

2023년 연구보고서

위성영상을 활용한 국토그린지표 개발 기초연구

2024. 4.



<http://kostat.go.kr/sri>



ISSN 2288-1166(Print)
ISSN 2733-4120(Online)



통계청
통계개발원

위성영상을 활용한 국토그린지표 개발 기초연구

박영실 · 정지은 · 윤민희



Statistics Korea
Statistics Research
Institute

발간사

기업 경영, 개인의 일상에 이르기까지 합리적 의사결정의 근간인 통계에 대한 중요성이 점점 커지고 활용범위도 넓어지고 있으며, 특히 국가통계는 정책결정에 필수적으로 활용되면서 그 중요성이 더욱 증대되고 있습니다.

이러한 시대의 변화에 따라 통계청은 빅데이터의 활용, 조사자료와 행정자료 간의 연계 등과 같은 통계생산방식의 혁신을 통해서 응답자 부담은 최소화하면서 동시에 보다 정확하고 사용자 친화적인 통계를 만들고자 끊임없이 노력하고 있습니다.

통계개발원은 국가통계의 중추를 담당하는 통계청의 싱크탱크로써 전략적인 연구를 수행하고 있는 국내의 유일한 「국가통계 전문연구기관」입니다. 2006년에 설립된 이래 기존의 조사통계를 보다 효율적으로 작성하기 위한 각종 기법과 관련된 통계방법론적 연구는 물론 데이터에 기반한 국가정책이 수립될 수 있도록 경제·사회현상에 대한 심층 분석 연구를 강화하고 있습니다.

또한 저출산·고령사회 현상 등으로 인해 대내외적으로 관심이 높아지고 있는 인구집단 및 인구동향에 관한 분석연구 및 인구동태 관련 방법론 연구를 밀도 깊게 수행하고 있습니다. 이러한 연구의 구체적인 결과를 중심으로 통계개발원은 「2023년도 연구보고서」를 발간하게 되었습니다.

이번 「2023년도 연구보고서」에는 AI 통계분류 결과분석 및 실무활용성 제고방안 연구 등 데이터과학 연구, 2025년도 인구주택총조사 등 조사표 개선 연구, 경제·사회·환경 변화를 반영한 인구통계, 격자통계를 활용한 도시화 현상 분석 등 인구통계 연구, 인구감소지역과 생활밀접업종 관계 분석 등 경제통계 연구, 비확률표본을 위한 통계적 추론 등 국가통계 방법론 연구, 위성영상을 활용한 국토그린지표 개발 기초연구 등 SDG 지표 관련 연구 등을 수록하고 있습니다.

본 연구보고서는 통계개발원이 전년에 국가통계 개선·개발을 위해 수행한 연구과제로서 국가통계 생산자의 통계개발 및 개선에 유용한 자료로 활용되고 될 수 있기를 기대합니다. 앞으로도 통계개발원이 “국가통계 전문연구기관”으로서 대내외적으로 선도적인 역할을 할 수 있도록 독자 여러분의 지속적인 관심을 부탁드립니다.

통계개발원은 본 연구보고서가 데이터 이용자의 통계 활용에 도움이 되고, 통계 작성자의 통계 개발 및 개선에 유용한 자료로 활용될 수 있기를 기대합니다. 앞으로도 국가통계의 통계연구에 대한 독자 여러분의 지속적인 관심을 부탁드립니다. 아울러 실용적이고 품질 높은 연구 결과를 도출하기 위해 최선을 다한 연구진에게 따스한 감사를 전합니다.

2024년 4월

통계개발원장

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구 필요성 및 목적	1
제2절 연구 내용 및 방법	4
제3절 연구 의의 및 한계	5
제2장 국토그린 관련 국내외 정책 동향	6
제1절 국제사회에서 관련 의제 대두와 경과	6
제2절 국내의 정책적 동향	12
제3절 소결	23
제3장 선행연구 고찰 통한 국토그린 개념 정립	24
제1절 목적 지행적 통계로써 '그린' 용어의 고찰	24
제2절 통계범위 설정을 위한 '국토' 용어의 고찰	27
제3절 국토그린 개념 제안	40
제4장 국토그린 유사 통계 검토	42
제1절 국내통계	42
제2절 국제통계	59
제3절 소결	68
제5장 국토그린지표 측정방법 제안	70
제1절 식생지수 의미와 원리, 변형	70
제2절 식생지수 관련 연구동향 및 방법론적 시사점	77
제3절 국토그린지표 지도화 방안 검토	80
제6장 결론	84
제1절 결과 요약	84
제2절 국토그린지표 활용 방안	85
참고문헌	87
부록	91
Abstract	113

요 약

산림 등 자연생태계에서의 온실가스 흡수량은 2000년 기점 감소 추세로, 탄소흡수원의 보존 및 복원, 신규 흡수원의 발굴 필요성이 증대하고 있다. 이번 연구는 기후위기 대응 및 생물다양성 복원에 동시에 기여할 수 있는 자연기반해법으로써 탄소흡수원에 주목하고, 국토 전체 차원에서 이 공간을 일관적으로 측정 관리할 수 있는 국토그린지표 개발을 목적으로 하였다. 구체적으로 개념설정 및 측정방법론 제언의 기초연구가 수행되었다.

먼저, 기후변화와 SDGs를 비롯한 국내외 정책적 동향 및 법적·제도적 분류 기준을 검토한 결과, 국토그린의 범위는 다음과 같이 구체화되었다. 통계의 목적 지향성을 보여주는 ‘그린’과 관련해서는 탄소흡수가 예상되는 모든 공간을 대상으로 한다. 여기에는 산림지, 도시숲, 초지, 습지, 해양(바다숲 등)이 포함된다. 농지도 잠재적인 포함대상이다. 도시숲 및 해양은 신규 탄소흡수원으로 최근 관심이 높아지고 있다. 해양 포함을 고려할 때, 육상 생태계에 좀 더 방점이 찍혀있는 ‘토지’라는 용어보다는 국토라는 용어가 선택되었다. 국토는 주권의 영향력이 미치는 곳으로 영토, 영해, 영공을 모두 아우르기 때문이다.

국토그린 공간을 추출해 낼 수 있는 국내외 통계를 검토해 본 결과, 첫째 분류 체계 간 차이(지적통계 분류 vs 토지피복도 분류), 둘째 분류체계에서 도출된 공간통계와 독자적으로 측정된 공간통계 간의 차이(지적통계 농지 vs 농업면적조사 농지) 등의 이슈가 제기되었다. 이러한 이슈는 각 통계의 법적 근거, 통계생산기관별 측정방법의 차이에서 비롯된다. 따라서, 통계 간 정합성 이슈를 해결하기 위해서는 데이터 거버넌스 접근이 필요한 상황이다. 하지만, 위성영상 등 누구나 접근 가능한 데이터 축적이 증대되면서 논의 격차가 좁혀질 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 국토그린을 측정할 수 있는 방법론으로 위성영상을 활용한 정규식생지수 이론을 제언하였다. 정규식생지수는 광합성을 통해 탄소를 흡수하는 식생 탐지 연구에 많이 활용되고 있으며, 최근에는 인공지능 기술과의 접목 등으로 식생지수를 변형해 나감으로써 그 활용범위가 확장되고 있는 추세이다. 해당 방법을 적용한 구체적인 시산 및 서비스 방안은 후속연구에서 진행할 예정이며, 본 지표 개발은 생태적 관점의 국토 모니터링과 기후위기 대응 정책 수립에 시의적으로 활용될 것으로 기대된다.

주요 용어: 국토그린, 탄소흡수원, 정규식생지수, 기후위기, 자연기반해법

제 1 장

서 론

제1절 연구 필요성 및 목적

“지구 온난화(global warming) 시대는 끝나고, 지구 열대화(global boiling) 시대가 도래했다.” 안토니오 구테흐스 유엔 사무총장은 ‘올해(2023년) 7월이 역사상 가장 더운 달’이라는 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)의 분석을 토대로 이와 같이 경고하고는, “이는 끔찍한 기후변화의 시작으로 분명한 인간의 책임”이라며 “회원국이 즉각적으로 기후변화를 막을 행동에 나서야 한다.”고 호소했다.¹⁾

제6차 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 종합보고서에 따르면, 2040년 이전에 산업화(1850-1900년) 이전 대비 지구 평균 온도가 섭씨 1.5도 상승할 것이라고 한다. 섭씨 1.5도를 초과하면 산불, 가뭄, 홍수, 생물다양성 손실과 같은 기후재난이 더 자주, 극심하게 발생할 것으로 예측된다. 그런데, 마지노선처럼 여겨졌던 섭씨 1.5도 초과 상승이 거의 확실시되고 있는 것이다. 한국은 지난 30년(1991-2020년)간 연평균 기온이 과거(1912-1940년)에 비해 이미 섭씨 1.6도 상승한 것으로 나타났다. 최근 장마와 가뭄이 길어지고, 홍수나 폭설 등에 의한 인명 재산 피해 등이 발생하고 있는 것이 이와 무관하지 않다(관계부처 합동, 2023).

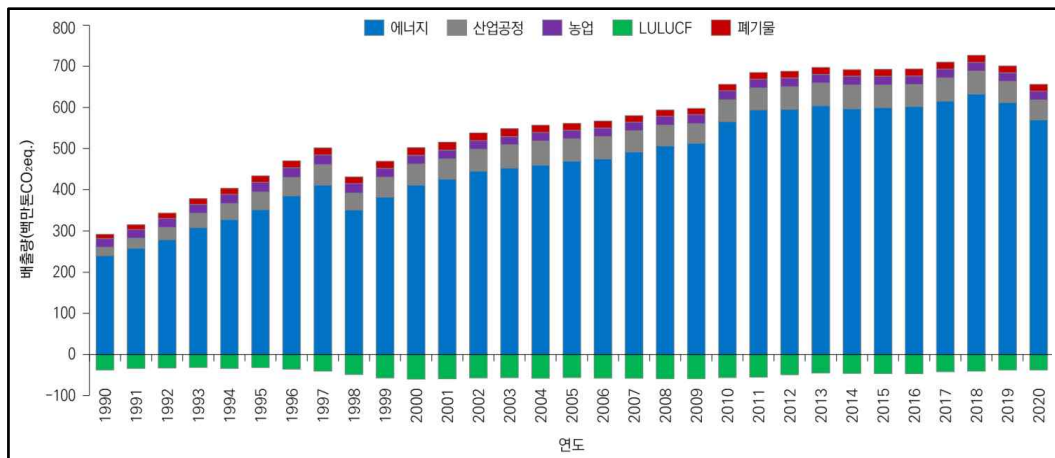
환경 문제가 국제적 논의 테이블에 처음으로 대두된 것은 1972년²⁾이지만, 기후변화를 위기로 인식하고 전 세계가 모두 동참하자는 합의를 최초로 이끌어 낸 것은 그로부터 40여 년 후인 2015년 12월 프랑스 파리에서 개최된 기후변화에 관한 유엔기본협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) 제21차 당사국총회(COP21, Conference of the Parties)에서이다. 동 총회에서 채택된 파리협정(Paris Agreement)은 ‘최악의 기후변화 시나리오’를 방지하기 위해, 지구의 평균온도 상승을 섭씨 2도 아래에서 억제하고, 섭씨 1.5도를 넘지 않도록 노력하는 것을 목표

1) 경향신문(2023.7.28.), “겪어보지 못한 더위... 유엔 사무총장 “지구 ‘온난화’ 끝나고 ‘열대화’ 시대.”

2) 1972년 스웨덴 스톡홀름에서 개최된 유엔인간환경회의(UNCHE, United Nations Conference on the Human Environment and Sustainable Development)는 각 정부 대표단이 참석한 최초의 국제환경회의이다.

로 설정하였다. 이 협약에 따라 당사국들은 온실가스 감축목표를 제시하고 5년 단위의 기후변화 대응 기본계획을 수립해야 한다. 한국은 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법을 2022년 3월 시행하고, 세계에서 14번째로 2050 탄소중립 비전을 법제화하였다.³⁾ 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 국가 온실가스 감축목표에 의하면, 한국은 2050년까지 순배출량 영(0)을 달성하고, 2030년까지 2018년 총배출량 대비 40%를 감축해야 한다.

온실가스 감축을 위해 제안되고 있는 다양한 방법들 가운데, 본 연구에서 주목하고자 하는 분야는 ‘탄소흡수원’이다. <그림 1-1>은 1990-2020년까지 국내의 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량을 제시한 것이다. 이에 따르면 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 등의 분야에서는 일관적으로 온실가스가 배출되고 있으나, ‘토지이용·토지이용 변화 및 임업(LULUCF, Land Use, Land-Use Change and Forestry) 분야’에서는 유일하게 온실가스가 흡수되고 있다. 하지만, 1990년부터 2000년까지 증가했던 탄소흡수량은 2000년을 넘어서면서부터 감소추세에 있다.



출처: 온실가스종합정보센터, 2022, p.6.

<그림 1-1> 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2020)

대기 중의 탄소 저감은 식생 및 해양에 의한 흡수로 이루어지고 있으나, 해양으로부터의 탄소 흡수에 관한 과학적 연구 및 정책수립은 초기 단계로, 현재 탄소 흡수는 초지 형성을 포함한 산림 조림 및 재조림이 유일한 방법으로 알려져 있어(임용호·강민조·안재성, 2022), 산림 보존의 중요성이 증가하고 있다. 산림의 탄소 흡수 기능에도 불구하고, 도로 등 개발로 인해 산림면적이 줄어들고, 산불·산사태를 비롯한 산림재해 등으로 산림이 훼손되고 산지 전용이 발생하고 있어 우려스러운 상황이다.

3) 2022년 12월까지 133개국에서 탄소중립을 선언하였다(관계부처 합동, 2023).

또한, 기습호우, 강우빈도 등 이상기후 빈도가 증가하면서 산지 전용지 및 산림 훼손지 내 산사태 발생 등 산림생태계 피해 가능성도 높아지고 있다(산림청, 2022).

국제연합(UN, United Nations)은 산림 부문을 비용 대비 효과성이 높고, 빠르며 부작용 없이 효과를 지속할 수 있는 탄소중립 수단으로 주목하고 있다(UN, 2019). 온실가스 순배출량 방식을 도입한 것을 두고, 선진국이 배출량을 만회하기 위한 경제적 관점이라는 시각도 있었으나, 산림은 생물다양성 및 토지 황폐화 등을 방지하는 데에도 중요한 역할을 한다는 것을 간과해서는 안 될 것이다. 기후변화와 생물다양성은 독립적인 두 사건이 아니라 상호 불가분의 관계이기 때문이다. 국제사회에서 자연기반해법(NbS, Nature-based Solutions)에 주목하는 이유도 바로 이것이다. 이 논의를 주도해 온 세계자연보전연맹(IUCN, International Union for Conservation of Nature)은 NbS를 ‘자연적 또는 변형된 생태계를 보호하고, 지속가능한 관리 및 복원 활동으로 사회적 도전을 효과적이고 적응적으로 해결하면서 동시에 인간의 복지 및 생물다양성을 제공하는 활동’으로 정의하였다.⁴⁾ 2021년 UN 환경총회(Environment Assembly)는 자연기반해법(NbS)이 사회·경제·환경의 통합적인 지속가능발전에 결정적 역할을 할 수 있다고 평가했다.⁵⁾

이에 본 연구에서는 탄소흡수와 생물다양성 증진에 동시에 기여할 수 있는 생태계 공간을 통합적으로 모니터링할 수 있는 통계를 개발하고자 한다. 아직까지 국내에서 국토 전체의 탄소흡수 공간을 일관적 기준으로 적용한 통합통계는 부재한 상황이다. 이에 산림지를 포함하여 탄소를 흡수할 것으로 예상되는 모든 공간을 국토그린 공간으로 정의하고, 이 공간을 측정하는 통계 개발을 연구목적으로 하고자 한다.

또한, 개발된 국토그린 통계는 공간별로 세분화하여 시각적으로 제시함으로써, 커뮤니케이션의 효과성을 제고하고자 한다. 기후변화 대응은 국가 단위의 종합계획과 함께 이를 시행하기 위해서 지방자치단체별로도 계획 수립이 필요하나 지금까지는 국가 전체적인 차원에서 배출원 중심의 통계만 제공되고 있어 지역단위의 정책수립에 제약이 있었다(임은선 외, 2022). 그나마, 국토교통부에서 도시의 탄소중립 수준을 진단하고 모니터링할 수 있는 탄소공간지도를 최근 2023년 6월에 구축하였으나, 이 또한 산림의 탄소흡수량을 중심으로 한정되어 있다.

4) Actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits(IUCN, 2016, p5).

5) 하지만, 아직까지 자연기반해법(NbS)에 관한 정의나 방법론이 명확하지 않은 상황으로 산림을 탄소흡수를 위한 도구적인 수단으로 본다는 우려의 목소리도 있다. 자연기반해법(NbS)에 대한 비판적 관점은 최진우·김혜린(2021)을 참고할 것.

제2절 연구 내용 및 방법

국토그린지표 개발 연구는 중장기적으로 진행될 계획이다. 이번 연구는 국토그린지표 개발을 위한 첫 번째 연구로, 국토그린지표의 개념 설정 및 측정방법을 검토하고 제안하는 것을 연구범위로 한다. 제안을 위한 첫 번째 여정은 왜 이 연구를 시작하였는가에서 출발한다.

이에, 다음 장에서는 기후변화와 관련한 국제적 논의와 국내 정책 동향을 파악해보았다. 1992년 UN환경개발회의(UNCED, United Nations Conference on Environment and Development, 리우회의)에서 채택된 기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) 및 생물다양성협약(UNCBD, United Nations Convention of Biodiversity)의 진행상황을 살펴보았으며, 이 협약이 전 세계 공동의 발전 목표로 2015년 합의된 지속가능발전목표(SDGs, Sustainable Development Goals)에서 어떻게 구현되었는지를 설명하였다. 국내 정책으로는 탄소중립·녹색성장 기본법을 포함하여 탄소흡수원과 관련된 주요 국가기본계획을 검토하였다.

이러한 선행연구를 통해서 3장에서는 국토그린에 대한 개념 정립을 시도하였다. 이는 두 차원에서 진행되었는데, 하나는 통계의 목적 지향성을 담고 있는 ‘그린’이라는 용어에 대한 고찰과 다른 하나는 통계의 범위 설정을 위한 ‘국토’라는 용어에 대한 고찰이다. 이어, 4장에서는 국토그린을 측정할 수 있는 국내외 유사통계를 비교 분석하였다. 국토 중 탄소를 흡수할 것으로 예상되는 공간을 측정하는 주요 통계들을 망라적으로 살펴보았다. 5장에서는 해당 개념을 측정할 수 있는 방법론으로써 식생지수를 검토하였고 이것이 국토그린지표를 측정함에 있어서 어떤 시사점을 줄 수 있는지를 다루었다. 마지막으로 국토그린지표의 향후 활용계획을 제시함으로써 이번 연구를 마무리하였다.

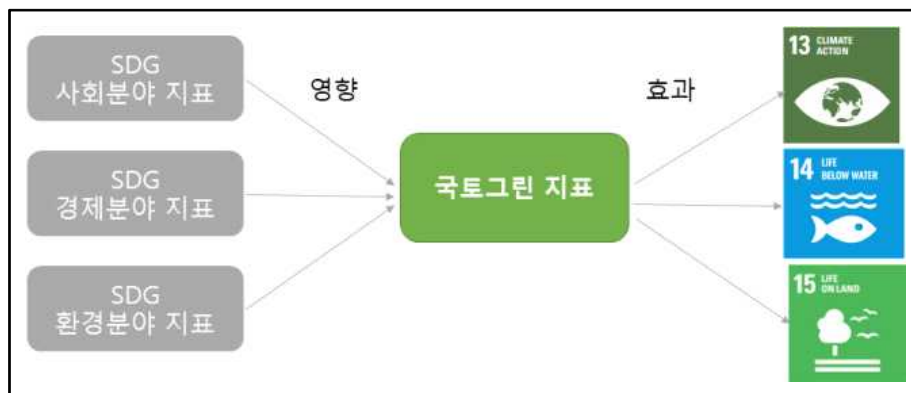
연구는 문헌연구와 전문가 자문 두 가지 방법을 통해 수행되었다. 국내외 정책적 동향, 국토그린과 유사한 개념 및 통계 사례검토는 주로 문헌연구를 통해서 진행하였다. 위성영상을 활용한 최신의 측정 방법 및 특정 분야의 공간 통계 생산은 해당 분야 연구자의 자문을 통해서 보강하였다.⁶⁾

6) 기초과학연구원(IBS, Institute for Basic Science) 차미영 교수팀(토지피복도 및 식생지수) 및 산림과학원 김래현 박사와 이호상 박사(산림 및 도시숲 측정, 토지황폐화 지수 및 산악지역 녹색피복지수 국내 시산결과)의 자문으로 수행되었다.

제3절 연구 의의 및 한계

국토그린지표의 개발은 통계정책 차원에서 다음과 같은 의의가 있다. 탄소흡수원 전체 공간을 통합적으로 제시하는 첫 통계를 생산한다는 점이 가장 중요하다. 특히, 이 신규 통계는 기후변화 협약을 포함한 2030년까지 전 세계 공동목표인 SDGs 달성을 모니터링하는데 핵심적인 근거로 활용된다는 점에서 정책적 의의가 높다. 구체적으로, SDG 목표 중 기후변화 대응과 관련된 13번 목표, 해양 및 육상 생태계 보전과 관련된 목표 14번과 목표 15번의 모니터링 제고에 직접적으로 관련된다.

한 단계 더 나아가 국토그린 공간 면적의 변화에 영향을 미치는 요인을 SDGs 프레임워크를 통해 도출해 내는 학술적 의의도 기대해 볼 수 있다. 기후변화와 생태계 보전에 긍정적 혹은 부정적 영향을 미치는 요인에 대한 경로분석을 통해서 정책적 효능감을 제고해 줄 것으로 예상된다(<그림 1-2> 참고). 기후위기라는 현상이 사회, 경제, 환경이 복합적으로 얽혀서 발생한 것이라는 점에서 범분야적 특성을 갖는 SDGs 프레임워크의 활용 가치가 크다. 이는 자연기반해법(NbS)에 대한 우려의 목소리, 즉 기후위기 대응 과정(단일종 나무 식재)이 생물다양성 보존에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다는 논쟁에 대한 경험적인 근거를 제시할 수도 있다.



출처: 저자 작성

<그림 1-2> 국토그린지표와 지속가능발전목표(SDGs)의 관계

다만, 이번 연구는 기초연구로써 구체적인 통계 시산 방법 및 데이터 서비스를 위한 구체적인 방안까지는 이어지지 못하였다. 해당 내용은 후속과제를 통해서 진행될 것이다.

제 2 장

국토그린 관련 국내외 정책 동향

제1절 국제사회에서 관련 의제 대두와 경과

유엔 차원에서 환경을 주제로 한 첫 회의는 1972년 유엔인간환경회의(UNCHE)이다. 이후 1987년 우리 공동의 미래(Our Common Future)라는 UN 보고서의 채택을 통해 지속가능발전 개념⁷⁾이 등장하였으며, 1992년 리우회의, 2002년 세계환경정상회의(WSSD, World Summit on Sustainable Development, 리우+10회의), 2012년 유엔지속가능발전정상회의(UNCSD, UN Conference on Sustainable Development, 리우+20회의)로 이어졌다. 2012년 리우+20회의에서는 새천년개발목표(MDGs, Millennium Development Goals) 후속목표로 2015년 SDGs를 선정하는 절차에 합의하였다. SDGs는 복합위기에 직면한 인류가 통합적인 시각에서 전 세계 공동의 목표로 설정한 것이다.

이 절에서는 리우회의 산물인 환경분야 주요 3대 협약과 이 협약이 SDGs에 어떻게 연관되어 있는지를 중심으로 소개하였다. 리우회의에서 채택된 3대 협약은 기후변화협약(UNFCCC), 사막화방지협약(UNCCD, United Nations Convention to Combat Desertification), 생물다양성협약(UNCBD)이다.⁸⁾

1. 기후변화협약(UNFCCC)

기후변화협약(UNFCCC)은 지구온난화에 따른 세계적인 기상이변, 사막화의 진전, 극지방의 해빙, 해수면의 상승 및 생태계의 파괴 등을 방지하기 위한 협약으로, 1994년 3월 발효되었다. 기후변화협약의 궁극적인 목표는 대기 중의 온실가스 농도를 안정화시키는 것이며, 이 목표를 달성하기 위해 모든 당사국은 온실가스 배출감축을

7) 지속가능발전은 “미래 세대의 필요를 충족시킬 능력을 저해하지 않으면서 현 세대의 필요를 충족하는 발전(development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs)”으로 정의된다(UN, 1987, para.1).

8) 한국이 각 협약에 가입한 연도는 기후변화협약(UNFCCC)은 1993년, 생물다양성협약(UNCBD)은 1994년, 사막화방지협약(UNCCD)은 1999년이다.

위한 국가전략을 수립·시행·공개하며, 온실가스 배출 및 흡수현황과 이에 대한 국가 전략을 보고하도록 협약을 통해 규정하고 있다(김선희, 1998).

기후변화협약(UNFCCC)의 최고 의사결정기구인 당사국총회이다. 당사국총회는 Conference of the Parties의 약자를 따 COP으로 불린다. 당사국총회(COP)는 협약의 진행을 전반적으로 검토하기 위해 연 1회 총회를 개최한다. 1995년 4월 독일 베를린에서 개최된 1차 회의를 시작으로 코로나 1차 연도인 2020년을 제외하고 매년 진행되고 있다.⁹⁾ 이 중 역사적으로 이정표 역할을 한 두 총회가 COP3와 COP21이다. <표 2-1>은 이 둘을 비교한 것이다. COP3는 1997년 교토에서 개최되었고 선진국에 법적 구속력이 있는 온실가스 감축의무를 부여한 것을 특징으로 하는 반면, COP21은 2015년 파리에서 개최되었고 195개 협약 당사국 모두 감축의무 대상이 되는 신기후변화체제를 수립하였다는 점이 중요한, 그리고 차별적인 특징이다.

<표 2-1> COP3(교토의정서)와 COP21(파리협정)의 비교

구분	COP3(교토의정서)	COP21(파리협정)
개최지	일본 교토	프랑스 파리
채택	1997년 12월 채택, 2005년 발효	2015년 12월 채택, 2016년 발효
대상국가	주요 선진국 37개국	195개 협약 당사국
적용시기	2020년까지 기후변화 대응방식 규정	2020년 이후 '신 기후체제'
목표 및 주요내용	- 기후변화의 주범으로 주요 온실가스 정의 - 온실가스 총배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2% 감축 - 온실가스 감축 목표치 차별적 부여 (선진국에만 온실가스 감축 의무 부여) - 미국의 비준 거부, 캐나다의 탈퇴, 일본·러시아의 기간 연장 불참 등 한계점	- 지구 평균온도의 상승폭을 산업화 이전과 비교해 섭씨 2°C보다 '훨씬 작게' 제한하며 섭씨 1.5°C까지 제한하는데 노력 - 온실가스를 좀 더 오랜 기간 배출해 온 선진국이 더 많은 책임을 지고 개도국의 기후변화 대처를 지원 - 선진국은 2020년부터 개도국의 기후변화 대처 사업에 매년 최소 1000억 달러 지원 - 선진국과 개도국 모두 책임을 분담하며 전 세계가 기후 재앙을 막는데 동참 - 협정은 구속력이 있으며 2023년부터 5년마다 당사국이 탄소 감축 약속을 지키는지 검토

출처: 국립생태원 홈페이지(www.nie.re.kr, 접속일: 2023.12.9.)

9) 기후변화협약(UNFCCC) COP1(1995년)부터 COP28(2023년)까지의 연대기적 정리는 <부록 1>을 참고할 것

구체적으로, COP3는 EU를 중심으로 한 선진국을 대상으로 2008년부터 2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 배출량 대비 평균 5.2% 감축한다는 목표를 설정하였다. 다만, 중국이 온실가스 감축 의무에서 빠지고 미국과 일본 등이 자국의 산업보호를 위해 이탈하면서 반쪽짜리 규약이라는 지적이 있었다. COP21에서는 2020년 만료되는 교토의정서를 대체하고 2021년부터 적용될 기후변화협약의 내용을 담은 파리협정이 체결되었다. 장기목표로 산업화 이전 대비 지구평균기온 상승을 섭씨 2도보다 상당히 낮은 수준으로 유지키로 하고, 섭씨 1.5도 이하로 제한하기 위한 노력을 추구하기로 하였다. 선진국과 개도국 모두 온실가스감축을 위해 공동으로 노력하기로 한 최초의 기후 합의로 평가받고 있다.

한편, 기후변화협약(UNFCCC)에서 탄소흡수원 관련 논의는 COP3에서 처음 시작되었다. 회의에서 온실가스 ‘순배출량(NET) 방식’이 도입되었는데, 순배출량방식이란 선진국들이 온실가스 감축목표 이행 시 토지이용 및 산림부문에서의 흡수 및 배출량까지 반영하는 것을 의미한다. 토지이용과 산림부문에서 흡수량이 배출량보다 많을 경우, 그 차이만큼 산업부문에서 더 배출할 수 있도록 허용하지는 것이다. 선진국들은 공원 조성이나 숲 조성, 황폐한 지대에 새로 나무를 심는다거나 산림의 타용도로의 전용, 혹은 기준연도인 지난 1990년 이후 실시된 재조림, 혹은 벌채 등과 같은 인간이 의도적으로 행한 토지용도의 변경이나 산림활동의 변화에 따른 탄산가스 감축분만을 인정하자는데 동의했다(김선희, 1998). 순배출량방식에서 흡수원으로 인정된 것은 산림부문으로, 이를 통해 산림의 효용가치와 관리방식에 새로운 변화가 예고되었다. COP3 이후 줄곧 온실가스 흡수원으로 산림만 언급되었으나, 2010년 사막화방지협약(UNCCD) 총회부터 토지가 고려되기 시작하였다.¹⁰⁾

COP21에서는 21세기 후반(2050-2100)에는 인간에 의한 온실가스 배출량을 산림, 토양, 바다 등 자연이 흡수할 수 있는 방향으로 제한하자는 것이 합의되었고(한국보건의사회연구원, 2016), 이어 2021년 영국 글래스고에서 열린 COP26에서는 자연기반해법(NbS)이 기후변화 대응수단으로 전면으로 드러나면서, 2030년까지 산림손실과 토지 황폐화를 중단하고 복원하기로 약속했다. ‘산림과 토지 이용에 관한 글래스고 정상선언’을 통해 2030년까지 전 세계 산림전용 및 황폐화를 영(0)으로 만들기 위한 범지구적 참여를 촉구한 것이다. 또한, 선진국은 아프리카 콩고 분지가 기후변화 대응에서 중요함을 인식하고 습지와 산림 등 자연을 보호하기 위해 최소 15억 달러를 지원하겠다고 선언했다.¹¹⁾

10) “토양의 탄소흡수보고기준 가이드라인, 내년에 나온다”(2022.9.15.) (임팩트온(www.impacton.net), 접속일: 2023.12.9.)

11) “토양의 탄소흡수보고기준 가이드라인, 내년에 나온다”(2022.9.15.) (임팩트온(www.impacton.net), 접속일: 2023.12.9.)

2. 사막화방지협약(UNCCD) 및 생물다양성협약(UNCBD)

사막화방지협약(UNCCD)은 인구증가, 경작지 확보를 위한 화전, 벌채, 방목과 같은 인간의 행동으로 인해 토양이 황폐해지는 것을 막아야 한다는 합의이다. 기후변화협약(UNFCCC)과 함께 1992년 리우환경회의에서 의결되어 1996년 12월에 발효되었다. 1997년 이탈리아 로마에서의 1차 총회 이후 매년 회의가 개최되다가 2001년 이후 2년마다 회의가 열리고 있다. 2011년 COP10은 경남 창원에서 진행되었는데, 이 회의에서 창원이니셔티브가 채택되었고, 국제사회가 중국, 몽골, 북한 등 동북아 사막화의 심각성에 대해 인식하는 계기가 마련되었다고 평가받는다.¹²⁾

2019년 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)는 제50차 총회에서 ‘기후변화와 토지 특별보고서(Climatic Change and Land)’를 채택하였다. 이 보고서에 의하면 토지가 식량과 물을 공급하는 중요한 기반이자, 토지 이용이 인간 활동에 의한 온실가스 배출량의 23%를 차지할 정도로 기후변화에서 중요하다는 점이 강조되었다.¹³⁾ 토지의 온실가스 흡수량은 IPCC 온실가스 인벤토리 가이드라인을 통해 측정하는데, 토지이용에서 토지는 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 6개 분야로 구분되며, 토지별로 바이오매스, 토양탄소, 목재제품, 고사 유기물 등 모든 탄소저장고를 고려해 탄소축적변화로 산정한다. 그러나 아직 보고 기준이 충분히 정비되어 있지 않은 상황이다.

리우회의의 또 다른 산물은 생물다양성협약(UNCBD)이다. 생물다양성협약은 생물다양성을 생태계, 종, 유전자 세 가지 수준에서 파악하고 생물다양성의 보전, 생물다양성 구성요소의 지속가능한 이용, 유전자원의 이용으로부터 발생하는 이익의 공정하고 공평한 배분을 목적으로 하는 국제 조약이다. 1993년에 발효되었으며 COP1은 1994년 바하마 나소에서, COP2는 1995년 인도네시아 자카르타에서 개최되었다. 1996년부터는 2년 주기로 진행 중인데, 2014년 한국 평창에서 개최된 COP12에서 ‘지속가능발전을 위한 생물다양성에 관한 강원 선언문’을 채택한 바 있다.

2022년 당사국총회(COP)에서는 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크(POST-2020 GBF, Global Biodiversity Framework)가 채택되었다. 이 프레임워크는 2050년까지 자연과 조화로운 삶이라는 비전을 달성하기 위한 사회·경제 전 분야의 변혁적인 행동을 강조하는 내용으로, 4개 목표와 23개 세부목표로 구성된다. 특히, 2030년까지 전 지구적으로 육상 및 해양의 최소 30%를 보호지역으로 보전 관리하고, 훼손된 육지 및 해양 생태계의 최소 30%를 복원할 것이 채택되었다.¹⁴⁾ 이는 SDG 지표

12) 국립생태원(www.nic.re.kr, 접속일: 2023.12.2.)

13) “IPCC, ‘기후변화와 토지 특별보고서’ 채택” (기상청 보도자료, 2019.8.8.)

14) “제15차 생물다양성협약(COP15) 마무리-쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크 채택-” (환경부 보도자료, 2022.12.20.)

15.1.2 (육상 및 담수 생물다양성 중요 지역 중 보호지역으로 지정된 면적 비율), 15.4.1 (산악생물다양성 중요 지역 중 보호지역으로 지정된 면적 비율), 14.5.1 (해양 면적 대비 보호지역 비율)과 직접적으로 연관된다.

3. UN SDGs와의 관계

SDGs는 인류의 보편적인 발전을 위해 전 세계 모든 국가가 2030년까지 달성하기로 합의한 국제 사회의 최대 공동목표로, 17개 목표와 169개 세부목표, 231개 지표로 구성되어 있다. 2001년부터 2015년까지 시행된 MDGs에 이어, 2015년 9월 제70차 UN 총회에서 193개 회원국의 만장일치로 ‘세계의 변혁: 지속가능발전을 위한 2030 의제 (Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, 2030의제)’를 채택하면서 시행되었다. SDGs는 MDGs를 계승하는 동시에 리우환경회의와 통합된 역사적인 맥락을 갖고 있다. 이에 따라, 빈곤 및 성평등과 같은 인류의 보편적 문제, 경제·사회 문제뿐 아니라 기후 및 자연생태계와 관련된 환경문제를 균형있게 담고 있다. 무엇보다 이행과정에서 ‘어느 누구도 뒤처지지 않게 한다(Leave No One Behind)’는 슬로건 아래 포용성을 기본 정신으로 한다는 점에 주목해야 한다.

특히 SDGs 17개 목표 중 13번째는 ‘기후변화 대응’을 목표로 한다. 기후변화에 대응하기 위해 인간 활동으로 발생한 온실가스 배출을 줄이고 이로 인한 지구의 평균 온도를 낮춰 그 영향을 최소화하는 데 지향점을 두고 있다. 13번 목표 이행은 2015년 12월 COP21에서 채택한 파리협정과 직결된다. 2030 의제에도 SDG13의 이행은 당시 기준 12월로 예정되어 있던 파리협정의 내용으로 보완될 것임이 명시되어 있다.¹⁵⁾



출처: <http://sdgs.un.org> (접속일: 2023.12.8.)

<그림 2-1> 지속가능발전목표(SDG)의 17개 목표

15) UN, 2015, para.31~32.

<표 2-2>는 SDG13의 세부목표 및 지표 구성 현황으로, 절반 이상의 세부목표와 지표가 기후변화협약(UNFCCC)과 관계됨을 알 수 있다. 구체적으로, 국가감축기여목표(NDC, Nationally Determined Contribution)의 이행과 선진 당사자국이 매년 1,000억 달러를 동원하겠다는 목표를 이행하고, 최빈국의 기후변화와 관련된 효과적인 계획과 관리역량을 강화하는 것을 세부목표로 한다.

SDG 13번째 목표 외에도 SDGs에는 기후위기 대응을 위한 노력들이 다각도로 다루어지고 있다. 예를 들면, SDG7(모두를 위한 적정가격의 신뢰할 수 있고 지속가능하며 현대적인 에너지에 대한 접근 보장)에서는 재생에너지를, SDG11(포용적이고 안전하며 회복력 있고 지속가능한 도시와 주거지 조성)과 SDG12(지속가능한 소비와 생산양식 보장)에서는 폐기물을 다룬다. 또한, SDG14(해양생태계 보존) 및 SDG15(육상생태계보존)는 생물다양성협약(UNCBD) 및 사막화방지협약(UNCCD)을 반영한 세부목표를 설정함으로써, 부가적으로 탄소흡수지역 보호에 기여하고 있다.

<표 2-2> SDG13(기후변화 대응) 세부목표 및 지표 구성

세부목표		지표	
13.1	기후관련 위험 요소와 자연재해에 대한 적응역량 및 탄력성 강화	13.1.1	인구 10만 명당 재난으로 인해 사망, 실종, 직접적 피해를 입은 인구수
		13.1.2	재난위험감축을 위한 센다이프레임워크(2015-2030)에 따라 국가재난위험 감축전략을 채택하고 이행하는 국가의 수
		13.1.3	국가의 재난위험감축전략에 따라 지자체 차원에서 전략을 갖추고 있는 비율
13.2	국가정책, 전략 및 계획에 기후변화 조치 통합	13.2.1	국가감축기여목표(NDC), 장기전략, 국가적용계획 등을 보유한 국가의 수
		13.2.2	연간 온실가스 총 배출량
13.a	개발도상국들의 기후변화 완화 활동의 이행 및 녹색기후펀드의 완전한 운영을 위해 유엔기후변화 협약상의 선진국들의 공약인 연간 1000억 달러 동원 즉각 이행	13.a.1	2025년까지 1000억 달러 재원 조성을 위해 매년 제공 혹은 모금되는 금액
13.b	최빈개도국의 효과적인 기후변화 관련 계획 및 관리 역량 제고 메커니즘 촉진(취약계층, 여성, 청소년 및 소외집단 포함)	13.b.1	국가감축기여목표(NDC), 장기전략, 국가적용계획 등을 보유한 최빈국 및 군소도서국 수

주: 굵은 글씨는 기후변화협약(UNFCCC) 관련으로 저자가 표시

제2절 국내의 정책적 동향

1. 역사적 흐름

국제정치가 국내정치로 이전하는 과정은 연계주체에 따라 세 가지 경로로 구분된다. 첫째는 강대국의 국내정치를 통한 동형화, 둘째는 국제화를 통한 사회화, 셋째는 개별 국가의 자발적 이행이다(김태균·김보경·심예리, 2016).¹⁶⁾ 국내에서 국제적인 환경 의제가 확산되는 과정은 1992년 리우회의 이후 지방자치단체를 중심으로 시작된 지속가능발전 역사와 2015년 2030 의제 채택 이후의 한국형 지속가능발전목표 수립 과정을 비추어 볼 때 ‘개별 국가의 자발적인 해석 과정에 의한 정책 의제화’로 이해될 수 있다.¹⁷⁾

한국에서 지속가능발전 정책의 물꼬는 지방자치단체에 의해 트여졌다. 리우회의에서 채택된 의제21(Agenda 21)을 이행하기 위해 1995년 부산을 시작으로 지방의제21을 수립하기 시작한 것이다. 의제21은 ‘21세기 지구환경보전을 위해 전 인류가 논의하고 실천할 과제’를 의미하는데 동 의제 28장에 지구환경 보전을 위해 지방정부에서 지방의제21을 채택할 것이 권고되었다. 한국은 녹색도시 부산21을 시작으로 지방의제21 운동이 확산되기 시작하였다.

지방 단위의 자발적인 지속가능발전 운동은 중앙 단위로 그 영향력이 확산되었다. 2000년에 대통령 자문 지속가능발전위원회가 설립되면서 지속가능발전 정책이 본격적으로 추진되었으며, 2007년에는 지속가능발전기본법을 제정하기에 이르렀다. 그러나, 이명박 정부 들어 저탄소녹색성장기본법이 제정(2010년)됨과 동시에 지속가능발전기본법이 지속가능발전법으로 격하되고 지속가능발전위원회 또한 대통령 소속에서 환경부 소속으로 조정되었다. 이 과정에서 녹색성장위원회가 대통령실 소속으로 위치하면서, 지속가능발전이 녹색성장에 비해 상위개념임에도 불구하고 법적 구조는 역치되는 상황에 직면하였다(<표 2-3> 참고). 이에 관한 비판적 대응이 학술적(윤순진, 2009; 함태성, 2009 등) 및 실무적 차원¹⁸⁾에서 계속된 가운데, 2015년 채

16) 첫 번째는 특정 강대국이 국제규범을 주도적으로 기획하고 국제기구를 통해 전 세계로 전파하며 헤게모니 권력의 일환으로 사회화를 도모하는 것을 의미하고, 두 번째는 국제기구 회원국들이 특정 규범 내지 원칙을 공유하고 이를 동등하게 모든 회원국에게 적용하는 보편주의가 이론적 토대가 되며, 세 번째는 일방적으로 개별국가가 국제규범을 의무적으로 수용하는 것이 아니라 자국의 상황에 맞게 국내화하는 자율성을 갖는 경우를 의미한다.

17) 지속가능발전에 관한 글로벌 맥락이 국내 정책과 어떠한 상관성을 갖는지에 대한 분석은 Park and Park (2023)을 참고할 것

18) 지속가능발전법을 기본법으로 복원하려는 법 개정 연혁은 다음과 같다: 지속가능발전법 일부개정법률안(의안번호 1910714), 지속가능발전법 전부개정법률안(의안번호 2007354), 지속가능발전법 전부개

택된 ‘2030 의제’와 ‘파리기후변화협약’은 지속가능발전법의 기본법 복원을 위한 활동에 분기점이 된 것으로 파악된다. 지속가능발전기본법이 2022년 1월 제정되면서 환경부 소속하에 있던 지속가능발전위원회는 대통령 소속으로 격상되었다.

<표 2-3> 지속가능발전과 녹색성장의 비교

구분	지속가능발전	녹색성장
기구	UNCSD	UN ESCAP
태동	우리 공동의 미래(Our Common Future) (1987)	UN 아태환경개발장관회의 (2005)
대상	전 세계 국가	아태지역 국가
배경	성장의 결과인 환경오염 복구	성장 단계에서 환경오염 방지
목적	경제성장, 사회발전, 환경보호 동시 추구	빈곤 극복과 환경적 지속가능성 확보

출처: 윤순진, 2009.

그러나, 이보다 먼저 저탄소녹색성장기본법이 폐지되고, 2021년 9월 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장기본법이 제정되면서, 국조실 소관의 녹색성장위원회 또한 대통령 소속의 2050탄소중립녹색성장위원회로 변경되었다. 이에 따라, 현재 지속가능발전과 녹색성장의 위상은 병렬적으로 동등한 상황이다(<그림 2-2> 참조).

하지만, 대통령 소속 지속가능발전위원회는 환경부 소속 지속가능발전위원회 회기가 마무리된 2022년 12월 이후, 그리고 지속가능발전기본법이 시행된 2023년 7월 이후에도 구성되지 못하고 있는 상황으로, 탄소중립을 포함한 기후위기 관련 실질적으로 최상위 역할을 하는 것은 탄소중립녹색성장위원회라고 할 수 있다.



출처: 저자 작성

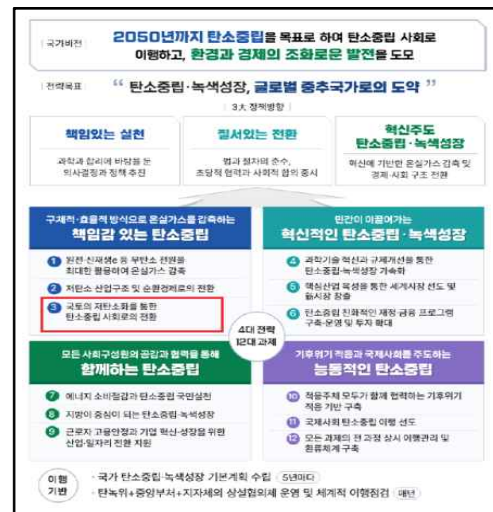
<그림 2-2> 지속가능발전위원회와 (탄소중립)녹색성장위원회 위상 변천 연혁

2. 최상위 법정 계획

한국은 탄소중립녹색성장기본법에 따라 <그림 2-3>과 같이 국가비전과 전략을 수립하였다. 이를 근거로 온실가스 감축이행 로드맵을 설정하였으며, 로드맵의 실천을 위해 5년 단위 국가 기본계획을 마련하였다.

‘2050년까지 탄소중립을 목표로 하여 탄소중립 사회로 이행하고, 환경과 경제의 조화로운 발전을 도모’한다는 국가 비전하에 4대 전략 12대 과제가 설정되었다. 12대 전략과제 중 본 연구에서 주목하고 있는 것은 ‘국토의 저탄소화를 통한 탄소중립 사회로의 전환(전략3)’이다. 이 전략안에는 ‘탄소흡수원 확충’이 포함되어 있으며, 탄소흡수원으로서 산림, 해양, 습지의 가치 재발굴이 선언되었다.

이어 국가기본계획을 통해서 탄소중립 달성을 위한 부문별·연도별 감축목표와 목표달성을 위한 감축수단별 정책이 구체화되었다. <표 2-4>는 2030년까지의 부문별 온실가스 배출량 목표이다. 한국은 2021년 10월 2030 국가감축기여목표(NDC) 상향안을 마련하여 유엔에 제출한 바 있으나,¹⁹⁾ 탄소중립기본법 시행에 따라서 감축수단별 이행 가능성을 고려하여 부문 간, 부문 내 감축량을 일부 조정하였다(관계부처 합동, 2023). 이 전략에 따르면, 탄소흡수에 따른 감축분은 26.7백만 톤, 탄소포집·활용·저장(CCUS, Carbon Capture, Utilization and Storage)에 따른 감축분은 11.2백만 톤이다. 국제감축분도 37.5백만 톤으로 예정되어 있으나, 이는 국내감축분의 보충적 수단으로 활용하고 COP21(파리협정) 등 전 지구적 탄소 저감에 기여하는 방향으로 추진할 계획이라고 밝혔다.



출처: 관계부처합동, 2023, p.16.

<그림 2-3> 탄소중립 비전 및 추진전략

19) 2015년 6월, 2030 국가 온실가스감축목표를 최초 수립하였다. 2030년 BAU(Business As Usual) 대비 온실가스 배출을 37% 감축하는 목표를 수립하였다. BAU란, 추가적인 감축노력을 하지 않고 현재 추세로 진행할 때 예측되는 미래의 온실가스 배출 전망치를 의미한다. 그리고 이의 이행을 구체화를 위해서 2030 NDC 달성을 위한 기본 로드맵을 16년 12월, 18년 7월 두 차례 마련한 바 있다. 2019년 12월 감축목표의 표기방식을 BAU 방식에서 절대치 방식으로 변경한 2030 NDC 수정안을 발표하였다. 이에 따라 2018년 온실가스 배출량 대비 26.3% 감축목표를 수립하여 유엔에 제출(20.12)하였다. BAU는 임의변동 가능성이 있어서 고정불변하는 절대치 방식으로 변경함으로써, 감축의지를 명확화하는 것이었다. 이후 2021년 10월에는 2050 탄소중립 선언의 후속조치로 2018년 온실가스 배출량 대비 40%를 감축하겠다는 목표 상향안을 발표하고 유엔에 제출하였다(관계부처 합동, 2023).

<표 2-4> 온실가스 감축로드맵에 따른 부문별 온실가스 배출량 목표치

(단위: 백만톤 CO_{2eq}, 괄호는 '18년 대비 감축률)

구분	부문	2018 실적	2030 목표	
			기존 (2021.10.)	수정 (2023.3.)
배출량(합계)		727.6	436.6 (40.0%)	436.6 (40.0%)
배출	전환	269.6	149.9 (44.4%)	145.9 (45.9%) ¹⁾
	산업	260.5	222.6 (14.5%)	230.7 (11.4%)
	건물	52.1	35.0 (32.8%)	35.0 (32.8%)
	수송	98.1	61.0 (37.8%)	61.0 (37.8%)
	농축수산	24.7	18.0 (27.1%)	18.0 (27.1%)
	폐기물	17.1	9.1 (46.8%)	9.1 (46.8%)
	수소	(-)	7.6	8.4 ²⁾
	탈루 등	5.6	3.9	3.9
흡수 및 제거	흡수원	(-41.3)	-26.7	-26.7
	CCUS	(-)	-10.3	-11.2 ³⁾
	국제감축	(-)	-33.5	-37.5 ⁴⁾

출처: 관계부처합동, 2023, p.21.

주: 기준연도(2018) 배출량은 총배출량 / 2030년 배출량은 순배출량 (총배출량 - 흡수·제거량)

흡수원과 탄소포집·저장·활용(CCUS)의 연도별 감축분은 아래 <표 2-5>와 같다. 흡수원에 의한 흡수량은 2030년까지 -26.7백만 톤이다. 그런데 표에서 보듯이 흡수량은 감소하는 추세이다. 이는 산림평균연령 증가에 따른 것으로, 산림 이외의 다양한 공간의 흡수원 활용 전략이 요구되는 상황임을 예상해 볼 수 있다.

<표 2-5> 탄소흡수원 및 탄소포집·저장·활용(CCUS) 기술의 연도별 배출량 목표

(단위: 백만톤 CO_{2eq})

부문	2018 (기준연도)	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
흡수원	-41.3	-33.5	-31.3	-28.9	-30.4	-29.1	-28.3	-27.6	-26.7
CCUS	(-)	-	-	-	-0.4	-0.7	-1.3	-3.2	-11.2

출처: 관계부처합동, 2023, p.22.

주: 국제사회에 제출된 2018년 총 배출량은 727.6백만 톤이나 순배출량 기준으로는 686.3백만 톤이며, 모든 연도별 합계는 순배출량 기준임

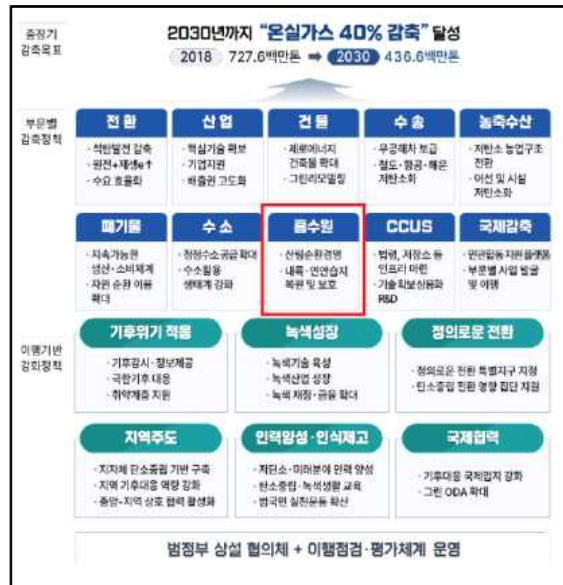
이에 따라 국가기본계획에서는 첫째 산림순환경영으로 탄소흡수저장 기능을 증진하고, 둘째 해양 흡수원을 체계적으로 복원·관리하는 동시에 흡수력을 규명하며, 셋째 산림 흡수원의 보전 복원 및 신규 흡수원을 확대하는 계획을 수립하였다. 이 중 두 번째 전략과 관련해서는 연안습지의 복원·보호를 통한 탄소흡수력 확대 및 바다숲 확대 조성, 신규 블루카본²⁰⁾ 발굴 등을 추진하는 세부계획을, 세 번째 전략 관련해

20) 블루카본(Blue carbon)이라는 용어는 2009년 UN환경계획(UNEP, United Nations Environment Programme), UN식량농업기구(FAO, Food and Agriculture Organization for United Nations) 및 정부간 해양위원회(IOC-UNESCO, Intergovernmental Oceanographic Commission)의 공동보고서에서 최초로 제안된 개념이

서는 신규 흡수원으로 도시숲 및 유휴 토지 조립 등을 계획하고 있다.

이와 함께 주목해 볼 부분은 온실가스 산정, 보고, 검증(MRV, Measurement, Reporting, Verification) 체계 고도화이다. 이 중 본 연구와 관련되는 것은 토지이용 변화 매트릭스 작성체계 구축이다. 이는 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 지침에 따라 국내 토지이용 구분체계를 정립하고 국가통계와의 정합성 문제를 해결하기 위한 것이다. 토지, 토지이용변화 및 임업(LULUCF) 영역을 세분화해 보면, 토지, 토지이용변화, 임업으로 구분되는데 이 중 토지이용변화에 대한 통계가 부진한 상황이다. 이와 함께 정부는 탄소배출 흡수량 및 관련 데이터를 통합적으로 관리할 수 있는 정보관리체계 마련 및 플랫폼 구축을 2027년까지 완료할 계획인데 이를 위해서는 토지이용 및 토지이용변화, 토지관리, 자연재해 등에 관한 데이터 구조화가 필요한 상황이다.

한편, 2023년 7월, 지속가능발전 기본법의 시행을 통해, 국가 및 지방차원의 지속가능발전기본계획 수립 근거가 마련되었다. 제4차 국가지속가능발전기본계획(2021-2040)은 포용과 혁신을 통한 지속가능 국가 실현이라는 비전하에 4대 전략 즉 사람이 사람답게 살 수 있는 사회, 혁신



출처: 관계부처합동, 2023, p.24.

<그림 24> 탄소중립녹색성장 제1차 국가기본계획



출처: 관계부처 합동, 2020, p.21.

<그림 25> 제4차 지속가능발전기본계획 2021-2040

다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에 의한 블루카본의 사전적 의미는 “관리 가능한 해양계 내에 저장되는 모든 생물학적 탄소 흐름”으로 정의된다. 일반적으로 블루카본은 해양 및 연안 생태계에 의해 포집되어 수백 년에서 수천 년 동안 영구적으로 저장되는 유기탄소로 저장될 수 있다(윤호성 외, 2022).

신적 성장을 통한 국민의 삶의 질 향상, 미래 세대가 함께 누리는 깨끗한 환경, 지구촌 평화와 협력 강화라는 전략을 수립하였다.

이 중 미래 세대가 함께 누리는 깨끗한 환경이라는 전략하에 있는 기후변화 대응(목표13), 해양생태계 보전(목표14), 육상생태계 보전(목표15)이 자연생태계 보전을 통해서 탄소흡수 기능을 강화할 수 있는 내용이라고 할 수 있다. 한편, 각각의 목표는 한국의 맥락에 부합하게 유엔 SDGs를 수정 보완하여 마련되었다.

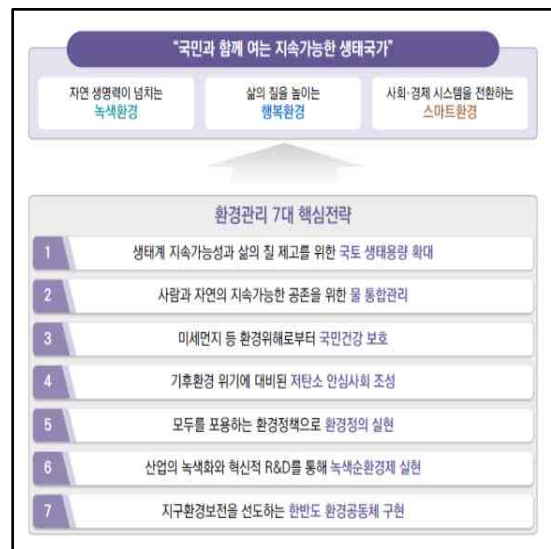
3. 부문별 연관계획

환경부의 국가환경종합계획과 국토교통부의 국토종합계획은 국토 환경을 종합적으로 다루는 대표적인 국가계획이다. 이 계획을 뼈대로 해양수산부 및 산림청 등에서 탄소흡수 공간별 전략을 수립하고 있다.

국가환경종합계획은 헌법(제35조) 및 환경정책기본법(제14조)에 따라 구축된다. 이 법의 공간적 범위는 대한민국의 주권이 실질적으로 미치는 국토 및 해양 전역이며, 필요시 환경영향권을 고려하여 한반도 및 동북아시아 전체를 공간적 영역으로 포함하고 있다. 이 법은 환경 분야 범정부 최상위 계획의 근간으로서 분야별 환경계획, 타 중앙행정기관 및 지자체 환경계획에 대한 기본원칙 및 방향을 제시한다. 특히 국가환경종합계획은 지속가능발전의 공동목표를 달성할 수 있도록 국토종합계획과의 통합관리를 실천하고 있다.

제5차 국가환경종합계획(2020-2040)은 녹색환경, 행복환경, 스마트환경이라는 3대 전략하에 환경관리 7대 핵심 전략을 도출하였다. 이 중 탄소흡수 관련 공간은 ‘생태계 지속가능성과 삶의 질 제고를 위한 국토 생태용량 확대(전략1)’와 관계된다. 이 전략을 효과적으로 수행하기 위해서 <그림 2-7>과 같이 국토생태축을 설정하였다. 이는 생태녹지축과 해양·연안수계축으로 구성된다.

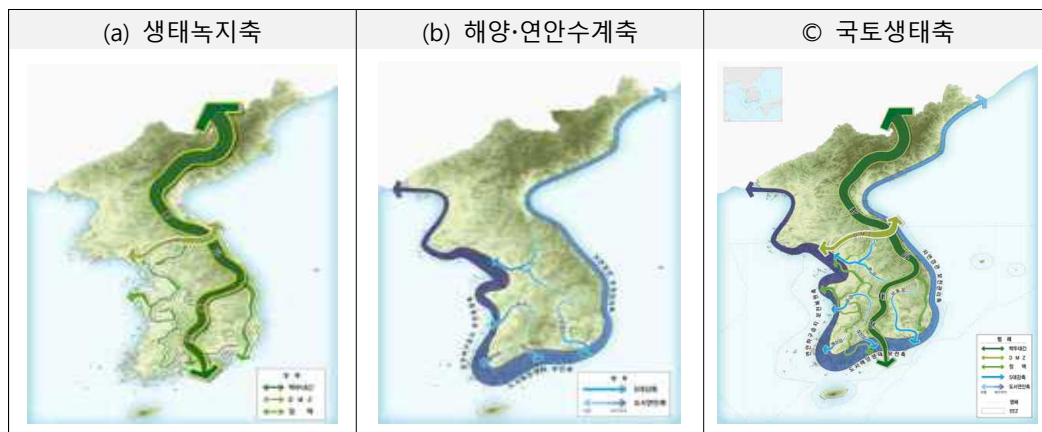
생태녹지축은 백두대간 보호지역, DMZ(Demilitarized Zone)를 바탕으로 한 능선축과 산줄기 연결망 자료를



출처: 관계부처 합동, 2019, p.43.

<그림 2-6> 제5차 국가환경종합계획(2020-2040)

바탕으로 기본 방향이 설정되었으며, 여기에 법정 보호지역 및 생태환경 데이터베이스 기반의 광역 생태축 자료를 바탕으로 형태와 폭이 설정된 것이다(<그림 2-7>의 (a) 참조). 해양·연안수계축은 5대 국가하천, 연안 등 해양의 법정 보호지역을 바탕으로 설정하고, 해수면 상승 취약성 분석 자료를 중첩하여 연안수계축의 형태와 폭을 설정하였다(<그림 2-7>의 (b) 참조). 두 축을 통합하여, 최종적으로 <그림 2-7>의 (c)와 같은 한반도 전체의 생태골격이 구축되었다.



출처: 관계부처 합동, 2019, p.45-46.

<그림 2-7> 국가환경종합기본계획에 따른 국토생태축의 구성

한편 국토 생태용량 확대(전략1)를 측정하는 지표로는, ①국토우수생태계지역, ②생태훼손지역 보전 및 복원, ③국가 생물종 목록화 수, ④생태계 서비스 활성화 촉진구역 지정, ⑤국가 연안 및 해양 건강성지수가 있다. 아래의 <표 2-6>은 지표별 2030년, 2040년까지의 목표치를 제시한 것이다.

<표 2-6> 국토 생태용량 확대 전략 평가 지표 및 목표치

구분	단위	기준연도		2030	2040
국토우수생태계지역	%	24.8('18)	⇒	27	⇒ 33
생태훼손지역 보전·복원	ha	465('17)	⇒	1,200	⇒ 2,000
국가생물종 목록화 수	천종	50.8('18)	⇒	68	⇒ 75
생태계서비스 활성화 촉진구역 지정	건	-	⇒	20	⇒ 50
국가 연안·해양 건강성지수	100점	77('18)	⇒	80	⇒ 85

출처: 관계부처 합동, 2019, p.50.

주: 국토우수생태계지역은 보호지역과 생태자연도 1등급 지역 의미

국토생태축은 국토종합계획에 의해 권역별 공간환경 관리전략과 통합됨으로써 효과성이 증대된다. 국토종합계획은 헌법(제120조)과 국토기본법(제6조)에 근거한 최상위 국가공간계획이다. 이 법은 주권이 실질적으로 미치는 국토 전역을 대상으로 하며, 필요시 한반도와 이를 둘러싸고 있는 동아시아 전역으로 확대된다.

제5차 국토종합기본계획(2020-2040)은 균형국토, 스마트국토, 혁신국토라는 3대 목표하에 6대 발전전략을 수립하였다(<그림 2-8> 참고). 이중 안전하고 지속가능한 스마트국토는 국토기본법 제2조, 국토계획현장뿐 아니라 SDGs를 모티브로 하였다. 기후변화 등 환경이슈에 대응하고, 생태 네트워크 강화를 통해 지속가능한 국토환경을 조성하고, 국토자원과 경관관리를 통해 국토 매력도를 제고하겠다는 것이 SDGs와 관계된다.²¹⁾

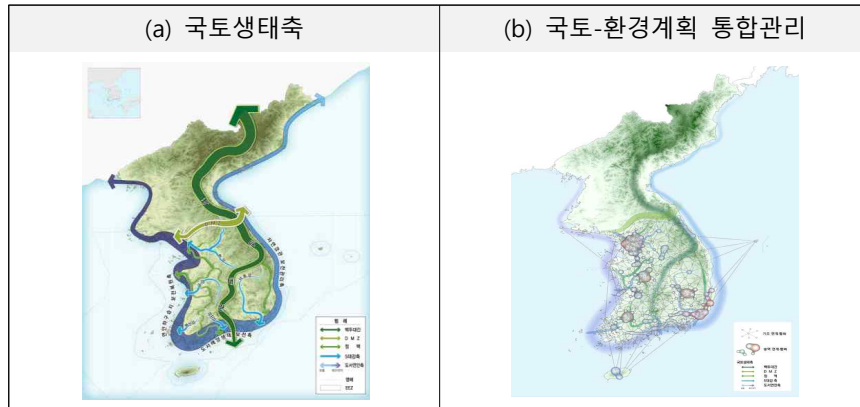
6대 전략 중 국토생태축과 연관된 것은 ‘품격있고 환경친화적 공간 창출(전략4)’이다. 국토생태축의 구체적인 공간범위를 설정하고 복원·관리체계 등을 법제화하여 국토 생태기능을 증진하고 연결성을 강화하는 것을 목표로 한다. 무엇보다, 국토생태축과 도심지 녹지공간과의 연결 강화를 염두에 두었다(<그림 2-9> 참조). 도심지 내에 공원, 녹지 등과 건물의 옥상정원, 공개공지, 그리고 이들을 연결하는 녹도(green way), 보행자 및 자전거도로, 가로수 등을 확충하고 접근성을 개선하여 어디에서 거주하든 기본적인 환경서비스를 보장하는 것을 골자로 한다.



출처: 대한민국정부, 2019, p.25.

<그림 2-8> 제5차 국토종합계획(2020-2040)

21) 한편, 제1차~제3차까지는 개발 중심의 국토종합계획이 수행되었으나, 제4차 국토종합계획에서부터 글로벌 녹색국토가 비전으로 상향된 바 있다(제1차부터 제4차까지 국토종합계획의 내용은 <부록 2> 또는 국토연구원(2019, p.6)을 참고할 것).

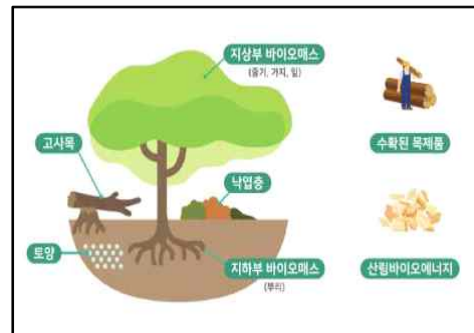


출처: 관계부처 합동, 2019, p.46(그림a); 대한민국정부, 2019, p.113(그림b).

<그림 2-9> 국토환경계획 통합관리

국토계획은 국토조사를 통해서 수집된 객관적 데이터를 기반으로 모니터링을 실시한다. 이 중 품격있고 환경친화적인 공간창출(전략4)과 관련된 모니터링 지표는 ①녹색인프라(환경기초시설) 확보율, ②공원시설 접근성, ③토지이용(건물) 복합도, ④토지이용(건물) 압축도, ⑤신재생에너지 보급률이다.

산림청 및 해양수산부 등 탄소흡수공간을 관리하는 주관부처도 관련 기본계획을 수립하였다. 산림청은 탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률 제5조를 근거로 탄소흡수원 증진 종합계획을 수립하였다. 광의의 탄소흡수원은 산림, 해양 등을 모두 포함하지만, 이 계획은 산림부문 탄소흡수원만을 대상으로 한다. 산림에서 탄소흡수원은 <그림 2-10>에서 보는 바와 같이 탄소를 흡수하고 저장하는 입목, 고사유기물, 토양, 목제품 및 산림바이오매스 에너지를 말한다.



출처:산림청, 2022, p.2.

<그림 2-10> 산림부문의 탄소흡수원 유형

제3차 탄소흡수원 증진 종합계획(2023-2027)은 산림을 통한 탄소중립 실현과 녹색성장 달성이라는 비전하에, 2027년까지 국가 온실가스 감축량의 21%(3,000만 톤)에 기여한다는 구체적인 목표치를 제시하고 있다. 기본계획의 추진전략 중 산림 탄소흡수원 보전 및 복원(전략4), 신규 산림 탄소흡수원 확충(전략2)이 국토그린 공간변화와 관련된다. 특히 이 계획에서는 탄소흡수원 중 신규 산림 탄소흡수원으로써 도시숲을 주목하고 있다.

이에 따라, 도시숲 조성이 탄소흡수원 증진 활동에 포함되도록 하는 법적 근거²²⁾를 마련하고 관련 기본계획을 수립하여 운영하고 있다. 도시림 기본계획이 그것인데, 이는 도시지역의 산림과 수목을 대상으로 한다. 도시림은 도시에서 국민보건휴양, 정서함양 및 체험활동 등을 위하여 조성, 관리하는 산림 및 수목을 의미하며 도시에 해당하지 않는 면지역과 자연공원은 제외된다.

도시림은 도시숲과 상호호환적으로 사용되고 있는데, 관련 용어 정의는 <표 2-7>과 같다. 이처럼 도시림, 생활림, 가로수 등은 도시숲법 제25조에 따라 탄소흡수원으로 인정되고 있는 추세이다. 한편, 도시숲의 7대 기능은 ①경관보호, ②재해방지, ③역사문화, ④휴양복지, ⑤생태계 보전, ⑥기후보호, ⑦미세먼지 저감이며, 이 중 ⑥번과 ⑦번 기능이 신규로 추가되었다.



출처: 산림청, 2022, p.10.

<그림 2-11> 제3차 탄소흡수원 증진 중합계획(2023-2027)

<표 2-7> 도시림과 도시숲 정의

용어	정의
도시림	도시에서 국민보건휴양·정서함양 및 체험활동 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목(면지역과 자연공원 제외)
생활림	생활권 주변지역 및 학교와 그 주변지역에서 국민들에게 쾌적한 생활환경과 아름다운 경관의 제공 및 자연학습교육 등을 위해 조성·관리하는 산림 및 수목(명상(학교)숲, 마을숲, 경관숲)
가로수	도로구역 안 또는 그 주변지역에 심는 수목(가로수 : 가로수의 집단, 가로수 사이 공간 및 주변에 조성·관리하는 숲, 고속국도 제외)
도시림 등	도시림 + 생활림 + 가로수 + 기타(옥상·벽면녹화, 도시공원·녹지 등)
도시숲	좁은 의미의 '도시림'과 넓은 의미로의 '도시림 등'으로 사용

출처: 산림청, 2016, p6

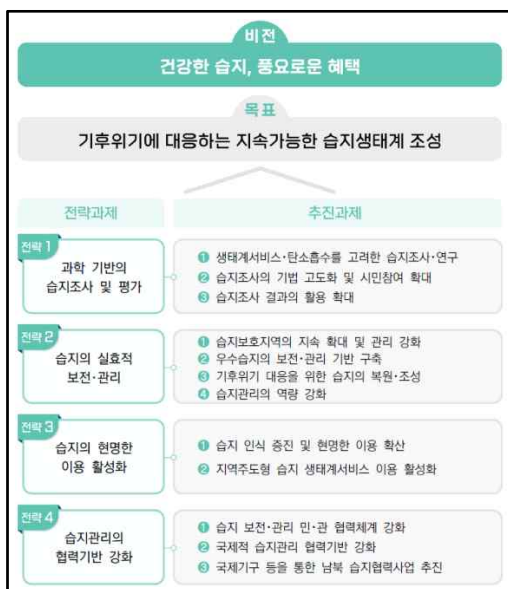
22) 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률(약칭: 도시숲법, 2023.6. 시행)



출처: 산림청, 2017, p.11.

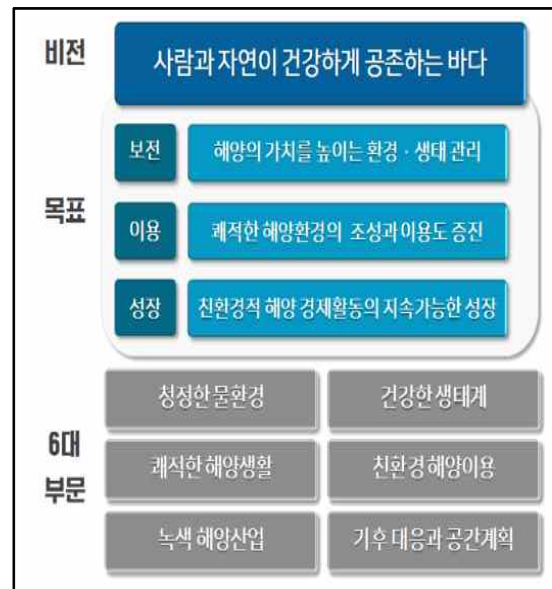
<그림 2-12> 대전 은구비 도시숲 사례

탄소흡수원으로, 주목받고 있는 또 다른 공간은 습지이다. 환경부와 해양수산부는 습지보전법에 따라 합동으로 습지보전기본계획을 수립한다. 이 계획은 내륙습지와 연안습지를 포함한 전국의 습지를 대상으로 한다. 제4차 습지보전기본계획(2023-2027)은 기후위기에 대응하는 지속가능한 습지 생태계 조성이라는 목표하에 4대 전략, 12개 추진과제로 구성되어 있다. 이 중 기후위기 대응을 위한 습지의 실효적 보전 관리(전략2)와 과학기반의 습지조사 및 평가(전략1)가 본 연구 범위와 연관된다(환경부·해양수산부, 2022).



출처: 환경부, 해양수산부, 2022, p.29.

<그림 2-13> 제4차 습지보전기본계획 (2023-2027)



출처: 해양수산부, 2021, p.38.

<그림 2-14> 제5차 해양환경 종합계획 (2021-2030)

한편, 해양의 탄소흡수 공간에 대한 평가는 현재까지는 연구 초기 단계이다. 제5차 해양환경종합계획(2021-2030)에서 해양온실가스 저감 수단의 다양화 차원으로 연안습지 탄소 저장능력 규명 및 블루카본을 통한 온실가스 감축 연구가 설정되어 있는 상태이다(해양수산부, 2021).

제3절 소결

기후위기 대응의 일환으로 국내외적으로 온실가스 저감을 위한 다양한 대책이 마련되고 있다. 국제적으로는 1992년 리우환경회의에서 기후변화협약, 사막화방지협약, 생물다양성협약의 환경분야 3대 협약의 체결이 논의되었고 이후 당사국총회(COP)를 거쳐 주요 이행상황을 점검하고 있다. 2015년 파리협정을 계기로 온실가스 감축은 선진국은 물론 개발도상국 등 전 세계가 감축의무 대상에 포함되는 신기후체제에 돌입하였다. 특히, 동 협약에서 21세기 후반에는 인간에 의한 온실가스 배출량을 자연이 흡수할 수 있는 수준으로 제한할 것을 명시, 탄소흡수원에 대한 관심도가 증가하고 있다. 특히, 초기에는 산림이 유일한 탄소흡수원으로 포함되었으나, 토지의 탄소저장능력, 최근에는 블루카본으로 그 범위가 확장되고 있다.

이러한 추세에 맞추어, 국내에서도 관련 법의 제개정, 국가기본계획의 수립 등을 통해 적극적으로 대응하고 있다. 2022년 기후위기 대응을 위한 탄소중립녹색성장기본법 제정에 따라서 제1차 국가기본계획이 수립되었고, 이 최상위 계획을 바탕으로 부처별로 연관계획이 수립되고 있다. 구체적으로, 환경부와 국토교통부의 종합계획인 환경보전중기종합계획과 국토종합계획이 중심 뼈대 역할을 하고 산림청, 해양수산부 등에서 탄소흡수원으로 고려되는 공간에 대한 부문별 계획이 수립되어 있다. 현재 국내에 탄소흡수원 증진 종합계획이 수립되어 있으나, 이 계획은 산림에 한정된다. 산림 이외의 탄소흡수공간으로 주목받고 있는 도시숲, 습지 및 해양은 별도의 부문별 계획을 통해 운영되고 있는 상황이다. 한편, 초창기 ‘탄소흡수’에 집중되었던 대책이 최근 수립되는 계획에서는 생태계 보전과 연계된 대책으로 변화하고 있는 추세이다. 이는 최근 국제적으로 주목받고 있는 자연기반해법(NbS)의 일환이다.

제 3 장

선행연구 고찰 통한 국토그린 개념 정립

국토그린은 국토(land)와 그린(green)의 합성어로 전체 국토 중 탄소를 흡수하는 공간을 추출하여, 해당 공간이 어떻게 변화하는지를 정기적으로 모니터링하자는 취지로 새롭게 생성한 용어이다. 이번 장에서는 해당 용어가 도출된 배경을 다루는데, 1절에서는 통계의 목적을 함축적으로 제시해 주는 ‘그린’이라는 용어에 대한 고찰 결과를, 2절에서는 통계가 다루고자 하는 범위와 관련되는 ‘국토’에 대한 고찰 결과를 제시하고자 한다.

제1절 목적 지향적 통계로써 ‘그린’ 용어 고찰

그린은 초록을 뜻하는 영어 단어 그린(green)에서 차용하였다. green의 뿌리는 앵글로 색슨어 ‘growan’이다. 이는 ‘자라다’는 뜻으로 막 싹을 틔우는 푸른 풀이나 약초, 나무와 덩굴 등의 성장모습에서 유래했다고 한다.²³⁾ 그린은 여러 문화권에서 젊음, 건강 등 긍정적인 이미지로 활용된다. 최근에는 환경보호 운동의 의미로, 그린피스, 녹색당 등의 조직명에서도 사용하고 있다.

1. 그린라운드 및 그린딜

환경정책분야에서는 그린라운드라는 용어가 있다. 1990년대 들어 환경문제가 지구적 규모로 확대되면서 환경요인을 감안한 국제무역 규범을 설정하려는 다자간 협상을 그린라운드로 지칭하기 시작하였다(조경근, 1995). 리우환경회의 이후 환경 관련 여러 협약이 체결되었는데, 일국의 국내 정책과는 달리 규제기관이 존재하지 않아 효과적인 이행에 한계가 있었다. 환경문제의 심각성은 더해져 가는 상황에서 효율적인 환경협정 준수를 위해서 환경을 국제무역과 연계하는 방법이 논의된 것이다. 가장 활발한 논의는 1995년 1월 출범한 세계무역기구(WTO, World Trade Organization)를 중심으로 이루어졌다. 환경-무역 규제 조치는 완전한 자유무역 실현을 목표로 하는

23) 구글 용어 검색 결과

WTO 원칙과 상충되는 부분이 많아 국제적인 합의를 바탕으로 환경과 무역을 연계시킬 수 있는 새로운 무역질서의 확립이 요청되었기 때문이다. 이에, WTO는 산하에 무역환경위원회를 설치하고, 지속가능발전을 지향하면서 무역과 환경의 조화로운 추구를 위해 WTO 개정 규정 등을 논의하였다(김태현, 2006). 그린라운드는 우루과이라운드²⁴⁾ 각료회담에서 무역·환경에 관한 결의문이 채택되어 공식 출범하게 된 환경과 무역에 관한 다자간 협상을 일컫는다. 이에 따르면, 국제환경기준에 미달되는 국가에 대해서는 그 국가에서 생산된 제품의 수입을 일방적으로 제재할 수 있도록 한 것이다.²⁵⁾

비교적 최근인 2019년 12월에는 EU(European Union) 집행위원회에서 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’을 발표하였다. 이는 2050년 기후중립 목표 달성을 위해 사회 전 분야를 전환하기 위한 정책 패키지라고 할 수 있다(김수현·김창훈, 2020). 유럽위원회는 이를 추진하는 과정에서 누구도 소외되지 않는, 사회적으로 정의로운 전환을 강조함으로써 환경과 경제영역과의 연계만이 아니라 사회영역과의 긴밀한 연계에도 초점을 두고자 하였다. 이러한 연계는 시장과 무역을 중심으로 한 전통적인 성장경로에서 벗어나 이탈하고자 하는 의지를 보여 준 것으로 평가받고 있다(김일곤, 2023). 그린라운드가 환경과 경제를 연결하는 시도라면, 그린딜은 사회영역과의 연계성을 지향하는 것으로 그린 용어의 확장성을 가늠해 볼 수 있다.

2. 녹색성장

녹색성장은 1986년 독일의 정치학자 마르틴 예니케(Martin Jaenicke)가 녹색경제를 주장한 데서 시작하였다. 녹색성장이라는 개념이 우리나라에 공식적으로 등장한 것은 2005년 서울에서 개최된 UN아태경제사회위원회(ESCAP, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific)가 주최하는 제5차 환경개발장관회의(The fifth Ministerial Conference on Environment and Development in Asia and Pacific)에서이다. 이 회의에서는 아태지역 저개발 국가들의 경제성장의 필요성과 환경보전의 필요성을 어떻게 조화시킬 것인가에 초점이 모아졌고(함태성, 2009에서 재인용), ‘환경적으로 지속가능한 경제성장을 녹색성장’이라 지칭하였다(김명수 외, 2010).

24) 우루과이 라운드는 이전까지 세계 무역질서를 이끌어 온 관세 및 무역에 관한 일반협정(GATT) 체제의 문제점을 해결하고 이 체제를 다자간 무역기구로 발전시키려는 국가 간 협상으로, 1986년 우루과이 푼타델에스테에서 협상이 시작되어 1994년 4월 모로코의 마라케시에서 세계무역기구(WTO) 설립을 채택하였다.

25) 물론 이러한 논의는 국제기구의 조직력을 이용한 선진국 우월전략이다. 즉, 지구촌 환경문제가 발단이 되었지만 선진국으로서는 환경문제를 빌미로 개발도상국의 국제 경쟁력을 통제함으로써 국제 시장에서 지속적인 우위를 확보할 수 있고 개발도상국과의 영구적인 격차를 유지하여 선도자이기를 독실할 수 있는 해법으로도 선호되었다(김태현, 2006).

우리 사회에서 녹색성장이라는 용어가 사회 전 분야에 광범위하게 사용되기 시작한 것은 이명박 대통령이 2008년 8월 15일 경축사에서 저탄소 녹색성장이라는 용어를 거론하면서부터이다. 이후 정부는 녹색성장을 국가비전 및 발전전략으로 채택하고 이를 총괄하는 기구로서 녹색성장위원회와 저탄소녹색성장기본법을 추진하게 되었다. 당시, 정부에서 추진하고 있는 녹색성장 관련 정책의 개념은 환경과 정책의 선순환 구조를 강조한다. 즉, 환경이 경제성장을 선도하고, 성장이 환경을 개선하는 발전양식인 것이다. 당시 정부의 자료에 의하면, ESCAP 주도의 녹색성장은 환경적 지속가능성에 중점을 두고 있어 경제적 지속가능성에 대한 고려가 미흡하다고 하면서 이명박 정부의 저탄소녹색성장은 에너지 및 환경위기를 기회로 활용하여 선진국으로 도약하기 위한 경제발전 전략이라고 설명하고 있다(함태성, 2009). 이에 따라, 저탄소 녹색성장기본법에서 녹색성장을 ‘에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통해 새로운 성장동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장’으로 정의하였고, 이는 탄소중립녹색성장기본법에서도 이어지고 있다.

3. 녹색국토 및 친환경적 국토개발

저탄소녹색성장기본법에 근거하여, 제4차 국토종합계획(2011-2020, 2000-2020 버전 수정계획임)의 비전으로 ‘글로벌 녹색국토’가 선언되었다. 이후, 국토연구원에서 2010년 자연과 사람이 어울리는 녹색국토 창조라는 주제로 그린국토포럼을 개최한 바 있다. 이 즈음, 친환경적 국토개발이라는 용어 또한 많이 사용되었다. 이는 성장과정에서 나타난 환경문제를 기술적으로 해결하고자 하는 시도에서 제시되었다. 이 개념의 핵심은 녹지의 부족, 교통체증, 주차난, 소음공해, 대기수질토양오염, 쓰레기 및 하수처리, 에너지 과다소비 및 토지낭용 등 심각한 환경문제를 해결하고자 하는 전략에서 비롯된 것이다(김명수 외, 2009). 그러나, 친환경적 국토개발은 국토 및 도시 개발에 한정된 개념으로 공간적·개념적 범위가 지속가능한 발전과 녹색성장보다는 좁기 때문에, 국토 및 도시 분야 하위 기법으로 적용하고 있다.

2010년 저탄소녹색성장기본법 제정 이후 녹색이라는 용어가 다방면에서 활용되어 오고 있다. 그러나 이를 두고 위장 환경주의라는 뜻의 그린워싱(green washing) 혹은 녹색분칠이라는 비판도 만만치 않다(신승철, 2021). 실제로는 친환경적이지 않으나 마치 친환경적인 것처럼 홍보하는 위장 환경주의를 일컫는다. 하지만 최근에는 녹색보다는 그린이라는 용어가 많이 사용되고 있는 추세이다. 예를 들면, 그린직업(박가열 외, 2022), 그린빌딩(민서연 외, 2023), 그린데이터센터(한국수자원공사, 2023), 그린 학교(문제원 외, 2023) 등이다.

제2절 통계 범위 설정을 위한 ‘국토’ 용어 고찰

이번 절에서는 국토그린지표가 다루고자 하는 범위와 관련하여, 국토에 대한 정의를 살펴보고자 한다. 국토의 범위를 설정하기 위해서 국내외 관련 법 및 주요 기준들을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 국내법 기준

가. 국토 전체 분류 체계

우리나라 전체 공간을 다루는 관련법으로는 국토교통부의 ‘공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률(이하 공간정보관리법)’, ‘국토의 계획 및 이용에 관한 법률(이하 국토계획법)’ 그리고 환경부의 ‘자연환경보전법’이 있다.

공간정보법 제64조에 따르면, 전국의 모든 토지는 필지별로 소재, 지번, 지목, 면적, 경계 또는 좌표 등을 조사 측량하여 지적공부에 등록하도록 되어 있다. 여기에서 지목이란, 토지의 주된 용도에 따라 토지의 종류를 구분하여 지적공부에 등록한 것을 의미한다. 지목설정은 필지마다 하나의 지목으로 설정하되, 한 필지가 둘 이상의 용도로 활용되는 경우에는 주된 용도에 따라 설정할 것을 규정하고 있다(최대집·신만중, 2022).

우리나라의 지목 분류 체계는 대한제국 말기인 1907년부터 일제강점기를 거쳐 지금까지 7회의 지목 관련 법령과 규정을 개정하여 최초 17개 지목에서 현재 28개 지목으로 분류하여 지적공부에 등록·고시하고 있다(류병찬, 2019). 지목은 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야 등 총 28개 지목으로 세분화되는데 이에 대한 구체적인 정의는 아래 <표 3-1>과 같다. 이 중 국토그린과 연계될 수 있는 지목으로는 임야, 하천, 유지(담, 저수지 등), 공원 등으로 예상해 볼 수 있다.

그러나, 산업화와 도시화 이후 복잡하고 다양하게 변하고 있는 토지이용현황을 현 지목구분으로 정확하게 등록할 수 없어 이를 개선하고자 하는 연구와 노력이 지속되고 있다. 실제 토지이용현황과 지적공부상 지목의 불일치에 따른 다양한 문제점들이 제기되고 있고, 토지활용 증대에 따라 지상, 지하 공간에 대한 입체적인 관리에 어려움이 있다는 점이 꾸준히 지적되고 있다(최대집·신만중, 2022). 또한, <표 3-1>에서 보듯 지목 제시 순서에도 체계성이 드러나지 않음을 알 수 있다.

<표 3-1> 공간정보법 기준 지목의 종류

구분	설명
전	물을 상시적으로 이용하지 않고 곡물·원예작물(과수류는 제외한다)·약초·뽕나무·닥나무·묘목·관상수 등의 식물을 주로 재배하는 토지와 식용(食用)으로 죽순을 재배하는 토지
답	물을 상시적으로 직접 이용하여 벼·연(蓮)·미나리·왕골 등의 식물을 주로 재배하는 토지
과수원	사과·배·밤·호두·굴나무 등 과수류를 집단적으로 재배하는 토지와 이에 접속된 저장고 등 부속시설물의 부지
목장용지	가. 축산업 및 낙농업을 하기 위하여 초지를 조성한 토지 나. 「축산법」 제2조제1호에 따른 가축을 사육하는 축사 등의 부지 다. 가목 및 나목의 토지와 접속된 부속시설물의 부지
임야	산림 및 원야(原野)를 이루고 있는 수림지(樹林地)·죽림지·암석지·자갈땅·모래땅·습지·황무지 등의 토지
광천지	지하에서 온수·약수·석유류 등이 용출되는 용출구(湧出口)와 그 유지(維持)에 사용되는 부지
염전	바닷물을 끌어들여 소금을 채취하기 위하여 조성된 토지와 이에 접속된 제염장(製鹽場) 등 부속시설물의 부지
대	가. 영구적 건축물 중 주거·사무실·점포와 박물관·극장·미술관 등 문화시설과 이에 접속된 정원 및 부속시설물의 부지 나. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 등 관계 법령에 따른 택지조성 공사가 준공된 토지
공장용지	가. 제조업을 하고 있는 공장시설물의 부지 나. 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 등 관계 법령에 따른 공장부지 조성공사가 준공된 토지 다. 가목 및 나목의 토지와 같은 구역에 있는 의료시설 등 부속시설물의 부지
학교용지	학교의 교사(校舍)와 이에 접속된 체육장 등 부속시설물의 부지
주차장	자동차 등의 주차에 필요한 독립적인 시설을 갖춘 부지와 주차전용 건축물 및 이에 접속된 부속시설물의 부지
주유소용지	가. 석유·석유제품, 액화석유가스, 전기 또는 수소 등의 판매를 위하여 일정한 설비를 갖춘 시설물의 부지 나. 저유소(貯油所) 및 원유저장소의 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지
창고용지	물건 등을 보관하거나 저장하기 위하여 독립적으로 설치된 보관시설물의 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지
도로	가. 일반 공중(公衆)의 교통 운수를 위하여 보행이나 차량운행에 필요한 일정한 설비 또는 형태를 갖추어 이용되는 토지 나. 「도로법」 등 관계 법령에 따라 도로로 개설된 토지 다. 고속도로의 휴게소 부지 라. 2필지 이상에 진입하는 통로로 이용되는 토지

구분	설명
철도용지	교통 운수를 위하여 일정한 궤도 등의 설비와 형태를 갖추어 이용되는 토지와 이에 접속된 역사(驛舍)·차고·발전시설 및 공작창(工作廠) 등 부속시설물의 부지
제방	조수·자연유수(自然流水)·모래·바람 등을 막기 위하여 설치된 방조제·방수제·방사제·방파제 등의 부지
하천	자연의 유수(流水)가 있거나 있을 것으로 예상되는 토지
구거	용수(用水) 또는 배수(排水)를 위하여 일정한 형태를 갖춘 인공적인 수로·둑 및 그 부속시설물의 부지와 자연의 유수(流水)가 있거나 있을 것으로 예상되는 소규모 수로부지
유지(溜池)	물이 고이거나 상시적으로 물을 저장하고 있는 댐·저수지·소류지(沼溜地)·호수·연못 등의 토지와 연·왕궁 등이 자생하는 배수가 잘 되지 아니하는 토지
양어장	육상에 인공으로 조성된 수산생물의 번식 또는 양식을 위한 시설을 갖춘 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지
수도용지	물을 정수하여 공급하기 위한 취수·저수·도수(導水)·정수·송수 및 배수 시설의 부지 및 이에 접속된 부속시설물의 부지
공원	일반 공중의 보건·휴양 및 정서생활에 이용하기 위한 시설을 갖춘 토지로서 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 공원 또는 녹지로 결정·고시된 토지
체육용지	국민의 건강증진 등을 위한 체육활동에 적합한 시설과 형태를 갖춘 종합운동장·실내체육관·야구장·골프장·스키장·승마장·경륜장 등 체육시설의 토지와 이에 접속된 부속시설물의 부지
유원지	일반 공중의 위락·휴양 등에 적합한 시설물을 종합적으로 갖춘 수영장·유선장(遊船場)·낚시터·어린이놀이터·동물원·식물원·민속촌·경마장·야영장 등의 토지와 이에 접속된 부속시설물의 부지.
종교용지	일반 공중의 종교의식을 위하여 예배·법요·설교·제사 등을 하기 위한 교회·사찰·향교 등 건축물의 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지
사적지	문화재로 지정된 역사적인 유적·고적·기념물 등을 보존하기 위하여 구획된 토지
묘지	사람의 시체나 유골이 매장된 토지, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 따른 묘지공원으로 결정·고시된 토지 및 「장사 등에 관한 법률」 제2조제9호에 따른 봉안시설과 이에 접속된 부속시설물의 부지
잡종지	가. 갈대밭, 실외에 물건을 쌓아두는 곳, 돌을 캐내는 곳, 흙을 파내는 곳, 야외시장 및 공동우물 나. 변전소, 송신소, 수신소 및 송유시설 등의 부지 다. 여객자동차터미널, 자동차운전학원 및 폐차장 등 자동차와 관련된 독립적인 시설물을 갖춘 부지 라. 공항시설 및 항만시설 부지 마. 도축장, 쓰레기처리장 및 오물처리장 등의 부지 바. 그 밖에 다른 지목에 속하지 않는 토지

국토계획법 제6조에 따르면 국토는 토지의 이용실태 및 특성, 장래의 토지 이용 방향, 지역 간 균형발전 등을 고려하여 <표 3-2>와 같이 용도지역에 따라 이용범위를 정하고 있다. 용도지역이란 토지의 이용 및 건축물의 용도, 건폐율, 용적률, 높이 등을 제한함으로써 토지를 경제적, 효율적으로 이용하고 공공복리를 증진하기 위해 서로 중복되지 않게 도시·군관리계획으로 결정하는 지역을 말한다(최대집·신만중, 2022).

현행법상 용도지역은 도시지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역으로 구분되며, 도시지역은 다시 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 분류된다. 이 중 녹지지역은 자연환경·농지 및 산림의 보호, 보건위생, 보안과 도시의 무질서한 확산을 방지하기 위하여 녹지의 보전이 필요한 지역을 의미한다. 관리지역은 도시지역, 농림지역 또는 자연환경보전지역에 준하여 관리할 필요가 있는 지역으로 보전관리지역, 생산관리지역, 계획관리지역으로 분류되며 이 중, 보전관리지역은 자연환경보전지역에 준하여 관리할 필요가 있는 지역에 해당한다. 이러한 분류체계에 의하면, 도시지역 내 녹지지역, 관리지역 내 보전관리지역, 자연환경보전지역이 자연생태계 기반 탄소흡수원이 될 수 있다.

그런데, 용도지역의 경우, 해당 토지의 행위 제한을 규정하는 ‘계획’의 성격으로 실제적인 토지이용과는 차이가 발생할 수 있어 국토그린 통계 생산의 기준으로 삼기에는 한계가 있어 보인다.

<표 3-2> 국토계획법에 따른 용도지역 구분

구분	정의 및 항목	
도시지역	주거지역	전용주거지역(1,2종), 일반주거지역(1,2,3종), 준주거지역, 일반주거지역
	상업지역	중심상업지역, 일반상업지역, 근린상업지역, 유통상업지역
	공업지역	전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역
	녹지지역	자연환경·농지 및 산림의 보호, 보건위생, 보안과 도시의 무질서한 확산을 방지하기 위하여 녹지의 보전이 필요한 지역 - 보전녹지지역, 생산녹지지역, 자연녹지지역, 개발제한구역
관리지역	보전관리지역	자연환경 보호, 산림 보호, 수질오염 방지, 녹지공간 확보 및 생태계 보전 등을 위하여 보전이 필요하나, 주변 용도지역과의 관계 등을 고려할 때 자연환경보전지역으로 지정하여 관리하기가 곤란한 지역
	생산관리지역	농업·임업·어업 생산 등을 위하여 관리가 필요하나, 주변 용도지역과의 관계 등을 고려할 때 농림지역으로 지정하여 관리하기가 곤란한 지역
	계획관리지역	도시지역으로의 편입이 예상되는 지역이나 자연환경을 고려하여 제한적인 이용·개발을 하려는 지역으로서 계획적·체계적인 관리가 필요한 지역
농림지역	농림업을 진흥시키고 산림을 보전하기 위하여 필요한 지역	
자연환경보전지역	자연환경·수자원·해안·생태계·상수원 및 문화재의 보전과 수산자원의 보호·육성 등을 위하여 필요한 지역	

환경부에서는 자연환경보전법 제34조에 따라 도시지역의 상세한 생태·자연도(이하 도시생태현황지도)를 작성하고, 도시환경의 변화를 반영하여 5년마다 갱신하도록 하고 있다. 도시생태현황지도는 각 지역의 자연환경 보전 및 복원, 생태적 네트워크 형성뿐만 아니라 생태적인 토지이용 및 환경관리를 통해 환경친화적이고 지속가능한 도시관리의 기초자료로 활용 가능하다.

<표 3-3>은 도시생태현황지도 작성 시 사용하고 있는 토지이용유형 분류기준이다. 대분류, 중분류, 소분류 체계로 구분된다. 대분류는 시가화건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역의 7개로 나뉘며 대분류하에 중분류는 22개 소분류는 41개 항목으로 나뉜다.

<표 3-3> 토지이용유형 분류기준

대분류 (7개 항목)		중분류 (22개 항목)		세분류 (41개 항목)	
항목명	코드	항목명	코드	항목명	코드
시가화·건조지역	100	주거지역	110	단독주거시설	111
				공동주거시설	112
		공업지역	120	공업시설	121
				상업·업무시설	131
		상업지역	130	혼합지역	132
				문화·체육·휴양지역	141
		문화·체육·휴양지역	140	문화·체육·휴양지역	141
				공항	151
				항만	152
				철도	153
				도로	154
				기타 교통·통신시설	155
농업지역	200	교통지역	150	환경기초시설	161
				교육·행정시설	162
				기타공공시설	163
		공공시설지역	160	경지정리가 된 논	211
				경지정리가 안 된 논	212
		논	210	경지정리가 된 밭	221
				경지정리가 안 된 밭	222
		밭	220	시설재배지	231
		시설재배지	230	과수원	241
		과수원	240	목장·양식장	251
		기타재배지	250	기타재배지	252
산림지역	300	활엽수림	310	활엽수림	311
		침엽수림	320	침엽수림	321
		혼효림	330	혼효림	331

대분류 (7개 항목)		중분류 (22개 항목)		세분류 (41개 항목)	
초지	400	자연초지	410	자연초지	411
		인공초지	420	골프장	421
				묘지	422
				기타 초지	423
습지(수변식생)	500	내륙습지(수변식생)	510	내륙습지(수변식생)	511
		연안습지	520	갯벌	521
				염전	522
나지	600	자연 나지	610	해변	611
				강기슭	612
				암벽·바위	613
		인공 나지	620	채광지역	621
				운동장	622
				기타 나지	623
수역	700	내륙수	710	하천	711
		해양수	720	호수	712
				해양수	721

출처: 환경공간정보서비스(www.egis.me.go.kr, 접속일: 2023.11.20.)

공간정보법에 따른 지목분류, 국토계획법에 따른 용도지역 분류체계, 그리고 자연환경보전법에 따른 토지이용유형 분류체계는 다음과 같은 특징이 있다. 먼저, 지목 및 용도지역 분류는 ‘발전’의 관점에서 개발 지역에 대한 분류가 상세한 반면에 토지이용유형 분류는 ‘생태’적 관점에서 환경 관련 분야가 상세함을 알 수 있다. 특히, 후자에는 내륙수 및 해양수 등 수역을 포함하고 있다.

나. 국토 하위 영역별 정의

다음으로 국토 하위 영역별 법적 정의를 살펴보았다. 하위영역 중에서 국내 정책 검토 결과 탄소흡수원으로 예상되는 산림, 도시숲, 초지, 습지, 해양 중심으로 정의를 살펴보았다.

우리나라 국토 전체 면적 중 가장 많은 비중을 차지하는 산림지역은 산지관리법에 따라 관리된다. 산지관리법 제2조에 따르면, 산지는 공간정보관리법에서 규정한 지목이 임야인 토지뿐만 아니라 입목(立木)·대나무가 집단적으로 생육(生育)하고 있는 토지, 집단적으로 생육한 입목·대나무가 일시 상실된 토지, 입목·대나무의 집단적 생육에 사용하게 된 토지, 임도(林道), 작업로 등 산길, 그리고 앞의 토지에 있는 암석지(巖石地) 및 소택지(沼澤地)가 포함된다. 지목에서 분류한 임야를 넘어서 지역까지 특정 기준에 부합하는 나무가 있을 경우 산지에 포함됨을 알 수 있다.

초지는 초지법에 따라 다년생개량목초(多年生改良牧草)의 재배에 이용되는 토지

및 사료작물재배지와 목장도로·진입도로·축사 및 농림축산식품부령으로 정하는 부대시설을 위한 토지를 말한다. 이러한 개념규정을 통해서 알 수 있는 바는, 초지로 규정된 지역일지라도 축사 및 부대시설 등이 포함된 지역은 탄소흡수와 직접적으로 관련이 없을 수 있다는 점이다.

다음으로, 최근 탄소흡수공간으로 관심이 증가하고 있는 도시숲과 습지의 법적 정의를 살펴보도록 하자. 도시숲법(제2조)에 따르면, 도시숲이란 도시에서 국민의 보건·휴양증진 및 정서함양과 체험활동을 위해 조성·관리 하는 산림 및 수목을 의미한다(<표 2-7> 참조). 그런데 도시숲은 도시공원 및 녹지 공간시설에 조성될 가능성이 높으므로 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률에서 정의하고 있는 도시녹지개념 정의를 함께 살펴볼 필요가 있다. 이 규정에 따르면, 녹지는 도시 지역에서 자연환경을 보전하거나 개선하고, 공해나 재해를 방지함으로써 도시 경관을 도모하기 위한 공간으로 완충녹지, 경관녹지, 연결녹지로 구분된다(<표 3-4> 참조).

<표 3-4> 공원녹지법에 따른 도시공원 및 녹지 공간시설 정의

구분	정의 및 항목
공원	국가도시공원: 도시공원 중 국가가 지정하는 공원
	생활권공원: 도시생활권의 기반공원 성격으로 설치·관리되는 공원 - 소공원, 어린이공원, 근린공원
	주제공원: 생활권공원 외에 다양한 목적으로 설치되는 다음 각목의 공원 - 역사공원, 문화공원, 수변공원, 묘지공원, 체육공원, 도시농업공원
녹지	완충녹지: 대기오염·소음·진동·악취 그 밖에 이에 준하는 공해와 각종 사고나 자연재해 그 밖에 이에 준하는 재해 등의 방지를 위하여 설치하는 녹지
	경관녹지: 도시의 자연적 환경을 보전하거나 이를 개선하고 이미 자연이 훼손된 지역을 복원·개선함으로써 도시경관을 향상시키기 위하여 설치하는 녹지
	연결녹지: 도시 안의 공원·하천·산지 등을 유기적으로 연결하고 도시민에게 산책공간의 역할을 하는 등 여가·휴식을 제공하는 선형(선형)의 녹지

습지보전법에 따르면 습지란, 담수, 기수²⁶⁾, 또는 염수가 영구재 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로서 내륙습지 및 연안습지를 말한다(습지보전법 제2조).

우리나라의 대표적인 연안습지는 순천만이며, 내륙습지로는 우포늪, 주남저수지 등이 있다. 내륙습지는 수자원을 공급해 주는 곳으로 관리의 대상으로 자리매김하고 있다. 강, 저수지, 산지에 발달한 고산습지, 제주도 화산 분화구에 고여 형성된 오름까지 다양한 형태의 습지가 존재한다. 반면 연안습지는 갯벌로 잘 알려져 있다. 자칫

26) 바닷물과 민물이 섞여 염분이 적은 물을 의미함

생명력이 없는 지역으로 보이기 쉬우나, 갯벌에 저서생물과 미생물이 활동하여 오염 물질 정화능력과 생태계 유지에 중요한 기능을 담당하는 것으로 밝혀져 있다.²⁷⁾



출처: 람사르 환경재단 홈페이지(www.gref.or.kr, 접속일: 2023.12.12.)

<그림 3-1> 습지의 구분

마지막으로, 탄소흡수공간으로 규정하기에는 아직 개념 등이 명확히 정립되지 않았으나, 해양에 대한 검토도 필요하다.²⁸⁾ 해양수산발전기본법 제3조에 따르면, 해양은 내수, 영해, 배타적 경제수역, 대륙붕 등 대한민국의 주권, 주권적 권리 또는 관할권이 미치는 해양과 헌법에 의해 체결 공포된 조약 또는 일반적으로 승인된 국제법규에 의해 정부 또는 국민이 개발, 이용, 보전에 참여할 수 있는 해역으로 범주화된다. 따라서 탄소흡수공간으로서 해양의 복원 및 발굴 등에 대한 연구를 통해서 탄소흡수공간의 범위 설정이 요청된다.

한편, 현재는 탄소가 흡수되는 곳으로 나타나지 않으나 토지이용 변화의 가능성이 있는 농지에 대한 정의를 함께 살펴보고자 한다. 농지법 제2조에 따르면, 농지란 지목이 어떻게 되었는지와 무관하게, 실제로 농작물을 경작하고 있는 토지를 의미한다. 아울러, 다년생식물 재배지로 이용되는 토지(초지법 초지 제외)와 토지의 개량시설, 토지에 설치하는 농축산물 생산시설로서 대통령령으로 정하는 시설의 부지가 여기에 포함된다. 현재 온실가스 통계에서 농지는 탄소를 배출하고 있는 것으로 분석되나,

27) 경상남도 람사르 환경재단 홈페이지(www.gref.or.kr, 접속일: 2023.12.12.)

28) 현재 IPCC 온실가스 인벤토리에 등재된 해양생태계의 탄소흡수원(블루카본)은 맹그로브, 염습지, 해초대로 한정적이며, 우리나라에서는 육상생태계의 탄소흡수원(그린카본)인 산림과 초지만 인정받고 있다. 그러나, 육상의 산림과 초지 외 우리나라 해양에서도 탄소흡수원인 염습지와 갯벌이 존재하며 해당 서식지의 염생식물과 저서미세조류가 광합성을 통해 대기 중 탄소를 저장하는 새로운 감축원으로 주목받고 있다. 국외의 경우 해조류, 패류, 대륙붕 퇴적물, 저서동물 등의 블루카본 잠재력에 대한 연구가 진행 중이다(권봉오 외, 2021).

지속가능한 농업방식에 따른 농지에서 토양도 탄소저장고의 역할을 할 수 있다는 연구가 증가하고 있다. 한양수 외(2022)에 따르면, 유기농업은 생물다양성 유지, 토양오염 방지, 수질개선, 토양비옥도 증진 및 온실가스 감축 등 여러 환경 보전 기능을 나타낸다. 하지만, 다양한 환경변수와 복잡한 땅속 생태계의 정보 부족 등 해결해야 할 난제들이 존재한다. 특히, 기후변화에 대응한 온실가스 배출 저감을 위하여 다양한 농경지 형태에 따른 탄소 저장능력 및 온실가스 배출 관련 연구가 수행될 필요가 있다(한양수 외, 2022).

2. 토지이용현황 분류에 관한 국제기준

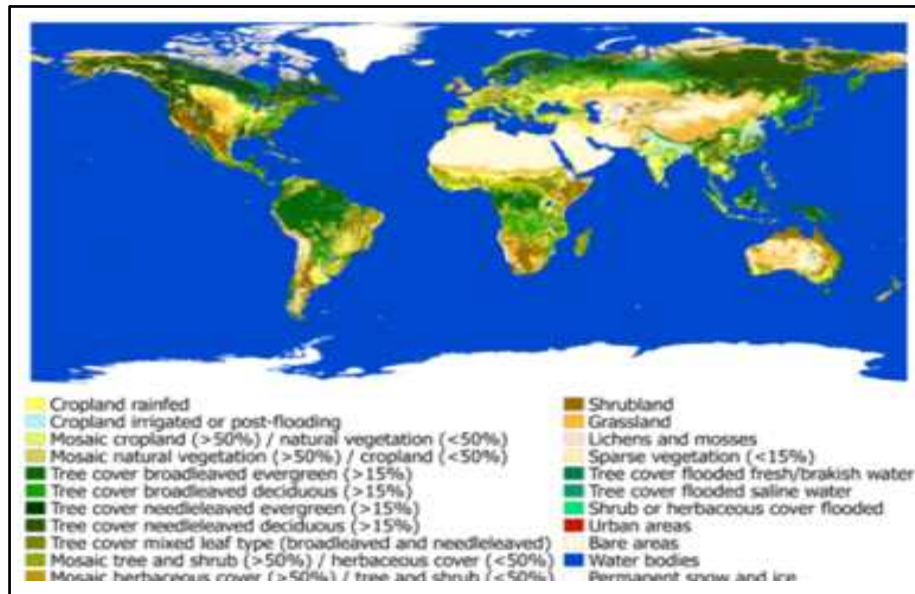
국제적으로 토지이용과 관련한 분류체계로는 IPCC의 토지분류체계와 UN 환경경제통합계정(SEEA, System of Environmental-Economic Accounting)이 있다. IPCC는 교토의정서에서 규정하는 6대 온실가스에 대하여 작성되고 있으며 IPCC 지침에 따라 에너지, 산업공정, 농업, LULUCF, 폐기물 분야로 구분하여 보고하고 있다. 그 중 LULUCF는 국토 육상생태계에서 이루어지는 인위적인 토지이용 및 전용, 토지이용관리 활동을 통해 야기되는 온실가스의 배출과 흡수량에 관한 것으로 산림지(Forest land), 농경지(Cropland), 초지(Grass land), 습지(Wetlands), 정주지(Settlements), 기타 토지(Other land)로 유형을 구분하고 있다. 산림지는 ①목본식생으로 된 모든 지역, ②산림지가 아니지만 잠재적으로 산림지가 될 수 있는 지역이 포함된다. 농경지는 ①경작가능지역 및 경운지역, ②혼농임업 체계로, 벼논과 잠재적 산림지 범주로 간주될 수 있는 한계 이하의 식생구조를 가진 농림지, 초지는 ①농경지로 고려되지 않는 방목장과 목초지, ②잠재적 산림지로 간주될 수 있는 목본식생화 허브와 잡목림과 같은 기타 비초본식생, ③황무지 및 휴양지뿐 아니라, 농업과 식림, 목초체계 등 모든 초지, 습지는 ①이탄 추출지역과 연중 또는 부분적으로 물에 포화되거나 물로 덮여있는 지역, ②관리된 저수지와 관리되지 않은 강과 호수, ③산림지, 농경지, 초지 또는 정주지에 포함되지 않는 지역, 정주지는 교통시설과 인간 주거지를 포함한 개발된 모든 지역, 기타 토지는 나지와 암석, 빙하를 포함하여 다른 5가지 범주에 속하지 않는 지역을 의미한다(IPCC 2003; 최원준, 한수현, 안세진, 2022).

또한 환경통계와 경제통계를 연계하여 통계를 개발하는 프레임워크인 환경경제계정(SEEA)은 2012년 발행한 System of Environmental-Economic Accounting 2012 Central Framework에서 14개의 토지피복 분류를 제시하였다. 이는 토지피복 등급에 대한 명확하고 체계적인 설명을 위해 UN의 국제 표준 피복 분류 시스템(LCCS, Land Cover Classification System)의 정의에 기초하였다. 구체적으로, 인공표면(Artificial surfaces including urban and associated areas), 초본작물(Herbaceous crops), 목본작물(Woody

crops), 다중작물(Multiple or layered crops), 초원(Grassland), 나무로 덮인 지역(Tree-covered areas), 맹그로브(Mangroves), 관목으로 덮인 지역(Shrub-covered areas), 관목 또는 초본 작물(Shrubs and/or herbaceous vegetation), 수생 또는 정기적으로 침수(Aquatic or regularly flooded), 자연식생이 드문 지역(Sparsely natural vegetated areas), 지상 황무지(Terrestrial barren land), 영구적인 눈과 빙하(Permanent snow and glaciers), 내륙 수역(Inland water bodies), 연안수역 및 조간대(Coastal water bodies and intertidal areas)로 구분된다.

이러한 국제적인 분류를 기준으로 몇 개 기관들은 토지피복 데이터베이스를 생산해 내고 있다. GLC-SHARE(Global Land Cover-SHARE)는 FAO가 다양한 파트너 및 기관과 함께 만든 글로벌 수준의 토지피복 데이터베이스이다. 2014년 공개되었으며, 지역 및 국가의 토지피복 데이터베이스를 조합하여 생성된 토지피복 구분을 제공한다. GLC-SHARE는 토지피복 분류를 인공표면(Artificial Surfaces), 농경지/초원(Cropland, Grassland), 나무로 덮인 지역(Tree Covered Areas), 관목이 덮인 지역(Shrubs Covered Areas), 초본 식물(Herbaceous vegetation), 수생 또는 정기적으로 침수(aquatic or regularly flooded), 맹그로브(Mangroves), 자연식생이 드문 지역(Sparse vegetation), 맨땅(Bare soil), 눈과 빙하(Snow and glaciers), 수역(Water bodies) 등 11개로 구분한다.

ESA-CCI-LC (European Space Agency-Climate Change Initiative-Land Cover)는 유럽 우주국 기후변화 이니셔티브(ESA-CCI)의 일환으로 벨기에의 루뱅가톨릭대학교 지리학과에서 개발한 토지피복 데이터베이스이다. 특히 UNCCD(유엔사막화방지협약)가 SDG 15.3.1 토지 황폐화 지표 분석을 위해 가장 추천하는 데이터베이스로 24개의 토지피복 분류를 제공한다. IPCC 산림지에 해당하는 지역은 활엽 상록수(Tree broadleaved evergreen), 활엽 낙엽수(Tree broadleaved deciduous), 침엽 상록수(Tree needle leaved evergreen), 침엽 낙엽수(Tree needle leaved deciduous), 나무 식생 혼합지역(Tree mixed leaf type), 모자이크 나무 및 관목과 초본 커버(Mosaic tree, shrub /herbaceous cover), 침수된 나무와 담수(Tree flooded, fresh water)로 세분화되며, 초지는 모자이크 자연식생/ 경작지(Mosaic natural vegetation/cropland), 모자이크 초본 커버/나무, 관목(Mosaic herbaceous cover /tree, shrub), 스크럽랜드(Scrublands), 목초지(Grassland), 이끼(Lichens and mosses), 자연식생이 드문 지역(Sparse vegetation)이다. 농경지에 해당하는 지역은 농경지 비 공급(Cropland rainfed), 초본 커버(Herbaceous cover), 나무 또는 관목 커버(Tree or shrub cover), 관개 또는 홍수 후 농경지(Cropland, irrigated or post flooding), 모자이크 경작지/자연식생(Mosaic cropland / natural, vegetation), 습지는 나무커버, 침수, 식염(Tree cover, flooded, saline water), 관목 또는 초본 덮개(Shrub or herbaceous cover, flooded), 침수된 수역(Water bodies)로 구분된다. 이외 도시지역(Urban areas)과 눈과 빙하 지역(Permanent snow and ice), 황무지(Bare areas)로 추가 세분화된다. 한편, <그림 3-2>는 ESA CCI-LC를 기반으로 전 세계 토지피복 현황을 지도로 제시한 것이다.



출처: <https://cds.climate.copernicus.eu> (접속일: 2023.11.20.)

<그림 3-2> ESA-CCI-LC 분류 피복도

<표 3-5>는 위 기관들의 토지이용분류 결과를 요약 제시한 것이다. IPCC의 6개 분류체계와 비교할 때, SEEA와 GLC-SHARE 분류체계는 수역 및 바다를 추가로 포함하고 있다는 특징을, 그리고 ESA CCI-LC는 대부분의 영역에서 추가 세분화가 진행된 분류체계라는 특징을 갖음을 알 수 있다.

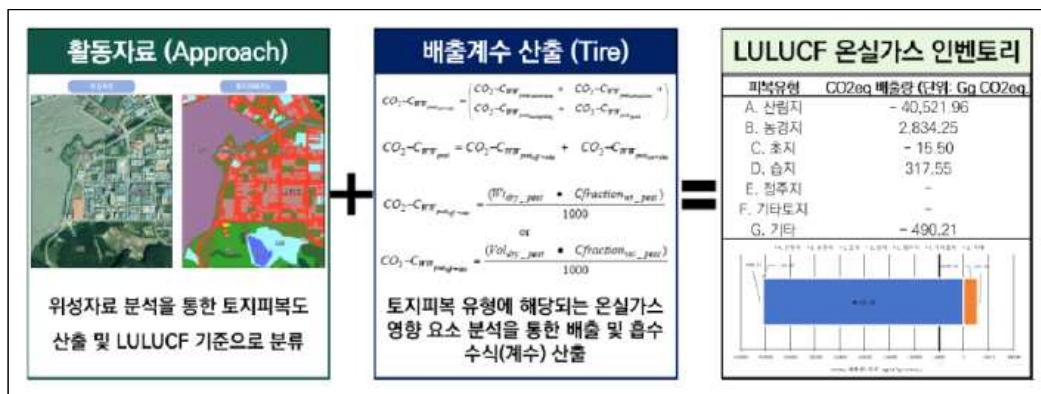
<표 3-5> 국제적 기준에 따른 토지이용분류

구분	IPCC	SEEA	GLC-SHARE	ESA CCI-LC 클래스
소관기관	UN	UN	FAO 와 파트너기관	유럽 우주국 기후변화 이니셔티브
범주수	6개	14개	11개	24개
범주내용	산림지	나무로 덮인 지역	나무로 덮인 지역	활엽 상록수 활엽 낙엽수 침엽 상록수 침엽 낙엽수 나무 식생 혼합지역 모자이크 나무, 관목과 초본 커버 침수된 나무와 담수
	초지	초원 관목으로 덮인 지역 자연식생이 드문 지역	초지 관목으로 덮인 지역 자연식생이 드문 지역	모자이크 자연식생/ 경작지 모자이크 초본 커버/나무, 관목 스크랩랜드 목초지 이끼 자연식생이 드문 지역

구분	IPCC	SEEA	GLC-SHARE	ESA CCI-LC 클래스
	농경지	초본 작물 목본 작물 다중 작물	농경지	농경지 비 공급 초본 커버 나무 또는 관목 커버 관개 또는 홍수 후 농경지 모자이크 경작지/자연식생
	습지	수생 또는 정기적으로 침수 맹그로브	수생 또는 정기적으로 침수 맹그로브	나무커버, 침수, 식염 관목 또는 초본 덮개 침수된 수역
	정주지	인공 표면	인공표면	도시지역
	기타 토지	눈과 빙하 지역 지상 황무지	눈과 빙하 황무지	눈과 빙하 지역 황무지
	-	내륙 수역 연안 수역 및 바다	수역	-

출처: UNCCD, 2021

한편, 우리나라는 1993년 UN기후변화협약, 2002년 교토의정서, 2016년 파리협정 서 비준을 통해 기후변화 방지를 위한 국제사회의 노력에 동참하고 있으며, 이러한 노력의 일환으로 <그림 3-3>의 절차에 따라 온실가스 인벤토리를 매년 공표하고 있다.



출처: 최원준 외, 2022, p.3.

<그림 3-3> LULUCF 온실가스 인벤토리 산정방법

<표 3-6>에서 보듯 LULUCF 가이드라인에 맞추어 산림지, 농경지, 초지, 습지, 수확된 목재제품의 탄소 배출량이 산정되고 있다. 정주지와 기타 토지에 대한 통계는 작성되지 않고 있다. 산정 결과, 탄소흡수는 산림지와 초지, 수확된 목재제품에서 발생하였다. 신규 탄소흡수원으로 주목받고 있는 습지에서 탄소가 배출되는 것으로 나타난 이유는 다소 의아할 수 있다. 이는 탄소를 흡수하는 연안습지와 달리 내륙습지

에서 탄소배출량이 상대적으로 많았기 때문인 것으로 분석되었다. 내륙습지에서 탄소배출이 진행된 이유는 양어장과 같은 인공지 침수 면적의 증가와 비결빙일수의 증가 때문으로 나타났다(온실가스정보센터, 2023).²⁹⁾

<표 3-6> 토지이용, 토지이용변화 및 임업 분야의 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 CO₂eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020
5A 산림지	-38.2	-33.1	-61.4	-57.7	-58.8	-48.5	-42.7	-40.3	-40.5
5B 농경지	0.4	1.6	2.2	2.5	3.3	2.7	2.7	2.8	2.8
5C 초지	-0.65	-0.67	-0.72	-0.51	-0.20	-0.12	-0.04	-0.02	-0.02
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
5G 수확된 목재제품	0.2	-0.3	-0.5	-0.9	-0.6	-1.0	-0.7	-0.5	-0.5
합계(순흡수량)	-37.9	-32.1	-60.1	-56.3	-56.1	-46.6	-40.3	-37.7	-37.9

출처: 온실가스정보센터, 2023.

아래 <표 3-7>은 분야별 토지이용현황에 대한 소관부처를 제시한 것이다. 농림축산식품부는 산림지·농경지·초지, 해양수산부는 연안습지, 환경부는 내륙습지, 국토교통부는 정주지를 소관한다. 온실가스 산정기관은 산림지는 산림과학원, 농경지는 농업과학원, 초지는 축산과학원, 연안습지는 해양환경공단, 내륙습지는 국립생태원, 정주지는 토지주택연구원이며, 현재 환경부 온실가스종합정보센터에서 총괄 검증하고 있다. 다부처 간 협업이 필요한 상황임을 알 수 있다.

<표 3-7> LULUCF 자료 출처 및 소관기관 현황

토지이용	산림	농경지	초지	연안습지	내륙습지	정주지
담당부처	농림축산식품부			해양수산부	환경부	국토교통부
산정기관	국립 산림과학원	국립 농업과학원	국립축 산과학원	해양 환경공단	국립생태원	토지주택 연구원
총괄검증기관	환경부 온실가스종합정보센터					

출처: 관계부처합동, 2023, p.82.

29) 습지에 사는 식물에서 메탄이 배출된다는 연구(Tao et al, 2023)도 있어, 탄소흡수원으로서 습지의 가치에 대한 추가적인 연구가 필요한 상황이다.

제3절 국토그린 개념 제안

국토그린 개념정립 과정에서 다음과 같은 쟁점이 도출되었다. 첫째 통계의 목적지향을 보여주는 그린이라는 용어와 관련하여, 과연 이 용어가 해양의 탄소흡수원인 블루카본을 포괄할 수 있을지에 대한 질문이 제기될 수 있다. 그러나, 블루카본의 사전적 정의는 ‘관리 가능한 해양계 내 저장되는 모든 생물학적 탄소 흐름’으로 여기에서 블루는 바다 색깔의 블루를 의미한다. 해양에 서식하는 식물 또한 햇빛에 의해 반사되는 파장에 의해 녹색으로 보인다. 다만, 해당 식물이 어느 정도 깊이의 해양에서 서식하느냐에 따라서, 바다 색깔에 가려질 가능성이 있다. 이런 측면에서 볼 때, 식생을 의미하는 ‘그린’ 용어는 해양식생도 포괄한다.

첫 번째 쟁점은 자연스럽게 국토의 범위라는 두 번째 쟁점과 연결된다. 해양 부문에서 탄소흡수를 고려하기 위해서 국토는 육상과 해양을 모두 포괄해야 한다. 국토 이외 고려대상이 될 수 있는 용어인 토지는 육상 생태계에 방점이 찍혀 있다. 국토는 한 국가의 주권이 영향을 미치는 범위로 영토, 영해, 영공을 포괄적으로 포함하는 개념이므로 토지에 비해 범위가 더 넓다고 할 수 있다. 국내법 기준으로 볼 때에도 지목에 따른 토지분류에는 해양이 포함되어 있지 않다.

이에 따라, 국토그린은 탄소흡수원으로써의 역할을 하는 육상 및 해양 생태계를 모두 포괄하며 <그림 3-4>와 같이 구체적으로 산림, 도시숲, 초지, 습지, 바다숲 등을 그 내용으로 하는 개념으로 제안하고자 한다. 한편, 이 그림에는 현재 탄소 배출로 기록되는 농경지는 별도로 제시하지 않았다. 하지만, 농경지는 유기농법 등을 활용한 지속가능한 토지 상태로의 변화를 통해 탄소 저장고 역할이 기대되는 공간이다.



출처: 저자 작성(사진출처는 국가지도(대한민국정부, 2019), 산림지(Racool_studio, Freepik), 도시
숲(산림청, 2017), 초지(제주도민일보, 2010.8.10. 제주시, 초지관리실태조사), 습지(환경부·
해양수산부, 2022), 해양(통계개발원, 2021))

<그림 3-4> 국토그린 개념 및 측정범위

제 4 장

국토그린 유사 통계 검토

자연생태계 기반 탄소흡수 공간이 어떻게 구성되어 있고, 변화하고 있는지를 살펴볼 수 있는 국내외 유사 통계를 검토하는 것이 이번 장의 목표이다. 제1절에서는 국내 통계를 검토하였다. 국토 전체에서 탄소흡수 공간을 찾아가는 방법은 하향식(top down)과 상향식(bottom up) 두 가지로 구분할 수 있다. 하향식 접근법이 전체 국토이용현황을 분류한 후 그 분류 안에서 탄소흡수가 예상되는 공간을 추출해 내는 방법이라면, 상향식 접근법은 개별 탄소흡수 공간들을 검토하고 이 공간들의 합을 통해서 국토 전체 현황을 파악하는 방법이다. 제2절은 국제통계에 대한 검토결과인데, 여기에서는 SDG 지표를 중심으로 다루었다.

제1절 국내통계

1. 하향식 접근: 분류체계

우리나라 국토 전체의 분류체계를 다루고 있는 통계로는 지적통계, 도시계획현황통계, 토지피복도가 있다.

가. 지적통계

지적통계는 공간정보관리법 제67조에 따라 우리나라 필지의 총 등록 면적 및 지번 수, 용도별 지목 등 지적공부에 등록된 지적정보를 기초로 하여 매년 작성되는 통계이다. 동법에 따르면 전국 토지는 용도에 따라서 28개 지목으로 분류된다.

이 통계는 행정적인 절차에 따라 생산된다. 개별 시·군·구 지적업무 부서는 수집 작성한 지적 변동자료와 지적통계자료를 부동산종합공부시스템을 통해 시·도 지적업무 부서에 전송하고, 시·도의 지적업무 부서는 이를 취합하여 국토교통부 국가공간정보센터로 전송한다. 즉, 시·군·구 지적업무 담당자의 지적업무 처리과정에서 수집되는 정보가 행정정보망을 통하여 시·도에 전달되고 이를 국토교통부에서 정기적으로 집

계하여 산출하는 방식이다(국토교통부, 2022).

지적통계는 국토의 개발과 보전계획 수립 등에 활용되고 있다. 특히, 국토개발현황을 월 및 연단위로 분석하고 필지 단위로 이용현황을 파악할 수 있어 실질적인 정책입안 및 평가에 다양하게 활용되고 있다.

아래 <표 4-1>은 지목별 우리나라의 토지이용 현황이다. 2022년 지목을 기준으로 분석했을 때 가장 비율이 높은 지목은 임야이며 다음으로 밭(답), 논(전)으로 나타났다. 산림과 농경지(전 답 과수원)는 전체 국토 면적의 82%를 차지하였다. 지난 10년간 지목별 변화상을 보면, 산림 및 농경지는 1,782km² 감소한 반면 생활기반시설(대, 공장용지, 학교용지, 주유소용지, 창고용지)은 872km² 증가하였고, 교통기반시설(주차장도로, 철도용지)은 515km² 증가한 것으로 나타났다.³⁰⁾ 즉, 탄소흡수가 예상되는 자연생태계 면적이 감소하였음을 알 수 있다.

<표 4-1> 지목별 토지이용현황

(단위: km²)

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
전국	100,266	100,284	100,295	100,339	100,364	100,378	100,401	100,413	100,432	100,444
전	7,759	7,716	7,679	7,637	7,611	7,610	7,582	7,555	7,528	7,501
답	11,620	11,518	11,429	11,357	11,282	11,223	11,162	11,099	11,043	10,986
과수원	597	595	596	595	599	612	610	609	607	606
목장용지	578	573	570	568	565	562	561	562	561	560
임야	64,176	64,081	64,003	63,918	63,834	63,711	63,635	63,558	63,488	63,427
...										

출처: 국토교통부 지적통계연보 (kosis.kr, 접속일: 2023.11.15.)

주: 지적공부에 등록된 국토면적은 매년 12월 말 기준으로 작성됨. 본 통계표에서는 28개 지목 중 국토그린과 연관될 것으로 예상되는 지목 일부만을 제시하였음

나. 도시계획현황통계

도시계획현황통계는 국토계획법에 의해 전 국토의 용도지역·지구·구역, 도시군계획시설 등에 대한 현황을 파악하여 도시정책 수립 및 개발 등 도시계획 분야에 필요한 기초자료를 제공하기 위한 목적을 갖고 있다. 우리나라의 어느 곳에 있는 토지라도 4개의 용도지역(도시지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역)으로 지정되어야 하며 원칙적으로 중복지정은 허용되지 않는다.

30) index.go.kr (접속일: 2023.12.12.)

최초 작성시점은 1988년이며, 매년 작성 공표된다. 본 통계는 직전연도 고시·공고된 행정자료를 당해 연도 3월에 시·도, 시·군·구에서 도시계획현황 통계시스템에 직접 입력하고, 이를 한국국토정보공사에서 검증한 후 지방자치단체의 두 차례의 정비 작업을 거쳐 최종 확인된 데이터를 집계하여 작성한다(한국국토정보공사, 2022).

2022년 기준, 지난 10년간 용도지역 전체 지정면적은 126㎢ 늘어나 106,232㎢로 나타났으며 도시지역과 관리지역은 각각 199㎢(1.1%), 211㎢(0.8%) 늘어난 반면에 자연환경보전지역은 146㎢(1.2%), 농림지역은 159㎢(0.3%) 감소하였다(<표 4-2> 참고).

<표 4-2> 용도지역 현황 (2013~2022)

(단위: ㎢)

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
전체	106,106	106,102	106,061	106,060	106,109	106,286	106,210	106,205	106,207	106,232
도시지역	17,593	17,597	17,614	17,610	17,636	17,789	17,763	17,769	17,787	17,792
주거지역	2,580	2,595	2,620	2,647	2,670	2,684	2,701	2,713	2,740	2,753
상업지역	325	328	329	331	331	335	338	338	342	343
공업지역	1,122	1,142	1,158	1,167	1,182	1,198	1,219	1,222	1,241	1,253
녹지지역	12,683	12,662	12,647	12,626	12,617	12,628	12,632	12,622	12,592	12,581
미지정	884	870	860	839	837	944	874	873	871	862
관리지역	27,093	27,155	27,171	27,207	27,180	27,223	27,261	27,310	27,359	27,304
계획관리	11,960	12,051	12,068	12,100	12,083	12,066	12,080	12,090	12,099	12,081
생산관리	4,899	4,934	4,939	4,939	4,938	4,947	4,971	5,003	5,030	5,013
보전관리	10,171	10,123	10,131	10,137	10,136	10,193	10,195	10,204	10,216	10,196
미세분	64	47	33	31	23	17	15	14	15	14
농림지역	49,403	49,344	49,326	49,285	49,346	49,351	49,301	49,256	49,201	49,244
자연환경 보전지역	12,017	12,006	11,950	11,958	11,948	11,923	11,885	11,869	11,861	11,871

출처: 한국국토정보공사, 도시계획현황 (kosis.kr, 접속일: 2023.11.15.)

다. 토지피복도

다음으로 살펴볼 자료는 환경부에서 작성 중인 토지피복도(Land Cover Map)이다. 앞의 두 통계와 달리 국가승인통계는 아니지만, 우리나라 국토의 피복현황에 대한 기본 주제도 역할을 하는 자료이다.³¹⁾ 토지피복도란, 지구표면 지형지물의 형태를 일정한 과학

31) 주제도(thematic map)란 어떤 특정 이용 목적에 사용하도록 특정한 주제에 대해 이를 특히 강조하여 표현된 지도이다. 국가 기본도를 기초로 하여 그 위에 특별한 기호나 색채로 주제를 표현한 지도로 주제는 토지이용, 방재, 식생, 지질, 토양, 중력, 도로, 하천, 경제, 인구, 문화재 현황 등 매우 다양하며,

적 기준에 따라 분류하여 동질의 특성을 지닌 구역을 동일한 색과 기호로 표시하는 공간정보 데이터베이스를 의미한다. 1998년 환경부에서 최초로 대분류 토지피복도를 구축한 이래, 2000년 중분류와 2010년 세분류 토지피복도를 기준으로 제공하고 있다.³²⁾

한국의 토지피복도는 지도의 해상도에 따라 대분류(해상도 30m급), 중분류(해상도 5m급), 세분류(1m급)로 구분된다. 환경부는 자연환경보전법에 의거, 대분류 7개 항목, 중분류 22개 항목, 세분류 41개 항목으로 나누어 한국의 실정에 따라 분류를 세분화해 토지피복도를 작성하고 있다. 대분류는 1:50,000 축척에 맞추어 구축하고 있으며, 주로 Landsat TM 위성영상을 사용하여 작성한다. 중분류는 1:25,000 축척의 지도를 Spot 5와 아리랑 2호 위성영상으로, 소분류는 IKONOS 위성영상³³⁾과 항공사진으로 1:5000 축척의 지도를 작성한다. 토지피복도의 최종결과물은 인터넷 서비스 도면(PDF)과 GIS 파일형식(SHP)으로 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/>)를 통해 획득할 수 있다. 아래 <그림 4-1>은 위성사진과 토지피복도를 비교한 것이며, <그림 4-2>는 자연생태계 중심으로 토지피복 표본을 제시한 것이다.



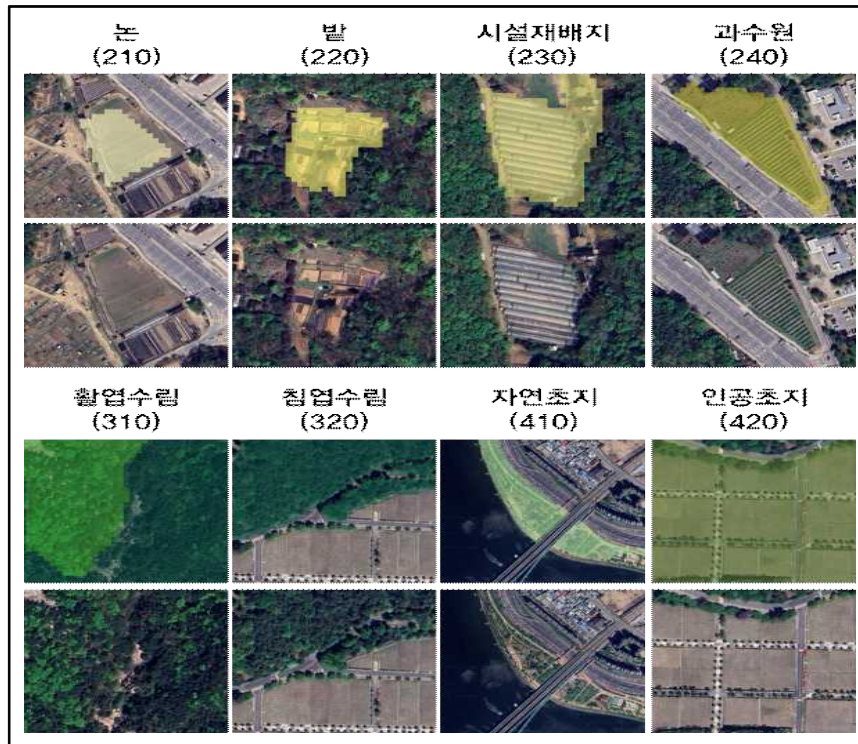
출처: 환경공간정보서비스(www.egis.me.go.kr, 접속일: 2023.11.20.)

<그림 4-1> 위성사진과 토지피복도 비교

이러한 주제를 대상으로 작성한 지도의 명칭은 주로 주제의 이름을 따라 부르고 있다(지형공간정보체계 용어 사전(<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=3483487&categoryId=58439>, 접속일: 2023.12.8).

32) 토지피복도 개념 및 제작 방법은 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/atlas/list.do> 접속일: 2023.11.20.)를 참조

33) 세계 최초의 상업용 고해상도 위성으로 0.82m 해상도의 panchromatic 영상과 3.2m의 multispectral 영상을 획득할 수 있다(<https://geofocus.kr>, 접속일: 2023.12.8.)



출처: 환경공간정보서비스(www.egis.me.go.kr, 접속일: 2023.11.20.)

<그림 4-2> 토지피복 위성영상 표본

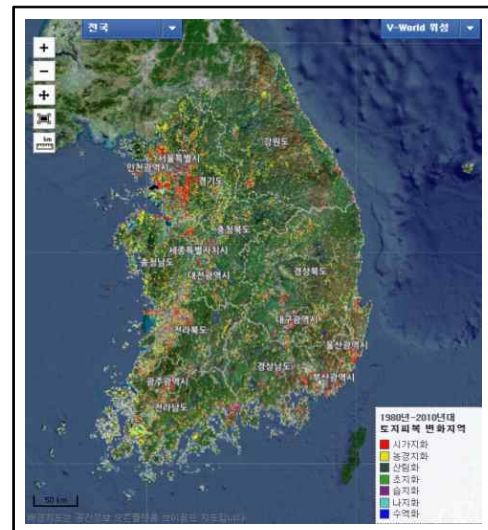
환경부 토지피복도는 다음의 제작 과정을 통해 구축된다. 먼저 대분류 토지피복도는 자료수집, 영상처리, 피복분류, 산출의 과정을 거친다. 자료수집은 해당기간의 위성영상자료, 항공사진, 그리고 참조자료의 수집을 포함한다. 참조자료는 축척 1:25,000의 수치지형도와 아리랑2호 위성영상을 사용하며, 수집된 자료를 바탕으로 영상을 처리하는 단계에서는 좌표를 보정하고, 오차를 검증하며, 색상을 조정하고, 영상을 집성하는 세부 단계로 나뉜다. 좌표변환은 기준 좌표계를 WGS84 UTM에서 GRS80 TM으로 변환³⁴⁾하며, 오차검증은 위성영상에 발생할 수 있는 위치의 오차를 수치지형도를 기준으로 35m 이내로 검증하는 세부단계이다. 색상보정은 촬영 시기와 빛 반사, 촬영 각도 등의 요인으로 인해 위성영상의 색상톤이 지역마다 다를 수 있는데, 이를 전체적으로 통일하는 과정을 의미한다. 영상 집성은 여러 영상의 파일을 하나의 파일로 통합하는 것이다.

34) WGS84와 GRS80은 공통적으로 지구의 질량 중심을 타원체의 원점으로 정의한 세계측지계이며, 단 반경과 편평률에 차이가 있다. UTM(Universal Transverse Mercator)은 미국에서 군사용으로 GPS 시스템을 이용하여 만든 투영법이며, 우리나라 국가기본도에서는 이와 투영 계산은 같지만 상수가 다른 TM(Transverse Meractor, 횡단원통등각투영법)을 평면직각좌표계의 기본체계로 채택하고 있다.

자료수집과 영상처리 단계를 거치면 비로소 피복분류 과정으로 넘어간다. 피복분류는 영상분류 알고리즘을 이용한 자동화 방법을 이용하며 7가지 항목으로 분류한다. 분류된 결과는 인접 부분 등에서 오류가 발생할 확률이 높는데 이를 작성자가 확인하는 단계를 거친다. 한국은 데이터 점검을 위해 현지조사를 실시하고 분류된 결과를 검증하는 단계를 실시한다. 분류정확도는 1:25,000의 수치지형도와 아리랑 2호영상 등의 참고자료를 사용하여 평가한다. 이렇게 분류된 결과를 하나의 파일로 통합하고 PDF나 GIS 파일 형식으로 제작한다.

중분류와 세분류 토지피복도의 경우 대분류보다 세밀한 분류가 필요하므로 더 노력이 필요한 분류방법을 채택한다. 기본영상은 대분류보다 더 해상도가 높은 항공정사영상과 아리랑 위성영상 등을 사용하고, 참고자료 또한 수치지형도, 연속수치지도, 지적도, 용도지역지구도, 정밀임상도, 습지보호지역, 갯벌 GIS-DB 등 다양한 자료를 사용한다. 피복분류는 기본적으로 육안판독법(on-screen digitizing)을 채택하며 위성영상에서 시각적으로 중분류 21개 항목과 세분류 41개 항목을 구분한다. 분류가 모호한 지역의 경우 참고자료를 사용하여 분류한다. 영상자료나 참고자료로도 확인이 모호한 지역에 대해서는 현지에 출장하여 토지피복 현황을 조사하고 확인한다. 이렇게 산출한 분류 결과는 총 3회에 걸쳐 품질을 검사한다.

환경부의 토지피복도 제작현황은 대분류의 경우, 1980년대 말, 1990년대 말, 2000년대 말, 2010년대 말 등 총 4번에 걸쳐 남북한 전역에 대하여 488도엽이 제작되었다. 1980년대 말 지도는 1987~1989년에 촬영된 Landsat TM 영상을, 1990년대 말은 1997~1999년에 촬영한 영상을, 2000년대 말은 2008~2010년의 Landsat7 영상을, 2010년대 말은 2018~2019년에 촬영한 Landsat8과 아리랑2호, 아리랑3A호 영상을 사용했다. 토지피복도 중분류의 경우 총 5개의 자료가 제작되었다. 2000~2004년 제작된 초기 자료, 2007년 1차 갱신된 자료, 2009년 2차 갱신 자료, 2013년 3차 갱신 자료, 2018년 세분류 자료에서 변환된 자료 등이 있다. 제작된 지역은 기간에 따라 상이하지만 모두 5m급 해상도로 구축되었다. 마지막으로 토지피복도 세분류의 경우 2010년부터 구축되어 2018년에 이르러 1차 구축이 완료되었다. 전국 총 18,538도엽은 현재까지 현행화를 위해 업데이트되는 중이다.



<그림 4-3> 토지피복변화 1980-2010

다음의 <그림 4-4>는 대분류기준으로 토지이용변화량을 살펴본 것이다. 1980-2010년 30년간 토지이용변화량을 보면, 시가지 면적과 산림 면적은 증가하였으나 농경지와 초지 면적은 감소한 것으로 나타났다. 그러나, 최근 10년(2000-2010)간 변화를 보면, 산림과 나지의 면적도 감소하였다.



출처: 환경공간정보서비스(www.egis.me.go.kr, 접속일: 2023.12.8.)

<그림 4-4> 토지피복도를 통해 본 토지이용변화량

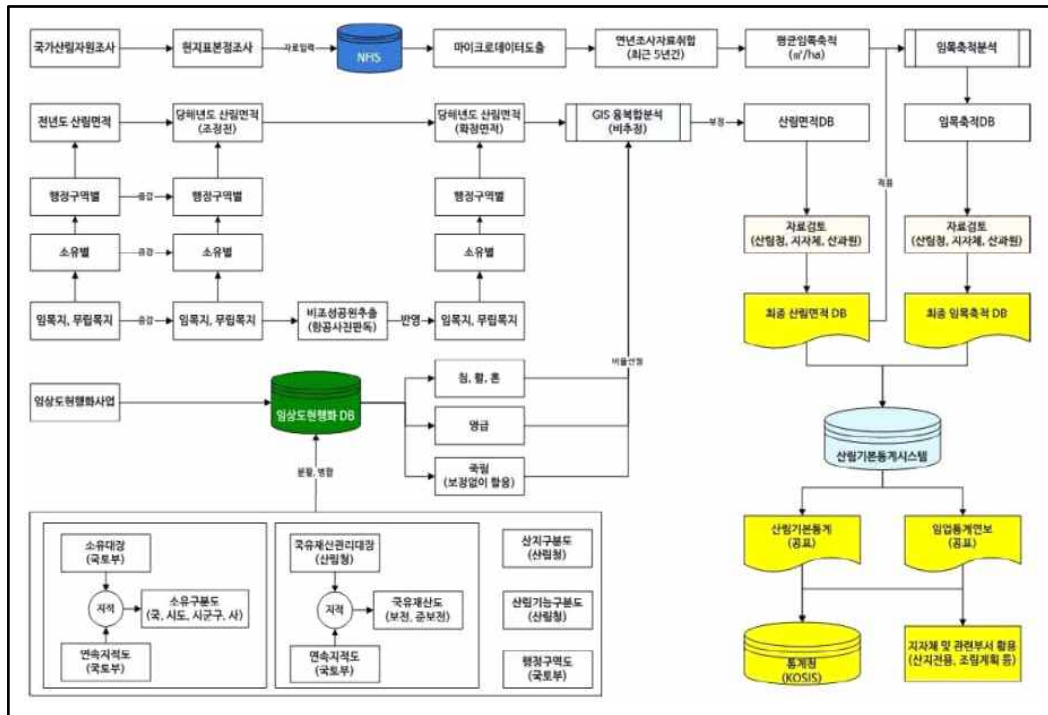
2. 상향식 접근: 영역별 통계

국내외 정책분석을 통해서, 탄소흡수가 예상되는 자연생태공간으로는 산지, 농경지, 도시숲, 초지, 습지, 그리고 해양이 있음을 알 수 있었다. 이 절에서는 아직 기초자료가 수집되어 있지 않은 해양을 제외한 나머지 영역별 통계 현황을 살펴보고자 한다. 먼저, 탄소흡수공간에서 가장 큰 부분을 차지하는 지역은 나무가 있는 산지이다.

가. 임야: 산림기본통계 및 임상도

국내 산림자원의 지속가능한 산림경영을 위한 정책수립과 국가 산림보고서 작성에 필요한 기초정보를 제공하기 위해 산림기본통계가 작성되고 있다. 이 통계는 전국의 산림 면적과 임목축적³⁵⁾을 조사한 지표로 구분된다. 아래 <그림 4-5>는 산림기본통계가 작성되는 전체적인 흐름을 보여주는데 이중 행정자료 기반 산림면적을 보정하는 임상도 작성 방법에 대해서 구체적으로 살펴보고자 한다.

35) 임목의 부피를 이르는 말로 단위는 세제곱미터로 표시된다.



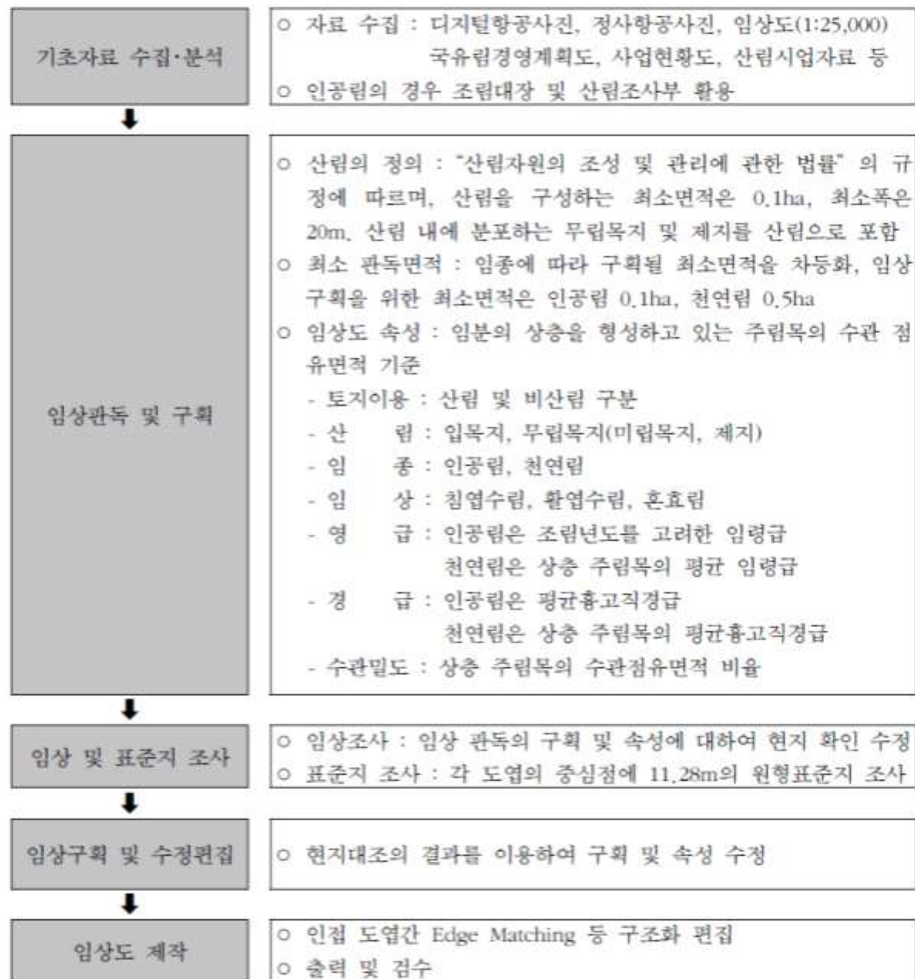
출처: 산림청, 2020, p.3.

<그림 4-5> 산림기본통계 작성 흐름

산림기본 임상도는 우리나라 국토 산림의 분포 양상을 보여주는 대표적인 산림지도로 임종·임상·수종·경급·영급·수관밀도 등 다양한 속성정보를 포함하고 있으며 지형도, 토양도, 지질도 등과 더불어 국가기관에서 전국적 규모로 제작하는 주요 주제도 중 하나이다. 축척 1:5,000 임상도의 제작은 항공사진 판독과 현지 임상조사 및 표준지 조사를 기초로 하여 제작한다. 임상구획의 정도는 임종에 따라 차별화하고 인공림은 천연림보다 정밀하게 구획하여 산림 GIS 및 국가지리정보체계(NGIS) 표준 등을 준수하여 구축한다.³⁶⁾

임상도 제작 순서는 <그림 4-6>과 같이 기초자료 수집 및 분석, 임상판독 및 구획, 임상 및 표준지 조사, 임상구획 및 속성정보 수정, 임상도 제작의 순서로 진행하며 현지 임상조사와 임상구획 및 속성정보의 수정은 반복적으로 진행된다.

36) 임상도 제작순서는 국립산림과학원(2012)를 참고하여 작성하였음



출처: 국립산림과학원, 2012a, p.6.

<그림 4-6> 임상도 제작 흐름 및 내용

기초자료 수집 및 세부 분석절차는 다음과 같다. 기초자료에는 디지털항공사진, 정사항공사진, 축척 1:25,000 임상도 등과 국유림경영계획도, 사업현황도, 산림사업자료 등을 포함하고 있으며, 인공림은 조림대장, 국유림은 산림조사부 등의 정보를 참고자료로 활용한다. 기초자료에서 공간정보가 없는 자료는 지적도의 주소정보와 맵핑하여 별도 자료로 활용한다. 임상 구획의 정확성을 확보하기 위하여 수집된 기초 자료를 GIS 툴을 활용하여 중첩·분석하는데 구름 낀 영상이나 겨울 영상 등 영상관독이 어려운 부분은 지도포털 사이트에 있는 최신 영상자료를 참고로 활용한다.

<표 4-3> 기초자료 수집 목록

자료명	자료 형태	자료 생성기관	세부 내용
디지털 항공사진	Geotif	국토지리정보원	- 디지털 컬러항공 사진 - 입체 사진 판독에 필요한 자료
수치지형도	NGI	국토지리정보원	- 1/5,000 수치지도 ver2.0 데이터
연속지적도	SHP	KLIS 사업단	- KLIS 연속지적도
수치임상도 (1/25,000)	SHP	국립산림과학원	- 1/25,000 수치임상도
국유재산기본도 (1/25,000)	SHP	산림청	- 행정자산, 보존재산, 잡종재산
조림대장	대장/조서	지자체	- 지번별 조림이력 자료(최근 10년)
숲가꾸기 대장	대장/조서	지자체	- 지번별 숲가꾸기 이력자료
토사석채취 허가대장	대장/조서	지자체	- 토사석 채취 지번별 자료
산지전용허가대장	대장/조서	지자체	- 산지전용 허가 및 공단, 주택 개발 지번별 자료 및 위치도 등
기타 산림 관련 자료	대장/조서	지자체	- 산불현황 자료 등 기타 산림 훼손 관련 자료
국가산림자원조사 표본점 자료	대장/조서	산림청	- 지역별 국가산림자원조사 현황
국유림 경영계획 자료	대장/조서	국유림 관리소	- 국유림 영림계획자료 등
보호림	대장/조서	국유림 관리소	- 보호림 관련 자료
수치산림입지도 (1/25,000)	SHP	산림청	- 1/25,000 수치 산림입지도

다음은 임상 판독 및 구획 절차이다. 항공사진 판독과 현지 임상조사 및 표준지 조사를 기초로 제작하며, 임상도의 속성은 별도의 규정이 없는 한 임분의 상층을 형성하고 있는 주림목(우세목, 준우세목)의 수관점유면적을 기준으로 판단한다. 임상구획 시 곡선의 측정 간격은 10m 이내로 하며 중간점을 생략할 수 있는 각도는 6°이하, 직선의 경우 최대 50m를 넘지 않도록 한다.

한편 아래 <그림 4-7>은 우리나라에서 임상도가 발전한 과정을 보여준다. 종이지도에서 항공사진 기반 수치지도로의 변천 과정에 대한 흐름을 한눈에 볼 수 있다.

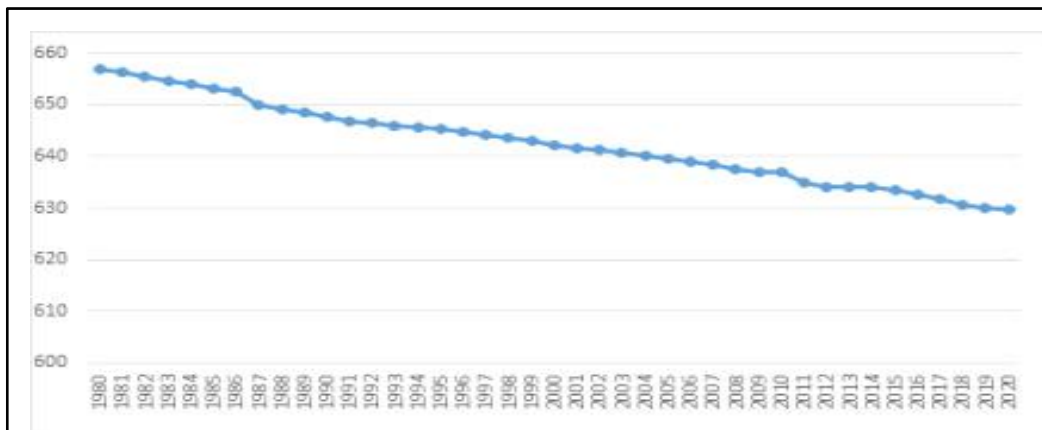


출처: 국립산림과학원, 2012b, p.2-3.

<그림 4-7> 임상도 발전 과정

<그림 4-8>은 2000년 이후 우리나라 산림면적 추세를 보여준다. 그래프에서 보듯이 우리나라 산림면적은 지속적으로 감소하여 2020년 국내 전체 산림면적은 약 629만ha인 것으로 나타났다. 이러한 산림면적의 감소에는 최근 점점 빈번화, 대형화되고 있는 산불이 영향을 끼친 것으로 분석되었다. 2010~2014년 동안 발생한 산불로 인한 피해면적 규모는 연평균 429.6ha이나 2015, 2020년 발생한 산불로 인한 피해 규모는 1557.5ha에 달하는 것으로 확인되었다(통계개발원, 2022).

(단위: 만ha)



출처: 산림기본통계, 산림청(kosis.kr, 접속일: 2023.12.13.)

<그림 4-8> 산림면적 추세 현황(1980-2020)

나. 도시숲

산림청은 도시지역을 대상³⁷⁾으로 2년 주기로 전국도시숲통계를 작성한다. 현재 도시숲은 행정통계를 기반으로 구축되고 있으며, 미승인통계이다. 산림청은 이에 대한 한계를 극복하기 위해 5개 권역 대상 조성, 관리, 활용 실태조사 고도화를 추진 중이다(산림청, 2017).

<표 4-4>는 전국의 도시숲 현황으로, 최근 들어 감소하거나 소폭 증가하는 추세임을 알 수 있다. 도시숲 조성이 증가하는 원인으로는, 생활권 내 도시림에 대한 시민들의 관심과 참여의식이 높아지고 있고 도시환경 개선과 시민들의 삶의 질 향상을 위해 많은 지자체에서 도시림 확충을 계획하고 있기 때문이다.³⁸⁾ 그러나, 전남과 경북, 제주는 감소추세이며 제주의 최근 감소폭이 특히 두드러진다.

37) 여기에서 도시란 읍면동 중 읍과 동에 해당하는 지역을 의미한다.

38) 지표누리 홈페이지(index.go.rk) (접속일: 2023.12.1.), 2022년부터 산림청은 도시림을 도시숲으로 변경하여 사용한다.

<표 4-4> 도시숲 면적(2007-2021)

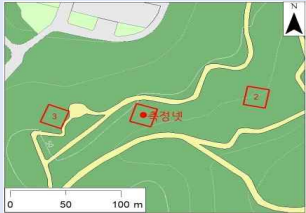
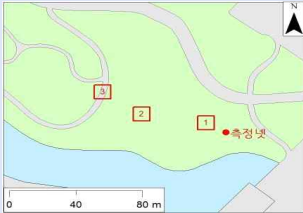
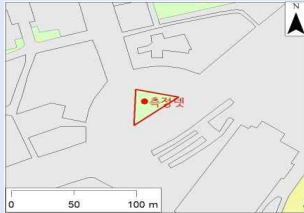
(단위:ha)

연도	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2021
총계	2,637,712	2,188,315	2,147,186	2,166,777	2,479,798	2,383,244	2,393,634	2,491,081
서울	1,326,788	1,102,118	1,079,836	1,095,362	1,253,573	1,206,249	1,212,297	1,263,001
부산	17,973	13,714	14,061	12,777	13,254	14,701	18,029	18,721
대구	24,056	24,173	24,384	27,416	33,210	28,413	36,341	39,610
인천	10,304	12,631	6,536	12,845	13,469	13,687	14,243	15,163
광주	23,622	24,278	13,009	16,519	18,794	18,234	18,800	18,538
대전	29,445	32,096	35,362	24,984	27,488	24,742	27,901	27,143
울산	34,527	8,117	18,329	18,194	32,298	32,544	36,335	40,360
세종	-	-	-	406	1,015	1,266	1,513	1,638
경기	156,821	150,866	127,292	170,000	181,955	135,593	149,651	149,960
강원	284,377	289,208	308,017	223,150	290,803	285,289	303,741	339,096
충북	84,515	48,707	61,284	68,654	60,111	81,315	75,276	76,735
충남	62,867	44,451	41,066	49,661	60,085	62,804	67,288	72,082
전북	50,484	49,149	61,936	57,184	54,244	43,283	48,302	48,624
전남	182,417	110,916	115,265	115,801	115,183	115,222	111,489	99,777
경북	198,020	126,247	93,050	106,946	161,495	161,180	157,688	140,372
경남	67,923	66,141	63,091	77,491	75,153	70,944	72,511	98,008
제주	83,573	85,503	84,668	89,387	87,668	87,778	42,229	42,253

출처: 전국도시림현황통계, 산림청(지표누리(index.co.kr), 접속일: 2023.12.12.)

아울러, 산림청은 도시숲 등을 지속가능하게 관리하기 위하여 도시숲의 생태적 건강·활력도, 생물다양성, 사회·경제적 편익을 측정할 수 있는 도시숲 관리지표를 설정·운영하고 있다. 다음은 도시숲 측정 방안이다. 먼저 표준지 설계 방안은 다음과 같다. 먼저, 항공(위성)사진을 관독하여 사업대상지 도시숲에 대한 조사대상 면적, 공간적 위치, 비율을 확정한다. 이를 바탕으로 표준지를 선정한다. 도시숲 등(마을숲, 경관숲, 학교숲 등) 모집단(도시숲 현황통계 기준)을 대상으로 전체 비율 중 최소 10% 이상의 면적에 대한 조사지를 선정한다. 조사지는 도시숲 등의 관리 지표 및 측정의 목적에 맞게 도시숲 관리청에서 정한다. 표준지는 사업 목표를 반영할 수 있는 3개의 표준 조사구로 선정한다. 이때 산지형 도시숲은 20m×20m(0.04ha)로 단위 표준 조사구를 설정하고, 3개를 최소 50미터 이상 위치하게 배치한다. 평지형 도시숲은

10m×10m(0.01ha)로 단위 표준 조사구를 정하고, 3개를 최소 30미터 이상 위치하게 배치한다. 평지형 도시숲 및 최소면적이 충족되지 않는 도시숲은 1개의 plot만 조사할 수도 있다.

사례	산지형(산림공원) 예: 홍릉숲 <0.12 ha, 20m×20m, 3 plots>	평지형(생활환경숲) 예: 인천 센트럴공원 (공원, 0.03 ha, 10m×10m, 3 plots)	평지형(녹색삼지숲) 예: 청량리역 교통섬 <0.01 ha, 10m×10m, 1 plot>
조사지			

출처: 국가법령정보센터. 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙 별표 1, p.1.

<그림 4-9> 도시숲 등 조사구 면적 및 지도

가로수는 총 가로수 연장의 10% 이상의 구간을 조사지로 선정하며, 조사 평가 지표를 조사하기 위한 표준지는 식재 교목 수종별 1개소 이상 포함되도록 하고, 수종 비율에 따라 개소 수를 조정한다. 가로수의 단위 표본점은 도로 한쪽 면의 40m 길이 (총 10그루 포함 기준)에 대하여 방형구 형태(40m × 열)의 표본점을 구성한다. 사각형의 장방형은 방위에 상관없이 한쪽 도로변을 따라 직각으로 설정하고, 방형구 폭은 식재열(1열, 2열)에 식재된 수량으로 한다.



출처: 국가법령정보센터. 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙 별표 1, p.2.

<그림 4-10> 가로수 표본점 배치 구조(40m)

표준지 내 출입제한 및 담장 조성 등에 의하여 해당 표본점에 수목이 존재함에도 불구하고 조사가 불가능한 지역일 경우, 대체 표본점을 선정한다. 도로 및 건물의 경우 접근이 불가능하나 임목존재 여부 등을 조사할 수 있는 경우에는 조사불가 면적 산출 시 제외하도록 하며, 조사불가 면적이 전체 표본점의 75% 이상일 경우 대체표본점을 선정한다.

현지조사 과정에서는 도시숲 등의 생태적 건강·활력도, 생물다양성, 사회·경제적 편익, 유지관리의 4개 부문, 11~13개 평가지표, 21~24개 평가항목에 대해 조사하며, 교목의 수고와 직경은 측정하여 별도 야장에 기입한다.³⁹⁾

다. 초지

농림축산식품부는 전국 초지의 관리실태를 파악하고 그 결과를 토대로 초지 이용의 효율화 및 활성화를 도모하기 위해 매년 초지관리실태조사를 실시한다. 초지관리 실태조사는 행정자료에 기반하며, 정기적으로 현장조사를 통해서 변경사항을 정리한다. 초지법에 따르면, 시장·군수·구청장은 연1회 이상 초지의 관리실태를 파악하기 위하여 필요한 사항을 조사하고 있다. 다만, 국가 또는 지방자치단체가 관리하고 있는 초지에 대해서는 해당 초지를 관리하는 행정기관의 장 또는 지방자치단체의 장이 이를 조사하고 그 결과를 시장군수구청장에게 통보해야 한다.⁴⁰⁾

2022년 초지관리 실태조사에 따르면, 전국 초지면적은 32,012ha(국토 전체면적 1천만 ha의 약 0.3%)로 전년 대비 376ha 감소한 것으로 조사되었다. 변화 현황을 세부적으로 살펴보면, 신규 초지는 사료작물 재배, 가축 사양 등의 목적으로 62ha가 조성되었고, 초지전용 및 산림환원 등으로 438ha 면적이 초지에서 제외되었다. 전국 초지면적은 농어업용지, 각종 개발사업, 산림 환원 등에 의한 전용으로 매년 감소되고 있는 것으로 나타났다.

<표 4-6>은 2022년 초지에서 제외된 면적을 세부적으로 제시한 것이다. 초지전용 면적은 211ha로, 대부분 농업용으로 전용(132ha)되었으며 도시계획시설과 도로 목적으로도 전용된 것으로 나타났다. 또한 산림 환원, 초지 기능 상실, 관리 부재 등으로 인한 초지 해제 면적도 227ha로 조사되었다.

<표 4-5> 초지면적 현황추세(1995-2022)

(단위:ha)

연도	1995	2019	2020	2021	2022
면적	66,301	32,788	32,556	32,388	32,012

39) 세부조사항목은 <부록>에서 제시함

40) 초지법 (국가법령정보센터)

<표 4-6> 초지 제외 면적 현황

(단위:ha)

연도	합계	초지전용			초지해제		
		소계	개발사업	농업용 등	소계	산림환원	기타
2021	250	100	37	63	150	79	71
2022	438	211	79	132	227	87	140

초지 이용현황을 형태별로 보면 초지의 42%인 13,425ha가 방목초지로 활용되고 있으며, 다음으로 사료작물포(7,092ha), 축사·부대시설(1,010ha) 순으로 조사되었다. 또한 미이용되고 있는 초지는 10,485ha로 전년 대비 999ha 증가한 것으로 나타났다.⁴¹⁾ 탄소흡수원으로 분류되는 초지는 온실가스 저감 역할을 하는 토지로서, 지속가능한 축산업 기반 조성에 매우 중요하지만, 초지활용 감소로 인해 산림 환원, 전용 등이 늘고 있는 상황인 것으로 분석되었다.

라. 습지

습지는 내륙습지와 연안습지로 구분되는데, 현재는 연안습지 즉, 갯벌조사만 실시되고 있다. 갯벌은 만조 시에 수위선과 지면이 접히는 경계선으로부터 간조 시에 수위선과 지면이 접히는 경계선까지의 지역으로 정의된다. 전국갯벌면적조사는 해양수산부 해양생태과 주관하에 5년 주기로 실시된다. 행정조사이며 2003년 최초 작성된 이후, 2006년 통계승인을 받았다. 갯벌면적의 변화는 2003년 2550.2km² → 2008년 2489.4km² → 2013년 2487.2km² → 2018년 2482.0km² 이다. 2003년 조사 이후 조금씩 감소하는 것으로 나타났다.

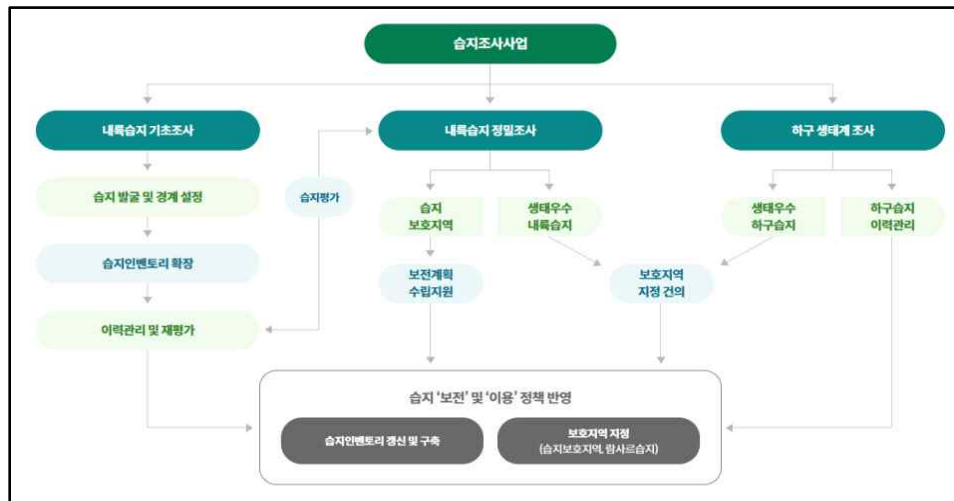
<표 4-7> 연안습지(갯벌) 면적 현황

	1998		2003		2008		2013		2018	
	면적 (km ²)	비율 (%)	면적 (km ²)	비율 (%)	면적 (km ²)	비율 (%)	면적 (km ²)	비율 (%)	면적 (km ²)	비율 (%)
총계	2,398.0	100.0	2,550.2	100.0	2,489.4	100.0	2,487.2	100.0	2,482.0	100.0
인천	685.0	28.6	737.1	28.9	703.9	28.3	709.6	28.5	728.3	29.3
경기	153.5	6.4	177.8	7.0	168.8	6.8	165.9	6.7	167.7	6.8
충남	304.2	12.7	367.3	14.4	358.8	14.4	357.0	14.3	338.9	13.7
전북	113.6	4.7	132.0	5.2	117.7	4.7	118.2	4.8	110.5	4.4
전남	1,054.1	44.0	1,017.4	39.9	1,036.9	41.7	1,044.4	42.0	1,053.7	42.5
경남	59.0	2.5	91.4	3.6	79.1	3.2	68.8	2.8	62.8	2.5
부산	23.6	1.0	27.2	1.1	24.2	1.0	23.3	0.9	20.1	0.8

출처: KOSIS(kosis.kr, 접속일: 2023.12.8.)

41) 농식품부, 2022년도 초지관리 실태조사 결과 발표 (2023.3.9. 보도자료)

한편, 내륙습지 면적의 국가공식 통계자료 지정을 2027년 목표로 하고 있다. 습지 보전의 기반이 되는 내륙습지의 분포현황 및 생태적 보전가치 파악을 통해 체계적으로 보전하고 정책수립을 지원하기 위해 수행된다. 조사는 <그림 4-11>과 같이 크게 내륙습지 기초조사, 내륙습지 정밀조사, 하구 생태계 조사로 구성된다.



출처: 국립생태원 홈페이지(www.nie.re.kr, 접속일: 2023.12.15.)

<그림 4-11> 습지조사사업 체계도

우리나라는 전국의 습지 변화상을 분석하고 국가온실가스 통계 산정을 위한 내륙 습지 경계지도를 구축하고 갱신하고자 하는데, IPCC 지침에 따른 국내 토지이용구분 체계 정립 및 다른 국가통계와의 정합성 확보가 관건이다. 다른 국가통계라 함은, 연속수치지도, 정밀임상도, 스마트팜맵, 연속지적도, 용도지역지구도, 경지정리현황도, 토지피복도 등이다. 습지 인벤토리 및 공간자료, 위성영상과 현장조사를 통해 습지 면적, 변화량을 산정하고, 국가 공식통계 지정을 추진할 예정이다(환경부·해양수산부, 2022).

마. 농경지

한편, 농경지는 탄소가 배출되는 공간이나 농법의 변화에 따라 탄소흡수 역량이 생성될 수 있다는 점에서 함께 검토하였다. 농업 활동이 수행되는 면적에 관한 조사는 통계청에서 수행하고 있다. 이는 경지로 개념화되는데, 경지란 농작물 재배를 목적으로 하는 토지를 말한다. 법적 지목 여하에 불문하고 실제 토지상태가 농작물의 경작 또는 다년생 작물 재배로 이용되는 토지와 그 부대시설을 포함한다. 여기에는 논과 밭이 해당하며 논은 물을 직접 이용하여 논벼 등의 식물을 주로 재배하는 토지를 말하며 밭은 물을 대지 않고 과수, 채소 등을 재배하는 토지를 의미한다. 통계청

농업면적 조사는 표본으로 선정된 조사구 내 경지(논과 밭)와 경지에서 재배되는 작물의 면적을 조사대상으로 한다(통계청, 2022).

이 중 경지면적조사는 원격탐사방식 조사와 실측 및 목측조사를 병행으로 하고 있다. 원격탐사를 위한 위성영상자료는 한국항공우주연구원으로부터 아리랑 2, 3호 영상, Repid-Eye 영상을 구입하여 활용한다. 취득한 영상을 토대로 표본지역 내의 논, 밭 여부 등을 판독하고 판독 결과의 정확도를 판단하기 위해 자체점검 및 현장검수를 실시한다.

영상판독을 위한 기초자료는 국토정보플랫폼의 국토위성영상, 국토지리정보원의 항공영상, 한국항공우주연구원의 KOMSAT 영상, PlanetScope 영상, 농림축산식품부의 팜맵, 행정안전부의 도로명주소 전자지도이다.



출처: 통계청, 2023.

<그림 412> 농업면적조사 절차

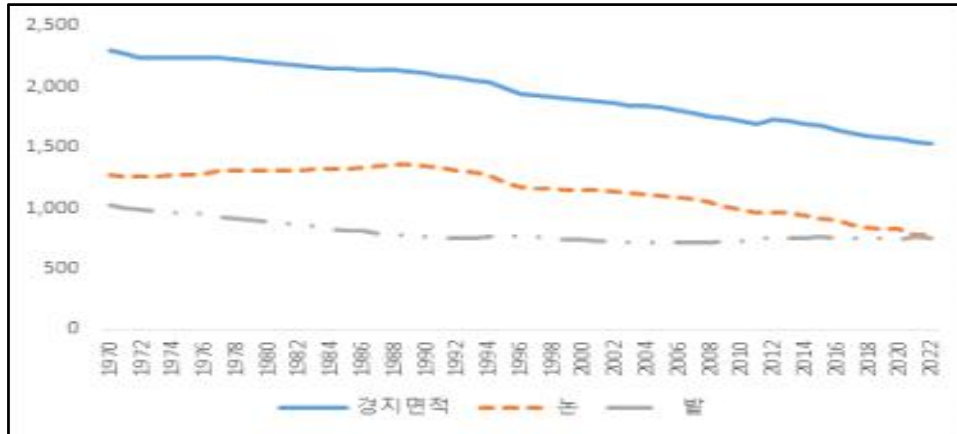
<표 4-8> 경지면적조사 기초자료

분류	자료	목적	출처	특징
영상	KOMPSAT (아리랑) 위성영상	경지경계 구획 및 판독	한국항공우주연구원	K3, K3A 영상 공간해상도: 0.7m, 0.55m
영상	PeruSAT-1(PER) 위성영상	경지경계 구획 및 판독	CONIDA	공간해상도: 0.7m
영상	국토위성1호(CAS) 위성영상	경지경계 구획 및 판독	국토지리정보원	공간해상도: 0.5m
영상	PlanetScope 위성영상	벼재배유무 판독	Planet Labs Inc.	공간해상도: 3.7m
영상	항공영상	기초자료	국토지리정보원	공간해상도: 0.25m, 0.5m
벡터	남북한 표본	기초자료	통계청	2022년 표본조사구 결과
벡터	남북한 경지(논)모집단	기초자료	통계청	2022년 경지(논)모집단 결과
벡터	팜맵	변화정보	농림축산식품부	항공영상 0.25m급 활용 자료
벡터	도로명주소 전자지도	변화정보	행정안전부	표본 외 정비 참조자료
벡터	(연속주제)_국토계획/구역	변화정보	국토교통부	표본 외 정비 참조자료
벡터	국토실태 DB	변화정보	국토지리정보원	'17~21년 구축 자료 논, 밭, 과수 3가지로 구분
벡터	북한 연속수치지형도	변화정보	국토지리정보원	'16~18년 구축 자료 시도경계, 시군경계, 식생 지류계

출처: 통계청, 2023.

<그림 4-13>은 1970년부터 최근까지 경지면적 추세를 제시한 것이다. 이에 따르면, 경지면적은 지속적으로 감소하고 있는 추세로, 향후에도 도로건설, 도시 확장 등에 따른 농지전용 증가로 감소 추세가 지속될 전망이다.⁴²⁾

(단위: 천ha)



출처: 지표누리(index.go.kr, 접속일: 2023.12.11.)

<그림 4-13> 경지면적 추세 현황

제2절 국제통계

2절에서는 국토그린 유사통계로서 국제통계 현황을 살펴보았다. 여기에서 검토한 통계는 SDG 지표로, 토지황폐화 지표(SDG 15.3.1)와 산악지역 녹색피복지수(SDG 15.4.2), 도시 공공 용지 지표(SDG 11.7.1)이다. 토지황폐화 지수는 면적뿐 아니라 토지의 생산능력 및 탄소저장량까지 종합적으로 고려하고 있어 국토그린지표와 가장 유사한 것으로 평가된다. 산악지역 녹색피복지수는 산악지역 중 식생 여부를, 공공 용지 지표는 도시지역에 한정하여 향후 도시숲이 예상되는 공간이라는 점에서 함께 검토하였다.

1. 토지황폐화 지표

토지황폐화(Land Degradation)란 토지가 생물학적 또는 경제학적 생산능력이 줄거나 소실되어 토지의 등급이 저하되는 것을 뜻하는 것으로 인간 활동으로 인해 천수

42) 지표누리 홈페이지(index.go.kr, 접속일: 2023.12.15.)

된 농경지, 관개 농경지나 방목지, 산림의 다양성이 줄거나 소실되는 것 등이 포함된다.⁴³⁾ 토지황폐화 평가 및 정량화는 상황에 따라 다르게 분석되기 때문에 단일 지표로 모든 토지의 상태 및 조건을 다루기는 어렵다. UNCCD 기준에 따르면 토지면적, 토지생산성, 탄소저장량으로 구성된 3개의 하위지표를 통해 토지황폐화 정도를 측정하고, 하나의 항목이라도 감소하면 황폐화된 토지로 평가하는 One Out, All Out 원칙을 적용한다(UNCCD, 2018). 이 정의는 UNCCD에 참여하는 196개국에 동일하게 적용되며, 그 측정 방법 또한 UNCCD 기준을 활용한다.

3개의 하위 지표 중 토지면적은 토지피복 변화를 탐지하여 추정한다. 토지피복은 식생, 수역, 인간이 만든 기반 시설 등 지구 표면에서 관측되는 물리적 피복을 의미하며 농업 및 임업을 위한 토지자원의 이용을 반영한다. 토지피복 및 토지피복 변화는 ESA-CCI-LC19 또는 SEEA-MODIS를 활용하여 측정할 수 있다.

토지생산성은 식물의 광합성에 의해 생태계에 흡수된 탄소량에서 식물의 호흡량을 제외하고 식물체 내에 저장된 탄소량인 순일차생산량(NPP, Net Primary Productivity)을 의미하며, 이는 생태계 서비스를 제공하는 바이오매스 축적 속도로 해석할 수 있다. 이는 토지의 건강과 생산력을 측정하고 식물 및 바이오매스 성장에 따른 생태계 기능 변화의 순 효과를 반영하며, 수치의 감소는 토지 황폐화의 진행을 의미한다. 토지생산성 데이터의 가장 정확하고 신뢰할 수 있는 데이터 출처로는 평균 250m 해상도를 제공하며 2000년도부터 연도별로 데이터를 확인할 수 있는 MODIS 데이터 제품과 평균 1km 해상도로 1998년부터 데이터를 확인할 수 있는 코페르니쿠스 세계 토지 서비스(Copernicus Global Land Service) 제품이 있다.

탄소저장량은 식물에 있는 탄소의 양을 뜻한다. 탄소저장소는 탄소를 축적하거나 방출할 수 있는 능력을 갖추고 있으며, 지상 및 지하 바이오매스, 고사유기물, 토양 유기탄소로 구성되어 있다. 이 중 탄소저장량 지표는 토양 유기탄소를 측정하여 활용한다. 토양 유기탄소는 물 침투, 토양생물 다양성, 침식 취약성, 식생 생산성, 농업 수확량에 직접적인 영향을 미치는 전반적인 토양품질을 나타낸다. 토양 유기탄소 데이터로는 사실상 현재의 표준 토양 격자인 통합 세계 토양 데이터베이스(HWSD) 1.2 버전(해상도 1km), 토양 표준 깊이(0cm, 10cm, 30cm, 60cm, 100cm, 200cm)별 공간예측이 가능한 글로벌 3D 토양 정보 시스템인 SoilGrids250m(해상도 250m), 1~30cm 깊이를 분석하는 세계 SOC지도(Global SOC Map) 1.0 버전(해상도 1km)이 있다.

43) UNCCD, 1994. 협약문 제1조.

<표 4-9> 하위지표별 신뢰할 만한 국제 데이터 출처

하위지표	데이터 출처	
	명칭	주요 특징
토지면적 (토지피복)	ESA-CCI-LC19	'92~'15년 데이터 이용 가능
	SEEA-MODIS	500m 해상도, '01~'19년 데이터 이용 가능
토지생산성	MODIS 데이터 제품	250m 해상도, '00년 데이터부터 이용 가능
	Copernicus Global Land Service	1km 해상도, '98년 데이터부터 이용 가능
탄소저장량 (토양 유기탄소)	HWSD 1.2	1km 해상도, 현재 표준 토양 격자
	SoilGrids250m	250m 해상도, 6개의 토양 표준 깊이 분석
	Global SOC Map 1.0	1km 해상도, 1~30cm 깊이 분석

출처: 저자 작성(SDG 15.3.1 메타데이터 참고)

지표의 정량화는 하위지표들의 변화를 평가하여 총 토지면적 대비 황폐화된 토지의 범위를 결정하게 된다. One Out, All Out 원칙에 따라 하위지표들의 변화가 (i) 긍정적이거나 개선되고 있음, (ii) 부정적이거나 감소하고 있음, (iii) 안정적이거나 변하지 않음으로 적용되는데, 특정 토지 단위에 대해 하위지표 중 하나가 부정적이거나 감소한 것으로 나타나면 토지가 황폐화된 것으로 판단한다. 현재 지표의 기준선이 되는 연도는 2015년이고, 각 연도의 지표 값은 기준선 값과 연계하여 각 토지 단위에서 긍정적이거나 부정적인 변화가 있었는지에 대한 하위지표의 변화를 정량화하여 분석한다.

2018년 첫 보고를 시작으로 4년마다 보고하도록 예정되어 있으며, 2018년 자료를 분석한 결과는 2019년 2월에 발표되었다. 현재 134개국의 지표값을 확인할 수 있으며, 전 세계 평균 토지 황폐화 비율은 2019년 기준 15.5%로 2015년 대비 다소 증가한 것으로 나타난다. 주요 국가의 토지 황폐화 비율은 아래 <표 4-10>에서 확인할 수 있다.

<표 4-10> 주요 국가의 토지 황폐화 비율

(단위: %)

국가	2015년	2019년
전 세계 평균	11.3	15.5
폴란드	0.2	0.2
핀란드	1.0	0.4
그리스	4.8	5.8
포르투갈	14.5	6.1
칠레	6.1	6.4
에스토니아	11.7	7.5
호주	7.3	8.2
스페인	5.2	11.1
슬로바키아	2.8	11.5
캐나다	9.7	11.7
이탈리아	14.1	12.5
튀르키예	14.3	13.4
헝가리	2.3	14.4
슬로베니아	10.2	26.7
콜롬비아	28.8	29.8

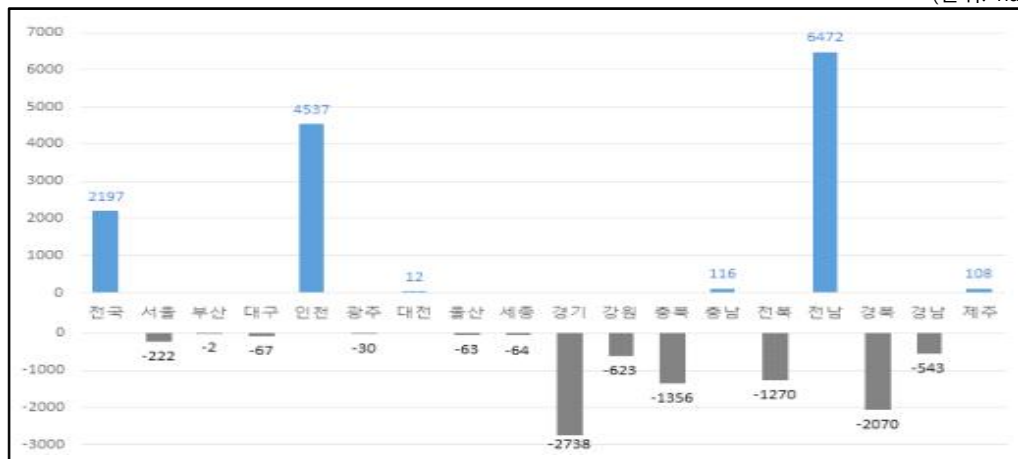
출처: UN SDG Indicator(<https://unstats.un.org/sdgs/>, 접속일: 2023.11.23.)

우리나라에서 토지 황폐화를 측정할 수 있는 데이터 출처는 ‘국가 온실가스 인벤토리 보고 체계’이다. 하지만 이를 통해서도 토지유형별 토지면적과 탄소저장량 데이터만을 확인할 수 있으며, 세 가지 하위지표를 통합하여 황폐화된 토지 면적을 분석한 체계는 아직 없다. 특히 토지피복 변화가 어떤 황폐화 과정과 연관되어 있는지를 분석하려면 토지 이용에 대한 정보가 필요하다. 예를 들어 나무로 덮인 지역이 초지로 변경된 것이 농지 개간 때문인지 자연적 변화의 결과인지 확인이 필요한데, 전자는 부정적인 전환으로 판단되지만, 후자는 그렇지 않은 것으로 평가될 수 있기 때문이다. 하지만 우리나라는 부처별로 담당 토지 유형에 해당하는 토지 이용 현황을 각각 생산할 뿐 일관된 기준으로 작성된 통합된 토지 이용 현황이 존재하지 않아 통합 지표 생산에 어려움이 있다.

국립산림과학원은 앞서 언급한 데이터 거버넌스 이슈와 토지이용변화 매트릭스 정보 부재로 산림면적 변화와 영상기반 기계학습을 통한 모델링을 사용한 접근법으로 시범적인 적용을 하였다.

산림면적 변화는 2020년과 2021년 대축척 임상도를 비교하였으며, 임목지와 무림목지로 정의하였다. 비교 결과, 2021년 산림면적이 2020년에 비해 2,197ha 증가한 것으로 나타났다. 증가한 지역은 전남(6,472ha), 인천(4,537ha), 충남(116ha) 순으로 나타났다. 산림면적이 지속적으로 감소하고 있다는 기존의 결과와는 다른 결과이다. 이러한 증가의 원인으로 파악된 것은 첫째, 2021년에 미구축 도서지역 임상도 구축사업에 따라 도서지역이 많은 전남 및 인천지역의 산림면적이 증가한 것으로 나타났으며,⁴⁴⁾ 둘째 대축척 임상도의 기초자료 중 군사보호구역 등 보안지역의 위장 처리된 항공사진 판독으로 인해 산림으로 판정되어 추가된 부분이 있다.

(단위: ha)



<그림 4-14> 권역별 산림면적 변화량(2020-2021)

44) 도서지역을 미반영하면 9,868ha 감소하였다.

토지 생산성은 국내외에서 널리 사용하는 생산성 예측 모델과 머신러닝, AI 등을 기반으로 플렉스타워 관측자료와 국가 온실가스 인벤토리 보고 자료를 활용하여 관측지와 전국 규모의 산림생태계 생산성을 평가하였다. 2020년 산림의 순일차생산량(NPP) 평균은 $557.4 \pm 99.9 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ 이고 총량은 약 34,466,103tC/year, 약 126,376,103 tCO₂/year이고 2021년 NPP 평균은 $729.6 \pm 136.4 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ 이고 총량은 약 45,117,103 tC/year, 약 165,430,103 tCO₂/year로 나타난다.

토양 내 유기탄소는 주요 토지이용형태(산림지, 농경지, 초지)에 대한 국가 고유계수가 개발되어 있으나, 토지이용변화 매트릭스의 부재로 활용이 어려워 면적기준으로 산정하였다. 이에 따르면, 한국의 토양탄소량은 2020년 276,277천TC에서 2021년 283,438천TC로 7,161천TC 증가한 것으로 분석되었다.⁴⁵⁾

<표 4-11> 권역별 토지황폐화(2020-2021)

	산림면적(ha)			평균 NPP(천Cton/년)			토양탄소(천TC)		
	2020	2021	차이	2020	2021	차이	2020	2021	차이
전국	6,113,715	6,115,912	2,197	34,466	45,117	10,651	276,277	283,438	7,161
서울	14,723	14,501	-222	433.44	519.99	87	687	696	9
부산	33,464	33,462	-2	589.06	696.91	108	1,483	1,513	30
대구	47,320	47,253	-67	543.69	654.86	111	2,094	2,146	52
인천	31,443	35,980	4,537	502.09	601.91	100	1,335	1,707	373
광주	17,484	17,454	-30	606.20	677.16	71	1,241	1,283	42
대전	27,659	27,671	12	537.38	614.51	77	1,241	1,283	42
울산	63,915	63,852	-63	564.83	676.54	112	2,884	2,976	92
세종	22,209	22,145	-64	492.36	622.08	130	987	1,021	34
경기	488,544	485,806	-2,738	485.60	641.48	156	22,880	23,536	656
강원	1,338,581	1,337,958	-623	518.16	694.91	177	62,965	64,372	1,407
충북	481,728	480,372	-1,356	497.42	668.69	171	21,919	22,492	573
충남	368,858	368,974	116	509.58	638.53	129	15,985	16,313	328
전북	419,393	418,123	-1,270	564.42	702.50	138	18,708	19,258	549
전남	662,277	668,749	6,472	604.63	758.65	154	28,800	29,688	888
경북	1,338,538	1,336,468	-2,070	545.35	685.99	141	59,888	61,463	1,575
경남	687,829	687,286	-543	574.44	713.89	139	30,453	31,046	593
제주	69,750	69,858	108	654.09	744.85	91	3,089	3,140	51

출처: 산림과학원 시범생산 결과

45) 국가고유계수 : 침엽수림 38.75TC/ha, 활엽수림 55.68TC/ha(죽림은 침엽수림 계수 적용)

UNCCD는 글로벌 전체적으로 황폐화가 지속되는 것으로 추정하였지만, 산림면적 변화 기준으로 분석한 결과 우리나라는 황폐화가 진행되지 않는 것으로 나타났다. 우리나라 전체가 아닌 권역별로 분석하면, 인천, 대전, 충남, 전남, 제주 등 5개 지자체는 황폐화가 진행되지 않았으며 나머지 지자체는 황폐화가 진행된 것으로 분석되었다.

2. 산악지역 녹색피복지수

FAO는 산림생태계의 보전 여부를 확인하기 위해 전체 산악지역 중 녹색 식생으로 덮여있는 토지의 면적을 분석하는 산악지역 녹색피복지수(MGCI, Mountain Green Covered Index)를 지표로 활용하고 있다. 이 지표는 산악지역의 숲, 관목, 나무, 목초지, 농경지 등 녹지의 범위와 변화를 측정한다. 조사대상인 산악지역과 녹지는 UNEP-WCMC(2002) 방법에 따라 다음과 같이 정의된다. 먼저 산악지역은 <표 4-12>와 같이 해발고도 및 경사도를 기준으로 7개로 구분된다.

<표 4-12> 산악지역 구분

구분	정의
1	해발고도 4,500m 이상
2	해발고도 3,500 ~ 4,500m
3	해발고도 2,500 ~ 3,500m
4	해발고도 1,500 ~ 2,500m 및 경사도 2° 이상
5	해발고도 1,000 ~ 1,500m 및 경사도 5° 이상 또는 음역기복도 반경 7km 이내 300m 이상
6	해발고도 300 ~ 1,000m 및 음역기복도 반경 7km 이내 300m 이상
7	기준을 충족하지 않지만, 산으로 둘러싸인 내부 고립 지역(면적 25km ² 미만)

출처: SDG 15.4.2 메타데이터.

산악지역 녹색피복지수는 녹지의 범위와 변화를 일관성 있게 추적하기 위하여 토지를 분류하여 분석하는데 이때 UN-SEEA의 토지피복 분류⁴⁶⁾를 활용한다. UN-SEEA의 14개 토지피복 분류 중 산악지역과 관련이 없는 2개의 분류를 제외하고 재분류하여 10개의 산악지역 녹색피복 분류를 구성하고 이를 <표 4-13>과 같이 녹지와 비녹지 지역으로 구분한다. 녹지에는 자연식생과 일류 활동으로 인한 식생이 모두 포함되며, 비녹지 지역에는 나대지, 물, 얼음(눈) 지역, 도시지역, 식생이 드문 지역 등이 포함된다.

46) UNSD, 2014.

<표 4-13> 토지피복 분류 및 녹지·비녹지 구분

UN-SEEA 토지피복 분류	산악지역 녹색피복 분류	녹지 여부
1. 인공 표면	1. 인공 표면	-
2. 초본 작물	2. 농경지	녹지
3. 목본 작물		
4. 다중 작물		
5. 초원	3. 초원	녹지
6. 나무로 덮인 지역	4. 나무로 덮인 지역	녹지
7. 맹그로브	산과 관련 없음	
8. 관목으로 덮인 지역	5. 관목으로 덮인 지역	녹지
9. 수생 또는 정기적으로 침수	6. 수생 또는 정기적으로 침수	녹지
10. 드물게 자연식생이 있는 지역	7. 드물게 자연식생이 있는 지역	비녹지
11. 지상 황무지	8. 지상 황무지	비녹지
12. 눈과 빙하 지역	9. 눈과 빙하 지역	비녹지
13. 내륙 수역	10. 내륙 수역	비녹지
14. 연안 수역 및 바다	산과 관련 없음	

출처: 저자 작성 (SDG15.4.2 메타데이터 참고)

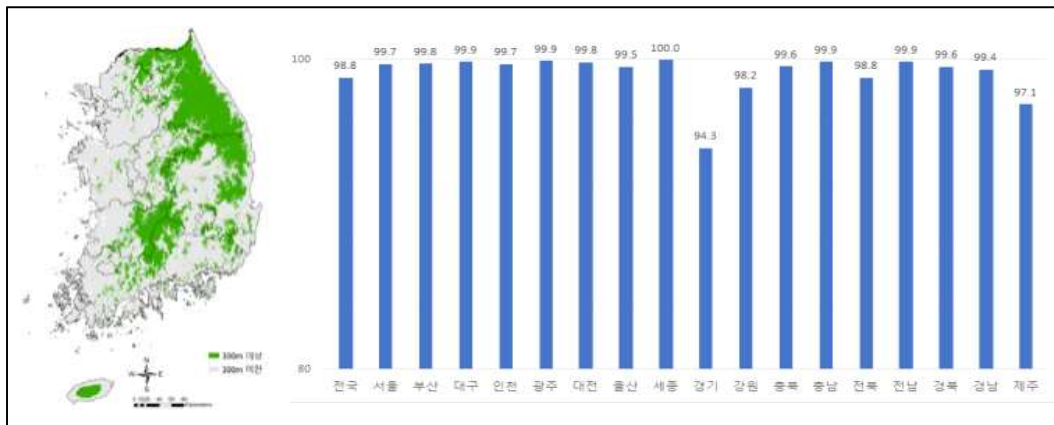
분석은 300m 해상도를 가진 ESA-CCI의 토지피복도자료(ESA, 2017)를 사용하는데, 일반적으로 ESA-CCI의 정확도는 73.2% 수준인 것으로 보고되고 있다. FAO가 분석한 우리나라의 산악지역 녹색피복지수는 2018년 기준 99.86%이지만, 위와 같은 이유로 정확도가 다소 낮을 것으로 예상된다.

산림과학원은 국토지리정보원에서 제작된 DEM을 적용(공간해상도 30m, 2014년 기준)하여 MGCI를 시범생산하였다. 식생지역을 도출하기 위해 환경부 공간해상도 1m급 토지피복지도(2020년 기준)⁴⁷⁾를 활용하여 전국단위로 평가하였다.⁴⁸⁾ 평가 대상 면적은 항공사진 미촬영지역을 제외한 총 9,879천ha이고 산악지역 면적은 2,968천ha로 나타났다. 이 중 녹색피복면적은 2,933천ha로 MGCI는 98.84%로 나타나 FAO의 발표 수치 99.86%보다는 약 1% 낮았다. 차이가 나타난 이유는 이용된 자료들이 국제적 수준의 수치표고모델(DEM)과 저해상도 위성영상(MODIS)을 이용한 토지피복주제도를 기반으로 추정된 결과로 불확실성이 높기 때문이다. 권역단위별 MGCI를 보면, 경기, 제주, 강원이 전국 평균보다 낮게 나타났으며 다른 지자체는 99% 이상으로 나타났다.

47) 토지피복지도는 임상도를 포함한 다양한 유형의 주제도를 활용하여 제작된 지도로 임상도의 속성 정보를 포함하고 있으며 전 국토의 피복 상태를 파악하고 적용할 수 있는 장점이 있다.

48) 단 서울(5개 구), 인천(3개 구군), 경기(6개 시군), 강원(2개 군) 등 민북지역 및 일부 누락

(단위: %)



출처: 산림과학원 시범생산 결과

<그림 4-15> 전국 산악지역 녹색피복지수 도출 결과(좌), 권역단위별 MGCI(우)

그런데, MGCI는 산악지역의 녹지 면적 변화를 추적하여 생태계의 변화 상황을 분석하는 것에는 유용하지만 산악지역의 피복상태 및 변화가 생태계에 미치는 요인을 포착할 수 없다는 한계를 갖는다. 만년설, 극지방 등은 녹색이 아니라고 해서 생태계에 부정적이라 보기 어렵고, 자연 지역이 농경지나 목초지로 전환되는 것은 녹지 상태는 유지되지만 긍정적인 변화라고 볼 수 없기 때문이다.

3. 도시 내 공공용지 내 공원

SDG 지표 중 11.7.1 ‘도시에서 공공목적을 위해 개방된 공간이 차지하는 비율’은 도시 내 녹지와 관련된 지표이다. 이 지표는 도시숲과 연계하여 활용성이 증가할 것으로 예상된다. UN-Habitat는 이 지표를 분석하기 위해 도시와 도시를 구성하는 공공 공간에 대한 구체적인 정의 및 분류를 확립하였는데, 그 분류에서 도시 녹지와 관련된 결과를 확인할 수 있다. UN-Habitat는 지표 분석을 위해 ‘도시’, ‘공공 사용을 위한 열린공간’ 등의 개념을 도출하려는 노력을 전개하였다. 전 세계적으로 적용할 수 있고 수용 가능한 정의를 도출하기 위해 UN의 많은 파트너와 함께 전문가 그룹 및 협의회를 개최하였으며, 이런 과정을 통해 도시와 공공장소에 관한 개념들을 정립하였다. 공공공간은 공적으로 소유된 모든 장소로 정의되며 거리, 열린공간, 공공시설로 분류된다. 이 중에서 ‘열린공간’이 녹지와 관련 있다. 열린공간은 미개발되거나 아무것도 없는 열린 땅을 뜻하며, 대중이 무료로 접근할 수 있고, 주민들에게 휴양공간을 제공하며, 지역의 아름다움과 환경적 질을 향상하는 데 도움이 되는 건물을 뜻한다. 도시마다 크기와 유형이 모두 다른 다양한 공공공간을 가지고 있는데, 유형에 따

라 공원, 정원, 놀이터, 공공해변, 강둑, 해안가 등이 광범위하게 포함될 수 있다. 이러한 공공 열린공간은 개별 크기와 수용범위(사용자가 방문하기 위해 얼마나 멀리 이동해야 하는지)에 따라 <표 4-14>와 같이 분류할 수 있다(UN-Habitat, 2020).

<표 4-14> 규모와 적용 범위에 따른 공공 개방 공간의 분류

	공간분류	규모(면적)	수용범위
1	지역/소형 개방형 공공공간	0.03~0.04ha	400m 이내 (도보 5분)
2	인근 공공 개방 공간	0.04~0.4ha	400m 이내 (도보 5분)
3	도시 개방 공간	0.4~10ha	800m 이내 (도보 10분)
4	지역 개방 공간/대형 도시공원	10~50ha	-
5	국가/수도권의 공개 공공공간	50~200ha	-

출처: 저자 작성

지역/소형 개방형 공공공간은 도보거리 400m 이내에 거주하는 주민들의 여가 요구를 충족하는 작은 공원을 말한다. 평균 면적은 0.03~0.04ha이며 종종 휴양 목적으로 사용된다. 인근 공공 개방 공간은 지역사회의 여가 및 사회적 요구를 충족하는 더 큰 공간이다. 면적은 0.04~0.4ha이며, 가정에서 도보로 400m 이내에 있어 쉽게 접근할 수 있으며, 여가, 스포츠, 자연 지형 보존 등 다양한 활동을 할 수 있는 공간이다. 도시 개방 공간은 주로 조직적인 공식 스포츠를 제공하기 위해 설계된 공간이다. 여기에는 넓은 여가 공간과 일부 자연공간이 포함된다. 공간의 크기는 0.4~10ha이며, 800m 이내 또는 도보 10분 거리에 있는 인구에게 서비스를 제공하도록 설계되었다. 지역 개방 공간/대형 도시공원은 조직적인 스포츠, 놀이, 사회적 교류, 휴식 및 자연을 즐길 수 있는 시설이다. 하나 이상의 지리적 또는 사회적 지역에 서비스를 제공하며, 타 지역 방문객이 이용할 수도 있다. 면적은 10~50ha 사이이다. 마지막으로 국가/수도권의 공개 공공공간은 50~200ha에 이르는 넓은 공간이다. 동시 사용이 가능하고 레크레이션, 스포츠, 기본 편의시설과 같은 서비스를 포함한다. 분류별 정의에 따르면 ‘지역/소형 개방형 공공공간’과 ‘지역 개방 공간/대형 도시공원’을 도시 내 녹지 공간으로 분류할 수 있을 것이다. 한편, 통계개발원은 동 지표에 대한 시범생산을 수행한 바 있다.⁴⁹⁾

49) 방법론 및 분석결과는 박영실 외(2019)를 참고할 것

제3절 소결

지금까지 국토그린 공간이 측정 가능할 것으로 예상되는 국내외 유사통계를 살펴 보았다. <표 4-15>는 검토한 통계 현황을 정리한 것이며, 이를 통해 도출된 시사점은 다음과 같다.

첫째, 국토그린지표 개발 과정에서 활용 가능성이 높은 분류통계는 토지피복도이다. 지적통계와 도시계획통계 또한 토지 이용 목적에 따라 국토를 전체적으로 분류하고 있다는 점에서 활용 가능성이 있으나, 두 통계는 행정적 목적으로 취합되며 토지이용의 복잡성이 증가하면서, 지목과 실제 이용현황 불일치가 클뿐더러 지목의 변경 사항 반영 괴리도 크다는 문제점이 지속적으로 제기되는 상황이다. 여기에 더해, 도시계획통계는 현재 이용현황보다는 계획의 성격이 강하다. 반면에 토지피복도는 항공사진 및 위성영상자료를 활용함으로써 현 상태의 토지이용현황을 반영한다는 특징이 있다. 특히, 중분류 및 세분류로 세분화되는 과정에서는 정확성을 높이기 위해서 지적통계 및 하위 영역별 자료를 활용하여 정확성을 검증하고 있다. 무엇보다 자연생태적 특성을 반영하고 있다는 점에서 국토그린지표 개발의 자료원으로 활용 가치가 높다.

<표 4-15> 국토그린 유사통계 검토 결과

구분			소관부처	자료수집	승인통계	특징
국내통계	하향식 접근	지적통계	국토교통부	행정자료	승인	토지이용현황에 따른 구분
		도시계획통계	국토교통부	행정자료	승인	용도목적에 따른 구분
		토지피복도	환경부	위성영상	미승인	자연생태계 세분류(해양 포함)
	상향식 접근	산지	산림기본통계	산림청	위성영상+실측	승인 -
		농경지	농업면적조사	통계청	위성영상+실측	승인 지적통계 농경지와 차이
		도시숲	전국도시림통계	산림청	위성영상+실측	미승인 -
		초지	초지관리실태조사	농림축산식품부	행정자료+현장조사	미승인 지적통계 초지와 차이
		습지	갯벌면적조사	해양수산부	행정자료	승인 -
		내륙습지	국립생태원	-	-	· 통계 미개발
		해양	-	해양수산부	-	· 통계 미개발
국제통계	토지황폐화		UNCCD	SDG 프로세스	-	산림과학원 시범생산
	산악지역녹색피복		FAO	SDG 프로세스	-	산림과학원 시범생산
	공공용지		UNHABITAT	SDG 프로세스	-	통계개발원 시범생산

출처: 저자 작성

둘째, 상향식 접근법에 기반해서 활용할 만한 국내의 통계는 제한적임을 알 수 있다. 산림 및 초지 면적 등 영역별 통계는 있으나, 대안적인 탄소흡수원으로 고려되는 도시숲, 내륙습지 통계 구축은 초기 단계인 것으로 나타났다. 해양 공간의 탄소흡수 공간 측정은 아직 미개발 영역이다. 향후 개별 영역에 대한 통계 구축과 통계의 체계적인 품질관리가 요구된다.

셋째, 특정 영역 면적은 하향식 접근법과 상향식 접근법이 교차하는 지점에서 차이가 발생한다. 이는 통계생산기관에 따라 해당 통계의 목적, 기준, 개념 등이 다르므로 인해 발생하는 것이다. 각 영역을 정의하는 소관 법률에서는 임야의 경우 토지 ‘지목과 불문하고’, 농지의 경우 토지 ‘지목과 불문하고’와 같이 개념을 설정하고 있어, 실제 이용을 반영한 통계를 작성하고 있음을 알 수 있다. 통계 사례를 보면, 토지피복도를 기준으로 1980-2010년까지 산림면적은 증가한 것으로 나타나나, 같은 기간 산림기본통계에 의한 산림면적은 감소하였다. 이는 국내 통계 간 정합성 확보가 필요하다는 점을 보여준다.

넷째, 검토한 통계 모두 행정자료 및 위성영상 자료를 기반으로 생산하고 있었다. 산림지, 농경지, 도시숲에서는 이미 위성영상의 활용이 주 방법으로 자리잡고 있으며, 현장조사를 통해서 위성영상의 정확성을 제고하는 체계들이 구축되어 있음을 알 수 있다. 과학기술의 발전에 따라, 공간통계 생산과정에서 위성영상의 활용은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

제5장

국토그린지표 측정방법 제언

국토그린지표 개발 과정에서도 위성영상의 활용은 필수적이다. 이번 장에서는 위성영상을 활용하여 측정 가능한 식생지수 검토를 통해 국토그린지표 측정 방법을 제언해보고자 한다. 국토그린지표에서 식생지수를 검토하는 이유는 광합성을 통한 식물의 성장원리와 관계된다. 인간이 배출한 탄소의 30%가 식물이 광합성을 통해서 흡수하는 것으로 알려져 있다.⁵⁰⁾ 이에 녹지에 대한 관심과 이를 탐지하기 위한 연구들이 많이 진행되고 있다. 식생지수는 녹지탐지에 활용되는 대표적인 방법론이다. 최근에는 식생지수의 다양한 변형을 통해서 녹지탐지에 대한 정밀성이 높아지고 있는 상황이다. 이번 장에서는 식생지수 의미와 원리, 그리고 정규식생지수와 함께 다양한 변형 식생지수를 검토하여, 국토그린지표 측정에서 이 지수의 활용 가능성을 탐구해보고자 한다.

제1절 식생지수 의미와 원리, 변형

1. 정규식생지수 의미와 원리

위성영상을 활용한 원격탐사의 방법으로는 전자기파와 레이더의 원리를 활용한 합성개구레이더(SAR, Synthetic Aperture Radar), 라이다(LiDAR, Light Detection And Ranging) 및 광학 센서를 이용한 방법이 있다. 이 중 가장 활발히 사용되어 온 부분은 시각 데이터로 확인 가능한 광학 센서 기반 데이터이다. 해당 데이터를 수집하기 위한 위성 장치는 대중적으로 알려진 적녹청(RGB, Red-Green-Blue) 세 가지 가시광 분광대역(spectral band) 외에도, 8개 이상의 파장 범위를 탐지할 수 있도록 설계되어 있다. 여기서 분광대역이란 가시광선, 적외선, 자외선 등과 같은 전자기파의 광학적 특성을 가진 대역을 의미한다. 위성 장치별로 약간의 차이는 있으나, 대

50) “온난화 계속되면 식물의 탄소흡수는 줄고 배출은 늘다”(한겨레신문, 2021.12.31.)

부분의 경우 근적외선(Near Infrared, NIR), 단파적외선(SWIR, Short Wave Infrared), 울트라블루(Ultra Blue, 파란색~보라색 사이) 범위의 파장을 탐지할 수 있는 장치가 포함된다.

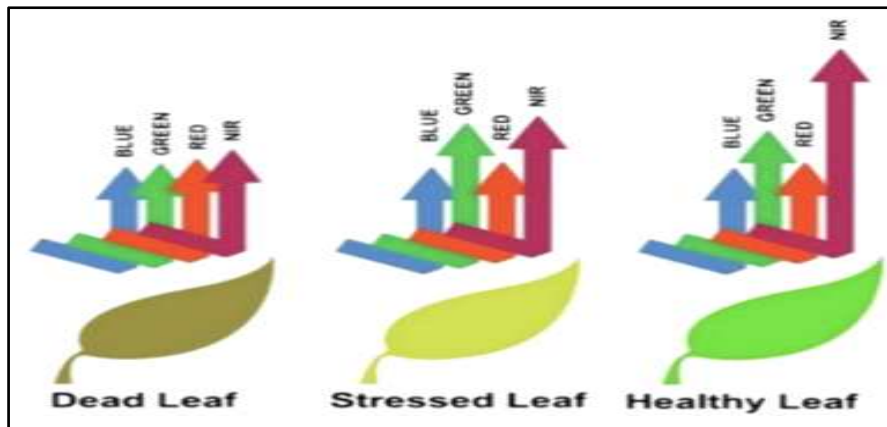
광학 데이터는 촬영 지역에서부터 반사된 빛을 매개로 한 시각 데이터이고, 수집의 난이도가 상대적으로 낮아 오래 전부터 활용도가 연구되어 왔다. 이를 통해 녹지를 추정한다면 예를 들어 육안, 즉 가시광 분광대역으로 보았을 때 초록색을 띠는 지역을 선택하면 넓은 의미에서의 녹색 지역을 추출해 낼 수 있을 것이다. 하지만 조금 더 과학적인 방법으로 식생과 연관된 녹지를 얻어내는 방법이 있다. 이는 ‘식생은 왜 녹색으로 보이는가?’라는 근본적인 질문과도 맞닿아 있다.

식물의 경우 동물과는 달리 대사에 필요한 에너지를 태양으로부터 광합성을 통해 얻는다. 식물세포에서는 엽록체라는 기관을 통해 물과 이산화탄소, 그리고 흡수한 빛을 소비하여 대사 과정에 필요한 화학에너지 단위인 아데노신 삼인산(ATP, Adenosine triphosphate)을 합성해 낸다. 이때 주로 붉은빛, 푸른빛의 파장이 광합성에 사용된다. 따라서 흡수되지 않고 반사된 초록색 빛으로 식물의 잎 색깔을 관찰하게 되는 것이다. 반사되는 빛 중에는 초록색 빛도 있지만 적외선 빛도 반사가 되는데, 이것의 반사율이 가장 높다. 따라서 특정 지역에서 붉은빛이 적고 이와 동시에 적외선이 다수 관찰된다면 해당 지역은 건강하고 활력이 높거나 밀도가 높은 식생에서 광합성이 일어난 녹지일 가능성이 높은 것으로 추정할 수 있다.

이를 수치화한 것이 바로 정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)이다. 식생에 닿은 후 가장 극명한 반사율 차이를 보이는 적선(Red Band)과 근적외선(NIR) 간의 차이 비율로써 -1과 1 사이의 값을 가지도록 표준화한 지표이다 (Pearson and Miller, 1972). 이를 수식화하면 아래와 같다

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

정규식생지수는 현재 식생의 유무를 파악하는 데 최적화된 지표로써 자주 활용되고 있다. 뿐만 아니라, 식생 유무를 넘어서 식생이 얼마나 건강한 상태인지도 일부 확인할 수 있다. 엽록체가 모종의 이유로 그 역할을 다해 더 이상 광합성을 하지 않게 되면 자연스럽게 잎이 흡수 및 반사하는 빛의 파장에 변화가 발생한다. 예를 들면, 육안으로도 가을에는 엽록체가 그 역할을 다하여 갈변한 낙엽을 흔히 볼 수 있다. 적외선의 경우 반사량에서 더 큰 차이가 발생하는데, 건강한 식물의 잎에서는 근적외선(NIR)의 반사량이 다른 밴드(Band)에 비해 월등히 높아 정규식생지수 수치가 1에 가깝게 나타난다. 이를 그림으로 나타내면 아래 <그림 5-1>과 같다(Kutz, 2019).

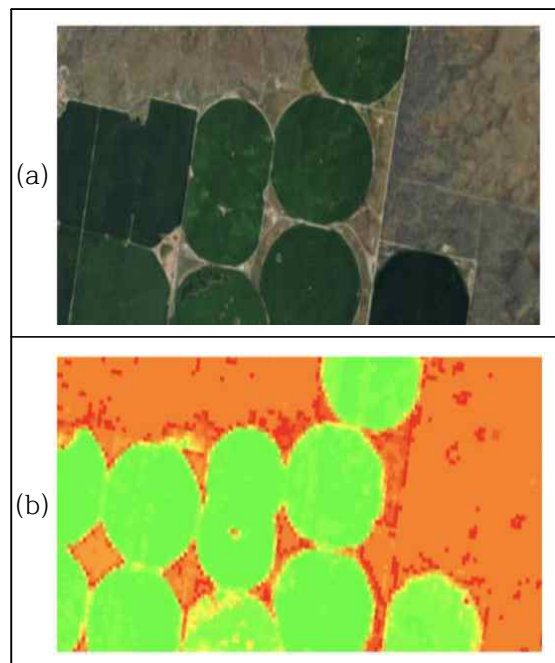


출처: Kutz, Myer, ed, 2019.

<그림 5-1> 식물 잎의 건강도와 적녹청(RGB) 파장 반사율과의 관계

일반적으로, 정규식생지수 값이 음수로 나타나는 지역은 높은 확률로 강, 바다 등 물이 있는 지역이며, 양수로 나타나는 지역의 경우 1에 가까울수록 녹지가 많은 곳으로 알려져 있다. 또한 정규식생지수 값이 0에 가까운 경우 녹지가 거의 없는, 예를 들면 빌딩과 같은 지역일 가능성이 높다.

오른쪽 <그림 5-2>는 위성영상으로부터 NDVI를 추출하는 과정이다. <그림 5-2>의 (a)는 우리가 실제 관찰하게 되는 색상이며, <그림 5-2>의 (b)는 정규식생지수(NDVI) 산식을 적용한 결과이다. 여기에서 밝은 녹색이 NDVI 수치가 높은 것으로, 식생의 존재를 빠르게 파악할 수 있다



출처: GISGeography 홈페이지
(<https://gisgeography.com>, 접속일: 2023.11.20.)

<그림 5-2> 위성영상(a)으로부터 NDM 추출(b) 예시

2. 식생지수 변형

최근 원격탐사 기술의 발달에 따라 식생지수의 활용이 농업 및 임업 분야뿐 아니라 여러 분야에서 활발히 이루어지고 있다. 식생지수는 가장 기본적인 형태인 정규 식생지수에서 발전되어 여러 지수들로 변형 및 추가되었고, 각 지수들은 사용하고자 하는 목적과 분별 대상에 따라 구별되어 사용되고 있다.

가. 적변식생지수(NDRE, Normalized Difference Red Edge)

적변식생지수는 정규식생지수와 더불어 식생의 건강도와 활력도를 가장 잘 나타내는 지수로 알려져 있다(Gitelson and Merzlyak, 1996). 이 두 지수의 차이점은 이용하는 파장의 주파수가 적색광(Red)과 적변(RE, Red Edge)으로 다르다는 점이다. 적변 분광대역은 적색광과 근적외선 사이의 전이지역에 있는 주파수를 의미하는데, 이를 적색광의 끝 지점에 있다고 하여 적변이라고 부른다. 적변은 적색광보다 더 많은 식생의 층(Layer)을 투과할 수 있어 층이 많은 식생의 활력도를 파악하는데 유용하다. 특히, 목초지나 벼 등의 작물을 측정할 경우 적변식생지수가 유용하다고 알려져 있다. 적변식생지수의 계산식은 아래와 같다.

$$NDRE = \frac{(NIR - RE)}{(NIR + RE)}$$

나. 녹색정규식생지수(GNDVI, Green Normalized Difference Vegetation Index)

녹색정규식생지수는 정규식생지수의 변형형태 중 하나로 엽록소의 변화를 효율적으로 측정하는 지수이다. 특히, 이 지수는 질소와 관련이 있는 엽록소 비율의 차이를 파악하는데 있어 정규식생지수보다 우수하다. 또한, 정규식생지수가 초기 단계의 작물의 활력도를 추정하는데 적합한 반면, 녹색정규식생지수는 보다 성숙한 나무의 상태를 추정하는데 적합하다. 지수의 계산법은 아래와 같다.

$$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$$

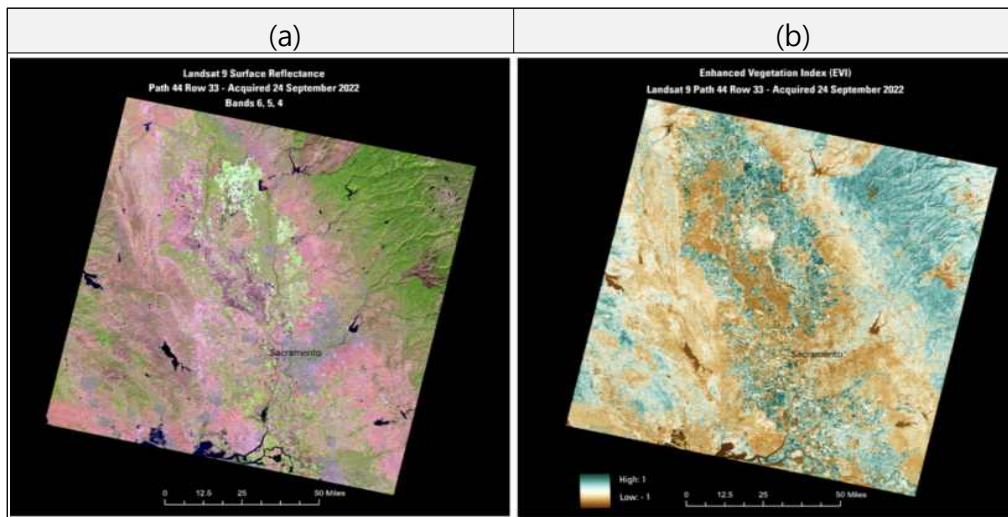
다. 개선식생지수(EVI, Enhanced Vegetation Index)

개선식생지수의 경우 정규식생지수와 마찬가지로 나무의 활력도를 정량화하는데 사용된다. 하지만, 대기의 조건과 수관(canopy)의 영향, 그리고 식생의 밀도가 높은 지역에 따른 보정을 가미하여 보다 개선된 지수라고 할 수 있다(Gao et al., 2000). 대기의 조건은 수관보정인자(L, 주로 1이 사용됨)가, 대기보정인자는 C(보통 C1은 6이

C2는 7.5가 사용됨)로 표현되며, 적색광뿐 아니라 청색광도 사용된다. 보정된 인자를 조정하기 위하여 계산식 앞에는 G(보통 2.5)가 곱해진다. 개선식생지수는 보통 초목이 밀집된 지역에서 더 민감하게 반응한다. 식은 아래와 같다.

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 \times RED - C2 \times BLUE + L)}$$

아래 <그림 5-3>은 NDVI와 유사하지만 대기 상태와 데이터 노이즈를 보정한 형태를 보여주는 위성영상이다. 왼쪽은 지표면 반사도(SR, surface reflectance)이고, 오른쪽은 개선된 식생지수를 보여준다.



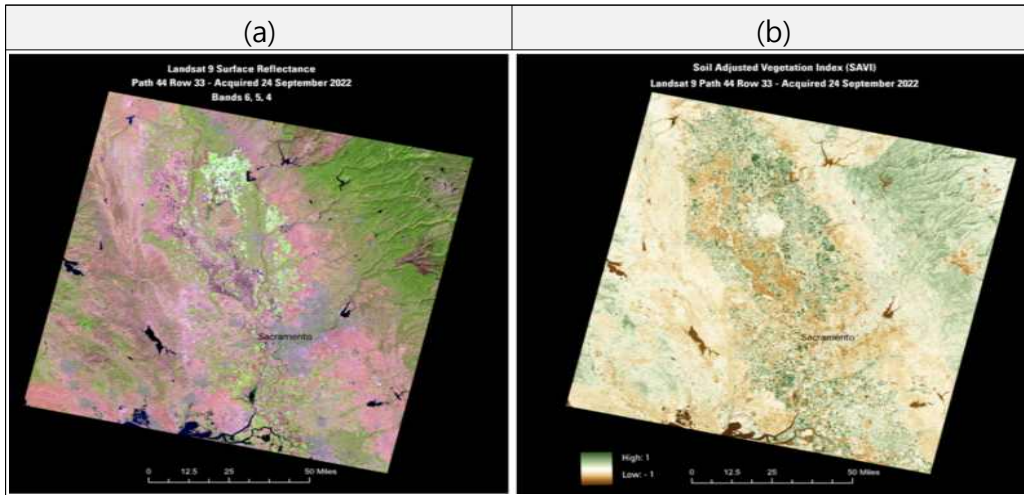
출처: 미국지질조사국(USGS, www.usgs.gov, 접속일: 2023.11.20.)

<그림 5-3> 지표면 반사도(a), 개선식생지수(EVI) 계산 결과(b)

라. 토양보정식생지수(SAVI, Soil-Adjusted Vegetation Index)

토양보정식생지수는 식생의 밀도가 높지 않은 지역에서 토양의 밝기에 의해 식생지수가 영향을 받을 수 있기 때문에 이를 보정하기 위해 개발된 지수이다(Huete, 1988). 토양밝기보정인자는 L로 표현되며 0.5가 주로 사용된다. 아래 <그림 5-4>는 토양의 밝기를 보정한 자료 화면이다.

$$SAVI = (1 + L) \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)}$$



출처: 미국지질조사국(USGS, www.usgs.gov, 접속일:2023.11.20.)

<그림 5-4> 지표면 반사도(a), 토양보정식생지수(SAVI) 계산 결과(b)

마. 변형식생지수(TVI, Transformed Vegetation Index)

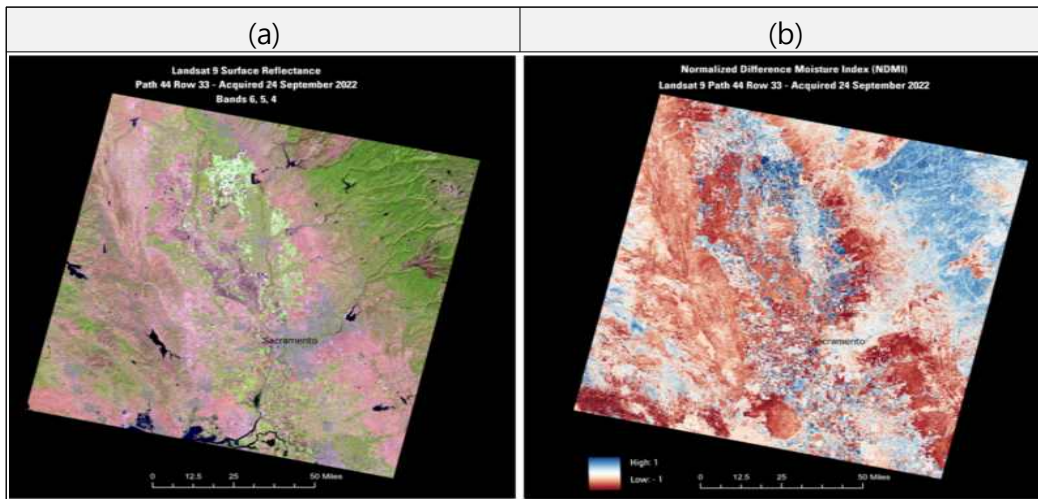
변형식생지수는 정규식생지수에서 음수값의 영향을 제거하기 위해 제시된 지수이다(Deering, 1975). 지수의 값은 정규식생지수 값에 0.5를 더한 뒤 제곱근을 사용하여 계산된다. 제곱근의 목적은 포아송 분포에 근접한 정규식생지수 값을 수정하고 정규 분포로 만드는 것이다. 그러나 정규식생지수가 0.5보다 낮은 경우 음수 값이 여전히 남아있다. 변형식생지수에서는 비식생은 0.71 미만의 값으로 표현되고, 식생은 0.71보다 높은 값으로 정의된다. 지수의 계산식은 아래와 같다.

$$TVI = \sqrt{\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} + 0.5}$$

바. 정규식생수분지수(NDMI, Normalized Difference Moisture Index)

수분 함량의 측정은 식생의 건강 상태나 자라는 환경을 예측하는데 있어 중요하다. 수분 함량의 변화 추이에 따라 가뭄 상태, 식생의 건강상태 등을 파악할 수 있기 때문이다. 수분의 상태를 측정하기 위해서 정규식생수분지수가 제안되었고(Hardisky et al., 1983), 해당 지수는 근적외선(NIR)과 단파적외선(SWIR)을 이용하여 아래와 같이 계산된다.

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$



출처: 미국지질조사국(USGS, www.usgs.gov, 접속일:2023.11.20.)

<그림 5-5> 지표면 반사도(a), 정규식생수분지수(NDMI) 계산 결과(b)

사. 정규식생화재지수(NBR, Normalized Burn Ratio)

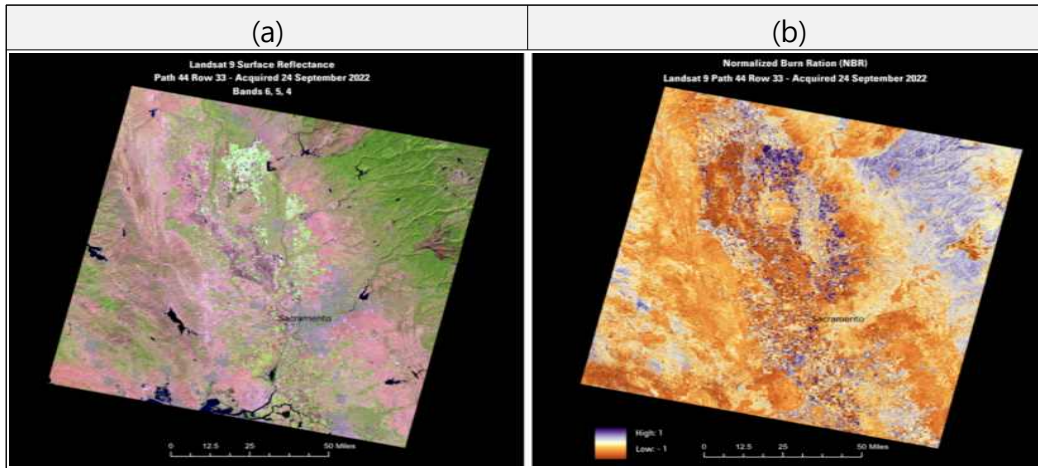
일부의 지수는 화재가 있었던 지역의 탐지와 그 이후의 피해 정도를 파악하는데 사용되기도 한다. 다음의 계산식은 화재심각도를 측정하는 정규식생화재지수를 나타내고 있다. 해당 지수는 화재 당시보다는 이후에 자연생태계의 피해 정도를 측정하는데 주로 사용되며 동일 지역에 대해 이 지수의 전후 변화를 관찰할 수 있다. 화재 지역은 근적외선(NIR) 수치가 비교적 낮고, 단파적외선(SWIR) 수치가 높게 나온다고 알려져 있다. 아래 <그림 5-6>은 화재의 심각도를 파악하기 위한 정규식생화재지수(NBR)의 계산 결과를 보여주는 위성영상이다.

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

아. 토지황폐화지수(BSI, Bare Soil Index)

토지황폐화지수는 청색광, 적색광, 근적외선, 단파적외선 분광대역을 이용해 토지의 황폐화 정도를 측정하는 지수이다. 단파적외선과 적색광은 토양광물의 조성을 정량화하는데, 그리고 청색광과 근적외선은 식생의 존재를 파악하는데 사용된다(Rikimaru et al., 2002).

$$BSI = \frac{(RED + SWIR) - (NIR + BLUE)}{(RED + SWIR) + (NIR + BLUE)}$$



출처: 미국지질조사국(USGS, www.usgs.gov, 접속일: 2023.11.20.)

<그림 5-6> 지표면 반사도(a)와 정규식생화재지수(NBR) 계산 결과(b)

위와 같은 다양한 식생 관련 지수의 개발뿐만 아니라, 최근에는 머신러닝과 컴퓨터 비전 딥러닝에 기반한 식생의 파악에 대한 연구도 활발히 진행 중이다.

제2절 식생지수 관련 연구동향 및 방법론적 시사점

1. 식생지수 관련 국내외 연구동향

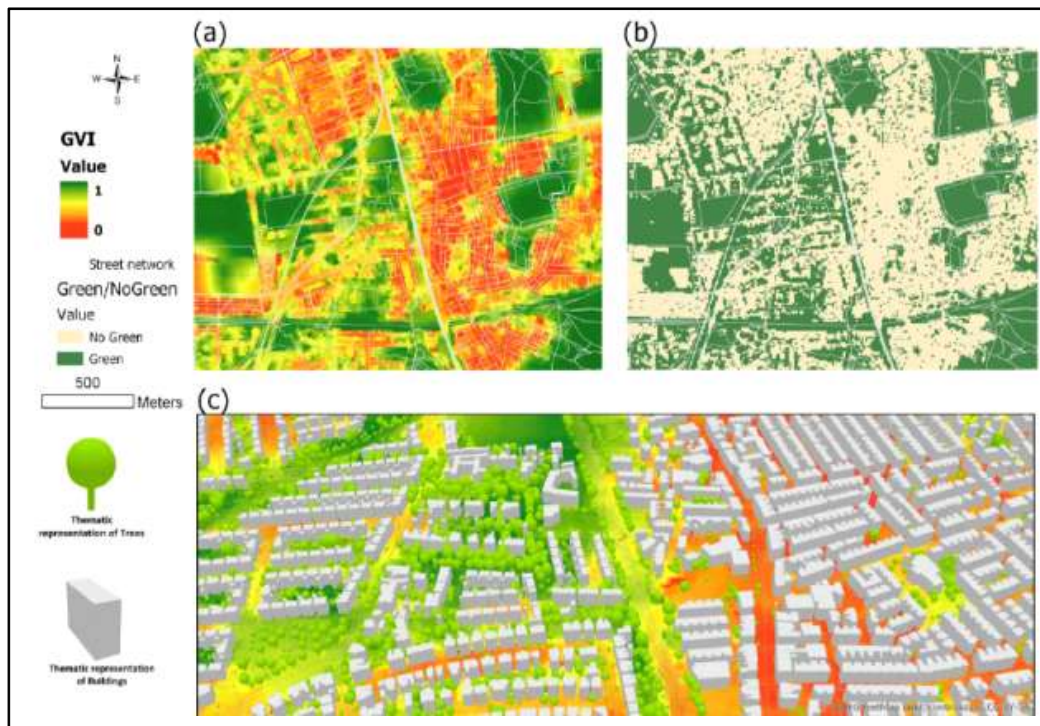
정규식생지수를 활용한 녹지 탐지는 1980년대부터 꾸준히 연구되고 있다. 여기에는 미국 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration)에서 추진하여 진행된 지구 관측 위성 계획인 랜드샛 계획(LandSat program)의 영향이 크다. 이들이 생산해 낸 관측 결과는 비록 해상도가 최신의 위성 발사체에서 수집되는 영상에 비해 해상도 면에서 뒤지나, 이제는 추적하기 어려운 1980년대부터 지구 표면 관측을 목적으로 주기적으로 생산해 낸 시계열 데이터라는 점에서 의미가 크다.

이에, NDVI 개념이 나온 초기에는 NASA 고더드 스페이스 플라이트 센터(GSFC, Goddard Space Flight Center)의 연구를 시작으로 대륙 등의 넓은 단위에서의 녹지 탐색과 파악이 주요 관심사가 되었다. 해당 연구는 200회 이상 인용되어, 국가 및 지방 단위에서의 연구로도 세분화되어 학계에 전파되었다. 초기에는 광범위한 지역을 대상으로 개발에 의한 산림지의 파괴나 산불 등 재해로 인해 유실된 녹지를 찾는 연구가 주로 진행되었다. 이 과정에서 정규식생지수는 위성영상에서 녹지를 분리 및 추

출하는 용도로써 주로 사용되었다.

이후 광학 센서의 발전을 통한 위성영상 자체의 품질 향상 및 인공지능 기반 분석 기술의 발달로 정규식생지수는 수종식생 분류는 물론 사회 문제와도 연결되어 더욱 다양한 활용처를 찾게 되었다. 예를 들어, 도시의 환경 정책 수립 과정에서 지역별 녹지 존재 여부의 기저 데이터로 활발히 활용되고 있다.

대표적으로 영국 맨체스터 대학 환경교육발전학부(SEED, School of Environment, Education and Development) 연구팀은 맨체스터 시 내의 녹지의 파악과 그 분류에 관한 연구를 2020년부터 이어왔으며, 해당 연구팀은 정규식생지수와 실제 토지피복과의 관계를 비교하는 연구, 2D 정보인 NDVI를 3D 공간에서 활용하기 위한 독자적 지표인 GVI (녹지 시각화 지수, Greenness Visibility Index) 개발 등 위성영상으로부터의 녹지 추출 및 관측에 관한 연구를 지속해 오고 있다(Libib et al, 2020a)



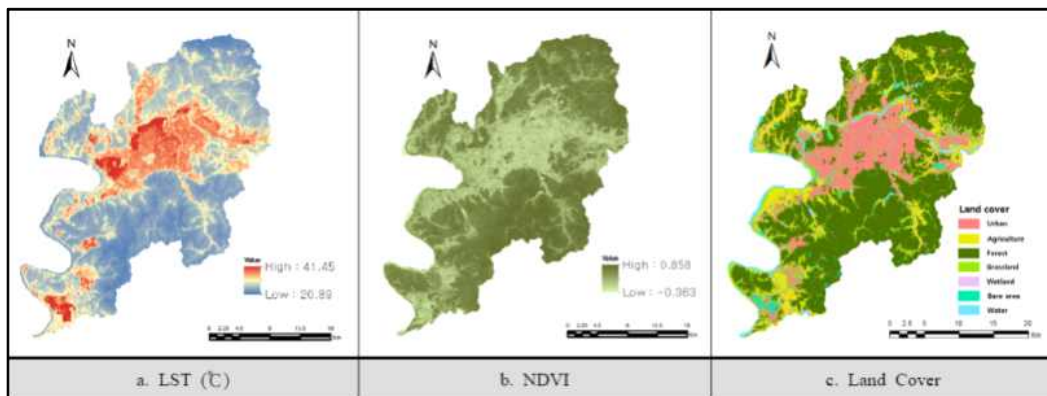
출처: Libib et al, 2020a.

<그림 5-7> 녹지시각화지수(0~1)(a), 이분법에 의한 녹지시각화지수(0, 1)(b), 3D로 구현한 녹지시각화지수(c)

사회 정책학 연구로는 도심 내 녹색 인프라가 사람의 건강에 미치는 영향을 파악하기 위해 녹지 지표를 분석하였다. 이 과정에서 현재의 녹지 지표가 대부분 너무 큰 스케일에서 측정되고 있다는 문제점을 지적하고 이를 개선하기 위해 녹지가 사람에게 영

향을 미칠 수 있는 공간적 규모를 독자적으로 구현하기도 하였다(Labib, 2020b). 최근에는 머신러닝을 포함한 인공지능 기술과도 접목하여, 녹지의 비율, 대기오염도(이산화질소 농도), 인구밀도, 접근성, 빌딩 밀도 등 복합적 요소를 고려해 도심 내부를 녹색 인프라와 회색 인프라로 구분하여, 현재 도시 내 활용률이 낮은 지역들이 미래에 어떤 인프라로 변할지 예측하는 방법론을 제시하기도 했다(Labib, 2020c).

국내의 연구에서도 정규식생지수는 오래 전부터 활용되어 왔다. 해외의 연구 동향과 마찬가지로 산불 등의 재해를 파악하기 위한 연구가 2007년 국립산림과학원에서 진행되어 발표된 바 있으며, Kim and Park(2001)은 DMZ 지역의 식생을 정규식생지수로 포착하여 생태경계를 구분하기도 하였다. 이처럼 산림의 수종분류, 병충해, 산불 등 환경 관련 주제로 연구가 오랜 시간 꾸준히 진행되어 오고 있으며(Won et al., 2007; 임륜혁, 2020 등), 최근에는 서울, 인천 등의 지역 등을 중심으로 환경 공해, 열, 도심 녹지 접근성 등을 분석하는 지자체 내 연구도 활발히 진행되고 있다(어성희 외, 2022 등). 사회 정책적으로는 도시공원 및 녹지 공간과 1인가구의 분포를 비교 분석한 연구에서도 정규식생지수를 활용하여 진행한 바 있다(Kim et al., 2022 등). 이렇듯 정규식생지수가 과거 수십년간 성공적으로 식생을 대표하는 지수로서 활용되어 왔기에, 위성사진으로부터 얻을 수 있는 다른 밴드 값을 활용한 다양한 변형 지수들이 등장하게 되었다.



출처: 어성희 외, 2021, p.716.

<그림 5-8> 지표면 온도(a), 정규식생지수(NDVI)(b), 토지피복도(c) 관계도

2. 국토그린지표 측정을 위한 방법론적 시사점

정규식생지수의 원리 및 이를 활용한 기존 연구들의 검토를 통해 국토그린지표 측정 과정에서도 이 지수의 활용이 유용함을 예상해 볼 수 있다. 탄소흡수공간을 구획하는 과정에서 식생이 중요한 판단 근거가 되기 때문이다. 다만, 국토그린공간에는

여러 생태계가 혼재되어 있어, 단일의 정규식생지수로 해당 공간 전체를 일괄적으로 탐지하기에는 어려움이 따를 것이다. 쉬운 예로, 습지 식물 및 해양의 수면 아래 식물 등도 정규식생지수로 탐색이 가능하나, 갯벌 및 수심 등의 영향으로 탐지가 어려울 수 있다. 따라서, 변형된 다양한 식생지수를 보조적으로 활용할 필요성이 제기된다. 변형지수의 활용에 대한 구체적인 내용은 데이터에 기반한 후속 연구에서 수행할 예정이며, 이번 연구는 현시점에서 제기될 수 있는 몇 가지 방법론적 이슈를 정리하는 것으로 같음하고자 한다.

첫째, 국토그린지표 대상에 포함되는 습지 및 바다숲은 정규식생지수로 탐지했을 경우, 지수값 +1(녹색)의 대척점에 있는 지수값 -1이 나올 것으로 예상된다. 정규식생지수 값이 음수인 경우는 강, 바다 등 물이 있는 지역일 확률이 높고, 값이 0일 경우는 녹지가 거의 없는 불투성 지역일 가능성이 높다는 근거에 따른 것이다. 이와 같은 수치 기반으로 자연 생태계를 포착하고, 토지피복도 및 갯벌면적조사 등과 같은 2차 자료를 활용하여 검증하는 단계가 필요하다.

둘째, 정규식생지수를 통해 녹지로 탐지된 지역일 경우에도, 탄소흡수가 아닌 탄소배출 공간일 수 있다는 점을 고려해야 한다. 현재로선, 농경지가 대표적인 예이다. 이 경우, 정규식생지수와 토지황폐화지수(BSI) 간 교차 검증을 통해서 식생 지역에서 토지 황폐화 지역을 추출 가능할 것으로 기대된다.

셋째, 동일한 식생지역일지라도 어떠한 식생이 분포하느냐에 따라 경계가 달라질 필요가 있다. 산림지와 초지가 그 예가 된다. 정규식생지수의 변형 형태 중 하나인 녹색정규식생지수(GNDVI)는 보다 성숙한 나무의 상태를 추정하는데 적합하므로, 보조적인 활용이 가능할 것이다.

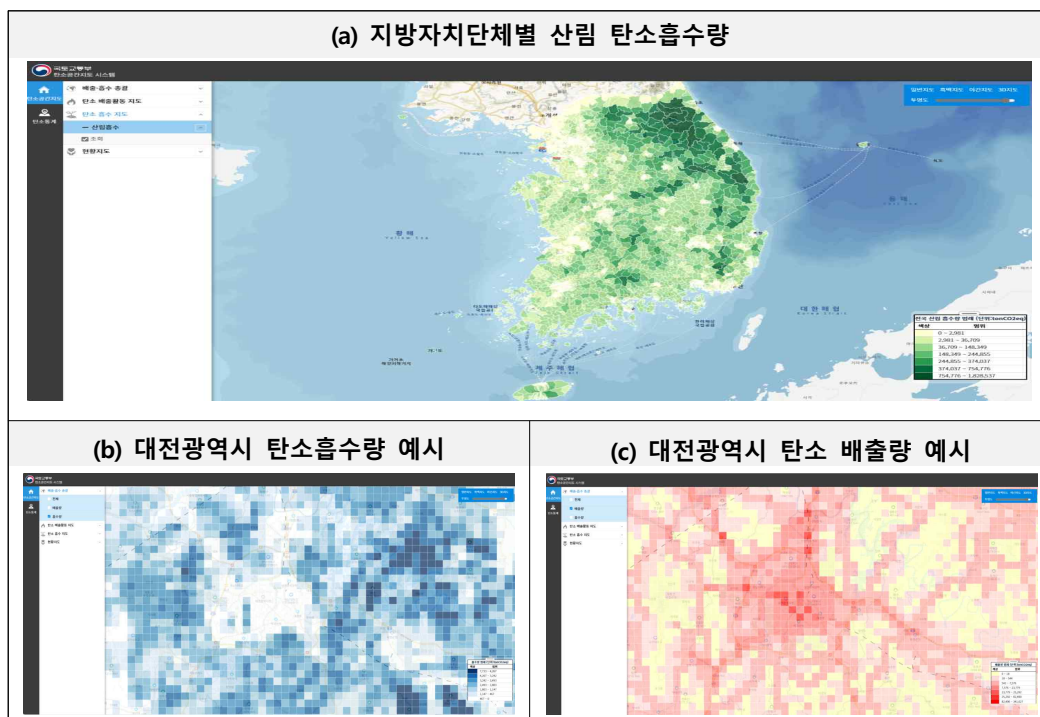
이외에도, 식생의 탐지는 대기조건, 계절 등의 영향을 받으므로 이를 보정하는 기술적인 방법 등이 적용될 필요가 있으며, 궁극적으로는 탄소흡수가 실제로 발현되는 국토그린공간을 측정하는 새로운 변형지수의 개발이 요구될 수도 있다.

제3절 국토그린지표의 지도화 방안 검토

식생지수를 활용하여 구축된 국토그린지표는 공간별 세분화를 통해 시각적으로 서비스하는 것이 효과적이다. 지도화 작업은 독자적인 플랫폼을 통해서 서비스할 수도 있으나, 정부차원에서 서비스하는 탄소공간지도에 탑재하는 방법을 모색해 볼 수 있다. 현재, 정부는 탄소중립형 스마트 도시 실현을 위해 탄소공간지도를 구축하여 2023년 6월부터 서비스 중이다. 탄소공간지도란 도시 내 활동으로 발생하는 부문별(건물, 수송 등) 탄소배출량과 도시 흡수원의 탄소흡수량 현황을 격자와 행정구역 단

위로 나타낸 지도로, <그림 5-10>과 같다. 이는 지방자치단체의 탄소중립의무 강화 및 지방분권 추세 등에 따라 지역주도의 탄소정책 수립 필요에 따른 것이다. 기존의 온실가스 통계는 배출원 중심으로만 작성되어 지역단위 정책 수립에 어려움이 있었고, 도시의 공간 특성을 반영한 배출저감 효과 분석에서 어려움이 있었던 한계를 보완하기 위해 마련된 것이다.⁵¹⁾ 이를 반영하여, 온실가스인벤토리 자료와 공간정보 자료를 결합하여 지방자치단체별로 얼마나 많은 탄소가 배출되고 혹은 흡수되는지를 제시하고 있다(<그림 5-9> (a) 참고). 또한, 탄소흡수가 많은 지방자치단체와 상대적으로 흡수가 적은 지방자치단체를 한눈에 알아볼 수 있다는 점도 흥미롭다. 대전광역시 사례를 보면, 탄소흡수가 많은 지역(짙은 파란색, <그림 5-9>의 (b))과 탄소배출이 많은 지역(짙은 빨간색, <그림 5-9>의 (c))이 상반됨을 알 수 있다.

하지만, 탄소공간지도에서 탄소흡수원은 산림지로 한정되며, 해당 지방자치단체 최종 수치 또한 이산화탄소 단위이다. 탄소공간지도에 공간면적 기반의 국토그린지표가 보완된다면 예상 공간 대비 탄소흡수량이 현저히 떨어지는 지역의 경우 그 원인에 대한 실효성 있는 대안마련이 가능할 것으로 예상된다.



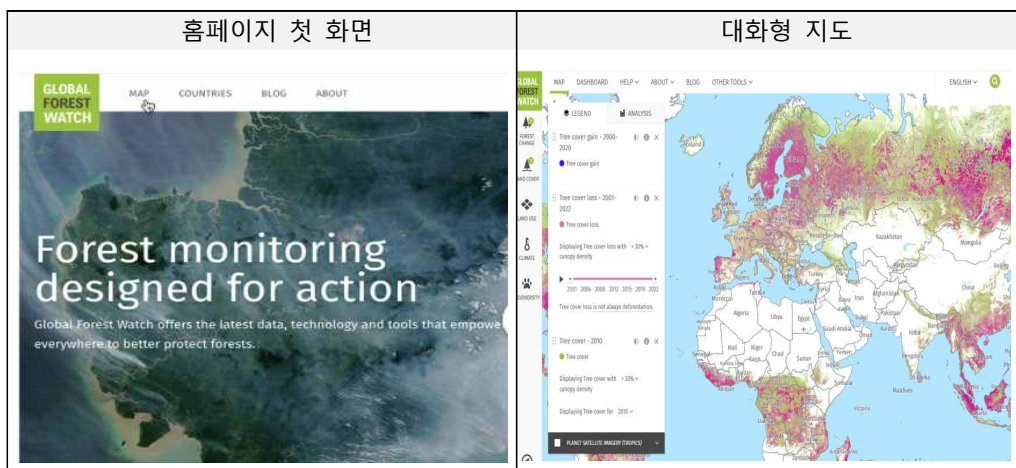
출처: 탄소공간지도 시스템(www.carbonmap.kr, 접속일: 2023.12.8.)

<그림 5-9> 탄소공간지도

51) 탄소공간지도 시스템 (<https://carbonmap.kr> 접속일: 2023.12.13.)

지도 서비스 구현 과정에서는 글로벌 포레스트 워치(GFW, Global Forest Watch)도 참고해 볼 만하다. GFW는 2014년 세계자원연구소(World Resources Institute)가 출시한 온라인 산림 모니터링 플랫폼이다. 인공위성을 활용하여 전 세계 산림 감소, 산림 증가, 산림면적변화 관련 데이터를 고해상도로 제공하며, 데이터별로 주간 및 연간 업데이트된다. GFW의 위성 기반 데이터는 지구 지표면을 30m x 30m 픽셀로 나누어 산림 면적의 변화를 기록한다. 고해상도의 위성영상을 활용한 데이터를 제공함으로써 전 세계, 지역 및 국가 수준의 산림 데이터 외에도 해당 국가의 특정 국립공원, 지역 등 세부지역에 대한 모니터링이 가능하다.

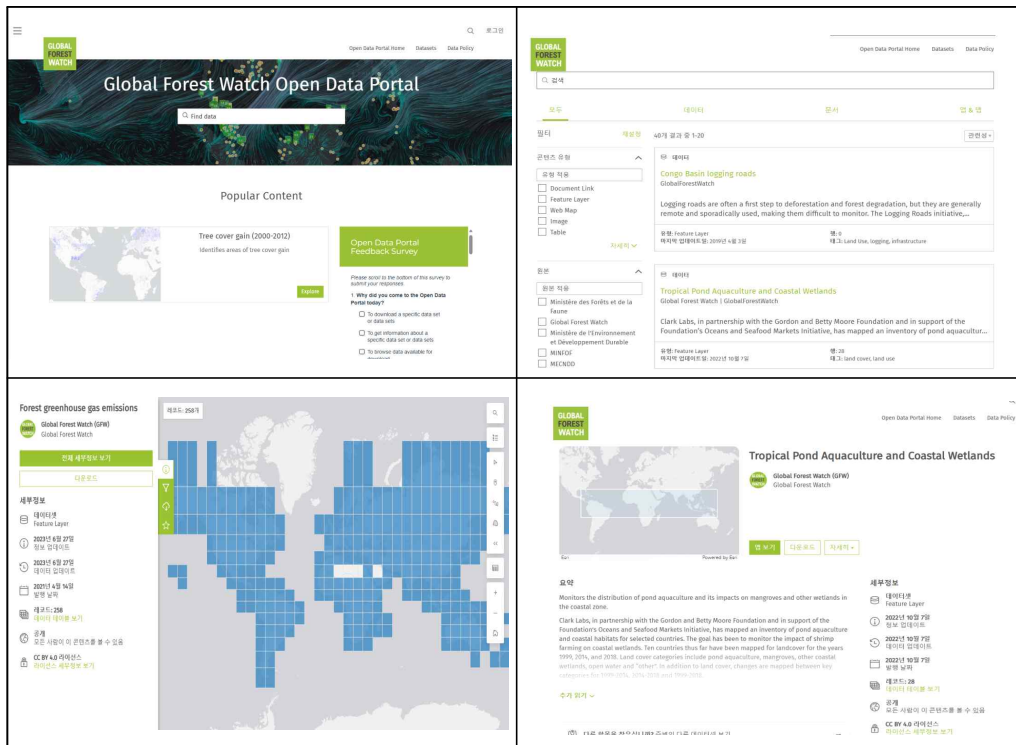
GFW 홈페이지에서는 전 세계 지역 및 국가별 산림 현황을 확인할 수 있다. 대화형 지도와 대시보드 메뉴를 통해 각 지역 및 국가의 산림 현황, 산림 변화, 토지 이용 현황, 산불발생 현황, 산림의 탄소 저장 및 배출 현황 등을 그래프와 지도로 보여준다. 특히 GFW의 주요 기능인 대화형 지도는 2000년부터 2022년까지의 데이터를 제공하며, 지도와 레이어를 적용 또는 해제하여 산림 현황, 산림 손실, 토지 이용도 등을 확인할 수 있다. 특히, 생물다양성 지표도 함께 볼 수 있다는 점이 자연생태기반해법과 관련하여 주목해 볼 만하다. GFW는 200여 개국의 데이터를 보유하고 있어 지도에서 특정 국가를 클릭하면 해당 국가의 토지피복도, 산림감소 및 관리 현황, 산림 관련 경제적 영향과 고용, 정부의 관리지침, 이산화탄소 배출, 탄소보유량, 국제협약 내역 등의 통계 자료를 제공하며, 여러 나라의 산림 현황을 순위로도 확인할 수 있다.



출처: 글로벌포레스트워치 (globalforestwatch.org, 접속일: 2013.11.23.)

<그림 5-10> 글로벌 포레스트워치 홈페이지 첫 화면 및 대화형 지도

또한 자체 오픈 데이터 포털을 구축하여 관련 데이터를 제공하고 있다. 현재 141개 데이터의 원(raw) 데이터와 데이터 정보를 제공하고 있으며, 데이터는 원하는 형태로 내려받아 활용할 수 있다. GFW는 위성 데이터를 기반으로 산림이 나무에 덮여있는(tree cover) 수준을 분석하여 산림감소, 산림증가, 산림면적변화 데이터를 주기적으로 제공한다. 그리고 이를 기반으로, 매년 세계산림보고서(Global Forest Review)를 발간한다.⁵²⁾



출처: 글로벌포레스트워치 (globalforestwatch.org, 접속일: 2023.11.23.)

<그림 5-11> 글로벌포레스트워치 오픈 데이터 포털과 데이터 조회 화면

한편, GFW는 전적으로 나무의 높이, 캐노피 커버 및 범위와 관련된 생물학적 기준을 따르므로 토지이용 유형 등을 구분할 수는 없다는 점을 이해해야 한다. 이와 같은 이유로 산림 데이터의 기준이 FAO가 제공하는 데이터와는 다소 차이가 있다. 예를 들어 GFW에서 산림감소는 일시적인 손실인지 영구적인 손실인지에 관계없이 산림피복의 모든 손실을 포함하지만, FAO는 토지이용 기준을 활용하여 영구적인 토지 이용의 변화만을 산림감소로 정의한다.

52) 이는 전 세계 산림 변화를 분석하는 온라인 보고서로 산림범위지표(Forest Extend Indicator), 산림생태지표(Indicators of Forest Condition), 산림지정지표(Indicators of Forest Designation), 생물다양성 및 생태서비스지표(Indicators of Biodiversity and Ecological Services), 사회 및 거버넌스 문제지표(Indicators of Social and Governance Issues) 등 5개 영역 18개 지표로 구성되어 있다.

제 6 장

결 론

제1절 결과 요약

산림 등 자연생태계에서의 온실가스 흡수량은 2000년 기점 감소 추세로, 탄소흡수원의 보존 및 복원, 신규 흡수원의 발굴 필요성이 증대하고 있다. 이번 연구는 기후위기 대응을 위한 탄소흡수 및 생물다양성 복원에 동시에 기여할 수 있는 자연기반해법으로써 탄소흡수원에 주목하고, 국토 전체 차원에서 이 공간을 일관적으로 측정·관리할 수 있는 국토그린지표 개발을 목적으로 하였다. 구체적으로 개념설정 및 측정방법론 제언의 기초연구가 수행되었다.

먼저, 기후변화와 SDGs를 비롯한 국내외 정책적 동향 및 법적·제도적 분류 기준을 검토한 결과, 국토그린의 범위는 다음과 같이 구체화되었다. 통계의 목적 지향성을 보여주는 ‘그린’과 관련해서는 탄소흡수가 예상되는 모든 공간을 대상으로 한다. 여기에는 산림지, 도시숲, 초지, 습지, 해양(바다숲 등)이 포함된다. 농지도 잠재적인 포함대상이다. 도시숲 및 해양은 신규 탄소흡수원으로 최근 관심이 높아지고 있다. 해양 포함을 고려할 때, 육상 생태계에 좀 더 방점이 찍혀있는 ‘토지’라는 용어보다는 국토라는 용어가 선택되었다. 국토는 주권의 영향력이 미치는 곳으로 영토, 영해, 영공을 모두 아우르기 때문이다.

국토그린 공간을 추출해 낼 수 있는 국내외 통계를 검토해 본 결과, 첫째 분류 체계 간 차이(지적통계 분류 vs 토지피복도 분류), 둘째 분류체계에서 도출된 공간통계와 독자적으로 측정된 공간통계 간의 차이(지적통계 농지 vs 농업면적조사 농지) 등의 이슈가 제기되었다. 이러한 이슈는 각 통계의 법적 근거, 통계생산기관별 측정방법의 차이에서 비롯된다. 따라서, 통계 간 정합성 이슈를 해결하기 위해서는 데이터 거버넌스 접근이 필요한 상황이다. 하지만, 위성영상 등 누구나 접근 가능한 데이터 축적이 증대되면서 논의 격차가 좁혀질 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 국토그린을 측정할 수 있는 방법론으로 위성영상을 활용한 정규식생지수 이론을 제언하였다. 정규식생지수는 광합성을 통해 탄소를 흡수하는 식생 탐지 연구에 많이 활용되고 있으며, 최근에는 인공지능 기술과의 접목 등으로 식생지

수를 변형해 나감으로써 그 활용범위가 확장되고 있는 추세이다. 해당 방법을 적용한 구체적인 시산 및 구체적인 서비스 방안은 후속연구에서 진행할 예정이다.

제2절 국토그린지표 활용 방안

국토그린지표는 개발 이후 다음의 세 차원에서 활용 가능하다. 먼저, 탄소흡수원 및 생물다양성 복원 차원에서 개발된 국토그린지표는 국내의 기후위기 대응 정책 수립의 기반으로 활용될 수 있다. 구체적인 방안으로는, 첫째, 국토 전체 모니터링 지표체계 안에 포함하는 것이다. 우리나라 국토 전체를 총괄적으로 모니터링하는 지표 체계로는 지리정보원의 국토조사가 있다. 국토조사는 국토기본법을 근거로, 6개 영역(인구와 사회, 토지와 주택, 경제와 일자리, 생활과 복지, 국토인프라, 환경과 안전) 중심으로, 매년 격자 통계기반 모니터링을 실시한다(국토지리정보원, 2022).⁵³⁾ 이 중 환경영역 지표로는 신재생에너지보급률, 전기차 천 대당 전기차 충전소 수, 전기차 충전소 접근성, 전기차 충전소 서비스 권역 내 인구비율 지표가 포함되어 있으나, 자연생태계와 관련된 지표는 없는 것으로 나타났다. 제5차 국토종합계획에서 국토와 환경의 통합관리를 목표로 하고 있는 만큼, 국토 생태축을 반영하고 있는 국토그린 지표의 활용 가치는 높다고 하겠다.

둘째, 온실가스 저감 대책에 시의적으로 활용하기 위해서는 국토그린지표를 정부에서 운영하는 탄소공간지도에서 서비스하는 것이 효과적이다. 각국은 에너지 효율 및 에너지 저감 등을 통해 탄소감축을 시도하고 있으나 이에 의한 온실가스 저감량은 한계가 있고, 시일이 소요된다(최원준 외, 2022). 따라서, 자연생태계기반 해법도 동시에 추진될 필요가 있다는 데 중지가 모아지고 있다. 그러나, 탄소공간지도는 탄소배출량 중심으로 공간별 통계가 제시되고 있으며, 흡수량은 데이터 제약으로 산림 부문에만 한정하여 서비스되고 있다. 국토그린지표를 함께 서비스하여 탄소흡수량뿐 아니라 토지의 변화량 등을 복합적으로 고려할 필요가 있다.

국토그린지표의 개발은 SDG 지표 데이터 가용성 증진에도 활용될 수 있다. 국내의 유사통계를 검토한 결과, SDG 지표 중 토지황폐화 지표가 유사한 것으로 분석되었다. 현재 토지황폐화 지표의 경우 산림과학원에서 시범생산 중이나, 데이터 거버넌스 등의 문제로 산림지 부문에 대해서만 생산되어 있는 상황이다. 국토 전체의 토지 황폐화를 측정하기 위해서는 산림지는 물론이고, 초지, 습지, 정주지 등 여러 영역에서의 자료 협조가 필수적이다.

53) 국토모니터링 보고서가 2021년부터 국토조사로 변경되었다.

그러나, 국토그린지표를 효과적으로 개발하고 정책적으로 활용성을 높이기 위해서는 지표 개발 단계에서부터 다부처 협력이 필수적이다. SDG 토지황폐화 지표의 경우, 산림과학원에서 시범생산 중이나, 데이터 거버넌스 등의 문제로 산림지 부문에 대해서만 생산되어 있는 상황이다. 국토 전체의 토지황폐화를 측정하기 위해서는 산림지는 물론이고, 초지, 습지, 정주지 등 여러 영역에서의 자료 협조가 필수적이다.

이러한 선례를 바탕으로, 국토그린지표를 개발하는 과정에서 부처 간 협력체계의 필요성이 부각된다. 토지이용현황에 따른 국토 전체의 완전한 분류체계를 구축하고 그 중 탄소흡수 및 생태계 보전을 위한 국토그린 공간을 추출해 내기 위해서는 토지별 소관부처 간 일관적인 데이터 측정이 요구된다. 이는 국토 하위 분류체계 간의 중첩 혹은 누락되는 지역이 발생하는 것을 사전에 예방함으로써 모집단의 완전성을 기하는데 중요한 역할을 한다. 부처 간 협력체계 구축 과정에서 통계청의 SDG 데이터 네트워크를 활용할 수 있다. SDG 데이터 네트워크는 28개 부처 및 40여 개 통계작성기관으로 구성되어 있다. 국토그린지표 데이터 소관 기관 간 협업체계를 구축하고, 동시에 개발된 지표의 활용성을 제고하기 위해 탄소중립위원회 및 국토교통부, 환경부 등 정책 협업체계 마련도 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

- 관계부처 합동. (2019). 제5차 국가환경종합계획 2020-2040.
- 관계부처 합동. (2020). 제4차 지속가능발전기본계획 2021-2040
- 관계부처 합동. (2023). 탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획.
- 국립산림과학원. (2012a). **디지털 항공영상을 이용한 대축척 임상도 제작 및 갱신방법 개발**. 연구보고서 12-2.
- 국립산림과학원. (2012b). 임상도로 보는 한국의 산림. **산림과학속보** 제12-7호.
- 국립산림과학원. (2022). **산림건강성 평가지표 개선 및 활용방안 연구**. 국립산림과학원.
- 국립산림과학원. (2023). **국제산림이슈 선도를 위한 산림부문 SDGs 지표 평가 체계 구축**. 국립산림과학원.
- 국토지리정보원. (2022). 2021 국토조사.
- 국토교통부. (2022). **지적통계 이용자용 통계보고서**.
- 권봉오, 이종민, 송성준, 김종성. (2021). 2050 탄소중립을 위한 새로운 블루카본 후보군, 2021년도, **한국해양과학기술협의회 공동학술대회 자료집**: 1596.
- 김일곤. (2023). 유럽의 전환 실험과 전략적 함의: 유럽 그린딜(EGD)을 중심으로, **유럽연구** 41(2): 97-126.
- 김명수, 정석희, 김상조, 박정은. (2010). **저탄소 녹색국토지수 개발 및 적용 연구**. 국토연구원.
- 김명수 외 6인. (2009). **녹색성장 개념정립 및 국토분야 정책과제**, 국토연구원.
- 김상욱, 박종화. (2001). 식생지수를 이용한 DMZ 및 민통선지역의 생태경제조사, **한국조경학회 학술발표논문집**, 6-9.
- 김선희. (1998). 그린라운드의 동향과 국토정책의 과제, **국토7**: 6-13.
- 김수현, 김창훈. (2020). **유럽 그린딜의 동향과 시사점**, 에너지경제연구원.
- 김태현. (2006). 국제환경협약과 WTO 체제의 Green라운드, **담론201** 9(1): 155-196.
- 대한민국정부. (2019). 제5차 국토종합계획 2020-2040.
- 라기태. (2016). 파리기후협정, 한국보건사회연구원, **글로벌사회정책브리프** 4:1-4.
- 박가열, 박성원, 이영민, 이혜나. (2022). **그린직업의 미래연구**, 한국고용정보원.
- 박영실, 변용찬, 신우람, 장동익, 유인상. (2019). **세분화된 데이터 생산을 위한 다양한 접근법 탐색: 장애, 도시, 교통부문**. 통계개발원.
- 박정목, 도미령, 심우담, 이정수. (2019). 수치임상도 작업매뉴얼의 개선방안에 관한 연구. **한국지리정보학회지** Vol22(1): 168-182.
- 박종훈 외. (2016). Urban tree canopy의 생태계서비스 연구동향 및 정책 평가, **인간식물환경학회지** 19(3): 175-189.
- 민서연, 유지원, 주범. (2023). 업무 공간의 친환경 시스템 적용을 통한 그린빌딩, **대한건축학회 학술발표대회 논문집** 43(1): 855-858.
- 문제원, 이영인, 전현우, 박경도. (2023). 그린 스마트 미래 학교 공간 계획에서 오픈 스페이스 활용성 제안에 관한 연구. **한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회 논문집**23(1): 142-143.

- 류병찬. (2019). 국내외 지목체계 운용실태 연구에 관한 새로운 시각, **지적과 국토정보** 49(2):151-167.
- 산림청. (2017). 제2차 도시림기본계획 2018-2027.
- 산림청. (2020). **산림기본통계 이용자용 통계정보보고서**.
- 산림청. (2022). 제3차 탄소흡수원증진종합계획 2023-2027.
- 어성희, 최희선, 김근한, 이길상. (2021). Landsat8 위성영상을 이용한 지표면 온도와 식생피복의 관계 분석: 대구광역시를 대상으로, **Journal of Climate Change Research** 12(6): 713~720.
- 원명수, 구교상, 이명보. (2007). Landsat 영상으로부터 정규탄화지수 추출과 산불피해지역 및 피해강도의 정량적 분석, **한국지리정보학회지**, 10(3): 80-92.
- 온실가스종합정보센터. (2023). 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서.
- 윤순진. (2009). ‘저탄소 녹색성장’의 이념적 기초와 실재, **ECO** 13(1): 219-266.
- 윤호성 외 7인. (2022). 동해안 블루카본 자원의 가치와 활용방안, **생명과학회지** 32(7):578-587.
- 임룡혁. (2020). 재난지역 피해규모 산정을 위한 위성영상과 국토지표 활용 방안, 국토연구원.
- 임용호, 강민조, 안재성. (2022). 한반도 그린공동체 조성을 위한 산림협력 추진방안 연구, 국토연구원.
- 임은선, 손재선, 정예진, 박종순, 윤은주, 박종화. (2023). 탄소중립사회 정책지원을 위한 탄소 통계지도 구축방향과 추진과제. **국토정책 Biref No.894**.
- 조경근. (1995). 그린라운드의 국제정치적 특성, **국제정치논총** 35(20): 39-58.
- 제주도민일보, 2010.8.10. 제주시, 초지관리실태조사.
- 최원준, 한수현, 안세진. (2022). 온실가스 인벤토리 구축을 위한 LULUCF 산정체계 현황 및 시사점, 국가녹색기술연구소, **GTC BRIEF**, 3(18).
- 최진우, 김혜린. (2022). “자연기반해법(NbS)에 대한 기후정의 관점에서의 비판적 고찰, **환경법과 정책** 29: 49-71.
- 통계개발원. (2021). **한국의 SDG 이행보고서 2021**.
- 통계개발원. (2022). **한국의 SDG 이행보고서 2022**.
- 통계청. (2022). **농업면적조사 이용자용 통계정보보고서**.
- 통계청. (2023). 2023년 원격탐사 활용 남북한 농업면적조사 사업 최종보고회 자료(내부자료).
- 최대집 외. (2022). 현행 지목제도의 문제점에 대한 개선방안 도출에 관한 연구-지목의 설정과 변경사례를 중심으로, **지적과 국토정보**, 52(2): 67-80.
- 한국국토정보공사. (2022). **도시계획현황통계 이용자용 통계보고서**.
- 한국수자원공사. (2023). **친환경 그린 데이터센터 구축**.
- 한양수, 남홍식, 박충배, 조정래, 박상구, 공민재, 손진관. (2022). 저탄소 인증 확대를 위한 논농경지 탄소저장 평가 연구, **2022년 한국환경정책학회 춘계학술대회 자료집**, 23~24.
- 함태성. (2009). ‘녹색성장’과 ‘지속가능발전’의 관계정립에 관한 법적 고찰-저탄소 녹색성장기본법(안) 제정에 관한 법적 논쟁과 관련하여, **환경법연구**31(1): 355-376.
- 환경부. (2021). **국가온실가스통계 이용자용 통계보고서**.
- 환경부 해양수산부. (2022). **제4차 습지보전기본계획 2023-2027**.
- 해양수산부. (2021). **제5차 해양환경 종합계획 2021-2030**.
- 2050 탄소중립녹색성장위원회 보도자료. (2022.10.26.). 윤정부, 탄소중립 녹색성장 비전과 추진전략 발표, 국무조정실 탄소중립녹색성장위원회 사무처 기획총괄국.

- patterns of urban form factors related to particulate matter in Seoul, Korea. *Sustainable Cities and Society* 81 : 103859.
- Deering, D. (1975). Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data. *In Proceedings of the tenth international symposium of remote sensing of the environment* (pp. 1169-1198).
- Gao, X., Huete, A. R., Ni, W., Miura, T. (2000). Optical-Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. *Remote Sensing of Environment*, 74(3): 609-620.
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N. (1996). Signature analysis of leaf reflectance spectra: Algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *J. Plant Phy* 148 (3-4), 494500.
- Hardisky, M. A., Klemas, V., and Smart, R. M. (1983). The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 49(1): 77-83.
- Heute, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309.
- IUCN. (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. Cohen-Shaschan, E., Walters, G. Janzen, C. and Maginnis, S. edited.
- IPCC. (2003). *Good practice guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*.
- Kichan, Kim, Chang Kil Lee, and Hyun Woo Kim. (2022). Understanding the Accessibility of Urban Parks and Connectivity of Green Spaces in Single-Person Household Distribution: Case Study of Incheon, *South Korea, Land* 11(9): 1441.
- Kutz, Myer, ed. (2019). *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering*. Academic Press.
- Labib, S.M., Huck, J. J.1 and Lindley, S. J. (2020). Greenness visibility using viewshed analysis: A pilot study in Manchester, In proceedings of the 28th Annual Geographical Information Science UK conference.
(https://london.gis.org/gisruk2020_proceedings/GISUK2020_paper_11.pdf.)
- Labib, S. M., Sarah Lindley, and Jonny J. Huck. (2020). Scale effects in remotely sensed greenspace metrics and how to mitigate them for environmental health exposure assessment, *Computers, Environment and Urban Systems* 82 : 101501.
- Labib, S. M., Sarah Lindley, and Jonny J. Huck. (2020). Spatial dimensions of the influence of urban green-blue spaces on human health: A systematic review, *Environmental research* 180 : 108869.
- Peter Sang-Hoon Lee, and Jincheol Park. (2020). An effect of urban forest on urban thermal environment in Seoul, South Korea, based on landsat imagery analysis, *Forests* 11(6): 630.
- Park, Kyung Ryul and Park Young Shil. (2023). Addressing institutional challenges in sustainable development goals implementation: Lessons from the Republic of Korea. *Sustainable Development*, <https://doi.org/10.1002/sd.2725>.
- R. L. Pearson and L. D. Miller. (1972). *Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado*. 8th Int. Symp. on Remote Sensing of Environment Ann Arbor, Michigan USA, October 2-6, 1972 University of Michigan, USA: Environmental Research Institute of Michigan, 2: 1357-1381.

- Rikimaru, A., Roy, P.S., Miyatake, S. (2002). Tropical forest cover density mapping. *Trop. Ecology*. 43, 39-47.
- Tao Bao, Gensuo Jia and Xiyan Xu. (2023). Weakening greenhouse gas sink of pristine wetlands under warming, *Nature Climate Change* 13(5): 462-409.
- Townshend, John RG, Thomas E. Goff, and Compton J. Tucker. (1985). *Multitemporal dimensionality of images of normalized difference vegetation index at continental scales*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing 6 : 888-895.
- UN. (1987). *Our Common Future*. Report of the World Commission on Environment and Development
- UN. (2015). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development (<https://sdgs.un.org/2030agenda>)
- UN. (2020). 11th Consolidated Annual Progress Report of the UN-REDD Programme Fund (<https://www.un-redd.org>)
- United Nations Convention to Combat Desertification. (1994). Article 1 of the Convention Text. (http://www2.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-01/UNCCD_Convention_ENG_0.pdf)
- United Nations Convention to Combat Desertification. (2021). Good practice guidance. SDG indicator 15.3.1, Proportion of land that Is degraded over total land area. Version 2.0. (<https://www.unccd.int/publications/good-practice-guidance-sdg-indicator-1531-proportion-land-degraded-over-total-land>).
- UN Habitat. (2020). SDG 11.7.1 step by step training module. (https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/07/indicator_11.7.1_training_module_public_space.pdf)
- UN Statistical Division. (2014). System of Environmental Economic Accounting 2012 — Central Framework. New York, USA.
- UNEP-WCMC. (2002). Mountain Watch: Environmental change and sustainable development in mountains. Cambridge, UK
- Won, Myoung-Soo, Kyo-Sang Koo, and Myung-Bo Lee. (2007). An quantitative analysis of severity classification and burn severity for the large forest fire areas using normalized burn ratio of Landsat imagery, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10.3 : 80-92.
- 국립생태원 홈페이지(www.nie.re.kr)
- 람사르 환경재단 홈페이지(www.gref.or.kr)
- 지표누리 홈페이지(<https://www.index.go.kr>)
- 탄소공간지도 시스템(www.carbonmap.kr)
- 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/atlas/list.do>)
- Climate Data Store(<https://cds.climate.copernicus.eu>)
- GIS Geography(<https://gisgeography.com>)
- Global Forest Watch(<https://www.globalforestwatch.org>)
- KOSIS(<https://www.kosis.com>)
- UN SDGs Data Portal(<https://www.unstat.un.org/sdgs/dataportal>)
- UN SDGs Indicator (<https://unstats.un.org/sdgs/>)
- United States Geological Survey(www.usgs.gov)

부 록

1. UN 기후변화협약 당사국총회(COP) 개최 연혁 및 주요 결과

회의	일자	장소	주요 결과
COP 1	'95.03	독일 베를린	첫 당사국 총회 개최
COP 2	'96.07	스위스 제네바	미국과 EU의 감축목표에 대한 법적 구속력 부여 합의
COP 3	'97.12	일본 교토	교토의정서 채택
COP 4	'98.11	아르헨티나 부에노스아이레스	아르헨티나, 카자흐스탄 온실가스 감축 의무 부담 의사 표명
COP 5	'99.10	독일 본	온실가스 배출목표 설정
COP 6-1	'00.11	네덜란드 헤이그	교토의정서 발효 위한 상세 운영 규정 협상 결렬
COP 6-2	'01.07	독일 본	교토 메커니즘 타결
COP 7	'01.10	모로코 마라케시	교토 메커니즘, 의무준수체제, 흡수원 등에 최종 합의
COP 8	'02.10	인도 뉴델리	뉴델리 각료 선언 채택
COP 9	'03.12	이탈리아 밀란	기후변화 완화방안 및 적응방법 논의
COP 10	'04.12	아르헨티나 부에노스아이레스	기후변화 완화방안 및 적응방법 논의
COP 11	'05.11	캐나다 몬트리올	Post-Kyoto 가시화
COP 12	'06.11	케냐 나이로비	국가 온실가스 감축 목표 설정을 위한 작업 일정 결정
COP 13	'07.12	인도네시아 발리	발리 행동계획 채택
COP 14	'08.12	폴란드 포즈난	선진국과 개도국 이견 조정
COP 15	'09.12	덴마크 코펜하겐	미국 첫 참여/ 2020년까지 감축목표치 제출
COP 16	'10.11	멕시코 칸쿤	칸쿤 합의문 채택
COP 17	'11.11	남아공 더반	더반 플랫폼 합의문 작성/ Post-2020 협상 개시
COP 18	'12.11	카타르 도하	교토의정서 제2차 공약기간 개시 위한 의정서 개정
COP 19	'13.11	폴란드 바르샤바	2020년 이후 신기후체제 형성 로드맵 도출
COP 20	'14.12	페루 리마	2020년 이후 신기후체제 협정문 주요 요소 도출
COP 21	'15.11	프랑스 파리	파리협정 채택
COP 22	'16.12	모로코 마라케시	마라케시 행동 선언문 채택
COP 23	'17.11	독일 본	파리협정 이행을 위한 피지 모멘텀 채택
COP 24	'18.12	폴란드 카토비체	파리협정 이행을 위한 세부이행지침 합의
COP 25	'19.12	스페인 마드리드	2050 탄소중립 선언
COP 26	'21.11	영국 글래스고	2022년까지 모든 국가 온실가스 감축목표 의무 제출 지구 온도 1.5℃ 상승으로 제한
COP 27	'22.11	이집트 샤름엘셰이크	G7 국가들이 개도국 연 1천억 달러 지원 합의
COP 28	'23.12	UAE 두바이	탈화석연료전환 합의

2. 제1차-제4차 국토종합계획 변천 연혁

구분	수립 배경	비전 및 목표	추진전략 및 주요정책과제
제1차 국토개발계획 (1972-1981)	- 국력의 신장 - 공업화 추진	- 국토이용관리 효율화 - 사회간접자본 확충 - 국토자원 개발과 자연 보전 - 국민생활환경의 개선	- 대규모 공업기반 구축 - 교통통신, 수자원 및 에너지 공급망 정비 - 부진지역 개발을 위한 지역기능 강화
제2차 국토개발계획 (1982-1991)	- 국민생활환경의 개선 - 수도권외의 과밀 완화	- 인구의 지방정착 유도 - 개발가능성의 전국적 확대 - 국민복지 수준의 제고 - 국토자연환경의 보전	- 국토의 다핵구조 형성과 지역생활권 조성 - 서울·부산 양대 도시의 성장억제 및 관리 - 지역기능 강화를 위한 교통·통신 등 - 후진지역의 개발 촉진
제3차 국토종합계획 (1992-2001)	- 사회간접 자본시설의 미흡에 따른 경쟁력 약화 - 자율적 지역 개발 전개	- 지방분산형 국토 골격 형성 - 분산적·자원절약적 국토이용체계 구축 - 국민복지 향상과 국토환경 보전 - 남북통일에 대비한 국토기반의 조성	- 지방 육성과 수도권 집중 억제 - 신산업지대 조성 및 산업구조고도화 - 종합적 고속 교통망 구축 - 국민생활과 환경 부문의 투자증대 - 국토계획 집행력 강화 및 국토이용 관련제도 정비 - 남북교류지역의 개발 관리
제4차 국토종합계획 (2000-2020)	- 21세기 여건변화에 주도적으로 대응 - 국가 융성과 국민 삶의 질 확보하기 위한 새로운 국토비전과 전략 필요	- 비전: 21세기 통합국토 실현 - 더불어 잘사는 균형국토 - 자연과 어우러진 녹색국토 - 지구촌으로 열린 개방국토 - 민족이 화합하는 통일국토	- 개방형 통합국토축 형성 - 지역별 경쟁력 고도화 - 건강하고 쾌적한 국토환경 조성 - 고속교통·정보망 구축 - 남북한 교류협력 기반 조성
제4차 국토종합계획 (2006-2020) * 노무현정부 출범	- 분권·분산에 입각한 균형발전이 국정기조로 강조 - 행정중심복합도시 등 국토공간구조 변화 반영 - 남북 교류협력 확대 및 대외환경 변화에 대응	- 비전: 약동하는 통합국토의 실현 - 더불어 잘사는 균형국토 - 자연과 어우러진 녹색국토 - 지구촌으로 열린 개방국토 - 민족이 화합하는 통일국토	- 행정중심복합도시 건설, 공공기관 지방이전, 혁신도시·기업도시 건설추진 - 개방형 국토축 + 다핵연계형 국토구조 - Ⅱ형 국토축(7+1) 구조
제4차 국토종합계획 (2011-2020) * 이명박정부 출범	- 국가경쟁력이 국정기조로 강조 - 4대강 살리기사업 등 국책사업 반영 - FTA시대 글로벌 트렌드를 수용한 글로벌 국토 실현	- 비전: 글로벌 녹색국토 - 경쟁력 있는 통합국토 - 지속가능한 친환경국토 - 품격있는 매력국토 - 세계로 향한 열린국토	- 광역경제권 형성하여 지역별 특화발전, 글로벌 경쟁력 강화 - 지역특성을 고려한 전략적 성장거점 육성 (5+2광역경제권)

3. 도시숲 관리지표별 조사 및 평가 방법

<부표 1> 도시숲 관리지표의 구성(4개 부분 13개 지표)

1 부문 : 생태적 건강·활력도	2 부문 : 생물다양성
가. 지표 : 수목건강 (1) 항목 : 수목활력도 (2) 항목 : 수관급 (3) 항목 : 형질급 (4) 항목 : 고사율 나. 지표 : 대기건강 (1) 항목 : 오존	가. 지표 : 다양성 (1) 항목 : 종다양성(도시숲) (2) 항목 : 식이수종(도시숲) 나. 지표 : 식재유형 (1) 항목 : 식재유형 다양성(가로수) 다. 지표 : 기후적합성 (1) 항목 : 기후적합성(가로수) (2) 항목 : 토착(향토)식물(가로수) 라. 지표 : 서식지 기능(가로수만 해당) (1) 항목 : 야생동물 서식 (2) 항목 : 주변 녹지와 연결성
3 부문 : 사회·경제적 편익	4 부문 : 유지관리
가. 지표 : 조절기능 (1) 항목 : 배수 나. 지표 : 토양보존기능 (1) 항목 : 토양다짐 (2) 항목 : 토양색(도시숲) 다. 지표 : 휴양기능 (1) 항목 : 레크리에이션 (2) 항목 : 경관조성 라. 지표 : 생산성기능 (1) 항목 : 캐노피 커버 마. 지표 : 시민건강기능 (1) 항목 : 꽃가루 알레르기 유발정도	가. 지표 : 지역사회협력 (1) 항목 : 관리계획 (2) 항목 : 예산확보 (3) 항목 : 시민참여 도시녹화 (4) 항목 : 지역협력 나. 지표 : 수목관리 (1) 항목 : 기존수목관리 (2) 항목 : 자연재해방지관리 (3) 항목 : 재활용(목질파쇄물 관리)

① 부문: 생태적 건강 활력도

가. 지표 : 수목건강

(1) 항목 : 수목활력도

- 개념(정의) : 전체 수관에서 살이 있는 수관의 양적 비율로 산림의 외관 건강상태를 나타내는 대표적 지표임
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : (도시숲) 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에 있는 수목(교목, 관목) 전수 (가로수) 도로 한쪽 면의 40m 길이에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
 - 조사방법 : 육안조사
 - 조사내용 : 수관을 대상으로 물리적·생물적 피해받은 줄기, 가지, 잎의 피해율 조사
- 평가방법 : 상층수관부의 잎, 가지, 줄기의 결함(피해율, %) 정도를 ‘도시숲 등 관리

지표' 지침서 1-1을 기준으로 구분하고 다음의 수목활력도 평가기준을 참고하여 아주 낮음, 낮음(쇠퇴), 보통(약간쇠퇴), 양호(중간건강), 최적(건강)의 5등급으로 구분하여 평가

<부표 2> 수목활력도 평가기준

등급	구분	평가기준
0	아주 낮음	고사 혹은 고사가 진행 중
1	낮음	수간, 수피, 가지, 잎 피해 및 고사가 수관의 50% 이상
2	보통	수간, 수피, 가지, 잎 피해 및 고사가 수관의 30~50% 미만
3	양호	수간, 수피, 가지, 잎 피해 및 고사가 수관의 10~30% 미만
4	최적	수간, 수피, 가지, 잎 피해 및 고사가 수관의 10% 미만

(2) 항목 : 수관급

- 개념(정의) : 산림 캐노피에서 개별 수목의 수관층에 있어 수관이 수직적, 수평적인 공간을 차지하는 정도로서 수관의 위치, 수관의 피압 정도 등을 나타내는 지표임
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에 있는 수목(교목) 전수(가로수) 도로 한쪽 면의 40m 길이에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
 - 조사방법 : 육안조사
 - 조사내용 : 입목의 수관발달 상태와 수관급을 구성하는 층에 따라 수관의 위치, 수관의 피압 정도를 조사
- 평가방법 : 수관급은 수목의 위치, 수관에서 받는 빛의 양을 기준으로 우세목·준우세목(최적), 중층목(양호), 피압목(보통), 고사목(낮음)으로 나누어 조사하고, 수관 평가는 다음의 수관급 등급 구분을 이용하여 작성함

<부표 3> 수관급 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	고사목(Dead) - 병해충 등 교란 요인으로 인해 나무가 서 있는 상태에서 말라 죽은 나무 - 과거에는 병해충의 우려로 제거하였으나, 최근에는 생물다양성 보전에 중요한 역할을 하는 것으로 밝혀지고 있음
2	보통	피압목(2)(Suppressed) - 수관이 하층에 속하고 이웃한 상층목의 압박으로 제대로 성장하지 못한 열세목으로 수직 및 수평 광선을 전혀 받지 못하는 입목
3	양호	중층목(3)(Intermediate) - 수관이 우세목과 준우세목의 아래층을 형성하는 나무로서 수직 및 수평 광선을 거의 받지 못하는 입목
4	최적	준우세목(4)(Co-dominant) - 임분 수관의 상층(임분의 대표층)을 형성하는 입목으로서 충분한 수직 광선을 받으나, 측면으로부터 약간의 수평광선을 받는 입목 - 수관이 임관층보다 위로 자라고 넓게 발달한 나무로 이웃한 상층목들의 생장에 방해가 되는 입목(폭목, wolf tree)

(3) 항목 : 형질급

- 개념(정의) : 형질급은 개별 수목에 있어서 수간의 휨(굽음), 수간의 부러짐, 부패 정도를 평가하는 지표임
- 조사시기 : 6~9월

- 조사방법

- 표준지 설치 : 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에 있는 수목(교목) 전수(가로수) 도로 한쪽 면의 40m 길이에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
- 조사방법 : 육안조사
- 조사내용 : 형질급은 수간의 곧음, 굽음 정도, 상흔 및 부패 정도를 조사
- 평가방법 : 형질급은 수간의 굽은 정도, 상흔·부패 정도에 따라 다음의 평가기준을 이용하여 구분하며, 등급 1부터 4까지의 형질급 자료는 서열척도를 의미하며 등급이 높을수록 건강함을 의미함

<부표 4> 형질급 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	- 육안으로 수간이 나선형으로 성장하거나 2회 이상 굽음 - 5cm 초과 상흔과 부패가 있는 입목
2	보통	- 육안으로 수간의 굽은 정도 0.5m 이상, 5cm 이하의 상흔과 부패가 경미한 입목
3	양호	- 육안으로 수간의 굽은 정도 0.5m 이내, 상흔 및 부패가 없는 입목
4	최적	- 육안으로 수간이 곧고 분지가 없으며 상흔 및 부패가 없는 입목

(4) 항목 : 고사율

- 개념(정의) : 수목의 고사 상태는 산림건강성, 지속가능성 상태를 직접적으로 나타내며, 숲의 생산성 및 산림생물종의 서식환경을 파악할 수 있는 지표
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에 있는 수목(교목) 전수(가로수) 도로 한쪽 면의 40m 길이에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
 - 조사방법 : 육안조사
 - 조사내용 : 고사목은 수간의 곧음, 굽음 정도, 상흔 및 부패 정도를 조사
- 평가방법 : 고사목이란 고사입목과 도시숲 내에 쓰러져 있는 죽은 나무를 의미하며, 가지치기 후 잔존목은 조사하지 않음. 고사입목, 즉 고사한 상태로 서 있는 나무에 대해서 고사된 원인을 다음 표의 기준에 의거 구분하여 기입하고, 구분이 어려울 경우 자연적 고사로 간주함

<부표 5> 고사율 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	고사목이 3개체 이상
2	보통	고사목이 2개체
3	양호	고사목이 1개체
4	최적	고사목이 없음

<부표 6> 고사목 고사원인

구분	평가기준
병해충 피해	재선충병, 시들음병 등의 병해충에 의한 고사
인위적 피해	답압, 농약살포 등의 인위적인 피해에 의한 고사
자연적 고사	자연환경 및 기상재해 등에 의한 고사

나. 지표 : 대기건강

(1) 항목 : 오존

- 개념(정의) : 도시숲의 오존 스트레스를 감지하고 모니터링함으로써 도시숲의 대기 건강을 나타내는 지표임
- 조사시기 : 7월 말~8월 중순
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에 있는 수목 중 최소 2종의 오존 지시종(최소 5개체)을 조사
 - 조사방법 : 잎샘플 사진(각 하위플롯 위치에서 설정된 오존지시종 5개체의 잎 사진, 3번 반복)을 수집하여 오존 피해 증상을 관찰하고 오존피해율 측정
 - 조사내용 : 오존에 대한 수목의 엽면 손상(foliar injury) 피해율 측정
- 평가방법 : 오존지시종(최소 5개체)의 엽면 손상 피해율(발생률)과 심각도를 정확하고 일관되게 추정하는 것이 중요하므로, 오존피해율은 수정된 Horsfall-Barratt 척도를 적용하여 오존 손상이 있는 잎의 피해율(%)을 다음의 평가기준을 사용하여 평가

<부표 7> 오존 평가기준

등급	구분	오존 피해율(%)	평가기준
1	낮음	76~100	엽면적의 75% 이상에 오존 피해 증상
2	보통	51~75	엽면적의 51~75%에 오존 피해 증상
3	양호	26~50	엽면적의 26~50%에 오존 피해 증상
4	최적	0~25	평가된 식물에 오존 피해 증상이 없거나, 손상된 부위가 엽면적의 25% 미만

주: 표본점 내 오존 지시종이 없는 경우 수관활력도(1-1)의 잎결합 등급을 적용하여 구분

② 부문: 생물 다양성

가. 지표 : 다양성

(1) 항목 : 종다양성(도시숲)

- 개념(정의) : 조사구 당 식생 종 다양성을 평가하는 지표
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 조사지에서 수목(교목, 관목, 지피식생) 전수 조사
 - 조사방법 : 육안 조사 및 식재 이력 조사
 - 조사내용 : 각 층별 식물 종수 존재 유무
- 평가방법 : 표준 조사지 40미터 이내에 식재 이력을 기준으로 하여, 현존하는 수목의 지피식생, 관목식생, 아교목 식생, 교목 식생의 존재 여부를 판단하여 평가

<부표 8> 도시숲 - 종다양성 구분 및 평가기준			<부표 9> 가로 수 - 종다양성 구분 및 평가기준		
등급	구분	평가기준	등급	구분	평가기준
1	낮음	6종 이하 확인	1	낮음	1종 이하 확인
2	보통	6~8종 미만 확인	2	보통	2~3종 미만 확인
3	양호	8~10종 미만 확인	3	양호	4~5종 미만 확인
4	최적	10종 이상 확인	4	최적	6종 이상 확인

(2) 항목 : 식이수종(도시숲)

- 개념(정의) : 야생조류의 서식지 제공 기능을 평가하는 도시 수목의 기능 지표
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에서 수목(교목, 관목) 전수 조사
 - 조사방법 : 육안조사
 - 조사내용 : 식이수종 측정
- 평가방법 : ‘도시숲등 관리지표’의 식이수종 평가는 3개 표준 조사구 내에서 조사한 ‘종 다양성’ 평가항목 데이터를 바탕으로, 다음의 식이수종 평가기준을 참고하여 평가함

<부표 10> 식이수종 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	야생조류를 위한 감나무, 팔배나무, 산수유, 층층나무 등의 식이식물 존재하지 않음
2	보통	야생조류를 위한 감나무, 팔배나무, 산수유, 층층나무 등의 식이식물 1종 존재
3	양호	야생조류를 위한 감나무, 팔배나무, 산수유, 층층나무 등의 식이식물 2종 존재
4	최적	야생조류를 위한 감나무, 팔배나무, 산수유, 층층나무 등의 식이식물 3종 존재

나. 지표 : 식재유형

(1) 항목 : 식재유형 다양성(가로수)

- 개념(정의) : 가로수 식재유형의 다양성을 평가하는 지표로서, 지피층, 관목층, 한 줄, 두 줄, 띠녹지 등 다양한 가로수 유형을 평가하는 지표
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도로 한쪽 면의 40m 길이에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
 - 조사방법 : 육안 조사 및 식재 이력 조사
 - 조사내용 : 지피식생, 관목식생, 한 줄, 두 줄 가로수, 띠녹지 유지 상태
- 평가방법 : 표준 조사지 40미터 이내에 식재 이력을 기준으로 하여, 현존하는 가로수의 지피식생, 관목식생, 한 줄, 두 줄 가로수 또는 띠녹지 여부를 판단하여 평가

<부표 11> 식재유형 다양성 구분 및 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	단순 1열 식재
2	보통	단순 1열 식재, 띠녹지 조성
3	양호	2열 식재
4	최적	2열 이상 식재되거나 2열 식재 및 띠녹지 조성

다. 지표 : 기후적합성

(1) 항목 : 기후적합성(가로수)

- 개념(정의) : 도시 기후환경에 적합하고 전체 지역에 적응한 수목 개체군을 설정하고, 도시숲의 생태적·환경적 혜택 극대화를 제공하여 도시숲의 건강성을 평가
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도로 한쪽 면의 40m 길이에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
 - 조사방법 : 육안조사
 - 조사내용 : 식생플롯을 대상으로 기후적합성 수종 조사
- 평가방법 : 국립수목원에서 발간한 한국 관속식물 분포도(2016)와 한국의 숲(VI): 한국의 식물상 지역과 식생기후(2020)를 참고하여 전체 수종에 대한 기후적합성을 백분율로 나타내고 다음의 기준을 참고하여 평가함

<부표 12> 기후적합성 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	전체 나무의 50% 미만이 해당 지역 기후에 적합한 수종
2	보통	수목의 > 50~75%가 해당 지역 기후에 적합한 수종
3	양호	75% 이상의 나무가 해당 지역 기후에 적합한 수종
4	최적	거의 모든 나무가 해당 지역 기후에 적합한 수종

(2) 항목 : 토착(향토)식물(가로수)

- 개념(정의) : 지자체 지역의 자연식생 다양성의 보존 및 향상을 나타내는 지표
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도로 한쪽 면의 40m 길이에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
 - 조사방법 : 육안조사
 - 조사내용 : 식생플롯을 대상으로 토착(향토)식물 조사
- 평가방법 : ‘도시숲 등 관리지표’의 토착(향토)식물 평가는 하위플롯(반경 5m)의 식생 플롯(11m²) 내에 있는 수종(수목과 관목)을 전수 조사하여 국립수목원에서 발간한 국가표준식물목록 자생식물(2020)을 참고하여 전체 수종에 대한 향토식물을 구분하고 다음의 토착(향토)식물 평가기준을 참고하여 평가함

<부표 13> 토착(향토)식물 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	토착종의 사용이 제한적이고 토착종 식재 프로그램 없음
2	보통	토착종의 자발적인 사용 및 침입종이 인정
3	양호	토착종의 사용이 권장되고 침입종을 인식하고 사용을 권장하지 않음
4	최적	토착종이 널리 사용되고 침입종은 가능한 최대한 근절을 위해 사전 예방적으로 관리

라. 지표 : 서식지 기능(가로수만 해당)

(1) 항목 : 야생동물 서식

- 개념(정의) : 가로수 구성에 따른 이동 가능한 야생조류의 서식지 제공 기능
- 조사시기 : 4~6월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 표준 조사구(40m) 내에서 3개소에서 조류상 조사
 - 조사방법 : 선 조사법에 의하여 새벽 해가 뜨기 전 30분부터 시속 4km 이동하면서, 3개소를 1시간 이내에 쌍안경을 이용하여, 야생조류의 울음소리, 나는 모양 등으로 종을 식별하여 기록
 - 조사내용 : 관찰조류 중
- 평가방법 : ‘야생조류 서식’의 평가는 3개 표준 조사구 내에서 조사한 ‘종수’ 평가 항목 데이터를 바탕으로, 다음의 ‘야생조류 관찰 종수’ 평가기준을 참고하여 평가

<부표 14> 야생조류 관찰 종수 평가 기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	관찰 야생조류 없음
2	보통	관찰 야생조류 1~2종(박새, 멧비둘기, 붉은머리오목눈이 등) 확인
3	양호	관찰 야생조류 3~4종(박새, 멧비둘기, 붉은머리오목눈이, 직박구리 등) 확인
4	최적	관찰 야생조류 5종 이상 확인

(2) 항목 : 주변 녹지와 연결성

- 개념(정의) : 가로수는 도시의 그린인프라의 핵심요소로서 연결 가능한 주변 녹지와 의 거리를 기준으로 주변 녹지와 연결성을 평가하는 지표
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 가로수 표준조사지
 - 조사방법 : 상용망 지도를 적용한 표준조사지와 주변 녹지와 거리 파악
 - 조사내용 : 표준조사지와 녹지의 가장자리 간 최단 거리(km 단위) 조사
 - * 녹지: 상용망 지도상 면적 기준 크기 0.5ha 이상의 산림이나 녹지
- 평가방법 : 상용망 지도 및 공개 지리정보체계(QGIS 등)에서 대상지와 최근접 녹지 간의 거리 조사하여 평가함

<부표 15> 주변 녹지와 연결성 구분 및 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	5km 이내 녹지 없는 경우
2	보통	2km 이내 녹지 없는 경우
3	양호	1~2km 이내 연결 가능
4	최적	1km 이내 연결 가능

* 뉴질랜드 연구 결과에서 녹지 중심과 1km 이상 떨어질 경우, 산림성 조류에 의한 1% 이하의 종자산 포가 나타나는 것으로 나타남. 국내 녹지 연결성 특성상, 1.5km 이내를 연결로 가정했을 경우, 연결이 되지만(2006년 서울시 사례), 다양한 지역적 특성으로 인하여, 1~2km를 양호로 두고 평가체계 구축함

③ 부문: 사회 경제적 편익

가. 지표 : 조절기능

(1) 항목 : 배수

- 개념(정의) : 도시숲의 수목은 빗물을 걸러내고 침투시켜 물의 양을 정화하고 조절
- 조사시기 : 7월 말~8월 중순
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에서 미세조사구(1m²)의 중심에서 토양 투수성 측정(가로수) 도로 한쪽 면의 40m 길이 에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
 - 조사방법 : 눈금자
 - 조사내용 : 토양 투수성 측정
- 평가방법 : 미세조사구(1m²)의 중심에서 약 30cm 깊이의 구덩이를 파고, 물을 채운 후 물이 완전히 배수되도록 함. 물이 완전히 배수되면 구덩이에 물을 다시 채우고 구덩이의 물 깊이를 측정하고 시간을 기록함. 15분 후 물의 깊이를 기록하고 배수 속도를 시간당 cm로 계산하고(Bassuk 2003) 다음의 토양배수 평가기준에 따라 평가

<부표 16> 토양 투수성 구분

구분	평가기준
배수 불량 (<10cm/h)	완전히 젖었을 때 침투 속도가 매우 느린 토양, 주로 팽창 가능성이 높은 점토 토양, 영구 지하수가 높은 토양, 표면 또는 표면 근처에 점토반층(daypan) 또는 점토층이 있는 토양, 그리고 거의 불투수성 물질 위의 얇은 토양. 수분 전달 속도가 매우 느림
배수 양호 (10~20cm/h)	토양이 완전히 젖었을 때 중간 정도의 침투율을 가지며, 주로 적당히 깊고 거친 질감으로 배수가 잘되는 토양임. 이 토양은 적당한 수분 투수성을 보임
배수 매우 양호 (>20cm/h)	토양은 완전히 젖어도 침투율이 높으며 주로 모래나 자갈이 많고 배수가 잘되며 이러한 토양은 수분 투과성이 높아 유출 가능성이 낮음

<부표 17> 토양 배수 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	배수 매우 불량(시간당 표면의 물 > 50% 존재)
2	보통	배수 불량(< 10m/h)
3	양호	배수 양호(10~20cm/h)
4	최적	배수 매우 양호(< 20cm/h)

주: 단, 토양이 특히 건조하거나 이미 물에 잠긴 경우가 아닌 정상적인 기상 조건에서 테스트 수행

나. 지표 : 토양보존기능

(1) 항목 : 토양다짐

- 개념(정의) : 토양의 보존 및 유지 정도는 식물 생장을 지원하는 토양의 능력으로, 토양 다짐은 도시에서 수목 쇠퇴의 주요 원인
- 조사시기 : 7월 말~8월 중순
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에서 9개의 미세조사구(1m²)의 중심에서 토양다짐 측정(가로수) 도로 한쪽 면의 40m 길이에 방형구 형태(40m× 열)로 전수
 - 조사방법 : 토양경도계(Pocket Penetrometer)
 - 조사내용 : 토양 다짐도 측정
- 평가방법 : 미세플롯(1m²)의 중심에서 토양의 치밀한 정도에 대해 토양경도계 또는 지압법으로 조사. 토양경도계를 이용한 토양다짐 평균값을 다음의 4단계로 평가

<부표 18> 토양다짐 평가기준

등급	구분	평가기준			
		측정값(mm)	환산값(kg/1m ²)	지압법	토양입자의 결합력
1	낮음	> 16	> 3.6	힘을 가해도 지흔이 거의 생기지 않음	매우 단단하여 상당한 힘을 가해야 부서짐
2	보통	13~16	2.1~3.5	단단하여 지흔이 겨우 생김	단단하여 힘을 가해야 부서짐
3	양호	9~12	1.1~2.0	힘을 가하면 저항이 있어 지흔이 생김	비교적 단단해 손으로 눌러야 부서짐
4	최적	≤ 8	≤ 1.0	누르면 저항을 거의 느끼지 못하거나 약간 의 저항을 느끼나 잘 들어감	토양 입자의 결합력이 거의 없거나, 매우 연하여 약간의 외력에도 잘 부서짐

(2) 항목 : 토양색(도시숲)

- 개념(정의) : 유기물과 산화철의 양과 상태, 기타 물리적 과정을 알려주는 지표
- 조사시기 : 7월 말~8월 중순
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에서 9개의 미세조사구(1m²)의 중심에서 토양다짐 측정
 - 조사방법 : Munsell 토색칩(Munsell 1975)을 이용하여 육안조사
 - 조사내용 : 토양색 측정
- 평가방법 : 토양색의 평가는 고정표본점(0.04ha, 반경 11.3m)의 4개의 하위플롯(반경 5m)에 위치한 9개의 식생플롯(1m²)의 중심에서 측정함. Munsell 토색칩(Munsell 1975)을 이용하여 토양색을 구분하고, 다음의 토양색 평가기준을 참고하여 평가함. 주의사항은 각 샘플 위치에 대한 결과를 야장에 기록하고, 결과가 매우 가변적일 경우 샘플 위치 및 결과를 야장에 기록함

<부표 19> 토양색 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	특이산성도 : 산성 황산염 토양이 의심되는 토양에서 밝고 옅은 노란색 패치가 나타나는 것은 pH 값이 매우 낮은 토양과 황산이 잠재적으로 생성될 수 있음을 나타냄
2	보통	회색 또는 청회색 : 토양의 회색 또는 청회색은 과습하고 배수가 불량한 토양으로 주기적 과습/건조 반복으로 인하여 반점(mottle)이 나타나고 심각한 침수 문제를 나타냄. 이러한 토양을 도시 토지 이용을 위해 사용하려면 대규모 기반 시설 투자가 필요함
3	양호	황회색 : 황회색 토양은 특히 배수 불량인 가장 대표적인 징후인 반점(mottle)과 결합되는 경우 일반적으로 약간의 침수 문제가 나타날 수 있음. 계절적일 수 있지만 이러한 배수 조건은 광범위한 도시환경에서 토양의 사용에 영향을 미칠 수 있음. 배수 조건은 건물과 도로의 기초, 폐수 처리 계획, 식물 생장 및 교통에 영향을 미칠 수 있음
4	최적	붉은색 : 토양이 완전히 붉고 반점(mottle)이 없는 경우 일반적으로 배수가 잘되는 토양을 나타냄. 좋은 배수는 다양한 목적을 위해 도시 토양에서 가치가 있음

다. 지표 : 휴양기능

(1) 항목 : 레크리에이션

- 개념(정의) : 도시숲은 즐거운 환경과 다양한 레크리에이션 기회를 제공하여 도시 전체 또는 지자체의 건강과 웰빙 지원
- 조사시기 : 연중 측정 가능하나, 6~9월 용이
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲, 가로수 단위에서 수행
 - 조사방법 : 설계도면을 참고하여 육안조사
 - 조사내용 : 레크리에이션을 위한 공간, 시설, 프로그램 등 측정
- 평가방법 : ‘도시숲 등 관리지표’의 레크리에이션 평가는 도시숲의 단위에서 설계도면 및 프로그램을 참고하여 다음의 레크리에이션 평가기준을 참고하여 평가함

<부표 20> 레크리에이션 평가기준

등급	구분	평가기준
1	보통	능동적·수동적 레크리에이션 공간이 부족하고, 프로그램 없음
2	양호	벤치 등 휴식공간, 자전거 도로, 잔디, 장식용 정원, 놀이시설, 체육시설과 같은 능동적·수동적 레크리에이션을 위한 공간뿐만 아니라 시민참여를 위한 계절적 레크리에이션 프로그램 존재
3	최적	"양호" 등급 이상으로 다양한 레크리에이션 프로그램과 유니버설 고려한 프로그램 존재

(2) 항목 : 경관조성

- 개념(정의) : 도시숲에 대한 심리적 안정감 및 시각적인 풍요로움 평가지표
- 조사시기 : 연중 측정 가능하나, 6~9월 용이
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲, 가로수 단위에서 수행
 - 조사방법 : 설계도면을 참고하여 육안조사
 - 조사내용 : 경관조성 측정
- 평가방법 : ‘도시숲 등 관리지표’의 경관조성 평가는 도시숲의 단위에서 설계도면을 참고하여 경관의 구성요소(조망점, 분수대, 밀원수종식재, 야생화원, 수변공간, 자연 학습공간 등)를 구분하고, 다음의 경관조성 평가기준을 참고하여 평가함

<부표 21> 경관조성 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	1종류 풍경 유형
2	보통	2종류 풍경 유형 간의 변화와 대비
3	양호	3종류 풍경 유형 간의 변화와 대비
4	최적	>4종류 풍경 유형 간의 변화와 대비

라. 지표 : 생산성기능

(1) 항목 : 캐노피 커버

- 개념(정의) : 캐노피 커버(canopy cover)는 도시숲의 공간 분포를 간단히 측정하는 관리지표로서 수관의 수직 투영에 의해 덮이는 지면의 비율임
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 캐노피 커버 데이터는 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에서 횡단면을 따라 4m 간격으로 어안렌즈가 장착된 카메라를 사용하여 반구형 사진을 5회 촬영
 - 조사방법 : 반구형(어안렌즈) 사진을 이용한 디지털 분석
 - 조사내용 : 캐노피 커버 측정
- 평가방법 : 반구형사진이미지는 GLAMA(Gap Light Analysis Mobile Application) 소프트웨어 프로그램을 이용하여 캐노피 커버를 분석하고, 이들 평균값을 다음의 캐노피 커버 평가기준을 참고하여 평가함

<부표 22> 캐노피 커버 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	0~20% 미만의 캐노피 커버에 해당
2	보통	20~30% 미만의 캐노피 커버에 해당
3	양호	30~40% 미만의 캐노피 커버에 해당
4	최적	>40%의 캐노피 커버에 해당

마. 지표 : 시민건강기능

(1) 항목 : 꽃가루 알레르기 유발정도

- 개념(정의) : 도시숲 공간의 알레르기 잠재성을 추정하는 지표
- 조사시기 : 6~9월
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 꽃가루 알레르기 유발정도는 표준 조사구(0.04ha 또는 0.01ha) 내에서 3개의 표준 조사구 내에서 수목(교목, 관목) 전수조사
 - 조사방법 : 육안조사
 - 조사내용 : 꽃가루 알레르기 유발 수종 측정
- 평가방법 : ‘도시숲 등 관리지표’의 꽃가루 알레르기 유발정도 평가는 조사구 내에서 조사한 ‘종다양성’ 평가항목 데이터를 바탕으로, 한국에서 꽃가루 알레르기를 일으키는 식물(홍천수 2015), 나를 괴롭히는 꽃 꽃가루 알레르기 도감(서정혁(이빈후과전문 의), 2021/국립세종수목원 감수) 을 참고하여 꽃가루 알레르기 유발 가능성 수종을 구분하고 다음의 평가기준을 참고하여 평가함

<부표 23> 꽃가루 알레르기 유발정도 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	알레르겐으로서의 높은 가능성이 있는 알레르기 유발종 10종 이상
2	보통	알레르겐으로서의 높은 가능성이 있는 알레르기 유발종 7~9종 미만
3	양호	알레르겐으로서의 높은 가능성이 있는 알레르기 유발종 3~6종 미만
4	최적	알레르겐으로서의 높은 가능성이 있는 알레르기 유발종 3종 미만

④ 부문: 유지관리

가. 지표 : 지역사회협력

(1) 항목 : 관리계획

- 개념(정의) : 지자체 도시숲의 문제 및 전망과 관련하여 지자체의 각 부처 및 기관의 협력 정도를 나타내는 지표
- 조사시기 : 연중실시 가능
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲 단위에서 수행
 - 조사방법 : 지자체 「도시숲등의 조성·관리계획」 참고
 - 조사내용 : 관리계획

<부표 24> 시 전체 관리계획 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	계획 없음
2	보통	기존 계획의 범위 및 구현이 제한됨
3	양호	정부 차원의 계획, 수용 및 구현 최적
4	최적	시민 - 정부 - 기업 자원 관리계획, 수락 및 구현

(2) 항목 : 예산확보

- 개념(정의) : 관리계획을 실행하기 위한 적절한 예산을 확보하고 유지
- 조사시기 : 연중실시 가능
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲 단위에서 수행
 - 조사방법 : 지자체 「도시숲등의 조성·관리계획」 참고
 - 조사내용 : 예산지원계획

<부표 25> 시 전체 자금지원 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	계획 없음
2	보통	기존 계획의 범위 및 구현이 제한됨
3	양호	정부 차원의 계획, 수용 및 구현 최적
4	최적	시민 - 정부 - 기업 자원 관리계획, 수락 및 구현

(3) 항목 : 시민참여 도시녹화

- 개념(정의) : 도시숲 유지·관리에 시민이 참여하여 지자체 또는 NGO와 협력함으로써 도시숲의 지속가능성을 나타내는 관리지표
- 조사시기 : 연중실시 가능
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲 단위에서 수행
 - 조사방법 : 지자체 「도시숲등의 조성·관리계획」 참고
 - 조사내용 : 관리인력

<부표 26> 관리인력 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	시민 참여 또는 이웃 활동이 거의 없음
2	보통	일부 이웃 그룹은 도시숲 목표를 발전시키는 데 참여했지만 지자체 또는 NGO와의 전반적인 조정이나 관리가 거의 없음
3	양호	지자체 또는 NGO가 조정하거나 주도하는 활동을 통해 지역 전체에 참여하는 많은 활동적인 이웃 그룹이 존재
4	최적	지자체 또는 NGO의 적극적인 지원 및 조정 노력으로 도시숲 관리에 참여하는 활동적인 이웃 그룹 간의 광범위한 시민 참여 및 협력

(4) 항목 : 지역협력

- 개념(정의) : 지자체 내 또는 지자체 간 도시숲 계획에 대한 협력 및 상호작용을 나타내는 지표
- 조사시기 : 연중실시 가능
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲 단위에서 수행
 - 조사방법 : 지자체 「도시숲등의 조성·관리계획」 참고
 - 조사내용 : 지역협력

<부표 27> 지역협력 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	지자체 내 또는 지자체 간 도시숲 계획에 대한 협력 및 상호작용이 없음
2	보통	이웃 지자체 및 지역 기관은 도시숲 관련 유사 정책 및 계획 일부 공유
3	양호	지자체 및 지역 기관 간의 일부 도시숲 계획 및 협력
4	최적	지역 도시숲 전략의 개발 및 구현을 초래하는 광범위한 지역 협력

나. 지표 : 수목관리

(1) 항목 : 기존수목관리

- 개념(정의) : 도시숲의 지속가능한 생태계서비스 기능을 보장하기 위해 기존의 수목 관리계획을 나타내는 관리지표
- 조사시기 : 연중실시 가능
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲 단위에서 수행
 - 조사방법 : 지자체 「도시숲등의 조성·관리계획」 참고
 - 조사내용 : 수목관리

<부표 28 > 기존수목관리 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	정책 수단이 없거나 정책이 시행되지 않음
2	보통	수목보존조례 제정·시행
3	양호	모든 프로젝트에 필요한 수목 보존 계획 존재·시행
4	최적	보전 및 개발을 위한 통합 계획 프로그램 존재·시행

(2) 항목 : 자연재해방지관리

- 개념(정의) : 적절하게 배치되고 관리되는 수목은 바람을 편향시켜 강풍·태풍으로부터 구조물 및 인명 피해를 줄이는 등의 도시숲의 자연재해방지를 나타내는 관리지표
- 조사시기 : 연중실시 가능
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲 단위에서 수행
 - 조사방법 : 지자체 「도시숲등의 조성·관리계획」 참고
 - 조사내용 : 자연재해방지관리

<부표 29> 자연재해방지관리 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	대응 계획은 시각적 평가 및 콜아웃 요청을 기반으로 함
2	보통	호출 절차, 역할 및 책임, 수목 위험의 우선순위를 정하고 잔해를 제거하기 위한 기준 마련
3	양호	자연재해 피해 대응을 위한 종합행동계획 수립
4	최적	자연재해 피해에 대한 종합대책을 수립하고 주기적으로 대응훈련 실시

(3) 항목 : 재활용(목질파쇄물 관리)

- 개념(정의) : 쓰러진 나무, 나뭇가지 및 낙엽들처럼 나무에서 파생되어 생긴 목질파쇄물의 재사용 및 재활용을 통해 도시숲 목질파쇄물을 전환하는 폐쇄형 시스템의 가능성을 나타내는 관리지표
- 조사시기 : 연중실시 가능
- 조사방법
 - 표준지 설치 : 도시숲 단위에서 수행
 - 조사방법 : 지자체 「도시숲등의 조성·관리계획」 참고
 - 조사내용 : 목질파쇄물의 재활용 관리

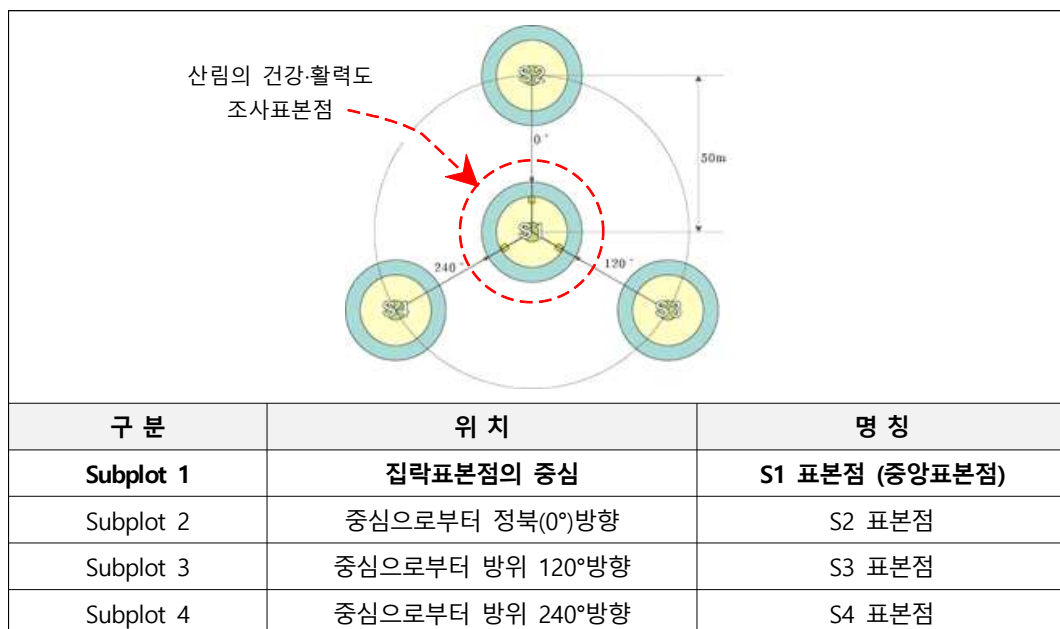
<부표 30> 재활용 평가기준

등급	구분	평가기준
1	낮음	목질파쇄물의 활용계획이 없거나, 재활용·재사용이 거의 없이 매립처리
2	보통	대부분의 목질파쇄물은 매립되지 않지만 칩이나 뿌리 덮개로의 제한적인 재활용
3	양호	대부분의 목질파쇄물은 칩이나 뿌리 덮개 이외의 에너지, 제품 및 기타 목적으로 재사용 또는 재활용
4	최적	모든 목질파쇄물을 가능한 한 최대한 활용하기 위한 포괄적인 계획 및 프로세스

4. 산림의 건강성 평가 지표(사례)

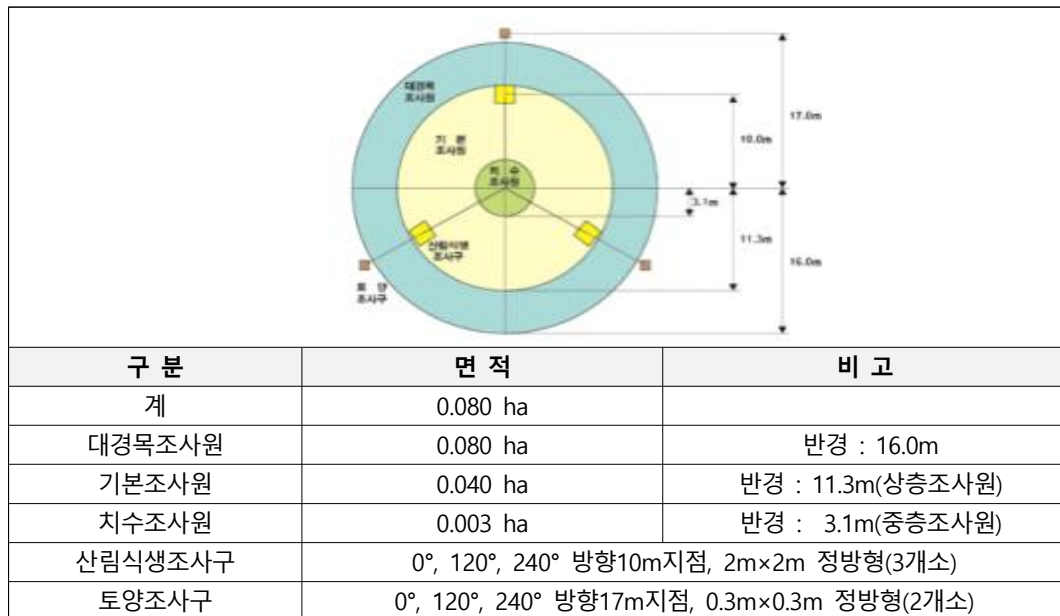
가. 조사체계 및 현황

- 산림의 건강·활력도 조사는 국가산림자원조사(NFI) 사업과 통합 운영하고 있으며 국가산림자원조사 고정조사표본점 4,000개소의 25%인 1,000개소를 공유
- 산림의 건강·활력도 조사표본점은 국가산림자원조사의 집락표본점(4개 부표본점) 중 중심에 위치하는 중앙표본점(S1)만을 대상으로 하며 수목, 식생, 토양, 대기 건강 등 4개 대부분의 조사항목을 5년 주기로 모니터링 조사(제1차 2011~2015, 제2차 2016~2020년 등)하는 체계



<부그림 1> 국가산림자원조사 집락표본점 중 산림의 건강·활력도 조사표본점

- 고정표본점 조사환경 보전 및 효율적인 조사공정 운영을 위하여 토양조사 주기 및 지의류 조사 적용 시기를 각각 10년 주기로 조정하여 지의류 조사는 3차 산림의 건강·활력도 모니터링 조사(2021~2025년)부터 적용함
- 그러나 산림의 건강·활력도 조사표본점의 치수조사구(0.003ha)와 식생조사구(0.0012ha)의 범위를 기본조사구(0.04ha) 전역으로 확대할 계획임



<부그림 2> 산림의 건강·활력도 조사표본점의 구조

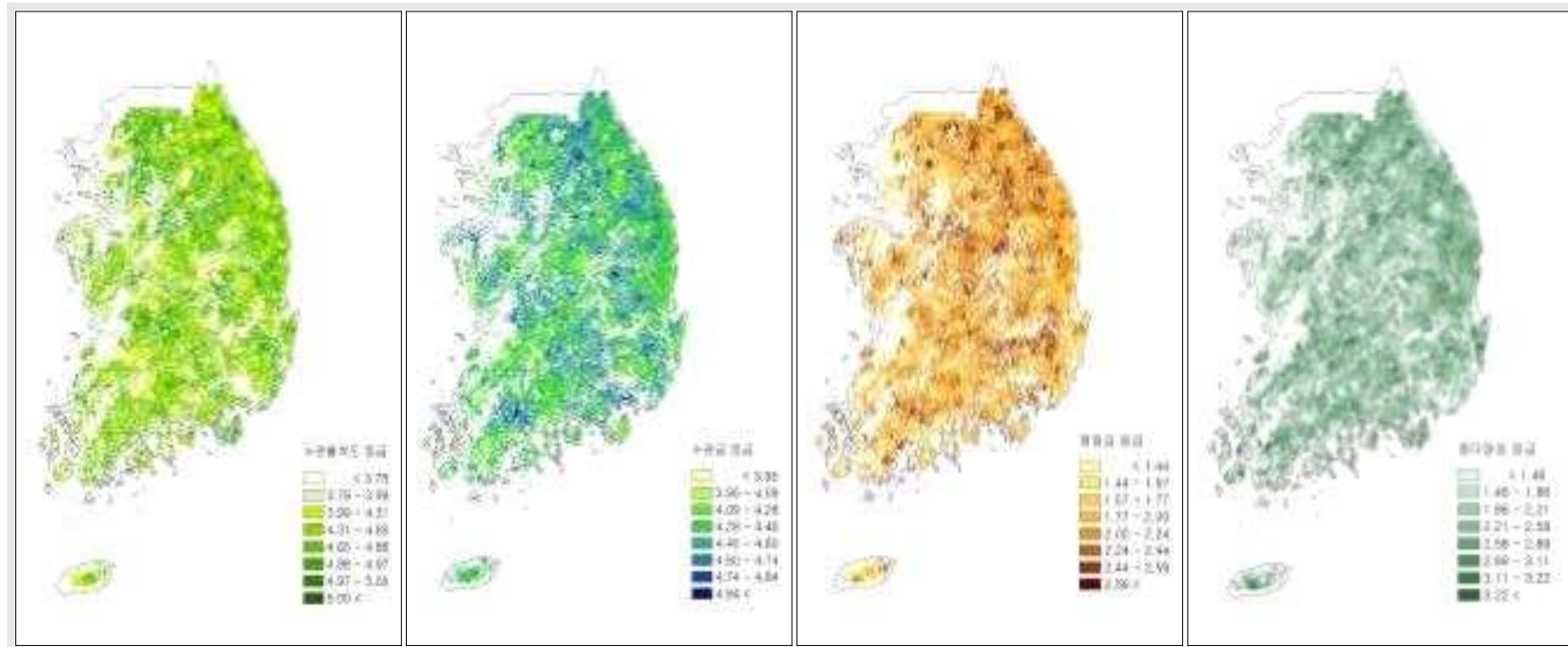
나. 산림건강성 평가기법 적용

- 수목건강, 식생건강, 토양건강 등 3개 부문 지수와 12개 평가지표의 개선·표준화 및 상관 분석을 통하여 수관활력도, 수관급, 형질급(수목건강), 종다양성(식생건강), 유효 토심, 유기물함량, 토양산도(토양건강) 등 7개 평가항목으로 평가함
- 조사지표간, 조사항목 간 상대적 중요도 우위를 평가하기 위한 전문가 대상 계층분석적 의사결정(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 적용하고 쌍대비교를 통하여 7개 평가지표의 가중치를 도출하여 적용
- 또한 평가지표 원자료의 통계분석 및 100분위수 적용을 통하여 등급화함
- 각 평가지표의 가중치와 등급화를 이용하여 다음과 같이“산림건강지수 산출식” 적용

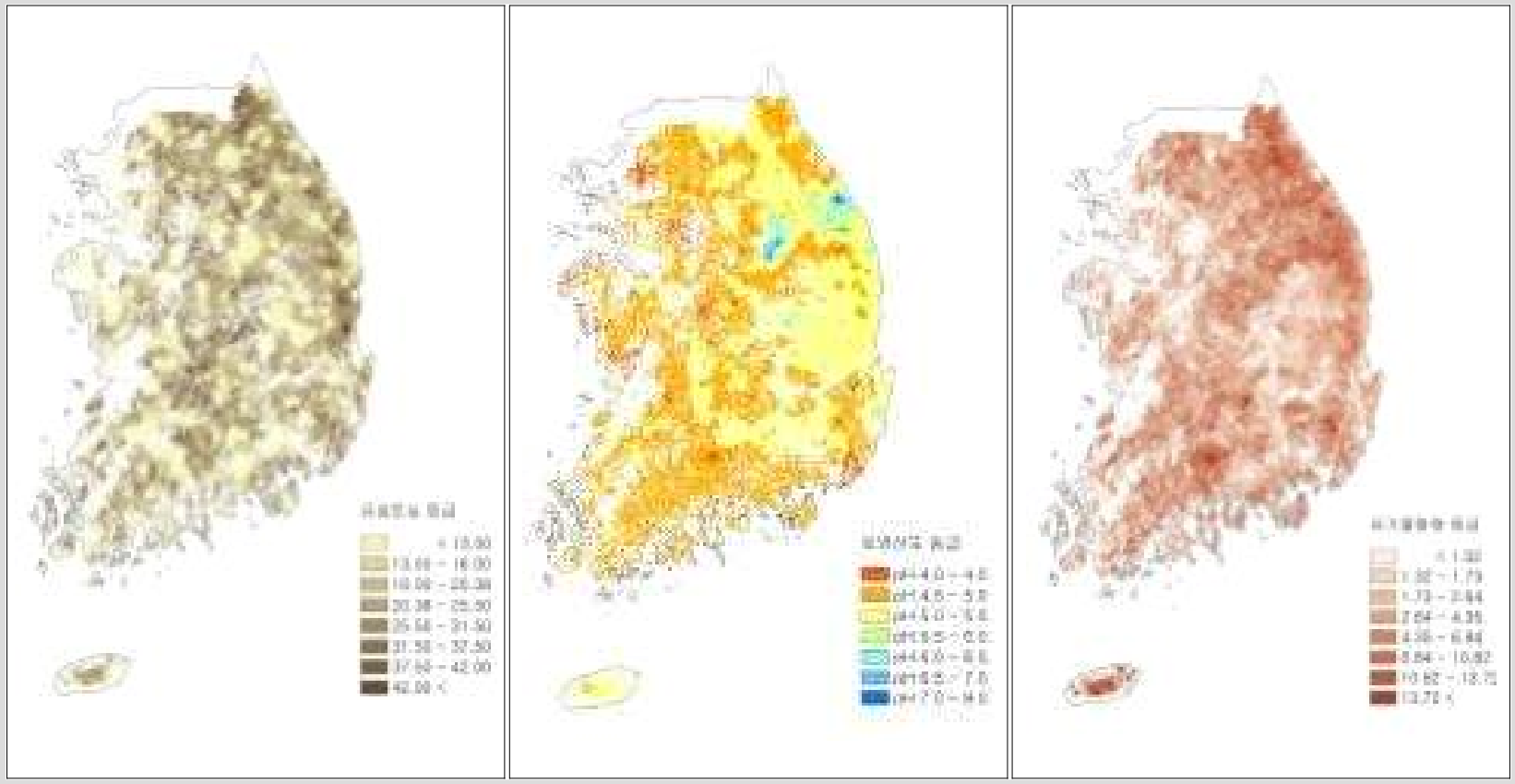
$$\text{산림건강지수} = \sum_{i=1}^n W_i \times I_i \times \frac{100}{8}$$

(W_i : i번째 평가지표의 복합가중치, I_i : i번째 평가지표의 등급)

- 산림건강지수에 따라 전국 산림건강성 등급 비율을 분석한 결과, 우리나라 산림은 매우건강 9.2%, 건강 72.0%, 쇠퇴 17.2%, 매우 쇠퇴 1.5%로 나타남
- 또한 산림건강성 지수는 침엽수림보다는 활엽수림이 높았으며 5, 6등급에서 상대적으로 높고 산림생태권역별로는 중부산야권역, 남한강 하류 생태지역이 높음
- 수목건강, 식생건강, 토양건강 등 3개 건강 부문 조사가 완료된 전국 1,000개소(2011~2015년)의 산림건강지수를 기반으로 수관활력도, 토양산도, 종다양성 등 7개 지표별 건강등급지도와 종합 산림건강등급지도는 다음과 같음



<부그림 3> 수목건강, 식생건강 진단 및 평가 지표별 등급 지도



<부그림 4> 토양건강 진단 및 평가 지표별 등급지도

Abstract**Study on the development of national green indicators using satellite images****Youngshil Park, Jieun Jung, Minhee Yoon**

The amount of greenhouse gas absorption in natural ecosystems including forests has been decreasing since 2000, and the need to preserve and restore carbon sinks, and discover new carbon sinks is increasing. This study focuses on carbon sinks as a nature-based solution that can contribute to carbon absorption as well as biodiversity restoration to cope with the climate crisis, and aims to develop national green indicators that can consistently measure and manage the entire territory at the national level. In particular, basic research was conducted to establish concepts and propose a measurement methodology.

First, as a result of reviewing domestic and overseas policy trends, including climate change and SDGs, and legal and institutional classification standards, the scope of national green was specified as follows. 'Green', which shows the goal-oriented nature of statistics, covers all spaces where carbon absorption is expected. These spaces include forests, urban forests, grasslands, wetlands, and oceans (marine forests, etc.). Farmland is also a potential target for inclusion. Urban forests and oceans have recently received more attention as new carbon sinks. Considering the inclusion of the ocean, the term 'national territory' was chosen instead of the term 'land', which emphasizes terrestrial ecosystems. This is because the national territory is a place where sovereignty exerts influence and comprises territorial land, territorial sea and territorial sky.

As a result of reviewing domestic and overseas statistics that can measure national green space, some problems were found. First, there was a difference between classification systems (e.g. cadastral statistics classification vs. land cover classification). Second, there was a difference between spatial statistics derived from the classification system and independently measured spatial statistics (e.g. farmland in cadastral statistics vs. farmland in the Agricultural Area Survey). These issues arise from differences in the legal basis of each statistics and measurement methods of each statistical production agency. Therefore, a data governance approach is needed to resolve consistency issues between statistics. However, it is expected that the gap in discussions can be narrowed as accumulated data such as satellite images that anyone can access is increasing.

Accordingly, this study proposed a theory of the standard vegetation index using satellite images as a methodology to measure national green. The standard vegetation index is widely used in research on detection of vegetation that absorbs carbon through photosynthesis, and recently, the scope of its use is expanding by modifying the standard vegetation index through integration with artificial intelligence technology. In follow-up research, trial calculations will be conducted by applying this method and detailed service plans will be made. It is expected that these national green indicators will be timely used when monitoring national territory from an ecological perspective and establishing climate crisis response policies.

Key words: national green, carbon emission, normalized difference vegetation index, climate crisis, nature-based solution

연구진

- 박영실 (통계청 통계개발원 정책통계연구팀 사무관)
- 정지은 (통계청 통계개발원 정책통계연구팀 주무관)
- 윤민희 (통계청 통계개발원 정책통계연구팀 주무관)

* 연구진의 소속 및 직급은 연구과제 완료 시 기준임을 알려드립니다.

연구보고서 2023-15

위성영상을 활용한 국토그린지표 개발 기초연구

인	쇄	2024년 4월
발	행	2024년 4월
발	행	인 박상영
발	행	처 통계청 통계개발원
		35220 대전광역시 서구 한밭대로 713
		TEL.(042)366-7100 Fax.(042)366-7123
홈페이지		http://sri.kostat.go.kr
ISSN(Online)		2733-4120





통계청
통계개발원