



(사)한국산지환경조사연구회 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



주요 활동분야

- ▶ 산림입지토양도(1:5,000) 제작 사업
- ▶ 임상도(1:5,000) 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

- ▶ 연구회명 : (사)한국산지환경조사연구회
- ▶ 회 장 : 변 재 경
- ▶ 연혁
 - 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(신고번호B11-39525호)
 - 2011. 3. 엔지니어링활동주체 신고(신고번호12-000210호, 산림분야)
 - 2018. 7. 시험 검사 및 분석업 등록
 - 2019. 3. 임업소득분야 전문교육기관 지정
 - 2019. 8. 초경량 비행장치 사용사업 등록
 - 2019. 8. 산림형 예비 사회적 기업 지정
- ▶ 주 소 : 경기도 남양주시 진접읍 봉현로 42
- ▶ 전화번호 : (031)572-1678, 0063, 0127 팩스 : (031)572-7387
- ▶ 홈페이지 : <http://www.ksfer.or.kr> E-mail : ipji7387@hanmail.net





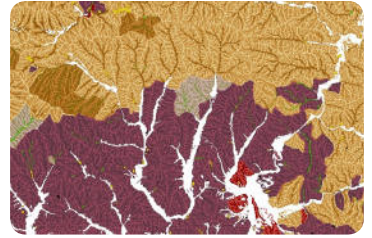
주요 사업실적

- ▶ 산림입지토양도(1:5,000) 제작
- ▶ 임상도(1:5,000) 현행화 구축 사업
- ▶ 국·사유 양묘장 토양조사
- ▶ 산양삼 종자공급단지 조성사업
- ▶ 산양삼 생산적합성조사 시료채취 및 생산과정 확인
- ▶ 산림수자원 유역시험지 정밀산림입지토양도 제작
- ▶ 수원함양림 임분 및 토양환경 실태조사
- ▶ 땅밀림 현장조사 대상지 GIS분석
- ▶ 산림공간정보 구축 효율화 및 개선방안 마련(토양시료분석)
- ▶ 소나무 재선충병 선단지 무인기 예찰 조사
- ▶ 소나무 재선충병 무인기 예찰조사 사업 감리 품질평가 용역
- ▶ 산림치유자원조사 용역
- ▶ 산지훼손 1차 일제조사 통계 불일치지역 현행화
- ▶ 생활권 수목 생육기반환경 평가를 위한 토양조사
- ▶ 산림입지조사(1:25,000) 및 입지도 제작
- ▶ 산림입지구획(항공사진 판독)
- ▶ 공원지역 토양조사(서울숲,경남경마공원,인천송도)
- ▶ 국유림 잡종재산 실태조사
- ▶ 국유림경영계획(산림조사)
- ▶ 임상도(1:5,000) 제작
- ▶ 중국북경, 서부, 미안마중부지역 산림종합경영 시범사업 및 조림사업 PCM 용역
- ▶ 산림과학원 시험림(광릉, 제주) 토양조사 및 도면제작
- ▶ DMZ 지역 산림토양 및 산지이용실태조사
- ▶ 녹색사업단 숲체험 교육사업
- ▶ 광릉시험림 공간분포 및 산림토양 특성
- ▶ 광릉시험림 정밀산림조사
- ▶ 기타 연구용역 (산림 훼손지 실태 및 건강 모니터링 등)
- '08~'19 : 1,524천ha(4,202도엽)
- '14~'19 : 자연적 변화 (2,859도엽)
인위적 변화 (13,338도엽)
- '06~'19 : 38지역 (국유 23, 사유 15)
- '17 : 중부권역(충주)
- '15~'18 : 생산적합성조사(1,513건) 및
생산과정확인(3,491건)
- '16~'19 : 13개 유역시험지
- '17~'18 : 309개소
- '18 : 전국 608개소
- '18~'19 : 산도(pH) 16,000점, 토성 10,650점
- '18 : 경기·강원도
- '19 : 전국 88,000ha
- '19 : 전국 10개소 27개 지점
- '19 충청북도 673도엽
- '19 : 서울숲 공원
- '96~'02 : 2,899천ha
- '96~'02 : 1,162천ha
- '09~'12 : 3지역
- '01~'02 : 2,877필지
- '00~'13 : 299천ha
- '09~'12 : 1,051도엽
- '00~'07 : 3지역
- '05~'07 : 2지역
- '05
- '14
- '14
- '15
- '00~'11 16건

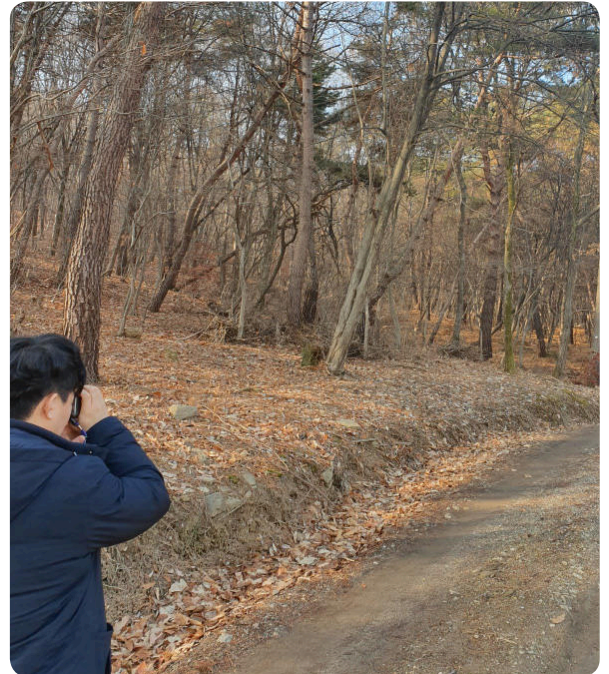
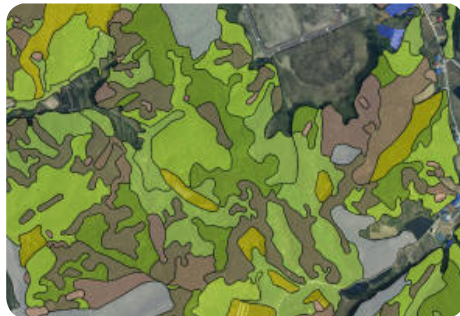
2019 한국산지환경조사연구회 주요활동

사업관련

▶ 산림공간정보 조사구축(산림청, 한국임업진흥원)

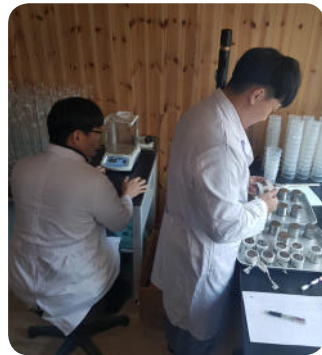
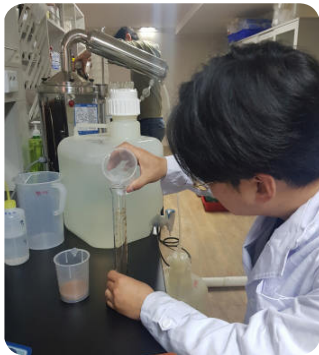


산림입지도양도 제작사업

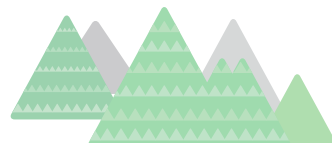


임상도 현행화 사업

▶ 산림정보 고도화를 위한 개선방안 및 실용화 용역(한국임업진흥원)



▶ 용문·화천 국유양묘장 토양조사(산림청)



2019 한국산지환경조사연구회 주요활동

- ▶ 소나무재선충병 무인기 예찰조사 사업 감리 품질평가 용역
(한국임업진흥원 재선충 모니터링 센터)



- ▶ 산림치유자원 조사 용역(국립산림치유원)



▶ 서울 숲 생활권 수목 생육기반환경 평가를 위한 토양조사(국립산림과학원)



▶ 전북지역 산림유량관측시설 및 관측장비 정기 점검(국립산림과학원)



2019 한국산지환경조사연구회 주요활동

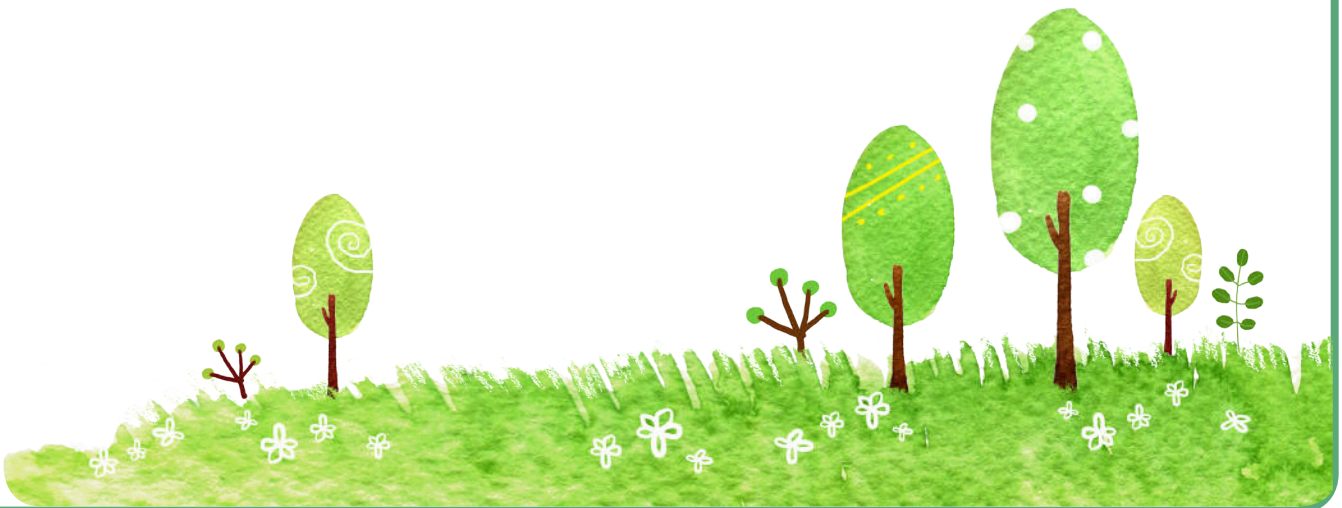
▶ 전남지역 산림수자원 유역시험지 정밀산림입지토양도 제작(국립산림과학원)



▶ 산지훼손 1차 일제조사 통계 불일치 지역 현행화(한국산지보전협회)



▶ 고양 창릉 공공주택 지구 산림 현황 조사(한국토지주택공사)



2019 한국산지환경조사연구회 주요활동

대내 · 외 활동

▶ 제23차 정기총회



▶ 종 · 실무식 및 우수사원 표창





2019 한국산지환경조사연구회 직원역량강화

▶ 교육훈련 참가(나무의사, 초경량비행장치)



▶ 산림공간정보 조사구축 착수보고 및 워크숍



2019 한국산지환경조사연구회 사업자격 취득 및 지정

▶ 임업소득분야 전문교육기관 지정



제 2019-4호

전문교육기관 지정서

전문교육기관	명 칭 (사)한국산지환경조사연구회
	주 소 경기도 남양주시 전접읍 동현로 42 2층
성 명	반재경
설치자 (대표자)	주 소 경기도 남양주시 별내3로 285 현대아이파크 1803동 503호
영년월일	1996. 02. 08
전화번호	031-572-1678
교육분야	임업소득분야
지정조건	

「임업 및 산촌 진흥촉진에 관한 법률」 제9조2 및 같은 법 시행규칙 제7조2제4항에 따라 위 전문교육기관을 임업소득분야 전문교육기관으로 지정합니다.

2019 년 3 월 11일

산 립 청 장

▶ 산림형 예비사회적기업 지정



산림형 예비사회적기업 지정서

지정번호 : 산림청 제2019-02호

지정유형 : 일자리제공형

기 관 명 : (사) 한국산지환경조사연구회

대 표 자 : 반 재 경

소 재 지 : 경기도 남양주시 전접읍 동현로 42(2층)
(사업자등록번호 : 132-82-03732)

지정기간 : 2019년 8월 13일 ~ 2022년 8월 12일(3년)

위 기업을 「산림형 예비사회적기업 지정 및 사회적기업 인증 추진을 위한 증명지침」에 따라 산림형 예비사회적기업으로 지정합니다.

2019년 8월 13일

산 립 청 장

▶ 초경량비행장치 사용 사업 등록



제2019-323호

☐ 소형항공운송사업
☐ 항공기사용사업
☐ 항공기정비업
☐ 항공기허급업
☐ 항공기대여업
☒ 초경량비행장치사용사업
☐ 항공레저스포츠사업

등록종

1. 상 호(법인명) (사)한국산지환경조사연구회

2. 성 명(대표자) 반 재 경

3. 영년월일(법인등록번호) 115221-0001820

4. 주 소(소재지) 경기도 남양주시 전접읍 정현리 627, 2층

5. 사 업 영 위 함명

6. 사 업 소 경기도 남양주시 전접읍 정현리 627, 2층

7. 등록연월일 2019. 8. 26.

「항공사업법」 제10조, 제20조, 제42조, 제44조, 제46조, 제48조 또는 제50조에 따라 위와 같이

☐ 소형항공운송사업
☐ 항공기사용사업
☐ 항공기정비업
☐ 항공기허급업
☐ 항공기대여업
☒ 초경량비행장치사용사업
☐ 항공레저스포츠사업

을 등록합니다.

2019 년 8 월 26 일

서울지방항공청장

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
부록	
정관 및 주요일지	171

발 간 사



안녕하십니까?

사단법인 한국산지환경조사연구회 회장 변재경입니다.

한국산지환경조사연구회의 창립 24주년을 맞이하여 『산지환경지』 제 23호를 발간하게 되었습니다.

한국산지환경조사연구회는 산림환경 보전과 지속가능한 산림경영을 위한 맞춤형 산림정보를 제공하여 대한민국 임업 발전에 기여할 목적으로 1996년에 설립된 산림청 등록 비영리 사단법인입니다.

지난 해에 우리 연구회는 설립 목적에 따라 산림공간정보 조사 구축 사업과 함께 국유 양묘장 토양관리 및 시비처방, 생활권 수목 생육기반환경 평가를 위한 토양조사, 산림수 자원유역 모니터링, 지역별 산림내 피톤치드 농도 및 공기질에 대한 치유자원 조사, 소나무재선충병 시료채취 및 감리용역 등 다양한 연구사업을 수행한 바 있습니다.

아울러 산림토양 조사와 진단에 기본이 되는 토양의 이화학성 분석장비 및 시설을 더욱 확충하여 명실상부한 전문기관의 모습을 갖추게 되었습니다. 앞으로도 이러한 분석장비를 활용하여 수목피해 원인의 과학적 진단과 토양개량 및 시비처방, 각종 산림분야 연구에 필요한 과학적 정보를 제공토록 하겠습니다.

저의 연구회는 1996년 설립 이후 매년 국·내외 임업분야의 정보와 기술동향을 모아 『산지환경지』를 발간하고 있습니다.

본 회지에서는 최근 이슈로 주목 받고 있는 드론을 활용한 소나무 재선충병의 관리와 방제법, 땅밀림 발생 우려지역의 고찰 및 계류 복원을 위한 환경조사에 대한 연구내용을 수록하였으며, 적절한 산림녹화를 위한 맞춤형 조림지도의 활용방안과 조림의 근간이 되는 스마트 양묘시스템, 산림토양과 관련된 산림토양분류, 산림토양탄소모델, 산림 물지도 제작에 대한 연구 및 세계 혼농임업의 동향 그리고 독일 산림발달형에 따른 숲관리 관련 내용을 담았습니다.

이와 같이 『산지환경지』에 질 높은 기술정보를 수록하여 발간할 수 있게 된 것은 관련 기관과 학계 전문가 분들의 애정 어린 관심과 격려 덕분이라고 생각합니다.

먼저, 산지환경지의 발간을 위해 산림청 박종호 청장님, 국립산림과학원 전범권 원장님, 한국임업진흥원 구길본 원장님의 신년사와 소중한 옥고를 보내주신 국립산림과학원 최형태, 조민석 박사님, 한국임업진흥원의 조현국 본부장님, 선주남 실장님께 감사 말씀을 드립니다.

또한 학계의 풍부한 지식과 경험을 바탕으로 기술정보를 보내주신 강원대학교 전근우, 김석우 교수님, 경남과학기술대학교 김춘식, 박재현 교수님, 고려대학교 손요환 교수님, 김형섭 연구원님과 공주대학교 서정일 교수님, 서울시립대학교 김경하 교수님, 충남대학교 박관수 교수님께 감사 말씀드립니다.

마지막으로 (사)한국수목보호협회 이승규 부회장님과 저희 (사)한국산지환경조사연구회 배상원 박사님께도 소중한 자료협조에 감사의 말씀을 드리며, 아울러 『산지환경지』 발간을 위해 애써주신 본 연구회의 편집위원과 직원 분들의 노고에도 고마움을 전합니다.

산림은 우리에게 무궁한 가능성과 희망을 줄 것입니다. 이를 위해 우리 연구회는 나무와 숲을 사랑하고, 산림 전반에 대한 높은 기술력을 가진 대한민국의 임업서비스 전문기관으로 자리매김 할 것입니다.

항상 저희 연구회를 아껴주시고 격려해주시는 모든 분들의 조언에 힘입어 발전하는 한국산지환경조사연구회가 되도록 최선의 노력을 다할 것이며, 모든 임업인 가정에 건강과 만복이 가득하시기를 기원합니다.

감사합니다.

2020년 2월

(사)한국산지환경조사연구회 회장 변 재 경

신년사

산림을 사랑하는 국민 여러분, 그리고 전국의 임업인과 산림공직자 여러분!

2020년 새해가 밝았습니다.

먼저 지난 한 해 동안 산림청에 보내주신 임업인과 국민여러분들의 관심과 성원에 깊은 감사의 말씀드리며, 새해에도 임업인과 국민 여러분들에게 희망을 드리기 위해 더욱 열심히 정진할 것임을 약속드립니다.

작년 한해 산림청은 현 정부의 전반기를 마무리 하면서 현 정부의 산림정책 마스터플랜인 내 삶을 바꾸는 숲! 숲속의 대한민국을 충실히 이행하는 한편 산림일자리창출, 산림복지 증진 등 국정과제를 차질 없이 추진하기 위해 최선을 다했습니다.

산림일자리발전소를 통해 자생력 있는 산림분야 고유의 일자리 생태계를 확산하고, 나무의사·목재교육전문가·산림레포츠지도사 등 신규자격제도 운영을 위한 제도적 장치를 더욱 강화하였습니다.

또한, 경제림에 산림사업을 집중하여 우량목재 생산을 확대하고, 임업경영체 등록제도 도입·임업인을 위한 예산 확대 등 임업인에 대한 지원을 강화하였습니다.

아울러, 국민들에게 보다 나은 산림복지서비스를 제공하기 위해 산림복지 인프라를 확대하고 미세먼지 저감을 위한 도시숲도 확충하였습니다. 그리고, 강원도 대형산불에 총력 대응하여 산불을 조기에 진화하는 등 산림재해로부터 국민의 생명과 재산을 지키기 위해 고군분투하였습니다.

국제사회에는 산림을 통해 접경국가 간 신뢰를 쌓아 평화를 만들어내는 평화산림이니셔티브를 제안하였으며, 고성에 평화양묘장을 조성하고 새산새숲 캠페인을 추진하는 등 남북산림협력도 착실하게 준비하였습니다.

존경하는 국민 여러분, 그리고 임업인과 산림공직자를 비롯한 전국의 산림가족 여러분!

2020년! 산림분야를 둘러싼 여건은 녹록치 않지만 희망과 발전가능성은 존재합니다. 임업의 경영여건은 열악하지만 산림자원의 성숙과 청정임산물의 수요증가는 임산업 발전의 기회요인이 될 것이며 스마트 임업과 같은 새로운 시도와 혁신적인 경영은 임산업

에 활력을 불어 넣을 것입니다.

산촌의 인구는 감소하고 있지만 산림일자리발전소를 통해 다양한 산림자원을 활용한 지역 일자리가 생기고 있고 지역에서 활동하는 전문매니저들은 산촌에 희망을 싣고 있습니다.

한편, 국민들은 산림을 통해 삶의 질을 개선하고 산림이 주는 다양한 공익적 가치를 더욱 높여 줄 것을 바라고 있습니다.

지난해 산림청은 ‘사람 중심의 산림정책’의 틀을 견고하게하고 국민적 공감대를 형성하는데 주력하였습니다.

올해는 산림청의 기본적이면서 가장 중요한 사명을 철저하게 이행하는 한편 임산업을 미래 산업으로 개편하기 위한 기반을 구축할 것입니다.

아울러, 산림정책에 대한 투자도 임업인을 비롯한 사람에 집중하고 산림이 주는 가치를 보다 많은 사람들이 누릴 수 있도록 ‘사람 중심의 산림정책 혁신’을 가속화하겠습니다.

이러한 맥락에서 산림청이 올해 역점적으로 추진하고자 하는 사항에 대해 몇 가지 말씀드리고자 합니다.

첫째! 임업의 기본을 탄탄하게 하고, 사람중심의 산림관리 체계를 국내·외로 확산하겠습니다.

경제림육성단지 재편과 「산림자원법」 전부개정 등을 통해 산림자원 정책의 제도적 기반을 탄탄하게 하여 현세대뿐 아니라 미래세대가 활용할 수 있도록 사람중심의 산림관리체계를 만들겠습니다.

또한, 산림정책의 최우선 고객인 임업인을 위한 제도적 지원을 강화할 것입니다. 임업은 자본회수 기간이 긴 반면 수익성이 낮아 임업인들은 안정적인 운영자금 확보에 어려움을 겪고 있습니다. 임업인들이 안정적으로 산림경영 자금을 확보할 수 있도록 '20년 전문임업인 융자금 618억원을 운영할 것입니다. 또한, 임업직불제·분할형사유림 매수 등 임업인을 위한 제도 도입을 위해 관계부처와 긴밀히 협의하겠습니다.

아울러, 국제사회에도 사람중심의 산림관리 체계를 확산할 것입니다. 우리나라가 국제사회에 제안한 평화산림이니셔티브를 확산하기 위해 에티오피아와 시범사업을 추진하고, 아시아 산림협력기구와 함께 산림분야 신남방·신북방 정책을 속도감 있게 추진하겠습니다.

둘째! 현장에 활력을 불어넣고 좋은 일자리 창출에 매진하겠습니다.

먼저, 기업·현장 애로 규제를 발굴하고 개선하여 산림현장 전반에 활력을 제고하겠습니다.

또한, 소비자 중심으로 목재 유통체계를 개선하고, ‘한목(韓木)’ 브랜드화로 국산목재 이미지를 제고하여 소비를 촉진하는 한편 목재관련 정보를 통합하여 제공하는 ‘목재정보 서비스’를 신설하여 소비자의 접근성도 강화할 계획입니다.

아울러, 1인 가구 증가 등 달라진 소비여건과 청정임산물 수요에 부응하기 위해 청정 임산물 생산기반시설을 규모화하고 지역특화 임산물을 중심으로 편리하고 안전한 유통 체계를 확립할 것입니다. 아울러, 수출확대 및 1인 가구를 고려한 소비 촉진 방안도 강구하겠습니다.

이와 함께 산림분야에서 좋은 일자리도 창출하겠습니다. 산림일자리발전소를 통해 지역중심의 산림비즈니스 모델을 확산하고 산림레포츠지도사·목재교육전문가·나무의사 등 신규 자격제도를 운영하고 현장에 속히 정착시키겠습니다.

셋째! 임산업의 혁신동력, 스마트 임업을 실현하겠습니다.

우리나라의 강점인 정보통신기술과 임업기술을 접목하고, 신산업 육성을 위한 제도적 기반이 만들어진다면 임산업의 혁신동력이 창출되고 산림분야는 재도약 할 수 있을 것입니다.

우선, 드론·ICT·빅데이터 등 첨단기술을 적용한 스마트 임업을 실현하겠습니다. 스마트 양묘장을 확대하고 드론을 활용한 산림사업 관리기술을 개발하여 생산성을 높이는 한편 산불·산사태·산림병해충 등 산림재해도 스마트하게 예방하겠습니다.

그리고, 관계부처와 협의하여 산림관광 및 석재산업을 활성화하기 위한 법령을 정비하고 그린바이오산업의 핵심 소재인 산림생명자원의 안정적인 공급과 재배기술 개발을 위해 산림바이오 혁신성장 거점을 조성할 것입니다.

아울러, 임업기술과 4차 산업혁명 핵심기술을 접목하는 기술을 개발하고, 산림 바이오 헬스 R&D를 발굴하는 등 연구개발도 강화하겠습니다.

넷째! 국민 누구나 체감하도록 산림복지의 포용성을 강화하겠습니다.

먼저, 국민 삶의 질을 높이기 위해 도시숲·정원 등 생활밀착형 숲을 확대하고 미세먼지 대응을 위한 바람길 숲 차단숲도 지속적으로 조성하여 쾌적하고 안전한 생활환경을 구현하겠습니다.

그리고, 국민여러분들이 생활권 가까이에서 산림교육·치유·산림레포츠 등 산림복지서비스를 누릴 수 있도록 인프라 및 프로그램을 확대해 나가겠습니다.

이와함께 배려가 필요한 취약계층을 대상으로 하는 산림복지서비스 바우처를 확대하고 미이용자를 우선 선발하는 합리적인 기준을 적용하여 공정하게 관리할 것입니다. 아울러, 현재 운영 중이거나 신규 조성 중인 국립산림복지시설에 유니버설 디자인을 적극 도입할 계획입니다.

또한, 자연친화적인 수목장림을 조성·운영하기 위해 보건복지부와의 협업을 강화하고 생활권 주변의 묘지를 소규모 수목장림으로 전환하는 시범사업도 추진하겠습니다.

다섯째! 생태적으로 건강하고 산림재해 걱정없는 안전한 산림을 만들겠습니다.

백두대간, DMZ일원, 도서·해안지역 등 핵심 산림생태축 관리를 강화하고 훼손된 산림을 복원하여 산림생태계의 건강성을 높이는 한편 산림생물다양성 보전을 위해 기후대별 수목원을 확충해 나가겠습니다.

아울러, 소나무 재선충병은 올해 4월까지 피해목을 전량 제거하고, 훈증더미 이력관리 및 이동단속을 강화하여 소나무 재선충병의 인위적인 확산을 철저히 예방 할 것입니다.

그리고, 대형산불이 발생하지 않도록 철저히 예방하는 한편 산불발생 시 신속한 초동 대응으로 인명·재산 피해를 최소화하겠습니다. 또한, DMZ산림항공관리소를 신설하여 산불진화의 사각지대를 없애겠습니다.

산사태는 취약지역에 대한 선제적인 예찰과 사방사업을 실시하여 국민의 생명과 재산을 안전하게 보호하고 산사태 발생 시 원인조사단을 현장에 파견하여 신속하게 피해지를 복구하겠습니다.

끝으로, 남북산림협력은 남북관계 발전의 마중물 역할을 할 수 있도록 남북산림협력센터 및

양묘장 운영 등을 착실하게 준비하고 남북관계 개선 시 기존의 합의사항을 단계적으로 이행해 나가도록 하겠습니다.

존경하는 임업인 여러분, 그리고 국민여러분!

올 한해, 산림청 공직자 모두는 임업인·국민여러분들과의 소통을 강화할 것입니다. 기초를 탄탄히 다지는 산림행정, 형식보다는 실리를 우선하는 산림행정으로 임업인과 국민여러분들께서 체감할 수 있는 삶의 변화를 만들기 위해 부단히 노력하겠습니다.

올 한해도 산림행정에 대한 여러분의 지속적인 관심과 협조를 부탁드립니다, 새해를 맞아 여러분과 여러분의 가정에 건강과 행복이 가득하시기를 기원합니다.

감사합니다.

2020. 1. 1.

산림청장 박 종 호

신년사

존경하는 국립산림과학원 가족 여러분!

국립산림과학원은 새해에도 산림과학 지식과 기술의 싱크 탱크로서 그 역할을 더욱 공고히 하고 국민과 임업인의 다양한 의견에 귀 기울여 산림과학 연구 혁신을 흔들림 없이 추진하고자 합니다.

첫째, 7대 프로그램 개편에 따른 중장기 기술개발계획의 충실한 이행을 위해 역량을 집중하겠습니다.

우리는 세계가 인정하는 제조업 성공국가입니다. 하지만 최근에는 이를 넘어 산림자원을 바라보는 새로운 시각이 필요한 때입니다. 산림산업 전체를 하나의 순환계로 보아야 하며, 목재의 생산과 이용, 소비가 하나로 연결된 사람 중심의 산림자원 선순환경제를 구현하기 위해 필요한 관련 연구를 꼼꼼히 준비하고 수행하여야 합니다.

이를 위해 각각의 프로그램이 추구하는 목표를 연구자 개개인이 명확히 파악하고 문제 해결을 위해 필요한 연구들이 무엇인지, 그리고 올바른 방향으로 진행되고 있는지를 객관적 시각에서 수시로 점검해 주시기 바랍니다.

저 역시 끊임없이 외부 상황 변화를 파악하고, 연구진들과 허심탄회한 소통을 통해 방향을 제시함으로써 실무자들이 혁신을 가지고 본연의 업무에 몰입할 수 있도록 지원하겠습니다.

둘째, 국민과 국가의 니즈를 해결하는 실용연구를 수행하겠습니다.

우리는 상상이 현실이 되는 첨단 4차 산업혁명 시대를 살아가고 있지만, 도처에 만연한 국제·사회·환경적 문제의 해결책은 바로 숲에서 찾을 수 있습니다.

재난과도 같은 기후변화, 미세먼지 등의 환경 문제뿐만 아니라 산불, 산사태와 같은 자연재해로부터 국민의 안전과 재산을 지키는 일, 한반도를 평화와 번영으로 이끌 남북 산림협력까지 우리가 직면한 까다로운 문제를 풀어낼 수 있는 가장 중요한 열쇠가 바로 산림에 있다고 확신합니다.

이러한 해결책을 마련하기 위해 산림과학연구가 가장 먼저 앞장서야 하겠습니다. 생활 밀착형 도시숲 모델 개발, 산림 훼손 등 산림 모니터링 및 산림 복구 시스템 개발, 산림재해의 예측 정확성 및 대응력 향상 등 다양한 사회적 요구에 빠르고 정확하게 대응해야 함

니다. 아울러 남·북간 산림협력이 적재적소에서 빛을 발할 수 있도록 철저히 준비하겠습니다.

셋째, 국민과 임업인, 산림과학원 가족 여러분의 목소리에 귀 기울이겠습니다.

모든 해결책은 현장에 있다는 마음가짐으로 우리는 소통을 최우선에 두고 이해당사자인 산주, 임업인의 소리에 귀 기울여야 하겠습니다. 현장과 끊임없는 소통을 통해 문제의 핵심을 꿰뚫고, 이를 해결하기 위한 연구를 발굴해 국가와 국민이 체감할 수 있는 실질적 성과를 창출하도록 최선을 다하겠습니다.

또한, 국민과 임업인의 눈높이와 요구에 맞춰 빠르고 정확하게 대응할 수 있도록 원장인 저부터 언제 어디에 있든 소통하고 소중한 의견에 귀 기울이려 노력하겠습니다. 내부적으로는 상하 간, 부서 간, 내부구성원 간 자연스럽게 소통하며 창의적이고 가치 있는 연구성과를 얻을 수 있도록 협력을 이끌어내겠습니다.

사랑하는 임업인, 그리고 국립산림과학원 가족 여러분!

‘숲’은 끊임없이 새로운 가치를 생산하는 ‘지속가능한 자원’으로서 오늘날 우리가 직면한 다양하고 복잡한 문제를 해결할 수 있는 답을 가지고 있습니다.

산림이 내포한 가치는 점차 그 스펙트럼을 넓혀 국민의 현재와 미래를 포용한 ‘삶의 숲’으로 변화하고 있습니다. 이 모든 과정에 국립산림과학원의 연구와 노력이 늘 함께 할 것입니다. 앞으로도 우리 산림에 주어진 소중한 기회를 놓치지 않고 국민 행복에 기여하는 산림을 만드는데 최선의 노력을 다하는 국민의 연구기관이 되겠습니다.

산림자원을 활용한 새로운 가치창출을 위해 최선의 노력을 다할 것을 여러분께 약속드리며, 지속적인 관심과 협조를 부탁드립니다.

여러분과 여러분의 가정에 항상 건강과 행복이 가득하기를 기원합니다.

감사합니다.

2020. 1. 1.

국립산림과학원장 전 범 권

신년사

존경하는 임업인, 그리고 국민 여러분!

2020년 경자(庚子)년의 새 아침이 밝았습니다.

우리 진흥원은 ‘공공 혁신’ 및 ‘사회적 가치 실현’이라는 대외요구에 부합하고자, 새로운 경영방침으로 ‘사람중심 경제’, ‘일자리중심’, ‘사회적 가치’, ‘안전·책임 경영’이라는 정책기조를 담은 장기발전방안을 수립하고, 이를 임업현장에 깊이 녹여들도록 ‘임업현장 고객중심 사업실행’에 만전을 기울이고 있습니다. 새해에는 임업이 산촌에는 활력을, 임업인에게는 희망을, 국민에게는 행복을 주는 작은 원동력이 될 수 있도록, 더욱 현장 실행기관으로서의 서비스 정신 고취에 매진하고자 합니다.

첫째, 우리원의 법정사업인 목재제품과 산양삼에 대한 ‘임산물품질인증’을 고객의 입장에서 더 친절하고 신속하게 추진되도록 하겠습니다. 또한 관련 합법목재교역제도, 시험인증 컨설팅, 작년부터 확대된 임업기계장비 품질인증 및 산림작업자 안전교육지원등도 고객중심으로 서비스를 강화하겠습니다.

둘째, 작년에 수립한 ‘임업기술현장교육 기본계획’을 바탕으로 임업인 전문 교육시설 등 인프라 조성 및 민간 전문가 육성을 위한 다양한 교육과정과 자격제도 운영도 확대해 나가겠습니다.

셋째, 임업소득지원사업의 효율성과 고객만족도를 높이고, 작년에 선도사업으로 리모델링한 ‘청정숲푸드’ 인정사업을 제도화하며, 임산물이 국민의 먹거리로서 최고로 인식될 수 있도록 힘쓰겠습니다.

넷째, 기 수립된 ‘중소목재산업육성기본계획’에 입각하여 영세 목재산업에 대한 현장 지원서비스도 강화하겠습니다. 국산목재 이용 증진제도, 목재제품 신기술 지정 활성화, 폐목재이용증진 등의 다양한 정책사업들의 현장 실효성을 높이는데 중점을 두도록 하겠

습니다.

다섯째, 획기적으로 증가하고 있는 농임업인 일자리가 양적 성장을 지속하면서, 질적으로도 개선되도록 하고자 합니다. 특히 '산림형사회적경제기업'의 지속적 발굴·육성 및 지역공동체 중심의 산촌 활성화에 만전을 다하겠습니다.

여섯째, 임업 지원기반을 더욱 공고히 하고, 임업의 4차산업혁명을 선도하겠습니다. 임업인 눈높이에 맞춘 R&D 사업관리와 우수기술보급, 유통서비스 혁신에 앞장서겠습니다. 또한, 산림공간정보사업의 지속적 혁신, 임업통계사업의 고객중심 추진, 산림빅데이터플랫폼 내실화 등 임업의 혁신성장을 견인하겠습니다.

이를 위해, 한국임업진흥원은 산림청, 임업인 및 국민을 잇는 튼튼한 다리가 되어 더불어 상호교감하고 조율하며, 실패를 두려워 하지 않는 창의적인 조직문화를 함양하고, 젊은 미래인재육성에도 최선을 아끼지 않겠습니다.

단 맛은 다른 맛과 조화되고, 흰색은 다른 색과 잘 섞인다는 수화수채(受和受采)의 뜻을 가슴에 새기고, 겸손을 다하여 경청하며 다가가겠사오니, 우리 임업의 미래를 위해 아낌없는 조언과 격려를 부탁드립니다.

한 해 동안 매일 매일 새날이 되시고, 가정에 건강과 '임업예찬만복래'를 기원합니다. 감사합니다.

2020. 1. 1.

한국임업진흥원장 구 길 본

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

김 춘 식
경남과학기술대학교 산림자원학과 교수

I. 서론

세계 여러 나라의 토양분류체계는 토양 생성 요인이나 토양의 형태적 특성을 강조하여 분류하고 있으며 현재까지 국제적으로 통일된 안은 없으나, 세계 산림토양자원에 대한 보다 정확한 이해를 위해 1970년대에 두 가지의 국제 토양분류체계가 나타났으며, 하나는 미국에서

Soil Survey Staff가 제안한 Soil Taxonomy와 FAO/UNESCO에 의해 제안되어 추후 World Reference Base for Soil Resources(WRB)로 발달하게 되는 토양분류체계가 현재 광범위하게 사용되고 있다. USDA의 Soil Taxonomy와 FAO가 가장 널리 사용되고 있다(표 1). 그러나 이러한 토양분류체계와 분류단위는 나라별로 큰 차이를 보이기 때문에 Soil Taxonomy 및

표 1. 미국과 FAO 토양분류체계

국가, 기관	토양분류 체계	명칭	토양분류단위(고차-저차)	최종 수정년도	비고
미국	포괄적(형태적)체계 (Comprehensive Soil Classification System)	Soil Taxonomy	Order(목) - Suborder(아목) - Great group(대군) - Subgroup(아군) - Family(속) - Series(통)	2014	12목, 680목, 444대군, 2500아군, 8000속, 25000통
FAO	세계 각국의 토양분류체계와 Soil Taxonomy 분류체계를 기반	WRB(World Reference Base for Soil Resources)	Reference Soil Groups(토양군) - Principle qualifiers(토양아군)	2015	32토양주군, 1529 토양아군, 저차단위는 각국의 실정에 따름

WRB와 호환성을 위한 연계방안이 세계 여러 나라를 중심으로 진행 중이다.

II. 본론

1. 미국의 토양 분류기준 (USDA Soil Taxonomy)

미국 토양분류의 경우 포괄적 분류체계 (Comprehensive soil classification system)를 채택하고 있다. 토양생성 기작보다는 객관적으로 관찰되거나 측정 가능한 토양특성에 기반을 두고 있으며, 라틴어와 그리스어에서 유래

된 음절의 조합을 바탕으로 토양의 주된 특성을 함축할 수 있는 명명법(Nomenclature)을 가지고 있다. 1960년 이전에는 구 분류의 경우 토양을 자연체로 보는 개념으로 목, 아목, 대토양군, 속, 통, 구, 상 등 7개의 분류단위로 구성되었던 반면에, 1975년 발표된 토양 단면의 형태적 특성을 강조하여 분류한 새로운 토양분류체계인 Soil Taxonomy는 현재 세계적으로 가장 널리 이용되고 있다. Soil Taxonomy 분류단위는 목 (Order), 아목(Suborder), 대군(Great group), 아군(Subgroup), 속(Family), 통(Series)이며 현재까지 12개의 토양목이 분류되었다(표 2).

표 2. Soil Taxonomy에서 목(Order)의 특징(Soil Survey Staff 2015; 국립농업과학원 2011)

토양목	발음 및 조어요소	특징	대표 식생 또는 지역
Alfisols	<u>Pedalf</u> er	점토가 용탈되어 B층에 집적될 정도의 충분한 강수가 발생하는 지역	온대침엽수, 혼효림, 활엽수림
Andisols	<u>Ande</u> sites	화산분출물에 의해 잘 발달된 토양단면	열대우림, 몬순림, 건조지 산림
Aridisols	<u>Arid</u>	용탈이 거의 발생하지 않은 건조지역	건조지
Entisols	<u>Recent</u>	미발달된 토양단면	온대침엽수, 혼효림, 활엽수림
Gelisols	<u>Jelly</u>	영구동토대 존재	동토대, 한대림
Histosols	<u>Histo</u> logy	유기물함량이 높고 산소함량이 낮음	이탄토 지역, 습지, 한대림
Inceptisols	<u>Incepti</u> on	토양단면 발달 빈약	온대침엽수, 혼효림, 활엽수림, 한대림, 열대우림, 몬순림, 건조지 산림
Mollisols	<u>Mollifi</u>	50% 이상 염기포화도와 깊고 검은 색의 A층	초지, 일부 활엽수림
Oxisols	<u>Oxide</u>	낮은 점토함량과 극심한 용탈	열대우림, 몬순림, 건조지 산림
Spodosols	<u>Podzol</u>	E층이 존재하고 산성화된 B층과 지표면에 유기물 축적	춥고 습윤한 침엽수림, 한대림
Ultisols	<u>Ultimate</u>	B층은 점토가 풍부하고 염기포화도가 낮음	온대침엽수, 혼효림, 활엽수림, 열대우림, 몬순림, 건조지 산림
Vertisols	<u>Invert</u>	팽윤성 점토가 30% 이상이며 건조가 지속될 경우 토양 균열 발생	건기와 우기가 뚜렷한 지역

표 3. 감식(진단)표층(epipedon)의 특징(Soil Survey Staff 2015, 국립농업과학원 2011)

Epipedon	층위	특징
Mollic	A	두껍고(>25cm), 암색의 염기포화도가 50% 이상이며, 토양구조가 잘 발달된 토양
Umbric	A	염기포화도가 낮다는 것을 제외하고는 mollic 표층과 유사함
Ochric	A	두께가 얇고 담색이거나 유기물 함량이 너무 낮아 mollic층과 umbric 층이 될 수 없는 층
Melanic	A	표토 30cm 범위에 유기물 함량이 높아 색이 매우 검은 광질 층위로 화산재에서 발달한 알로펜 같은 광물 함량이 높음
Histic	O	광물질 토양 상층에 유기토양 물질이 20~60cm 두께로 집적된 층위

표 4. 몇가지 감식(진단)차표층(subsurface horizon)의 특징(Soil Survey Staff 2015, 국립농업과학원 2011)

Horizon	층위	특징
Argillic	Bt	상부의 층으로부터 이동된 규산질 점토가 차표층에 축적된 층
Cambic	Bw	변질된 층위, 토색의 변화 및 탄산염의 제거
Kandic	Bt	저활성의 규산염 점토(kaolinite)가 축적
Oxic	Bo	고도로 풍화되고 Fe와 Al 산화물 함량이 매우 높음
Albic	E	점토와 Fe와 Al의 산화물 함량이 낮은 담색의 용탈층위
Salic	Bz	염류의 집적
Sombric	Bh	유기물 집적
Agric	A, B	경작층 아래 생기는 유기물과 점토의 집적층
Fragipan	Bx	쉽게 파쇄되는 양토 계열의 층
Gypsic	By	석고 집적층

가. 감식(진단) 표층 및 감식 차표층

토양을 분류할 때 토양단면에 존재하거나 존재하지 않은 특정한 층위를 감식(진단)층위라 하고 표토(surface)에서 나타나는 특징(표 3)을 감식표층(epipedon), 심토층(subsurface)에서 나타나는 감식(진단) 층위를 감식 차표층이라 한다(표 4).

나. 토양 수분 및 온도상

토양 수분상은 수분으로 포화된 조건(대개 지하수), 또는 일 년 중 특정 시기 동안 가용수분과 수분이 포화되는 조건의 존재 여부를 나타낸다. 우리나라 산림토양의 토양수분이 식물에 필요한 양을 충족할 정도로 연중 충분히 높은 상태인 Udic에 속한다. 토양온도상은 토양 깊어

50cm에서 측정한 토양 온도를 기준으로 우리나라 산림토양은 8~15℃ 범위의 Mesic이다.

다. 아목 이하 저차 분류

아목은 토양 생성적인 면에서 목과 동질성을 갖도록 세분한 것으로 배수상태, 기후나 식생, 토성, 화학적 광물학적 성질 등을 포함한다. 대군은 여러 가지로 분화된 토층과 기타 성질을 근거로 하여 점토, 철, 부식의 축적 및 반층(pan)의 유무와 토양의 수분 상태, 토양 온도, 염기(bases)의 함량, 기타 진단층의 유무 등을 반영하며 아목 앞에 성어 요소를 붙여 대군의 이름을 만든다. 대군은 세 가지의 아군으로 세분되며, 대군을 가장 잘 나타내는 중심적인 토양(Typic)과, 다른 목, 아목, 또는 대군이 가지고 있는 성질을 약간 공통적으로 소유하고 있는 토양, 다른 대군과 공통점이 없는 토양으로 세분된다. 전형적인 아군일 경우 Typic을 붙이며, 다른 대군의 성질도 가지고 있을 경우에는 성어 요소를 형용사화하여 대군의 앞에 쓴다. 속은 식물생장에 있어서 중요한 토양 성질인 토성, 광물학적 조성, 토양 온도, 토양 반응 등과 그 지역의 강수량, 침투율, 토층의 두께, 구조, 전지성 등도 표시된다. 통 범주는 분류체계의 가장 구체적인 단위로 토양생성작용과는 관련이 없으며, 그 통이 처음 조사된 곳의 지명, 강, 호수 등을 나타낸다.

2. WRB/FAO 토양분류체계

FAO/WRB 토양분류체계는 세계토양자원의 토지이용 및 토양관리기술의 이전을 용이하게 하기 위해 토양분류단위를 세계 수준에서 비교하고 대비할 수 있도록 FAO와 UNESCO가 1961년 공동 작업으로 착수하여 1974년에 발표한 것이다. 고차분류단위는 USDA Soil Taxonomy의 목 및 아목과 구소련 토양분류체계의 토양형을 기반으로 하고 있다. 1974년 발표된 최초 분류에서는 세계 토양을 26개 토양군으로 분류하였으나 1988년에 보완된 FAO/UNESCO 토양도에서는 감식층위의 존재여부에 의해 28개 주요 토양군(Major soil groups), 153개 토양단위(Soil units)로 분류하였다. 그 후 FAO의 토양도 범례 기준과 국제 토양자원 분류 기준(International Reference Base of Soil Classification)을 통합 조정하여 1998년에 세계토양자원 분류 기준(WRB: World Reference Base for Soil Resources)을 발표하였다. 1998년 발표 당시 세계 토양을 30개 토양군으로 분류하였으며 2006년 Technosols와 Stagnosols을 추가하여 현재는 32개 토양군(Reference soil group)으로 분류되었다(표 5). 2014년에 다시 Albeluvisols을 Retisols로 변경하여 현재 작도단위는 32개 토양군(Reference Soil Group)과 1,529개 아군(Principle qualifiers)으로 구성되어 있다(IUSS Working Group WRB 2015).

표 5. WRB Reference Soil Groups와 코드(IUSS Working Group WRB 2015, 현병근과 이덕배 2015)

특징	Reference soil group	Code
1. 두꺼운 유기물층을 가지는 토양	Histosols	HS
2. 인위적인 영향력을 받은 토양 장기간 집약적인 농업적으로 이용된 토양 상당량의 인공물이 포함된 도시지역 토양	Anthrosols Technosols	AT TC
3. 뿌리생장에 제한을 받는 토양		
영구동토대의 영향아래 있는 토양	Cryosols	CR
>2mm 이상의 석력이 많은 토양	Leptosols	LP
교환성 Na+ 함량이 높은 토양	Solonetz	SN
우기-건기 기후조건 아래 수축과 팽창형 점토를 가지는 토양	Vertisols	VR
가용성 염류가 높은 토양	Solonchaks	SC
4. Fe/Al의 특성이 뚜렷한 토양		
지하수나 조수의 영향을 받는 토양	Gleysols	GL
알로판이나 알로판-부식 복합체 토양	Andosols	AN
부식의 심도층 집적	Podzols	PZ
Fe가 집적되거나 재분포된 토양	Plinthosols	PT
저활성 점토, P 고정, Fe 산화물이 많은 토양	Nitisols	NT
고령토가 우세한 토양	Ferralsols	FR
물의 정체로 인하여 토양입경분포에 급격한 변화가 있는 토양	Planosols	PL
물의 정체로 인하여 토양구조나 토양입경분포의 차가 발생한 토양	Stagnosols	ST
5. 표토층에 유기물의 뚜렷한 유기물 집적 암흑색의 표층과 2차 탄산염을 가지는 토양 흑색의 표층과 2차 탄산염을 가지는 토양 흑색의 표층과 2차 탄산염은 존재하지 않으나 높은 염기포화도 흑색의 낮은 염기포화도	Chernozems Kastanozems Phaeozems Umbrisols	CH KS PH UM
6. 수용성 염이나 비염류성 물질의 축적 2차 규산염 점토가 집적되거나 고결화된 토양 2차 석고가 집적된 토양 2차 탄산염이 집적된 토양	Durisols Gypsisols Calcisols	DU GY CL
7. 심토에 점토가 풍부한 토양		
세립질의 강한 토색을 가지는 토양단면에 조립질의 밝은 토색을 가지는 입자가 끼어 들어가 있는 토양	Retisols	RT
저활성 점토, 낮은 염기포화도	Acrisols	AC
저활성 점토, 높은 염기포화도	Lixisols	LX
고활성 점토, 낮은 염기포화도	Alisols	AL
고활성 점토, 높은 염기포화도	Luvicols	LV
8. 미분화되거나 약간 발달한 토층을 가지는 토양 토층이 적절하게 발달 모래 토양 바다나 호수유래 퇴적물 토양 토양생성 층위가 미발달 토양	Cambisols Arenosols Fluvisols Regosols	CM AR FL RG

3. 한국 산림토양분류

우리나라 산림토양은 주로 화강암과 화강편마암에서 유래된 모암으로부터 생성되어 대부분 모래함량이 많은 사질토이면서 토양 pH가 낮은 산성토양의 특성을 보인다. 온대 대륙성 기후에 속하며 경사지가 많고 여름철 장마기 동안 집중호우 발생이 빈번하여 토양침식과 유실이 심하며 토심이 얇으나, 산록 하부의 경우 봉적되어 토심이 깊게 나타난다. 오랜 기간 동안 식생의 도·남벌, 낙엽층 제거 같은 인위적 교란이 심하였기 때문에 산림 내 정상적인 물질순환이 불량하여 토양단면 발달이 빈약하고, 토양유기물 함량이 낮은 척박한 지역이 많다. 또한 한서의 차가 뚜렷하고 증발산량이 많기 때문에 건조한 토양이 되기 쉬운 조건을 가지고 있으며, 지형에 따라 토양수분 조건이 다르게 나타나 산정 부근은 건조, 산복은 약건, 산록 하부는 적윤이나 약습을 보이는 경우가 많다. 토양 성숙 정도는 토양단면 발달 단계에 따라 구분하기도 하는데 미국 USDA Soil Taxonomy에 따르면 초기단계인 잉태기 토양을 Entisols, 미숙한 토양을 Inceptisols, 성숙한 토양을 Alfisols, 후기단계인 쇠약한 토양을 Ultisols 등으로 구분하는데, 우리나라 산림토양의 경우, 초기 토양 발달 단계인 Inceptisols과, 층위발달이 빈약한 Entisols이 많이 분포하여 전체적으로 미숙토양

이 주종을 이루고 있다(박수진 등 2010).

토양분류의 경우 농지, 산지, 초지 등에 대하여 하나의 토양분류 기준을 적용하는 국가가 많지만 우리나라의 경우 독자적인 3단계 산림토양분류체계를 수립하여 현재 8개 산림토양군(가장 광범위한 범주), 11개 산림토양아군, 28개 산림토양형(가장 세부적인 범주)으로 분류하고 있다(표 6). 우리나라 산림토양분류는 생성학적 분류보다는 토양단면의 형태적 특성에 기반을 두고 있으나 산림생산력과 밀접한 관련이 있기 때문에 실용적 목적분류 체계와 유사하다. 모암으로부터 유래한 토색이나 지형에 따른 수분조건 변화를 중시하였으며 화강암과 편마암모재로부터 유래된 갈색산림토양군, 석회암모재의 암적색산림토양군, 혈암이나 사암모재의 암적갈색산림토양군, 현무암모재나 화산재가 포함되는 화산회산림토양군 등과 같은 산림토양군이 있다. 산림토양형의 경우 Soil Taxonomy의 Udic 수분영역에 속하고 4개의 정성적인 특성에 의해 수분형으로 세분하고 있으며 1의 경우 건조산림토양형, 2의 경우 약건산림토양형, 3의 경우 적윤산림토양형, 4의 경우 약습산림토양형으로 분류하고 있다. 우리나라 산림토양형은 산림지역의 지형발달과 밀접한 관계를 가지며 산림생산력을 비교적 정확하게 판정하거나 예측이 가능한 것으로 알려져 있다(국립산림과학원 2005).

표 6. 한국의 산림토양형 분류(국립산림과학원 2005)

토양군	기호	토양아군	기호	토양형	기호
갈색산림토양 (Brown forest soils)	B	갈색산림토양	B	갈색건조산림토양	B ₁
				갈색약건산림토양	B ₂
				갈색적윤산림토양	B ₃
				갈색약습산림토양	B ₄
		적색계갈색산림토양	rB	적색계갈색건조산림토양	rB ₁
				적색계갈색약건산림토양	rB ₂
적황색산림토양 (Red & Yellow forest soils)	R·Y	적색산림토양	R	적색건조산림토양	R·Y-R ₁
				적색약건조산림토양	R·Y-R ₂
		황색산림토양	Y	황색건조산림토양	Y
암적색산림토양 (Dark Red forest soils)	DR	암적색산림토양	DR	암적색건조산림토양	DR ₁
				암적색약건산림토양	DR ₂
				암적색적윤산림토양	DR ₃
		암적갈색산림토양	DRb	암적갈색건조산림토양	DRb ₁
				암적갈색약건산림토양	DRb ₂
회갈색산림토양 (Gray Brown forest soils)	GrB	회갈색산림토양	GrB	회갈색건조산림토양	GrB ₁
				회갈색약건산림토양	GrB ₂
화산화산림토양 (Volcanic ash forest soils)	Va	화산화산림토양	Va	화산회건조산림토양	Va ₁
				화산회약건산림토양	Va ₂
				화산회적윤산림토양	Va ₃
				화산회습윤산림토양	Va ₄
				화산회자갈많은산림토양	Va-gr
				화산회성적색건조산림토양	Va-R ₁
				화산회성적색약건산림토양	Va-R ₂
침식토양 (Eroded soils)	Er	침식토양	Er	약침식토양	Er ₁
				강침식토양	Er ₂
				사방지토양	Er-c
미숙토양 (Immature soils)	Im	미숙토양	Im	미숙토양	Im
암쇄토양 (Lithosols)	Li	암쇄토양	Li	암쇄토양	Li
8개 토양군		11개 토양아군		28개 토양형	

4. 한국 산림 토양 분류 체계와 Soil Taxonomy 및 WRB와의 연관 관계

우리나라 산림토양분류체계 중 산림토양군과 Soil Taxonomy 분류체계의 아목(Suborder) 과 목(Order), WRB/FAO 분류체계의 주토양군(Reference soil group) 사이에 연관관계가 표 7에 제시되어 있다. Soil Taxonomy에 의한 갈색산림군의 경우 Inceptisols과 Alfisols로 분류가 가능하고 WRB 토양분류체계에서는 Cambisols나 Acrisols로 분류된다. 아목의 경우 우리나라 산림지역의 대부분은 토양수분 조건이 식물생육에 양호한 편이다.

가. 산림토양형과 Soil Taxonomy 연관관계
산림토양형과 Soil Taxonomy 연관관계로 우리나라에서 가장 넓은 면적이 분포하는 갈색산림토양군 내 산림토양형은 Orchric 또는 Umbric epipedon과 Cambic 또는 Argillic horizon 같은 감식층위가 분포한다(표 7). 특히 규산염점토가 집적(Bt)된 Argillic horizon이 존재할 경우 Arfisols로 분류 되나, Cambic horizon이 분포할 경우 Inceptisols로 분류한다. Inceptisols목을 대상으로 대군(Great group)까지 분류할 경우 염기포화도가 60% 이상은 Dystrudepts, 염기포화도가 60% 이하는 Eutrudepts이다. Alfisols의 경우도 대군단위

표 7. 산림토양군과 Soil Taxonomy와 WRB와의 연관관계

토양군	감식(진단)표층및 차표층(Soil Taxonomy)	Soil Taxonomy (Suborder, Oder)	WRB (Reference soil group)
갈색산림토양	Umbric, Orchric epipedon Cambic, Argillic horizon	Udepts, Udults, Udalfs	Cambisols, Acrisols, Umbrisols
적황색산림토양	Orchric epipedon Cambic, Argillic horizon	Udults, Udalfs	Acrisols
암적색산림토양	Orchric epipedon Cambic, Argillic horizon	Udalfs, Udepts	Luvisols
회갈색산림토양	Orhric epipedon Cambic, Argillic horizon	Udepts	Cambisols, Leptosols
화산회산림토양	Melanic, Umbric epipedon Cambic, Argillic horizon	Udands, Udepts, Udalfs	Andosols
침식토양	Orchric epipedon	Psaments Orthents	Leptosols
미숙토양	Ochric epipedon	Psaments Orthents	Regosols
암쇄토양	Umbric epipedon	Orthents	Leptosols

에 염기포화도 35% 이상은 Hapludalfs, 염기포화도 35% 이하는 Hapludults로 분류된다. 적황색산림토양군 내 산림토양형의 경우 표토층은 Orchric epipedon, 심토층의 경우 규산염점토가 집적된 Bt층의 Argillic horizon이 주로 분포하여 Alfisols로 분류가 되며, 염기포화도가 35% 이상인 경우 Hapludalfs, 염기포화도가 35% 이하인 경우 Hapludults로 분류한다. 암적색산림토양군 내 암적색산림토양아형의 경우 표토층은 Orchric epipedon, 심토층은 Cambic 또는 Argillic horizon이 분포하고 Alfisols 또는 Inceptisols로 분류된다. 암적갈색산림토양아형 중 심토층에 혈암과 같은 반층이 존재하는 지역의 경우 Fragiudepts가 분포할 수 있다. 회갈색산림토양아군의 경우 표토층은 Orchric 또는 Umbric epipedon, 심

토층은 Cambic 또는 Argillic horizon이 분포하고 규산염점토가 집적된 Bt층이 존재할 경우 Alfisols, Cambic horizon은 Inceptisols로 분류한다. 화산회색산림토양군은 Orchric, Umbric, Melanic epipedon, Cambic, Argillic horizon이 분포하고 단면 층위 발달 상태나 토색, 유기물함량 등의 차이에 따라 Hapludands, Fulvuands, Melanudands 등으로 분류한다. 그러나 화산회색색건조나 약건산림토양형의 경우 Inceptisols 또는 Alfisols로 분류가 가능하다. 침식토양군, 미숙토양군, 암쇄토양군의 경우 Orchric epipedon이 분포하고 토양입경에 따라 양질사토의 경우 Udipsamments, 양토나 식토 토성급의 경우 Udorthents로 분류한다(표 8).

표 8. 한국 갈색산림토양형과 Soil Taxonomy의 검색표 예시

산림토양군	산림토양형 및 진단층	토양대군 (Soil Taxonomy)
갈색산림토양군	1) 갈색건조산림토양형	
	a. orchric epipedon과 cambic horizon	
	b. 식물생육에 양호한 토양수분 조건	
	c. 염기포화도 >60%	Dystrudepts
	c. 염기포화도 <60%	Eutrudepts
	2) 갈색약건산림토양형	
	a. orchric epipedon과 cambic horizon	
	b. 식물생육에 양호한 토양수분 조건	
	c. 염기포화도 >60%	Dystrudepts
	c. 염기포화도 <60%	Eutrudepts
	3) 갈색적윤산림토양형	
	a. orchric epipedon과 cambic horizon	
	b. 식물생육에 양호한 토양수분 조건	
	c. 염기포화도 >60%	Dystrudepts
	c. 염기포화도 <60%	Eutrudepts
	a. umbric epipedon과 argillic horizon	
	b. 식물생육에 양호한 토양수분 조건	
	c. 염기포화도 <35%	Hapludults
	c. 염기포화도 >35%	Hapludalfs
	4) 갈색약습산림토양형	
	a. orchric epipedon과 cambic horizon	
	b. 식물생육에 양호한 토양수분 조건	
	c. 염기포화도 >60%	Dystrudepts
	c. 염기포화도 <60%	Eutrudepts
	a. umbric epipedon과 argillic horizon	
	b. 식물생육에 양호한 토양수분 조건	
	c. 염기포화도 <35%	Hapludults
	c. 염기포화도 >35%	Hapludalfs
	5) 적색계갈색건조산림토양형	
	a. orchric epipedon과 argillic horizon	
	b. 식물생육에 양호한 토양수분 조건	
	c. 염기포화도 <35%	Hapludults
	c. 염기포화도 >35%	Hapludalfs
	6) 적색계갈색약건산림토양형	
	a. orchric epipedon과 argillic horizon	
	b. 식물생육에 양호한 토양수분 조건	
	c. 염기포화도 <35%	Hapludults
	c. 염기포화도 >35%	Hapludalfs

나. 산림토양분류체계와 WRB의 연관 관계
 산림토양형과 WRB의 연관관계의 경우 우리나라 산림토양형은 7개 Reference soil group

으로 분류가 가능하였다. 갈색산림토양군의 경우 Cambic, Umbric, Argic horizon이 분포하는 경우 Cambisols, Umbrisols, Acrisols 등

표 9. 한국 산림토양형과 WRB의 연관 관계

산림토양군	산림토양형	진단층	Reference soil group
갈색산림토양	갈색건조산림토양	cambic	Cambisols
	갈색약건산림토양	cambic	Cambisols
	갈색적운산림토양	umbric	Umbrisols
	갈색약습산림토양	umbric	Umbrisols
	적색계갈색건조산림토양	argic	Acrisols
	적색계갈색약건산림토양	argic	Acrisols
적황색산림토양	적색건조산림토양	argic	Acrisols
	적색약건조산림토양	argic	Acrisols
	황색건조산림토양	argic	Acrisols
암적색산림토양	암적색건조산림토양	argic	Luvisols
	암적색약건산림토양	argic	Luvisols
	암적색적운산림토양	argic	Luvisols
	암적갈색건조산림토양	cambic	Cambisols
	암적갈색약건산림토양	cambic	Cambisols
회갈색산림토양	회갈색건조산림토양	cambic	Cambisols
	회갈색약건산림토양	cambic	Cambisols
화산회산림토양	화산회건조산림토양	cambic	Andosols
	화산회약건산림토양	cambic	Andosols
	화산회적운산림토양	fulvic, umbric	Andosols
	화산회습운산림토양	fulvic, umbric	Andosols
	화산회자갈많은산림토양	fulvic	Andosols, Leptosols
	화산회성적색건조산림토양	cambic	Andosols
	화산회성적색약건산림토양	cambic	Andosols
침식토양침식토양	약침식토양	-	Leptosols
	강침식토양	-	Leptosols
	사방지토양	-	Regosols
미숙토양	미숙토양	-	Regosols
암쇄토양	암쇄토양	umbric	Leptosols

으로 분류가 가능하다. 적황색산림토양군 중 Argic horizon이 분포하는 경우 Acrisols로 분류된다. 암적색산림토양군 중 암적색산림토양아군은 Argic horizon에 Luvisols, 암적갈색산림토양아형과 회갈색산림토양아군의 경우 Cambic horizon에 Cambisols로 분류된다. 화산회 산림토양군의 경우 Cambic, Fulvis, Umbric horizon이 분포하나 모두 Andosols로 분류하며 화산회자갈많은산림토양형의 경우 Leptosols도 가능하다. 침식토양군 중 사방지 토양형과 미숙토양형의 경우 Regosols, 나머지 약침식, 강침식, 암쇄토 등은 Leptosols로 분류된다(표 14).

III. 결론

우리나라 산림토양분류는 토양단면의 형태적 특성을 일부 반영한 일종의 실용적 목적 분류체계를 이용하고 있다. 그 결과 조림적지 판정이나 산림생산력 예측에 정확도가 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 분류된 산림토양형이 28개로 우리나라 산림면적과 모재나 기후 등과 같은 토양생성 요인을 고려할 때 다양하게 분포하는 산림토양의 특성을 적절하게 반영하기 어려운 실정이다. 또한 토양형 분류에서 가장 기준이 되는 건조, 약건, 적윤, 약습 등과 같은 토양수분 조건의 경우 양적인 특성보다는 질적인 특성을 반영하여 객관적인 토양분류체계 수립에 어려움이 있다. 우리나라 산림토양분류의 경우 독자적인 산림토양 분류 체계에 의한 산림 공간정보

가 구축되고 있으며, 지속 가능한 산림관리를 위한 올바른 의사 결정에 도움을 줄 것으로 판단된다. 본 자료에서는 Soil Taxonomy의 대군(Great Group), WRB의 경우 가장 광범위한 분류단위인 Reference soil group을 제시하였다. Soil Taxonomy의 아군 이하 분류단위와 WRB의 Principle qualifiers는 조사지점의 토양단면 특성을 반영하여 세부 하위단위 분류가 가능할 것으로 사료된다. Soil Taxonomy와 WRB는 현재까지 세계적으로 보편적으로 사용할 수 있는 토양분류체계로 국내 산림토양자료의 국제화를 위해서는 국제 토양분류체계의 하위단위와 연계를 위한 심도 있는 연구가 필요하다.

감사의 글

본 자료는 2018년 임업진흥원의 연구용역인 “산림공간정보구축 효율화 및 개선방안 마련” 보고서의 일부를 포함하고 있습니다. 연구수행을 위한 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 국립농업과학원. 2011. 한국의 토양분류 및 해설. 토양조사자료 14. 446p.
- 국립산림과학원. 2005. 산림토양단면도집. 연구신서 제6호. 143P.
- 박수진, 손연규, 홍석영, 박찬원, 장용선. 2010. 한국 주요 토양유형의 공간적 분포와 토양형성요인을 이용한 예측가능성 평가. 대한지리학회지 45(1): 95-118.

현병근과 이덕배. 2015. FAO의 세계토양정보
구축과 대응. 세계농업 175(3): 47-61.

IUSS Working Group WRB. 2015. World
Reference Base for Soil Resources
2014, update 2015. International soil
classification system for naming soils
and creating legends for soil maps.

World Soil Resources Reports No. 106.
FAO, Rome.

Soil Survey Staff. 2015. Key to Soil
Taxonomy. Twelfth edition, 2014.
United States Department of Agriculture,
Natural Resources Conservation Service.



산림토양탄소모델

김 형 섭 · 손 요 환

고려대학교 환경생태공학과 연구원 / 교수

I. 서론

산림은 유엔기후변화협약이 인정하는 유일한 탄소 흡수원이며, 산림에 저장된 탄소의 절반 이상이 산림토양 내에 존재한다. 이러한 이유로 산림토양의 탄소 흡수 및 배출 과정이 주목을 받고 있으며, 관련 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이와 관련하여 지난 수십년 동안 가장 급격한 발전이 있었던 분야는 컴퓨터 및 프로그래밍 기술의 발전과 함께 등장한 산림토양탄소 모델(이하 모델)이라고 할 수 있다. 모델은 산림토양에서 일어나는 탄소순환 과정을 모의하고, 탄소 저장량 및 그 변화량을 추정함으로써 산림 관련 국가 정책과 계획 수립에 필요한 과학적 배경을 제시할 수 있다. 2020년 현재 머신러닝과 빅 데이터 같은 정보 처리 기술들이 빠른 속도로 발전되고 있는 것으로 미루어, 이와 밀접한 관련이 있는 모델 연구 또한 향후 지속적으로 발전해 나갈 것이다. 이러한 맥락에서 현재

까지 개발된 모델들을 살펴보고 앞으로의 모델 연구의 방향을 고찰하는 일은 국내 산림토양 연구의 발전을 위해 필요하다. 따라서 여기서는 모델이 무엇이며, 왜 필요한 것인지 살펴보고 국외 모델, 국내 모델, 그리고 모델 연구의 한계와 발전 방향 등을 소개하고자 한다.

II. 산림토양탄소모델의 개념

모델은 산림토양에서 일어나는 탄소순환 과정을 입력 자료와 모델 구조를 이용해 모방하고, 이를 통해 사용자가 원하는 출력 자료를 도출하는 도구이다(그림 1). 모델의 입력 자료는 일반적으로 토양 온도, 수분과 같은 환경 인자들을 포함하며, 시간 범위는 일, 월, 년 등으로 다양하다. 모델 구조는 크게 탄소 저장고와 탄소 이동 과정으로 구분되는데, 탄소 저장고는 일반적으로 낙엽층, 부식층, 무기토양 등을 포

함하고, 탄소 이동 과정은 크게 1) 외부(대기, 수계 등)에서 탄소 저장고로의 탄소 유입, 2) 탄소 저장고 간의 탄소 이동, 3) 탄소 저장고에서 외부로의 탄소 유출로 다시 세분화된다(그림 1). 탄소 유입은 낙엽 낙지, 뿌리의 고사 등을 포함하고, 탄소 저장고 간의 탄소 이동은 낙엽층에서 부식층으로의 탄소 이동, 부식층에서 무기토양으로의 탄소 이동 등으로 구분되며, 탄소 유출은 낙엽층, 부식층, 무기토양에서의 탄소 유출 등을 포함한다. 그리고 모델은 일반적으로 탄소 저장고 간의 탄소 이동과 탄소 유출을 별개로 일어나는 과정이 아니라, 유기물의 분해에 따라 동시에 일어나는 과정으로 간주한다. 아울러, 이들 3가지 탄소 이동 과정들은 수식과 파라미터(모수)를 통해서 표현되고 모의된다. 이때 파라미터는 탄소 이동 및 유출에 생태계의 특성(수종, 탄질률, 리그닌 함량비 등)을 반영하

기 위해 적용되는 상수를 의미하며, 유기물의 분해 속도(분해 상수), 유기물 분해 과정의 온도 민감성(Q_{10}), 유기물 분해 시의 탄소 이동량과 탄소 유출량의 비율 등을 포함한다. 출력 자료는 모델의 최종 결과물을 의미하며, 대부분의 모델이 탄소 저장량과 그 변화량을 출력 자료로 포함한다.

III. 산림토양탄소모델의 필요성

산림토양탄소모델의 필요성은 크게 세 가지로 요약할 수 있다. 첫 번째로 모델은 관측 자료를 얻을 수 없거나 현지 조사를 하기 어려운 시간과 공간에서도 산림토양탄소순환을 연구할 수 있도록 한다. 현지 조사는 가장 전통적이면서도 신뢰성이 높은 방법이지만, 비용이나 인력

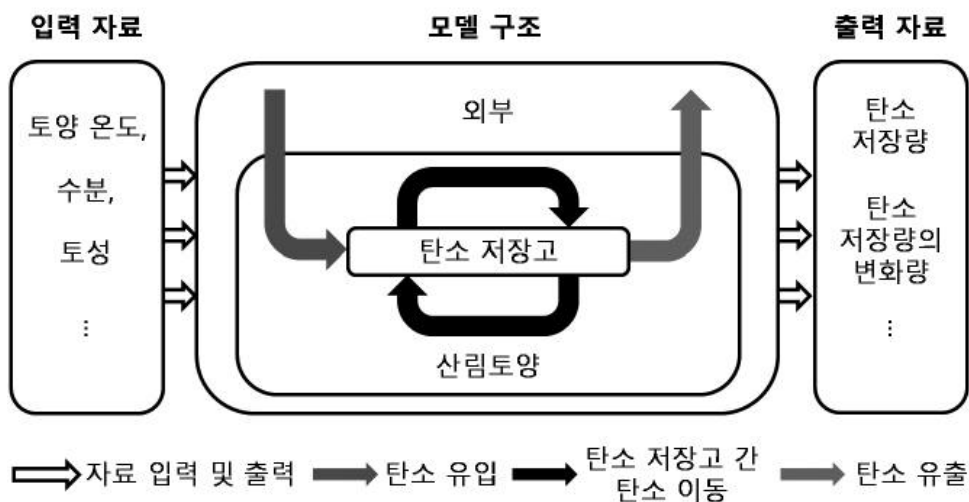


그림 1. 산림토양탄소모델의 기본 구조

과 같은 현실적인 문제로 인해 항상 수행할 수 있는 것은 아니다. 반면에 모델은 과거와 미래의 탄소 저장량을 추정할 수 있으며, 국가 또는 전지구 단위와 같이 넓은 공간 범위에서도 산림 토양탄소순환을 연구할 수 있다.

두 번째로 모의 결과를 검증받은 모델은 적은 비용으로 외부 환경 변화가 산림토양탄소순환에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 현지 조사를 통해 기후변화와 산림 경영 등이 산림토양탄소순환에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 기온을 높이거나 강수를 조절하는 등 환경 인자를 제어할 수 있는 조사를 설치하고 해당 조사구에서 지속적으로 자료를 축적할 필요가 있으나, 이에 들어가는 비용이 상당히 크다. 그러나 모델을 이용할 경우, 토양 온도와 수분 등의 입력 자료를 변경하고 모델의 구조를 일부 수정하는 것으로 외부 환경 변화가 산림토양탄소순환에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

세 번째로 모델은 산림토양탄소순환을 보다 전체적인 관점에서 이해하게 해준다. 산림토양탄소순환은 낙엽 낙지, 유기물 분해, 미생물 활동 등 상호 연결된 여러 가지 과정들을 포함하며, 복합적인 외부 환경 인자의 영향을 받는다. 따라서 산림토양탄소순환 연구는 다양한 과정과 인자들을 고려하여 진행되어 왔다. 그러나 연구의 발전과 함께 보다 많은 과정과 인자가 밝혀지고 있어 산림토양탄소순환을 전체적인 관점에서 이해하는 것이 점점 더 어려워지고 있다. 반면에 모델은 복잡한 과정과 인자를 단순하게 수식화하므로 각 과정들이 어떻게 상호 연결되어 있는지, 각 인자가 산림토양탄소순환에

어떤 영향을 미치고 있는지를 정량적으로 파악할 수 있다. 더불어 모델은 출력 자료와 현지 조사를 통해 얻은 관측 값을 비교하는 것으로 산림토양탄소순환과 관련된 연구 가설이 적합한지 파악하는 데에도 이용이 가능하다.

IV. 국외 산림토양탄소모델

1930년대부터 최근까지 약 250개의 모델이 개발되었으며, 이 모델들 중에서 연구 초창기에 개발된 CENTURY, RothC, Forest-DNDC 등이 현재 가장 많이 사용되고 있다(Campbell et al., 2015). CENTURY는 미국에서 개발된 모델로 초지에서의 탄소순환을 모의하는 모델을 산림에 맞게 개량한 것이다(그림 2). CENTURY는 토양으로 유입되는 탄소를 임목의 지상부에서 유래한 탄소와 지하부에서 유래한 탄소로 구분하고, 이들을 다시 임목의 목질성(수간, 가지, 큰 뿌리 등) 혹은 비목질성(잎, 작은 뿌리) 부위에서 유래한 탄소로 구분한다. 이렇게 토양으로 유입된 탄소는 먼저 미생물 탄소 저장고에 저장되며, 이후 분해 속도가 빠른, 보통인, 혹은 느린 탄소 저장고 등으로 이동하거나 대기 또는 수계로 유출되는 과정을 거치고, CENTURY는 이러한 이동, 유출 과정들을 종합하여 탄소 저장량과 그 변화량을 출력 자료로 도출한다.

RothC는 영국의 연구자들이 개발한 모델로 경작지를 대상으로 한 기존의 모델을 산림에 적합하게 변형한 것이다. RothC는 토양으로 유입되는 탄소를 분해가 빠른 유기물과 느린 유기물

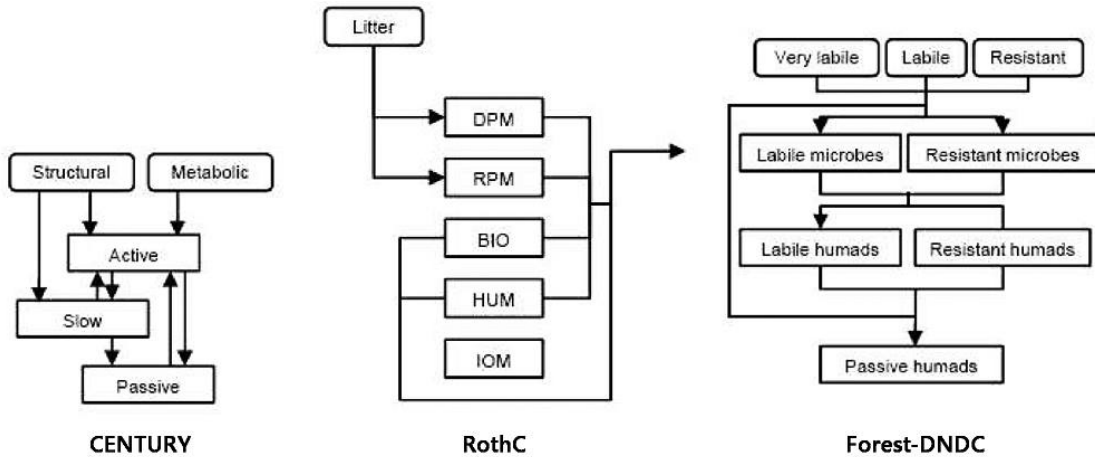


그림 2. 국외 모델의 구조

로 구분하고, 분해가 빠른 유기물의 탄소는 점차적으로 분해되어 대기로 유출되고 분해가 느린 유기물의 탄소는 미생물 또는 부식질 탄소 저장고로 다시 이동한다는 기작을 이용한다. 그리고 탄소 저장고 간의 탄소 이동이 일어날 때 대기로의 탄소 배출은 모의하나 수계로의 탄소 배출은 모의하지 않는다.

Forest-DNDC는 미국에서 개발된 모델로 농업토양에서의 온실가스 배출을 모의하던 DNDC를 산림에 맞게 변형한 것이다. Forest-DNDC는 토양으로 유입되는 탄소를 분해 속도가 빠른, 보통인, 느린 유기물로 구분하며, 이 유기물들은 분해가 진행되면서 분해 속도가 빠른 혹은 느린 미생물 탄소 저장고로 이동한다. 그리고 미생물 탄소는 다시 분해 속도가 빠른 혹은 느린 부식질로 이동하고, 최종적으로는 분해가 거의 진행되지 않는 부식질로 이동한다. Forest-DNDC는 이러한 가정과 기작들을 이용해 출력 자료로 탄소 저장량 및 그 변화량, 토양

에서의 온실가스 기체(이산화탄소, 메탄 등) 배출 등을 도출한다.

이들 3개 모델의 구조는 나중에 개발된 모델들의 구조에도 큰 영향을 미쳤다. 대부분의 모델이 토양으로 유입되는 유기물을 임목의 부위별 또는 분해 속도에 따라 구분하고 있으며, 탄소 저장고로 미생물, 부식질 등을 포함한다. 아울러, 이러한 3개 모델들은 입력 자료로 토양 온도 및 수분, 토성 자료를 필요로 하며, 이 입력 자료들을 이용해 탄소 저장고 간에 탄소 이동과 대기 또는 수계로의 탄소 유출을 조절하도록 되어 있다.

V. 국내 산림토양탄소모델

1) 모델의 개발

우리나라에서 모델을 이용한 산림토양탄소순환 연구 사례는 미국, 유럽과 같은 선진국에 비

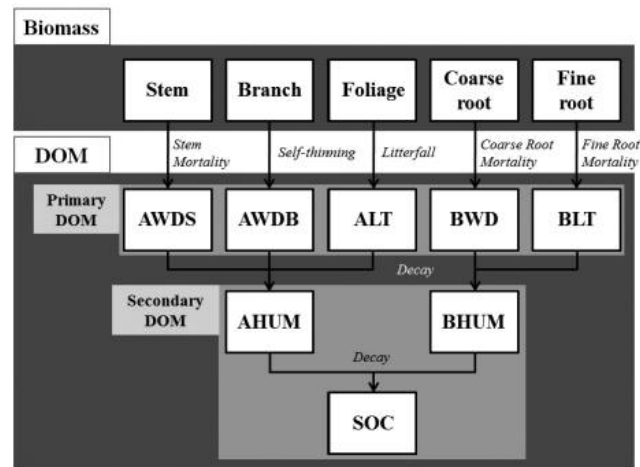


그림 3. FBDC (Forest Biomass and Dead organic Carbon)의 모델 구조
(Lee et al., 2014)

하여 많지 않다. 이는 대부분의 국외 모델이 특정 지역 또는 국가 고유의 자료를 기반으로 개발되어서 우리나라 산림토양의 특성을 제대로 반영하기 어렵고, 국내에는 국외 모델의 구동에 필요한 파라미터와 입력 자료가 많이 구축되지 않아 국외 모델을 국내에 바로 적용하는 것이 어려웠기 때문이다. 이에 따라 국내에서는 한국 산림토양의 특성을 반영하고, 국내에서 획득 가능한 파라미터(낙엽 낙지율, 유기물 분해 속도 등)와 입력 자료(기온, 임령, 수종 등)를 이용하는 FBDC (Forest Biomass and Dead organic matter Carbon)를 개발한 사례가 있다(Lee et al., 2014).

2) 모델의 구조 및 구동

FBDC의 모델 구조는 수간, 가지, 잎, 큰 뿌리, 작은 뿌리 등을 포함하는 임목 바이오매스 부문과 고사목, 죽은 가지, 죽은 잎, 죽은 큰 뿌리,

죽은 작은 뿌리를 포함하는 1차 죽은 유기물, 그리고 토양 표면의 부식질, 토양 표면 아래의 부식질, 토양 유기 탄소를 포함하는 2차 죽은 유기물로 구성되어 있다(그림 3). FBDC는 기온, 임령, 수종 등의 입력 자료를 이용해 탄소 저장고 간에 탄소 이동 및 유출 과정을 모의하며 최종적으로 임목 바이오매스, 낙엽층, 고사목, 토양에 저장된 탄소 저장량과 그 변화량을 출력 자료로 도출한다.

3) 모델의 국내외 적용 사례

국내에서는 FBDC를 이용하여 1954년부터 2012년까지의 국내 산림탄소순환을 추정한 연구가 진행되었다(Lee et al., 2014). 연구결과에 따르면 우리나라 산림의 연간 탄소 저장량 변화($\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)는 1954년부터 대규모 조림 계획이 시작되기 직전인 1972년까지는 연평균 -8.7이었으나, 1973년부터 2012년까지는 연평

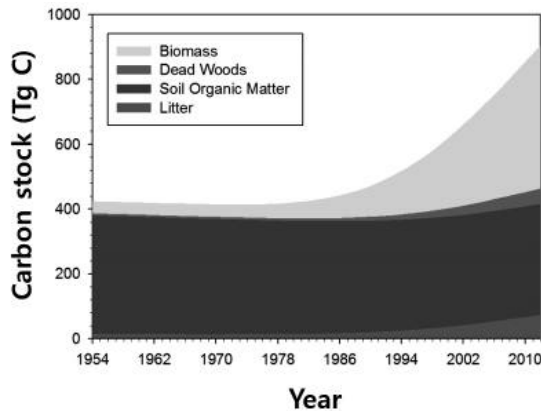


그림 4. 1954년부터 2012년까지의
산림 탄소 저장량 변화(Lee et al., 2014)

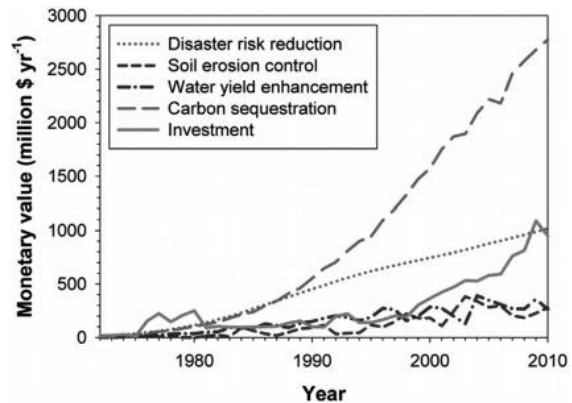


그림 5. 국가 조림 사업에 따른 생태계서비스의
가치 평가(Lee et al., 2018)

균 214.4로 크게 증가한 것으로 나타났다(그림 4). 이는 조림에 따라 우리나라의 산림이 탄소 배출원에서 탄소 흡수원으로 변화했다는 것을 의미한다.

또한 FBDC와 산림 재해, 물순환을 모의하는 모델을 이용해 1970년부터 국가 단위에서 시행된 조림 사업이 재해 방지, 토양 유실 방지, 탄소 흡수 능력 등의 생태계서비스에 미치는 영향을 경제적으로 평가하기도 하였다(Lee et al., 2018). 이 연구에 따르면 국가 조림 사업에 들어간 비용보다 생태계서비스를 통해 얻는 이익이 더 크며, 이 중에서도 산림의 탄소 흡수에 따른 이익이 가장 큰 것으로 나타났다(그림 5).

한편 FBDC는 입력 자료 부족으로 국외 모델을 적용할 수 없었던 터키, 부탄 등의 국가에도 적용되었다(Lee et al., 2015; 2016). 터키에서는 FBDC를 이용하여 구주소나무림의 임령에

따라 임목 바이오매스, 낙엽층, 고사목, 토양탄소에 저장된 탄소의 비율이 어떻게 변화하는지를 분석하였다(그림 6a). 이를 위해 FBDC의 파라미터를 터키 구주소나무림에서 나타나는 낙엽 낙지율과 유기물 분해속도로 대체하고, 기존 자료를 획득해 입력 자료로 사용했다. 모델 결과에 따르면 임목 바이오매스에 저장된 탄소 비율은 임령과 함께 증가하였으나, 다른 저장고들에서는 임령에 따라 감소하는 경향을 보였다. FBDC는 부탄의 Bumthang 및 Paro 지역에 위치한 산림에도 적용되었다. 부탄의 경우 모델 파라미터 보정에 필요한 선행 연구가 부족하여 파라미터를 별도로 수정하지 않고 모델을 구동하였다. 모델을 이용해 모의한 결과에 따르면 임령에 따라 임목 바이오매스의 단위 면적당 탄소 저장량이 크게 증가하였으며, 토양에 저장된 탄소량이 가장 큰 것으로 나타났다(그림 6b).

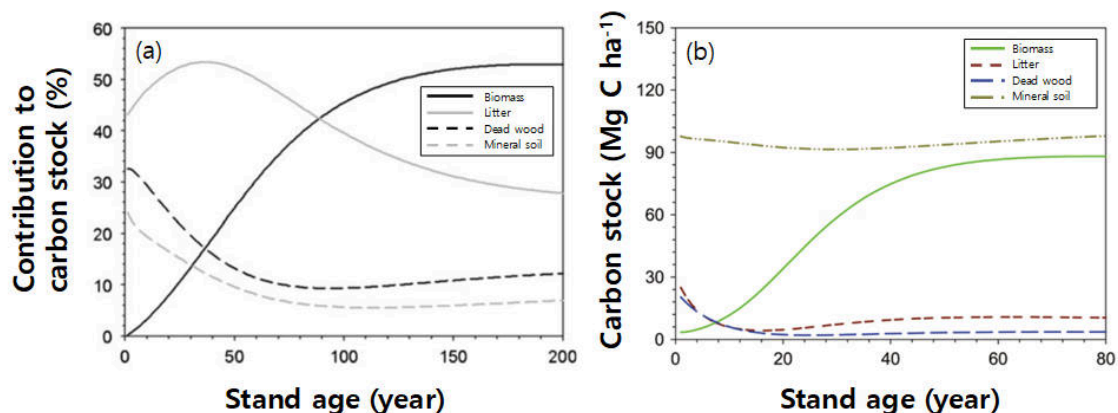


그림 6. 임령에 따른 (a) 터키 구주소나무림의 저장고별 탄소 저장량 비율 변화 및 (b) 부탄 Bumthang 과 Paro 지역 산림의 저장고별 탄소 저장량 변화(Lee et al., 2015; 2016)

VI. 산림토양탄소모델의 한계와 발전 방향

오랫동안 모델 연구가 진행되고, 다양한 연구지에서 모델이 적용되었으나 모델 연구는 여전히 한계를 가지고 있다. 가장 큰 한계는 모델의 검증과 신뢰성 확보의 어려움이라고 할 수 있다. 이러한 어려움은 모델을 검증하고 신뢰성을 확보하기 위해서는 다년간의 현지 조사와 함께 해당 연구지의 특성에 맞게 모델 구조를 수정하는 과정이 필요하나, 이러한 일련의 과정에 많은 시간과 인력, 그리고 프로그래밍이나 고도화된 통계적 데이터 분석과 같은 정보 처리 기술이 요구되는 것에서 기인한다. 아울러, 모델의 검증에 필요한 절차 또는 방법론을 상세히 설명한 문헌이 부족하고, 모델 신뢰성을 판단할 때 필요한 정량적 기준도 구축이 미비하다. 이러한 한계 때문에 현재 일부 국가 또는 연구진만 모

델을 이용해 산림토양탄소를 연구하고 있으며, 우리나라에서도 모델을 직접 개발하고 이용하는 사례가 극히 적은 상황이다. 따라서 모델 연구의 진입장벽을 낮추고, 모델을 이용한 산림토양탄소 연구를 증진시키기 위해 프로그래밍과 같은 정보 처리 기술에 능숙한 인력을 양성하고, 모델 검증 과정에 대한 상세한 설명과 함께 신뢰성 평가 기준을 정량적으로 제시하는 등의 노력이 요구된다.

앞으로의 모델 발전 방향은 크게 두 가지로 제시할 수 있다. 첫 번째는 머신 러닝과 빅 데이터와 같은 정보 처리 기술을 모델 연구와 융합하는 것이다. 실제로 최근에는 머신 러닝 기술과 현지 조사 자료를 이용해 모델 파라미터를 추정하는 연구가 진행되었으며, 세계 각국에서 획득한 토양탄소 자료를 모두 취합하고 다양한 모델을 서로 융합하여 전 지구 토양탄소 순환을 모의하기도 하였다. 두 번째는 새로 밝혀지

는 산림토양탄소순환 과정과 이러한 과정에 영향을 미치는 인자들을 모델에 적용시키는 것이다. 실제로 동위원소 추적, DNA 염기서열분석과 같은 기술이 점점 더 발전하여 기존에 파악이 어려웠던 미생물과 관련된 산림토양탄소순환 과정이 밝혀지고 있으며, 이에 따라 모델도 미생물의 생장, 활성, 사멸과 관련된 과정을 포함하는 추세이다. 이와 같이 앞으로의 모델 연구의 발전을 위해 최신 정보 처리 기술들에 관심을 가지고 모델과 접목시켜볼 필요가 있으며, 새로 밝혀진 산림토양탄소순환과 관련된 이론과 가설들을 모델에 적용하는 시도도 꾸준히 필요할 것이다.

참고문헌

- Campbell et al. 2015. Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: A review. *Environmental Research Letters* 10(12): 123004
- Lee et al. 2014. Estimating the carbon dynamics of South Korean forests from 1954 to 2012. *Biogeosciences* 11: 4637~4650.
- Lee et al. 2015. Estimating the age-dependent changes in carbon stocks of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Turkey. *Annals of Forest Science* 73(2): 523~531.
- Lee et al. 2016. Piloting the FBDC model to estimate forest carbon dynamics in Bhutan. *Korean Journal of Environmental Biology*. 34(2): 73~78.
- Lee et al. 2018. Economic viability of the national-scale forestation program: The case of success in the Republic of Korea. *Ecosystem Services* 29(A): 40~46.



세계 혼농임업의 동향과 북한의 임농복합경영

김 경 하

서울시립대학교 환경원예학과 연구교수

1. 들어가기

본인이 혼농임업에 관심을 가지기 시작한 것은 2003년 7월 KOICA사업의 예비타당성 조사를 위해 인도네시아 자바를 방문했을 때였다. 당시 KOICA사업은 ‘혼농임업을 활용한 인도네시아 자바지역 산림복구사업’이라는 제목이었다. 즉, 인도네시아 자바지역의 황폐산지를 혼농임업을 통하여 복구하는 내용이었다. 이 사업은 황폐한 국유림 내 일정 지역을 복구하기 위해 지역주민을 고용하여 복구하고 산림을 보전하게 하려고 상층 조림수종과 하층 소득작목을 동시에 적용하는 내용이었다.

혼농임업은 20세기 초에 학문적으로 정리되기 시작하였지만, 역사적으로 다양한 지역에서 전통적으로 이루어지고 있었다. Tumpang Sari는 인도네시아 자바지역에서 1868년부터 내려오는 전통방식의 산림경영시스템이다. 이 시스템은 지역주민의 저렴한 노동력을 활용하여 산

림을 경영하고 보전하기 위해 조림을 하고 하층에는 소득 작물을 심었다. Hanunoo는 필리핀의 전통 혼농임업으로 농지로 개간한 산지에 농한기 동안 토양침식을 막기 위해 작물을 재배하는 방식이다. Taungya는 미얀마 말로 산지인 Taung과 경작이라는 말 ya가 합쳐진 단어이다. 1856년 산림을 보전하기 위해 마을주민에게 일정한 부분에 소득작목을 재배하도록 허락하였다.

전통지식에 기반한 다양한 종류의 혼농임업은 현재 북한의 임농복합경영의 뿌리라고 생각한다. 북한에 임농복합경영 시스템을 소개한 스위스개발협력청이나 세계혼농임업센터는 세계 혼농임업의 특징들을 분석하여 북한지역에 적합한 시스템을 만들었다. 북한 임농복합경영은 세계의 혼농임업 동향을 이해해야 올바르게 알 수 있다는 생각을 가지고 이 글을 시작한다. 혼농임업에 관한 최신내용은 주로 Britannica백과사전을 참조하였다.

2. 세계 혼농임업의 동향

가. 혼농임업의 정의

혼농임업은 숲에서 작물을 경작하거나 가축을 기르는 농업시스템이다. 혼농임업은 전통적인 농업보다 생태적 다양성이나 사회적 생산물을 더 얻기 위하여 구성인자 간의 긍정적인 상호작용을 추구한다. 혼농임업은 통합적인 토지관리를 효과적이고 투입요소를 줄여 인간의 간섭을 줄인다. 혼농임업은 장기적이고 지속가능한 순환형 산림경영을 유도함으로써 환경을 고려한 경제발전에 기여하며 특히 소규모 생산자에게 적합하다. 비록 혼농임업의 현대적 개념은 20세기 초반에 나타났지만 농업시스템에서 숲을 영속적으로 이용한다는 개념은 멀리 로마시

대까지 거슬러 올라간다. 실제로 숲에서 작물과 가축을 함께 기르는 것은 세계적으로 오랜 전통이라고 할 수 있다. 2004년 세계은행은 전 세계 12억 명 가량이 혼농임업을 이용하고 있다고 추정한 바 있다.

나. 혼농임업의 역사

혼농임업은 앞서 언급한 바와 같이 열대지역에서 19세기 중반부터 전통방식에 의한 산림경영 및 이용방법으로 적용하였다. 그러나 공식적으로는 20세기 초 미국의 지리경제학자인 J. Russell Smith가 저술한 'Tree Crops: A Permanent Agriculture(1929)'에서 언급하였다. Smith는 저서에서 숲에 기반한 농업이 경사지의 심각한 토양침식을 방지하기 때문에 지속

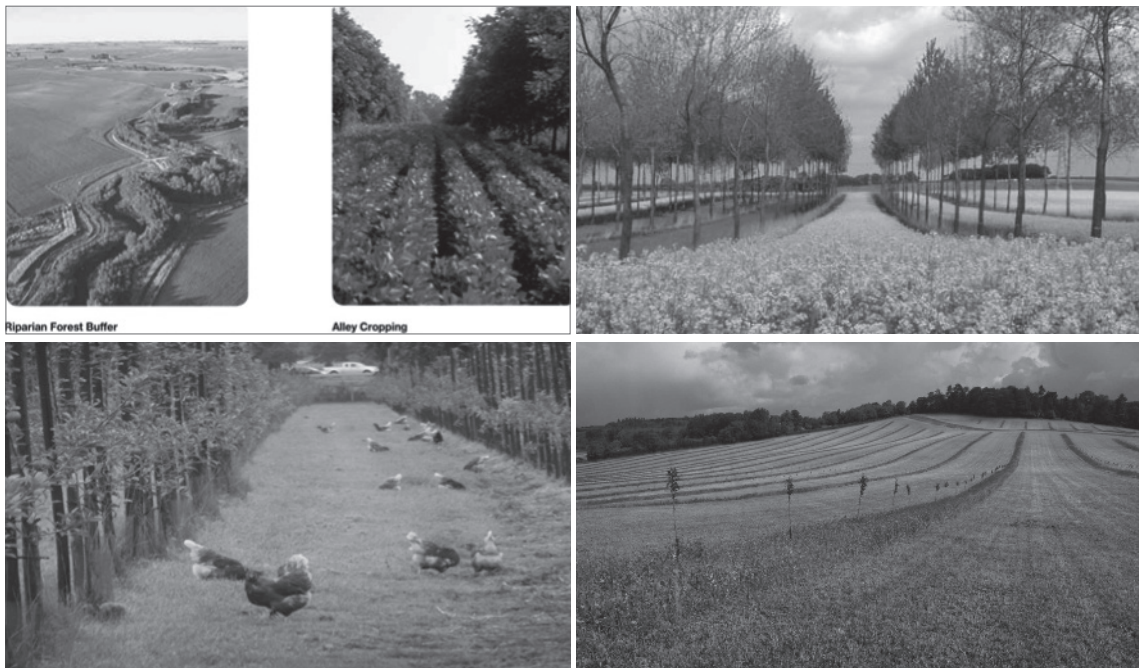


그림 1. 온대지역의 혼농임업(좌상 : 미국, 우상 : 프랑스, 좌하 : 네덜란드, 우하 : 영국)

적인 농업이라고 표현하였다. 그러나 그의 저서는 1960대 녹색혁명과 지속가능한 농업의 대안을 모색하기 시작한 70년대 초반까지는 주목을 받지 못하였다. 이들 농업시스템은 열대지방의 소규모 농장에 필요한 기본적인 수요를 만족시키지 못하였다. 수요는 목재와 비목재 즉 식량, 연료, 사료, 건축재료, 의약품, 현금뿐만 아니라 숲이 유지 시켜주는 생태계의 지속가능성도 포함하였다.

1977년에 캐나다 국제개발처에서 발간한 ‘Tree, Food and People’에서 열대 임업의 우선 연구분야를 밝히는 사업의 내용에 열대지역에서 지속가능한 농업생산에 숲의 중요한 역할을 설명하고 있다. 이 내용이 ICRAF(International Council for Research in Agroforestry)의 설립을 이끌어 마침내 1977년 케냐의 나이로비에 본부를 설립하게 되었다. 1982년에 ICRAF는 ‘Agroforestry Systems’라는 저널을 만들어 혼농임업에 대한 세계적인 새로운 정보를 제공하였다. 2002년에 ICRAF는 World Agroforestry Centre로 기관명칭을 바꾸었다.

3. 혼농임업의 내용

가. 혼농임업 실행하기

혼농임업 시스템은 경운, 시비, 관개, 가지치기 그리고 속아베기 등을 통해서 작물생산과 환경보전을 함께 고려하여 집약적으로 관리한다. 이상적으로 말하면 혼농임업은 구성요인 간에

서로 이로운 생리적 상호작용이 나타나도록 구조적 그리고 기능적으로 조화롭게 적극적으로 관리한다. 예를 들면 어떤 시스템은 나무들을 주기적으로 잘라서 토양침식을 방지하는 재료로 활용한다. 그런 시스템은 새로운 맹아를 유도할 뿐만 아니라 하층 작물에 햇빛을 더 많이 공급하고 잡초를 줄이며 토양수분을 유지할 수 있다. 비록 북미 온대지역의 혼농임업의 정의가 열대나 유럽과 차이가 있지만 5가지의 온대지역 혼농임업 실행 원칙이 있으며 그 내용은 다음과 같다.

- 가. 수변 및 상류 완충 지역은 영구적인 수림대 설치, 수림대는 나무, 관목, 지피식생 그리고 먹이작물을 함께 경작한다.
- 나. 방풍림은 작물과 가축을 바람으로부터 보호하기 위해 나무와 관목으로 조성한다.
- 다. 수목 열간 재배(alley cropping)는 유럽에서 sivoarable agroforestry로 알려졌으며 열식으로 조림된 수목들 사이에 작물을 재배한다.
- 라. 숲 속 목장(silvopastoral)은 agrosilvopastral 또는 dehesa라고 알려졌으며 숲과 목장이 조화롭게 조성되어 가축을 생산한다.
- 마. 산림농장(forest farming)은 알맞은 미기상을 제공하는 숲속 아래에 고부가 가치의 특별한 작물을 재배한다.

열대지역의 혼농임업시스템은 다양하다. 집정원과 taungya는 티크나 마호가니 나무 사이

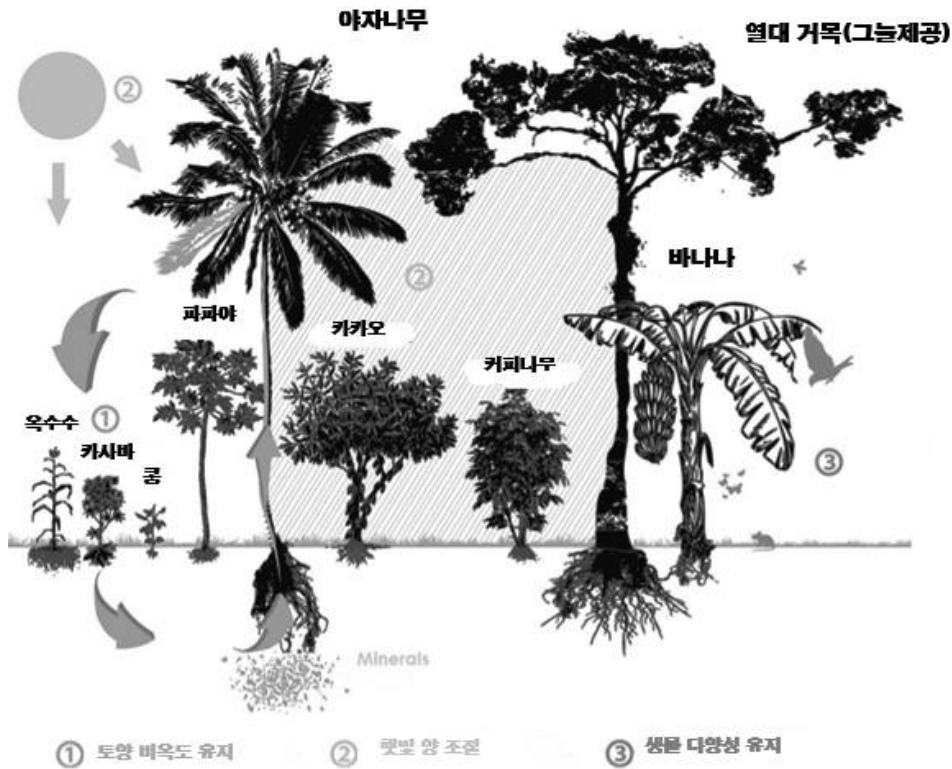


그림 2. 열대림 지역의 전형적인 혼농임업

에 식용작물을 심어서 기른다. 열대지역의 시스템은 나무와 작물 그리고 가축을 조화롭게 기르기 위해 계단식 재배, 생울타리, 다용도 수목들을 활용한다.

나. 혼농임업의 장점

혼농임업은 다른 생태적 문화적 특성이 있는 소규모 밭이나 숲, 농장 그리고 유역 단위까지 다양한 공간 규모를 갖는다. 혼농임업을 적절히 이용할 경우 건강 및 영양 상태와 경제적 이익을 통한 삶의 질 향상뿐만 아니라 환경적 회복탄력성과 생태적 지속가능성을 향상시킨다. 또

한 이러한 향상은 궁극적으로 환경적인 건강성을 높여 사회적 지속가능성을 높이게 된다. 농업시스템의 다양화는 산업화한 온대지역에 특히 경제적 경쟁력을 확보하기 위한 전략으로 많이 채택하고 있다. 혼농임업은 특산 견과류나 과일, 고부가 약용식물, 가축, 바이오 오일재료 등을 지속적으로 생산할 수 있도록 보장해 준다. 혼농임업은 또한 장기적인 탄소고정, 토양보전, 생물다양성 확보 및 보전, 대기 및 수질 향상 등 이해당사자와 사회에 많은 혜택을 가져다 준다. 혼농임업의 혜택은 숲과 작물 및 가축들 간의 상호작용에 의해 만들어진다. 혼농임

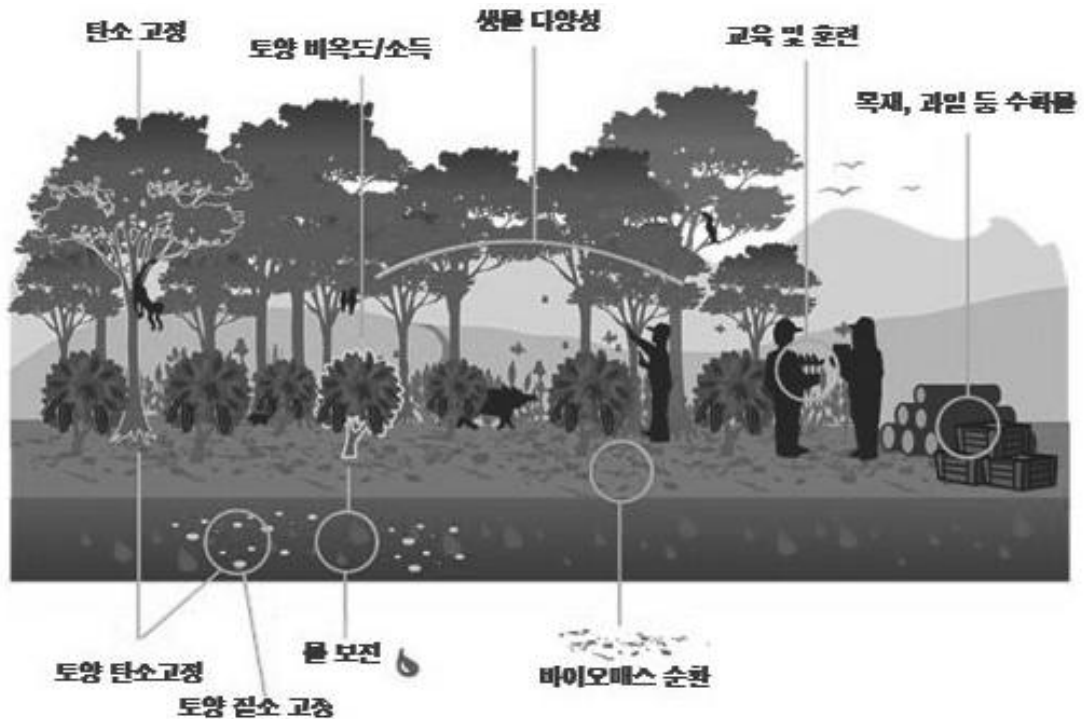


그림 3. 혼농임업이 주는 여러 가지 혜택

업은 각 종(種) 간의 포식이나 경쟁을 최소화하고 상호 공생관계와 같은 긍정적인 작용을 적절하게 적용하는 것이다. 이로온 상호작용은 식물과 동물의 스트레스를 줄일 수 있고 생산 효율을 높이며 토양과 물을 보전할 수 있다. 예를 들면 특정한 나무 아래 드리운 습기 있는 그늘은 강황이나 파인애플과 같은 내음성 식물들에게 유익하다. 반대로 해로운 상호작용은 자원경쟁이나 병해충 발생, 심한 그늘 그리고 타감작용(allelopathy)을 일으킨다. 예를 들면 흑호두와 다양한 유칼립투스 나무들은 타감작용을 통해 그들 주위에 특정한 작물이 자라지 못하게 한다.

4. 북한의 임농복합경영

가. 도입 배경

북한은 전 국토의 약 80% 이상이 산지이며 경작지는 17%에 불과하다. 북한의 산림이 본격적으로 황폐화된 주 원인은 1976년 식량난을 해결하기 위하여 자연개조사업으로 다락밭 조성을 국가정책으로 시행한 것이다. 1990년대 식량난과 에너지난에 따른 고난의 행군 이후 폐기밭 조성으로 산림 황폐화가 지속되었다. 북한은 산림 황폐에 따른 산사태, 홍수 등 자연재해로 인한 인명 및 재산피해가 급증하고 농경지 매몰 등 경제적 피해가 늘어났다. 이에

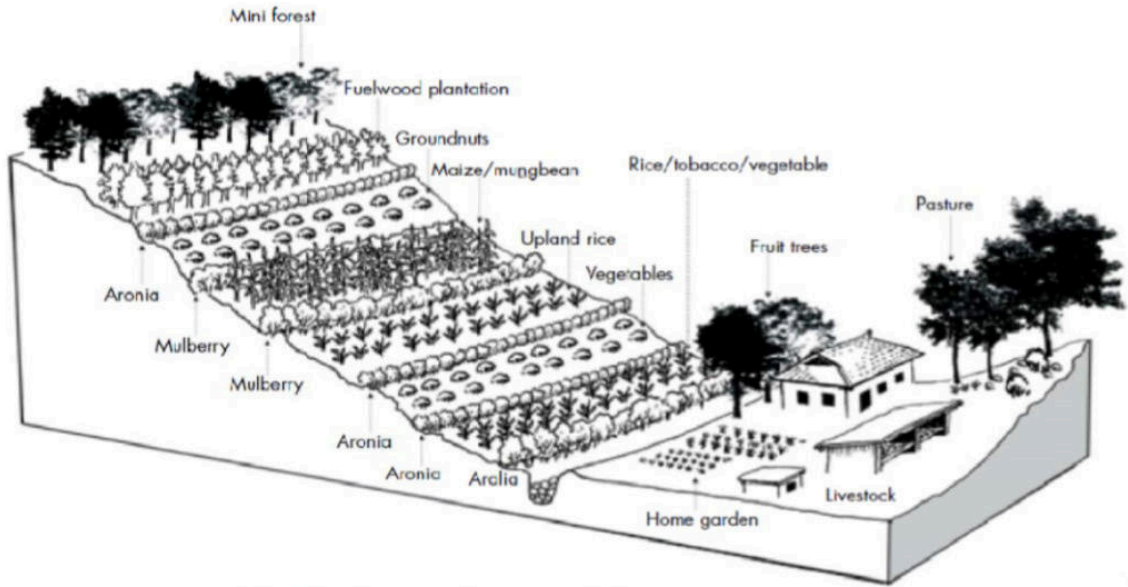


그림 4. 경사지에 도입한 혼농임업 모식도

1997년 스위스개발협력청(Swiss Agency for Development and Cooperation, SDC)은 평양사무소를 개설하고 북한 농업성과 UNDP 사무소와 함께 시범농장을 운영하기 시작하였다. 이후 2003년 북한 국토환경보호성과 스위스개발협력청 그리고 세계혼농임업센터(ICRAF) 공동주관으로 경사지관리프로그램(Sloping land management program, SLMP)이 황해북도 수안군에서 시범으로 도입되었으며 이것이 북한 임농복합경영의 출발이었다.

나. 실행 내용

북한의 임농복합경영은 산지 비탈면에 나무와 농작물, 약초 또는 산나물 등을 배합하여 재배함으로써 산지 비탈면을 보호하고 이용률도 높여 경제적 실리를 얻는 산림경영의 새로

운 형태이다. 임농복합경영 시범사업은 도시지역 퇴직근로자를 중심으로 구성된 산지이용반(Sloping land user group, SLUG)을 구성하여 실행하였다. 산지이용반은 10명을 1개 반으로 하여 10ha를 할당받아 운영하였으며 할당받은 산지를 합법적으로 사용하고 일정 분의 수확물을 소비하고 처분할 수 있는 권한도 부여하였다. 현재까지 북한의 임농복합경영은 성공적인 사업으로 평가 받고 있다.

그 주요인은 첫째로 산지이용반 구성원들이 매우 강인하고 모범적인 성향을 가지고 있으며 사업계획을 반원들 스스로 논의를 통해 의사를 결정할 수 있는 자율적 시스템이라는 점을 들 수 있다. 두 번째로 단나무(아로니아) 등 수익성이 높은 품목과 속성수를 잘 조합하여 수익성과 황폐산지 보전의 두 마리 토끼를 동시에 잡은



그림 5. 조림 수종 선정 작업을 위한 주민참여



그림 6. 수안군의 수종선정 성공사례(2012년 J. Xu 촬영)



그림 7. 황해북도 수안군 제천골 2005년 임농복합경영 도입 전(좌측)과 2015년 도입 후(우측)의 모습

좋은 사업효과이다. 마지막으로 현지에 산지이용반이 운영하는 소규모 양묘장과 교육과 훈련 및 기술지원을 위한 중앙양묘장 간의 협력이 잘 된 점을 들 수 있다.

다. 향후 계획

북한은 2013년 4월 ‘산림법’을 개정하면서 임농복합경영에 관한 규정을 포함하였다. 북한 내 각은 2013년 5월 13일 임농복합경영을 규정에 포함하도록 하는 내각결의안 35를 채택하였다. 이를 근거로 2013년 임농복합경영 전략 및 실행계획(2015~2024)을 수립하였다. 이 계획에 따르면 북한은 임농복합경영을 통하여 6개의 목표를 설정하고 있다.

- 1) 훼손된 산림생태계 복원, 원자재 생산 기반 마련
- 2) 식량안보 달성과 생산성이 높은 환경 유지
- 3) 자연채해 취약지역 환경개선 및 연료림 조성
- 4) 대중 인식 제고 및 능력배양
- 5) 지속적인 연구로 과학지식 강화
- 6) 이해당사자 간의 협력 및 제도적 체계 강화

특히 황폐산림의 생태계 복원을 위하여 30만 ha의 개간산지를 대상으로 임농복합경영을 추진하고 지속가능한 소득을 확보하기 위하여 유기농 식량생산을 위한 임농복합경영단지 3만 ha와 축산기지 운영을 위한 방풍림 1만 ha를 조성할 계획이다.

7. 나오기

최근 기후변화와 생태계다양성 및 토지악화가 세계 환경관련 국제이슈이다. 환경문제는 대량소비와 소비로부터 배출된 폐기물의 축적 때문에 발생한다. 혼농임업은 소규모, 생태적 이론 적용, 환경보전과 경제적 이득의 조화 등 국제 환경문제를 해결할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 혼농임업은 지역의 여건에 맞게 다양한 내용으로 진화해왔다. 그중 하나로 북한의 임농복합경영을 들 수 있다. 북한은 심각하게 황폐된 산지를 조속히 복원해야 하는데 소요되는 재정이나 자원이 턱없이 부족하다. 이러한 상황을 타개하는 방법은 임농복합경영과 같이 저비용의 지역 또는 도시지역 노동력을 활용하는 것이다. 아울러 노동의 효율성과 책임성은 일정 지분의 자율적 경영을 통해서 높였다. 다만 이러한 시스템이 지속 가능하게 유지되고 발전되려면 북한 임농복합경영의 뿌리라고 할 수 있는 세계혼농임업의 동향과 발전 추이를 잘 분석하여 시사점을 얻는 노력을 게을리하지 말아야 한다.

참고문헌

- 김경민 외. 2019. 북한 임농복합경영 추진 현황 및 연구 동향. 국립산림과학원 국제산림정책 토픽 제81호. 24pp.
- 박경석 외. 2019. 북한 산림복구를 위한 적정기술 발굴 및 실행모델 구상. 국립산림과학원

연구보고 제19-2호. 72pp.

Chong S.K., K. Kim. 2004. A Feasibility Study on Rehabilitation of Degraded Forests and Establishment of Agroforestry based on Community Participation in Java of the Republic of Indonesia. Korea Forest Research Institute Report. 97pp.

FAO and ICRAF. 2019. Agroforestry and tenure. Forestry Working Paper no. 8. Rome 40pp.

He J., M. H. Ho, J. Xu. 2015. Participatory selection of tree species for agroforestry on sloping land in North Korea. Mountain Research and Development

Vol. 35. No 4. 318-327.

Michael A. Gold 2017. Agroforestry- Definition, History, Benefits & Example. Britannica; <https://www.britannica.com/science/agroforestry>

Ramachandran Nair P.K. 1993. An Introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers. 491pp.

Xu. J., Mercado A., Dawson I. 2013. An agroforestry guide for field practitioners. The world agroforestry centre. East Asia, Kunming. China. 63pp.



생활권 도시숲 토양 관리 지침서 국외 사례

박 관 수

충남대학교 산림환경자원학과 교수

오늘날 도시민들의 생활 수준이 향상됨에 따라 도시와 자연의 공존은 새로운 시대의 도시상으로 인식되고 있다. 하지만 세계적인 흐름에도 불구하고 우리나라의 경우 좁은 토지 면적, 대규모 도시 개발, 그리고 투자 및 관리 비용 등의 문제로 인해 도심에서 녹지 공간에 대한 관리는 제대로 이루어지지 않고 있다.

현재 우리나라의 경우 건강 문화의 확산, 미세먼지와 열섬현상의 저감, 그리고 생활 수준 향상 등으로 인해 건강한 생활권 도시숲에 대한 시민들의 요구는 지속해서 높아지고 있다. 하지만 이에 대한 지속적인 투자와 관리는 매우 비과학적으로 이루어지고 있으며, 이로 인해 해마다 많은 수목이 고사하거나 병들고 있다. 매년 부적절한 관리로 인해 발생하는 경제적 피해 규모는 연간 수백억에 달하는 것으로 추산되고 있으나, 이에 대한 적절한 해결 방안은 제시되지 못하고 있다.

수목 전문가들은 우리나라 생활권 수목 고사

원인의 60% 이상이 토양 문제 때문으로 판단하고 있다. 즉, 수목이 병들거나 고사하는 주요한 원인 중 하나는 토양에 문제가 있기 때문이며, 이를 해결하기 위해서는 먼저 토양에 대한 진단이 꼭 필요하다고 보고 있다. 생활권 도시숲에서 자라고 있는 수목의 고사에 따른 토양진단에서는 “분석-진단-처방”이라는 일련의 흐름이 요구된다.

본 내용은 생활권 도시숲 토양 관리 지침에 대한 외국 사례이며, 이를 통해 좀 더 발전된 도시숲 토양 관리 지침서를 만들고자 한다.

가. 미 국

1) ANSI A300

「ANSI A300」표준지침서는 수목관리에 초점을 맞추고 여러 부분으로 세분화하였는데, 이러한 표준은 작업을 위한 규정 및 규칙에 이용된

다. 「ANSI A300」의 표준은 교목, 관목, 그리고 다른 조경 식물의 관리·감독하는 전문가들이 활용하며, 사업자, 정부 기관, 부동산 소유자, 부동산 관리자 및 기타 필요로 하는 사람들이 사 용하도록 규정하고 있다.

Part 1	가지치기
Part 2	토양 관리(시비)
Part 3	보조 지원 시스템
Part 4	낙뢰 보호 시스템
Part 5	관리
Part 6	이식

현재 ANSI A300은 아래와 같이 9개 분야가 수립되었고 현재 2개 분야의 표준 지침이 준비 중이다.

Part 7	종합적 식물관리
Part 8	뿌리 관리
Part 9	수목 위험 평가
Part 10 (근간)	종합적 해충관리
Part 11 (근간)	도시숲 생산물

ANSI A300의 Part 2는 개량, 시비, 토양 수 분 표준 등을 포함한 토양 관리 표준 지침을 제 시하였고 2010년 개정 작업을 통해서 기존에 분리되었던 토양 관리(Part 2)와 토양개량(Part

8)을 통합하였다. 토양 관리는 토양의 이화학적 특성 및 생물학적 특성이 수목, 관목, 관상식물 의 뿌리에 적합한 상태를 유지하도록 조성 관리 하는 것을 목적으로 한다.

1. 토양 관리
 - 가. 일반
2. 토양개량
 - 가. 토양 조건 평가
 - 가. 토양 유기물 관리 기법
 - 가. 답압 관리 기법
 - 가. 낙엽층 관리
 - 가. 토양 개량제
 - 가. 토양 갈아엎기
3. 토양 시비
 - 가. pH 조절
 - 가. 시비량 산정
 - 가. 토양 위치별 시비 기술
 - 가. 기타 시비 기술
4. 토양 수분 관리
 - 가. 일반
 - 가. 불투수층 저감
 - 가. 표면 배수의 저감 및 조절
 - 가. 표층 하부의 배수 저감 및 조절



그림 1. ANSI A300 (Part 2): Soil Management a. Modification, b. Fertilization, and c. Drainage

2) Urban Soils: Applications and practices

미국의 Craul 교수는 1999년 도시 토양 관리 기법을 종합하고 도시 토양을 평가하고 해석하는 기법 및 기준이 상세히 제시된 “Urban soils: applications and practices”를 발표하였으며, 토양 평가는 다음의 순서를 따른다.

- (가) 평가 대상 토양의 이용 목적을 명확히 정의함
“어떠한 목적에 따라서 토양의 정보가 쓰일 것인가?”
- (나) 명확히 정의된 이용 목적에 따라 각각 항목별 토양 특성의 영향을 파악하기 위해 기준 값을 제시함
- (다) 평가될 토양 특성은 기존의 측정 자료, 타당한 선행 연구, 평가자의 지식과 판단에 근거하여 결정됨
- (라) 토양 평가를 통해 조사지의 토양을 상대적으로 분류될 수 있어야 함
- (마) 평가된 토양 특성은 지도화가 될 수 있어야 함

이처럼 토양 평가에 있어서 평가의 목적과 대상을 명확히 정의 하는 것이 선행되어야 하고 생활권 도시숲 토양 관리 지침을 작성하는데 있어서 목적과 대상을 정의하는 것이 매우 중요하다.

3) 도시 생활권 토양 등급 평가 기준

Schever과 Hipple (2005)는 “Urban soil primer”에서 도시 토양의 특성에 영향을 미치는 기작을 정리하였으며, “생활권 도시숲 토양 관리 지침”은 다음과 같은 도시 토양의 특성을 고려하여 마련하였다.

- 유기물 투입 부족
- 수분 이동의 교란
- 염 농도 증가
- 양분 순환의 두절과 그에 따른 미생물 활동의 변화
- 높은 토양 온도로 인한 화학 반응의 촉진
- 시멘트, 석고, 도로 유출물로 인한 토양 pH 상승
- 토양 답압으로 인한 인도 지표 밑의 유수

4) 미국 발티모어시 사례

Pouyat 등(2007)은 “Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover types”에서 발티모어시를 6개의 토지 유형(상업용지, 산업용지, 산림, 공원용지, 주거지, 공공용지)으로 구분하였고 각 유형별로 총 122개의 시료를 채취하여 토양 성질을 분석한 결과는 표 1과 같다.

도시 토양의 변이는 pH를 제외한 대부분 항목에서 전반적으로 높았고 치환성 양이온은 부족하지 않았으나, Ca와 염도가 특히 높았다. 이러한 경향은 표 2의 Pouyat et al.(2002)이 보고한 미국 뉴욕시의 도시 토양 성질과 유사한 것으로 나타났다.

표 1. 미국 발티모어시의 생활권 도시숲 깊이 10 cm 토양 성질(N = 122)

	Mean	Median	Min.	Max.	SE	CV (%)
Bulk density (Mg/m ³)	1.18	1.18	0.71	1.74	0.016	14.9
pH	5.2	6	3.3	7.6	0.07	12.8
Organic matter (g/kg)	54	51	5	130	17	34.6
Sand (%)	53	53	33	83	0.91	18.1
Clay (%)	17	16	6	31	0.49	30.2
N (g/kg)	1.6	1.4	0.1	6.6	0.087	58.8
Acid-extractable K (mg/kg)	903	759	124	4038	57	69.9
K (mg/kg)	106	91	12	280	5.2	54.6
Acid-extractable Ca (mg/kg)	4347	2542	32	30528	460	117.5
Ca (mg/kg)	1620	1350	18	5634	97	66
Acid-extractable Mg (mg/kg)	2699	2164	55	10290	190	78.3
Mg (mg/kg)	155	160	21	388	4.4	31.3
Acid-extractable P (mg/kg)	527	460	65	2080	31	64
P (mg/kg)	90	38	5	1154	15	178.3
Acid-extractable Na (mg/kg)	115	96	20	388	6.8	65.5
Acid-extractable Al (mg/kg)	14117	13522	1418	42097	670	52.6
Acid-extractable S (mg/kg)	370	313	119	2071	20	60.5
Acid-extractable Ti (mg/kg)	282	197	36	1177	21	83.6
Acid-extractable Cr (mg/kg)	72.3	38	8	794	8.8	133.8
Acid-extractable Mn (mg/kg)	472	422	6	2125	3.1	71.9
Acid-extractable Fe (mg/kg)	23495	22277	6540	62580	1000	49.3
Acid-extractable Co (mg/kg)	15	12	0.5	65	1.1	78.4
Acid-extractable Ni (mg/kg)	27	18	5	336	3.2	131.5
Acid-extractable Cu (mg/kg)	45	35	6	216	3	73.9
Acid-extractable Zn (mg/kg)	141	81	6	1190	16	120.4
Acid-extractable Mo (mg/kg)	0.5	0.3	0.01	7	0.083	201.1
Acid-extractable Pb (mg/kg)	231	89	4	5652	53	251.3
Acid-extractable Cd (mg/kg)	1.06	0.89	0.003	3.1	0.066	68.4
Acid-extractable V (mg/kg)	37	31	7	118	2.2	66.2

출처 : Pouyat et al., 2007

표 2. 미국 뉴욕시 도시-교외 경사에 따른 토양 성질

	Rura		Suburban		Urban	
pH	4.7		4.6		4.5	
Conductivity (S/m)	0.081	(0.002)	0.115	(0.003)	0.131	(0.004)
Bulk density (Mg/m ³)	0.88	(0.02)	0.91	(0.02)	0.87	(0.02)
Sand (%)	75	(0.61)	74	(0.94)	74	(0.63)
Clay (%)	9.2	(0.37)	10.1	(0.47)	9.6	(0.34)
Cu (mg/kg)	14.8	(1.94)	16	(0.68)	31.6	(1.14)
Ni (mg/kg)	14	(0.6)	17.8	(1.06)	22	(1.25)
Pb (mg/kg)	26.9	(0.86)	36.7	(2.06)	110	(4.12)
Ca (mg/kg)	28.3	(6.2)	61.2	(9.8)	175.6	(23.7)
Mg (mg/kg)	11.3	(0.69)	13.4	(0.76)	29.8	(2.8)
K (mg/kg)	48.2	(2.7)	54.5	(2.7)	65.3	(3.9)
N (g/kg)	1.97	(0.14)	2.31	(0.11)	2.63	(0.11)
Organic matter (g/kg)	73	(4.3)	83	(2.6)	97	(3.3)

출처 : Pouyat et al., 2006

5) 미국 유타주 사례

Koenig과 Isaman(2002)은 “Topsoil quality guidelines for landscaping”에서 유타주 도시 토양을 대상으로 토양 품질 평가 기준을 제안하였으며(표 3), 이 평가 방법은 염도

(전기전도도), 산도, 입자성질, 토성, 유기물, 나트륨 흡착비, 질산, 인, 칼륨 등의 항목을 기준으로 최적(ideal), 적합(acceptable), 불가(unacceptable)등 으로 판별하였다.

표 3. 미국 유타주 도시 토양 표층 토양 품질 평가 기준

	Ideal	Acceptable	Unacceptable
Soluble salts (ds/m)	< 2	< 4	> 4
pH	5.5-7.5	5.0-8.2	< 5.0 or > 8.2
Sand (%)	< 70	< 70	> 70
Silt (%)	< 70	< 70	> 70
Clay (%)	< 30	< 30	> 30
Texture class	L, SiL	SCL, SL, CL, SiCL	LS, SC, SiC, S, Si C
Organic matter (%)	> 2.0	> 1.0	< 1.0
Coarse fragments (%)	< 2	2.1-5.0	> 5.0
Sodium adsorption ratio	< 3	3-7 (for SiL, SiCL, CL) 3-10 (for SCL, SL, L)	> 10
Nitrate (mg/kg)		> 20	
P (mg/kg)		> 15	
K (mg/kg)		> 150	
Fe (mg/kg)		> 10	

출처 : Koenig and Isaman, 2002

6) Hanks와 Lewandowski의 개선안

Hanks와 Lewandowski(2003)은 “Protecting urban soil quality: examples for landscape codes and specifications”에서 Koenig과 Isaman(2002)의 유타주를 대상으로 한 도시 토양 품질 평가를 개선하였으며

(표 4), 이 평가 기준에는 기존의 평가 항목 외에 C:N율과 현장에서 측정할 수 있는 전밀도, 투수율, 표층 깊이 등이 추가되고 등급 기준으로 허용(required final condition) 수준만 제시되었다.

표 4. 미국 도시 토양 품질 평가 기준

	Required final condition
Soluble salts (dS/m)	< 2.5
Sodium adsorption ratio	< 2
pH	6.0-7.5
Sand (%)	< 70
Silt (%)	< 70
Clay (%)	< 30
Texture class	L, SiL, SCL, SL, CL
Organic matter (%)	> 5
Coarse fragments (%)	< 10
Nitrate	시비량 산정을 위한 수치만 보고
P (mg/kg)	> 20
K (mg/kg)	> 150
Fe (mg/kg)	> 10
C:N ratio	< 20:1
Penetrability	< 1400 kPa (200 psi)
Infiltration rates (in/hr)	> 0.6-2
Topsoil depth (cm)	> 10

출처 : Hanks and Lewandowski, 2003

7) Craul의 용도에 따른 토양 품질 평가

Craul(1999)은 “Topsoil quality guidelines for landscaping”에서 매립지, 농경지, 휴양지, 피해지 등 다양한 용도의 토양을 대상으로 한 품질 평가 기준을 제시하였고(표 5) 그 중 휴양 목적의 토양 품질 평가 기준은 토양 물리성과

관련된 상세한 항목들을 주로 제시하였다.

토양항목에 따라 토성의 등급 기준 및 경사 정도에 따라서도 토심의 등급 기준을 다르게 제시한 반면, 토양 화학성과 관련되어서는 pH, 염도, 나트륨 흡착비만 제시하였다.

표 5. 휴양 목적의 토양 품질 평가 기준

	Slight	Moderate	Severe	Restrictive feature
USDA texture	—	—	Ice	Permafrost
Texture modifier (surface)	—	STV, BYV, CB, FL	STX, BYX, CBX, FLX, CBV, FLV, CNX	Too cobbly
Texture (surface layer)	—	—	SC, SIC, C	Too clayey
Texture (surface layer; Tor, Ust, Arid, Xer, Oxi, Suborders, Great Groups, and Subgroups Oxisols)	—	SC, SIC, C	—	Too clayey
Texture (surface layer; others)	—	LCOS, VFS, LFS, LS	COS, S, FS	Too sandy
Texture (surface layer finer material < 20")	—	LCOS, VFS	—	Too sandy
Texture (surface layer; Tor, Arid, or Xer subgroups and great Groups)	—	SIL, SI, VFSL, L, ashy	—	Dusty
Slope (%)	< 2	2-6	>6	Slope
Ponding	—	—	Any entry	Ponding
Depth to high watertable (ft)	> 2.5	1.5-2.5	< 1.5	Wetness
Flooding	None, rare	Occasional	Frequent	Flooding
Stoniness class	0, 1	2	3, 4, 5	Too stony
Weight percent 2 mm to 3" (surface layer)	< 10	10-25	> 25	Too gravelly
Unified (surface)	—	—	PT	Excess humus
Depth to bedrock (> 2% slopes, in)	> 40	20-40	< 20	Depth to rock
Depth to bedrock (= < 2% slopes, in)	>= 40	—	< 20	Depth to rock
Depth to cemented pan (> 2% slopes, in)	> 40	20-40	< 20	Cemented pan
Depth to cemented pan (> 2% slopes, in)	> 20	—	< 20	Cemented pan
Permeability (0-40"; in/hr)	> 0.6	0.06-0.6	< 0.06	Percs slowly
Permeability (0-40"; Tor, Ust, Arid, Xer, Oxi suborders, Great Groups, and Subgroups Oxisols)	>= 0.2	< 0.2	—	Percs slowly
Sodium adsorption ratio	< 4	4-13	> 13	Excess sodium
Salinity (ds/m)	< 4	4-8	> 8	Excess salt
Soil reaction (pH)	—	—	< 3.5	Too acid

출처 : Craul, 1999

8) 콜로라도 주립대학교의 조경수 관리

이산화탄소를 산소로 전환, 토양으로 수분 침투의 증가, 지표 유거수와 침식의 감소, 먼지 감소, 오염물질을 효과적으로 감소시키는 미생물 생태계 보호, 여름철 기온 감소, 사람들에게 즐거운 장소를 창조한다.

(가) 통합 해충 관리(IPM)

통합 해충관리, 즉 IPM은 전통적인 방법, 기계적인 방법, 자연 생명체의 사용 등의 다양한 전략을 포함한다. 통합 해충관리의 목표는 수익성을 유지하며 해충 피해, 건강 관련 위험, 환경 위험의 최소화를 이루는 것이다.

통합 해충관리 응용프로그램은 수종에 따라 해충과 질병 등에 의한 문제가 다르기에 각각의 대상에 따라 다르게 적용한다.

(나) 수목 건전성 관리(PHC)

식물 건전성 관리, 즉 PHC는 IPM 기술을 좀 더 명확하게 재정의하여 수목관리 및 조경에 적용하기 위하여 국제 수목 협회에 의하여 만들어졌다.

주요 목적은 건전한 수목을 기르고 해충의 피해를 최소화하기 위함으로 다음의 내용을 포함한다.

- 건전한 식물은 해충과 질병의 발생 확률이 낮다. 해충과 질병은 환경적 스트레스로 수세가 약화된 수목에서 많이 발생한다. 따라서 스트레스를 줄이는 것은 일반적인 해충과 질병의 발생을 예방할 수 있다. 예를 들어 사이토스포라 곰팡이(진균류로 자루늑병

균과의 병원균)와 대부분의 천공성 곤충은 주로 토양의 답압과 건조에 의한 스트레스를 받아 수세가 약한 수목에게 피해를 가한다.

- 건전한 식물은 해충에 대하여 내성이 있다.
- 식물은 그들의 생활사 무대에서 변화를 요구한다. 관개, 시비, 가지치기, 해충에 대한 내성 등등 식물의 요구들은 식물의 성장에 따라 변한다.
- PIC cycle이란 복합적인 스트레스 요인들로부터 수목 장애가 발생하는 것을 말한다. 예를 들어 서양 소나무에서 가뭄과 숲의 과성숙은 나무좀을 발생시킨다. 또한 토양의 경화는 사이토스포라의 피해를 유발한다.

(다) PIC cycle

PHC의 기본 원리는 식물 문제의 대부분이 스트레스 요인의 복합으로부터 일어나며, 이러한 개념을 PIC cycle이라 부른다. 식물의 저항성을 감소시키는 요인은 다음과 같다.

- 수목 식재에 있어 뿌리의 뻗음은 토양 답압 등의 외부요인 때문에 제한된다.
- 토양 내 수분함량이 과도하게 높은 잔디밭의 젖은 토양에 수분에 민감한 수목을 식재할 경우 뿌리가 부후된다.
- 생석회를 함유한 토양에 철 백화현상에 취약한 수목을 식재할 때 식물의 저항성이 감소된다.
- 어린 나무 가꾸기를 실패하여 식생 구조적으로 풍해에 취약하게 된다.

이미 스트레스를 받아 수세가 약해진 수목에 추가로 곤충, 질병 그리고 비생물학적 장애의 상호작용을 통하여 식물의 죽음을 초래하며, 피해의 예는 다음과 같다.

- 토양 답압, 가뭄, 풍해 후 발생 : 나무줄과 천공충
- 토양 답압, 가뭄, 뿌리 발달 저해 후 발생
- 심식으로 인한 세균의 박피

(라) 수목 건전성 관리 기술

(1) 적지적수

- 식재지에 적합한 수종의 선택

(2) 토양 관리

- 약 80% 정도의 조정 식물의 생육 장애는 토양조건과 관련됨
- 토양 답압으로 인한 토양 내 산소 부족과 배수 불량
- 시비 관리, 배수 불량

(3) 배수 관리

- 식물의 성장에 필요한 수분과 생존에 필요한 수분의 양은 다르며, 식물의 종류에 따라 습한 환경과 건조 환경에 대한 내성이 있으므로 수종에 따른 적절한 배수 관리가 필요함

(4) 기상 요인

- 온도, 바람, 강우에 의한 피해가 발생할 수 있으므로 이에 대한 관리가 필요함

(5) 해충 관리

- 기계적 방법 : 텃, 차단막 등
- 생물학적 방법 : 천적 이용, 이로운 선

충의 사용, 호르몬 사용 등

- 화학적 방법 : 살충제

나. 일 본

1) 수목 진료 지침서 현황

일본은 공인된 수목 진료 지침서는 규정되어 있지 않고, 일본녹화센터가 수목진료의 중심적인 역할을 하고 있다. 일본녹화센터의 녹화수목 공급 기술정보란에 수목진단의 목적 및 목표, 조사절차와 진단방법, 쇠퇴도 조사, 병충해진단, 토양조사, 쓰러진 수목 위험도 판정 및 종합진단 등에 대하여 전문자료를 일반 협회 회원 및 관련 수목 전문 의사들에게 공급한다.

진단은 4가지 목적을 가지고 있는데, 이식여부의 결정, 수목건전도 파악, 수세 쇠퇴원인 규명, 쓰러진 수목 위험도 판정 등이다. 조사방법과 진단방법으로는 조사를 실시하기 전에 조사목표를 분명히 하고, 필요한 조사항목을 검토하며, 작업정도, 시간, 인원 등을 조사하고, 수목의 위치 등을 점검한 후 조사 시에는 수종, 온도, 주변의 수목과의 관계, 수목 형상 등을 정밀 조사하도록 지침 한다.

녹화센터에서 녹화수목의 수세회복 기술에 대한 책자를 발간하여, 진단의 목적, 조사방법과 진단방법, 쇠퇴도 조사, 병충해 진단, 토양조사, 수목을 쓰러뜨릴 위험도 판정, 종합진단에 대하여 설명되어 있으며, 치료 편에서는 치료의 목적, 수목의 쇠퇴원인 줄기를 침해하는 목재부후균, 토양환경 개선대책, 뿌리생육생태



그림 2. 녹화수목의 병해충 - 진단 및 방제-

개선대책, 수목껍질 손상부위 복구 등에 대하여 설명하고 있다.

2) 토양 진단 방법과 활용

토양 진단 방법과 활용(1996)에서는 농작물 재배를 위한 토양의 기본적인 성질과 이화학성 및 양분상태를 정확히 파악하고, 적절한 시비와 토양개량의 실행을 위하여 필요한 토양진단의 기본적인 방법과 활용에 대하여 연구하였으며, 관리항목별 기준은 아래와 같다.

(가) 토양 경도

- 산중식 경도계 측정 시,
양호 : 20mm미만, 불량 : 20mm이상
- 자기관입식 경도계 측정 시,
양호 : 15kg/cm² 미만,
불량 : 15kg/cm² 이상

(나) 기상율

- 양호 : 20% 이상, 불량 : 20% 이하

(다) 포화투수계수

- 양호 : 10-3~10-4 cm/sec
- 매우 좋음 : 10-2cm/sec 이하
- 다소 불량 : 10-5cm/sec
- 불량 : 10-6cm/sec 이상



그림 3. 토양 진단 방법과 활용

3) 녹지의 수목생육 기반에 관한 연구 활용

녹지의 수목생육 기반에 관한 연구(1986)에서는 각종 녹화사업의 현장문제에 대응하고 녹지수목의 생육기반(녹지토양)의 불량요인을 파악 및 그에 대한 진단방법과 대책에 관한 연구를 수행하였으며, 관리항목별 기준은 아래와 같다.

(가) 용적밀도

- 양호 : $0.4 \sim 0.6 \text{g/cm}^3$,
불량 : 1.0g/cm^3 이상

(나) 고상율

- 60% 이상: 불량, 45~60%: 다소불량

(다) 최소 용기량

- 5% 이하: 불량, 5~10%: 다소불량



그림 4. 녹지의 수목생육 기반에 관한 연구

4) 재배기반 정비 절차(방안)

일본의 국토 교통성 도시국 공원 녹지 경관과에서는 재배기반 정비 절차(방안)(2012)에서 공원녹지의 정비에 있어서 재해 폐기물의 활용에 관한 기본 개념에 기초하여, 피해를 입은 공원 녹지의 현장토나 쓰나미 퇴적물을 활용하여 식재기반을 정비할 때 필요한 기술적인 사항을 표준화하였으며, 정비에 활용되는 토양의 이화학적 특성의 기준은 표 6과 같다.

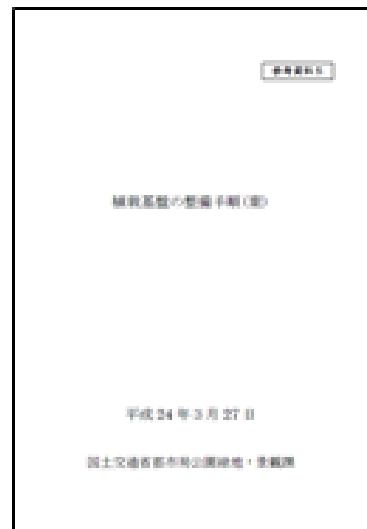


그림 5. 재배기반 정비 절차(방안)

표 6. 토양의 이화학적 특성의 기준치

조사·판정항목		기준치	
		상부유효토층	하부유효토층
지하수위		기교하부 -0.5m<	
토양의 물리성	토양경도	23mm>	23mm>
	포화투수계수	10□ ⁴ ~ 10□ ¹ cm/sec	10□ ⁴ ~ 10□ ¹ cm/sec
	유효수분보유율	80 ~ 3001/m ³	60 ~ 3001/m ³
토양의 화학성	pH	4.5 ~ 7.5	4.0 ~ 8.0
	염기치환용량	6me/100g<	-
	전기전도도	0.1 ~ 1.0ms/cm	1.5ms/cm>
	부식함량	5%<	-
	전질소	0.07 ~ 0.3%	0.3%>
	유효인산	5mg/100g<	-
	K	0.2me/100g	-
	Ca	5 ~ 20me/100g	20me/100g>
	Na	*ESP 15%>	*ESP 15%>
	Cl	0.1%>	0.1%>

5) 나무 건전 육성 설명서

니가타현의 재단법인 도시 녹색 꽃 센터는 나무건전 육성 설명서(2007)에서 토양의 관리 항목별기준을 적용하여 조경수 토양에 대한 관리 지침을 제시하였으며 관리 항목별 기준은 아래와 같다.

- (가) 하세가와식 토양관입계에 의한 토양 경도 측정 기준은 표 7과 같다. 단, 표 7은 특정 층에 대한 판단기준치로서 1회의 타격으로 1cm 이하의 수치가 나오면 부적합하다는 것이 아니라, 종합적인 평가 기준으로써 표 8과 합쳐서 판단하는 것이 좋다.



그림 6. 나무건전 육성 설명서

표 7. 하세가와식 토양관입계 측정 기준

S 값 (cm/drop)	뿌리신장의 가부	균기의 표현	판 정
0.7 이하	많은 뿌리가 뽑기 어려움	고	XX
0.7-1.0	근계 발달을 저해 함	경	X
1.0-1.5	근계 발달에 저해를 받는 수준이 있음	체	△
1.5-4.0	근계 발달에 저해 없음	연	○
4.0 이상	상동(저 지지력 및 건조)	팽연	△

표 8. 종합 평가 기준표

S값 0.7 이하의 고결층이 5cm 이상 연속	고결에 의한 불량 지반 고결에 의한 불량 지반
S값 1.0 이하의 고결층이 10cm 이상 연속	
S값 0.2 이하 10회(drop) 이상 연속	고결층

(나) 하세가와 간이 투수 시험기에 의한 현장투수속도 평가 기준치

표 9. 하세가와 간이 투수 시험기의 현장투수속도 기준치

최종감수능	감소속도(cm/sec)환산	판정
10mm/hr 이하	2.8×10^4 이하	×
10 ~ 30mm/hr	$2.8 \times 10^4 \sim 8.3 \times 10^4$	△
30 ~ 100mm/hr	$8.3 \times 10^4 \sim 2.8 \times 10^5$	○
100mm/hr ~ 이하	2.8×10^5 이하	◎

(다) 석력함량 기준

표 10. 석력함량 기준

석력함유율 (%)	판정	비고
40 이상	X	눈에 의한 용적비로 판단
40 이하	O	

(라) 토양 산도(pH) 기준

표 11. 토양 산도(pH) 기준

토양산도(H ₂ O)		판 정	비 고
산성	~ 4.5	×	단, 호산성인 진달래류와 호알칼리성인 라일락 등은 수종에 따라 적정치가 다르므로 평가에는 신중한 대응이 필요함
	4.6 ~ 5.0	△	
	5.1 ~ 5.5	○	
	5.6 ~ 6.5	◎	
	6.6 ~ 7.0	○	
중성	7.0		
알칼리성	7.1 ~ 7.5	△	
	7.6 ~	×	

(마) 전기전도도(EC) 기준

표 12. 전기전도도(EC) 기준

전기전도도(EC: mS/cm)	판 정
1.3 이하	×
0.8 ~ 1.2	△
0.6 ~ 0.7	○
0.3 ~ 0.5	◎
0.2 이하	○

(바) 유기물함량(%) 기준

표 13. 유기물 함량 기준

유기물 함량(%)		판 정
0.4 이하	31 이하	×
0.5 ~ 5	20 ~ 30	△
5 ~ 10	15 ~ 20	○
10 ~ 15		◎

6) 최신 나무 의사 안내서 개정판

재단법인 일본 녹화 센터는 최신 나무의사 안내서 개정판(2011)에서 수목의 성장과 토양의 관계에 중점을 두고 토양에 대한 기초지식의 습득을 위해 먼저 산림토양분류에 대해 개설하고 다음으로 현장에서의 토양단면조사 방법, 수목의 성장과 토양의 물리·화학적 환경의 의의를 해설하며, 토양조사와 토양장애의 진단요점을 제시하였다.

구체적인 설명 단위는 토양의 생성과 인자, 토양층위의 식별과 구분, 산림토양의 분류, 토양단면조사와 토양진단, 토양의 물리적 환경, 토양의 화학적 환경 및 토양조사와 토양장애의 진단요점 등이다.

한편 토양개량(발근촉진 포함) 편에서는 토

양에 대한 올바른 지식을 갖고 올바른 토양개량 대책을 수립할 수 있는 전문지식 습득이 수목의 나무 의사(樹木医)에게 중요한 요소임을 언급하였으며, 토양의 항목별 기준치를 제시하였다.



그림 7. 최신 나무의사 안내서 개정판

(가) 산중식(山中式) 경도계 측정 기준, 토양 물리성 및 특징적인 구조의 관계

표 14. 산중식 경도계 측정 기준과 토양 물리성 및 특징적인 구조와의 관계

손의 감촉	경도계 (mm)	투수성	보수성	토양구조
뭉치어 단단하다	26 이상	불투수	나쁨	벽상
매우 단단하다	22-25	나쁨	나쁨	벽상
단단하다	15-21	나쁨	보통	벽상, 견과상
연하다	10-14	보통	보통	단립상(團粒狀), 괴상
성기다	4-9	좋음	좋음	단립상(團粒狀)
매우 성기다	4 이하	좋음	좋음	단립상(單粒狀), 단립상(團粒狀)

(나) 토성과 보수 및 보비력의 관계

표 15. 토성과 보수 및 보비력의 관계

토 성	보수성	보비력
사 토	나쁨	나쁨
사질양토	보통	조금 나쁨
양 토	좋음	보통
미사질양토	좋음	좋음
식질양토	보통	좋음
식 토	나쁨	보통

(다) 토양 3상과 용적밀도

- 고상율 : 40% 이상일 때 불량
- 기상율 : 10% 이하일 때 불량
- 용적밀도 : $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 이상일 때 불량

(라) 토양수의 수습상태와 감촉 및 pF

표 16. 토양수의 수습상태와 감촉 및 pF값의 관계

수분상태	감촉	pF
건	습기를 느끼지 못함	3.0 이상
윤	습기를 느낌	2.5~3.0
습	두 손가락으로 강하게 압착하면 물이 번짐	2.0~2.5
다습	움켜쥐면 물이 번짐	1.0~2.0
과습	물이 방울져 떨어짐	1.0 이하

(마) 토양의 투수성과 관련한 토양의 물리적, 형태적 특징

표 17. 토양의 투수성과 관련한 토양의 물리적, 형태적 특징

투수성	견밀도	공극	토양구조	퇴적양식
불투수	고결	세공극(발수성)	벽상, 세립상	-
매우불량	매우 단단함	세공극(발수성)	벽상, 세립상	수적
불량	단단함	세공극	견과상	잔적
보통	연함	중공극	입상	포행
양호	성김	조공극	단립상(團粒狀)	붕적
매우 양호	매우 성김	조공극	단립상(團粒狀)	붕적

(바) 내산성

- 일본의 수목은 활엽수·침엽수 모두 산성토양에 대한 내성이 커서 다소의 산성 토양에서는 문제없이 성장한다. 산성토양에 대한 내성은 침엽수의 경우 해송이

나 소나무가 강하고 활엽수에서는 아까시나무, 상수리나무가 강하며, 삼나무와 느티나무는 내산성이 비교적 낮은 편이다.

(사) 유효 토심

표 18. 유효 토심의 기준

구 분	교 목	아교목	관 목
깊 이	60cm 이상	40cm 이상	30cm 이상

다. 호 주

호주의 SESL사는 Soil Issues for the Urban Forest에서 수목의 뿌리 생육에 관련한 토양 내

산소 농도의 최대값과 최소값, 사토, 사질양토, 양토, 식양토, 식토의 토성별 용적밀도에 대한 기준치를 제시하였다(그림 8).



Soil Property		minimum	maximum
Oxygen in soil atmosphere	survival	2.5%	21%
	growth	5%	21%
	root initiation	12%	21%
	nutrient absorption	15%	21%
Bulk Density	Sands	N/A	1.8g/cc
	Sandy loams		1.7
	Loams		1.55
	Clay Loams		1.5
	Clays		1.4
Air Space	Sand	20-24%	NA
	Loams	14-20%	
	Clay loams and Clays	11-14%	
Water Content		12%	40%
Temperature		4°C	34°C

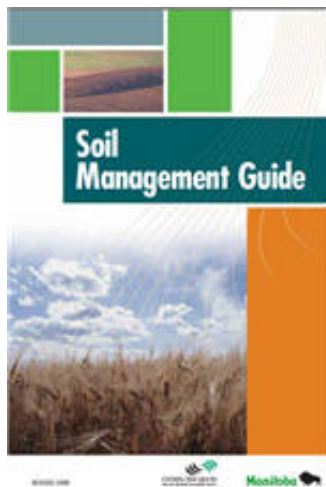
그림 8. SESL사의 Soil Issues for the Urban Forest

라. 캐나다

Management Guide(2008)에서 작물 재배지 토양의 전기전도도(EC)에 대한 기준치를 제시하였다(그림 9).

1) Soil Management Guide

캐나다의 Manitoba agriculture는 Soil



	Crop	Soil Condition	Field Observations
Non- saline	Pulses and vegetable crops	EC < 2* SAR < 13	Normal crop growth
	All other crops	EC < 4 SAR < 13	
Saline	Pulses and vegetable crops	EC > 2 SAR < 13	Salt crystals at or near soil surface when dry; little or no plant growth
	All other crops	EC > 4 SAR < 13	
Sodic	All crops	EC < 4 SAR > 13	Shiny black when wet; dull grey, hard and cracked when dry; little or no plant growth; pH may be > 8.6
Saline-sodic	All crops	EC > 4 SAR > 13	Any combination of the above features may be present

* dS/m = mS/cm = mmho/cm

그림 9. SESL사의 Soil Issues for the Urban Forest

2) Tree Planting details & specifications downtown area and Regional streets

캐나다의 위니펙시(2009)에서는 도심 내 나무 심기에 대한 원칙과 가이드라인을 설정하면서 식재지 토양의 pH(5.5~6.5), 유기물 함량(2~5%), 양분함량, EC(1.0dS/m), CEC(10cmol+/kg), C/N율(33:1), 입도분포(모래 : 20~45%, 미사 : 20~50%, 점토 : 20~40%) 등의 이화학적 특성에 대한 기준치를 제시하였다.

3) Street tree guidelines

캐나다 밴쿠버시(2011)에서는 가로수 관리

지침서를 발간하면서 가로수 식재의 표준 작업 절차를 확립하고 관련 기관과 종사자에게 관리 메뉴얼을 제공하여 건전하고 아름다운 도시숲을 조성하고자 함이다.

본 지침서에서는 가로수 토양의 자갈함량(0~5%), 입도 조성(모래 : 83~88%, 미사 : 12~17%, 점토 : 0~5%), 유기물 함량(5~10%), pH(6.0~7.0), C/N율(25:1), EC(3.0dS/m 이하), 전질소(0.2~0.6%), 유효인산(50~200mg/kg) 등의 이화학적 특성에 대한 기준치를 제시하였다.

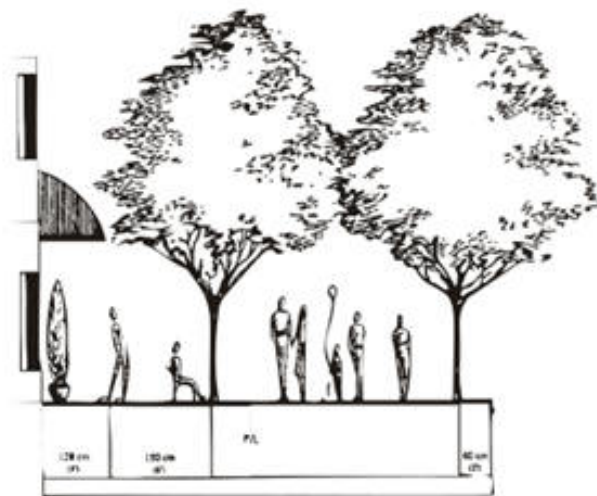
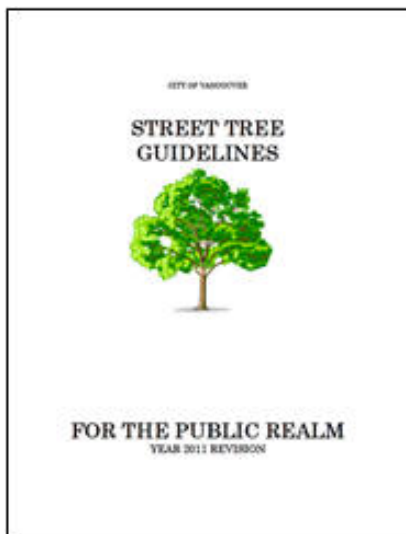


그림 10. Street tree guideline

땅밀림이 발생하기 용이한 지역에 대한 공부 I

박 재 현

경남과학기술대학교 산림환경자원학과 교수

1. 서론

땅밀림지(산사태지)는 산지경사가 완경사이고, 구성하고 있는 토양에 점토성분이 많고, 지하수가 풍부한 지역에서 많이 발생한다. 즉, 땅밀림은 토양의 가장 느리게 활동하는 내리막 운동이라고 할 수 있는데, 점토화 된 토양은 강우에 의하여 포화된 점토가 빗물의 하중에 의하여 중력방향으로 토양을 비탈면 하단부로 끌어 내리고, 토양은 물과 함께 아래쪽으로 이동하고, 경사면을 따라 인장균열 및 단차가 형성된다. 이로 인해 단차와 같은 잔물결이 형성되고 토양은 경사지 하단부로 밀려내려 간다.

또한, 땅밀림지와 일반 산사태지는 여러 가지로 다른데, 발생장소는 땅밀림지는 지중에서 발생하지만 산사태는 지표면에서 발생하고, 이동 규모는 땅밀림이 최대 100ha에 달하는 등 규모가 크고, 산사태는 수 ha에 머무는 등 규모가 작다. 이동 깊이는 땅밀림이 수 미터에서 수십 미

터에 이르는 대신 산사태는 1에서 2m 정도로 발생지역의 규모는 매우 작다. 이동 속도는 땅밀림이 매우 느린데 비해 산사태는 급격하게 발생한다. 토괴의 형상은 땅밀림이 원형에 가까운데 반해 산사태는 토양이 떨어져 나가는 형상이다. 땅밀림은 재발생이 이루어지지만 산사태는 재발생이 일어나지 않는다. 지질 특성은 땅밀림이 특정한 지질, 지질구조의 장소에 발생하는데 비해 산사태는 지질과 관련성이 없고, 강우나 기타 요인에 의해 발생한다. 지형 특성은 땅밀림이 땅밀림 지형과 같은 독특한 지형을 만드는 반면, 산사태는 급사면에서 발생한다. 유인으로는 땅밀림은 지하수에 크게 영향을 받는 대신 산사태는 호수에 영향을 받는다. 토지 이용면에서 땅밀림은 경지로 이용되는 측면이 있는데 비해 산사태지는 이용되지 않는다. 전조 현상으로는 땅밀림이 수목의 경사, 지표의 균열 등이 나타나는 반면, 산사태는 대부분 전조현상이 없다.

일본에서 小出博(1962)은 일본의 땅밀림을 발

간하면서 땅밀림을 3가지로 구분하였는데, ① 제3기층땅밀림, ② 파쇄대땅밀림, ③ 온천지땅밀림으로 분류하였다. 그러나 이러한 분류는 지질학적으로 분류기준의 통일을 기한 것은 아니다. 또한, 中村慶三郎(1964)는 땅밀림지를 ① 중생대층형땅밀림, ② 고생대층형땅밀림, ③ 변성암땅밀림, ④ 화성암땅밀림으로 구분하였다. 이후 조사가 진행되면서 ① 화강암과 안산암분포 지역에서의 땅밀림, ② 퇴적암을 덮은 현무암 지역의 땅밀림 등 암종과의 관계에 의한 땅밀림으로 구분하였다.

한편, 땅밀림의 이동양식에 의한 분류로는, 脇水鐵五郎(1912)의 분류는 현재의 분류체계와 다르다. 그 후 中村慶三郎(1955)은 ① 붕괴형땅밀림, ② 보통형땅밀림, ③ 포행성땅밀림으로 분류하였다. 또한, 中野秀夫(1960)는 ① 지괴형, ② 붕괴토양형, ③ 점조형(점토가 뽁뽁하게 들어찬)땅밀림, ④ 유동형땅밀림으로 분류하였다. 이러한 분류는 현재 지괴형땅밀림은 낭떠러지땅밀림으로, 붕괴토양땅밀림은 산봉으로 대응된다. 아울러 점조형땅밀림과 유동형땅밀림은 토석류로 분류된다. 따라서 현재 우리나라에서 발생되고 있는 땅밀림은 암반땅밀림, 풍화암땅밀림, 붕적토땅밀림, 점질토땅밀림으로 구분하고 있는데, 이는 지괴로 무너지는 땅밀림도 있고, 붕적토로 이루어진 땅밀림도 있으므로 이를 우리나라에서 발생하고 있는 35개소의 형태대로 합리적으로 분류할 필요가 있을 것으로 사료된다. 즉, 우리나라에서 발생하고 있는 땅밀림은 이동형태로 구분한 것이 아니라 그 지역의 지질에 주로 근거한 땅밀림과 이동형태를 혼합

하여 정리한 땅밀림(국립산림과학원, 2017)으로 지질, 이동형태 등 땅밀림 지역의 특징에 따라 재구분할 필요가 있다.

구미에서의 땅밀림 분류는 Vernes(1978)가 실시하였는데, 연구자의 지역적 연구특성이 발현되었다. 이 관점에서 Vernes는 고위도에 있는 빙하퇴적물의 영향을 많이 받는 지역을 대상으로 하였으며, 사면운동의 형태를 붕락, 전도, 땅밀림, 신축 유동으로 이동형식을 분류하였다. 이 분류의 기본이 되는 현상은 지표면의 형태가 주된 관점이다. 이동형태와 이동물질과의 관계는 이동물질을 함유하는 암석과 토양으로 구분하고, 토양은 조립토와 세립토로 구분하였다.

우리나라에서는 1996년 이전에는 땅밀림 산사태에 관한 논의는 전무하였다. 관련 연구도 일반적인 산사태의 발생과 원인 등에 관한 연구가 대부분으로(Woo et al., 1996a, 1996b), 1996년 이후 땅밀림 산사태에 관한 연구는 충청북도 단양군 휴석동(Woo et al., 1996a, 1996b), 경상남도 김해시에서 발생한 땅밀림 산사태(Park et al., 2003a, 2003b; Park et al., 2004), 김해시 상동면 매리에서 발생한 땅밀림 산사태(Park et al., 2005a, 2005b, 2005c)와 지질과 지형이 땅밀림에 미치는 영향(Jau et al., 2000)에 관한 연구에 불과하다.

땅밀림 산사태는 활동면 위의 토괴가 일체로 미끄러지는 산사태의 한 형태로 이동토괴의 두께는 10~20m, 폭은 두께의 5~10배, 길이는 폭의 1.2~1.5배로 규모가 크고, 이동속도는 0.01~10mm/day의 것이 많으며, 일반적으로 속도가 느린 특징을 가지고 있다(Varnes,

1984; Woo, 1997).

땅밀림 산사태는 지질조건과 관계가 깊으며, 붕괴구성물질에 따라 암반, 풍화암, 붕괴토사 및 점질토 땅밀림으로 4구분 할 수 있다. 첫째, 암반지 땅밀림은凸형 지형에서 발생되며, 붕괴 토괴는 암반 또는 약간 풍화된 암석이다. 이동속도는 1일 2cm 이상으로 단시간 내에 발생하며, 대규모 토공이나 사면의 일부가 물에 잠기거나 지진 또는 폭우시 발생한다. 주로 단층지대 파쇄대의 영향을 받는 지역에서 많이 발생한다. 둘째, 풍화암 땅밀림은凸형 대지형(臺地形) 또는凹형 단구상 대지형에서 발생되며, 붕괴 토괴는 균열이 많은 풍화암이다. 이동속도는 1일 1 ~ 2cm이며 단속적이다. 집중호우, 이상 용설, 하안 굴취, 지진 및 중정도의 토공에 의해서 발생되며, 주로 결정편암지대, 신제3기 분포지, 단층, 파쇄대 지역에서 잘 발생된다. 셋째, 붕괴토 땅밀림은 다구상(多丘狀)凹형 대지형에서 발생되며, 붕괴토괴는 자갈 섞인 점질토사이며, 운동속도는 1일 0.5 ~ 1.0cm로 단속적이다. 용설, 태풍, 집중호우 또는 토공에 의해서 발생되며, 결정편암지대, 신제3기층 분포지대에서 주로 발생한다. 넷째, 점질토 땅밀림은凹형 지형의 완만한 경사지(凹형 완사면 지형)에서 발생되며, 붕괴 토괴는 자갈이 혼재한 점질토사이며, 운동속도는 1일 0.5cm 이하이고 계속적이다. 하천침식, 장마비, 용설, 적설, 소규모 토공이 원인이 되어 발생되며, 주로 신제3기층에서 많이 발생되고 파쇄대의 구조선에 연한 지역에서 발견되기도 한다(Woo, 1997; Jau et al., 2000).

최근 포항 지역을 위시하여 밀양, 하동, 김해 지역 등 지질에 따른 문제뿐만 아니라 집중호우에 따른 땅밀림 산사태 유형으로 분류되는 산사태 발생지역이 광범위하게 나타나고 있어 여름철 집중호우시 땅밀림 산사태 재해가 급증할 우려가 심각하다. 또한 최근 서울의 우면산 산사태를 비롯한 도심지역의 산사태 피해(산지재해)가 급증하고 있다. 이는 기상변화 등 집중호우에 따른 영향으로 산사태피해방지에 만전을 기해야 할 시점이다.

땅밀림 산사태에 대한 국내의 발생사례를 보면 사천시 곤명면의 땅밀림형 산사태 지역은 퇴적암과 이암이 혼재되어 있는 지역으로 토심이 깊고 강우시 상당량의 강우가 침투되고 배수되지 못해 지하수위가 상승하여 붕괴되었다.

하동군에서 발생한(2012년) 땅밀림 산사태는 지표지질조사만으로 복구공법을 결정하여 응급복구 형태로 복구를 진행하고 있어, 추후 땅밀림 산사태 진행시 국도 3호선의 붕괴, 자연생태과학관의 피해 등 피해가 심각할 것으로 판단된다. 따라서 지형 및 지질적으로 땅밀림 산사태 발생 가능성이 높은 지역을 일제 조사할 필요가 있으며, 집수량이 많고 사면경사가 급하며, 지질적으로 약한 집수형 사면은 돌수로 등 보호시설을 설치해야 할 뿐만 아니라 땅밀림 산사태지에 대한 표준복구공법 등의 수립이 시급하다.

또한, 국내에서는 땅밀림 산사태에 대한 연구가 전무할 뿐만 아니라 땅밀림 산사태는 충청북도 단양군 휴석동, 경상남도 김해시 주촌면 내삼농공단지, 김해시 상동면 매리지역, 하동군, 사천시 등 지속적으로 발생되고 있어 이에 대한

대비책을 시급히 마련할 필요가 있다.

일본에서는 산사태보다 땅밀림 산사태가 주로 발생하며, 이에 따른 복구공법 및 복구방법에 대해 체계적으로 정리하여 땅밀림 산사태시 효율적으로 적용하고 있다. 또한 오스트리아 등 유럽 산악지역에서는 땅밀림 산사태가 국지적으로 발생되고 있으며, 이에 따라 땅밀림 산사태와 산사태를 규모로 분류하여 복구방법을 적용하고 있다.

2. 땅밀림 산사태가 발생하기 용이한 지역

(1) 대규모 돌너털 지대의 하부

산지 비탈면에 형성된 대규모 돌너털 지대는 토사와 자갈을 포함한 대형 전석층의 퇴적이 있는 후, 장기간에 걸친 침식과 토사유출로 인하여 전석간의 토양물질이 유실되어 형성된 것으로 추정되며, 이러한 돌너털지대의 형성으로 인하여 지표는 더욱 큰 투수성을 가지게 되고 우수의 지중침투를 조장하여 산사태의 발생을 촉발시키는 원인이 된다. 특히 이러한 지대의 하부를 절취하거나 훼손함으로써 상부 돌너털의 균형을 잃게 한다면 돌너털의 중력방향의 미끄러짐뿐만 아니라 이러한 미끄러짐을 유발하는 지하수의 작용이 활발하게 작용하여 땅밀림 산사태 발생이 더욱 심화될 수 있다.

즉, 산지비탈면에 형성되어 있는 돌너털지대의 하단부에 공장 및 건축 등 개발을 위한 절취는 대단히 위험한데, 이는 투수성이 높은 돌너

털지대의 투수된 물이 지하로 급격하게 유입하고 이는 지하수위를 상승시켜 상부 봉적토와 기반암을 분리시켜 땅밀림 산사태를 유발하는 원인이 된다. 한 사례로 경상남도 김해시 상동면 매리 일대에 2004년 4월 19일에 발생한 땅밀림 산사태가 여기에 해당한다. 즉, 상지 중단부에 대규모 돌너털지대가 형성되어 있는 하단부를 절취하여 돌너털의 중력침식 및 지하수 유입에 의한 토괴의 안정성이 파괴됨으로 인해 발생한 땅밀림 산사태지이다. 이 지역뿐만 아니라 경상남도 하동군 악양면 평사리와 하동군 옥종면 청룡리 지역도 도로 개설을 위한 산지비탈면의 절취지이나 붕괴지 상부비탈면에는 돌너털이 분포하고, 이 지역으로부터 집중적으로 투수된 강우가 지하수로 유입되어 점토질 봉적토를 밀어 내려 땅밀림 산사태가 발생한 지역이다. 이러한 돌너털의 절취 및 훼손은 안정되어 있는 돌너털의 형태를 변화시킴으로써 하단부에 켜기역할을 하는 돌너털의 안정성을 파괴시킴으로써 돌너털이 밀려내려 무너지는 현상을 발생시켰다. 따라서 개발지에 연접해 돌너털이 형성되어 있는 지역에는 전문가로부터 보다 면밀한 안전진단을 검토한 후 절취하도록 하되, 절취지에 대해서는 영구적인 안정대책을 강구한 후 조속히 안정성을 담보할 수 있는 공법을 적용하여 조치를 취해야 한다. 부득이 돌너털이 있는 지역을 통과할 수밖에 없는 각종 개발공사에 있어서는 돌너털을 끊을 경우 반드시 콘크리트옹벽 등 안정공법을 강구하면서 공사를 진행해야 할 필요가 있다. 특히 돌너털 지역은 강우시 우수의 침투가 대단히 용이하고 침투된 강수는 지하로 즉



그림 1. 상부 산지의 돌너덜 분포지역(경상남도 하동군 평사리 고소산성 땅밀림지)

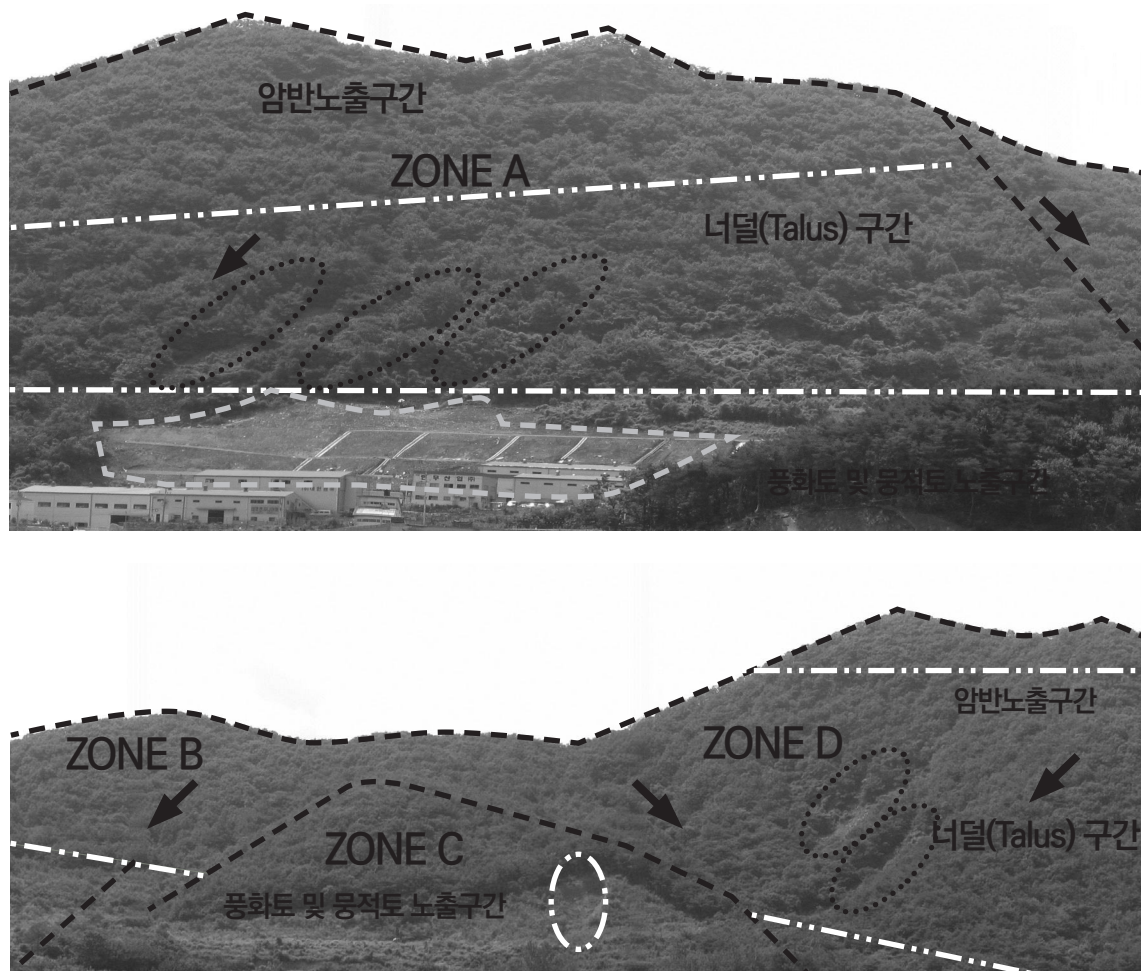


그림 2. 경상남도 김해시 상동면 매리 돌너덜지 하단부 땅밀림 산사태지

시 유입되어 하부에 점토질 토양이 다수 존재하는 경우 화학적풍화를 촉진시켜 하부 토양 등에 수압을 가해 땅밀림을 발생시키는 중요한 요인으로 작용하고 있다

(2) 땅밀림 산사태지 하부에 하천 및 계류가 통과하는 경우

일반적으로 땅밀림 산사태지 하부에 하천 및 계류가 통과하는 경우 하천 및 계류에 의한 애추지역의 포락 및 침식상황이 산사태의 발생을 유발시키는 원인이 된다. 즉, 산지비탈면과 하천 및 계류가 만나는 하부 산각은 암반이 존재하지 않고 연약한 붕적층으로 이루어져 있기 때문에 홍수 시 하천 및 계류의 영향으로 인한 절벽부의 포락침식을 가중시켜 산사태의 이동을 가속시킨다. 또한 이러한 포락이 발생하는 벼랑에서는 하천 및 계류의 홍수 시 강물에 의해 계안침식이 발생되고, 이렇게 발생된 포락과 더불어 포락벼랑의 비탈면에서 집중호우 시 발생하는 대량의 용수로 인한 지하침식이 땅밀림 산사태를 촉발, 진행을 빠르게 일으키는 원인이 된다.

충청북도 단양군 영춘면 휴석동 지역은 산사태가 발생하던 지역으로 하부 산각은 암반이 존재하지 않고 연약한 붕적층으로 이루어져 있기 때문에 홍수시 남한강 유역에 의한 절벽부의 포락침식을 가중시켜 산사태의 이동을 가속시키는 것으로 나타났다. 이렇게 포락이 발생하는 벼랑에서는 남한강의 홍수시 강물에 의해 계안침식이 발생되고 있는데, 주로 강물에 의한 포락침식과 포락벼랑의 비탈면에서 집중호우 시

발생하는 대량의 용수로 인한 지하침식도 발생된다. 즉, 상부 산지는 하부 벼랑으로부터 발생되는 포락으로 인해 지속적으로 밀리게 되고, 이렇게 밀리는 붕적토 등은 땅밀림 산사태로 확대된다. 결국 산지 하방으로부터 안정성을 잃게 된 산지는 산지 하방으로 밀리게 되고, 상부 산지는 힘을 잃고 무너져 내리는 현상을 나타내게 되는 것이다. 또한 경상남도 가회면 월계리 산 146은 애추지대 하부에 계곡에서 포락에 의해 침식이 발생되어 상부 산지가 밀리는 현상을 나타내는 등 계곡의 포락이 땅밀림 산사태의 원인이 되는 것으로 분석되었다. 따라서 이 지역과 같은 곳에서는 사방댐을 시공하여 애추지에서 떨어지는 토사를 억지할 필요가 있으며, 그에 따라 사방댐을 시공하여 복구를 추진하였다. 즉, 포락이 발생할 수 있는 애추지대에 있어서는 산지계류 주변의 산지가 사방댐을 설치할 수 있는 적지가 된다면 사방댐 시설을 통해 침식토사를 억지할 필요가 있으며, 사방댐 설치가 어려운 경우에는 포락이 발생할 수 있는 지역의 하류 산지계류에 사방댐을 설치하는 방안을 강구할 필요가 있을 것으로 사료된다. 특히 땅밀림지에서 계류가 통과하여 애추지대가 형성되는 경우에는 땅밀림 발생의 우려가 있다. 즉, 애추지대란 절벽이나 40° 이상의 경사지 산록부의 붕적토양을 말하는데, 암석의 절편인 쇄설물로 구성되어 있는 역질토양이 대부분으로 이들 지역에는 불안한 암석층이 층리를 따라 암석땅밀림이 발생하고 또한 토석땅밀림이 발생할 우려가 높다. 경상남도 합천군 가회면 월계리의 경우에는 경사 40° 이상의 애추지대가 분포하



그림 3. 계곡부 애추지대가 땅밀림 발생의 원인이 된 지역
(경상남도 합천군 가회면 월계리 땅밀림지)



그림 4. 산지 하부 남한강으로부터 포락 등이 발생함으로써 산지 하방으로 밀리는
땅밀림 산사태지 및 계곡의 포락이 땅밀림 산사태를 가중시키는 땅밀림 산사태지

고 있고, 이들 지역에서 계류의 포락 등이 발생하면서 땅밀림이 확대된 지역이다.

(3) 토사 및 토석채취지의 상단부 비탈면과 계곡부 비탈면

토사 및 토석채취지는 영구적 안정성을 가지는 산지비탈면의 산각부를 절취함으로써 상부 산지의 중력방향의 하중의 안정성을 훼손하

는 일로써 산각부의 안정성을 잃은 산지는 균형을 잃고 중력방향으로 밀려오는 현상을 나타내게 된다. 특히 토사 및 토석채취지는 뿌레카, 발파 등으로 인한 균열, 충격, 진동이 발생함으로써 상부 산지의 안정성에 부의 영향을 미치므로 더욱 안정성에 훼손이 발생된다. 따라서 이러한 지역은 절취되는 산지의 최상단부로부터 상부 산지의 인장균열 가능성, 절리방향, 봉적토

의 유무와 양, 나무의 이상성장 등을 확인하고 땅밀림 산사태 가능성에 대해서 충분히 검토하고, 이를 모니터링 할 수 있도록 산지관리법 상에 토사, 토석채취허가 시 필요한 조치 사항 중에 절취비탈면 상부 비탈면의 이상 유무에 대하여 토사, 토석채취를 진행하는 동안 지속적으로 관찰하고 모니터링 하도록 하는 내용을 첨가하여야 할 것으로 사료된다. 특히 이러한 토사, 토석채취로 인한 산사태 및 땅밀림 산사태는 국내에서 발견된 전체 땅밀림 산사태지 중 2개소가 그러한 경우에 해당하는 것으로 토사, 토석채취로 인하여 땅밀림 발생 가능성이 클 뿐만 아니라 그 위험성이 크기 때문이다. 뿐만 아니라 토석 채취지의 상단부와 측면부에 계곡부가 있을 경우 절취하게 되면 계곡부에서 유출하는 지하수의 유출 및 계곡부의 절단으로 계곡 상부의 비탈면이 밀려내려 오면서 땅밀림 산사태를 유발할 수 있다. 따라서 토석채취 등을 할 경우에는 계곡부에 연하여 절취하는 것을 신중하게 할 필요가 있으며, 이러한 경우에는 계곡부의 안정

성을 고려하여 대책을 강구한 후에 절취해야 할 것이다. 즉, 강원도 양구지역에서 발생한 땅밀림 산사태의 경우와 마찬가지로 계곡부가 통과되는 지역의 절취로 인해 땅밀림 산사태가 발생하고 있으므로 이와 같은 지역에서는 계곡부의 절취를 신중하게 수행해야 할 것이다.

특히 강원도 양구군 남면 아촌리 산 148번지 땅밀림지의 경우에는 토석채취로 인한 산각부의 절취 및 지하수 용출지점의 절취로 인해 상부 봉적토가 땅밀림을 발생시켰는데, 이 지역은 산지 능선부까지 땅밀림이 발생해 있는 지역으로 토석채취시 위험성을 나타내고 있고, 경북 울진군 매화면 금매리 산 90번지의 땅밀림지는 상부 산지의 광산채굴(토석채취)로 인해 불안정한 토사지역에 강수시 침투한 빗물이 하부로 침투되면서 하부로 유입되어 풍화가 심하게 진행된 암석이 미끄러지면서 썩크홀 처럼 함몰현상을 발생시켜 하부로 밀린 지역이다. 즉, 하부 광산채굴지의 빈 동공이 함몰을 유도하는 역할을 한 땅밀림 지역으로 특히, 이 지역은 광산채굴



상부 토석채취지



하부에 풍화가 심한 함몰땅밀림 현상

그림 5. 경상북도 울진군 매화면 금매리 땅밀림지



산지 중부 땅밀림지



산지 상부 땅밀림지



토석채취로 인한 절토 후 땅밀림발생



토석채취지 지하수 유출

그림 6. 강원도 양구군 남면 아촌리 토석채취 후 땅밀림지

후 복구를 실시하여 산 아래쪽에서 볼 때 우측 편은 토사로 복토하고 하단부에 산복돌흙막이를 3단 실시하였으나 지하로 침투된 빗물이 지하수로 유입되면서 암석의 화학적풍화를 진행시켜 하부 함몰 현상을 발생시킨 지역이다. 따라서 이러한 지역에 대해서는 토석채취 후 복구를 완벽하게 실시해야 하며, 특히 풍화가 심한 지역에서는 지하수배제공 등 땅밀림방지에 철저를 기해야 한다.

(4) 지질적으로 화강암 계열 및 변성암, 특히 퇴적암 계열의 규암, 화강암, 안산암, 석회암, 사암, 셰일, 편암, 이암, 편마암, 변성암 등 암석의 풍화가 심한 지역

땅밀림 산사태는 지질과 매우 밀접한 관계를 가지는데, 규암, 화강암, 안산암, 석회암, 사암, 셰일, 편암, 이암, 편마암, 변성암 등 완전풍화가 된 지역에 풍화토 및 붕적토가 쌓여 있는 경우 땅밀림 산사태가 많이 발생하고 있다. 즉, 일반적으로 땅밀림 산사태는 주로 신제3기층 및

지질구조선 부근, 화산변질대 등에서 집중적으로 발생되며, 주로 고결도가 낮고 투수성이 높은 이암, 사암, 역암지대에서 많이 발생된다. 또한 땅밀림형 산사태는 비탈면경사가 $25 \sim 35^\circ$ 정도인 집수 비탈면에서 발생하기 쉽고, 지하수가 규칙적인 배열을 하는 경우 발생 위험도가 증가된다. 아울러 산사태 발생시 상부 지표면에 활락애 및 인장균열이 형성되고, 토괴의 신축 및 함몰, 융기현상에 의한 계단상 지형이 발달한다. 아울러 땅밀림형 산사태 발생시 구조물의 파괴, 수목의 이상 성장 등의 뚜렷한 징

후를 수반한다. 즉, 땅밀림 산사태는 지질조건과 관계가 깊으며, 붕괴 구성물질에 따라 암반, 풍화암, 붕괴토사 및 점질토 땅밀림으로 4구분할 수 있다. 첫째, 암반지 땅밀림은凸형 지형에서 발생되며, 붕괴 토괴는 암반 또는 약간 풍화된 암석이다. 이동속도는 1일 2cm 이상으로 단시간 내에 발생하며, 대규모 토공이나 비탈면의 일부가 물에 잠기거나 지진 또는 폭우 시 발생한다. 주로 단층지대 파쇄대의 영향을 받는 지역에서 많이 발생한다. 둘째, 풍화암 땅밀림은凸형 대지형 또는 凹형 단구상 대지형(臺地形)에



합천군 쌍책면 상신리



합천군 가회면 월계리



사천시 곤명면 삼정리



사천시 곤명면 작팔리

그림 7. 퇴적암 지역의 풍화가 심한 점질토 땅밀림 지역(경상남도 지역)

서 발생되며, 붕괴 토괴는 균열이 많은 풍화암이다. 이동속도는 1일 1 ~ 2cm이며 단속적이다. 집중호우, 이상 용설, 하안 굴취, 지진 및 중 정도의 토공에 의해서 발생되며, 주로 결정편마암지대, 신제3기 분포지, 단층, 파쇄대 지역에서 잘 발생된다. 셋째, 붕괴토 땅밀림은 다구상(多丘狀) 凹형 대지형에서 발생되며, 붕괴토괴는 자갈 섞인 점질 토사이며, 운동속도는 1일 0.5 ~ 1.0cm로 단속적이다. 용설, 태풍, 집중호우 또는 토공에 의해서 발생되며, 결정편마암지대, 신제3기층 분포지대에서 주로 발생한다. 넷째, 점질토 땅밀림은 凹형 지형의 완만한 경사지(凹형 완사면 지형)에서 발생되며, 붕괴 토괴는 자갈이 혼재한 점질토사이며, 운동속도는 1일 0.5cm 이하이고 계속적이다. 하천침식, 장마, 용설, 적설, 소규모 토공이 원인이 되어 발생되며, 주로 신제3기층에서 많이 발생되고 파쇄대의 구조선에 연한 지역에서 발견되기도 한다. 따라서 이러한 상태에 해당되는 지역의 경우에는 집중호우 후 지속적으로 땅밀림 현상이 발생하는지 확인할 필요가 있으며, 인장균열이 발생하였는가 및 지형적으로 횡 또는 종방향으로 수목이 일률적으로 휘어 성장하거나 하는 등 이상 징후에 대하여 조사 관찰할 필요가 있다.

특히 ① 화성암류에서 화강암, 안산암, 유문암, 안산암류와 마산암 등 지역, ② 퇴적암류에서는 석회암, 사암 및 셰일, 사암, 이암 등 지역, ③ 변성암류에서는 편암, 천매암, 혼성편마암, 석영편암, 반상변정질편마암, 우백질화강암, 운모편암, 호상편마암, 화강암질편마암 등 지역이

지질적으로 땅밀림이 많이 발생하여 지질 및 모암의 특성 가운데 이러한 지역의 특성이 땅밀림에 취약한 것으로 나타난다.

참고문헌

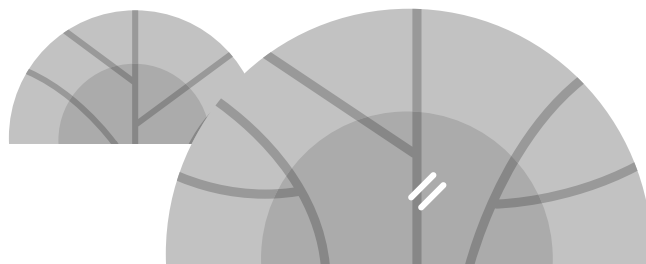
- 국토교통성 사방부. 2001. 일본의 사방. p. 24 - 25.
- 금오공과대학교 산업기술연구원 · 금오공과대학교 부속 지반보강기술연구소. 2000. 김해 내삼농공단지 사면보강공사 사면안정성 분석 및 안정대책(사면안정분석 및 Soil Nailing 설계). 금오공과대학교 산업기술연구원 · 금오공과대학교 부속 지반보강기술연구소. 59pp.
- 김기대, 강민정, 박재현. 2016. 땅밀림 산사태지의 인장균열 변형에 대한 실험적 연구 - 하동군 옥종면 땅밀림 산사태 사례. 농업생명과학연구 50(6) : 11-17.
- 김상규, 김교원, 우보명, 박재현. 1995. 휴석동 산사태 조사, 원인규명 및 대책공법 연구보고서. 한국지반공학회. 202pp.
- 김춘식, 김성욱, 김인수, 김근수, 이상원. 2004. 경남 사천시 곤명면에서 발생한 재활성 산사태에 관한 연구. 지질학회지 40(1) : 65 - 75.
- 동아지질. 1998. 김해 내삼지구 사면안정대책 수립을 위한 지반조사보고서. 동아지질. 38pp.
- 김홍균, 김만일, 이문세, 박윤성, 곽재환. 2017.

- 땅밀림 산사태 발생과 지하수위 변동과의 연관성 분석. 한국산림과학회지 15(1) : 1 - 12.
- 마호섭. 1994. 산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화 방안. 한국임학회지 83(2) : 175 - 190.
- 박재현. 1989. 비탈면의 동결융해침식에 관한 연구. 서울대 농학연구 14(1):9-15.
- 박재현. 2014. 우리나라 땅밀림 산사태 현황과 과제. 땅밀림 재해 위험 감소를 위한 세미나. 39-62.
- 박재현, 강민정, 김기대. 2015. 땅밀림 산사태지의 산림환경 특성 분석. 2015 산림과학 공동학술대회. 312.
- 박재현, 이창우, 강민정, 김기대. 2015. 땅밀림 산사태 발생지의 산림환경 특성 분석. 농업생명과학연구 49(5) : 133-144.
- 박재현. 2016. 한국의 땅밀림 산사태의 실태와 관리. 산지환경 제19호 : 40-50.
- 박재현. 2017. 땅밀림 산사태지에 대한 예견 및 대응. 산지환경 제20호 : 53-67.
- 사방·땅밀림기술센터. 2001. 토사재해실태. p. 5.
- 우보명. 1992. 사방공학. 향문사. 310pp.
- 우보명, 박재현, 최형태, 전기성, 김경훈. 1996. 휴식동 땅미끄러짐 산사태의 발생특성에 관한 연구(I) - 땅미끄러짐 산사태지구의 지형 및 지표층위특성 -. 한국임학회지 85(4) : 565 - 570.
- 우보명, 박재현, 최형태, 전기성, 김경훈. 1996. 휴식동 땅미끄러짐 산사태의 발생특성에 관한 연구(II) - 땅미끄러짐 산사태지구의 지질 및 수문특성 -. 한국임학회지 85(4) : 571 - 576.
- 최경. 1994. 산사태 복구사방의 기준공정. 임업정보 41 : 36 - 37.
- 최경. 1994. 산사태 예방용 적정수종. 임업정보 39 : 19 - 21.
- 최경. 2001. 산사태 예보와 위험지 판정기술. 방재연구 3(4) : 15 - 27.
- 한국 사방·산림토목연구회. 1991. 산사태에 관한 기초적 특성의 이해. 한국 사방·산림토목연구회. 260pp.
- 한국지반공학회. 1995. 일본의 산사태 대책 - 최신 Topics - 초청강연. 한국지반공학회. 67pp.
- 小橋燈治 等. 1980. 地すべり, 崩壊, 土石流 - 豫測と對策. 鹿島出版會. 334pp.
- 小橋燈治, 佐佐恭二. 1990. 地すべり・斜面災害を防ぐために. 山海堂. 119 - 128pp.
- 中村俊彦. 1981. 地すべり發生豫知についての研究(I). 第16回治山林道研究發表論文集 162 - 163.
- 高倉和夫. 1989. 島原半島の地すべり. 第24回治山林道研究發表論文集 328 - 332.
- 木夏田充哉. 1990. 自動觀測が捉えた石倉地すべり-水位變動と移動特性-. 第30回治山林道研究發表論文集 189 - 195.
- 塚本博明. 1971. 地すべり地域内外の地下水水質分析結果. 第7回治山林道研究發表論文集 263 - 266.
- Brand, E. W. 1985. Landslide in Hongkong

Special Lecture. 8th Southeast Asian
Geo. Conf. pp. 1 - 15.

Varnes, D. J. 1984. Landslide hazard
zonation : A review of principle and
practice. United Nations Educational.

Scientific and Cultural Organization.
pp. 9 - 59.



독일 바덴 뷔르템베르크주 산림발달형에 따른 산림사업

배 상 원
(사)한국산지환경조사연구회

1. 독일 산림현황

독일의 산림면적은 1,140만ha로 독일 면적의 32%를 차지하고 있고 우리나라 산림면적 633만ha의 1.8배이고, 임목축적은 37억 m^3 , 평균 ha당 축적은 336 m^3/ha 로 우리나라 임목축적의 9.2억 m^3 의 4배, ha당 평균 축적의 2.3배에 해당된다. 바이에른주의 산림면적은 260만ha로 가장 넓으며 산림비율이 가장 높은 지역은 헤센주와 라인란트-팔츠주로 42.3%이다. 수종별 점유면적은 독일가문비나무 26%, 소나무 22.9%, 너도밤나무 15.8%, 참나무 10.6%를 차지하고 자작나무, 물푸레나무, 오리나무, 구주 낙엽송, 미송, 산단풍나무 등이 있으며 침엽수 55.5%, 활엽수 44.5%다. 산림의 48%가 사유림, 29% 국유림(지방 정부림), 19.4% 공유림, 연방정부림 3.5%이고, 사유림비율이 가장 높은 지역은 노르트라인-베스트팔렌주로 66.8%이고, 공유림 비율이 가장 높은 지역은 라인란트

팔츠주로 46%, 국유림 비율이 가장 높은 지역은 메클렌부르크-포포메른 주로 50.1%이다. 임목수확은 연간 95.9백만 m^3 로 연생장량 121.6백만 m^3 보다 적어 임목축적과 고사목이 증가하고 있다. 주요 수종별 임목 축적은 독일가문비나무 1206백만 m^3 , 구주소나무 768백만 m^3 , 너도밤나무 635백만 m^3 , 참나무 361백만 m^3 로 독일가문비나무의 임목축적비율이 가장 높다.

바덴 뷔르템베르크주 산림면적은 137만ha로 주 면적의 38%를 차지하고 있고, 임목축적은 4.9억 m^3 , 평균 ha당 축적은 3776 m^3/ha 이고, 수종별 점유면적은 독일가문비나무 34%, 소나무 5.6%, 너도밤나무 21.8%, 참나무 7.1%를 차지하고 침엽수 53.2%, 활엽수 46.8%다. 산림의 35.9%가 사유림, 23.6% 국유림(지방 정부림), 40% 공유림, 연방정부림 0.5%이고, 임목수확은 11.6 m^3/ha 로 연평균 생장량 12.3 m^3/ha 약간 적어 임목축적과 고사목이 소규모로 증가하고 있다.

2. 산림발달형

독일의 경영목표임분형은 1996년도부터 산림발달형(Waldentwicklungstypen)으로 대체되었다. 산림발달형은 숲을 경영대상으로만 보는 것이 아니라 생태적으로 숲을 보고 숲이 자연적으로 발달해가는 과정을 고려한 것이다. 1996년에 설정된 바덴-뷔르템베르크주의 산림발달형은 너도밤나무-활엽수혼효림, 너도밤나

무-침엽수혼효림, 로브르참나무림, 페트라참나무림, 참나무 목표 너도밤나무, 유용활엽수림, 포플러나무림, 가문비나무림, 불안정한 가문비나무림 목표 너도밤나무림, 불안정한 가문비나무림 목표 참나무림, 불안정한 가문비나무림 목표 전나무림, 가문비나무 습지림, 전나무림, 미송림, 소나무림, 소나무림 목표 전나무림, 소나무림 목표 너도밤나무림, 낙엽송 목표 너도밤나무림, 조방적 침.활엽수림 등 총 19개 산림발달



그림 1. 너도밤나무 숲



그림 2. 독일가문비나무숲



그림 3. 활엽수 혼효림

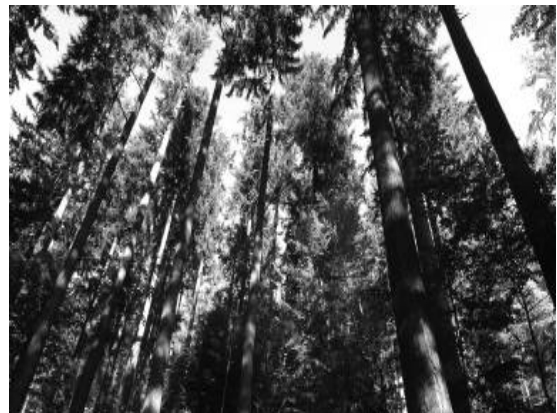


그림 4. 활엽수 혼효림



그림 5. 페트라 참나무숲

형이었다.

2014년 지침에서는 너도밤나무-활엽수 혼효림, 너도밤나무-침엽수 혼효림, 로브르참나무 혼효림, 페트라참나무 혼효림, 유용활엽수 혼효림, 포플러 혼효림, 가문비나무 혼효림, 위험도 낮은 가문비나무 혼효림, 가문비나무림 목표 전나무 혼효림, 불안정한 가문비나무림 목표 너도밤나무림 혼효림, 불안정한 가문비나무림 목표 로브르참나무혼효림, 불안정한 가문비나무림 목표 미송 혼효림, 가문비나무 습지림, 전나무 혼효림, 미송 혼효림, 구주소나무 혼효림, 구주소나무림 목표 너도밤나무 혼효림이나 전나무 혼효림으로 17개 산림발달형으로 구분을 하여 산림발달형이 2개 줄었다.

산림발달형은 임분을 주성하는 주요수종으로 명명이 되어 있는 것이 대부분이나 현재 임상이 생태적으로 불안정하고 피해를 입을 우려가 큰 경우에는 수목사회학적으로 가장 자연에 가까운 수종으로 구성된 숲을 조성하는 것을 목표



그림 6. 소나무숲

로 하여 현 임상과 목표임상을 산림발달형의 이름을 만든다. 각각의 산림발달형별로 목표임상, 현황(분포, 입지, 생태특성), 장단기 목표, 시업 체계(어린나무가꾸기, 솎아베기, 갱신)을 설정한다.

바덴 부르템베르크주에서는 1996년에 만들어진 산림발달형을 수년에 걸쳐 이론과 실무의 새로운 인지, 사회적 요구, 자연보호, 기후변화 등을 고려하여 시업모델을 작성을 하였다. 산림시업개념트는 다양한 수종의 생태적 조건에 따라 조정하였고, 특히 음수수종을 고려하였다. 앞으로는 국유림에서는 너도밤나무혼효림, 전나무혼효림 그리고 적지의 독일가문비나무숲들은 기본적으로 향속림 시업을 한다. 이렇게 작성된 산림발달형 지침은 친자연적 산림경영의 기본 원칙에 따라 시행된다.

조림 및 육림은 친자연적 산림경영 원칙에 따라 개별과 면적단위의 벌채를 포기하고 소면적

작업과 단목 작업으로 다양한 구조와 이령림을 유도한다. 목재이용은 벌기령이 없이 단목이나 군상으로 지속적으로 한다. 항속림경영에서 일반적으로 5년 주기의 목재이용은 아래와 같이 실시한다.

- 재질과 목표 직경에 따른 수확기에 도달한 가치가 높은 임목의 수확
- 피해목과 피압목의 제거
- 선목과 무육
- 목표임상 도달을 위한 혼효조절
- 치수 무육

기후변화에 따른 환경변화를 고려하여 장기적 산림발달목표를 설정하여 2개 산림발달형(위험도 낮은 가문비나무혼효림, 불안정한 가문비나무림 목표 미송 혼효림)이 제시되었다. 산림사업과 관리는 종보전법과 소생물권보전과 Natur 2000(자연 2000)과 인증림 관리기준을 고려하였다.

3. 주요 산림입지형의 사업체계

바덴 뷔르템베르크주의 17개 산림발달형중 우리나라 주요 수종과 유사한 참나무 혼효림, 소나무혼효림 사업체계를 다음과 같다.

3.1. 산림발달형 : 페트라참나무 혼효림

● 이상적 목표임상

수관이 크고 줄기가 곧고 굵은 참나무에 다른 활엽수와 단목 침엽수가 혼효된 숲으로 중층과 하층엔 참나무 줄기와 땅에 그늘을 만들어주는 서어나무가 자란다. 나지에는 어린 참나무와 다른 활엽수들이 생육한다. 국부적으로는 노령 대경목이 소군상으로 자라고 이중 일부는 고사하여 다양한 식물과 동물에 생육공간을 제공한다.

● 일반현황

주요 분포지

라인강 상류 저지대, 오텐발트, 벡카란드 구릉지와 준산악지

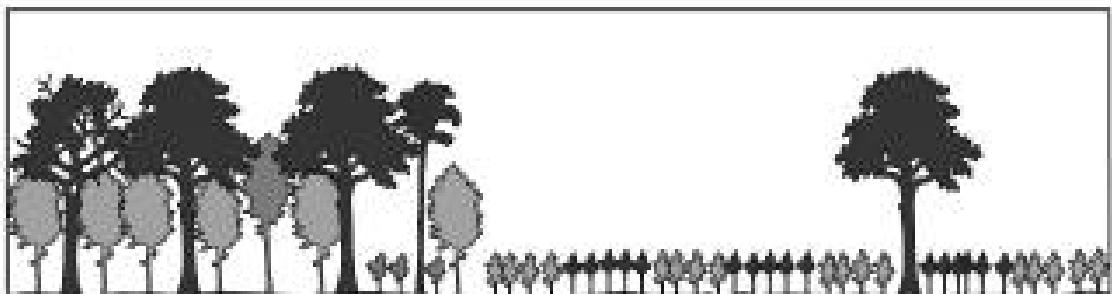


그림 7. 페트라 참나무 모식도

● 산림사/임황

페트라참나무는 경제적 그리고 사냥 때문에 수백년동안 자생 음수수종보다 우선 무육을 하였다. 현존 참나무 노령림은 참나무 중림에서 유래를 하고 있고 목재품질은 그리 좋은 편은 아니다. 유령림은 대부분 식재로 이루어진 숲으로 천연갱신은 적은 편으로 대부분 2층림으로 단순 동령림이다.

● 입지조건

페트라참나무혼효림은 습하지 않은 모래땅과 양토 그리고 약건~적운의 점토와 이회암 토양에 많이 생육한다. 생장이 좋고 합판용 우수한 형질의 주로 분포하는 곳은 적운한 점토질 모래땅이나 양토이다.

● 입지수목사회/천이

너도밤나무 입지에 제한적으로 분포하는 산림형으로 평의밤-너도밤나무 수목사회나 선갈퀴-너도밤나무 수목사회에 주로 분포한다. 참나무 수령이 길기 때문에 경쟁력이 약한 양수수종보다 우점을 한다. 생장이 우량한 입지에서 페트라참나무는 시간이 경과할수록 너도밤나무에 피압이 된다. 갱신이 길게 유지가 되면 페트라참나무혼효림에서는 음수수종이 우점한다. 공한지에는 페트라참나무가 양수종과의 경쟁에서 밀려난다. 천연갱신시 페트라참나무 치수발생이 빈약하다.

● 생태/기후변화적응력

페트라참나무 혼효림은 대부분 안정적인 이분을 형성하고 있다. 낙엽 분해는 중간정도이고

뿌리생장은 매우 집약적이어도 견밀도가 높은 토양에서 물리적인 좋은 영향을 끼친다. 건조와 고온에도 저항력이 높다. 적지에 생육하고 있는 참나무도 주기적으로 병충해를 입는다. 오목형 지형에서는 서리피해가 발생 할 수 있다.

● 자연보호

페트라참나무 혼효림 특히 노령림에는 보호대상인 다양한 동식물들이 서식하고 있다. 고사목과 노령목이 많은 곳에서는 다양한 구조와 지피식생층과 관목층에는 햇볕이 많이 들어오는 것이 중요하다. 페트라참나무 혼효림은 소생물권과 생물서식지(FFH : Flora Fauna Habitat) 지침에 따라 보호를 받고 있는 곳이 여러 군데 있다.

● 목표

장기 산림발달목표

적지에 자라는 천연림에 가깝거나 제한적인 페트라참나무 혼효림은 가치가 높은 합판목 비율이 높고 하층에 참나무 줄기를 보호하는 음수수종이 생육

- 수종혼효율 : 페트라참나무 60-90 기타 활엽수(너도밤나무, 서어나무) 10-40
침엽수(소나무) 0-20
FFH에 따르면 혼효수종 비율 최대 30%
- 혼효형 단목 또는 소군상
- 구조 다층림으로 중, 하층은 서어나무, 너도밤나무(피나무)

● 임분의 조림학적 발달단계

- 건강하고 형질이 좋은 참나무가 생장이 높아지게 유도. 흉고직경 70cm 이상의 참나무 축적이 총 축적의 50%에 도달하면 수확.
- 중층과 하층의 서어나무, 너도밤나무, 피나무가 전면적 유지되고 지속적으로 갱신
- 경쟁력이 낮은 희귀 혼효수종(마가목, 야생유실수) 존치 및 유지를 위한 시업.
- 어린나무 생육단계에 선구수종(자작, 버드나무, 사신아무, 벚나무)의 일시적 생육으로 임분이 소개된 구조를 촉진.

● 종 및 소생물권보호와 Natura 2000

자연보호 규정에 따른 시업 및 관리를 한다

● 시업형/조림학적 작업

어린나무가꾸기

- 조림목 보호를 위한 경쟁식생 제거를 풀베기.
- 피압된 참나무의 적정 점유율 유지를 위한 수고 2m가 될 때 까지 수종 조절. 여러 차례 실시를 할 수도 있음.
- 희귀 수종 보호.
- 상층목 수고 10m에서 우세목중 피해목을 조방적으로 제거; 최대 200본/ha 제거.
- 상층목 수고 13m에서 수고 10m와 같이 작업, 우량참나무 무육; 최대 200본/ha 제거.
- 혼효수종중에서 미래목을 선발하고 벗

나무, 호두나무는 가지치기를 실시; 3m 나 6m.

● 숲아베기

초기 숲아베기

상층목 수고 17m 부터

- 지하고가 수고 25%(높이 8-10m)에 도달하면 건강하고 형질이 우수한 미래목을 60-70본 선발을 하고 표시를 하고 미래목 중심의 상층간벌을 실시.
- “간벌기준 2010”에 따라 미래목 경쟁목을 제거, 수관접촉을 해소.
- 지위지수에 따라 1-3차 숲아베기를 10년 동안에 실시, 숲아베기 초기에는 최소 2회 실시; 최대 간벌량 50m³/ha(참나무)
- 도움이 되는 수종은 잠재 하층으로 보전
- 잠재 서식목(Habitat)과 고사목은 존치
- 임목본수가 적어 자연낙지가 불향한 임분에서는 형질개선을 위해 참나무 미래목을 6m 높이까지 가지치기를 실시
- 임연부 내부와 외부의 음수수종을 제거하여 소개된 구조를 유지

● 후기 숲아베기

상층목 수고 25m 부터

- 미래목 중심 도태간벌 실시; 미래목 1본당 최대 2본 경쟁목 제거, 10년에 1-2회 실시
- 미래목 중심 도태간벌을 실시하지 않는 임분은 수관이 크고 형질은 우량한 참나무를 대상으로 적정 간벌을 실시

- 하층은 유지
- 서식목(Habitat)과 고사목은 가능한 한 존치
- 수확
 - 재적관리
 - 상층목 수고 30m 부터
 - 임연부나 생장이 저조하거나 형질이 불량한 곳에 서식목 그룹을 선발하고 존치하고 단목 서식목은 부패할때까지 존치(고사목).
 - 상층 우세목의 수관이 울폐되지 않게 재적관리. 피해목이나 잠아가 발생한 참나무는 제거
 - 상층으로 자란 음수수종은 중하층 관리를 위해 제거
 - 간벌 강도 최대 60m³/ha, 일반적으로 10년 주기.
 - 수확기에 도달한 혼효수종(너도밤나무, 벗나무, 호두나무) 수확
- 수확 및 갱신
 - 서식목 관리
 - 수확기에 도달한 임분(흉고직경 70cm 이상의 참나무 축적이 총 축적의 50%)의 갱신 시작
 - 단기 갱신기간으로 천연갱신(필요한 경우 보완 식재)
 - a) 종자결실이 좋은 해에 산별이니 임연부 산별 실시. 천연갱신은 노령림에 참나무가 충분히 있고, 음수수종 치수가 발생이 미미하고 충분한 갱신면적(최소 0.5ha 이상).
 - b) 후계림의 참나무 비율이 적은 것을 목표로 갱신을 하거나 보완식재를 할 경우 획별 실시
 - 천연갱신이 충분하지 않은 경우 보완식재나 파종갱신을 실시.
 - 식재
 - 묘령 페트라참나무 2+0, 1+2 서어나무(피나무) 2+0
 - 식재형 페트라참나무, 기타 활엽수 2-3 × 1m, 5,000본/ha ; 천연갱신지 보완식재나 대묘 식재 최대 2000본/ha.
 - 혼효수종(서어나무) 3번째열 3번째마다 식재.
 - 필요한 경우 야생동물피해 보호 실시.
- 피해지 작업(태풍)
 - 태풍 등의 피해로 참나무, 선구수종, 혼효수종이 충분하지 않은 경우 식재형 1 × 1m로 약 20본 정도를 갱신이 미비한 부분에 식재.
 - 종보호차원에서 태풍피해 노령목과 그루터기는 존치.
 - 소면적 나지는 자연보호창원에서 귀중함.
- FSC 인증림
 - FSC 기준 준수
 - 개별 정의를 고려. 수확기에 도달한 참나무 존치로 경관 개선.

3.2. 산림발달형 : 소나무 혼효림

● 이상적 목표임상

수간이 통직하고 지하고가 높고 수관이 발달한 소나무가 상층부를 주로 구성한다. 너도밤나무, 기타 활엽수, 가문비나무나 전나무가 단목이

나 소군상으로 혼효한다. 햇빛이 많이 통과되는 소나무아래 다양한 높이의 너도밤나무, 전나무, 서어나무나 피나무가 자란다. 노령목 주변에는 소나무 치수와 다른 수종 치수가 자란다. 이외에도 소나무 노령목이 단목으로 자란다. 국부적으로 노령목과 고사목 그룹이 자리 잡고 있다.



그림 8. 소나무 혼효림 모식도

● 일반현황

주요 분포지

라인강 상류 저지대, 북부 흑림

● 산림사/임황

보통 파종조림이나 식재, 북부 흑림지역에서는 황폐화 된 임지(낙엽채취, 지하수면 저하)나 대면적 개별 임지에 천연갱신으로 조성

● 입지조건

배수가 잘되고 토양양분과 염기가 적고 강산성이고 일부 포드졸화된 사질이나 사질양토입지, 양지 사면. 토양수분은 대부분 약건~적윤. 산악대나 고산대에서는 과습지.

● 입지수목사회/천이

지력이 대단히 낮은 입지와 전나무, 가문비나무, 기타 활엽수가 혼효된 소나무림이 입지에 따라 자연에 가까운 임분형. 지력이 높은 입지의 소나무림은 대부분 인공림. 자연천이단계에서 대부분의 선구림이나 중간단계림은 장기적으로는 너도밤나무림(참나무림), 가문비나무림, 전나무림으로 천이. 하르트나 북부흑림지대의 흰털이끼-소나무림이나 흰털이끼-전나무림 산림사회에 있는 소나무혼효림은 극성상의 특성을 보임.

● 생태/기후변화적응력

적합한 입지에 있고, 입지에 적합한 수종구성으로 이루어진 소나무혼효림은 오래 생육하고 안정적이며 재생력이 강한 산림생태계이다.

혼효수종이 없는 경우에는 소나무림이 설해, 해충피해, 균피해를 받기가 쉽다. 소나무단순림은 이외에도 산성화를 촉진시키는 솔잎 때문에 임지척박화가 발생될 우려가 크다. 소나무혼효림은 척박한 환경에 적응을 했고 특히 건조기에도 피해가 없이 생육한다. 평지 소나무림은 이미 기후적응의 한계에 도달하여 병해충, 균 피해가 발생하고 있다. 이러한 피해는 소나무림의 활력을 떨어트리므로 노령목의 고사율을 높이고 있다.

● 자연보호

소개된 소나무 노령림은 산성 식물과 햇빛을 많이 필요로 하는 종(야생뇌조, 쪽독새 등)들의 서식공간이다. 흰털이끼-소나무림은 FFH에 따라 보호를 받고 있다.

● 목표

장기 산림발달목표

고가치, 가지치기가 된 수간의 비율이 높으며 입지와 원산지가 맞고 근자연적-인위적인 소나무혼효림. 상층에는 입지를 보호하는 수종이 혼효 ; 랑인강 상류 저지대에서는 하층이 산림 보호에 중요함.

- 수종혼효율 소나무 60-90 전나무(기타 침엽수) 0-30
너도밤나무(기타 활엽수) 0-40
FFH기준 혼효수종 비율 최대 30%(소나무, 페트라 참나무, 너도밤나무)
- 혼효형 단목 또는 소군상
- 구조 이층림으로 상층 소나무, 하층은 음수수종

● 임분의 조림학적 발달단계

- 재질에 따른 소나무 대경목 : 고급재(A/B급) 흉고직경 최소 60cm, 일반재(C급) 흉고직경 최소 45cm
- 굵고 생장이 우량하고 형질이 우량한 소나무의 수관발달을 조기에 촉진하여 안정적인 임분구조를 유지, 조성.
- 혼효수종 목표비율의 달성
- 흑림지역과 바르지역의 산악지 소나무 자생종의 유지
- 갱신시기에 개별에 의한 나지에 발생하는 종의 보호

● 종 및 소생물권보호와 Natura 2000

자연보호 규정에 따른 사업 및 관리를 한다.
야생뇌조 보호사업을 실시한다.

● 사업형/조림학적 작업

어린나무가꾸기

- 갱신지 소나무 임목본수 2500본/ha까지는 본수조절을 하지 않음.
상층수고 2m에서
- 갱신 치수가 많은 경우 소나무 본수를 3000~4000본/ha로 조절.
- 혼효수종을 소군상 형태로 혼효생장조정.
상층수고 8m에서
- 소나무 본수를 1000~1500본/ha로 조절(임목간격 2.5~3.0m)

● 숲아베기

초기 숲아베기

상층목 수고 12m에서

- 미래목 200본(생산목표 흉고직경 45cm 이상)을 선발, 표시하거나 미래목 120본(생산목표 흉고직경 60cm 이상)을 선발 6m높이까지 가지치기 실시.
- 혼효수종(너도밤나무, 전나무)에서 미래 임분에서 인수가능 한 미래목을 선목, 표시.
- 소나무 미래목간 간격은 7-10m, 소나무와 활엽수 미래목 간격은 9-10m.
- 미래목 중심 도태간벌 시작은 비대생장에 중점.
- “간벌기준 2010”에 의거 경쟁목 제거(미래목 1본당 4-0.5본 경쟁목 제거)하여 소나무 조기 비대생장 촉진 ; 60m³/ha, 간벌 주기 5-7년).
- 중층과 하층의 너도밤나무, 전나무 조성

● 후기 숲아베기

상층목 수고 22m 부터

- 약하게 우세목을 간벌하여 미래목 생장 촉진
- 간벌 강도는 최대 60m³/ha, 간벌주기는 5-10년
- 미래목이 없는 임분에서는 우량목 중심 도태간벌 실시.
- 중층과 하층에서 상층으로 자란 임목을 촉진.
- 서식목(Habitat)과 고사목은 가능한 한 존치

● 수확

재적관리

상층목 수고 28m부터

- 임연부나 생장이 저조하거나 형질이 불량한 곳에 서식목 그룹을 선발하고 존치하고 부후패 할때까지 존치(고사목).
- 벌채는 형질이 좋지 않고, 피해가 있는 소나무로 제한하여 점차적으로 축적을 증가(약 30m³/ha). 이외에는 상층목 작업을 실시하지 않음.
- 상층으로 자란 혼효수종은 제거 : 하층 유지.

● 수확 및 갱신

- 서식목 관리
- 소나무 건강상태와 지피식생 상태에 따라 임연부나 블록단위로 수확 및 하층 제거 ; 차선택으로 산벌이나 임연부 산벌.
- 소나무 천연갱신을 위한 면적이나 대상 굴기작업 ; 필요시 파종조림
- 혼효수종 천연치수 존치
- 소나무 보잔목 존치
- 소나무 천연갱신이 안되었거나 경쟁식생이 강력한 경우 최대 2500본/ha 식재, 떡갈잎풍뎡이지역에서는 5000본/ha 식재, 천연치수도 무육(부수종도 포함) ; 소군상으로 혼효수종 식재
- 식재
 묘령 소나무 1+2(1+1, 2+0), 전나무 2+3, 활엽수 1+2
 식재형 소나무 2.5-3 × 1.5m, 최대

2500본/ha : 떡갈잎풍덩이지역
 2×1m, 5000본/ha, 전나무 3
 ×2m : 양수수종 3×1.5m(소군
 상), 최대 3300본/ha
 음수수종 하층목 최대 1500본/
 ha

- d) 차량대신 말(馬)이 대체 할 수 없거나 기
 술적이나 재정적으로 실시할 수 없음.
- e) 임내 주행을 최소화 함.
- f) 토양피해를 기술적 시기적으로 최소화
 함

● FSC 인증림

- FSC 기준 준수.
- FSC 토양작업시 광물질는 작업을 하지
 않는다고 되어있음. 예외적으로 필요한
 경우 소면적으로 실시와 임내 차량 진입
 은 아래와 같은 조건에서 가능.
- a) 두터운 부식층이 천연갱신을 방해.
- b) 천연갱신실패가 야생동물 식해로 인
 한 것이 아님.
- c) 천연갱신이 야생동물 식해로 위험하
 지 않음.

참고문헌

- Landesforstverwaltung Baden
 Wuerttemberg(1999), Richtlinie
 Landesweiter Waldentwicklungstypen.
 pp. 54
- Landesforstverwaltung Baden
 Wuerttemberg(2014), Richtlinie
 Landesweiter Waldentwicklungstypen.
 pp. 116



드론을 활용한 소나무재선충병 관리

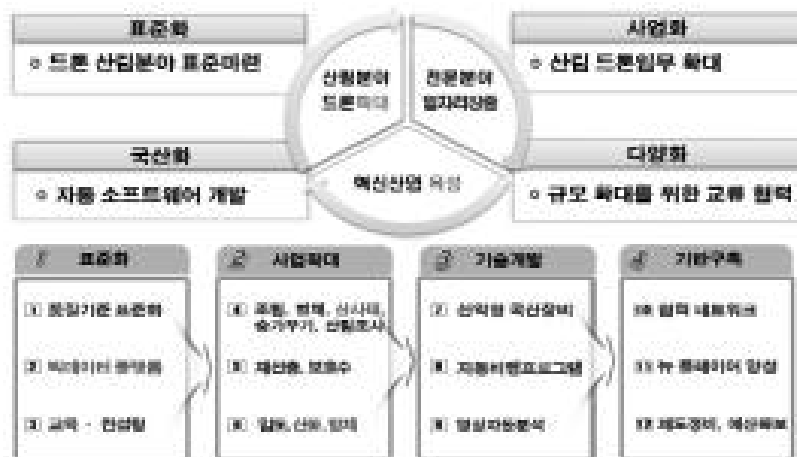
선 주 남
한국임업진흥원 방제드론실장

1. 산림과 드론 활용기술

키기 위한 다양한 방안을 모색하고 있다.

사물인터넷의 비약적인 기술발전으로 인해 우리는 4차산업혁명 시대를 맞이하게 되었다. 그 중 드론은 4차산업혁명시대의 핵심산업으로 부상하며 물류, 건설, 통신, 국방 등 전 산업분야에 걸쳐 활용되고 있다. 산림분야에서도 이러한 추세에 발맞추어 드론을 산림사업에 접목시

한국임업진흥원에서는 2016년부터 드론을 활용하여 소나무재선충병 신규발생지와 선단지, 중요 보호지역을 예찰하고 산림 내 소나무재선충병이 감염되었는지 여부를 판단하는 일에 집중하였다. 동시에 무인기로 촬영한 영상자료를 모아 데이터베이스를 구축하는 작업도 진



1. 산림드론 생태계 전략체계

행하였다. 2018년, 진흥원은 드론조사실이라는 신규부서를 만들었고 본격적으로 드론 업무를 확장하기 시작했다. 『산림드론 생태계 조성계획』을 최초로 수립하고 △표준화 △사업화 △국산화 △다양화를 기본방향으로 추진하고 있다. 그 중에서도 드론을 활용한 소나무재선충병 예찰방법을 소개한 「드론 운용 매뉴얼」과 「무인기항공기 운용 품셈」을 개발·보급하고, 무인기를 활용하여 산림사업에 적용할 수 있도록 현장 교육과 활용사례 발굴하는 등 산림드론 기반을 구축하는 일에 힘썼다. 또한 산림드론의 국산화와 사업화를 위해 수소전지드론과 자동비행프로그램 등 산림사업에 적합한 드론을 개발하는 일에도 성과를 올리고 있다.

2020년 현재, 외부적인 환경을 보았을 때는 산림드론의 발전을 위한 기회가 아주 많다고 할 수 있다. 각 부처에서는 각자의 분야에 특화된 드론 기술개발에 열을 올리고 있으며, 금년도 드론 관련 기술개발에 269억 원 이상의 막대

한 예산을 투자할 계획이며, 5월에는 드론법 시행을 앞두고 있으며, 지자체에서도 드론관련 산업을 활성화시키기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 산림청에서도 「스마트산림재해대응단」을 발족하여 드론을 활용한 여러가지 사업을 계획하고 있으며, 드론영상 데이터의 유통과 관리를 위한 시스템도 구축된다. 최근 드론의 보급이 확대되고 산림분야에 관심있는 드론 기업도 많은 연구개발을 하고 있다. 이런 환경 변화와 맞추어 전 분야에 걸쳐 다양한 산림사업에 드론 활용분야를 확장할 수 있는 절호의 기회가 아닐까 싶다.

2. 소나무재선충병 예찰

소나무재선충병은 1988년 부산에서 처음 발견된 이래 30년이 지난 지금까지도 수목에 많은 피해를 입히고 있다. 재선충병으로 인해 소나무



2. 소나무재선충병 피해



3. 피해현황도

와 잣나무, 해송(곰솔) 등 1,000만 그루 이상이 피해를 입었으며 이를 방제하기 위해 매년 막대한 국가재정이 소요되었다. 현재는 지속적인 방제로 최근 피해목의 수는 크게 감소하였지만 인위적인 요인으로 인해 신규발생 지역은 늘어나고 있는 추세이며 2020년 1월 기준 121개 시군구가 소나무재선충병 발생지로 분류되고 있다.

경향을 살펴보면 피해가 심각한 피해극심 지역은 줄어들고 있는 반면, 경미지역과 신규발생 지역은 늘어나고 있어 관리대상의 범위가 점점 넓어지고 있으며, 이로 인해 방제전략을 수립하는 데도 많은 어려움이 따르고 있다. 방제와 예찰 대상지가 넓어짐에 따라 환경적·생태적으로 고려해야 할 요인도 더욱 다양하고 복잡해지고 있기 때문이다.

소나무재선충병 방제를 위해 가장 먼저 선행되어야 하는 것은 신속하고 정확한 예찰이다. 현장 상황에 대한 정확한 판단이 우선되어야 방제전략을 수립하고 효과적인 방제방법을 선택할 수 있으며, 효율적인 인력배치와 예산규모를 정할 수 있기 때문이다. 또한 향후 예측 가능한 사업추진을 위하여 예찰의 중요성을 알리고 정보를 신속하게 공유할 필요가 있다.

산림청은 피해지 확산을 방지하기 위해 소나무재선충병 피해발생지 외곽의 폭 2km 구역을 「소나무재선충병 선단지」로 지정하여 확산 우려지의 예찰을 강화하고 있다. 그러나 모든 지역을 예찰하는 것은 여러 가지 어려움이 존재한다. 전국적으로 선단지 면적은 200만ha가 넘는 대면적으로, 사람이 직접 현장을 다니며 예찰하는 것은 시간이 많이 소요되고, 직접 하는 경우

직접 차량으로 이동하며 가시권내의 고사목을 관찰하거나 의심지역에 도보로 현장조사를 실시하므로 시야에서 관찰이 불가능한 사각지대가 많아 예찰효과를 얻기가 어렵다. 임도가 발달하지 않은 산악지역 역시 비가시권지역이 많아 어려움이 많지만, 의외로 전남, 전북, 충남, 경기 서부 등 경사가 완만한 지역도 조망권이 작아 산림내부 정밀한 예찰이 어렵고 사각지대가 많다.

또한 예찰은 주로 시·군·구와 국유림관리소, 산림환경연구소에 소속된 예찰단(방제단)이 수행하는데, 이들에게 재선충병의 생태적 특성과 예찰방법에 대해 교육을 실시하고 있지만 단기 고용으로 인한 잦은 교체로 역량강화에 한계가 있다. 더욱이 나이가 많으신 분들이 많아 최신 ICT 장비 활용에도 어려움을 겪는 경우가 많다.

3. 드론을 활용한 예찰

인력예찰의 한계를 극복하기 위해 최근 드론(무인항공기)을 이용하여 소나무재선충병 예찰을 실시하여 선단지의 고사목을 찾아내거나 전체적인 피해현황을 파악하고 설계 및 사후 확인까지도 드론을 활용하는 사례가 늘어나고 있다.

접근성이 떨어지고 가시권이 확보되지 않는 지역에서 드론을 활용하면 정밀한 예찰을 수행할 수 있으며, 특히 소나무재선충병 매개충의 생리적 특성을 고려할 때 짧은 시간내에 대면적 예찰이 필요한 경우 드론예찰이 효과적인 방법이라 할 수 있다.

드론을 활용한 소나무재선충병 예찰은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 첫 번째는 드론을 비행하여 실시간으로 산림을 관찰하고 현장에서 고사목을 판단하는 방법으로 시간단축에 매우 효과적이거나 비교적 좁은 면적에서 사용되는 예찰방법이다.

두 번째는 드론으로 촬영한 후 내업을 통해서 정사영상을 제작하고 영상분석을 실시하여 고사목의 위치 값과 수량을 산출하는 방법으로 주로 두 번째 방법이 많이 사용되고 있다. 이 방법은 정사영상 제작에 절차와 시간이 다소 많이 소요되고 있으나 정사영상을 확보하여 정확한 면적과 좌표위치를 추출할 수 있으며, 지상예찰과 달리 누락이나 중복 없이 넓은 지역을 예찰할 수 있다.

드론 예찰 순서는 준비단계, 비행 및 촬영, 정사영상제작, 영상분석, 현장조사, 시료채취 순으로 이루어진다. 첫 번째 준비단계에서는 드론의 비행을 위한 지방항공청의 허가와, 촬영을 위한 국방부의 사전 허가를 받아야 하며, 그 외에도

고도 150m이상 비행이나 야간비행이 필요한 경우 사전허가를 받아야 한다. 긴급한 경우 정부와 지정된 공공기관은 사전 승인 없이 사후승인 하는 제도가 있으나 사전승인이 원칙이다.

복잡한 산림지형은 가시권을 확보할 수 없기 때문에 항공법 준수에 애로사항이 있으며, 드론과 운용자간 통신두절이 발생하고 비행고도 설정에 제약이 많아 비행안전과 효율적인 예찰에 많은 제한사항 있다. 송전탑의 경우 최대 100m 이상의 비행고도를 추가로 설정해야 하는 등 산림에서 비행시 주의해야 할 사항이 많으며, 이는 성과물의 품질에 직접적인 영향을 미치고 있다.

산림에서 드론을 운용하려면 복잡한 지형과, 계곡의 상승기류, 비가시권의 비행안전, 기타 인공지형물로 인하여 비행 난이도가 매우 높은 경우가 많다. 또한 드론의 추락으로 인하여 파손 및 분실뿐만 아니라 주변의 인명과 재산피해까지 발생할 수 있는 위험성을 갖고 있다. 비행 전에 기체정비와 보험가입 및 사전답사를 통하여 비행횟수와 촬영계획 및 이착륙 장소와 비행



그림 4. 드론을 활용한 소나무재선충병 예찰체계

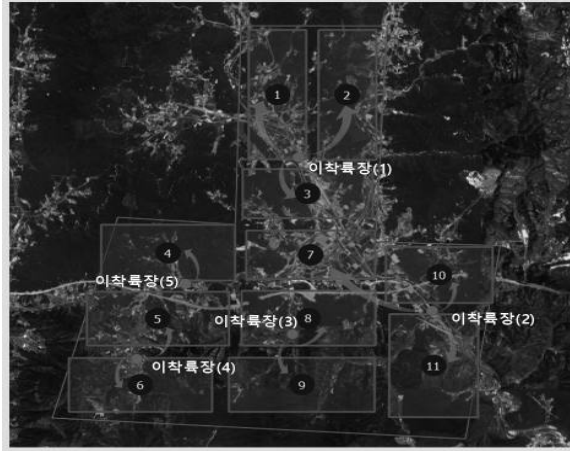


그림 5. 비행 계획수립



그림 6. 촬영경로 설정

방향 등 세부계획을 수립하고 시뮬레이션을 통하여 안전한 비행이 되도록 사전에 점검을 실시해야 한다. 촬영 시 비행일지를 작성하여 비행 목적과 비행결과를 기록하고 보안과 자료백업을 실시해야 한다.

두 번째 단계는 비행과 촬영이다. 드론촬영은 개별 장비의 성능과 조종자의 기술 숙련도에 따라 결과물이 다르지만 최신 드론의 성능이 급격히 향상되고 있으며, 조종자 편리를 위한 소프트웨어도 많이 보급됨에 따라 비행과 촬영의 안정성이 높아지고, 드론 가격도 낮아져 대중화되고 있다.

한국임업진흥원은 수치고도모델을 기반으로 드론의 비행고도를 산악의 등고선 높낮이에 따라 자동으로 계산하여 비행하는 「자율비행 프로그램-FMS(Flight Master Station)」를 개발하였다. 중소기업과 협력하여 공동 개발한 FMS는 6,000시간의 현장테스트를 거쳐 비행 안전성

이 검증되었고, 그 결과 현재까지 비행사고가 1건도 발생하지 않았으며, 현재 전국의 관공서와 산림기술사, 산림엔지니어링 등 100여건이 보급되었다.

비행조건 중에 정사영상 품질과 관련이 높은 옵션은 비행고도와 중복도이다. 고도가 낮을수록 영상이 선명하고, 중복도를 크게 설정하면 영상 정확도가 높아지는 반면, 촬영에 많은 시간이 소요되고 그만큼 비용이 커진다. 일반적으로 산림에서 이용하는 드론영상의 특징은 정밀도 보다는 효율성에 초점이 맞춰져 있다. 산림에서 활용되는 드론영상은 지적측량이나 토목에 비해 정밀도가 낮지만 같은비용으로 10배이상 넓은 면적을 촬영한다. 타 분야보다 기술수준이 낮거나 장비성능이 떨어진다는 오해가 있으나, 드론을 효율적으로 이용하기 위한 특징이라고 할 수 있으며, 사업 목적에 따라 정밀도와 해상도는 사용자가 적절하게 선택할 수 있다.

세 번째는 드론으로 촬영한 사진을 기반으로



그림 7. 드론촬영

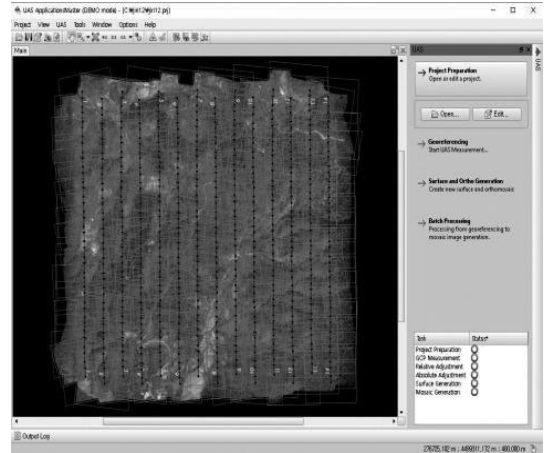


그림 8. 촬영경로

정사영상을 제작하는 단계이다. 정사영상이란 고저차나 기울어짐 등 지형의 기복에 의한 왜곡을 보정하여 물체를 수직으로 내려다보았을 때의 모습으로 변환한 영상으로 일정한 규격으로 집성하여 좌표 등을 기입한 영상지도를 의미한다(이강원 등 2016). 정사영상은 개별사진과 달리 경계 및 면적, 길이확인이 가능하고, 3차원 모델링, 시계열분석 및 주제도 제작 등 가능하므로 다양하게 활용할 수 있다.

정사영상을 제작할 때에는 드론촬영 통해 취득한 디지털영상, EO(전자광학)값, GPS자료를 입력하여 타일링 및 DSM을 생성하고 기하보정과 조정을 통하여 모자이크하여 정사영상을 생성한다. 정사영상 제작용 소프트웨어는 Pix4D, Photo Scan, UASMaster 등이 있으며, 동일한 사진도 소프트웨어 종류와 자료입력 시 환경설정에서 정사영상은 다소의 차이가 발생할 수 있으며, 외곽 경계부분은 오차가 커지는 경향이 있다.

위치오차 등으로 개별 사진의 왜곡이 심하여

정사영상이 일그러지는 블러링(Blurring) 현상이 발생할 경우 영상판독이 불가능할 수 있다. 이럴 경우는 영상을 재제작하거나 다시 촬영해야 한다.

소나무재선충병과 참나무시들음병 등 산림병해충 예찰은 시기적으로 매우 긴박하게 진행되므로 재촬영으로 예찰시기를 놓치지 않도록 촬영계획을 면밀하게 수립하여야 한다.

네 번째는 영상분석으로 정사영상에서 소나무 고사목을 찾아내고 좌표를 추출하는 작업이다. GIS프로그램을 이용하여 정사영상의 공간적 특성을 활용하여 면적, 길이, 위치추출이 가능하고 지형지물에 대한 형태와 수치표면 모델을 분석할 수 있다.

정사영상에서 산림병해충 피해를 입은 고사목의 위치와 수량을 정확히 분석하려면 많은 경험 있어야 하며 사전에 고사목에 대한 기초자료(인덱스)가 축적되어야 한다. 고사목의 병징, 수종, 피해시기, 지역에 따라 고사목 형태가 상

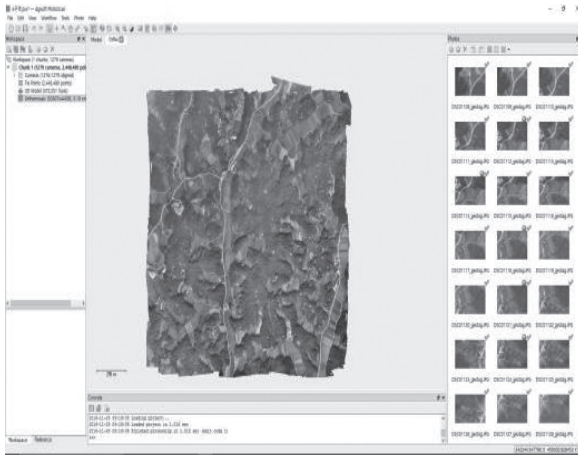


그림 9. 드론촬영



그림 10. 촬영경로

이하계 나타나므로 촬영한 시기에 따라서 수직 방향으로 보이는 색상, 질감, 패턴이 차이가 있기 때문이다. 또한 피해대상지의 유형에 따라 차이가 있어 이를 보완하기 위해 포털영상과 위성영상을 활용해 과거 영상과 비교평가 하면 분석 정확도를 높일 수 있다.

분석 결과의 적중률은 가장 민감한 사안이며 육안 분석에 오류가 있는 것은 사실이다. 따라

서 이러한 오류를 최소화하기 위해서는 피해양상과 발생 지역에 따라 목표가 서로 다르고 분석기법이 다르다는 것을 인식하고 분석결과를 어떻게 활용할 것인지에 따라 현장조사가 필요하다. 선단지의 경우 병충해 피해가 아닌 고사목까지 추출하면 정확도는 70%까지 떨어지는 경향이 있으며, 반복적으로 피해가 발생하는 지역의 피해상황조사를 위한 영상분석의 경우 적



그림 11. 고사목 추출

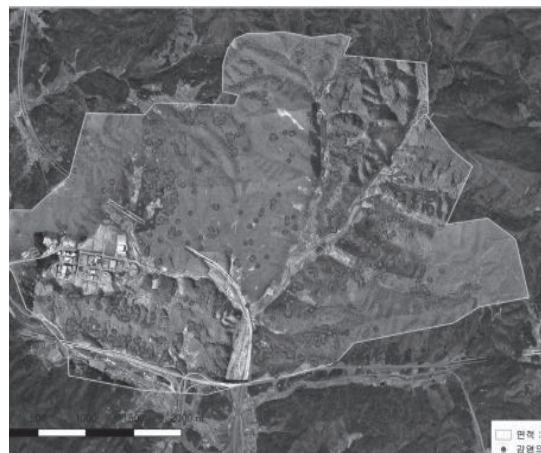


그림 12. 주제도 작성

중률은 95%까지 올라간다.

최근에는 컬러영상 이외에 멀티스펙트럼과 3차원스캐너 등 다양한 센서를 장착하여 식생지수(NDVI) 등을 활용하여 고사목을 추출하는 방법도 활발하게 연구되고 있으며, 인공지능 기법을 활용하여 고사목을 자동으로 찾아내는 AI프로그램도 개발되고 있는 중이다.

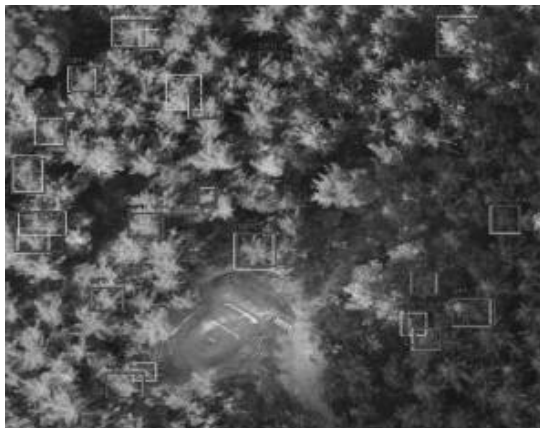


그림 13. 소나무고사목 AI 자동분석

4. 발전과제

드론을 활용한 산림병해충 관리체계를 강화하기 위해서는 예찰이 필요한 지자체 또는 기관별로 수시 예찰할 수 있도록 드론의 비행, 분석 역량을 강화해야 한다. 비행 프로그램의 자동화, AI 분석프로그램 등 현장 활용을 위한 쉽고 간편한 솔루션이 개발되고, 일련의 과정을 매뉴얼화하여 담당자가 교체되어도 대처할 수 있는 방안이 고려되어야 한다. 그렇게 된다면 더 많은 지자체에서 스스로 예찰을 수행할 수 있을 것이

며 더 넓은 면적을 빈틈없이 예찰할 수 있게 될 것이다.

또한 드론을 활용한 병해충 방제에도 힘써야 한다. 드론을 활용한 병해충 방제는 아직 초기 단계이지만, 예찰과 마찬가지로 누구나 쉽게 드론을 활용한 방제를 수행할 수 있는 기술을 개발하는 데 힘써야 한다.

기술발전으로 인해 드론을 활용한 병해충관리는 일부 효율화되었지만 산림분야에서 드론이 활성화되기에는 여전히 드론 성능도 발전시켜야 하며, 산림의 고유한 특성으로 인한 어려움은 존재한다. 높고 넓은 산림지형으로 인해 비가시권 비행이 불가피하지만 안전상의 이유로 이와 관련한 법규는 산림드론에 제약으로 작용하고 있으며, 산림 지형의 굴곡지와 계곡 상승풍 등 산림 비행노하우 축적과 기술 개발을 요한다.

또한 산림분야에서 드론 임무를 지속적으로 발굴하고, 그 임무를 수행할 수 있는 드론의 세부요소기술까지 개발된다면 고령화된 산림분야에 새 바람이 불게 되지 않을까 생각된다.

드론이 가진 잠재력은 우리가 상상하는 것보다 훨씬 더 클지도 모른다. 드론을 산림사업에 어떻게 적용하느냐에 따라 앞으로 산림사업의 미래가 좌우될 것이다. 향후 드론전문가와 산림관계자가 함께 노력하여 안전하고 효율적인 스마트한 산림관리가 하루빨리 이루어지는 것을 기대해본다.

소나무재선충병의 발생 현황과 주요 방제정책

이 승 규
한국수목보호협회 상임이사

1. 시작하면서

소나무재선충병(소나무 시들음병, Pine Wilt Disease)을 일으키는 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)은 본래 북미대륙 원산으로 이 지역의 침엽수 토착 수종에서는 거의 병을 일으키지 않으며, 단지 도입 수종에서만 일부 병을 일으키는 것으로 알려져 왔다. 그러나 20세기 초 일본으로 유입된 후 현재까지도 특히 곰솔, 소나무 등 소나무림에서 궤멸적 피해를 주고 있으며, 이후 중국, 한국, 대만 등 동북아시아의 여러 나라와 스페인, 포르투갈 등 유럽으로 확산되어 세계적으로도 중요한 산림병해가 되고 있다. 이로 인해 발생 국가에서는 산림 손실뿐만 아니라 국제간 소나무류 목재 교역에 있어서도 상당한 경제적 손실이 발생하고 있다.

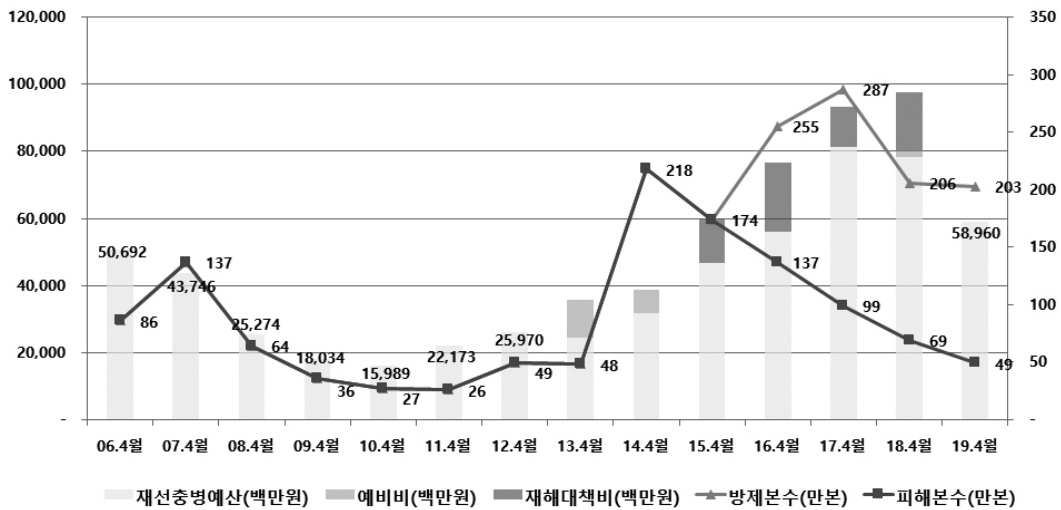
우리나라에서는 1988년 부산 금정산에서 처음 발견된 이후 전국적으로 확산 중에 있다. 산림청

과 관련 지자체의 부단한 노력의 결과로 산림 피해가 많이 줄고는 있으나 여전히 산림청은 물론 산림을 사랑하는 국민의 크나큰 걱정거리로 남아 있다. 본 고에서는 방제 관계자와 관심 있는 분들의 소나무재선충병에 대한 이해를 돕고자 우리나라에서의 소나무재선충병 발생 현황(추이)과 방제 목표 설정, 그리고 방제현장에서 지켜야 할 주요 방제 정책과 지침 등을 소개한다.

※ 이 글은 기본적으로 산림청 산림병해충방제과의 여러 교육자료와 “2020년도 주요 업무 추진계획”등을 기반으로 작성되었음을 밝힌다.

2. 소나무재선충병의 발생 현황과 방제 목표

우리나라에서의 소나무재선충병의 발생 현황은 기본적으로 피해목 본 수는 감소하고 있으나 피해면적은 확산되고 있어 전체적으로 방제여



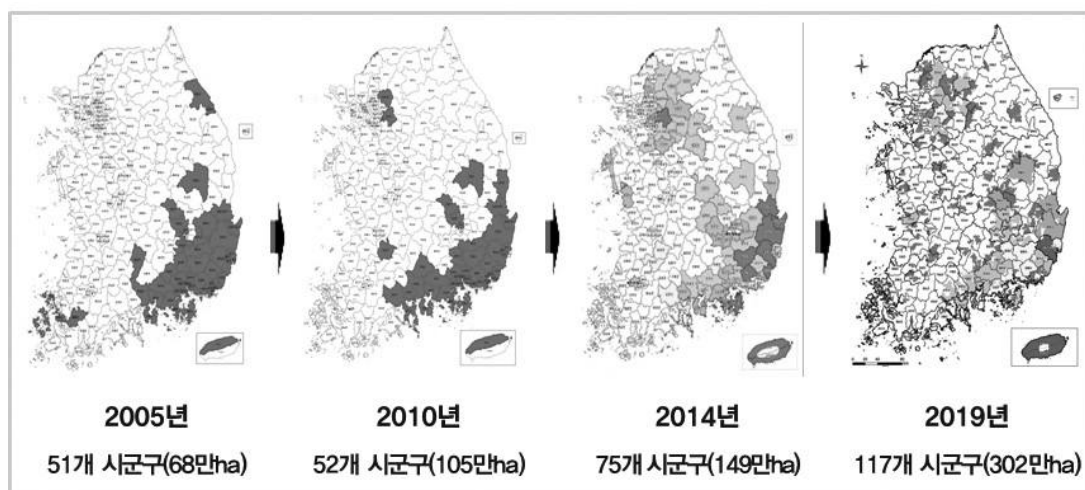
(자료 출처 : 산림청 산림병해충방제과 교육자료)

그림 1. 소나무재선충병의 발생 추이와 방제 예산

건이 불리한 상황이다. 피해 고사목의 발생 추이를 보면 산림 당국의 부단한 노력으로 (‘16. 4.) 1,373천본 → (‘17. 4.) 992천본 → (‘18. 4.) 686천본 → (‘19. 4.) 496천본으로 감소하고 있다(그림 1). 그러나 소나무재선충병의 피해 시·군·구의 수는 (‘16) 104개 → (‘17) 115개 → (‘18) 115개 → (‘19.12) 119개로 비록 완만한 속도이지만 증가하고 있으며, 이에 따라 반출금지구역 면적도 (‘16) 2,194천ha → (‘17) 2,773천ha → (‘18) 2,917천ha → (‘19.12) 3,071천ha로 늘어나고 있다(그림 2). 그나마 다행인 것은 소나무재선충병의 신규(재) 발생지역이 (‘16) 19개 → (‘17) 12개 → (‘18) 4개 → (‘19) 7개로 점차 감소 추세로 전환되고 있다는 점이다.

이와 같은 발생 여건에서 방제 실행에 있어

현실적인 어려움을 가중시키고 있는 부가적인 요인들이 있다. 이를테면, 기후변화로 인한 겨울철 고온 현상 등 이상기후의 빈번한 발생으로 소나무 고사목이 증가하여 이에 따른 방제 대상목의 증가, 여름 가뭄·겨울 고온 등으로 인한 매개충 활동 기간 증가 등이 그것이다. 아울러 PLS(Positive List System) 제도 시행과 국제적 사용금지 약제의 증가에 따라 소나무재선충병 예방을 위한 매개충 방제를 위한 항공 및 지상 약제 살포 등 적극적 약제 방제가 어려워지고 있다. 이러한 어려운 현실적 방제여건을 감안할 때 그림 1에서 보는 바와 같이 과거처럼 방제 물량 대비하여 방제 예산이 줄지 않는 것은 소나무재선충병이 갖는 여러 병리학적 위험성을 감안할 때 매우 다행스럽고, 적절한 대응이 아닐 수 없다.



(자료 출처 : 산림청 산림병해충방제과 교육자료)

그림 2. 소나무재선충병 피해지 확산에 따른 반출금지구역 확대 추이

여기서 필자는 소나무재선충병이 우리나라 소나무림에 대하여 가지고 있는 병리학적 위험성을 두 개의 예를 들어 강조하고 싶다. 첫 번째는 우리나라 소나무림의 상황이다. 우리나라 국토의 약 64%가 산림이며, 이 중에서 제주도를 서 DMZ까지 이르는 산림의 약 23%가 소나무림이라는 것은 “단일작물(=수종) 대면적 재배(=분포)”라는 식물(수목)병리학에서의 가장 기본적인 대발생 위험 조건에 소나무림이 노출되어 있다고 할 수 있다. 그 두 번째는 일본, 대만, 그리고 유럽에서 찾을 수 있는 현실적이고 명확한 피해 사례이다. 현재 대만에서는 유구소나무가 거의 전멸했다고 볼 수 있으며, 일본은 북해도 바로 밑의 이와테현까지 소나무재선충병이 확산되어 산림지역에서의 방제는 포기하고 지킬 수 있는 곳만 지키는 상황이다. 포르투갈과 스페인 또한 예외가 아니며, 포르투갈은 이미 전

국적으로 만연된 상태이며, 스페인은 포르투갈과의 국경지역에서 발생하기 시작하고 있다.

소나무재선충병이 원산지인 북미대륙에서는 풍토병 수준인데 왜 아시아 국가들에서, 그리고 유럽에서 엄청난 피해가 발생하고 있을까?. 그 이유는 아시아와 유럽에 분포하는 소나무류들과 유입된 병원체인 소나무재선충 사이에는 유전적 공진화(co-evolution)가 원천적으로 결여되어, 즉 병원체에 대한 유전적 저항성이 없기 때문이다. 이는 아시아지역의 풍토병인 잣나무 털녹병과 밤나무 줄기마름병이 북미와 유럽으로 유입되어 “황폐화”, “궤멸적 수준의 피해”를 일으키면서 세계 3대 산림 병해가 된 것과 같은 이치이다.

그러므로 산림 당국이 2020년에 소나무재선충병에 대한 방제 행정의 목표를 “신속하고 효율적인 대응(선단지 관리를 위한 예찰 강화 및 조

기발견·초동방제, 드론 활용)으로 소나무재선충병 피해 감소(방제품질 제고로 주 피해 감소) 및 청정지역 확대(분포 확대 차단)로 설정한 것은 매우 현실적이고 타당하며, 방제 예산의 지속적 확보와 함께 이러한 정책 기조를 장기적으로 유지해야 한다고 생각한다.

수목이 저항성이 없는 경우에는 “조기 발견·초동 방제”가 더욱 중요하다.

그러므로 피해 본 수는 몇 그루 안되지만 신규 발생지가 매년 증가하고 있는 현실에서 선단지 관리가 매우 중요하다. 이를 위해 산림청은 다음과 같이 체계적으로 예찰 및 진단을 강화하고 있다(표 1).

3. 2020년도 소나무재선충병의 주요 방제 지침

가. 예찰·진단 강화 및 피해예측 향상에 따른 방제 실시

식물(수목) 병의 방제에 있어 “조기 발견·초동 방제”는 아무리 강조하여도 지나치지 않다. 오이발에 흰가루병의 경제적 피해허용수준이 단지 감염 잎 두 개라는 연구결과와 같이 소나무재선충병처럼 병원체의 병원성이 강하고, 기주

- 1) 미발생지/선단지/중요지역 순서로 관련 기관 합동 예찰을 연중 실시,
- 2) 광역범위는 헬기 및 무인항공기(드론)을 활용한 광역·정밀조사 실시,
- 3) 고사목 발견·검경·방제까지 이력 관리와 고사목은 전수 검경 후 방제계획에 반영 등의 체계가 갖추어 있다.

특히 선단지 미발생지역에서는 전자예찰함을 활용하여 정기적 예찰을 실시해야 하며, QR코

표 1. 한국임업진흥원 소나무재선충병 모니터링본부주관의 소나무재선충병 조기발견 확산방지를 위한 합동 정밀예찰 체계

조사기간	(5월~10월, 6개월)	대 상 목
	- 1차 : 5~8월	피해목 반경 2km 외곽 전 지역 고사목 및 기 시료채취목
	- 2차 : 9월	항공예찰 시 발견된 소나무류 고사목 대상 시료채취
	- 3차 : 9~10월	추가 발생 고사목 및 기 시료 채취목 반복 채취
조사지역	선단지 외곽 미발생 지역 전체 및 피해 선단지 내, 피해‘경미’지역	기 시료 채취목, 조경수 포함 모든 소나무류 고사목
조사기관	모니터링본부, 지방산림청(관리소), 지자체, 산림연구기관	
검경기관	지방산림청, 산림연구기관, 모니터링본부	

드를 활용하여 예찰·방제 누락을 방지하기 위한 고사목 이력관리시스템을 피해도“경미”이하의 지역으로 확대 운영하고 있다. 예찰 활동에서 확보된 고사목은 선단지의 경우 미감염으로 판정되더라도 감염이 의심될 경우 2~4주 후 다시 소나무재선충 유무를 조사하도록 의무화하고 있으며, 또한 재조사를 위해 별도된 시료 채취목은 반드시 방제 조치를 해야 한다.

나. 방제전략 수립 및 협업 방제 강화

예찰 활동으로 확보된 모든 자료는 방제전략 수립에 활용되고 있으며, 방제전략은 크게 1) 국가방제전략, 2) 도서 지역 방제전략, 3) 유관 기관 협력 등으로 나누어 시행되고 있다.

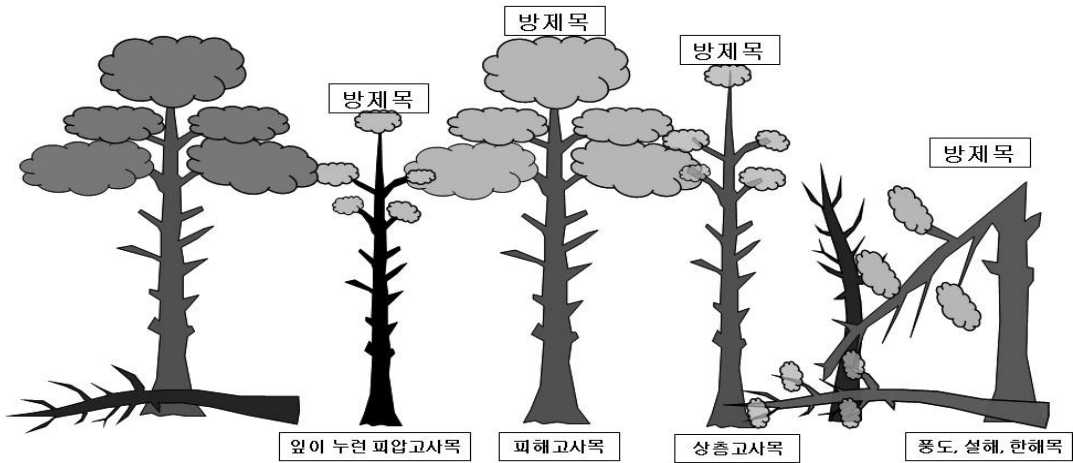
먼저 국가방제전략은 국가 역할 강화 및 광역 선단지 맞춤형 방제에 초점을 맞추고 있다. 주요 목표는 국가 선단지 구획 및 백두대간·금강송군락·DMZ 등 중요지역으로의 소나무재선충병 확산 차단이며, 국가방제전략을 토대로 맞춤형 방제전략을 수립하여 연차적 방제가 추진되고 있다. 아울러 이미 수립된 권역별 방제전략은 지속적으로 보완하여 해당 지자체 방제계획 수립 등에 최대한 활용하도록 자료도 공유되고 있다. 도서 지역은 일단 발생하면 섬이 고립적이고 독립적인 위치 및 섬 내 해안가 급경사 압반 지역의 피해목 위치 등으로 인해 방제하기가 매우 어려운 문제가 있다. 그러므로 도서 지역 방제전략은 이러한 점들을 감안하여 해당 지자체별로 도서 지역의 피해조사 및 특성분석을 통한 재선충병 확산방지라는 정책 목표를 두고 실행되고 있다. 특히 남해안 도서 지역은 소나무

재선충병 관리방안 연구결과에 기초하여 체계적인 방제를 3월까지 완료토록 추진하고 있다. 또한 행정적, 기능적 산림 구분은 소나무재선충병의 발생 및 매개충의 이동(확산)과는 상관이 없으므로 중앙-지방-타부처간 협력을 강화하고 방제체계를 구축하는 것은 효율적인 방제를 위해 매우 중요하다. 이를 위해 지방산림청과 지자체의 협의 및 공동방제 추진, 그리고 산림청-유관기관(국방부, 환경부, 문화재청, 도로공사 등)별 소관 사업에 대한 방제 실행 및 협조 강화와 정기 방제협의회 개최는 방제 자원을 공유하고, 방제 사업을 평가하며, 계획을 수립하기 위해 매우 중요하다.

다. 소나무재선충병 피해목 전량 방제 및 활용 제고

(1) 방제 대상목 선정 (선목)

피해목의 방제에 있어 가장 중요한 준비사항은 방제 대상목의 선목이다. 준비단계에서 피해목이 누락되지 않고, 반면 과도한 선목이 되지 않도록 조사 설계에 철저해야 한다. 산림청은 방제계획 작성 시 피해도에 따라 차등 적용하고 조사지가 누락되지 않도록 피해구역 전체 지역을 조사·설계하되 피압 고사목, 부후목 등은 선목 작업에서 제외될 수 있도록 행정지도를 강화하고 있다. 특히 선목 시 잎이 완전히 떨어지고 초두부가 없는 피압고사목 또는 수피가 벗겨졌거나 부후가 심해 매개충 산란처가 될 수 없는 소나무류는 방제 대상목에서 반드시 제외해야 한다(그림 3). 이는 설계품질을 높이고 방제 예



(자료 출처 : 산림청 산림병해충방제과 교육자료)

그림 3. 방제 제외목 : 단목 별채지 방제목 선목 기준(수피 및 경급과 관계없음)

산을 효율적으로 사용하기 위해서 반드시 이행되어야 한다.

(2) 방제 실행 (기간, 업체 선정, 산물 활용 등)

방제 실행기관은 모든 방제 자원을 투입하여 내륙 지역은 3월까지, 제주도는 4월까지 피해목을 반드시 전량 방제하여야 한다. 이는 매개충인 솔수염하늘소와 북방수염하늘소의 우화 시기 이전에 방제를 마쳐야 하기 때문이다. 방제 실행의 주요 사항은 1) 안정적인 방제 기간 확보를 위해 '19년 말까지 1차적인 방제작업을 완료하고, 2) '20년 상반기 2~3차 추가 방제를 통해 누락목이 없이 전량 방제하는 것이다. 1~3차에 걸쳐 피해목을 방제를 해야 하는 이유는 매개충의 우화 시기가 개체별로 약간씩 달라 재선충 감염 시기가 다르며, 피해목의 병징 발현 시기가 또한 차이가 있기 때문이다. 산림청은 원칙적으로 위의 방제 기간을 준수토록 하고

있으나 방제 인력, 예산 등의 문제로 인해 부득이하게 기한 내에 방제가 실행되지 않았을 경우 늦어도 매개충 발생 주의보 발령일로부터 5일까지 보완작업이 반드시 완료되도록 행정지도를 강화하고 있다.

여기서 방제 업체의 책임 있는 시공이 중요한 과제로 남아있다. 책임방제는 방제지역에서의 재발생률과 직결되며, 재발생률은 방제의 성공과 실패의 평가 기준이 되기 때문이다. 그러므로 방제 담당 지자체나 기관은 성공적인 책임방제를 위해 전문성을 갖춘 업체(설계·시공·감리)를 선정하며, 부실방제, 물의를 일으킨 업체는 관련 규정에 의해 퇴출 조치를 하도록 행정지도가 강화되고 있다.

방제가 완료된 피해목에 대한 자원화에 대한 요구가 증가하고 있다 이를 위해 산림청은 별채 방법의 다양화를 통하여 산물 수집을 확대하고 있으며, 아울러 톱밥·칩 등 산물의 원활한 유통

을 위해 지역별 소비처를 적극 확보하고 재질이 우수한 경우 원목으로 활용할 수 있도록 하는 정책을 추진하고 있다. 특히 펠릿 및 발전사에 공급되는 방제목에 대한 수익분배 예상내역을 방제 설계서에 반영하여 산주에게 환원하거나 방제사업비로 환류될 수 있도록 하는 것도 중요한 시책으로 추진되고 있다.

(3) 방제사업장 품질 제고

소나무재선충병은 이론적으로 매개충이 없다면 발생할 수 없는 병이다. 즉 피해현장에서 매개충이 들어있는 모든 피해목(가지 포함)이 적어도 매개충 자연확산 거리 내에서 3~4월까지 전량 방제가 되었다면 병이 결코 다시 발생할 수 없다. 그러나 방제지에서 병이 재발생하였다면 방제지 내 어디에서인가 매개충을 보유한 가지 또는 감염목이 잔존하고 있다는 의미이다(그림 4), 이렇게 철저하게 처리되지 않고 방제지에서 해를 넘기면서 소나무재선충병을 발생시키는 근원으로 남아있는 감염목(가지 포함)

을 누락목으로 정의할 수 있다. 방제품질은 결국 방제지 내에서 어떠한 경우에도 누락목이 없이 매개충이 있는 가지와 줄기의 일부라도 철저히, 완벽하게 제거되어야 높아질 수 있다.

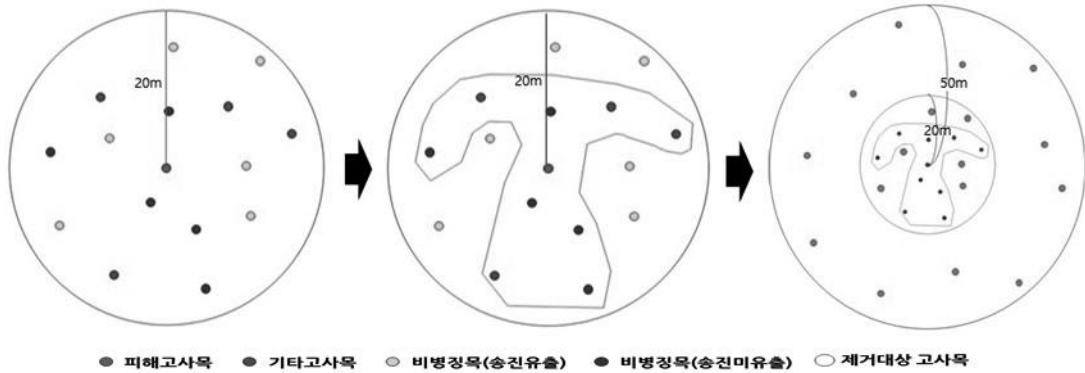
이를 위해 산림 당국은 방제 효과가 높은 수집·파쇄를 확대하고 방제방법은 재선충병 방제 지침을 준수토록 하고 있다. 내용은 1) 발생한 피해목의 전량 방제를 위하여 동일 사업장에 대한 피해목 방제 작업을 최소 2~3회 반복 실행하여 누락목이 없도록 조치, 2) 수집 불가 지역에 한해 훈증 또는 그물망 방제를 활용하되 그물망 피복 방제는 필요지역 외에는 사용 제한 등이다. 그리고 예산투입 대비 방제 효과의 극대화를 위해 다음과 같이 피해유형별로 방제를 차별화하고 방제대상지에 우선순위를 설정하고 있다.

- 1) 선단지 : 전지역 집중관리(기타고사목·산란처) 제거, 나무주사 등 복합방제(피해고사목 벌채+예방나무주사)



(사진 출처 : 한국임업진흥원 소나무재선충병 모니터링센터 교육자료)

그림 4. 작은 가지(직경 3cm, 길이 50cm) 내 매개충과 방제작업 후 잔가지 수거모습



(자료 출처 : 산림청 산림병해충방제과 교육자료)

그림 5. 선단지의 방제 효율성 제고를 위한 소구역 골라베기 개념도

- 2) 경·경미지역 : 소구역 골라베기와 예방나무주사, 피해목 주변 고사목 병행 제거
- 3) 극심·심지역 : 외곽부터 피해목 제거에 집중, 피해 극심지는 모두베기 등

여기서 주의하여 볼 것은 2020년부터는 선단지 등의 확산방지를 위해 소구역 골라베기와 예방나무주사를 병행하는 복합방제를 적극적으로 도입할 예정이라는 것이다. 그 내용은 1) 피해목 반경 20m 이내에서는 송진추출법 등을 적용하여 방제 대상목을 선정하고, 2) 피해 반경 50m 이내의 소나무류에 대하여는 예방나무주사를 실시하는 것이다(그림 5).

산림 당국은 집중 방제 기간 내 방제현장에 대한 점검조치로 1) 방제건설팀을 9월부터 운영하여 방제 실행기관의 조사·설계부터 실시, 2) 퇴직공무원 활용 노하우플러스 인력 확대로 현장책임관 파견제도 개선, 3) 감리를 확대하고 산림기술자 배치 실태를 점검하여 위법행위 엄

중 조치(방제사업장 체크리스트를 활용하여 부실업체 확인서 징구, 재선충병방제법 제17조 적용) 등을 시행 중에 있다.

(4) 확산 방지를 위한 예방사업

소나무재선충병의 방제는 건강한 나무에 대한 예방처리와 피해 고사목 처리 등의 두 가지로 구분하여 실시되고 있다.

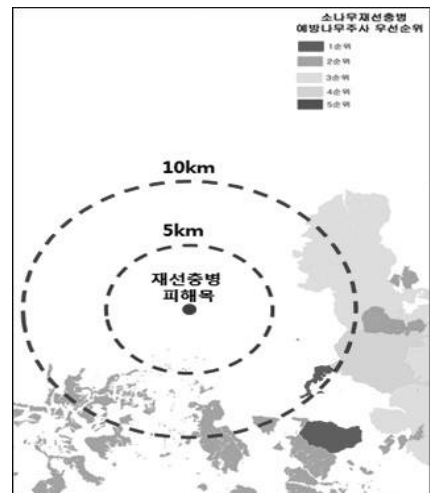
먼저 아바멕틴 등 약제를 나무에 주입하는 예방나무주사의 경우 대상지와 실행목적 등을 명확히 정하여 체계적으로 시행하기 위하여 소나무재선충병 방제지침에서 예방나무주사 우선순위지역(표 2)을 정하고 있으며, 우선순위 이외 지역은 피해고사목 주변 20m 내의 지역에 한하여 예방나무주사를 실시하도록 하고 있다. 아울러 고비용의 예방 약제는 수목의 상태 및 방제 효율을 고려하여 보호수 등에 제한적으로 실행하도록 권장하고 있다. 우화 후 피해목에서 탈출한 매개충에 대한 항공살포는 그 효율적임에

도 불구하고 헬기살포에 따른 비의도적 확산, 비표적 생물(꿀벌 등) 피해 등 산림생태계 교란 저감을 위해 점진적으로 축소되고 있으며, 항공 살포 대상지 우선순위에 따라 필요지역 위주로 실시되고 있다. 헬기방제의 대안으로 보호수, 생활권 등 민감한 지역은 드론을 활용하여 정밀 방제가 점차 확대 실행되고 있으며, 특히 살포 지역과 생활권 등은 완충지대를 설정하고 예방

나무주사로 대체되고 있다. 최근 선단지 등 확산우려 지역에서는 예방효율을 높이기 위해 국립산림과학원에서 개발한 매개충·소나무재선충의 동시 방제가 가능한 합제나무주사(표 3)가 실시되고 있으며, 주입 시기는 2월~3월(솔수염·북방하늘소 공통)이다. 이 외에도 매개충의 밀도관리, 서식처 제거, 인위적 확산방지 등을 위해 피해지 주변의 소나무림 관리사업도 중요

표 2. 소나무 재선충병 방제지침의 예방나무주사 우선순위지역

구 분	우선 순위
보호수, 유네스코 생물권보전지역, 천연기념물	1
금강소나무림 등 특별수종육성구역	
종자공급원 (채종원, 채종림 등), 산림문화자산	
산림보호구역 (산림유전자원보호구역)	2
수목원·정원, 시험림, 문화재보호구역	
백두대간보호지역, 국립공원, 도시림·생활림·가로수, 생태숲	3
역사·문화적 보존구역, 도시공원, 산림보호구역 (경관보호구역)	4
도립공원, 군립공원	
기타	5



1, 2순위 대상지는 최단 직선거리로 10km, 3, 4순위 대상지는 5km, 5순위 대상지는 2km 이내에 소나무재선충병이 발생되었을 때 예방나무주사 시행

* 장기(4년 이상) 예방나무주사는 1순위에만 실시

표 3. 합제 나무주사

품목명	상표명	작물	병해충	약제주입량
아바멕틴·설펍사플로르 분산성액제 6%	푸른솔	소나무 잣나무	소나무재선충, 솔껍질깍지벌레, 솔수염하늘소, 북방수염하늘소, 솔잎혹파리, 솔나방	원액 1ml/ 홍고직경 (cm)
아세타미프리드·에마멕틴벤조에이트 10+6%	솔키퍼	소나무	소나무재선충, 솔수염하늘소	원액 1ml/ 홍고직경 (cm)

한 부분이다. 이를 위한 실행 방법으로는 1) 산란처가 될 우려가 높은 기타 고사목 등을 제거하는 숲가꾸기사업 적극 시행, 2) 산지 전용지는 중간 점검을 실시하여 부적합한 경우 방제명령 조치 등 관리 철저 등이 있다.

(5) 인위적 확산 방지

피해지 내에서 적절한 방법으로 처리되지 않고 매개충이 있는 상태로 피해목을 이동시킨다면 이는 소나무재선충병 방제특별법을 위반한 중대한 범법행위이다. 산림과학원의 조사에 의하면 신규발생지의 약 64%가 매개충의 자연확산 거리 밖에서 피해가 발생하였으며, 이는 감염목의 불법적인 무단이동에 의한 것일 수밖에 없다. 소나무재선충병의 신규 발생이 갖는 경제적 및 행정적 비용 손실을 감안한다면 감염목의 무단이동은 반드시 근절되어야 한다.

이를 위해 산림 당국은 소나무류 나무 및 목재의 불법유통 및 단속의 실효성 강화와 함께 유통의 효율을 제고하고 국민의 불편을 해소하기 위하여 생산확인표·미감염확인증에 고유 일련번호와 QR코드를 부착하여 산림환경연구소 홈페이지를 통해 문서진위여부 확인하도록 하고 있으며(「정부24」를 통한 미감염(생산)확인 신청의 민원편의 서비스 개선), 아울러 소나무류 취급업체 목록을 현행화하고 지방청-지자체-경찰청 등 유관기관과의 협조를 통해 단속을 강화하고 불법 취급 및 이동 시 엄중한 조치를 취하고 있다. 아울러 기존 훈증터미를 최대한 수집처리 하여 무단반출 등 인위적 확산 요인을 제거하는 노력을 병행하고 있는데 생활권,

중요경관지, 재해발생위험지, 민원발생지역이 우선 실시 대상이다.

(6) 방제인력의 전문성 강화 등 방제기반 강화

1988년 소나무재선충병이 부산 금정산에서 국내 처음으로 발생하고 약 30여 년이 지났다. 이 병의 발생을 방제현장에서 지켜보았던 필자로서는 방제 행정과 관련하여 아쉬웠던 점으로 두 가지가 있다. 하나는 방제 관계자의 전문성 부족이고 다른 하나는 발생 현황에 대한 통계자료의 오류이다.

예찰부터 방제 실행에 이르기까지, 그리고 계획수립자부터 일선 현장 인력까지 모든 방제 행위의 결과는 재발생률로 나타나며, 재발생률의 높고 낮음(=방제 성공과 실패)은 결국 모든 방제 관계자의 전문성과 책임감의 수준에 기반한다. 한국임업진흥원, 산림교육원 및 지자체의 각종 산림교육기관에서 과거보다 크게 향상되고 준비된 다양한 교육 인프라를 기반으로 방제 관계자의 전문성 향상을 위해 예찰단원, 방제 사업자 및 관계 공무원에 대한 실무 기술교육훈련 및 정책·제도 및 기술교육 등 다양한 형태의 교육 프로그램이 운영되고 있어 매우 다행으로 생각된다.

아울러 정확한 발생 본 수 산출은 방제 예산의 확보 및 투입과 직결되므로 매우 중요하다. 과거에 발생 본 수를 평가에 따른 문책 등의 이유로 축소 보고하는 등의 사례가 없지 않았고 이는 발생 현황 파악과 방제정책 수립에 매우 부정적인 영향을 미치기도 하였다. 산림청에서 평가로 인한 통계누락·축소보고 등 부작용을 근

절하고 소나무재선충병 방제성과 제고 및 확산 방지를 위해 방제 주체별로 다양한 평가 지표를 개발하고 적용하는 노력을 하고 있다는 점은 매우 높이 평가할만 하다. 예를 들면 1) 지자체 중 발생지역은 발생면적 낮출 수 있는 지표, 2) 미발생 지역은 인위적 요인에 의한 확산을 방지할 수 있는 지표의 선정, 3) 지방산림청에서 실시하는 소나무재선충병 방제율, 벌채 산물 활용 실적, 방제컨설팅 성과 평가 등이 그것이다. 아울러 성과에 따라 인센티브·페널티를 명확하게 하여 동기부여를 실시하고 기관별 평가결과를 공개하여 투명성을 제고하고, 경각심을 고취하는 점은 방제기반 강화를 위해 매우 필요한 조치이다.

4. 맺음말

앞에서 언급한 바와 같이 소나무재선충병은 외국에서 유입된 병해로 우리나라 소나무, 곰솔, 잣나무는 병원체에 대한 저항성이 없는 상태에서 매우 심각한 피해를 받고 있다. 유입된 수목(식물)병의 발생과 확산은 방제 노력이 멈추는 순간, 과거의 피해 수준로 다시 돌아간다는 것은 병리학적으로 너무나 자명하므로 모든

방제 활동을 체계적이고 지속적으로 실시해야 한다. 그러한 점에서 산림청과 지자체의 유기적인 협력 속에서 지속적인 방제 노력과 필요한 예산 확보, 방제 관계자의 전문성 강화, 방제방법의 개발 및 개선 등을 중심으로 한 현재의 방제정책의 기초는 매우 바람직하다고 평가할 수 있다.

가장 걱정스러운 것은 소나무재선충병의 발생 기간이 길어지면서 정부와 지자체 관계자들의 피로감이다. 언제까지?, 되기는 되는 것인가? 언제까지 돈을 들여야 하나? 등등. 이에 대한 정책적 대응과 대비도 필요하다고 본다. 우리보다 훨씬 발생 역사가 길고 피해 또한 포기 수준에 이른 일본에서 살펴볼 것은 국가와 지자체의 노력 외에 국민의 자발적 참여 부분이다. 지켜야 할 곳만 지키는 현재의 상태에서도 일본의 일부 지자체에서는 소나무를 사랑하는 시민단체가 국가와 지자체를 감시하고 독려하면서도 자발적으로 예찰 및 방제에 참여하고 있다, 아직까지 자발적으로 방제에 적극적으로 참여하는 시민단체가 거의 없는 우리로서는 산림 당국이 국민의 도움을 받을 수 있도록 대국민 홍보 강화와 함께 정책적 노력이 필요한 시점이라 생각한다.



계류복원사업을 위한 환경조사(3)

-저생생물조사를 중심으로-

전 근 우 · 김 석 우
강원대학교 산림환경과학대학 교수 · 조교수

저생생물조사의 대상은 계상에 분포하는 석력의 표면과 아래 및 수역(水域)의 유목·목편·수초 등에 부착하여 서식하는 생물군으로, 조사 범위는 조사대상 수역으로 한다. 또한, 이 조사는 육안적 저생생물 및 비육안적 저생생물로 구분하여 실시하는 것을 원칙으로 하며, 특히 계류의 하류지역과 사방댐의 저수공간에서는 수초와 유목 등의 표면에 부착하여 서식하는 것과 인공시설에 붙어 있는 것 등을 함께 조사한다. 한편, 이 조사결과는 해당 수역의 수질오탁과 계류의 정화상태 등을 파악하는 데에도 유효하게 활용될 수 있다.

이 연구는 산림청(한국임업진흥원)에서 지원하는 산림과학기술 연구개발사업(과제번호 : 2017061B10-1819-AB01)에 의하여 이루어졌다.

1. 조사의 구성

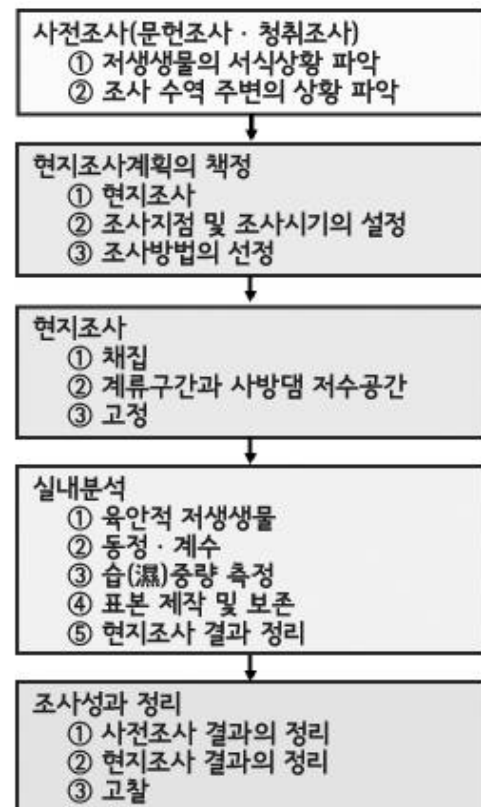


그림 1. 저생생물조사의 순서

저생생물조사는 그림 1과 같이 조사계획을 입안하여 실시하고, 그 내용은 사전조사·현지조사를 주로 하며, 그 결과에 대하여 분석·정리하도록 한다.

2. 사전조사

사전조사에서는 주로 문헌조사와 청취조사를 실시한다. 즉, 현지조사에 앞서 문헌 및 청취조사를 실시하여 조사대상 수역 혹은 계류구간의 저생생물상, 각 종류의 출현시기와 분포상황, 조사대상 수역과 계류구간 및 그 주변의 상황 등을 파악한다.

3. 현지조사계획

사전조사 결과에 기초하여 수역 혹은 계류구간을 현지답사하고, 목표로 하는 결과를 충분히 얻을 수 있도록 조사지점, 조사시기 및 조사방법을 선정하여 현지조사계획을 책정한다.

4. 현지조사

현지조사는 현지조사계획에 따라 계류환경의 특성 및 조사목적을 정확하게 파악할 수 있는 조사방법을 선정하여 실시한다.

1) 조사방법의 개요

저생생물상을 파악하기 위해서는 수역의 특성(계류, 사방댐의 저수공간) 및 대상이 되는 생물군의 생활양식에 따라 시료의 채취방법을 채

택한다. 또한, 정량채취 뿐만 아니라 다양한 지점에서 정성채취를 실시하여 보완한다.

2) 계류(담수지역)에 있어서의 조사방법

각 지점별로 육안적 및 비육안적 저생생물에 대한 정량채취와 정성채취를 실시한다.

① 육안적 저생생물

계류의 수심이 0.5m를 초과할 경우에는 일반 호소 등에서 실시하는 채취방법에 준하여 현지조사를 실시하지만, 그 외의 경우에는 다음과 같은 방법에 따라 실시한다. 즉, 수심이 0.3~0.5m 정도에서 석력계상을 선정한 후, 20cm×25cm의 방형구를 물속에 설치하고, 그 안에 서식하는 저생생물을 채취한다. 또한, 육안적 저생생물을 채취하기 위하여 방형구 내의 석력을 서버 네트에 천천히 옮긴 후, 그 표면의 육안적 생물을 핀셋으로 채취하고, 석력을 들어 올릴 때에 떨어지는 저생생물은 서버 네트를 아래쪽에 설치하여 수집한다.

한편, 저생생물은 종에 따라 서식장소가 다양하기 때문에 정량조사만으로는 채취할 수 없는 경우가 발생한다. 따라서 0.5mm 정도의 그물망과 삽 등을 사용하여 돌, 모래 및 진흙으로 구성된 장소, 낙엽이 쌓여있는 곳 및 수생식물 군락 등 다양한 장소에서 정성채취를 병행한다.

② 비육안적 저생생물

비육안적 저생생물용 시료채취는 우선 육안적 저생생물을 채취한 곳과 같은 지점에서 물속의 석력 4~5개를 선정하고, 표면에 5×5cm의

방향 틀로 구역을 분할한다. 그리고 그 틀 밖에 부착된 물질을 미리 솔질한 후, 대상으로 하는 일정 면적의 부착물 전체를 낚시 또는 나일론으로 만든 브러시로 벗겨내어 시료로 사용한다. 이때 가능하면 유사지점 중에서 유속이 40cm/s 정도인 여울을 조사지로 선정하며, 석력은 유수의 방향과 평행인 것을 대상으로 선택한다.

3) 수질판정을 실시할 경우의 채취방법

육안적 저생생물에 의하여 수질을 판정할 경우(Beck-Tsuda법), α 법과 β 법에 따라 시료를 채취하는 방법이 다르다는 것에 유의한다.

① α 법

- 계류의 석력 아래에서 샘플링한다.
- 석력은 그 크기가 수박~귤 정도인 것을 유속이 100~150cm/s 정도인 곳에서 선정한다.
- 수심은 무릎 정도인 곳을 선정한다.
- 채취면적은 일정하게 설정한다. 즉, 50cm×50cm의 금속성 방형구를 물속 바닥에 설치하고, 그 범위 내에 서식하는 육안적 저생생물을 전부 채취한다.

② β 법

- 여울에서는 석력 아래에서 채취하지만, 무리하게 여울에 한정할 필요는 없다.
- 해당 계류지역에 서식하고 있는 모든 종류를 망라할 수 있는 채취방법을 채택한다.
- 족대에 사란(Saran) 망을 부착시킨 제품을 이용하여 채취지점의 하류에서 포집한다.

- 조사 보조원은 상류 쪽에 있는 석력을 긁거나 굴려서 곤충을 떨어뜨려 유하시킨다.
- 사란 망에 포집된 것을 모두 채취한다. 즉, 4~5명이 약 30분간에 걸쳐 동일지점 부근의 사력층, 진흙층, 소 및 기슭 등에서 채취한다.

4) 사방댐 저수공간에서의 조사법

① 육안적 저생생물

일반적으로 에크맨버지(Ekman-Berge) 채니기(採泥器)를 사용하여 채취한다. 에크맨버지 채니기는 치수가 다양하지만, 주로 채취면적이 15cm×15cm인 것을 사용하며, 계상재료가 사질인 경우에는 채니(採泥)면적이 확실한 것을 사용한다.

이와 같은 채니기로 채취한 계상의 진흙은 물 바깥으로 옮긴 후, 0.8~1.0mm 눈금의 체에 올려놓는다. 이어서 표면(1~5mm)의 일정 면적(5~10cm² 정도)에서 시료를 채취하여 천천히 물로 닦아 체 위에 남아있는 모든 생물 혹은 남아있는 물방울 등을 육안적 저생생물용 시료로 사용한다. 그리고 이와 같은 조사는 동일한 지점에서 2~3회 반복하는 것이 바람직하다.

② 비육안적 저생생물 및 부착생물

비육안적 저생생물은 에크맨버지 채니기로 각 지점에서 채취한 표층의 진흙을 5×5cm 내에서 코어 샘플러를 사용하여 수차례에 걸쳐 얇게 제작한 후, 시료로 사용한다. 그리고 석력, 유목 및 수초 등에 부착된 생물을 채취하여 시

료로 사용하고, 필요에 따라서는 인공 부착물을 설치하여 부착된 생물을 채취한다.

한편, 수초의 표면에 부착하여 서식하는 생물은 쉽게 떨어지는 것과 비교적 강하게 부착되는 것으로 구분된다. 수초를 물속에서 조금만 움직여도 쉽게 떨어질 경우, 두꺼운 비닐주머니 아래 한쪽에 작은 구멍을 내고 수초군락을 살짝 덮은 후, 고무 밴드로 작은 구멍과 주머니의 입구를 막고 수초를 자른다. 그리고 주머니 속에 들어온 수초와 부착생물은 다른 비닐주머니 속에 넣은 후, 실내 분석장소로 운반한다. 또한, 유목, 석력 및 판 위에 붙어있는 생물은 비육안적 저생생물의 채취방법에 준하여 부착물을 브러시 등으로 충분히 떨어뜨린 후 채취한다.

5) 기수지역(瀕水地域)에서의 조사방법

비중이 높은 소금물(鹽水)은 「소금물 썰기」가 되어 상류방향으로 유입되기 때문에 하구로부터의 거리·유속·간만, 또는 계절이나 시각에 따

라 염분농도가 변한다. 따라서 출현하는 생물군집은 염분농도의 변화와 특수 환경의 종합적인 결과를 나타내고 있다. 그리고 이와 같은 수역에서는 저생생물과 부착생물에 주안을 두고 조사하며, 플랑크톤은 시간적 지표, 농도 지표의 하나라고 간주한다.

한편, 조사계획 시 그 목적에 따라 다음과 같은 두 가지 조사방법을 사용한다.

- ① 표면수의 염분농도 차이에 따른 부착생물 군집의 차이점을 조사한다.

그림 2에서 알 수 있듯이 A~D지점에 부표를 띄우고, 부표 바로 아래에 인공 부착판을 접속 시키거나 폴을 세운 후에 부착된 생물을 채취하여 조사한다. 또한, 조사지점의 바닥에 서식하는 저생생물에 대해서도 조사한다.

- ② 수직방향에 있어서 염분농도의 차이에 따른 생물군집의 상이한 점을 조사한다.

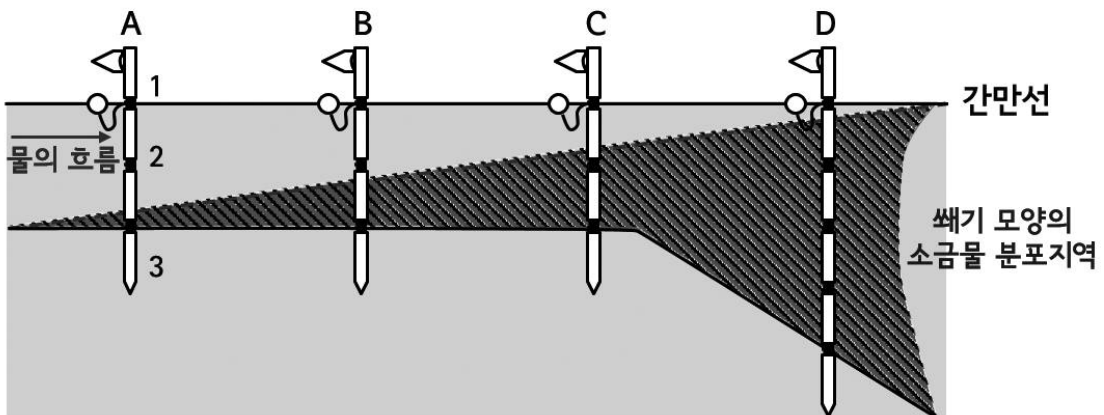


그림 2. 기수지역에 있어서 인공 부착판의 설치 사례

그림 3과 같이 각 지점에 설치한 폴에 수면으로부터 아래 방향을 향하여 일정 간격으로 표시하고, 2개월간 방치한 후에 각 지점에 있어서의 깊이별 부착생물을 채취한다.

한편, 부표나 폴을 사전에 설치할 수 없는 해안지역의 계류에서는 만조 시에 생물이 부착된 물체가 물속에 깊게 잠기기 때문에 계곡 출구의 계안을 조사할 때에는 썰물 시의 높이를 감안하여 조사한다.

6) 시료의 보존

채취한 시료는 가능한 한 신선한 상태에서 동정 혹은 계측하는 것이 바람직하다. 특히 여름철의 고온인 경우, 채취 후 몇 시간 내에 부패되기 때문에 일반조사 시에는 수생곤충을 채취하면 곧바로 75% 에탄올을 사용하여 동정을 위한 보존처리를 실시한다. 또한, 보존처리하기 곤란한 저생생물은 채취한 시료의 일부를 분리하여 저온에서 보존한 후에 실내로 운반한다.

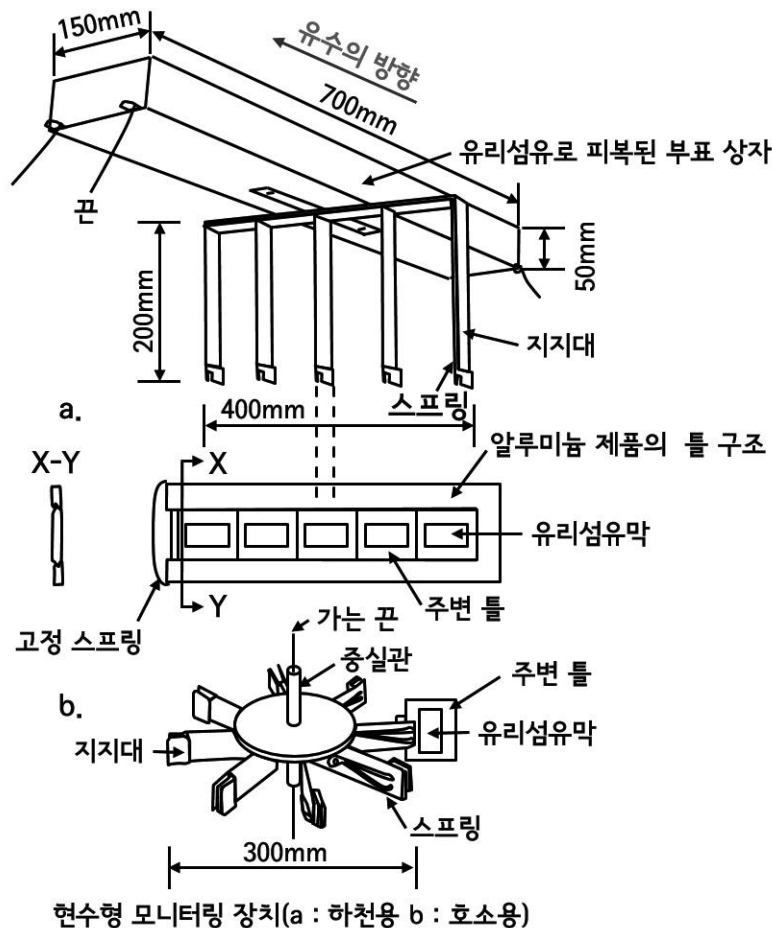


그림 3. 인공 부착판 사례

① 육안적 저생생물

채취된 시료는 일반적으로 5~10% 포르말린으로 고정하여 보존한다. 또한, 소형 갑각류(甲殼類) 등은 포르말린에 장기간 보존할 경우 지나치게 경화되기 때문에 가능하면 신속하게 분류한 후, 75% 에탄올에 옮기는 것이 바람직하다. 그리고 표본상태로 장기간 보존할 때에는 75% 에탄올의 소형 샘플관에 넣어 보관한다.

② 비육안적 저생생물, 부착생물

포르말린으로 고정할 경우, 시료가 약 5% 농도가 되도록(시판되는 포르말린은 약 35%의 포름알데히드 용액임) 중탄산소다 농축용액으로 중화한 것을 사용한다(이 경우 하부에 백색 침전한 것은 사용하지 않음). 그러나 알코올은 식물성 검사물체의 색소를 추출하여 무색으로 만들거나 스티롤 용기를 손상할 수 있기 때문에 피하도록 한다.

5. 실내분석

채취한 시료 중에 육안적 저생생물은 대략적으로 분류하여 동정·계수(정량)하고, 비육안적 저생생물은 시료를 조정한 후, 현미경으로 동정·계수(정량)한다. 그리고 표본은 조사지점, 조사일시 및 시료채취 조사자별로 제작한다.

1) 시료의 조정

① 분류

샘플은 현장에서 250ml의 페트병 등에 넣어

고정하고, 샘플에 섞여 있는 사력이나 쓰레기 등은 다음과 같이 분리하여 순수한 저생생물 시료를 제작한다.

우선, 페트병에 들어있는 시료를 차 거르기 쇠조리(체) 등으로 포르말린이나 진흙을 씻어낸 후에 배트(vat)에 넣는다. 그리고 대형 쓰레기나 석력은 생물의 부착 여부를 확인한 후, 배트 속을 잘 살피면서 저생생물을 핀셋으로 직접 선별하여 살데로 옮긴다. 이때 사력, 식물의 파편, 쓰레기 및 조개껍데기의 파편 등에서 서식하고 있는 저생생물은 주의하여 선별한다.

한편, 입경이 큰 모래나 자갈의 경우에는 자갈과 함께 물을 넣고 강하게 흔들어 생물을 부유시킨 후, 그것을 네트로 떠서 선별한다. 그러나 정제된 샘플에도 생물이 남아 있을 수 있으므로, 일단 분리가 종료된 쓰레기 등은 대형 배트 등에 넣어 보관한 후에 다시 한 번 생물을 확인하고 처분한다.

② 비육안적 저생생물

비육안적 저생생물은 현미경으로 종을 동정·계수(정량)할 수 있는 정도로 희석한 후에 시료로 사용한다.

2) 종의 동정·계수(정량)

① 육안적 저생생물

육안적 저생생물은 40배 배율의 실제 현미경으로 검경하여 목, 과 및 종 등을 구분한다. 그리고 절족동물(주로 수서곤충류), 연체동물(조개류 등) 등과 같은 하등 미생물은 동정 시 최

신 분류학 체계에 근거하여 가능하면 종 혹은 속 수준까지 동정한다. 예를 들면, 종명까지 규명할 수 없는 경우에는 *Orthocladius* sp., 속명이 불분명한 경우에는 *Orthocladinaegen*. sp. 등으로 표기한다. 이때 가능하면 spp.라는 표기는 피하고, 종명을 동정할 수 없는 종이 어느 정도 존재하는지를 알 수 있도록 sp. A, sp. B와 같이 기호를 붙여 구별한다. 다만, 이와 같은 정리기호를 붙일 경우, 이미 문헌 등에 기재되어 있는 동일한 기호는 피하도록 한다. 또한, 동정이 용이하지 않은 그룹은 표본을 지참하고, 전문가에게 동정을 의뢰하여 그 정밀도를 높인다.

한편, 계수(정량)를 실시할 경우에는 단위면적 당 개체수로 산출한다. 이때 머리 부분이 상한 것만 계수하고, 잘린 것은 전부 채집한 후 그 총 숫자를 2등분한다. 또한, 생물체의 질량을 구할 때에는 여과지 위에 수서곤충을 올려놓은 후, 다른 여과지를 그 위에 덮은 상태에서 가볍게 눌러 가능하면 수분을 모두 제거한다. 특히 껍데기, 등지는 제거하는 것이 원칙이며, 습윤중량(Wet weight : mg 단위)을 각각 종류별로 무게를 측정한다. 이때 80℃ 정도에서 건조시킨 후에 무게를 측정하면 건조중량(Dry weight)으로 표시할 수 있다(필요에 따라 실시함).

$$\text{개체수 } N/m^2 = \frac{(a_1 + a_2 + \dots + a_n)}{n} \times 4$$

식에서, n : 횟수

$a_1 + a_2 + \dots + a_n$: 각 횟수에 있어서 50cm × 50cm 방형구의 개체수

② 비육안적 저생생물, 부착생물

현장에서 운반된 시료를 잘 혼합하여 전체 용량을 측정된 후, 일정량에 대하여 검경한다. 이때 생물의 양이 많은 경우에는 전체 용량을 측정하고, 그 일부를 다시 희석한 후에 다시 검경한다. 그리고 각 종을 동정할 때에는 동·식물 플랑크톤조사에 준하여 실시하며, 각 속의 개체수와 세포수의 계수(정량) 역시 동·식물 플랑크톤조사에 준하여 단위면적당의 수치로 나타낸다. 또한, 목적에 따라서는 전체 시료의 건조중량을 별도로 측정하고, 단위건조중량당의 수치로 나타내는 경우도 있다.

6. 정리

조사결과는 그 목적을 해석할 수 있도록 군집구성·현존량·우점종 등에 대하여 정리한다.

1) 현지조사의 개요

현지조사 지점의 개요(지점·계류 입구로부터의 거리, 표고 및 지점의 특징)와 조사일시 및 수심, 채수면적, 채수방법, 조사담당자, 참고문헌, 조언과 지도를 받은 전문가 등을 정리한다.

2) 현지조사 위치

전체 수계에 대한 현지조사 지점의 위치관계를 파악할 수 있도록 표시이 되는 주요 사방댐과 교량 등을 기입한 유역개요도에 각 조사지점의 위치를 정리한다.

3) 군집구성

각 시료 속에 출현한 생물을 분류군별로 속과 종에 대하여 배열한다. 이때 정성방법으로 파악된 결과를 이용하여 생물명은 학명을 가능하면 증명까지 기재한다.

4) 현존량

각 시료 속에 출현한 생물을 속(屬)별로 단위 용적당의 개체수, 세포수 및 습윤중량 등을 정리한다.

5) 우점종

군집구성 상태와 정량적 결과를 총괄하여 현존량(일반적으로는 개체수 또는 세포수)이 가장 많은 속을 우점종으로 결정한다. 그러나 현존량이 같거나 거의 비슷한 경우에는 우점종이 복수가 될 수도 있다.

6) 특정종 등

채취한 저생생물 중에서 특정종이라고 인정되는 속을 정리한다.

7) 저생생물과 수변지역과의 관련에 대한 고찰

전체 조사를 통하여 파악된 성과를 기본으로 하여 필요에 따라 다음과 같은 내용으로 정리, 고찰한다.

① 현지조사에 의하여 확인된 저생생물과 조사지점의 환경에 대한 적성분류 및 유형분류를 실시한 후 그 상관관계를 정리한다.

② 수질환경·부영양화도·계상상황 등의 판정 육안적 저생생물과 비육안적 저생생물은 수질의 영향을 받는 형태가 다르다. 따라서 오수(汚水)생물체계를 적용하여 계류수의 수질상태를 판정하고, 부영양화 단계를 나타내는 지표생물을 사용하여 계류수의 부영양화 수준을 판정한다.

그리고 계상의 저생생물에 대한 조사결과를 사용하여 계상의 재료와 호기혐기(好氣嫌氣) 상태를 판정하고, 계류의 종단방향에 대한 군집구성을 해석하여 오탁수의 유입지점과 계류의 정화상태 등을 판정한다.

③ 수환경의 보전·창출을 위한 참고사항

저생생물에 대한 군집구성의 다양성 혹은 현존량 등의 정보에 의하여 수환경의 보전과 창조를 위한 다양한 시책에 대한 친수성 혹은 환경의 질적 평가, 그리고 감시 등의 지표 등을 파악한다.



계류복원사업을 위한 환경조사(4)

- 어류조사를 중심으로 -

서 정 일 · 전 근 우

공주대학교 산업과학대학 부교수 / 강원대학교 산림환경과학대학 교수

계류와 그 주변 지역의 수환경을 구성하는 조건이 변하면 해당 지역의 생태계 구조 자체가 변화된다. 특히 어류는 단일 조건에 제한을 받는 것이 아니라 종합적인 변화의 결정체로서 그곳에 서식한다. 이러한 어류는 계류생태계의 최상위 계층을 차지하기 때문에 어류가 서식한다는 것은 해당 계류가 정상적인 생태계를 유지하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 어류조사는 계류복원사업의 계획, 시행 및 평가에 있어서 매우 큰 비중을 차지한다고 볼 수 있다.

이 연구에서는 계류 및 주변 지역에 있어서 어종(魚種)의 분포, 현존량, 산란장소 및 소상(遡上) 상황 등의 조사에 관한 내용을 정리하였다. 이 연구는 산림청(한국임업진흥원)에서 지원하는 산림과학기술 연구개발사업(과제번호: 2017061B10-1819-AB01)에 의하여 이루어진 것이다.

1. 조사의 구성

어류조사는 그림 1과 같이 조사계획을 입안하

여 실시하고, 그 내용은 사전조사·현지조사에서 파악된 결과에 대하여 분석·정리하는 것으로 구성한다.

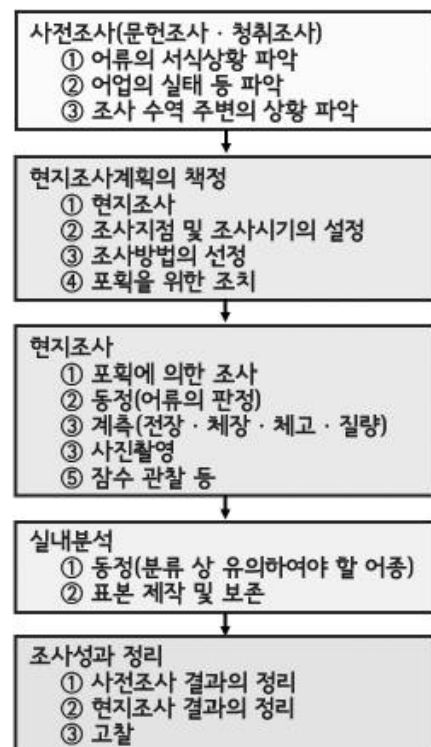


그림 1. 저생생물조사의 순서

2. 사전조사

사전조사에서는 문헌조사와 청취조사를 실시한다. 즉, 사업자는 현지조사를 실시하기 이전에 문헌·자료·기존의 유사 조사보고서를 수집하고, 정리한다. 또한, 각종 자료를 수집할 때에는 발주자가 대여한 것 이외에 설계도서에 제시된 타 기관의 자료를 수집하도록 한다. 그리고 현지조사를 실시하기 이전에 문헌 및 청취조사를 실시하여 조사대상 수역 혹은 계류구간의 어류상, 회유어의 소상, 강하시기, 어류의 번식상황, 금어(禁漁)수역(구간)과 시기, 보호어종으로 지정된 어류의 분포상황, 산란지점 및 방류지점 등에 대하여 파악하도록 한다.

3. 현지조사계획

현지조사 시에는 현지조사계획을 작성한다. 즉, 사전조사 결과에 기초하여 조사대상 계류구간을 현지답사한 후, 충분한 결과를 얻을 수 있도록 조사지점·조사시기·조사방법을 선정하여 현지조사계획을 책정한다. 또한, 조사지점을 설정할 때에는 소·여울을 비롯한 지형적 조건, 유속과 수심의 분포, 수질·계상재료·계안의 물매나 식생상황, 기슭막이, 바닥막이 등과 같은 어류의 서식장소나 이동조건을 고려한다.

한편, 조사시기는 사전조사에 근거하여 해당 계류에 서식하는 어류의 생활사(산란기·치어기·성장·분산시기, 회유, 월동 등)를 고려하여 적절하게 선택한다. 또한, 어류의 생활양식(야

행성 등)에 따라서는 조사시각에도 주의하여야 한다. 그리고조사시기와 포획방법 등에 따라 포획허가 등이 필요하기 때문에 사전에 관련기관에 확인한 후, 특별포획에 필요한 허가를 받는 등의 필요한 조치를 강구한다.

4. 현지조사

현지조사는 현지조사계획에 따라 실시하며, 계류환경의 특성 및 조사목적을 정확하게 파악할 수 있는 조사방법을 선정하여 실시한다.

1) 조사방법의 개요

사업자는 사전조사의 성과에 입각하여 설계도서에 제시된 조사구역에 대한 조사계획을 검토, 책정한다. 또한, 현지조사계획에 따라 현지조사를 실시하고, 필요에 따라 시료의 채취, 동정, 계측 및 사진촬영 등을 실시하며, 표본을 제작한다. 그리고 사전조사 및 현지조사 결과를 소정의 양식에 따라 정리하고, 사진의 정리, 조사성과의 활용 및 고찰 등을 실시한다.

한편, 계류 및 주변의 수리상태 등에 따라 조사방법이 다르기 때문에 조사대상 수역의 특성(계류형태·유량·계상재료·유속·수심 등)을 파악할 수 있는 수역구간별 조사방법을 사전에 확인한 후, 포획과 시료의 고정 및 보존을 실시한다. 또한, 조사목적에 따라서는 특수조사를 실시할 수도 있다.

2) 조사방법

일반적으로 어류는 그 종류에 따라 서식하는 장소가 다르며, 계절에 따라서도 변화하기 때문에 조사지점을 선정할 때에는 주의하여야 한다. 또한, 현지조사에서는 계류에 서식하는 어류의 종류나 서식범위에 대하여 구체적으로 파악하도록 한다.

한편, 어류의 종류조성 조사방법에는 설문에 의한 방법, 통계자료를 활용하는 방법, 육상에 서 관찰하는 방법, 투망 등에 의하여 채취하는 방법 및 잠수관찰 등이 있으며, 계류의 특성에 따라 적절하게 채택한다.

- ① 일반적으로 어류에 대해서는 지역의 어업 종사자가 가장 많은 정보를 갖고 있을 뿐만 아니라 어획방법, 어획기 및 대상어종의 제한 등에 대해서도 구체적으로 파악하고 있다. 특히 천연기념물 등으로 지정된 종류 등이 서식하면, 조사지점과 조사시기 및 조사방법 등을 결정할 때 사전에 지역 관계자와 협의하도록 한다.
- ② 조사지점 선정 시에는 계류의 상·하류 부 등의 균형상태, 폭포, 사방댐 등에 의한 유수의 분단 상황 및 계류의 형태(소와 여울의 분포) 등을 고려하여 계류의 어류상을 파악하는 데 충분히 효과적이라도 설정한다. 특히 상수가 없는 계류는 어도설치 대상지역에서 제외하고, 사방기준점과 보조기준점의 위치를 충분히 고려한 상태에서 설정

한다. 따라서 사방기준점은 원칙적으로 조사지점의 최하류 지점으로 설정하도록 한다.

- ③ 사전조사 시 중요한 종류 등이 확인된 계류는 그 중요도에 따라 조사지점을 증설한다.
- ④ 어류조사의 결과에 따라 어도조사, 대상 어류조사, 어도의 설치위치 선정과 지형적 제약조건 및 어도의 설계조건 조사 등을 적정한 방법에 따라 실시한다.

3) 어도조사

어도는 사방시설의 종류나 설치장소의 하도 상황 등에 따라 적절한 형식과 규모를 선정하여야 한다. 따라서 어도를 계획 및 설계할 때에는 대상지점조사, 계류생태조사, 계상상황조사 및 수문조사 등과 같은 4개 항목에 대하여 자료를 수집한다.

① 어도의 대상지점조사

사방댐에 어도를 설치할 경우와 골막이에 설치할 경우에 따라 적용하는 어도의 종류가 다르기 때문에 주의하여야 한다.

- 사방댐의 개요 : 평면도, 구조도 등을 수집하여 다음과 같은 내용을 분석한다.
 - 사방댐의 종류
 - 사방댐의 제원
 - 사방댐의 구조 파악
- 사방댐 주변의 상황 : 다음과 같은 사방댐의 주변 상황에 대하여 분석한다.

- 유출토사량의 다소 : 계획유출(생산)토사량 파악
- 계상재료(사력·자갈·모래)
- 계상물매 : 지형도 수집
- 사방시설 주변의 상황(계폭, 후배지) : 지형도 수집

사방댐은 토사유출을 방지하는 시설로, 상류에는 토사가 퇴적되기 때문에 하도에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 어도가 어류의 이동시기에 정상적인 상태를 유지하기 위해서는 어도의 물매(사방시설의 높이와 관계가 있음), 유심선과의 관계 등을 고려하여 설계한다. 또한, 어도 설치장소의 적합성을 평가하기 위하여 이동토사량 등을 구체적으로 파악한다.

② 계류생태조사

어도 주변에 서식하고 있는 생물을 파악하기 위하여 다음의 항목을 조사하며, 기존에 실시한 조사자료가 있는 경우에는 그것을 이용하도록 한다.

- 어류 : 계류 내에 서식하고 있는 어류의 생식환경을 조사한다.
- 수생생물 : 계류의 수역(水域)의 수생생물, 수초류 등의 수서식물을 조사한다.
- 식물 : 계류 주변의 식물에 대한 생육상황을 조사한다.
- 동물 : 곤충을 포함한 육상동물 등의 생육 상황에 대하여 조사한다.

③ 계상상황조사

사방댐 주변의 계상상태는 사방댐설치사업에

따라 크게 변할 수 있기 때문에 어도를 설치할 경우에는 다음과 같은 내용을 파악하여 제원을 결정한다.

- 계류의 평면형상과 계상물매를 파악한다.
- 소류사량(掃流砂量)을 파악한다.
- 계상변동과 유심선(流心線)의 변천과정을 조사한다.

④ 수문조사

어도를 설계할 때 반드시 필요한 자료이다.

- 강수 : 유역의 강수특성을 파악한다.
- 유량 : 홍수·평수·저수·갈수유량을 비롯한 어류의 소상·강하시기의 평균유량 등에 대하여 조사한다.

4) 대상 어류조사

조사대상 어류는 중·상류지역에 서식하고, 상류지역에 산란장소를 필요로 하는 회유어종 등이다. 특히 최근 어류가 다양하게 의 방류되고 있으므로, 방류어종에 대해서도 조사한다. 그리고 어류는 어도의 구조 및 규격을 결정하는 데에 영향을 미치는 체장에 따라 유영능력과 도약능력 등의 요소가 다르다. 따라서 적절한 어도 설계를 위해서는 대상 어종의 생태에 관한 상세한 정보가 필요하다. 특히 어종의 소상능력의 한계치는 체장(體長)·체고(體高), 유영특성 등을 고려하여 설정한다. 즉, 대상어종의 유영능력을 추정하기 위하여 유력한 정보인 체장을 정확하게 측정하여야 하며, 체고는 유영에 필요한 최소수심을 규정하므로 반드시 파악한다.

한편, 최대유영능력(=돌진속도)은 일반적으

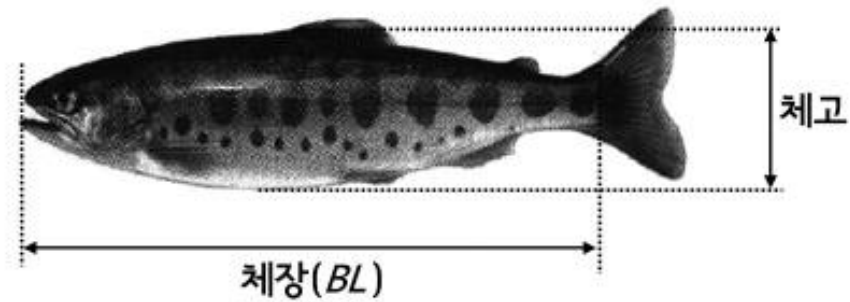


그림 2. 어류의 체장(BL)과 체고

로 체장에 비례하며, 원기둥 형태의 어류인 경우 체장(BL)의 10배(cm/s) 정도이지만, 은어의 돌진속도는 $12 \sim 18BL\text{cm/s}$ 정도로 상당히 빠르다. 또한, 체장이 현저하게 크거나 작은 경우

에는 이러한 기준으로부터 크게 벗어날 수 있기 때문에 주의하여야 한다. 그리고 유영에 필요한 최소수심은 체고의 1/2 정도이다.

표 1. 대표적인 어도 대상어종 조사표

어종	성어의 평균체장(cm)	유영속도(cm/s)		소상시기	강하시기	수온	산란	먹이
		돌진속도	순항속도					

표 2. 어류에 따른 계류의 이용

어종	구분	이용구분	수역(水域)			지류
			급류	여울	소(沼)	
		먹이				
		번식				
		휴식·피난 등				

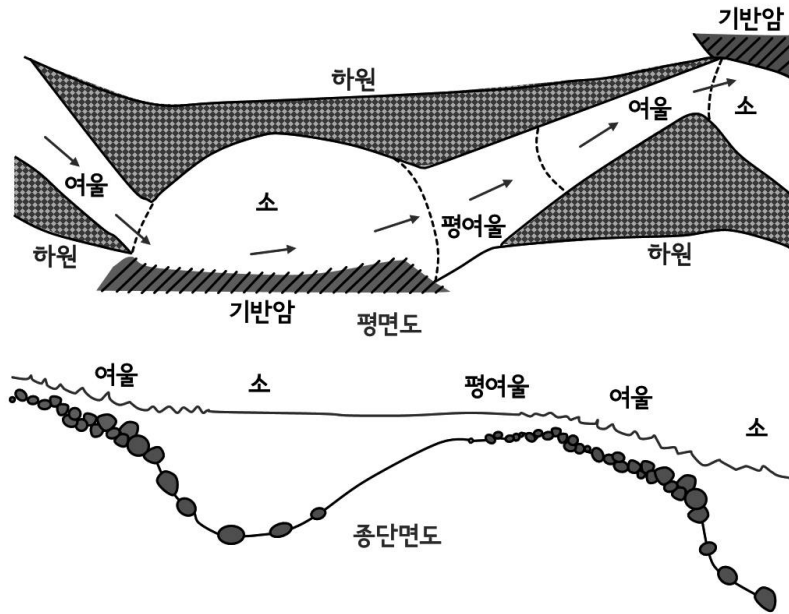


그림 3. 급류·여울·소(沼)의 모식도

5) 어도의 설치위치 선정과 지형적 제약 조건

어도가 안정된 기능을 발휘할 수 있도록 설치 장소는 어류의 소상경로, 집어(集魚)장소 및 계류관리시설 등의 구조 등과 사방댐 주변의 지형적 조건을 충분히 파악하여 설정한다.

① 어도의 설치위치 선정

어도를 사방댐 등의 어느 위치에 설치할 것인가는 어도의 형태에 따라 크게 좌우되기 때문에 어도의 위치를 선정할 때에는 다음과 같은 사항을 충분히 배려하여야 한다.

- 어도를 기존의 사방시설에 설치할 경우에는 사전조사에 의하여 소상경로를 확실하게 확인하여야 하며, 새롭게 설치할 경

우에는 유황을 추정한 후 그 결과에 근거하여 소상경로를 추정한다. 특히 두 경우 모두 계상면의 장기적인 변동을 고려하여 설치위치를 결정한다. 그림 4는 소상 중인 어류의 경로를 정리한 것으로, 4가지의 케이스로 정리할 수 있다.

[케이스 A]

소상하는 어류의 순항속도보다 빠른 유수를 살짝 회피하면 정상적으로 전진할 수 있다. 즉, 어류는 제한된 벨트 형식의 장소에 집중하여 전진한다.

[케이스 B]

주변의 유속이 느리고 그 중앙부의 유속이 빠르지만, 순항속도 이하의 비교적 강

한 유속의 유수가 흐를 때에는 그 속에 소상하는 어류가 집중한다.

[케이스 C]

유속이 빠르지 않는지만, 유수가 난류상태로 흐르고, 그 가운데에 유수가 안정적으로 흐를 때 그 곳이 소상경로가 된다.

[케이스 D]

어류는 체장의 일부로 유수의 흐름을 인식한다. 따라서 소상하는 어류가 상당히

큰 소용돌이에 들어갈 경우 빠져 나올 수 없기 때문에 주의가 필요하다.

- 집어장소는 어도 입구를 설정하는 데에 중요한 요건이다. 일반적으로는 소상경로의 하단부가 집어장소이지만, 상황에 따라서는 사방댐의 직하부에 집어하는 경우도 있다.
- 사방댐 등과 같은 계류의 횡단공작물을 유하하는 유수는 구조물과 직각방향으로 흐르기 때문에 평면형상에 따라서는 하류방향에 수충작용을 조장하거나 국소세굴을 일으키는 원인이 된다. 따라서 어도 설계

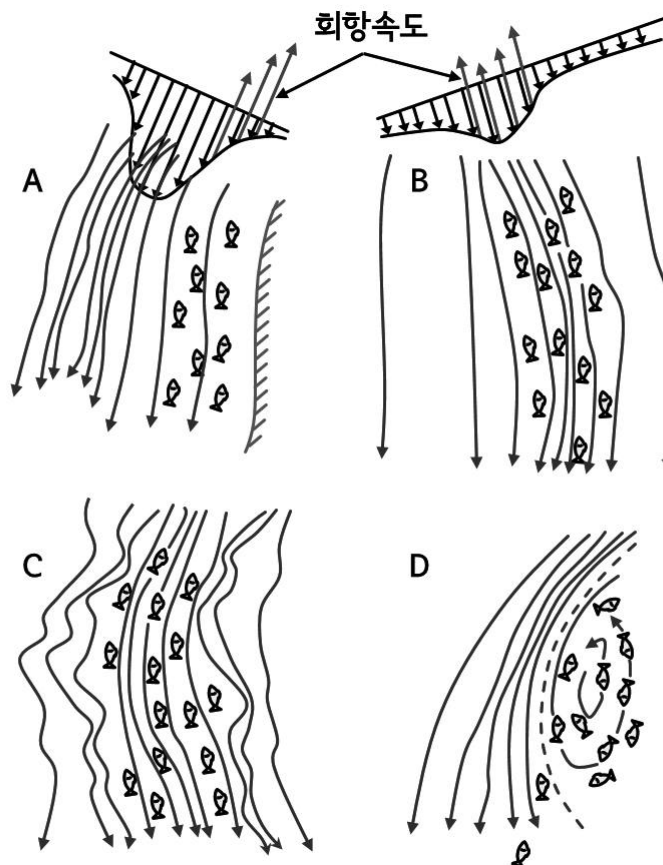


그림 4. 각종 유형에 있어서 소상어류의 전진경로(中村, 1992)

시에어는 어도설치에 따라 홍수 시의 유량이 변하여 하류 쪽에 계상변동을 일으키지 않도록 한다.

② 지형적 제약조건

사방댐 등은 계류에 설치되기 때문에 시설 주변에 어도를 위한 충분한 공간을 확보할 수 없는 경우에는 어도의 형식이 제한을 받게 된다.

6) 어도의 설계조건조사

어도의 설계조건에는 계류의 유량과 유황, 사방시설에 적용할 수 있는 어도의 형식과 물매 등의 요소가 있다.

① 계류의 유량과 유황

계류의 유량이 많고, 계상이 비교적 안정된 곳에 설치하는 어도의 경우, 그 규모가 클수록 계류생태계에 유리하기 때문에 최근에는 전면 어도가 설치되기도 한다. 그러나 산지계류와 같이 유량의 변화가 심한 곳에서는 어도의 규모가 지나치게 크면 갈수 시에 필요한 수심을 확보할 수 없게 되어 어도로서의 기능을 발휘하지 못한다.

따라서 어도를 설치할 지점의 유량과 유황을 감안하여 어도가 필요한 시기(어류 등의 소상시기와 강하시기)에는 적어도 어도로서의 소요 수심을 확보할 수 있는 규모와 구조가 되어야 한다. 이때 어도로서의 소요 유량은 어도의 형식

이나 물매에 따라서도 변화하고, 대상어종(특히 체고)에 의해서도 좌우된다는 것을 전제로 하여 설계한다.

② 사방댐에 적용할 수 있는 어도의 형식과 물매

산지계류는 계상물매가 급하고 유사량이 많으며, 유량변화가 심할 뿐만 아니라 하도가 불안정하기 때문에 적용할 수 있는 어도의 종류는 제한적이다. 특히 어도는 전술한 수리조건을 만족하여야 하며, 사방댐의 높이에 따라 어도의 물매와 길이를 결정하도록 한다.

한편, 어도의 물매는 어도의 기능에 크게 영향을 미친다. 즉, 물매가 급할수록 기능저하의 비율이 높아지기 때문에 어도의 소상 기능이 상실되지 않으려면 물매 1/10보다 완만하게 설치하여야 한다. 그리고 사방계류에 설치하는 어도에 대해서는 토석의 유하에 따른 어도의 마모와 계폭의 축소 등이 어도설치를 공간적으로 제약한다. 따라서 어도의 형식은 이러한 조건을 종합적으로 판단하여 가장 효과적이고도 유지관리가 용이한 것을 적용하여야 한다.

결론적으로 사방계류의 어도는 표 3과 같은 원인에 의하여 기능저하가 발생하기 때문에 이에 대처하여야 한다. 또한, 표 4에 제시한 바와 같이 유입토사에 따라 어도의 형태별로 토사의 퇴적상황과 유황이 변화하므로 충분히 고려하여야 한다.

표 3. 어도의 기능저하 원인과 대응방법

원인	대응방법
유량이 적음	• 어도의 설치위치는 상류의 유수, 토사의 퇴적상황 등을 파악하여 안정된 유심에 설치한다. • 어도의 입구를 양안 또는 횡단구조물에 근접한 곳에 설치하여 어류가 쉽게 접근할 수 있도록 한다. • 하류의 계상이 안정된 곳부터 어도 입구까지는 저담군 등을 설치하여 어류가 소상할 수 있게 한다.
어류가 어도 입구에 모이기 어려움	
하류의 물받이 블록이 소상을 저해함	
유출토사에 의하여 유향이나 유심이 변화함	
계상이 저하되어 어도의 입구가 들뜨게 됨	• 입구의 직하부에 물웅덩이가 형성된 곳이 좋지만, 수량변화가 심한 곳에서는 갈수기에 입구가 들뜨지 않도록 계획계상보다 입구를 한 단 정도 깊게 설치한다.
토사유출로 시설이 파손 또는 매몰됨	• 토사의 유입량과 유입형태를 고려하여 유지관리가 용이한 형식 및 형상을 선택한다.
어도로 쓰레기·토사가 유입, 퇴적됨	
유수가 물빼기구멍으로 유출됨	• 어도의 형식을 결정할 때에는 유입수량, 어도 설치장소의 물매 등을 고려하고, 특히 대상 어종의 소상속도 및 수심이 확보될 수 있도록 설계한다. • 부재를 절단하거나 잠공(潛孔)을 설치할 경우, 어도 안에 난류가 발생하지 않도록 배려한다. • 어도의 길이가 길 경우는 휴식장소를 확보한다.
어도의 물매가 급함	
단차가 지나치게 큼	
유하 폭이 좁고 유속이 지나치게 빠름	

표 4. 어도 내의 토사유입·퇴적특성 및 유형

어도 형식	어도 내의 토사유입·퇴적특성 및 유형	유의사항 등
계단식	• 유입토사는 어도의 격벽을 월류하여 댐둑마루까지 퇴적한다. • 낙하하는 유수에 의하여 풀 안에 일정 공간을 확보할 수 있다. • 격벽에 있어서 월류부의 유속이 증가할지라도 비월류부가 있으면 풀 안에 안정공간을 확보할 수 있다. • 물매가 급하면 낙하되는 유수에 의하여 거품이 심하게 일지만, 유출 토사 역시 증가하여 풀 안의 토사퇴적량은 감소한다. • 월류부의 유속은 퇴적토사가 많고 수심이 얕을수록 증가한다.	유형(유량, 수심 및 유속)의 불안정성에 대하여 어도기능을 체크할 필요가 있다.
아이스 하바식	• 유입토사는 대부분 잠공(潛孔)을 통과하여 하류로 유출된다. • 월류부를 통과하는 유수는 계단식과 유사하지만, 월류량에 비하여 풀의 깊이가 깊기 때문에 유수는 완전히 감세된다. • 잠공의 위치를 일직선으로 배치하면 잠공부의 유속은 상당히 증가하기 때문에 풀 안의 유수는 난류하지 않는다. • 상류의 잠공이 막혀도 계단식 정도의 기능은 확보할 수 있다.	잠공부의 유속을 감소시키기 위해서는 어도를 완전한 물매로 한다.
파치컬 슬로트식	• 유입토사는 일부가 사수역(死水域) 등에 약간 퇴적되고, 나머지는 유출되기 때문에 유형에 미치는 영향은 적다. • 슬로트 중앙부의 유속은 빠르지만, 양안 및 바닥의 유속은 느리기 때문에 어류는 적당한 유속을 찾아 소상할 수 있다. • 어도의 물매가 급하면 풀 안의 유수가 난류하여 거품이 생긴다.	어도를 완전한 물매로 할 필요가 있다 (1/10 정도가 한계임).
데넬식	• 입경이 큰 유입토사는 저류판 사이에 퇴적되지만, 세립토사는 측면의 저류판 사이에서 발생하는 나선류에 의하여 유출된다. • 토사가 낮은 저류판 사이에 퇴적되면, 감쇄효과가 저하되어 유속이 빠른 부분이 증가한다. • 어도의 물매가 급해지면 나선류에 의하여 거품이 일거나 수면의 파장이 커진다.	토사가 퇴적하여도 소상하지만, 사수역이 없으므로 휴식처를 설치한다.
잡석붙이기 수로식	• 수로에 자연석을 매설하는 형태이기 때문에 어도의 폭이 좁을 경우 유량에 따라서는 수로 전체에 거품이 일게 된다.	유형의 정밀도가 낮다.

6. 실내분석

현지조사에서 포획한 시료는 종의 동정·계측(전장·체장·체고·질량)·개체수·사진촬영 등을

실시하여 필요한 자료로 활용한다. 종의 동정은 전문도서·문헌 등을 사용하지만, 만일 동정이 곤란한 경우에는 표본생체 사진과 계측결과 등을 근거로 전문가에게 자문을 받는다.

7. 정리

어류의 출현종류·분포·어류 형상 등의 실태를 파악할 수 있도록 각종 도표를 작성한다.

1) 현지조사의 개요

현지조사 지점의 개요(지점·계류 입구로부터의 거리, 표고, 지점의 특징)와 조사일시 및 수심, 채수면적, 채수방법, 조사담당자, 참고문헌, 조언과 지도를 받은 전문가 등을 정리한다.

2) 현지조사 위치

현지조사 지점의 전체 수계에 대한 위치관계를 파악할 수 있도록 표식이 될 수 있는 주요한

사방댐과 교량 등을 기입한 유역개요도에 각 조사지점의 위치를 정리한다.

3) 전장·체장·체고·질량 측정결과

포획한 어류는 전체 길이·체장·체고·질량 등을 명확하게 표현할 수 있도록 정리한다.

4) 경년 출현상황 등

각 조사시기별로 포획한 어류의 속(屬)을 조사시기에 따라 경시적으로 정리한다.

5) 수역·구간별 출현상황 일람

포획한 어류의 속을 수역·구간별로 그 출현상황을 정리한다.

표 5. 수역의 성질과 서식하는 어류의 사례

	수역의 성질					서식하는 어류	
	여름철 수온(℃)	투명도	수심	유속	계상재료	어종	이동
○ 수역	냉 10~20	투명	얕고 가끔 깊은 곳이 있음	빠름	암반	○○, ●● □□, ■■ △△, ▲▲	
□ 수역	약 냉 18~25	대체로 투명	깊은 곳이 증가하지만, 아직 얇은 곳이 많음	빠름 ~ 중간	석력	○○, ●● □□, ■■ △△, ▲▲	
△ 수역	중 23~30	약간 탁함	거의 깊어짐 곳곳에 얇은 곳이 있음	중간 ~ 완만	돌 모래	○○, ●● □□, ■■ △△, ▲▲	
기수역	온 25~30	탁함 그리고 염분 포함	깊음	완만	모래 진흙	○○, ●● □□, ■■ △△, ▲▲	

6) 보호어종 등

포획한 어류 중 「보호어종」으로 지정된 속을 정리한다.

7) 어류와 수변지역과의 관련에 대한 고찰

전체 조사를 통하여 파악된 성과를 기본으로 다음과 같은 내용으로 정리·고찰한다.

- ① 현지조사에 의하여 확인된 어류와 현지조사 지점의 환경에 대한 적선분류와 유형분류를 실시한 후, 그 상관관계를 정리한다.
- ② 수역과 어류의 생식과의 관계를 적당한 수역별로 구분하여 고찰한다.

- ③ 어류는 수권 생태계의 최상위 계층을 차지하므로 어류가 서식한다는 것은 해당 수역이 정상적인 생태계를 유지하고 있다는 지표가 될 수 있다. 따라서 어류가 소멸되지 않도록 비생물 요소의 보전에 충분히 유의하여야 한다. 또한, 어류가 서식하는 환경을 창출한다는 것은 단순히 수질개선이나 계류형상·수리상황을 개선하는 것을 의미하지 않는다. 즉, 종합적인 비생물 환경요소를 변화시키면 서식하는 어류상도 변화한다는 것을 고려하여 환경창출을 위한 구체적인 계획을 검토하여야 한다.



산림용 스마트 양묘 시스템

조 민 석

국립산림과학원 산림기술경영연구소

산림의 경제적·공익적 가치 증진을 위한 나무심기로 가치 있는 산림자원 조성 실현이 필요하며, 국내 목재수요의 해외 의존성을 완화하고 지속가능한 목재자원 공급을 위해 경제림 조성이 시급하다. 또한, 기후변화, 미세먼지 저감 조림, 재선충병 등 산림여건 변화로 대체 조림수종에 대한 관심이 증가하고 있다.

그러나 최근 이상기후, 강우패턴 변화 등 기후변화에 따른 묘목피해 급증에 적기 대응할 수 있는 첨단 양묘기술 개발 및 임업현장 보급이 시급한 실정이며, 양묘현장 노동력 감소, 인건비 상승 및 인력위주의 묘목생산 구조개선을 위한 양묘시설현대화(스마트 양묘) 확대 추진 필요하다.

또한, 산림자원조성(양묘, 조림) 분야의 4차 산업혁명 적용으로 임업농가의 ICT 기반 스마트화를 통한 묘목 품질 향상, 생산비용 절감에 따른 임업인 소득 증대 등 임산업의 발전을 기대할 수 있다.

1. 스마트팜 유형 구분

스마트팜의 개념은 현재 크게 3세대로 구분하고 있다. 1세대 스마트팜은 각종 센서 및 영상정보(폐쇄회로 등)를 통해 온실 환경을 자동으로 제어한다. 2세대 스마트팜은 온실 대기·토양 환경, 작물(묘목) 스트레스 등을 실시간으로 계측해 적절한 조치를 취하고, 빅데이터 분석으로 영농(양묘) 작업의 의사 결정을 지원한다. 3세대 스마트팜은 로봇 및 지능형 기계로 작업을 자동화하고, 작물(묘목)의 영양 상태를 진단·처방하며, 최적의 에너지 관리까지 해주는 것이다.

현재 우리나라 산림용 스마트 양묘 시스템은 1세대 스마트팜 수준을 구축하고 있는 과정이다. 국유양묘장을 중심으로 스마트 양묘 시스템이 구축되고 있지만, 민간 양묘장은 스마트 양묘 시스템보다는 수동으로 제어하는 반자동형

온실과 개선이 필요한 J형 온실이 대부분을 이루고 있어 산림용 양묘장 현대화가 필요한 실정이다.

1.1. 농업 분야 스마트팜 유형

농업 분야는 스마트팜을 시설원예, 과수, 축산 분야에 적용하고 있다. 시설원예에서는 규모

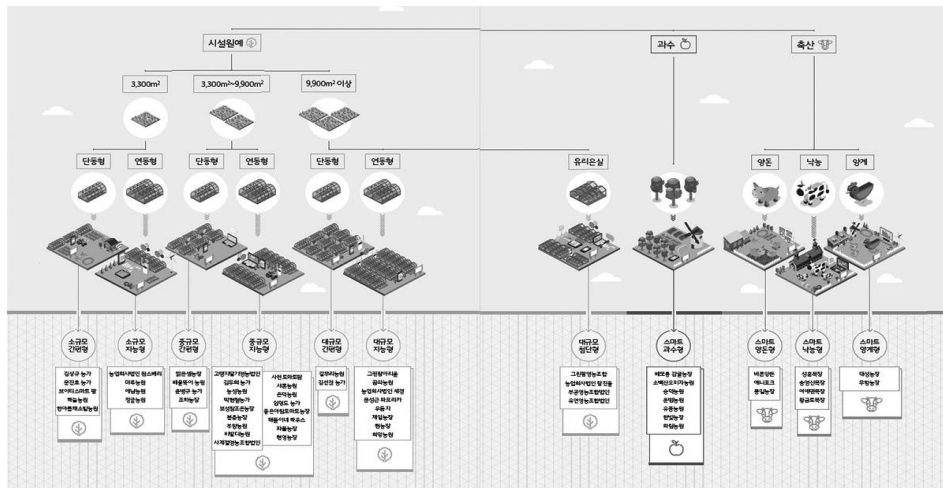


그림 1. 농업 분야 스마트팜 유형 구분



그림 2. 시설원예 스마트팜 유형별 정의

에 따라 3,300㎡ 미만(소규모), 3,300~9,900㎡ (중규모), 9,900㎡ 이상(대규모) 구분하며, 이를 다시 간편형, 지능형, 첨단형으로 구분하여 총 7가지 유형으로 스마트팜을 구분한다.

1.2. 산림 분야 스마트팜 유형
산림용 시설양묘 온실은 농림수산식품부 고시 2014-78호(2014.07.24.)의 내재해형 온실 기준을 활용하여 현재는 구축하고 있다. 규모에 따른 유형 구분 정의는 아직 마련되지 못하

표 1. 산림용 시설양묘 온실 종류

유형	규격명	폭 (m)	높이 (m)	서까래 (mm@cm)	가로대 (mm)	설계강도		시설비 (천원)
						적설심 (cm)	풍속 (m/s)	
고급형	08-연동-1 (2스팬 벤로형)	8.0	5.7	서까래 Φ25.4×1.5T@60 기둥 □75×75×2.3T@400 중방(상,하현재) □50×50× 2.3T@400	6개 (Φ25.4×1.5T) 곡부보 (□75×75×2.3T)	57	36	208/㎡
보급형	07-단동-4	8.0	3.6	서까래 Φ31.8×1.7t@50	9개 (Φ25.4×1.5t)	48	37	68.4/㎡

표 2. 산림용 시설양묘 온실 개요

구분 \ 항목		고급형	보급형
온실형태		08-연동-1 (2스팬 벤로형)	07-단동-4
온실규모		폭(8m)×길이(45m)×2연동 (720㎡)	폭(8m)×길이(45m)×2동 (720㎡)
골조	서까래	서까래 Φ25.4×1.5T@60 기둥 □75×75×2.3T@400 중방(상,하현재) □50×50×2.3T@400	서까래 Φ31.8×1.7t@50
	가로대	6개(Φ25.4×1.5T) 곡부보 □75×75×2.3T	9개(Φ25.4×1.5t)
피복		장수 0.1mm/솔라오븐	장수 0.1mm
천창		비와도천창개폐-4식	-
측창		권취식측창개폐 DC24V	권취식측창개폐 DC24V
수평스크린		차광스크린(1중)	-
측면스크린		보온차광스크린	-
환기시설		배기휀(8개소), 유동휀(4개소)	배기휀(8개소), 유동휀(4개소)
관수시설		자주식살수, 자동관비, 스프링클러, 측면분수호스	자동관비, 스프링클러, 측면분수호스
재배시설		용기받침대	용기받침대

였으며, 온실 종류에 따라 보급형과 첨단형으로 구분하고 있다. 산림용 온실은 다른 타 분야보다 온실 높이가 높아야함으로 첨단형인 08-연동-1(2스팬 벤로형) 온실과, 보급형인 07-단동-4로 구분한다. 향후 규모, 자동제어 시스템 구축 수준 정도에 따라 세분화된 유형 구분과 정의를 통해 현장 묘목 생산자 맞춤형 유형 제정이 필요할 것으로 판단된다.

2. 산림용 스마트 양묘장 구성요소

산림용 스마트 양묘장은 자동제어 온실, 야외 생육 시설, 저온 저장고, 작업장 등을 필수 기반

시설로 정의한다. 또한, 묘목 생산, 수확, 검사, 포장, 저장, 운반 등의 자동화 자재 및 기기가 포함된다.

산림용 자동제어 온실에는 냉방(천창, 측창, 유동팬, 기화식 냉방시스템), 피복재료, 차광커튼, 용기받침대, 측정센서(온도, 습도, 광도 등), 영상정보 수집장치, 시비(EC, pH 기준) 및 관수(스프링클러, 자주식 살수기) 장치, 온실 제어 장치(모바일, 컴퓨터 등), 자동제어 관제시스템(IoT 센서 통합관리, Cloud 기반 Big Data 구축) 등으로 구성되어 있다. 야외 생육시설은 온실과 같은 구성요소에 피복재료(비닐 등)가 없는 것으로 이해하면 된다. 다목적 작업장은 자동종자파종시스템, 묘목 검사 및 포장 시스템,

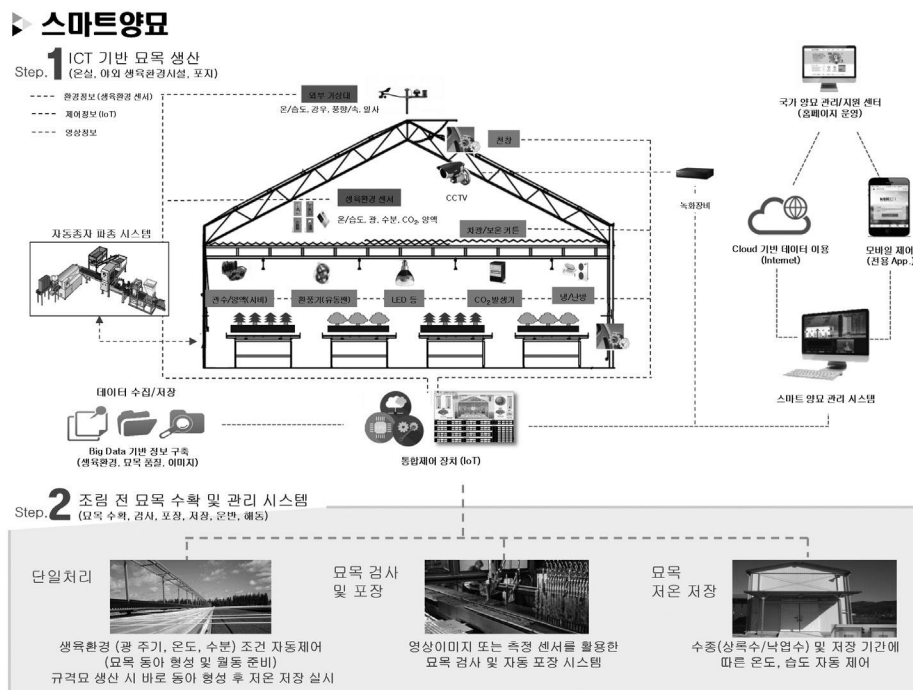


그림 3. 산림용 스마트 양묘장 체계도



그림 4. 산림용 스마트 양묘장 구성요소

통합제어실, 자재 창고 등으로 구성되어 있다. 묘목 저온저장고는 단기와 장기 저장별로 구분하여 저장고를 설치·운영하여야 한다.

산림용 스마트 양묘를 위해서는 통합자동제어를 통한 묘목 생산과 동시에 빅데이터를 구축하고, 이를 분석하여 생육모델을 개발하는 최종 목표를 가지고 있다. 또한, 이러한 스마트 양묘 과정에서 조림 전 묘목 수확 및 관리 시스템이 구축되어 조림 전까지 고품질 묘목을 생산·관리함과 동시에 노동력 감소, 생산비용 절감 등의 효과를 얻을 수 있는 자동화된 통합 모델이 정립되어야 한다.

이러한 스마트 양묘장 온실 및 기반시설 구성 요소는 양묘장별 묘목 생산 목표 수종, 생산량, 현지 입지여건 등을 고려하여 구성되어야 한다. 현재 우리나라 국유양묘장은 자동제어 시스템과 저온저장고 시설이 대부분 구축되어 있지만, 묘목 수확 후 관리 과정인 검사, 포장, 저장, 운반, 해동 등의 자동화 기기와 시스템은 구축되어 있지 않기 때문에 향후 묘목 생산과정과 함

께 양묘과정에서 가장 중요한 묘목 수확 후 관리를 위한 기기와 시스템 구축이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 묘목 수확 후 관리 과정에서는 현재 기후변화 등의 영향으로 과거와 달리 현장에서 묘목 저온저장이 필수 과정으로 이루어지고 있으며, 이에 맞는 각각의 양묘 요소기술이 적용된 통합 관리 모델이 필요하다.

3. Cloud 기반 산림용 자동제어 온실 관제시스템

국립산림과학원 산림기술경영연구소는 2018년 스마트 양묘장을 구축하고 스마트 양묘 기술 개발 연구에 활용하고 있다. 스마트 양묘장 운영을 위해 Cloud 기반 양묘장 통합제어 시스템을 구축하였다. 이 Cloud 기반 양묘장 통합제어 시스템은 온실, 야외 생육시설 제어 및 관리, 묘목 생육상황 등 일지 작성, 생육환경 자료 조회 및 분석을 할 수 있다. 2세대 스마트팜 구축을

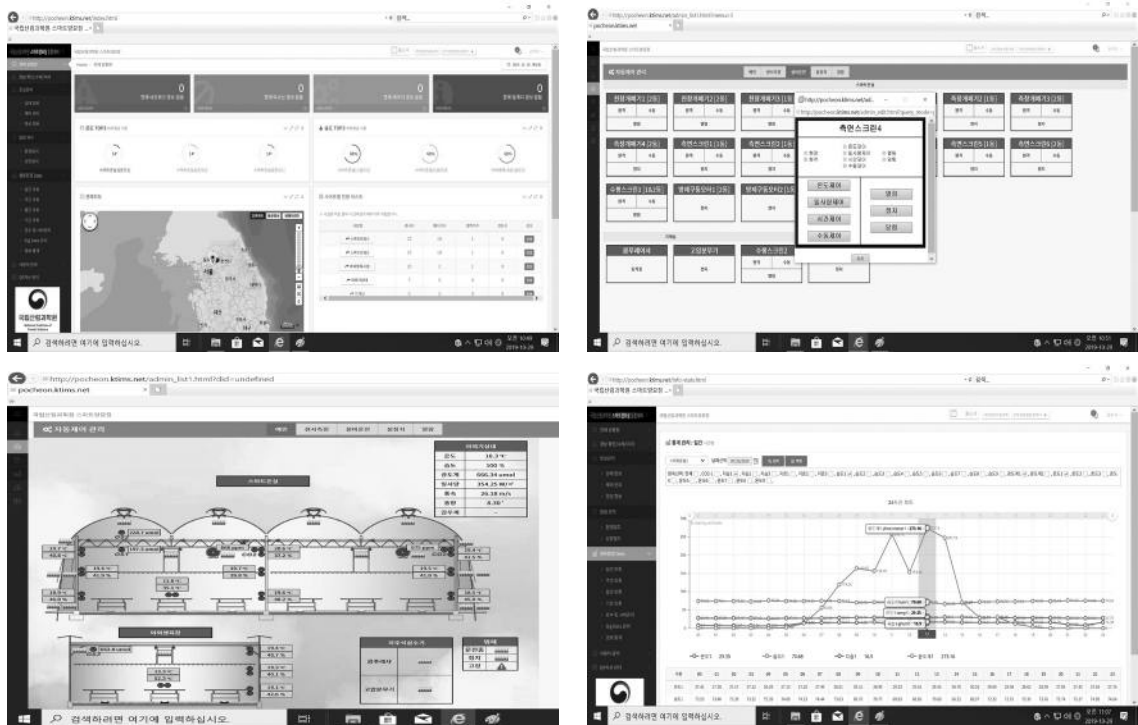


그림 5. Cloud 기반 스마트 양묘장 통합제어 시스템

위해 빅데이터 활용이 가능한 제어 시스템이며, 인터넷 망이 기반이기 때문에 보안에 문제가 없으면 어디서든 접속하여 양묘장을 제어·관리할 수 있다.

온실과 야외 생육시설의 냉방(천창, 측창, 유동팬, 기화식 냉방시스템), 차광커튼, 시비(EC, pH 기준) 및 관수(스프링클러, 자주식 살수기) 등이 모두 자동으로 제어 가능하며, 제어실 내 컴퓨터, 온실 내 터치스크린 및 모바일(핸드폰)로 제어 할 수 있다. 온도, 일사량, 시간 기준으로 제어가 가능하고 기준 값을 설정하면, 이에 맞게 자동으로 온실과 야외 생육시설이 운영되는 것이다. 즉, 1세대 스마트팜 기본 요소가 구

축되어 있는 것이다.

또한 묘목 생산에 따른 생산량, 고사율, 묘목 규격(근원경, 간장) 등을 일자별로 기록하여 저장할 수 있으며, 날짜별 양묘 시업 일지 작성이 가능하다. 또한 이미지 자료를 첨부하여 저장할 수 있다. 이는 온실 관리 상태와 생육환경 자료를 기반으로 하는 묘목 생산 결과 자료로 빅데이터 분석을 위한 필수 자료이다.

온실 및 야외 생육 시설에 대기 온·습도, 광도, CO₂, 상토 내 온·습도 측정센서를 활용하여 생육환경 자료가 10분 단위로 저장된다. 일간, 주간, 월간 및 기간 설정에 따른 조회와 데이터 수집이 가능하다. 또한 시비 및 관수량에 대한 자

료도 저장되어 활용할 수 있다.

이러한 온실 및 야외 생육시설 1) 시설 현황 및 제어 정보, 2) 생육환경 자료(시비, 관수 포함)가 동시에 10분 단위로 저장되며, 3) 양묘 사업과 묘목 생장 자료를 포함하여 3가지 요소가 통합된 빅데이터 구축이 되는 것이다. Cloud 기반 양묘장 통합제어 시스템에서 얻어지는 데이터 값이 모두 빅데이터화 되어 수종별 생육환경 모델 개발에 활용될 수 있는 것이다.

4. 산림용 스마트 온실 빅데이터

산림용 스마트 온실을 기준으로 측정 빅데이터 항목 기준 설정이 필요하다. 위에서 언급한 온실 현황 및 제어, 온실 생육환경 자료(시비, 관수 포함), 양묘 사업 및 묘목 생장 자료 등 3가지 구분의 필수 항목을 선정하였다.

4.1. 온실 시설 현황 및 제어

온실의 유형, 피복 종류 등 시설 현황과 냉방, 난방, 차광커튼 등 제어 부분으로 구분할 수 있으며, 표 3과 같이 빅데이터 항목을 선정할 수 있다.

표 3. 온실 시설 현황 및 제어 빅데이터 항목

구분	빅데이터 항목
시설 현황	온실 유형, 온실 방향, 피복재료 종류, 온실 파이프 종류, 온실 높이, 온실 폭, 냉방 방식, 난방 방식, 환기 방식, 관수 방법, 시비 방법, 용기받침대 종류, 묘목 운반 방법 등
온실 제어	제어 시스템 종류, 천창, 측창, 보온 커튼, 차광 커튼, 유동팬, 난방기, 관수 장치, 시비 장치, CO ₂ 발생기, 광(전등) 시설, 훈증기 등

4.2. 온실 생육 환경

온실 생육 환경은 온실 내부, 외부 및 묘목 뿌리(근권) 환경, 시비 및 관수 등 4가지로 구분할

수 있으며, 표 4와 같이 빅데이터 항목을 선정할 수 있다.

표 4. 온실 생육환경 빅데이터 항목

구분	빅데이터 항목
온실 내부	대기 온·습도, 광도, 광 파장, 광 주기, CO ₂ 등
온실 외부	대기 온·습도, 광도, 광 파장, 광 주기, 강우, 풍향, 풍속 등
묘목 뿌리(근권)	상토 종류, 상토 온·습도, 상토 수분함량, 상토 pH, EC 등
시비 및 관수	비료 종류, 비료 성분, 시비량, 시비 주기, 시비 시간, 관수량, 관수 주기, 관수 시간, 물 성분, 물 입자 크기 등

4.3. 양묘 시업과 묘목 생장

양묘 시업과 묘목 생장은 표 5와 같이 빅데이터 항목을 선정할 수 있다.

표 5. 양묘 시업과 묘목 생장 빅데이터 항목

구분	빅데이터 항목
양묘 시업	종자 산지, 파종 시기, 파종 방법, 병해충 방제, 간인, 솟음, 경화, 월동, 저장, 포장, 해동 등
묘목 생장	파종량, 발아율, 생존율, 근원경, 간장, 건중량, 득묘율 등

4.4. 기타 경영 빅데이터 항목

총 수입, 판매량, 운영비, 인건비, 차지료, 종자대, 재료비, 시설유지관리비, 감가상각비 등의 경영 빅데이터 항목을 선정할 수 있으며, 이는 양묘장 운영에 따른 수익 분석에 활용될 수 있다.

5. 국내 산림용 스마트 양묘장 사례 조사

5.1. 동부지방산림청 연곡양묘사업소

동부지방산림청 연곡양묘사업소는 2016년 산림청 양묘시설현대화 사업으로 스마트 양묘장을 구축하였다.



그림 6. 연곡양묘사업소 스마트 양묘장

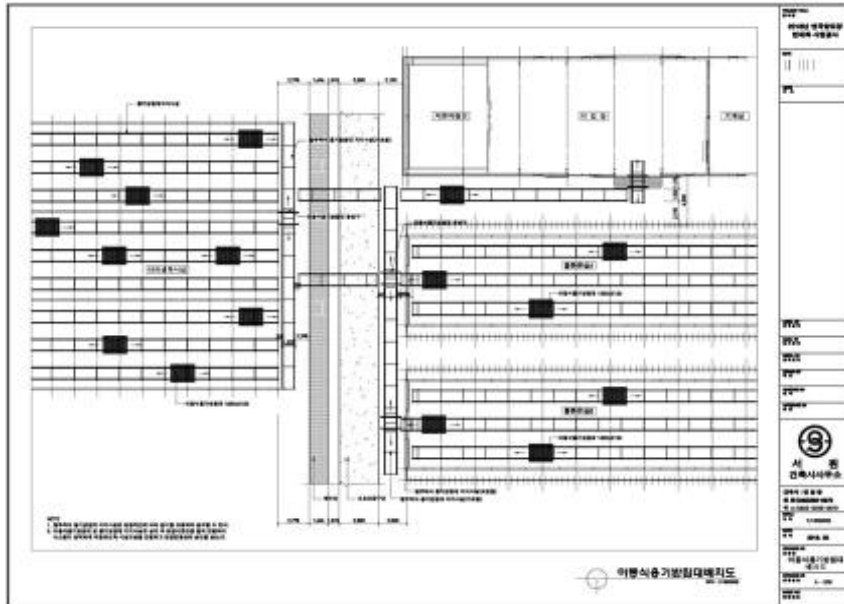


그림 7. 순환식 용기묘 관리시스템 설계도

스마트 온실(10m×48m) 3동, 야외 생육 시설 1식(1,000㎡), 작업장 1동(400㎡), 저온저장고 1동(66㎡)으로 필수 기반 시설이 구축되었다. 입체관수시설, LED등, 멀티환기팬, 비와도천창개폐장치, 스마트양묘시스템, 자동관비기, 제어실(스마트양묘시스템, 제어모니터), 기계실(자동양액공급장치, 자주식살수기), 자동파종시스템 1식 등이 기반 시설 내 구성요소로 되어있다.

연곡양묘사업소 스마트 양묘장은 필수 기반 시설과 구성요소들이 구축되어 있으며, 특히, 순환식 용기묘 관리시스템을 적용하고 있다. 이는 용기 받침대 이동을 생략화하는 시스템으로 인건비 절감 효과가 높다. 동일한 용기받침대를 온실과 야외 생육 시설에서 사용하며, 이를 레일을 이용하여 쉽게 이동시키는 것이다. 즉, 작업장에서 파종을 한 용기가 놓여진 용기받침대

자체를 레일을 통해 온실로 이동시키며, 온실에서 1년간 양묘 기간을 걸친 후, 2년생 생산에서는 다시 레일을 통해 야외 생육 시설로 이동시키는 것이다.

연곡양묘사업소 스마트 양묘장은 빅데이터 구축이 가능하기 때문에 향후 전국 권역별 빅데이터 수집 양묘장으로 활용될 수 있다.

5.2. 북부지방산림청 용문양묘사업소

북부지방산림청 용문양묘사업소는 2019년 산림청 스마트양묘시스템 구축 사업으로 스마트 양묘장을 현재 구축하고 있다.

스마트 온실(8m×520m×9연동) 2동, 다목적작업장 1동(1,040㎡), 저온저장고 1동(304㎡)으로 필수 기반 시설이 구축되었다. 스마트 양묘장 필수 구성요소가 모두 포함되어 있으며,

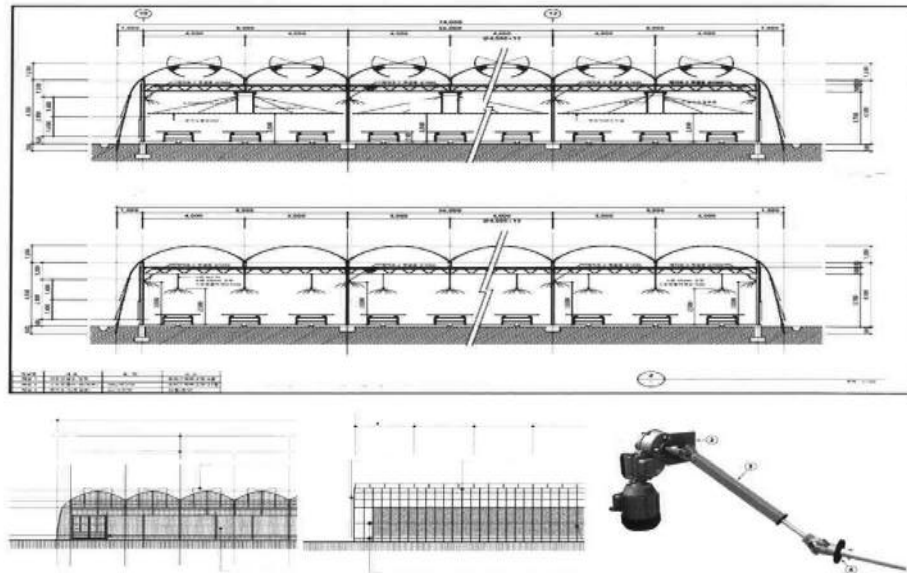


그림 8. 온실 천창 및 측창 개폐 시스템 설계도

현재 우리나라 산림용 온실 중 가장 규모가 큰 9연동 온실이 구축되고 있다. 기존 2, 3연동 온실에서 9연동 온실로 시공하여 시설비를 절감하고 3연동 단위로 내부 구역을 구분하여 개별 제어할 수 있게 함으로써 다양한 수종의 양묘가 가능하다.

9연동 온실 2동의 천창 개폐를 50%, 75%로 차별화하여 시공하고 있다. 이는 여름철 폭염 등에 의한 온도 상승을 환기를 통해 냉방 효과를 극대화하여 최적 생육조건을 유지하기 위함이다. 특히, 온도에 민감한 낙엽송 생산을 주 목표로 하는 온실이기 때문에 묘목품질과 생산량 증가 효과가 기대된다.

기존 일반적인 온실은 개폐율이 천창은 30%, 측창은 40% 이하이지만, 용문양묘사업소 9연동 온실은 천창은 50~75%, 측창은 80%로 시

공되어 냉방 효과를 극대화하였다. 천창 50%는 랙피니언식, 75%는 권취식 개폐장치를 활용하였다. 이는 향후 낙엽송 양묘용 온실 시공에 활용될 수 있을 것이다.

용문양묘사업소 스마트 양묘장은 기존 자동상토 충전 및 종자 파종 시스템이 아닌 종이배지 종자 파종 시스템을 도입하였다. 자동으로 상토가 충전되는 종이배지에 종자를 파종하여 기존 용기 틀에 넣어서 생산하는 방식이다. 이는 뿌리 발근 촉진, 공기단근(air pruning), 작업효율성 향상, 재료비 절감 등의 효과가 있다. 그러나 국내에서는 이 시스템 기기가 생산되고 있지 않기 때문에 초기 구입비용이 높은 단점이 있다.

낙엽송 100만본 생산 기준 종이배지 종자 파종 시스템은 기존 자동 종자 파종 시스템보다 재료비 30%, 인건비 85% 절감 효과가 있지만,

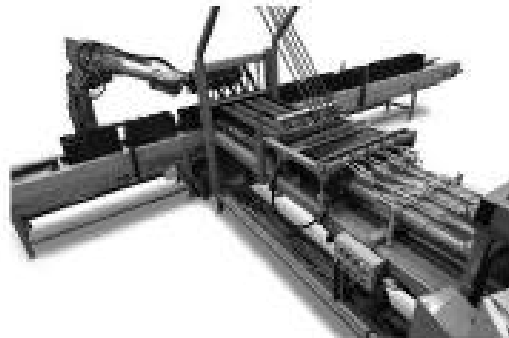
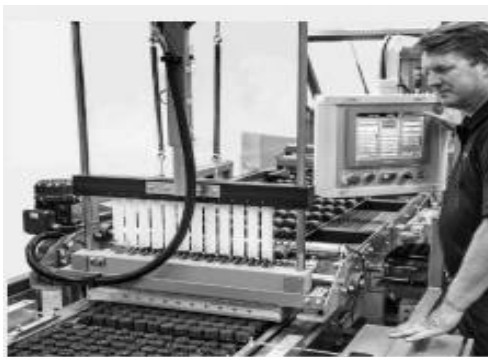
가격은 약 3억원 이상 높다. 그러나 4년 후부터는 생산비용 절감 효과를 얻을 수 있다. 대규모 묘목 생산 양묘장에서는 노동력 절감을 위한 필수 기기이다.

연곡과 용문양묘사업소와 같이 빅데이터 기반 전국 권역별 스마트 양묘장 구축을 통해 수종별 빅데이터 자료를 수집하면 수종 및 권역별 생육모델 개발과 산림용 3세대 스마트팜은 구축이 가능할 것이다. 또한, 이러한 과정에서는 통일된 산림용 스마트 양묘 자동제어 관제시스템(IoT 센서 통합관리, Cloud 기반 Big Data 구축) 적용이 필요할 것으로 판단된다.

스마트 양묘장 구축, 보급 및 기술 적용에 따

라 고품질·저비용 묘목의 안정적 생산·공급 기반이 마련될 것으로 기대된다. 또한 빅데이터 기반 생육환경 모델 개발을 통해 누구나 쉽게 Cloud 기반 데이터 활용으로 묘목 생산에 도움이 될 수 있는 기술, 기준 및 데이터 보급이 이루어져야 할 것이다.

국립산림과학원 및 국유양묘사업소 내 스마트 양묘장에서 수집하고 있는 빅데이터를 기반으로 향후 수종별 생육환경 모델 개발과 동시에 묘목 수확, 검사, 포장 저장, 운반, 해동 등 조림 전 묘목 수확 및 관리 시스템을 개발을 추진할 계획이다.



FORESTRY 8-12 PAPER

Environmentally friendly paper and with a decomposing time of 8-12 months.



FORESTRY 12+ PAPER

Environmentally friendly paper and with a decomposing time of 12+ months.



UNIVERSAL 6-9 PAPER

SEGMENT: GENERAL -
Environmentally friendly paper and with a decomposing time of 6-9 months.

그림 9. 종이배지 종자 파종 시스템

내 산에 어떤 나무를? - 맞춤형 조림지도 활용하기 -

조 현 국

한국임업진흥원 산림정보·통계서비스 본부장

1. 들어가며

우리나라는 대표적인 산림국가로서 치산녹화에 있어 세계적 성공모델이다. 산림자원량은 치산녹화사업을 시작하던 1970년 약 10m³/ha에서 2015년 기준 146m³/ha으로 40여년간 약 14배 이상 증가하였고, 이는 OECD 평균(131m³/ha)을 상회하는 수치이다. 국토의 63%가 산림으로, 세계평균(31%)의 2배, OECD 국가 중 4위 수준이다.

산림산업의 생산규모는 연간 40조원으로 27만개의 일자리를 제공하고 있으며, 수원함양·대기정화 등 산림의 공익적 가치는 연간 126조원('14년 기준)으로 지속적으로 증가하는 추세이다(산림청, 2016). 숲가꾸기, 수종갱신 등을 통해 산림자원의 가치를 높여가고 있으나 전체 산림의 3, 4등급(21~40년생) 임목이 전체 산림의 66%를 차지하는 등 영급 불균형, 조

림·숲가꾸기·생산의 연계 미흡 등 장기적 자원육성기반은 미약한 실정이다. 따라서 수종갱신 및 영급 재분배 등 전국 산림을 대상으로 산림경영지원이 필요하다. 장소에 맞는 적절한 수종인 맞춤형 조림지도를 제작하여 경제적으로 우수하며 대경재 생산이 가능한 지역별 맞춤 추천수종을 제시함으로써 현재 산림이 가지고 있는 문제점을 극복하고 산주들에게 산림경영에 필요한 정보를 제공하는 것이 필요하다.

이를 위하여 한국임업진흥원에서는 정확도 높은 적지적수 정보체계를 구축하여 대국민 중심의 맞춤형 조림지도를 보급함으로써 보다 과학적이고 합리적인 산림경영 의사결정을 가능케 하고 산지자원화 기반 마련하고자 2015년부터 2019년까지 5년간 맞춤형 조림지도 제작 사업을 수행하였다.

본 고에서는 지난 5년간 수행한 맞춤형 조림지도 제작 사업의 결과를 간략히 소개하고자 한다.

2. 맞춤형 조림지도란?

내산에 어떤 나무를 심어야 할까? 어떤 나무를 심어야 잘 자랄까? 어떤 나무를 심어야 수익이 높을까? 이러한 질문에 답을 주기 위한 해결책이 맞춤형 조림지도이다. 즉 맞춤형 조림지도는 산림의 생산력을 추정하고 해당 임지의 생산력에 적합한 수종을 선정하여 추천 해 주는 지도이다.

전국을 대상으로 1:5,000 축척의 맞춤형 조림 지도를 제작하였으며, 이를 이용하여 지역별 임목의 성장 특성 및 입지환경조건에 적합한 적수 선정, 필지단위의 상세한 적지적수 정보 제공, 목재 자급률 제고를 위한 체계적인 조림계획 가이드라인을 마련하여 사용자 기반의 맞춤형 산림 정보를 제공하고자 하였다.

3. 지위지수의 산정

산림생산력을 나타내는 지위(Site Quality)는 임목이 자라고 있는 임지의 잠재적 생산능력(Potential Productivity)을 말한다. 지위는 임목이 자라고 있는 임지의 지형, 기후, 그리고 토양과 같은 환경적 조건을 나타내는 정성적인 기준이기 때문에 이를 정량화하여 산림생산력을 평가하기 위해 도입된 방법이 지위지수(Site Index)이다.

지위지수의 추정은 임목의 생장에 영향을 미치는 임령과 수고의 관계를 이용하는 방법, 토양과 지형조건을 포함하는 입지환경 인자를 이용하는 방법, 그리고 지형, 토양, 기후인자를 포괄하는 환경요인을 이용하는 방법으로 발전되어 왔다.

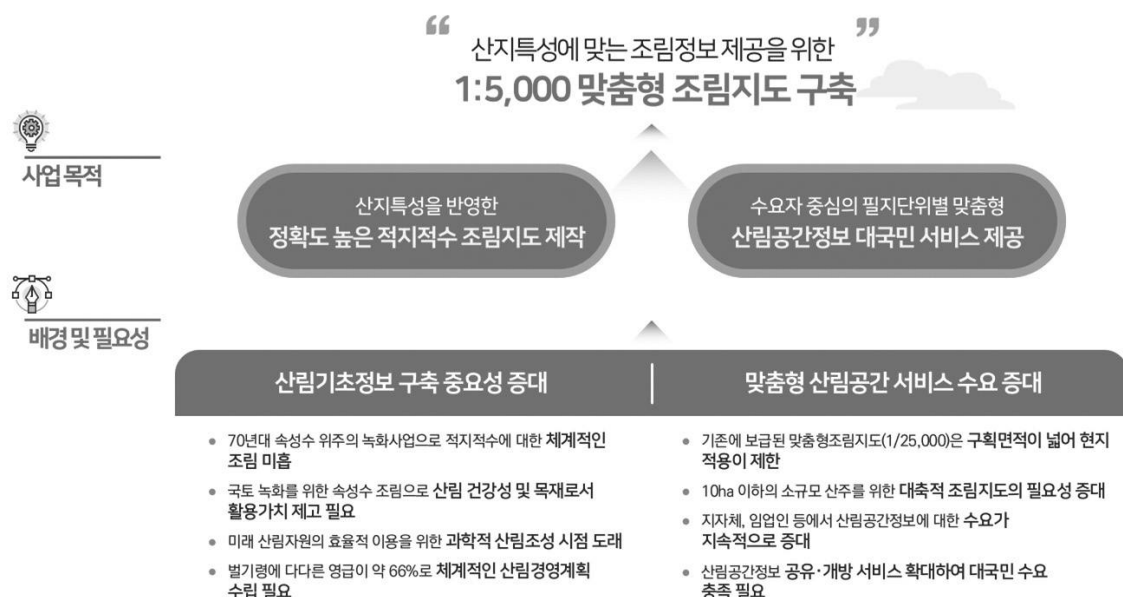


그림 1. 순환식 용기묘 관리시스템 설계도

1) 수고-임령 관계식을 이용한 지위지수 추정 방법

우리나라는 현재 임령과 수고의 관계를 이용하여 국립산림과학원에서 개발한 수종별 지위지수 분류곡선식에 의해 지위지수를 추정하고 있다. 이러한 수고와 임령의 관계식을 이용한 지위추정 방법은 비교적 추정의 정확도가 높은 편이어서 활용도가 높은 편이다. 하지만 이 방법은 임령에 따른 현재의 임목생장 상태에 의해 지위를 판정하기 때문에 현재 분포하는 수종의 지위만을 평가할 수 있는 방법이라는 한계를 가지고 있다. 즉, 이 방법을 사용할 경우 현재 분포하고 있는 수종의 산림생산력을 평가할 수 있지만 다른 수종의 적지 여부는 평가할 수 없는 단점이 있다. 특히 무림목지나 산불 피해지, 그리고 수종 갱신지 등과 같은 임지에 대해서는 적용할 수 없다. 맞춤형 조림지도 제작 사업은 현재의 수종 분포와 상관없이 주요 특정 수종들의 전국적인 적지 분포를 평가하는 것이기 때문에 이 방법의 적용은 한계가 있다.

2) 입지환경 인자에 의한 지위지수 추정 방법

우리나라는 1980년 후반부터 국립산림과학원을 중심으로 무림목지, 나대지, 수종갱신 대상지 등에 대해 지위지수를 추정할 수 있는 방법을 개발할 목적으로 입지환경 인자의 계량화를 통해 다변량해석 기법을 적용하여 지위지수를 추정할 수 있는 방법을 도출하였다. 하지만 우리나라의 복잡한 지형, 다양한 인자들의 상호작용, 그리고 자료의 한계 등으로 정확도가 높

은 결과를 도출하기에는 한계가 있었다.

최근 지리정보체계(GIS) 기술의 보급과 더불어 컴퓨터를 이용한 수치지형도와 같은 수치주제도의 개발로 다양한 자료의 분석이 가능하게 되었으며, 국립산림과학원에서는 1990년도 초반부터 산림환경입지도를 제작하여 다양한 토양환경입지 인자에 대한 데이터베이스를 구축하였다. 이 자료를 중회귀기법(Multiple Regression Technique)에 적용하여 다양한 입지환경 인자가 독립변수에 포함된 수종별 지위지수 추정식을 개발하였다. 이러한 추세에 따라 입지환경 인자를 이용한 수종별 지위지수 추정식을 개발하여 임지생산력을 추정함으로써 수종별 적지를 구명하는 연구가 수행되었다. 수종별 지위지수 추정식을 이용하여 각 임지의 수종별 임지생산력을 추정함으로써 지위지수의 값에 의해 수종별 적지분포를 도면상에서 구획(區劃)할 수 있게 되었다. 특히 이에 대한 적합도 평가에 따르면 상대적으로 정확도가 높아 현장에서 바로 이용이 가능한 것으로 평가되기도 하였다.

외국의 경우에도 이와 관련된 다양한 연구가 수행되었다. 즉, 토양층의 구조, 토심, 결합도와 같이 관찰 가능한 토양인자들과 토양배수 인자들을 임목의 생장과 관련시켜 적지를 판단하였으며, 수종선발, 수확예측, 입지준비와 관련된 결정의 보조수단으로 토양입지도의 사용을 제안하였다. 또한 지형인자와의 상관분석을 통한 지위지수 추정식을 개발하였다. 이 방법은 수고-임령 관계식을 이용하는 방법에 비해 진일보된 방법이지만 산림생산력에 영향을 미치는

다른 요인인 기후인자를 고려하지 않은 한계를 가지고 있다.

3) 기후인자를 포함한 환경요인에 의한 지위지수 추정 방법

임지환경 인자에 의한 산림생산력의 추정은 어느 정도 정확도가 높은 결과를 도출할 수 있지만, 산림생산력에 영향을 미치는 다른 요인인 기후인자를 지위지수 추정에 포함시키지 못한 한계를 가지고 있다. 반면에 외국의 경우 수종별 지위지수 추정식의 조제와 임지생산력 추정에 토양 및 임지환경인자 외에 기후요인을 독립 변수로 사용한 많은 연구가 수행되어 왔다. 이미 1980년대부터 다양한 연구가 수행되어 기온 및 강수량의 기후인자와 지형인자, 그리고 토양 인자가 이태리 미송 조림지의 지위지수에 미치는 영향을 중회귀분석을 통해 평가하였으며, 연 강수량을 포함한 몇 가지 환경인자가 지위지수에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 프랑스에서는 중부지역 미송 조림지의 지위지수를 추정하기 위해 기상, 토양, 지형인자들을 적용하였고, 캐나다의 경우 온타리오 지역 한대 수종에 대해 기온, 강수량과 토양특성을 이용하여 지위지수 추정 모델을 개발하였다. 또한 스페인에서는 소나무 인공림을 대상으로 기후 및 토양인자를 이용하여 산림생산력을 추정하였는데, 강수 조건이 산림생산력에 큰 영향을 미치는 것으로 평가하였으며 낙엽낙지 및 토심이 지위지수와 높은 상관성이 있는 것으로 보고하였다.

우리나라는 최근 전국 단위의 전자기후도가 제작되었고 또한 기후변화에 대응하기 위한 다

양한 연구가 진행됨에 따라 산림생산력의 추정에 있어서도 기후인자를 포함시키려는 시도가 있어 왔다. 이는 전 지구적인 환경문제인 기후변화에 대응하기 위한 것으로 최근 10여 년 동안 범지구적으로 식생의 분포가 눈에 띄게 변하고 있는 상황에서 기후변화 시나리오에 따른 산림분포의 변화를 예측하고 이에 대한 대책을 수립하기 위한 조치이다. 기후 및 기상에 대한 다양한 측정방법과 계측기기의 발전과 더불어 원격탐사기법의 개발로 인해 자료의 신뢰도가 매우 높아졌으며, 특히 실시간 기상관측으로 다양한 형태의 데이터를 제공하고 있다. 이러한 데이터를 기반으로 온도, 강수량, 일사량 등과 같은 산림생태계에 직접적인 영향을 주는 인자에 대한 기후도가 제작되어 있는 실정이다.

이러한 현실에서 우리나라는 기후인자에 대한 수치지도를 제작하였는데, 해상도 30m×30m 단위의 매우 정밀한 전자기후도를 제작하여 현재 농업 및 임업분야에서 사용하고 있다. 우리나라는 그동안 자료의 한계로 인해 수종별 지위지수 추정식 조제에 기후인자를 사용한 경우는 거의 없었으나, 최근 몇 년 동안 지형인자와 토양인자 외에 기후인자를 포함하는 다양한 환경요인의 조합을 통해 수종별 지위지수 추정식을 개발하는 기술을 축적하여 온 것은 큰 의미가 있는 것으로 평가된다.

하지만 수종별 지위지수 추정식은 단순히 통계 모형에 적용하여 얻어진 결과이기 때문에 각 임지생산력과 관련된 생물학적 특성을 온전히 반영하는데 한계가 있다. 이는 각 지위지수 추정식의 설명력을 나타내는 결정계수가 다소

낮은 것에서도 알 수 있으며, 사용된 모형으로부터 설명되지 못하는 부분은 각 수종의 생리생태적 특성을 고려하여 추정식을 보완할 필요가 있다.

4. 맞춤형 조림지도의 제작

본 사업에서는 앞에서 언급한 다양한 지위지수 추정 방법 중에서 산림생산력 추정의 정도(精度)를 제고할 수 있도록 지형인자, 토양인자, 그리고 기후인자가 독립변수에 포함되는 지위지수 추정 방법을 채택하였다. 이는 최근 산림입지토양도와 함께 산림수치 기후도가 제작됨으로써 산림생산력을 나타내는 지위에 영향을 미치는 환경인자에 대한 공간정보를 확보하는 것이 가능해졌기 때문이다. 적지적수 선정을 보다 과학적이고 체계화하기 위하여, 주요 조림수종을 대상으로 생육조건별 기후요인, 토양요인, 입지환경요인 및 생태권역별로 표준지를 선정하고, 입체항공사진을 이용하여 임목의 수고를 3D 입체판독으로 실시하여 주 임목의 성장량을 조사하였다. 조사된 데이터를 회귀분석 및 랜덤 포레스트 방식을 이용하여 임목의 성장차에 따른 성장 요인을 분석하였고 분석 결과에 따른 주요 조림수종의 지위지수 결과치를 근간으로 적지를 구획하였다. 이를 위한 단계별 절차 및 내용은 다음과 같다.

1) 기초자료 수집 및 분석

임목생육 관련 기초자료 수집 및 분석으로

산림입지토양도, 임상도, 수치지형도, 정사영상, 낱장항공사진, 기상관측자료(산악기상자료 포함), 생태계관리권역도, 국가산림자원조사, 산지이용구분도 등의 자료를 수집하고 분석하였다.

2) 표준지 선정 및 수고판독

지역 단위의 지위지수를 산출하기 위한 수고판독 및 현지조사 표준지를 선정하였다. 표준지 선정은 임목생장 기초자료인 “임상도(1:5,000)”와 산림입지토양기초자료인 “산림입지토양도(1:5,000)” 및 “입지도(1:25,000)” 그리고 생태계관리권역도를 기반으로 표준지 5,046개를 선정하여 수고판독을 실시하였다. 그리고 수고판독 결과를 검증하기 위하여 5,046개의 10% 이상인 507개 표준지에 대하여 현지확인·확실행을 실시하였다. 조사내용으로는 수고판독은 우세목 7본의 수고를 판독하여 최대값과 최소값을 삭제하고 5본의 값을 취득하는 방법을 사용하고, 현장조사는 우세목 5본의 수령 및 수고를 조사하였다.

3) 주요 수종별 지위지수 산정 및 알고리즘 개발

산림청 권장 경제수를 중심으로 주요 수종별 지위지수를 산정하기 위하여 30년 기준 수종별 지위지수 분류곡선을 작성하고, 성장량 기반의 지역별 조림적지 및 조림적수를 비교·분석하기 위한 다중회귀, Random Forest(랜덤포레스트) 등의 통계기법 알고리즘을 개발하였다.

4) 수종별 조림적지 구분 및 현지검증

수종별 생육한계의 제한범위 설정 및 생리·생태적 생육특성을 고려한 용재수종과 유용수종의 친화성 등을 파악하기 위하여, 기후·기상 조건(온도, 습도, 강수량 등), 입지환경 조건(표

고, 경사 등), 토양조건(수분환경, 토심, 토양형 등) 등을 문헌조사를 통하여 설정하였다. 또한, 기후변화·병해충 취약수종 대응을 위한 대체수종 선정 협의를 실시하여 지위지수 분류표가 없는 유용수종의 조림적지 선정방안을 모색하



편백나무 조림적지도



일본잎갈나무 조림적지도



고로쇠나무 조림적지도



자작나무 조림적지도

그림 2. 수종별 조림적지도

였다.

맞춤형 조림지도 제작의 정확도 및 수고판독 결과 검증을 위하여 수고판독 표준지 5,046개 중 500개를 대상으로 자체검수를 실시하고, 수종별 적지적수 판정결과 검증을 위하여 현장조사 507개 중 66개 표준지에 대하여 자체 현지검증을 실시하였다.

5) 1:5,000 맞춤형 조림지도 작성

온난화의 영향과 주요 병해충 발생 등 환경영향에 따른 취약수종을 고려하여 기후변화취약수종 및 병해충 민감 수종을 분석하였다. 그리고 지위급 외에 생육제한인자, 목재가치, 지역 선호도, 산지이용 특성 등을 고려한 적지범위를 설정하여 주요 14개 수종에 대하여 수종별 조림 적지 기반의 맞춤형 조림지도를 작성하였다.

5. 맞춤형 조림지도 활용하기

맞춤형 조림지도는 한국임업진흥원에서 운영하는 임업정보 다드림 시스템을 이용하여 활용할 수 있다. 임업정보 다드림은 개인산주, 임업인은 물론 산림에 관심이 있는 일반국민 모두가 다양한 임업정보를 통합 조회할 수 있을 뿐만 아니라, 특정 조건에 맞는 산림의 위치를 보다 손쉽게 찾아 볼 수 있도록 지원하는 맞춤형 임업정보 서비스 시스템이라고 할 수 있다.

임업정보 다드림에서는 한국임업진흥원이 산림청과 함께 축적해 온 175종의 산림 공간정보

(산림 빅데이터)를 활용하여, 다양한 산림정보를 필지단위로 통합 조회할 수 있다. 또한 특정 조건에 맞는 산림의 위치를 보다 손쉽게 찾아 볼 수도 있으며, 소유한 산에서 “어떤 작물을 재배하는 게 적합한지?”, “무슨 작물이 수익을 낼 수 있는지?” 등 다양한 산림경영 정보를 얻을 수 있다. 임업정보 다드림에서 제공하는 주요기능을 소개하면 다음과 같다.

1) 필지별 산림정보 서비스

필지별 산림정보 서비스는 내가 가진 산에 대한 정보, 내가 알고 있는 지역의 산림정보, 혹은 이곳에 무슨 임산물을 재배해야 잘 자랄까? 그리고 한 10년 정도 재배하면 어느 정도의 소득을 기대할 수 있을까? 이러한 궁금증을 클릭 한번으로 해결해 준다.

사용자는 주소 검색을 통해서 원하는 지역을 찾고, 관심 있는 토지의 다양한 산림정보를 상세하게 조회할 수 있으며, 조회결과를 한글, pdf 등 별도의 보고서로 저장하여 활용이 가능하다.

제공되는 산림정보로는 산에 대한 임상정보, 토양정보, 임지생산능력급수, 지형정보, 기후정보, 산사태위험정보 등이 있다. 특히 선택 산림의 적정재배품목 및 적정조림수종 정보를 제공하는데, 2013년부터 한국임업진흥원에서는 52 품목의 단기임산물에 대한 재배적지를 구축하여 정보를 제공하고 있다. 이 가운데 19품목의 임산물에 대해서는 소득액이나 소득률과 같은 재배 시 소득분석 정보도 함께 제공한다.

표 1. 필지별 정보 제공

배경지도	항공사진, 수치지도, 하이브리드 지도, 행정구역, 지적 (브이월드, 국토교통부) / 산림행정기관
토지정보	공시지가, 면적, 토지이용현황 (온나라, 국토교통부)
적정재배품목	수실류(12품목), 산나물류(13품목), 약용류(16품목), 약초류(10품목), 수액류(1품목) 총 52품목별 최적지/가능지, 재배현황통계, 재배기술
산림청정도	청정급수
적정조림수종	대표수종, 추가수종 등 권장조림수종 38종
임지생산능력	임지생산능력급수, 생산력
지형정보	표고, 경사, 방위
나무정보	수종, 나무지름(cm), 나무나이(년), 울폐도(%)
토양정보	기후대, 표고(m), 방위, 경사도, 토양깊이(cm), 토성, 건습도, 전밀도
산사태정보	위험등급
기후정보	연평균기온(℃), 연평균강수량(mm), 월 최고/최저기온(℃)
환경분석	숲가꾸기 대상지, 벌채 가능지
소득분석	19품목 단기임산물의 산정기준에 따른 소득액, 소득률

필지별 산림정보 서비스를 활용하는 방법은 다음과 같다.



- ① 사용자는 정보조회를 원하는 산림의 주소를 입력하여 정확한 위치를 검색
- ② 검색된 위치의 산림정보 조회 및 결과를 보고서로 작성
(적정재배품목, 적정조림수종 등 151종의 정보)
- ③ 수치지도와 항공사진을 배경으로 산림주제도를 중첩하여 조회

2) 내게 맞는 산 찾기

어느 지역에서 수령이 50년이 넘는 소나무가 어디에 군락을 이루고 있는지 궁금하다면 내게 맞는 산 찾기에서 클릭 몇 번으로 궁금한 사항을 확인할 수 있다.

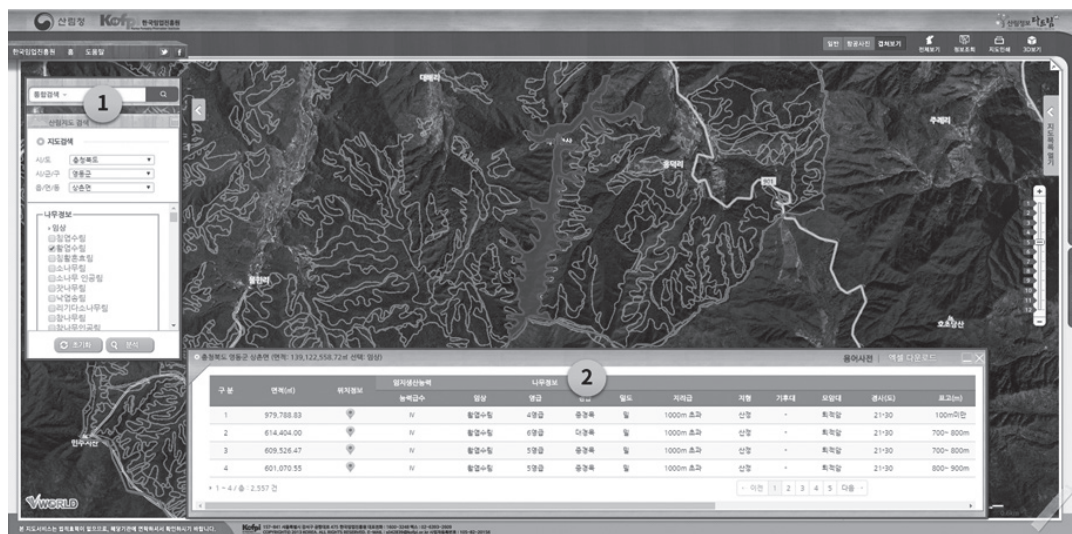
사용자는 목적에 따라 각종 산림정보를 선택적으로 분석하고, 분석된 산림의 분포를 지도상에서 확인할 수 있다. 임상에 대한 정보(나무정보), 토양정보, 적정 조림수종 등을 대상으로 조

건을 만족시키는 지역들을 선택하고 단계적으로 진행하면 그 결과를 손쉽게 찾을 수 있다.

내게 맞는 산 찾기 서비스는 임산물에 대한 재배적지를 선정하거나 숲 가꾸기 대상지역을 분석할 때 사용하실 수 있다. 분석대상 산림정보로는 나무정보(4개 항목), 토양정보(12개 항목), 적정조림수종(1개 항목)의 총 17개 항목을 사용자가 선택하여 조건에 만족하는 지역을 찾을 수 있다.

표 2. 각종 산림정보의 제공

나무정보	임상, 영급, 경급, 밀도
토양정보	지리급, 지형, 기후대, 모암대, 경사도, 표고, 방위, 토심, 유기물, 토성, 건습도, 전밀도
적정조림수종	수종



- ① 원활한 분석서비스 제공을 위한 최소 읍/면/동 단위의 지역을 우선선택하고, 적지 분석을 위한 조건을 선택
- ② 선택한 조건에 맞는 대상지 위치와 대상지의 세부 산림정보를 확인.

3) 생산통계정보

산림청에서는 매년 한해 동안 전국에서 생산된 임산물을 품목별로 조사하여 그 결과를 집계해서 발표하고 있다. 임산물 생산통계정보에서는 밤, 대추, 호두, 뽕은 감, 더덕 등 5종에 대한 ha당 생산비에 대한 통계를 제공한다. (2014년 기준으로 전국 1,400 가구를 대상으로 한 표본

조사 결과) 또한 임산물 생산통계정보는 재배규모, 수령이나 본수 등에 따른 노동력, 투입물량 등 임산물 생산에 소요된 자원의 통계정보를 제공받을 수 있다.

생산통계 정보는 임업경영 진단이나 설계뿐만 아니라 임산물 손실에 대한 보상기준 등에도 활용이 되는 소중한 자료라고 할 수 있다.

표 3. 정보제공 생산비 분류 및 항목

ha당 생산비	본수, 수령, 생산비합계 등 생산비목별 49개 항목
ha당 노동력 투입시간	보통, 자가, 남, 여 등 노동유형별 11개 항목
ha당 주요투입물량	무기질비료, 유기질비료 등 주요투입물량별 13개 항목
ha당 소득분석	평가액, 생산비, 내급비 등 11개 항목
ha당 작업유형별 노동력 투입시간	간벌, 보식작업 등 작업유형별 29개 항목

4) 임산물 생산량분포도

임산물 생산량분포도는 한해 동안 전국에서 생산된 임산물을 품목별로 조사하여 그 결과를 집계해서 산림청에서 발표한 자료이다. 행정구역별로 한 해 동안 생산된 임산물의 양을 통계지도로 확인할 수 있다.

임업정보 다드림에서는 2014년 16개 품목, 2015년 4개 품목을 제공하였으며 2016년에는 47개 품목의 임산물을 추가하여 총 67개 품목의 임산물에 대한 생산량분포도를 제공하고 있다.

5) 예상소득분석

단기임산물 16품목에 대한 재배 임가의 조사 사례를 바탕으로 일정기준(면적, 기간)에 따른

예상 소득액과 소득률에 대한 정보를 제공한다.

경제성 분석이란 개별 사업주체가 사업을 시작하기에 앞서 사업의 타당성을 검토하는 방법으로, 다른 말로는 수익성 분석이라고도 한다. 이러한 경제성 분석 결과는 개인이 여러 가지 사업 가운데 하나의 사업을 선택하거나 하나의 사업에서 수익이 높은 경영방식 등을 선택하는데 이용할 수 있다. (즉, 감나무와 표고버섯 재배 가운데 수익성이 높은 품목을 재배하는 경우와 표고버섯 재배에서 시설과 노지재배 가운데 수익성이 높은 경영방식을 선택하는데 활용할 수 있다.)

소득(소득률)분석은 개별 경영주체가 사업 경영을 통해 발생하는 수입과 지출을 토대로 성과를 파악하는 방법이다. 이러한 분석 결과는 소

득증감에 대한 원인 등을 파악하여 소득증대를 위한 경영방향 설정과 소득감소를 지양하기 위한 경영 효율화 등을 이루는데 활용된다. (즉, 소득분석을 통해 개별 임가는 지출이 많이 발생하는 원인에 대한 파악 및 개선, 소득증대를 위한 개선사항 도출 등을 할 수 있다.)

6) 임산물 스토리맵

임산물 스토리맵은 임산물 재배 등 산림과 관련된 다양한 주제에 대한 스토리맵을 제공하는 공간으로 단순히 위치만 표시하는 일반지도와 달리 이미지, 텍스트 등 다양한 정보가 결합되어 특정 주제에 대해 직관적으로 이해될 수 있도록 제작된 지도이다. 밤, 호두, 대추, 은행 등 10개 품목의 임산물에 대한 특성과 재배적지 지도가 결합된 스토리맵을 제공하고 있다.

7) 산림정보 무엇이든 물어보세요

한국임업진흥원의 임업컨설팅 서비스에서 고객들이 많이 궁금해 하는 질문사항을 단계별로 선택하여 손쉽게 결과를 얻을 수 있도록 하는 서비스이다. 우선 그 동안 고객들이 많이 궁금해 하셨던 8개 질문사항에 대해 서비스를 구축

하였으며, 앞으로 다양한 분야별 질문을 추가할 예정이다.

6. 마치며

맞춤형 조림지도에서는 수종별로 특정 지위지수 이상을 갖는 임지는 해당 수종의 적지로 간주된다. 따라서 이 지도는 특정 임지의 수종별 지위지수 분포에 근거한 공간정보를 제공하기 때문에 산주의 조림가능 수종 선택뿐만 아니라 조림정책 수립에 필요한 정보로 활용될 수 있을 것이다. 산림경영계획 수립 시 목표임상 선정을 위한 기초정보로 활용가능하며 산지특성에 맞는 조림정보 제공으로 산림경영컨설팅의 효율성이 증대될 것으로 기대된다.

산림행정 신뢰도 제고를 위한 필지단위 적지적수 정보 서비스 제공이 가능하며, 산림정보 다드림(林)시스템을 통한 개인 산주 맞춤형 컨설팅 및 민간 임업투자 안내 등의 기초자료로 활용될 것이다.



수원함양 증진 및 산림유역관리를 위한 산림물지도 제작 및 활용

최 형 태

국립산림과학원 산림육성·복원연구과

1. 산림물지도 개요

가. 산림물지도의 정의 및 개발과정

산림물지도는 “산림공간 빅데이터와 산림토양의 물리적 특성을 이용하여 산림토양의 수분보유 특성 분포를 공간적으로 나타내는 인공지능 기반의 동적 지도 시스템”이다.

국립산림과학원에서 산림물지도에 대한 연구는 2016년 「대축척 산림공간정보 기반 산림수자원 평가 및 예측기법 연구」(2016~2017)가 시작되면서 본격화되었으며, 당해 과제가 2017년 종결된 이후, 후속 과제인 「맑은 물의 지속가능한 확보를 위한 산림수자원서비스 계량화 및 증진방안 연구」로 이어져 2019년에 산림물지도 모델의 개발 및 제작기법의 체계화를 이루게 되었다.

산림물지도 개발과정의 핵심은 “산림토양의 수분보유 특성과 산림토양의 물리적 특성, 그리고 산림공간 빅데이터, 이렇게 3개의 중요한 정

보 덩어리를 어떻게 서로 연계하여 그 관계를 설명할 수 있는가”이다. 즉, 어떤 임의의 산림 내 한 지점(포인트)의 산림토양이 가지는 수분보유 특성과 물리적 특성, 그리고 이 지점(포인트)이 가지는 산림공간 데이터(임지토양, 임상, 지질, 지형) 간의 관계를 수학적으로 규정짓는 것이 연구를 수행하는데 있어서 가장 중요한 요소이다.

이를 위해, 2016년에는 경기도 가평, 광주 및 전북 진안의 290개 임지를 대상으로 산림물지도 모델 개발을 위한 현장조사 및 실내분석을 시작하였으며, 이후 2017년에는 전국 5대강 유역 14개 시군 내 산림 300개 지점, 2018년에는 전국 수원함양림 200개 지점을 대상으로 조사를 확대하는 등 2016년부터 2018년의 3개년 동안 전국 790개 임지에서 산림토양의 수분보유 특성과 물리적 특성 분석, 임분 및 토양환경 조사, 산림공간정보 수집 등을 실시하였다.

현장에서 채취한 총 8,932개의 100cc 토양

코어 시료와 1,580개의 토성분석용 시료를 이용하여 산림토양의 수분보유 특성 및 투수계수, 토양물리성 분석을 실시하였으며, 이를 바탕으로 van Genuchten 토양수분 모델에 기반한 공간별 토양수분 보유곡선식과 인공지능기법(Random Forest 모델)을 사용하여 산림물지도 모델을 개발하였다.

나. 개발 배경 및 필요성

최근 전국적으로 가뭄이 빈발하고, 2015년의 전국 평균 강수량이 역대 최저 강수량 3위를 기록하는 등 기후변화 및 물 부족이 심화되는 추세이다. 이에 따라 2040년 이후에는 전국적으로 물 부족량이 43% 증가하여 경제 손실규모도 연간 약 1,315억원에 달하는 등, 물 부족이 사회뿐만 아니라 경제적으로도 큰 악영향을 미칠 것으로 예상되고 있다.

산림은 홍수를 완화하고, 수자원을 저류하고 수질을 정화하는 등 물 환경과 깊이 관련되어 있다. 이러한 기능을 통칭하여 산림의 「수원함양기능」이라고 하며, 이는 예로부터 홍수나 가뭄피해와 같은 각종 재해를 방지하기 위한 국가 통치의 기본 이념인 「치산치수」의 근간이 되어 왔다. 또한 산림의 수원함양기능은 산림이 가지고 있는 공익적 기능의 중심으로 자리매김 하였다.

최근에는 산림이 가지고 있는 공익적 기능의 서비스적 특성에 입각하여 산림생태계서비스의 중요도와 역할이 더욱 강조되고 있다. 산림의 수원함양기능은 맑은 물을 지속적으로 공급하는 산림생태계서비스의 대표적인 기능으로

써, 기후변화에 따른 물 부족 심화와 국민 삶의 질 향상에 따라 사회적 수요가 지속적으로 증대되고 있다.

한편, 물관리 일원화를 위한 정부조직 개편이 완료되고, 「물관리기본법」 시행(2019. 6.) 및 대통령 직속 「국가물관리위원회」 출범(2019. 8.) 등 하천관리(국토부) 및 농업용수관리(농림부)를 제외한 수량, 수질, 재해예방 등 대부분의 물관리 기능이 환경부로 일원화되고 국가적 유역통합관리체계가 확대되고 있기 때문에 산림유역관리의 위상과 역할이 증대되고 있다.

특히, 대규모 댐 건설의 중단 및 기존 댐 효율성의 증대로 댐 정책이 전환되고, 물 수요 관리 및 유역통합관리 강화 등, 공급 중심의 기존 물관리에서 수요와 공급이 조화로운 통합 물관리로의 정책전환이 추진됨에 따라 산림의 수원함양기능에 기반한 과학적 산림유역관리의 역할 강화가 필요한 시점이다.

아울러 대축척 산림입지토양도가 제작됨에 따라 이를 활용한 기존 산림공간정보의 개선 및 활용도 제고에 대한 요구가 증대되고 있다. 산림입지토양도 제작사업은 2009년부터 산림공간정보 기본계획(2015~2019) 및 국가표준체계에 따라 추진 중에 있으며, 그간 경기, 충청, 전라 등 426만ha에 대한 도면이 작성되었고 2021년에 모든 사업이 완료될 예정이다. 이에 따라, 산림입지토양도 활용 서비스의 지속적인 개발 및 고도화를 통하여 기능별 산림관리 강화 및 산림생태계서비스 지불제 기반정보 제공, 산사태위험지 판정 고도화 등 수요자 맞춤형 산림행정 서비스의 고도화가 필요하다. 또한, 빅데

이터, IoT, 인공지능 등 4차산업혁명 지능정보 기술과 산림공간정보의 융·복합 활용을 통한 새로운 응용정보의 발굴 및 서비스 개발이 필요한 시점이다.

이에 따라, 체계적인 수원함양림의 관리와 과학적인 산림유역관리를 위한 산림유역 물 정보 및 정책지원 통합 플랫폼으로써 산림물지도 개발의 필요성이 증대되었다.

다. 기대 효과

1) 산림공간정보를 활용한 정책지원체계 강화
산림물지도를 통해 수원함양 증진을 위한 숲 가꾸기 적지 선정 등과 같은 맞춤형 수원함양림 관리정보를 제공함으로써 고품질 산림자원 육성에 기여할 수 있다.

또한, 산림물지도가 제공하는 임지별 수원함양기능의 정량적 평가결과를 통해 산림생태계 서비스 지불제 도입을 위한 기초 정보를 생산할 수 있다. 이 정보는 사유림경영 활성화 및 산주소득화를 위한 중요한 기반 정보로 사용될 수 있다.

한편, 산림물지도를 통하여 산림토양의 수분보유 특성에 기초한 과학적 수원함양 핵심구역 파악이 가능하므로 합리적인 산림기능 구분 및 산림보호구역 지정·해제 등 산지관리정책의 내실화를 꾀할 수 있다.

2) 물 관련 산지재해 및 기후변화 대응체계 개선

산림물지도가 제공하는 임지별 토양수분 포화도 예측정보를 통하여 산사태 등 산지토사재

해 취약지역의 과학적 선정방법을 개선하고 신속 예측·대응체계를 강화할 수 있다. 또한, 가뭄 취약지역 판정을 위한 토양수분 예측정보 제공으로 기후변화 취약성 평가 및 산림생태계 관리 강화에 기여할 수 있다.

2. 산림물지도 제작

가. 산림물지도 모델 구조

산림물지도는 인공지능 및 산림공간 빅데이터와 산림토양의 물리성에 기반하여 임지별 산림토양의 수분보유 특성 분포를 공간적으로 도출하는 동적 지도 시스템이다.

이론적으로, 산림토양의 수분보유 특성은 수분장력의 변화에 대한 비선형적인 관계를 가지며, 이는 토양수분 보유곡선식으로 표현된다. 따라서, 산림물지도의 최종 산출물은 확정된 도면으로 출력되기보다는 수분장력에 의해 실시간 변화하는 토양수분함량의 분포를 보여주는 동적 시스템이라 할 수 있다.

또한, 산림물지도는 산림토양 내 수분장력에 따른 수분함량의 분포를 공간적으로 나타내기 때문에, 특정 수분장력에 대한 산출결과를 도면으로 표출할 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 조건에서의 현상을 수치화 하여 도면의 형태로 제공할 수 있다.

산림물지도에서는 산림토양의 지점별 수분보유 특성을 평가하기 위하여 산림청에서 산림정보화 사업으로 구축한 산림공간 빅데이터를 기반정보로 활용하고 있으며, 이와 더불어 현장조

표 1. 산림물지도 기반 정보

구 분		사용 정보
공간 정보 (32)	산림입지 토양도 (16)	토양형, 토성, 유효토심, 전토심, 건습도, 석력함량, 견밀도, 사면위치, 경사형태, 퇴적양식, 풍노출도, 암노출도, 낙엽층두께, 풍화정도, 토양구조
	임상도 (4)	임상, 밀도, 경급, 영급
	수치지형도 (9)	표고, 경사, 방위, 집수면적, 지형지수, TPI, 곡률, 수평곡률, 수직곡률
	수치지질도 (2)	모암대분류, 모암중분류
현장 조사 (9)	토양 (5)	낙엽층, 토심, 토색, 견밀도, 석력함량
	임분 (4)	유세목 수고, 우세목 DBH, 평균 DBH, 임목밀도
실내분석자료 (9)		토양수분장력별(pF0, 1.8, 2.7) 수분함량, 투수계수, 모래, 미사, 점토, 유기물함량, 토양가밀도

사 및 실내분석을 통해 얻어진 현장 정보와 산림토양의 수분보유 특성, 물리적 특성 등에 기반하고 있다(표 1).

표 1에서와 같이 산림물지도에서 활용하고 있는 산림공간정보는 지형도 및 산림입지토양도, 지질도, 임상도 등에서 추출한 총 32개 항목이며, 임분정보 4개 항목과 토양정보 5개 항목은 현장조사에서 얻어진다. 실내 분석을 통해서 채취한 토양 코어 시료와 토성분석용 시료를 분석함으로써 토양수분장력별 수분함량 및 투수

계수 등 총 9개 항목에 대한 중요한 정보를 얻게 된다.

그림 1은 산림물지도의 모델 구조를 보여주고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 산림물지도 모델은 2개의 학습된 인공지능 모델을 이용하여 산림 공간정보와 산림토양의 물리성 정보로부터 임지별 토양수분 보유곡선식을 도출한다. 이렇게 해당 산림지역의 모든 지점에 대하여 토양수분 보유곡선식을 도출하고, 이를 공간분포 지도로 작성한다.

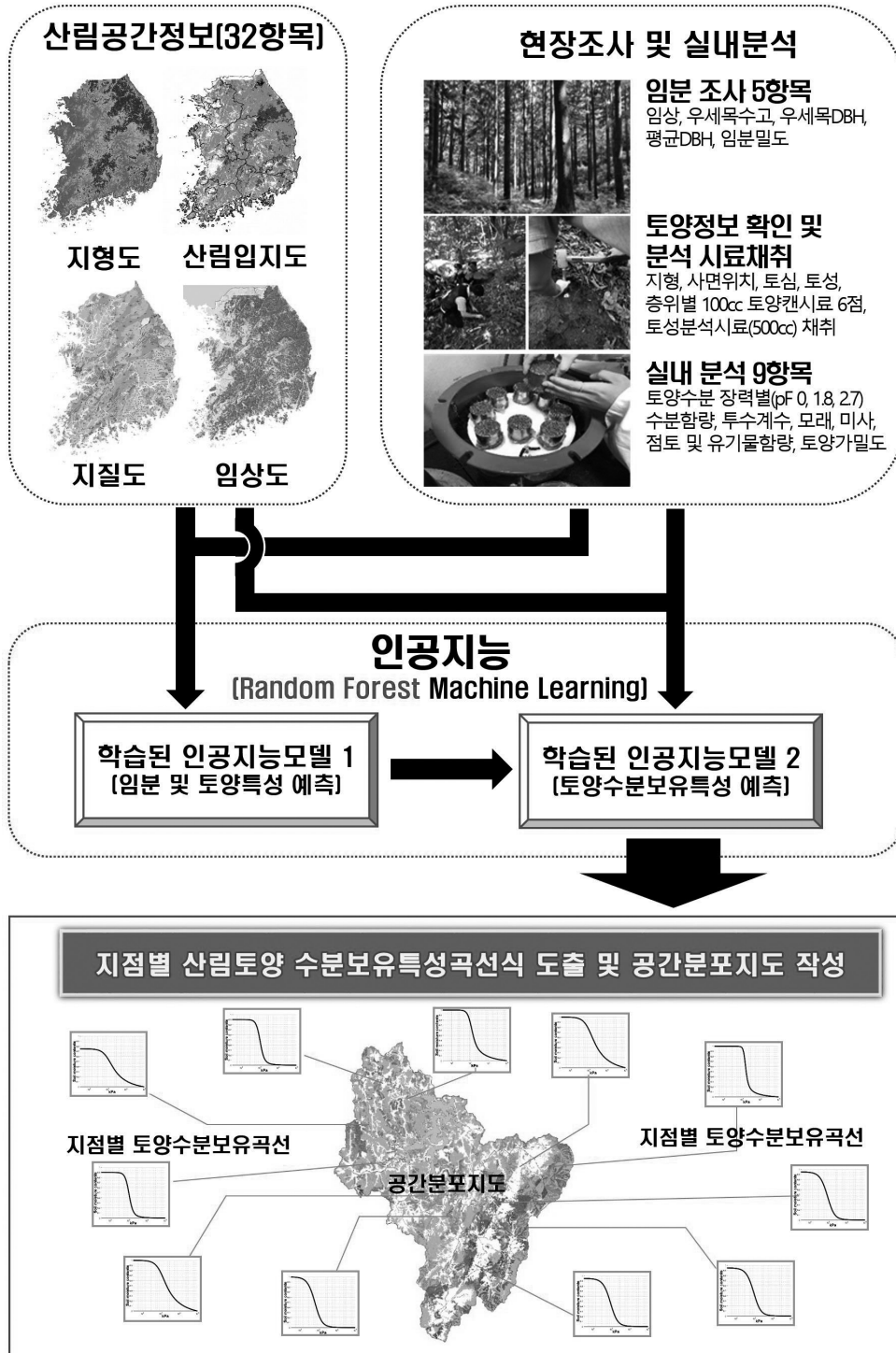


그림 1. 산림물지도 모델 구조

나. 제작 공정

산림물지도 제작 공정은 기초자료수집 및 개황조사, 표준조사지 분석 및 선정, 현지조사 및 시료채취, 실내분석 및 평가, 산림물지도 제작의 5단계로 구분되며 각 단계별로 제작 공정을 세분하여 공정별로 고유 코드를 부여함으로써 작업자가 현재의 작업 상황을 쉽게 파악할 수 있도록 설계하였다.

코드의 구성은 [전체작업에서의 단계 + 작업 내용 + 세부작업 단계]로 되어 있으며, 작업내용은 D(데이터베이스 관련 작업), A(분석 관련 작업), S(조사 관련 작업), M(지도 제작 관련 작업), 4단계로 하며, 각 작업의 제목은 세부작업 단계에서 0으로 하고, 나머지 세부 작업내용들은 일련번호를 부여한다.



그림 2. 산림물지도 제작 공정

다. 제작 흐름도

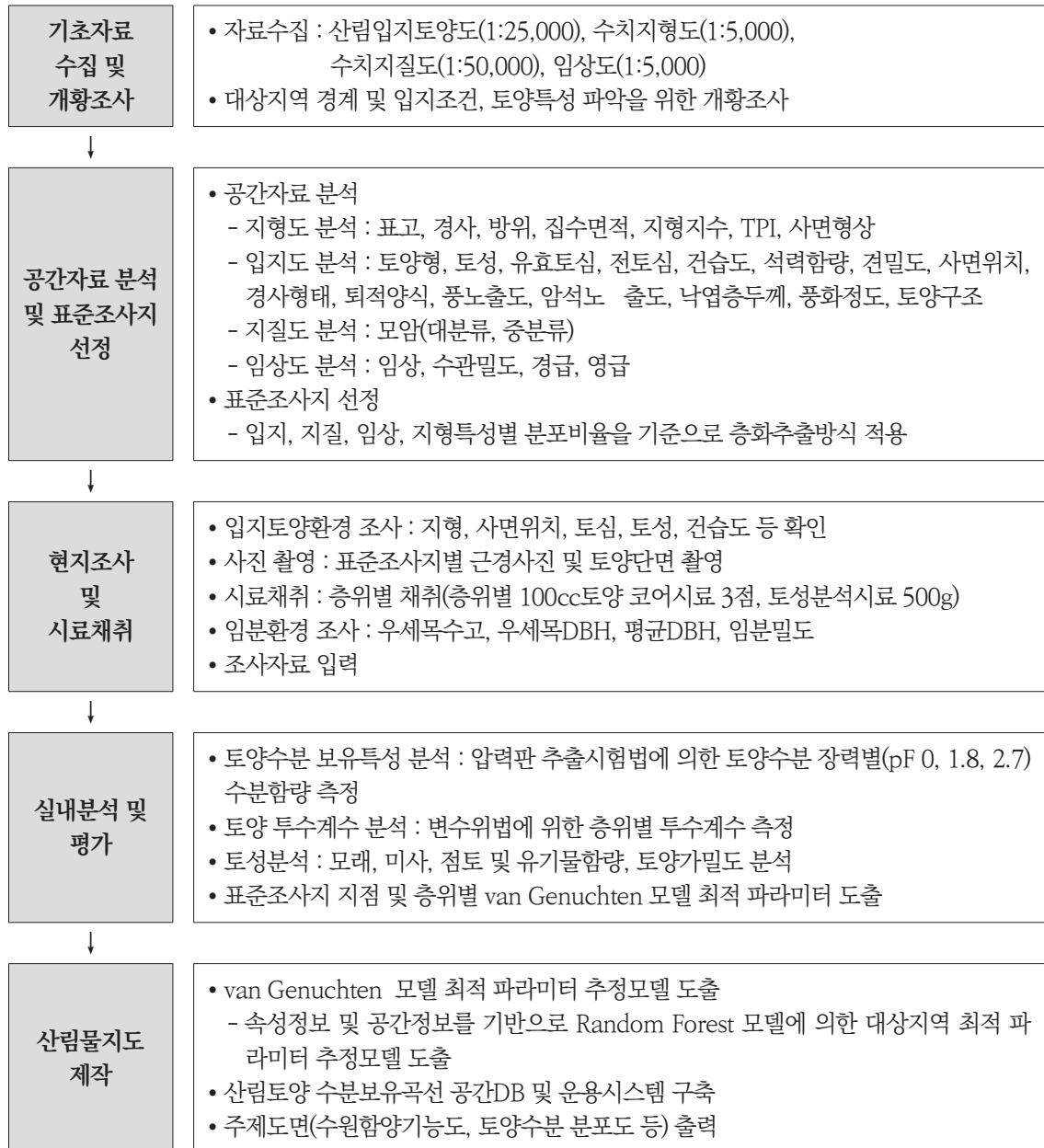


그림 3. 산림물지도 제작 흐름도

3. 산림물지도 활용방안

가. 임·소반 및 지번별 수원함양기능 평가
산림물지도의 시험적용을 위한 대상 유역으로는 전라북도에 위치한 금강수계 용담댐 유역을 선정하였다. 용담댐 유역은 93,043ha로써 금강수계 300만명에게 연간 5억톤의 용수를 공급하고 국내 5번째 규모를 자랑한다. 용담댐의 수원함양기능 분포도는 그림 4와 같다.

용담댐의 산림면적은 전체 93,043ha의 76.3%로 70,956ha이다. 산림물지도를 통해 수원함양기능을 평가한 결과, 용담댐 유역 전체 산림의 수원함양기능은 216백만톤으로 추정되었다. 이는 용담댐 최대저수용량 8억톤의 약 27%에 해당하며 동시에 서울 인구의 20%가 1

년간 사용하는 물 양과 동일하다.

산림물지도로부터 수원함양기능을 각 지점별로 확인할 수 있기 때문에 각 필지별 수원함양기능의 평가가 가능하다. 따라서 산림물지도는 산림생태계서비스 지불제(PES) 도입을 위한 산주별 소유임지에 대한 인센티브 평가 척도를 제공할 수 있다. 그림 4의 좌측 그림은 산림물지도를 통해 도출된 용담댐 유역의 수원함양기능 분포지도이며, 우측 그림은 산림물지도를 이용한 필지별 수원함양기능 평가 사례를 보여주고 있다. 이렇게 필지별 수원함양기능의 공익적 기능평가를 토대로 필지별 수원함양기능의 가치평가가 가능해지며, 결과적으로 이 정보는 산림생태계서비스 지불제를 도입할 수 있는 근거 자료를 제공할 수 있다.

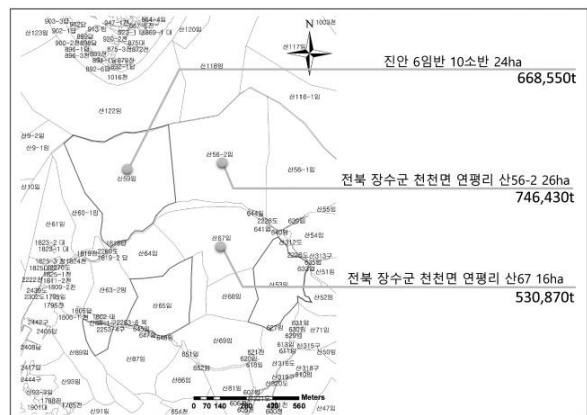


그림 4. 용담댐의 수원함양기능 분포도 및 임반별 수원함양기능 평가(사례)

나. 수원함양기능 우수산림 분포 확인

산림물지도를 이용하여 임분 단위의 수원함양기능 평가가 가능하다. 즉 수원함양기능이 우수한 산림이 어디에 있는지를 지도로 손쉽게 확인할 수 있다.

그림 5는 용담댐 유역 산림에서 상위 30% 이내에 드는 우수한 수원함양기능을 가진 산림을 지도로 나타낸 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 용담댐 유역에서는 덕유산을 비롯한 백두대간과 용담댐 저수지 서쪽에 수원함양 우수지

역이 분포하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

산림기능구분도와 산림물지도를 중첩하여 분석한 결과, 산림기능 구분도상의 수원함양림 면적은 6,490ha이었지만 산림물지도의 수원함양기능 상위 30% 해당 면적은 2,181ha로써 수원함양림의 34%에 못 미쳤다. 즉 현재 수원함양림과 분석된 수원함양기능 우수 산림은 일정 수준 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 추후 이러한 정보는 산림기능구분도를 개선하는데 과학적인 근거로 사용될 수 있을 것이며, 더 나아가 수원함양보호구역을 지정·해제 하거나 수원함



그림 5. 산림기능구분도의 수원함양림과 산림물지도상의 수원함양기능 우수 산림 분포도(용담댐 유역 사례)

(■ 수원함양기능 우수 산림, □ 수원함양림)

양림을 관리하는 등 산지관리 개선을 위한 과학적 근거자료로 사용할 수 있을 것이다.

다. 산사태위험지도 개선을 위한 산림토양 수분포화 취약지역 탐색

산림물지도는 또한 산사태위험이 높은 산림을 알려줄 수 있다. 토양 내 공극이 적으면 적은 물의 양에도 쉽게 토양이 포화가 되기 때문에 이러한 토양의 공극정보를 산림물지도를 통해 파악한다면 산사태위험지도를 더욱 고도화할 수 있다.

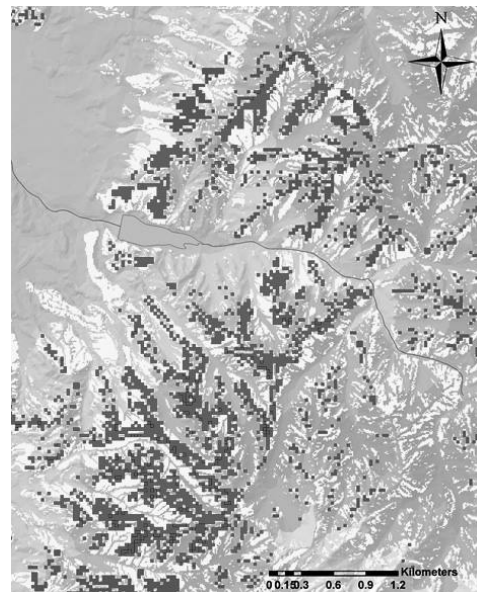
산사태위험지도를 참조하였을 때, 용담댐 유역 산림에서 산사태위험 I 등급 및 II 등급지의 면적은 총 26,634ha이다. 이는 용담댐 유역 전

체 산림면적의 약 38%에 해당하는 면적으로서, 용담댐 유역 산림의 1/3 이상이 높은 산사태 발생 위험성을 가지고 있다는 것을 의미한다. 이렇게 위험도가 높은 산림비율이 높으면 기술적으로 우선 조치가 필요한 산림을 고르는 것이 쉽지 않은 일이 된다.

산사태위험을 예측하는 데는 사면경사, 길이 등 여러 가지 요인이 이용된다. 하지만, 현재까지 산림토양의 수분포화도에 대한 정보는 활용되지 못하고 있다. 집중호우 발생 시 산림토양이 쉽게 수분으로 포화되는 산지사면이라면 산사태 발생 위험도가 더 높아질 수 있다. 따라서, 산림토양의 수분보유 특성을 산사태위험 예측에 활용할 수 있다면 더욱 높은 위험 예측도를



산사태위험 I 등급 및 II 등급지의 분포
(용담댐 유역)



시우량 100mm 발생 시 쉽게 포화되는 임지(■)
시우량 200mm 발생 시 쉽게 포화되는 임지(■)

그림 6. 산림물지도를 활용한 산사태위험지도 고도화(용담댐 유역 사례)

기대할 수 있다.

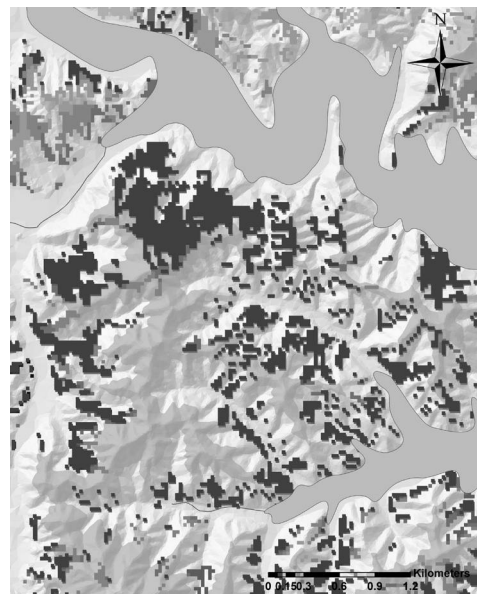
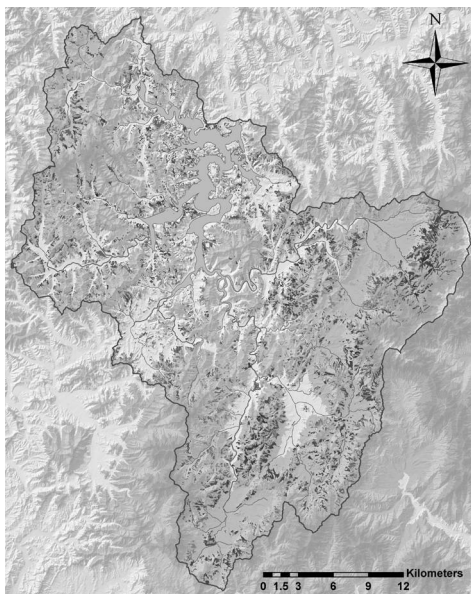
산림물지도는 산림토양의 수분보유 특성을 바탕으로 집중호우 발생 시 산림토양이 쉽게 포화될 수 있는 지역을 판별하는데 이용할 수 있다. 용담댐 유역 산림물지도에서 시우량 100mm 및 시우량 200mm의 집중호우 발생 시 쉽게 산림토양이 포화될 수 있는 임지를 판별한 결과, 시우량 100mm와 200mm 발생 시 쉽게 포화되는 임지의 면적은 각각 517.5ha와 3153.4ha로 판별되었다.

그림 6은 이 결과를 보여주는 것으로서, 왼쪽 그림은 용담댐 유역의 산사태위험 I 등급 및 II등급지의 분포를 보여주고 있으며, 오른쪽 그림은 그중 일부 지역을 확대하여 시우량 100mm 발생 시 쉽게 포화되는 임지(■)와 시

우량 200mm 발생 시 쉽게 포화되는 임지(■)의 분포를 예시로 보여주고 있다.

이 예시에서 보는 바와 같이 산림물지도는 산림토양의 수분포화도에 대한 정보를 제공함으로써 보다 정확한 산사태 발생 위험 예측을 가능하게 할 수 있다. 향후 산사태연구와의 융복합 연구를 통해 산림물지도의 활용성을 높임으로서 산림유역의 방재력을 더욱 강화할 수 있다.

라. 수원함양을 위한 숲가꾸기 적지 선정
산림물지도를 통해 숲가꾸기 사업에 따른 수원함양 증진효과를 확인하고 증진효과가 큰 임지를 대상으로 숲가꾸기 적지를 선정할 수 있다.



〈그림 7〉 산림물지도를 활용한 숲가꾸기 적지 선정(용담댐 유역 사례)
(■ 수원함양을 위한 숲가꾸기 적지 분포)

숲가꾸기 사업은 그 목적에 따라 다양한 임상·임지 조건에서 실시될 수 있다. 여기서는 산림물지도를 사용한 숲가꾸기 적지 선정의 예시를 보여주기 위하여 적지 선정의 조건으로서 임상 및 소밀도, 영급, 숲가꾸기 효과 평가 결과 등을 사용하였다. 이 조건은 숲가꾸기 사업의 목적에 따라 변화될 수 있다.

본 예시에서 적용한 숲가꾸기 적지 선정 과정은 다음과 같다. 먼저, 임상도에서 침엽수림을 선별한다. 이 중에서 식재 밀도가 높을수록 숲가꾸기가 필요하기 때문에 소밀도가 ‘밀’한 부분을 선별한다. 다음으로 숲가꾸기가 필요한 III, IV영급의 임상을 선별한다. 이렇게 임상 정보를 기준으로 침엽수림에 소밀도가 밀이며, III, IV영급인 임지를 대상으로 산림물지도를 통하여 숲가꾸기 사업에 따른 수원함양 증진 효과를 예측한다. 이때 숲가꾸기에 따른 수원함양 증진 효과의 예측을 위하여 산림의 공익기능 평가기법 중 연도별 숲가꾸기에 의한 물 저장량 변화 예측 공식을 적용하였다.

그 결과, 용담댐 유역에서 숲가꾸기에 따른 수원함양 증진 효과의 예측치가 상위 20% 내에 드는 임지의 면적은 3,163ha로 나타났으며, 이들 임지에 대한 숲가꾸기 사업으로 증진될 수 있는 수원함양량은 숲가꾸기 사업 후 20년간 총 447만톤에 달하는 것으로 분석되었다.

4. 결론

산림물지도는 산림공간 빅데이터와 인공지능기법에 기반하여 과학적 산림정책 구현을 지원할 수 있는 혁신형 산림공간 응용서비스이다. 따라서, 산림물지도 서비스가 시작되면 산림소유자는 내 산의 수자원 함양량이 얼마나 되는지 쉽게 알 수 있을 뿐만 아니라, 내 산이 가지는 공익가치를 직접 확인함으로써 산을 지키고 숲을 가꾸는 긍지를 복돋을 수 있다. 앞으로 산림환경서비스 지불제가 도입되면 산림 물지도의 임지별 수자원 함양량에 근거하여 공익적 가치를 보전하는 산림소유자에게 실질적인 혜택을 줄 수 있다.

또한, 산림물지도는 국가, 지자체, 산주에게 수원함양기능을 높이기 위한 임지별 맞춤 데이터를 제공할 수 있다. 임지별로 수원함양기능을 진단하고 이를 늘리기 위한 맞춤형 관리방안을 처방하는 과학적 산림관리를 구현하는 것이다. 이렇게 체계적 산림관리로 청정 수자원을 증진하고 유역 통합물관리에도 기여함으로써 안정적인 수자원 확보는 물론 홍수와 같은 산림재해 예방에도 기여할 수 있다.

국립산림과학원은 올해 산림물지도 제작 시범사업을 필두로 2022년부터 본격적인 전국 산림물지도 제작사업을 추진하고 있다. 향후 전국 산림물지도는 산주의 권리와 숲의 가치를 증진하는 과학적 산림정책 구현을 위한 중요한 플랫폼으로 기능할 것이다.



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

제 1장 총 칙

제 1조 (명칭) 본 회는 사단법인 한국산지환경조사연구회(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 남양주시 진접읍에 두고 필요에 따라 특, 광역시 및 각 도에 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. 산림 경영계획의 작성

6. 산림재해 방지 및 수자원 보존을 위한 오염실태조사
 7. 원격탐사 기법 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

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

제8조(회원의 권리)

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

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

제10조(회원의 탈퇴, 자격상실, 제명 및 자격정지)

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

제 3장 임원 및 조직

제11조(임원의 구성) 본 회의 다음을 임원을 둔다.

- ① 회 장 : 1인
- ② 부 회 장 : 1인
- ③ 이 사 : 7인이내
- ④ 상임이사 : 1인
- ⑤ 감 사 : 1인

제12조(임원의 자격 및 선출)

- ① 임원은 이사회회의 제청으로 총회에서 선출한다.
- ② 상임임원은 회장, 부회장 및 상임이사로 한다.

제13조(임원의 임기)

- ① 상임임원의 정년은 만65세 되는 당해년도 말까지로 한다.
- ② 회장의 임기는 3년으로 하고 연임할 수 있으며, 그 임기는 최대 6년으로 하되 상임임원의 정년연한 이내로 한다.
- ③ 회장 취임 후 정년이 도래되어 3년 임기를 채우지 못할 경우 그 임기는 3년으로 한다.
- ④ 보선에 의하여 취임한 임원의 임기는 전임자의 잔여임기로 한다.
- ⑤ 회장을 제외한 임원의 임기 중 궐위 또는 유고 시 이사회회의 의결을 거쳐 선임하고 총회에 보고한다.
- ⑥ 감사의 임기는 2년으로 하고 연임할 수 있으며 최대 4년으로 한다.
- ⑦ 등기이사 임기는 3년으로 한다.

제14조(임원의 직무) 임원은 다음의 직무를 행한다.

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

제15조(임원의 보수)

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

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

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

제17조(고문, 자문위원 및 전문위원)

- ① 본 회의 연구발전과 조사기술개발에 대한 자문을 받기위하여 고문, 자문위원 및 전문위원을 둘 수 있다.
- ② 자문이나 회의참석 시 소정의 수당을 지급할 수 있으며, 업무수행을 위해 기간을 정하여 근무할 경우 보수는 별도의 기준으로 지급할 수 있다.
- ③ 고문, 자문위원 및 전문위원은 이사회의 의결을 거쳐 회장이 위촉한다.

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

제 4장 회 의

제19조(회의 종류) 본 회의 회의는 총회 및 이사회로 한다.

제20조(총 회)

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

제21조(이사회) 본 회의 회장, 부회장, 이사, 상임이사로 구성되는 이사회를 둔다.

제22조(이사회 개최)

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

제23조(이사회 의결사항) 이사회의 의결사항은 다음과 같다.

- ① 업무의 집행에 관한 사항
- ② 사업계획의 운영에 관한 사항

- ③ 예산, 결산서 작성
- ④ 총회에서 위임 받은 사항
- ⑤ 정관에 의하여 그 권한에 속하는 사항
- ⑥ 기타 회장이 필요하다고 인정하는 사항

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

제 5장 재산 및 회계

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

- ① 사업수익금
- ② 찬조금, 기부금
- ③ 기타 수입금

제26조(회계연도) 본 회의 회계연도는 정부의 회계연도에 준한다.

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

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

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

제 6장 지 회

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

제31조(운영) 각 지회는 본회의 정관에 준하여 운영한다.

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

제 7장 보 칙

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

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

제35조(청산 재산의 처리) 본 회의 청산 잔여재산은 산림청장이 지정하는 국가, 지방단자치단체 또는 유사목적에 가진 다른 비영리 법인에 귀속한다.

제36조(정관의 개정)

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

부 칙 (1996. 8. 9.)

- ① (시행일) 본 정관은 산림청장의 허가 날로 부터 효력을 발생한다.

- ② (경과조치) 허가당시 창립총회에서 선출된 임원은 본 정관에 의하여 선출된 것으로 본다.
- ③ 본 정관에 없는 사항은 법령 및 관례에 따른다.

부 칙 (1998. 4. 28.)

- ① (시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

부 칙 (1999. 11. 13.)

- ① (시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

부 칙 (2001. 3. 26.)

- ① (시행일) 이 정관은 산림청장의 승인 날로부터 시행한다.

부 칙 (2005. 12. 6.)

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

부 칙 (2009. 10. 1.)

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

부 칙 (2017. 8. 14.)

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

부 칙 (2019. 3. 29)

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

임원 및 회원 명단

임 원

- 회 장 : 변재경
- 고 문 : 류택규, 김규현, 안병영
- 부 회 장 : 심우범
- 상임이사 : 김정환
- 이 사 : 원형규, 심중보
- 감 사 : 김종찬

자문위원

이여하, 김태훈, 이동섭, 이진규, 오종환, 송장호, 연정수, 박재순, 박승종, 홍인표, 김석권, 최명섭, 김성식

전문위원

배상원, 류주형

정 회 원

김규현, 김기남, 김문겸, 김석권, 김성식, 김용민, 김정환, 김종찬, 김태훈, 류주형, 류택규, 박성범, 박승종, 박재순, 배상원, 변재경, 송장호, 심우범, 심중보, 안병영, 연정수, 오종환, 원현기, 원형규, 이동섭, 이승현, 이여하, 이진규, 장영기, 전수진, 정양수, 제갈상규, 최명섭, 최인규, 홍석주, 홍인표 (36명)

일반회원

구교상, 구창덕, 김경하, 김선경, 김용석, 김재원, 김철민, 김철수, 김춘식, 도미령, 박관수, 박병배, 박영규, 박정신, 박종해, 서수안, 서호석, 성주한, 손요환, 윤호중, 이대섭, 이대호, 이명종, 이봉수, 이승우, 이시영, 이원규, 이창우, 이충화, 이태수, 임용호, 전현선, 조성철, 조재형, 조현국, 조현재, 지동훈, 지성규, 최 경, 최형태, 홍의기, 홍한표 (42명)

주요 일지

설립약사

- 1995. 10. 29 창립총회
- 1996. 8. 9 사단법인 설립허가(산림청장)
- 1996. 8. 31 법인등기(등록번호 115221-0001820)
- 1996. 9. 9 사업자등록(등록번호 132-82-03732)
- 1998. 4. 28 제1차 정관개정 승인
- 1999. 11. 13 제2차 정관개정 승인
- 2001. 3. 17 산림사업을 목적으로 설립된 법인등록(산림청 제2001-5)
- 2001. 3. 26 제3차 정관개정 승인
- 2005. 12. 6 제4차 정관개정(전문개정) 승인
- 2009. 10. 1 제5차 정관개정 승인
- 2011. 2. 28 소프트웨어 사업자 신고(신고번호 B11-39525)
- 2011. 3. 23 엔지니어링 활동주체 신고(신고번호 12-000210)
- 2017. 8. 14 제6차 정관 중 일부개정 승인
- 2019. 3. 29 제 7차 정관개정 승인
- 1997. 2. 21 제1차 정기총회 이후 2019년까지 제23차 정기총회 개최

주요 사업실적(1996년~2019년)

- 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(보

완), 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

- 서울 숲 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(2006~2018) : 국유양묘장 21, 사유양묘장 15

- 임지생산 능력급수도 현행화 및 임상·토양정보 활용모델개발 : 2012년 1건

- 광릉 숲 토양속성 및 공간분포 특성조사 : 1건

- 광릉시험림 정밀 산림조사(산림생산기술연구소) 1건

- 녹색자금 숲 체험 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 예찰 조사 : 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 녹화시험단지 조성사업 1건

- 중국 북경지구 산림종합경영 시험사업 PMC용역 1건

○ 산림공간정보 구축사업

- 1:5,000 산림입지토양도 제작 : 2008년~2019년까지 4,202도엽(1,524,773ha)

- 1:5,000 임상도 현행화 : 2009년~2019년까지 자연적변화 2,859도엽, 인위적변화 13,338도엽
- 접경지역 임상도 감리 : 2013년 670도엽의 12%(81도엽)
- ‘산지환경’ 회지 발간 : 22회
- 산림토양 세분류 조사 : 3년
- 산양삼 생산적합성조사 시료채취 및 생산과정확인 : 적합성조사 1,513건, 생산과정확인 3,491건

2019년 수행사업

- 2019년 산림공간정보 조사구축 [한국임업진흥원]
 - 1:5,000 산림입지도양도 제작 : 411도엽(202,406.78ha)
 - 1:5,000 임상도현행화 : 자연적변화지 783도엽, 인위적변화지 4,687도엽
- 2019년 국유양묘장 토양조사 [산림청]
- 국유양묘장(화천) 토양환경 모니터링 [산림청]
- 산림공간정보 고도화를 위한 개선방안 및 실용화 용역 [한국임업진흥원]
- 소나무재선충병 무인기 예찰조사 사업 감리·품질평가 용역 [한국임업진흥원]
- 전남지역 산림수자원 유역시험지 정밀산림입지도양도 제작 [국립산림과학원]
- 산림치유자원 조사 용역 [국립산림치유원]
- 전북지역 산림유량관측시설 및 관측장비 정기 점검 [국립산림과학원]
- 산지훼손 1차 일제조사 통계 불일치지역 현행화 [한국산지보전협회]
- 생활권 수목 생육기반환경 평가를 위한 토양조사 [국립산림과학원]
- 희귀식물 분포도 분석 [국립수목원]
- 서울여자대학교 산학협력단 토양분석 [서울여자대학교 산학협력단]
- 고양창릉 공공주택지구 산림 현황조사 [한국토지주택공사]

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	산림청공보실 / 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

제2호 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

제3호 2000

머리말	김태옥
논 단	
산지 관리제도(요약)해설	전범권 / 5

풍요로운 새 천년을 위한 임업 설계	이원규 / 11
대기오염(산성비)에 의한 산림피해 현상과 대책	유정환 / 17
도시산림, 녹지의 중요성과 식생관리계획	조현제 / 26
토양 중 탄소축적에 대한 산림경영의 영향	박관수 / 32
기후변화와 산림내 탄소	김춘식 / 39
특 집	
21세기 임업과학의 전망	심종섭 / 44
영월댐이 하류 수질환경에 미치는 영향	김범철 / 46
입지환경	
생태띠숲 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

제4호 2001

머리말	김태욱
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 / 39

입지환경

산불발생임지의 토양특성변화	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
--------------------------	-------

제5호 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

제6호 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 산지기계류 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

제7호 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

제8호 2005

머리말	류택규
산림정책	
숲다운 숲을 가꾸어 산림복지 국가를 이룩합시다	조연환 / 3
특별기고	
백두대간 보호에 관한 법률의 허와 실	김사일 / 8
경기도 산지전용 현황과 관리대책	황인표 / 12

산불피해지 수토보전기능 실태 및 조기회복 방안	정용호 / 19
전국산림입지조사 성과와 수치산림입지도 구축	정진현 / 31
수치산림입지도의 효율적인 활용방안 제시	안병영 / 42
논 단	
일본에 있어서 수변지역의 관리와 보전(IV)	전근우 / 44
중국의 산림피해 및 대기오염 실태	이충화 / 49
중국서부지역 사방조림 지원사업 추진현황과 성과(I)	최 경 · 안병영 / 54
북한의 산림황폐 실태 및 복구 전략	박재현 / 84
연구논문	
산사태의 지질학적 원인	박 경 · 임주훈 · 이명보 / 102
산불로 인한 산림토양의 변화	이계한 / 114
해외정보	
산림경영을 위한 입지와 임분형 구분	배상원 / 122
제 안	
임도시설시 고려하여야 할 사항	윤하공 / 130
부 록	
정관,회원 명단 및 임원 주소록, 주요일지	/ 135

제9호 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 12 / 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	" / 92
수도권 잡종재산 실태조사	" / 94
전국 선사유적지 토양조사	" / 95
해외사업	
중국서부지역 사방조립 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

제10호 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
2006년중부지역 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
-------------------------	-------

제11호 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	최경 · 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

제12호 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

제13호 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

제14호 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 외2인 / 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

제15호 2012

머리말	안병영 / 3
산림정책	

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

제 16호 2013

머리말	안병영 / 3
산림청장 취임식	신원섭 / 5
산림정책	
산림정책 여건 변화와 제5차 산림기본계획 변경	박은식 / 11
특 집	
생물다양성과 산림유전자원보호구역 관리	배관호 / 20
기후변화와 목재 이용	최돈하 / 28

생물 분포 정보는 우리나라 생물자원을 지키고 활용하기 위한 필수자료	양종철, 이유미 / 36
조사·연구	
산림입지토양도(1:5,000)DB자료를 이용한 지역별 주요 산림입지 및 토양환경 분포특성	원형규 / 38
숲 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	권순성 / 147
파도 속으로 묻고 싶은 것들(시)	
부록	
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

논단

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 최경 / 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 원형규, 김용민, 손민호 / 115

서비스 고도화사업

조사·연구

사유 양묘장 토양환경 및 관리 방안 안병영, 최인규 / 128

—강릉시 사천면 미노리 —

제언

소외계층을 위한 나눔 숲 조성과 체험교육 지원 고연섭 / 136

—2015년 녹색자금 공모사업 안내 —

꽃내기 회원의 단상, 한국임우회의 어제와 오늘 박승수 / 138

산림문화

야 호 ! 박재현 / 141

부록

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
논단	
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
부록	
정관, 회원명단 및 임원주소록, 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
부록	
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 북해도 사례	안기완 / 22
인도네시아 산림과 탄소배출권	김성환 / 36
기술정보(국내)	
사방시설의 환경대응에 관한 소고(小考)	전근우·서정일 / 43
땅밀림 산사태지에 대한 예견 및 대응	박재현 / 53
지진이 산지토사재해에 미치는 영향	김석우·전근우 / 68
새로운 땅, 간척지 숲 만들기	권진오·임주훈 / 78
산림경영계획 수립을 위한 표준지 조사방법	원현규 / 85
임지생산력을 판단하는 척도, 지위지수의 활용	손영모 / 90
산림토양 층위 발달과 유기물 분해	임주훈 / 96
국내 주요 주제도 특징 및 FGIS의 발전방향	최인규 / 102
산림 GIS투영법과 주요 좌표계	도미령 / 111

국내 산양삼과 삼척 장뇌삼 현황 분석

김용민 · 이종민 · 박성범 / 119

조사 · 연구

양평 산림수자원 구역의 임분별 산림토양특성 및 하층식생

원형규 · 김문겸 / 131

산양삼 종자공급단지 조성사업(중부권역)

변재경 · 김용민 / 149

인삼 CYP716A53v2 유전자의 과발현과 발현 억제를 통한

ginsenoside 조성조절

박성범 · 천주현 · 반응욱 · 한정연 · 최용의 / 154

기행문

한탄강 구역의 산림임지환경 및 산림토양단면 특성

이종명 / 161

가자! 가야로

지성구 / 168

소개

(주)신일사이언스 양묘용기공장 소개

최종우 / 175

산림문학(시)

너에게 전화를 걸고 싶을때가 있다(시)

박재현 / 181

부록

정관, 회원명단 및 임원주소록, 주요일지

제 21호 2018

발간사

변재경 / 11

격려사

구길본 / 13

기술정보(국내)

위성영상을 이용한 임진강 구역의 산림황폐지 분석

김경하 · 조현국 / 15

수원함양보호구역 지정 제도를 개선하기 위한 제언	최형태 / 36
도서산림 현황과 관리방안 소고(小考).	전현선 / 58
한반도 생태계연결을 위한 남북 산림협력방안	오정수 / 64
성공적인 남북산림협력을 위한 제언	김석권 / 91
땅밀림에 대해서 알아보겠습니다	박재현 / 96
한국의 땅밀림지와 지질	최경 / 108
산양삼 재배적지 토양환경 특성	변재경 · 김용민 · 박성범 / 118
심적산림습원의 강-유출에 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

부록

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

부록

정관 및 주요일지

161

산지환경

제23호

2020년 2월 인쇄
2020년 2월 발행

발 행 인 : 변재경
편집위원 : 김정환, 심우범, 정양수

발 행 처 : (사)한국산지환경조사연구회
경기도 남양주시 진접읍 봉현로 42
TEL. 031-572-1678, 0063, 0127
FAX. 031-572-7387
E-mail : ipji7387@hanmail.net
홈페이지 : <http://www.ksfer.or.kr>

인 쇄 처 : 삼정인쇄공사 (02)2261-4431

"우리 연구회에서는 토양의 물리성 및 화학성 분석을 통해 신뢰도 높은 분석검정 서비스를 제공하고 있습니다"

- ▶ 수목식재지의 토양진단을 위한 **물리화학성 분석**
- ▶ 나무의사 제도 시행에 따른 **수목 피해원인 진단**
- ▶ 도시림 유지관리를 위한 **토양환경개선방안 제시**

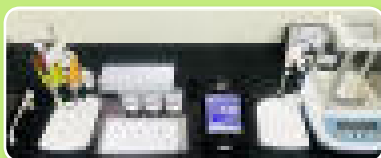
토양 분석장비



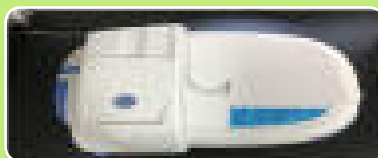
토양분석실



입도분석



산도(pH), 양이온치환용량,
전기전도도 측정



UV-spectrophotometer
(UV-비색측정기)



치환성염기 측정(AA)

시험규격

시험구분	분석항목	수수료(원)
물리성	입도분석	13,500
	석력함량	13,500
	토양삼상 (용적밀도)	11,000
화학성	산도	10,000
	유기물	21,000
	전질소	21,000
	유효인산	10,000
	양이온치환용량	30,000
	칼륨	10,000
	나트륨	10,000
	칼슘	10,000
	마그네슘	10,000
	전기전도도	10,000
	중금속	11,500

※ 부가세 별도이며, 신청 및 시료발송 전 연구회에 문의하시기 바랍니다(전화:031-572-1678).

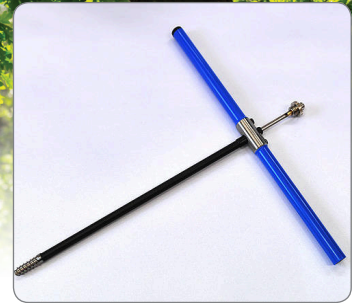
산림토양 · 임상 조사장비



하그로프 Vertex 측고기



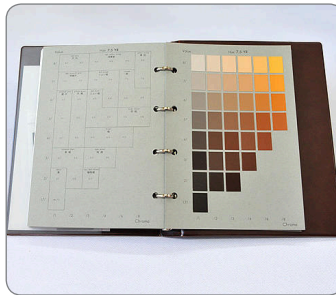
하그로프 VL-GEO 측고기



생장추



순토 콤파스/크리노메타



표준토색칩

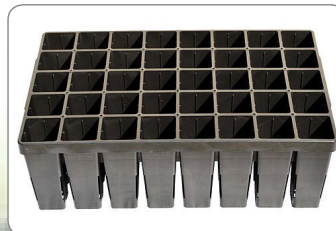


山中式 토양경도계

양묘용기 생산라인



양묘용기(24구)-낙엽송용



양묘용기(40구)-소나무용



양묘용기 사출기



전자동 로봇



양묘용기 금형



전동식 지게차



(주)신일사이언스

본사/공장 : (우)10945 경기도 파주시 월롱면 통일로644번길 42
TEL : 02-452-0520 FAX : 02-2201-4922
E-mail : info@shinilsci.com www.shinilsci.com