적인 감식을 통한 산불원인을 밝힌다	구교상 / 32
서울숲 입지환경과 토양관리	안병영 외 5명 / 38
기술정보	
산림기본공간정보로서의 1:5,000 산림입지도	이승우 / 45
1:5,000 입상도 제작사업 소개	조현국 / 60
항공사진 DB구축 및 디지털 영상자료의 활용	류주형 / 67
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	/ 71

제 13호 2010

머리말	김규현 / 3
산림정책	
청정녹색연료, 목재펠릿의 가치와 전망	진선필 / 5
논 단	
저탄소 녹색성장 과제	류택규 / 11
특 집	
해외산림자원 개발 현황 및 가능성	박종호 / 17
지구환경 보전과 목조건축	박문재 / 24
산림의 인간 건강증진 및 질병 치유효과	유리화 / 34
조사연구	
국립수목원 소관 광릉숲 산림조사	안병영 외 6명 / 43
기술정보	
21세기 녹색성장을 위한 산림과학 연구	정진현 / 52
토양조사	최 경 / 60
목재펠릿 현황과 전망	이수민 / 65
기후변화에 따른 수목병 발생동향	김경희 / 81
유비쿼터스와 산림	김경민 / 93
산림토양 산성화가 낙엽분해에 어떤 영향을 미치는가?	이충화 / 104
지속가능한 산림경영을 위한 합리적인 산림토양질 평가 체계	이승우 / 107
기행문	
미국 서부지역 여행에서 받은 인상과 소견	김사일 / 112
칼 럼	
중 심(中心), 중도(中道), 중용(中庸)	박순조 / 119
시	
밀림	박순조 / 42
안개꽃	김청광 / 111
체험수기	
산림입지도 제작사업 조사자로서 우리의 역할	조성철 / 122
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	/ 125
연도별 회지 발간 목록	/ 136

제 14호 2011

머리말	안병영 / 3
산림청장 취임사	이돈구 / 5
논 단	
산림경영을 위한 축적1/5,000 산림입지도	류택규 / 10
산림의 건강 활력도 진단 평가	김석권 / 15
특 집	
산림조사 사업의 품질관리 현황과 과제	신만용 / 18
국가공간정보통합체계구축사업	김경호 / 28
산림자원조사 40년에 즈음하여	김성호 / 39
새로운 임업창출을 위한 일본의 산림정보사 자격제도	정진현 / 50
기술정보(해외)	
일본의 산지계류내 거석의 입경조사법(토석의 최대입경에 관한 타당성 검증)	전근우 / 56
중국의 봄철 황사 발생 특징(2000년~2008년)	박기형 / 63
기술정보(국내)	
항공사진 영상자료의 인터넷 검색 웹서비스 실시	류주형 / 82
산불피해지의 토사재해 대비 사방댐 설치	이창우 외 2인 / 87
산림유역 개발로 인한 부유 토사 유출이 습원환경에 미치는 영향(일본쿠시로 습원의 연구사례)	이충화 / 92
우리나라 산림식생의 대립종군에 의한 군락유형 분류	윤충원 / 96
새로운 소득자원 꽃송이 버섯	박 현 / 104
녹색성장과 그린홈 목조주택 혼그린	박문재 / 111
소나무류 주요 병해의 진단 및 방제 I	김경희 / 118
기후변화와 산림생태계	박용목 / 126
암석 풍화에 따른 토양 발달	최 경 / 134
시	
동화	김문억 / 151
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	/ 152

제 15호 2012

머리말	안병영 / 3
산림정책	
산림청의 산림공간정보 정책 소개	김성택 / 5
논 단	
국토녹화와 임업발전에 기여한 공적(향산 현신규 박사)	김사일 / 12
미래지향적 산림생산기술분야의 전망	김석권 / 18
특 집	
우면산 산사태 발생 원인과 대책	최 경 / 22
평창 동계올림픽 사이언스 오벌을 목조건축물로	박문재 / 48
기술정보	
산림청 활용 프로그램 소개	김찬희 / 56
도시산록 그린벨트지역의 정비공사에 관한 소고(小考)	전근우 / 64
식생(식물군락) 조사방법	유영한 / 72
산림욕 피톤치드의 효능 및 활용	이성숙 / 84
소나무류 주요 병해의 진단 및 방제 II	김경희 / 93
소나무류 주요해충의 생태 및 방제	고상현 / 99
	최 경 / 134
시	
두물머리 연가	김청광 / 104
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	/ 105

제 16호 2013

머리말	안병영 / 3
산림청장 취임식	신원섭 / 5
산림정책	
산림정책 여건 변화와 제5차 산림기본계획 변경	박은식 / 11
특 집	
생물다양성과 산림유전자원보호구역 관리	배관호 / 20
기후변화와 목재 이용	최돈하 / 28
생물 분포 정보는 우리나라 생물자원을 지키고 활용하기 위한 필수자료	양종철 · 이유미 / 36
조사 · 연구	
산림입지토양도(1:5,000)DB자료를 이용한 지역별 주요 산림입지 및 토양환경 분포특성	원형규 / 38
숲 치유센타의 주변시설 조성 연구	이현규 · 박흥수 · 김완석 / 47
산림 내 사찰문화재의 산불피해 특성 분석	이시영 / 65
경상남도 함양군 산양삼재배지 입지환경 특성	김춘식 / 75
기술정보(해외)	
일본의 환경보전 사방사업(1) - 고향사방사업을 중심으로	전근우 / 89
일본의 환경보전 사방사업(2) -safety, Community 모델사업을 중심으로-	서정일 · 전근우 / 99
해외의 Community Forest - 인도네시아를 중심으로-	박관수 / 111
기술정보(국내)	
산림토양 모놀리스의 의의와 작성법 기초	이명종 / 115
독일과 한국의 산림입지조사 방법 비교	배상원 / 121
간벌재를 이용한 생태하천 조성	이동흡 / 128
숲속의 식용버섯	가강현 / 135
산림문화	
파도 속으로 묻고 싶은 것들(시)	권순성 / 147
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	/ 148

제 17호 2014

발간사	안병영 / 3
산지환경 발간 17주년 축하메세지	윤영균 / 5
산림정책	
ICT 기반의 국유림통합관리체계 기반 완성	김찬희 / 7
지속가능한 수자원 확보를 위한 산림유역관리 정책	최형태 / 21
특별기고	
아시아 최고 수목원! 백두대간 수목원 소개	황효태 / 30
논 단	
산사태와 토석류를 알면 피할 수 있다	김경하 / 37
지구촌 물 전쟁, 숲에서 해답을 찾자!	김수진 / 46
기술정보(해외)	
일본의 환경보전사방사업(3) -물과 숲이 울창한 계류사방사업 -	전근우 · 김석우 / 53
일본의 환경보전사방사업(4) - 사방랜드스페이스창출사업 및 사방학습구역모델사업-	
	서정일 · 전근우 / 62
주요 국가별 토양분류체계 특성	김용석 · 구남인 / 72
미국의 토양분류 체계와 토양 특성	최 경 / 82
기술정보(국내)	
개인 산주 맞춤형 서비스 「산림정보 다드림(林)」 시스템	이승우 / 99
동해안 산불피해지 경관조립	임주훈 / 107
대축척 산림입지토양도(1:5,000) 제작 및 산림공간정보 서비스 고도화사업	
	원형규 · 김용민 · 손민호 / 115
조사 · 연구	
사유 양묘장 토양환경 및 관리 방안 - 강릉시 사천면 미노리 -	안병영 · 최인규 / 128
제 언	
소외계층을 위한 나눔 숲 조성과 체험교육 지원 -2015년 녹색자금 공모사업 안내 -	
	고연섭 / 136
꽃내기 회원의 단상, 한국임우회의 어제와 오늘	박승수 / 138
산림문화	
야호!	박재현 / 141
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	

제 18호 2015

머리말	안병영 / 7
「산지환경」 발간 18주년 축하 메세지	남성현 / 9
특별기고	
북한의 심각한 황폐지 복구 전략에 대한 소고	박재현 / 11
상수원 보호를 위한 세계 주요도시의 산림관리 현황	최형태 / 20
변화하는 환경과 광릉 숲 생물다양성 보전	조용찬 / 31
논 단	
우리나라의 숲과 군락 유형	윤충원 / 48
산림복지 서비스사업의 맞춤형 숲 체험교육	원형규 · 안병영 · 김용민 / 56
기후변화 적응, 위험성 관리를 염두에 둔 산림관리	임종환 / 70
우리나라의 산림건강성 모니터링 현황	성주한 / 74
산림토양과 식생을 연계한 산림입지토양도 제작 필요성	임주훈 · 김용석 / 78
기술정보(일본)	
일본 북해도에 있어서 어류가 서식할 수 있는 계류조성 사업(1)	김석우 · 전근우 / 85
일본 북해도에 있어서 어류가 서식할 수 있는 계류조성 사업(2)	전근우 · 서정일 / 95
기술정보(국내)	
소나무 천연림 관리방안	이경재 / 110
산양삼 재배를 위한 입지토양 정보 활용	이승우 / 121
산양삼 재배지의 산림토양형별 토양이화학 특성	김춘식 / 136
암석의 분류와 풍화산물에 대한 고찰	최 경 / 145
조사 · 연구	
산지은행 제도의 도입방안 연구결과 소개	김종호 / 167
광릉 숲 시험림의 토양속성 및 공간분포 특성	원형규 · 김정환 · 김용민 / 172
낙엽송 노지양묘 활성화를 위한 토양관	안병영 · 최인규 / 185
임산물가격정보 서비스 소개	서수안 / 193
산림문학	
질경이	김청광 / 195
부 록	
정관, 회원명단 및 임 원주소록, 주요일지	/ 196

제 19호 2016

발간사	안병영 / 13
격려사/축하메시지	류광수 · 남성현 · 김남균 / 14
산림정책	
산림공간정보 기반의 산림재해 · 생태 통합관리체계 구축	김찬희 / 17
특별기고	
산지토사재해 연구동향	이창우 / 27
남북 산림자원조사 협력의 필요성과 향후 과제	박경석 / 33
한국의 땅밀림 산사태의 실태와 관리	박재현 / 40
국민행복 실현을 위한 산림복지 - 「산림복지 진흥에 관한 법률」 시행 원년, 현황과 과제	유리화 / 51
기술정보(일본)	
일본 홋카이도에 있어서 어류가 서식할 수 있는 계류조성사업(3)	
-계류정비의 기본방침과 유의사항	전근우 · 김석우 / 57
일본 홋카이도에 있어서 어류가 서식할 수 있는 계류조성사업(4)	
-각 생활환경의 개요, 배려사항 및 정비사례	서정일 · 전근우 / 69
기술정보(국외)	
인도네시아 열대우림에서 희망을 심다	정양수 / 84
기술정보(국내)	
지반침하(地盤沈下)	최 경 / 90
전남 · 경남지역의 주요 산림입지환경 및 산림토양분포 특성	원형규 · 이상수 / 103
1:5,000 임상도 구축 Process 소개	심우범 · 최인규 / 108
사시나무로부터 살리신을 포함한 페놀성 화합물의 대사체 분석	박성범 · 천주현 · 한정연 · 김종윤 · 최용의 / 114
인삼 PgDDS와 CYP716A47가 도입된 담배 형질전환체에서 인삼	
사포닌 전구체인 dammarenediol-II 및 protopanaxdiol 생산	박성범 · 천주현 · 한정연 · 김종윤 · 최용의 / 119
조사 · 연구	
2015 산양삼 생산적합성 조사 시료채취 및 생산과정 확인	안병영 · 원현기 · 김준섭 · 김용민 · 이종민 / 122
노지양묘 활성화를 위한 토양관리 - 정선 · 연곡 국유양묘장	안병영 · 최인규 / 130
광릉시험림 연구시험지 관리를 위한 정밀산림자원 조사	심우범 · 최인규 / 137
산림문학	
숲의 영웅(시)	박재현 / 144
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	/ 145

제 20호 2017

발간사	변재경 / 11
취임사	김재현 / 13
취임사	이창재 / 17
격려사	김남균 / 20
기술정보(국외)	
일본의 산촌정책과 6차 산업에 의한 산촌진흥의 복해도 사례	안기완 / 22
인도네시아 산림과 탄소배출권	김성환 / 36
기술정보(국내)	
사방시설의 환경대응에 관한 소고(小考)	전근우 · 서정일 / 43
땅밀림 산사태지에 대한 예견 및 대응	박재현 / 53
지진이 산지토사재해에 미치는 영향	김석우 · 전근우 / 68
새로운 땅, 간척지 숲 만들기	권진오 · 임주훈 / 78
산림경영계획 수립을 위한 표준지 조사방법	원현규 / 85
임지생산력을 판단하는 척도, 지위지수의 활용	손영모 / 90
산림토양 층위 발달과 유기물 분해	임주훈 / 96
국내 주요 주제도 특징 및 FGIS의 발전방향	최인규 / 102
산림 GIS투영법과 주요 좌표계	도미령 / 111
국내 산양삼과 삼척 장뇌삼 현황 분석	김용민 · 이종민 · 박성범 / 119
조사 · 연구	
양평 산림수자원 구역의 임분별 산림토양특성 및 하층식생	원현규 · 김문겸 / 131
산양삼 종자공급단지 조성사업(중부권역)	변재경 · 김용민 / 149
인삼 CYP716A53y2 유전자의 과발현과 발현 억제제를 통한 ginsenoside 조성조절	박성범 · 천주현 · 반용욱 · 한정연 · 최용의 / 154
기행문	
한탄강 구역의 산림입지환경 및 산림토양단면 특성	이종명 / 161
가자! 가야로	지성구 / 168
소 개	
(주)신일사이언스 양묘용기공장 소개	최종우 / 175
산림문학(시)	
너에게 전화를 걸고 싶을때가 있다(시)	박재현 / 181
부 록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	

제 21호 2018

발간사	변재경 / 11
격려사	구길본 / 13

기술정보(국내)

위성영상을 이용한 임진강 유역의 산림황폐지 분석	김경하 · 조현국 / 15
수원함양보호구역 지정 제도를 개선하기 위한 제언	최형태 / 36
도서산림 현황과 관리방안 소고(小考).	전현선 / 58
한반도 생태계연결을 위한 남북 산림협력방안	오정수 / 64
성공적인 남북산림협력을 위한 제언	김석권 / 91
땅밀림에 대해서 알아보겠습니다	박재현 / 96
한국의 땅밀림지와 지질	최 경 / 108
산양삼 재배적지 토양환경 특성	변재경 · 김용민 · 박성범 / 118
심적산림습원의 강우유출에 따른 소형목재사방댐의 토사유출 억제효과	제갈상규 / 127

기술정보(국외)

일본의 땅밀림방지공사에 있어서 계획의 책정	전근우 · 서정일 / 138
일본의 땅밀림방지사업을 위한 실태조사와 기구조사	김석우 · 전근우 / 148

조사·연구

진주·안동 산림수자원 유역시험지의 산림입지환경 및 토양단면특성	원형규 · 김정환 · 김문겸 / 166
낙엽송 생육환경에 따른 생장변화 연구	최인규 · 정양수 / 182
산양삼 재배지에서 입지 및 토양환경과 생장간의 상관관계 분석	변재경 · 김용민 · 박성범 / 191

부 록

정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지	/ 196
------------------------	-------

제 22호 2019

발간사	변재경 / 11
신년사	김재현 / 13
격려사	구길본 / 17
취임사	전범권 / 19
남북 공유하천인 임진강의 수해방지를 위한 산림복구계획 수립	김경하 / 23
미국 북서부 워싱턴 주의 산림유역 계안관리기법	최형태 / 52
무인기(드론)의 산림분야 활용방안	우충식 / 73
생활권 수목 생육기반으로서의 토양 관리 정책 동향 - 국내 사례 -	김용석 / 84
계류복원사업을 위한 환경조사(I) - 식물조사를 중심으로 -	김석우 · 전근우 / 93
계류복원사업을 위한 환경조사(II) - 동 · 식물플랑크톤조사를 중심으로 -	서정일 · 전근우 / 102
경제림 육성의 과학적 접근을 위한 장기 모니터링의 필요성	이대성 · 최정기 / 111
산림 빅데이터 플랫폼 및 네트워크 구축	조현국 / 118
암반사면과 지질 위험성	최 경 / 128
시설-노지 연계양묘를 활용한 일본잎갈나무 묘목의 생산효과 시험	정양수 / 145
GIS를 이용한 산림분포와 미세먼지 상관성에 관한 연구	최인규 / 153
부 록	
정관 및 주요일지	/ 161

제 23호 2020

발간사	변재경 / 13
신년사	박종호 / 15
신년사	전범권 / 20
신년사	구길본 / 22

산림토양분류와 Soil Taxonomy 및 World Reference Base for
Soil Resources 분류 연계방안

김춘식 / 24

산림토양탄소모델

김형섭 · 손요환 / 37

세계 혼농임업의 동향과 북한의 임농복합경영

김경하 / 45

생활권 도시숲 토양 관리 지침서 국외 사례

박관수 / 54

땅밀림이 발생하기 용이한 지역에 대한 공부 I

박재현 / 74

독일 바덴 뷔르템베르크주 산림발달형에 따른 산림사업

배상원 / 87

드론을 활용한 소나무재선충병 관리

선주남 / 98

소나무재선충병의 발생 현황과 주요 방제정책

이승규 / 106

계류복원사업을 위한 환경조사(3) - 저생생물조사를 중심으로-

전근우 · 김석우 / 117

계류복원사업을 위한 환경조사(4) - 어류조사를 중심으로 -

서정일 · 전근우 / 125

산림용 스마트 양묘 시스템

조민석 / 137

내 산에 어떤 나무를? - 맞춤형 조립지도 활용하기 -

조현국 / 148

수원함양 증진 및 산림유역관리를 위한 산림물지도 제작 및 활용

최형태 / 159

부 록

정관 및 주요일지

/ 171

제 24호 2021

발간사	변재경 / 10
신년사	박종호 / 12
취임사	박 헌 / 14
취임사	이강오 / 16
코로나19와 생태계서비스의 가치	김경하 / 18
국가별 토양분류 현황과 Soil Taxonomy 및 WRB와의 연계성	김춘식 / 29
드론 영상의 품질관리 기준	선주남 / 46
산림일자리, 산촌 지역불균형 바로잡는 무게추	이승우 / 64
산불피해지 산사태 우려지역 긴급진단 및 토사유출 안정화 방안 소개	이광연 · 이진호 / 69
대형산불 피해지의 토사유출 특성 및 과학적 위험성 평가방안	서준표 / 80
고부가 산양삼의 친환경 산지재배로 보물산 만들기	전권석 / 85
계류복원사업을 위한 환경조사(5) - 육상곤충류조사를 중심으로 -	전근우 · 김석우 / 97
계류복원사업을 위한 환경조사(6) - 양서류 · 파충류 · 포유류조사를 중심으로 -	서정일 · 전근우 / 117
산림용 묘목 저온저장 기술	조민석 / 140
산림빅데이터 플랫폼 성과와 향후 발전방안	조현국 / 147
스마트 기술 기반 산림물지도 구축으로 2050 탄소중립 실현 앞당겨야	최형태 / 159
2050 탄소중립과 산림부문의 기여	한 희 / 166
소나무재선충병 영상분석을 위한 재선충병 감염목 발생 위치의 공간정보 분석	박성범 / 170
심토반전에 따른 묘포토양의 물리화학적 변화와 묘목생장 효과	제갈상규 / 179
부 록	
정관 및 주요일지	/ 187

제 25호 2022

발간사	변재경 / 14
신년사	최병암 / 16
신년사	박 현 / 20
신년사	이강오 / 22

산림입지도양도의 활용성에 대한 소고	김춘식 / 26
---------------------	----------

계류복원사업을 위한 환경조사(7) -조류조사를 중심으로-	서정일 · 전근우 / 29
---------------------------------	----------------

계류복원사업을 위한 환경조사(8) -서식지조사를 중심으로-	전근우 · 김석우 / 62
----------------------------------	----------------

산림물지도를 이용한 산사태 위험지 판정 고도화	최형태 / 74
---------------------------	----------

2050 탄소중립 달성을 위한 산림경영의 도전 과제	한 희 / 86
------------------------------	----------

산림용 온실 냉방시스템	조민석 · 한승현 / 94
--------------	----------------

산림유역의 토사유출량 산정을 위한 USLE 모델 적용성 검토	이광연 · 이진호 / 103
-----------------------------------	-----------------

새로운 수목진료제도의 현황과 과제	이승규 / 114
--------------------	-----------

대축척·소축척 산림입지도양도 제작 의의	정진현 / 129
-----------------------	-----------

4대강 유역의 신규 수변림 조성 적지 분석을 통한 2050 탄소중립 기반마련 연구	
---	--

최인규 · 정양수 / 139

서식지 적합 지수와 네트워크를 통한 도시 생태계 분석	김기남 / 146
-------------------------------	-----------

부 록

정관 및 주요일지	/ 157
-----------	-------

제 26호 2023

발간사	변재경 / 14
신년사	남성현 / 16
취임사	배재수 / 22
신년사	이강오 / 26

계류복원사업을 위한 환경조사(9) -경관조사	서정일 · 전근우 / 30
계류복원사업을 위한 환경조사(10) -계류이용실태조사	전근우 · 김석우 / 43
환경을 살리는 방재	김석우 · 전근우 / 50
산림입지토양 기반 조림목 초기 생육 예측 연구	노남진 · 한승현 / 59
기후위기 적응을 위한 숲의 홍수와 가뭄 완화기능에 대하여	김경하 / 68
산지계류 건천화 실태 및 영향 요인	최형태 / 81
산림유역에서 산불이 계류수질에 미치는 영향	남수연 / 96
도시 국가산림자원조사	전재홍 / 106
산림빅데이터를 활용한 산림의 가치전환과 미래 산림비즈니스	전성기 / 113
소나무류 피목가지마름병 발생의 내생균적 특성	이승규 / 127
산지 태양광 발전시설 점검 체계 개발	이광연 / 142
AI를 이용한 소나무재선충병 예찰기술 개발	문일성 / 149
산림토양 모암 및 표고에 따른 산양삼 생존율 변화	변재경 / 156
산지적응성이 강한 산양삼 품종 선발에 관한 연구	박성범 / 162

부 록

정관 및 주요일지	/ 168
-----------	-------

산지환경

제27호

2024년 2월 인쇄
2024년 2월 발행

발 행 인 : 변재경
편집위원 : 김정환, 박성범

발 행 처 : (사)한국산지환경연구회
경기도 남양주시 순화궁로 272, 동광비즈타워 715호
TEL : 031-572-1678
FAX : 031-572-7387
E-mail : ipji7387@hanmail.net
홈페이지 : <http://www.ksfer.or.kr>

인 쇄 처 : 세광 (02)2117-0700
