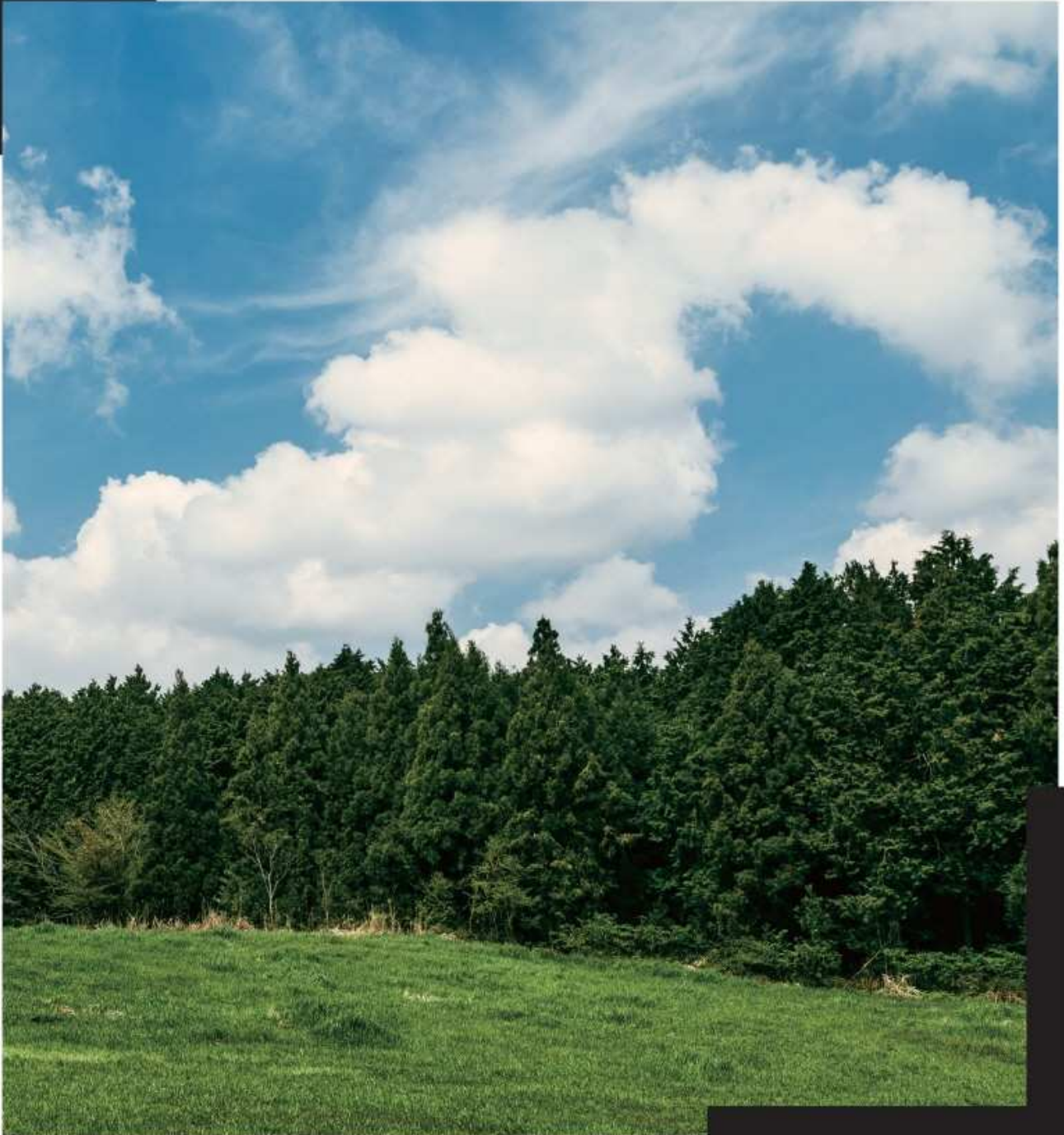


제26호 2023
ISSN-1226-8321

산지환경



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
- 임상도(1:5000) 제작 및 현행화 구축 사업
- 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)
- 주소 : 경기도 남양주시 순화공로 272, 동광비즈타워 715호
- 전화번호 : 031)572-1678 / 팩스 : 031)572-7387
- 홈페이지 : <http://www.ksfer.or.kr>
- E-mail : ipji7387@hanmail.net

주요 사업실적

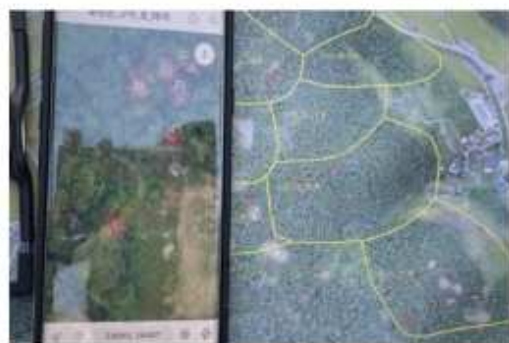
2022년 임상도 및 산림토양물지도 품질관리	'22
시 기반 산림해충 방제지원 시스템 구축 사업	'22 : 학습데이터 25,000건
산림입지도양도(1:5,000) 제작	'08~'21 : 1,962천ha(5,118도엽)
임상도(1:5,000) 현행화 구축 사업	'14~'21 : 자연(4,489도엽), 인위(19,894도엽)
국·사유양묘장 토양조사	'06~'22 : 42지역 (국유 29, 사유 15)
산양삼 종자공급단지 조성사업	'17 : 중부권역(충주)
산양삼 생산적합성조사 시료채취 및 생산과정 확인	'14~'18 : 생산적합성조사(1,633건) 및 생산과정확인(3,491건)
산림수자원 유역시험지 정밀산림입지도양도 제작	'16~'19 : 13개 유역시험지
수원함양림 임분 및 토양환경 실태조사	'17~'18 : 309개소
산사태 발생 우려지의 토양 및 환경특성 조사	'21 : 1,028개소
소나무재선충병 무인항공기 예찰조사(영상분석)	'21~'22 : 16만ha
임산물소비촉진사업 임산물재배 전문가과정 교육	'21~'22
2050 탄소중립 관련 하천변(강천섬) 숲 조성 자원량 용역	'21 : 24개소
우리나라의 주요 모암 및 해발고도별 산지적응이 강한 산양삼 품종 선별(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
중국북경, 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

2022 한국산지환경연구회 주요활동

① 2022년 임상도 및 산림토양물지도 구축사업 품질관리(한국임업진흥원)



② AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축사업(NIPA : 정보통신산업진흥원)



③ 국유 양묘장 토양조사(산림청)



④ 소나무재선충병 무인항공기 예찰조사 영상분석(한국임업진흥원)



⑤ 조림 시험지 관리 및 조림목 생육특성 조사(국립산림과학원 연구과제)



⑥ 산사태위험지도 운용을 위한 동적콘관입시험 조사(한국치산기술협회)



⑦ 주요 모암 및 해발고도별 산지적응이 강한 산양삼 품종 선발(산림청 연구개발과제)



⑧ 청도 신화랑풍류마을 수목피해지 토양조사 및 분석 용역(청도군청)



2022 한국산지환경연구회 주요활동

⑨ 간벌 및 수확벌채가 산림탄소 저장에 미치는 영향 구명(산림청 연구개발과제)



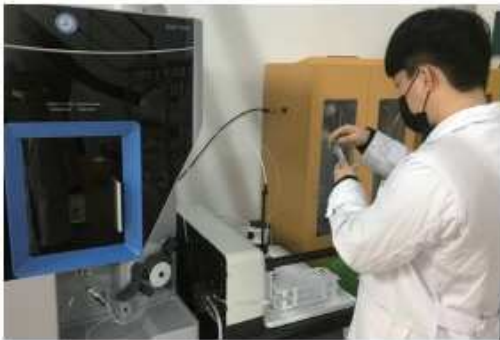
⑩ 임산물재배 전문가과정 교육(산림청 임산물 소비촉진 사업)



⑪ 양주 회암사지 수목피해 원인진단 및 관리방안 수립용역(양주시청)



⑫ 토양의 물리·화학적 분석



수상 및 대외행사

① 사회적기업 인증



② 고려대학교와 업무협약(MOU) 체결



③ 직원역량 강화를 위한 외부 전문가 초청 교육 및 자체세미나



④ 제26차 정기총회



제26호 차례

- 발간사
..... 변재경 / 014
- 신년사
..... 남성현 / 016
- 취임사
..... 배재수 / 022
- 신년사
..... 이강오 / 026

1	계류복원사업을 위한 환경조사(9) -경관조사	서정일 · 전근우 / 030
2	계류복원사업을 위한 환경조사(10) -계류이용실태조사	전근우 · 김석우 / 043
3	환경을 살리는 방재	김석우 · 전근우 / 050
4	산림입지토양 기반 조림목 초기 생육 예측 연구	노남진 · 한승현 / 059
5	기후위기 적응을 위한 숲의 홍수와 가뭄 완화기능에 대하여	김경하 / 068
6	산지계류 건천화 실태 및 영향 요인	최형태 / 081
7	산림유역에서 산불이 계류수질에 미치는 영향	남수연 / 096
8	도시 국가산림자원조사	전재홍 / 106
9	산림빅데이터를 활용한 산림의 가치전환과 미래 산림비즈니스	전성기 / 113
10	소나무류 피목가지마름병 발생의 내생균적 특성	이승규 / 127
11	산지 태양광 발전시설 점검 체계 개발	이광연 / 142
12	AI를 이용한 소나무재선충병 예찰기술 개발	문일성 / 149
13	산림토양 모암 및 표고에 따른 산양삼 생존율 변화	변재경 / 156
14	산지적응성이 강한 산양삼 품종 선발에 관한 연구	박성범 / 162

* 부 록

정관 및 주요일지	168
-----------	-----

발 간 사



존경하는 임업인 가족 여러분!
사단법인 한국산지환경연구회장 변재경입니다.

산림 현장에서 귀한 땀방울을 흘리시는 임업인과 임업 발전을 위한 정책 개발에 애쓰시는 산림행정가, 그리고 학계 및 각 연구기관에서 후학 양성과 유용한 연구에 매진하시는 교수 및 연구자 여러분의 노고에 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

현재 우리나라 뿐만 아니라 세계 곳곳에서 이상기후에 따른 폭설과 폭우, 지진과 해일 등 각종 재난상황이 발생하고 있습니다. 특히 지난해 3월, 경북 울진과 강원 삼척, 강릉 등 동해안 곳곳에서 초대형 산불이 발생해 총 20,923ha에 달하는 산림이 잿더미로 변했습니다. 하절기에는 기록적 폭우로 여러 지역에서 크고 작은 산사태가 발생하여 재산과 인명에 대한 피해가 많았습니다. 그 뿐만아니라 소나무를 단기간에 고사시키는 소나무 재선충병 발생도 지속적으로 증가하고 있는 추세입니다. 이에 따라 산림 분야에서는 재난을 미리 예방하고 대비하는 일이 최우선 과제로 주목받고 있으며 스마트 산림기법, 즉 AI나 드론 등을 활용한 미래지향적 기술 도입이 필요한 시점입니다.

저희 연구회는 ICT 기술을 기반으로 한 산림 연구·개발 기관으로서 정부의 미래 지향적인 노력에 발 맞추어 관련 연구를 수행하고 있습니다. 특히 산림분야 신성장 동력산업으로 주목받고 있는 드론과 인공지능(AI)의 객체인식 기술을 산림사업에 접목시키기 위하여 많은 노력을 하였으며, 산림분야의 업무 정확성과 효율성을 개선하는데 이바지하고 있습니다.

지난해 저희 연구회에서 수행한 주요사업으로는 ‘산림공간정보 조사구축 품질관리’, ‘AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축’, ‘소나무재선충병 무인항공기 예찰조사’, ‘국유양묘장 토양조사’, ‘양주 회암사지 수목피해 원인진단 및 관리방안 용역’ 등의 사업을 통해 산림 기술의 첨단화와 정보화에 힘써왔습니다. 또한, 산림청 인증 교육기관으로서 임산물 소비촉진을 위한 임산물 재배 전문가 양성교육을 실시하였습니다. 특히 산림청 연구개발과제로 「우리나라의 주요 모암 및 해발고도별 산지적응이 강한 산양삼 품종 선발」과제를 수행하여 임업인의 소득 향상에 기여하였고 「간벌과 수확벌채가 산림탄소 저장에 미치는 영향평가 및 예측 모형 개발」 과제에 참여하여 국가중점사업인 2050 탄소중립 실현에 이바지 하였습니다.

저희 연구회의 산림토양 분석사업 분야도 농촌진흥청 시험연구기관으로 지정된 이후 끊임없이

발전하고 있습니다. 지속적으로 최신 트렌드에 맞는 새로운 기기를 확보하고, 전문지식을 가진 인력을 양성하여 우리나라 최고의 산림토양 분석기관이 되도록 노력하고 있습니다.

특히 지난해 9월에는 고용노동부로부터 사회적기업으로 인증받아 취약계층에 대한 일자리 제공과 사회적 가치의 창출에도 기여하는 공익기관으로 나아가게 되었습니다.

사랑하는 임업인 가족 여러분!

저희 연구회의 발전과 함께하며, 대한민국 임업인의 가교 역할을 해 온 『산지환경지』가 어느덧 26회차를 맞이했습니다. 제26호 『산지환경지』가 발간되기까지 한 글자 한 글자 진심을 담아 옥고를 써 보내주신 저자분들을 비롯해 애정 어린 시선으로 『산지환경지』를 탐독해주시는 관계자 여러분께 깊은 감사의 인사를 올립니다.

제26호 『산지환경지』발간을 위해 학계의 풍부한 지식을 아낌없이 나눠 주신 국립강원대학교 전근우 교수님, 김석우 교수님, 노남진 교수님, 국립공주대학교 서정일 교수님, 그리고 건국대학교 김경하 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 국립산림과학원의 최형태 연구관님, 남수연 연구사님, 한승현 연구사님께도 고마운 마음을 전해드리며 한국임업진흥원 전재홍 센터장님, 전성기 실장님, 한국수목보호협회 이승규 박사님, 한국치산기술협회 이광연 실장님께도 진심으로 감사드립니다. 마지막으로 산지환경지에 원고로 참여해준 저희 (사)한국산지환경연구회 문일성 박사님과 박성범 차장 그리고 발간을 위해 애써주신 편집위원의 노고에도 고마움을 전합니다.

존경하는 임업인 가족 여러분!

저희 연구회는 앞으로도 지속적으로 발전을 이루어 대한민국 임업서비스 최고 전문기관으로 거듭날 수 있도록 최선을 노력을 다하겠습니다.

다시 한번 제26호 『산지환경지』 발간에 참여해주신 모든 분들께 진심으로 감사의 인사를 전해드리며 임업인 가족 여러분의 가정에 건강과 행운이 가득하시길 기원하겠습니다.

감사합니다.

2023년 2월
(사)한국산지환경연구회 회장 변 재 경

신년사



전국의 219만 산주와 임업인 여러분,
산림공직자와 국민 여러분!

2023년 희망찬 새해가 밝았습니다.

새해를 맞아 여러분과 여러분의 가정에 희망과 행복이 넘치시기를
기원합니다.

지난 한 해 여러분 모두 수고 많이 하셨습니다.

산림청은 산림을 둘러싼 국내외 여건 변화에 능동적으로 대처하기 위해 많은 노력을 하였습니다.

특히, 윤석열 정부가 새롭게 출범하여 새 정부의 국정 비전을 실현해 나가는 데 총력을
기울였습니다.

저는 새 정부 출범과 함께 지난해 5월 13일 산림청장으로 취임하면서 “선진국형 산림경영관리를
통하여 산림르네상스시대를 열어나가겠다.”라고 말씀드렸습니다.

이를 위해 임업인들을 비롯하여 각 분야에서 수고하고 계시는 분들과 간담회 등을 통해 현장의
목소리를 듣고 산림규제 완화와 함께 각종 제도를 개선하기 위해 노력해 왔습니다.

무엇보다도 임업인의 숙원과제였던 임업직불제를 처음으로 시행하였습니다.

산림 규제개선 과제 227건을 발굴하여 산주와 임업인의 경영 여건을 개선하려고 노력
하였습니다.

국민건강보험공단 등과 협력하여 건강생활실천지원금제와 치매관리를 산림치유와 연계하여 맞춤형 산림복지를 강화하였습니다.

근현대 산림과학연구 100주년을 맞아 ‘국민이 누리는 숲’으로의 연구 시대도 열었습니다.

기후변화로 대형 산불과 산사태가 많이 발생하였습니다만, 산림청을 중심으로 유관기관 간 유기적으로 협력하여 인명피해를 예방하였습니다. 대형화되고 있는 산림재난에 대응하기 위해 ‘산림재난통제관’을 신설하는 등 산림재난 대응 역량도 강화하였습니다.

아시아에서 두 번째로 제15차 세계산림총회를 개최하여 우리의 선진화된 산림녹화 기술을 전 세계 국가들과 공유하는 성과를 거두었습니다.

제27차 UN기후변화협약 당사국총회에서는 ‘산림과 기후 정상회의’ 논의를 주도하여 글로벌 산림리더 국가로서의 위상을 공고히 하였습니다.

이와 같은 성과들은 임업인과 산림공직자들이 함께 지혜를 모으고 국민들께서 관심을 가지고 성원해 주신 덕분이라고 생각합니다. 이 자리를 빌려 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

존경하는 임업인과 산림공직자 그리고 국민 여러분!

올해는 1973년 제1차 치산녹화 10개년계획을 수립하여 국토녹화를 본격적으로 추진한 지 50년이 되는 뜻깊은 해입니다.

지난 50년간 온 국민의 땀과 열정 그리고 정부의 노력으로 전 세계가 놀라는 국토녹화의 금자탑을 쌓았고 명실상부한 산림선진국으로 도약하였습니다.

이제는 이 푸르고 울창하고 아름다운 산림이 산주와 임업인들께는 돈이 되는 보물산이 되고, 국민들께는 건강과 힐링의 녹색공간이 되는 '산림르네상스시대'를 열기 위해 새로운 발걸음을 내디딜 때입니다.

또한 '나라를 단단하게, 국민을 든든하게' 하자는 정부의 새해 슬로건을 숲에서 실현하기 위해 여러분의 뜻과 지혜를 모아 우리가 가고자 하는 길을 하나하나 새롭게 개척해 나가겠습니다.

첫째, 일상화되고 대형화되고 있는 산불, 산사태, 산림병해충 등 3대 산림재난에 선제적으로 대처하여 국민의 생명과 안전을 지키고 소중한 산림자원을 보전해 나가겠습니다.

초대형화 되고 있는 산불에 대처하기 위해 전국 300여 기관에 산불방지대책본부를 설치하여 24시간 상황을 철저히 관리하겠습니다.

산악기상망을 지속적으로 확충하여 산불위험예측정보의 정확도를 높이겠습니다.

산불진화 주력헬기를 초대형으로 전환하고 고성능 산불진화차 등 첨단장비를 확충하겠습니다.

산불지역의 주민 안전을 위해 강제 대피명령제도 등을 담은 「산림재난방지법」을 제정하고, 발화 원인별로 산불을 사전에 차단하기 위해 부처협업을 강화하겠습니다.

산사태를 사전에 예방하기 위해 산사태취약지역, 대형 산불 피해지역, 다중이용시설 등에 대한 안전 점검을 강화하겠습니다.

산사태 위험정보는 집중호우 등 기상 상황에 따라 48시간 전에 제공하고, 산사태 피해지역은 철저한 응급복구와 항구복구를 실시하여 추가 피해를 방지하겠습니다.

아울러 각 부처에서 관리하고 있는 급경사지(행안부) 및 도로비탈면(국토부) 정보를 산사태 정보시스템에 통합하고 부처 간 협업을 강화하여 산사태 사각지대를 해소하겠습니다.

지난해부터 다시 증가하고 있는 소나무재선충병은 총력방제로 확산을 저지하겠습니다.

보존할 가치가 큰 소나무림을 중심으로 예방나무주사를 실시하고 소나무류의 이동단속을 강화해 나가겠습니다.

드론과 고사목 이력관리시스템(QR코드) 등 과학기술을 기반으로 예찰을 강화해 나가겠습니다.

둘째, 우리 산을 돈이 되는 보물산으로 만들기 위해 경제임업을 강화해 나가겠습니다.

산주와 임업인의 산림경영을 제약하는 각종 규제는 지속적으로 개선하고 임업세제는 농업 수준으로 과감히 혁신하겠습니다.

산지구분의 합리적 조정을 통해 임업용 산지에서는 임업을 경영하는 데 불편이 없도록 하겠습니다.

「임업진흥법」은 「사유림경영법」으로 개편하여 사유림경영 활성화를 뒷받침하겠습니다.

산림경영을 적극 지원하고 목재 자급률을 높이기 위해 임도, 임업기계화, 전문기능인 양성 등 인프라를 확충해 나가겠습니다.

생산된 국산 목재는 건축자재 등 경제, 환경적으로 부가가치가 높은 자원으로 활용하기 위해 법령 정비와 함께 제도를 개선해 나가겠습니다.

산림자원을 활용하는 고부가가치 소재 등 실용적인 연구개발을 촉진하고, 디지털과 빅데이터 기술을 접목하여 임업, 산림산업, 목재산업 등을 미래 융·복합 산업으로 전환하겠습니다.

셋째, 국민들이 숲을 즐기고 누릴 수 있도록 생애주기별 산림복지와 사회임업을 활성화하겠습니다.

수목원, 자연휴양림 등 국민이 숲에서 배우고 즐기며, 치유할 수 있도록 산림복지시설을 지속적으로 확충해 나가고 다양한 프로그램을 개발해 나가겠습니다.

특별히, 치매, 고령화, 재난 경험 등으로 어려움을 겪고 있는 국민들의 심신이 산림치유를 통해 회복되도록 지원하겠습니다.

해 뜨는 동해 울진에서 해지는 서해 태안 안면도까지 이어지는 849km 동서트레일을 세계적인 명품 숲길로 조성하겠습니다. 건전하고 안전한 등산, 산림레포츠 문화도 확산시키겠습니다.

넷째, 환경임업을 적극 추진하여 산림이 주는 다양한 공익적 가치를 극대화하겠습니다.

미세먼지와 열섬효과로부터 쾌적한 생활환경을 만들기 위해 도시숲과 정원을 확충하겠습니다. ESG 경영과 연계하여 기업의 산림분야 참여를 확대하고, 재산권 행사에 제한을 받는 산주를 보상하기 위해 ‘산림 공익가치 보전지불제’를 도입하겠습니다.

우리의 선진적인 산림관리 경험을 바탕으로 REDD+법을 제정하여 탄소배출권 확보를 위한 제도적 장치를 마련하겠습니다.

이와 함께 기후변화 대응을 위해 글로벌 산림협력을 보다 강화하겠습니다.

존경하는 임업인과 산림공직자, 그리고 국민 여러분!

50년 전 온 국민과 임업인 그리고 산림공직자들은 국토녹화라는 사명을 갖고 미래 100년을 바라보며 험벗은 민둥산에 정성껏 나무를 심고 가꾸어 왔습니다.

우리 산림을 선진국형 산림경영관리를 통하여 더욱 아름답고 풍요로운 숲으로 가꿔, 숲으로 잘사는 산림르네상스시대를 여는 것! 이것이 새로운 미래 산림 100년을 시작하는 오늘의 우리에게 주어진 사명이라 할 것입니다.

오늘 뜻깊은 2023년의 첫날, 새해 아침에 숲으로 잘사는 산림르네상스시대를 향해, 우리 모두 병아리가 알을 깨고 나오기 위해서는 안팎에서 서로 껍질을 찢다는 줄탁동기(啐啄同機)의 마음으로 함께 힘차게 나아갑시다!

새해에는 늘 건강하시고 행복이 가득하시길 기원합니다.

새해 복 많이 받으세요. 감사합니다.

2023. 1. 1.

산림청장 남 성 현

취 임 사



국립산림과학원 가족 여러분께 인사를 드립니다. 국립산림과학원 제24대 원장으로 취임한 배재수입니다.

1997년 시험사로 홍릉 임업연구원에 발을 디딘 이후 26년이 흐른 뒤에 개원 74주년의 역사를 지닌 국립산림과학원의 원장으로 이 자리에 서게 되었습니다.

여러분과 함께 저는 지난 2년 동안 우리 과학원의 미래 100년을 준비하신 박현 원장님의 꿈과 헌신을 기억합니다. 범고창신(法古創新), 실패를 두려워하지 않는 연구를 쉼 없이 주문하셨습니다.

저는 지난 2년의 성과를 바탕으로 이 자리에 섰습니다. 여러분과 함께 저는 “숲과 과학기술로 더 나은 세상을 만들겠습니다!”라는 우리의 미래 비전을 만들었습니다. 제 임무는 우리가 만든 우리의 꿈이 현실로 드러날 수 있도록 비전을 땅에 뿌리 내리는 것입니다. 잊힌 비전이 아니라 우리의 연구가 지금보다 나은 사회를 만드는데 기여할 수 있도록 하는 것입니다.

국립산림과학원의 임무는 산림과학기술의 개발과 보급입니다. 그러나 우리의 연구가 단순한 개발과 보급이 되어서는 더 나은 세상을 만드는데 부족합니다.

지난 2021년, 국립산림과학원의 미래 비전을 수립하기 위해 국민과 전문가를 대상으로 설문 조사를 하였습니다. 질문 중 하나는 ‘우리 과학원에 무엇을 기대하는가?’였습니다. 국민과 전문가 모두 ‘산림정책의 지원과 선도 강화’를 첫 번째로 원하였습니다. 국민은 우리에게 국가연구기관으로서 더 나은 세상을 만들기 위해 국가 산림정책을 지원하고 선도할 것을 요구하고 있는 것입니다.

저는 국립산림과학원이 더 나은 세상을 만들고 산림정책을 선도하는 방법은 영향력 있는 연구를 수행하고, 그 결과를 수요자에게 확산하는 것이라 믿습니다. 이를 위해 연구 잘하는

국립산림과학원이 되어야 합니다. 우리는 세상의 요구를 이해하고, 목적과 목표가 뚜렷한 연구를 과학적으로 수행하여 산림정책을 선도할 수 있는 영향력 있는 연구결과를 창출하여야 합니다.

저는 임기 동안 구성원의 참여를 바탕으로 영향력 있는 연구를 수행할 수 있는 체계를 만드는 데 중점을 두겠습니다. 우리는 ‘연구’라는 기본에 집중해야 합니다. 무엇보다 더 나은 세상을 만들 수 있는 우리의 수단은 연구이기 때문입니다. 영향력 있는 연구수행체계는 소수의 결정이 아니라 연구를 수행해야 할 우리 모두의 참여와 합의로 만들었을 때 가장 큰 힘을 발휘하고, 지속성을 보장할 수 있기 때문입니다.

이를 위해 먼저 영향력 있는 연구를 수행할 수 있는 체계를 구축하겠습니다.

첫 번째로 연구과제 관리를 강화하겠습니다. 목표가 뚜렷한 연구를 선정하고 과제 단위의 심의, 평가, 활용과 환류 체계가 강화될 수 있도록 연구과제의 추진 절차를 개선하겠습니다. 과제마다 정책적, 과학기술적, 사회경제적 수요 등을 반영하여 심의·평가하고, 그 결과와 연구성과와 연결되도록 제도화하겠습니다. 과제마다 전문가, 정책 담당자, 임업인 등으로 구성된 심의·평가 위원이 설계부터 평가까지 지속 참여하여 과제의 완결성을 높이겠습니다.

두 번째로 연구과제로부터 영향력 큰 성과를 창출할 수 있는 협력 체계를 강화하겠습니다. 시책건의, 논문, 간행물, 특허, 홍보 등 성과 대부분은 영향력 있는 연구로부터 나올 때 사회에 미치는 파급력이 더욱 큼니다. 즉, 연구과제와 연구성과를 체계적으로 관리할 수 있도록 기관 역량을 집중하겠습니다.

세 번째로 근무성적평가 체계를 개선하겠습니다. 연구자가 영향력 있는 연구에 도전할 수 있도록 정책적, 과학기술적, 사회경제적으로 큰 영향을 준 연구성과에 높은 평가 가중치를 부여하겠습니다.

다음으로, 기관 운영에 구성원의 참여를 유도하고 절차를 준수하겠습니다. 조직 구성원에게

큰 영향을 미치는 연구사업관리규정, 중장기기술개발계획, 근무성적평정규정 등을 개정할 때는 긴 호흡으로 참여와 합의를 유도하겠습니다. 이런 과정을 거치면서 ‘내가 과학원을 바꿀 수 있다’는 조직문화를 만들어 가겠습니다. 즉, 영향력 있는 성과를 창출하되, 우리 모두의 참여와 절차로 구성원의 합의를 끌어내겠습니다.

국가연구기관으로서 국립산림과학원은 정부가 추진하는 국정과제를 지원하고 선도해야 하는 임무를 갖고 있습니다. 윤석열 정부의 국정과제는 산림청의 산림르네상스 정책에 촘촘하게 반영되어 있습니다. 즉, 산림르네상스 정책이 효과를 발휘할 수 있도록 우리의 연구를 집중할 필요가 있습니다. 이를 위해 우리는 올해 산림과학연구 방향을 재설정하고 산림정책을 선도할 수 있도록 전략적 대응을 강화해야 합니다.

먼저, 국립산림과학원의 연구개발전략인 『중장기기술개발계획(2018~2027)』을 국내외 환경변화, 특히 신정부 국정과제를 반영하여 개정하고 영향력 있는 성과를 창출하기 위한 토대로 활용하겠습니다.

다음으로 산림청의 『산림 100년 비전 수립』을 주도적으로 준비하겠습니다. 산림정책의 대전환을 모색하는 산림 100년 비전은 합리적 전망과 과학기술에 기반하여 수립되어야 합니다. 우리가 직면한 산림, 임업, 산촌의 장기전망을 바탕으로 글로벌 메가트렌드와 바람직한 미래 모습이 반영된 산림 100년 비전을 구상하겠습니다.

국립산림과학원은 우리나라에서 산림과학을 종합적으로 다루는 유일한 국가연구기관입니다. 우리 앞에 놓인 문제 대부분은 학문 간 협업과 융복합 없이는 해결할 수 없습니다. 결국, 영향력 있는 연구는 협업을 바탕으로 할 수밖에 없습니다. 그런 측면에서 과학원은 산림, 임업, 목재산업, 산촌, 생명공학, ICT 등 다양한 분야의 연구자가 모여 있는 곳입니다. 우리는 복잡한 문제를 종합적으로 해결할 수 있는 좋은 조건을 갖고 있습니다. 이를 활용해야 합니다.

우리가 협업하여 풀어야 할 많은 문제가 있습니다. 산림의 기능과 생태계서비스를 장기간 이해하는 연구, 산림순환형 임업 모델 개발과 임업인의 소득을 높이는 연구, 산림재해를

과학적으로 예방·관리하는 연구, 산림복지서비스로 국민 삶의 질을 높이는 연구, 국격에 맞는 국제산림협력 방안을 개발하는 연구가 대표적입니다.

이 모든 연구의 바탕에는 ICT와 디지털로 대표되는 첨단과학기술이 있습니다. 스마트임업, 디지털 산림관리와 재해예방, 이를 활용한 한국형 ODA 모델 개발과 모두 연결됩니다. 디지털 산림관리는 그 자체로 연구목표입니다.

마지막으로 올해 여러분과 함께할 중점 추진과제를 제시하겠습니다.

첫째, 영향력 있는 연구가 실현될 수 있도록 연구과제와 성과·평가 제도를 개선하겠습니다.

둘째, 『국립산림과학원 중장기기술개발계획』을 개정하겠습니다.

셋째, 산림청의 『산림 100년 비전』 구상안을 주도적으로 준비하겠습니다.

넷째, 국가연구기관의 격에 맞는 『산림과학시험림의 장기발전방안』을 수립하겠습니다.

다섯째, 우리의 연구성과와 정보를 다양한 수요자와 공유할 수 있는 산림과학기술정보 플랫폼을 구상하겠습니다.

여섯째, 『산림과학연구 100년 비전』을 뒷받침하는 추진전략을 수립하겠습니다.

올 한해 여러분 가족 모두의 건강과 행복을 기원하며, 함께 성장할 수 있기를 진심으로 바랍니다.

2023년 2월 9일
국립산림과학원장 배재수

신년사



안녕하십니까. 한국임업진흥원장 이강오입니다.

2023년 계묘년 새해가 밝았습니다.

1973년 치산녹화 10개년 계획이 만들어지고, 국토녹화라는 담대한 도전의 역사가 시작된지 50주년이 되는 해입니다. 산림청에서는 올해 우리 산림 100년 대계를 세우고 국토녹화의 성과를 이제는 지속가능한 산림경영의 시대로 전환하려는 노력을 이어갈 것입니다. 이에 발맞춰 한국임업진흥원도 “임업과 산촌의 미래가치를 창출하는 글로벌 임업 플랫폼”이라는 새로운 비전을 제시하고 임업진흥의 새로운 페이지를 쓰고자 합니다.

우리 국토의 63%를 차지하는 산림은 유일한 탄소흡수원이자, 목재를 포함한 다양한 임산물 생산의 근간입니다. 또한 국민들을 위한 경관휴양자원이며, 못 생명들을 위한 서식처이기도 합니다. 기후위기 시대를 극복할 지구상의 유일무이한 산림과 산림자원, 이를 비즈니스의 기회로 삼아 임업은 위기를 기회로 바꿀 산업으로 다시 한 번 담대한 도전의 역사를 써야 할 것입니다.

첫째, 목재와 첨단기술이 만나 강도를 비약적으로 높일 수 있게 됨에 따라 탄소배출 1,2위를 다투는 철근과 콘크리트를 대체할 건축소재로서 주목을 받고 있습니다. 목재는 철근콘크리트와 비교할 때 탄소배출량이 1/4에 불과하고, 석재의 경우 1/10에 불과합니다. 해외에서는 20층 이상의 고층 목조건물이 만들어지고 있고, 국내에서도 다양한 시도가 이루어지고 있습니다.

둘째, 나무와 목질계 바이오매스는 해양환경오염과 쓰레기 문제의 주범인 플라스틱을 대체할 물질로 개발되고 있습니다. 목분을 이용하거나 나노셀룰로오스를 이용한 신기술로 다양한 생활용품이나 가전제품이 만들어지고 있습니다.

셋째, 코로나와 같은 감염병을 치료할 신약개발의 약 60%가 산림과 같은 자연물질을 기반으로 개발되고 있습니다. 산양삼을 필두로 우리 산림에는 다양한 항노화, 건강기능성 물질을 가지고 있는 약용식물과 다양한 먹거리를 10만 임가에서 채취·재배하고 있습니다.

산업화의 길목에 서 있는 우리 임업은 총 생산 2조5천억을 넘지 못하고 있습니다. 아직은 GDP의 0.12%에 불과하지만 해법이 없는 것은 아닙니다. 세계 스포츠시장의 대표명사가 된 영국의 프리미어리그는 19세기만 하더라도 아마추어 축구게임에 불과하였지만, 유소년에서 성인리그까지 지역별 리그를 육성하고 혁신과 끝없는 도전으로 오늘날 세계인의 밤잠을 설치게 하는 시장을 만들었습니다. 임업인이라는 플레이어들이 지역별로 팀을 만들어 서로 경쟁하며 발전할 수 있는 그라운드를 만들고 운영하는 일이 임업진흥원의 역할일 것입니다.

2023년 한국임업진흥원은 대전광역시 유성구에 임업기술실용화센터를 오픈하고, 경남 함양에 산양삼특화산업진흥센터를 시작합니다. 산림산업의 규모와 경제적 파급효과를 분석하기 위해 산림산업조사를 처음 실시하게 됩니다. 중미지역의 온두라스, 엘살바도르에서 ODA사업을 새롭게 시작하고, 전국의 석재자원에 대한 분포도를 제작할 계획입니다. 인력과 재원의 한계도 있지만, 최선을 다해서 우리 임업발전을 위해 뛰겠습니다.

K-forest Food, K-Wood, K-Stone이 글로벌 브랜드가 될 수 있는 그날까지!

2023년 1월 1일

한국임업진흥원장 이강오 올림

원 고

1	계류복원사업을 위한 환경조사(9) -경관조사	서정일 · 전근우 / 030
2	계류복원사업을 위한 환경조사(10) -계류이용실태조사	전근우 · 김석우 / 043
3	환경을 살리는 방재	김석우 · 전근우 / 050
4	산림입지토양 기반 조림목 초기 생육 예측 연구	노남진 · 한승현 / 059
5	기후위기 적응을 위한 숲의 홍수와 가뭄 완화기능에 대하여	김경하 / 068
6	산지계류 건천화 실태 및 영향 요인	최형태 / 081
7	산림유역에서 산불이 계류수질에 미치는 영향	남수연 / 096
8	도시 국가산림자원조사	전재홍 / 106
9	산림빅데이터를 활용한 산림의 가치전환과 미래 산림비즈니스	전성기 / 113
10	소나무류 피목가지마름병 발생의 내생균적 특성	이승규 / 127
11	산지 태양광 발전시설 점검 체계 개발	이광연 / 142
12	AI를 이용한 소나무재선충병 예찰기술 개발	문일성 / 149
13	산림토양 모암 및 표고에 따른 산양삼 생존율 변화	변재경 / 156
14	산지적응성이 강한 산양삼 품종 선발에 관한 연구	박성범 / 162

계류복원사업을 위한 환경조사(9) -경관조사를 중심으로-



서 정 일 / 전 근 우

공주대학교 산업과학대학 교수 / 강원대학교 산림환경과학대학 명예교수

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

계류의 형상은 홍수나 지형의 형성, 생물적 작용 등과 같은 자연의 작용과 이수(利水)나 치수, 역사·문화 등의 인간의 행위에 따라 만들어진다. 따라서 계류는 각기 개성을 갖고 있기 때문에 조사대상구역의 경관을 충분히 이해한 후, 그에 근거하여 계류복원사업을 추진하여야 한다.

1. 조사내용

계류복원사업에서 실시하는 경관조사는 계획준비, 사전조사 및 현지조사로 구분하여 실시한다.

1.1. 계획준비

사업자는 업무의 목적과 요지를 파악한 후, 설계도서에 제시한 업무내용을 확인하여 업무계획서를 작성하고, 감독관에게 제출하도록 한다.

1.2. 사전조사

사업자는 현지조사를 실시하기 이전에 과거에 실시된 조사 결과, 기존의 문헌, 통계자료 및 청취조사 결과 등 계류 및 그 주변 지역에 대한 각종 정보를 정리하도록 한다. 또한, 수집하는 자료는 발주자로부터 대여한 것 이외에도 설계도서에 제시된 타 기관으로부터 수집하는 것으로 한다.

1.3. 현지조사

사업자는 사전조사 결과를 바탕으로 현지조사계획을 수립한 후, 조사대상 계류의 경관특성을 사진촬영 등에 의하여 파악하고, 경관대상물의 특성에 따라 적절한 방법으로 경관을 예측하도록 한다. 그리고 사전조사 및 현지조사 결과를 소정의 양식에 따라 정리하고, 사진 정리와 조사성과의 활용 및 고찰 등을 실시하도록 한다.

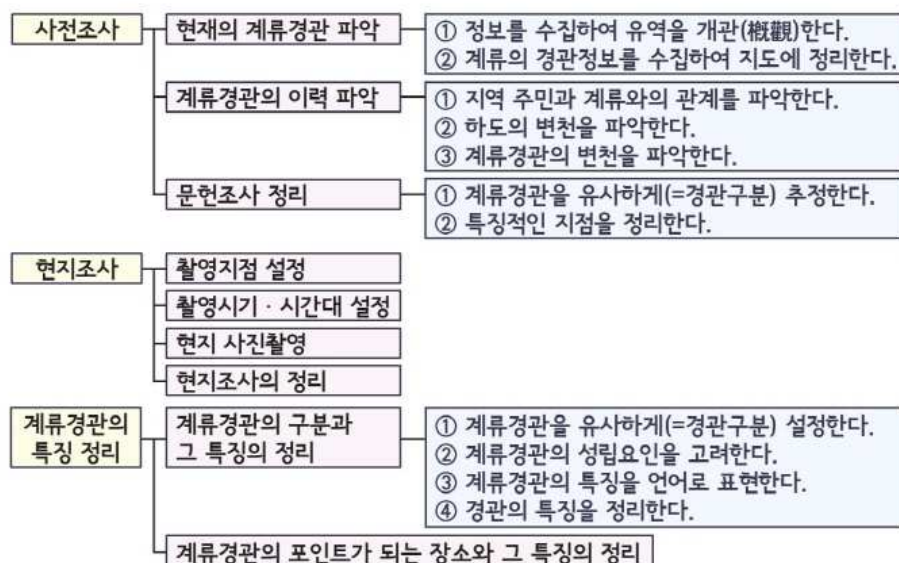


그림 1. 계류의 경관조사 흐름도

2. 조사방법

경관조사는 계류 및 그 주변의 경관을 대상으로 하며, 조사항목은 조사목적에 따라 정하고, 필요에 따라 상세조사를 실시하도록 한다. 즉, 계류 및 그 주변의 경관을 파악하기 위한 조사에는 해당 계류의 전체적인 경관의 특징 및 종단적으로 변화하는 경관을 파악하는 개략조사, 각 계류의 경관특징을 결정하는 경관대상, 조망지점, 공간구성 등을 파악할 목적으로 실시하는 요소조사, 그리고 상세한 요소를 조사하는 소재조사와 색채조사 등에 대해서도 대상구역의 상황에 따라 실시하도록 한다.

2.1. 개략조사

계류의 경관은 하도특성과 그 주변의 형상 변화 등에 따라 종단적으로 변화하기 때문에 개략조사에서는 전체적인 풍경의 특징 및 종단적으로 변화하는 풍경의 특징 등을 파악하도록 한다. 또한, 전체 계류의 현지조사를 효율적으로 실시하기 위하여 사전에 문헌·자료 등을 참고로 현지조사 시의 주요 조사지점을 검토하도록 한다. 그리고 개략조사의 결과는 계류의 경관정비의 기본적인 방침의 결정, 구역구분 등에 반영하도록 한다.

한편, 참고가 될 수 있는 문헌·자료는 다음과 같다.

- ① 관내 지도
- ② 지형도
- ③ 항공사진
- ④ 계류의 종·횡단면도
- ⑤ 관광 팸플릿
- ⑥ 친수활동 실태조사 결과
- ⑦ 지방 역사자료

그리고 사전검토 시에 검토하여야 할 사항은 다음과 같다.

1) 계류의 상황

- ① 종단물매의 변화지점 : 하도특성이 변화하는 지점
- ② 굴곡부
- ③ 지류 등의 분지 또는 합류하는 지점
- ④ 계상퇴적지의 발달상황

⑤ 주요 계류의 구조물(사방댐, 골막이, 바닥막이 및 기슭막이 등)

⑥ 교량의 위치

⑦ 계안의 정비상황

2) 계류 주변의 상황

① 계류 주변의 토지이용

② 계류 주변의 공공시설(관공서, 문화센터, 학교, 사찰, 공원 등)

③ 계류 주변으로부터 조망할 수 있는 산지 풍경, 언덕 등

④ 계류를 조망할 수 있는 고지대 등의 조망지점 선별

3) 접근상황

① 계류 주변 도로의 통행 가능성

② 계안 및 수변으로의 접근 가능성

③ 교량 등과 같은 계류 횡단통로의 위치

2.2. 거점조사

계류의 경관은 계류(하도, 계상퇴적지·계상재료 등과 같은 하도 내의 미지형, 수면, 기슭막이 등의 계류구조물, 하도식생 등), 임도나 건축물, 원경으로 조망되는 산의 풍경·산림·구조물 등의 다양한 요소로 구성된다. 따라서 거점조사는 다양한 계류경관의 구성요소를 파악하고, 풍경의 특징을 결정하는 경관대상, 관망지점, 공간구성 등, 보전·정비하여야 할 경관요소 등을 추출할 목적으로 진행하도록 한다. 그리고 거점조사의 결과는 구체적인 정비방침에 반영하도록 한다.

1) 관망지점

[관망지점이 되는 곳]

① 조망지점

② 기슭막이

③ 교량

④ 사람이 많이 모이는 장소

⑤ 양호한 경관지점

- 분지·합류지점의 주변

- 사방댐, 바닥막이 주변

- 소·여울 등의 계류지형에 관한 지명·지점
- 수면의 다양한 모양을 즐길 수 있는 수제
- 역사적 구조물의 주변

⑥ 야외 레크리에이션 시설

- 공원시설
- 사이클링 코스나 산책로

⑦ 수면을 이용하고 있는 곳

[관망지점으로서의 평가 관점]

- ① 시인성(視認性) : 대상물이 어떻게 보이는가? 등
- ② 이용성 : 어떤 부류가 어느 정도 모이는가? 등

2) 대상 : 경관을 구성하고 있는 요소

- ① 자연물(산, 언덕 및 수목 등)
- ② 인공 구조물(계류 구조물, 건물 등)

3) 공간구성

- ① 열린 공간
- ② 폐쇄된 공간
- ③ 부분적으로 열린 공간 등

2.3. 사진촬영

계류경관의 현황을 파악하기 위해서는 현지조사 시에 상세하게 관찰하는 것이 중요하지만, 대상을 기록·보존을 위해서는 사진을 촬영하도록 한다.

그리고 사진은 시야 또는 시각을 일치시키는 것을 기본으로 하여 촬영하며, 촬영장소는 사람의 시선을 염두에 두고 설정하고, 태양광의 방향을 고려하여 역광이 되지 않도록 촬영시간을 설정하도록 한다. 이때 시야란 사람이 볼 수 있는 범위로, 통상 좌우 각각 60°, 상하 각각 70°, 80°이며, 시각이란 대상을 망막으로 연결하는 각도(크기)이다. 따라서 경관을 기록할 때에는 시야 또는 시각을 일치시키는 것이 기본이다.

한편, 사진촬영의 상세한 내용은 다음과 같다.

1) 사용 렌즈

35mm, 135mm 렌즈(35mm 렌즈는 시야에 대응하며, 135mm 렌즈인 경우 현장과

같은 크기)로 촬영할 수 있다.

2) 촬영방법

촬영지점(관망지점)별로 다음을 기준으로 하며, 기본적으로는 35mm 렌즈로 촬영하지만, 경우에 따라서는 135mm 렌즈를 사용하여 촬영한 사진을 자료로 이용하도록 한다.

- ① 기슭막이 · 계안 : 파노라마
- ② 고지대의 들판 : 상류, 하류, 기슭
- ③ 교량 : 상류, 하류
- ④ 조망지점 : 주요 대상의 방향(파노라마)

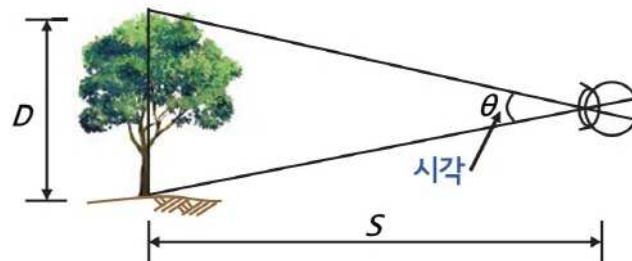


그림 2. 시각의 개념도

한편, 풍경 속에 담겨지는 상태나 조화, 통일감 등은 시야에 들어오는 경관의 크기나 배치에 따라 결정되며, 세부사항을 관찰하는 방법은 시각에 따라 결정된다.

그림 3에서 알 수 있듯이 35mm 렌즈로 촬영하였을 때 필름의 감광부(感光部)는 세로 24mm의 장방형의 범위이고, 그곳에 초점거리에서 초점을 연결한(일반적으로는 각종 렌즈를 조합하여 만들어지고 있으므로, 가상적인 거리임) 빛이 입사된다. 따라서 초점거리를 L (mm)이라고 하면 필름에 감광되는 범위는 수평방향의 각도와 수직방향의 각도가 된다.

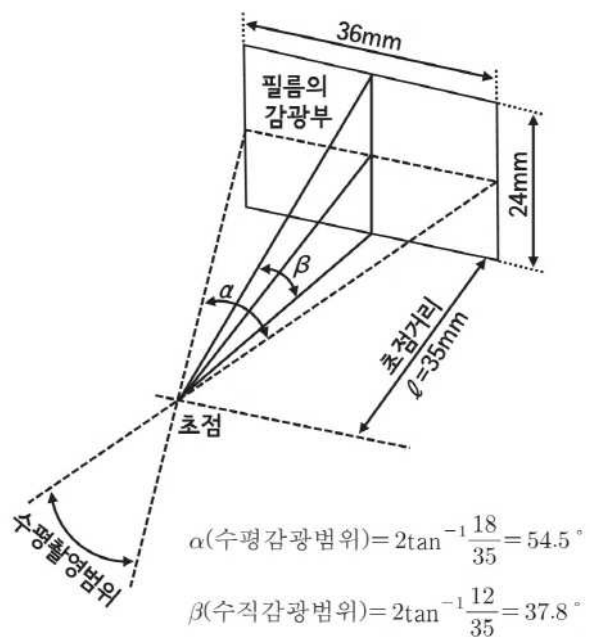
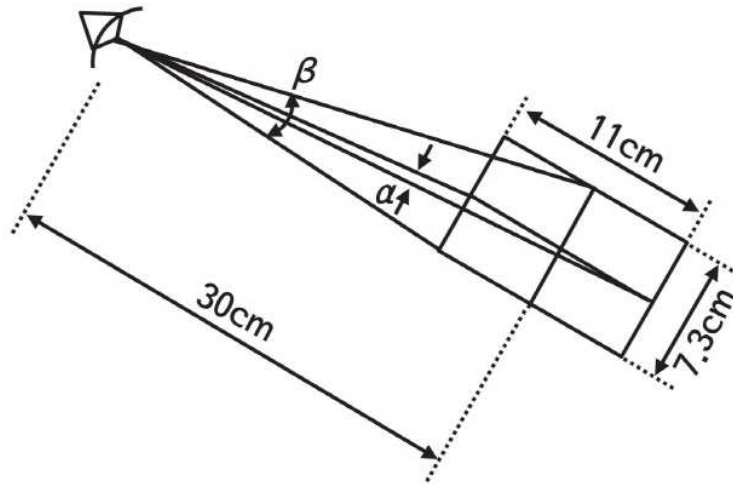


그림 3. 카메라에서의 촬영범위

표 1. 초점거리별 α, β

렌즈	28	35	50	80	105	135	150
α	65.5°	54.4°	40.0°	25.4°	19.5°	15.2°	13.7°
β	46.4°	37.8°	27.0°	17.1°	12.7°	10.2°	9.2°



$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{11}{2 \times 30} = 20.8^\circ \quad \beta = 2 \tan^{-1} \frac{7.3}{2 \times 30} = 13.9^\circ$$

그림 4. 서비스판과 시각

2.4. 소재 및 디자인조사

소재 및 디자인조사는 계류의 경관을 설계할 때에 필요한 소재를 선정하거나 디자인을 고안하는 데에 필요한 기초자료를 취득하기 위하여 실시한다. 이때 소재란 기슭막이 등과 같은 구조물의 표면소재의 재료를, 그리고 디자인이란 사방댐, 교량 등의 구조물의 형태를 고안하는 것으로, 대상구역의 주변을 대상으로 하여 다음과 같은 항목 등을 조사하도록 한다.

- 1) 양호한 계류 구조물(기슭막이 · 교량 · 사방댐) 등의 재료 · 디자인
- 2) 역사적인 계류 구조물 및 그 주변의 역사적 구조물 등의 재료 · 디자인
- 3) 계류복원사업지 부근에서 생산되는 석재의 종류
- 4) 계류복원사업지의 지역 특산물 · 지역 공예품

즉, 소재 및 디자인조사는 유역경관과의 조화, 지역특성 및 개성을 살린 경관을 정비하기 위하여 실시하기 때문에 대상계류의 사방구조물 및 유역 구조물의 소재나 디자인, 대상

지역에 주로 사용되거나 생산되는 석재나 산업제품·공예품의 소재·디자인을 파악한다.

특히, 지역경관과의 조화를 위해서는 이전부터 사용되고 있는 소재나 디자인을 파악하고, 이를 바탕으로 소재와 디자인을 결정하는 것이 유효할 수 있다. 이러한 소재 및 디자인은 직접 구조물의 재료나 디자인과 연결되지 않더라도 그 디자인이나 의미를 설계에 반영할 수 있다.

2.5. 색채조사

계류 구조물 등의 색채나 소재를 선정할 경우, 그 구조물이 위치할 주변 풍경의 색채를 파악하여야 한다. 색채조사는 계류경관을 구성하고 있는 요소의 색채를 선정한 후, 계류경관을 구성하는 색채를 파악하는 것이다.

색채의 측정방법에는 색을 측정하고자 하는 구조물을 색상표와 대조하여 관측자의 눈으로 직접 색채를 결정하는 시각측색방법(視感測色方法)과 색채계(色彩計) 등의 기기를 사용하는 방법이 있다. 엄밀하게 측정할 때에는 기기를 사용하는 방법이 좋지만, 간단한 시각측색방법도 자주 사용되고 있다.

일반적으로 채색의 표현방법은 먼셀 색상표(Munsell color system)가 기본이 되며, 이는 색을 색상(色相 : H=hue)·명도(明度 : V=value)·채도(彩度 : C=chroma)의 세 속성으로 나누어 HV/C라는 형식에 따라 번호로 표시한다.

먼저 색상은 색생환(色相環)을 10으로 나누고, 필요에 따라 각각의 사이를 다시 이등분한다.

즉, 빨강(R)·노랑(Y)·녹색(G)·파랑(B)·보라(P)색을 기본색으로 하고, 각각의 중간에 주황(YR)·연두(GY)·청록(BG)·남색(PB)·자주(RP)를 두어서 합계 10가지의 색상으로 구분한다.

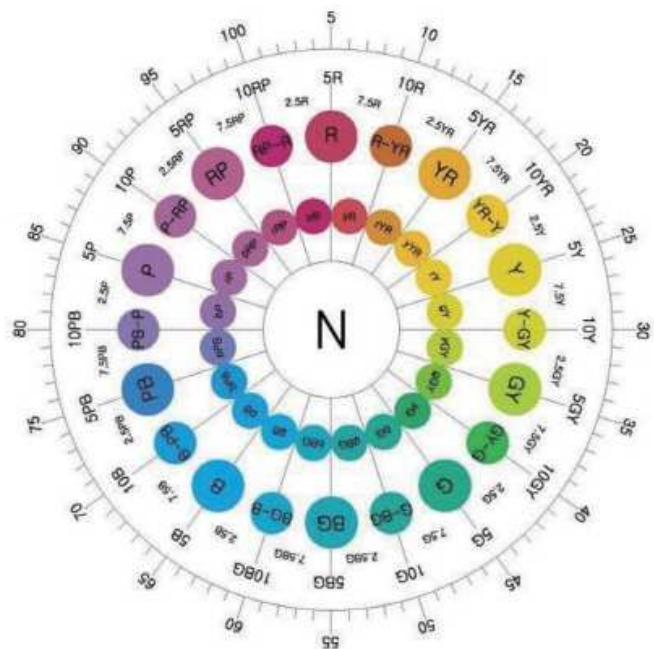


그림 5. 먼셀 색상표의 색생환

그리고 명도를 나타내는 척도로는 흰색으로부터 흑색까지의 무채색(N)의 밝은 정도를 11단계로 등분하여 흰색을 10, 흑색을 0으로 하며, 필요에 따라 이를 다시 세분하여 소수점을 찍을 수도 있다. 또한, 채도의 척도로는 무채색을 0으로 하고, 그와 같은 감각 차이에 준하여 순도가 높아지는 정도에 따라 1, 2, 3, ...과 같이 번호를 부여한다.

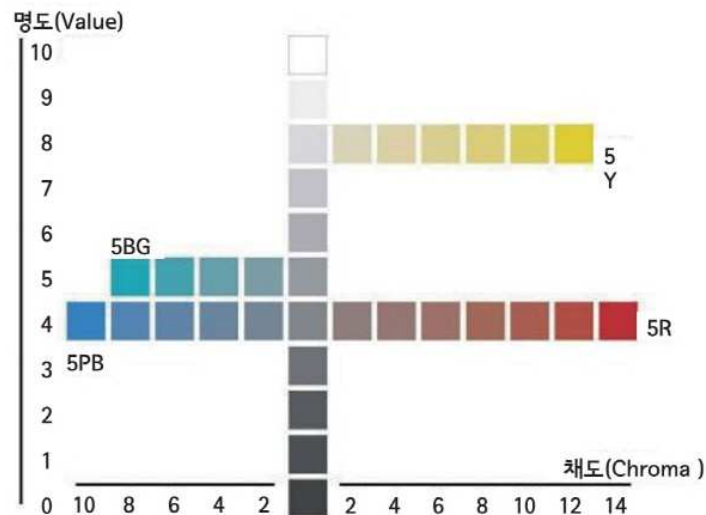


그림 6. 먼셀 색상표의 명도와 채도

3. 경관예측

계류 구조물이 완성된 이후의 모습을 예측하기 위하여 경관예측을 실시하며, 경관을 예측하는 방법은 경관 대상물의 특성에 따라 적절한 방법을 선정하도록 한다. 특히, 계류에 구조물 등을 축조할 때에는 사전에 그 구조물이 완성 이후 어떠한 모습으로 사람들의 눈에 비칠까를 파악하는 것이 중요하다.

기본적인 경관예측·평가의 순서는 다음과 같다.

3.1. 경관 예측지점의 검토

계류의 경관을 예측할 때에는 어느 장소로부터 계류 구조물 등을 조망할 수 있는가가 중요하므로, 그 구조물의 모습을 단적으로 나타낼 수 있는 지점을 선택하도록 한다. 특히, 경관 예측지점은 사람들이 많이 모이고, 지역의 개성을 포착할 수 있는 곳이 바람직하다.

3.2. 완성 예상도의 작성

계류공간에 구축하는 구조물 등의 계획을 기초로 하여 완성 예상도를 작성한다. 또한, 예측방법은 완성된 모양이 각각의 정밀도 면에서 차이가 있으므로, 예상도가 요구하는 목적에 따른 정밀도를 나타낼 수 있는 방법을 선택하도록 한다.

3.3. 경관의 평가

일반적으로 예상도를 작성하는 단계까지는 계류 관리자가 주체가 되어 전문가나 지역 주민을 포함한 폭 넓은 의견을 청취하여 평가하도록 한다. 즉, 적절한 설계·시공방법을 선택하고, 평가를 실시한 후에 그 결과를 피드백 하여 양호한 경관이 형성되도록 한다.

한편, 경관예측에는 다음과 같은 방법이 이용되고 있다.

1) 스케치

설계대상 또는 경관정보를 인간의 시각능력에 따라 그림으로 표현하는 것으로, 스케치나 이미지맵이라고 한다. 설계의 구상이나 경관정보를 간단하게 시각화하는 것을 목적으로 하며, 설계대상의 간이 스케치나 완성 예상도로 이용된다.

이 방법은 누구나 손쉽게 처리할 수 있다는 장점이 있지만, 인간의 표현능력에 따라 결과의 차이가 나타난다는 점과 현실성이 결여될 수 있다는 단점이 있다.

2) 투시도

중심투영변환을 이용하여 건축물이나 지형의 투시형태를 2차원 평면에 선으로 표현하는 방법이다. 구조물의 3차원적인 모양을 미관, 쾌적감, 기능성 등의 면에서 검토하는 것을 목적으로 하며, 지형투시도, 구조투시도, 연속투시도 및 입체투시도 등으로 작성된다.

이 방법은 실체를 지각적으로 판단할 수 있고, 직관적으로 느낄 수 있으며, 관망지점의 이동에 따라 작도하기 쉽다는 장점이 있다. 그러나 세부적인 표현과 음영의 처리가 복잡하고, 수정정보를 설계에 피드백 하거나 자연조건과 색채표현이 곤란하다는 문제점이 있다. 또한, 계류공간의 이미지를 표현한다는 의미에서 조감도적인 투시도를 작성하게 되지만, 실제로 사람이 조망하는 지점에서의 투시도, 사람의 눈에 어떻게 보일 것인가에 대한 검토가 어렵다는 점이 해결되어야 할 과제이다.

3) 합성사진(Photomontage)

현장사진에 시공 구조물의 투시도를 중첩하여 시공 이후의 경관을 합성하는 방법이다. 이 방법은 구조물의 시공 이후의 경관을 구현하고, 영향을 사전에 평가하는 데 자주 이용된다. 특히, 시공 이후의 상태가 사전에 실시간으로 표현될 수 있기 때문에 직감적으로 판단할 수 있고, 설치 구조물의 변경, 비교가 용이할 뿐만 아니라 사진을 이용하기 때문에 주변의 풍경정보의 정밀도가 높다는 장점이 있지만, 사진공정 등의 특수기술을 필요로 한다.

4) 컬러 시뮬레이션

사진에 표현되는 요소(구조물 등)의 색채, 재질을 컬러 시뮬레이션에 의하여 변환할 수 있고, 시공 구조물의 색채, 재질이나 자연과의 조화에 관한 색채를 검토할 수 있다. 특히, 임의의 색채로 변경이 자유롭고, 시공 이후의 상태를 신속하게 구현할 수 있지만, 특수기계와 특수기술이 필요하며, 사진공정에 따른 색바램과 중첩에 따른 위치변경 등에 대한 정밀도 유지가 필요하다.

5) 모형

구조물, 지형 등을 각종 모형재료를 이용하여 3차원 모형으로 표현하는 방법으로, 구조모형, 지형모형 및 경관모형으로 제작할 수 있다. 입체적인 파악과 검토가 가능하며, 직관적·시각적 판단이 가능하지만, 세부적인 표현이 곤란하다는 단점이 있다.

6) 비디오

배경이 되는 풍경 및 예측대상이 되는 구조물·지형변경 등을 카메라에 입력하는 것으로, 비디오와 사진, 모형, 컴퓨터·그래픽 등과의 합성이 가능하다. 관망지점의 변화 등에 따라 경관의 연속적 변화를 파악할 수 있지만, 비디오모니터의 재현성이 사진에 비하여 약간 떨어지며, 고도의 기술을 필요로 한다.

7) 컴퓨터 그래픽

컴퓨터를 이용하여 수치지형모델, 식생정보를 사용하게 되면 구조물 및 주변 지형·식생을 플로터 등으로 출력할 수 있다. 특히, 관망지점의 숫자가 많거나 계획시설의 대체안이 많은 경우에 유효하며, 전략적 예측이 가능하기 때문에 합성사진도 가능하다. 그러나 자료를 작성하는 데에 노력이 많이 들기 때문에 정밀도, 조작 면에서의 기술개발이 필요하며, 최근

새로운 시스템의 개발로 널리 활용되고 있다.

4. 경관평가방법

사방구조물은 공공성이 강한 구조물이기 때문에 경관에 미치는 영향에 대한 객관적인 평가를 받아야 한다. 따라서 다음과 같은 평가방법 중에서 해당 대상물의 중요도, 사회적 상황 등에 따라 적당한 방법을 선택하도록 한다.

- 1) 전문가 등으로 구성된 위원회에 의한 방법
- 2) 복수의 연구자에 의한 통계적 방법(계량심리학 평가측정방법)
 - ① 평정척도를 사용하여 피험자에게 평가되는 방법(평가방법 : 질문법, 면접법)
 - ② 평정척도를 사용하지 않고, 언어나 그림 등으로 표현 또는 인지시키는 방법
(이미지·지도조사법 등)
 - ③ 의학적 혹은 생리적 반응이나 행동을 관찰하는 방법(관찰법, 시각 기록계를 사용한
시선·주시점조사 등)
- 3) 경험에 의한 방법(고전적 경관론이나 평가가 진행된 경관 등으로부터 법칙을 추출하는
방법)
- 4) 기타

한편, 평가방법에는 전술한 방법 이외에 개인의 주관이나 직관에 의한 평가방법이 있다. 이 방법은 매우 유효한 정보가 되는 경우도 있지만, 객관성이 결여되는 결점이 있다.

5. 조사결과의 정리

계류경관의 특징 등을 이용자들에게 전달하고, 정비계획에 반영하기 위해서는 조사결과를 정확하게 정리하여야 한다. 또한, 조사에서 파악된 기술, 사진, 지도 등에 대해서는 조사의 목적에 따라 알기 쉽게 정리하여야 한다.

따라서 공공조사의 결과는 다음과 같은 조사목적에 따라 정리하도록 한다.

1) 사진촬영

사진은 현장을 재현하는 것이므로, 연속사진으로 활용할 수 있게 일목요연하게 정리하도록 한다. 또한, 앨범에 사진 만을 부착하기보다는 같은 지면에 경관의 특징이 기술될 수 있도록

정리하는 것이 바람직하다.

2) 경관의 기술

사진촬영과 함께 관찰한 것을 기술한다.

- ① 전체적인 경관의 인상, 분위기 등을 기술한다.
- ② 계류의 풍경(수면풍경, 수제풍경, 계안풍경), 주변의 풍경(원경, 중경, 근경), 공간구성, 특히 눈에 띄는 곳 등의 경관특징을 기술한다.

3) 지도, 평면도 등

계류의 종단적인 파악 및 주변과의 관계성을 파악한다.

계류복원사업을 위한 환경조사(10) -계류이용실태조사를 중심으로-



전 근 우 / 김 석 우

강원대학교 산림환경과학대학 명예교수 / 부교수

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

인간은 오래 전부터 수계의 수변지역을 중심으로 삶을 영위하고 있다. 그러므로 친수이용에 대한 실태조사는 과거로부터 현재에 이르기까지 인간과 수변과의 관계를 파악하는 것으로, 해당 계류의 친수공간으로서의 퍼텐셜을 평가할 때 중요한 관점이 된다. 따라서 계류이용실태조사는 계류복원사업을 실시하는 계류 및 그 주변 지역에 있어서 계류공간의 이용실태와 요구도를 파악하는 것을 목적으로 하여 실시하도록 한다.

1. 조사내용

계류의 이용실태조사는 계획준비, 계류공간의 이용실태조사, 이용자 및 지역의 의향조사로 구분하여 실시한다.

① 계획준비

사업자는 업무의 목적과 주요 요지를 파악한 후, 설계도서에서 제시된 업무내용을 확인하여 업무계획서를 작성하고, 이를 감독관에게 제출하도록 한다.

② 계류공간의 이용실태조사

사업자는 조사 대상으로 하는 계류의 이용자수, 이용구간 등의 실태를 조사하도록 한다.

③ 이용자 및 지역의 의향조사

사업자는 조사 대상으로 하는 계류의 이용자와 계류가 위치하는 지역을 대상으로 하여 해당 계류의 이용에 관한 내용을 청취조사에 의하여 조사·집계하도록 한다.

④ 조사항목

실태파악은 다음의 항목에 관하여 필요에 따라 실시하도록 한다.

- 이용의 종류
- 이용 장소
- 이용 시기 및 시간대
- 이용자의 숫자 및 그 속성
- 이용시설

한편, 친수행위를 이용자가 수변활동에 이용하는 관점에서 분류하면 다음과 같다.

㉠ 생산활동

계류와 연관된 생업(생활을 위한 직업)은 표 1과 같이 생업활동으로서의 계류와의 관련성으로, 산업구조가 변천됨에 따라 그 중심내용이 변화하였다. 즉, 근세까지는 농업을 중심으로 한 1차 산업이 중심이었지만, 고도성장기에는 공업의 진보에 따른 2차 산업, 그리고 최근에는 관광 등의 3차 산업으로 비중이 옮겨지고 있다.

표 1. 생업활동으로서의 계류의 관련성

구분	계류와의 관련성	이용 방법	현 황
농업	제상퇴적지나 계안 등의 토지이용	농경지 방목지	계류의 관리가 강화되고, 산촌인구가 감소함에 따라 점차 쇠퇴하고 있음
	계류에서의 세정활동	야채, 농기구 세정	점차 쇠퇴함
어업	어류의 포획장소	어류 등의 포획	관광화, 레저화하는 경향임
	어류의 서식장소	어류 등의 양식	관광화, 레저화하는 경향임

임업	유수	뗏목	거의 볼 수 없음
	저수	저목장	거의 볼 수 없음
공업	공업용수	각종 공업용수	요구도가 높아지는 경향임
	세정	염색과 종이	거의 볼 수 없음
	생산지	자갈 및 돌 채취	계상의 높이를 유지하기 위하여 제한되고 있음
광업	생산지	사금·사철 채취	거의 볼 수 없음
관광업	경승지	협곡, 수향 역사적 마을풍경	계류의 정비가 증가하고 있는 경향임
	생활활동에서 전환	세탁	일부 지역에서만 볼 수 있음
	어업으로부터 전환	낚시, 양식	관광화, 레저화하는 경향임
	임업으로부터 전환	뗏목	거의 볼 수 없음

㉠ 생활활동

인간은 일상생활을 영위하는 과정에서 계류와 관계하고 있다. 따라서 개인이나 가족 등이 일상생활 속에서 계류와 관련된 활동을 하는 것을 생활활동이라고 한다.

한편, 표 2는 생활활동에 있어서의 계류의 이용방법과 그 변천요인 등을 제시한 것이다. 즉, 도시지역의 경우 최근 수도가 보급됨에 따라 생활수준에서 계류를 접할 기회는 거의 없어졌지만, 레크리에이션 면에서 그 이용방법이 변화하고 있다.

표 2. 일상생활로서의 계류와의 관련성 변화

계류 이용법	생활활동	변천의 요인	현재의 상황
수원	생활용수	수도의 보급	일부 지역에서 이용되고 있음
	농업용수	조직화·대규모화	개인이 이용하는 차원을 넘어서고 있음
세정	야채·세탁	수도의 보급	일부 지역에서 부분적으로 이용되고 있음
유수	각종 수로	—	중요함
방재활동	수방활동	조직화	조직화된 수방훈련은 그 중요성이 대두되고 있음
먹거리 생산지	조업	생업화	상업화 또는 레저화되고 있음

③ 신앙활동

인간은 이전부터 계류를 깨끗하고 변함없이 흐르는 대상으로 인식하고 있으며, 자연승배 사상에서 볼 수 있는 원시적인 종교나 불교의 무상함과 같이 신앙의 대상이나 장소로 간주하고 있다. 특히 우리나라에서는 논농사를 중심으로 발전해 왔기 때문에 농업용수에 대한 관심이 높았으며, 그로 인하여 기우제나 용수에 관련된 신앙도 각지에서 볼 수 있다.

④ 사회활동

생업활동 이외의 활동을 사회활동이라고 하며, 용수의 확보나 공공성이 높은 홍수의 방어 및 계류의 청소 등에 주민이 자발적으로 관계하는 활동이 이에 속한다.

⑤ 창작활동

계류를 화제로 하거나 장소로 하는 창작활동이 이루어지고 있다. 즉, 계류가 갖고 있는 자정기능이나 운반기능 등을 깨끗한 존재나 흘러가는 존재(무상함의 대상) 및 유구한 존재로 다루거나, 계류의 분단기능을 심리적 또는 사회적인 경계로 취급하기도 한다.

⑥ 교육활동

원래 인간은 수계를 중심으로 생활을 영위하면서 영향을 주거나 받고 있다. 특히 홍수나 수자원 등에 관한 자료는 그 지역의 풍토를 이해할 수 있는 귀중한 교재일 뿐만 아니라 계류에 서식하는 생물이나 생태계를 이해할 수 있는 기초자료이다.

⑦ 레크리에이션활동

계류에는 수역, 천이역 및 육역이라고 하는 횡단적인 공간의 변화, 그리고 상류, 중류 및 하류라고 하는 종단적인 변화가 중첩되어 다양성이 풍부한 공간이 형성되어 있다. 이와 같이 변화하는 공간은 그 특성에 따라 산책, 스포츠 및 낚시 등과 같은 다양한 레크리에이션활동의 장소로 이용되고 있다.

2. 조사방법

최근 야외생활(outdoor life)의 지향, 여유허간의 증가 등에 의하여 주변의 계류환경에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 계류를 가깝게 위치하는 좋은 휴식처라는 인식과 함께 관광, 레크리에이션의 핵심장소로 이용하려는 움직임이 활발해지고 있다(사진1, 사진2). 이러한 상황 속에서 지속적으로 증가될 지역주민의 다양한 요구에 적극적으로 대응하고, 점적인 정비에서 면적으로의 전개라고 하는 광역적인 정비와 계류로부터의 지역문화 창출과

지역 활성화를 적극적으로 촉진한다는 인식전환이 필요하다.

따라서 계류의 이용실태조사는 생태계의 조사와 함께 계류를 귀중한 자산으로 간주하여 보전, 정비하는 데 필요한 기초자료를 확보하고, 계획대상구역의 주변에서 책정하고 있는 지역계획을 파악하기 위하여 실시하도록 한다.

한편, 계류공간이란 유수가 존재하는 범위일 뿐만이 아니라 모래톱, 사력퇴 및 계류에 인접하고 있는 계안림을 포함하기 때문에 계류복원사업 등을 실시하기 위해서는 조사 착수 시 기존의 관련문헌과 함께 해당 지자체 등의 자문을 받아 조사장소를 선정하도록 한다.

특히 계류의 이용에 관계하는 다음과 같은 환경요소를 조사한다.

① 계류의 이용방법

- | | | |
|----------------|-----------|----------------|
| · 풍경탐방(산책로) | · 공원 | · 낚시 |
| · 캠프장(숙박시설 포함) | · 계류 물놀이장 | · 축제·전통행사·이벤트 |
| · 하이킹 코스 | · 래프팅 | · 조류관찰·자연관찰회 등 |
| · 전망대 등의 시설 | · 내수 양식업 | |



사진 1. 계류의 다양한 이용방법



사진 1. 계류의 다양한 이용방법

② 관광자원

- 산악
- 계곡·폭포·소·여울·계안림 등
- 사방댐 등의 사방시설

- 식물·동물
- 특수 지형·약수(샘물)
- 어류



사진 2. 계류의 다양한 관광자원

- ③ 청취조사나 설문조사에 의하여 파악하여야 할 내용
- 앞으로의 지방자치단체, 민간 등의 계류정비, 이용계획
 - 계류 주변의 마을, 관광지와의 접근
 - 이용자 및 기초자치단체의 계류정비·이용에 대한 의향조사
- ④ 현지조사는 예비조사를 실시한 후, 중요하다고 인정되는 장소를 대상으로 필요에 따라 실시하도록 한다.

3. 조사결과의 정리

사업자는 조사결과를 소정의 양식(표 3)에 근거하여 정리, 고찰하도록 한다.

표 3. 이용자수 집계표

지역명	사업소명	계류명	조사일자	날씨	조사자	소속

구간	좌우안	이용형태						
		산책	동식물 관찰	계류 스포츠	낚시	물놀이	캠핑	기타

4. 보고서 작성

사업자는 업무의 성과로서 계획업무 및 조사업무의 성과에 준하여 보고서를 작성하도록 한다.

환경을 살리는 방재 「Eco-DRR」



김 석 우 / 전 근 우

강원대학교 산림환경과학대학 부교수 / 명예교수

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

I. 머리말

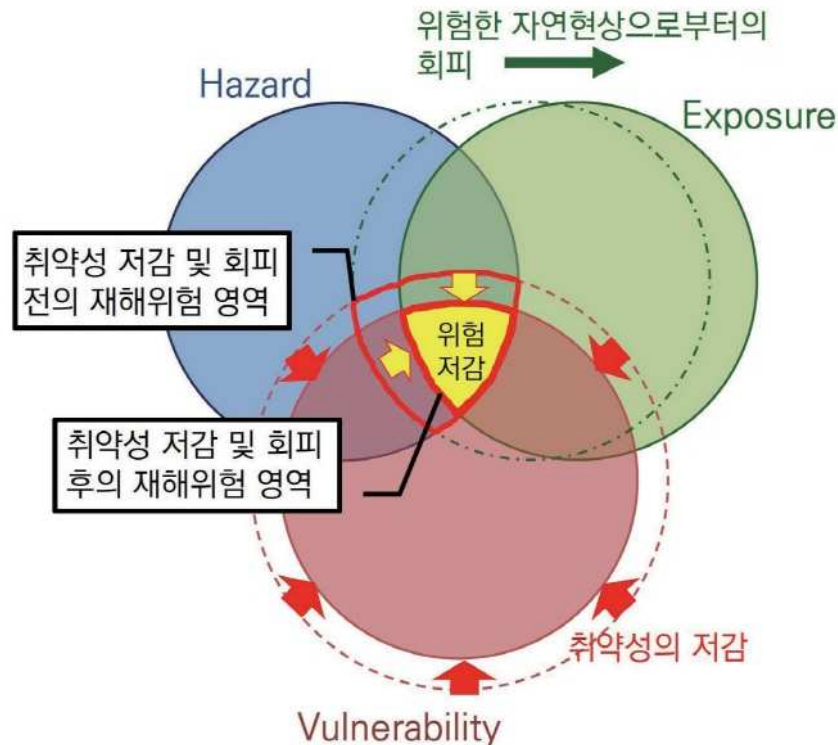
기상이변의 영향으로 자연재해 발생의 위험성은 증가하고 있으며, 도시화나 개발사업이 진행됨에 따라 자연환경은 점차 훼손되고 사회의 재해 취약성도 높아지고 있다. 이러한 상황에서 자연환경을 보전하고 생태계가 발휘하는 재해 저감 기능을 적극적으로 활용하는 「생태계 기반 재해위험 저감(Ecosystem-based Disaster Risk Reduction; Eco-DRR)」기법이 전 세계적으로 주목을 받고 있다(JICA, 2017; 김정옥 등, 2020; Dorren and Moos, 2022). Eco-DRR은 산림을 포함한 다양한 생태계의 재해 저감 기능을 활용함으로써 인공구조물에 의존해 온 기존의 방재대책에서 탈피하여 환경의 공익적 기능을 살리는 사회기반 정비에 초점을 둔 개념이다. 따라서 Eco-DRR은 기존의 인공구조물 중심의 방재대책 추진과정에서 제기되었던 환경훼손 논란을 해소할 수 있는 방안도 될 수 있다. 이

원고에서는 Eco-DRR의 개념, 유형과 사례 및 검토방법 등에 대하여 소개한다.

II. 생태계 기반 재해위험 저감(Eco-DRR)

1. 개념과 특징

재해위험(risk)은 위협적인 자연현상(hazard)에 대하여 인간과 사회기반시설이 노출된 경우(exposure)와 영향을 받는 정도(vulnerability)로 결정된다(ADRC, 2005). 위협적인 자연현상을 인위적으로 통제하는 것은 불가능하기 때문에 결국 재해위험을 저감하기 위해서는 노출의 회피와 취약성의 저감이 중요하며(그림 1), 이는 생태계의 기능을 잘 활용하게 될 경우 기대할 수 있는 효과이다. 이와 관련하여, 최근 일본 환경성은 지역 환경의 이해와 보전·관리를 통한 재해에의 노출 저감과 사회의 취약성 저감을 핵심전략으로 하는 Eco-DRR의 개념을 제시하고 있다(Ministry of the Environment, 2016; 그림 2).



※ ADRC(2005)의 자료를 토대로 재작성

그림 1. 재해위험 저감의 개념

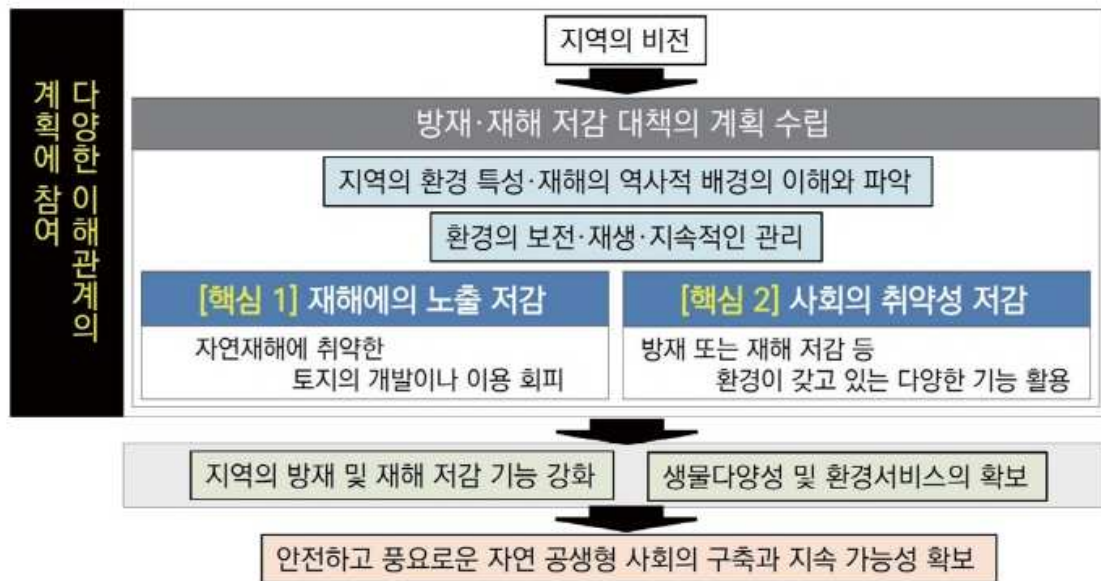


그림 2. 환경을 활용한 방재의 개념(Ministry of the Environment, 2016)

Eco-DRR은 산림을 포함한 다양한 생태계의 공익적 기능 중 재해 저감 관련 기능을 살린 사회의 취약성 저감 및 기반정비의 개념으로 정의할 수 있으며, 대표적인 예시는 그림 3과 같다. Eco-DRR은 현존하는 생태계의 활용을 기본전제로 하기 때문에 사업비나 유지비가 저렴하고 경제적이며, 지역 고유의 전통적인 지식이나 문화적 가치를 유지할 수 있고, 나아가 탄소흡수원의 확보, 생물다양성의 보전과 지속 가능한 이용 및 재해 후의 높은 회복탄력성(resilience)이 장점이라고 할 수 있다(中村, 2015).





※ 그림: Ministry of the Environment (2016)의 자료를 토대로 재작성

그림 3. Eco-DRR에 있어 노출의 회피(A)와 취약성 저감(B)의 예시

Eco-DRR에 있어 생태계의 특징을 인공구조물과 비교하면 표 1과 같다. 생태계의 경우, 방재기능 발휘의 확실성은 인공구조물에 비해 약하지만, 다면적 기능성이 강하고, 재해 발생의 불확실성에 대한 순응적 대처가 가능하며, 주변 환경에 미치는 부하 정도는 매우 낮다는 장점을 갖고 있다.

표 1. 생태계와 인공구조물의 특징 비교(JICA, 2017)

특징	생태계	인공구조물
방재기능 발휘의 확실성(목적으로 하는 방재기능과 그 수준의 확실성)	△	◎
다면적 기능성(많은 서비스의 동시 발휘)	◎	△
불확실성에 대한 순응적 대처 (계획 시에 예측하지 못한 사태에 대한 대처의 용이성)	○	×
환경부하의 회피(재료공급원이나 주변 생태계에 미치는 부하가 적은 정도)	◎	×
단기적 고용창출 및 지역경제효과	△	◎
장기적 고용창출 및 지역경제효과	○	△

◎ 매우 강함, ○ 강함, △ 약한 편, × 약함

2. 유형과 사례

Eco-DRR에 있어서 재해 저감을 목적으로 생태계를 활용하는 방법은 ① 생태계의 보전과 관리, ② 쇠퇴한 생태계의 복원, ③ 새로운 생태계의 조성 및 ④ 인공구조물과 생태계의 융합의 네 개 유형으로 구분하여 생각해 볼 수 있다(표 2). Eco-DRR 유형별로 국내에서 추진되어 온 산림분야의 대책 사례를 정리해 보면 표 3과 같다. 산림보호법에 근거한 산림보호구역의 지정, 관리 및 행위 제한은 「생태계의 보전과 관리」, 복원사업, 조림사업 및 사방사업은 각각 「쇠퇴한 생태계의 복원」, 「새로운 생태계의 조성」 및 「인공구조물과 생태계의 융합」에 해당하는 사례이다.

표 2. Eco-DRR의 유형과 내용(Ministry of the Environment, 2016)

유형	내용
생태계의 보전과 관리	현존하는 생태계의 기능이 발휘되도록 보호지역의 설정, 적절한 유지관리 체계의 마련 등을 통해 건전한 상태로 보전하고 관리하는 것
쇠퇴한 생태계의 복원	자연복원(불가능할 경우 최소한의 인위적 개입 필요) 등을 통해 쇠퇴한 생태계를 건전한 상태로 회복시키는 것
새로운 생태계의 조성	재해 저감 기능의 발휘를 목적으로 한 새로운 생태계를 조성하는 것
인공구조물과 생태계의 융합	재해 저감 기능의 보강이나 생태계의 보전, 복원 등 지역에 필요한 기능을 발휘시킬 수 있도록 위의 세 가지 방법을 인공구조물과 융합하는 것

표 3. Eco-DRR 유형별 산림분야의 대책 사례

유형	사례
생태계의 보전과 관리	산림보호구역(생활환경, 경관, 수원함양, 재해방지, 산림유전자원)의 지정·관리, 구역 내 행위 제한
쇠퇴한 생태계의 복원	산지·계류복원사업을 통한 훼손된 생태계의 복원, 숲가꾸기 사업(특히 침엽수 인공림의 숲아베기)
새로운 생태계의 조성	조림사업(황폐지 복구, 수확벌채 후 조림 등)
인공구조물과 생태계의 융합	산지사방사업(기초공, 녹화공), 환경친화적 야계사방사업

3. 유의점과 검토방법

Eco-DRR의 활용 시에는 강우, 지진 등 재해의 유인(誘因)이 되는 외력 발생의 시·공간적 불확실성에 유의해야 하며, 생태계가 재해 저감 기능을 발휘하기까지는 인공구조물에 비해 장시간이 요구된다는 점을 이해할 필요가 있다. 또한, 생태계가 재해 저감 기능을 효과적으로 발휘하기 위해서는 일정 규모 이상의 공간대책이 필요하며, 이를 위해서는 사전 기능 평가와 사후 모니터링을 통한 개선점 도출이 반드시 수반되어야 한다(JICA, 2017). JICA 등 (2017)이 제시하고 있는 Eco-DRR 활용 시의 검토 절차와 구체적인 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 재해 위험성 분석

과거의 재해이력이나 지역의 지형, 지질 등의 소인(素因)에 따라 예상되는 위험한 자연현상의 유형(산사태, 토석류, 홍수, 지진, 쓰나미 등)과 취약성을 조사한다. 이를 토대로 발생 가능한 재해의 유형, 강도, 영향 범위, 방재대책의 우선순위, 보전대상의 규모나 범위, 기존의 방재시설 및 완충공간의 정비상황 등을 분석한다.

2) 지역 생태계의 특징 파악

지역 생태계의 기능이나 소득자원(목재, 농작물, 관광 등)의 특징을 파악하여 Eco-DRR 활용의 적정성을 분석한다.

3) 대책 계획안의 작성

계획안은 공간계획과 현장대책으로 구분할 수 있다. 공간계획에는 완충공간과 방재시설 정비공간이 포함된다. 현장대책에는 기존 생태계의 보전, 쇠퇴한 생태계의 복원, 새로운 생태계의 조성, 인공구조물과 생태계의 융합 등이 있다. 이를 토대로 완충공간, 정비공간, 구역설정, 토지이용 규제 및 유지관리 체계, 생태계의 복원 및 조성 방법, 인공구조물과 생태계의 융합 형태 등을 검토한다.

4) 재해 저감 기능(비상) 및 다면적 기능(평상) 평가

생태계의 활용에 따라 기대되는 비상시의 재해 저감 기능, 평상시의 공급·조정·문화 서비스 등의 다면적 기능을 정량적·정성적으로 평가한다.

5) 대책 계획안의 종합평가

구체적인 대책 계획안이 작성된 단계에서 그 비용편익을 평가한다. 예상되는 다수의 시나리오에 대해 재해 저감 기능을 경제적 가치로 환산하여 비교하고 평가한다.

6) 적용 및 유지관리

Eco-DRR에서는 생태계가 제공하는 편익을 극대화하기 위하여 생태계에 대한 영향을 충분히 고려해야 한다. 또한 인공구조물에 비하여 장기적인 유지관리가 필요하므로 생태계의 기능에 대한 이해와 교육이 필요하다. 특히 지역주민의 능동적인 참여와 관리체계 확립이 중요하다.

7) 모니터링과 평가

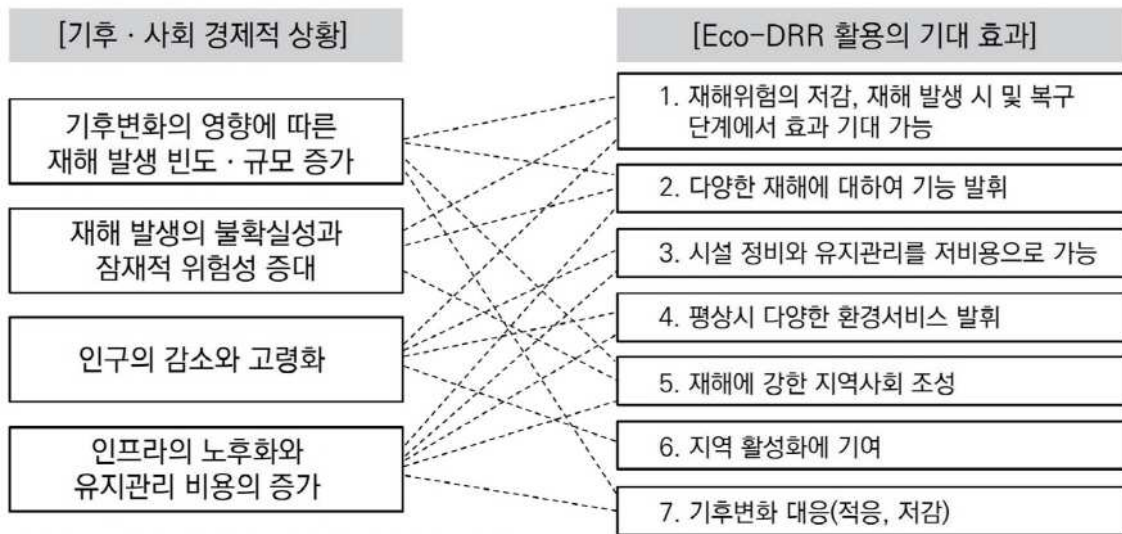
Eco-DRR의 효과는 결국 환경 변화에 영향을 받게 된다. 따라서 사업 효과는 당초의 목표와 다르게 나타날 수 있다는 점도 고려해야 한다. 사업 개시 후에 지역사회와 주변 생태계에 미치는 영향, 시공 및 유지관리의 진행상황 및 유효성 평가가 필요하다.

8) 개선방안 도출

모니터링 데이터를 분석하여 시공 및 유지관리 방법의 개선, 중장기 계획 수립, 생태계의 순응적 관리에 필요한 개선방안을 도출한다.

4. 기대 효과

Eco-DRR은 기상이변에 따른 자연재해 발생 가능성의 증가와 함께 인구의 감소와 고령화, 인프라의 노후화 등의 사회 경제적 상황에 대응하여 재해위험의 저감, 다양한 환경서비스 제공, 기후변화 대응 등의 다면적 기능을 발휘할 수 있다(그림 4).



※ Ministry of the Environment (2016)의 자료를 일부 수정

그림 4. Eco-DRR 도입에 따른 기대 효과

III. 맺음말

지금까지 산지토사재해에 대응하기 위해 추진되어 온 국내 산림분야의 정책과 사방사업은 Eco-DRR과 같은 맥락에서 실시되어 왔다고 볼 수 있다. 기후변화 시대에서 산림생태계의 보전과 산지의 합리적 이용, 그리고 재해위험 저감이라는 목표를 동시에 추구하기 위해서는 국내 여건에 맞는 Eco-DRR의 개념 정립과 함께 Eco-DRR로서의 산림의 공익적 기능을 정량적으로 평가하고 증진하기 위한 노력이 필요하다.

[감사의 글] 이 원고는 산림청(한국임업진흥원) “산림과학기술 연구개발사업 (2021342B10-2223-CD01)”의 지원에 의하여 작성되었습니다.



참고문헌

- 김정옥, 김형수, 김수전. 2020. 생태계 기반 재난위험저감(Ecosystem-based Disaster Risk Reduction: Eco-DRR)의 역할과 연구방안. 물과 미래 53(9): 52-57.
- ADRC(Asian Disaster Reduction Center). 2005. Total Disaster Risk Management-Good Practices-.
- Dorren, L., Moos, C. 2022. Towards quantitative evidence of Eco-DRR in mountains: A concise review. Ecological Engineering 175: 106485.
- JICA(Japan International Cooperation Agency). 2017. 生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)の実践-その結果、国際動向とJICAの取組-.
- JICA(独立行政法人国際協力機構), アジア航測株式会社, 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社. 2017. 森林等生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR) 情報収集・確認調査ファイナル・レポート本編.
- Ministry of the Environment. 2016. Ecosystem-based disaster risk reduction in Japan: A handbook for practitioners.
- 中村太士. 2015. グレーインフラからグリーンインフラへ. 進行する気候変動と森林, pp. 89-98. 森林文化協会.

산림입지도양 기반 조림목 초기 생육 예측 연구



노 남 진 / 한 승 현

강원대학교 산림과학부 교수 / 국립산림과학원 산림기술경영연구소 연구사

njnoh@kangwon.ac.kr / foresthsh@korea.kr

1. 조림목 초기 생육 예측 모형 개발 필요성

기후위기가 가속화됨에 따라 국제사회에서는 탄소중립 이행을 위한 움직임이 본격화되고 있다. 국내에서도 2050 탄소중립 이행을 위해 산림부문에서는 신규조림 및 재조림 면적 확대, 숲가꾸기 등을 통해 산림의 탄소흡수능력을 유지·증진하고자 노력하고 있다. 2021년 우리나라 조림면적은 약 20만6천ha로 약 4천8백만본의 나무가 식재되었으며 전국 평균 조림목의 활착율은 약 91%로 보고되고 있다(산림청, 2022). 그러나 조림 지역에 따라 활착율의 변이가 매우 크며, 최근 기후변화 및 기상이변으로 인해 식재 초기 조림목의 활착율이 매우 낮게 나타나는 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 조림성과 향상을 위해서는 최근 조림 입지환경 변화에 따른 조림목의 생육 특성 분석과 이에 기반한 조림 기술 개발이 절실한 시점이다.

우리나라에서는 주요 수종의 성숙 임분을 대상으로 기후, 토양, 입지 환경의 다양한 변수를 활용하여, 흉고직경과 수고 등의 생육 상태 예측 및 적지 판단에 관한 연구들이 수행된 바 있다(표 1). 최근 표준지의 확대 및 현지조사 자료가 축적됨에 따라 빅데이터를 기반으로 기계학습법을 활용한 생육 예측 모형 연구도 수행되고 있다(고치웅 등, 2019; 이승현 등, 2020). 현재 산림청에서는 기상청 기후관측 데이터베이스의 기후인자와 함께 최근 제작된 1:5000 대축척 산림입지 토양도 데이터베이스로부터 모암, 표고, 경사, 방위, 토심, 토성, 건습도, 토양형 등의 환경인자를 적용하여 주요 수종에 대한 맞춤형 조림지도의 정밀도를 향상시키고 있다(조남현 등, 2020; 권민영 등, 2021).

그러나 식재 초기의 적합한 생육 환경은 성숙 임분과 다를 수 있는데, 특히 토양 산성도, 토양 수분함량, 토양유기물 함량 및 양분 상태 등의 물리·화학적 특성에 민감하게 반응할 수 있다. 초기 생육 상태가 불량한 조림목은 향후 우수한 용재수로서의 잠재적 이용가치가 낮을 수 있으며, 탄소흡수원으로서 숲의 기능도 저하될 수 있다. 토양 물리·화학적 특성은 공간적 변이가 매우 크기 때문에 전국 단위 자료 구축의 어려움이 있으나, 조림성과 향상을 위해서는 기후·입지·토양 환경 빅데이터에 기반한 생육 예측 및 조림 기술 개발이 필요하다.

표 1. 국내 관련 연구 사례별 주요 분석 내용 및 수종, 조사규모, 분석항목

분석 내용	수종(임령)	조사규모	인자/분석항목	문헌
지위지수 추정식 ⇒ 조림적지 추정	상수리나무, 신갈나무 (성숙림)	전국산림 입지조사자료 (23,315개)	• 입지토양(28개) : 표고, 경사, 토양형, 토심, 토색, 토성 등	이승우 등 (2007)
적지예측 평가 모형 ⇒ 성장량 평가 및 적지 예측	후박나무 (24~59년)	난대지역 표준지 (37개)	• 기후(9개) : 30년 평년 기상자료 • 입지(12개) : 고도, 경사, 지형, 방위, 토심, 간이토양수분, 건밀도 등	강진택 등 (2012, 2014)
적지예측 평가 모형 ⇒ 성장량 및 탄소저장량추정	불가시나무 (24~59년)	난대지역 표준지 (42개)	• 기후(9개) : 30년 평년 기상자료 • 입지(12개) : 고도, 경사, 지형, 방위, 토심, 간이토양수분, 건밀도 등	황정순 등 (2015)
생육분포 확률 평가	상록활엽수림	전국 표준지 (176개)	• 기후(6개) : 30년 평년 기상자료	유병오 등 (2016)
수간곡선추정식 ⇒ 입목수간재적표조제	상수리나무 (평균 37년생)	전국 표준목 (2,700본)	• 직경-상대수고	고치웅 등 (2019)
분포 및 환경변수 관계 분석 ⇒ 잠재분포 예측	전국소나무	전국임상도	• 기후(8개) : 온도, 강수 • 입지(4개) : 고도, 사면, 경사(DEM), 토심(1:5000 입지토양도)	조남현 등 (2020)
직경추정 모형 ⇒ 수간고별직경추정	상수리나무 (평균 36년생)	전국 표준목 (1,559본)	• 입지(5개) : 고도, 경사, 지형, 사면, 입지조건(나뭇, 중간)	이승현 등 (2020)

2. 국외 토양환경 기반 생육 예측 모형 연구 사례

국외의 경우 조림지의 기후·입지 조건과 토양 물리·화학적 특성을 종합적으로 고려하여 입지생산성 및 지위지위를 예측하는 연구가 다양한 통계 기법을 활용하여 수행되었다(표 2). 프랑스에서는 다양한 생태학적 변수들로부터 인공림의 지위지수를 예측하는 시도가 있었고(Curt et al., 2001), 뉴질랜드에서는 조림지의 입지생산성과 지속가능한 보속생산에 영향을 미치는 토양인자를 탐색하는 연구가 수행된 바 있다(Watt et al., 2008). 이 연구에서는 *Pinus radiata*, *Cupressus lusitanica* 4년생 조림목을 대상으로 다양한 토양목(order)이 포함되도록 31개의 연구대상지를 선정하였고(그림 1), 조림지의 기후인자 뿐만 아니라 점토, 미사, 모래 함량, 토양산성도, 토양탄소 및 질소, 인 함량, 양이온치환용량 등의 토양 물리·화학적 특성을 예측변수로 반영하여 생육 예측의 설명력을 향상시킨 바 있다.

표 2. 국외 주요 선행 연구 사례별 분석 내용 및 수종, 조사규모, 영향 인자

분석 내용	수종(임령)	조사규모	인자/분석항목	문헌
지위지수 추정식 조제 ⇒ 생산성, 지위지수 예측	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (성숙림)	프랑스 표준지 (202개)	• 입지·토양(19개) : 토양형, 부식형, 모암, 토심, 산도, 양분상태, 수령, 지위지수 등	Curt et al. (2001)
임분생산성 영향인자 평가 ⇒ 토양 환경 인자	<i>Pinus radiata</i> <i>Cupressus lusitanica</i> (4년생)	뉴질랜드 표준지 (31개)	• 기후(6개) : PAR, 온도, 습도, 강수량, VPD • 토양(21개) : - 물리성 : 점토, 미사, 모래 함량 등 - 화학성 : 탄소, 질소, 산도, CEC, 양이온, 인 등	Watt et al. (2008)
지위지수 예측 모형 개발 ⇒ 모형 비교(MLR, CART, BRT, GAM, ANN)	<i>Pinus brutia</i> <i>P. nigra</i> <i>Cedrus libani</i> (성숙림)	터키 표준지 (167개)	• 입지(17개) : 지위지수, 고도, 경사, 방위, 토심, 부식층, 낙엽층, 지형, 사면위치 등 • 토양(6개) : - 물리성 : 점토함량, 모암, 낙엽층, 부식층 - 화학성 : 유기탄소, 산도	Aertsen et al. (2010)
임분생산성 영향인자 평가 ⇒ 생태계 수준 모형 개발 (BRT)	<i>Quercus robur</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>P. sylvestris</i> (50년생~)	벨기에 표준지 (186개)	• 입지(5개) : 지위지수, 토심, 유효토심 등 • 임상(8개) : 습도, 광량, 질소, 부식층 등 • 낙엽, 토양(21개) : - 물리성 : 점토함량, 용적밀도, 공극율, 토심 - 화학성 : 토양(산도, 탄소, 질소, 인 등) - 낙엽(질소, 인, 양이온 농도 등)	Aertsen et al. (2012)
지위지수 예측 모형 개발 ⇒ 지위지수 예측(random forest model)	<i>Pinus taeda</i> (5~45년생)	미남부 지역 표준지 (356개)	• 기후(17개) : 생육기간, 강수량, 온도, GDD 등 • 입지(1개) : 고도 • 토양(6개) : 잠재수분, 토성, 유기물, 유효토심 등	Sabatia and Burkhart (2014)

터키에서는 입지생산성 향상을 위해 다양한 입지·토양 인자를 적용하여 지위지수 예측 모형을 개발한 바 있다(Aersten et al., 2010). 지중해 산림에서 167개의 연구대상지를 선정하고 *P. brutia*, *P. nigra*, *Cedrus libani* 3수종을 대상으로 지위지수 예측 모형을 개발하였다(그림 2). 모형 개발을 위해 multiple linear regression model (MLR), classification and regression model (CART), boosted regression tree model (BRT), generalized additive model (GAM), artificial neural networks model (ANN)을 활용하였고, 모형의 설명력과 해석의 우선순위를 비교·분석하였다. 지위지수 예측에 있어서는 GAM이 우위를 보였으며, 생태학적 해석에 있어서는 BRT, 사용자 편의 측면에서는 MLR과 CART가 유용하며, 예측력은 높으나 해석의 복잡성을 가지는 것은 ANN으로 나타나, 모형별 예측 정확도 및 활용도를 제시하였다.

미국 남부지역에서는 테다소나무 조림지를 대상으로 입지생산성을 보다 정확하게 예측하기 위해서 랜덤포레스트모델(random forest model, RFM)과 비선형최소제곱회귀모델(NLRM)을 활용한 바 있다 (Sabatia and Burkhart, 2014).

본 연구에서는 흥미로운 점은 간벌에 의해 집약적으로 산림관리가 이루어진 임분(170개)과 관리되지 않은 임분(186개)을 구분하여 분석을 수행하였고(그림 3), 관리된 임분에서 모형의 예측력이 그렇지 않은 연구대상지에 비해 높다는 점을 통계적으로 입증하였다. 또한 테다소나무 조림지의 지위지수 예측을 위한 주요 영향인자는 강수량, 토심, 토양수분함량, 고도, 계절별 강수량, 여름철 최고기온 등으로 나타났다. 그 외에도 Aersten et al. (2012)는 임상

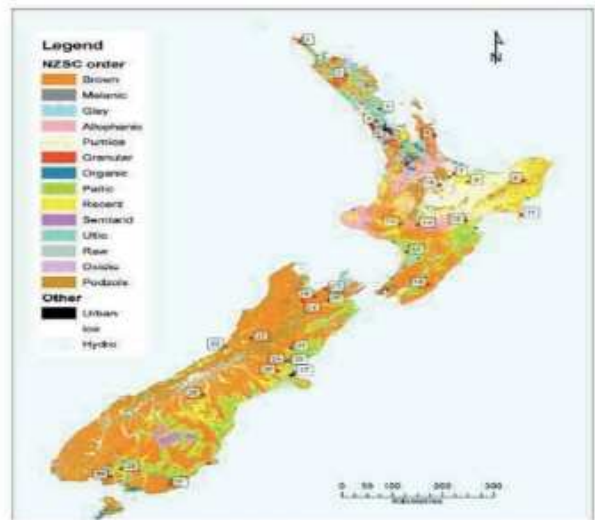


그림 1. 뉴질랜드의 다양한 토양목(order)을 포함하는 연구대상지 분포 (Watt et al, 2008)

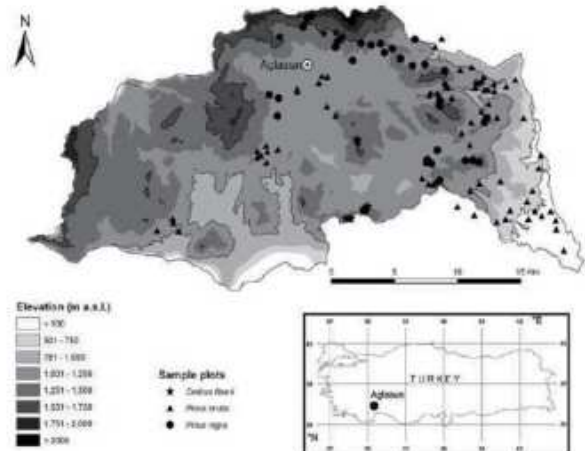


그림 2. 터키 지중해 산림에서 고도에 따른 연구대상지 분포 (Aersten et al., 2010)

유기물의 양, 낙엽 질소농도, 토양 산성도, 토양유기물함량, 토양 탄질을 등 생태계수준의 다양한 변수들을 생육 예측 모형 개발에 포함시켜 예측의 정확도를 크게 향상시켰으며, 생육 예측을 위한 모형 개발에 있어서 토양 환경 변수의 중요성을 강조한 바 있다.

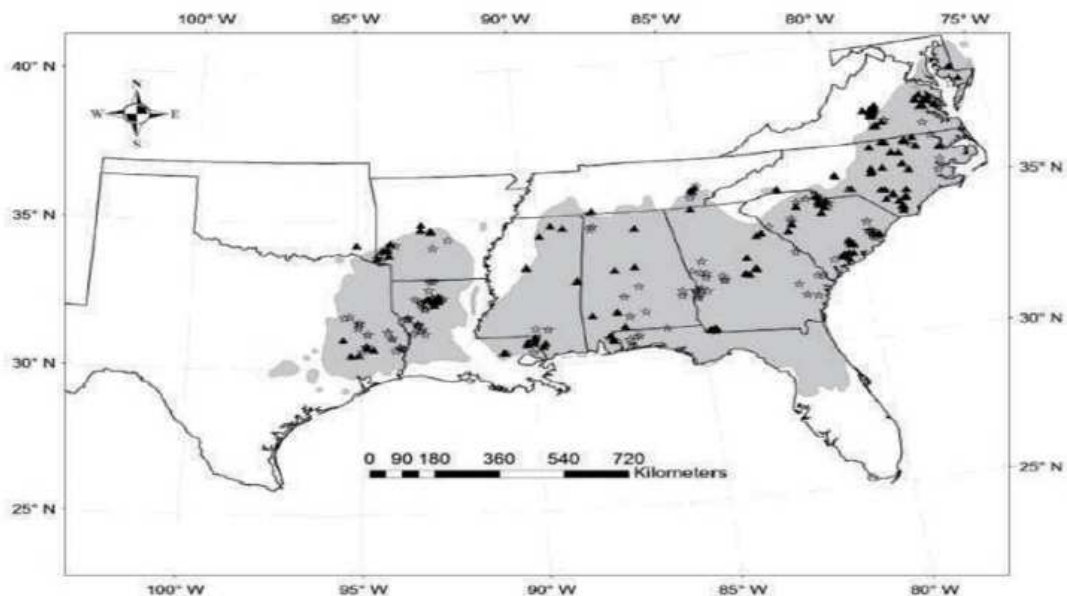


그림 3. Virginia Tech Forest Modeling Research Cooperative 테다소나무림 연구조사구 위치. 삼각형은 집중적으로 관리되지 않은 조사구, 별표는 집중적으로 관리된 조사구, 회색 음영은 미 남부지역 테다소나무의 자연적인 분포 범위를 나타냄 (Sabatia and Burkhart, 2014)

3. 우리나라 조림목 생육 예측 모델 개발 연구 사례

국립산림과학원 산림기술경영연구소에서는 2020년부터 주요 용재수종의 가치 제고를 위해 산림관리 기술 개발 연구를 수행 중에 있으며, 이를 위해 조림목 식재 초기부터 생육 특성을 분석하여 조림 적지 및 시기 기준을 개발하고, 어린나무가꾸기 작업 방법 개선 및 장령림의 효율적 임분관리를 위한 기술 등을 개발하고 있다. 특히 조림목의 적정 입지환경 조건 구명 및 생육예측 모형 개발을 위해서는 전국 5개 지방산림청 및 8개 지자체로부터 낙엽송, 상수리나무, 편백 등 3수종에 대한 조림계획·실적을 협조받아 경제림을 대상으로 조림 내역 자료를 구축하였으며, 기후·입지환경, 수종별·권역별 조림지의 공간분포 등을 고려하여 360개소의 조림 시험지를 선정하였다(그림 4, 5).

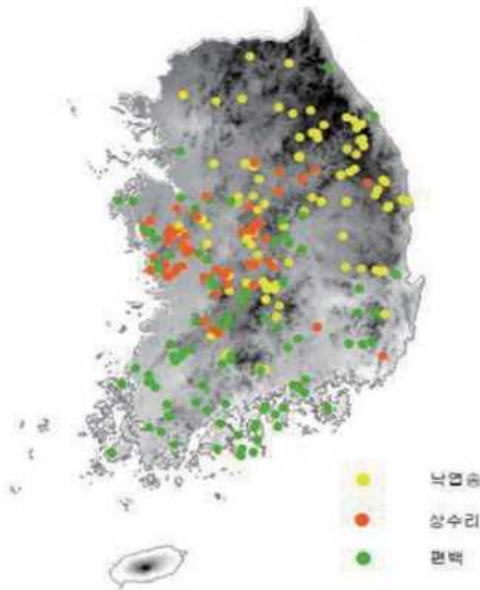


그림 4. 낙엽송, 상수리나무, 편백 조림지
연구대상지분포

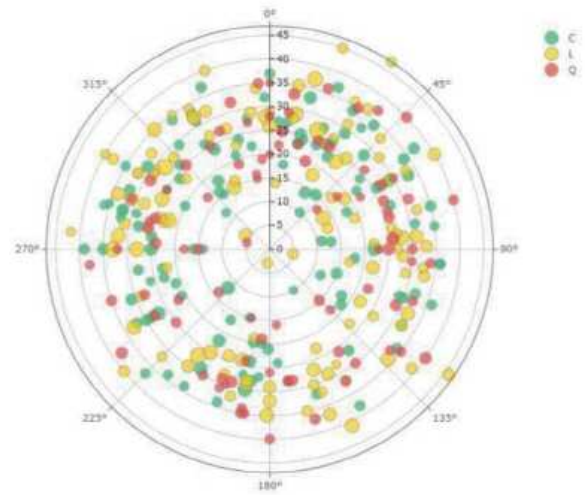


그림 5. 방위(0-360°) 및 경사(0-50°), 해발고(22-1173m)에 따른 낙엽송, 상수리나무, 편백 조림 시험지 분포. 원형의 크기가 클수록 높은 해발고를 의미함

조림 시험지의 입지환경 특성은 조림목의 초기 생육특성과 함께 조사되었다. 해발고, 방위, 경사, 사면위치, 유기물층, 유효토심, A층 토심, 견밀도, 암석 노출도, 단면 석력함량, 전생 임분 특성 등을 측정하였으며(표 3), 토양시료 채취 후 물리·화학적 특성을 분석하였다. 토양분석은 토성, 산도, 치환성양이온(CEC), K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , 유효태인산(P_2O_5 -) 농도, 토양 탄소 및 전질소 농도를 분석하였다. 조림 시험지 기후자료는 각각의 조림 시험지로부터 공간적으로 가장 인접한 기상청 AWS 및 산악기상관측시스템 지점 자료를 취득하여 활용하였다.

표 3. 조림목 초기 생육 특성(생존율 및 생장율) 예측을 위한 예측 변수 예시

변수 분류	세부 변수
조림 전 임분 특성(3)	임종, 임상, 영급
조림목 특성(1)	묘목 종류
입지 환경(9)	해발고, 방위, 경사, 위도, 경도, 사면위치, 기후대, 모암, 암석 노출도
토양 환경(18)	유기물층, 유효토심, A층토심, 견밀도, 석력 함량, 모래함량, 점토함량, 미사함량, 산도, CEC, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P_2O_5 , C, N, CN
기후 환경(6)	한랭지수, 온량지수, 대기 온도, 대기 습도, 강수량, 강수 일수
조림 후 관리(1)	풀베기

낙엽송, 상수리나무, 편백 조림지를 대상으로 구축된 기후·입지·토양 환경 자료를 바탕으로 통계적 학습회귀인 랜덤포레스트모델(RFM)을 활용하여 조림 2년차 조림목의 생존율과 생장율 등을 예측하였다. 생존율 예측 모형의 설명력은 생장율 예측에 비해 낮은 편이었으나, 주요 영향 인자는 암석노출도, 해발고, 경사, 모암 등으로 나타났다. 한편 생장율 예측의 경우 주로 강수량, 위도, 해발고, 토심과 유효태인산농도 등이 주요 영향 인자로 나타났다(그림 6, 7).

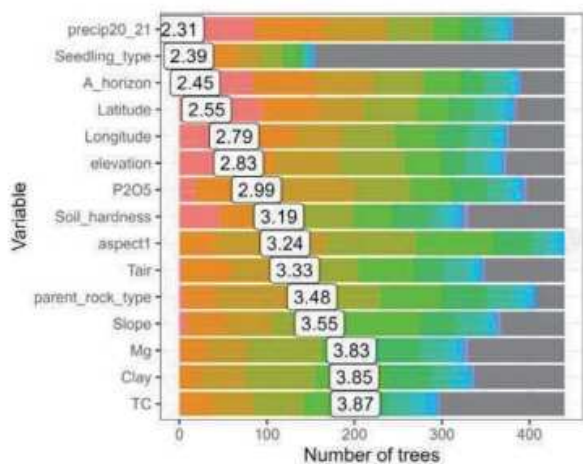


그림 6. 근원경생장을 영향 주요 인자 분석을 위한 RFM 결정트리의 최소깊이 분포 (수치가 낮을수록 주요 영향 인자) 상수리나무 예시

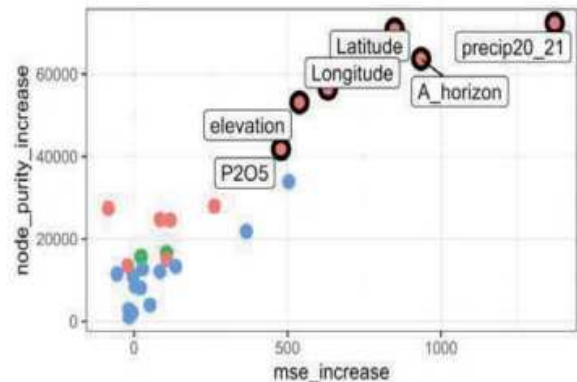


그림 7. 근원경생장을 주요 영향 인자 분석을 위한 중요도 플랏 (mse_increase와 node_purity_increase 높을수록 중요도 높음) 상수리 나무 예시

조림목 초기 생육 특성에 영향을 미치는 주요 인자들은 수종 간 차이를 보이며, 이는 수종별 생육 모형 개발이 필요하다는 것을 의미한다. 또한 유효태인산농도와 같은 토양 화학적 특성은 생육 예측 모형의 설명력을 높일 수 있으며, 조림 연차가 경과함에 따라 환경에 따른 생육 특성 반응이 점차 뚜렷하게 나타날 수 있기 때문에 생육 예측의 정확도는 더욱 향상될 것으로 기대된다.

주요 조림 수종별 조림 초기 활착율 및 생육 예측 모델 개발 연구는 조림 성과를 조기에 예측·평가하고 사후대책을 수립하는데 중요한 정보를 제공할 것이다. 그러나 주요 용재수종으로서의 가치를 높이기 위해서는 조림 초기 생육특성 뿐만 아니라 장령림에 이르기까지 어린나무가꾸기, 솎아베기 등 조림지 관리에 영향을 받기 때문에 기조성된

조림시험지의 체계적인 관리와 지속적인 모니터링이 반드시 이루어져야 한다. 향후 묘목 종류, 식재 시기, 사후관리 등 조림 기술과 관련된 모든 빅데이터를 수집·분석할 경우, 권역화된 조림 적지 기준 개발 및 맞춤형 조림지도 개선, 정밀임업 발달 등에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.



참고문헌

1. 강진택, 김정운, 김철민. 2012. 기후변화에 따른 난대상록활엽수의 적지예측 평가 모델 개발. 농업생명과학연구, 46(3), 47-58.
2. 강진택, 손영모, 김호정, 박현. 2014. 한반도 난대지역 상록활엽수 후박나무의 적지예측 모델 개발. 농업생명과학연구, 48(6), 39-54.
3. 고치용, 김동근, 강진택. 2019. 변량지수식을 이용한 전국 상수리나무의 입목수간재적표 추정. 한국산림과학회지, 108(3), 357-363.
4. 권민영, 김가은, 정진현, 최창은, 박관수, 김춘식, 손요환. 2021. 1:5,000 산림입지도양도 제작과 활용 및 향후 발전 방향. 한국산림과학회지 110(4), 479-495.
5. 산림청. 2022 산림임업통계연보 (제52호). 산림청.
6. 유병오, 박준형, 박용배, 정수영, 이광수. 2016. 로지스틱 회귀모형을 이용한 상록활엽수림 생육분포 확률 평가. 한국지리정보학회, 19(1), 94-105.
7. 이승우, 원형규, 신만용, 손영모, 이윤영. 2007. 산림 입지도양 환경요인에 의한 상수리나무와 신갈나무의 적지추정. 한국토양비료학회지, 40(5), 429-434.
8. 이승현, 고치용, 신중훈, 강진택. 2020. 머신러닝기법을 이용한 상수리나무의 수간고별 직경추정 연구. 농업생명과학연구, 54(6), 29-37.
9. 조남현, 김은숙, 이보라, 임종환, 강신규. 2020. MaxEnt 모형을 이용한 소나무 잠재분포 예측 및 환경변수와 관계 분석. 한국농림기상학회지, 22(2), 47-56.
10. 황정순, 강진택, 손영모, 전현선. 2015. 완도지역의 붉가시나무 생육 적지예측 및 탄소저장량 추정. 한국기후변화학회, 6(4), 319-330.
11. Aertsens, W., Kint, V., Orshoven, J. V., Özkanb, K., Muys, B. 2010. Comparison and ranking of different modeling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. Ecological Modelling, 221(8), 1119-1130.
12. Aertsens, W., Kint, V., Vos, B. D., Deckers, J., Orshoven, J. V., Muys, B. 2012. Predicting forest site productivity in temperate lowland from forest floor, soil and litterfall characteristics using boosted regression trees. 2012. Plant Soil, 354, 157-172.

13. Curt, T., Bouchaud, M., Agrech, G. 2001. Predicting site index of Douglas-Fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France. *Forest Ecology and Management*, 149, 61-74.
14. Sabatia, C. O., Burkhart, H. E. 2014. Predicting site index of plantation loblolly pine from biophysical variables. *Forest Ecology and Management*, 326, 142-156.
15. Watt, M. S., Davis, M. R., Clinton, P. W., Coker, G., Ross, C., Dando, J., Parfitt, R. L., Simcock, R. 2008. Identification of key soil indicators influencing plantation productivity and sustainability across national trial series in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 256, 180-190.

기후위기 적응을 위한 숲의 홍수와 가뭄 완화 기능에 대하여



김 경 하

건국대학교 산림조경학과 교수

kkyyha6011@naver.com

1. 들어가기

지금 인류는 역사상 유례가 없는 심각한 위기에 봉착해 있다. 과거와 달리 최근의 위기는 코로나19 팬데믹과 기후위기 등 사회적·경제적·환경적으로 복합적이다. 지난 1만 년 동안 지구 온도는 4℃ 상승하며 자연적인 기후변화를 겪었다. 하지만 인류가 산업혁명 이후 화석연료를 무분별하게 사용하면서 지구 온도는 채 백년이 안된 기간동안 1℃ 이상 빠르게 올랐다. 지구온난화로 인한 기후위기의 심각성은 끊임없이 제기되어 왔고, 이를 막기 위한 2050년 '탄소중립'은 이제 국제사회의 중요한 이슈가 되었다. 지금 기후위기로 인한 사회적·경제적 피해는 해를 거듭할수록 증가일로에 있으며 2021년 여름만 해도 그림 1과 같이 전 세계가 기후위기로 인한 다양한 형태의 재난을 경험하였다. 2022년에도 파키스탄의 경우 6월 중순부터 3개월간 쏟아진 폭우로 국토의 3분의 1이 물에 잠겼으며, 우리나라도

예외가 아니라서 중부지방에 쏟아진 폭우와 태풍 힌남노의 영향으로 많은 인명과 재산 피해를 보았다.

인류가 지구온난화에 의한 기후위기에 책임이 있다는 확실한 인식은 유엔 기후변화협약(UNFCCC)이 체결되기 2년 전인 1990년에 기후변화 정부간 협의체(이하 IPCC)가 제1차 보고서를 발간한 이후 지난 2021년 제6차 보고서가 나오기까지 32년이 걸렸다(그림 2 참조). 현재 기후변화는 심각성이 강조되면서 기후위기로 용어가 전환될 정도로 뜨거운 이슈이지만 국제사회의 노력은 생각만큼 신속하게 진행되지 않고 있다. 2020년 발간된 국제결제은행(BIS)의 '그린스완 2-기후변화와 코로나19 : 효율성과 복원력에 대한 성찰'이라는 보고서는 코로나19나 기후위기는 블랙스완이 아니라 그린스완의 위기라고 평가하였다. 블랙스완은 2008년 금융위기처럼 단기간의 충격은 크지만, 회복 가능성이 있는 반면에 그린스완은 기후위거나 코로나19 팬데믹처럼 충격이 오래 지속될 수 있고 심지어 되돌릴 수 없다는 것이다.



그림 1. 2021년 6월부터 7월 두 달간 기후위기 현상(출처 : 한겨레, 2021.7.18.)



그림 2. 제1차부터 제6차까지 발간된 IPCC 보고서(출처 : 시사인, 2021.9.16.)

제러미 리프킨은 2022년에 출간한 ‘회복력 시대-재야생화되는 지구에서 생존을 다시 상상하다-’에서 코로나19 팬데믹을 포함하여 기후위기는 지금까지 우리가 금과옥조로 여겼던 인간중심의 ‘효율성’이 원인이며 지금부터라도 지구의 재야생화를 통하여 ‘회복력’을 키워야 한다고 충고하고 있다. 지구의 회복력은 ‘자연 생태계가 가지고 있는 재생성, 중복성 그리고 다양성을 통해서 강화할 수 있다’라고 강조하고 있다. 숲을 포함한 자연 생태계는 다양한 종류의 서비스를 우리에게 제공하면서 지구의 항상성을 지키고 있다.

자연의 생태계서비스는 크게 공급, 조절, 문화 그리고 유지 서비스로 유형을 구분한다. 공급서비스는 목재, 수자원, 식량 등 유형적 자원을 제공하는 것이고 조절 서비스는 온실가스인 이산화탄소 흡수, 미세먼지 저감, 수질정화, 홍수 및 가뭄 조절, 꽃가루 수분 등이며 문화서비스는 아름답고 쾌적한 경관, 생태관광, 휴양 및 치유, 생태체험과 교육 등이고 유지서비스는 서식지 제공, 토양 형성, 물질순환 등 자연을 유지하여 공급, 조절, 문화서비스를 지탱한다. 본 글은 기후위기로 인한 극한기상이 어떻게 홍수와 가뭄을 발생시키는지 살피보고, 기후위기로 인한 취약성을 줄이기 위한 적응 방안으로 숲의 생태계서비스 중 조절서비스인 홍수와 가뭄 조절 기능이 어떤 메커니즘을 통해서 발휘되는지를 알아보려고 한다.

2. 기후위기로 지구촌의 홍수와 가뭄 피해 심각

최근 기후위기로 인한 홍수와 가뭄 피해는 세계기상기구(WMO)가 2022년 5월 18일

발간한 '2021년 전 지구 기후현황 보고서'에 잘 나타나 있다. 이 보고서는 4가지 주요 기후변화 지표인 온실가스 농도, 해수면 상승, 해수 온도 그리고 해양 산성도 등이 2021년에 새로운 기록을 세웠다고 밝혔다. 기후변화 지표의 새로운 기록 경신은 지구촌 곳곳에 홍수와 가뭄 등 기후재난을 유발하여 수천억 달러의 경제적 손실과 막대한 인명 피해를 주었다. 보고서에 따르면 2021년 중국 허난성에서는 7월 17일부터 21일까지 5일간 720mm의 폭우가 내려 302명 이상이 사망하고 177억 달러 이상의 막대한 경제적 피해를 보았다. 같은 해 독일 서부와 벨기에 동부에는 7월 14일부터 15일까지 이틀간 150mm의 폭우가 내려 200명 이상이 사망하였다. 독일은 극한의 홍수로 200억 달러가 넘는 경제적 손해를 입었다. 파키스탄은 2022년 6월부터 3개월 간 폭우가 지속되어 국토의 1/3이 잠기고 1,136명의 사망자가 발생하는 미증유의 국가적 대재앙이 발생하였다. 전문가들은 이번 파키스탄의 홍수는 이상기후가 주 원인이지만 열악한 기반시설과 무분별한 벌목 등이 피해를 키웠다고 분석하였다. 홍수와 더불어 가뭄도 기후 위기가 몰고 온 지구촌의 쌍둥이 기후재난이다. 가뭄이 심각한 재난인 이유는 대규모 산불의 주 원인이기 때문이다. 2021년에 아프리카 북동부 지역 10개국을 일컫는 '아프리카의 뿔' 지역을 포함하여 미국 서부, 이란, 아프카니스탄, 파키스탄, 터키 등 세계의 많은 지역이 가뭄으로 막대한 피해를 입었다. 특히 '아프리카의 뿔' 지역은 2022년에도 가뭄이 지속되었고 동아프리카는 4년 연속 비가 내리지 않아 지난 40년간 경험하지 못한 가뭄을 겪었다.

지구촌뿐만 아니라 우리나라도 최근 홍수와 가뭄 피해를 많이 입었다. 우리나라는 2020년 8월 중부지방에 비가 54일간 687mm가 내려 49명의 인명과 3,725억 원의 재산 피해를 입었다. 2022년에도 8월 8일 수도권과 강원 일대에 300mm 이상의 집중호우가 내려 많은 인명 및 재산 피해가 발생하였다. 2021년 겨울부터 2022년 봄까지 50년 만에 최악의 가뭄 사태가 이어졌다. 이 기간 동안 전국의 평균 강수량은 예년의 14.6%에 불과해 농작물의 피해가 컸으며 산불도 예년의 2배가 넘게 발생하였다. 2023년 1월 현재도 남부지방은 극심한 가뭄으로 고통을 받고 있다.

3. IPCC 제6차 보고서의 미래 기후변화와 숲을 통한 기후위기 적응 방안

미래 기후변화 시나리오에 따른 사회·환경·경제적 영향에 대한 IPCC 제6차 종합 보고서는 당초 2022년 9월에 발간할 예정이었으나 2023년 3월로 미뤄졌다. 이미 발간된

3개 실무그룹별 보고서는 기후변화가 심화됨에 따라 자연 체계는 심각한 위험에 처할 수 있으며, 나아가 이는 물 부족과 같은 기존의 난제들을 더욱 악화시킬 가능성이 있다고 하였다. IPCC 제1실무그룹 보고서는 5가지의 구체적인 시나리오를 적용하여 미래 기후를 전망하고 있다. 인간이 주범인 지구온난화는 기후시스템의 극단적인 변동과 직접적으로 연관되어 있다. 지구온난화가 심화될 때마다 극한기상은 계속 악화된다. 지구온난화로 온도가 0.5℃ 증가할 때마다 호우와 일부지역의 가뭄이 뚜렷하게 증가한다. 일부 지역은 가뭄의 강도와 빈도가 뚜렷하게 변화하는데, 감소보다 증가하는 지역이 더 많다. 지구온난화로 온도가 1℃ 높아질 때마다 지구 규모에서 일일 극한 호우 강수량이 약 7% 증가할 것으로 전망된다. 아울러 열대성저기압의 발생 빈도와 최고 풍속이 전 세계적으로 높아질 것으로 전망된다.

IPCC 제2실무그룹 보고서는 숲 관리를 통해 기후변화에 적응할 것을 언급하고 있다. 이 보고서는 기후위기에 대한 적응·영향·취약성을 다루고 있는데 정책결정자들을 위한 요약에서 숲 관리의 중요성을 강조하고 있다. 보고서 내용 중 육지와 바다의 생태적 전환은 유역 상류의 숲 관리를 통해 숲 유역의 물저장 용량을 늘려 홍수 피해를 줄일 수 있다고 하였다. 아울러 천연림의 경우는 보전, 보호 및 복원이 주요한 적응 수단이며, 반면에 경영림은 지속가능한 숲 관리, 회복력을 위한 나무 종류의 다양화 및 갱신 그리고 병해충과 산불 위험 관리가 적응을 위한 중요한 수단이라고 강조하고 있다. 천연림의 복원과 이탄림 관리 그리고 경영림의 지속가능성은 숲의 탄소 축적 능력을 향상시킨다고 하였다. 효과적인 생태적 적응 정책은 인류와 생물다양성 그리고 생태계서비스에 복합적인 혜택을 주면서 기후변화의 위험성을 줄일 수 있다고 하였다. 도시숲은 지역적인 냉방시스템을 제공하고 유역 상류의 숲은 물을 저장했다가 천천히 흘려 보내서 홍수와 가뭄의 위험을 줄인다고 하였다.

4. 숲의 홍수 및 가뭄 피해 완화 기능

가. 숲 속 물 순환 과정

숲이 홍수와 가뭄을 생태적으로 적절하게 조절할 수 있다는 사실은 과거부터 경험적으로 알려져 왔다. 우리 조상들은 ‘치산치수’가 의미하듯이 물을 다스리는 기본은 숲을 다스리는

것이라고 생각하였다. 대표적인 사례는 신라 진성여왕때 함양태수였던 고운 최치원 선생이 함양읍 중앙을 흐르던 위천수의 홍수 피해를 막기 위해 강변 독에 조성한 천연기념물 제154호인 상림을 들 수 있다. 이 숲은 원래 대관림이라고 하였으나 중간부분이 파괴되면서 상림과 하림으로 갈라졌고 지금은 상림만 남아 있다. 다른 예로는 천연기념물 제366호인 담양관방제림을 들 수 있다. 담양관방제림은 1648년 담양천에 제방을 만들고 1854년에 나무를 심어 하천을 보호하였다.

숲이 홍수와 가뭄을 조절하는 원리는 기본적으로 숲 속에서 물이 어떻게 순환하는지를 알아야 이해할 수 있다. 숲은 키가 큰 교목과 작은 관목으로 구성되어 있어서 빗물이 떨어지면 많은 양이 나뭇잎이나 가지에 묻었다가 비가 그치면 공기 중으로 증발한다. 이를 숲의 차단손실이라고 하고 숲의 종류에 따라 차단손실량은 큰 차이를 보인다. 숲이 많은 양의 빗물을 차단손실하는 과정은 키 큰 나무의 잎 부분이 공기동력학적 저항이 매우 작아서 바람이 불면 쉽게 공기 중으로 증발하기 때문이다. 숲의 차단손실량은 상록침엽수림이 잎이 붙어 있는 기간이 길고 잎의 면적지수(LAI)도 커서 낙엽활엽수림보다 많다.

숲의 차단손실은 비가 내릴 때 나타나는 과정인 반면 비가 내리지 않는 동안은 주로 증산을 한다. 증산은 기공이 닫히면 일어나기 어렵다는 의미에서 생물학적인 반응이라기보다는 물리적인 힘에 의해서 발생한다. 숲의 증산작용은 토양과 대기의 수분상태와 밀접하게 연결되어 있는데, 이를 토양-식물-대기 연속체(Soil-Plant-Atmosphere Continuum, SPAC)라고 한다. 숲의 증산작용은 대기의 수분장력이 낮기 때문에 기공을 통해 수분이 대기 중으로 확산하면, 상대적으로 수분장력이 높은 토양수분이 표면장력에 의한 모세관 현상으로 도관을 타고 기공으로 이동하면서 발생한다.

지상에 도달한 강우는 지표면의 상태에 따라 토양 속으로 스며들거나 지표면을 따라 이동하게 된다. 숲 토양과 같이 투수성이 양호한 지역에서는 토양 속에 존재하는 미세한 공극을 통하여 물이 지표면 아래로 쉽게 이동하며, 지표면이 불투수층이거나 완전히 포화되어 있는 상태에서는 물이 토양 속으로 스며들지 못하고, 지표면을 따라 흘러가게 된다. 이와 같이 물이 지표면으로부터 토양 속으로 스며드는 현상을 침투라고 한다. 물이 토양 속으로 들어가게 되면 중력의 영향에 의해 계속 아래로 이동하여 포화대인 지하수면에 도달하게 된다. 이러한 토양층 내에서의 물의 이동을 투수라 하여 침투와 구별하여 사용한다.

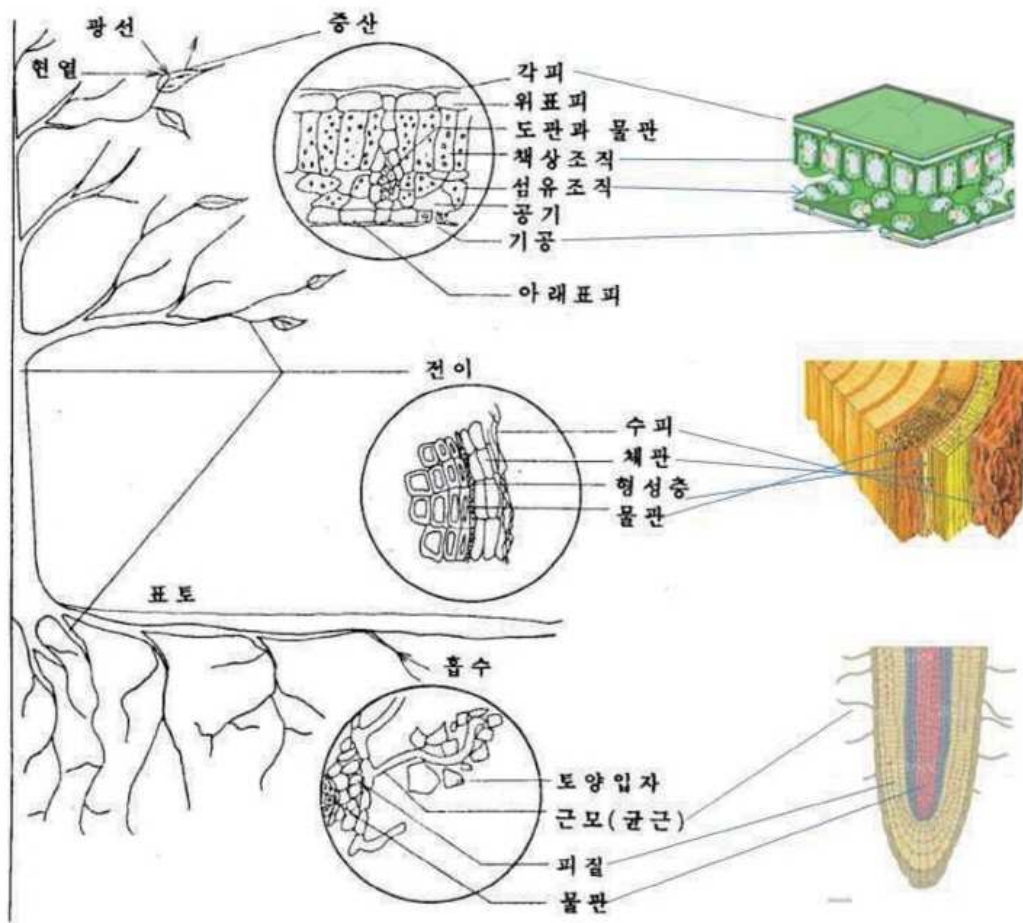


그림 3. 증산작용의 원리인 토양-식물-대기 연속체

숲 토양 표면에서 침투하지 못한 빗물은 지표면을 통해 유역 아래로 흘러 내린다(이를 침투초과지상류라고 함). 숲 토양이 빠르게 표면까지 포화된 부분에서도 침투하지 못한 빗물이 지표면으로 흘러 내린다(이를 포화초과지상류라고 함). 숲 토양 속에서 투수된 물도 지하의 불투수층이나 통로를 경유하여 하천으로 흘러 내린다. 숲 토양 속의 작은 공극은 토양입자 사이에 물을 가두고 있다가 중력의 영향으로 서서히 내려간다. 숲 유역의 하류는 흘러 내린 물이 모여 소계류를 형성하고 이들이 모여 하천으로 흘러 들어간다.

나. 숲의 홍수 조절 기능

숲 토양은 다른 토양과 달리 살아 있는 생태계로 낙엽과 가지가 썩어 만들어진 유기물과 이를 먹고 사는 다양한 종류의 곤충과 소동물로 가득하다. 숲 토양은 그림 4와 같이

수리학적으로 이중구조를 가지고 있다. 첫째는 수분장력이 작용하지 않을 정도의 큰 공간으로 구성된 통로나 틈새(이하 중력공극)이며 둘째는 수분장력이 작용하는 작은 크기의 공극(이하 장력공극)이다. 대표적인 중력공극은 뿌리가 썩어서 만들어진 도관과 점토질이 많은 토양이 습윤-건조 과정을 거치면서 생긴 큰 틈새 그리고 토양입자가 다량의 유기물과 결합하여 생긴 대공극을 들 수 있다.

중력공극은 장력이 아니라 중력의 영향을 받으며 위치에너지를 받아 빠르게 이동한다. 중력공극은 운동학적 파동(kinematic wave) 방정식에 지배를 받으므로 물의 높이와 위치에너지의 영향을 받는다. 중력공극은 속도가 빠르기 때문에 숲 유역에 비가 내리면 신속하게 숲 토양 속을 경유하여 유역 하부의 계류로 빗물을 이동시킨다. 숲 토양의 표면 침투능이 최대 250mm 이상인 이유도 A층에 많이 분포해 있는 도관이나 벌레구멍 그리고 대공극을 빗물이 빠르게 이동하기 때문이다. 한마디로 중력공극은 숲의 홍수 완화 기능에 크게 기여한다고 할 수 있다. 하지만 중력공극도 자연 생태계 내에서 한계가 있으므로 숲의 홍수 완화 기능도 일정한 한계를 갖는다.

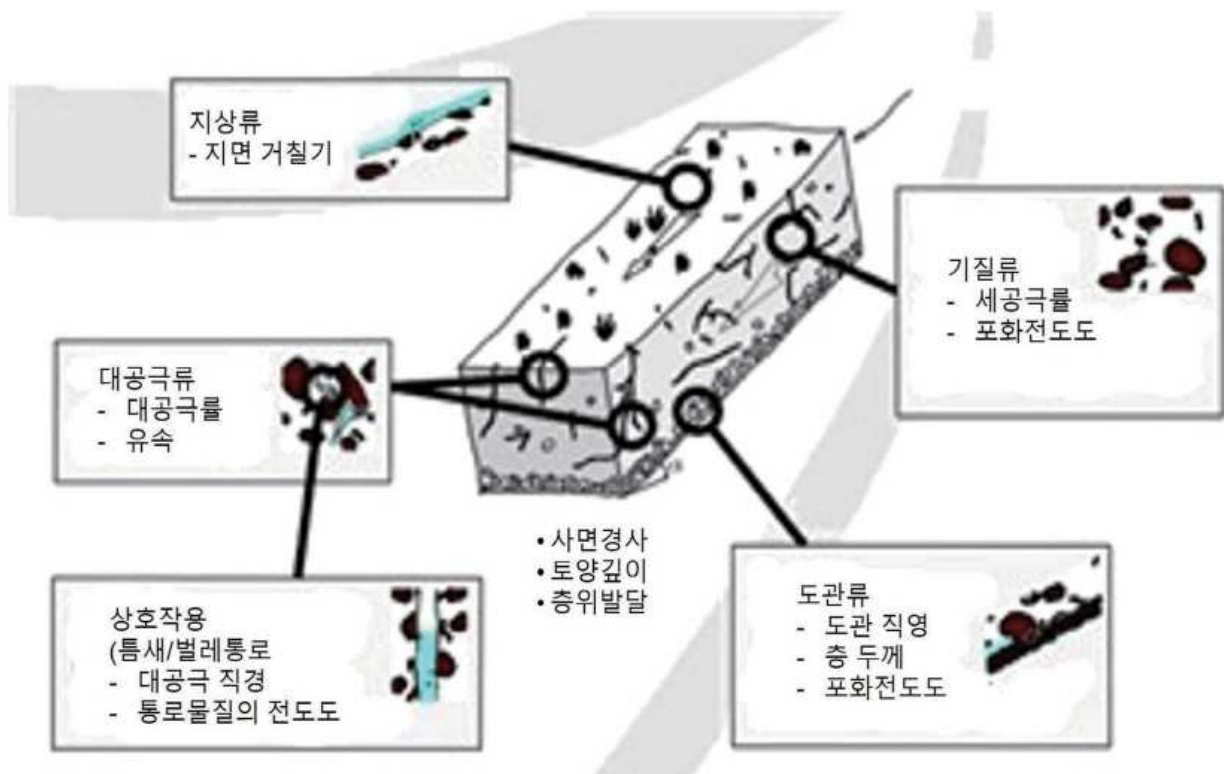


그림 4. 숲 토양의 수리학적 이중구조

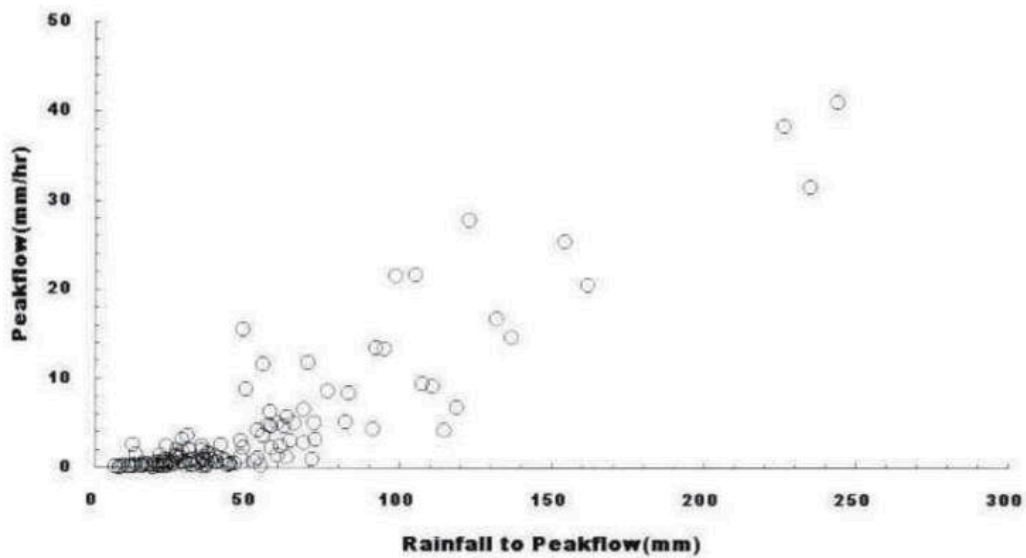


그림 5. 사방복구 혼효림의 강수량과 홍수량 관계

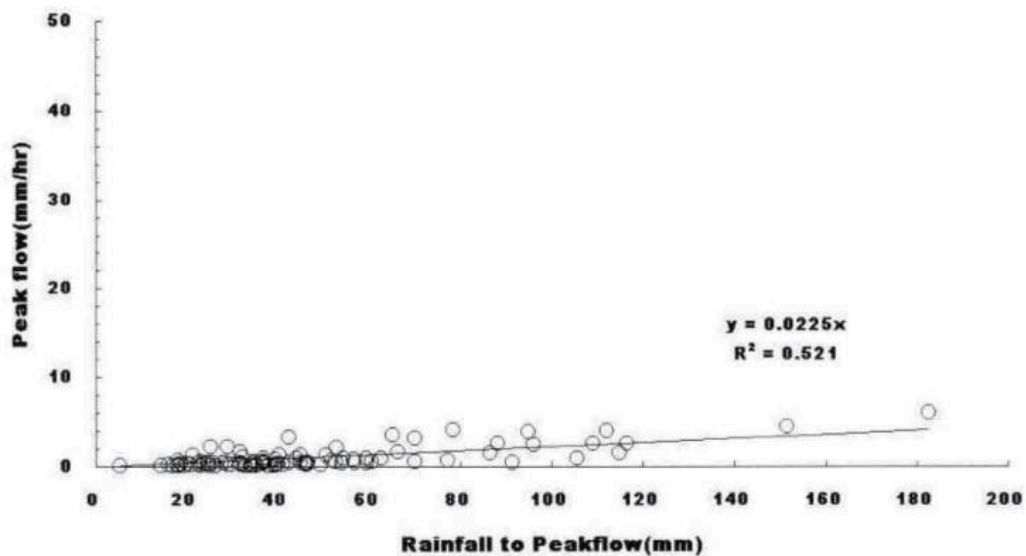


그림 6. 활엽수천연림의 강수량과 홍수량 관계

그림 5와 6은 숲의 상태에 따라 홍수 완화 기능이 얼마나 차이가 나는지를 보여 준다. 그림 5는 1974년 사방지를 복구한 숲으로 숲의 상태가 불량한 경우이고 그림 6은 10명급의 활엽수천연림으로 숲의 상태가 잘 보전된 경우이다. 두 그림은 같은 강수량에 대해서도 숲의 상태에 따라 홍수량의 차이가 크게 나타나는 것을 보여 주고 있으며 이는 숲의 홍수 완화 기능을 잘 설명하고 있다.

다. 숲의 가뭄 조절 기능

숲 유역이 토양의 중력공극에 의해 홍수를 조절한다면 가뭄은 토양의 깊이와 장력공극에 의해 조절된다. 장력공극은 공극의 크기가 약 1mm 이하로 작아 중력이 아니라 모세관력과 표면장력의 지배를 받는다. 장력공극은 중력수가 멈추는 포장용수량(pF1.8)에서 이동 가능한 장력인 pF2.7까지라고 정의할 수 있다(그림 7 참조). 장력공극은 모세관력과 표면장력의 저항을 받아서 비가 그친 후 서서히 숲 유역의 아래로 내려가 기저유출을 만든다. 장력공극량이 큰 숲 토양은 가뭄을 완화할 수 있는 기능이 높다고 할 수 있다. 숲 토양은 모래, 미사 그리고 점토로 된 무기입자에 낙엽과 가지 그리고 뿌리가 썩어 생긴 유기물이 접착제의 역할을 하면서 특유의 입단을 형성한다. 토양입단인 토립자가 풍부한 숲 토양은 그렇지 않은 토양에 비해 장력공극량이 훨씬 많아진다.

흡인압(pF)	0	1.5	1.8	2.7	3.8	4.2	4.5	5.5	7.0
수분포텐셜(kPa)	0.1	3	6	49	619	1500	3000	31000	981000
수분포텐셜 (수두, cm)	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	
토양수의 구분	현탁수	중력수	모관수				흡습수	결합수	
		중력유거수 (과잉수)	유효수				무효수		
토양수분상수	최대용수량	포장용수량	(수분당량)		위조점	흡습계수		105°C 건조	
수분이동의 난이	용이		보통	곤란	이동불능				

그림 7. 토양수의 구분

숲 유역의 장기 유출은 주로 숲 토양의 발달정도 즉, 토양의 깊이와 장력공극량 등 물리적 구조에 영향을 받는다. 숲 토양의 B층은 과거의 유산이며 A층은 현재 숲의 영향이다. A층은 낙엽이나 나뭇가지 그리고 초본에 의해 빗물침식이 발생하지 않도록 보호를 받는다. A층은 수목의 뿌리에 의해 고정되고 뿌리의 신진 대사와 낙엽의 분해, 토양 생물 활동에 의해 표층의 침투능과 장력공극이 많은 물리 구조를 가진다. 잘 자란 노령림은 뿌리가 깊은 곳까지

자라면서 썩어서 도관이나 대공극을 만든다. 현재 유령림일지라도 이전에 노령림이 벌채되고 조성된 곳이라면 토양의 물리 구조가 좋을 것이다.

숲의 생장이 장기 유출에 미치는 영향은 유황곡선의 변화를 분석하여 파악할 수 있다. 유황은 연중 유출량을 크기 순서대로 정리한 후 95일, 185일, 275일 및 355일째의 일 유출량을 각각 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량으로 구분한다. 그림 8부터 10은 광릉 숲 유역시험지에서 침엽수 인공림과 활엽수 천연림 그리고 양주 숲 유역시험지에서 사방지 혼효림을 대상으로 1983년, 1993년 및 2003년에 관측한 유출량을 분석하여 10년 간격으로 유황곡선을 비교한 것이다.

노령림인 활엽수 천연림은 모든 시기의 유황곡선에서 큰 차이를 보이지 않았다. 유령림에서 장령림으로 성장한 침엽수 인공림은 저수량과 갈수량이 적었다가 10년 단위로 시간이 경과함에 따라 점차 증가하였다. 사방지 혼효림은 토양조건이 매우 열악하여 1983년에는 풍수기간 동안을 제외하고 유출이 발생하지 않았으나 시간이 경과함에 따라 숲 토양의 물리성이 개선되면서 20년이 경과한 2003년에는 연중 유출이 발생하였다. 사방지 혼효림이 20년만에 활엽수 천연림과 같을 정도로 저수량과 갈수량이 풍부해진 것은 숲 유역이 갖고 있는 가뭄 완화 기능을 과학적으로 입증하는 것이다.

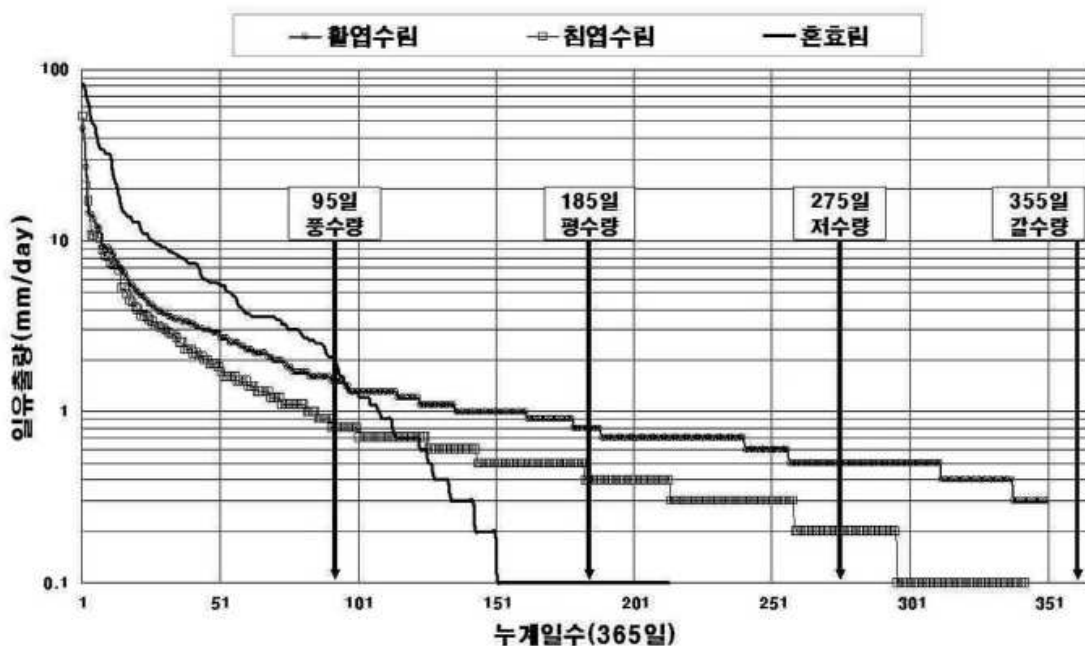


그림 8. 임상별 유량 유황곡선 비교(1983년)

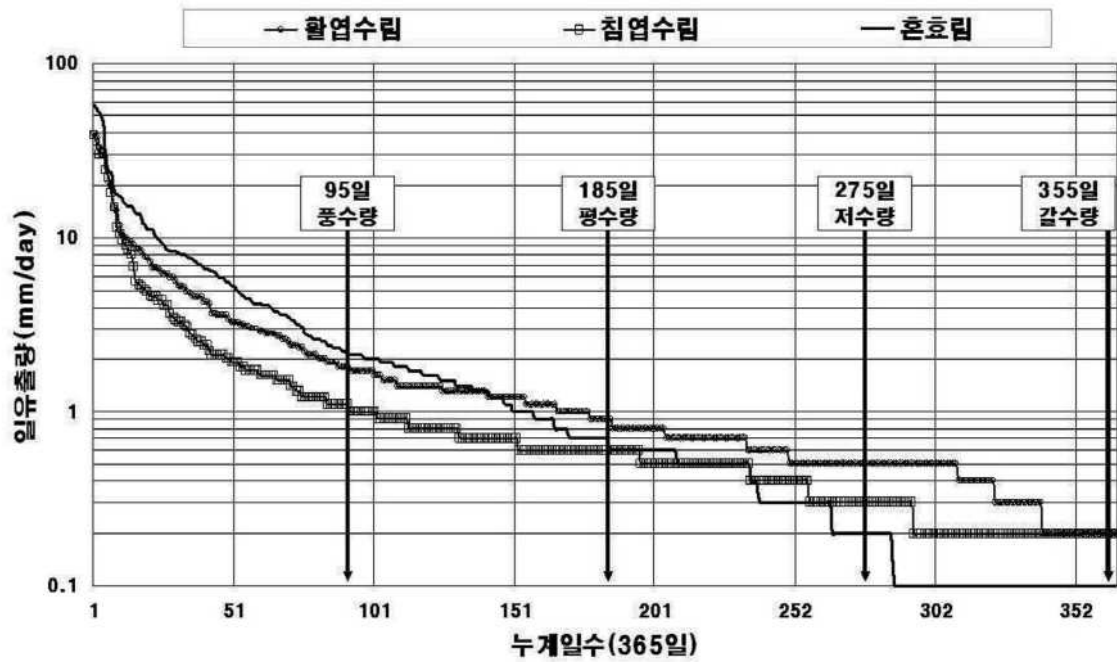


그림 9. 임상별 유량 유형곡선 비교(1993년)

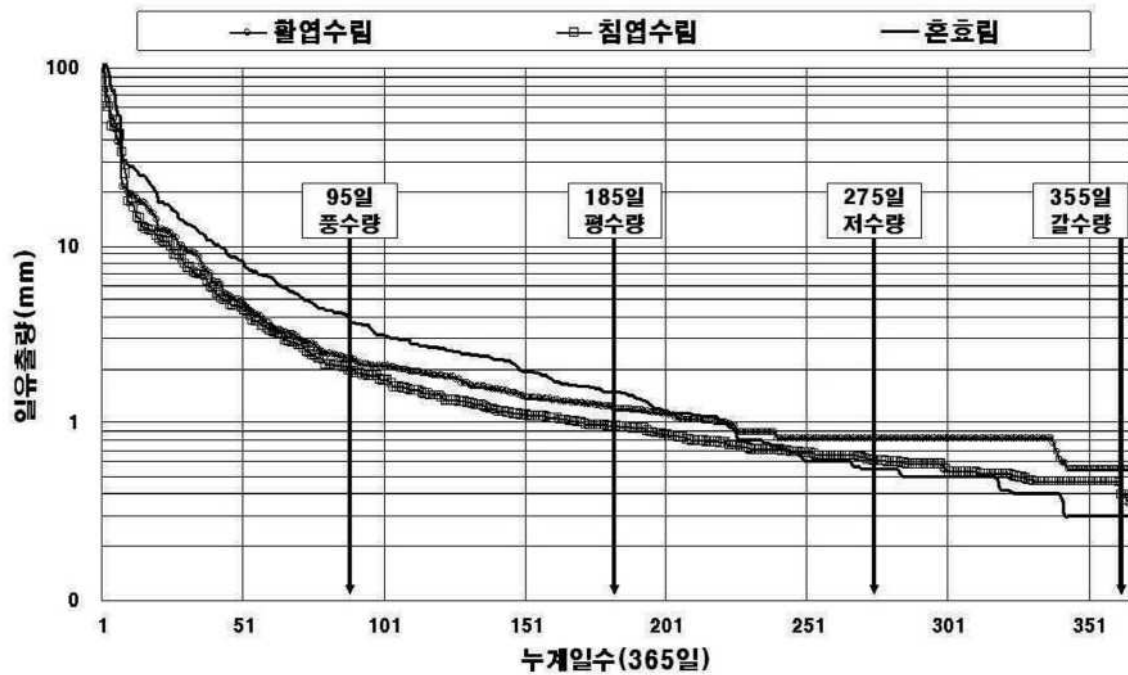


그림 10. 임상별 유량 유형곡선 비교(2003년)

5. 나오기

기후위기는 폭염, 폭우 그리고 가뭄과 그에 따른 대형 산불 등 다양한 종류의 재난을 가져온다. 이제 기후위기는 일상이 되다시피 하였다. IPCC 제6차 보고서가 말하듯이 산업혁명 이후 인간이 기후위기의 명백한 범인임이 밝혀진 바 기후위기를 해결해야 할 주체도 인간이다. 지구촌은 기후위기에 대응하기 위해 온실가스 농도의 저감과 완화를 위한 산업구조 개편이나 구조적·비구조적 대응책을 마련하기 위해 노력하고 있다. 하지만 인위적인 대응책은 단기적이고 지속가능하지 않을 가능성이 있다. 본문에서 언급했듯이 IPCC 제6차 보고서의 제2실무그룹 보고서는 기후위기에 지속가능하게 적응하는 방안으로 생태적인 해결책을 제안하고 있다. 특히 열대지역의 천연숲과 온대지역의 경영숲이 가지고 있는 생태계서비스 기능을 보전하고 증진한다면 기후위기에 의한 홍수나 가뭄의 피해를 어느 정도 줄일 수 있다. 앞으로 숲을 활용한 생태적 적응은 기후위기에 의한 홍수나 가뭄에 적응하는 수단일 뿐만 아니라 목재, 수자원 그리고 식약용자원을 공급하는 서비스와 수질정화, 기후조절 그리고 공기정화 등 조절하는 서비스 및 휴양, 치유 그리고 교육 등 문화서비스를 포함하여 이들 모든 서비스를 뒷받침하고 유지하는 서비스를 보장 받을 수 있다. 다만 생태적 적응방안이 시간이 많이 필요한 만큼 단기적으로 인위적인 구조 및 비구조적 대책이 병행되어야 할 것 이다.



참고문헌

1. 국제결제은행(BIS). 2020. 그린스완 2-기후변화와 코로나19 : 효율성과 복원력에 대한 성찰. 15쪽.
2. 기상청. 2021. 기후변화 2021 과학적 근거-정책결정자를 위한 요약본-. 41쪽.
3. 기상청. 2022. 기후변화 2022 영향, 적응 및 취약성-정책결정자를 위한 요약본-. 31쪽.
4. 세계기상기구. 2022. 2021년 전 지구 기후현황 보고서. 53쪽.
5. 제러미 리프킨. 2022. 회복력 시대 -재야생화되는 지구에서 생존을 다시 상상하다-. (주) 민음사. 431쪽.
6. Kim K., Y. Jeong, C.Jeong, J. Jun and J. Yoo. 2003. The impacts of forest type on peak flows in long-term hydrological data at three small forested catchments. 한국임학회지, 제92권 제5호, 462-469.
7. Kim K., Y. Jeong. 2006. Variations of annual evapotranspiration and discharge in three different forest type catchments, Gyeonggido South Korea. 한국농림기상학회지, 제8권 제3호, 174-182.

산지계류 건천화 실태 및 영향 요인



최 형 태

국립산림과학원 도시숲연구과 연구관

choiht@korea.kr

1. 서론

하천의 건천화는 하천이 메말라 있거나 말라가고 있는 과정으로 국립국어원에서는 건천을 「조금만 가물어도 이내 물이 마르는 내」로 설명하고 있다. 또한, 과학기술부에서는 건천화 하천을 「하천의 자연적인 기능을 유지할 수 없도록 악화되고 있거나 이미 악화된 하천으로서, 수문학적 요소 기준으로 갈수량 기준 이하이거나 하천기능유지에 필요한 수량을 지속적으로 제공할 수 없는 상태의 하천」으로 정의하고 있다(인하대학교, 2003).

즉, 하천 건천화는 물 부족 현상의 대표적인 사례로서, 용수 공급의 불안정성을 증대하고 수생태계의 건강성을 저해하여 궁극적으로는 산업과 생태계를 불안정하게 하고 국민 삶의 질을 악화시킨다. 기후변화 및 물 부족이 심화될수록 건천화의 악영향은 더욱 커질 것으로 예상된다.

우리나라에서 중·소규모 하천의 건천화 현상은 1990년대 말부터 급속히 진행되어 소하천뿐만 아니라 지방2급 하천의 건천화율이 83%에 달하는 등 상당한 부분에서 이미 건천화가 진행 중이며, 매년 심해지는 경향을 보인다(건교부, 2003; 이충성 등, 2004; 박기욱 등, 2005).

일반적으로 하천의 건천화 원인으로는 소하천 정비공사, 농업용수 위주 저수지 운영, 지방상수도의 과도한 하천수 취수, 과도한 지하수 이용으로 인한 지하수위 저하, 시설농업 및 도시화의 증가로 인한 불투수지역의 확대 등이 중점적으로 거론되고 있으며, 이외에도 하천관리, 산림관리 등의 영향도 제시되고 있다.

국토부(2009)는 도시화로 인한 녹지 감소, 불투수면적 증가, 지하수함양량 부족, 치수 위주 하천 정비 등이 건천화의 가장 큰 원인이라고 하였으며, 임진실(2012), 이예은과 김상민(2013), 이현주 등(2016)은 건천화의 주요 원인으로 하천수 취수 및 지하수 양수를 지목한 바 있다.

또한, 김성준 등(2017), 정충길(2018), 이용관 등(2020)은 하천 건천화에 대한 영향 요소로서, '기상, 토심, 임분고, 도로망, 지하수 이용량, 토지이용' 등의 6개 요소를 선정하고, 이들 각 요소가 하천 건천화에 미친 영향을 추적하였다. 이 결과, 지하수 이용량이 가장 큰 영향 요소였으며, 계속해서 산림녹화, 도로 건설, 도시개발 및 토양침식의 순으로 영향이 컸던 것으로 나타나, 산림이 하천 건천화의 중요 원인 중에 하나라고 제시한 바 있다.

한편, 김세민 등(2020)은 하천 건천화의 원인으로 수리구조물(수자원 이용)에 의한 영향이 25.5%로 가장 크게 평가되고, 수자원 이용에 의한 영향이 13.9%, 방류량에 의한 영향이 12.3%, 하수처리수 유입에 의한 영향이 6.54%로 평가되었다고 보고하였다. 이렇듯, 하천의 건천화 현상은 대상 지역 및 수자원 이용 특성에 따라 매우 다른 결과를 나타내기 때문에 지금까지는 건천화에 대한 판단 기준은 학술적인 정리가 부족한 실정이다.

하천 건천화로 예상되는 피해를 줄이고 안전하고 깨끗한 수자원을 확보하기 위해서는 지속적인 수자원 개발이 절실한 상황이다. 그동안 하천 건천화의 주요 연구대상지는 국가하천, 지방하천, 소하천 중심으로 이루어졌지만, 우리나라 국토의 64%를 차지하는 산림에서 산지계류 건천화에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다.

특히, 건천화의 주요 원인으로 산림을 지목하는 여론이 많으므로 산림유역과 산지계류에서의 건천화 현상에 대한 실태 파악과 정확한 원인 규명이 필요한 시점이다.

이에, 국립산림과학원에서는 2021년 11월부터 2022년 3월에 걸쳐 전국 산지계류를 대상으로 건천화 관련 정보를 수집·분석하고 현장 실태조사를 수행하였다. 이 원고에서는 이

결과를 요약·정리하여 보고하고자 한다.

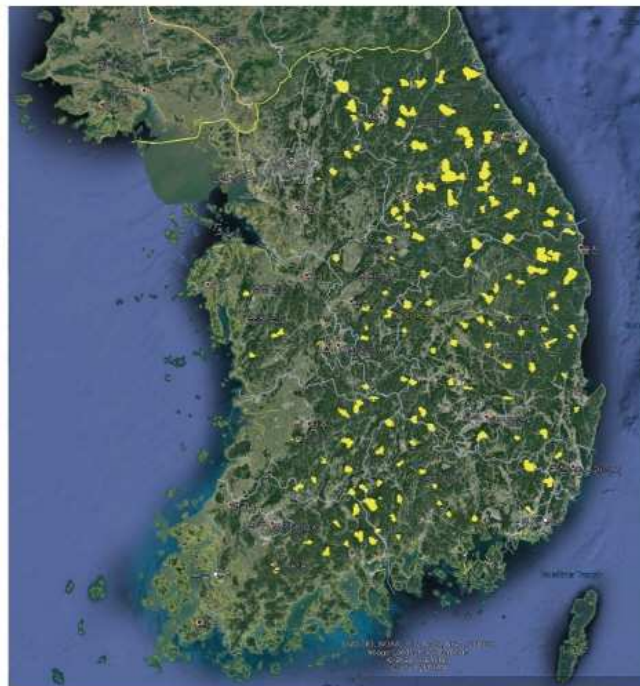
2. 조사 방법

2.1. 조사 대상지

산지계류 건천화 실태조사는 전국 150개 지역(동·리)의 총 900개 산지계류를 대상으로 실시하였다. 전국에서 150개 지역을 선정하기 위해서 전국 지자체 17,930개의 동·리를 대상으로 수계, 산림면적, 산림율, 임상, 임종, 영급, 모암, 토성, 토심, 평년강수량, 평년기온, 지하수 사용량, 지하수 관정수 등 총 14개 인자를 적용하여 각 특성인자들이 공평하게 선택될 수 있도록 하였다. 또한, 각 동·리별로 집수구역 면적에 따라 6개 산지계류 조사지점을 선정하여 총 900개 산지계류를 조사 대상으로 선택하였다.

〈표 1〉 조사 대상 산지계류 분포(총 900개 [각 지역(동·리) 당 6개])

구분	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북
개소	37	7	19	45	9	13	6	14
합계	150개 동·리							



〈그림 1〉 조사 대상 지역(동·리) 분포

2.2. 조사 내용

산지계류의 건전화 실태조사는 GIS/RS 공간 정보, 인문산업경제 정보, 기상/지하수 정보 등의 필요 정보 수집과 산지계류의 건천 여부에 대한 현장 육안조사 및 계류수 이용 조사와 유역 현황 조사 등을 실시하였다.

〈표 2〉 산지계류 건전화 실태조사 항목 및 방법

조사항목	세부항목	조사방법
1. 대상 유역 GIS/RS 정보 수집 및 분석		
유역구분	수자원단위지도, 단위유역	GIS tool을 활용하여 단위 유역 작성
유역특성인자	유역면적, 좌안면적, 우안면적, 유역 둘레, 유역평균폭, 유역형상계수	GIS tool을 활용하여 유역특성인자 추출
수치표고(DEM) 및 지형특성	DEM(10×10), 표고특성, 경사특성, 향특성	1/5,000 수치지도와 GIS tool을 활용하여 지형특성 추출
하천망도(DSN) 및 하천특성	DSN(1/5,000), 최원유로연장, 유로연장, 법정하천연장, 하천총길이, 하천차수에 따른 하천수, 하천길이	1/5,000 수치지도와 GIS tool을 활용하여 지형특성 추출
토양도 및 토양특성	정밀 산림입지토양도(1/25,000 및 1/5,000) 입지토양정보	정밀 산림입지토양도와 GIS tool을 활용하여 토양특성 추출
지질도 및 지질특성	지질도(1/50,000), 지질기호, 지질명, 면적	지질도 수치지도화 및 GIS tool을 활용하여 지질특성 추출
임상도 및 임상특성	임상도(1/5,000), 임상별, 영급별, 경급별, 수관밀도별 면적	임상도와 GIS tool을 이용하여 임상특성 추출
토지피복도	토지피복도(대, 중분류)	토지피복도를 이용하여 토지피복분류도 작성(대분류 8개, 중분류 23개 항목 기준)
항공특성	항공촬영사진	단위유역에 대한 최근 항공촬영 자료 수집
2. 대상 유역의 인문·산업경제 특성 정보 수집		
인구	유역별 인구	주민등록, 인구통계 등
산업	광공업, 산업농공단지, 농업, 임업	국가통계포털, 경지면적통계(통계청), 산림청 관련 통계자료 등
시설물	건물, 도로, 교량	국토교통부 관련 통계자료(건축통계집, 건축 행정시스템 세움터, 도로현황조사 등)
	사방댐, 계류보전공사	산림청 관련 통계자료 및 산림공간정보 등
	임도(길이, 암거, 횡단배수로, 노면 포장상태 등)	산림청 관련 통계자료 및 산림공간정보 등

조사항목	세부항목	조사방법
토지	법적지역현황(도시계획, 보호구역, 수변구역, 공원, 개발제한구역, 국립공원 등)	지자체(도시계획), 국토부(개발제한구역), 환경부(수변구역), 산림청(보호구역) 등 관련 통계자료
산림경영	벌채, 조림, 숲가꾸기 이력 및 면적	산림청 관련 통계자료 및 최신 항공사진 등
3. 대상 유역의 기상, 지하수 특성 정보 수집		
기후기상	연평균 기온, 풍속, 일조시간 등	최근접 기상관측소(기상청, 방재청 등) 자료 등
강우	유역면적평균강우	기상연보에 수록된 강수량 관측소 별 연평균 강수량 자료를 적용(등우선법 또는 티센법 적용)
지하수 특성	생활·공업·농업용 지하수 이용량	지하수조사연보(환경부), 국가지하수정보센터, 관련 통계자료 등
	유역별 지하수 관정 수 및 위치	국가지하수정보센터, 관련 통계자료 등
	충적(7개 요소), 암반(11개 요소) 수리특성	지하수조사연보(환경부)
4. 산지계류 건천 여부 육안조사 및 계류수 이용 조사 등		
건천 여부	산지계류 건천 여부 육안조사	주요 지점의 계류 내 유수 발생 현황 등 건천여부 현장 파악
계류수 이용	계류수 취수 현황	계류수 이용 파이프 용량, 개수 등
5. 유역 현황(벌채·조림·전용 등) 및 산간계곡 특성 조사		
유역 현황	임상도와 상이점 및 산림사업 유무 조사	임상도, 경영계획부 등과 현장 유역 상황을 비교하여 벌채, 조림, 산지 전용 등 상이점 파악 및 도면 표시
산간계곡 특성	하상재료조사(입도특성 등)	주요 지점의 하상특성 등을 사진 계측, 하상재료 채취
	하도현황조사(평면, 사행특성, 종횡단)	주요지점의 하도특성(폭, 깊이, 단면 형상, 경사 등) 측량 및 사진 촬영
	하천수변조사(여울, 소, 사주, 수제, 저수로 특성, 고수로 특성)	주요지점의 하도특성 사진 촬영 및 지도 작성

3. 조사 결과

3.1. 전국 산지계류 건천화 실태

조사 대상 900개 산지계류 중 기존 공간정보(임상 등)와 상이하거나 공사작업 등으로 인한 조사 불능지역을 제외하고 총 850개 산지계류에 대한 조사를 실시하였다. 조사는 2021년 11월 동절기부터 이듬해 3월까지 실시하였으며, 이 기간 동안 조사지점별 3일 선행강수량은 조사지점의 86%가 최대 5mm 이하로서 강수가 계류 유량 형성에 큰 영향을 주지는 못한 것으로 판단되었다.

총 850개 산지계류의 계곡 형상인자를 조사한 결과, 산지계류 조사지점의 평균 계곡 폭은 4.12m(1.18~15.81m), 평균 계곡깊이는 0.84m(0.13~4.57m)로서, 평균 계곡 횡단면적은 1.96m²(0.11~23.10m²)였다. 또한, 산지계류 조사지점의 평균 계류 경사도는 6°(0~52°)였다.

한편, 조사 대상 산지계류의 유역 내 토성 분포는 사양토 50.2%, 양토 34.1%, 미사질양토 15.5%, 기타 0.1%로서 사양토의 분포가 많았으며, 토양형은 갈색산림토양군이 78.5%로 대부분을 차지하여 전국 산림토양의 토양형 분포와 유사하였다.



〈그림 2〉 광역시도별 산지계류 건천화 실태 및 건천 비율 분포

총 850개 산지계류를 대상으로 건천화 여부를 조사한 결과, 조사 대상 산지계류 중에서 281개소가 건천화된 것으로 확인되어 건천화율은 약 33.1%에 달하는 것으로 나타났다.

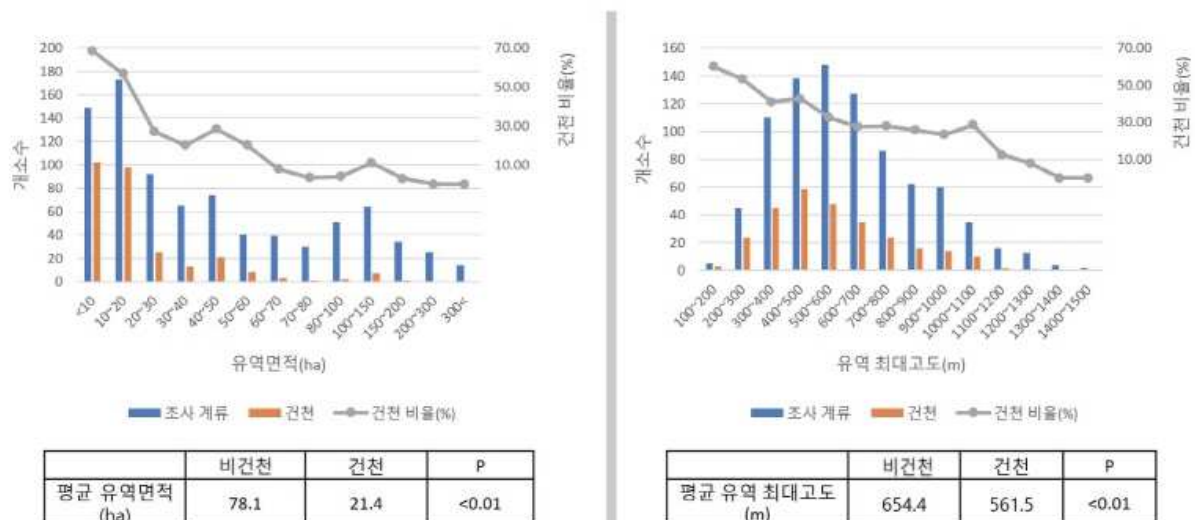
광역시도별로는 부산·울산·경남에서 조사 대상 산지계류 88개소 중 35개소가 건천으로 확인되어 39.8%의 건천화율로 가장 높았으며, 이를 바로 이어서 대구·경북이 조사 대상 255개소 중 101개의 건천으로 39.6%의 건천화율을 보였다. 이외에는 광주·전남 31.5%, 서울·경기와 충북이 31%, 강원 30.4%, 대전·세종·충남이 29.4%의 순으로 유사하였으며, 전북은 건천화율이 16.4%로 가장 낮았다. 즉, 경남북을 비롯한 영남권에서 가장 높은 건천화율을 보였으며, 전북을 제외한 나머지 지역들은 29~31% 수준에서 비슷한 건천화율을 보이는 것으로 조사되었다.

3.2. 주요 인자별 산지계류 건천화 실태

가. 지형 특성

조사 대상 산지계류의 유역면적은 최소 3.53ha에서 최대 579.38ha의 분포를 보였다. 건천 비율은 유역면적이 작을수록 크게 증가하는데, 유역면적이 20ha 이하에서는 62.1%의 산지계류가 건천으로 확인되었으며, 50ha 이하에서는 46.8%의 산지계류가 건천인 것으로 조사되었다. 한편, 유역면적이 50ha 이상인 산지계류에서는 조사 대상 유역의 7.4%만이 건천인 것으로 확인되어 유역면적 증가가 건천화 해소에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

조사 대상 산지계류 중 건천으로 확인된 산지계류의 평균 유역면적은 약 21.4ha이었으며, 건천이 아닌 산지계류의 유역면적은 평균 78.1ha로 분석되었다. 또한, 조사 대상 산지계류

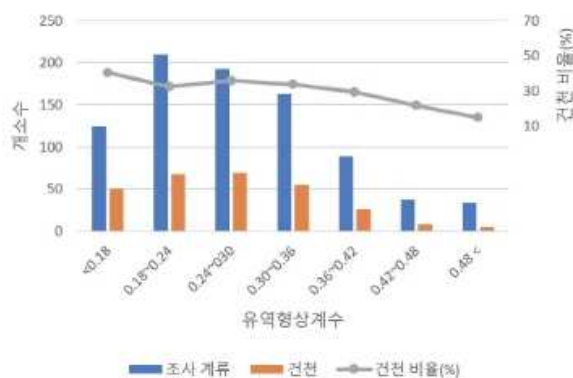


〈그림 3〉 유역면적 및 최대고도에 따른 건천화 실태 및 건천 비율 분포

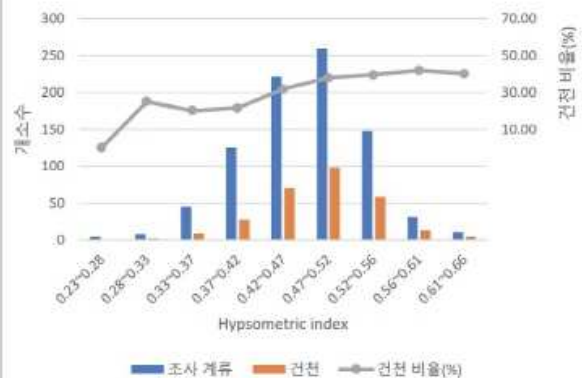
중 건천으로 확인된 산지계류의 최대 유역면적은 161ha인 것으로 나타나서, 이 이상의 유역면적을 가진 산지계류는 건천화가 진행되지 않은 것으로 조사되었다.

또한, 각 조사 대상 산지계류의 집수유역이 가지는 최대 고도에 따른 건천 비율을 분석한 결과, 최대고도가 높을수록 건천 비율이 감소하는 것으로 나타났다. 집수유역 내에서 최대고도가 높다는 것은 조사 대상 산지계류가 상대적으로 고지대에 위치한다는 것을 의미하고 있다. 즉, 상대적으로 고지대에 위치한 산지계류에서 건천 비율이 낮은 것으로 나타나, 저지대에서 건천화된 산지계류가 많이 분포하는 것으로 나타났다. 집수유역의 최대고도가 높으면 유역면적이 클 수 있을 것으로 예상될 수 있으나, 실제로 조사 대상 산지계류에서 유역면적과 최대고도는 뚜렷한 상관성을 보이지 않는 것으로 분석되었다.

한편, 유역면적에 대한 유로연장 제곱의 비로서 정의되는 유역 형상계수에 따른 건천 비율을 분석한 결과, 조사 대상 산지계류의 집수유역이 가지는 형상계수가 클수록 건천 비율이 감소하는 것으로 나타났다. 형상계수가 크면 유역은 길이에 비해 폭이 넓고, 형상계수가 작으면 유역은 좁고 긴 모양을 가진다. 따라서, 산지계류의 집수유역이 좁고 긴 모양을 가질수록 건천화될 확률이 높으며, 반대로 집수유역의 형상이 둥글어질수록 건천화될 확률이 낮아지는 것으로 나타났다. 일반적으로 산지에서는 유역면적이 작을수록 유역이 좁고 긴 계곡으로 이루어지는 경우가 많기 때문에 형상계수가 상대적으로 작아지는 경향을 보이며, 이로 인해 형상계수가 작을수록 건천 비율이 높아지는 결과를 보이는 것으로 생각된다.



	비건천	건천	P
평균 유역형상계수	0.284	0.264	<0.01



	비건천	건천	P
Average Hypsometric Integral	0.463	0.483	<0.01

〈그림 4〉 유역형상계수 및 Hypsometric Integral에 따른 건천화 실태 및 건천 비율 분포

유역의 지형 특성을 나타내는 계수로서 Hypsometric Integral이 있다. Hypsometric Integral은 고도면적비라고도 하며, 유역에서 고도별 면적의 분포를 무차원 곡선으로 나타내는 고도-면적 관계곡선(Hypsometric curve)으로부터 산출된다. 일반적으로 고도-면적 관계 곡선은 유역 전체의 지질학적 발달 과정을 판단하는 기준이 되며, 고도면적비가 0.5 이상이면 볼록사면, 0.5 이하는 오목사면을 의미한다. 고도-면적 관계곡선은 유역 및 하천의 지질학적 지형을 유년기, 장년기, 노년기 지형으로 구분하는데 사용되기도 하는데, 고도면적비가 1에 가까울수록 계곡은 대체로 V자형으로서 침식이 많이 발생하지 않은 유년기 지형을 나타내며, 고도면적비가 0.5에 가까울수록 U자형의 계곡을 가진 침식이 많이 진행된 장년기 지형을 의미한다. 또한, 고도면적비가 0에 가까울수록 더 넓은 U자형의 계곡을 가지며 지표면이 더욱 침식하여 대부분의 지형 기복이 사라지고 준평원에 가까운 노년기 지형을 의미한다.

조사 대상 산지계류 유역의 고도면적비(Hypsometric Integral)를 분석한 결과, 조사 대상 산지계류 유역의 고도면적비는 0.23에서 0.66의 범위를 가지고 있었으며, 고도면적비가 클수록 건천 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 상대적으로 침식이 덜 일어난 유역과 계곡이 건천화될 확률이 적은 것으로 분석되었다. 따라서, 지질학적으로 침식이 많이 진행된 노년기 유역일수록 건천화될 가능성이 큰 것으로 판단된다.

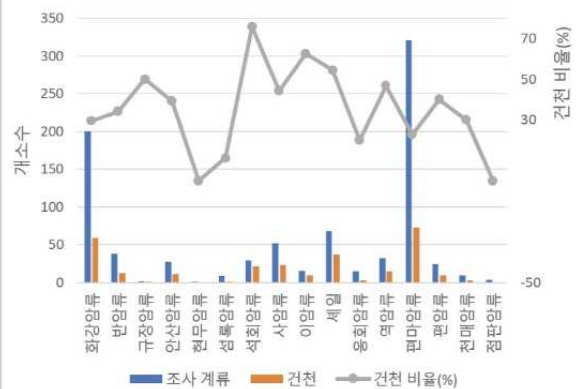
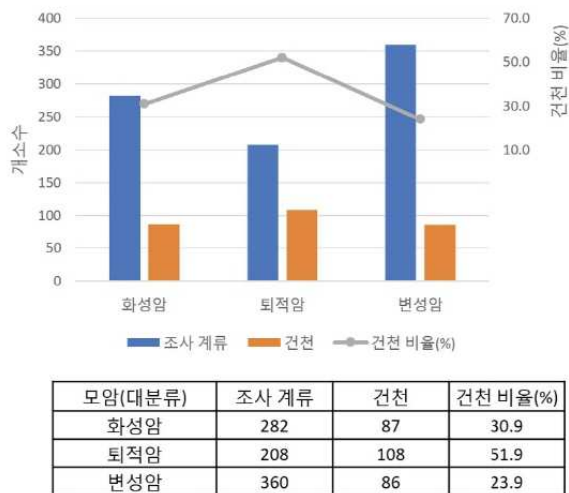
나. 모암 및 토양 특성

조사 대상인 850개 산지계류 유역의 모암 분포를 분석한 결과, 변성암의 분포가 360개소로 가장 많았으며, 뒤이어 화성암이 282개소, 퇴적암이 208개소의 순이었다.

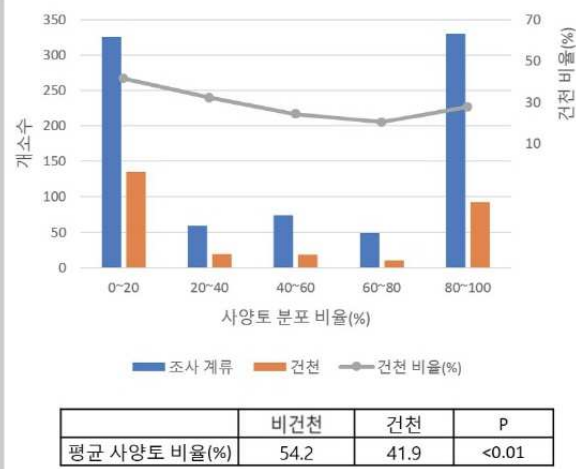
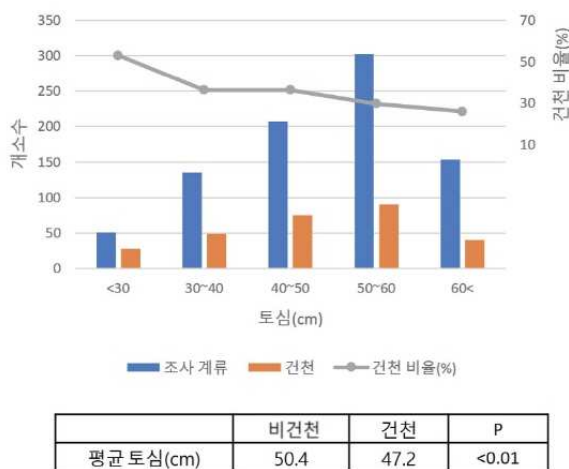
각 모암 분포별 산지계류의 건천 비율을 분석한 결과, 조사 대상 산지계류 중 개소수가 가장 적었던 퇴적암 모암 분포 지역 산지계류 208개소 중 108개 산지계류가 건천으로 확인되어 건천 비율이 51.9%로 가장 높았으며, 이어서 화성암 및 변성암 분포 지역 산지계류에서 건천 비율이 각각 30.9%와 23.9%를 나타내었다. 또한, 모암 중분류에서도 석회암, 사암, 이암, 세일, 역암 등 퇴적암류 분포지역 산지계류에서 건천 비율이 높은 것으로 나타났다.

조사 대상 산지계류 유역의 평균 토심과 건천 비율과의 관계를 분석한 결과, 해당 유역의 평균 토심이 깊을수록 건천 비율이 낮아지는 것으로 나타났다. 이는, 토심이 깊을수록 더 많은 빗물을 토양 내에 함양하여 건조기에도 지속적으로 계류에 물을 공급할 수 있기 때문으로 판단된다. 한편, 사양토를 대상으로 토성에 따른 건천 비율을 분석한 결과, 조사

대상 산지계류 유역에서 사양토의 분포 비율이 커질수록 건천 비율이 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 배수성과 통기성이 좋은 사양토의 비율이 높아질수록 산지계류에 지속적으로 물을 공급하는 유역의 기능이 양호해지는 것으로 판단된다.



〈그림 5〉 모암(대분류 및 중분류)에 따른 건천화 실태 및 건천 비율 분포



〈그림 6〉 토심 및 사양토 비율에 따른 건천화 실태 및 건천 비율 분포

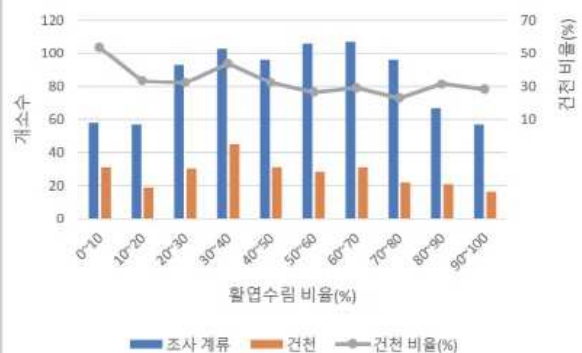
다. 임상 특성

임상 특성이 건천화에 미치는 영향을 분석하고자, 조사 대상 산지계류 유역의 침엽수림 및 활엽수림 분포와 건천 비율과의 관련성을 조사하였다. 조사 결과, 해당 산지계류 유역 내에서 침엽수림이 분포하는 비율이 높고 활엽수림의 분포 비율이 낮을수록 건천 비율이 증가하는 것으로 나타났다.

일반적으로 기상, 지형, 산림토양 등 다른 환경조건에 큰 차이를 보이지 않는 경우, 침엽수림은 수관유효도가 높고 하층식생의 발달이 저조하여 활엽수림에 비해 빗물의 손실량이 많고 산림토양에 저장할 수 있는 수원함양량이 적다. 이러한 특성으로 인해 침엽수림이 많고 상대적으로 활엽수림의 분포가 적은 유역의 산지계류에서 건천화가 많이 진행되고 있는 것으로 판단된다.



	비건천	건천	P
평균 침엽수림 비율 (%)	35.3	42.0	<0.01



	비건천	건천	P
평균 활엽수림 비율 (%)	52.8	45.9	<0.01

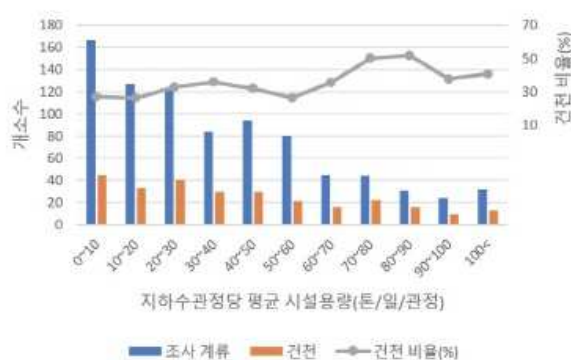
〈그림 7〉 평균 침엽수림 및 활엽수림 비율에 따른 건천화 실태 및 건천 비율 분포

라, 지하수 이용 특성

일반적으로 지방하천 및 소하천 등에서는 과도한 지하수 이용이 건천화의 중요한 원인 중 하나로 여겨진다. 지하수 이용 특성이 산지계류의 건천화에 미치는 영향을 분석하고자, 조사 대상 산지계류를 중심으로 반경 1km 내의 지하수 관정시설에 대한 시설용량(지하수 공급 가능용량)을 조사하였다. 일반적으로 산지에서는 지하수 관정 당 실제 이용량에 대한

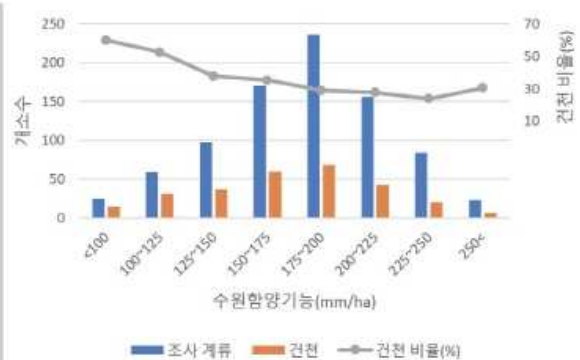
조사 및 통계가 부재하기 때문에 지하수 이용량에 대한 조사가 불가능하여 지하수 관정 당 시설용량을 분석자료로 활용하였다.

지하수 이용과 산지계류 건천 비율과의 관련성을 분석한 결과, 조사 대상 산지계류에 인접한 지하수 관정의 총 시설용량은 건천 비율과 상관성이 약간 낮았으나 평균 시설용량과 건천 비율의 상관성은 높은 것으로 나타났다. 즉, 산지계류에 인접한 지역에 시설용량이 큰 지하수 관정의 수가 많을수록 건천 비율이 높아지는 것으로 나타났다.



	비건천	건천	P
지하수관정당 평균 시설용량(톤/일/관정)	184.2	168.4	<0.01

〈그림 8〉 지하수 관정당 평균 시설용량에 따른 건천화 실태 및 건천 비율 분포



	비건천	건천	P
평균 수원함양기능(mm/ha)	184.2	168.4	<0.01

〈그림 9〉 유역 평균 수원함양기능에 따른 건천화 실태 및 건천 비율 분포

마. 수원함양기능 특성

산림의 수원함양기능은 빗물을 저장하고 계곡에 천천히 흘려보내 수자원을 함양하고 갈수 및 홍수를 조절하는 기능을 말한다. 따라서, 산지계류에 물을 흘려보내는 유역의 수원함양기능이 높을수록 산지계류에서 건천화가 진행될 우려는 적어지게 된다. 이러한 산림의 수원함양기능과 산지계류 건천화의 관련성을 분석하고자, 조사 대상 산지계류의 집수유역이 가지는 수원함양기능과 건천 비율과의 상관성을 분석하였다.

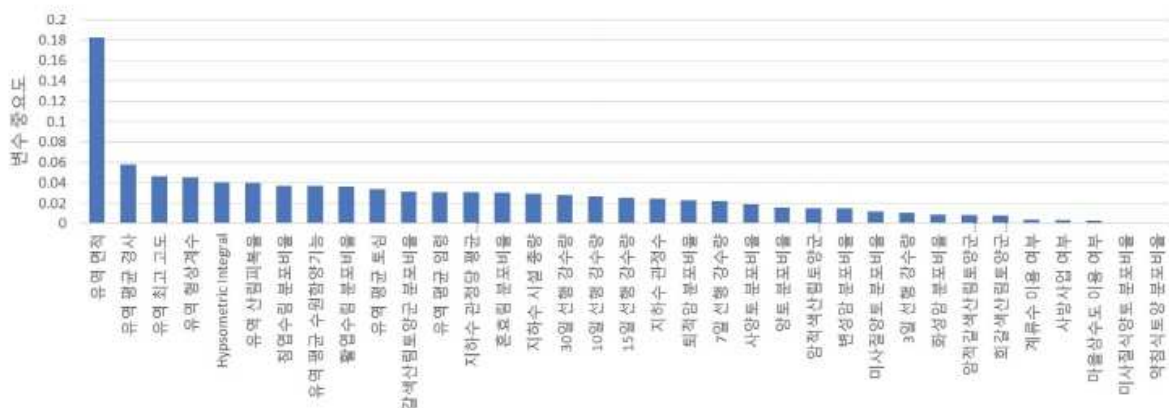
산지계류 유역의 수원함양기능은 산림물지도 제작 기반이 되는 산림의 수원함양기능 정밀 평가 모델을 사용하였다. 이 모델은 임상·입지 등 산림공간 빅데이터와 인공지능을 활용하여 입지 미소단위별 수원함양기능을 평가·예측하는 모델로서, 인공지능 기법으로는 Random Forest 기계학습법을 사용한다.

유역의 수원함양기능과 건천 비율과의 관계를 분석한 결과, 수원함양기능이 증가할수록 건천 비율이 감소하는 것으로 나타났다. 건천화된 산지계류 유역의 평균 수원함양기능은 168.4mm/ha였으며, 건천화되지 않은 산지계류 유역의 평균 수원함양기능은 184.2mm/ha로 1.1배 더 높았다. 특히 유역 평균 수원함양기능이 125mm/ha 이하인 산지계류는 50% 이상 건천인 것으로 확인되어 건천화에 대한 수원함양기능의 영향이 큰 것으로 나타났다.

3.3. 산지계류 건천화 영향요소 분석

산지계류 건천화에 대한 지형, 모암, 토양, 임상, 선행강수량, 지하수이용량 등 유역 환경인자의 영향을 분석하기 위하여 유역 환경인자 총 35개를 선정하여 건천화 예측을 위한 변수 중요도를 평가하였다. 변수 중요도 평가를 위해서는 Random Forest 인공지능 기법을 이용하였다.

분석 결과, 산지계류의 건천화 여부를 판단하는데 있어서 유역면적의 중요도가 가장 높았으며, 이 외에 유역 평균 경사 등 지형인자와 산림피복율, 침엽수림 및 활엽수림 분포비율 등 임상인자, 수원함양기능, 유역 평균 토심 등이 중요하게 평가되었다.



〈그림 10〉 산지계류 건천화 영향요소의 변수 중요도 평가 결과

요소별 중요도 평가 결과를 바탕으로 크게 모암·토양, 기상, 산림, 물이용 등의 환경인자 그룹별 건천화에 대한 기여도를 평가한 결과, 건천화에 대한 기여율은 모암·토양인자들이 20.6%, 기상 인자(선행강수량 등)가 18.8%, 산림 인자(피복율, 침활혼 분포비율, 임령 등)가 17.0%, 물이용 인자(지하수 관정 시설용량, 관정수, 계류수 이용 여부 등)가 14.1%의 순으로 분석되었다.



〈그림 11〉 산지계류 건천화 영향요소 그룹별 건천화 기여율 비교

4. 결론

하천 건천화는 물 부족 현상의 대표적인 사례로서, 용수 공급의 불안전성을 증대하고 수생태계의 건강성을 저해하여 궁극적으로는 산업과 생태계의 안정성 및 국민 삶의 질을 악화시킨다. 기후변화 및 물 부족이 심화될수록 건천화의 악영향은 더욱 커질 것으로 예상된다. 그동안 하천 건천화의 주요 연구대상지는 국가하천, 지방하천, 소하천 중심으로 이루어졌지만, 우리나라 국토의 64%를 차지하는 산림에서 산지계류 건천화에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다.

이에, 국립산림과학원에서는 산림유역과 산지계류에서의 건천화 현상에 대한 실태 파악과 정확한 원인 규명을 위하여 2021년 11월부터 2022년 3월에 걸쳐 전국 산지계류를 대상으로 건천화 관련 정보를 수집·분석하고 현장 실태조사를 수행하였다.

총 850개 산지계류를 대상으로 건천화 여부를 조사한 결과, 조사 대상 산지계류 중에서 281개소가 건천화된 것으로 확인되어 건천화율은 약 33.1%에 달하는 것으로 나타나 중소하천보다는 건천화가 덜 심각한 것으로 나타났다.

기상을 제외한 임상, 지형, 토양 등 유역 환경인자 중에서는 유역면적, 경사, 퇴적암 분포, 침엽수림 면적, 토심, 임령, 수원함양기능, 물이용 등 8개가 산지계류 건천화의 주요 영향인자인 것으로 분석되었다. 즉, 기상 조건이 같을 경우, 산지계류에서 유역면적이 작을수록, 유역 평균 경사가 급할수록, 퇴적암 분포비율이 높을수록, 침엽수림 면적이 클수록, 토심이 얇을수록, 임령이 높을수록, 수원함양기능이 열악할수록, 그리고 물이용이 과다할수록 건천화에 취약한 것으로 나타났다.

산지계류 건천화에 대한 원인 구명을 위하여 모암·토양, 기상, 산림, 물이용 등의 환경인자 그룹별 건천화에 대한 기여도를 평가한 결과, 건천화에 대한 기여율은 모암·토양인자가 가장 크고, 이어서 기상, 산림, 물이용 순으로 분석되었다. 산지계류 건천화에 대한 산림의 영향은 17% 정도인 것으로 나타났는데, 주요 인자로는 산림피복율, 임상(침·활·혼)별 분포면적, 평균 임령 등이었다. 즉, 산지계류 건천화 현상의 발생에 있어서는 모암, 토양 등 입지인자와 기상인자의 영향이 가장 크며, 그 외에 일정부분에서 산림의 영향이 작용하는 것으로 나타나, 건천화 저감을 위한 산림관리의 효과성에 대한 기대감과 한계를 보여주는 것이라고 판단된다.

산림관리를 통한 산지계류 건천화 저감을 위해서는 임상·임종별 물순환 특성에 기반한 수원함양림의 체계적 관리를 실현하고, 수원함양 증진을 위한 숲가꾸기 기법의 고도화를 지속해서 추진할 필요가 있다. 또한, 도시 건천화 해소 등 건전한 도시 물순환 체계 확립을 위하여 도시숲의 관리를 강화해야 하며, 산림탄소흡수원의 보전, 복원 및 안전한 물 확보를 위하여 산림보호구역의 지속적으로 확대해야 할 것이다.



참고문헌

- 1) 건교부. 2003. 21세기 프론티어연구개발사업, 지속가능한 하천수 개발기술, 11-12.
- 2) 김성준, 김계현, 정충길. 2017. 하천건천화의 원인추적 및 영향평가 기술. 한국수자원학회지 50권 5호, 8-14.
- 3) 김세민, 김경오, 이연준, 박영기. 2020. 만경강유역 하천의 건천화 특성분석 연구. 한국수자원학회 2020년도 학술발표회 논문집 316pp.
- 4) 박기욱, 윤여정, 주옥종. 2005. 2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집 68-73.
- 5) 이예은, 김상민. 2013. 건천화된 농촌소하천의 시·공간적 수문·수질 특성분석. 한국농공학회논문집 55권 6호, 177-186.
- 6) 이용관, 정충길, 김원진, 김성준. 2020. DrySAT-WFT 모형을 활용한 전국 하천건천화 분석: 전국 5대강 댐·보 유역의 유입량을 중심으로. 한국지리정보학회지 23권 2호, 53-69.
- 7) 이충성, 최승안, 김형수, 심명필. 2004. 우이천의 건천화 원인분석. 한국수자원학회 2004년도 학술발표회 논문집, 753-758.
- 8) 이현주, 구민호, 임진실, 유병호, 김용철. 2016. 계절양수가 하천건천화에 미치는 영향. 지하수환경학회지 21권 1호, 61-71.
- 9) 인하대학교. 2003. 지속가능한 하천수 개발 기술, 2-5-1. 과학기술부, 100-172.
- 10) 임진실. 2012. 지하수양수가 하천 건천화에 미치는 영향. 공주대학교 석사학위논문. pp.56.
- 11) 정충길. 2018. Quantification and Prediction of Stream Drying Phenomena Using Grid-Based Hydrological Modeling and Artificial Neural Network. 건국대학교 박사학위논문. pp.167.

산림유역에서 산불이 계류수질에 미치는 영향



남 수 연

국립산림과학원 도시숲연구과 연구사

1. 서론

최근 지구온난화, 엘니뇨, 라니냐 등 기후변화로 인하여 지구의 연평균 기온이 증가하는 추세이며(IPCC, 2007), 우리나라에서도 기온이 증가하는 경향이 나타나고 있다(MOLIT, 2016). 이는 홍수, 가뭄, 산불 등 극한 기상현상의 발생빈도 및 강도를 증대시켜(Kim et al., 2019; Ahn, 2022), 안정적인 수자원 공급에 문제를 발생시키고 있다 (Lee et al., 2012; Cho et al., 2018). 특히, 건조에 따른 산불의 증대는 규조류, 질소 및 인 등의 오염물질이 다량 계류 및 하천으로 유입돼 수질관리의 문제점을 발생시키고 있다(Bradstock et al., 2014). 결국, 점차 심화되고 있는 산불은 이용 가능한 수자원 확보 및 관리를 더욱더 어렵게 만들 것이다(Lee et al., 2012).

우리나라는 전 국토의 63.5%가 산림지대이고(KFS, 2019), 산림유역 내를 흐르는 계류 역시 전체 수계연장의 88.9% 이상(Kim and Han, 2008)을 차지하고 있다. 이러한 중요한 역할을 가지고 있음에도, 계류수는 평상시에는 상대적으로 유량이 적거나 간헐천(ephemeral stream)의 특징을 가지고 있어(Kim et al. 2020), 긴 시간 동안 수질의 변화를 분석하고 평가하는 부분에 대해서는 제한적이다(Yoo et al., 2020). 특히, 산림유역 내 불에 잘 타는 침엽수가 43%로 상대적으로 많이 분포되어 있어 산불발생에 따른 확산의 위험성 높다(Won et al., 2016). 그러므로, 산림유역 내 산지계류의 역할은 수자원 공급과 관리의 측면에서 매우 중요하다(Jun et al., 2007).

필요성이 충분히 고려되고 있는 현재 상황에서 산불에 따른 산림유역 계류의 중·장기적 수질관리 방안을 마련하기 위해서는 산불피해지에서 계류수질의 현황이 파악되어야 한다. 그러기 위해서는 계류수질에 대한 정확하고 신뢰성 있는 분석항목의 결정이 필요하다고 한다고 판단된다. 그리하여 상수원으로 사용되고 있는 하천 또는 호수에 대한 수질오염의 정도를 나타내는 수질의 분석항목인 생화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 총유기탄소량(Total Organic Carbon, TOC), 부유물질량(Total Suspended Solid, TSS), 총질소(Total Nitrogen, TN), 총인(Total Phosphorous, TP) 등을 파악하여야 한다(NIER, 2006; KMOE, 2017).

이러한 배경을 바탕으로, 이 연구는 산불이 계류수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서, 강우사상에 대한 계류수질의 시계열 변화를 분석하였으며, 초기유출효과 분석 및 유량가중평균농도를 산출하였다. 이를 토대로 산불에 따른 계류수질의 관리 및 체계 정립을 위한 기초자료로써 활용하고자 하였다.

2. 산불피해지에서 계류수질 연구의 필요성

최근 10년 동안(2010~2019년) 4천 건이 넘는 산불이 발생했으며 산림, 주택 및 건축물 등 총 8,571ha의 피해가 발생하고 있으며(그림 1(a)), 이는 여의도 전체 면적의 약 29.5배에 해당하는 규모에 해당한다(국립산림과학원, 2020). 지난 10년 동안 연평균 약 440건의 산불이 발생하였으며, 최근 3년 사이 해마다 약 613건으로 증가하는 추세가 나타나고 있다. 특히 계절적으로 봄철(3~5월)에 전체 산불의 58%가 집중적으로 발생하고 있다(그림 1(b)) (국립산림과학원, 2020; 산림청, 2021).

이러한 상황을 반영하듯, 산림청에서는 전국 산불 발생 현황을 비롯하여 전반적인 산불정보를 실시간으로 파악함으로써, 산불 발생에 대한 방지 대책을 위한 기초자료 확보하고 있다. 또한, 국립산림과학원에서는 산불에 관한 다양한 산불원인 조사·감식 가이드북, 용어집, 산불 제대로 알기 등 다양한 연구 자료를 통해 지속적으로 보고 및 관리가 체계적으로 이루어지고 있다.

이렇듯 산불에 관한 연구들은 활발하게 진행되고 있으나, 산불피해지에서의 계류수질에 관한 기초자료는 제한적이다. 더욱이 산불피해지에서의 계류수질과 관련된 연구는 국외(Smith et al., 2011; Abraham et al., 2017)에서는 활발하게 이루어지고 있지만, 국내에서는 신뢰성 있는 자료의 양을 확보하지 못하고 있다.

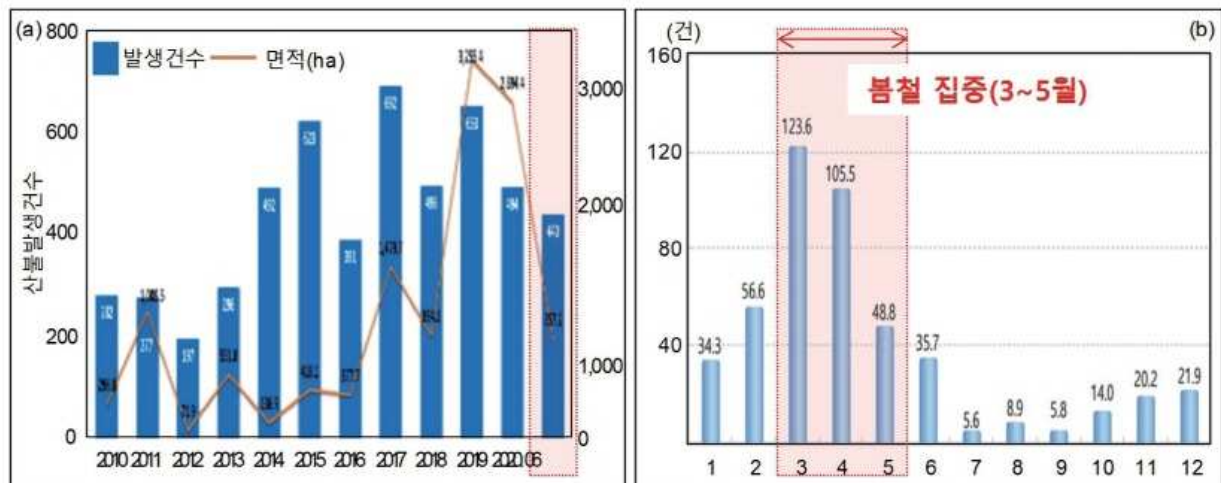


그림 1. 우리나라의 산불 현황(ref., (a)국립산림과학원, 2020, (b) 산림청, 2021))

3. 연구개요

가. 연구대상지

연구대상지는 '21년 안동 산불피해지 내 산지계류로서($37^{\circ}33'N$, $128^{\circ}54'E$), 유역면적은 42.5ha이며, 고도는 161~395m이다(그림2(a)와 (b)). 그리고 안동기상청(Andong Weather Station)의 평년값자료(2002~2021년)에 따르면, 연평균기온은 12.4 ± 0.5 ($\pm$ 표준편차) $^{\circ}C$ 이며, 연평균강수량은 $1015.3 \pm 200.8mm$ 이다.

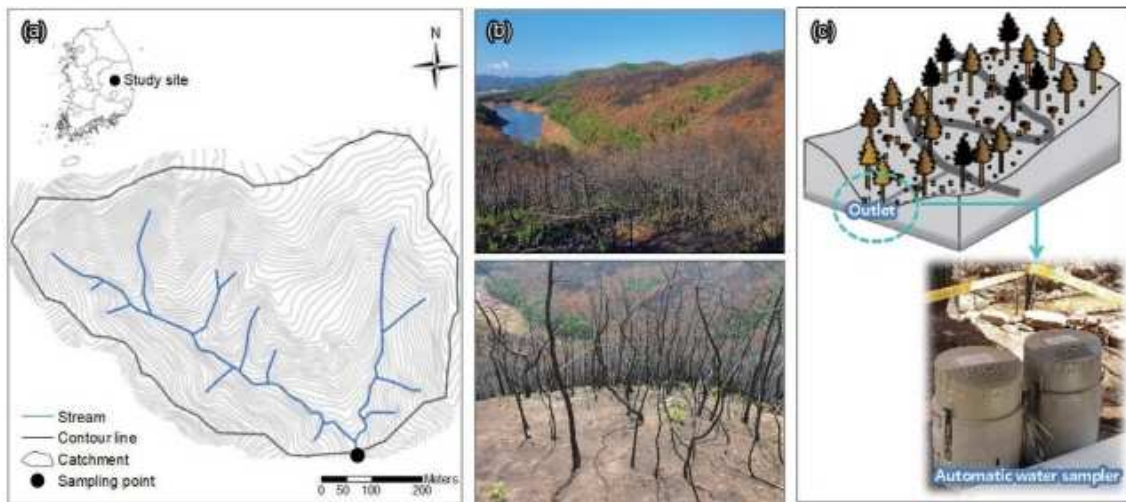


그림 2. 연구개요((a)연구대상지, (b)안동 산불피해지, (c)시료채수 및 분석기계)

나. 시료항목 및 분석방법

2021년 2월 21~23일 동안 발생한 산불 직후, 10차례의 강우사상을 대상으로 자동채수기 (ISCO automatic water sampler, Teledyne Isco Inc., USA)를 이용하여 채수하였다(그림 2(c)). 시료의 채수방법, 보존 및 분석은 수질오염공정시험기준을 준수하였다. 계류수질의 변화를 파악하기 위해 하천 또는 호수의 수질오염의 정도를 나타내는 분석항목인 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 총유기탄소량 (TOC), 부유물질량(TSS), 총질소(TN) 및 총인(TP)를 이용하였다. 그리고 각 수질시료 분석 결과와 유량측정 모니터링 결과를 이용하여 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 산정하였다.

4. 산불피해지에서 강우사상에 대한 계류수질의 시계열 변화

산불 발생 경과에 따른 강우사상에 대한 강우량, 유출량 및 계류수질(BOD, COD, TOC, TSS, TN, TP)의 변화를 시계열적으로 분석한 결과는 그림 3과 같다.

강우사상에 대한 강우량은 11.5~80.5mm, 유출량은 0.18~49.55mm로 나타났다. BOD의 농도(mg/L)는 0.8~9.0, COD의 농도는 6.5~17.6, TOC의 농도는 6.1~15.6, TSS의 농도는 3.0~653.6, TN의 농도는 0.8~2.5, TP의 농도는 0.01~0.03로 나타났다.

산불 발생 후 봄철 동안 계류수에서 COD와 TOC의 농도 증가가 현저하였는데, 이는 산불로 인하여 생성된 재(ash) 및 잔존유기물 등의 난분해성 유기물의 유출 증가가 영향을

미친 것으로 판단된다. 또한, 여름철 강우사상 동안 계류수에서 TSS, TN 및 TP의 농도가 증가하였는데, 이는 산불로 인해 약화된 지표토양층이 집중호우에 의해 쉽게 침식되어 유출되기 때문인 것으로 판단된다(Nam et al., 2023)

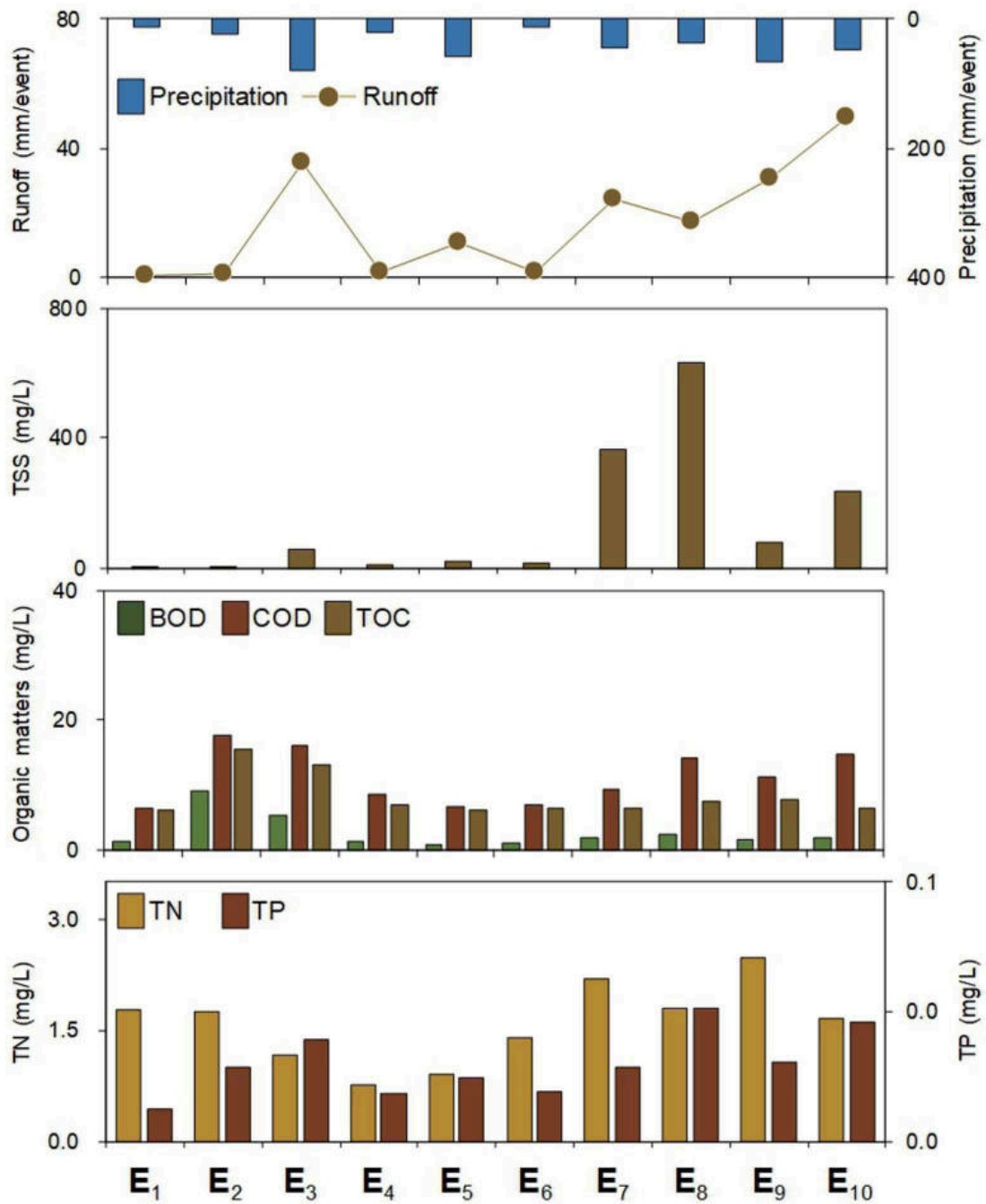


그림 3. 산불 발생 경과에 따른 계류수질의 경시적변화(ref, Nam et al., 2023).

5. 산불에 따른 계류수질의 초기유출효과 분석

산불 발생 경과에 따른 강우사상별 유출되는 계류수질의 초기유출효과(First-flush effect)를 그림 4와 같이 분석하였다. 산불 발생 후 봄철 동안의 그래프의 기울기가 1보다 크게 나왔으며, 이는 초기유출효과가 강한 것으로 해석할 수 있다. 반면 그 이후에는 기울기가 1보다 작은 경우가 상대적으로 많이 발생하였으며, 이는 초기유출효과가 감소한 것으로 해석할 수 있다.

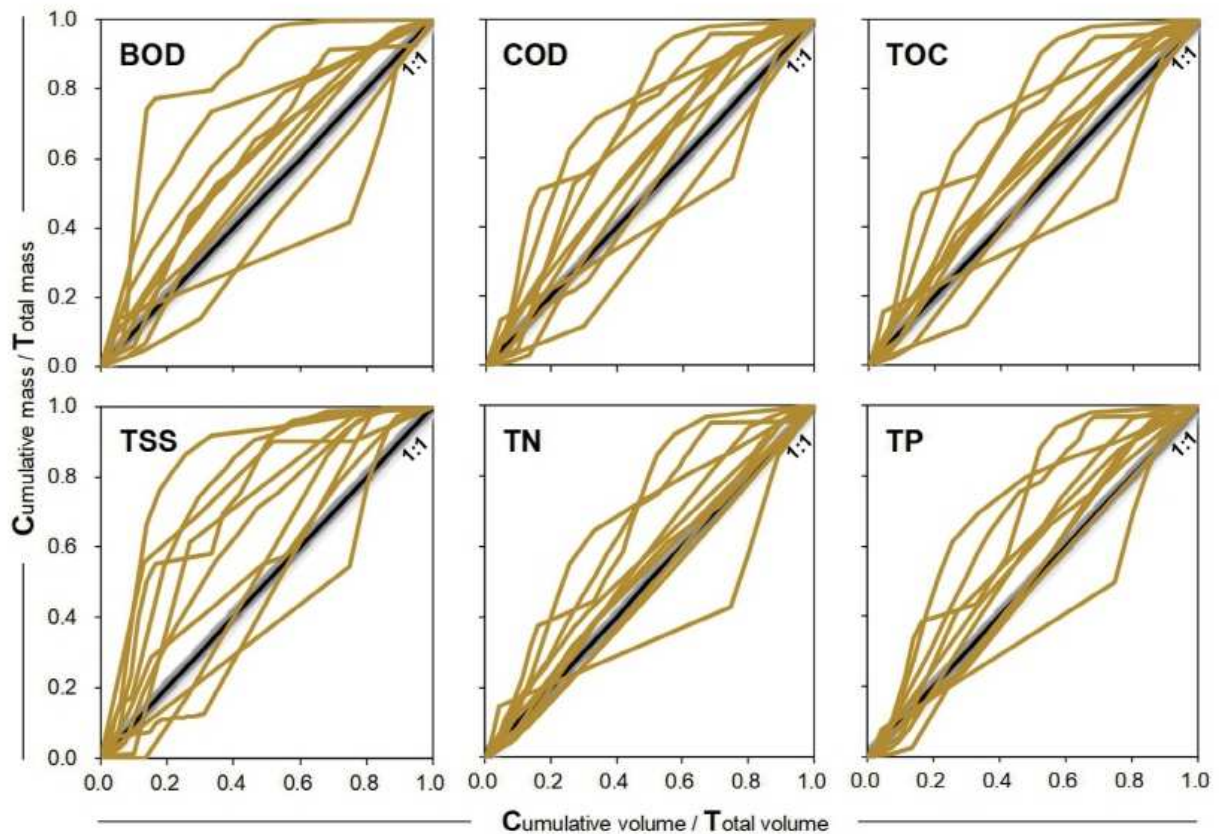


그림 4. 산불 발생 경과에 따른 계류수질의 초기유출효과(First-flush effect)

6. 유량가중평균농도를 통한 산불피해지의 계류수질 특성

산불 발생 후 200일 동안 10개 강우사상에 대한 계류수질의 변화를 봄철(3~6월)과 여름철(7~9월)로 분리하여 분석하였다(그림 5). 강우사상에 대한 계류수의 COD는 봄철과

여름철에 유사한 범위를 보였으며, BOD와 TOC는 여름철 대비 봄철에 상대적으로 높았다. 반면에 TN, TP, TSS는 봄철 대비 여름철에 더 높았다. 이는 봄철에 집중적으로 발생하고 있는 산불 및 동아시아 몬순기후의 영향을 받은 것으로 판단된다(Shakesby et al., 2011; Hosseini et al., 2016).

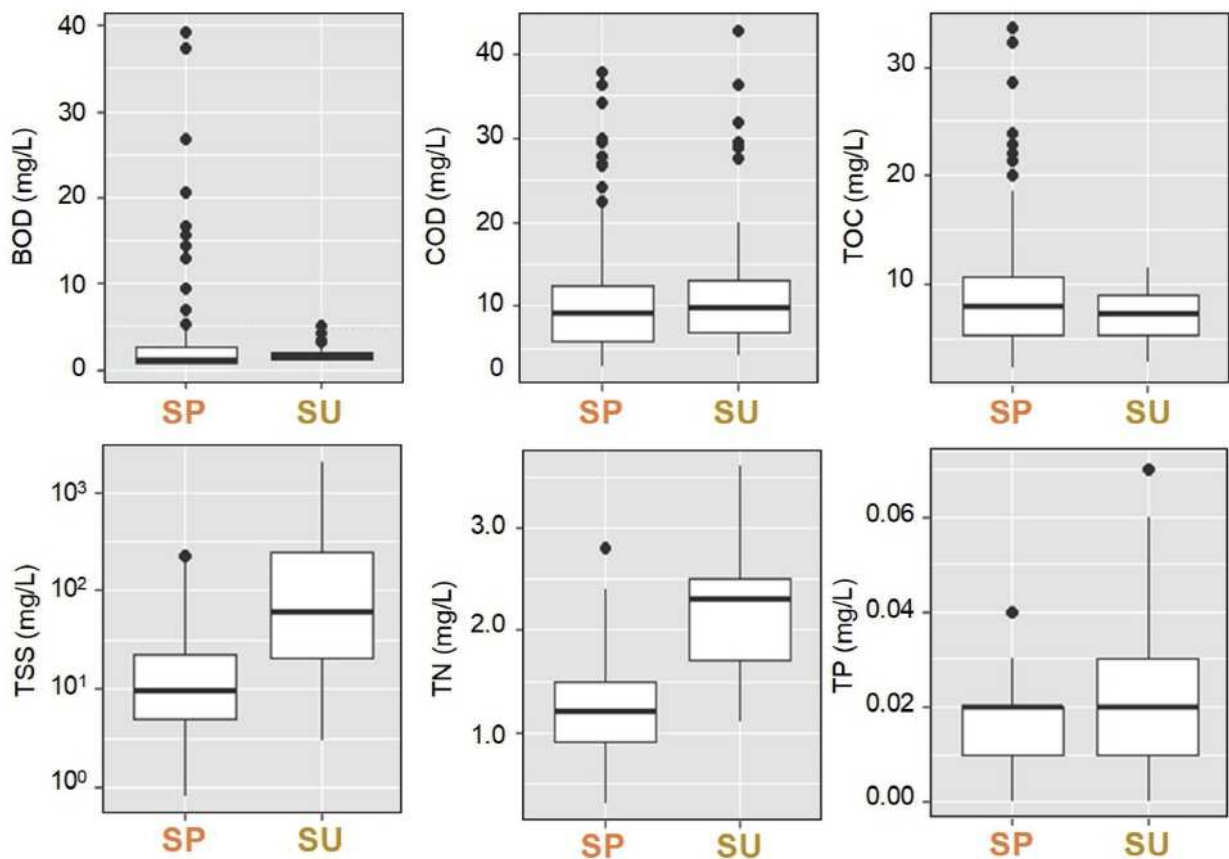


그림 5. 봄철(Spring, SP)과 여름철(Summer, SU)에 따른 계류수질의 변화

산불 발생 후 강우사상에 대한 계류수질의 유량가중평균농도(EMC, mg/L)를 그림 6과 같이 봄철과 여름철로 나누어서 산출하였다. COD, TSS, TN 및 TP의 평균 EMC는 봄철 대비 여름철에 2~30배 정도 높았으며, BOD와 TOC의 평균 EMC는 여름철 대비 봄철에 비슷하거나 약간 높았다. 이는 산불로 인하여 생성된 재(ash) 및 잔존유기물과 동아시아 몬순기후와 결부된 집중된 강우가 복합적으로 계류수질에 영향을 미친 것으로 판단된다(Moody et al., 2013; Qian et al., 2016).

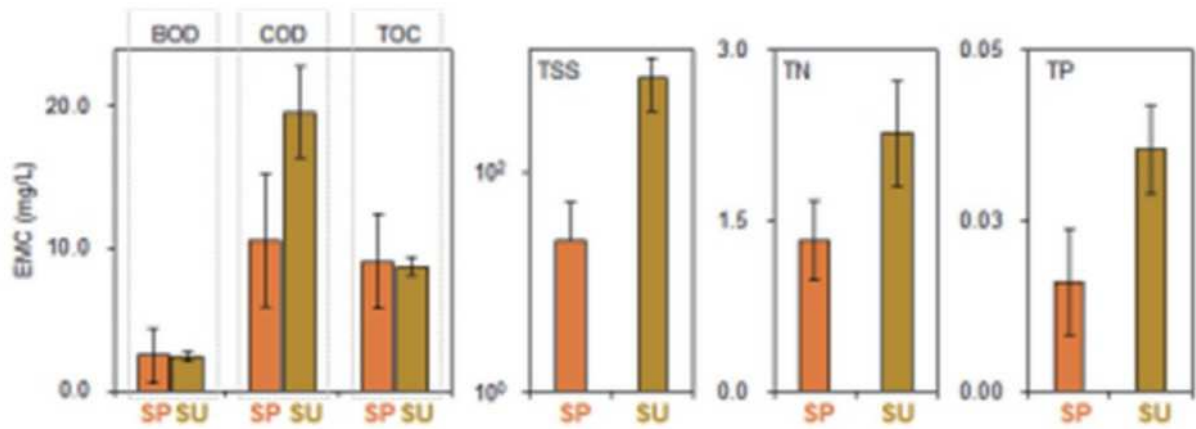


그림 6. 봄철(Spring, SP)과 여름철(Summer, SU)에 따른 계류수질의
유량가중평균농도(Event mean concentration, EMC)

7. 적요

이 연구는 산림유역에서 산불이 계류수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서 2021년 안동 산불피해지를 대상으로 계류수질의 변화를 조사하였다. 산불 직후인 3~9월까지 총 10회 강우사상을 대상으로 수질 모니터링하여 분석하였다. 산불 발생 후 봄철(3~6월) 동안의 계류수에서 화학적 산소요구량(COD)과 총유기탄소량(TOC)의 농도 증가가 현저하였는데, 이는 산불로 인하여 생성된 재(ash) 및 잔존유기물 등의 난분해성 유기물의 유출 증가가 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한, 여름철 강우사상 동안 계류수에서 총질소(TN), 총인(TP) 및 부유물질량(TSS)의 농도가 증가하였는데, 이는 산불로 인해 약화된 지표토양층이 집중호우에 의해 쉽게 침식되어 유출되기 때문으로 판단된다.

향후 집중호우와 장기가뭄 등 극한 기후현상의 심화로 인하여 수자원 공급 및 이용에 대한 급격한 변화가 예상되므로, 좀 더 많은 산림유역의 특성 및 더욱 정확한 자료에 근거한 계류수질에 대한 중·장기적 연구가 요구된다.



참고문헌

- 국립산림과학원. 2020. 산불 제대로 알기. 125pp.
- 산림청. 2021년 산불통계 연보. 265pp.
- Abraham, J., Dowling, K. and Florentine, S. 2017. Risk of post-fire metal mobilization into surface water resources: A review. *Science of The Total Environment* 599-600: 1740-1755.
- Ahn, J.J. 2022. Lessons learned from major environmental health disasters in South Korea and the role of environmental health experts. *Journal of Environmental Health Sciences* 48: 9-18. [Korean Literature]
- Bradstock, R., Penman, T., Boer, M., Price, O. and Clarke, H. 2014. Divergent responses of fire to recent warming and drying across south-eastern Australia. *Global Change Biology* 20: 1412-1428.
- Cho, S.J., Kang, S.K., Lee, D.R. and Kang, S.U. 2018. Evaluation on the water supply stability of Nakdong river basin based on future scenarios. *Journal of Korea Water Resources Association* 51: 1105-1115. [Korean Literature]
- Hosseini, M., Keizer, J.J., Pelayo, O.G., Prats, S.A., Ritsema, C. and Geissen, V. 2016. Effect of fire frequency on runoff, soil erosion, and loss of organic matter at the micro-plot scale in north-central Portugal. *Geoderma* 269: 126-137.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007: the physical science basis-summary for policy makers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC WGI 4th Assessment Report.
- Jun, J.H., Kim, K.H., Yoo, J.Y., Choi, H.T. and Jeong, Y.H. 2007. Variation of suspended solid concentration, electrical conductivity and pH of stream water in regrowth and rehabilitation forested catchments, South Korea. *Journal of Korean Forest Society* 96: 21-28. [Korean Literature]
- Kim, D.Y. 2020. Effect of regional climate change on precipitation in the 21st century. *Journal of the Korean Society for Environmental Technology*, 21: 205-210. [Korean Literature]
- Kim, I.J. and Han, D.H. 2008. A small stream management plan to protect the aquatic ecosystem, Korea Environment Institute Report (No. RE-09), 149pp.
- Kim, Y.H., Kim, E.S., Choi, M.J., Shim, K.M. and Ahn, J.B. 2019. Evaluation of long-term seasonal predictability of heatwave over South Korea using PNU CGCM-WRF Chain. *Atmosphere* 29: 671-687. [Korean Literature]
- Korea Forest Service (KFS). (2019). Statistical yearbook of forestry 2019, Korea Forest Service, Daejeon, Korea, 444pp.
- Korea Ministry of Environment (KMOE). (2017). 2017 White paper of environment, Korea Ministry of Environment, 630pp.
- Lee, J.K., Kim, Y.O. and Kang, N. 2012. Analysis of climate change researches related to water resources in the Korean Peninsula. *The Korean Society of Climate Change Research* 3: 71-88. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). 2016. The long-term water management plan (2001-2020). Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong City, 131pp.

- Moody, J.A., Shakesby, R.A., Robichaud, P.R., Cannon, S.H. and Martin, D.A. 2013. Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes. *Earth-Science Reviews* 122: 10-37.
- Nam S. Yang, H., Lim, H., Kim, J., Li, Q., Moon, M., HT Choi, H.T. 2023. Short-term effects of forest fire on water quality along a headwater stream in the immediate post-fire period. *Water*. 15: 131.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2006. Development of water quality evaluation method and evaluation index, National Institute of Environmental Research, 13-18.
- Qian, W.; Kang, H.S. and Lee, D.K. 2002. Distribution of seasonal rainfall in the East Asian monsoon region. *Theoretical and Applied Climatology* 73: 151-168.
- Shakesby, R.A. 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews* 105: 71-100.
- Smith, H.G., Sheridan, G.J., Lane, P.N.J., Nyman, P. and Haydon, S. 2011. Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology* 396: 170-192.
- Won M., Yoon, S. and Jang, K. 2016. Developing Korean forest fire occurrence. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 18: 199-207. [Korean Literature]
- Yoo, H.J., Choi, H.T., Kim, J.H., Lim, H.G. and Yang, H.J. 2020. Changes in temporal and spatial stream water concentrations and analysis on nonpoint source runoff in forested watersheds on non rainfall days. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration* 23: 137-149. [Korean Literature]

과학적 도시 산림자원관리를 위한 첫걸음, 도시 국가산림자원조사



전 재 홍

한국임업진흥원 글로벌산림탄소센터장

junjh@kofpi.or.kr

1. 도시 국가산림자원조사의 개요

산림청은 ‘2050 탄소중립 산림부문 추진전략’을 수립하고 이를 위한 4+1 실행전략으로 신규 산림탄소흡수원 확충, 산림 탄소흡수능력 강화, 목재와 산림바이오매스 이용 활성화, 산림탄소흡수원 보전·복원, 기반 강화를 제시하고 있다. 특히 신규 산림탄소흡수원 확충 분야에서 도시의 미세먼지와 폭염 등에 대응하고 탄소흡수원을 확충하기 위해 도시숲 조성 확대 및 체계적 관리를 제시하고 있다.

한편 산림(숲)을 잘 관리하기 위해서는 산림의 현재 상태를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 산림자원 정보를 파악하기 위해 산림청은 1971년 제1차 전국산림실태조사를 시작으로 2023년 현재 제8차 국가산림자원조사 3차년도를 진행하고 있다.

이러한 국가산림자원조사와 함께 2021년부터 2025년까지 전국을 5개 권역으로 나누어 매년 1개 권역씩 도시숲을 조사 분석하는 제1차 도시 국가산림자원조사를 추진하고 있다. 국가산림자원조사와 동일하게 향후 2026년부터 시작되는 제2차 조사에는 제1차 조사시 현장 조사한 표본점을 재조사하는 모니터링 체계를 갖고 있다.

도시 국가산림자원조사의 목적은 도시숲을 효율적으로 관리하기 위해 2025년 기준 전국의 도시 산림통계를 생산하고 도시숲 관리정책 수립을 위한 기초자료를 제공하기 위한 것이다.

본 원고에서는 도시 국가산림자원조사에 대한 대상과 설계 및 조사항목 등을 소개하여 국가산림자원조사와 함께 국가단위 산림자원조사의 기본이 될 도시 국가산림자원조사에 대한 이해를 돕고자 한다.

2. 도시 국가산림자원조사의 대상인 도시숲의 정의

도시 국가산림자원조사는 ‘도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률(이하 도시숲법)’에 따른 도시숲을 대상으로 조사하고 있다. 도시숲에서 말하는 숲은 국가산림자원조사에서 정의하는 숲과는 다른 정의를 사용하고 있다.

도시숲법에서 분류하고 있는 도시숲의 종류로는 도시숲, 생활숲(마을숲, 경관숲, 학교숲), 가로수가 있으며 각 숲의 정의는 표1과 같다. 이와 같이 도시숲은 개별 수목도 하나의 숲으로 정의하고 있기에 한 그루 이상의 교목이나 관목이 있으면 도시숲에 해당할 수 있는 것이다.

〈국가산림자원조사에서 정의하고 있는 산림〉

최소면적이 0.5ha 이상, 수고가 5m 이상으로 자랄 수 있는 입목의 수관밀도가 10% 이상인 토지로서, 최소 폭은 30m 이상이어야 한다.

인위적 또는 자연적 요인에 의해 일시적으로 나무가 제거되었지만 산림으로 회복될 것으로 예상되는 미립목지와 죽림을 포함한다. 산림경영활동을 위한 임도 및 적재소 등은 산림(제지)에 포함한다.

표 1. 도시숲법에서 정의하는 도시숲 등의 정의

대분류	중분류	정 의
도시숲	-	도시에서 국민의 보건·휴양 증진 및 정서 함양과 체험활동 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목을 말하며, 「자연공원법」 제2조에 따른 공원구역은 제외한다.
생활숲	마을숲	산림문화의 보전과 지역주민의 생활환경 개선 등을 위하여 마을 주변에 조성·관리하는 산림 및 수목
	경관숲	우수한 산림의 경관자원 보존과 자연학습교육 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목
	학교숲	「초·중등교육법」 제2조에 따른 학교와 그 주변지역에서 학습환경 개선과 자연학습교육 등을 위하여 조성·관리하는 수목 * 「초·중등교육법」 제2조(학교의 종류) : 초등학교/중학교·고등공민학교/고등학교·고등기술학교/특수학교/각종학교
가로수	-	「도로법」 제 10조에 따른 도로(고속국도를 제외한다) 등 대통령령으로 정하는 도로의 도로구역 안 또는 그 주변지역에 조성·관리하는 수목을 말한다. * 「도로법」 제 10조(도로의 종류와 등급) : 고속국도/일반국도/특별시도·광역시도/지방도/시도/군도/구도

3. 도시 국가산림자원조사의 추진체계

도시 국가산림자원조사의 추진체계는 국가산림자원조사와 유사하다. 총괄기관은 산림청(산림빅데이터팀), 주관기관은 한국임업진흥원(산림정보실), 현장조사는 산림조합중앙회(산림자원조사본부)가 담당하고 있다.

한국임업진흥원은 정확한 통계를 생산하기 위해 표본점 설계와 통계산출을 비롯하여 현장조사원에 대한 교육과 평가, 현장조사에 대한 지도점검과 적합성 평가 등 품질관리를 담당하고 있다.

4. 도시 국가산림자원조사 설계 및 조사항목

가. 도시숲의 공간적 범위 설정 및 공간구획

표본점 설계를 위해 도시숲법 제2조에서 정의하고 있는 각 숲에 부합하는 공간적 범위를 설정 하였다. 이를 위해 아래 그림과 같이 생활권 도시숲을 ‘국토의 계획 및 이용에 관한 법률’의 용도지역 구분에 따른 ‘도시지역’과 ‘지구단위 계획구역’을 대상으로 설정하였다. 그리고 항공사진을 이용해서 도시숲, 생활숲, 학교숲은 수목과 수목이 향후 식재 또는 확장할 수 있는 공간을 포함하여 구획하고, 가로수는 포인트로 표시한다.



그림 1. 도시숲 등 구획 기준

표 2와 같이 도시숲은 <도시지역> 중 ‘상업지역과 공업지역’에, 마을숲은 <도시지역> 중 ‘주거지역’에, 경관숲은 <도시지역> 중 ‘녹지지역’과 <지구단위 계획 구역> 내의 ‘관리지역’에 존재하는 수목과 산림으로 정의하였다.

학교숲의 경우 국토부의 <공공·문화체육시설> 공간정보 중 초등학교, 중학교, 고등학교, 특수학교, 각종학교, 기타 학교시설 정보를 추출하여 범위를 정하였다.

가로수의 경우 국토지리정보원의 <도로경계> 자료와 KTDB국가교통베이스의 <표준 노드링크>자료를 융복합하여 경계를 구획하였다.

표 2. 도시숲별 공간정보 구축을 위한 활용 주제도 및 분류 현황

주제도 종류	대분류	중분류	생활권도시숲
용도지역	도시지역	주거지역	마을숲
		상업지역	도시숲
		공업지역	
		녹지지역	경관숲
용도지역, 지구단위계획 구역	관리지역	계획관리지역	
		생산관리지역	
		보전관리지역	
문화·체육시설 현황도	학교지역	학교	학교숲
		유치원 (제외)	
		초등학교	
		중학교	
		고등학교	
		대학교 (제외)	
		특수학교	
		각종학교	
		기타 학교시설	
표준노드링크 × 도로경계 SHP	도로지역	고속도로 및 연결램프(제외)	가로수
		도시고속화도로	
		일반국도	
		특별광역시도	
		국가지원지방도	
		지방도	
		시도·군도	

나. 도시숲의 표본점 선정 절차

현장조사 대상권역의 모집단 내에 100m 단위 격자를 생산하고, 각 격자의 중심이 수관에 걸쳐져 있는 표본점을 항공판독 하였으며, 표본점 단위로 도시숲 세부 분류(마을숲, 경관숲, 학교숲, 가로수, 도시숲)에 대한 속성을 부여하여 임의 층화추출을 진행하였다. 마지막으로 층화추출된 표본점에 대하여 임의로 1,540개소를 추출하되, 층화별 도시숲 면적과 층화별 표본점 개소수 비율이 비례하여 표본점이 할당되도록 비례층화추출법을 적용하였다.



그림 2. 표본점 배치 예시

다. 표본점의 구조 및 조사 항목

마을숲, 경관숲, 도시숲은 면의 형태로 구성되어 있음을 고려하여 표본점을 중심으로 11.3m의 반지름을 가지는 단일원형표본점(0.04ha)의 구조이다. 가로수의 경우 선의 형태로 구성되어 있음을 고려하여, 도로 한쪽면의 40m 길이인 장방형 구조이다. 장방형 표본점의 폭은 보도에서부터 건축선 경계까지로 구획한다.

학교숲의 경우 학교를 최소 표본단위로 설정하여, 100m 격자에 포함되는 학교 구획 내의 모든 입목을 전수 조사한다.

표본점 조사 항목은 표본점 번호, 조사자에 대한 일반적인 정보, 구조물 위치 등을 작성하는 일반조사와 도시숲, 마을숲, 경관숲, 학교숲, 가로수 등 표본점의 유형과 토지유형, 투수면과 불투수면을 파악할 수 있는 토지피복의 종류를 작성하는 토지현황조사가 있다.

지황, 임황을 파악하는 임분현황조사와 함께 임목조사시에는 표본점 내에 존재하는 흉고직경 3cm이상의 모든 수목에 대해 수종명, 흉고직경, 수고, 수관기저고, 수목위치,

수관폭, 광노출, 수관손실률, 임목과 줄기, 가지, 잎의 결함 등을 조사한다. 그리고 하층임목에 대한 조사와 표본점에 대한 개황 모식도를 작성하여야 한다.

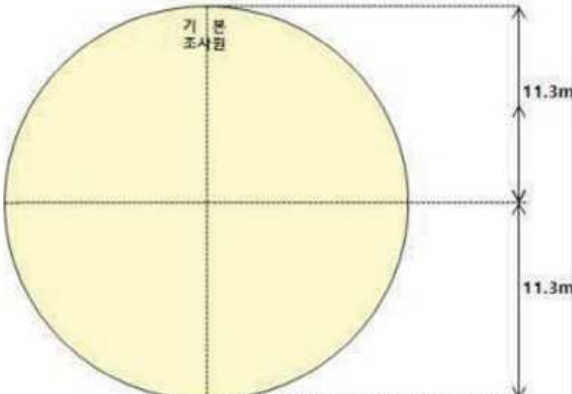
도시숲, 마을숲, 경관숲		가로수
		
표본점 면적	비 고	표본점 길이
0.04 ha	반경 11.3m	40m

그림 3. 표본점의 구조

표 3. 표본점 조사 항목

구분		항목 (49개)
일반·토지 현황 조사표	일반 조사	표본점 번호, 조사일자, 조사기관, 조사원, 표본점 종류, 소재지, GPS좌표, 조사가능 면적, 표본점 관리 현황
	토지현황 조사	표본점 유형, 토지 유형, 피복도
임분현황 조사표	표본점 위치	도로와의 거리
	지향·임향조사	표고, 경사, 방위, 층위별 피도, 층위별 우점종, 층위별 수고 범위
	기타조사	구조물정보, 특이사항
임목 조사표	임목조사	수종명, 평균흉고직경, 본수, 수관기저고, 수고, 위치(거리·방위), 수관폭(동·서·남·북), 수관중심 거리(거리·방위), 광노출, 손실률, 임목결함(줄기, 가지, 잎)
하층임목 조사표	임목조사	수종명, 근원직경, 본수, 평균수고
	군락조사	수종명, 평균수고, 면적, 손실률
표본점 개황 모식도	개황모식도	접근경로, 피복 구분, 벌근목, 관목군락, 구조물 모식도

산림빅데이터를 활용한 산림의 가치전환과 미래 산림비즈니스



전 성 기

한국임업진흥원 빅데이터실장

skjun@kofpi.or.kr

산림정책의 변화와 산림산업의 현재

과거 산림정책은 치산녹화, 보호, 보존, 육성이 주요 방향이지만 최근에는 산림의 공익적인 가치 확대와 함께 산림의 경제적인 가치로 전환하고자 많은 노력을 하고 있다. 국토녹화 50주년을 맞고 있는 산림청은 지난 50년의 성과와 100년의 미래 비전을 모색하고 있으며, 특히 우리가 주목해야 할 주요 전략과제로는 인공지능, 디지털기술을 활용한 산림경영, 재해대응, 복지휴양, 경제 활성화이다. 이는 앞으로 산림의 관리 방법과 정책 실행의 도구가 정보기술 즉, 데이터 중심으로 전환되고 있다는 증거이기도 하다. 따라서 인공지능, 디지털 기술이 어떻게 산림청 정책에 활용되는지 살펴볼 필요가 있으며 최근에는 인공지능, 빅데이터 등 기술을 활용하여 과학적인 의사결정 및 정책의 수립·이행·모니터링·성과측정 등 모든 과정에서 활용하고자 계획을 수립하고 있음을 알아 둘 필요가 있다.

먼저, 산림 디지털 전환의 현황을 살펴보기로 하자. 최근 산림분야에서는 산림재해에 디지털 기술을 활용해 산불, 산사태, 병해충에 대한 해결방안을 찾고자 노력하고 있다. 산림현장의 접근성이 어려움에 따라 인공위성, 드론, 라이다, 인공지능 기술을 활용하여 산림재해의 사전 예방, 효율적인 방제 대응, 발생예측 등에서 활용하고 있으며, 앞으로도 다양한 분야로 확대될 것으로 보고 있다. 다음으로 산림산업 분야의 디지털 전환 수준을 확인해 보자. 산림산업은 국내 총생산의 1% 수준으로, 산림산업의 영세성 및 폐쇄성으로 인해 산림산업은 존폐위기에 몰리고 있다. 대표적인 사례로, 목재산업은 국산목재의 경쟁력 강화를 시도하고 있지만 고부가 가치의 목재소재는 여전히 해외 목재에 의존적인 구조에 머물러 있다.

이에 비해 농축산업 분야는 이미 스마트팜을 통한 생산능력 향상, 생산원가 절감을 이루었고, 국산 농축산물의 경쟁력 강화, 식량 안보 확보 등 중요기간 산업으로 발전해 나가고 있다. 이 과정에서 눈여겨봐야 할 것은 디지털전환을 위해서 전문기술을 보유한 기업을 육성하고, 다양한 분야와 협업하고, 농축산 데이터 생태계를 구축함으로써 농축산업의 기술 혁신과 미래 성장동력을 발굴하고 있는 점이다. 그러나 산림산업은 농축산업 분야처럼 독자적인 산업생태계가 활성화 되지 않았음에 따라 자립적인 산업육성이 어려운 상황이다.

그렇다면 산림산업의 성장동력 발굴과 산업생태계 활성화를 위해서 무엇을 준비해야 하는가? 위의 농축산업처럼 산림산업 또한 타 산업과의 융복합을 통한 산림 산업의 영역 확장, 산림분야 기술기업 육성, 산림의 연계된 비즈니스를 발굴·육성시킴으로써 산림비즈니스의 가치사슬을 만들어야 한다. 앞으로 산림산업의 영역확장, 기술육성, 비즈니스 창출을 위해서 무엇을 준비해야 하고, 어떻게 지원해야 하는지 고민이 필요한 시점이다.

데이터는 미래의 쌀, 산림데이터의 현재와 미래 과제

산림분야에서는 오래 전부터 다양한 사업을 통해 데이터의 생산에 노력을 기울여왔다. 산림조사, 산림통계, 재해재난 등의 목적으로 데이터를 생산함으로써 산림의 디지털화에서는 선도적이라고 할 수 있다. 그러나 산림데이터의 활용체계는 아직 절음마 수준이다. 현재의

산림데이터는 현재와 미래 가치를 고려하지 않는 다크데이터의 수준에 머물러 있는 상태다. 다크데이터는 데이터의 가치가 고려되지 않고 지속적인 수집과 생산에만 집중하여 데이터를 저장하고 유지하는 데에만 몰두하는 특성을 지니는 데이터로, 다크데이터가 쌓이면 쌓일수록 데이터 생산의 의미가 점차 퇴색되는 악순환의 고리에 들어서게 된다. 산림분야에서는 데이터의 개방에 대해서도 여전히 소극적인 편이어서, 앞으로도 데이터 개방에 따른 데이터 품질향상, 데이터 활용 확대 등의 기회가 충분하지 않을 것으로 보인다.

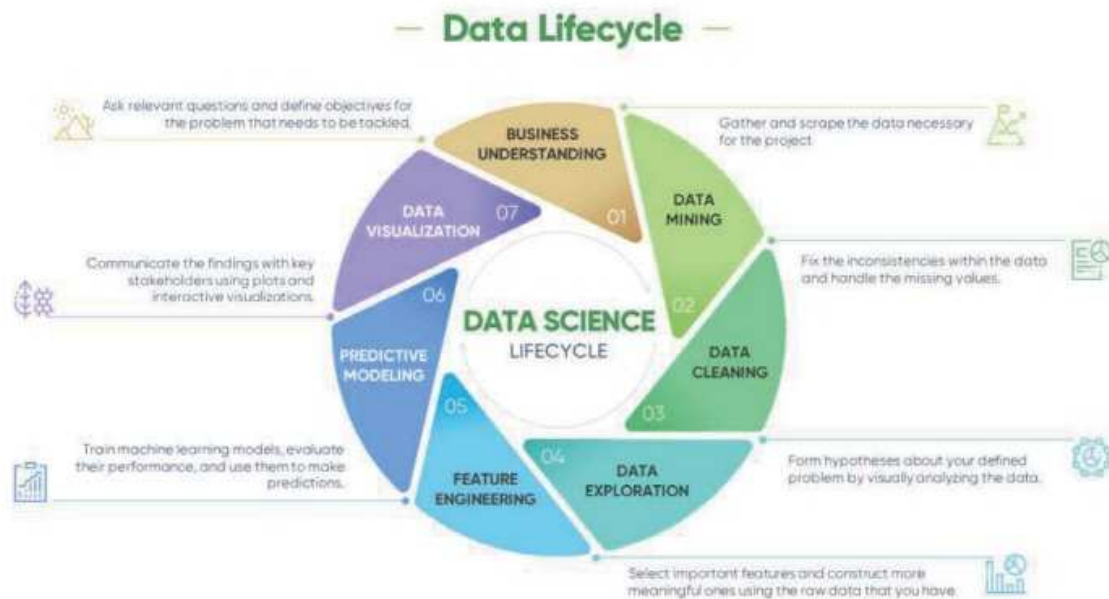


그림 1. 데이터 라이프 사이클

또한 산림 산업의 생태계가 아직 형성되지 않았고, 규모 역시 영세함에 따라 산림산업 자체에서 자생적으로 생산되는 데이터의 개방과 활용은 더욱 더 어려운 상황이다. 특히 산림기업들은 대부분 산림청의 용역사업을 수행함에 따라 산림분야의 민간 데이터 생산과 개방·유통은 사실상 전무한 상태라고 봐야 한다. 이로 인해 데이터 기반의 신규비즈니스 발굴과 산림산업의 생태계 구성에 어려움으로 연결되고, 이는 미래 산림산업의 육성의 어려움으로 귀결될 것이다.

결국 산림분야 데이터의 문제점은 산림데이터 생산전략 부재, 대외환경변화 대응 미흡, 개방과 활용전략 부재, 산림산업 생태계 육성 전략 부재 등이다. 이를 해결하기 위해서는 데이터 생산 시점부터 데이터 생산의 목적성·시류변화에 따른 데이터 생산전략 수립, 데이터 품질개선, 데이터 개방 및 유통지원, 비즈니스 활용지원, 기술기업 육성, 데이터 활용 생태계

구축 등이 필요하다. 이러한 과정을 통해 데이터의 생애주기별로 관리체계를 구축하고 이행한다면 데이터 기반의 미래 산림 비즈니스 발굴과 산림산업의 생태계 선순환이 가능해질 것이다.

산림데이터의 생산·개방과 비즈니스 발굴

최근 산림청은 산림데이터를 활용한 생태계 구축 및 비즈니스 발굴을 위한 여러 가지 시도를 하고 있다. 2019년부터 과학기술정보통신부의 빅데이터플랫폼 및 센터 구축 사업에 선정되어 현재까지 산림빅데이터 플랫폼을 구축·운영하고 있는 것은 이러한 시도 중의 하나이다.



그림 2. 산림빅데이터 플랫폼 구성

산림빅데이터 플랫폼은 산림자원, 치유복지, 재해안전 등 분야별 주요데이터를 통합 관리하고 활용할 수 있는 체계를 구축하고 있다. 특히 산림빅데이터 플랫폼은 민간사업자 주도의 산림데이터, 융합 가능한 타분야 데이터, 데이터 품질 개선, 타 산업과의 연계를 통한 비즈니스 발굴을 추진하고 있다. 또한 산림빅데이터를 활용한 사회문제 해결 및 신규비즈니스 발굴 등 다양한 활동을 진행하고 있다. 특히 산림분야의 사회문제 해결 및 비즈니스 융합에 주목하고 있으며, 산림과 밀접한 관련이 있는 데이터 수집과 생산, 유통으로 산림데이터의 활용도를 높이고, 산림의 타 산업과의 융합비즈니스 체계를 마련함으로써 산림의 부가가치를 높이는 작업을 진행 중이다.



그림 3. 산림빅데이터 플랫폼 주요 전략과제

이와 함께 산림데이터의 생애주기별 관리 체계를 구축하고 운영함으로써 데이터의 생산, 정제, 품질, 분석, 활용, 시각화, 비즈니스 발굴 등 전 단계에서 산림데이터의 활용도를 높이는 활동을 추진하고 있으며, 이렇게 생산된 산림데이터는 품질관리, 데이터 개방, 국가 데이터 지도와 연계 등을 통해 데이터의 활용이 증가된다. 더불어 산림데이터 활용 활성화를 위해 농식품·환경·유통소비·교통플랫폼과 협력 네트워크를 구축하였으며, 한국관광공사, 지방행정연구원, 신한 금융그룹 등의 협업을 통하여 산림을 활용한 사회문제 해결 기반을 강화하고 있다.



그림 4. 산림빅데이터플랫폼 거래소(www.forestdata.kr)

데이터기반 행정 및 산림비즈니스의 확장

최근 정부부처도 많은 데이터를 활용한 정책발굴에 여러 가지 시도를 하고 있다. 특히 정부부처에서는 정책의 계획, 이행, 성과측정 등 전주기적으로 데이터를 활용한 과학적이고, 합리적인 의사결정 체계를 구축하기 위하여 노력하고 있다. 정부부처는 민간 데이터 구매 및 활용을 장려하고, 데이터산업 활성화를 위해 「데이터기반 행정 활성화 법」, 「데이터산업진흥법」 법률을 제정하고 시행하고 있다. 이러한 국가데이터 정책과 산림르네상스 정책의 흐름에 맞춰 산림빅데이터 플랫폼은 데이터기반 행정지원을 위한 데이터 분석 지원 및 우수사례 확산을 추진하고 있으며, 산림데이터 비즈니스 지원을 통해서 산림산업의 영역 확장에 앞장서고 있다. 이와 관련한 데이터기반 행정 활성화 사례와 산림데이터 비즈니스 발굴사례를 살펴보자.

1. 산림경영활동에 따른 온실가스 감축효과 분석

1) 배경 : 최근 탄소중립 및 ESG 활동에 대한 관심이 높아짐에 따라 산림내 탄소흡수량, 저장량에 대한 과학적인 연구에 대한 요구가 커지고 있음.

2) 활용데이터

데이터 명	데이터 내용	구 분
국유림/사유림 경영활동자료	국유림/사유림의 조림, 숲가꾸기 등 실적정보	공간정보
임상도	산림에 분포하는 수종 및 임상정보 주제도	공간정보
산림입지도양도	입지 및 토양환경 정보를 포함하는 주제도	공간정보
산지구분도	산지의 합리적인 보전과 이용을 위한 구분도	공간정보
임도망도	효율적인 산림관리를 위한 임도 정보	공간정보
국가산림자원조사자료	산림자원정보를 표준점 단위로 조사한 정보	텍스트
수종별 탄소전환계수	수종별 탄소흡수 및 저장에 대한 산출 계수정보	텍스트
국산재 생산량	지방청별 임목벌채 허가 및 목재생산 실적	텍스트
수치표고모델(DEM)	국토 전체 해발고에 대한 수치로 표현한 주제도	공간데이터

표 1. 산림 탄소흡수량/저장량 분석을 위한 활용 리스트

3) 분석결과

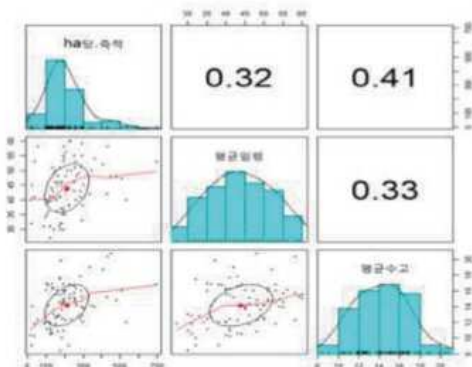
- 탄소저장량은 ha당 축적(0.86), 경급(0.76)과의 강한 양의 연관성 높고, 탄소흡수량은 임령(-0.68)과 강한 음의 연관이 높아 임령이 높을 수록 탄소흡수량이 저하되는 분석결과를 보이고 있다. 그리고 경영활동권고 코드는 임분고(0.72)로 강한 양의 관계를 보이고 있다.

구분	탄소저장량	탄소흡수량	재적	ha당.축적	평균임령	임분고	밀도	경급	대표수종	경영활동 권고코드
탄소저장량	1.00	0.08	0.03	0.86	0.17	0.52	0.41	-0.76	0.02	0.56
탄소흡수량	0.08	1.00	0.00	-0.10	-0.68	0.01	0.17	0.22	-0.17	-0.13
재적	0.03	0.00	1.00	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	-0.02	0.01
ha당.축적	0.86	-0.10	0.05	1.00	0.40	0.54	0.44	0.79	-0.08	0.49
임령	0.17	-0.68	0.01	0.40	1.00	0.38	0.26	0.12	0.22	0.34
임분고	0.52	0.01	0.01	0.54	0.38	1.00	0.56	-0.60	-0.16	0.72
밀도	0.41	0.17	0.01	0.44	0.26	0.56	1.00	0.55	-0.06	0.43
경급	0.76	0.22	0.02	0.79	0.12	0.60	0.55	1.00	-0.19	0.52
대표수종	0.02	-0.17	-0.02	-0.08	0.22	-0.16	-0.06	-0.19	1.00	0.10
경영활동 권고코드	0.56	-0.13	0.01	0.49	0.34	0.72	0.43	0.52	0.10	1.00

표 2. 탄소저장량/흡수량 상관분석 결과

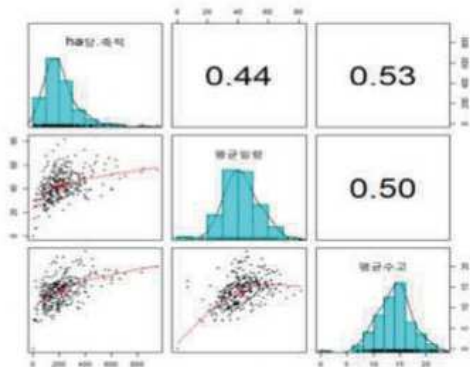
- 특히 국유림의 경우 경영림은 산림경영활동을 통해 임령, 평균수고 등 각 종 지표들이 균형이 잡힘에 따라 탄소흡수량·저장량 등이 안정적으로 관리 되고 있다.

ha당.축적 회귀식(국유림,경영림)



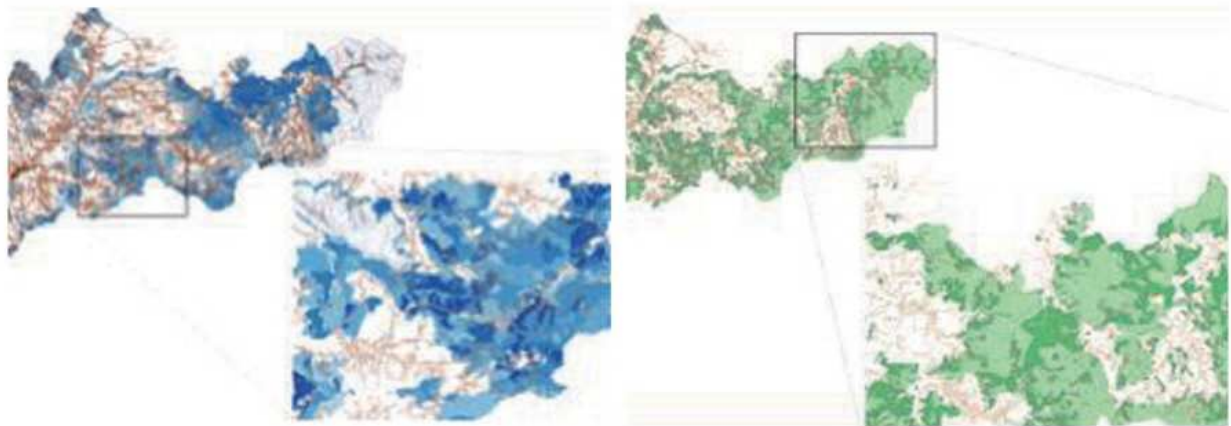
ha당.축적	Estimate	Standardized	T	P	F	Adjusted R2
(Intercept)	-140.538	76.838	-1.829	0.07095		
평균수고	3.019	1.482	2.037	0.04484	10.99	0.189
평균임령	15.489	4.670	3.317	0.00135		

ha당.축적 회귀식(국유림,비경영림)



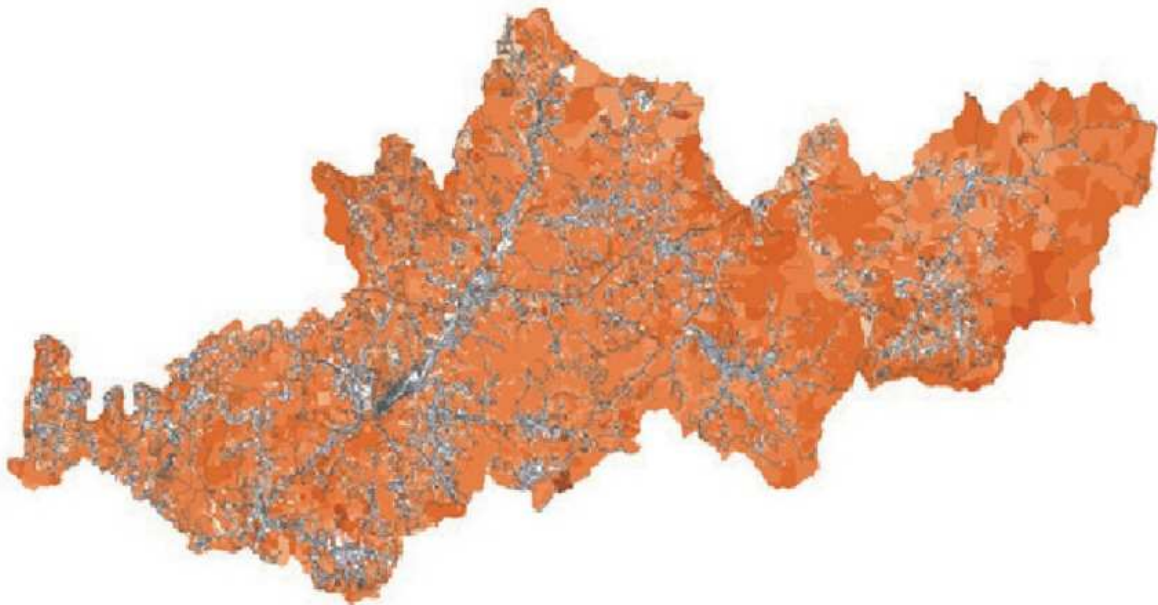
ha당.축적	Estimate	Standardized	T	P	F	Adjusted R2
(Intercept)	-136.001	29.3870	-4.626	40e-06		
평균수고	2.7311	0.6185	4.416	1.38e-05	76.17	0.3217
평균임령	17.0265	2.1755	7.827	7.67e-14		

표 3. 산림경영활동의 회귀분석 결과



[산림탄소 흡수량]

[산림탄소 저장량]



[산림경영 활동 권고 지도]

그림 5. 산림탄소 흡수량/저장량/경영활동 권고 주제도

- 특히 임도인근에서는 산림경영이 수월하게 됨에 따라 임목축적, 평균임령, 평균수고, 탄소흡수량 등이 안정적으로 관리되고 있다.
- 사유림의 경우 벌채량 등이 집계되지 않음에 따라 정확한 탄소흡수량, 저장량의 산출이 어려워 앞으로 정확한 산림탄소MRV 체계 구축시 사유림의 경영활동 데이터 (벌채량, 수종, 시기)를 시계열적으로 축적해야 할 필요가 있다.

2. 산림데이터를 활용한 지역소멸(산촌)의 활성화도 분석

1) 배경 : 최근 지역소멸 해결을 위해 다양한 산촌지원 사업을 추진하고 있으나, 지역에 특화되지 않은 지원으로 따른 산촌의 활성화에 기여하지 못함

2) 분석방향

- 산촌기반 데이터와 유동인구, 카드소비(시계열) 데이터를 융합 분석
- 산촌 지역의 기능적 특성으로 '삶터', '일터', '배움터', '놀이터'로 구분
- 산촌의 활성화 지수를 '활성화', '양호', '비활성화'로 구분하여 경제현황 등을 판단

3) 분석활용 데이터

구분	데이터 항목	비고
산촌마을 현황	산촌리스트(산림청, 임진원), 생태마을 리스트, 우수마을 리스트, 인구감소지역정보, 인구/주택 데이터	산촌분석 기준정의
교통/경제 현황	유동인구데이터, 카드결제데이터, 버스노선, 사회적 경제조직, 유통시설 및 가공시설	인구이동 경제 활성화 정도
사회SOC 현황	노인복지시설, 병원리스트, CCTV, 산림복지시설, 어린이집, 교육시설정보, 문화예술회관, 전문교육기관	사회복지안전망 활성화 및 접근성
관광 현황	동서트레일 트레킹정보, 숙박업소 주소록, 무장애 나눔길, 100대 명산, 100대명산 관광지, 명산음식점, 수목원휴양림, 공연및전시장, 투어정보, 낚시, 워터파크, 익스트림상품, 체험, 축제/캠핑정보, 취미/여가정보, 테마파크정보	관광인프라 정보 및 접근성

표 4. 산촌 지역의 활성화도 분석을 위한 데이터 분석 리스트

4) 분석작업

- 각 산촌별 환경차이가 많이 발생함에 따라 발생할 수 있는 편향적(Bias) 데이터를 정규분포로 변환 위하여 Log 변환
- 정규분포 데이터를 3개의 그룹으로 나눠 Scoring하고, 활성, 양호, 비활성로 구분
- 각 지표별 (삶터, 일터, 놀이터, 배움터) 산출된 지수를 통합하고, 지역별(시군구, 읍면동) 현황 분석

5) 분석결과

- 교통의 접근성에 따른 경기·강원지역의 경제활동 인구가 높아 대체적으로 산촌활성화 지수가 높은 편이나, 일부 전남권에서는 수도권의 접근성이 낮지만, 일터 및 배움터 지수가 높은 곳으로 분석되고 있다. 해당 지역 내의 산업시설지 및 교육인프라가

정책적으로 잘 갖춰져 산촌활성화 정도가 높은 것으로 결과가 나오고 있다.

- 지리산국립공원 등 국립공원 인근의 시군에서는 관광인구 유입으로 인해 놀이터 지수가 높을 것으로 예상되었으나, 대체적으로 관광으로 유입되는 경향은 높지만, 카드사용 등 경제 활성화에는 크게 도움이 되지 못하였다. 이는 국립공원 관할지역 외 숙박시설, 음식점 등에서 소비하고 국립공원 관할 지역에서는 소비활동 유도되지 않는 문제점을 보이고 있다. 이는 국립공원 관할 지역에서 소비에 필요한 관광 인프라 및 관광체험상품 확충이 시급하다고 판단된다.

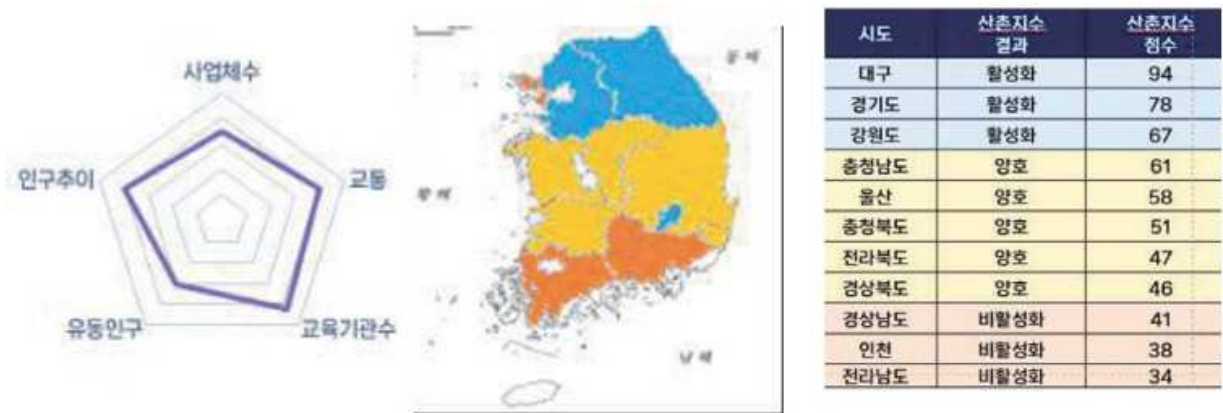


그림 6. 산촌활성화지도 분석 결과

6) 데이터 분석활용

- 분석된 산촌활성화 지도를 기반으로 관광인구 이동형태 및 소비활동 지표를 활용하여 산림청 정선군 테마임도 설치 사업에서 임도의 이용하는 인구 추계 및 접근성에 대한 기반 기초데이터 활용 예정

7) 개선방향 (23년 계획)

- (관광공사 협업) 관광 측면의 산촌활성화 분석을 위해 산림데이터와 산촌 관광인구의 이동패턴과 소비활동 분석을 통해 관광 활성화 지수 산출
- (교통연구원 협업) 산촌인근 사회SOC 접근성과 이동의 용이성을 분석함으로써 정주인구 및 관광인구의 유입에 필요한 사회SOC 확충 방안 도출
- (교통연구원 협업) 통신사 데이터를 이용하여 산촌 정주인구에 대한 출퇴근 경로 및 트래픽 분석을 통한 실제 정주인구 현황 및 경제활동 활성화의 지표 산출
- (지방행정연구원 협업) 향후 산촌지역의 활성화 현황 분석 결과를 활용하여 지역소멸 기금의 집행에 필요한 정책 발굴 및 발전 방향 도출지원

기업에게 단순 산림탄소 CREIDT의 활용뿐만 아니라, RE100·사회공헌·거버너스 분야 전문기업 등과 협력하여 산림탄소 CREDIT 제도를 활성화 시킬 수 있는 다양한 솔루션을 제시할 수 있어야 한다.

이와 같이 산림과 유사성이 높은 산업분야와의 연계여부를 확인하고 이에 필요한 데이터의 생산/수집/가공 하는 비즈니스의 기반을 마련하고, 산림데이터 기반으로 ESG경영, 디지털 전환 등의 부가서비스를 개발한다면 산림분야의 비즈니스 전환 및 영역 확장은 매우 용이해진다. 물론, 산림산업의 정의에서 일부 범주를 넘어갈 수밖에 없지만, 산림데이터를 활용하여 산림산업의 범주를 확장시키고 융합시켜야 산림산업의 고부가가치를 연계할 수 있을 것이다.



그림 9. 산림데이터의 Mash-up 전략

한편 산림빅데이터 플랫폼은 타 산업과의 융복합 비즈니스를 발굴하기 위해 산림데이터의 확장성, 범용성, 활용성을 고려하여 생산·통합 작업을 이행하고 있다. 또한 데이터를 기반으로 다양한 산림데이터 서비스를 제공하고, 이를 기반으로 융복합 비즈니스를 구축하기 위해 다양한 분야와 협업 체계를 마련하고 있다. 예를 들어 신규 비즈니스 개발시 산림데이터 외에도 환경·기상·농수산·의료·관광·유통소비 분야의 데이터 요구가 발생할 경우 타 분야기업과도 협업·협력함으로써 산림데이터의 활용 기회를 확장시킬 수 있다.

다양한 시도와 여러 노력 끝에 산림빅데이터플랫폼의 Mash-up 전략에서 일부 가시적인 성과가 나오고 있다. 가령, 산림자원 분야는 산림자원을 활용한 탄소중립, ESG경영, 신소재 개발 기업들과 꾸준히 협력하고 있으며, 국내 금융사에서는 산림자원을 활용한 비금융 서비스 개발을 진행 중이다. 산림복지 분야는 산림과학원, 카카오VX, 건강보험공단과 협업하여 산림의료 효과성을 검증하고 있고 향후 산림대체의학 제도 마련을 목표로 하고 있다. 산림재해 분야는 산림 안전사고를 보장하는 보험 상품에 필요한 데이터를 제공 논의 중이며, 현재에도 다양한 기업과 협업을 통한 산림비즈니스 확장을 추가적으로 논의하고 있다.

최근 기후변화, 디지털전환, 융복합 비즈니스의 관심과 수요가 많아지는 시점이다. 바로 지금 이시점이 산림의 가치를 높일 수 있는 골든 타임이며, 산림산업 영역의 확장으로 산림의 가치를 인정받아야 하는 기회이다. 산림의 영역을 정의하고 산림가치를 높이는 일을 하는 것은 물론, 타 분야의 문제는 무엇인지 애로사항은 무엇인지 이해하고 산림을 활용한 해결책을 제시할 수 있어야 한다. 산림빅데이터 플랫폼은 산림의 가치를 높이는 동시에 타 분야와의 협력, 기술기업육성, 산림비즈니스 육성, 산림비즈니스 생태계를 활성화하고자 많은 노력을 하고 있으며, 앞으로 개방적·융합적·창의적·실험적 사고를 통하여 산림산업의 미래가치를 증명할 수 있는 실험실이 되고자 한다. 향후 미래 100년 산림의 가치를 높이고, 산림산업 중흥을 위해 산림관계자들의 많은 관심과 협업을 기대한다.

소나무류 피목가지마름병의 발생, 병원균의 내생균적 특성



농학박사 이 승 규
(사)한국수목보호협회 상임이사
lskhib@naver.com

1. 들어가며

소나무류의 가지에 발생하는 피목가지마름병은 수목병리학 전공자 또는 나무의사 등 현장 전문가들에게는 매우 익숙한 병해이다. 그 이유는 도시의 조경용 소나무에서 봄이 되면 가지가 죽는 현상이 매우 흔하게 발생하기 때문이다. 재미있는 것은 수목병리학 교과서 또는 각종 병해 도감에 소개되어 있는 이 병의 조치(방제) 요령을 보면, 나무의 병이지만 살균제 살포는 필요하지 않고 나무를 평소에 튼튼하게 생육할 수 있도록 관리하여야 한다고 쓰여 있다는 점일 것이다. 다시 말해 병의 방제에 농약사용은 필요하지 않다는 것이며, 병에 대한 방제 조치로는 매우 이례적인데 그 이유가 무엇일까?

2. 피목가지마름병이란?

피목가지마름병의 병원체는 자낭균류에 속하는 *Cenangium ferruginosum*(그림 1~3)이며, 이 균은 국내외 각종 교과서와 병해 도감에 “환경적 유인에 의하여 수세가 약화된 소나무류의 가지와 줄기에 발생하는 악한 병원성을 지닌 가지마름성 병원균”으로 기술되어 있다. 이 병해는 도시 조경수에서는 배수불량, 건조 및 과밀식재 등 열악한 생육 환경에서 자주 발생하는 흔한 병해이며, 간혹 산림에서도 예년값(30년 평균값) 보다 큰 기상이변 수준의 고온/저온 및 가뭄 등에 의해 생육환경이 급격히 악화되면서 ha 단위의 피해가 발생하기도 한다(그림 1~7).

이 병해에 대한 우리나라의 대표적인 교과서인 수목병리학(2021, 향문사)과 삼고 삼림보호학(2021, 향문사)에 기술된 이 병의 발생 기작을 그대로 옮기면, “일반적으로 피해가 경미하지만 해충 피해, 이상 건조, 영양 불량 등에 의하여 수세가 약해지면 넓은 면적에 발생하기도 한다”, “계속적으로 발생하는 임지는 환경적 장애를 지속적으로 받고 있다는 증거이며, 특히 따듯한 가을이 지나고 겨울철 기온이 매우 낮을 때 피해가 심하다”, “1988년 가을과 겨울의 건조현상 이후에 남부지역에서는 소나무와 곰솔에서, 중부지역에서는 잣나무에서 큰 피해가 발생하였다”, “일반적으로 햇볕이 잘 들지 않아 쇠약하거나 뿌리의 발육이 부진한 나무에서 일부 가지가 죽는다”, “때때로 이상적인 가뭄이나 동해 등 환경 요인에 의하여 수세가 약해진 나무의 가지 및 줄기로 병원균이 이동하여 집단 발생하기도 한다”이다. 그리고 방제법(조치 사항)에 대한 위 두 교과서의 내용을 옮기면, “남향으로 뿌리가 노출된 소나무, 곰솔임지에서는 관목을 무육하여 토양건조를 방지하면 피해를 줄일 수 있다”, “나무가 건전하게 자랄 수 있도록 철저히 육림작업을 하면 피해를 줄일 수 있다”, 그리고 “도시 가로수, 공원 등지의 조경용 소나무는 배수, 비배관리를 철저히 하여 수세를 강건하게 유지하고, 병든 가지는 6월까지 제거하여 태운다”등이다. 수목병해 관련 각종 교과서와 병해 도감의 내용을 있는 그대로 장황하게 소개한 이유는 기술 내용 모두가 이 병해의 발생과 관련된 환경적 유인(誘因)이 매우 다양하고, 평소에 수세가 약해지지 않도록, 수목의 생리활성이 잘 유지되어 건강하도록 다양한 부분에서 수목관리를 하여야 하며, 그래야 이 병의 발생을 줄이거나 차단할 수 있기 때문이다. 피목가지마름병은 소나무(림)의 생육환경이 나빠지면 수세 또한 매우 저하되어 비록 병원체의 병원성은 약하지만 소나무류 가지가 죽는 병으로 요약할 수 있다. 그런데 왜 살균제 살포가 필요하지 않을까라는 의문은 남는다.

이 의문에 대한 답은 외국에서의 연구결과들을 종합하여 함축적으로 기술한 Cornell대학의 수목병해도감(Sinclair와 Lion. Disease of trees and shrubs, 2nd ed., 210p. 2005)에서 찾아 볼 수 있는데, 이 병해의 발생 기작(과정)에 대하여 “The early stage of infection have not been studied, but it seems likely that infections begin in needles and possibly in minor bark wound (초기 감염에 대한연구 결과는 별로 없지만, 감염은 잎과 작은 수피 상처에서 시작하며, 나무의 방어체계는 환경적 피해 또는 해충들에 의해 약해지거나 타파되지 않으면 감염은 억제되는 것으로 보인다.)”, “This scheme reconciles the endophytic habit of the fungus with the sporadic appearance of disease symptoms(이러한 병 발생 체계에서 이 곰팡이의 내생균적 특성은 산발적 병 발생(출현)과 잘 일치한다.), 그리고 “Extensiveinfection of green needles is indicated by isolation data. *Cenangiumferruginosum*was the most frequently isolated needle endophyte(64% of all isolates) in *Pinus sylvestris* in Finland. (핀란드에서 구주적송의 초록색 침엽에서 가장 높은 빈도로 분리되는 내생균류 중 64%는 *Cenangiumferruginosum* 이었다).”라고 기술하고 있으며, 이는 피목가지마름병의 발생특성을 잘 설명하고 있으며, 우리나라 교과서 및 병해도감에는 없는 중요한 내용이 아닐 수 없다.

국내외 문헌의 기술 내용을 종합하면, 가. 피목가지마름병균(*Cenangium ferruginosum*)은 병원성이 약하므로 건강한 나무에서 직접적으로 병을 일으키지 못하며, 나. 병원체는 내생균류(endophytic fungi)의 특성을 갖고 있으므로 나무의 수세가 강할 때에는 나무에 피해를 줄 수 없으나 수세가 약해지면, 즉 나무의 방어능력이 저하되면서 침엽에서부터 병원균의 균사가 자라나와 소나무류의 가지를 죽이며, 다. 그러므로 나무가 건강하다면 병이 발생하여 가지가 고사하는 일은 없으므로 살균제 처리에 의한 병원체에 대한 직접적 방제보다는 소나무의 생육환경을 개선하여 나무를 튼튼하게 키우는 것이 이 병에 대한 가장 중요한 방제조치의 핵심이 되는 것이다.



그림 1. 피목가지마름병균(*Cenangium ferruginosum*)의 자실체(자낭반)
왼쪽 : 수피 아래의 미성숙 자낭반 형성 원기, 중앙 : 건조 상태의 자낭반, 오른쪽 : 습기를 머금어 부풀 자낭반



그림 2. 수피를 뚫고 나온 피목가지마름병균
(*Cenangium ferruginosum*)의 자낭반



그림 3. 피목가지마름병균
(*Cenangium ferruginosum*)의 자낭, 자낭포자



그림 4. 아파트 단지 내 소나무 피해모습(서울)



그림 5. 곰솔 피해모습(2009, 충무)



그림 6. 아파트 단지 내 반송 피해모습(서울)



그림 7. 반송 피해모습(강원도)

3. 내생균(endophytes)이란?

여기서 피목가지마름병의 발생과정을 이해하기 위한 두가지 중요한 개념에 대한 이해가 필요하다.

그 첫 번째는 내생미생물(endophytes)이며, 이들 미생물은 식물체 내부에 존재하면서 식물에는 해를 주지 않으며, 거의 모든 식물은 내생미생물과 相利共生(mutualistic symbiosis)하고 있다고 알려져 있다. 내생미생물과 기주식물과의 공생관계는 다음 두 가지로 요약할 수 있는데, (가) 내생미생물은 기주식물체 내에서 알칼로이드 물질을 포함한 다양한 생리활성물질을 생산하여 침입하는 병원성 미생물에 대한 기주식물체의 저항성(길항성)을 높이는 것으로 알려져 있다. 예를 들면, 초본류 세포 내에는 내생미생물이 생산한 알칼로이드 물질이 있고, 역한 냄새를 풍겨 사슴, 소, 곤충 등이 먹이(풀)(기주식물)을 기피하는 효과가 있다(J.F. White 등, 2019). (나) 식물체는 내생미생물에 영양분과 서식지를 제공하는데 특히 균류는 식물체의 세포 내로 침입하지않고 세포 사이의 공간이나 세포벽 내에서 소량의 양분만을 이용하면 살아가며, 거의 모든 식물체에 존재한다고 알려져 있다.

4. 낙엽의 분해 과정 : 미생물 천이와 병 발생

두 번째는 유기물인 소나무류 침엽이 나무에서 떨어져 분해될 때에는 다양한 균류가 낙엽분해균으로서 관여하고 있으며 산림생태계 내에서 탄소순환의 중요한 과정으로 알려져 있다. 각각의 분해 단계에서 출현하는 균류의 순서(천이, succession)는 자연의 질서이다. 이들 소나무류 낙엽에 발생하는 분해 균류의 출현순서는 많은 연구자들에 의하여 연구되고 있는데 출현하는 균류의 종류는 동양 및 서양의 소나무류 간에 매우 비슷하다. 병원균이 아닌 낙엽분해균으로서의 *Cenagium ferruginosum*의 존재는 산림생태계 내 낙엽(유기물) 분해와 탄소순환의 과정으로 많이 연구되고 있다. 여기서 병원성 균류가 아닌 산림생태학에서 내생균이면서, litter분해균으로 잘 알려져 있는 *Cenagium ferruginosum*의 침엽 내 존재양상과 함께 이 균에 의한 피목가지마름병의 발생특성을 내생균의 생존전략과 관련지어 살펴보고자 한다.

많은 연구자들은 소나무류를 포함한 침엽수의 침엽 내에는 다양한 균류가 내생균으로서 서식하고 있음을 보고하고 있다. *Pinus sylvestris*(구주적송 : 유럽의 대표적 소나무 수종)의 건전한 녹색 침엽과 나무에 붙어는 있으나 어느 정도 녹색이 퇴색한 침엽, 그리고 지면에

떨어져 있는 갈색의 침엽 등에서 높은 빈도로 분리되는 균류로는 *Anthostomella formosa*, *C. ferruginosum*, *Cyclanthes minus*, *Lophodermium pinastri*, *L. seditiosum* 등이 있으며, 침엽이 노령화될수록 *C. ferruginosum*, *L. pinastri*, *L. seditiosum* 등 병원성 균류의 검출빈도도 증가하였다(Kowalski, 1993). Hata 등(1998)은 일본의 적송(*P. densiflora*)의 건전한 침엽에서 분리되는 내생균류로는 *Lophodermium* sp., *Phialocephala*, *C. ferruginosum* 등이 높은 빈도로 검출되었다고 보고하였다. 연구결과를 요약하면, (1) 나무에서 떨어져 녹색이 남아 있는 침엽과 분해되지 않은 갈색 침엽에는 1차 낙엽분해균으로 *Lophodermium*, *Cenangium*, *Aureobasidium*, *Cladosporium* 등이, (2) 나무에서 건전한 상태로 말라 죽은 잎에는 *Aureobasidium*, 미동정 white sterile fungi 등이, (3) 분해가 진행되어 검은 갈색을 띤 낙엽에는 낙엽성 균류인 *Marasmius*가, (4) H층의 검은 갈색을 띤 낙엽에는 토양성균류인 *Mortierella*, *Penicillium*, *Trichoderma* 등이 주로 분리된다고 보고되어 있다(표 1). 여기서 중요한 것은 조사위치가 지리적으로 매우 떨어져 있는 유럽의 구주적송과 아시아의 곰솔, 두 수종의 건전한 침엽에서 내생균으로 분리되는 균류가 매우 유사하다는 점이다(그림 8, 표 1). 일본과 한국의 적송의 침엽 분해과정에서 녹색이 남아 있는 침엽과 갈색을 띤 침엽에서는 1차 부생균으로 알려져 있는 *Aureobasidium* 및 *Cladosporium*과 함께 병원균인 *Lophodermium*와 *C. ferruginosum*이 높은 빈도로 검출되었다고 보고되어 있다(Soma and Saito, 1979; Tokumasu, 1998; Hata 등, 1998; 이 등, 2014). 이러한 동·서양의 연구결과로 볼 때, 침엽의 낙엽 초기단계에 검출되는 균류는 이미 침엽내부에 존재하여 있었던 균들이며, 나무에 붙어 녹색을 띠면서 건전하게 보이는 침엽과 가을이 되어 정상적으로 떨어지는 낙엽, 또는 여러 이유로 인하여 지면에 떨어진 직후의 아직 분해되지 않은 갈색 침엽 등에서 비병원성 균류보다 병원성 균류가 높은 빈도로 분리(출현)되는 이유는 이 균류가 내생균으로 이미 식물체 내부에 존재하면서 기주의 저항성 약해지면 빠르게 기질(먹이)를 선점할 수 있기 때문으로 요약할 수 있다. 비병원성으로 알려져 있는 *Alternaria alternata*을 포함한 다수의 균이 아주 낮은 빈도이기는 하지만 검출되는 이유로는 식물내부의 방어시스템을 타파하고 침엽 내부로 침입이 매우 어렵기 때문으로 해석된다(Hata 등, 1998).

다시 말해서 몇몇 병원균류는 수세가 강건하면 침엽내부로 침입 후 활동하지 않는 상태를 유지하고 있다가 (어떠한 이유로) 나무(또는 침엽)가 노화, 쇠약해지면 급속히 활동을 시작하면서 고사된 침엽과 어린 가지(또는 줄기)에 자실체를 형성하는 기본적인 생활사 패턴을 갖는 것으로 요약된다(그림 8). 즉 내생균류는 기주식물(수목 포함)의 건강성

상태에 따라 낙엽분해균 또는 (병원성 약한) 병원균으로 이행하는 존재이며, 내생균이라는 상태는 이들 균류의 생활사 전략과 맞물려 있다는 것을 의미한다. 내생균의 입장에서 보면 단기적으로는 기질이용 효율이 기생균류보다 떨어질 수 있으나 보다 장기적이고 안정적이며, 그리고 빠르게 영양 공급원(먹이) 확보라는 전략적인 면에서는 보다 매우 유리할 것이다. 즉 기주식물에도 이익을 주는 상리공생의 특성을 갖는 내생균류는 기주를 살려 두면서(기주의 생존 및 번영을 약속하면서) 자신이 이용할 수 있는 먹이(영양원)를 확보하고 아울러 자신은 안전하게 증식한다는 세련된 전략을 갖게 되었으며, 이것은 생존 전략상 자연스러운 선택(진화)이 아닐 수 없다.

표 1. 1987~990에 조사된 구주적송(*Pinus sylvestris*)의 무증상 건전 침엽에서 검출된 곰팡이 종류 별 침엽의 비율 (T. Kowalski. 1993. J. Phytopathology 139 : 129-145)

	곰팡이 감염 침엽 수(%)			
	Chrzanpw	Herby	Swierklaniec	3개 지역 평균
감염 침엽의 수(비율)	449	448	449	1346 (88.1%)
조사침엽의 수	560	560	560	1680
분리된 곰팡이 종				
<i>Alternaria alternata</i>	1.4	2.0	1.4	1.6
<i>Anthostomella formosa</i>	20.5	32.8	30.7	28.0
<i>A. pedemontana</i>	12.5	2.3	1.8	5.5
<i>Arthrrium phaeospermum</i>	0.2	0.7	0.5	0.5
<i>Aureobasidium pullulans</i>	0.4	1.8	1.2	1.1
<i>Cenangium ferruginosum</i>	16.8	15.0	15.2	15.7
<i>Chaetomium indicum</i>	0.9	1.1	0.4	0.8
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	1.4	0.5	2.3	1.4
<i>Coniochaeta velutina</i>	0.0	0.2	2.0	0.7
<i>Coniothyrium fuckelii</i>	2.1	0.4	3.2	1.3
<i>Cyclaneus maminus</i>	32.7	17.7	11.2	20.5
<i>Lophodermium pinastri</i>	6.4	18.8	14.5	13.0
<i>L. seditiosum</i>	30.9	22.5	8.6	20.6
<i>Hypoxylon fragiforme</i>	0	0.7	2.1	1.0
<i>Lecytophora hoffmannii</i>	0.5	1.4	0.2	0.7

	곰팡이 감염 침엽 수(%)			
	Chrzanpw	Herby	Swierklaniec	3개 지역 평균
<i>Microsphaeropsis olivacea</i>	3.2	0.4	2.5	2.0
<i>Mollisia cinerea</i>	0.7	0.2	0.5	0.5
<i>Nodulisporium sp.1</i>	0.5	0.0	1.2	0.6
<i>Rosellinia sp.</i>	0.2	1.1	0.5	0.6
<i>Sclerophoma pythiophila</i>	5.5	8.2	5.4	6.4
<i>Sirodotbis sp.</i>	0.0	0.0	1.8	0.6
<i>Sordaria fimicola</i>	0.9	0.9	0.7	0.8
<i>Sporormiella intermedia</i>	3.4	0.9	1.4	1.9
<i>Stigmina sp.</i>	0.2	4.3	2.2	2.2
<i>Verticicladium tritidum</i>	1.1	2.5	5.4	3.0
<i>Virgariella sp.</i>	0.4	3.0	0.4	1.2
Fungi unidentifieds (21 species)	2.0	2.3	3.6	2.6
Other fungi	5.7	5.0	6.4	5.7

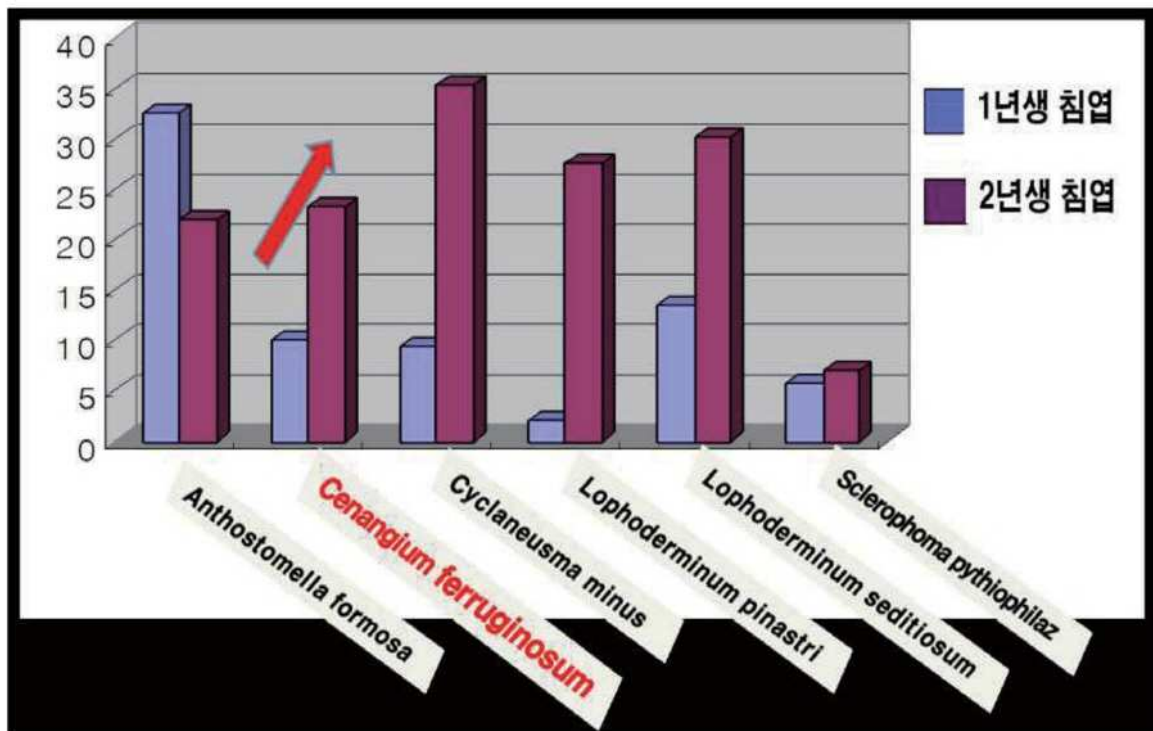


그림 8. 구주적송(*Pinus sylvestris*)의 건전 침엽의 나이별 주요 곰팡이의 발생 빈도
(T. Kowalski. 1993)

5. 피목가지마름병의 국내외 발생 사례와 발생 원인

도시 조경수로 식재되어 있는 소나무류에서 피목가지마름병은 매우 흔하게 발생하지만 대면적 산림피해지에서 피목가지마름병이 대발생한 경우도 국내외에서 보고 되고 있다. 우리나라의 경우, 2002년 서울 아차산 암반지역의 소나무림(천연림) 피해, 2009년 무주 등 한반도 중북부 내륙의 잣나무와 소나무 임지피해 (산림청 공식통계 97,137본 고사, 그림 9의 왼쪽), 2009년 남부지역 곱솔림을 중심으로 발생한 대규모 고사(산림청 공식통계 100만 7천그루 고사, 그림 9의 오른쪽) 등이 산림에서 보고된 바 있다. 이들 소나무류 대면적 피해의 발생 원인에 대한 산림청의 공식발표는 “겨울철 이상고온 및 가뭄으로 인한 수분스트레스”이었다. 참고로 우리나라에 생육하고 있는 대부분의 소나무림은 단위 면적당(1ha) 1,000~2,000본이 생육하고 있으며, ha당 500~1,000본인 적정한 생육본수에 비해 2배 정도 밀생되어 있다고 알려져 있다. 결론적으로 적정생육공간의 부족으로 인한 영양분과 수분 부족이 대면적 산림피해의 주 원인인 것이다. 수목병리학을 전공한 필자는 이 발표 내용을 부정하지 않으며, 겨울철 고온현상이 소나무 집단고사의 가장 기본적인 원인에는 틀림이 없으나 병든 나무와 가지에서 피목가지마름병이 대량으로 검출되기 때문에 수세가 약해진 소나무류(림) 피해에 피목가지마름병이 일정 부분 관여하고 있음을 설명하고자 한다.

우리나라 2007년 중북부지역의 잣나무 및 2009년 남부지역 곱솔 및 소나무의 집단고사(그림 9)가 발생할 때 어떤 일이 있었을까? 2007년과 2009년의 대면적 고사 피해 전년도와 강수량과 피해 당년의 월별 온도를 비교하면, 이 두 해의 대면적 산림피해는 모두 발생 전년도 가을에 심하지는 않지만 가뭄이 발생하였고, 피해 당년의 2월 평균 기온이 예년(30년 평균값)보다 약 4.9℃가 높았다(그림 10, 11). 산림에서 가을 가뭄이 나무의 대면적 집단고사에 이르는 주된 원인이 되지는 않을 수 있겠다. 그러나 2009년 남부지역 피해 중심지인 밀양의 경우 2월 평균기온이 예년값 보다 약 4.9℃ 높았으며, 이는 가을 강수량 부족과는 다른 의미를 갖고 있다고 생각한다. 2월 대기 온도가 갑자기 높아지면 이 온도에서 토양은 아직 얼어 있으므로 지하부로부터 수분이 올라오지 않은 상태(수분 부족)에서 갑자기 높아진 대기온도에 적응하기 위해 호흡이 급격하게 증가하며, 아울러 에너지 소비도 급증하게 된다. 이때 지하부와 지상부의 생리적 불균형에 의한 스트레스가 발생하며, 따라서 병원체 침입에 대한 소나무의 저항성이 급격히 떨어지게 된다. 비록 병원성이 약한 피목가지마름병균(*Cenangium ferruginosum*)이지만 내생균인 병원균이 침입에 잠복하여 있다가 자라나와 쇠약해진(= 방어능력이 매우 떨어져 있는) 가지의 형성층을 일주하게 되면

수관전체에서 또는 국부적으로 가지고사가 발생하게 된다. 만약 환경 조건이 개선되어 수세가 회복되지 않으면 줄기 아랫부분의 형성층까지 죽으면서 나무 전체가 죽게 된다.

피목가지마름병이 발생한 소나무의 병징 모습을 보면 소나무 전체에서 죽는 가지의 위치가 수관 전체에서 산발적으로 보이기도 한다. 즉 수관전체에서 여기저기 어린가지의 고사, 줄기 상부 가지만 고사, 또는 줄기 중간 부분의 가지만 고사 등 다양하게 나타나는 이유는 병원균의 내생균적 특성으로 설명이 가능하다. 다시 말해 내생균으로 이미 전전 침엽 내에 잠복해 있던 병원균의 군사가 침엽에서 자라나와 도달한 줄기, 굵은 가지, 그리고 작은 가지의 어디가 되어도 그 부분의 절간부분 형성층이 죽으면 그 윗부분은 자연스럽게 죽게 된다. 수관 전체에서 가지가 죽는 위치(모습)가 매우 산발적으로 보일 수 있다(그림 12, 13).



그림 9. 잣나무(2007, 충주, 왼쪽)와 소나무(2009, 밀양)의 집단고사 모습

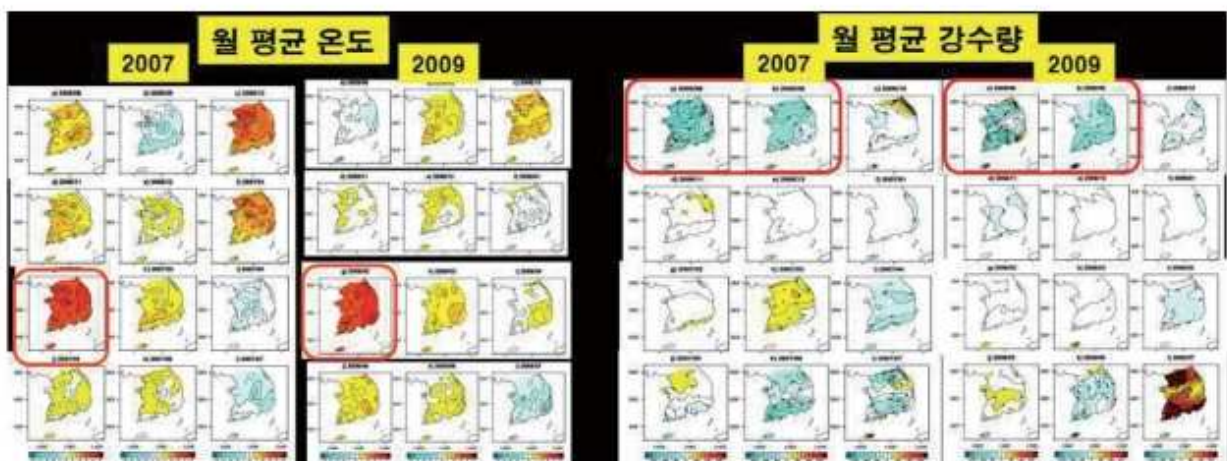
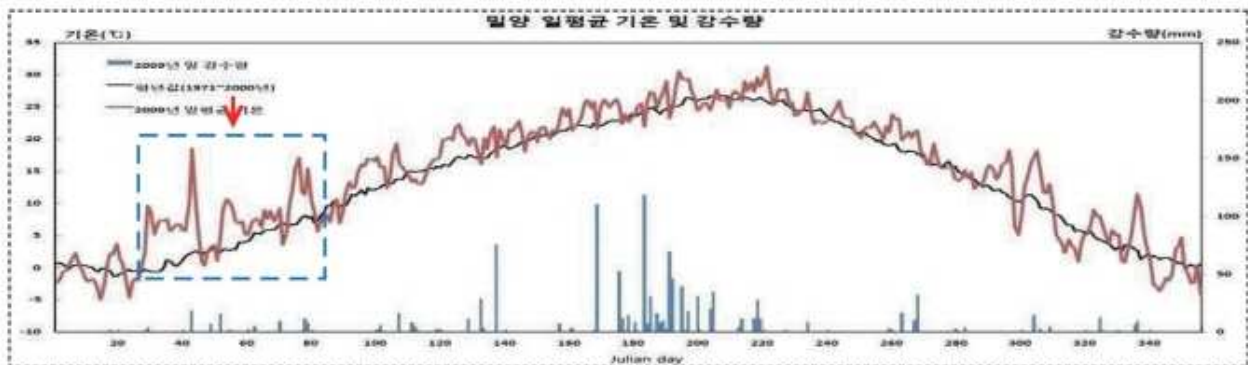


그림 10. 2007년 잣나무 집단고사 및 2009년 곰솔(소나무 포함) 집단고사가 발생하였을 때 기상자료

※ 주) 푸른색 : 붉은색 계열은 예년(30년 평균값) 대비 온도가 높거나 강수량이 많음을, 푸른색은 예년보다 적거나 부족함을 표시



Temperature (°C)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1971-2000(A)	-0.2	1.8	6.8	12.9	17.5	21.6	25.2	25.6	20.8	14.6	8.0	1.8
2009(B)	0.0	6.7	8.8	14.4	19.8	23.3	26.0	26.5	22.2	15.7	8.5	1.9
B - A	0.2	4.9	2.0	1.5	2.3	1.7	0.8	0.9	1.4	1.1	0.5	0.1

그림 11. 곰솔(소나무 포함) 집단고사가 발생한 2009년 기상자료와 예년값(30년 평균값)의 비교



그림 12. 나무 전체에서 피목가지마름병에 의해 죽은 가지의 다양한 위치
※ 위 사진은 모두 국내 발생 피해임



그림 13. 나무의 절간부분에서의 피목가지마름병 발생 위치 (2009, 소나무, 밀양)
※ 절간부분의 한쪽 가지에서 가지고사가 발생하며(왼쪽과 중앙 사진) 절간부의 위 아래와 가지 전체가 죽음

외국에서 피목가지마름병이 피해 원인으로 밝혀진 대면적 소나무림 피해를 분석한 자료를 보면, 건조하기 쉬운 토양, 과밀한 임목밀도, 뿌리 발육불량 (1968~1969, 곰솔, 일본 도근현), 더운 여름에 이은 추운 겨울, 즉 급격한 온도변화로 인한 온도스트레스(1987, 이탈리아, *Pinus halepensis*와 *P. pinaster*), 얇은 미풍화토양지역(shallow skeletal soils)에서의 여름가뭄(1987, 유고), 임상, 경사도, 울폐도, 임목밀도 등 취약한 임분구조 (1987~1990, 중국의 북동지역 Liaoning, 잣나무), 천연림보다는 인공림(1990, *P. nigra*), 이상강우에 이은 토양건밀도 증가(1994~1996, 일본 이와테현, 잣나무와 곰솔), 가을가뭄 및 겨울 이상고온(1998~1999, 중국 대련(곰솔)), 약 2년간에 걸친 여름철 다습한 기후조건 및 겨울 건조(2022, 슬로바키아, *Pinus nigra*) 등이 피해를 가중시키는 환경적 유인(誘因)으로 보고되어 있다.

6. 피목가지마름병균의 생육온도

일반적으로 식물(수목)의 병해는 생육이 시작하는 봄철에 포자 등 1차전염원으로부터 시작하여 일정 기간의 잠복기를 거쳐 5~6월 이후부터 병징이 보이는 것이 일반적(대부분)이다. 이 병해의 발생특성을 이해하는데 있어 중요한 것은 병발생 시기와 병원균의 생육가능온도이다. 세계적으로 보고되는 이 병해의 발생시기는 주로 이른 봄이며, 병원균인 *C. ferruginosum*의 포자비산시기는 6월~8월 사이의 다소 습도가 높은 계절이다. 그러므로 피목가지마름병이 감염된 부위에서 형성되어 봄철에 흩날리는 포자가 1차전염원이 아니라는 것은 확실하다. 이러한 포자비산시기와 병발생 시기의 불일치에 대한 설명으로 Zuric-D 등(1997)은 6~7월에 죽은 가지 위에 형성된 자낭반의 자낭포자가 비산하여 새로운 가지에 병을 직접 일으키지는 않지만 내생균으로서 건강한 나무의 침엽에 기생하면서, 어떠한 환경적 요인에 의하여 수세가 저하되면 침엽으로부터 가지 및 줄기 쪽으로 균사로 확산하여 나무를 고사시킬 수 있을 가능성을 배제할 수 없다고 하였다. 이는 Sinclair와 Lion(Disease of trees and shrubs, 2nd ed. 2005. 210p)가 이 병의 시작은 내생균으로 건전한 침엽에서 잠복하고 있었던 병원균이 침엽에서부터 자라 나와 시작한다는 설명과 잘 일치하고 있다. 그림 13에서 보는 바와 같이 피목가지마름병에 의해 가지가 죽는 모습은 가. 절간부분의 한쪽 가지에서부터 가지 고사가 발생기 시작하며, 나. 균사가 자라 절간부에 도달하면 절간부분의 위와 아랫부분의 형성층이 죽으므로 그 가지 전체가 죽게 된다. 앞에서 언급한 바와 같이 피목가지마름병의 발생 위치가 매우 다양하여 가지 고사 및 나무 전체의 고사는 피해지 전체로 보면 나무마다 다양하여 매우 산발적으로 보인다는 특징이 있다(그림 4~7, 12~13).

여기서 이 병의 피해가 특히 주로 이른 봄에 나타나는 이유는 피목가지마름병균이 저온성 곰팡이기 때문으로 밝혀졌다. 피목가지마름병균의 분생포자 및 자낭포자의 발아 최적온도는 약 20℃ 내외이며, 특히 잣나무에서 분리된 균사의 최적 생육온도는 약 10℃이다(그림 14, 1998, 2001. 정 등). 병원균 관련 온도 자료로 볼 때, 겨울철 고온에 의해 수세가 약화한 상태에서 병 저항성이 저하되면 외부로 나타나는 병징(가지 고사 등 피해모습)은 다른 병해와 다르게 1차 전염원인 포자가 보이지 않은 이른 봄에 발생한다는 사실을 잘 설명할 수 있을 것이다.

앞에서 살펴본 바와 같이 피목가지마름병을 일으키는 *C. ferruginosum*은 건전 침엽에 존재하는 내생균이면서 약한 병원성을 지닌 식물병원성 곰팡이라고 요약할 수 있다. 현재까지 밝혀진 연구 결과와 각종 문헌을 종합하여 작성한 피목가지마름병의 발생 모식도는 그림 15와 같다.

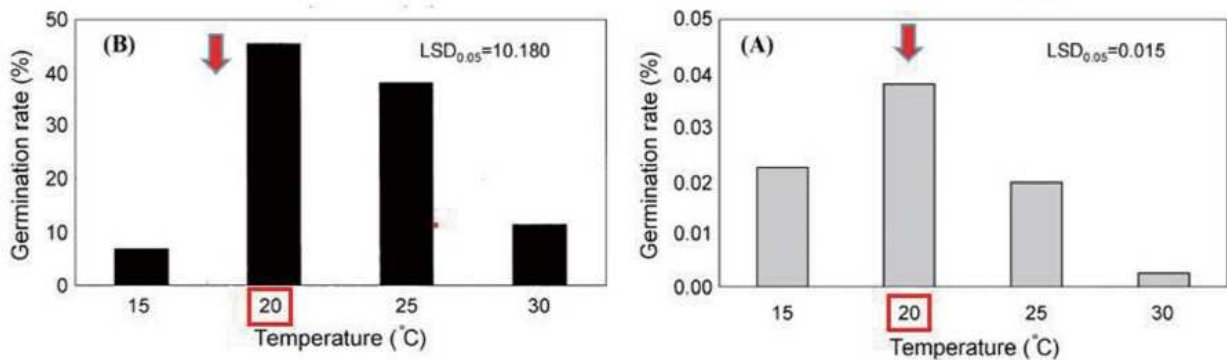


그림 14. 피목가지마름병균의 분생포자(왼쪽)와 자낭포자(오른쪽)의 발아온도
(강원대, 정주해 등, 2001)

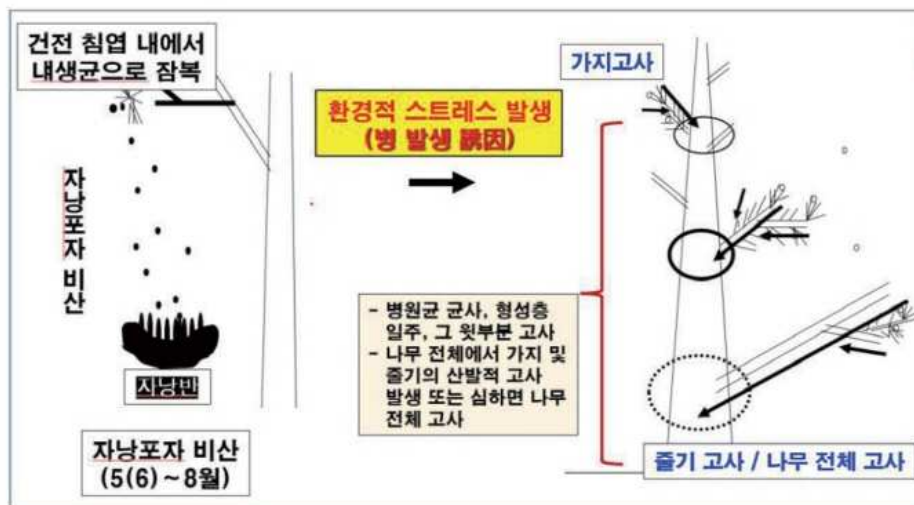


그림 15. 피목가지마름병 발생 모식도

7. 결 론

우리나라 산이며 들, 마을 주변에서 사계절 푸르름을 잃지 않는 소나무가 많이 자라고 있다. 그러나 70년대에 50%를 차지했던 소나무가 2000년대는 23%로 절반 이상이 줄었는데 이것을 지구온난화와 산림 내 서식 환경의 변화로 활엽수림으로 바뀌는 산림천이의 과정으로만 인식해서 어찌할 수 없는 것일까? 통계에 의하면 1985년 전체산림의 39%(252만ha)를 차지했었던 소나무가 30년이 지난 2008년에는 23%(147만ha)로 줄어들어 여의도 면적의 50배(45천ha) 이상이 매년 사라지고 있다. 이런 추세라면 50년 뒤인 오는 2060년에는 남한에서, 그리고 100년 뒤에는 한반도에서 “소나무림 모두가 사라질지 모른다”는 위기가 온다는 것이다.

여기에 더하여 현재 급속히 진행되고 있는 기상이변을 포함한 기상변화 및 산업화의 영향 아래에서 적어도 60~80년의 벌기령(伐期齡)을 갖는 천연 소나무림과 잣나무 조림지(특히 급경사지 등 열악한 생육조건)의 임지 및 비적지 한반도 중·남부지역)는 피목가지마름병에 구조적으로 노출되어 있다고 판단된다. 그러므로 과거 피해지에 대한 林·地況 인자에 대한 정밀분석과 함께 피해발생 가능임지의 예측기법 및 그에 기초한 피해저감 방법 개발 등을 통하여 체계적으로 대비하지 않으면 소나무류 산림자원은 “병원성이 매우 약한 병원균”에 의하여도 피해가 지속적으로 가증될 것으로 필자는 생각하고 있다.

향후 산발적, 국지적으로 발생할 수 있는 피목가지마름병에 의한 소나무류 피해의 최소화를 위하여는 1) 주기적으로 숙아베기 실시하여 적정 임목도를 유지하고, 2) 죽은 가지 제거 및 가지치기 등 무육작업을 통하여 숲을 건강하게 가꾸며, 3) 아울러 소나무류 신규조림지 선택은 “適地適樹” 개념에 충실하면서 60~70년을 내다보아야 할 것이다. 4) 특히 도시 조경수목은 무엇보다도 적정생육공간 확보를 위한 적정밀도 관리, 적정 토양산도 관리(도시 토양은 제초제 무분별한 사용으로 대부분 알칼리화 되어 있다!!!), 배수 관리 등 생육에 관련되는 토양을 포함한 여러 생리학적 요인 들을 평소에 잘 관리하여야 할 것이다.

산림청에서 특히 천연 소나무 숲에서 병해충 피해를 줄이고, 생태적으로 건강한 소나무 숲을 육성하고, 잘라낸 나무는 최대한 수집하여 펄릿 원료 등 산업용재로 공급하는 『소나무림 재해저감사업』을 2010년부터 실시하고 있는 것은 매우 바람직한 정책이 아닐 수 없다.



참고문헌

이종규 등, 2021. 신고 수목병리학. 2021. 향문사. p. 128~129

Sinclair, W.A. and Lyon, H.H. Diseases of Trees and Shrubs (2nd). 2005. Cornell Univ. Press. 210p. 등 다수

※ 지면 제약으로 자세한 참고문헌 소개는 생략함.

산지 태양광 발전시설 점검 체계 개발



이 광 연

한국치산기술협회 치산기술연구소 공간분석실장

lky@kafet.or.kr

I. 들어가면서

과거 우리나라는 안정적 에너지 수급을 위해 1987년 12월 「대체 에너지 개발 촉진법」을 제정·공포하였으며, 이후 2005년 신·재생에너지기술의 개발을 제도적으로 뒷받침하기 위하여 법의 제명을 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」으로 개정하는 등 신재생 에너지 활성화를 위한 노력을 실시하였다. 또한, 2017년 12월 정부에서 발표한 「재생에너지 3020」의 추진에 따라 산지 내 태양광 발전시설의 개발은 지속되었다. 그러나, 태양광 발전 시설 등과 같은 산지 개발이 지속되면서, 일각에서는 무분별한 산지난개발, 산지토사재해 등 부작용에 대한 우려의 목소리가 나타났다.

이에 따라, 정부에서는 2018년 5월 태양광 풍력발전 부작용 해소 대책 발표를 시작으로, 산지관리법 및 동법 시행령 개정 등으로 산지태양광 발전시설 및 풍력단지 등 산지개발지의 재해저감을 위한 제도를 정비하였다. 특히, 2020년 및 2021년에는 산지관리법 시행령을 개정하여, 태양광 발전시설 등의 점검을 의무화하고, 전문기관에 위탁할 수 있도록 조치하였다. 여기서, 태양광 발전시설은 공사착공일부터 「전기사업법」 제9조제4항에 따라 사업시작을 신고하고, 3년이 되는 날까지 태양광 발전시설의 면적에 따라 서면 또는 현장점검을 실시하게 되어 있으며, 매년 초 대상지별 현황을 파악하여 연간점검 계획을 수립하도록 되어있다.

여기서, 태양광 발전시설의 조사·점검·검사 등의 주요 내용은 토사유출, 산사태 또는 인근지역의 피해 등 재해방지나 산지경관 유지 등에 필요한 사항 등이며, 조사·점검·검사 결과는 산림청장 등에게 제출하도록 의무화되었다. 이와 같은 제도정비 및 태양광 발전시설의 관리에도 불구하고, 최근 산지 태양광 발전시설에서 발생한 비탈면붕괴가 인명 및 재산피해로 이어지면서, 산지 태양광 발전시설의 재해관리 체계를 개선할 필요성이 나타났다.

따라서, 이 연구는 ① 타부처의 사면 관리 체계의 사례검토를 통해 산지 태양광 발전시설 점검체계의 개선방안을 도출하고, ② AHP 분석 기법을 기반으로 산지 태양광 발전시설의 재해 위험성을 정량적으로 평가할 수 있는 현장점검표를 개발하여 산지 태양광 발전시설의 재해 위험성 관리를 위한 개선방안을 제시하고자 하였다.

II. 태양광 발전시설 점검 체계 개선방안

일반산지를 제외한 사면 관련 관리 및 점검을 위한 제도는 급경사지, 절토사면 등의 공간적 기준에 따라 점검 및 관리가 진행되고 있다. 급경사지를 관할하는 행정안전부의 경우 급경사지 재해예방에 관한 법률에 근거하여 관리기관이 1년에 2회 이상 점검을 수행하여 지자체 장에게 결과를 통보 해야 하며, 이후 지자체 장은 관할 구역 안에 있는 급경사지를 대상으로 연1회 이상 안전점검을 수행토록 규정하고 있다. 또한, 급경사지의 재해위험도는 조사결과에 따라 A~E등급으로 구분되며, D~E등급은 붕괴위험지역으로 지정·고시하여 관리하도록 규정된다.

한편, 도로사면 등 절토사면을 관할하는 국토교통부의 경우 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(이하 시특법)에 근거하여 시설물의 규모 및 중요도(1종, 2종, 3종)¹⁾에 따라 점검주기를 달리하고, 일상안전점검, 정기안전점검, 정밀안전점검, 긴급안전점검, 정밀안전진단 등을 수행한다(표 1). 시설물의 안전등급은 5단계(A등급 우수, B등급 양호, C등급 보통, D등급 미흡, E등급 불량)로 나누어 평가하며, 일반적으로 A~C등급을 안전시설물, D~E등급을 취약시설로 구분하여 분류하고 있다.

〈표 1〉 시특법 1·2종 시설물 점검 주기

안전등급	긴급 점검	정기 점검	정밀점검		정밀안전진단
			건축물	그 외 시설물	
A등급	필요시	반기에 1회	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상
B·C등급			3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상
D·E등급			2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상

급경사지, 시설물 등 타부처의 사면 점검·관리에 대한 사례 조사결과 태양광 발전시설의 점검체계의 이원화가 필요할 것으로 판단되었다. 즉, 산지개발지의 특성상 소규모 강우에도 산지토사재해를 유발할 수 있기 때문에 보다 체계적인 산지개발지 관리를 위해 점검체계를 일상점검과 정밀점검으로 이원화하는 방안을 제안하였다. 여기서, 일상점검은 외관 육안점검을 수행하고, 정밀점검은 정량화된 판정표를 활용하여, 상대적 위험성을 진단하는 점검을 진행한다.

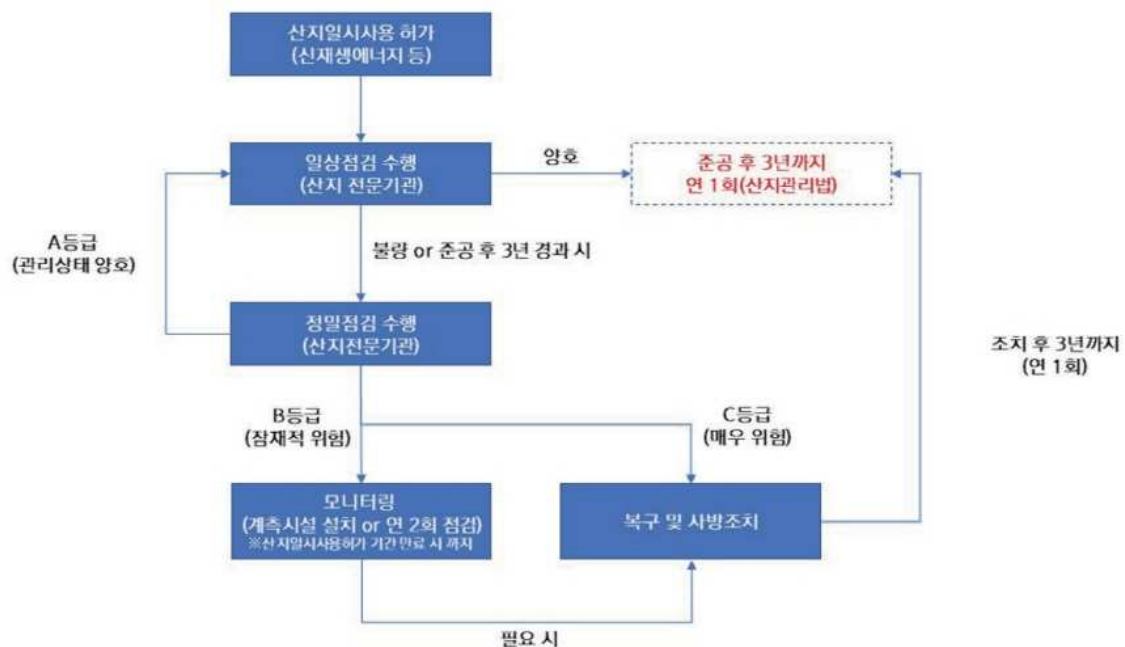
이 연구에서 제안한 태양광 발전시설 점검 체계를 보면, 먼저 산지일시사용 허가 이후, 산지전문기관이 일상점검 수행을 통해 양호와 불량을 구분하게 된다. 먼저, 양호 대상지는 현행 제도와 동일하게 준공 이후 3년까지 연 1회 일상점검을 수행하는 체계를 유지하며, 불량 대상지의 경우 정밀점검을 수행해야 한다. 또한, 준공 이후 3년이 경과한 산지일시사용 허가 대상지의 경우 제도적으로 정밀점검을 반드시 수행하는 방안을 제안하였다.

특히, 불량 대상지는 정밀점검 판정표를 활용하여, 불량 정도에 따라 3등급으로 구분하고,

1) 시특법상 1종, 2종 시설물은 대형 시설물로서, 교량, 터널, 댐, 건축물, 하천, 상하수도, 옹벽 및 절토사면으로 총 8종으로 분류하여 지정하고 있으며, 항만의 갑문시설은 1종 시설에만 해당하며, 건축물의 공동주택, 하천의 제방, 상하수도의 하수도, 옹벽 및 절토사면은 2종 시설에만 해당함

비교적 관리상태가 양호한 A등급의 경우 기존 제도와 동일하게 일상점검 체계를 활용하며, 잠재적 위험성을 지닌 B등급의 경우 계측시설 설치 또는 연 2회 점검을 의무화하도록 제안하였다.

마지막으로 매우 높은 위험성을 내포하고 있는 C등급의 경우, 복구 조치 명령 및 토사유출 방지조치, 재해의 방지에 필요한 조치 등을 의무화하도록 하고, 조치가 완료된 대상지는 조치 이후 3년까지 연 1회는 일상점검을 실시하여, 재해 위험성의 재발 방지를 위한 지속 관리를 실시토록 제안하였다<그림 1>.



<그림 1> 산지개발지(산지일시사용허가 시설) 점검 체계도

III. 태양광 발전시설 점검표 개발

이 연구에서는 산지개발지 중 태양광 발전시설의 정밀점검 수행을 위한 점검표를 개발하기 위해 전문가 브레인스토밍 및 AHP 분석기법(Analytic Hierarchy Process)을 활용하였다. 전문가 브레인스토밍은 3회에 걸쳐 수행하였으며, 1차 브레인스토밍에서는 산지태양광 발전시설 점검항목 유형화하여, “발전부지 및 사면”, “발전 및 부대시설”, “배수시설” 및 “구조물” 등의 대분류 항목을 선정하였고, 그 다음으로 2차·3차 브레인스토밍을 통해 각 대분류 항목별 중분류, 소분류 및 소분류 항목을 제시하였다<표 2>.

〈표 2〉 태양광 발전시설 사후관리 모니터링 점검항목 선정

대분류	중분류	소분류	세분류
발전부지 및 시설	시설부지	시설부지 형태	평탄지, 비탈면, 계단형 비탈면
		시설부지 경사	완경사지, 경사지, 급경사지
		시설부지 침식관리	양호, 우적·면상, 누구, 구곡
		시설부지 피복관리	양호, 보통, 불량
	발전시설	시설기초	콘크리트, 스파이럴, 기타
		발전시설 관리	양호, 보통, 불량
		물받이 관리	양호, 보통, 불량
	배수시설	배수시설 관리	양호, 보통, 불량, 없음
		침사지 관리	양호, 보통, 불량, 없음
절·성토 비탈면	비탈면	비탈면 경사	완경사지, 경사지, 급경사지
		비탈면 침식관리	양호, 우적·면상, 누구, 구곡
		비탈면 피복관리	양호, 보통, 불량
	구조물	구조물관리	양호, 보통, 불량, 양호, 없음
부대 및 기타시설	관리도로	관리도로 포장재료	콘크리트(아스콘), 쇠석도, 토사도
		도로관리	양호, 보통, 불량
	안전펜스	안전펜스관리	양호, 보통, 불량

그 다음으로 이 연구에서는 AHP 분석기법을 활용하여 태양광 발전시설 점검항목별 가중치를 산정하기 위해 대분류, 중분류, 소분류 및 세분류에 대한 설문을 실시하였다. 여기서, 설문조사 응답자가 설문내용에 대한 이해가 부족할 경우에는 AHP 분석결과의 객관적 결과 도출이 어렵게 때문에 외부자문위원 13명과 내부자문위원 9명으로 구성된 22명의 전문가를 대상으로 설문을 실시하였다.

여기서, 외부자문위원은 산림공학 분야 교수, 기술사, 연구원과 시설물 관리·점검 관련 전문가로 구성하였으며, 내부자문위원은 한국치산기술협회 내부의 박사급 인력 및 산지조사 관련 경력 5년 이상의 전문가를 대상으로 하였다. 또한, 점검항목별 가중치 산정 시 AHP 분석결과의 정확성을 확보하기 위해 일관성 비율(CR)이 0.2 이상인 경우는 항목별 가중치 산정을 위한 분석에서 제외하여 가중치를 산정하였다. 최종적으로 이 연구에서는 전문가 설문 기반의 AHP 분석으로 산정된 대항목, 중항목, 소항목 및 세항목별 가중치를 기반으로 다음과 같은 산지 태양광발전설비 현장점검표를 제시하였다.

산지 태양광발전설비 현장점검표

개요	조사 개요	조사일시				조사 No.	
		조사자	부서 :			직·성명 :	
		조사대상	500m 이내 보호대상	건축물 ()	☐ 유 ☐ 무	농경지	☐ 유 ☐ 무
				도로	☐ 유 ☐ 무	축사	☐ 유 ☐ 무
	조사유형	① 평균 경사도 ()		② 원지형 활용		☐ 유 ☐ 무	
		③ 사업중단					
사업 개요	사업명	준공일자					
	소재지	허가권자					
	면적(㎡)	계	발전부지	부대시설	발전량(kw)		
토성	☐ 마사토	☐ 사토	☐ 양토	☐ 식양토	☐ 식토		
발전 부지 및 시설 (50점)	시설 부지 (20점)	분류	항목			배점	
		형태	☐ 평탄지(4점)	☐ 비탈면(3점)			
		시설부지경사	☐ 완경사지(6점)	☐ 경사지(3점)	☐ 급경사지(2점)		
		침식관리	☐ 양호(8점)	☐ 우적 및 면상(3점)	☐ 누구 및 구곡(2점)		
	발전 시설 (10점)	피복관리	☐ 양호(2점)	☐ 불량(1점)			
		시설기초	☐ 콘크리트 및 스파이럴(3점)			☐ 기타(1점)	
		발전시설관리	☐ 양호(2점)	☐ 불량(1점)			
		물받이관리	☐ 양호(5점)	☐ 보통(2점)	☐ 불량 및 없음(1점)		
	배수 시설 (20점)	배수시설관리	☐ 양호(16점)	☐ 보통(8점)	☐ 불량 및 없음(3점)		
		침사지 관리	☐ 양호(4점)	☐ 보통(2점)	☐ 불량 및 없음(1점)		
소 계(A)							
절성토 비탈면 (40점)	비탈면 (16점)	분류	항목			배점	
		비탈면 경사	☐ 완경사지(8점)	☐ 경사지(5점)	☐ 급경사지(3점)		
		침식관리	☐ 양호(5점)	☐ 우적 및 면상(3점)	☐ 누구 및 구곡(2점)		
		피복관리	☐ 양호(3점)	☐ 보통(2점)	☐ 불량(1점)		
	구조물 (8점)	구조물 관리	☐ 양호(8점)	☐ 보통(5점)	☐ 불량 및 없음(2점)		
		배수 시설 (16점)	시설관리	☐ 양호(16점)	☐ 보통(8점)	☐ 불량 및 없음(3점)	
	소 계(B)						
부대 및 기타 시설 (10점)	관리 도로 (8점)	분류	항목			배점	
		관리도로 포장재료	☐ 콘크리트(4점)	☐ 쇄석도(3점)	☐ 토사도(2점)		
		도로관리	☐ 양호(4점)	☐ 보통(2점)	☐ 불량(1점)		
	안전 펜스 (2점)	안전펜스관리	☐ 양호(2점)	☐ 불량 및 없음(1점)			
소 계(C)							
합계(A+B+C)							
주민 의견							
현장점검 결과(등급)							
중간복구명령 필요 여부		☐ 유 ☐ 무					
필요 조치사항							

〈그림 2〉 태양광 발전시설 현장점검표

VI. 맺음말

이 연구는 산지 태양광 발전시설의 재해 위험성 관리를 위한 개선방안을 제시하고자 ① 태양광 발전시설 점검체계의 개선방안을 도출하고, ② 태양광 발전시설의 재해 위험성을 정량적으로 평가할 수 있는 현장점검표를 개발하였다. 이 연구에서 제시된 태양광 발전시설 점검체계 개선방안 및 태양광 발전시설 현장점검표는 태양광 발전시설의 사후 모니터링에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 이 연구에서 제시된 현장점검표는 태양광 발전시설의 정량적 평가를 통해 태양광 발전시설별 상대적 관리 우선순위를 산출하고, 복구 조치 명령 및 토사유출 방지조치, 재해의 방지에 필요한 조치 등에 대한 근거로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 배점별 등급구분을 위한 현장적용이 반드시 필요할 것으로 판단되며, 또한, 개발면적에 따라 시설유형과 규모가 다를 것으로 예상되므로, 동일한 점검체계를 적용할 수 있는지 검토가 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업 (2021342D10-2323-CD01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

AI를 이용한 소나무재선충병 예찰기술 개발



농학박사 문 일 성
(사)한국산지환경연구회
moonils@daum.net

1. 서 론

우리나라에서 소나무재선충이 1988년 부산 금정산에서 발생한 이후 발생지역은 현재('22.12) 140개 시·군·구로 확산되었다. 피해본수 추이는 '14년 218만 그루로 최대피해 발생 후 감소하였으나, 겨울 가뭄 등 환경요인으로 '23년 피해량은 급증할 것으로 전망된다.

소나무재선충병의 발병기작은 기주 수목-매개충-병원체 등 3가지 요인 간의 밀접한 상호작용의 결과로 단기간에 급속히 나무를 고사시키는 시들음병으로 다른 산림병해충과는 달리 한번 감염되면 치료회복이 불가능하여 100% 고사하는 치명적 산림병해충이다. 전파 경로는 몸속에 소나무재선충을 보유하고 있던 매개충(솔수염하늘소와 북방수염하늘소)의 성충이 건강한 소나무류의 수피를 갉아 먹을 때 생기는 상처를 통해 소나무재선충이 나무

줄기 내로 침입 가해하여 고사시킨다. 현재 우리나라에서의 주 피해 수종은 소나무, 곰솔, 잣나무이다.

소나무재선충병 피해 및 확산 저지를 위해서는 철저한 방제도 중요하겠지만 무엇보다도 정확하고 신속한 한 예찰과 피해확산 예측이다.

예방 및 방제법으로는 먼저 예방법으로는 나무주사가 가장 널리 이용되고 있으며, 매개충의 이동(활동)을 막기 위한 항공 및 지상약제 살포, 페르몬 트랩 이용 등이 있다. 그리고 방제법으로는 피해 고사목을 벌채하여 훈증, 소각, 파쇄, 열처리 등의 방법으로 목질부 내에 서식하고 있는 매개충과 재선충을 방제하고 있다. 이와 같은 방법으로 소나무재선충병 피해확산을 저지하고는 있지만 지속적으로 그 피해량은 파상형으로 발생하고 있는 실정이다.

지금보다 소나무재선충병의 효율적 관리와 조기방제를 위해서는 철저하고 정확한 예찰이 최우선적으로 선행되어야 할 것이다.

이에 최근 4차산업의 발달로 스마트 드론을 이용한 영상촬영 및 AI를 활용한 자동영상분석 기술과 전망에 대하여 기술하고자 한다.

2. 영상분석 절차

산림병해충 예찰조사용 드론이 상용화되기 이전에는 주로 헬기를 이용하여 육안 예찰에 의존하였다. 헬기 예찰은 넓은 지역을 단시간 예찰이 가능하지만 운항 속도와 고도로 인하여 정확한 고사목 탐색이 불가능하였다. 드론촬영기술의 발달로 넓은 지역 비가시권까지 고화질 영상촬영이 가능하게되었다.

가. 현행 영상분석 과정

소나무재선충병 피해지, 발생선단지 및 발생우려지역을 드론으로 촬영한 영상을 정사영상으로 제작하여 전문가에 의한 육안으로 고사유형별로 분석하고 있다.

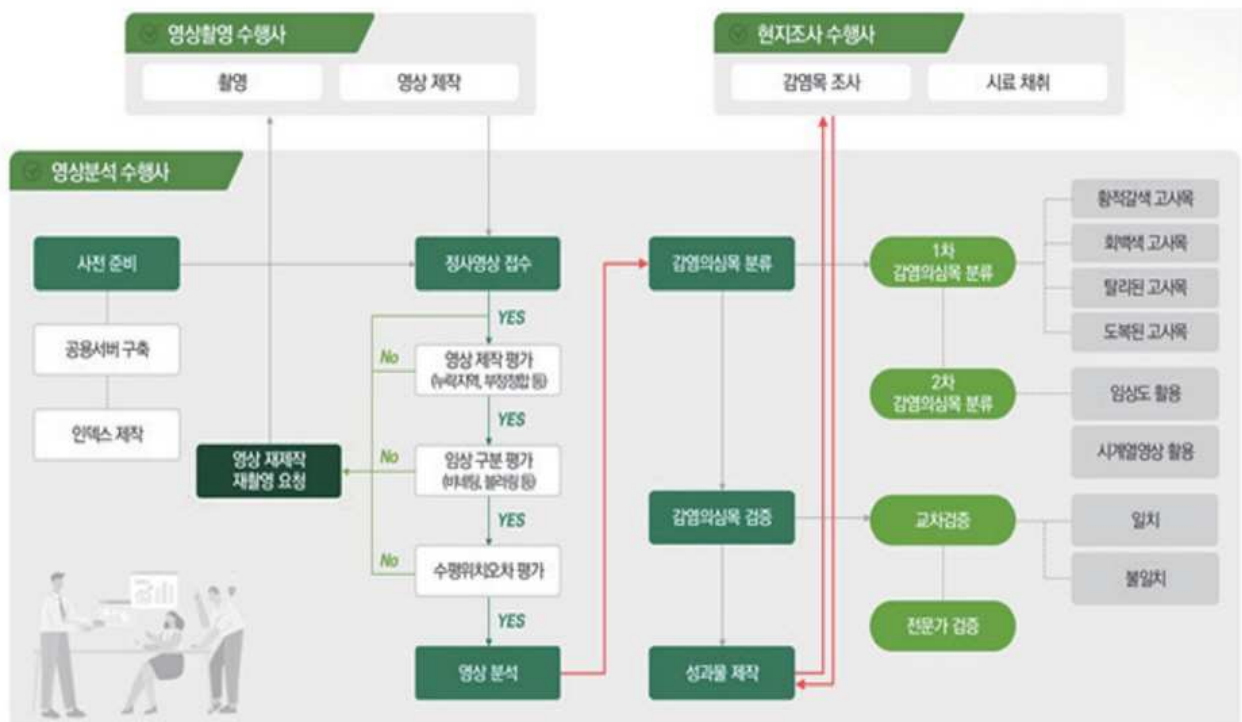


그림 1. 소나무류 고사목 예찰을 위한 흐름도

(1) 1차 분류기준

육안분석에 의한 고사목은 4가지 유형의 고사목 분류기준으로 영상취득시기인 9월경 소나무 재선충병의 피해확산과정과 매개충의 생활사를 감안하여 설정되었으며 각 유형별 특성은 다음과 같다.

- 황적갈색 고사목 : 당해연도에 감염된 기주수목으로 잎의 색깔이 황색 또는 적갈색으로 변화였고 매개충의 침입 가능성이 매우 높게 판단된 고사목
- 회백색 고사목 : 전년도에 재선충병에 감염되었으나 외관상 병징이 나타나지 않고 당년도 봄부터 고사하기 시작하여 시간이 지나면서 잎 색깔이 연해지면서 영상에서는 회백색을 나타내는 고사목으로 매개충 침입 가능성이 높음
- 탈리된 고사목 : 영상촬영시기 이전인 전년도 9월에 이미 황갈색으로 고사된 소나무류로 영상취득시점에는 매개충의 탈출공이 존재하고 재선충병 피해지일 경우 그 주변 소나무류로 확산되었을 가능성이 높음.
- 도복 고사목 : 벌채, 태풍 등으로 임목이 쓰러진 상태의 고사목



그림 2. 고사목 분류 유형

(2) 2차 분류

- 2차 분류 단계에서는 2인이 실시한 1차 분류 결과를 바탕으로 1:5,000 임상도와 시계열영상을 이용하여 1차 분류 결과를 필터링

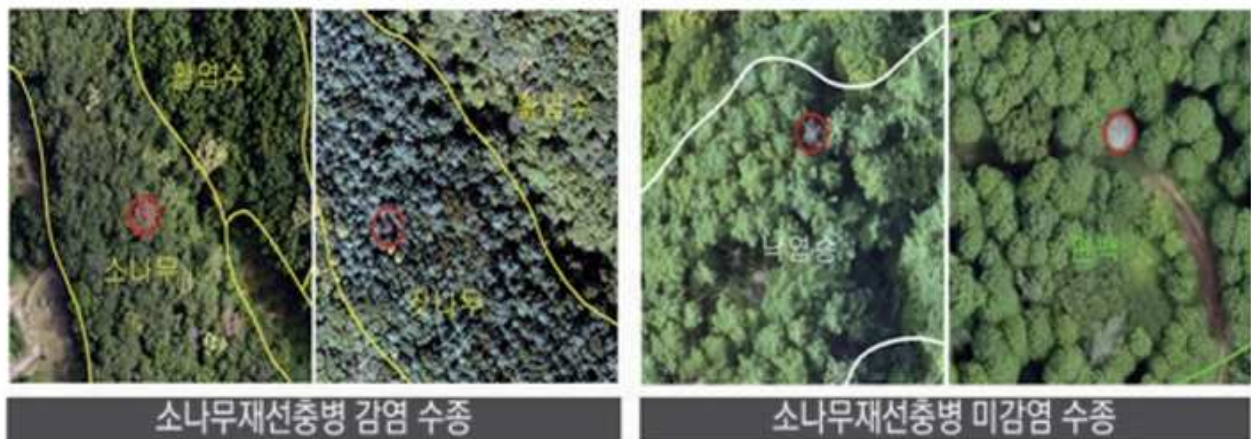


그림 3. 임상도를 활용한 감염의심목 수종 필터링

- 임상도로 소나무재선충병이 감염되는 수목을 1차적으로 필터링하고 해당 수목이 영상에서 어떤 패턴으로 나타나는지 파악 가능

- 소나무재선충병에 감염되는 수목은 상록침엽수이기 때문에 소나무류 고사목이라면 과거영상 또는 겨울영상에서도 녹색계열로 나타나는 것이 맞으나, 시계열 영상분석결과 과거에도 잎이 없거나 다른색으로 나타난다면 소나무류 고사목이 아닐 확률이 높음

(3) 육안 영상분석개선 방안

- 소나무재선충병 감염의심목을 추출하기 위한 영상분석은 누락이 발생하지 않도록 감염의심목에 대한 정확한 공간정보를 획득하는 것이 중요함
- 다만 소나무재선충병에 의한 고사가 아닌 산불, 인위적 벌채 등으로 인한 대규모 고사지역의 경우 각 고사목을 일일이 공간정보화 하기에는 시간이 많이 소요되고 그 결과도 과대치로 분설 될 것임
- 따라서 집단 고사 지역에 대한 영상분석 결과 처리 방안 마련이 필요함

나. AI를 활용한 영상분석

현재 촬영영상의 전지역을 육안으로 피해 고사목의 좌표를 추출하고있어 시간이 오래 소요되고 있다. 따라서 적기에 방제를 못하거나 개인차 또는 작업피로도에 의한 오판단으로 방역 대상 의심목을 누락하여 재발생 위험성이 높으므로 ICT 기술 도입으로 현행 영상분석 및 예찰 방식을 개선 필요한 실정이다.

따라서 AI영상인식을 응용하여 소나무 고사목 추출이 가능한 기술개발이 활발하게 수행되어지고 있다.



그림 4. AI기반 산림병해충 탐지자동화및 확산예측모델 확보

- (확산예측모델개선) 확산예측이 산림병해충의 주된 진행방향(남에서 북을따라 이동)에서 전국단위 동시 확산 발생으로 변화될 가능성이 매우 높아, 상시적인 모니터링을 통한 예측모델을 만들고 이를 활용한 방제계획을 수립하는 기술 개발이 필요
- (산림병해충 AI 재난재해 대응시스템) 4차산업 드론, AI을 활용한 재선충 탐지 및 예측 기술 개발을 통해, 향후 발생하게될 미래 산림병해충 재해 관리에 대한 체계와 방법론 마련

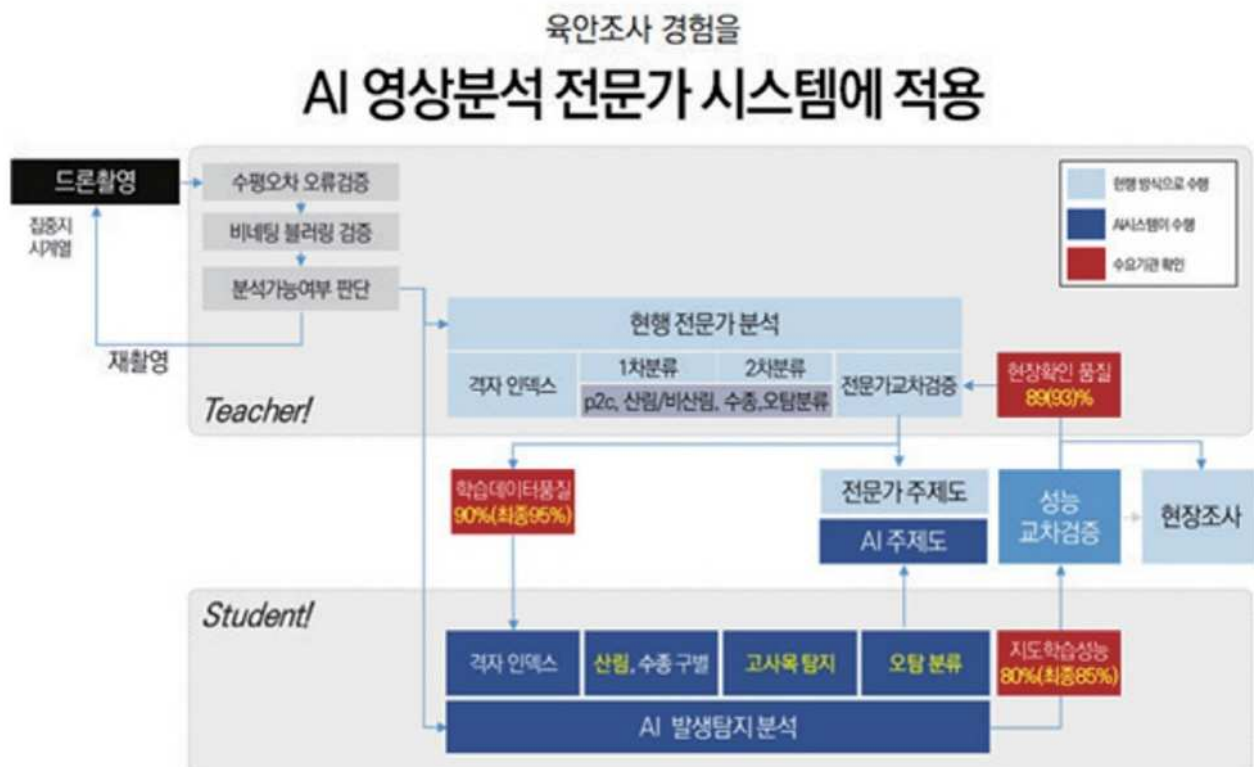


그림 5. 고사목 탐지기술 학습을 위한 데이터 취득 및 가공 학습 평가 흐름도

○ 학습데이터 품질평가

- 소나무재선충병 전문가에 의해 수행하며, 매년 신규 데이터에 동일 기준 적용하여 학습데이터 품질 확보 추진
- 학습데이터 품질검수는 데이터에 대한 완전성과 정확성으로 구분하여 검수 실시
- 자체 탐지 성능평가는 한국산지환경연구회의 전문가에 의해 수행하며, 육안검사 결과와 비교 평가하여 실시

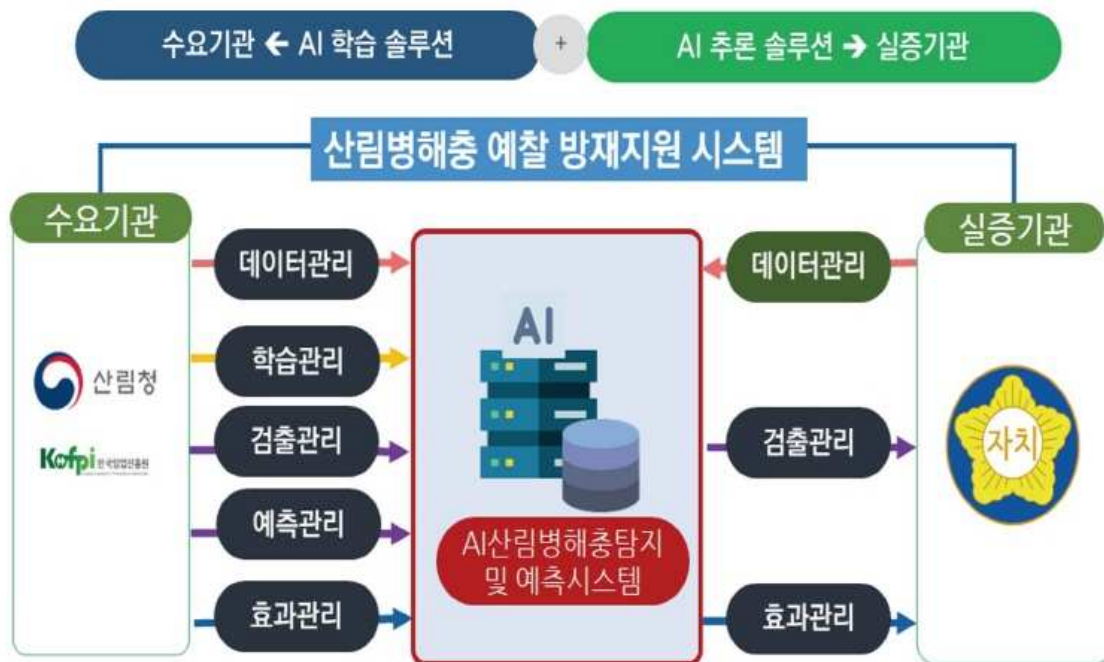


그림 6. AI기반 산림병해충 방제지원시스템 구축 및 실증

3. 전망 및 기대효과

- 인공지능 산림병해충탐지 기술 개발 및 인공지능 학습데이터 구축 기술 적용
- 산림병해충의 인공지능 알고리즘을 통한 예찰이 가능해짐에 따라 첨단기술 적용으로 임업기술 발달 및 적용범위 확대, 데이터의 접근성을 제고할 수 있음
- 드론 기술을 이용한 산림병해충 데이터 수집 활용기술을 이용해 촬영 기술 및 영상처리 기술을 사업화하여 해외 각국에 적용이 가능할 것으로 예상
- 산림병해충 온라인 탐지 및 확산예측 시스템 구축을 통해 국내 산림관련 기관이 산림병해충 예찰을 통한 탐지 기술을 공동 활용하고 재선충 위치 데이터를 통계 및 관리함으로 빅데이터의 관리 효율화가 예상되며, 효율적이고 경제적인 학습데이터 구축이 가능함
- 육안검사의 한계를 AI로 극복하여 적소 적기에 방제를 하여 궁극적으로 산림병해충의 확산을 막아, 정부 비용의 지출을 최소화
- 효율적인 산림 학습데이터 구축 기술 및 시스템을 개발 및 활용함으로써 산림병해충 인공지능 탐지 기술의 성능을 효과적으로 높일 수 있을 것으로 기대되며,
- 다양한 산림병해충 학습데이터 구축에 활용 가능함

산림토양 모암 및 표고에 따른 산양삼 생존율 변화



변재경
(사)한국산지환경연구회 회장

1. 서론

산양삼은 「임업 및 산촌진흥 촉진에 관한 법률」에 의거하여 재배지 토양과 파종·식재되는 종자·종묘 및 판매까지 전 과정이 관리되는 특별관리임산물이다. 고소득 단기임산물로 산양삼재배 임가 수와 재배면적이 점차 늘어나고 있는 추세다. 산양삼은 산에서 농약과 비료를 사용하지 않고 자연상태에 가깝게 재배하기 때문에 생존율을 높이기 위해서는 토양 및 입지환경 등 생육환경이 적합한 곳에 산양삼을 재배하는 것이 매우 중요하다. 하지만 대부분의 산양삼 임가에서는 재배지 토양환경을 제대로 이해하지 않고 개인의 경험에 의존하여 조성하고 있는 경우가 많다. 국립산림과학원에서 발간한 「산양삼 표준 재배지침」에 따르면 산양삼 재배에 적합한 산도는 pH 5.5 내외의 토양, 유효토심은 15cm 이상이며 율폐도는 80%, 토성은 양토 및 사질 양토가 재배적지의 기준으로 적합하다고 하였다.

그러나 토양의 물리화학적 성을 결정하는데 중요한 인자인 모암과, 산양삼 생육 환경에 큰 영향을 미치는 평균기온 및 미세기후와 밀접한 관련이 있는 표고에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전국에 모암 및 표고가 다른 8개의 산양삼 시험재배지를 설치하여 3년간 그 생존율을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험지 설정

모암의 대분류인 화성암, 변성암, 퇴적암 3개 모암 및 해발고도에 따른 활착율, 생존율, 생장 및 품질특성을 구명하기 위하여 모암별 및 해발고도별 산지적응성 시험지를 설치하였다. 설치된 시험지에 등록된 인삼 품종 30여종 중 종자확보 가능한 16개 품종을 파종하였다. 각 모암별로 해발고도를 고지대(해발 750m이상), 중지대(해발 400m~700m), 저지대(해발 350m미만)로 3등분으로 구분하여 시험포지를 조성하였으며, 화성암 시험지는 함양에 3개소를 설치하였고, 퇴적암 시험지는 단양 2개소, 변성암은 평창 2개소 및 봉화 1개소 등 총 8개 지역에 설치하였다. 시험지는 본 연구 종료 후에도 이어서 후속 연구가 가능하도록 가급적 지속적인 관리가 가능한 곳으로 선정하였다.

표 1. 시험지별 종자 파종 시험 조사구(plot) 수

번호	모암	세부모암	지역	해발고도(m)	비고
1	화성암	반려 암질암	경남 함양군 마천면 구양리 산75	720 ~ 750	사유림
2		반상 화강암	경남 함양군 함양읍 죽림리 산 364	535 ~ 556	국유림, 한국임업진흥원 산양삼 종자공급단지
3		엽리상조립 질화강암	경남 함양군 함양읍 교산리 755-2	180 ~ 200	함양군 군유림
4	변성암	호상 흑운모 편마암	강원 평창군 봉평면 흥정리 산 1	950 ~ 1,000	국유림, 한국임업진흥원 산양삼 종자공급단지
5		호상 흑운모 편마암	강원 평창군 봉평면 흥정리 산29	650 ~ 700	사유림
6		석영장석 편마암	경북 봉화군 재산면 상리 산 113	320 ~ 350	국유림, 국립산림과학원 산림약용자원연구소 시험림
7	퇴적암	석회암	충북 단양군 영춘면 만종리 산 91-1 일원	380 ~ 400	단양군 군유림
8		사암	충북 단양군 가곡면 향산리 산 44	220 ~ 230	단양군 군유림

표 2. 시험지 모암 분포도

화 성 암	함양군 마천면 구양리	함양군 함양읍 죽림리	함양군 함양읍 교산리
			
변 성 암	평창군 봉평면 흥정리	평창군 봉평면 흥정리	봉화군 재산면 상리
			
퇴 적 암	단양군 가곡면 향산리	단양군 영춘면 만종리	
			

나. 시험지 설치 및 파종방법

종자는 우량종자를 선별하기 위해 물에 뜨는 종자를 제거한 후 일정 규격의 mesh체를 통과시킨 종자만을 선별하였었다. 종자를 파종할때에는 막대를 이용하여 약 2cm깊이로 파종할 구멍을 뚫고 1개의 구멍에 2개씩 종자를 투입하여 7cm간격으로 파종하였다.

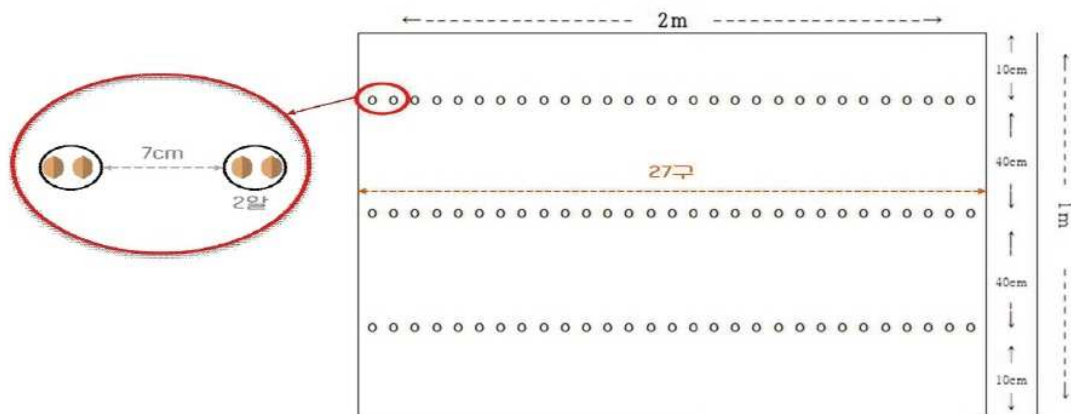


그림 1. 시험지 plot 크기, 종자파종 방법

다. 생존율 조사

생존율 조사는 매년 산양삼의 싹대가 지기전인 8월 이전에 조사를 실시하였고 종자가 파종된 plot에 대하여 발아 및 생존한 개체수를 파악하여 파종종자 개수 대비 생존개체 수를 백분율로 나타냈다.



그림2. 산양삼 생존율 성적조사

3. 결과 및 고찰

파종된 종자의 생존율을 고도별로 분류하여 분석한 결과 700m의 이상의 고도에서 9%로 가장 낮은 생존율을 보이고 있으며, 550m고도에서 38% 가장 높은 생존율을 보이고 있다. 전체적으로 가장 낮은 고도에서부터 시험지의 고도가 높아질수록 파종종자의 생존율이 점차 증가하는 추세를 보이다가 550m에서 가장 높은 생존율을 나타낸 이후에는 고도가

높아질수록 생존율이 감소하는 경향을 보인다. 또한 임가에서 주로 사용하는 품종인 금풍, 연풍, 재래종의 경우에도 550m의 표고에서 가장 높은 생존율을 보이고 있으며 전체적으로 금풍종자의 생존율이 가장 높게 나타났다.

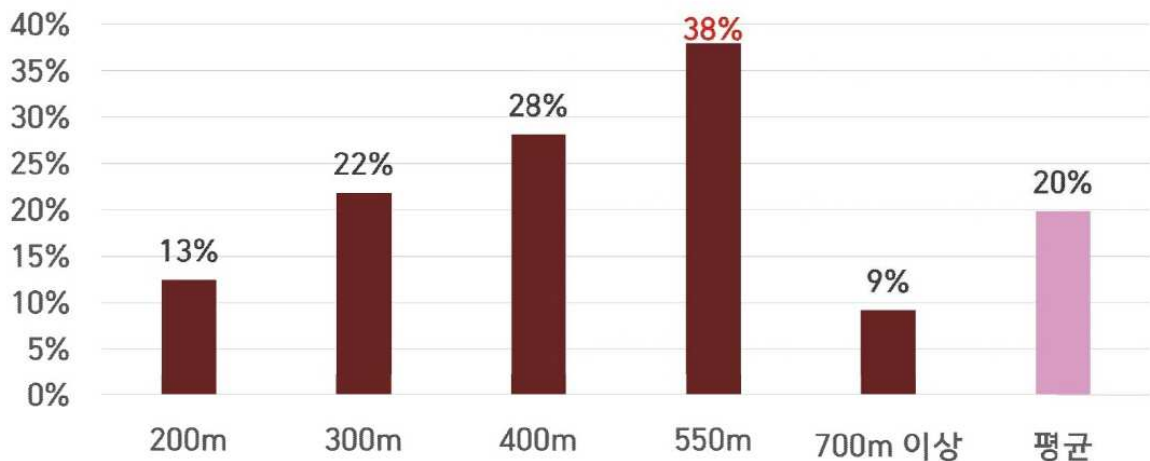


그림3. 표고별 파종종자의 생존율 변화

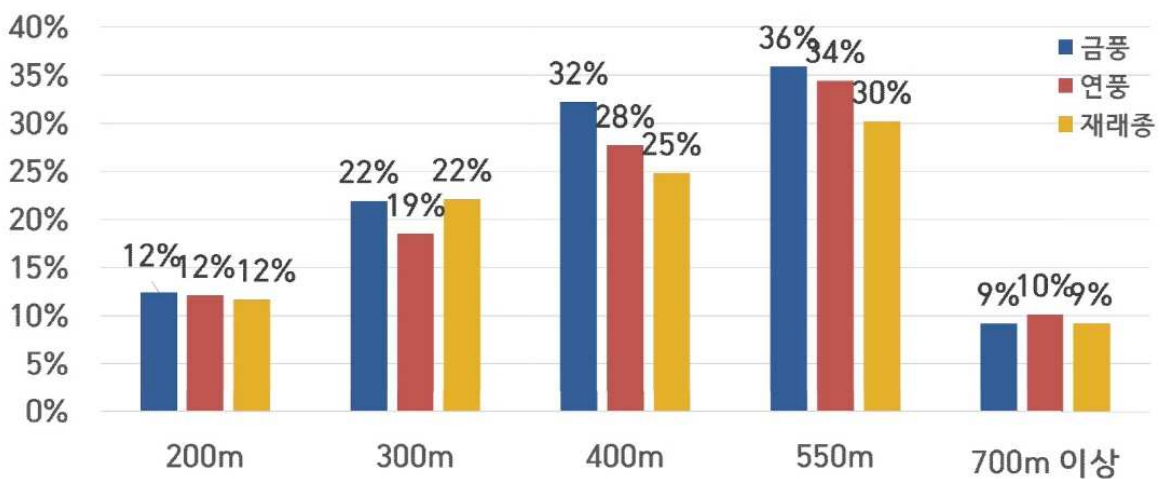


그림4. 표고별 금풍, 연풍, 재래종 종자의 생존율 변화

모양에 따른 생존율을 관찰한 결과는 전체적으로 화성암(24%) > 퇴적암(23%) > 변성암(14%), 순으로 높은 생존율이 나타났지만 임가에서 주로 사용하는 품종인 금풍/연풍/재래종은 퇴적암 > 화성암 > 변성암 순으로 높은 생존율이 나타났다.

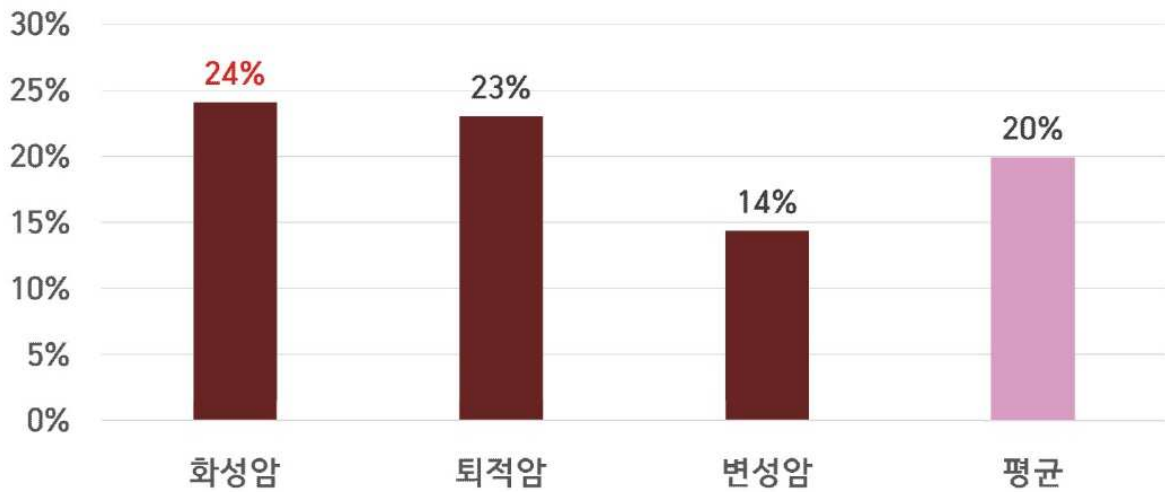


그림5. 모암별 파종종자의 생존율 변화

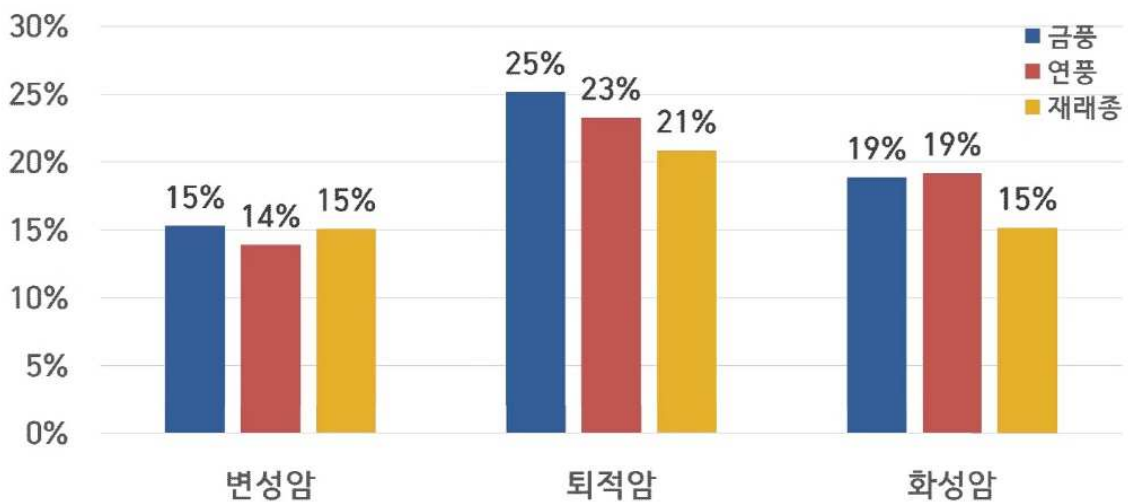


그림6. 모암별 금풍, 연풍, 재래종 종자의 생존율 변화

표고별 산양삼의 생존율 분석결과 기후와 온도에 있어 550m에서 산양삼 생육이 가장 좋은 것으로 생각되나 다년간 성장하는 산양삼의 특성상 장기적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다. 산양삼 재배지의 모암 및 표고가 산양삼 생장이 미치는 영향을 구명하기 위해서는 산양삼의 생존율 뿐만 아니라 생중량 및 뿌리의 길이 등의 생육조사를 통해 산양삼의 산지 적응성을 비교분석해야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 산림청 산림과학기술 연구개발사업 과제인
‘산양삼의 산지 적응성 품종 개발 및 약리효능 평가’ 연구에 의해 수행되었습니다.

산지적응성이 강한 산양삼 품종 선발에 관한 연구



박 성 범
(사)한국산지환경연구회 차장

1. 서론

산양삼은 산지에서 생산되는 임산물 중 가장 높은 소득을 올리는 작물이다. 산양삼 재배 임가 수와 면적이 늘어나고 있는 추세지만 산양삼 생육 환경조건 및 재배방법에 대한 정확한 기술이나 정보는 부족한 실정으로 보통 판매되는 7년생까지의 생존율이 낮아 많은 어려움을 겪고 있다. 현재 산양삼 재배를 위해서 파종되는 종자는 일부 임가에서만 산지에서 자가채취한 종자를 사용하고 있으며, 대부분은 시중에 판매되는 인삼종자를 구입해 개갑후 파종하고 있다. 또한 산양삼재배 임가는 자신이 파종하는 종자가 어떤 인삼 품종인지 거의 알지 못하는 실정이다. 본 연구에서는 국내에 등록되어 있는 인삼품종들 중에서 어떠한 품종이 산지에서 생존율이 높은지를 파악하여 산지적응이 강한 대표적인 품종을 선별하고자 한다. 이에 전국에 8개의 산양삼 시험포지를 조성하고 특히 등록된 16가지 품종의

인삼종자를 파종하여 3년간 그 생존율을 조사하였다. 앞으로 산양삼 재배자는 산지에 생육이 양호한 품종을 선택하여 소득증대에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

가. 시험장소

시험지는 전국에 걸쳐 8개를 설치하였으며, 설치 장소는 경남 함양(3개), 경북 봉화(1개), 강원 평창(2개), 충북 단양(2개)에 위치하고 있다.

표 1. 산양삼 시험지 현황

NO	구분	주소	비고
1	함양1	경남 함양군 마천면 구양리	사유림
2	함양2	경남 함양군 함양읍 죽림리	국유림, 한국임업진흥원 산양삼 종자공급단지
3	함양3	경남 함양군 함양읍 교산리	함양군 군유림
4	평창1	강원 평창군 봉평면 흥정리	국유림, 한국임업진흥원 산양삼 종자공급단지
5	평창2	강원 평창군 봉평면 흥정리	사유림
6	봉화	경북 봉화군 재산면 상리	국유림, 국립산림과학원 산림약용자원연구소 시험림
7	단양1	충북 단양군 영춘면 만종리	국유림, 사유림
8	단양2	충북 단양군 가곡면 향산리	국유림, 사유림

나. 수집된 품종

산양삼은 품종이 등록된 종자가 없어 시중에서 유통되는 인삼종자를 구입해 파종하고 있으며, 산지에 파종한 종자의 품종과 특성을 인지하지 못하여 생존율과 품질이 낮아지는 주요원인이 되고있다. 이에따라 품종이 등록된 30여개 인삼품종 중 확보 가능한 품종의 종자를 수집하여 시험에 사용하였다.

2020년 4월에 인삼품종 중 종자확보 가능한 품종인 재래 자경종(영주산, 금산산), 연풍(영주산, 금산산, 음성산), 금풍(영주산, 금산산, 음성산), 금선, 금원, k-1, 금진, GS97-62(충남7호), GS97-69(충남8호) 종자 9종을 확보하였다.

2020년 11월에 선운, 선원, 선풍, 고품, 천풍, 청선, 선향 등 7종을 추가 확보하여 인삼품종 중 총 16종을 확보하였다. 또한 가장 많이 유통되고 있는 자경종, 연풍, 금풍은 각각 3지역(영주산, 금산산, 음성산)에서 생산된 종자를 확보하여 지역별 인삼 품종 총 22종류의 종자를 확보하였다. 또한 시험결과의 균일성을 위해서 수집한 종자 중 상태가 불량한 것을 선별하여 우량종자만을 가지고 실험을 실시하였다.

표 2. 수집된 인삼품종별 생산지, 파종일 및 특징

구분	품종명	생산지	파종	특징	비고
1-1	자경종 종자	경북 영주	2020. 04 2020. 11	적색 열매, 적색 줄기와 엽병	-
1-2		충남 금산	2020. 04 2020. 11	적색 열매, 적색 줄기와 엽병	-
1-3		강원 평창	2020. 11	적색 열매	-
2-1	금풍 종자	경북 영주	2020. 04 2020. 11	황금색 열매, 내병성, 대편삼	원형홍삼용
2-2		충남 금산	2020. 11	황금색 열매, 내병성, 대편삼	원형홍삼용
2-3		충북 음성	2020. 11	황금색 열매, 내병성, 대편삼	원형홍삼용
3-1	연풍 종자	경북 영주	2020. 11	다수성, 다경성	수삼용, 엑스제조용
3-2		충남 금산	2020. 11	다수성, 다경성	수삼용, 엑스제조용
3-3		충북 음성	2020. 11	다수성, 다경성	수삼용, 엑스제조용
4	금선 종자	충북 음성	2020. 11	다수성, 내적변성	원형홍삼용
5	금원 종자	충북 음성	2020. 11	우수체형성, 다수성	원형홍삼용
6	k-1 종자	충북 음성	2020. 11	다수성, 세근 발달이 좋음	원형홍삼용
7	금진 종자	충북 음성	2020. 11	적색 열매, 출아기가 빠름	원형홍삼용
8	충남8호 종자	충북 음성	2020. 11	충남농업기술원 특허출원 예정	-

구분	품종명	생산지	파종	특징	비고
9	충남7호 종자	충북 음성	2020. 11	충남농업기술원 특허출원 예정	-
10	선운 종자	충북 음성	2020. 11	적색 열매, 붉은색 잎 단풍	-
11	선원 종자	충북 음성	2020. 11	등화색 열매, 붉은색 잎 단풍	-
12	선풍 종자	충북 음성	2020. 11	적색 열매, 뿌리는 미색	-
13	고풍 종자	충북 음성	2020. 11	뿌리 색은 미색, 적색 열매	-
14	천풍 종자	충북 음성	2020. 11	등화색 열매, 뿌리는 미색	-
15	청선 종자	충북 음성	2020. 11	적색 열매, 붉은색 잎 단풍	-
16	선향 종자	충북 음성	2020. 11	적색 열매, 열매 성숙이 빠름	-

다. 시험지 설치 및 파종방법

종자는 우량종자를 선별하기 위해 물에 뜨는 종자를 제거한 후 일정 규격의 mesh체를 통과시킨 종자만을 선별하였었다. 종자를 파종할때에는 막대를 이용하여 약 2cm 깊이로 파종할 구멍을 뚫고 1개의 구멍에 2개씩 종자를 투입하여 7cm간격으로 파종하였다.

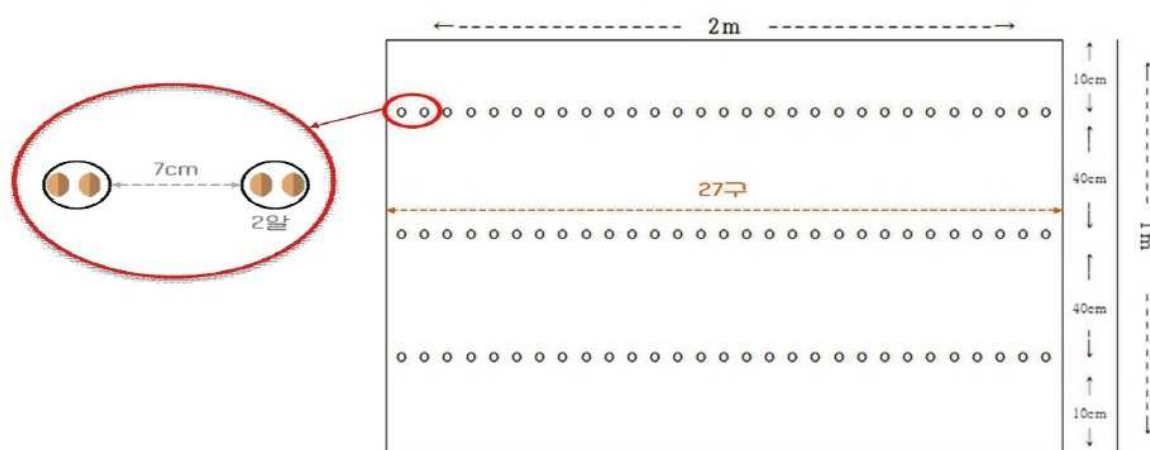


그림 1. 시험지 plot 크기, 종자파종 방법

8개의 시험지에 16종의 종자를 파종하였으며 반복을 포함하여 전체 447개의 plot을 조성함

표 3. 시험지별 종자 파종 시험 조사구(plot) 수

시군	읍면동 리	plot 수
함양군	함양읍 교산리	24개
	함양읍 죽림리	96개
	마천면 구양리	40개
봉화군	재산면 상리	37개
평창군	봉평면 흥정리	54개
	봉평면 흥정리	90개
단양군	가곡면 향산리	54개
	영춘면 만종리	52개
총 합 계		447개

라. 생존율 조사

생존율 조사는 매년 산양삼의 싹대가 지기전인 8월 이전에 조사를 실시하였고 종자가 파종된 plot에 대하여 발아 및 생존한 개채수를 파악하여 파종종자 개수 대비 생존객체 수를 백분율로 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

16개 품종의 시험종자 생존율을 관찰한 결과 선원 품종이 45%로 가장 높은 생존율을 보였으며, 충남7호(44%) > 천풍(40%) > 선운(39%) > 충남8호와 금원(38%) > 청선(36%) > K-1(33%) > 금진(29%) > 고품(28%) > 선향(27%) > 금선(24%) > 선풍(21%) > 금풍(19%) > 연풍(18%) > 재래종(자경종, 17%) 순으로 높았다.

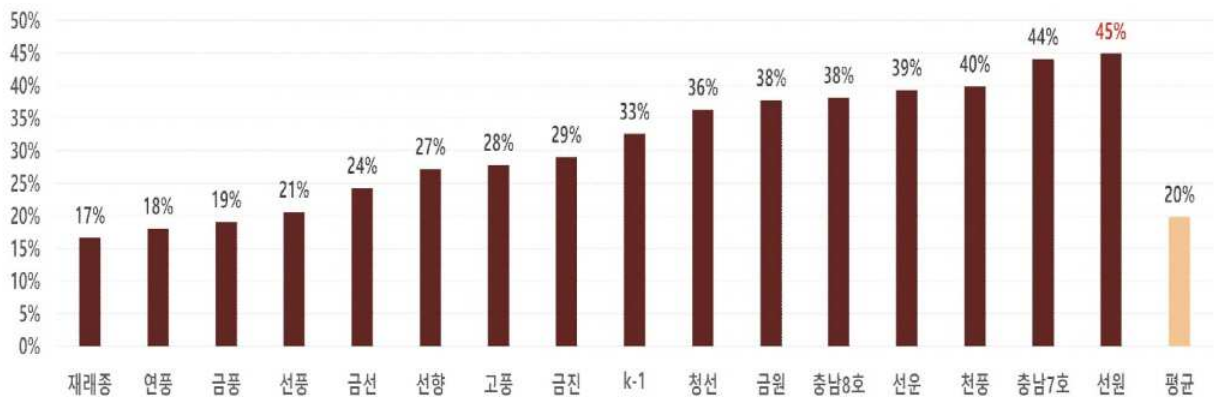


그림 2. 품종별 생존율 조사 결과

8개 시험지 중에서 전체 평균 생존률은 함양2(죽림리)가 가장 높았게 나타났으며, 산양삼 재배임가에서 가장 쉽게 구할 수 있는 인삼 품종인 자경종(재래종), 금풍, 연풍의 생존율을 시험지별로 분석한 결과 평균적으로 금풍(19%) > 연풍(18%) > 재래종(17%) 순으로 높은 생존율을 보였다.

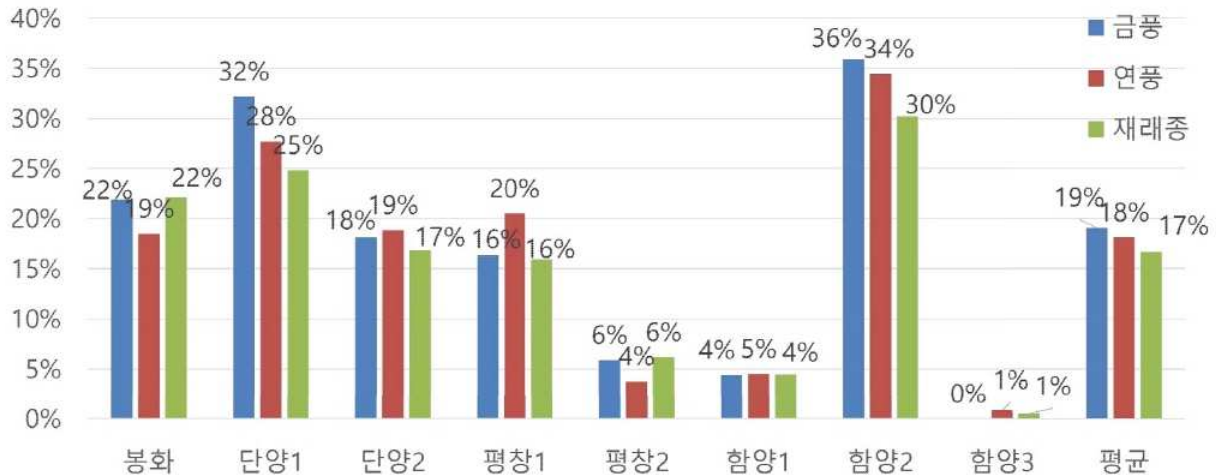


그림 3. 주요 재배품종의 시험지별 생존율

산양삼 재배농가에서 많이 사용되는 자경종(재래종), 연풍, 금풍의 생존율이 가장 낮게 나타나 향후 산양삼 재배 임가에서 소득을 높이기 위해서는 파종 시 품종의 선택이 매우 중요할 것으로 생각된다. 또한 지역별로 산양삼의 생존율이 차이가 나타나는 것은 산양삼 재배지의 토양환경이나 기후가 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

본 연구는 산림청 산림과학기술 연구개발사업 과제인
‘산양삼의 산지 적응성 품종 개발 및 약리효능 평가’ 연구에 의해 수행되었습니다.

과목

• 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

제 1장 총 칙

제 1조 (명칭) 본 회는 사단법인 한국산지환경연구회(이하 “본회”)라 한다.

제 2조 (목적) 본 회는 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.

제 3조 (사무소) 본 회의 주 사무소는 경기도 남양주시에 두고 필요에 따라 특별시, 광역시 및 각도에 지회를 둘 수 있다.

제 4조 (사업) 본 회는 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 이화학성 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

제 5조 (회원의 구성) 본 회의 회원은 정회원 및 일반회원으로 한다.

제 6조 (회원의 자격)

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

제 7조 (회원의 가입) 본 회의 회원으로 가입하고자 하는 자는 소정의 가입신청서를 제출하고 이사회의 승인을 얻어야 한다.

제 8조 (회원의 권리)

- ① 정회원은 임원에 대한 선거권, 피선거권(단체회원 제외) 및 총회에서 발언권과 의결권을 가진다.
- ② 일반회원은 발언권만 가진다.

제 9조 (회원의 의무) 본 회의 회원은 정관규정을 준수하고 이에 따른 규정과 총회 및 제반업무 수행에 적극 협조 하여야 한다.

제 10조 (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

제 11조 (임원의 구성) 본 회의는 다음의 임원을 둔다.

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

제 12조 (임원의 자격 및 선출)

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

제 13조 (임원의 임기)

- ① 상임임원의 정년은 만65세 되는 당해 연도 말까지로 한다.
- ② 회장의 임기는 3년으로 하고 연임할 수 있으며, 그 임기는 최대 6년으로 하되 상임 임원의 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 결위 또는 유고 시 이사회의 의결을 거쳐 선임하고 총회에 보고한다.
- ⑥ 감사의 임기는 2년으로 하고 연임할 수 있으며 최대 4년으로 한다.
- ⑦ 등기이사 임기는 3년으로 한다.

제 14조 (임원의 직무) 임원은 다음의 직무를 행한다.

- ① 회장은 본 회를 대표하여 업무를 총괄하고 총회와 이사회 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.

제 15조 (임원의 보수)

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

제 16조 (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 회의에 중대한 손실을 초래한 때
- ④ 재적회원 3분의 1이상이 해임 요구가 있을 때

제 17조 (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 이사회 의결을 거쳐 회장이 위촉한다.

제 18조 (조직) 본 회의 업무를 원활하게 수행하기 위하여 필요한 조직 및 업무분장 등에 관한 사항은 내규로 정한다.

제 4장 회 의

제 19조 (회의 종류) 본 회의 회의는 총회 및 이사회로 한다.

제 20조 (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 기명날인 또는 서명한다.

제 21조 (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.

제 22조 (이사회 개최)

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

제 23조 (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

제 24조 (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

제 25조 (재산 및 재정) 본 회의 재산과 재정은 다음 수입으로 충당한다.

- ① 사업수익금
- ② 찬조금, 기부금
- ③ 기타 수입금

제 26조 (회계연도) 본 회의 회계연도는 정부의 회계연도에 준한다.

제 27조 (예산의 편성) 회장은 사업연도 초에 사업계획서와 예산을 편성하여 이사회의 의결을 거쳐 총회의 승인을 받아야 한다.

제 28조 (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.

제 29조 (잉여금의 처분) 회계연도 말에 잉여금이 생긴 때에는 총회의 결의에 따라 그 전부 또는 일부를 재산으로 적립하거나 다음 회계연도에 이월시켜야 한다.

제 6장 지 회

제 30조 (설치) 본 회는 제3조의 규정에 의하여 필요한 지역에 지회를 둘 수 있다.

제 31조 (운영) 각 지회는 본회의 정관에 준하여 운영한다.

제 32조 (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

제 33조 (감사) 본 회의 감사는 정관 제14조 제5항의 규정에 따라 회의 업무 및 재무에 관한 사항을 연 1회 이상 감사하여 총회에 보고해야 한다.

제 34조 (해산) 본 회의 해산은 이사회 의결을 거쳐 총회에서 회원의 3분의 2이상의 출석과 3분의 2이상의 찬성으로 의결하여 산림청장에게 신고하여야 한다.

제 35조 (청산 재산의 처리) 본 회의 청산 잔여재산은 산림청장이 지정하는 국가, 지방자치단체 또는 유사목적을 가진 다른 비영리 법인에 귀속한다.

제 36조 (정관의 개정)

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

부 칙 (1996. 8. 9)

- ① (시행일) 본 정관은 산림청장의 허가 날로부터 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 재임 중인 임원의 임기는 2007년 2월 말일까지 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 재임 중인 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
- 부회장 : 김정환

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

| 전문위원 | 김철수, 배상원, 문일성, 조병훈

| 회사소속 정회원 (11명) | 김기남, 김정환, 김종찬, 박영규, 박성범, 변재경, 심중보, 이윤희, 최인규, 김윤경, 안효진

| 회사소속 일반회원 (2명) | 김소현, 문일성

| 일반회원 (41명) | 구창덕, 김경하, 김규현, 김석권, 김선경, 김성식, 김용석, 김재원, 김철수, 김춘식, 류주형, 류택규, 박병배, 박승종, 박재순, 박종해, 배상원, 서수안, 서호석, 성주한, 손요환, 송장호, 심우범, 안병영, 연정수, 오종환, 윤호중, 이동섭, 이대섭, 이창우, 장영기, 전현선, 조병훈, 조재형, 지성구, 최 경, 최명섭, 최형태, 홍인표, 홍의기, 황효태

주요 일지

연혁

- 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(경기도)
- 2019. 3. 11 임업소득분야 전문교육기관 지정(산림청)
- 2019. 3. 29 제7차 정관개정 승인
- 2019. 8. 13 산림형 예비 사회적기업 지정(산림청)
- 2019. 8. 26 초경량비행장치 사용사업 등록(서울지방항공청)
- 2021. 9. 16 농약 등의 약효·약해 시험연구기관 지정(농촌진흥청)
- 2022. 9. 16 사회적기업 인증(고용노동부)
- 2023. 2. 22 1997. 2. 21 제1차 정기총회 이후 2023년까지 제27차 정기총회 개최

주요 사업실적(1996년~2022년)

- 2022년 임상도 및 산림토양물지도 품질관리 '22
- AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축 사업 '22 : 학습데이터 25,000건

- 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, 창춘, 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(2006~2022) : 국유양묘장 29, 사유양묘장 15
 - 임지생산 능력급수도 현행화 및 임상·토양정보 활용모델개발 : 2012년 1건
 - 광릉숲 토양속성 및 공간분포 특성조사 1건
 - 광릉시험림 정밀 산림조사(산림기술경영연구소) 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

○ 외국 관련 용역

- 중국 서부지역(5개지역) 조림사업 PMC용역 1건
- 미얀마 중부지역 녹화시범단지 조성사업 1건
- 중국 북경지구 산림종합경영 시범사업 PMC용역 1건

○ 산림공간정보 구축사업

- 1:5,000 산림입지토양도 제작 : 2008년~2021년까지 5,118도엽(1,962,000ha)
- 1:5,000 임상도 현행화 : 2009년~2021년까지 자연적변화 4,489도엽, 인위적변화 19,894도엽
- 접경지역 임상도 감리 : 2013년 670도엽의 12%(81도엽)

○ '산지환경' 회지 발간 : 25회

○ 산림토양 세분류 조사 : 3년

○ 산양삼 생산적합성조사 시료채취 및 생산과정 확인 : 적합성조사 1,513건, 생산과정확인 3,491건

2022년 수행사업

○ 2022년 임상도 및 산림토양물지도 품질관리 [한국임업진흥원]

○ 국유양묘장 토양조사 [산림청]

○ AI기반 산림해충 방제지원 시스템 구축사업 [정보통신산업진흥원]

○ 2022년 소나무재선충병 무인항공기 예찰조사(영상분석) [한국임업진흥원]

○ 2022년 임산물소비촉진 공모사업 [산림청]

○ 우리나라의 주요 모암 및 해발고도별 산지적응이 강한 산양삼 품종 선발 [한국임업진흥원]

○ 조림 시험지 조성 관리 및 조림목 생육특성 조사 [국립산림과학원 산림기술경영연구소]

○ 전국 단위 현지조사를 통한 간벌 및 수확벌채가 산림탄소 저장에 미치는영향 구명 [한국임업진흥원]

○ 물리기반모델 산사태위험지도 운용을 위한 동적콘관입시험 조사 [한국치산기술협회]

○ 양주 회암사지 수목피해 원인진단 및 관리방안 수립용역 [경기도 양주시]

○ 청도 신화랑풍류마을 토양조사 및 분석 용역 [경상북도 청도군]

○ 강릉시 옥계면 남양리 산불 피해지 토양조사 및 조림 수종 선정 [산림기술사무소 사람과 숲]

○ 토양시료분석 [강원대학교, 대구대학교, 한성나무종합병원 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 약사	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	조현재 / 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 조성과 관리(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

이제한 / 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 복구지역의 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 임상도 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	
산림입지도양도(1:5,000)DB자료를 이용한 지역별 주요 산림입지 및 토양환경 분포특성	원형규 / 38
숲 치유센터의 주변시설 조성 연구	이현규 · 박홍수 · 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 십다	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	원형규 / 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	원형규 · 김문겸 / 131
산양삼 종자공급단지 조성사업(중부권역)	변재경 · 김용민 / 149
인삼 CYP716A53y2 유전자의 과발현과 발현 억제를 통한 ginsenoside 조성조절	박성범 · 천주현 · 반응욱 · 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 제도 개선을 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 부르템베르크주 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 조림지도 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 현 / 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
산림입지토양도의 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 산림입지토양도 제작 의의	정진현 / 129
4대강 유역의 신규 수변림 조성 적지 분석을 통한 2050 탄소중립 기반마련 연구	최인규·정양수 / 139
서식지 적합指數와 네트워크를 통한 도시 생태계 분석	김기남 / 146
부 록	
정관 및 주요일지	/ 157

산지환경

제26호

2023년 2월 인쇄
2023년 2월 발행

발 행 인 : 변재경
편집위원 : 김정환, 최인규

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
