

2023년 석학 커리어 디시전스
과 학 기 술 정 책 제 언

탄소중립 시대의 기후스마트임업

이우균 고려대학교 교수

KAST 한국과학기술학원
The Korean Academy of Science and Technology

2023년 석학 커리어 디시전스
과 학 기 술 정 책 제 언

탄소중립 시대의 기후스마트임업

이우균 고려대학교 교수



KAST 한국과학기술학원
The Korean Academy of Science and Technology

KAST 한국과학기술학원
The Korean Academy of Science and Technology



ISBN 979-11-86795-91-0

이 사업은 복권기금 및 과학기술진흥기금의 지원을 통한 사업으로 우리나라의 사회적 가치 증진에 기여하고 있습니다.

발행처

한국과학기술한림원
031) 726-7900
kast@kast.or.kr

발행인

유옥준

발행일

2023년 12월

홈페이지

<http://www.kast.or.kr>

정책제언 및 집필

이우균 고려대학교 교수

디자인/인쇄

경성문화사



이 보고서의 모든 저작권은 한국과학기술 한림원에 있습니다.



한국과학기술한림원은

대한민국 과학기술분야를 대표하는 석학단체로서 1994년 설립되었습니다.

우리나라 과학기술계를 대표하는 석학집단으로서,

1,000여명의 과학기술분야 석학들이 한국과학기술한림원의 회원이며,

대한민국이 과학기술 선진국으로 도약하여

글로벌 난제를 해결할 수 있는 최첨단 과학기술 업적을 창출할 수 있도록

창의와 도전의 연구개발 생태계를 만드는 데 기여하고자 합니다.



한국과학기술한림원 더 알아보기

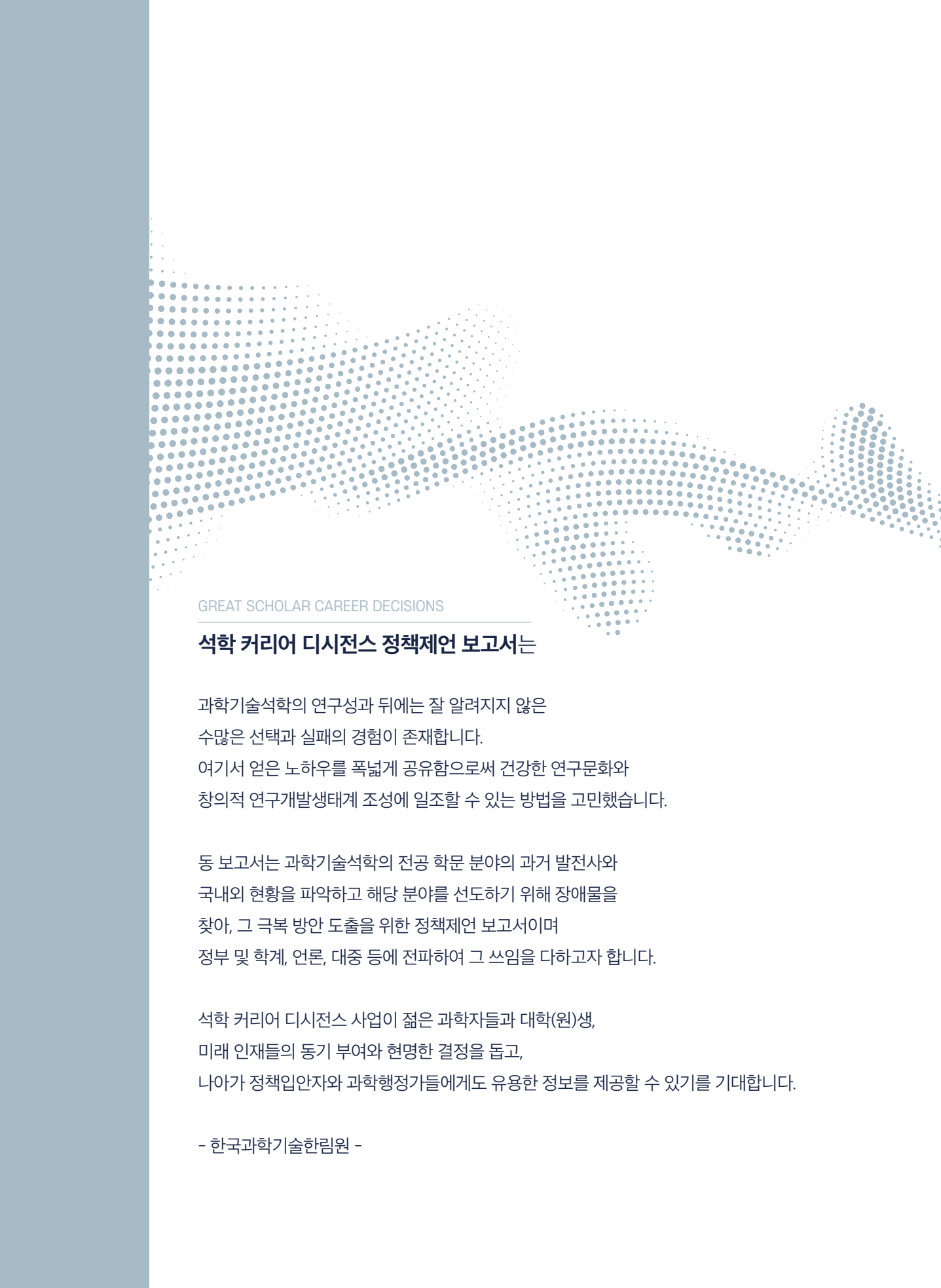
 홈페이지 www.kast.or.kr

 블로그 kast.tistory.com

 포스트 post.naver.com/kast1994

 페이스북 www.facebook.com/kastnews





GREAT SCHOLAR CAREER DECISIONS

석학 커리어 디시전스 정책제언 보고서는

과학기술석학의 연구성과 뒤에는 잘 알려지지 않은
수많은 선택과 실패의 경험이 존재합니다.
여기서 얻은 노하우를 폭넓게 공유함으로써 건강한 연구문화와
창의적 연구개발생태계 조성에 일조할 수 있는 방법을 고민했습니다.

동 보고서는 과학기술석학의 전공 학문 분야의 과거 발전사와
국내외 현황을 파악하고 해당 분야를 선도하기 위해 장애물을
찾아, 그 극복 방안 도출을 위한 정책제언 보고서이며
정부 및 학계, 언론, 대중 등에 전파하여 그 쓰임을 다하고자 합니다.

석학 커리어 디시전스 사업이 젊은 과학자들과 대학(원)생,
미래 인재들의 동기 부여와 현명한 결정을 돕고,
나아가 정책입안자와 과학행정가들에게도 유용한 정보를 제공할 수 있기를 기대합니다.

- 한국과학기술한림원 -



이 우 균
고려대학교 교수
(한국과학기술한림원 정회원)

산림 연구에서 시작해 기후변화까지 깊이 탐구하는 산림과학자이자 기후변화학자인 이우균 교수는 산림을 토지 기반의 임업으로 관리할 수 있는 과학적인 연구를 하고 있다.

1996년부터 고려대학교 환경생태공학과 교수로 재직 중이며 현재 고려대학교 부설 오정리질리언스 연구원, 지속발전연구소 원장을 역임하고 있는 이 교수는 고려대학교에서 임학을 전공, 동 대학원에서 석사 학위를 받았으며 1993년 독일 괴팅겐대학교에서 임학 박사 학위를 받았다.

『산림생장학』, 『도시숲 이론과 실제』, 『기후변화 교과서』, 『대한민국 탄소중립 2050』, 『Mid-Latitude Region Network Prospectus 2020』, 『산림탄소경영의 과학적 근거』, 『위기에서 살아남는 현명한 방법 자연기반해법』 등 10여 편의 국내외 단행본 출간에 참여하였으며 또한, 산림, 환경, 기후변화, GIS/RS 분야에서 110여 편의 영문 논문, 210여 편의 국내 논문을 발표하였다.

2015~2020년까지 한국산림경영정보학회, 한국기후변화학회, 대한원격탐사학회 등의 회장을 역임하였다.

“ 국토녹화 50주년을 맞은 우리나라는 임업의 저수익성으로 농산촌이 공동화되어 가는 상황에서 기후변화대응의 일환으로 산림의 이산화탄소흡수기능을 유지 및 증진해야 하는 현실적 문제에 부딪치고 있다. 산림복구에 성공하여 울창한 산림을 보유한 현시점에서 산림관리는 기후스마트임업체계를 통해 지번 중심이 아닌 유역 및 경관 또는 지역 중심으로 옮겨야 할 때이다.”



탄소중립 시대의 기후스마트임업
(Climate Smart Forestry)

1. 한국의 산림복구와 정책 변화	04
2. 기후변화시대의 산림 및 임업의 역할	16
3. 한국 임업의 과학 및 정책적 한계	22
4. 기후스마트임업	30
5. 기후스마트임업의 가능성	42
6. 국내 기후스마트임업을 위한 과학 및 정책 개선안	50
7. 정책제언	62
8. 결론	72

1

한국의 산림복구와 정책 변화

- 한국의 성공적 산림복구
- 성공적 산림복구의 명암
- 자연기반해법으로 본 한국의 산림복구와 현재 산림정책
- 새로운 산림관리의 필요성

한국의 성공적 산림복구

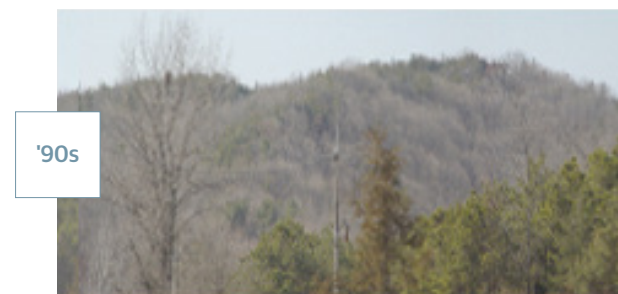
최근, 기후 및 환경 변화가 심각해지면서 온실가스 흡수, 생태계서비스, 생물다양성 등의 측면에서 산림의 중요성이 재인식되고 있고, 국제사회에서는 그간의 황폐화를 막고 복구하는 활동이 활발히 이루어지고 있다. 우리나라 산림관리의 변천 과정과 그 명암을 살펴보면, 앞으로 기후위기 시대에 산림을 어떻게 관리해야 하는지 답을 찾을 수 있을 것이다.

우리나라는 대표적인 산림복구 성공국으로 잘 알려져 있다. 한국의 산림황폐화 역사는 멀리는 조선 시대까지 거슬러 올라간다. 그 후 일제 강점기의 목재침탈, 해방 이후의 가난, 6.25전쟁, 그 후의 재건산업화 과정에서 한국의 산림은 황폐화의 극에 달했고, 1972년에는 산림축적이 ha당 11m³까지 감소하게 된다. 2022년 현재 ha당 축적 165m³의 7%에 불과한 수준이다.

이러한 산림의 황폐화는 물저장, 토양고정 등의 산림기능 저하로 이어지고, 봄철의 가뭄, 여름철의 홍수 및 토사유출 등의 자연재해로 이어져 결국 농업 등의 연관산업에 막대한 피해를 주게 된다. 이러한 잦은 자연재해는 사회혼란은 물론, 국가가 추진하는 경제개발정책에도 악영향을 주게 된다.

이에 당시 정부는 국가 차원의 대대적인 산림복구계획을 수립하였고, 1972년 1차 치산녹화계획(1973-78)이 시작되면서 전 국토에서 사방사업 및 조림사업이 이행되었다. 마을 단위로 이루어지는 ‘국토녹화’ 사업과 산림훼손행위 단속을 강화하기 위해 산림청은 당시 ‘새마을 운동’의 주무부서인 내무부 산하로 이관되었다. 그 결과 목표치의 조기달성으로 1차 계획은 1978년에 조기 종료되었다. 1차 치산녹화계획의 빨리 자라는 속성수 위주의 조림에서 2차 치산녹화계획(1979-1987)에서는 경제성 있는 장기수 위주의 조림, 3차(1988-1997)에서는 1, 2차를 기반으로 하는 자원화(수익성 제고)로 산림복구사업이 이어졌다. 이후 4차(1998-2007)에서는 지속가능한 친환경적 산림관리, 5차(2008-2017)에서는 대국민 복지를 위한 산림관리로 이어졌다. 2018년부터 2037년까지 20년의 기간으로 수립된 6차 계획은 기후변화시대에 경제-복지-환경생태 동시달성에 초점이 맞추어져 있다.

그림 1 한국의 산림복구



성공적 산림복구의 명암

1973년부터 1998년까지 약 30여 년간 이어진 산림복구는 대성공이었다. 이 동안 총 조림면적은 300만 ha 정도로 우리나라 산림의 50%에 조림이 이루어졌다. 벌거숭이산은 없어졌으며, 조림된 나무가 자라며 숲이 숲다워지고 제 기능을 발휘하기 시작했다. 수자원 저장 및 공급기능이 회복되면서 벌거숭이산으로부터 유발되는 홍수, 토사유출 등의 자연재해는 잦아들었다.

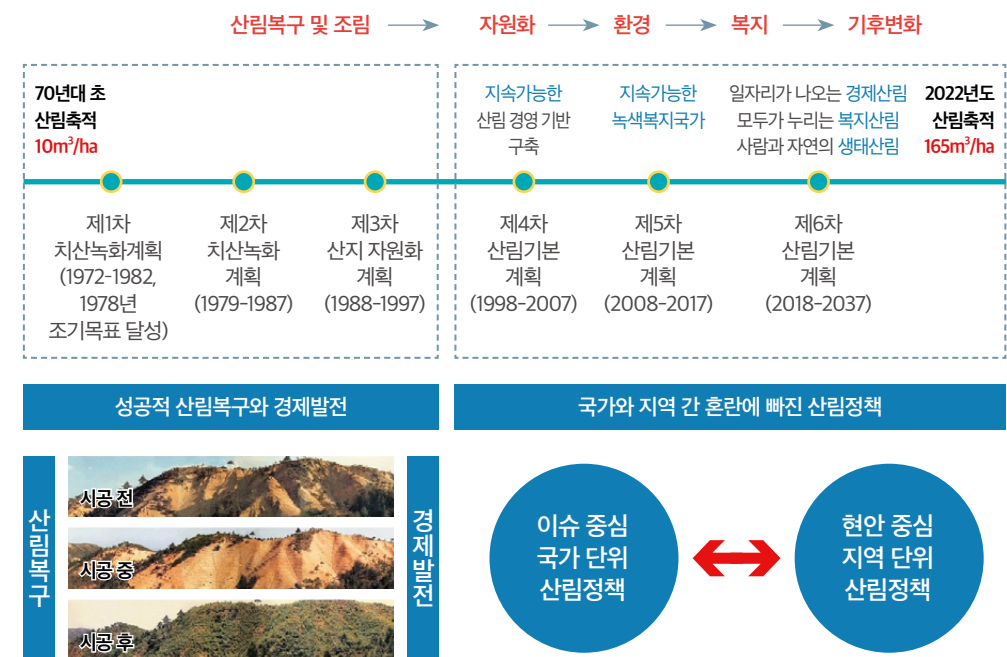
4차부터는 복구조림 면적이 많지 않다. 1-3차 연도에서 대부분의 황폐지는 이미 복구되었고, 산림경영상 갱신되어야 할 면적이 많지 않았기 때문이다. 조림 대신에 산림정책은 자원화-환경-복지-기후변화 등으로 이어졌다. 재난방지 차원의 1, 2차 복구에서 3차의 자원화는 자연스러운 정책으로 판단된다. 1차에서는 신속한 복구를 위한 소위 사방 및 속성수종으로 조림했고, 긴급복구가 성공한 2차 시점에서는 경제성 있는 수종으로 전환하였고, 이를 기반으로 3차에서는 자원화를 꾀한 것이다. 정책의 흐름은 자연스러웠지만, '자원화'는 당시로서도 성공했다는 비판이 있었다. 심은 지 20여 년 되는 산림에 자원화를 꾀하는 것은 어설퍼 보인다. 그러나 여기서는 당장 수익을 올리는 자원화라기보다는 미래의 경제성을 위한 '자원화 기반'으로 이해되고, 이행도 그렇게 진행되었어야 했다. 숲가꾸기 면적의 확대 등이 대표적인 자원화 기반 산림사업이다.

이러한 자원화 기반 사업이 다양한 측면으로 이루어졌어야 했다. 그러나 4차에서는 자원화에서 '지속가능성' 및 '환경'으로 정책기조가 바뀌었다. '자원화'와 '환경'은 상반된 면이 있다. 환경적 기능을 충분히 하면서도 산림생산을 통한 경제성이 확보되는 것이 소위 다목적이면서 지속가능한 산림경영이다. 그러나 당시 아직도 어린 산림에 대해 자원화를 이루려다 갑자기 환경으로 정책이 바뀐 것이다. 자원화 기반 조성 측면에서 숲가꾸기, 임도망 확충, 목재 생산 및 갱신 등은 당연한 산림사업이다. 그러나 '환경' 측면에서 보면, 이러한 산림사업은 논란의 여지를 남긴다. 성공적 복구 후에 산림관리정책의 혼란과 농산촌의 공동화, 농림업의 저수익성, 강한 규제 등으로 2000년대 초반의 산림에서는 체계적인 산림사업이 이루어지지 못했다. 자원화 기반과 환경적 측면 모두에서 말이다.

이러한 어정쩡한 산림정책이 해결되지 않은 상태에서 5차에서는 '복지', 6차에서는 '기후변화'

로 산림정책이 선회된다. 산림관리의 혼란은 더욱 가중되었다. 이런 혼란 속에 생태계서비스, 자연기반해법, 생물다양성 등이 대두되면서 우리나라의 산림관리정책은 경제-환경-사회-안전 등 '모든 것을 다하려는' 또는 '모든 것을 다해야 하는' 상황에 처하게 되었다.

그림 2 한국 산림정책 기조의 변화 흐름



자연기반해법으로 본 한국의 산림복구와 현재 산림정책

우리의 성공적 산림복구는 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature: IUCN)에서 제시한 자연기반해법(Nature based Solutions)의 8가지 원칙을 지킨 것으로 분석된다(이우균 외 2023). 그러나 현재의 모든 것을 다해야 하는 산림관리는 그렇지 못하다. 과거 우리의 성공적 산림복구가 어떻게 자연기반해법의 8가지 원칙에 부합되고, 현재의 산림관리정책은 어디에 부합되지 못하는지를 분석할 필요가 있다.

표 1 세계자연보전연맹의 자연기반해법 8원칙에 부합하는 한국의 산림복구 성공 요인과 현재의 산림관리

NbS 원칙	과거 산림복구	현재 산림관리
1 사회 문제를 효과적으로 해결하기	황폐해진 산림을 복구해 가뭄, 홍수 등 국가적 재난 이슈 해결	복지, 안전, 기후변화, 환경 등 너무 다양한 사회적 이슈
2 사업 범위를 고려한 설계	전국적인 차원에서 범국민적 운동으로 산림복구 시행	사유림의 경우 필지 단위의 산림사업인허가
3 생물다양성과 생태계에 순이익 만들기	홍수 등 산림 관련 재난이 감소하고 생태계 기능 회복	산주의 경제적 요구와 사회의 환경적 관심 간의 갈등
4 경제적인 실행가능성	UN의 원조로 산림복구 실행	사유림 경영의 낮은 수익성 산림생태계서비스의 비시장가치
5 거버넌스에 기반하기	산림청을 내무부로 이관하여 강력한 지배구조 형성	국유림, 사유림으로 구분된 관리행정
6 목표 달성과 이익 사이의 균형 유지	산림복구와 새마을 운동 동시 진행	사유림 이해와 산림의 공공성 간의 갈등, 임업의 저수익성
7 증거에 기반한 적응형 관리	복구 초기 사방공사와 함께 속성수 조림, 중·후반부 경제수 위주 조림 시행	다양한 과학 기반의 경영 방법 적용 미흡, 특히 사유림의 경우 심함
8 주류화와 지속가능성	산림복구를 위해 식량-물-에너지 함께 해결	기후변화, 생물다양성, 국토균형발전 등에 기반한 지속가능 경영 방향 부재

61 사회문제를 효과적으로 해결하기

자연기반해법은 사회문제를 해결하기 위해 설계되어야 한다. 기후변화 적응 및 온실가스 감축, 재해위험 저감, 사회경제적 발전, 사람의 건강, 식량 안보, 물 안보, 환경 파괴 및 생물다양성 감소 등의 주요 사회문제는 모두 산림과 직·간접적으로 관련이 있다.

우리나라의 산림복구는 황폐화된 산림으로부터 유발되는 60~70년대 초의 홍수, 산사태 및 토사유출 등 각종 자연재난을 줄이고, 그로 인한 사회문제를 해결했다는 측면에서 이 원칙에 부합한다. 현재의 산림관리는 이상기후로 인한 산불, 산사태 등의 산림재해, 농산촌 발전과 연계된 국토의 균형적 발전 등의 사회문제를 효과적으로 해결하는 데는 한계를 보이고 있다.

62 사업범위를 고려한 설계

자연기반해법이 적용되는 공간의 다양한 관계를 고려해야 한다. 적용 공간 안팎의 지리 및 환경적 요인뿐만 아니라 경제, 정책, 문화 특징 등도 반영되어야 한다. 산림 부문에서 이를 지키려면 시간과 공간 규모에 적합한 체계적인 산림계획제도가 필요하다(곽두안 2023a).

우리나라의 성공적인 산림복구에는 개인소유를 넘어서는 마을 단위의 복구조림 정책이 있었다. 현재의 산림관리는 필지 단위로 파편화된 형태로 단절적으로 이루어지고 있어 산림과 연계된 다양한 사회적 요구사항을 반영하지 못하는 실정이다(손학기 2023).

63 생물다양성과 생태계에 순이익 만들기

자연기반해법 사업은 생태계의 완결성과 생물다양성에 유리하도록 진행되어야 한다. 산림관리 측면에서 보면, 숲가꾸기, 목재 생산 등 산림을 관리하는 행위가 생태계와 생물다양성의 훼손으로 이어지지 않아야 한다.

극도로 황폐화된 산림을 복구하는 것은 기본적으로 산림이 숲으로서의 기능을 발휘하게 하는 것이고 궁극적으로 생태계의 기능을 회복시키는 길이었다는 측면에서 우리의 산림복구는 이 원칙에 부합한다. 그러나 현재의 산림관리는 산주의 경제적 요구와 사회의 환경적 요구 간의 갈등이 존재하며, 이슈 면에서도 기후변화대응을 위한 산림관리와 생물다양성 증진 간의 갈등을 해소하지 못하고 있는 실정이다.

64 경제적인 실행가능성

자연기반해법 사업은 경제적으로 실행 가능해야 한다는 이 기준은 산림경영 지도원칙 중 생산성-수익성-경제성 원칙에 해당한다.

황폐화의 원인인 연료와 식량 생산(화전)의 문제해결을 국제적 원조에 의해 해결하면서 재원을 마련하였다는 측면에서 우리의 산림복구는 이 원칙에 부합된다. 그런데 산림경영은 자연력에 의존해야 하고 생산기간도 길어서 경제성이 낮은 것이 사실이다. 여기에 더해 우리나라 산림은 소유 규모가 영세하고 임업 측면의 수익성이 낮다는 문제도 있다. 이러한 상황에서 기후변화대응, 생물다양성 유지 및 증진, 산림생태계 서비스 및 복지 증진 등을 위한 산림관리는 비시장가치로 머물러 있어 수익과 연결되지 않는 상황이다.

65 거버넌스에 기반하기

다양한 기능과 서비스를 제공하는 산림은 이해당사자 또한 많기 마련이다. 다양한 기능과 서비스가 시너지를 발휘하고, 여러 이해당사자의 협의를 이끌어내려면 다양한 이해당사자의 관심을 반영할 수 있는 강력한 거버넌스가 필요하다. 특히 자연 자원의 특징상 지역사회와 자연기반해법 사업에 영향을 받는 주민 등을 적극 참여시키는 보조적인 거버넌스도 반드시 구성해야 한다.

우리나라 산림복구는 새마을 운동과 연계되어 마을 단위의 이행과 산림훼손금지라는 측면에서 강한 행정력이 요구되었고, 이를 위해 산림청을 새마을 운동의 주관 부서인 내무부로 이관하여 행정적 거버넌스를 이루었다. 또한, 마을 단위의 참여하는 지역주민 공동체 거버넌스도 있었다. 우리나라 국유림의 거버넌스는 튼튼한 편이다. 국유림을 관리하는 5개 지방청과 25개의 관리소가 산림청 산하 내부 조직으로 구성된 덕분이다. 반면 사유림은 국가의 산림/산지 기본계획, 광역지자체의 산림/산지 지역계획에 기반하여 기초지자체에서 산림관리 인허가의 일선 행정을 담당한다. 이러한 체계에서 농림부의 산림청과 행정안전부의 광역-기초로 이어지는 거버넌스는 느슨한 편이다. 한편 시군의 산림관리 인허가는 산주의 요청에 따라 소규모 필지 단위로 이루어지기 때문에 지역 단위의 다양한 의견을 반영하는 데는 한계가 있다.

66 목표 달성과 이익 사이 균형 유지

생태계 관리에서 목표 간 상충은 피할 수 없다. 따라서 이를 효과적이고 공정하게 관리할 필요가 있다. 공정하고 투명하며 포용적인 절차에 따라 자연기반해법이 이루어져야 한다. 산림복구, 자연재해방지라는 국가적 목표 달성과 가난 극복이라는 사회적 요구가 부합하면서 우리나라의 산림복구가 이루어졌다. 원칙3에서 살펴본 바와 같이 산림에서도 목적 사이에 상쇄효과(trade off)가 발생한다. 목재 생산, 흡수원 증진을 위한 숲가꾸기와 같은 활동은 생물다양성 등 산림생태계의 다른 기능 및 서비스의 저하를 초래할 수 있다. 이런 상황에서 기후변화대응, 생태계서비스, 자연기반해법, 생물다양성 등을 모두 하려 하는 또는 해야 하는 현재의 산림관리는 목표 달성과 이익 사이의 균형 유지에는 한계가 있어 보인다.

67 증거에 기반한 적응형 관리

생태계는 불확실성을 내포하고 있다. 특유의 복잡성 탓이다. 불확실성에 대응하려면 과학적 모니터링과 분석, 전통 및 지역 지식 등을 통해 현상을 과학적으로 이해하고 이를 바탕으로 유연한 실행계획을 수립하고 조절해야 한다.

우리의 산림복구를 위한 사방사업과 조림은 실행 그 자체가 복구효과에 대한 증거이며, 이를 통해 재난위험을 경감한다는 차원에서 환경적응형 관리로 볼 수 있다. 기후변화에 대응하기 위한 적응형 산림관리를 하려면 기후변화에 의해 산림이 변화하는 과정을 과학적으로 증명해야 한다. 우리나라에서는 기후변화에 의해 침엽수종은 생장이 둔화되고 고사량이 증가하며 분포지역도 점차 줄어드는 반면 활엽수종은 생장이 촉진되면서 분포지역도 확대되고 있다. 또한, 우리나라 산림에서 온대수종은 점차 감소하는 반면 난대수종이 남쪽에서부터 확산하며 구상나무 등 고산 침엽수종은 점차 사라지고 있다. 온도 상승으로 인한 생장 둔화로 산림의 이산화탄소 흡수량도 점차 감소하는 것으로 파악되고 있다. 나무가 나이가 들수록 생장량과 이산화탄소 흡수량이 줄어들지만, 탄소 저장량은 계속 증가한다는 것은 이미 과학적으로 증명되었지만 사회적 공감대를 얻는 데 한계가 있어 보인다.

08 주류화와 지속가능성

자연기반해법은 지속가능발전 목표, 기후변화, 생물다양성 등과 연계되어야 하고, 개인, 조직, 국제 네트워크 간 소통을 통해 주류화되어야 한다.

우리의 산림복구는 산림파괴로 인한 재난위험경감, 식량문제해결 등의 국내외적 이슈와 강한 연계성을 지녔으며, 국제사회의 원조하에 국가와 국민이 새마을 운동과 함께 이행했다는 측면에서 강한 주류화를 지녔다. 그러나 위에서 언급하였듯이 현재 우리나라의 산림관리는 모든 것을 다 하고자 하는 정책 속에서 제대로 된 주류화 경로를 찾지 못하고 있는 실정이다.



새로운 산림관리의 필요성

현재와 같이 ‘모든 것을 다하는’ 또는 ‘다해야 하는’ 산림관리를 위해서는 ‘산림’ 그 자체의 한계를 알아야 한다. 우리나라 산림의 68%는 개인의 자산이면서 토지를 기반으로 하는 임업의 대상이다. 그러나 국토 측면에서 보면, 산림은 다양한 생태계서비스를 제공하는 공익자산이기도 하다. 개인의 경제적 이용권과 공공의 환경적 이용권이 상충하는 곳이 산림이다. 산림정책은 이를 고려해야 한다.

필자는 우리나라의 과거 산림복구 자연기반해법에 부합되지만, 모든 것을 다해야 하는 현재의 산림관리는 자연기반해법에 부합되지 못하는 원인을 ‘필지 단위로 이루어지는 산림관리’로 본다. 산주의 요청에 의해 소규모 필지 단위로 인허가가 이루어지는 현재의 산림관리는 임업소득 및 지역발전은 물론 기후변화 및 재난대응 등 사회문제 해결에 기여하지 못하는 것이 현실이다.

필지 단위로 이루어지는 분절형 산림관리를 유역 및 경관 단위로 이루어지는 연계형 산림관리로 전환하는 것이 필요하다. 그리고 유역을 단위로 하는 경영구별로 토지 기반의 임업을 통해 자연기반해법의 8가지 원칙이 이루어지도록 해야 한다.

본고에서는 유역, 마을, 지역 단위로 이루어지는 소위 ‘기후스마트임업(Climate Smart Forestry: CSF)’을 제안하고자 한다. 즉, ‘기후스마트임업’을 추구하면서, 자연기반해법 8원칙 차원의 산림정책과 과학적 방법을 제시하고자 한다. 현재 이슈와 문제해결형의 임업을 추구하면서, 공간적으로 유역 기반, 행정적으로 기초지자체 및 임업공동체, 과학적으로 시공간 정보 기반 토지관리에 대한 과학과 정책을 살펴본다.

2

기후변화시대의 산림 및 임업의 역할

- 기후변화시대의 토지관리
- 기후변화시대의 흡수원관리

기후변화시대의 토지관리

우리 인류에게 많은 편익을 가져다주는 2·3차 산업이 온실가스 배출원(source)인 데 비해, 식생이 있는 토지는 온실가스 흡수원(sink)으로 인정되고 있다. 국제사회에서는 산림지(forest land), 농경지(cropland), 초지(grassland), 습지(wetlands), 정주지(settlements), 기타 토지(other land) 등을 온실가스 흡수원으로 보고, 이들을 ‘토지이용, 토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land Use Change and Forestry: LULUCF)’ 범주로 묶어 온실가스 산정체계에 포함하고 있다.

탄소흡수원은 기본적으로 대기 중의 이산화탄소(CO₂)를 흡수하여 광합성을 통해 나무와 토양에 탄소(C)를 저장함으로써 온실가스 감축에 기여하고 있다. 세계자연보전연맹(IUCN)에 따르면 지구의 산림면적은 전체 육지 면적의 약 1/3 정도이며, 매년 약 26억 톤의 이산화탄소를 흡수하여 기후변화대응에 기여하고 있다(IUCN 2021). 우리나라에서도 국토의 2/3(63%)를 차지하고 있는 산림으로부터 2019년 기준 4,320만 톤의 이산화탄소를 흡수하는 것으로 보고되고 있으며, 이는 우리나라 국가 총배출량(7억 140만 톤)의 약 6.5%를 차지하는 양이다.

그러나 잘못된 토지관리는 배출로도 이어진다. 기후 변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)의 「기후변화와 토지 특별보고서」에서는 토지이용으로 인한 온실가스배출량(AFOLU)이 총배출량의 23%에 달하는 것으로 추정했고, IUCN은 세계 이산화탄소 배출량의 약 25%가 토지 부문에서 발생하는 것으로 보고하고 있다(IUCN 2021). 우리나라에서도 2019년 기준으로 농경지에서 410만 톤, 습지에서 30만 톤 배출되는 것으로 보고되고 있다. IPCC에서는 토지 기반 흡수원의 역할 없이는 탄소중립 달성을 불가능하다고 보고하고 있다. 따라서 탄소중립 달성을 위해서는 배출원으로부터의 배출량을 줄이는 것뿐만 아니라 산림 등의 토지 기반 흡수원(sink)으로부터 배출량은 줄이고 흡수량을 늘려서 순흡수량을 최대화해야 한다(이우균 외 2022).

표 2 '19년 LULUCF 분야 온실가스 배출·흡수량('21년 NIR 기준)

(단위: 백만 톤CO₂eq)

분야	부문					배출·흡수총량		순흡수량
	산림지	농경지*	초지	습지*	기타 (수확된 목재제품[HWP**])*	배출	흡수	
LULUCF	-43.2	4.1	-0.01	0.3	-0.7	4.4	-44.0	-39.6

* 음수는 흡수량, 양수는 배출량. 농경지와 습지에서는 배출하는 것으로 나타남.

** HWP: harvest wood product

출처: 환경부 온실가스종합정보센터, 2022. 2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서.

우리나라 2050 탄소중립계획에서는 에너지, 산업, 건물, 수송, 폐기물, 농축수산 등의 배출원과 LULUCF 흡수원으로 구분하여 ‘순배출영점화(Net Zero Emission) 전략’을 제시하고 있다. 여기서 ‘토지’ 측면에서 눈여겨볼 부분은 ‘농축수산’과 ‘흡수원’ 부분이다. 농축수산은 1차 산업으로서 배출원으로 분류되지만, 농축수산의 생산 기반인 농지, 초지 등은 흡수원으로 구분되고 있다. 농축수산에서 ‘임업’이 빠진 것을 보면, 산림은 배출량 없는 100% 흡수원으로 간주하는 것으로 이해된다. 임업을 온실가스관리 산업으로 보지 않으면서 임업의 생산 기반인 산림자원만 흡수원관리의 대상으로 보고 있다. 즉, 흡수원을 산업으로 관리할 것인지, 또는 자원으로 관리할 것인지가 명확하지 않은 것이다.

국제사회가 흡수원을 LULUCF라는 용어로 부르는 이유는 ‘토지를 이용하고, 그 변화를 파악하면서 흡수원을 관리’해야 하기 때문이고, 이에 따르면 산림지의 흡수원은 임업(Forestry)을 통해 관리해야 한다. 즉, 산림지, 농경지, 초지, 습지 등의 토지를 기반으로 하는 임업, 농업, 축산업, 수산업 등의 산업을 통해 흡수원을 관리해야 한다. 따라서 우리의 탄소중립계획에서도 토지 기반의 산업을 통해 흡수원의 관리 방향이 정립되어야 할 것이다. 그러나 우리나라 면적의 80% 이상을 차지하고 있는 산림과 농지는 소규모필지 단위로 구분되어 있고, 그에 따라 산지 및 농지를 기반으로 하는 임업 및 농업은 소규모로 분산되어 이루어지는 것이 현실이다. 이러한 상황에서는 규모를 갖춘 체계적인 흡수원관리는 어렵기 마련이다. 이를 극복하기 위해서는 과학적으로는 유역 및 경관(watershed and landscape) 단위로 흡수량 및 배출량을 분석하고, 행정적으로는 농림업의 일선 부처인 기초지자체 단위에서 토지 기반의 산업으로 흡수원을 관리하는 것이 필요하다.

기후변화시대의 흡수원관리

기후변화 및 탄소중립 시대에는 소위 ‘3S형 산림관리’가 되어야 한다. 즉, 산림을 흡수원(sequestration), 저장고(storage), 대체재(substitute) 차원에서 관리하는 것이다. 흡수원으로서의 산림을 잘 관리해야 한다는 것은 분명하다. 그러나 우리나라는 그 흡수원이 나이가 50이 넘어 가면서 점차 그 흡수기능이 떨어지는 문제를 안고 있다. 70-80년대 황폐산림복구 차원으로 조림된 숲이 이제는 성숙기에 접어드는 것이다. 수확기의 산림은 ‘저장고’로서의 역할은 충분하지만 흡수기능은 젊은 숲에 비해 현격히 떨어진다. 따라서 수확기에 도달한 산림에서는 목재를 생산하고 그 자리에 신규조림을 하는 것은 흡수량 증진뿐만 아니라 타 산업, 건물 등 부문에서의 배출을 줄이는 것으로 이어지는 효과가 있다(김영환 2023b). 장수명 목재로 온실가스를 많이 배출하는 제품을 대체하면 궁극적으로는 온실가스 배출을 줄이게 되는 것이다. 즉, 산림에 저장된 탄소를 사회로 이동하는 ‘대체재’의 역할이다.

이러한 3S형 산림관리를 ‘산림을 기반으로 하는 산업’, 즉 임업을 통해 이루어질 수 있도록 해야 한다. 우선, ‘흡수원’ 관리를 위해서는 전통적인 조림산업이 필요하다. 흡수능력이 우수하면서도 기후변화에 강한 우수 종자 및 묘목을 생산하는 산업이 필요하다. 또한, 기후변화에 따라 침엽수종의 쇠퇴와 아열대 수종의 진입이 우려되는 상황을 고려하면 이를 극복하기 위한 ‘산림조성업’도 절실히 필요한 상황이다. 또한, 유흥지 숲 조성, 훼손지 복원 등을 위해서는 ‘산림생태복원산업’도 임업적 차원에서 활성화되어야 한다.

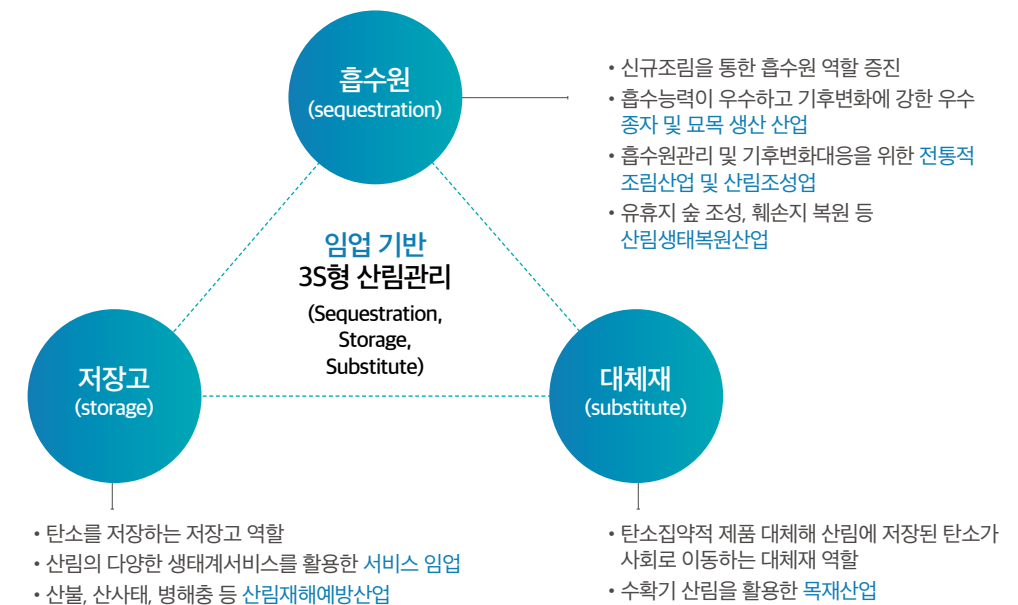
‘저장고’인 산림은 물공급, 생태적 서식처, 산림 휴양 등 다양한 생태계서비스를 제공한다. 잘 가꾼 산림으로부터 나오는 다양한 생태서비스를 활용한 ‘서비스임업’도 산업으로 자리매김해야 한다. 2050 탄소중립 시나리오에서도 ‘사유림에서 발생하는 공익적 가치를 합리적으로 평가하고, 이에 합당한 지원과 보상대책을 마련하는 노력이 필요하다’라고 지적하고 있다. 또한, 저장고인 산림이 산불, 산사태, 병해충 등의 재해로 인해 배출원으로 이어지지 않게 하는 ‘산림재해예방산업’도 절실한 상황이다. 현재 우리나라의 산림에서는 산불이 났을 때 1년 흡수량의 10배에 해당하는 온실가스가 배출되는 것으로 알려져 있다. 한 번의 산불만으로도 탄소중립의 이행은 요원해질 수 있

는 것이다.

‘대체재’ 차원의 산림관리를 위해서는 소위 ‘목재산업’이 활성화되어야 한다. 국내 목재 수요의 대부분을 수입목재가 차지하는 상황에서 ‘국산목재시장’의 활성화는 매우 절실하다. 많은 산림이 조만간 수확기에 접어드는 상황을 고려하여 국산목재의 생산-가공-유통을 담당하는 국산목재시장이 활성화되어야 한다.

이와 같은 산림을 기반으로 하는 다양한 ‘3S형 산림산업’이 다양한 탄소중립정책과 연계하여 기술력, 수익성, 시장성 측면에서 활성화될 때 2050 탄소중립의 이행은 가능하게 될 것이다.

그림 3 기후변화대응을 위한 3S형 산림흡수원관리



3

한국 임업의 과학 및 정책적 한계

- 한국 임업의 과학적 한계
- 한국 임업의 정책적 한계

한국 임업의 과학적 한계

국내 임업의 과학적 한계는 일정 규모 이상의 산림을 순환형 임업으로 관리하는 기술적 체계를 갖추고 있지 못하다는 데 있다.

01 필지 단위의 파편화된 산림관리

우리나라 산림관리는 기본적으로 일정 규모로 구획되는 경영 단위(management unit), 즉 임반(compartment) 및 소반(sub-compartment) 단위로 관리하게 되어 있다. 임반은 능선, 계곡 등의 지표면의 자연상태에 따라 구획되며 100ha 이상으로 구획되도록 되어 있다. 그리고 소반은 같은 임반이라도 임상 등이 확연히 구분될 때 소면적 단위로 구획되게 되어 있다. 따라서 임업에서는 임반이 하나의 경영 단위이다. 국유림에서는 이러한 지침이 어느 정도 지켜지고 있지만, 소규모 지번(필지) 단위로 소유되고 있는 사유림은 임소반 단위로 산림관리가 이루어지지 못하고 있다(곽두안 2023b). 하나의 임반이라도 수십, 수백 개의 지번으로 쪼개져 있는 현실이고, 그 지번 단위로 산림을 관리해 오다 보니, 수종구성도 작은 면적 단위로 파편화되어 있는 현실이다.

02 일정 규모단위의 순환형 산림관리체계 미흡

이러한 파편화된 임상 및 지번을 일정 규모단위로 묶어 하나의 경영 단위로 하여 산림을 관리하고, 그것으로부터 임업을 유지하는 기술이 미흡하다.

우리나라 산림은 국유림 25.5%와 지자체 소유의 공유림 7.4%, 사유림 67.1%로 구성된다. 경제적 측면에서 사유림의 문제는 소유 규모의 영세성에 있다. 2020년 기준, 사유림의 평균 소유 규모는 1.9ha이다. 소유 규모 분포를 보면 소유자의 67.5%가 1ha 미만을 차지하며, 3ha 미만 86%,

10ha 미만은 97%에 이른다. 부재 산주 비율이 높다는 것도 산림경영의 어려움을 방증한다. 2020년 부재 산주 비율은 49%, 이들이 소유한 산림면적은 54.8%에 이른다. 시군 기준으로 하면 부재 산주 비율은 70%에 육박한다. 또한 우리나라에서는 임목 가격의 수익성도 낮은 것으로 파악된다.

임도 등의 인프라가 부족한 것도 산림경영 비용은 높고 수익성은 낮은 이유로 파악된다. 우리나라의 임도 밀도는 2020년 기준 3.36m/ha로 독일 46m/ha, 오스트리아 45m/ha, 일본 13m/ha 등에 비하면 매우 낮은 실정이다.

국가적으로는 대부분의 산림이 30~50년생으로 아직 생산기에 접어들지 못했다는 문제가 있다. 우리나라의 연간 목재 소비량은 2020년 기준 약 2,800만m²인데, 국산목재가 차지하는 비율은 16%에 불과하다. 목재시장이 수입재 위주로 형성되면서 국산재의 시장 경쟁력은 상대적으로 낮은 실정이다.

이러한 저수익성 임업에서 탈출하려면 '순환형 임업'이 적극 활성화되어야 한다. 순환형 임업의 핵심은 대기 중의 이산화탄소를 흡수하여 탄소 형태로 저장하고 있는 수확된 목재제품(harvest wood product: HWP)을 적극 활용하는 것이다. 탄소를 저장하고 있는 목재제품이 온실가스를 많이 배출하는 제품(철강, 시멘트 등)을 대체하면 사회 전체적으로는 온실가스를 줄이는 효과가 있다(김영환 2023a). 이러한 효과가 시장에서의 거래로 내부화된다면 산림경영의 경제성이 향상될 것이다. 다만, 이에는 '조림-숲가꾸기-목재 생산-이용-조림'으로 이어지는 순환이 산림생태계의 건강성을 유지하면서 이루어져야 한다는 전제가 필요하다.



한국 임업의 정책적 한계

우리나라 산림 중 국유림은 5개 지방청 산하의 25개 관리소 단위로 관리되고 있으며, 사유림은 기초지자체가 행정적 관리주체이다. 우리나라의 산림계획제도는 전국 단위의 산림기본계획/산지기본계획, 광역 단위의 지역산림계획/산지지역계획, 그리고 임소반 및 지번 단위의 영림계획 구조로 되어 있다. 전국 및 광역 지자체 단위 계획이 총괄 계획이라면 영림계획은 상세 계획으로 볼 수 있다.

사유림행정의 일선 부서인 기초지자체 단위의 '시군 단위 지역산림계획'이 부재한 상태이다. 지번 단위의 영림계획은 의무사항이 아니다. 따라서 산림관리의 인허가권을 가지고 있는 기초지자체에서는 자체적인 산림관리마스터플랜 없이 산주별로 신청되는 산림관리를 해당 법규에 의해 인허가 해주고 있는 실정이다. 이에선 다음과 같은 심각한 문제가 연관된다.

01 산림계획 간 비연계성

전국 단위의 산림기본계획/산지기본계획은 20년 단위로 작성된다. 지역산림계획/산지지역계획은 산림기본계획/산지기본계획에 따라 광역지자체의 특성을 고려하여 작성하게 되어 있다. 여기까지는 기후변화 같은 국제 및 국가 이슈가 반영될 수 있다. 그러나 산림행정의 일선 부서인 기초지자체 단위의 '시군산림계획'이 없는 상태에서는 상위 계획에 있는 기후변화 관련한 내용이 반영될 여지가 없게 된다. 산주별로 신청되는 산림사업계획이 기후변화대응에 부합되는지를 검토할 수 없는 것이다.

자연기반해법 산림관리를 위해서는 산림계획 간의 연계성을 확보하는 것이 중요하다. 현재 각 산림계획 간의 연계성은 그리 크지 않다. 특히 사유림관리의 실무 행정부처인 기초지자체(시군) 단위의 '지역산림계획'은 존재하지 않는다. 도 단위, 광역지자체 단위의 지역 산림 및 산지 계획 다음에 바로 임소반 단위의 영림계획이 있는 상황이다.

02 비거버넌스형 국가산림계획

전국 단위의 산림 및 산지 기본계획의 작성책임자는 산림청장, 광역 단위로 이루어지는 지역 산림 및 산지 계획은 광역지자체장이 작성책임자이다. 이 두 계획은 국가기구에 의해 작성되면서 임업의 주체인 산주 및 지역주민의 의견이 반영될 여지는 크지 않다. 즉, '임업'을 위한 방향성이 제시되지 못하고 있다. 임업주체와의 거버넌스를 통해 임업 부문의 내용이 포함될 수 있는 시군산림 계획은 존재하지 않음으로써 '임업'이 국가 차원의 산림계획에 반영될 수 없는 것이다.

우리나라 사유림의 조림, 숲가꾸기, 간벌, 벌채 등의 행정은 시군에서 담당하는데, 관할구역에 대한 산림계획이 없는 상태에서 개별 산주의 요청을 인허가하는 형태로 산림을 관리하고 있다. 이러한 형태로는 일정 규모로 설계해야 하는 자연기반해법의 원칙을 충족하기 어렵다.

본래 산림관리는 넓은 지역을 대상으로 하는 것이다. 최소한 유역 단위는 되어야 한다. 그래야 규모의 경제를 갖춘 산림경영이 가능하며, 환경생태적으로 건강하고, 온실가스를 잘 흡수하고 저장하며, 재해에서도 안전한 산림을 유지할 수 있다(곽두안 2023b). 파편화된 산림 소유와 그를 기반으로 이루어지는 산림관리는 경제, 환경생태, 온실가스 흡수원관리, 재해예방에 도움이 되지 못한다. 그런데 현재 우리나라 산림의 67%를 차지하는 사유림의 관리는 지번에 기반하여 파편적으로 이루어지고 있다. 한 개 유역의 산림이 수백 또는 수천 개의 지번으로 쪼개져 있으며, 소유는 분산-파편화 되어 있고, 면적 또한 소규모이다. 이런 상황에서는 아무리 좋은 산림정책이 있다 하더라도 현장에서는 그에 부합하는 산림관리를 할 수 없다.

03 단절된 산림정보체계(과학과 행정의 이원화)

산림으로부터 흡수되는 이산화탄소량과 저장된 탄소량이 국제적으로 인정받기 위해서는 측정-보고-검증(Measuring, Reporting, Verifying: MRV) 차원에서 산림관리이력이 증명되어야 한다. 국제사회에서는 '관리된 산림(managed forest)'으로부터의 탄소량만 인정되는 추세다. 우리나라의 유림관리가 기초지자체별로 이루어지는데, 그 관리이력이 광역 또는 산림청 단위로 연계되어 통합되지 않고 있는 상황에서 산림관리이력이 기후변화대응 측면에서 통합관리되지 못하는 실정이다.

탄소중립과 관련하여 최근 중요하게 대두되는 흡수원의 거버넌스에도 혼선이 존재한다. 우리나라에서는 환경부 산하 온실가스종합정보센터(Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea: GIR)를 중심으로 국가 인벤토리 통계를 산정해 매년 보고서를 발간한다. 온실가스종합정보센터는 국가 온실가스를 배출량 및 흡수량, 국가 고유 배출계수, 온실가스 관련 정보를 개발·검증하는 체계로 운영한다. 온실가스 산정·보고·검증하는 조직체계에서 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물과 함께 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(LULUCF) 분야를 흡수원으로 하고 있다. 산림과 관련된 LULUCF 분야의 총괄기관은 환경부이지만 부문별 산정기관은 농림축산식품부와 국토교통부 산하 연구소가 맡고 있다. 부문별로 살펴보면 산림은 국립산림과학원, 습지는 환경부, 농경지는 국립농업과학원, 초지는 국립축산과학원, 정주지는 국토교통부의 LH토지주택연구원이 산정기관으로 지정되어 있다. 이들 산정기관 간의 정보통합이 이루어지지 못하고 있어 국가 온실가스 보고의 완결성(completeness)과 호환성(compatibility)을 이루지 못하고 있는 실정이다.



4

기후스마트임업

- 기후스마트임업의 정의
- 기후스마트임업 해외사례
- 기후스마트임업 국내사례

기후스마트임업의 정의

기후변화에 대응하기 위한 토지이용 분야의 노력은 다양한 형태로 이루어지고 있는데, 그중 하나가 '기후스마트 X(Climate Smart X)'이다. X는 기후스마트활동의 대상이 되며, 대표적인 것으로 '디자인', '농업' 등을 들 수 있다

'기후스마트디자인(climate smart design)'은 토지 관련 설계 및 계획에서 기후변화대응적인 요소를 고려하자는 것이다. 즉, 온실가스배출을 줄이면서도 이상기후로 인한 불편이나 재난을 줄이는 디자인 방식이다. 토지이용 및 개발이 온실가스배출로 이어지고 각종 재난을 유발시킬 수 있는 기존의 우려를 반영한 개념이다. 친환경 디자인에서 기후변화대응(저감과 적응)에 좀 더 적극적인 방향으로 진화한 것으로 이해할 수 있다.

'기후스마트농업(climate smart agriculture)'도 농업 부문에서 배출을 줄이면서 기후재난을 줄이고 식량 안보 및 국가 발전에 기여하는 농업을 의미한다(FAO 2010). 기술적으로는 배출을 하는 농업에서 벗어나고, 기후재난으로부터 덜 취약한 농업을 하자는 것이다. 이 역시 친환경 농업에서 기후변화대응(저감과 적응)에 좀 더 적극적인 방향으로 진화한 것으로 이해할 수 있다.

같은 선상에서 '기후스마트임업(climate smart forestry)'은 토지(임지)를 기반으로 하는 임업에서 배출을 줄이면서 흡수량은 증진시키고, 산불, 산사태, 병해충 등의 기후재난을 줄이면서, 생태계서비스 및 생물다양성 등 산림기능 간 동반효과를 추구하여, 궁극적으로는 사회 및 국가 발전에 기여하는 것으로 이해될 수 있다.



기후스마트임업 해외사례

61 유럽의 기후스마트임업

기후스마트임업은 2015년 유럽산림연구소(European Forest Institute)의 연구보고서에서 제안되었다(Nabuurs et al. 2015; 2017), 유럽산림으로부터 흡수량도 증가시키고, GDP, 에너지 안보 등 경제 및 사회 발전에도 기여하는 것을 지향하고 있다. 이의 시작은 유럽의 기후정책프레임워크에 산림의 온실가스 잠재력이 포함되어 있지 않고, 기후 목표가 산림 부문에 연계가 되어 있지 않다는 문제인식이었다. 이렇게 준비된 유럽 기후스마트임업의 핵심은 기후변화의 저감과 적응이 유럽의 입법정책과 산림관리에 주류화가 되어야 한다는 것이다. 그러면서 지역의 특성에 맞게 적용되어야 하고 다른 정책과 시너지를 내어야 한다는 것이다.

주목할 만한 점은 목표를 달성하기 위해 보조금이나 세금 면에서 지원제도를 운영할 것을 권고하고 있으며, 보조금의 경우에는 산림소유자 간의 협력(예를 들면 일정 규모 이상의 산림관리 등), 그리고 탄소저장고인 장수명 목재제품 활용 등에 적용할 것을 권고하고 있다. 또한, 기후스마트임업의 이행이 지역발전프로그램(Rural Development Programmes)이나 유럽의 공동농업정책(Common Agricultural Policy)과 연계되어야 함을 강조하고 있다.

62 핀란드의 기후스마트임업

핀란드에서의 기후스마트임업이란 산림과 임업의 측면에서 탄소의 흡수 및 저장 능력을 향상시키는 기술을 말한다. 여기에는 시비, 배수, 개량된 종자 및 묘목을 통한 갱신조림 및 벌채 후 최대한 빠른 시일 내의 재조림, 생산성이 낮은 산림의 갱신 및 재조림을 포함한다. 산림의 탄소흡수는 벌기령의 연장, 이탄지 관리, 배수가 불량한 임지에 대한 복원 등을 통해서 개선시키며, 산림생장이 느린 지역이나, 특별한 특성이 있는 임지의 경우 탄소저장고로서 역할을 하도록 하고 있다(김오윤 2022).

03 USDA의 기후스마트 농업 및 임업 (Climate smart agriculture and forestry)

미국 농무부(United States Department of Agriculture: USDA)에서는 탄소중립을 위해서는 배출을 줄이는 저감활동 외에도 대기 중의 이산화탄소를 제거(흡수)하는 것이 필요하다는 전제하에 우리 '밭아래 있는 땅과 주변에 있는 나무'를 활용해야 한다고 강조하면서 기후스마트 농업 및 임업을 채택하고 있다. 여기에서 기후스마트 농업과 임업은 비용효과적이면서도 기후위기에 대응하면서 토양과 물을 복원하고, 생물다양성을 보전할 수 있다고 강조한다. 궁극적으로는 우리세대에게 보다 회복탄력적인 미래를 보장할 것이라고 한다. USDA의 기후스마트임업은 핀란드에서와 마찬가지로 저장고로서의 숲을 보전하면서도 흡수력 증진을 위한 과학 기반의 갱신(regeneration), 수확된 목재제품의 적극적 활용 등을 수행하고 있다. 이를 통해 미국산림의 탄소포집능력을 40% 증가시킬 수 있었다(The Hill 2021). 이외에도 산주들과 함께 기후변화대응을 위한 산림의 흡수력 증진활동, 열섬 해소 및 건강 증진을 위한 도시림관리도 기후스마트임업의 활동으로 보고 있다. 이와 같은 적절한 기술과 파트너십을 통해 기후회복탄력성과 이산화탄소 흡수력을 늘리고, 생산성을 증진시키며 환경적 편익을 유지할 수 있었다고 강조하고 있다. 궁극적으로는 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals: SDGs) 이행과도 연계되는 것으로 보고하고 있다.

04 기후스마트임업과 유사한 국제활동

'기후스마트임업'은 이미 국제사회에서 이루어지고 있다. 교토의정서에서 제안된 '신규조림/재조림 청정개발체계(Afforestation/Reforestation Clean Development Mechanism: A/R CDM)는 훼손지에 신규 및 재조림하는 경우, 탄소크레딧을 부여하는 것으로 조림행위에 경제적 인센티브를 제공하는 임업 지원의 형태로 볼 수 있다. 일종의 복구임업이다. 과거 우리나라의 산림복구도 UN의 식량 지원과 연계된 프로그램으로 이행되었다. 또한, 산림전용 및 황폐화로부터 배출을 저감하고자 하는 'REDD(Reducing Emission from Deforestation and forest Degradation)'도 산림을 보호하는 일종의 환경임업으로 볼 수 있다. 이러한 사업은 기후변화 대응 차원에서 이루어진다는 면에서 기후임업 또는 기후스마트임업으로 볼 수 있다. 임업이라는 산업적 측면에서 보면, 이러

한 국제적 프로그램은 비시장적 접근이라는 한계를 지니고 있다. 나무를 심는 것이나 산림을 보전 및 보호하는 것이 수익이 발생된다면, 굳이 국가적 또는 국제적 지원프로그램은 없어도 된다. 그러나 나무를 심거나 산림을 보전 및 보호하는 것보다는 타 용도로 전용하거나 훼손하는 것이 더 경제적인 현실에서 보조정책은 필수적이다. 어떻게 보조하는가가 문제다. 따라서 기후스마트임업을 가능하게 하기 위해서는 시장적, 비시장적 정책이 동시에 마련되어야 한다.

기술 및 과학적인 측면에서도 기후스마트임업에 대한 방법이 마련되어야 한다. 기후스마트임업이 가능하기 위해서 산주 또는 지역의 사적 이해와 사회의 공적 이해 간의 간극이 좁혀져야 한다. 이를 위해서는 기후스마트임업은 지역 차원(regional/local level)으로 이루어져야 한다. 기후 그 자체는 일정 공간규모이상의 지역적 차이를 보인다. 우리나라의 경우 기온 및 강수량 등의 기후는 최소 30km 이상 되어야 의미 있는 차이를 보인다. 이러한 기후의 특성을 반영하는 기후스마트임업은 하나의 기후 단위를 이루는 공간규모별로 관리되어야 한다. 이러한 공간규모를 고려하여 국제사회에서는 경관임업(landscape forestry), 공동체임업(community forestry) 등을 개발도상국에 도입하는 사업을 하고 있다. 이러한 공동체임업은 한국농촌경제연구원에 의해 '지역임업'으로 소개된 바 있다(민경택 외 2014; 석현덕 외 2015). 여기서는 지역기반 산림관리를 '지역에 있는 산림을 인근 지역에 거주하고 있는 주민들이 주민 공동의 의견에 따라 이용 또는 관리하는 것'으로 정의하였다. 그리고 정부 주도의 일방적 산림정책으로 인해 발생하는 문제점을 해결하고, 우리나라 현실에 맞는 지역기반 산림관리 정책방안을 제시하고자 하였다. 한국형 지역기반 산림관리가 반드시 담아야 할 속성으로는 '산림자원의 경제적 활용 및 6차 산업화'와 '산림의 다원적 기능을 활용한 산림복지 증진'을 선정하였다(석현덕, 안선진 2013). 또한, 한국형 지역기반 산림관리의 활성화 위해서는 단기적으로 커뮤니티를 구성하고, 내실화를 다지는 작업이 필요함을 지적하고 있다. 일본에서는 (사)국토녹화추진위원회의 주창으로 국민참가형 산림관리가 2000년대에 실행된 바 있다(장철수 2014). 중앙정부 위주의 획일적인 산림관리에서 지자체를 중심으로 지역의 특성과 수요를 고려하여 지역민들이 자발적으로 참가하는 범국민적 활동이다. 사례 지역에서는 산주와 임업사업체를 중심으로 한 목재생산 위주의 관리에서 벗어나, 지자체, 지역주민, 그리고 기업이 함께 참여하여 산림의 다양한 기능이 발휘되도록 산림을 관리하는 체제로 관리하고 있다. 주목할 만한 것은 기업의 참여이다. 기업의 사회적 책임을 넘어서 이미지 제고, 탄소배출권 확보 등의 실질적 이해와도 연계된다는 점이다.

기후변화대응의 한 축은 이상기후로 인한 재난을 줄이는 것이다. 산림과 관련한 기후재난은 산

불, 산사태, 병해충 등으로 볼 수 있다. 지역의 안전, 생태계서비스 유지, 탄소중립 달성을 위해서는 이러한 산림재난 발생을 억제하는 '예방'이 최선이다. 산불 및 산사태 위험예보는 보통 기상인자를 기반으로 한 예측모형(prognostic model)을 통해 이뤄지는데, 이는 넓은 면적에 대해 위험수준이 예측된다. 그러나 산불은 그 넓은 곳 중 특정 장소와 시간에 발생한다. 이를 찾아내야 한다. '연료 및 지형 조건'과 '사람활동' 측면에서 어디가 더 위험한지를 위성 및 ICT 기술로 찾아내는 진단모형(diagnostic model)을 적용해야 한다. 산불 및 산사태 재난위험경감(Disaster Risk Reduction: DRR)을 위해서는 산사태에 영향을 주는 생물리 및 환경적 요인 외에도 장·단기 기상예측 자료를 기반으로 산불 및 산사태 위험지역이 신속·정확하게 예측되어야 한다. 이때 필요한 것은 기상인자의 정확한 예측이다. 또 필요한 것은 '정확한' 생물리 및 환경인자이다. 여기서 '정확한' 것은 공간적으로 높은 해상도와 정밀성을 의미하고, 시간적으로는 가장 최신의 정보여야 한다는 것을 의미한다. 그러나 기상정보만으로 산사태를 예측하는 경우 위험지역이 넓게 예측되며, 실제 발생지역은 그 넓게 예측된 위험지역의 일부 장소이다. 따라서 위성영상 및 지상센서 정보 등을 통해 추가적인 공간정보를 활용해 산사태 발생위험지역을 정확히 진단할 필요가 있다. 기후스마트임업은 이러한 시공간의 위험을 파악할 수 있도록 시공간 정보에 기반하여 계획되고, 보고되고, 검증되는 체계로 이루어져야 한다. 항공·위성 및 지상센서 정보를 융합한 진단모형을 이용하여 산불 및 산사태 발생 위험지역을 신속하고 정확하게 예측하기 위해서는 위성정보활용 체계와 지상센서 네트워크 체계가 잘 갖추어져 있어야 한다. 우리나라에서는 국토위성, 기상위성, 환경위성, 농림위성 등의 각종 위성이 이미 운영되고 있거나 발사 예정으로 있어, 이러한 위성정보의 통합 활용 기술과 연계된 산불 및 산사태 등의 재난위험경감(DRR) 체계를 갖출 필요가 있다.

기후스마트임업 국내사례

우리나라에서 기후스마트임업이 적용된 사례는 없으며, 연구 차원으로 이루어진 것은 있다. 안현진 외(2022)는 '기후스마트 산림경영'을 '탄소흡수와 산림기능과의 동반효과를 창출하여 기후편익을 증가시키는 것'으로 보고, 탄소중립 달성을 위한 산림정책 방향을 모색하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 '건전한 산림에서 육성된 자원의 생산과 이용으로 순환되는 것을 목표로 삼고, 그 결과로 탄소흡수원이 증진되는 형태로 관점을 전환하여야 할 것'이라는 제안을 하였다. 또한, 현재보다 산림에서의 목재 생산량을 늘려야 흡수력이 증진될 것이라고 하였다. Hong et al.(2022)도 우리나라에서 탄소흡수량을 2030년 3,300만 톤으로 유지하기 위해서는 숲가꾸기 예산을 현재보다 2배로 증가시켜야 한다는 연구결과를 제시한 바 있다. 이와 같이 탄소흡수량 증진을 위한 연구는 제시되고 있으나, 그를 이행하기 위한 실질적인 방안은 아직 제시되지 못하고 있다. 다만, 기후스마트임업에 준하는 정책적 사업이 있어 여기에 소개하고자 한다.

BT A/R CDM(고성)(실증사례)

우리나라에서도 A/R CDM사업을 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)에 등록하여 관리하고 있는 사례가 있다. 2010년도 산림청에서는 우리나라에서 A/R CDM 사업대상지를 전국의 산림을 대상으로 파악하여 고성군 간성읍 흘리 일대에 대해 A/R CDM 사업 타당성을 조사하였다. 총 75ha에 해당하는 대상지에 대해 A/R CDM 계획을 수립하였으며, UNFCCC로부터 2013년도에 승인을 받았다. 총 사업면적 75ha로 비교적 작지만, 조림 및 숲가꾸기 사업이 필지 단위가 아닌, 몇 개의 집수구를 포함하는 규모로 이루어졌고, 그 전체 면적에 대한 탄소흡수량이 계산되었다는 점에서 우리나라에서의 국제적으로 등록된 '기후스마트임업'이라 볼 수 있다. 또한, 효과적인 실행을 위해 시업지 정부 조직인 동부지방산림청, 산주 조직인 고성군산림조합, 연구진행의 고려대학교 기후환경학과, 사업주체인 SK임업 등이 공동산림

사업협약서를 체결한 것은 기후스마트임업의 거버넌스구축의 국내사례로 볼 수 있다.

그림 4 국내 A/R CDM 사업을 위한 공동산림사업약서

탄소배출권조림 시범사업의 성공적 추진을 위한 공동산림사업 협약서(변경)

동부지방산림청과 고성군산림조합, 고려대학교 기후환경학과/BK21+ 에코리더 양성사업단, SK임업㈜는 대기 중 온실가스 저감 노력에 산림의 중요성을 함께 인식하고 탄소배출권조림(A/R CDM) 국내 시범사업을 『공동산림사업』으로 추진하기 위하여 다음과 같이 협약을 체결한다.

◆ 공동산림사업 개요

- 사 업 종 : 산림청이 주관하는 기후변화 대응 산림정책 연구개발 사업
- 세부사업종 : 탄소배출권조림(A/R CDM) 국내 시범사업
- 협약기간 : 2014년 4월 22일 ~ 2033년 4월 21일(20년, 최대 60년까지 연장 가능)
- 협약대상지 : 강원도 고성군 간성읍 홀리 산1-85번지 외 3필지(면적 : 75ha)
- 지번별 사업면적 : 산1-85번지 5.72ha, 산1-86번지 5.83ha,
산1-88번지 24.65ha, 산1-92번지 38.79ha

62 산림탄소상쇄제도(carbon offset)(정책)

산림탄소상쇄제도는 기업, 산주, 지방자치단체 등이 자발적으로 탄소흡수원 유지 및 증진 활동을 하고, 이를 통해 추가적으로 확보하는 산림탄소흡수량을 정부가 인증해 주는 제도이다. 사업 유형으로는 신규조림/재조림, 식생복구, 산림경영, 산지전용 억제, 산림바이오매스 에너지 등이 있으며, 흡수된 탄소의 거래 가능 여부에 따라 거래형과 비거래형으로 구분된다. 하지만, 현재 산림탄소상쇄사업에 참여하는 산림면적은 낮은 실정이고, 산림탄소흡수량에 대한 기반 마련이 미흡한 실정이다. 현재 산림탄소흡수량 구매 및 중개 제도를 운영하여 인증된 산림탄소흡수량의 거래를 촉진하고 있으며, 기업의 사회공헌을 위한 참여홍보 및 정보 공개 강화와 세제개편 등 방안을 마련하고 있다. 특히, 신규 방법론을 개발하여 사유림 소유자의 감축실적형 산림탄소상쇄제도 참여를

독려하고 있다.

63 자발적 탄소시장(정책)

탄소배출권을 사고파는 탄소시장은 강제성 유무에 따라 규제준수탄소시장(compliance carbon market)과 자발적 탄소시장(voluntary carbon market)으로 구분된다. 자발적 탄소시장은 탄소감축의 법적 구속력이 없는 상황에서 ESG 등 사회적 책임, 탄소중립 달성 등을 위해 거래하는 시장이다. 우리나라에서는 '22년 새정부에너지정책 방향에서 기업의 ESG 차원 및 민간주도형의 자발적 감축시장의 활성화를 확정하였다. COP27에서도 자발적 탄소시장 확대에 대한 약속이 이루어져 향후, 국내외적으로 자발적 탄소시장이 활성화될 것으로 보인다. 이러한 상황에서 국외에서는 ART-TREES, LEAF Coalition 등의 자발적 탄소시장 활동이 이루어지고 있으며, 이러한 것들이 기후스마트임업으로 볼 수 있다. 국내에서도 REDD+, 조림 및 재조림, 산림경영, 목제품활용, 기후재난 저감 등의 기후스마트임업이 활성화될 수 있을 것이다.

64 2030 국가온실가스감축목표(NDC), 2050 탄소중립계획, 산림탄소중립계획

우리나라에서는 국가온실가스감축계획과 탄소중립계획에서 '흡수원'이 추가되었다. 2030 온실가스감축목표에서 2030 감축목표(2억 9,100만 tCO₂)의 11%(3,200만 tCO₂)를 산림 부문에서 기여하는 것으로 되어 있다. 이를 위해 1) 산림순환경영활성화로 산림의 흡수량을 증진, 2) 국산목재이용을 활성화하여 탄소저장량을 확대, 3) 산불, 산사태 등 산림재해를 최소화하여 탄소배출 저감, 4) 개도국 산림전용 및 황폐화를 억제하여 국제감축량 확보, 5) 산림부문 탄소흡수량 산정을 고도화 등의 정책을 수립하고 있다

2050 탄소중립계획에서는 산림 부문에서 2050 국가 탄소중립 목표 중 흡수량 2,360만 tCO₂가량을 기여할 것으로 보고 있다. 이를 위해 1) 흡수원 확충, 2) 경제림육성단지와 목재생산림을 중심으로 산림순환경영 활성화, 3) 국산목재와 산림바이오매스 이용 활성화 4) 산림탄소흡수원 보전(산림보호지역 확대, 산림전용과 산불·산사태·병해충 재해방지) 등을 핵심적으로 추진해 나간다는 계획이다. 이와 같은 국가 단위의 2030 국가온실가스감축계획과 2050 탄소중립계획에 포함된

산림흡수원 부문을 달성하기 위해 산림탄소중립계획을 수립하였다. 이러한 산림 부문의 관리는 기후스마트임업에 대한 국가적 정책으로 볼 수 있다. 그러나 국가적 목표만 제시되었고, 그를 실행하기 위한 임업적 측면의 상세 계획은 부족한 상태이다.

05 탄소흡수원법, 탄소중립기본법

2021년 발효된 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(약칭: 탄소중립기본법)에서는 '탄소흡수원 등의 확충'(제33조)을 두고, '탄소흡수원등의 조성·확충 및 온실가스 흡수 능력의 개선을 위한 시책'을 제시하고 있다. 「탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률」(약칭: 탄소흡수원법)은 2012년 제정되어 2021년 「탄소중립기본법」 발효와 함께 개정되었다. 이 「탄소흡수원법」에는 탄소흡수원증진 종합계획수립(2장), 탄소흡수원 유지 및 증진활동(3장)의 일환으로 탄소흡수원 확충(3장 1절), 탄소저장목제품 및 산림바이오매스 에너지의 이용증진(3장 2절), 산지전용억제 및 산림황폐화방지(3장 3절) 등에 대한 내용이 담겨져 있다.

이상과 같이 우리나라에서는 기후스마트임업을 위한 법규는 마련되었다. 그러나 여기에서도 토지 기반의 산업인 임업에서의 흡수원관리를 위한 세부지침은 부재한 상황이다.



5

기후스마트임업의 가능성

- 파리기후변화협약과 1.5도 보고서
- 지속가능발전 목표
- 생태계서비스
- 자연기반해법
- ESG, TCFD/TNFD

파리기후변화협약과 1.5도 보고서

2015년에 채택된 파리기후변화협약과 2018년 발표된 1.5도 보고서에서는 토지부문에서의 흡수원관리 없이는 2050년 탄소중립 달성이 어렵다고 지적하고 있다. LULUCF의 F가 Forestry의 약자인 것은 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지 등을 임업(forestry)적으로 관리하면서 흡수원 유지 및 증진을 해야 한다는 것을 의미한다. 탄소중립 달성을 위한 기후스마트임업을 요구하는 것이다.



지속가능발전 목표

2015년 채택된 UN의 지속가능발전 목표(Sustainable Development Goals: SDGs)는 17개의 목표와 169개의 세부목표로 구성되어 있으며, 산림은 15번 목표인 육상생태계에 포함되어 있다. 산림은 식량(2), 물(6), 에너지(7), 기후변화(13), 정주지(11), 건강(4) 등의 목표와 밀접한 연관이 있으며, 이들 목표 간의 동반효과(synergy)가 나도록 관리해야 한다. 이는 산림관리에서의 다목적 경영, 지속가능한 산림경영 등과 맥을 같이 하지만, 그보다는 인류 및 지구를 함께 고려해야 한다는 쪽으로 진보된 것으로 볼 수 있다. 즉, 인류의 지속가능한 발전을 위해 산림의 역할이 중요하며, 이와 같은 인류문제를 해결해야 한다는 측면에서 기후스마트임업과 관련성이 깊다.



생태계서비스



생태계는 다양한 기능(function)을 가지는데, 이 기능이 사람과 사회에 무료로 발휘되는 것을 생태계서비스(ecosystem service)라 부른다. 산림생태계는 목재 등의 공급(provision), 농업용수 등의 지원(support), 기후완화 등의 조절(regulation), 휴양 등의 문화(culture) 등의 서비스를 제공한다. 이러한 서비스는 임업의 수익으로 이어지지 않는 상태에서 현대사회의 발전과 함께 사람 및 사회로부터 강하게 요구되고 있다. 각종 규제만으로 생태계서비스를 유지하는 것은 생태계를 이루는 토지의 이용에 대한 사회적 갈등을 유발할 수밖에 없다. 우리나라에서도 산림에 대한 다양한 이해관계가 얽혀져 있어, 심고-가꾸고-목재 생산하는 산주들의 임업활동이 크게 제약받고 있는 상황이다. 이를 해결하는 방안 중 하나가 생태계서비스를 내부화(internalization)하는 것이다. 이 것이 기후스마트임업을 통해 가능할 수 있다.

자연기반해법

‘자연기반해법(Nature-based Solution: NbS)’이란 인간기술 중심의 문제해결에 기술적, 제도적, 재정적 한계가 커짐에 따라 자연이 가지고 있는 능력을 활용하여 자연문제를 해결하고자 하는 개념이다. 즉, 자연에 의해 영감을 받고 지원되는 동시에 환경적, 사회적, 경제적 이익을 제공하고 회복탄력성(Resilience)에 도움을 주는 방안이라고 할 수 있다. 대표적인 사례로는 옥상녹화, 자연 빗물순환 관리, 녹지공간 조성, 녹화벽 등이 있다.

파리협정이 본격적으로 논의되기 전에는 흡수원으로서의 산림 복원 및 관리에 대한 의제가 활발하게 논의되었다. 그러나 최근에는 파리협정 제4조의 Net Zero의 한 축으로 산림이 다루어지고 있으며, 시장, 투명성 등과 같은 관련 의제에 함께 포함되어 다루어지고 있다. COP26 의장국인 영국은 이와 관련하여 협상의제는 아니지만, 자연기반해법을 2021년 11월 글래스고 COP26에서 거두고자 하는 성과로 밀고 있다.

자연기반해법은 자연의 훼손을 최소화하면서 인류의 발전을 이어가야 한다는 원칙이다. 지속가능발전과 맥을 같이 하지만, 자연 및 토지 이용에 대한 구체적인 내용이 담겨져 있다. 사회문제 해결형이어야 하고, 물다양성을 고려하면서 거버넌스에 기반해야 하고, 적응형 관리를 해야 한다는 원칙 등은 기존의 소규모 임업이 아닌 일정 규모 이상의 임업을 요구한다. 기후스마트임업이다.



ESG, TCFD/TNFD



기업의 비재무적 평가를 중시하는 ESG(Environment, Social, Governance)에서는 기업의 환경에의 역할이 강조된다. 그리고 TCFD(Task force for Climate related Financial Disclosure) 및 TNFD(Task force for Nature related Financial Disclosure)에 따라 기업은 기후변화 또는 자연훼손으로부터 유발될 수 있는 기업의 위험(risk)을 평가하여 그를 재무보고에 포함시켜야 하며, 기후 및 자연 재난에 대한 기업의 대응능력을 증명해야 한다. 즉, 기후 및 재난 측면의 위험이 클 경우, 그 만큼 기업의 경쟁력은 낮아지게 된다. 따라서 기업은 기후친화적이고 자연 기반의 활동을 할 것이며, 이것을 지원하는 것이 기후스마트임업이다.

6

국내 기후스마트임업을 위한 과학 및 정책 개선안

- 유역 단위 산림관리(과학)
- 토지 기반의 농림업(정책)
- 기초지자체 단위의 기후스마트임업(정책)
- 기후스마트임업 지원을 위한 기초지자체용 MRV 정보체계

국외에서 시행되고 있는 기후스마트임업, 그리고 그 후 스마트임업과 관련이 깊은 다양한 국내외의 프로젝트는 다음과 같은 내용을 포함하고 있다.

- 기후변화대응을 위한다(저감뿐만아니라 재해예방(적응)을 포함한다)
- 수확된 목재제품(HWP) 활용을 포함한다.
- 산주소득 증대뿐만 아니라 지역발전을 꾀한다.
- 생태계서비스를 내부화하려 한다.
- 생물다양성과 함께 한다
- 국가 및 지방 단위의 상위 계획과 산림계획을 연계시킨다.
- 토지 기반의 농업과 함께 한다.

이상을 종합하면, 기후스마트임업은 1) 산주-지역-국가-전 지구 차원의 공통문제 해결을 추구한다, 2) 이를 위해 정부-지자체-지역공동체-산주 등의 협력체계를 운영한다, 3) 협력체계가 작동되기 위한 일정 규모 이상의 산림을 대상으로 한다, 4) 시공간정보 기반의 산림경영체계를 기반으로 한다 등을 충족시켜야 하는 것으로 볼 수 있다.

공통된 문제로는 토지 기반의 농림업이 국가기간산업임에도 불구하고 저소득을 벗어나지 못하고 있으며, 더욱이 산불, 산사태, 병해충 등 다양한 기후재난에 취약하여 농림업과 농산촌의 기반이 위협받고 있는 것을 들 수 있다. 그럼에도 불구하고, 기후변화를 위한 탄소중립, 물-식량-에너지 안정, 국민복지 등의 역할이 토지 기반의 농림업에 부과되고 있는 것이다.

이러한 어려움은 산주들만의 노력으로 해결되지 않는다. 또한, 국가 차원의 정책만으로도 한계가 있다. 정부-지자체-산주 간의 협력체계가 필요하며, 이 협력체계가 작동이 되기 위해서는 마을 및 지역 단위의 공동체(community)와의 연계가 필수적이다.

이러한 내용을 포함하는 기후스마트임업은 현재와 같이 소규모필지 단위로 산주의 요청에 의해 시행되는 산림관리체계로는 달성하기 어렵다. 일정 규모 이상의 산림에 대해 거버넌스형의 의사결정체계로 산림관리가 이루어질 때 기후스마트임업이 가능할 수 있다(안현진 외 2022; 임영아 외 2017).

그림 5 기후스마트임업이 추구하는 토지관리의 4가지 특징



기후변화에 대응하기 위한 온실가스 저감뿐만 아니라 산불, 산사태, 병해충 등 재해예방의 기후변화 적응도 포함하고, 토지 기반의 농업과 함께 하며 지역발전을 꾀하는 기후스마트임업을 위해서는 일정 규모를 갖추는 산림관리가 되어야 한다. 그리고 수확된 목재제품(HWP) 활용, 생태계 서비스 내부화, 생물다양성을 위해서는 ‘순환경제’의 틀로 전환된 기후스마트임업이 되어야 한다. 과학적으로는 유역 및 경관 단위로 산림을 관리하는 임업체계가 되어야 한다.

유역 단위 산림관리(과학)

임업은 조방적 토지산업이며 대면적의 산림관리를 전제로 한다. 우리나라의 산림은 능선과 계곡으로 구분될 수 있으며, 유역(watershed) 단위의 산림관리가 가능하다. 유역은 대-중-소유역으로 구분되는데, 200ha 정도로 구획되는 우리나라의 경영 단위 임반규모로 보면, 물이 모이며 평균 200ha 정도의 면적을 갖는 집수구역(basin)이 하나의 경영 단위로 적절하다. 이러한 집수구역이 모인 소유역 및 중유역 단위로 이어지는 기후스마트임업 실행이 가능하다.

그림 6 유역 구분도

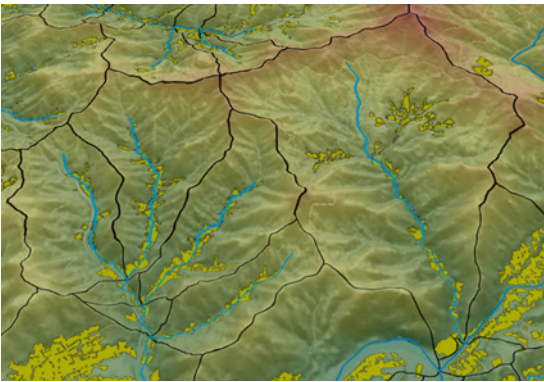


표 3 유역, 집수구역, 산림경영단위, 마을의 평균면적

단위	면적
표준유역	12,000ha
집수구역	267ha
임반	267ha
리	584ha



이러한 유역 단위의 기후스마트임업을 위해서는 기상정보와 지표면 정보가 통합되어 운영되는 통합정보체계가 필요하다. 현재 필자의 연구실에서는 기상자료는 1km, 지표면 자료는 100m 단위로 통합관리할 수 있는 스마트산림경영시스템을 갖추고 있다. 이러한 격자 단위가 집수구역 별로 관리될 수 있도록 되어 있다. 하나의 집수구역에서는 흡수량 및 생물다양성 유지 및 증진을 위한 조림-숲가꾸기-생산의 순환산림경영이 계획되고, 산불, 산사태 등의 기후재난예방을 위한 재난위험 및 저감계획 등이 수립될 수 있다. 기후스마트임업을 위한 과학적 기반이다.

토지 기반의 농림업(정책)

우리나라의 산림은 대부분 농지와 인접해 있으며, 서로 인접한 산림과 농지가 국토면적의 80% 정도를 차지한다. 그리고 산주의 대부분은 농업과 겸업을 하고 있다. 또한, 집수구역 및 소유역은 마을 및 리 단위의 공동체와 연계되어 있다. 따라서 기후스마트임업은 토지 기반의 산업인 농업과 함께 해야 한다. 현재와 같이 농업과 임업을 구분하는 행정지원체계는 전환이 이루어져야 한다. 임업경영체도 농업경영체와 함께 관리일원화가 되어야 한다.

그림 7 3~4 개의 집수구역으로 이루어진 마을



기초지자체 단위의 기후스마트임업(정책)

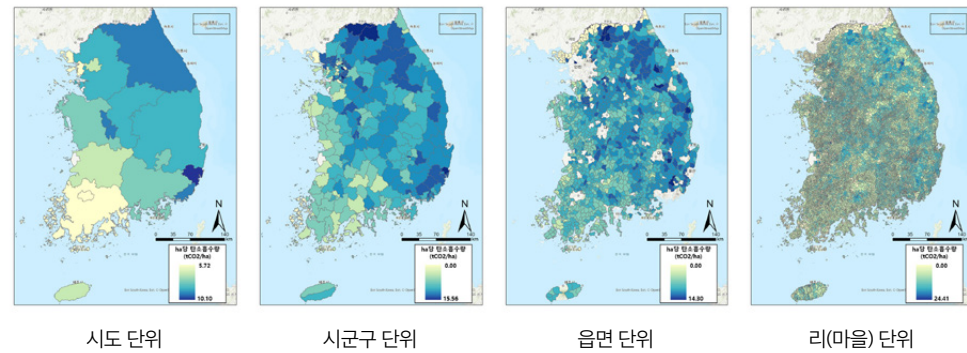
기초지자체는 산림관리의 일선 인허가 행정기관이다. 집수구역과 소유역은 마을 및 리 단위의 공동체와 연계되고, 중유역은 읍면동 단위의 행정구역과 연계된다. 그리고 기초지자체는 몇 개의 중유역을 포함하면서 대유역을 인접 기초지자체와 공유하고 있다.

현재 산림계획체계에서 기초지자체 차원의 '지역산림계획'은 존재하지 않는다. 그러나 2021년 새롭게 선포된 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(약칭: 탄소중립기본법)에서는 매 5년마다 탄소중립계획과 기후변화적응계획을 수립해야 한다. 탄소중립계획에서는 LULUCF의 흡수원관리계획이 포함되어야 하고, 여기에는 '이산화탄소 흡수원 및 탄소 저장고' 차원의 산림계획이 주요 부분을 차지한다. 기후변화적응계획에서는 산불, 산사태, 병해충 등의 기후 및 자연재난 계획이 포함되어야 한다. 따라서 「탄소중립기본법」에 기반한 기초지자체에의 탄소중립계획과 기후변화적응계획에 기후스마트임업계획이 포함되도록 해야 한다.

기후스마트임업에 의한 기초지자체 단위의 탄소흡수량

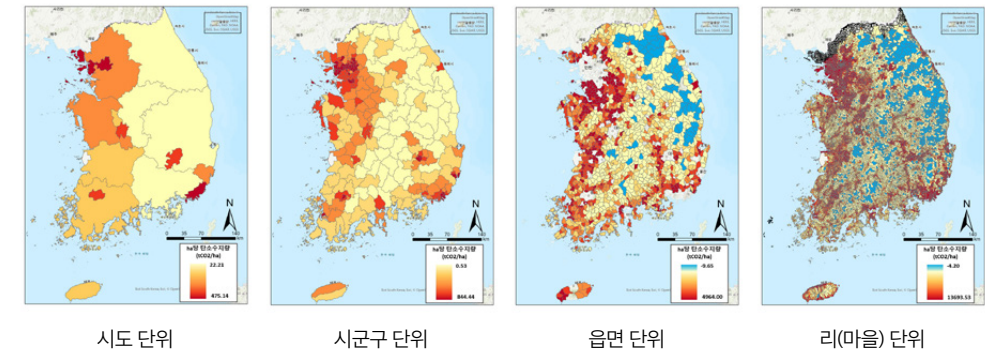
우리나라 산림에서는 2019년 기준으로 연간 약 4,300만 톤의 이산화탄소를 흡수하고 있다. 우리나라 배출량의 6.5%에 해당하는 양이다. 기초지자체 단위의 흡수원관리를 가능하게 하기 위해서는 탄소흡수지도를 기초지자체-읍면-리(마을) 단위로 이어지는 행정구역별로 탄소흡수량이 파악되고 그것이 지도화가 되어야 한다. 이와 같이 제작된 행정구역별 탄소흡수지도를 보면, 산지와 산림이 많이 분포되어 있는 백두대간에서 많은 양의 이산화탄소가 흡수되는 것을 알 수 있다. 주변이 산림으로 되어 있고, 주거지 및 사람의 활동시설이 적은 지역일 수 있다. 흡수량이 많은 곳(지도에서 진한 지역)은 배출량이 적을 경우, 탄소중립이 달성되었을 수도 있다.

그림 8 우리나라 행정구역별 탄소흡수지도(ha당 흡수량)



마을이나 리 단위에서 탄소중립 달성 여부를 알기 위해서는 행정구역별로 배출지도가 제작되어야 한다. 어렵긴 하지만, 토지피복, 배출원 분포 등을 고려하여 탄소배출지도를 행정구역별로 제작할 수 있다. 이와 같이 흡수와 배출 지도가 행정구역별로 제작되면, 배출량에서 흡수량을 뺀 탄소수지지도(carbon budget map) 제작이 가능해 지고, 이를 통해 탄소중립 달성 여부를 알 수 있다. 탄소수지지도 보면, 기초지자체까지는 탄소중립 달성가능성이 보이지 않는다. 그러나, 읍면 및 리 단위로 보면 탄소중립 달성 가능성을 보이는 지역이 있다. 이는 기초지자체까지의 감축활동은 국가의 지침을 지자체가 실행하는 하향식 정책 및 관리가 가능하지만, 흡수원관리는 읍면 또는 마을(리) 단위로부터 시작하는 상향식 정책이 필요함을 시사하는 것으로 볼 수 있다. 공동체 또는 지역 임업의 취지가 중앙정부 위주의 획일적인 산림관리에서 지자체를 중심으로 산림관리의 축을 옮기는 것과 일맥상통하는 것이다.

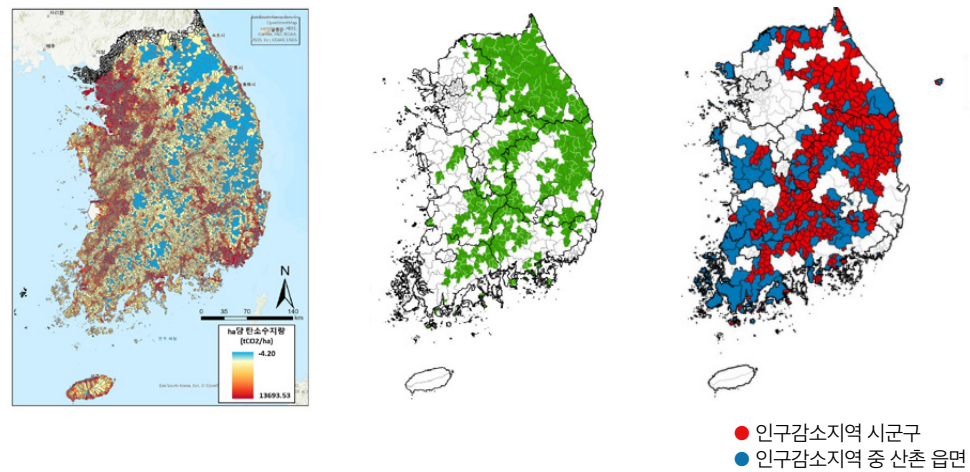
그림 9 우리나라 행정구역별 탄소수지(ha당 순배출량)



62 기후스마트임업에 기반한 기초지자체 단위의 흡수원관리방안

리(마을) 단위로 보면, 우리나라에서는 탄소중립 달성 마을이 있을 수 있다. 그 분포도를 보면, 산촌마을의 공간분포, 그리고 인구소멸위험지역 분포와 유사함을 알 수 있다. 이는 탄소중립 달성 가능성이 높은 마을은 산촌이면서 오지이거나 인구소멸위험이 높은 지역일 수 있다는 것을 시사하는 것이다. 우리나라 인구의 91%가 국토의 17%를 차지하는 도시지역에 거주하는 것을 고려하면, 충분히 이해되는 대목이다. 기초지자체에서 이러한 탄소중립 달성가능성이 높은 리(마을)로부터 탄소흡수원 관리를 하기 위해서는 전통적인 산림관리 외에 농산촌 진흥사업을 함께 진행해야 한다. 기후변화 감축사업과 연계하면 배출원인 농촌주택의 에너지 효율화 사업, 농업폐산물 수거 및 처리 사업, 산불 및 산사태 예방사업 등이 이에 해당할 수 있다. 기후변화 감축과 적응을 함께 하는 기후스마트임업이다. 좀 더 적극적으로는 지자체에서 생산되는 목재의 활용을 높이기 위한 목재가공공장 유치 및 운영, 생물다양성 증진과 생활환경 개선을 위한 농산촌 재생사업, 자연문화 향토자원을 통한 방문객 유치로 생태계서비스 내부화 사업 등을 진행할 수 있다. 이것이 현상의 문제 해결형의 기후스마트임업이다.

그림 10 우리나라 리(마을) 단위 탄소중립가능성지도(좌),산촌분포지도(중),인구감소위험지역(우)



유럽 등 국외의 기후스마트임업, 그리고 그와 연계된 사업에서는 인센티브제도를 적극 도입하고 있다. 일정 규모 이상의 면적을 대상으로 토지 기반의 산업인 농림업을 통해 흡수원관리와 현안 문제를 함께 해결하는 기후스마트임업에서는 지자체-주민-소유자 간의 거버넌스가 필수적이다. 지자체의 기후스마트정책이 주민과 소유자를 통해 실행되기 위해서는 인센티브제도가 도입되어야 한다. 일정 규모 이상의 산림을 관리하는 산림소유자 및 주민 간의 협력, 목재제품 활용 등에 보조금을 지원하는 유럽의 정책을 도입할 필요가 있다.

선도산림경영단지, 경제림육성단지, 산림복합경영단지, 최근의 숲경영체험림 등 국가지원사업이 탄소중립 가능성이 있는 지역을 중심으로 선정되도록 하고, 그 운영을 기초지자체가 책임지고 할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

기후스마트임업 지원을 위한 기초지자체용 MRV 정보체계

유역 단위의 기후스마트임업은 기후변화대응을 비롯한 지역의 다양한 현안 문제를 지자체-주민-산주 등의 협력을 통해 해결하는 것으로 일정 규모이상의 산림을 대상으로 하고 있다. 따라서 현안 문제를 통합적으로 볼 수 있어야 하고, 유역 단위 산림관리 거버넌스의 의사결정이 효과적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 유역 단위 산림관리에 필요한 통합정보시스템이 시공간 기반으로 구축되어야 한다. 즉, GIS 기반의 기후스마트임업정보시스템이 구축되어야 한다.

또한, 기후스마트임업을 통한 탄소 흡수 및 저장량이 국제적으로 인정되기 위해서는 산림관리 이력이 측정-보고-검증(Measuring, Reporting, Verifying: MRV) 차원에서 증명되어야 한다. 이를 위해서는 기초지자체 단위에서 이루어지는 산림관리가 산림탄소흡수원 통계로 이어지게 하는 정보시스템이 운영되어야 기후스마트임업이 완결성을 가질 것이다.



7

정책제언

- 시군(기초지자체) 단위 지역산림계획을 통한 기후스마트임업 실현
- 시군(기초지자체) 단위 탄소중립계획과 기후변화적응계획에 기후스마트임업 반영
- 탄소중립 및 기후스마트임업 마을 지정과 지원
- 기후스마트임업 인프라 지원
- 기후스마트임업 정보체계

국제사회에서는 기후변화에 대응하기 위한 흡수원관리와 지역사회의 지속가능한 발전을 지역 정부, 주민공동체, 산주 등의 거버넌스를 통해 이루고자 하는 기후스마트임업을 지향하고 있다. 기후스마트임업은 다음을 충족시켜야 하는 것으로 볼 수 있다.

- 1) 산주-지역-국가-전 지구 차원의 공통문제해결과 발전을 추구한다.
- 2) 이를 위해 정부-지자체-지역공동체-산주 등의 협력체계를 운영한다.
- 3) 협력체계가 작동되기 위한 일정 규모 이상의 산림을 대상으로 한다.
- 4) 시공간정보 기반의 산림경영체계를 이룬다.

이러한 기후스마트임업은 현재와 같이 소규모필지 단위로 산주의 요청에 의해 시행되는 산림 관리체계로는 달성하기 어렵다. 일정 규모 이상의 산림에 대해 거버넌스형의 의사결정체계로 산림관리가 이루어질 때 기후스마트임업이 가능할 수 있다. 즉, 필지 단위의 산림관리를 유역 및 경관 단위의 산림관리체계로 변환해야 한다. 능선과 계곡이 뚜렷하게 구분되는 우리나라의 지형 조건을 고려할 때, 집수구역 단위의 산림을 하나의 경영구로 하는 산림관리가 기초지자체 차원에서 이루어져야 한다. 이러한 면에서 기후스마트임업은 집수구역 단위의 농업과 임업 정책을 지역으로부터 중앙정부로 이어지게 하는 상향식 기후변화 적응 경로로 볼 수 있다. 우리나라는 광역 및 기초지자체 단위에서는 현재 탄소중립 가능성이 희박하지만, 읍면동 및 리(마을) 단위에서는 탄소중립 달성 가능성이 높은 곳이 존재한다. 기후스마트임업을 이와 같이 탄소중립 달성가능성이 높은 읍면동 또는 마을을 대상으로 시작하고 점차 확대해 나갈 필요가 있다. 이에 다음과 같은 정책을 제언한다.

시군(기초지자체) 단위 지역산림 계획을 통한 기후스마트임업 실현

기후스마트임업은 기초지자체의 탄소중립 달성과 토지 기반의 농림업을 통한 지역발전에 기여할 수 있다. 이를 위해서는 기초지자체 차원의 탄소흡수원 관리 계획이 과학 기반으로 철저하게 수립되어야 한다. 그러나 현재는 기초지자체 단위의 지역산림계획이 부재한 상태에서 산주로부터 신청되는 필지 단위의 산림사업이 인허가 되고 있는 실정이다. 현재와 같이 필지 단위의 인허가 행정체계로는 산림사업에 따른 흡수량 변화를 파악할 수 없을 뿐만 아니라, 환경생태적 연계성 없는 사업으로 이어질 가능성이 높다. 따라서 기초지자체 차원에서 현재의 산림탄소흡수량을 파악하고, 유역 단위의 기후스마트임업의 이행에 의해 그 흡수량이 어떻게 변하는지를 알 수 있는 지역산림 계획이 있어야 한다. 그리고 그 지역산림계획이 지역공동체의 발전에 어떻게 기여하는지를 파악할 수 있어야 한다. 이는 곧 기후스마트임업을 위한 정부-지자체-지역공동체-산주 등의 협력체계에 대한 기초지자체 차원의 역할이자 지원체계이다.

현재 우리나라는 국가 단위의 산림기본계획-광역 단위의 지역산림계획-산주(필지) 단위의 산림경영계획(선택)으로 되어 있는데, 이를 산림기본계획-광역지자체 단위의 지역산림계획-기초지자체 단위의 지역산림계획-산주(필지) 단위의 이행계획 체계로 전환하여야 한다.



시군(기초지자체) 단위 탄소중립계획과 기후변화적응계획에 기후스마트임업 반영

현재 우리나라에서는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(탄소중립기본법)에 의해 기초지자체는 탄소중립계획과 기후변화적응계획을 매 5년마다 수립하게 되어 있다. 이 두 계획에서 기후스마트임업과 관련이 있는 부분은 탄소중립을 위한 이산화탄소 흡수원관리와 기후변화적응 차원의 위험관리인 산불, 산사태, 병해충 등 기후재난방지계획이다. 그러나 흡수원관리계획은 감축계획에 비해 효과가 미미하다는 인식과 전문성 부족으로 말미암아 선언적 수준으로 이루어지는 경향이 있다. 또한, 산불, 산사태, 병해충위험지역 예측은 기상자료뿐만 아니라 지표면의 공간정보를 통합 분석해야 하는 고도의 정보 및 전문성을 요구하는데, 이에 대한 부족으로 실효성 있는 계획 수립이 어려운 실정이다. 따라서 기후스마트임업에 수반되는 산림공간정보체계와 토지 기반 흡수원관리, 기후재난 저감이 기초지자체의 탄소중립계획과 기후변화적응계획에 반영될 수 있는 제도 및 기술적 장치가 마련되어야 한다.

또한, 기후스마트임업은 지역공동체의 발전을 추구한다는 면에서는 산림탄소흡수원 관리가 감축계획과 연동되어 이루어지도록 해야 한다. 예를 들면, 온실가스 감축계획 차원의 농촌주택에너지효율화사업, 환경 측면의 농업폐잔재 수거사업, 생물다양성증진사업 등을 탄소흡수원 관리와 연계하여 시너지효과가 날 수 있도록 할 수 있을 것이다.



탄소중립 및 기후스마트임업 마을 지정과 지원

위에서 언급한 대로 온실가스감축은 하향식으로 이행 및 달성이 가능할 수 있다. 그러나 토지를 기반으로 하는 흡수원관리는 구체적 장소를 기반하지 않는 하향식 정책으로는 실현이 어렵다. 낮은 생산성 및 수익성, 환경친화적 관리의무 등의 어려움이 있는 산주 입장에서는 국가 차원의 탄소흡수원 관리에 대한 수용성이 낮을 수밖에 없다. 특별한 동기부여나 인센티브가 없는 한 산주들의 자발적 움직임에 의한 탄소흡수원 관리는 기대하기 어렵다. 외국의 기후스마트임업에서처럼 보조, 세제감면 등 다양한 인센티브제도가 필요하다.

기후스마트임업은 유역 및 경관 규모에서 지역공동체(마을)의 발전을 도모한다. 따라서 기후스마트임업의 전제인 지자체-산주-주민 등 지역공동체의 협력체계가 잘 실현되고 있거나 가능성이 높은 마을을 지정하여 공동체 단위로 다양한 지원체계를 운영하는 것이 바람직하다. 산주별로 지원하는 다양한 공모 및 지원 사업을 마을 단위로 확장하는 것이다. 이러한 마을을 대상으로 7.2항과 같은 다양한 기후변화적응 및 감축사업을 함께 추진할 수 있다.

이러한 마을지정의 요건으로 탄소중립 달성 가능성이 높은 마을을 발굴하고, 마을의 협의체를 유도하는 것이 바람직하다. 위에서 언급하였듯이, 현 단계에서 우리나라의 경우 국가, 광역 및 기초지자체 단위에서는 탄소중립지역을 찾을 수가 없다. 그러나 읍면 및 리(마을) 단위로 탄소 배출과 흡수를 비교한 탄소수지도도를 보면, 탄소중립 가능성이 높은 읍면과 리(마을)이 보인다. 이러한 지역을 대상으로 좀 더 면밀한 조사와 지역 협의체 운영 가능성 등을 파악하여 탄소중립 및 기후스마트임업 마을을 지정하고 다양한 지원책을 마련하면, 기후스마트임업에 대한 주민의 관심과 수용성이 높아질 것이다. 우리도 일본처럼 생활환경 정비, 주민복지 향상, 산촌경제 활성화와 일자리 창출 등을 위한 산촌진흥사업을 국고보조사업과 지방단독시책의 유기적인 연계를 통해 통합적으로 추진할 필요가 있다(장주연, 최현임 2023). 기후스마트임업마을 지정과 지원이 그 물꼬를 틀 수 있다.

기후스마트임업 인프라 지원

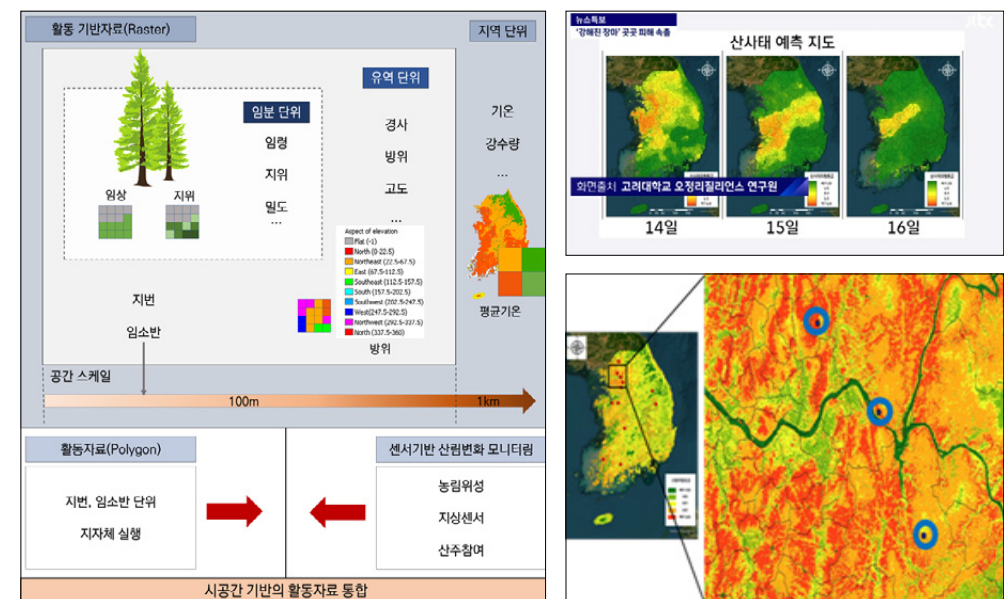
기후스마트임업은 집수구역, 유역 및 경관 단위의 일정 규모이상을 대상으로 한다. 현재와 같은 소규모 필지 단위의 산림관리로는 지역공동체에 기반한 지역문제해결과 지역발전을 동시에 도모하는 기후스마트임업을 할 수 없다. 유역 단위의 기후스마트임업은 환경생태적으로는 생태적 연결성에 기반하고 사회경제적으로는 토지 기반의 산업인 농림업을 지역협의체를 통해 발전시켜 궁극적으로 지역의 발전을 도모하는 것이다. 이러한 것을 가능하게 하기 위해서는 임도, 작업로 등 그린 인프라 구축이 수반되어야 한다. 우리나라의 임도밀도는 ha당 4m로 50m가 넘는 임업선진국에 비해 매우 부족한 현실이다. 임도가 농로, 지방도 등과 연계되어 지역발전에 기여하는 인프라로 자리 잡아야 한다. 또한, 산불예방을 위해서는 방화수림대 조성이 필요한데, 이 또한 도로, 주거지, 농지 등 사람의 활동범위와 연계해 조성되어야 할 인프라로 보아야 한다.

기후스마트임업을 통해 생산되는 수확된 목재제품(HWP)을 지역차원에서 활용하는 기반시설도 필요하다. 지역에서 수확된 목재제품을 지역에서 가공하고, 공공건물, 각종 지역사업에 사용케 하는 것은 탄소저감과 흡수원관리 모두에 기여하는 탄소중립활동이다.



기후스마트임업 정보체계

그림 11 스마트산림경영체계(좌), 산사태위험지도(우상), 산불위험지도(우하)



출처: 고려대학교 오정리질리언스연구원

국제사회에서는 관리된 산림(managed forest)으로부터 흡수된 이산화탄소량만 흡수량으로 인정하고 있다. '관리된 산림'으로 인정받기 위해서는 현장에서 이루어지는 조림, 숲가꾸기, 임목 생산 등 전반적인 산림사업활동에 대한 시공간 이력정보가 전산기록화되고 국가 온실가스 통계로 이어질 수 있도록 체계적으로 관리되어야 한다. 국유림의 산림사업이력은 국유림경영정보체계를 통해 비교적 잘 관리되고 있는 반면, 사유림에 대해서는 그렇지 못하다(홍승태 2023). 지금까지는 산주별 필지 단위로 이루어지는 산림사업이력이 시군에 머물러 있고, 국가 온실가스 통계에 이어지지 못하고 있다. 이 때문에 국제사회가 인정할 수 있는 2019년 기준 우리나라의 산림경영률(한희 외 2021)은 53%로 낮은 게 현실이다. 최근에 「탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률」 제8조

3항을 ‘관계 중앙행정기관의 장과 지방자치단체의 장은 탄소흡수원 정보 및 통계 작성과 산림탄소 통합정보체계 구축·운영에 필요한 자료로서 대통령령으로 정하는 자료를 산림청장에게 제출하여야 한다.’라고 개정함으로써 산림사업이력정보가 산림청 산림관리체계로 일원화될 수 있는 길이 열렸다.

이와 같은 법적 규정이 효과를 보기 위해서는 유역 단위의 기후스마트임업 대상지의 기상, 지형, 수종구성, 임도 등 인프라 등의 모든 정보가 시공간 정보화되고, 기후변화와 산림사업이 생장, 탄소 흡수 및 저장량 등에 미치는 영향을 규명할 수 있는 기후스마트임업 정보체계가 마련되어야 한다. 또한, 이러한 기후스마트임업 정보체계를 활용하여 기후변화로 인한 산불, 산사태, 병해충 등 기후재해 위험을 예측하고 예방 및 대비할 수 있어야 한다. 과학적으로는 이러한 기후스마트임업 정보체계가 이미 많은 성과를 보이고 있으나 현재의 필지 단위 산림관리에는 활용되기 어려운 면이 있다. 따라서 유역 단위의 기후스마트임업을 통해 산림관리정보체계의 과학적 성과가 정책으로 이어질 수 있는 과학의 정책화(Science to Policy)가 필요하다.

8

결론

결론

우리나라는 황폐해진 산림을 성공적으로 복구한 나라로 인정되고 있다. 우리나라의 산림복구는 국가의 강력한 의지와 지원 속에서 마을 단위로 시행되었고, 황폐화로 인한 잦은 자연재난을 극복하면서 농산촌의 발전과 연계되어 이루어졌다. 이러한 면에서 우리나라의 산림복구는 최근에 대두된 자연기반해법에 부합된 사업으로 볼 수 있다.

국토녹화 50주년을 맞은 현재 우리는 임업의 저수익성으로 농산촌이 공동화되어 가는 상황에서 기후변화대응의 일환으로 산림의 이산화탄소흡수기능을 유지 및 증진해야 하는 현실적 문제에 부딪히고 있다. 또한, 기후변화로 인한 산불, 산사태, 병해충 등의 기상재해가 그 규모 및 빈도 면에서 증가하고 있어 이에 대한 예방 및 대비도 절실한 상황이다.

「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」에서는 탄소중립계획과 기후변화적응계획을 수립하게 되어 있으며, 여기에서는 이산화탄소흡수원인 산림관리와 산사태, 산불 등의 기후재난대응에 대한 계획을 수립하게 되어 있다. 그리고 국가 차원의 2030 온실가스 감축계획, 2050 탄소중립계획 등에서는 흡수원관리가 포함되어 있다. 그러나 이와 같은 국가 차원의 계획이 산림사업 현장에까지 이어지지 못하는 실정이다. 그 원인으로 필지 단위로 이루어지는 산림관리를 들 수 있다. 현재와 같이 산주의 신청에 의해 소면적의 필지(지번) 단위로 이루어지는 산림관리로는 일정 규모 이상의 산림을 대상으로 해야 하는 흡수원관리와 기후재난관리가 제대로 이루어질 수 없다.

산림복구에 성공하여 울창한 산림을 보유한 현시점에서 산림관리는 기후스마트임업체계를 통해 지번 중심이 아닌 유역 및 경관 또는 지역 중심으로 옮겨야 할 때이다. 그래야 산림관리가 기후변화와 생물다양성 등의 국제적 이슈에 기여하게 되고, 산불·산사태 등 재난예방과 산림관리의 혜택이 지역주민에게도 돌아간다. 산림의 흡수원 및 생태계 관리, 농산촌 발전을 지금처럼 국가주도로 할 것인지, 유역 단위 토지 및 시장에 기반한 정상적인 사유림 경영(임업)을 통해 '기후스마트임업' 체제로 전환할 것인지에 대한 결정은 국가 균형발전과 탄소중립 달성을 위해 넘어야 할 장벽이다.

참고문헌

곽두안. 2023a. 산지보전 및 산림경영 적성평가 기반 미래 산지관리 방향. 산림정책이슈, 170호, 국립산림과학원.

곽두안. 2023b. 통합적 산림관리를 위한 현황과 과제. 산지연구발전방향심포지엄자료집. 국립산림과학원.

김영환. 2023a. 목재수확과 생태계 서비스를 고려한 산림순환경영모델 정립. 한국농촌경제연구원-국립산림과학원 공동세미나자료집.

김영환. 2023b. 탄소중립달성을 위한 산림부문의 기여방안. 국토녹화 50주년 기념 국제심포지엄 자료집.

김오윤. 2022. 핀란드의 기후스마트임업(Climate Smart Forestry). 나무신문. (1월 17일).

민경택, 석현덕, 구자춘. 2014. 지역임업 및 지역 산림 관리 활성화 방안(1/2차연도). 연구보고 M130, 한국농촌경제연구원.

석현덕, 구자춘, 정재호, 최준영, 곽준영, 이소용, 김나리. 2015. 지역임업 및 지역 산림관리 활성화 방안(2/2차연도). 연구보고 R765, 한국농촌경제연구원.

석현덕, 안선진. 2013. 지역 임업 활성화를 위한 산림산업 클러스터 육성 방안. 농정포커스, 제71호, 한국농촌경제연구원.

손학기. 2023 산지관리정책의 과거와 현재. 산지연구 발전방향 심포지엄 자료집. 국립산림과학원.

안현진, 이상민, 정호근, 김동욱. 2022. 탄소중립 실현을 위한 기후 스마트 산림경영 연구. 연구보고 R955, 한국농촌경제연구원.

이우균, 황석태, 오일영, 류필무, 강부영. 2023. 위기에서 살아남는 현명한 방법: 자연기반해법. 지을.

이우균, 김영환, 민경택, 박주원, 서정욱, 손요환, 우수영, 이경학, 이창배, 최술이, 최정기. 2022. 산림탄소경영의 과학적 근거. 지을.

임영아, 정학균, 이해진. 2017. 제8장 기후스마트농업의 동향과 전망. 한국농촌경제연구원.

장주연, 최현임. 2023. 일본 산촌진흥대책의 동향 및 시사점. 국제산림정책토크, 127호, 국립산림과학원.

장철수. 2014. 일본의 국민참가형 산림관리 사례와 시사점. 연구자료 D380, 한국농촌경제연구원.

한희, 이선정, 배재수, 임중수, 이승현, 유종원. 2021. 우리나라 산림경영률 산정과 정책적활용방안. 산림정책이슈, 146호, 국립산림과학원.

환경부 온실가스종합정보센터. 2022. 2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서.

홍승태. 2023. 산림경영정보시스템의 현황과 발전방향. 한국농촌경제연구원-국립산림과학원 공동세미나자료집.

FAO. 2010. “Climate-Smart” Agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation.

Hong, M., Song, C., Kim, M., K., Lee, W.K.. 2022. Application of integrated Korean forest growth dynamics model to meet NDC target by considering forest management scenarios and budget. Carbon Balance and Management, Vol. 17, No. 1.

IUCN. 2021. Forests and climate change. Issues Brief.

Nabuurs, G.J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Linder, M., Nesbit, M., Ollikainen, M., & Savaresi, A.. 2015. A new role for forests and the forest sector in the EU post-2020 climate targets. From Science to Policy 2. European Forest Institute.

Nabuurs, G.J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Hetemäki, L., & Lindner, M.. 2017. By 2050 the Mitigation Effects of EU Forests Could Nearly Double through Climate Smart Forestry. Forests, Vol. 8, Iss. 12.

The Hill. 2021. In reconciliation, climate-smart agriculture and forestry is the way forward. (Oct. 27.).

