

연구보고서(최종)

NIE-A-2022-07

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구('22)

A Study on the Evaluation and
Awareness of Local Ecological Value

NATIONAL
INSTITUTE OF ECOLOGY

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구

A Study on the Evaluation and Awareness of Local Ecological Value

연구책임자 권혁수 생태계서비스팀 선임연구원

연구참여자(내부) 이태호 생태계서비스팀 전임연구원

정필모 생태계서비스팀 연구원

이주은 생태계서비스팀 연구원

정다예 생태계서비스팀 연구원

천금성 생태계서비스팀 연구원

천광일 생태계서비스팀 선임연구원

이재림 생태계서비스팀 전임연구원

김정인 생태계서비스팀 연구원

문희진 생태계서비스팀 연구원

최다정 생태계서비스팀 연구원

김고은 생태계서비스팀 연구원

주우영 생태계서비스팀 팀장

서창완 생태평가연구실 실장

본 연구진은 연구윤리를 준수하였음을 서약합니다.

전 세계적으로 도시화는 급격히 진행되어 가고 있으며, 도시에 사는 사람들은 삶의 질을 높이는 것과 함께 지속 가능한 도시 환경을 만들기를 기대하고 있다. 이를 실행하기 위해서는 도시 내 사회적 환경, 생태적 환경의 균형과 상호의존적 관계를 이해하는 것이 매우 중요하다. 이를 통해 좀 더 상충작용(trade-off)을 줄이고 서로 시너지(Synergy)를 늘리는 방향으로 도시 공간계획을 수립해 나가는 것이 필요하다.

본 연구는 2018년부터 지자체 단위로 생태계서비스의 생물리적 평가를 비롯하여, 시민의 인식을 증진 시키고 시민참여를 확대하는 다양한 연구를 수행하였다. 본 보고서는 그간 진행하였던 연구의 함의를 논의하고 이에 따른 방향들을 제시하고자 한다.

첫째, 수도권 지역의 생태계 기능과 혜택에 대한 12개 지표들에 대한 잠재적 물리량을 평가하였다. 산림과 녹지의 기능을 중심으로 하는 수량공급, 대기조절, 탄소흡수·저장, 침식조절, 도시열섬, 서식처의 질, 경관가치는 상관관계를 보인 반면에 거주인구가 많고, 오염정화 대상물질이 많은 도시를 중심으로 생태관광과 수질정화 기능이 상관관계를 보였다. 이러한 지표의 특성들을 통해 상충작용(trade-off)과 시너지 관계를 파악하고, 유사한 특성들을 보이는 지역을 4개 군집으로 나누었다.

둘째, 생태계서비스는 생태계 가치를 평가하는 것으로, 이를 인식하는 만큼 가치가 발생하거나 확대된다. 이를 위해 시민참여 평가틀과 교육 콘텐츠를 개발하여 지역의 생태자산을 발굴하거나 시민들의 생태계서비스 인식 증진에 기여해 왔다.

셋째, 생태계서비스는 자연이 인간에게 주는 혜택으로 “자연이 주는 혜택”만큼이나 “인간에게”라는 수요의 관점이 필요하다. 최근 급증하는 생태계서비스 수요 및 도시 생태계에 대한 연구를 통해 향후 생태계서비스 공급-수요 평가체계를 수립하였다.

생태계서비스 초기 연구는 생태계의 생·물리적 평가를 통해 생태계의 기능과 잠재적 서비스 공급량을 주로 평가하는 연구가 진행되었다. 해당 연구는 다양한 자연 생태계 연구에서 구축된 다양한 자료와 모형들을 통하여 일정 수준으로 평가되었다. 이렇게 평가된 생태계서비스의 잠재적 공급량이 어떤 경로를 통해 “언제”, “누구에게”, “어떻게”, “충분히 전달되는지”를 파악하는 것이 필요하다. 이것은 인구(수혜자)가 많이 모여 사는 도시생태계로의 공간관리에 적용하는 것이 필요하다.

지금까지의 연구가 지역의 생태계서비스 잠재적 공급량을 평가하고 시민의 생태계서비스에 대한 인식과 수요를 파악하는 틀을 만들어 인식을 증진하는 연구를 하였다면, 이러한 기존 연구성과들을 통하여 도시생태계 및 도시공간에서 생태계서비스의 공급과 수요를 비교하여, 서비스가 불충분하게 제공되는 지역들이나 취약한 지역들을 파악하고 이를 개선하기 위한 다양한 그린인프라 전략이나 자연자원 총량관리와 같은 다양한 정책적 수단을 개발하여야 할 것이다.



The world is experiencing rapid urbanization, and people living in cities expect to create a sustainable urban environment while improving the quality of life. In order to make such expectations a reality, it is very important to understand the balance between and interdependence of the social and ecological environments within the city. It is necessary to establish urban spatial planning in a way that minimizes trade-offs and maximizes synergy based on such an understanding.

Various studies have been conducted since 2018 to increase citizen awareness and engagement, including biophysical evaluations of ecosystem services at the local government level. The purposes of this report are to discuss the implications of the research conducted so far and to suggest directions that we should pursue according to the results of the research.

First, potential physical quantities for 12 indicators demonstrating the functions and benefits of the metropolitan area's ecosystem were assessed. In this area, quantity supply, atmospheric control, carbon absorption/storage, erosion control, urban heat island, habitat quality, and landscape value centered on the functions of forests and green spaces have correlations, while ecotourism and water purification functions centered on cities with a large population and many pollutants to be cleaned up have correlations. The characteristics of these indicators enabled us to identify trade-offs and synergistic relationships between them and to divide the regions showing similar characteristics into four clusters.

Second, since ecosystem service is to evaluate the value of an ecosystem, the value can be created or expanded as much as the value is recognized. In this regard, we have developed an evaluation framework for citizen engagement and educational content to explore ecological assets in the region or contribute to raising citizens' awareness of ecosystem services.

Third, ecosystem service refers to the benefits that ecosystems provide to humans. As a result, in addition to the "benefits that the ecosystem provides", the perspective of "demand," like "to humans," is required. Recent research on the rapidly increasing demand for ecosystem services and urban ecosystems has allowed us to develop a supply and demand evaluation system for future ecosystem services.

Early research on ecosystem services mainly focused on the evaluation of ecosystem functions and potential service supply through biophysical evaluations of ecosystems. The evaluation was conducted at a certain level based on various data and models accumulated through various studies on natural ecosystems. It is necessary to understand "when," "to whom," and "how" the potential supply of ecosystem services evaluated in such a way has been "sufficiently delivered" through which channel. And it should also be applied to space management in an urban ecosystem where a large population (beneficiaries) lives together.

If the research conducted so far has evaluated the potential supply of ecosystem services in a region and created a framework to understand citizens' awareness and demand for ecosystem services, it is time to develop various policy measures, such as various green infrastructure strategies or total natural resources conservation, to identify areas where services are insufficiently provided or vulnerable areas and to improve them by comparing the supply and demand of ecosystem services in the urban ecosystem and urban spaces based on the existing research results.

목차 CONTENTS

I 서론

1. 도시와 생물다양성	3
2. 생태계서비스와 공간계획	4
3. 생태계서비스 인지와 인식, 수요	6
4. 생태계서비스 수요	7

II 생태계서비스 평가지도 통합평가

1. 생태계서비스 간 상충과 동반상승	11
가. 연구 배경	11
나. 연구 방법	12
다. 연구 결과 및 고찰	16
라. 결론	20
2. 생태계서비스 지표 및 지역 유형화	21
가. 연구 배경	21
나. 생태계서비스 주성분 분석	24
다. 생태계서비스 군집분석	26
라. 소결	30
3. 생태계서비스 변화요인 및 추세 분석	31
가. 연구 배경	31
나. 추세분석 및 변화요인 관련 주요 연구	32
다. 연구 사업을 통한 선행 연구(Kim and Kwon, 2021)	35
라. 수도권 지역의 생태계서비스 변화 추세 분석	37
마. 소결	39

III 생태계서비스 평가 인식증진방안 연구

1. 연구 개요	43
2. 시민참여 생태계서비스 평가	44
가. 시민참여 생태계서비스 평가 개요	44
나. 유형별 시민참여 생태계서비스평가	47
다. 지역활동가의 생태계서비스 간이평가	49

라. 일반시민(PPGIS)의 생태계서비스 평가	79
마. 모바일 설문조사를 활용한 생태계서비스 평가	87
3. 생태계서비스 시민참여 평가의 Q 방법론 활용	89
가. Q 방법론	89
나. 진술문을 통한 Q 방법론 진행(2016년)	90
다. 지도(Mapping)를 통한 Q 방법론 진행(2016년~2019년)	91
라. 비대면 통한 Q 방법론 진행(2021년)	93
4. 생태계서비스 인식확산 결과	95
가. 대상자별 생태계서비스 교육 현황	95
나. 생태계서비스 인식확산 활동	98
다. 생태계서비스 콘텐츠 개발	101

IV 수요중심 생태계서비스 평가

1. 생태계서비스 수요 분석 체계 연구	113
가. 생태계서비스 공급과 수요, 혜택	113
나. 수요지표의 활용사례	116
다. 생태계서비스 공급지표와 수요지표	122
라. 수요지표 사례 연구(물 공급 서비스)	124
마. 수요지표 활용 및 중장기 연구 계획(안)	127
2. 수요기반 재해조절 생태계서비스 평가 방법 검토 및 지표개발	129
가. 도시 홍수	129
나. 도시 열섬	143
3. 생태계서비스 대국민 인식조사와 수표지표 평가체계 수립 연구	155
가. 연구 배경 및 목적	155
나. 연구 내용 및 방법	156
다. 생태계서비스 수요지표 개발	157
라. 국민 인식 기반 생태계서비스 수요 평가	159
마. 정책 활용 사례	161
바. 정책적 활용방안	165

참고문헌	169
------	-----

표목차 CONTENTS

표 II-1-1 연구지역 공간적 범위	13
표 II-1-2 생태계서비스 평가 12개 지표 입력자료 및 평가 방법	14
표 II-1-3 생태계서비스 평가 결과 및 Z-score	20
표 III-2-1 시민참여 생태계서비스 평가현황	46
표 III-2-2 간이평가와 PPGIS(공공참여평가) 비교	48
표 III-2-3 지역활동가의 소속기관	49
표 III-2-4 생태자산 목록예시(안양)	53
표 III-2-5 생태유형 7가지와 그 예시	54
표 III-2-6 지역별 생태자산의 생태유형 분포	55
표 III-2-7 연도별 개선된 간이평가지 지표 내용	59
표 III-2-8 지역별 생태자산의 요인분석 결과	61
표 III-2-9 생태유형에 따른 규모별 혜택 응답 비율(공급, 조절서비스)	75
표 III-2-10 생태 유형에 따른 규모별 혜택 응답 비율(문화, 지지서비스)	76
표 III-2-11 일반시민 PPGIS 참여자	79
표 III-2-12 변화요인 평가항목	82
표 III-2-13 모바일 평가와 지역활동가 간이평가 비교 항목	88
표 III-4-1 시민 대상 생태계서비스 교육 결과	95
표 III-4-2 공무원 대상 생태계서비스 교육 결과	96
표 III-4-3 전문가 및 교직원 대상 생태계서비스 교육결과	97
표 III-4-4 생태계서비스 콘텐츠 개발목록 - 도서	109
표 III-4-5 생태계서비스 콘텐츠 개발목록 - 동영상	110
표 IV-1-1 수요지표 선정을 위한 선행연구 분석	122
표 IV-1-2 공급지표 대비 수요지표(안)	123
표 IV-2-1 홍수 기여 요인	130
표 IV-2-2 RCP에 따른 미래 강수량 예측값	134
표 IV-2-3 토지피복 및 토양에 따른 CN 생물리적 특성값 할당	135
표 IV-2-4 강우량에 따른 손실 가중치(JRC, 2017)	136
표 IV-2-5 도시 홍수 위기 저감 모형의 InVEST 입력데이터 및 형식	136
표 IV-2-6 RCP 4.5 시나리오에 따른 유출 및 보유량 현황	138
표 IV-2-7 RCP 8.5 시나리오에 따른 유출 및 보유량 현황	139
표 IV-2-8 두 시나리오에 따른 강우 시 물 유출량 모의 결과	139
표 IV-2-9 Biophysical Table 입력값	146
표 IV-2-10 연구지역 내 토지피복별 분포 면적	149
표 IV-3-1 공급지표와 수요지표	157

그림목차 CONTENTS

그림 I -1-1 생물다양성 손실의 도시환경 요인(좌) 생물다양성 손실에 따른 도시와 사람의 영향(우)	3
그림 II -1-1 연구 흐름 및 내용별 상호 연관성	12
그림 II -1-2 Bagplot의 예시	15
그림 II -1-3 상관관계 분석 결과	16
그림 II -1-4 수질조절 평가지도(수질조절/면적)	17
그림 II -1-5 생태관광 평가지도(생태관광/면적)	17
그림 II -1-6 수도권 지역 Bagplot & clustering	18
그림 II -1-7 대분류 피복지도(2021년)	19
그림 II -1-8 도심면적 대비 식생 면적의 비율	19
그림 II -2-1 생태계서비스 유형에 대한 핫스팟과 콜드스팟(좌)과 번들(우)	21
그림 II -2-2 주성분 분석(PCA)의 두 가지 주요 요인에 대한 산점도	22
그림 II -2-3 5개 생태계서비스 번들의 공간분포. 각 유형의 분포와 피복 및 서비스 유형을 나타냄	23
그림 II -2-4 지역 생태계서비스 주성분 분석 결과	24
그림 II -2-5 수도권 주성분 분석 결과	25
그림 II -2-6 경기도 군집분석 결과	26
그림 II -2-7 수도권 군집분석 결과	27
그림 II -2-8 수도권 군집별 번들 그래프	28
그림 II -3-1 생물다양성 손실의 주요 변화요인 체계	31
그림 II -3-2 시나리오에 따른 토지이용 변화 모의 결과	32
그림 II -3-3 수도권 토지피복 변화 추세	37
그림 II -3-4 생태계서비스(수량공급, 탄소저장) 잠재적 공급량에 대한 시계열적 변화율	38
그림 III -1-1 연도별 시민참여 생태계서비스 평가	43
그림 III -2-1 시민참여 생태계서비스 평가 단계별 수행	44
그림 III -2-2 지역활동가의 생태계서비스 평가과정	45
그림 III -2-3 시민참여 생태계서비스 평가유형	47
그림 III -2-4 시민참여 생태계서비스 평가에 참여한 지역	48
그림 III -2-5 생태계서비스 간이평가 시범 교육	50
그림 III -2-6 연도별 시민참여 생태계서비스 평가 참여자의 설문 결과	50
그림 III -2-7 생태계서비스 간이평가를 위한 생태자산 목록 작성	51

그림목차 CONTENTS

그림 III-2-8 간이평가 시 생태자산 선정기준 참고자료('20)	51
그림 III-2-9 생태계서비스 간이평가를 위한 가이드라인('20)	52
그림 III-2-10 생태유형에 따른 18개 지역 생태자산 분포	54
그림 III-2-11 지역별 생태자산 사진	55
그림 III-2-12 지역활동가의 생태계서비스 간이평가지('20 수정)	57
그림 III-2-13 지역활동가의 현장에서 생태계서비스 간이평가하는 모습	58
그림 III-2-14 지역활동가가 체감한 생태계서비스('19 파주)	60
그림 III-2-15 주요 생태계서비스별 생태자산 분포	62
그림 III-2-16 시민참여 평가(지역활동가) 워크숍	63
그림 III-2-17 시민참여 평가 지역활동가의 설문지	63
그림 III-2-18 시민참여 평가 지역활동가의 참여 후기	64
그림 III-2-19 생태계서비스에 따른 간이평가 결과	65
그림 III-2-20 간이평가의 범례에 따른 평가 결과 비율	66
그림 III-2-21 지역별 간이평가 결과의 평균 번들	67
그림 III-2-22 간이평가 결과의 지표별 상관관계 결과(R^2)	68
그림 III-2-23 간이평가 결과의 지표별 상관관계 결과	68
그림 III-2-24 간이평가의 유형별 평균과 표준편차(산림, 수공간, 공원·녹지)	69
그림 III-2-25 간이평가의 유형별 평균과 표준편차(생태문화공간, 연안, 습지, 농경지)	70
그림 III-2-26 생태계서비스에 따른 규모별 혜택	71
그림 III-2-27 지역에 따른 규모별 혜택(위: '17 군산, 아래: '20 용인)	72
그림 III-2-28 지역별 규모별 혜택 평가의 평균 번들	73
그림 III-2-29 규모별 혜택 평가의 지표별 상관관계 결과(R^2)	74
그림 III-2-30 규모별 혜택 평가의 지표별 상관관계 결과	74
그림 III-2-31 규모별 혜택 평가의 유형별 평균과 표준편차(산림, 수공간, 공원·녹지)	77
그림 III-2-32 규모별 혜택 평가의 유형별 평균과 표준편차 (생태문화공간, 연안, 습지, 농경지)	78
그림 III-2-33 일반시민참여(PPGIS) 생태계서비스 평가 홍보 포스터와 참가신청서	79
그림 III-2-34 PPGIS 시범 교육	80
그림 III-2-35 PPGIS 생태자산 선정과 주요 생태자산 지도(경기도 광주)	80
그림 III-2-36 우선순위로 Q시트에 배치한 생태자산 예시	81
그림 III-2-37 변화요인 평가 예시	82

그림 III-2-38 생태자산에 대한 Q평가 결과	83
그림 III-2-39 생태자산에 대한 변화요인 결과	84
그림 III-2-40 조별 결과지도	85
그림 III-2-41 일반시민(PPGIS)의 결과공유	85
그림 III-2-42 생태계서비스와 생태 가치 인식에 대한 설문 결과('19 파주, 연천, 제주)	86
그림 III-2-43 제주도 생태자산 모바일 평가과정	87
그림 III-2-44 지역주민과 외지인의 생태자산 유형별 모바일 평가 응답 비교	88
그림 III-3-1 Q분류	89
그림 III-3-2 국립생태원 Q방법론 진행 현황	90
그림 III-3-3 진술문(A-statement)	91
그림 III-3-4 지도(Mapping)의 Q sheet	92
그림 III-3-5 온라인 설문지 작성 과정	93
그림 III-3-6 비대면 면담 예시	94
그림 III-4-1 2022년 생태관광 디렉터 입문과정 강의	97
그림 III-4-2 2019 한국 생태환경과학협의회 학술발표대회 홍보부스 운영	98
그림 III-4-3 SA-EU Dialogue Facility DEA Workshop 강의내용과 강의하는 모습	98
그림 III-4-4 제7회 생태동아리 탐구대회	99
그림 III-4-5 '자연과 도시' 릴레이 웨비나 3차	99
그림 III-4-6 Google My Map을 이용한 시민참여 평가	100
그림 III-4-7 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 지역별 사례집	101
그림 III-4-8 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 평가지도	102
그림 III-4-9 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 교육자료	103
그림 III-4-10 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 교육자료	104
그림 III-4-11 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 이슈 브리프	104
그림 III-4-12 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 매뉴얼(1)	105
그림 III-4-13 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 매뉴얼(2)	106
그림 III-4-14 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 지역별 자료집	106
그림 III-4-15 생태계서비스 콘텐츠 - 지역별 자료집(1)	107
그림 III-4-16 생태계서비스 콘텐츠 - 지역별 자료집(2)	108
그림 III-4-17 생태계서비스 콘텐츠(도서) 배포 수	109
그림 IV-1-1 공간 측면에서 본 생태계서비스 공급-연결-수요-혜택의 관계	113

그림목차 CONTENTS

그림 IV-1-2 서비스 수요 지역(SDA)을 포함한 공간 구조 접근 방식	114
그림 IV-1-3 생태계의 잠재적 서비스 공급과 인간의 수요	115
그림 IV-1-4 생태계서비스 공급-수요에 기반한 국지적 온도 조절에 대한 불일치 사례(뉴욕시)	117
그림 IV-1-5 2015년 기준 연구지역 생태계서비스 공급량의 공간적 분포	118
그림 IV-1-6 생태계서비스(공급-사회적 수요)와 인간 웰빙 사이의 관계를 보여주는 spider diagram	119
그림 IV-1-7 지표별 수급 매칭 유형	120
그림 IV-1-8 유럽 해안선을 따라 본 연구에서 제안된 일련의 지표 추정	121
그림 IV-1-9 해안 보호 서비스의 흐름(A)과 혜택(B)	121
그림 IV-1-10 물 공급과 관련된 공급(supply)과 수요(demand)의 구분	124
그림 IV-1-11 수도권 지역 물 공급 서비스 분석 결과	126
그림 IV-1-12 수요자 중심 도시 생태계서비스 개념 및 체계도	127
그림 IV-1-13 공급-수요 연구 중장기 계획(안)	128
그림 IV-2-1 불투수층 비율에 따른 물순환 영향(녹지가 있는 곳)	131
그림 IV-2-2 불투수층 비율에 따른 물순환 영향(녹지가 없는 곳)	131
그림 IV-2-3 도시 홍수 위기 저감 모형 수행 절차	137
그림 IV-2-4 유역경계와 토지피복 특성	138
그림 IV-2-5 50mm 이상 강우유출 지점(10년 빈도 강우 시)	140
그림 IV-2-6 50mm 이상 강우유출 지점(100년 빈도 강우 시)	140
그림 IV-2-7 InVEST Urban Cooling Model 구동 결과 얻어진 HMI 맵	147
그림 IV-2-8 Landsat 8를 이용하여 작성한 LST(2017.08.26.)	148
그림 IV-2-9 연구지역	149
그림 IV-2-10 Green Area Cooling Distance 거리별	150
그림 IV-2-11 고양시 정발산 녹지 부근의 LST(2017.08.26.11:10)와 Green Area Cooling Distance 변화에 따른 HMI 변화	151
그림 IV-2-12 냉각 거리별 열 완화 지수 및 LST의 profile 비교(고양시 정발산 녹지)	152
그림 IV-2-13 구리시 검배근린공원 녹지 부근의 LST(2017.08.26.11:10)와 Green Area Cooling Distance 변화에 따른 HMI 변화	153
그림 IV-2-14 냉각거리별 열 완화 지수 및 LST의 profile 비교 (구리시 검배근린공원 녹지)	154
그림 IV-3-1 연구의 목적	156

그림 IV-3-2 설문조사 개요 및 설문 문항	158
그림 IV-3-3 응답자 인구·사회학적 특성	159
그림 IV-3-4 주거 공간 유형 및 방문 빈도, 중요한 자연 장소 응답 현황	159
그림 IV-3-5 생태계서비스의 중요도, 만족도, 인식을 응답 현황	160
그림 IV-3-6 요인별 만족도 분석	161
그림 IV-3-7 영국 자연환경 기반 활동 및 태도에 대한 국가통계(MENE) (Natural England, 2019)	162
그림 IV-3-8 생태계서비스 공급과 인지된 중요도 번들 비교 사례	163
그림 IV-3-9 최종 및 중간 생태계서비스에 대한 공급 수준 및 대중 인식을 기반으로 한 생태계서비스 번들 특성화	164
그림 IV-3-10 보호지역 관리 ISA 프레임워크(좌)와 Mental map(우)	165
그림 IV-3-11 ISA grid에 의해 구분된 4개 영역 및 예시	166
그림 IV-3-12 인문·사회적 접근 프로세스 및 목적	167
그림 IV-3-13 환경적 접근 프로세스 및 목적	168

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구

I

서론

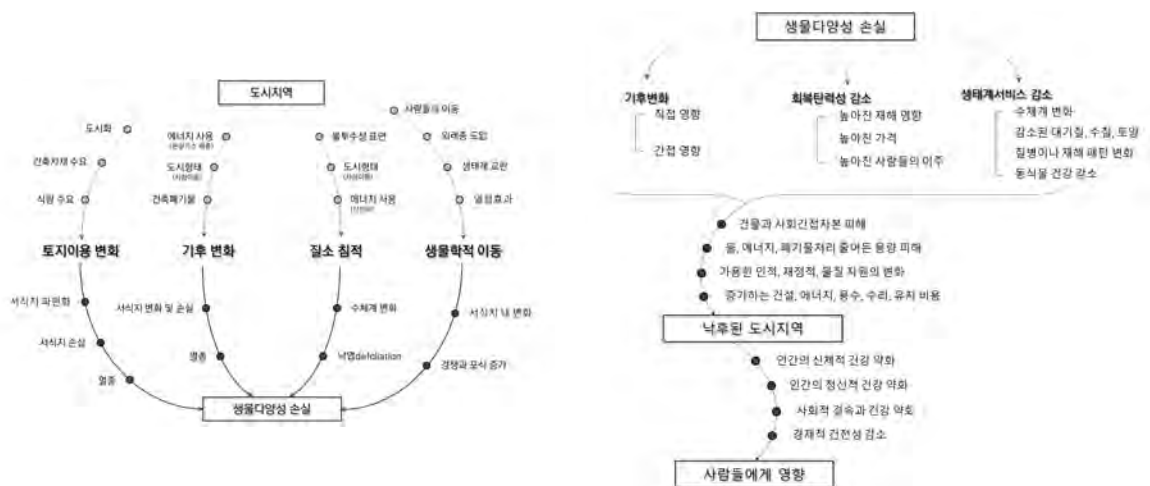
1. 도시와 생물다양성
2. 생태계서비스와 공간계획
3. 생태계서비스 인지와 인식, 수요
4. 생태계서비스 수요

1 도시와 생물다양성

도시¹⁾는 사전적 의미로 사람들이 많이 모여 사는 곳으로 주택, 도로, 상하수도과 같은 인프라뿐 아니라 공원이 나 하천과 같은 자연생태계들이 복합적으로 존재하는 공간이다. 도시생태계는 열섬 저감, 도시 홍수 완화, 대기 정화 등과 같이 도시민의 안전과 건강에 직간접적인 영향을 주고 있다. 도시생태계는 잔존 녹지와 조성된 생태계 등으로 대표되기는 하지만, 오랫동안 그곳에서 살아왔던 시민들이 상호소통하며 흘러온 하나의 복합적인 생태계이기도 하다.

도시 내 인프라의 경우 시민에게 도시 생활하는 데 필수 요소이지만, 이를 조성하기 위해서는 기존에 존재하는 자연생태계 훼손이 불가피하다. 이에 따라 자연에 대한 혜택이 없어지거나 질이 떨어지는 경우가 발생한다. 그러나 시민들은 편리한 생활을 영위하기 위해 도로나 주택단지 등을 조성하면서도 좀 더 쾌적하거나 경관이 아름다운 자연 가까이에 있기를 선호한다. 이러한 이중적 태도에 따라 산림 등 자연의 가장자리들이 잘리거나 취약해지고 있다. 또한, 도시의 높은 지가로 인해 재개발보다는 도시의 인접 외곽지역에 새로운 신도시를 조성하는 것이 비용이 적게 들기 때문에 더 많은 생태계가 대규모로 훼손되기도 한다. 반면, 유럽은 새로운 도시를 조성하기보다는 기존 도시공간을 재개발하는 방향으로 공간계획을 수립하고 있으며, 부득이한 경우 매우 엄격한 조건들을 통해 자연지역을 개발하는 특징을 보이고 있다.

전 세계의 생물다양성과 생태계서비스는 토지이용 변화를 통해 심각하게 감소했다. 그중에서도 인구증가에 따른 도시화에 따라 그 변화가 점점 심화되고 있다(Zari, 2018).



〔그림 1-1-1〕 생물다양성 손실의 도시환경 요인(좌) 생물다양성 손실에 따른 도시와 사람의 영향(우)

〈그림 1-1-1〉에서 보듯이 생물다양성은 복잡하고 다양한 경로를 통해 생태계서비스에 영향을 주고 있다. 따라서 생물다양성과 생태계서비스 간의 직접적이고 유의미한 상관관계를 보기 어렵다는 특징이 있다. 그러나, 생물다양성과 생태계서비스 간 압력요인과 환류 체계는 복잡하고 비선형적임에도 분명히 생물다양성이 생태계 과정과 서

1) 일정한 지역의 정치·경제·문화의 중심이 되는, 사람이 많이 사는 지역

비스에 영향을 주는 것은 명백하다. 도시 지역은 토지이용 변화, 기후변화, 질소 침적, 생물학적 이동 등 다양한 경로를 통해 생물다양성에 영향을 주고, 이러한 생물다양성 손실은 다시 도시의 기후변화 대응, 회복탄력성, 생태계서비스 등에 영향을 주어 도시의 경쟁력을 약화하고 이는 다시 인간에게 영향을 주는 흐름을 보여준다(Zari, 2018).

생물다양성과 기후변화 간 인과관계는 명확하게 드러나고 있지만, 아직 생물다양성과 생태계서비스 간의 명확한 인과관계를 확인하기 어렵다. 이는 인간생태계가 매우 복잡하고, 변화에 대해 능동적으로 적응하기 때문에 이를 파악하기 어려운데 기인한다.

2 생태계서비스와 공간계획

2022년에 전 세계 인구가 80억 명을 돌파했다는 UN 인구 보고서 발표가 있으며, 2050년이 되면 전 세계의 도시 인구비율이 70%를 넘을 것이라고 예측하고 있다. 우리는 이처럼 많은 인구를 부양하기 위해서 더 많은 화석연료와 오염물질을 배출하고, 더 많은 자연지역에 도시를 조성하며, 더 많은 식량을 공급하기 위해 더 많은 농장과 가축을 길러야 한다. 다만 인구가 늘어나더라도 지구는 무한하지 않기 때문에 이를 좀 더 효과적이고 효율적으로 이용하지 않을 수 없다. 이를 위해 도시의 자연생태계뿐 아니라 조성된 녹지와 같은 그린인프라를 유지하기 위한 노력이 필요하다.

도시의 다양한 수요와 문제를 해결하는 데 있어 생태계와 생태계가 제공하는 기능과 서비스를 다루는 것은 중요한 접근법 중 하나다. 자연이 제공하는 혜택은 단순히 식수나 농업용수를 공급하거나 식량, 의약 자원을 제공하는 것을 넘어서 다양한 공급서비스, 조절서비스, 문화서비스, 지지서비스를 제공한다. 생태계서비스는 도시열섬 저감이나 바람길과 같은 미기후 조절, 도시 홍수 및 산사태를 완화하는 재해 방재, 시민들의 건강과 레크레이션, 사회관계를 유지시키는 문화서비스, 미세먼지, 수질조절과 같은 조절서비스 등 실제 도시의 중요한 정책 효율을 높이고 시민의 삶의 질을 향상시키는 직접적인 요인들을 제공한다. 도시의 정책담당자와 이해당사자들이 도시의 공간정책과 생태계 및 생물다양성을 어떻게 공존시킬까에 대한 논의를 시작할 필요가 있다. 특히, 지방정부는 효율적이면서도 시민의 삶의 만족도를 높일 수 있는 자연기반 해결책을 통해 도시의 문제를 해결하고 다가치를 통한 다양한 논의를 시작할 수 있다. TEEB for Business Coalition 보고서(2011)에 따르면 기업활동으로 온실가스 배출, 수자원 사용, 토지이용, 대기·토양·수질 오염 등 환경적 외부효과 비용이 4.7조 달러에 해당한다고 보고했다. 정부, 시민, 기업 등의 이해당사자들이 환경을 비용으로 생각하고 의사결정과정에 포함하는 것이 옳은 일이라고 생각하지만, 꼭 해야 한다는 책임과 의무라는 생각까지 못 하고 있다. 이는 적절한 평가에 따른 의사결정 과정의 투명성이 주요 요인으로, 우리가 생태계의 가치를 과학적이고 합리적으로 평가한다면 증거기반의 의사결정 과정을 도입할 수 있을 것이다.

지방정부 역할이 증가하면서 시민을 위한 생태계 관리와 생태계서비스 유지·증진을 위한 건강과 생태복지를 향상시킬 필요가 있다. 중앙정부에서는 다양한 제도 정비와 계획을 수립할 수 있지만 결국 구체적인 계획을 세우고 이행하는 것은 지방정부의 큰 역할이 되고, 도시 내 공간 계획을 통해 이루어진다. 생태계서비스 접근법은 자연을

보전하려는 다른 정책들과 상호보완적인 관계를 가지고 있다. 정책의사결정자들은 계획수립부터 예산 배분, 도시 인프라 구축을 포함하는 다양한 정책과 관리체계를 통해 자연과 인간 삶의 질에 균형을 추구하게 된다. 이러한 측면에서 생태계서비스 평가는 생태계서비스들 간 상관관계를 통해 시너지와 상충관계 등을 파악하고 균형을 맞추는 합리적인 접근법이다. 특히, 도시생태계에서 평가 방법과 결과에서 차이가 있는 것은 시민들이 거주하는 지역의 생태계와 사람들의 필요(Needs)와 선호들이 다른데 기인한다. 이에 맞는 평가와 계획들이 이행되어야 하며, 그런 측면에서 시민 수요를 파악하는 것이 필수적 과정이다.

생태계서비스 평가 및 연구가 늘어나고 있음에도 여전히 환경계획 및 관리 등에 적용하는 데 한계가 있다 (de Groot et al., 2010). 공간 분석, 생물리학적 모형을 포함하여 토지이용 변화와 이에 따른 시너지와 트레이드 오프를 분석할 필요가 있다. 또한 규모의 문제도 다루어야 한다. 생태계서비스는 수요를 기반으로, 지역 요구와 정책적 방향에 따라 평가와 예측이 달라질 수 있기 때문이다. 중요한 것은 생태계서비스 평가 결과를 환경계획에 통합하고 토지이용 등의 의사결정에 생태계서비스를 포함시킬 필요가 있다는 것이다. 생태계서비스 접근법은 이전의 환경과 개발 사이의 상충작용만 있는 것이 아니라 서로 윈윈하는 시너지 관계도 있다는 것을 제시하기도 한다. 보전과 복원, 지속 가능한 자연자원 활용에 대한 투자는 생태적 이익뿐 아니라, 사회경제적 이익을 창출 한다는 다양한 연구도 있다. 이러한 문제에 접근하기 위해 통합적 공간계획(Integrated Spatial Plan: ISP)과 경관접근법(Integrated Landscape Approach: ILA) 등이 제안되었으며, 국내에서는 훈령에 따른 국토-환경 연동제가 제시된 바 있다. 다양한 연구에서 환경계획에 생태계서비스의 수요와 공급의 균형을 위한 공간 평가를 수행하였으며(Burkhard et al., 2012; Palomo et al., 2013; Goldenberg et al., 2017; Schirpke et al., 2019a; González-García 외, 2020), 생태계서비스 기반 공간계획을 수립하기 위해 다양한 모델링 접근법이 개발되고 공유되었다(Maes et al., 2012; Burkhard and Maes, 2017). 또한, 다른 연구는 전략적 환경 평가 및 도시계획에 생태계서비스에 통합하는 것의 중요성을 다루기도 하였다(Geneletti, 2011; Cortinovis and Geneletti, 2020).

3 생태계서비스 인지와 인식, 수요

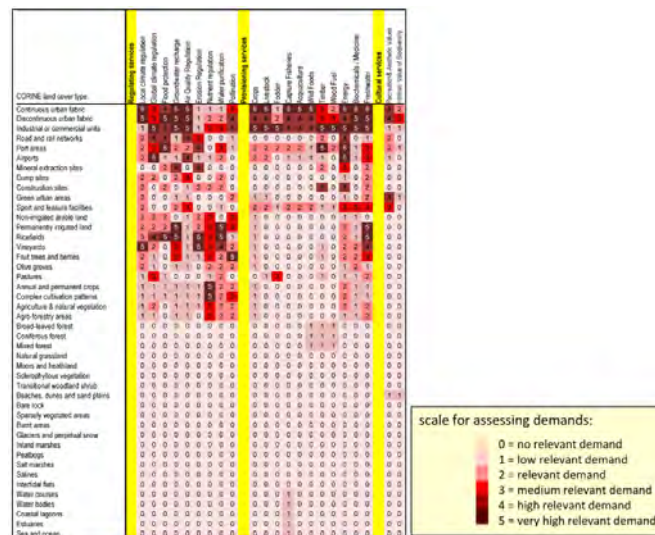
자연을 하나의 객체로 보는 것이 아니라, 인간이 자연의 일부로서 상호의존하는 관계로 인식하는 것이 중요하다. 그간 우리는 생물다양성을 중심으로 자연생태계와 인간생태계를 이분법적으로 구분해 왔다. 생물다양성을 유지하기 위한 보호지역 정책 중심으로 생태계를 관리해 왔다. 그러나, 이러한 접근은 보호지역 확대에 따른 이해당사자들 간 의견들이 상충되면서 다양한 분쟁이 유발되기도 한다. 보호지역 중심의 정책이 반드시 필요한 정책이지만, 이와 병행하여 생태계를 지속가능하게 이용하고 관리하는 방법들이 필요하다. 이러한 하나의 방향이 생태계서비스 접근법이다.

생태계에 대한 인간의 상호작용은 금전적, 사회경제적 가치뿐만 아니라 자연을 대하는 태도와 인식을 형성하기도 한다(Zhang et al., 2016; Urgenson et al., 2013). 예를 들어, Muhamad et al.(2014)는 인도네시아 서부 자바에서 숲에 더 가까이 사는 사람들이 생태계서비스를 더 많이 인식한다는 것을 확인했다. Abram et al. (2014)는 보르네오의 숲이 우거진 지역에서 시골 지역 사람들의 생태계서비스에 대한 가치와 인식에서 현저한 변화를 관찰했다. 생태계서비스에 대한 사람들의 인식이 명확할 경우, 특정 태도와 행동을 형성할 수도 있다(Willock et al., 1999). 예를 들어, 익충이 제공하는 해충 규제 및 수분서비스에 대한 관련 지식이 있는 농부는 익충 개체 군에 피해를 줄 수 있는 광역 화학살충제 살포를 자제할 수 있고, 무분별한 농약사용에 대한 부정적 영향을 최소화할 수 있다. 생태계서비스 및 생태 관련 지식은 보전 활동에 대한 강도를 결정하기도 한다(Poppenborg and Koellner, 2013; Willock et al., 1999). Nkonya et al.(2008)는 환경에 대한 인식이 나무심기 등과 같은 자연보호 활동이나 지역공동체의 환경 인식 형성에 긍정적 영향을 주는 것으로 나타났다.

생태계서비스 연구를 통해 밝혀진 많은 생태계의 기능과 서비스는 연구를 통해 발견되거나 새롭게 생겨난 것은 아니다. 우리가 이전부터 혜택을 받고 있었고 가치를 활용하고 있었다. 다만 이것이 비용을 지불하지 않았던 관계로, ‘공유지의 비극’, ‘외부효과’, ‘Priceless’ 등의 용어나 개념 정도로 논의되면서 정책 도구로 활용되는데 한계를 보여왔다. 그러나 Costanza et al.(1997) 교수가 Nature紙에 지구의 자연자산의 가치를 평가하면서부터 자연의 가치에 대해 대중적 인지가 시작하였다. 이와같이 단순히 자연이 중요하다거나 선호한다는 걸 떠나 좀 더 대중들이 인지할 수 있는 금전적 가치를 통해 생태계서비스를 설명하는 것은 매우 유효한 수단 중 하나임은 분명하다. 그러나 여전히 환경경제학에서 금전적 가치로 평가하는 것에 대한 부정적 의견들 많은 것 또한 사실이다. 최근에는 이를 보완하기 위해 사회적 가치나 건강적 가치 등 다양한 방법들이 제시되고 있다. 그러나, 부정할 수 없는 것은 사람들이 자연으로부터 얻는 혜택이 다양하다는 것을 인지하고, 혜택들이 사라지거나 줄어든 경우 우리에게 직·간접적 피해가 어떤지를 인식한다면 그만큼 자연의 가치는 또한 증가할 것이다. 재화가 희소성에 따라 가치가 변화하듯, 자연 혜택은 같더라도 사람들이 인식하는 만큼 자연의 가치는 변화할 것이다.

4 생태계서비스 수요

엄밀한 정의에 따르면 생태계가 인간에게 혜택을 제공하는 경우에만 생태계서비스이다. 인간에게 제공되는 기능과 흐름이 없으면 서비스가 아니다(Fisher et al., 2009에 따름). 생태계서비스를 이용하기 위해서는 이를 필요(Need)로 하거나 선호(Preference)하거나 이용(Use), 소비(Consumption)하는 수요가 있어야 하며, 생태계 서비스에 대한 수요를 평가하기 위해서는 실제 수요에 대한 자료가 있어야 한다. 이러한 자료는 통계나 모형, 설문, 시민참여 평가, 사회경제적 모니터링, 사회관계망서비스에서 가지고 올 수 있다. Burkhard et al.(2012)는 생태계서비스 공급평가와 유사한 매트릭스를 도출하여 생태계서비스 수요에 대한 초기 가설을 제시하였다.



이 연구의 가설에 따르면 인구가 밀집되고 자연을 집약적으로 이용하는 지역이 수요가 높다고 가정하고 있으며, 자연에 가까운 토지피복 유형은 일반적으로 인구수가 적고 생태계서비스에 대한 소비활동이 적어 결과적으로 수요가 낮다는 특징이 있다. 농경지 피복유형은 생태계서비스 공급과 조절에 대한 특징적인 수요 특성을 나타내고 있으며, 생태계서비스에 대한 잠재적 공급량과 유사한 공간 단위를 사용한 생태계서비스 수요 지도를 나타낼 수 있다.

우리는 이러한 잠재적 공급량과 수요량에 따른 공간적 평가를 통해 수요와 공급의 균형 지역과 불균형지역을 표시할 수 있다. Burkhard et al.(2012)의 같은 연구에서도 인간이 많이 거주하는 토지 유형, 특히 도시, 산업 또는 상업 지역에서 생태계서비스의 명백한 공급 부족을 나타낸다. 자연에 가까운 토지 유형, 특히 산림 지역은 수요를 초과하는 생태계서비스의 잠재적 공급이 특징이다. 우리는 이러한 불균형을 파악하고 이에 대한 도시 내 생태계서비스 공급-수요를 관리함으로써 생태적 복지를 충분하게 제공하고 지속가능한 도시를 관리하도록 전략을 수립할 수 있다. 이것이 우리가 수요를 연구하고 도시생태계를 연구하는 목적이다. 이후 연구는 잠재적 공급량이 생태적 수요에 어떻게 전달되는지에 대한 흐름(Flow)과 공급-수요 간의 균형에 대한 연구를 지속할 예정이다.

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구

II

생태계서비스 평가지도 통합평가

1. 생태계서비스 간 상충과 동반상승
2. 생태계서비스 지표 및 지역 유형화
3. 생태계서비스 변화요인 및 추세 분석

1 생태계서비스 간 상충과 동반상승

가. 연구 배경

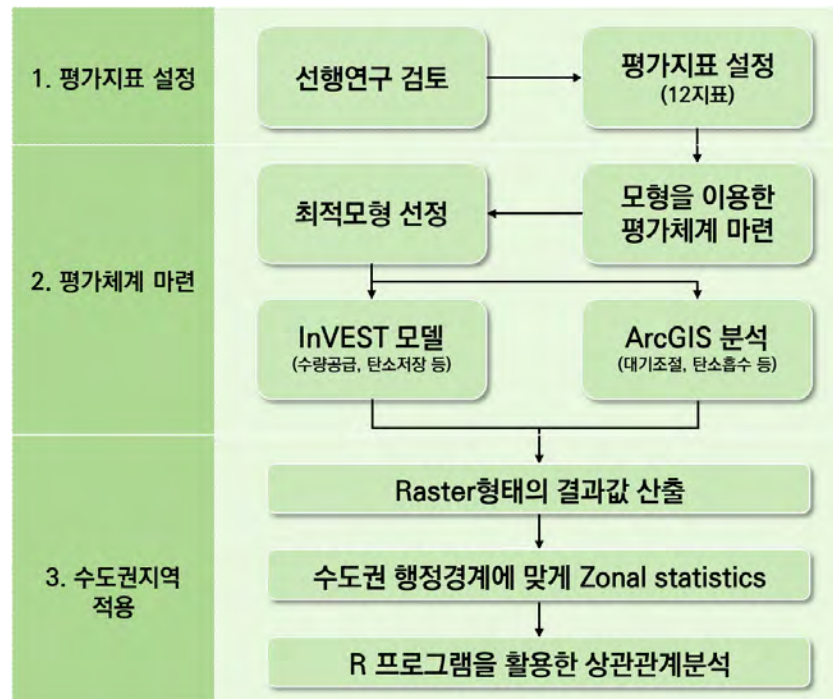
다양한 생태계서비스는 동시에 영향을 주기도 하고 생태계서비스 간 상호작용을 발생시키기도 한다(Bunnnett et al., 2009). 자연자원을 관리할 때 이러한 생태계서비스 다기능(multi-fuction), 다가치(multi-value)를 고려하지 않으면 잠재적으로 상충관계가 발생할 수 있고, 동반상승 관계를 간과할 수도 있다. 따라서, 다양한 생태계서비스 간 상호작용을 이해하는 것이 중요하며, 공간계획 및 관리를 위한 의사결정을 지원할 때 이러한 다기능성을 충분히 고려하는 것이 필요하다(Chan et al., 2006). 국내·외 많은 연구에서는 생태계서비스 간 동반상승과 상충작용을 고려하여 생태계서비스 가치평가 하는 연구들이 늘어나고 있다(Bennett et al., 2009; Hasse et al., 2012; 함은경 외, 2015; 김무한 외, 2018; Kim et al., 2018).

다양한 생태계서비스 간의 상관관계는 대표적으로 한 생태계서비스의 증가가 다른 생태계서비스의 증가와 함께 나타나는 동반상승작용(Synergy)과 한 생태계서비스의 증가가 다른 생태계서비스의 감소와 함께 나타나는 상충작용(Trade-off), 상호 아무런 영향을 끼치지 않는 중립(Neutral)으로 구분된다(Lee and Lautenbach, 2016; Jopke et al., 2015). 본 연구는 생태계서비스의 상충작용과 동반상승작용을 Pearson 상관계수로 이용하여 파악하였으며(Kim et al., 2018), 생태계서비스 간 상관계수가 양의 값을 가지는 경우 동반상승작용, 음의 값을 가지는 경우 상충작용으로 구분하였다(Raudsepp-Hearne et al., 2010). 또한, 상관관계수가 ± 0.5 이상인 경우는 강한 상관관계, $\pm 0.5 \sim \pm 0.3$ 은 중간수준의 상관관계를 가지는 것으로 간주하였다(Raudsepp-Hearne et al., 2010; Jopke et al., 2015). 동반상승관계를 예로 들면, 대기조절 서비스와 탄소흡수 서비스는 모두 토지이용이 산림인 지역에서 높게 나오는데 이는 두 지표 모두 수목의 영급, 수종에 큰 영향을 받기 때문이다. 반대로 산지전용을 통해 농경지를 확대하게 되면 식량 생산 서비스는 높아지지만 동시에 대기 조절, 탄소흡수 서비스는 낮아지게 되는데 이를 상충작용으로 볼 수 있다.

생태계서비스 간 상관관계를 이해하지 못하여 의도되지 않은 상충작용이 일어나면 정책의 실패를 불러오거나 생태계 가치를 하락시킬 수 있다(Rodríguez et al., 2006; Polasky et al., 2011). 반면, 생태계서비스 간 관계를 이해함으로써 바람직하지 않은 상충관계를 줄이는 동시에 동반상승관계를 도모할 수 있다. 나아가 생태계서비스의 동반상승작용 및 상충작용이 높은 지역을 평가하여 확인하고, 이에 적합한 자연자원 관리방안을 수립할 수 있다.

나. 연구 방법

1) 연구의 흐름



| 그림 II-1-1 | 연구 흐름 및 내용별 상호 연관성

연구는 크게 ①선행연구 검토를 통한 생태계서비스 평가지표 선정, ②모형을 이용한 평가체계 마련 및 최적모형을 선정한 후 ③수도권 행정 경계로 Zonal 하여 데이터를 시·군별 데이터를 산출하고 R 프로그램을 활용하여 상관관계 분석을 수행하였으며, 각 연구 내용별 연관성은 <그림 II-1-1>과 같다.

2) 연구 공간적 범위

공간적 범위는 수도권이라 불리는 서울특별시와 인천광역시, 경기도 지역으로 하였으며 서울특별시와 인천광역시
는 연구 수행을 위하여 권역별로 구분하였다.

표 II-1-1 | 연구지역 공간적 범위

서울특별시	도심권	종로구, 중구, 용산구
	동북권	성동구, 광진구, 동대문구, 중랑구, 성북구, 강북구, 도봉구, 노원구
	서북권	은평구, 서대문구, 마포구
	서남권	양천구, 강서구, 구로구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구
	동남권	서초구, 강남구, 송파구, 강동구
인천광역시	서부권	중구, 동구
	남부권	남구, 연수구, 남동구
	동부권	부평구, 계양구
	북부권	서구, 강화군, 옹진군
경기도	수원시, 성남시, 의정부시, 안양시, 부천시, 광명시, 평택시, 동두천시, 안산시, 고양시, 과천시, 구리시, 남양주시, 오산시, 시흥시, 군포시, 의왕시, 하남시, 용인시, 파주시, 이천시, 안성시, 김포시, 화성시, 광주시, 양주시, 포천시, 여주시, 연천군, 가평군, 양평군	

본 연구는 인간에게 주는 혜택을 평가하기 위해서 그간 국립생태원('16~'21)의 연구를 바탕으로 생태계서비스
를 대표할 수 있는 12개의 지표를 평가하였으며, InVEST 모델과 ArcGIS Pro 프로그램을 사용하여 공간 분석을
수행하였다. 입력자료 및 결과는 GRS 80 타원체의 한국 중부원점으로 사용되는 EPSG 5186 “Korea 2000
Korea Central Belt 2010” 좌표체계를 적용하였고 Cell Size는 10m로 통일하여 분석하였다.

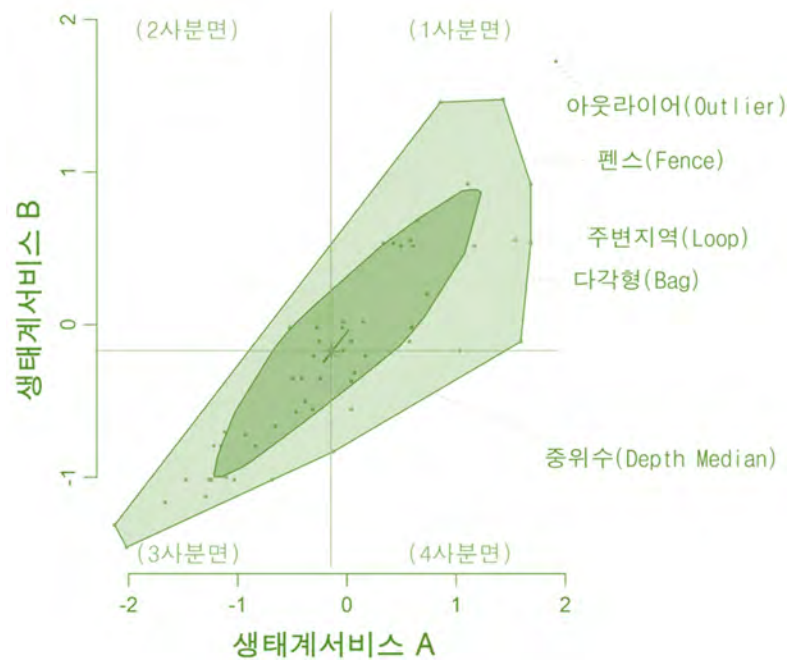
| 표 II-1-2 | 생태계서비스 평가 12개 지표 입력자료 및 평가 방법

지표명		주요 입력자료	평가 방법
공급 서비스	수량공급	토지피복지도, 연평균 강수량, 연평균 증발산량, 토양함수율, 유효토심, 강수인자, 유역도	연평균 강수량 - 실제 증발산량
	수질조절	토지피복지도, DEM, 연평균 강수량, 유역도, 영양물질 부하량, 저류효율, 최대저류거리	토지피복별 오염물질 부하량 × 토지피복별 저류 효율
조절 서비스	대기조절	토지피복지도	토지피복(식생)별 면적 × 대기오염물질 흡수량 원 단위 값
	탄소저장	토지피복지도, 탄소 저장풀	토지복별 면적 × 탄소저장계수
	탄소흡수	토지피복지도	토지피복(식생)별 면적 × 단위면적당 연간 탄소흡수량
	도시열섬 저감	토지피복지도, 증발산량, 알베도 등	(주간) 그늘량 + 알베도 + 증발산량 (야간) 1 - 건물밀도
	침식조절	강우·토양 침식인자, DEM, 토지피복지도	가상 토양침식량 - 토지피복별 토양침식량
문화 서비스	생태관광	Flicker 자료 (사진기반 소셜네트워크 서비스 플랫폼)	1일 플리커 이용자 수 (Photo User Day: PUD)
	경관가치	토지피복지도, 지형유형도	토지피복지도 속성과 지형유형도 값에 따른 매트릭스 (B Jun. 2021)
지지 서비스	조류종 다양성	제3차 전국자연환경조사 조류자료	야생조류 출현자료 기반 종분포모형 (Maxent)
	서식처질	토지피복지도, 관광지구, 자연재해지구, 환경오염유발시설, 보호지역	f(서식처유형, 서식처 적합성, 서식처 민감도, 서식처 위협요소, 서식처 접근성)

토지피복지도는 환경부에서 2020년에 제작한 자료를 사용하였으며 유효토심, 유효 함수율 등 정밀토양도는 농촌진흥청 토양환경정보시스템 흙토람에서 제공받아 사용하였다. 그 외 연평균 강수량은 WorldClim에서 제공하는 version 2.1 Bioclimatic variables BIO12를 사용하였고, 증발산량은 NASA에서 제공하는 Terra MODIS 16A3GF.006, 500m, yearly ET_500m 자료를 사용하였다. 유역도는 한강홍수통제소에서 제공하는 수자원단위 지도를 사용하였으며 수치표고모델(DEM)은 국토지리정보원에서 제공하는 자료를 사용하였다.

3) 연구 방법

Bagplot은 다중스케일 접근이 가능하므로 지역 생태계서비스 특성을 파악할 때 행정구역 및 격자 기반 평가가 동시에 가능하다(Kim et al., 2018; Jopke et al., 2015; Fru-Muller et al., 2016). 이러한 이유로 Bagplot을 기반으로 생태계서비스를 분석하여 생태계서비스 사이의 상충작용 및 동반상승작용을 평가하고자 한다.



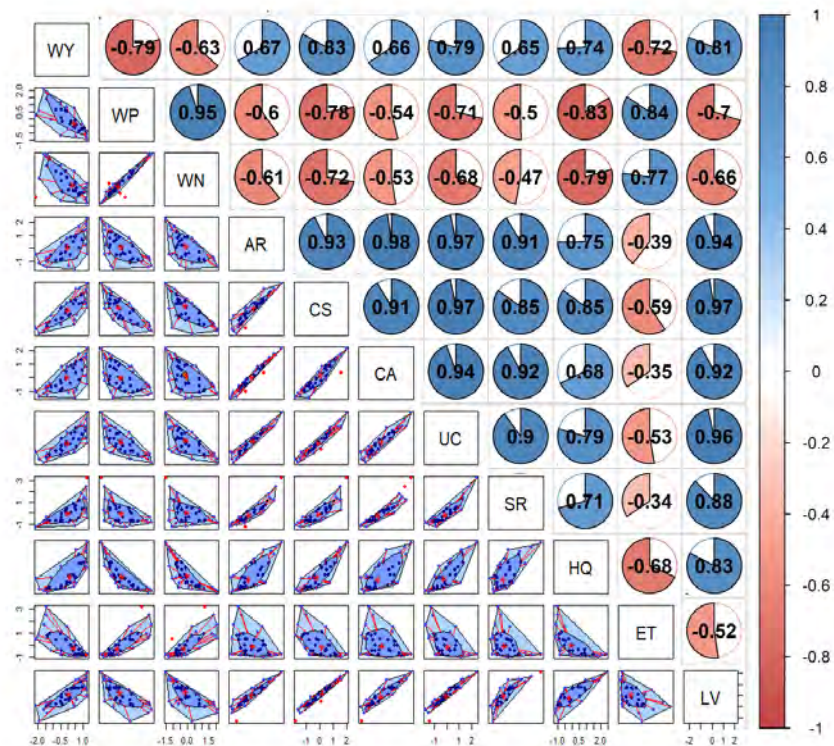
| 그림 II-1-2 | Bagplot의 예시
(출처: Jopke et al., 2015의 그림 1을 수정)

Bagplot은 반공간 깊이(half-space depth) 기반으로 산정된 중위수(depth median), 총 표본 50%가 내부에 위치한 다각형(Bag), 다각형 주변 지역(loop)으로 위치한 펜스(fence), 펜스 외곽에 위치한 이상값(outlier)로 구분된 자료 분포를 보여준다(Rousseeuw et al., 1999).

다. 연구 결과 및 고찰

1) 생태계서비스 지표 간 상관관계

생태계서비스의 상충작용과 동반상승작용을 Pearson 상관계수를 이용하였으며, 생태계서비스 간 상관계수가 양의 값을 가지는 경우 동반상승작용, 음의 값을 가지는 경우 상충작용으로 구분하였다. 또한 상관계수가 ± 0.5 이상인 경우는 강한 상관관계, $\pm 0.5 \sim \pm 0.3$ 은 중간수준의 상관관계를 가지는 것으로 간주하였다(Raudsepp-Hearne et al., 2010; Jopke et al., 2015).

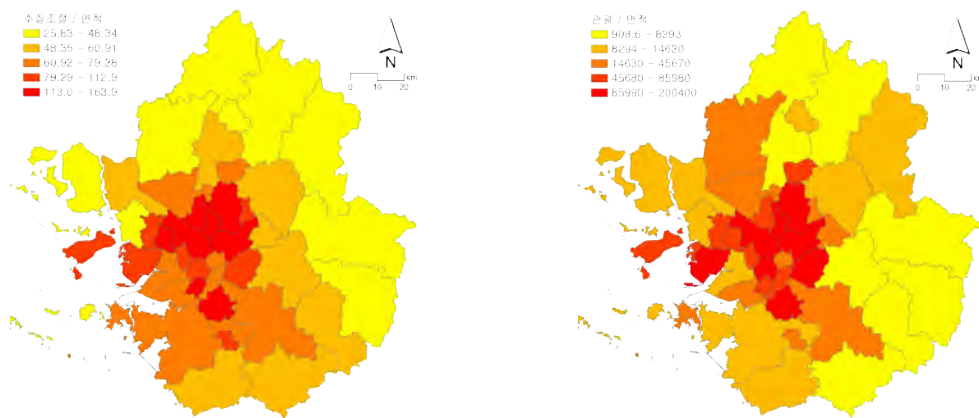


| 그림 II-1-3 | 상관관계 분석 결과(WY: 수량공급, WP: 수질조절(인), WN: 수질조절(질소), AR: 대기조절, CS: 탄소저장, CA: 탄소흡수, UC: 도시열섬저감, SR: 침식조절, HQ: 서식처질, ET: 생태관광, LV: 경관가치)

수량공급, 대기조절, 탄소저장, 탄소흡수, 도시열섬, 침식조절, 서식처질, 경관가치 지표들이 +0.5 이상 높은 상관관계를 보였다. 이는 지표 평가의 입력자료 중 산림 피복의 영향이 큰 것에 기인한다. 이 중에서도 수질조절(인)-수질조절(질소) 0.95, 대기조절은 탄소흡수, 탄소저장, 도시열섬, 침식조절, 경관가치에서 0.9 이상의 상관관계를 나타냈다. 이는 평가모형에서 녹지 및 산림 피복의 영향력이 높은 것에 기인한다. 다만, 해당 지표 간 상관관계에서 미묘한 차이들을 나타내고 있어 녹지 및 산림의 영향을 제외한 다른 변수들이 어떻게 공간분포에 영향을 끼치는지를 연구할 필요가 있다.

수질조절(인), 수질조절(질소), 생태관광 지표는 지표들 간 양의 상관관계를 나타냈지만, 나머지 지표들 간의 음의 상관관계를 보였다. 특히, 탄소저장과 흡수, 도시열섬저감, 서식처질, 경관가치에서는 높은 음의 상관관계를 나타내었다. 공간적으로는 수질 조절과 생태관광이 시가화 지역에서 높게 평가된 반면, 높은 음의 상관관계를 나타낸 생태관광 서비스 또한 도심지역에서 높은 값을 나타냈는데 평가도구로 사용된 InVEST Flicker는 주로 한국인에 비해 외국인들이 많이 사용하며 외국인들이 주로 찾는 관광지는 서울 도심권이기 때문에 도심권이 식생 지역보다 높게 나온 것으로 판단된다.

결론적으로 식생 중심 지표 간 양의 상관관계(synergy)를 나타내고 있었으나, 그 외 지표들은 음의 상관관계(trade-off)를 나타냈다.



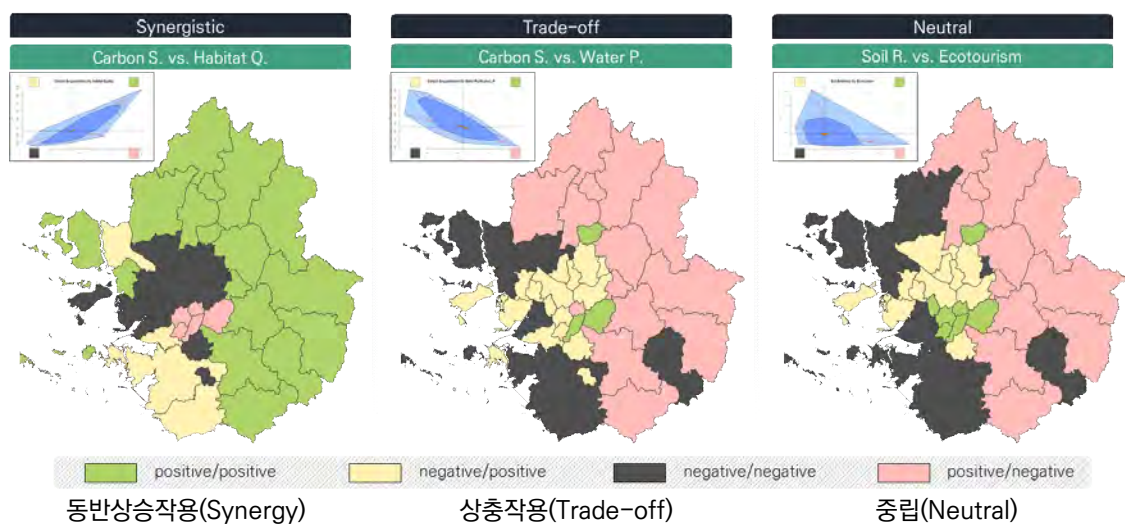
| 그림 II-1-4 | 수질조절 평가지도(수질조절/면적)

| 그림 II-1-5 | 생태관광 평가지도(생태관광/면적)

식생조절서비스와 음의 상관관계를 보인 서비스는 수질조절(질소, 인) 서비스와 생태관광 서비스이다. 수질조절 서비스는 오염원(질소, 인)을 저류하는 능력을 평가하는 지표로서 비점오염원이 많은 곳에서 저류 능력이 높을 때 가장 높게 평가된다. 따라서, 산림지역 보다 도심지역에서 높은 결과값을 보였는데, 이는 도심지역이 산림지역 보다 공장 및 산업단지가 밀집되어 있어 수질 오염을 유발하는 비점오염원 배출량이 많고 고도가 상대적으로 낮아 오염원이 누적되어 하류에 쌓이기 때문으로 판단된다.

2) 생태계서비스 지역 간 상관관계

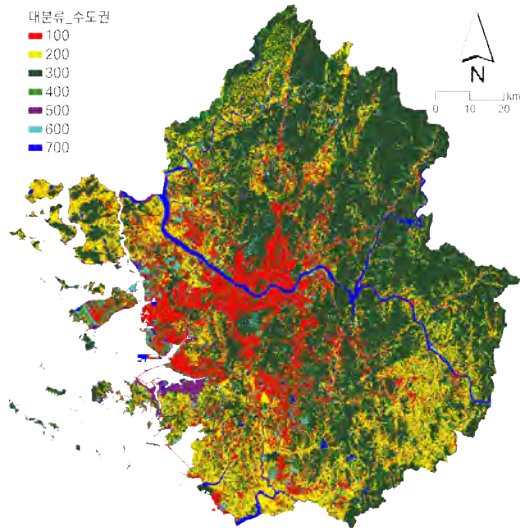
기존 많은 연구가 공간의사결정에 대한 자치권을 가질 수 있는 최소한의 행정구역 단위별로 상관관계 분석을 수행하여 왔다(Raudwepp-Hearne et al., 2010; Hopke et al., 2015; Lin et al., 2018). 최근 Bagplot을 이용하여 다중스케일의 행정구역을 기반으로 상관관계를 평가하는 연구들도 진행이 되고 있다(Jopke et al., 2015; Fru-Muller et al., 2016). 이러한 선행연구를 기반으로 본 연구는 다중스케일적인 접근이 가능한 Bagplot을 활용하여 행정구역 단위 평가와 격자 단위 평가를 동시에 수행하였다.



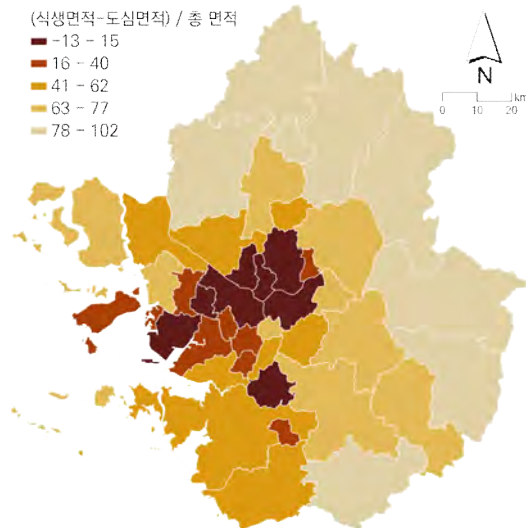
| 그림 II-1-6 | 수도권 지역 Bagplot & clustering

초록·검은색 지역은 1, 3사분 면에 위치한 지역으로 한 지표가 상승하면 다른 지표 또한 동반상승하거나 한 지표가 하락하면 다른 지표 또한 하락하는 시너지 관계이며, 노란·빨간색 지역은 2, 4사분 면에 위치한 지역으로 한 지표가 상승하면 동시에 다른 지표는 하락하는 상충작용이 일어나는 지역이다. 그림을 볼 때 대부분의 지역에서 수량공급 서비스와 서식처질 서비스는 동반상승하는 모습을 볼 수 있으며 탄소저장 서비스와 수질조절 서비스는 상충작용이 일어나는 모습을 볼 수 있다. 침식조절 서비스와 생태관광 서비스는 동반상승작용 또는 상충작용의 Bagplot의 분산보다 넓게 퍼져있으며 이는 두 지표 간 유의미한 영향을 주지 않는 중립으로 판단된다.

탄소저장 지표의 결과값과 서식처질 지표의 결과값 모두 큰 지역은 연천군, 포천시, 동두천시, 양주시, 가평군, 남양주시, 양평군, 광주시, 여주시로 평가되었는데 이 지역들은 모두 행정구역 전체 면적 대비 녹지율(산림, 초지)이 56.3%가 넘는 지역으로 나타났다. 탄소저장 지표의 결과값과 서식처질 지표의 결과값 모두 낮은 지역은 서울특별시, 인천 동부권과 남부권, 부천시, 시흥시, 수원시로 평가되었으며 이 지역들은 모두 행정구역 전체 면적 대비 녹지율(산림, 초지)이 47.4%보다 작은 지역으로 나타났다.



| 그림 II-1-7 | 대분류 피복지도(2021년)



| 그림 II-1-8 | 도심면적 대비 식생 면적의 비율

〈그림 II-1-7〉은 2021년 환경부에서 공시한 세분류 토지피복도를 기반으로 제작한 대분류 토지피복지도이다. 경기도 북부와 동부지역은 산림지역(300)이 우세한 양상을 보이며 서울특별시 도심지역과 인천광역시, 수원시 등은 비교적 시가화·건조지역(100)이 우세한 양상을 보인다. 〈그림 II-1-8〉은 식생지역 면적에서 도심지역 면적을 뺀 후 총면적(ha)으로 나누어 단위면적당 식생의 비율을 비교하였다. 대분류 토지피복지도 기준으로 시가화 건조 지역은 도심지역, 그 외는 식생지역으로 계산하였으며 그 결과 〈그림 II-1-7〉과 비슷하게 경기도 북부와 동부지역은 식생 값이 높았으며 반면 서울특별시, 인천광역시, 수원시는 도심 값이 높았다.

또한, 탄소저장 지표의 결과값은 큰 반면 서식처질 지표의 결과값이 작은 지역은 용인시, 의정부시로 평가되었으며, 탄소저장 지표의 결과값은 작은 반면 서식처질 지표의 결과값이 큰 지역은 파주시, 인천 북부권, 이천시, 안성시로 평가되었다. 그 외 고양시, 김포시, 안산시, 화성시 등은 탄소저장 및 서식처질 지표의 결과값이 중간 수준으로 평가되었다.

수질조절 지표와 탄소저장 지표는 상관계수가 -0.7을 초과하는 상충관계로 두 지표값 모두 크거나 모두 작은 지역은 없었다. 탄소저장 지표의 결과값은 큰 반면 수질조절 지표의 결과값이 작은 지역은 연천군, 포천시, 동두천시, 양주시, 가평군, 남양주시, 양평군, 광주시, 여주시로 평가되었으며, 탄소저장 지표의 결과값은 작은 반면 수질조절 지표의 결과값이 큰 지역은 서울특별시, 인천 동부·남부·서부권, 부천시, 수원시, 오산시로 평가되었으며 이 지역들은 시가화 건조지역이 녹지에 비해 상대적으로 높고 공장 및 산업단지가 많은 지역으로 판단된다. 그 외 고양시, 안산시, 하남시, 성남시, 화성시 등은 탄소저장 및 수질정화 지표의 결과값이 중간수준으로 평가되었다.

라. 결론

본 연구는 상관계수와 Bagplot 기반의 생태계서비스 평가 방법을 수도권 지역에 적용하여 12개 생태계서비스 지표들에 대한 평가와 상관관계 분석을 수행하였다. 분석을 통해 지표 간, 지역 간 동반상승작용 및 상충작용을 파악하였으며, bagplot을 이용해 공간상으로 표현하였다.

수도권 지역에서는 서비스의 종류들이 생태적 특성에 따라 상관관계가 구별되어 나타났으며 토지의 피복 상태를 나타내는 토지피복지도의 영향을 크게 받았다. 주로 토지피복이 산림으로 나타나는 곳에서 수량공급, 대기조절, 탄소저장 등 대부분의 지표가 높은 값을 보였으며 동반상승관계를 나타냈다. 탄소흡수와 대기조절 지표가 0.98로 가장 큰 동반상승작용을 나타냈으며 이는 두 지표 모두 산림의 영향을 크게 받은 것으로 판단된다. 반면 산업시설 및 인구가 밀집된 도심지역은 수질정화 기능이 높은 값을 나타냈고 탄소저장을 비롯한 대부분의 식생지표와 높은 상충관계를 나타냈다.

표-II-1-3 | 생태계서비스 평가 결과 및 Z-score

순위	도시명	Z-score
1	경기도 가평군	13.05
2	경기도 양평군	9.84
3	경기도 동두천시	8.83
...		
38	인천광역시 서부권	-8.44
39	인천광역시 평택시	-8.69
40	인천광역시 남부권	-10.3

생태계서비스 지표값을 행정구역 면적으로 나누어 단위면적당 생태계서비스의 양으로 환산한 후 모든 지표값을 합산하여 지역적으로 평가를 수행하였다. 그 결과 포천, 가평, 양평 등 경기도 북동쪽에 위치한 지역에서 대부분의 생태계서비스 지표가 높은 값을 보였으며, 전체면적 대비 녹지(산림, 초지) 면적이 50%를 초과하는 지역이었다. 반면 상대적으로 생태계서비스 총량이 낮은 지역은 전체면적 대비 녹지 면적이 50% 미만인 지역으로 인천 남부·서부권, 평택, 시흥 등이 해당하였으며, 도심지역 또는 산업시설이 많은 비중을 차지하는 특징을 나타냈다.

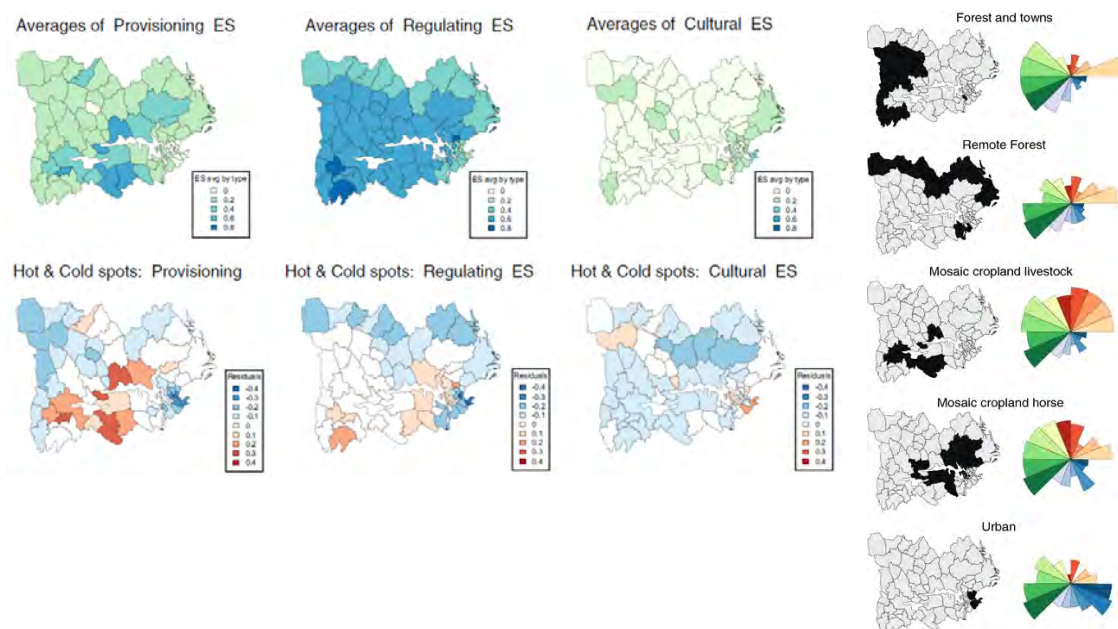
이 연구는 다양한 생태계서비스들이 서로 영향을 받으며 동시에 발생하기 때문에, 생태계 관리정책을 수립할 때 지표 간의 동반상승작용 및 상충작용이 충분히 고려되어야 함을 시사한다.

2 생태계서비스 지표 및 지역 유형화

가. 연구 배경

복잡한 자연환경의 다양한 생태계서비스 관리정책을 의사결정 하는 것이 생태계 관리의 핵심이다(Raudsepp-Hearne et al., 2010). 이때, 생태계서비스를 유형화하여 분석하면 복잡한 환경을 이해하고 관리할 때 공무원이나 정책입안자들에게 많은 정보를 제공할 수 있다(Bennett et al., 2009; Daniel et al., 2012). 새천년생태계보고서에서는 다양한 규모에서 생태계서비스 간 존재하는 상충작용과 시너지효과를 평가해야 한다고 보고하고 있다. 이러한 생태계서비스 간 상호작용을 고려하고 관리하는 것이 효율적 환경관리를 보여줄 수 있다. 생태계서비스 간 상호작용은 여러 서비스가 변화요인에 의해 다르게 반응할 수 있고, 이에 따라 정책의사결정자의 의도와 다르게 결과가 나올 수 있다.

Queiroz et al.(2015)는 생태계서비스가 서로 상호작용이 있기 때문에 단일 서비스보다는 통합적 평가를 강조하였다. 이를 통해 서비스의 시너지와 상충작용을 확인하고 이를 번들로 유형화하여 의사결정자에게 충분한 정보를 제공해야 한다고 언급하였다. 특히, 공간적인 평가를 통해 취약지역과 우수지역들을 파악하고, 이를 생태계서비스 유지 및 증진정책에 활용하는 방안을 제시하였다.

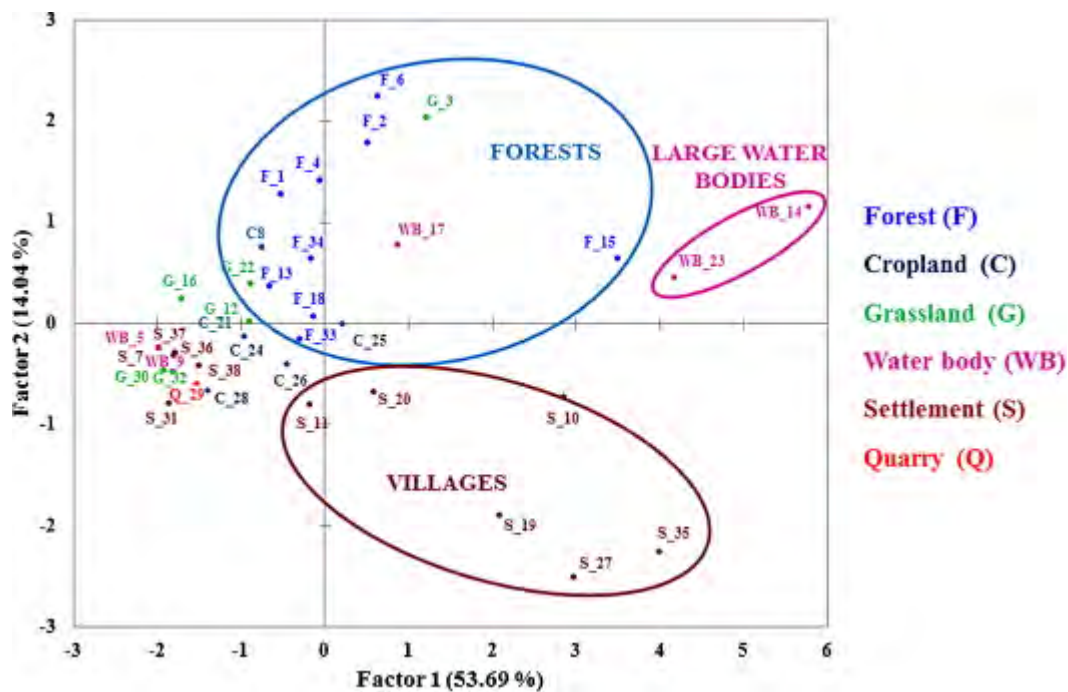


〔그림 II-2-1〕 생태계서비스 유형에 대한 핫스팟과 콜드스팟(좌)과 번들(우)(Queiroz et al., 2015)

이 연구에서는 스웨덴 Norrström 62개 지자체에서 16개의 생태계서비스 지표를 평가하였다. 각 지자체의 생태계서비스 잠재적 생산량을 평가하고 생태계서비스 유형을 파악하기 위해 상관관계분석과 군집분석을 시행하였다. 이를 통해 사회-생태적 5개 지역(산림도시지역, 원거리산림지역, 농촌지역, 목축지역, 도시지역)을 구분하였다. 이 연구는 생태계서비스 다기능성을 평가하면서 지표 간 복잡한 상호작용으로 의도치 않은 결과를 도출할 수 있으므로 다양한 지표를 복합적으로 평가하는 연구가 필요하다고 하였다.

1) 지표 간 상관관계

하나의 생태계서비스가 제공될 때, 다른 생태계서비스가 감소하는 경우 트레이드오프가 발생하고, 여러 서비스가 동시에 상승하는 경우 시너지가 발생한다. 이러한 지표 간 관계를 파악하여 생태계서비스의 시너지와 트레이드오프를 관리하게 되면 사회적 비용을 줄이거나 생태적 복지를 향상시킬 수 있다(Rodriguez et al., 2006; Sachs and Reid, 2006). 생태계서비스의 공간분석은 서비스가 어떻게 분포되어 있는지, 서로 다른 서비스와 어떻게 차이를 나타내고 있는지를 통해 서비스 간 트레이드오프와 시너지를 이해하는 데 도움을 준다. 이러한 패턴은 시간이 경과함에 따라 어떻게 변화하는지 명확하게 예측할 수 없으나 다양한 규모별, 지역별 연구를 통해 추정해 볼 수 있다(Raudsepp-Hearne et al., 2010). 생태계에서 일어나는 다양한 기능과 서비스 간 균형과 시너지를 분석하기 위해서는 유역이나 생태계 유형을 활용하기도 하였지만, 최근 생태계서비스 연구는 사회적 프로세스가 생태계서비스의 공급과 수요에 영향을 주기 때문에 행정단위 경계를 사용하는 경우가 많다.

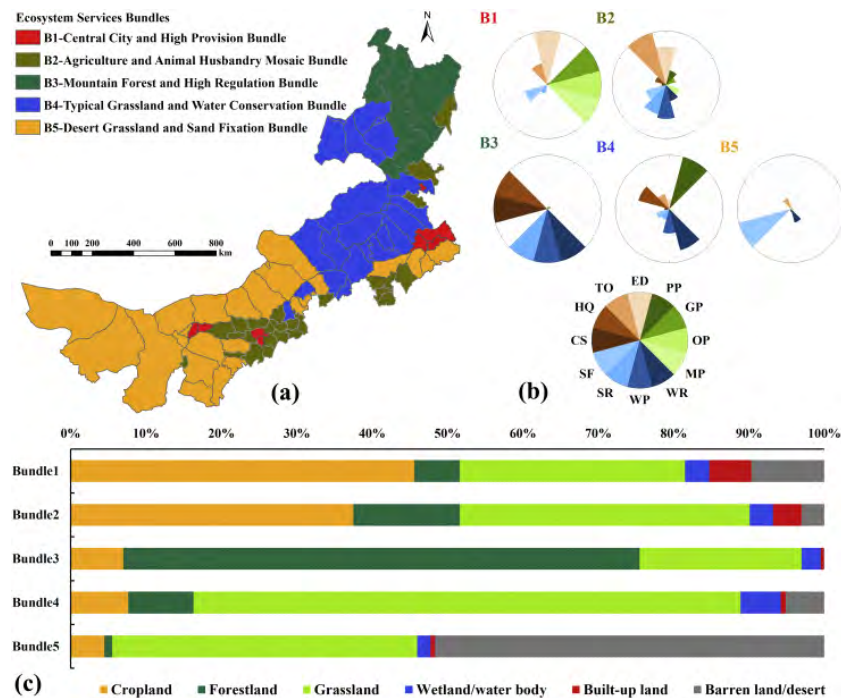


| 그림 II-2-2 | 주성분 분석(PCA)의 두 가지 주요 요인에 대한 산점도(Plieninger et al., 2013)

Plieninger et al.(2013)은 PCA 평가를 통해 해당 지역의 주요 생태계서비스의 경향을 파악하였다. 예를 들어, 첫 번째 축(분산의 54%)은 걷기, 미적 가치, 장소 감각, 영감, 교육적 가치, 영적 가치, 문화유산 가치 등과 같은 문화서비스와 유의하면서 양의 상관관계를 가지고 있었다. 두 번째 축(분산의 14%)은 숲과 야생 제품 채집, 사냥, 낚시 등 자연을 기반으로 하는 레크리에이션과 관련 있는 것으로 나타났다. 이와같이 지역의 다양한 생태계 서비스를 종합적으로 평가하기 위해서는 생태계서비스 간 시너지와 트레이드오프, 분포 경향을 면밀하고 종합적으로 평가하는 것이 필요하다.

2) 지역 유형화

최근 개선된 생태계서비스에 대한 생물리학적 모델과 활용가능한 다양한 데이터들이 늘어나면서 지역, 국가, 전 지구적인 규모의 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 우리는 이러한 연구를 바탕으로 서로 생태계서비스가 사회적, 생태적 요인들을 통해 유사한 지역들이 유사한 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 연구를 통해 ‘생태계서비스 번들(Ecosystem services bundles)’이라는 개념이 제안되었으며, 생태계서비스 간 상호작용에 대한 일반 규칙을 이해하고 발견하는데 중요한 근거를 제공하기도 하고, 다기능적 경관관리 접근 방식을 개선하기 위한 효과적인 도구를 제공하기도 한다(Kareiva et al., 2007; Raudsepp-Hearne et al., 2010).



| 그림 11-2-3 | 5개 생태계서비스 번들의 공간분포. 각 유형의 분포와 피복 및 서비스 유형을 나타냄(Dou et al., 2020)

생태계서비스 번들 분석은 다음과 같은 이점이 있다(Meacham et al., 2022). 첫째, 분석을 단순화하여 시스템적 복잡성을 유지하면서도 접근 가능한 분석전략을 제공할 수 있다. 둘째, 생태계서비스의 상호 연계된 특성에 중점을 둔 관리를 단순화하여 제시한다. 셋째, 사회-생태적 이론을 좀 더 실용적으로 개선할 수 있다. 넷째, 관련한 정보 수집이 어려운 경우, 유사한 유형의 가장 합리적인 가정을 제시하여 정보격차를 채울 수 있다. 다섯째, 단순하고 정량적 정보를 제공함에 따라 다양한 이해당사자들을 모으고 숙의할 수 있는 도구적 역할을 한다.

생태계서비스 유형화 관련 연구가 늘고 평가에 대한 인식이 증가함에 따라 생태계서비스 기반 정책 의사결정을 지원할 기회가 늘어날 것이다. 이에 따라 생태계서비스 유형화나 번들 평가 전반에 걸쳐 연구를 확대하는 것은 사회-생태적 관계와 생태계와 그 기능, 서비스 등이 지역에서 어떻게 나타나고 시민들에게 어떻게 인식되는지에 관한 연구도 추가로 필요할 것이다.

나. 생태계서비스 주성분 분석

생태계서비스 평가 결과들을 가지고 지역을 유형화하는 경우, 주로 주성분 분석과 군집분석이 주로 활용된다 (Sparke et al., 2017). 주성분 분석은 각 요인의 고윳값과 분산을 이용하여 주성분 수를 결정하고, 변수 간 상관성에 따라 변수들을 새로운 성분으로 추출하여 변수 특성을 구분하는 방법이다. 생태계서비스 평가 결과를 주성분 분석하는 경우, 지표 간 상관관계를 정량적으로 파악할 수 있으며, 비슷한 유형의 생태계서비스 지표를 파악하는 데 유용하다. 이러한 특성 때문에 생태계서비스 변들과 함께 사용한다(Turner et al., 2014).

김일권 외(2019)는 경기도를 대상으로 생태계서비스 11개 지표를 평가한 바 있다. 이 시점은 수도권 전체 생태계서비스 평가가 마무리되지 않았으며, 시범적으로 공급서비스도 시범적으로 입력하여 결과에 차이가 있다.

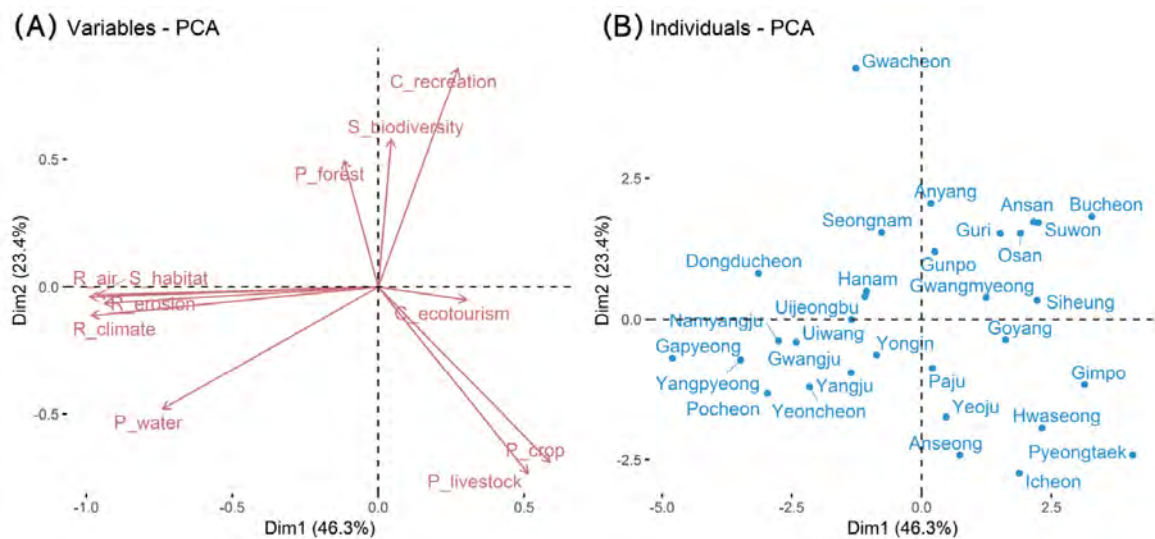
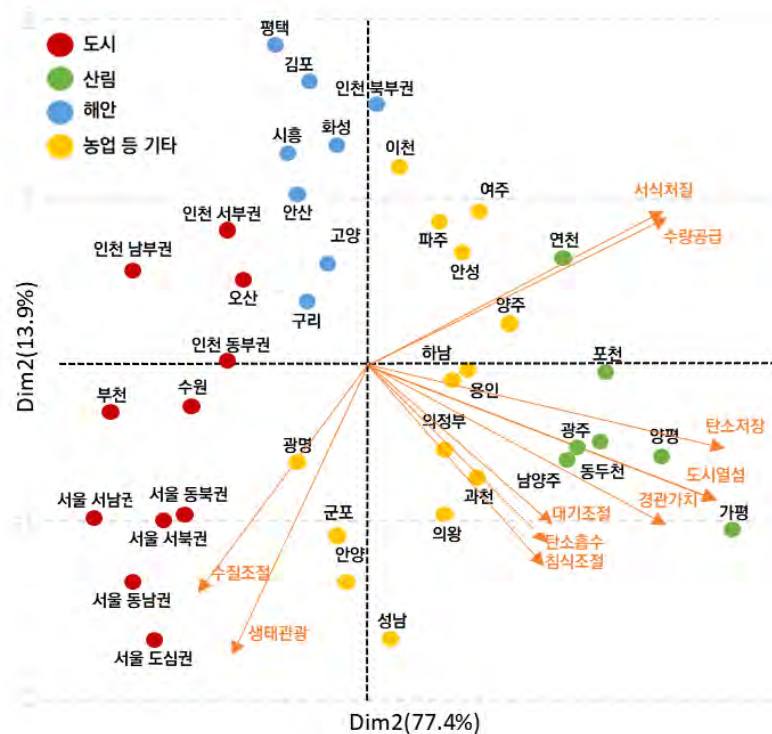


그림 11-2-4 | 지역 생태계서비스 주성분 분석 결과(좌:지표, 우:지역)

주성분 분석에서 나타난 생태계서비스 항목별 관계와 요인은 <그림 11-2-4(좌)>와 같다. 제1인자는 조절서비스 항목이 공급, 문화, 지지서비스들과 구분되었다. 제2인자는 식량 생산과 가축 생산이 다른 서비스들과 구분되는데, 이는 농촌에서 우세한 공급서비스들로 보인다. 제3인자는 산림생산, 생물다양성, 여가 등이 혼재되어 나타나서 생태계서비스 측면에서 유형화하기 어렵다.

〈그림 11-2-4(우)〉는 지자체별 생태계서비스 유사성을 보여준다. 가평, 양평, 남양주, 동두천 등과 같이 경기도 외곽에 위치하며 산림 비율이 높은 시군들이 생태계서비스 분포 특성이 유사하게 나타난다. 또한 이천, 평택, 화성, 김포와 같이 산지 비율이 낮고, 농경지가 높은 시군들이 유사하게 나타난다. 반면, 과천은 다른 시군들과 구별되는 생태계서비스 특수형으로 나타났다.

본 연구에서는 40개 지역으로 구분한 수도권을 대상으로 주성분 분석을 시행하였다. 고유치(Eigen value)가 1 이상인 2개 요인으로 생태계서비스들을 구분하였다. 1축은 77.4%로 비도시지역을 중심으로 침식조절, 탄소흡수, 대기조절, 경관가치, 도시열섬, 탄소저장, 수량공급, 서식처질이 주요 요인으로 나타났다. 2축(13.9%)은 도시지역을 중심으로 생태관광, 수질조절(인, 질소) 등이 주요 요인으로 나타났다. 2축을 중심으로는 해안지역과 내륙지역으로 나뉘는 경향을 일부 보여주고 있다.



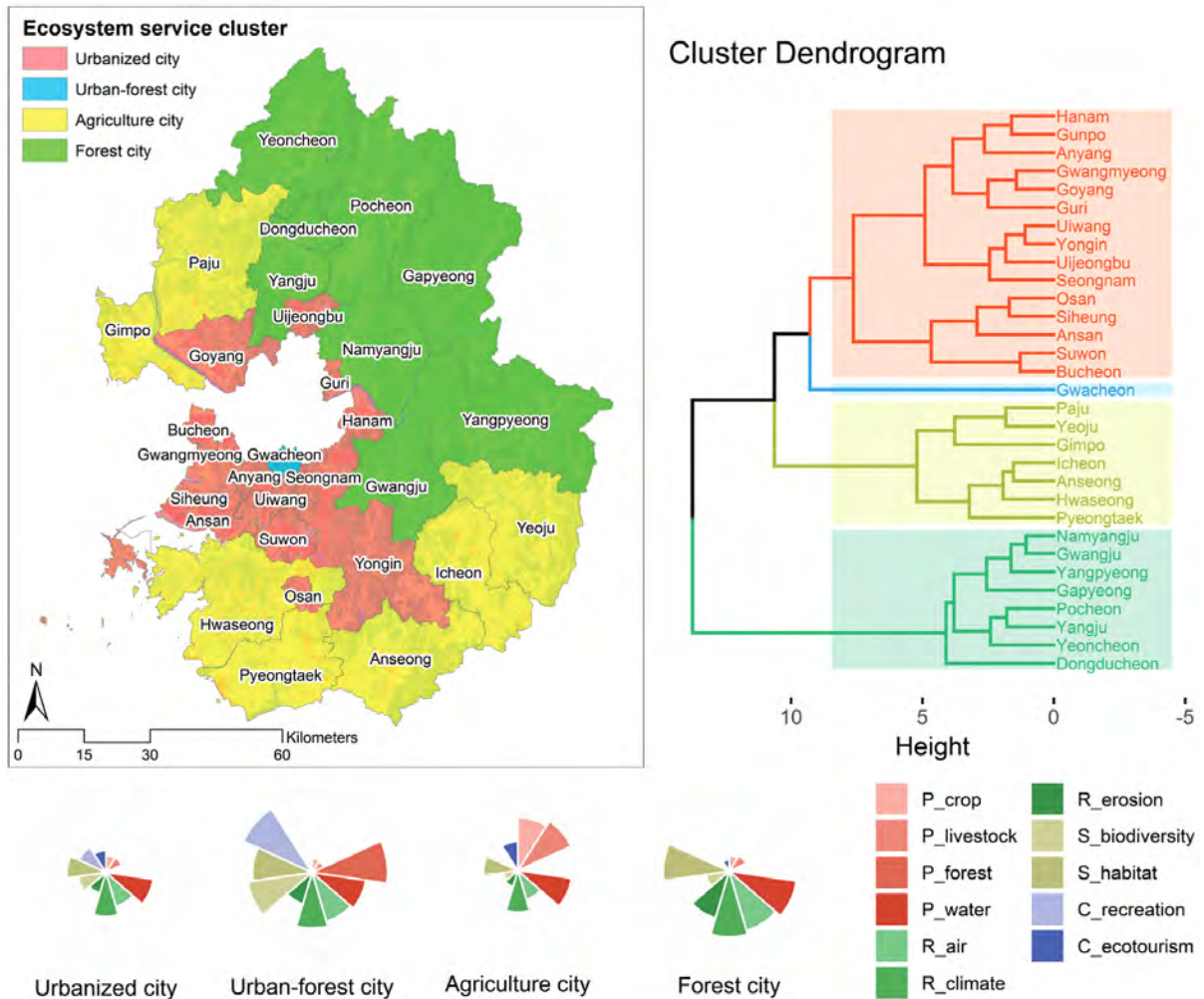
| 그림 11-2-5 | 수도권 주성분 분석 결과

앞서 언급한 바와 같이 수질 조절과 생태관광은 도심지역 중에서도 서울 5개 권역을 중심으로 패턴이 그려지는 경향을 강하게 보인다. 반면, 탄소저장, 도시열섬, 경관가치 등 산림과 식생이 주요한 인자로 평가되는 지표는 가평, 양평, 남양주, 경기도 광주, 동두천 지역 등에 주요 인자로 적재되었다. 그리고 의정부, 과천, 의왕 등은 대기조절, 탄소흡수, 침식조절 등의 지표들이 주요 요인인 것으로 나타났다. 서식처질과 수량 공급은 다른 지역에 비해 상대적으로 인간간섭이 적은 산림 지역인 양주, 연천 지역을 중심으로 요인이 적재되었다.

지역은 크게 수도권 생태계 유형을 반영하여, 서울과 그 외곽도시를 도시유형으로, 강원도 경계의 산림이 많은 수도권 동부지역은 산림유형으로, 서해안을 중심으로 형성된 도시지역을 해안유형으로, 이외 지역들을 농촌유형으로 구분하였다. 다만, 농업기반의 공급서비스 관련 지표가 평가되지 않은 관계로 수도권 남동부 지역의 평야 지역이 구분되지 않는 한계점을 보인다. 추후 연구에서는 쌀 생산량 등과 같은 농업기반의 생태계서비스 지표개발이 필요하다.

다. 생태계서비스 군집분석

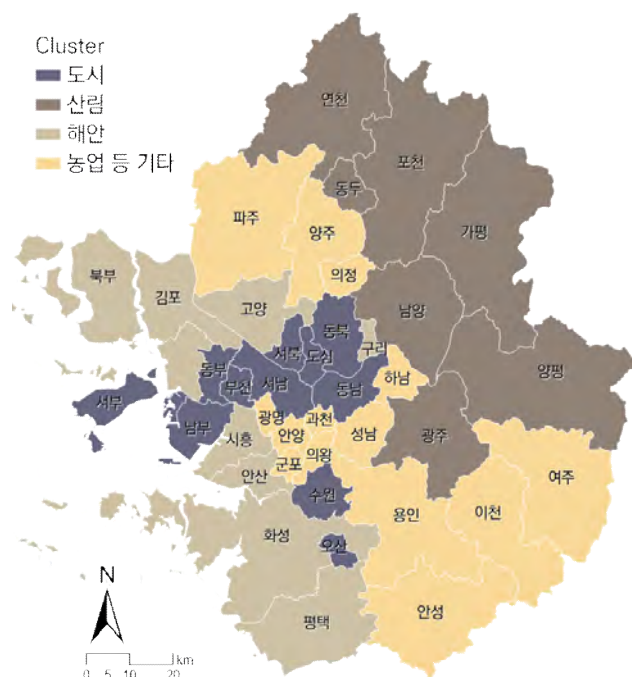
군집분석은 생태계서비스 번들 중에서 유사도가 높은 군집을 분류하여 군집의 특성과 그들 간 관계를 분석하는 평가기법이다. 생태계서비스 평가에 대한 군집분석은 항목들의 결과를 이용하여 지역들을 유형화하고, 이를 기반으로 생태계서비스 항목 간 상관성에 대한 다양한 기초정보를 제공한다(Sparke et al., 2017).



| 그림 II-2-6 | 경기도 군집분석 결과(김일권 외, 2019)

김일권 외(2019)는 Ward 법을 이용하여 군집분석을 수행한 결과, 경기도 시군들을 4개의 유형으로 분류하였다(그림 II-2-6). 서울 주변 지자체가 포함된 '도시형' 군집, 과천시만 해당하는 '도시산림형' 군집, 경기도 남부와 북부지역의 '농업형' 군집, 경기도 북동부에 위치한 '산림형' 군집으로 분류되었다. 각 지역의 생태계 특성이 반영된 형태로 서로 유사한 생태계서비스 평가 결과들이 확인되었다.

이번 군집 평가도 김일권 외(2019)와 동일한 방법을 통해 분석하였다. 군집분석은 유사성 기준이 되는 거리산출법과 계층군집법 등이 있지만, 추출된 군집을 통계적으로 검정하기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 군집분석의 최적 개수를 산정하고, 가장 발생 빈도가 높은 군집 개수를 선택하였다. R 소프트웨어의 NbClust 패키지의 fviz_nbclust 함수는 단일연결법, 완전연결법, 평균연결법, 와드법(ward), k-mean 등의 다양한 계층적 군집방법들을 반복적으로 수행하여 군집 개수를 산정하고 계층적 군집분석 과정에 적용하여 최적 군집의 빈도수를 파악한다(Charrad et al., 2014). 이를 통해서 파악된 최적의 빈도수를 군집 개수를 설정하고, 이에 해당하는 군집분석을 수행하여 수도권 시군별 생태계서비스 특성을 유형화하였다.



| 그림 II-2-7 | 수도권 군집분석 결과

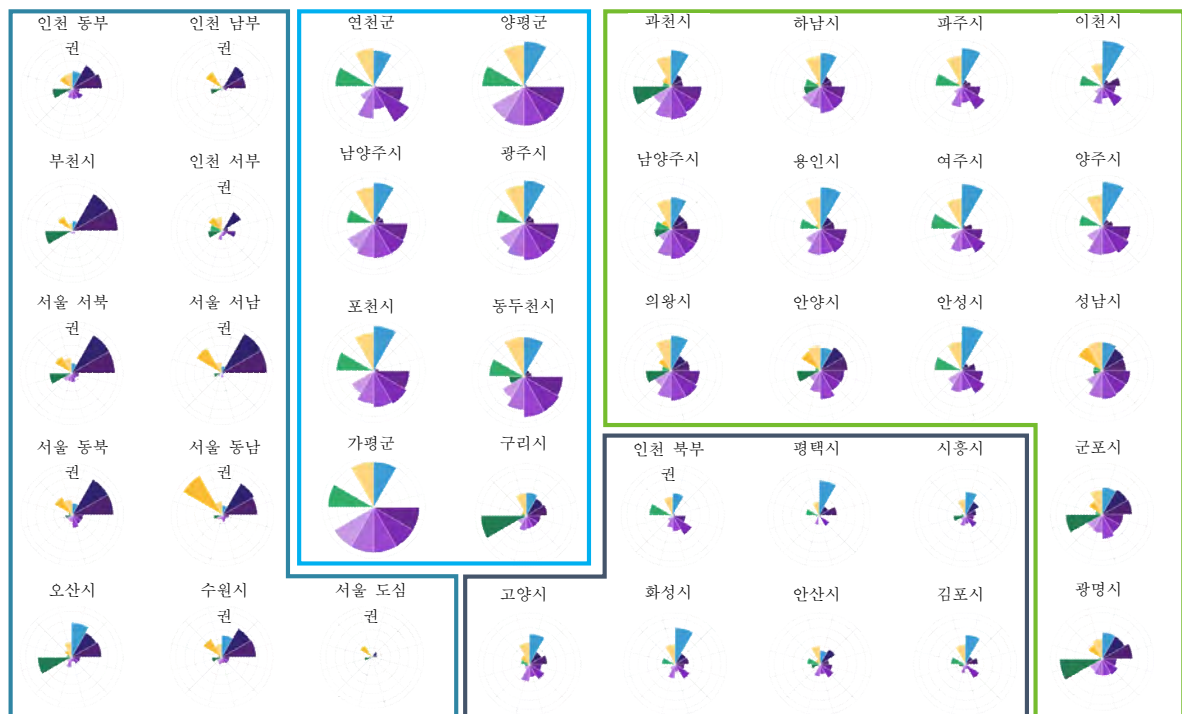
도시형, 산림형, 해안형, 농업 등 기타형으로 4개의 군집으로 분류되었다.

‘도시형’은 서울의 5개 권역(도심권, 서북권, 동북권, 동남권, 서남권)을 포함하여, 부천, 인천 동부, 인천 남부, 인천 서부권역, 수원, 오산이 포함되었다. 해당 지역은 도시화율이 높고, 인구가 많아 수질정화(질소, 인)와 생태 관광 서비스가 높게 평가되는 특징을 가졌다.

‘산림형’은 연천, 동두천, 포천, 남양주, 광주, 가평, 양평지역으로 강원도와 인접하여 산림이 많은 생태적 특성을 가진다. 이 지역들은 산림과 녹지를 기반으로 하는 탄소흡수, 도시열섬, 경관가치에서 높은 생태계서비스 평가 결과를 나타내었다.

‘해안형’은 수도권 지역의 서쪽 서해안을 중심으로 인천 북부, 김포, 고양, 시흥, 안산, 화성, 평택 지역이 포함되었다. 다른 지역에 비해 자연생태계의 면적이 작으나, 인구와 도시화율의 측면에서는 도시형과 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 생태계서비스의 결과들이 전체적으로 저조한 것으로 평가되었다.

마지막으로 ‘농업 등 기타형’ 파주, 양주, 의정부, 광명, 안양, 의왕, 군포, 성남, 하남, 용인, 안성, 이천, 여주가 포함되었다. 해당 지역들은 다른 군집에 비해 비교적 골고루 생태계서비스가 평가되는 결과를 보이고 있으며, 대기 조절, 탄소흡수, 침식조절 등 조절서비스에서 비교적 높은 평가를 나타내었다.



| 그림 11-2-8 | 수도권 군집별 번들 그래프

이번 연구에서는 수도권 지역의 생태계서비스 평가를 통해 광역 단위의 번들 평가를 수행하였다. 기존 번들 연구들과 같이 도시형 번들은 문화서비스와 조절서비스(수질)가 높게 나타난 반면, 산림형 번들은 탄소흡수와 저장, 수량 등 산림의 비율에 따라 평가 결과들이 나타났다(Raudsepp-Hearne et al., 2010; Queiroz et al., 2015; Baro et al., 2017).

수도권에서 도시형은 서울과 인천뿐만 아니라 상당한 도시화가 진행된 수원과 면적이 작고 급격한 도시화가 이루어지고 있는 오산이 함께 분류된 것은 특이한 사항이다. 이는 수도권의 규모와 생태적 특성에 따라 군집 규모와 수준이 달라지는 것을 확인할 수 있다(김일권 외, 2019).

또한, 유형화 평가 과정에서 생태계서비스 지표 간 상관성도 기존 연구 결과와 유사한 패턴을 나타내고 있지만, 일부 지표는 다른 경향을 나타내기도 하였다. 특히, 평가 결과에서 공급서비스 지표를 수량공급만 사용한 관계로 농업생태계와 관련한 생태계 특성을 보이지 못했다. 또한, 지지서비스 중 하나인 조류 생물다양성도 개별 평가를 하였음에도 유형화에서는 제외하였다. 이는 기존 평가지표 특성과 상이한 패턴을 보이고 있어, 전체 상관관계 분석과 주성분 분석, 군집분석에서 상당한 영향을 주었다. 향후, 지지서비스인 조류생물 다양성은 모형이나 지표를 개선하는 것이 필요한 것으로 확인하였다.

우리는 생태계서비스 유형화 연구를 통해 지표의 시너지와 트레이드오프 관계를 확인했을 뿐만 아니라, 지역의 생태계 특성에 따라 결과들이 서로 다르게 평가된다는 것을 확인하였다. 평가 결과 또한 기존 연구 결과들과 유사한 형태가 나타나기도 했지만, 일부 지표에 대해서는 다르게 평가되기도 하였다. 이와같이 생태계서비스 평가가 지역의 일반적 특성을 가지기보다는 지역의 생태계 특성을 반영하는 특징을 가지기 때문에 이를 효과적으로 반영하는 것이 필요하다. 막연하게 지역들에 대한 평가를 규정하기보다는 정량적인 생태계서비스 평가를 통해 지역을 유형화하고, 평가 결과에 맞는 생태계서비스 관리정책을 수립하는 전략이 필요하다.

라. 소결

생태계서비스 분포는 지표나 방법론에 따라 차이가 나기 때문에 표준화된 평가지표와 방법론이 정립되어야 한다(Maes et al., 2012). 본 연구에서 사용된 지표들은 다양한 시행착오를 거쳐 논문 및 전문가 검증을 통해 개선됐다. 그러나 지표와 평가모형은 지속적으로 개선되고 다양한 자료들을 사용하는 평가 방법들이 제시되고 있어, 이를 명확하게 정립하기가 쉽지 않다. 그렇기 때문에 본 연구결과는 현시점에서 적용 가능한 방법을 사용했다는 점을 명시하고자 한다. 또한, 생태계서비스 유형화 연구는 개별 생태계서비스 지표에 대한 평가라기 보다는 지역별 생태계서비스의 특성을 파악하는데 더 의의가 있다. 평가 결과는 지역 특성에 맞는 생태계서비스 기반 관리에 활용하기 위해서는 좀 더 표준화된 평가 방법들과 추가적인 지표개발이 필요할 것으로 보인다.

수도권 생태계서비스에 대한 평가가 일단락되면서 그간 개발했던 지표의 한계점과 개선점 사항들을 파악할 수 있었다. 첫째, 제시된 12개 지표 중에서 공급서비스의 비중이 작아 생태계서비스 간 균형이 부족한 부분이 있었다. 이는 식량 공급이나 가축 생산, 목재생산 등에 대한 평가지표를 지도화하는 제한적이기 때문이다. 또한, 해당 지표의 품목들이 매우 광범위하여 이를 대표하는 지표를 선정하기 어려웠다. 그럼에도 불구하고, 차년도 연구에서는 전문가들의 검토를 거쳐 이 부분의 대표 지표를 선정하여 평가지표에 넣는 작업을 수행하고자 한다. 둘째, 조류 생물다양성 지표는 지지서비스 뿐만 아니라 조류탐조와 같은 문화서비스와도 관련이 있기 때문에 평가 초기부터 중요한 지표로 관리해 왔다.

제3차 전국자연환경조사 자료를 기반으로 종분포모형을 수행하였기 때문에, 실제 출현종이기 보다는 확률에 기반하여 평가되었다. 특히, 하천을 중심으로 평가되고, 전체 총합산을 대푯값으로 사용해서 지역에 대한 변별력이 반감되는 형태를 가지고 있다. 이 부분은 각 지역에서 출현하는 종수의 합계를 쓰는 방법을 활용하는 것을 검토해 보고자 한다. 마지막으로, 최근 문화서비스에 대한 지표 개선이 두드러지고 있다. 특히, 생태계서비스 중에서도 가장 인간에게 밀접한 서비스 중 하나이기 때문에 더욱 개발이 필요한 지표이기도 하다. 다만, 문화서비스가 사회적 범주의 자료들이 필요하기 때문에 이에 대한 자료의 범용성 및 빅데이터 활용에 대한 연구를 지속해야 할 것이다. 이번 연구에서는 생태관광 지표 중 Flickr의 PUD에서 개선하여, 덤러닝을 이용한 이미지 인식기술을 통한 생태계서비스 관련 사진을 재평가하는 방법을 사용하였다. 이와같이, 생태계서비스 평가를 위해 다양한 컴퓨터 프로세싱뿐만 아니라 빅데이터 활용에 대해서도 평가지표를 확장할 필요가 있겠다.

이번 연구가 수도권 지역으로 공간적 범위가 제한되어 공간스케일을 전국으로 확장하거나 행정구역 경계에 따른 번들 평가가 아니라 격자화된 평가 결과를 이용할 때는 생태계서비스 평가 결과가 달라질 수 있다. 생태계서비스 관리정책의 목적에 따라 규모(지점, 지자체, 국가), 평가 정밀도, 평가지표, 평가 방법을 다양하고 효과적으로 적용할 필요가 있다.

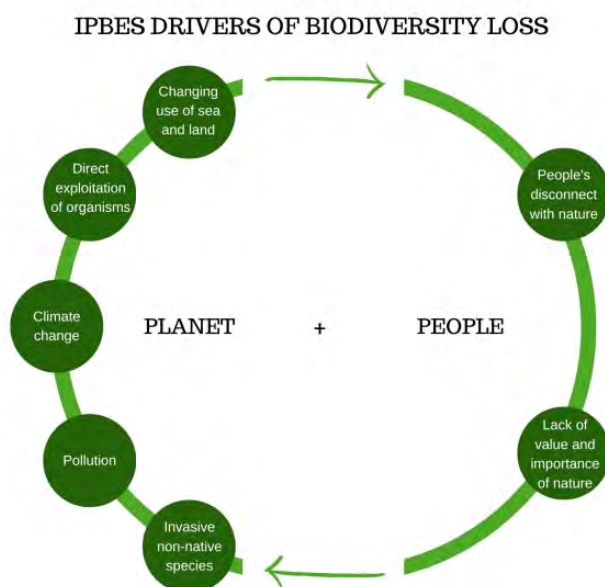
3 생태계서비스 변화요인 및 추세 분석

가. 연구 배경

도시화는 도시의 경관을 변화시키고 사회시스템과 생태계시스템 간 상호작용을 일으킨다. 인구의 급속한 성장은 도시의 공간적 확대에 이어지고, 이에 따른 도시 경관과 생태계서비스에 대한 변화요인으로 작용한다. 이는 추가적으로 도로나 주거시설과 같은 도시기반시설 확대와 도시생태계의 변화로 이어지기도 한다. 도시화된 지역에 대한 이러한 수요나 압력요인의 증가는 자연경관을 인공경관으로 바꾸어 시민의 생태복지에 기여하는 생물다양성이나 생태계서비스 손실로 이어진다.

이러한 추세에 따라 도시 내 공원과 오픈스페이스 같은 조성 녹지나 잔존 생태계는 도시 환경관리에서 매우 중요한 요소로 인식되고 가고 있다. 이러한 급격한 도시화는 도시 녹지 공간의 분포와 면적을 포함하여 도시 구조를 변화시키는 복잡한 과정이기 때문에 공간 분석을 포함하는 모델링 접근법을 사용한 시나리오 분석이 필요하다. 이를 통하여 다양한 관리 시나리오에 따라 토지이용 변화를 겪게 될 잠재적 지역을 평가함으로써 도시 환경계획에 도움을 줄 수 있다.

국제사회에서 생태계 및 생태계서비스에 대한 변화요인으로 토지이용 변화, 기후변화, 외래종 침입, 자연자원의 과도한 사용, 환경오염 등을 들고 있다. 이러한 변화요인은 생태계에 압력으로 작용하고, 이는 생태계에 현황 및 상태를 결정하게 된다. 생태계에 현황과 상태의 변화는 도시 및 인간 사회시스템에 영향을 주면서 도시에 사는 시민들의 삶의 질에도 영향을 주게 된다. 이에 따라 이해당사자와 정책 의사결정자들은 이를 개선하기 위한 반응을 하게 되는데, 이는 정책이나 제도를 통해 이루어지게 된다. 이러한 반응은 다시 생태계 변화요인에 영향을 주는 되먹임 형태로 진행된다.



| 그림 II-3-1 | 생물다양성 손실의 주요 변화요인 체계

그중에서도 가장 직접적인 영향은 토지이용 변화로 볼 수 있다. 토지이용 변화에 기반한 추세분석은 토지피복 자료의 변화를 파악하고 이에 따른 생태계서비스의 감소나 손실을 회피하거나 완화하기 위한 정책 대안을 수립하는 데 도움을 준다. 토지이용 변화는 다양한 요인에 의해 발생하는 복잡한 시공간적 과정이기 때문에 공간 변화 패턴을 이해하기 위해 다양한 모델링이나 시나리오 기법을 사용하기도 한다.

토지이용변화 모형은 다양한 요인에 의해 영향을 받는 공간적 변화를 시뮬레이션하고 시나리오에 따른 다양한 정책 시나리오를 테스트할 수도 있다. 생태계서비스의 변화분석을 위한 모형으로는 시스템 역학(System Dynamics), 셀룰로 오토마타(CA, Cellular Automata), 다중행위자 시스템(Multi-agent System) 등이 있다.

이번 연구에서는 1990년도부터 2020년까지의 환경부 대분류 토지피복도를 이용하여 수도권의 생태계서비스에 대한 변화양상을 파악하는 데 목적이 있다.

나. 추세분석 및 변화요인 관련 주요 연구

생태계서비스 연구는 생태계의 기능과 혜택에 대한 유량(Flow)에 대한 평가임에도 불구하고 지금까지 생물리학적 구조와 기능, 생태계서비스의 잠재적 공급량에 대한 초점을 맞추어 연구됐다. 따라서, 상대적으로 서비스의 흐름과 시계열적 변화 연구는 상대적으로 연구가 적었다.

우리 인류가 궁극적으로 생존하기 위해서는 생태계서비스의 지속적인 관리정책이 필요하다. 생태계서비스는 정적인 것이 아니라 시간에 따라 변화하기 때문에 현재의 평가방식은 반드시 정확한 생태계서비스의 양을 나타내는 것은 아니다. 이러한 시간적 변화를 고려하지 않으면 의도하지 않은 다른 결과를 초래할 가능성이 있다. 예를 들어, 우리나라는 문순기후대로 연간 강수량이 고르지 않고, 여름철에 강우가 집중되어 나타난다. 그러나, 생태계서비스 중 수량 공급 지표는 연간 강수량을 기준으로 평가하기 때문에 여름철 강수량이나 이에 따른 지표 유출을 정확하게 탐지하는 데는 한계가 있다.

국내 연구뿐만 아니라 다양한 국외 연구에서도 시간 흐름에 관한 연구는 상대적으로 적게 진행되고 있다²⁾. 이러한 대다수의 연구는 인간의 수요 변화를 연구하기보다는 생태계서비스의 잠재적 공급량을 우선적으로 평가방식으로 진행되었다. 따라서, 생태계서비스의 잠재적 공급량이 충족되었는지, 부족한 생태계서비스가 있다면 이에 대한 압력 및 변화요인이 증가하는지에 판단하기가 어려웠다. 그런데도 여전히 인간 수요 및 변화 요인에 대한 연구들이 상대적으로 적으며, 이마저도 문화서비스에 대한 평가로 한정되어 평가되는 경향이 있다.

2) Rau et al.(2020). Temporal patterns in ecosystem services research: A review and three recommendations. Ambio, 49(8), 1377-1393.

이러한 문제를 해결하기 위해 Rau et al.(2020)는 생태계서비스 시계열 연구를 위한 3가지 제안을 제시하였다.

제안 1: 더 많은 장기 연구를 수행하고 생태계서비스 수요와 공급 관찰에 대한 시간해상도를 높인다. 정기적인 측정을 통한 장기 연구는 시간적 흐름을 보는 가장 확실한 방법 중 하나다. 갑자기 이상 현상에 따라 비선형적 변화를 가져오더라도 이에 대한 변화를 판단하고 현상을 이해하는 데 도움을 줄 수 있기 때문이다.

제안 2: 생태계서비스 상호의존성, 트레이드오프 및 시너지 효과에 대한 시간적 분석을 한다. 생태계서비스에서 상호의존성과 트레이드오프 시너지 등은 시간에 따라 변화요인에 따라 변화할 가능성이 있고, 그 영향력도 서로 다르기 때문에 상호의존성 관계도 함께 변화하게 된다. 그러나, 우리의 현재 연구는 특정 시점에서의 관계를 평가하고 있기 때문에 여러 서비스가 시간이 지남에 따라 공통요인으로 인해 변경되는지 또는 생태계서비스 간의 인과관계로 인해 변경되는지에 대해 명확하게 결론짓기 어려울 수 있다. 특히, 부정적 외부 효과를 고려하지 않고 단일 공급서비스를 최대화하는 경우, 조절과 문화, 지지서비스의 서비스양이 의도치 않게 감소할 수 있다. Haase et al.(2012)은 독일 할레와 라이프치히의 도시 지역에서 1990년과 2006년 사이에 레크리에이션 잠재력 감소와 지역 기후조절 증가, 탄소흡수, 생물다양성, 식량 생산 사이에 의도치 않은 상충관계가 확인되었다. 이러한 문제를 최소화하고 올바른 생태계서비스 관리를 위한 의사결정을 내리기 위해서는 생태계 규모에 따른 시간적 변화를 고려함과 동시에 인위적 변화요인에 따라 각 생태계서비스가 다르게 반응할 수 있다는 점을 고려할 필요가 있다 (IPBES, 2018).

권장 사항 3: 이해관계자를 참여시켜 수요 측면과 인간 의존성을 포함한다. 생태계서비스 연구에 수요 측면을 더 잘 포함하려면 이해관계자 참여가 중요하다. Huxham et al.(2015)³⁾은 케냐 맹그로브 숲에 대한 시나리오를 개발하기 위해 낚시 어획량, 맹그로브 탄소흡수 사업과 가구 조사, 포커스 그룹 인터뷰 등을 통해 공급량과 대응하는 수요 관련 자료를 수집하였다. 이를 통해 현재 상태로 지속가능한 산림 관리 시나리오를 개발하고 미래 20년 동안 산림과 관련된 가치와 비용을 평가하였다. 이와같이 수요와 공급 자료를 일치시키면 공급과 수요 간의 불일치를 식별할 수 있으며, 이는 생태계서비스를 지속가능하게 관리하는 다양한 의사결정 선택사항을 제공할 수 있다.

지역 생태계서비스의 유지 및 증진, 생태계서비스 기반의 관리정책, 기후변화대응 등을 위한 도시환경계수 수립을 위해서는 토지이용 변화 및 배분에 대한 공간적 분포를 연구하는 것도 중요하다. Wang et al.(2023)은 SSP-RCP(Shared Socioeconomic Pathway and Representative Concentration Pathway) 기반의 토지이용 시뮬레이션(PLUS) 모델을 통해 생태계서비스 평가 미래 시나리오를 테스트하였다⁴⁾. 다양한 기후 변화 시나리오에서 합리적인 대응 정책을 수립하고 효과적인 개발 방향으로 의사결정을 하면 지역 생태계서비스 기능을 개선하고 균형 잡힌 토지이용 패턴을 형성할 수 있음을 보여주고 있다.

3) Huxham et al.(2015) Applying climate compatible development and economic valuation to coastal management: A case study of Kenya's mangrove forests. Journal of Environmental Management 157: 168-181

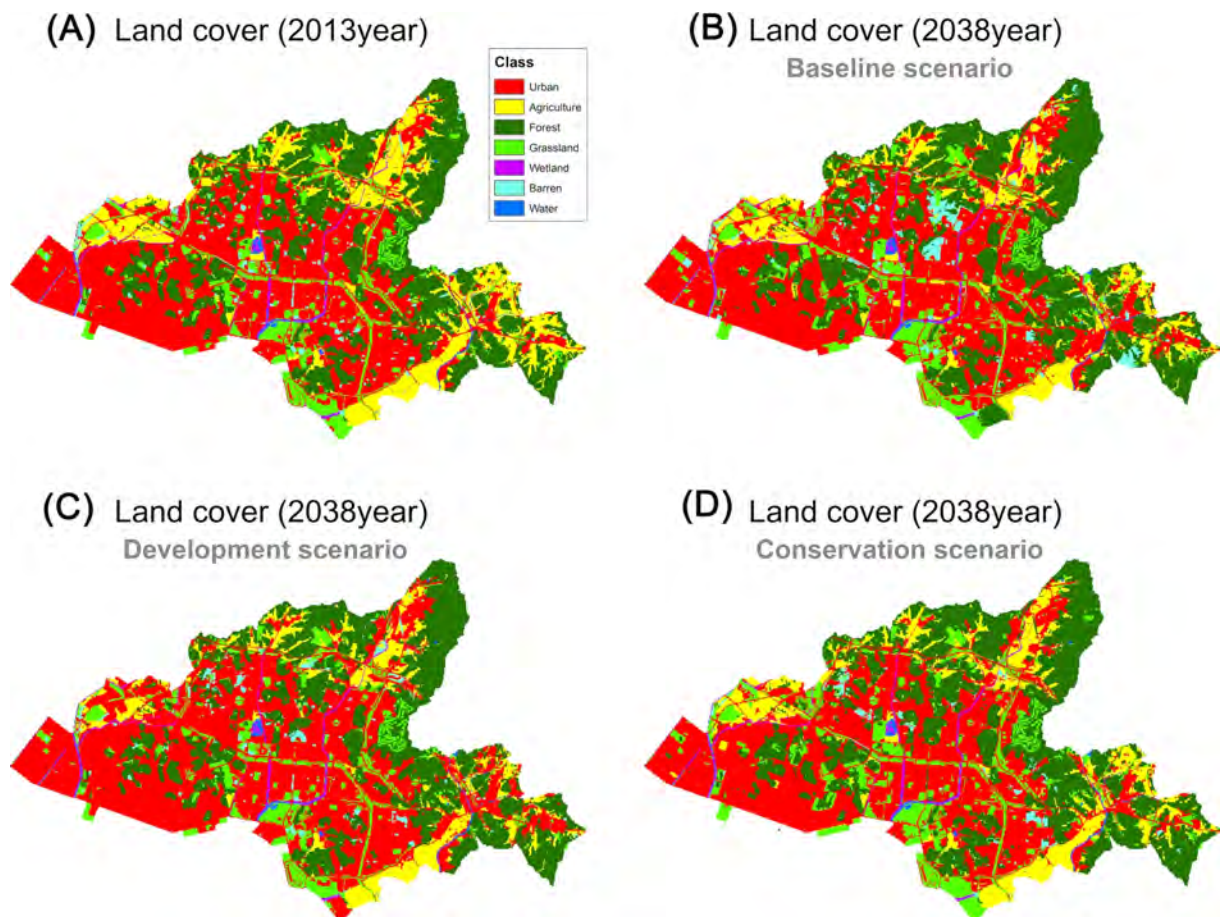
4) Wang et al.(2023) Coupling PLUS-InVEST Model for Ecosystem Service Research in Yunnan Province, China, Sustainability 15(1)

도시 지역을 생태계서비스 접근법을 통해 관리하기 위해서는 공간계획이 필요하며, 이를 위해서는 정량적인 생태계서비스 평가가 필수적이다. 그러나, 지표에 대한 독립적 검증 데이터가 없는 경우에는 다중모형을 이용하여 불확실성을 줄이는 방법이 필요하다. Veercamp et al.(2023)⁵⁾은 3가지 오픈소스 생태계서비스 평가모형(InVEST, LUCI, NC-모델)을 이용하여 네덜란드 헤이그 지역을 평가하였다. 각 모형들은 서로 양의 상관관계가 있음도 함께 확인하였다. 이 연구는 도시 생태계서비스 모형을 개선하기 위해서는 모형의 불확실성을 평가하고 도시 녹지 및 인프라에 대한 입력변수를 개선하는 것을 제안하고 있다. 대부분 모형들이 주로 국외에서 개발되고 그 변수들도 국내와 맞지 않는 경우들이 있기 때문에, 짧은 시간 내 다양한 평가도구를 통한 앙상블 모형을 통해 결과의 불확실성을 체계적으로 제거할 필요가 있겠다. 추가적으로 다중모형은 모델의 특성에 따른 장단점을 파악할 수 있고, 의사결정과정에서 특정 모형의 적용 가능성을 가늠하는 데도 도움을 줄 수 있다.

5) Veercamp et al.(2023). Comparing three spatial modeling tools for assessing urban ecosystem services, Ecosystem services 59

다. 연구 사업을 통한 선행 연구(Kim and Kwon, 2021)⁶⁾

본 논문에서 제안한 접근법은 사회경제적 요인과 관련된 실용적인 정책 시나리오를 사용하여 도시 토지이용 변화와 생태계서비스에 대한 영향을 시뮬레이션할 가능성을 검토하였다. 우리는 CA 기반 토지이용 변화모델을 사용하여 토지이용 변화를 시뮬레이션하고 7가지 생태계서비스를 평가했다. 또한, 도시 내 녹지 정책 시나리오가 토지이용 변화 및 생태계서비스에 미치는 영향을 평가하고 기준선(현재), 개발(도시확장) 및 보전(도시녹지공간 확대)의 3가지 시나리오를 비교했다.



| 그림 11-3-2 | 시나리오에 따른 토지이용 변화 모의 결과

시뮬레이션 된 토지이용 변화는 생태계서비스에 대한 영향을 정량적으로 평가할 수 있게 했으며 서비스 간의 시너지와 트레이드오프를 검토하였다. 해당 연구의 결과는 도시 지역의 사회경제적 변화를 확인하고 도시 녹지

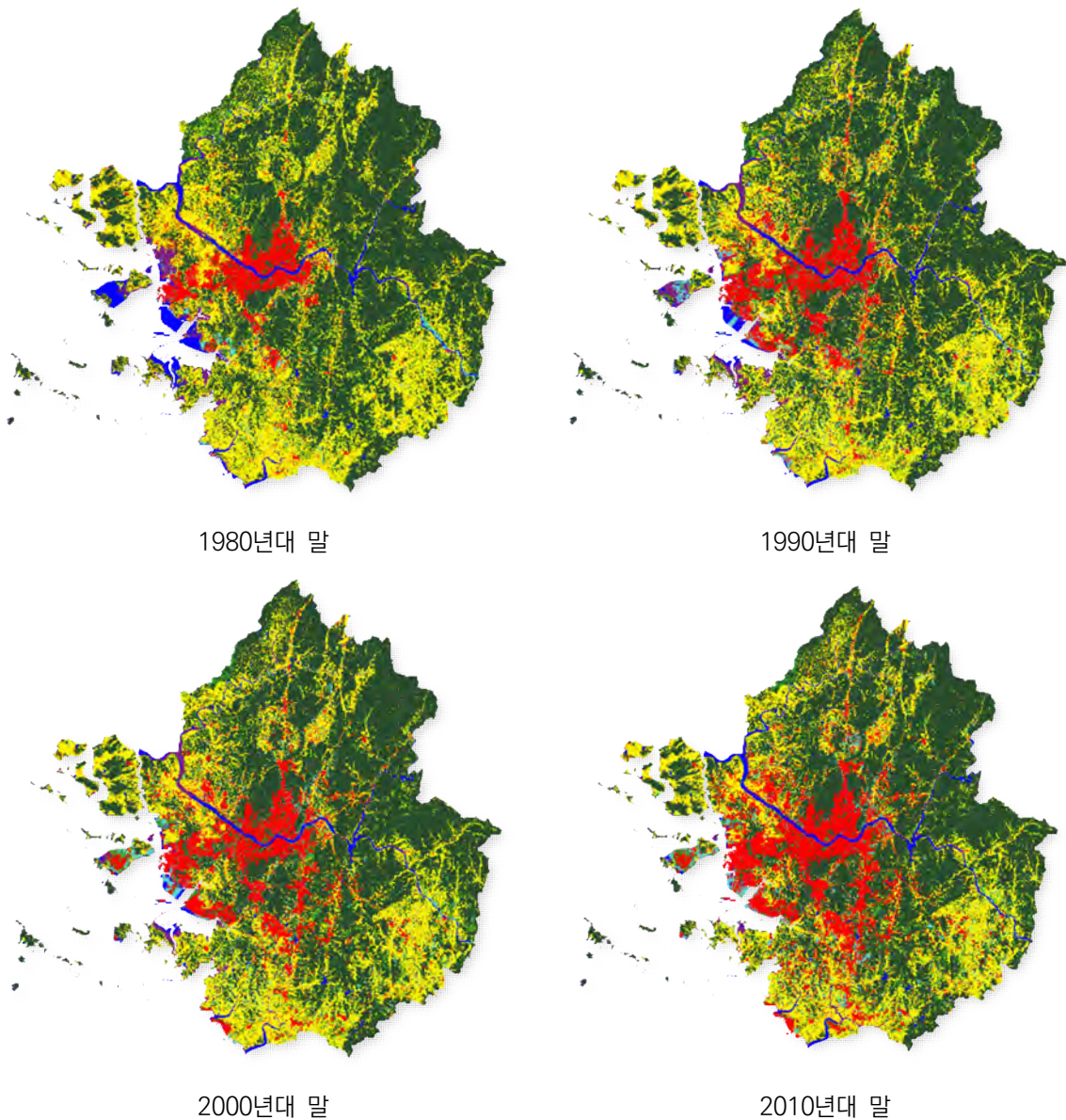
6) Kim, IK and HS Kwon.(2021) Assessing the Impacts of Urban Land Use Changes on Regional Ecosystem Services According to Urban Green Space Policies Via the Patch-Based Cellular Automata Model. Environmental Management

공간을 재배치하는 공간계획에 활용될 수 있다. 그러나, 제시된 접근 방식은 모형이나 정책 수립과정에서 개선될 여지가 있다. 도시관리 시나리오는 인구 변화의 공간 배분과 다양한 유형의 도시 녹지에 대한 사회적 선호를 통해 개선될 수 있다.

정책은 지역 사회의 필요나 수요에 따라 고려하여 추진되어야 한다. 도시민의 건강에 영향을 주는 도시 열섬이나 미세먼지 등 최근 환경 이슈는 도시 녹지에 대한 수요를 증가시키고 있다. 도시 녹지 정책은 도시계획에서 시민들의 요구사항을 반영해야 한다. 이뿐만 아니라 다양한 생태계서비스에 대한 수요에 따른 대상 지역의 공간적 분배를 고려하고 토지이용 변화에 대한 영향을 평가하기 위한 추가 연구가 필요하다. 따라서, 우리는 사회 환경적 결과뿐만 아니라 지역 정책에 기반한 토지이용 변화의 영향을 좀 더 정량적으로 평가하여 과학 기반의 정책의사 결정을 할 수 있도록 지원해야 한다.

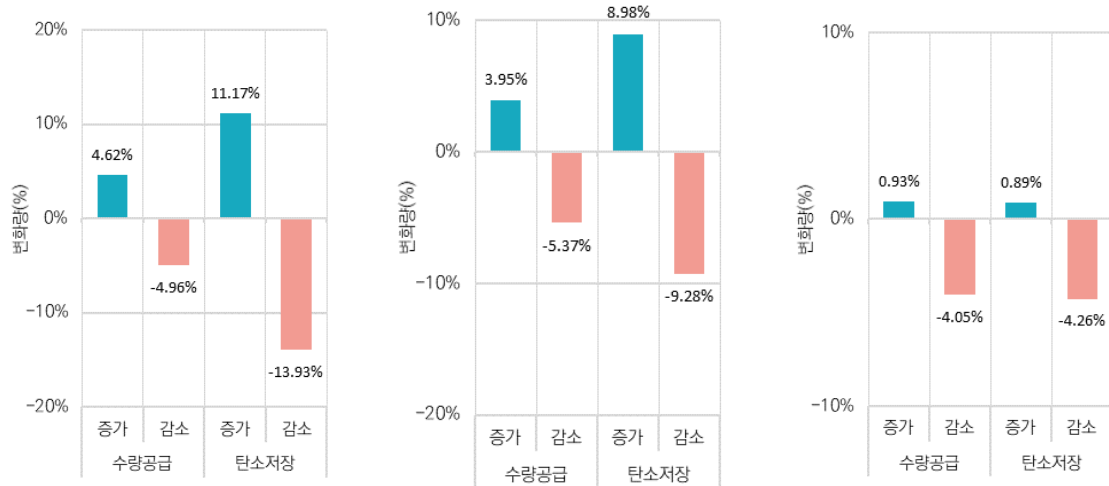
라. 수도권 지역의 생태계서비스 변화 추세 분석

본 연구에서는 환경부에서 80년대 말부터 최근까지의 대분류 토지피복도를 기반으로 수량과 탄소흡수에 대한 변화량을 평가하였다.



| 그림 II-3-3 | 수도권 토지피복 변화 추세

수도권 지역은 90년대 말부터 급격한 개발에 따라 생태계서비스 양이 변화하는 양상을 보인다. 특히, 산림과 녹지에 영향을 받는 수량공급 서비스와 탄소흡수의 변화량은 다른 서비스에 비해 크게 늘어나는 양상을 보이고 있다. 이는 90년대 이후 경부고속도로축과 시흥, 안산, 고양과 같은 신도시가 확장함에 따라 그 속도가 빠르게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 2000년대와 2010년대 들어서면서 서비스 변화폭은 지속적으로 줄어들고 있으나, 서비스 증가량도 함께 줄어드는 경향을 보이고 있다(그림 II-3-4).



80년대 말과 90년대 말 변화량

90년대 말과 00년대 말 변화량

00년대 말과 10년대 말 변화량

| 그림 II-3-4 | 생태계서비스(수량공급, 탄소저장) 잠재적 공급량에 대한 시계열적 변화율

1980년대 말에서 2000년대 말까지 탄소저장 면적변화량은 1,077km², 1,048km²로 변화량이 크게 증가하다가 2010년 말에는 559km²로 감소하는 경향을 보이고, 증감량도 9.58%, 9.32%로 유지되다가 2010년 말에는 4.98%로 감소하였다. 반면, 탄소저장량은 변화 면적이 26,449km², 19,244km²로 각각 25.10%, 18.26%가 변화하는 것을 볼 수 있었다. 그러나, 수도권의 개발수요가 줄어든 2000년대 말과 2010년대 말 사이에서 면적변화량은 5.436km², 5.16% 감소하는 변화량을 나타내었다.

이와같이 단일시기의 생태계서비스 양보다 시계열적 공간의 변화를 통해 변화요인과 변화율을 평가하여 효과적인 공간계획 수립이 가능할 것이다. 향후 연구에서는 이러한 추세를 바탕으로 토지피복변화 시뮬레이션을 수행하고 생태계서비스의 변화와 변화지역을 예측하는 연구를 수행하고자 한다.

마. 소결

토지이용 변화에 기반한 시나리오 평가는 미래 토지이용을 예측하고 선제적으로 해당 지역의 면적을 할당함으로써 생태계서비스의 감소나 손실을 피하거나 완화하기 위한 정책 수립하는 계획 도구 중 하나라고 볼 수 있다. 그리고 이를 위해서는 지역에 맞는 다양한 시나리오를 개발하여 이를 시뮬레이션을 반복하는 과정이 필요하다.

토지이용 변화는 다양한 요인에 의해 발생하는 복잡한 시공간적 과정이기 때문에 공간 변화의 동적 패턴을 이해하기 위해 모델링 접근법이 다양하게 활용되고 있다. 토지이용 변화모델은 다양한 압력요인에 의해 영향을 받는 토지이용의 공간적 변화를 시뮬레이션하고, 예상치 못한 변화 패턴을 반영할 수도 있으며, 다양한 정책 시나리오를 테스트할 수 있다. 또한, 생태계서비스는 토지이용과 사회-환경 공간자료의 중첩을 통해 정량적으로 평가되기 때문에 생태계서비스의 미래를 예측하고 다양한 시나리오를 비교하기 위해 적용되기도 한다. 관련한 다양한 연구에서 도시 녹지의 생태계서비스 역할과 다양한 도시관리 시나리오에 따른 정량적 평가와 시공간적 변화를 확인하는 것을 볼 수 있다.

우리는 도시의 빠른 확장을 제한할 수도 있고, 생태계서비스 손실을 줄이기 위해 보전 시나리오를 적용할 수 있지만, 녹지 정책 도구와 같은 특정 정책의 효과는 시나리오 평가나 시뮬레이션 모형으로 평가되기 어렵다. 특히, 도시녹지 정책은 시뮬레이션보다는 정책의사결정자나 정책이행자들의 지역관리정책을 통해 진행되는 경우가 많다. 따라서, 시나리오는 정책의사결정자와 구체적인 목표를 수립한 이후에 상세한 시나리오를 바탕으로 진행되어야 한다. 특히, 규모가 작은 지자체의 경우, 정책목표가 구체적이지 않거나 관련 자료가 상세하지 않아 모형의 결과들이 모호하게 평가되는 경우들도 있다. 이러한 구체적이고 정책의사결정자와의 공감대 없이 수행된 토지이용 변화모델은 도시관리 계획에 사용되지 못하는 원인이 되기도 한다. 사회경제적 요인은 도시의 토지이용 변화에 상당한 영향을 미치지만, 미래 시나리오 연구에서 거의 고려되지 않은 경우도 많다.

이에 최근 자연 기반 해법이나 도시생태계 서비스 정책들이 진행되고 있는 시점에서 이러한 시나리오와 시뮬레이션 평가는 좀 더 과학적인 환경계획을 수립하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다. 이 연구에서 개발된 접근 방식은 실무자가 현재 생태계서비스 정책의 효과를 추정하는 데 도움이 될 수 있으며 생태계서비스 관리와 관련하여 의사 결정자를 지원할 수 있다.

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구

III

생태계서비스 평가 인식증진방안 연구

1. 연구 개요
2. 시민참여 생태계서비스 평가
3. 생태계서비스 시민참여 평가의 Q 방법론 활용
4. 생태계서비스 인식확산 결과

1 연구 개요

생태계서비스는 인간이 자연을 통해 혜택을 느껴야 발생하는 가치로, 시민들과 가까운 곳에서 자연을 느낄 때 그 가치가 나타난다. 따라서, 지역의 자연을 가장 잘 파악하는 사람은 생태학이나 생물학 전문가가 아니라 그 지역에서 오랫동안 살면서 생물계절을 보고, 그 변화과정을 느끼는 시민이다. 본 연구는 시민사회가 함께 참여하여 환경정책 분야의 현장성과 전문성을 결합할 수 있는 시민참여형 평가체계를 만들고자 하였다. 시민참여를 통해 시민들은 지역의 생태자원 및 서비스에 대한 이해를 높이고, 자신들의 의견제시를 통해 환경정책에 대한 직접 참여 기회를 높이는 것을 목적으로 하였다.

본 연구는 지역단위 생태계서비스 평가를 위해 지역 생태자원과 현안들을 파악하고, 이를 체계적이고 과학적인 절차를 통해 결과에 반영하고자 하였다. 이를 수행하기 위해 2017년부터 안산, 남양주, 군산, 시흥 지역을 시작으로 비전문가들이 평가할 수 있는 생태계서비스 간이평가를 수행하였다. 그러나, 일반시민 의견 부족, 참여자 샘플 대표성, 코로나에 따른 대면 참여 평가 어려움 등에 따라 Q방법론, 참여 지도, 모바일 평가, 비대면 평가 등 다양한 방법들을 개발, 적용하여 다양한 결과를 도출하고 평가사례를 남겼다. 더불어 시민이 시민참여 생태계서비스 평가를 수행하기 위한 다양한 인식증진 콘텐츠와 교육을 병행하여 일반 시민들에게 생태계서비스에 대한 인식 증진하기 위한 노력을 수행하였다.

국외나 다른 사회 분야에서 참여 평가나 참여 지도에 대한 여러 연구와 사례들이 늘어남에도 불구하고, 여전히 환경 분야 현안들은 과학 기반, 증거기반 의사결정보다는 서로의 이해관계를 해결해나가는 방향으로 진행되고 있다. 본 연구가 단순히 시민참여 생태계서비스 평가에 그치지 않고, 생태 환경 분야에 시민들이 축적한 자료와 다양한 의견들이 어떻게 접목할 수 있는지를 보여주는 도구와 사례로 확대되기를 기대한다.

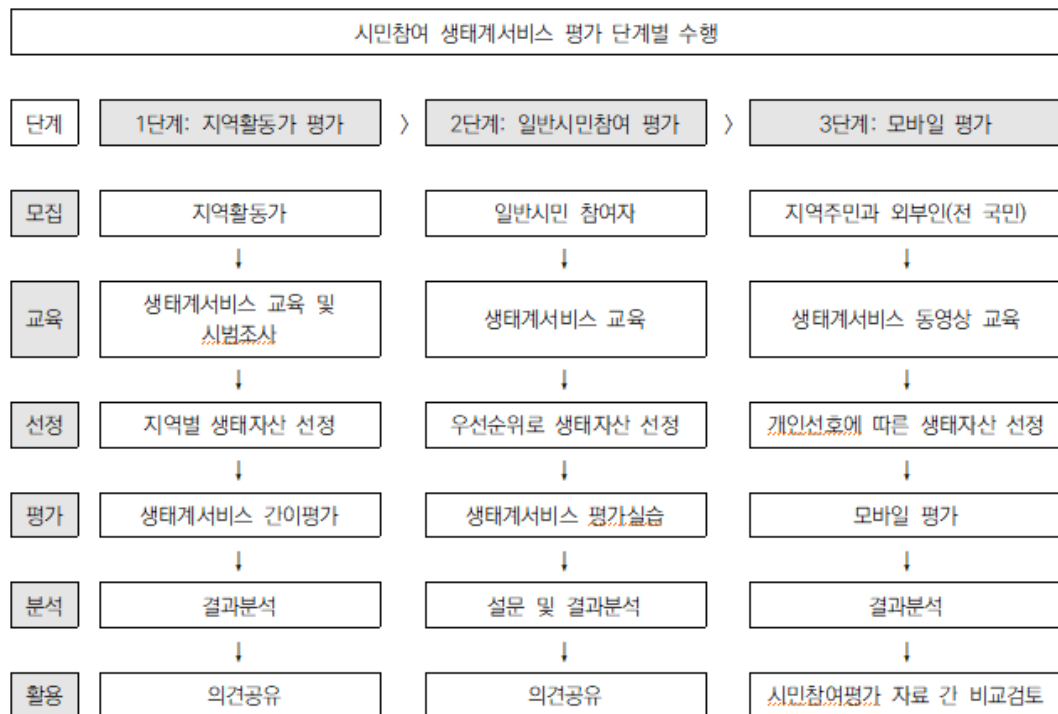


| 그림 III-1-1 | 연도별 시민참여 생태계서비스 평가

2 시민참여 생태계서비스 평가

가. 시민참여 생태계서비스 평가 개요

2017년부터 2020년까지 22곳의 연구지역을 시민이 주체가 되어 생태계서비스 평가를 하였다. 참여자는 생태자산 목록을 직접 구성하고, 현장에 방문하여 지역의 생태계서비스를 평가하였다. 2017, 2018년에는 RAWES를 활용한 생태계서비스 간이평가를 하였다. RAWES(Rapid Assessmnt Wetland Ecosystem Services)⁷⁾는 평가자인 습지 전문가들이 간단·신속하게 습지 생태계서비스 현황을 파악할 수 있게 하는 도구로 Ramsar 협약에서도 습지 관리 수단으로 채택한 도구다.⁸⁾ 2018년에는 간이평가 이외에도, 공공참여지도를 만드는 PPGIS(Public Participatory GIS)평가를 하였다. 2019년에는 동일한 지역의 생태자산에 대해 지역활동가는 간이평가를, 일반시민들은 Q방법을 이용하여 평가하였다. 더 나아가 지역주민과 전 국민을 대상으로 모바일 평가를 하였다. 2020년에는 코로나19로 인해 대규모 모집이 어려워 지역활동가와 간이평가만 진행하되, 생태자산의 위협이 되는 요소들을 평가하는 “변화요인” 항목을 추가하여 진행하였다. 이와 같은 과정을 담은 매뉴얼 및 자료집을 제작하여 지역별 특성을 비교하고 확인할 수 있도록 하였다.



| 그림 III-2-1 | 시민참여 생태계서비스 평가 단계별 수행

(출처: 국립생태원(2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업II」 p.35)

7) McInnes, R. J. and Everard, M.(2017). Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES): An example from Colombo, Sri Lanka. Ecosystem services, 25, 89-105. 내용을 정리

8) 국립생태원(2018), 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업」 p.29

생태계서비스 평가과정은 지역활동가와 일반시민(PPGIS) 모두 동일한 과정으로 진행되었다. 지역 환경에 관심이 많거나, 활동하는 주민을 모집하여 생태계서비스에 대한 기본적인 교육을 시행하고, 이후 생태자산을 직접 선정하여 생태계서비스를 평가하고, 결과물을 함께 공유함으로써 과정은 마무리된다.



| 그림 III-2-2 | 지역활동가의 생태계서비스 평가과정
(출처: 국립생태원(2020). 「우리지역 생태자산과 생태계서비스」 p.6)

지역활동가는 2017~2020년까지 국내 18개 지역에서 172명이 참여하였고, 지역별로 약 50개씩 생태자산 목록을 작성하여 4~6일간 평가하였다. 평가 기간은 현장으로 나가는 외업 5일, 평가지 작성 및 사진 첨부 등을 위한 내업 1일을 기준으로 설정하고, 지역의 특성에 따라 참여 인원을 변경하였다. 제주도의 경우 평가 기간이 짧아 참여자 수가 많았고, 인천의 경우 지역이 넓어 생태자산의 수와 참여자 수를 늘려 진행하였다.

일반시민(PPGIS)은 2017~2020년까지 국내 7개 지역에서 317명이 참여하였고, 지역별로 25개씩 생태자산 목록을 작성하여 하루 동안 평가하였다.

모바일 평가는 2019년 제주도를 연구지역으로 선정하여 전 국민 참여하였으며, 7,873명이 모바일로 생태계 서비스 평가에 참여하였다.

| 표 III-2-1 | 시민참여 생태계서비스 평가현황

년도	평가자 유형	지역		참여인원(명)	생태자산(곳)	평가기간(일)
2017	지역활동가	안산		6	47	6
		남양주		6	51	6
		군산		6	50	6
		시흥		6	51	6
2018	지역활동가	강릉		6	50	6
		속초		6	54	6
		밀양		6	51	6
		창녕		6	50	6
		부천		6	50	6
		수원		6	50	6
	일반시민 (PPGIS)	양평		29	25	1
		광주		37	25	1
		김포		38	25	1
		평택		26	25	1
2019	지역활동가	파주		10	50	4
		연천		6	51	6
		제주도	제주시	21	50	1
			서귀포시	21	50	1
	일반시민 (PPGIS)	파주		49	25	1
		연천		46	25	1
		제주도	제주시	48	25	1
			서귀포시	45	25	1
	모바일		제주도		7,873	100
2020	지역활동가	화성		10	50	4
		안성		8	50	5
		용인		10	50	4
		안양		10	50	4
		인천		16	100	5
소계	지역활동가	18곳		172명	1,005곳	5.2일
	일반시민(PPGIS)	7곳		317명	200곳	1일
계		22곳(중복제외)		489명	1,205곳	평균 4.3일

나. 유형별 시민참여 생태계서비스 평가

시민참여 생태계서비스 평가는 지역활동가가 간이평가지로 평가하는 “지역활동가 평가”와 일반시민이 Q방법으로 평가하는 “일반시민 평가(PPGIS)”로 유형과 특징을 나눌 수 있다.



| 그림 III-2-3 | 시민참여 생태계서비스 평가유형
(출처: 국립생태원(2018). 「시민참여 생태계서비스평가 매뉴얼」 p.9)

(1) 지역활동가의 생태계서비스 간이평가

평가대상지에 대해 꾸준한 조사를 해온 지역활동가를 중심으로 평가하는 방식으로 “지역활동가”는 지역에서 환경모니터링 및 생태해설 등 환경에 관심이 많고 지속적인 활동을 하는 지역주민으로 추천을 받아 소수로 이루어진다. 참여자들에게 생태계서비스와 생태자산의 개념 등 간이평가를 위한 기본적인 교육을 시행하며, 이들은 우리 동네에서 생태계서비스를 많이 누릴 수 있거나, 지역에서 의미가 있거나, 가치가 높은 곳 약 50여 개를 직접 선정한다. 2인 1조로 현장을 방문하여 지표를 5개 범례에 따라 평가하고 사진 및 특이사항을 기록한다. 이후 기초통계를 통해 지역활동가는 어떤 자산이 중요하고 가치가 높다고 생각하는지 알 수 있다. 마지막으로 결과를 공유하는 워크숍을 통해 결과의 의미와 활용방안에 대하여 논의한다.

(2) 일반시민(PPGIS)의 생태계서비스 평가

일반 시민들의 참여로 다양한 갈등과 이슈가 있는 생태자산을 직접 평가하는 방식으로 지역주민들의 전반적인 생각을 파악하게 된다. 평가과정은 비슷하지만, 간이평가지와 달리 Q방법을 이용하여 평가하는데, 다수의 참여자가 하루에 평가하기 때문에 평가기간이 다른 지역에 비해 짧다. 지역에서 생태, 자연에 관심이 많은 일반시민을 지자체 홈페이지, 신문보도, SNS, 현수막 등을 통해 모집한다. 참여자는 간단한 신청서 작성 후 참여하게 된다. 우리 동네의 생태자산을 선정하고, 참여자에게 많이 선택된 상위 25개를 선정하여 생태기능을 강화하고 생물다양성을 증진하는 등 보전을 강화하길 바라는 “자연기능중심” 자산과 생태관광과 같이 “인간활동중심”으로 발전

시킴을 원하는 생태자산으로 나누어 Q평가지에 배치한다. 이후 각자의 의견을 조별로 논의하여 하나의 지도를 만들고 발표하여 의견을 공유한다. 연구자는 참여자의 의견을 수집하고, 결과를 분석하여 각 지역마다 결과를 공유하는 워크숍을 개최한다.

표 III-2-2 | 간이평가와 PPGIS(공공참여평가) 비교

구분	지역활동가		일반시민(PPGIS)	
참여지역	2017	안산, 남양주, 군산, 시흥,	2017	없음
	2018	강릉, 속초, 부천, 수원, 밀양, 창녕	2018	양평, 광주, 김포, 평택
	2019	파주, 연천, 제주,	2019	파주, 연천, 제주
	2020	화성, 안성, 용인, 인천, 안양	2020	없음
참여자	시민단체, 지속가능발전협의회 등		일반시민	
모집 방법	추천		홍보(SNS, 신문보도, 홈페이지 등)	
평가 방법	간이평가 - 간이평가지		Q평가 - Q평가지	
생태자산	직접 선정		직접 선정 또는 간이평가 시 선정된 목록 활용	
생태자산 개수	1 지역당 약 50개		목록 중 상위 25개 선정	

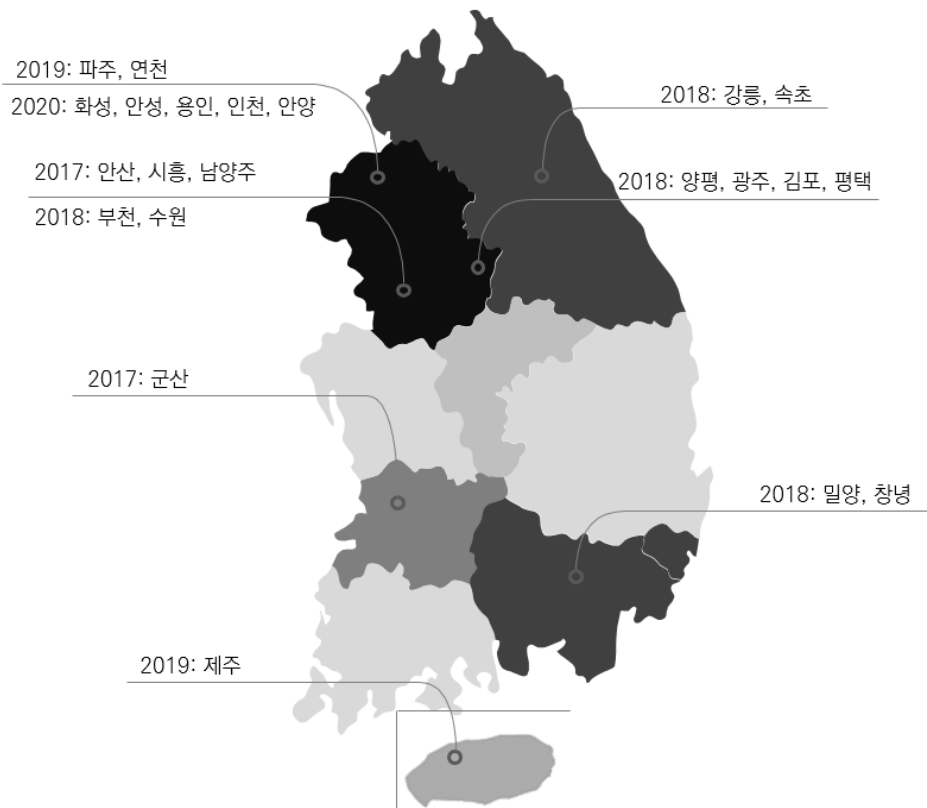


그림 III-2-4 | 시민참여 생태계서비스 평가에 참여한 지역

다. 지역활동가의 생태계서비스 간이평가

1) 모집: 참여자 선발

연구지역의 시민단체, 환경단체 등 관련 기관을 통해 자연 자원과 환경에 관심이 많고 관련 활동가 위주로 지역활동가를 추천받았다. 지역당 6명을 기준으로 선발하였고 평가 기간과 지역의 범위에 따른 생태자산의 수를 고려하여 인원 조정을 하였다.

표 Ⅲ-2-3 | 지역활동가의 소속기관

년도	지역	인원(명)	소속기관
2017	안산	6	해양환경 교육센터, 시화호 생명지킴이, 한국식물파라텍소노미스트회, 안산녹색환경지원센터
	남양주	6	왕숙천살리기운동본부 등
	군산	6	군산환경사랑 등
	시흥	6	시흥갯골습지학교, 숲연구소 등
2018	강릉	6	강릉지속가능발전협의회, (사)강릉생명의숲
	속초	6	속초시지속가능발전협의회, 속초고성양양환경운동연합, 속초문화원
	밀양	6	밀양생태문화연구회, 밀양도서관, 부산대학교생명융합연구원
	창녕	6	(사)창녕우포늪생태관광협회, 창녕군 문화관광해설사, 굴렁쇠배움터
	부천	6	생태환경연구회
	수원	6	수원시 생태환경체험교육관, 수원환경운동연합, 수원YMCA, 산들레생태연구원
2019	파주	10	파주지속가능발전협의회, 파주환경운동연합
	연천	6	한탄강지킴이운동본부, 한탄강지질공원해설사
	제주시	21	꽃자왈사람들, 제주참여환경연대, 제주올레
	서귀포시	21	꽃자왈사람들, 제주참여환경연대, 제주올레
2020	화성	10	화성시지속가능발전협의회, 화성환경운동연합, 시화호에코피플, 향남12자
	안성	8	안성시지속가능발전협의회, 안성천살리기시민모임
	용인	10	용인시지속가능발전협의회, 용인환경정의
	안양	10	안양군포의왕환경운동연합, 안양지역시민연대, 숲체험학교, 담쟁이자연학교, 안양천생태이야기, 물총새지킴이
	인천	16	인천지속가능발전협의회, 인천녹색연합, 인천환경운동연합, 가톨릭환경연대

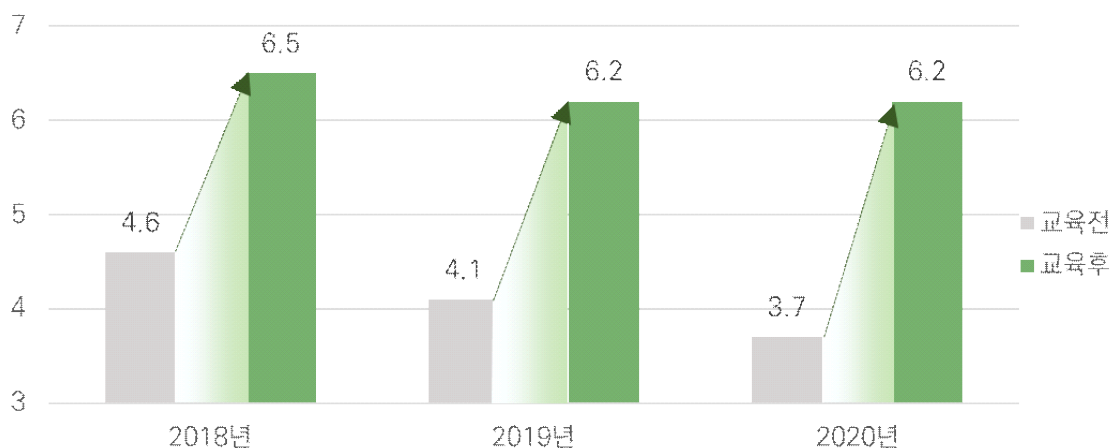
2) 교육: 생태계서비스와 생태자산

평가에 앞서 지역의 생태 가치를 평가할 수 있도록 생태계서비스와 생태자산에 대한 개념 등을 교육하였다. 생태계서비스에 대한 이해도를 높여 이를 통해 지역주민만 알 수 있는 생태자산을 발굴하게 되고, 자유로운 의견 제시를 통해 생태목록을 구성하였다. 실제 평가가 이루어지기 전 시범 교육을 통해 가장 질문이 많은 간이평가지의 지표의 내용과 평가 범례를 설명하여 현장에서 발생할 수 있는 오류를 줄이고, 지역 간 편차를 줄이도록 하였다. 지난 연구지역의 평가과정과 결과를 사례로 보여주어 참여자의 이해와 참여도를 높이도록 하였다.



| 그림 III-2-5 | 생태계서비스 간이평가 시범 교육

시민참여 생태계서비스 평가는 자연의 혜택을 평가하는 도구로 활용하면서 손쉽게 지역주민들에게 생태계 서비스에 대한 인식을 높이는 효과가 있다. 참여 과정에서 생태자산과 생태계서비스에 대한 기본적인 교육을 시행하였기 때문에 교육 전후로 인식변화를 보였다. 3년간 생태계서비스에 대한 인식, 이해도와 관심 정도를 조사한 결과, 교육하기 전보다 교육 후 평균 2.2점(7점 만점) 상승하여 인식이 상승한 것을 확인할 수 있었다.



| 그림 III-2-6 | 연도별 시민참여 생태계서비스 평가 참여자의 설문 결과

3) 활동①: 생태자산 목록 작성

생태자산 선정 시 외부적인 간섭을 최대한 줄이고 참여자의 의견이 자유롭게 반영되도록 하여 지역주민만 알고 있는 우리 지역의 생태자산을 직접 선정하게 하였다. 목록을 작성할 때 생태자산의 위치를 확인할 수 있는 지도를 함께 제공하였다.



그림 Ⅲ-2-7 | 생태계서비스 간이평가를 위한 생태자산 목록 작성

생태자산의 문화적 가치가 높으나, 지역활동가가 현장 답사 후 생태적 가치를 평가하기 곤란하거나 어려운 경우 생태자산 목록을 수정하도록 하였다. 이를 보완하기 위해 '20년 시민참여 평가에서는 대상지로 자연이 주는 혜택을 평가할 대상을 선정하는 것임을 강조하여 수정과 오류를 줄이도록 하였으며, 선정기준을 다음과 같다.

- 우리 지역의 생태계 가치가 높은 곳이거나 생태적 특징이 있는 곳, 생태계서비스 지표에 의해 평가가 가능한 곳
- 지속적인 모니터링을 통해 보전해야 하거나, 유지되었으면 하는 곳
- 개발압력에 놓여 훼손 위기에 있는 곳, 과도하게 이용되거나 외래생물이 들어와 자생 동·식물을 위협하는 곳
- 그 밖에 지역 내 이슈가 있는 곳, 지역에서 관심 있게 봐야 하는 곳 등

역사문화유적	문화예술공간	기타
탑, 절, 서원, 향교, 관아, 비석, 묘, 릉 등	체험마을, 체험장, 과수원 등	담, 취수장, 바위, 박물관, 경기장 등
유적만 있고, 생태적 가치를 평가할 수 없는 곳은 배제하여 주세요.	인공 시설물만 존재하여 생태계서비스 평가를 할 수 없는 곳은 배제하여 주세요. 주변의 생태적 가치를 평가할 수 있다면 가능!	
유적뿐만 아니라, 주변 경관, 유적 주변의 생태적 가치가 높아(또는 낮아) 지속적인 생태계서비스 평가하고자 하는 곳	주변에 흐르는 계곡, 숲, 허브밭, 습지 등 생태교육장으로 이용되고, 생태적 가치를 평가할 수 있는 곳	생태자산의 주변의 생태적 가치를 평가할 수 있는 곳

그림 Ⅲ-2-8 | 간이평가 시 생태자산 선정기준 참고자료('20)

또한, 시민참여 평가 이후 참여자가 재방문 시 다시 찾아가기 어렵다는 의견을 받아들여 산, 하천과 같이 범위가 넓고 주소가 여러 개인 경우 해당 생태자산의 특정 장소를 지정하거나, 구간을 나누어 작성하게 하였다. 산이나 하천과 같이 숲, 호수, 산책길, 운동시설, 공원 등 여러 요소를 포함하고 있어 평가 시 혼돈을 주었다. 평가대상의 공간 범위를 간이평가가 어려운 큰 자산은 공간을 구분하거나, 자산 내 세부 공간을 선택하게 하여(ex. ○○산의 ◇◇습지, □□하천의 △△구간, △△다리~□□다리 등) 참여자가 다시 찾아갈 수 있도록 특정되는 지점을 명시 하도록 하였다. 생태자산 선정이유를 함께 작성하여 시민참여 평가가 끝난 이후에도 지역에서 자체적으로 활용하고 발전시킬 수 있도록 하였다.

생태계서비스 간이평가를 위한 가이드라인			
* 간이평가를 위한 가이드라인입니다. 참여자 분들의 혼동을 줄이고자 제시하는 것으로, 참고용으로 사용해 주세요. * 본 간이평가는 '조사'가 아닌 '평가'입니다. 조원이 의견을 수렴하여 조마다 평가하는 정성적인 평가입니다. '현재'를 기준으로 평가해주시기 바랍니다.			
No. 지역-001	생태자산 이름/유형	GP(주소)	평가등급: 1 매우낮은 혜택 or 없음, 2 낮은 혜택, 3 보통, 4 높은 혜택, 5 매우 높은 혜택 제공
날짜	평가자	평가등급: 1 지점, 2 지역, 3 국가, X 없음	
*평가등급: 1 매우낮은 혜택 or 없음, 2 낮은 혜택, 3 보통, 4 높은 혜택, 5 매우 높은 혜택 제공 *규모별 혜택: 1 지점, 2 지역, 3 국가, X 없음			
구분	예시	가이드라인	
자연	물공급	식수, 농업용수, 축산 용수 등 제공	현재 물공급원으로 사용되는 경우(홍수재해 및 병합과 혼동하지 않도록 주의)
	식량	곡물, 과일, 물고기 등 인간에게 먹거리 제공	'인간'이 받는 식량혜택을 말하며, 야생동물의 먹거리제공은 제외 야생동물의 먹이원이나, 서식지 관련 평가는 '지식서비스' 항목에서 평가 가능
	자원	목재나 약재 등 상품의 재료로 활용	목재의 활용, 지역상품의 재료(한지, 모시), 공예재료, 약재로 사용되는 자원이 있는 경우
환경	대기질	자동차 배기가스, 산업체 대기오염, 농업발생 먼지, 미세먼지 등 대기오염 감소 및 흡수	생태계 또는 식생이 대기오염을 흡수하는 정도는 식생의 존재여부가 기준이 될 수 있음
	기후조절	온실가스를 줄이고 기후변화 완화	이산화탄소를 흡수하는, 그늘을 제공하는 등의 정도는 식생의 존재여부가 기준이 될 수 있음
	홍수 재해	홍수 범람이나 침강우에 대한 조절 육우로 인한 홍수피해의 저감	홍수 시 범람을 막아주고 피해를 줄이는 혜택을 제공하는 경우(홍수 시 지장유량 및 저류, 율호를 지체 관련)
	토양유실	토양 소실을 방지하는 정도 높은 식생(초지나 관목 포함)의 존재, 비와 바람으로 인한 토양유실을 완화	토양 소실을 줄이는 식생의 존재여부가 기준이 될 수 있음
	수질정화	하천, 지하수로 흐르는 물을 깨끗하게 정화	수질정화 기능을 하는 식생의 존재여부가 기준이 될 수 있음
	꽃가루받이	벌, 나비 등 통해 꽃이나 열매(유실수)의 결실	수분매개체(벌, 나비, 새, 곤충)의 서식할 수 있는 환경의 여부, 꽃, 열매 등
	소음차단	차량이나 공사장 등 도시 소음을 차단 및 흡수, 감소	식생으로 인해 소음감소의 혜택을 받는지?
문화	경관가치	경치를 보며 마음다움을 느끼고 마음을 치유	아름답거나 희귀한 경관, 지역성을 대표할 수 있는 경관
	문화유산	생태자산의 역사적, 고고학적 가치 제공	역사적 문화적 가치를 제공
	여가 및 관광	여가 및 레크리에이션을 위한 장소로서 생태관광 장소제공 (예, 낚시, 수상스포츠, 또는 관광지 등)	
	사회적관계	지역 정체성을 형성하고 주민 간 교류 활성화	주민 간 교류할 수 있는 공간, 모임의 장소로 쓰임
	교육, 연구	지역 학교 학생들의 교육에 활용, 현장교육 대상 자연을 통해 생태교육이나 연구 자료 제공	현장 교육 장소
복지	비옥한 토양	흙을 통해 양분을 제공하여 식물 생육을 도움	토양 유류, 토양형성 요소가 있는지 확인(예) 낙엽, 고사목, 부식토 등
	서식지 제공	야생동물의 살 곳을 제공하여 생물다양성 증진, 지역적으로 중요한 서식지 및 생물 존재, 서식지 및 생물종 보전 기여	
*평가등급: 1 없음 or 매우낮은 위험, 2 낮은 위험, 3 보통, 4 높은 위험, 5 매우 높은 위험			
위험요인	생물다양성과 생태계서비스에 대한 위험요인 5가지를 평가하는 항목입니다. 본 생태자산이 해당하는 곳에 체크하여 주시기 바랍니다.		위험요인이 적으면? 위험요인에 많이 노출되어 있으면 5로 평가.
	[개발압력]	도로나 관광단지 건설 등 개발압력이 높은 지역	
	[기후변화]	빈번한 가뭄이나 홍수, 또는 열섬현상 등 기후변화에 취약한 지역	
	[환경오염]	물, 공기, 쓰레기 등 환경오염이 심한 지역	
	[과잉이용]	과도한 이용과 훼손으로 회복하기 어려운 지역	해당 생태자산의 자원을 과도하게 이용하여 더 이상 이용할 수 없는 상태(예) 물고기 남획, 침방로 훼손 등
[외래생물]	외부생물들이 들어와 자생생물을 위협하는 지역		
특이사항	생태자산 주요현황 (보전·관리 이슈, 생태적 특징점·가치 등), 기타 특이점 등		
	위 설명란에 적지 못한 기타 사항 기재. 본 생태자산의 주요 이슈, 생태적 가치 또는 특징		

| 그림 III-2-9 | 생태계서비스 간이평가를 위한 가이드라인('20)

| 표 III-2-4 | 생태자산 목록예시(안양)

번호	생태자산	번호	생태자산
1	경기혁신교육연수원 뒷산(구. 서여중)	26	수리산(새미골 계곡)
2	관악산 비봉산 둘레길(수도군단~비산동)	27	수리산(수암천 상류)
3	관악산 산림욕장(관양고~자연학습공원)	28	수암천(최경환 성지)
4	관악산 산림욕장(수도군단~자연학습공원)	29	안양천 쌍개울
5	관악산(간촌약수터)	30	안양사 소나무숲
6	관양동 청동기유적지	31	안양예술공원 계곡
7	구. 수의과학검역원	32	안양예술공원 (무장애~전망대가는길) 둘레길
8	명학공원	33	안양천(안양대교 철교밑~수암천 사성천합류구간)
9	비봉산(망해암~예술공원)	34	안양천(충훈2교~새물공원)
10	비봉산(비산동~망해암)	35	안양천생태이야기관
11	비산습지공원	36	연현습지
12	삼덕공원	37	염불사가는길
13	삼막새(경인교대 계곡)	38	와룡산
14	삼막천(만안교공원)	39	자유공원
15	삼봉천 상류	40	중앙공원
16	삼성산 까치골	41	충훈부 벚꽃길(충훈1교~충훈2교)
17	삼성천 계곡(옛 안양수영장터)	42	학운공원
18	안양박물관	43	학의천 왕버드나무(대한교~동안교 구간)
19	새물공원	44	학의천(관양교~인덕원 인도교)
20	석수동 안양박물관 옆 회화나무	45	학의천(학운교~수춘교 흙길)
21	석수산(석수체육공원 산책로)	46	명학성당 앞 메타세콰이아 가로수길
22	수리산(병목안산림욕장 석탑)	47	평촌공원
23	수리산(변산바람꽃 군락지)	48	호계근린공원
24	수리산(병목안 둘레길~잣나무 숲길)	49	화창습지
25	수리산시민공원(구. 채석장)	50	평촌대로(내비산교사거리~학원가사거리) 느티나무 길

2017년부터 2020년까지 지역활동가가 간이평가지로 생태계서비스를 평가한 생태자산은 총 18개 지역, 1,005곳이다. 이를 종합적으로 분석하기 위하여 생태자산을 7가지 유형으로 분류하였다. 토지피복을 참고하여 산림, 수공간, 공원·녹지, 생태문화공간, 연안, 습지, 농경지로 분류하였다. 1,005개 생태자산 중 “산림”(25%), “수공간”(24%), “공원·녹지”(22%) 유형 생태자산이 크게 차지하였고, 뒤를 이어 “생태문화공간”(12%), “연안”(11%), “습지”(4%), “농경지”(2%) 순이었다. 참여자와 지역의 특성에 따라서 지역마다 생태자산의 유형이 달랐다. 제주는 오름과 꽃자왈 등이 “산림” 유형으로 분류되어 52%로 산림 비율이 가장 높았다. 부천, 밀양, 연천은 유적지, 문화재, 역사문화 공간이 다수 포함되어 “생태문화공간” 유형 비율이 높았다. 연천과 창녕은 다른 지역에 비해 “습지” 유형의 비율이 높았다. “농경지” 유형이 있는 9개 지역 중 강릉, 수원, 인천의 “농경지” 비율이 높았다. 바다를 접하지 않는 지역은 “연안” 유형 생태자산이 없어 0%로 표기되었다.

표 Ⅲ-2-5 | 생태유형 7가지와 그 예시

생태유형	예시
산림	산, 묘·릉, 산성, 오름, 꽃자왈
수공간	하천, 호수, 저수지, 유수지
공원·녹지	식물원, 보호수, 초지, ~길, 조성녹지, 공원(체육공원, 생태공원, 자연공원, 습지 생태공원, 호수공원, 하천공원, 해안공원)
생태문화공간	체험 마을, 박물관, 박물관, 관광시설, 역사문화건물, 향교, 정자, 서원, 문화재, 불상, 전망대, OP, 유적지
연안	갯벌, 해변, 바다, 섬, 염전
습지	자연습지, 인공습지
농경지	논(평야), 들, 밭

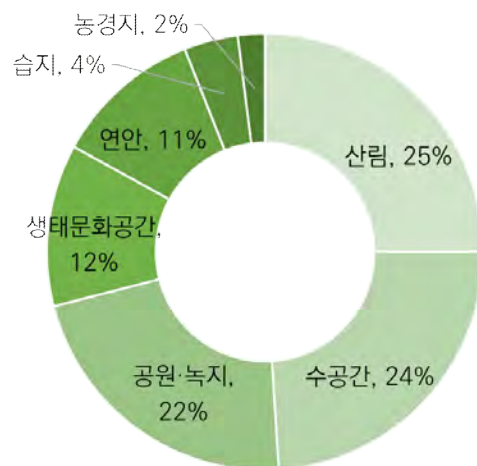


그림 Ⅲ-2-10 | 생태유형에 따른 18개 지역 생태자산 분포

| 표 III-2-6 | 지역별 생태자산의 생태유형 분포

년도	지역명	산림	수공간	공원·녹지	생태문화공간	연안	습지	농경지	자산개수
2017	군산	14%	36%	20%	6%	22%	0%	2%	50
	안산	28%	15%	19%	0%	28%	9%	2%	47
	시흥	16%	18%	45%	2%	16%	4%	0%	51
	남양주	27%	22%	35%	14%	0%	2%	0%	51
2018	강릉	32%	14%	8%	18%	18%	2%	8%	50
	속초	9%	24%	20%	13%	31%	2%	0%	54
	부천	4%	10%	34%	48%	0%	0%	4%	50
	수원	18%	36%	32%	6%	0%	2%	6%	50
	밀양	18%	27%	18%	35%	0%	2%	0%	51
	창녕	8%	40%	14%	18%	0%	18%	2%	50
2019	파주	30%	32%	16%	16%	0%	4%	2%	50
	연천	18%	33%	0%	33%	0%	16%	0%	51
	제주	52%	13%	6%	1%	25%	3%	0%	100
2020	화성	26%	24%	16%	4%	28%	2%	0%	50
	안성	34%	38%	14%	14%	0%	0%	0%	50
	용인	36%	20%	26%	6%	0%	10%	2%	50
	인천	25%	18%	37%	0%	14%	1%	5%	100
	안양	28%	28%	34%	6%	0%	4%	0%	50



파주 공릉천 기수지역



화성 우음도 둘레길



인천 용현갯골

| 그림 III-2-11 | 지역별 생태자산 사진

4) 활동②: 생태계서비스 간이평가

가) 생태계서비스 간이평가지 작성

RAWES의 습지 생태계서비스 간이평가 방법을 참고하여 간이평가를 만들었다. 현장 조사하기 전 시범 조사를 통해 지역활동가들 간 평가 방법의 편차를 줄이려고 노력하였다. 2017년, 2018년에 사용한 간이평가지 항목이 동일하며, 2019년에 기존 37개였던 지표를 국내 상황에 맞게 18개로 수정하였다. 참여자의 의견을 받아들여 2020년에 “친환경에너지” 지표를 삭제하여 총 17개 지표로 수정하여 평가하였다. 간이평가지 작성 방법은 다음과 같다.

- 지역의 생태자산에 각각 번호를 부여한다. (ex. 군산-001)
- 생태자산 이름을 작성하고, 유형은 아는 만큼 작성한다.
- 생태자산의 위치를 알 수 있도록 구체적인 주소를 작성한다. GPS를 이용하거나, 휴대전화로 사진을 찍고 사진의 상세정보를 이용한다. 현장 평가한 날짜와 평가자 2인의 이름을 작성한다. (2인 1조)
- 4가지 서비스별 지표의 예시를 읽고 해당 생태자산의 생태계서비스를 5가지 범례로 나누어 평가한다. 현재를 기준으로 평가하며, 기타 추가설명은 지표별로 작성할 수 있다.

※ 2017~2019년에는 “ --: 매우 높은 불이익, -: 높은 불이익, 0: 무시할만한 수준의 혜택, +: 높은 혜택, ++: 매우 높은 혜택 ”으로 나누어 평가하고 팀원 간의 의견이 2등급 이상 차이가 나면 “ ? ”를 기재하였다. 2020년에는 범례를 숫자로 수정하여 “ 1: 없거나, 매우 낮음, 2: 낮음, 3: 보통, 4: 높음, 5: 매우 높음 ”으로 평가하도록 하였다.

- 평가한 생태자산의 생태계서비스의 규모가 어느 정도인지 3가지 범례(1: 지점, 2: 지역, 3: 국가, 4: 없음)로 나누어 표기한다. 생태자산의 혜택이 읍, 면, 동 규모이면 “지점”, 시·군 규모이면 “지역”, 우리나라 또는 세계적인 규모이면 “국가”에 표기한다. 자연의 혜택은 현재를 기준으로 평가하며, 생태계서비스가 없으면 규모별 혜택도 없다고 평가할 수 있다. (2020년 수정)
- 생물다양성과 생태계서비스에 위협을 주는 5가지에 대해 5가지 범례(1: 없음 또는 매우 낮음, 2: 낮음, 3: 보통, 4: 높음, 5: 매우 높음)로 나누어 평가한다. 위협을 주는 5가지는 개발압력(도로나 관광단지 건설 등 개발압력이 높은 지역), 기후변화(빈번한 가뭄이나 홍수가 일어나는 등 기후변화에 취약한 지역), 환경오염(물, 공기, 쓰레기 등 환경오염이 심한 지역), 과이용(과도하게 이용하여 더는 이용할 수 없는 지역), 외래종(외부의 생물들이 들어와 자생식물을 위협하는 지역)이다.
- 그 외 생태자산의 주요 내용이나 생태적 이슈는 특이사항란에 작성한다.
- 생태자산의 전체모습이 담긴 사진과 특징을 담은 사진을 4장 이상 제출한다.

RAPID ASSESSMENT OF ECOSYSTEM ASSETS ECOSYSTEM SERVICES FIELD ASSESSMENT SHEET					
No. 지역-001		설명			
생태자산 이름/유형					
GPS(주소)					
날짜		*평가등급: 1 매우낮은 혜택 or 없음, 2 낮은 혜택, 3 보통, 4 높은 혜택, 5 매우 높은 혜택 제공			
평가자		*규모별 혜택: 1 지점, 2 지역, 3 국가, x 없음			
구분		예시	평가등급	설명	규모별 혜택*
공공	물공급	식수, 농업용수, 축산 용수 등 제공			
	식량	곡물, 과일, 물고기 등 인간에게 먹거리 제공			
	자원	목재나 약재 등 상품의 재료로 활용			
환경	대기질	자동차 배기가스, 산업체 대기오염, 농업발생 먼지, 미세먼지 등 대기오염 감소 및 흡수			
	기후조절	온실가스를 줄이고 기후변화 완화			
	홍수 재해	홍수로 인한 범람에 대한 조절, 집중강우에 대한 조절 폭우로 인한 홍수피해 저감			
	토양유실	토양 소실을 방어하는 밀도 높은 식생의 존재, 비와 바람으로 인한 토양유실을 완화			
	수질정화	하천, 지하수로 흐르는 물을 깨끗하게 정화			
	꽃가루받이	벌, 나비를 통해 꽃이나 열매(유실수)의 결실			
	소음차단	차량이나 공사장 등 도시 소음을 차단 및 흡수, 감소			
문화	경관가치	경치를 보며 아름다움을 느끼고 마음을 치유			
	문화유산	생태자산의 역사적, 고고학적 가치 제공			
	여가 및 관광	여가 및 레크리에이션을 위한 장소로서 생태관광 장소제공 (예, 낚시, 수상스포츠, 또는 관광지 등)			
	사회적관계	지역 정체성을 형성하고 주민 간 교류 활성화			
	교육, 연구	지역 학교 학생들의 교육에 활용, 현장교육 대상 자연을 통해 생태교육이나 연구 재료 제공			
지식	비옥한 토양	흙을 통해 양분을 제공하여 식물 생육을 도움			
	서식처 제공	야생동식물의 살 곳을 제공하여 생물다양성 증진. 지역적으로 중요한 서식처 및 생물 존재, 서식처 및 생물종 보전 기여			
			*평가등급: 1 없음 or 매우낮은 위협, 2 낮은 위협, 3 보통, 4 높은 위협, 5 매우 높은 위협		
위협요인	생물다양성과 생태계서비스에 대한 위협요인 5가지를 평가하는 항목입니다. 본 생태자산이 해당하는 곳에 체크하여 주시기 바랍니다.		평가등급	설명	
	[개발압력]	도로나 관광단지 건설 등 개발압력이 높은 지역			
	[기후변화]	빈번한 가뭄이나 홍수, 또는 열섬현상 등 기후변화에 취약한 지역			
	[환경오염]	물, 공기, 쓰레기 등 환경오염이 심한 지역			
	[과이용]	과도한 이용과 훼손으로 회복하기 어려운 지역			
[외래생물]	외부생물들이 들어와 자생생물을 위협하는 지역				
특이사항	생태자산 주요현황 (보전·관리 이슈, 생태적 특장점·가치 등), 기타 특이점 등				

| 그림 III-2-12 | 지역활동가의 생태계서비스 간이평가지(‘20 수정)

지역활동가는 2인 1조로 생태자산 현장을 방문하여 사진을 남기고, 평가내용을 야장에 기재하거나, 엑셀에 작성하여 연구지역의 생태자산을 직접 평가하였다. 18개 연구지역별로 간이평가지 내용과 현장 사진과 참여자 후기를 담아 「우리지역 생태자산과 생태계서비스」와 「지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가」를 발간하였다.



| 그림 III-2-13 | 지역활동가의 현장에서 생태계서비스 간이평가하는 모습

나) 간이평가지 지표 개선

RAWES의 습지 생태계서비스 간이평가를 참고하여 국내 상황에 맞게 해마다 간이평가지 항목을 개선하였다. 2017~2018년에 37개였던 지표를 2019년에 일부 명칭을 수정하고, 삭제하여 18개로 수정하였다. 2020년에는 친환경에너지 지표를 삭제하여 총 17개 지표를 평가하도록 하였으며, 변경 내용은 다음 표와 같다.

기호(+, -)로 표기했던 평가등급은 2020년에 불이익을 나타내는 음수 값을 제외한 5개 척도 숫자로 개선하였다. 변화요인 5가지에 대한 의견을 간이평가지에 함께 추가하여 5개 척도 범례로 평가하고, 그 이유도 함께 설명하도록 하였다.

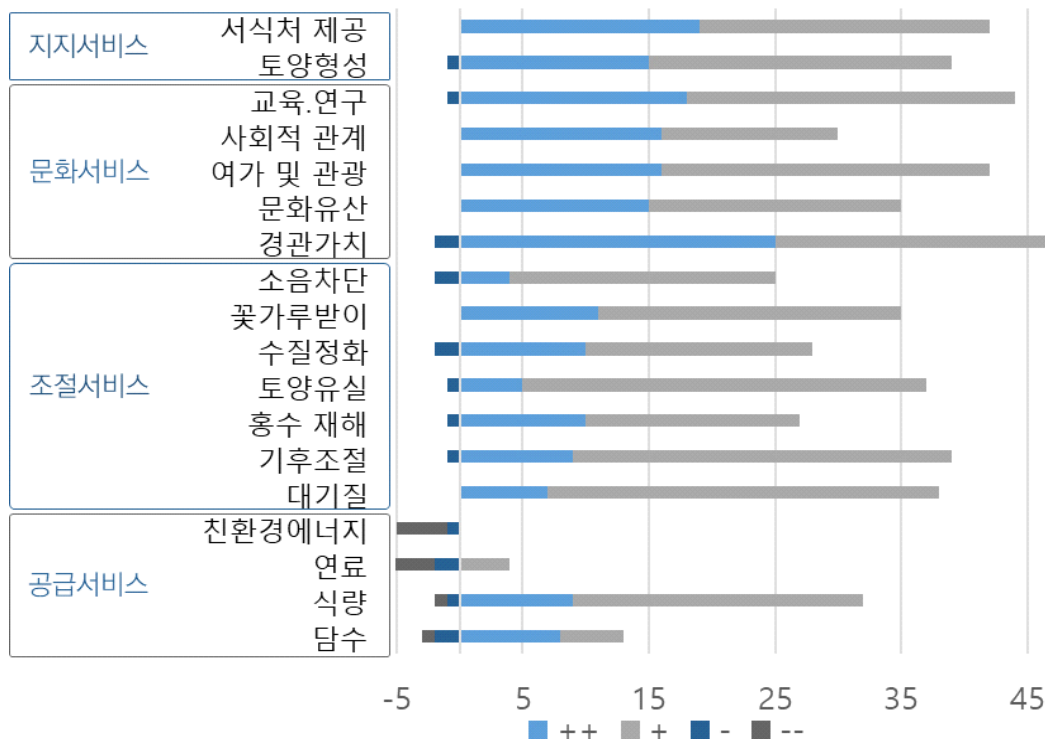
| 표 III-2-7 | 연도별 개선된 간이평가지 지표 내용

년도	2017~2018년	2019년	2020년	지표 설명
지표	37개	18개	17개	-
공급	담수	담수	물 공급	현재, 물 공급원으로 사용되는 경우 (홍수 재해 및 범람과 혼동하지 않도록 주의)
	식량	식량	식량	"인간"이 받는 식량 혜택을 말하며, 야생동물의 먹거리 제공은 제외. 야생동물의 먹이원이나, 서식처 관련 평가는 '지지서비스-서식처제공' 항목에서 평가 가능
	연료	(삭제)	(삭제)	
	섬유	(삭제)	(삭제)	
	유전자원	(삭제)	(삭제)	
	천연 약재	자원	자원	목재의 활용, 지역 상품의 재료(한지, 모시), 공예재료, 약재로 사용되는 자원이 있는 경우
	장식재료	(삭제)	(삭제)	
	진흙, 미네랄, 골재	(삭제)	(삭제)	
	폐기물처리	(삭제)	(삭제)	
조절	친환경에너지발전	친환경 에너지	(삭제)	
	대기질	대기질	대기질	생태계 또는 식생이 대기오염을 흡수하는 밀도 높은 식생의 존재 여부가 기준이 될 수 있음
	지역적 기후	기후조절	기후조절	이산화탄소를 흡수하는, 그늘을 제공하는 등의 밀도 높은 식생의 존재 여부가 기준이 될 수 있음
	세계적 기후	(삭제)	(삭제)	
	물 순환	(삭제)	(삭제)	
	홍수 재해	홍수 재해	홍수 재해	홍수 시 범람을 막아주고 피해를 줄이는 혜택을 제공하는 경우(홍수 시 저장용량 및 저류, 물흐름 지체 관련)
	폭풍 재해	(삭제)	(삭제)	
	해충	(삭제)	(삭제)	
	질병	(삭제)	(삭제)	
	질병 번성에 영향을 주는 가축	(삭제)	(삭제)	
문화	침식	토양유실	토양유실	토양 소실을 줄이는 식생의 존재 여부가 기준이 될 수 있음
	수질정화	수질정화	수질정화	수질정화 기능을 하는 식생의 존재 여부가 기준이 될 수 있음
	수분	꽃가루받이	꽃가루받이	수분매개체(벌, 나비, 새, 곤충)의 서식할 수 있는 환경의 여부, 꽃, 열매 등
	문화유산	문화유산	문화유산	
	여가 및 관광	여가 및 관광	여가 및 관광	
	심미적 가치	경관 가치	경관 가치	식생으로 인해 소음감소의 혜택을 받는지?
	정신적 종교적 가치	(삭제)	(삭제)	역사적 문화적 가치를 제공
	영감을 주는 가치	(삭제)	(삭제)	
	사회적 관계	사회적 관계	사회적 관계	아름답거나 희귀한 경관, 지역성을 대표할 수 있는 경관
	교육, 연구	교육, 연구	교육, 연구	
지지	토양형성	토양형성	비옥한 토양	
	1차 생산	(삭제)	(삭제)	주민 간 교류할 수 있는 공간, 모임의 장소로 쓰임
	영양 순환	(삭제)	(삭제)	현장 교육 장소
	물 순환	(삭제)	(삭제)	토양 유무, 토양형성 요소가 있는지 확인 예) 낙엽, 고사목, 부식토 등
	서식처 제공	서식처 제공	서식처 제공	

5) 분석: 생태계서비스 간이평가 결과

가) 생태계서비스 간이평가 결과

결과를 보면 대부분 문화서비스(경관 가치, 교육·연구, 여가 및 관광, 문화유산) 지표에 대한 체감이 가장 높게 나타나고 공급서비스(담수, 식량, 연료, 친환경에너지)는 비교적 낮게 체감하였다. 지역활동가는 자연에 대해 체험하고 인지할 수 있는 문화서비스를 다른 서비스에 비해 높이 평가한 것으로 보인다. 이는 시민참여 평가 연구지역 대부분에서 공통으로 보이는 결과였다.



| 그림 III-2-14 | 지역활동가가 체감한 생태계서비스('19 파주)

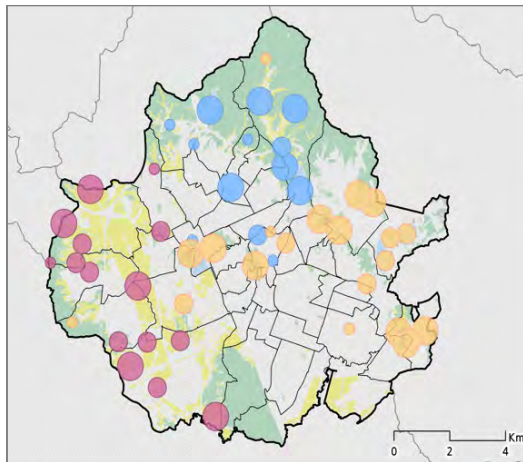
나) 요인분석

지역마다 생태자산의 주요 생태계서비스와 특성을 알아보고자 요인분석을 하였다. 연구지역의 생태계서비스를 확인할 수 있는 주요 요인 3가지를 추출하여 공간적 특성을 확인하였다. 지역마다 문화서비스가 가장 두드러지게 분류되었고, 군산, 안산, 시흥, 남양주, 강릉, 속초, 부천, 수원, 밀양, 창녕, 파주, 연천, 제주 13개 지역 모두 문화서비스가 독립적인 요인으로 구분되었다. 그 외 요인들은 연구지역별로 다르게 도출되었다.

지역별로 주요 요인 고유값을 고려하여 세 가지 요인을 추출하여 지역의 생태자산 성격을 분석하였다. 각 요인에서 절대값이 1 이상인 생태계서비스를 묶었으며, 지역별로 도출된 요인은 아래 표와 같다.

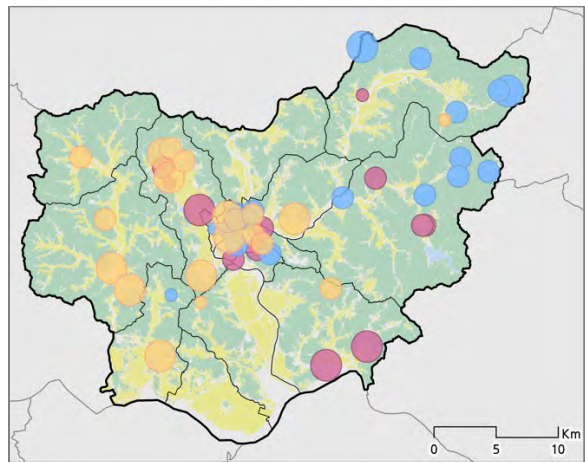
| 표 III-2-8 | 지역별 생태자산의 요인분석 결과

년도	지역명	요인1	요인2	요인3
2017	군산	조절, 공급, 지지, 문화 (물 생태계)	조절서비스	문화서비스
	안산	문화서비스	조절서비스	-
	시흥	문화서비스	조절서비스	지지, 조절, 공급서비스 (물 생태계)
	남양주	지지서비스	문화서비스	조절서비스
2018	강릉	문화, 조절서비스 (여가/교육 활동 포함 조절서비스)	문화서비스	지지, 조절서비스 (수질정화 포함 지지서비스)
	속초	조절, 지지서비스 (지지서비스 기반 기후조절)	문화서비스	문화, 조절, 공급서비스 (식량 공급 및 여가 포함 조절서비스)
	부천	문화서비스	조절, 지지, 문화서비스 (휴식, 기초생태기반)	조절, 공급, 지지서비스 (생산)
	수원	조절, 지지서비스 (정화·순환)	문화서비스	조절, 문화서비스 (여가활동 포함 조절서비스)
	밀양	문화서비스	조절, 지지서비스 (지지기반 대기 조절서비스)	공급, 지지, 문화, 조절서비스 (물 관련 생태계서비스)
	창녕	문화서비스	조절, 지지, 공급, 문화 (물 관련 생태계서비스)	문화, 조절서비스 (여가활동 포함 조절서비스)
2019	파주	문화서비스	홍수 재해 및 수질정화	식량 및 서식처 제공
	연천	문화서비스	서식처 제공, 식량 및 홍수 재해	꽃가루받이, 산림서식처 제공 및 산림경관 가치
	제주	문화서비스	조절서비스	물 공급 및 수질정화



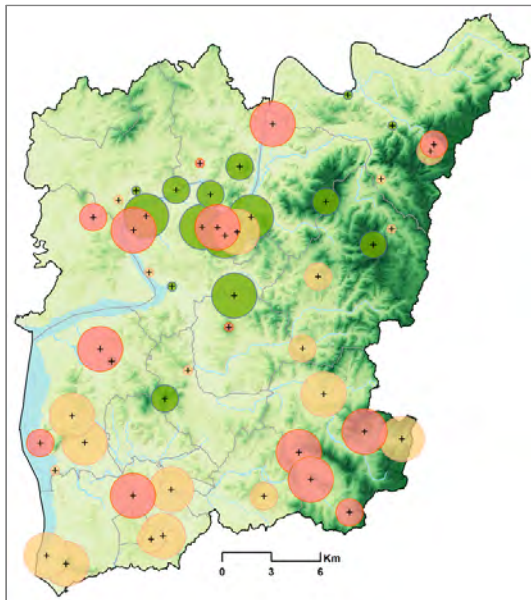
〈수원〉

- 요인1: 조절, 지지서비스(정화 순환)
- 요인2: 문화서비스
- 요인3: 문화, 조절, 공급서비스
(식량 공급 및 여가 포함 조절서비스)



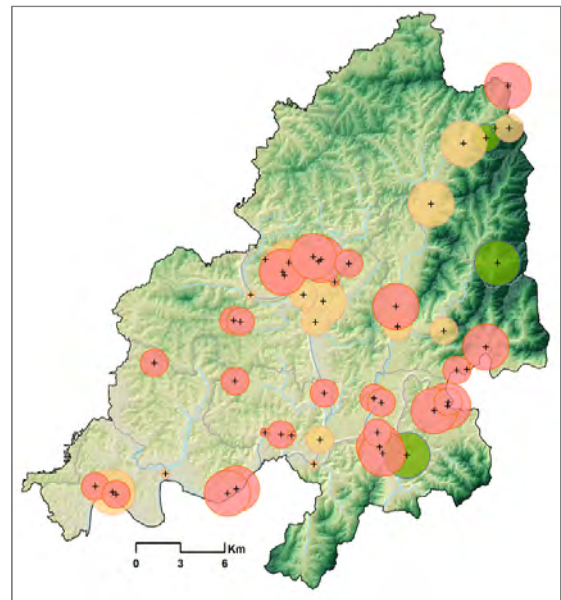
〈밀양〉

- 요인1: 문화서비스
- 요인2: 조절, 지지서비스
(지지기반 대기 조절서비스)
- 요인3: 공급, 지지, 문화, 조절서비스
(물 관련 생태계서비스)



〈파주〉

- 요인1: 문화서비스
- 요인2: 홍수 재해 및 수질정화
- 요인3: 식량 및 서식처 제공



〈연천〉

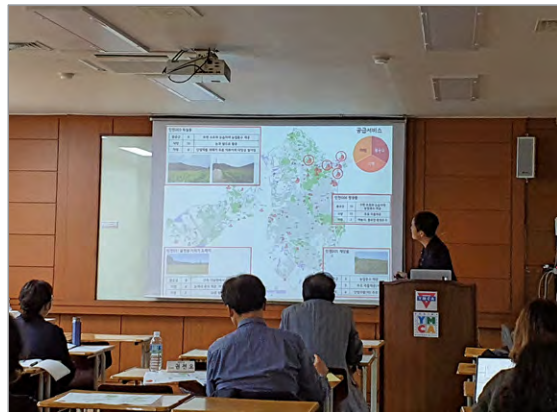
- 요인1: 문화서비스
- 요인2: 서식처 제공, 식량 및 홍수 재해
- 요인3: 꽃가루받이, 산림서식처 제공 및
산림경관 가치

| 그림 III-2-15 | 주요 생태계서비스별 생태자산 분포

(출처: 국립생태원(2018). 「지역의 생태가치평가 및 인식 증진방안 연구 최종보고서」 p.119, 153
국립생태원(2019). 「지역의 생태가치평가 및 인식 증진방안 연구 최종보고서」 p.51, 52)

6) 논의: 생태계서비스 간이평가 결과 워크숍

전문가와 참여하였던 지역활동가를 대상으로 지역의 시민참여 생태계서비스 평가 결과를 분석하여 공유하였다. 분석 결과를 그래프와 그림, 지도 등의 시각화 자료를 활용, 공유하여 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다. 참여자의 피드백을 통해 평가과정을 발전시키기 위하여 설문조사를 실시하였으며, 시민참여 생태계서비스와 생태 가치에 관한 관심 및 전반적 만족도, 기타 의견 등에 관해 물어보았다. 이를 통해, 시민참여 생태계서비스 평가로 시민들이 직접 체감하는 생태계서비스 경향과 지역별 주요 이슈를 확인하고 함께 지역 현안에 대해 논의하였다.



| 그림 III-2-16 | 시민참여 평가(지역활동가) 워크숍

지역 생태가치 시민참여평가에 대한 설문

안녕하세요? 국립생태원 융합연구실 생태계서비스 연구팀입니다. 지역 생태가치 시민참여평가에 대한 설문을 진행하고자 합니다. 바쁘시더라도 질문에 응하여 주시면 감사하겠습니다. 수집된 설문은 학문적인 연구에만 사용 될 뿐 개인정보의 유용이나 유출은 일절 없음을 약속드립니다.

시민참여평가에 대해
※ 해당되는 번호에 √를 해주시면 됩니다.

1. 교육 전후로 생태자원에 대한 관심 정도는 어떻게 변화했는지요?

교육 전 관심				교육 후 관심				
매우 낮다	←	보통	→	매우 높다	←	보통	→	매우 높다
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

2. 교육 전후로 생태계에 대한 이해 정도는 어떻게 변화했는지요?

교육 전 이해 정도				교육 후 이해 정도				
매우 낮다	←	보통	→	매우 높다	←	보통	→	매우 높다
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

3. 생태자산 가치평가에 대한 선호는 어떠하십니까?

생태자산 가치평가에 대한 선호				
불필요하다	←	보통	→	매우 필요하다
①	②	③	④	⑤

4. 생태자산에 공동 Q평가에 의해 당신의 선호는 변화하였는지요?

공동 Q평가에 대한 선호 변화				
변하지 않았다	←	보통	→	매우 변화했다
①	②	③	④	⑤

5. 생태자산 가치평가 결과의 생태환경정책에 반영해야 한다고 생각하십니까?

생태자산 가치평가에 대한 생태환경정책 반영				
불필요하다	←	보통	→	매우 필요하다
①	②	③	④	⑤

6. 생태자산 가치평가 워크숍에 대한 전반적 만족도는 어떠하십니까? (추가)

생태자산 가치평가 워크숍				
매우 아니다	←	보통	→	매우 좋다
①	②	③	④	⑤

※ 여러분의 다양한 의견을 적어주세요.

7. 지역 생태가치 시민참여평가에 대한 좋았던 점을 적어주세요.

8. 지역 생태가치 시민참여평가에 대한 아쉬웠던 점을 적어주세요.

9. 지역 생태가치 시민참여평가에 대한 바라는 점(어떻게 발전하면 좋을지)을 적어주세요.

일반사항에 대해
※ 해당되는 번호에 √를 해주시면 됩니다.

1. 귀하의 성별은? ① 남자 ② 여자

2. 귀하의 연령은? ① 10대 ② 20대 ③ 30대 ④ 40대 ⑤ 50대 ⑥ 60대 이상

3. 거주하시는 곳은? () 시/군 () 동/면

| 그림 III-2-17 | 시민참여 평가 지역활동가의 설문지

참여자들은 시민참여 생태계서비스 평가를 통해 지역의 생태자산과 가치에 관한 관심이 높아지고, 생태계서비스 개념에 대해 배우는 기회라는 것에 긍정적인 반응을 보였다. 생태자산으로 선정되지 않은 곳이나, 더 정확한 평가가 필요한 곳은 현장 방문 등 탐방교육과 연계를 추진하였다. 지역마다 1회로 끝나는 평가를 아쉬워하며 시민참여 평가가 지속적으로 이루어져서 우리 지역의 생태자원에 대하여 시민들의 많은 관심 또한 지속되기를 희망하였다.

04. 참여자 후기

우리 지역의 보물같은 곳을 알게 되었습니다.

살고 있는 지역의 생태에 더 자세히 알게 되고 묻혀있던 곳을 발굴할 수 있어서 좋았습니다.

지역의 생태자산을 새롭게 바라보는 시야를 가지게 되었습니다.

지역 고유의 생태자산 발굴에 참여함에 자부심을 가지고 지역 생태보전을 다짐하는 계기가 되었습니다.

더 많은 참여가 꾸준히 이루어지길 바랍니다.

지속적인 평가를 생태자산의 변화를 기록하고 가치를 업그레이드 시키면 좋겠습니다.

우리나라 전 지역에 대한 평가가 이루어지길 바라며 기존에 평가한 지역을 재평가 하여 변화에 대한 평가가 이어져 꾸준한 관심이 이어지기를 바랍니다.

지역에서 자체적으로 생태자산 발굴사업이 이루어지길 바랍니다.

생태가치에 대한 평가를 넘어 가치에 대한 홍보·교육 등으로 확장되는 사업이 마련되면 좋겠습니다.

생태계서비스 현장평가 전 사전교육 시간을 더 늘려 신뢰 높은 생태자산평가를 하고 싶습니다.

한 조에 2인 이상 인원을 늘려 평가한다면 객관성을 높일 수 있다고 생각합니다.

이번 조사 경험을 살려 지역에서 정기적인 조사가 이뤄질 수 있도록 역량을 강화하는 과정이 필요해 보입니다.

지역에서 자체적으로 생태자산 발굴사업을 한번 해 보는 것도 좋겠다는 생각이 들었습니다.

생태가치에 대한 평가를 넘어서 가치에 대한 홍보, 교육 등으로 확장될 수 있는 사업도 함께 마련되길 희망합니다.

시민의 힘이 필요하다면 기꺼이 다시 참여하겠습니다.

【그림 III-2-18】 시민참여 평가 지역활동가의 참여 후기
(출처: 국립생태원(2020). 「우리지역 생태자산과 생태계서비스」 p.112)

7) 생태계서비스 간이평가 결과 통합분석(2018~2020)

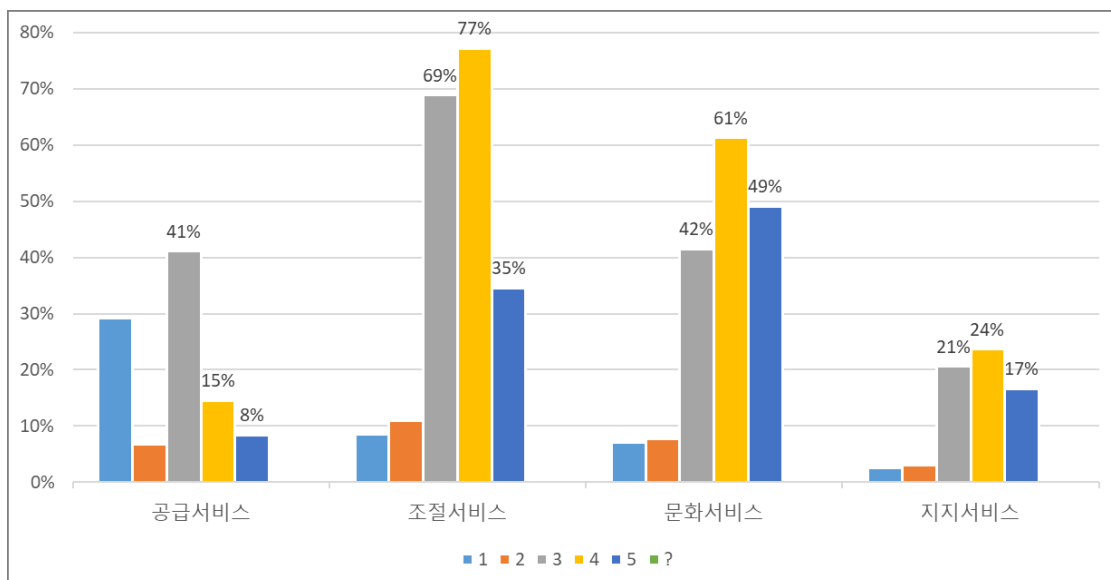
가) 간이평가 지표 통합

2018~2020년까지의 시민참여 평가지표를 통합하여 분석하기 위해 17개 지표 [담수(물 공급), 식량, 자원, 대기질, 기후조절, 홍수 재해, 토양유실, 수질정화, 꽃가루받이, 문화유산, 여가 및 관광, 경관 가치, 사회적 관계, 교육·연구, 비옥한 토양, 서식처 제공]를 기준으로 통일하여 연구지역의 평가 결과를 분석하였다. 그간 개선된 지표 중 2017, 2018년의 “지역적 기후” 지표와 2019, 2020년의 “기후조절” 지표에 대하여 평가한 값이 같다고 정의하여 데이터를 통합하였다. 그 외 “담수” → “물 공급”으로, “천연 약재” → “자원”으로, “침식” → “토양유실”로, “수분” → “꽃가루받이”로, “토양형성” → “비옥한 토양”으로 용어만 변경되었기 때문에 동일한 지표로 보았다.

나) 간이평가의 평가 결과

(1) 응답비율 비교

참여자가 생태자산의 생태계서비스를 5가지 범례로 평가한 결과의 비율을 비교하였다. 2017~2019년에는 “--: 매우 높은 불이익, -: 높은 불이익, 0: 무시할만한 수준의 혜택, +: 높은 혜택, ++: 매우 높은 혜택”으로 나누어 평가하고 팀원 간의 의견이 2등급 이상 차이가 나면 “?”를 기재하였다. 2020년에는 범례를 숫자로 수정하여 “1: 없거나, 매우 낮음, 2: 낮음, 3: 보통, 4: 높음, 5: 매우 높음”으로 평가하도록 하였다. 3~5점으로 평가한 비율이 높았고 공급·조절·지지·문화서비스별로 차이를 보였다. 공급서비스는 3으로 응답한 비율이 가장 높았고, 조절·문화·지지서비스는 4와 5점의 비율이 높았다.



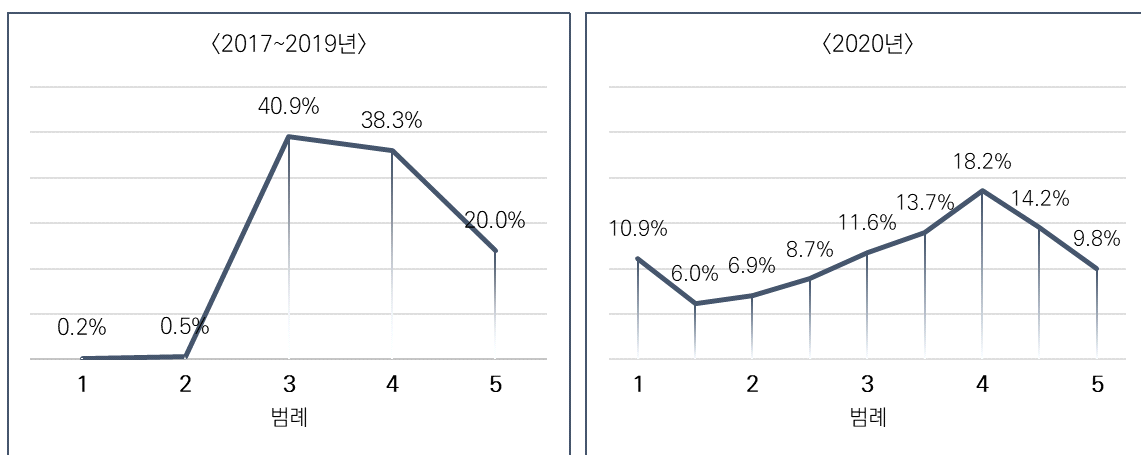
[그림 III-2-19] 생태계서비스에 따른 간이평가 결과

(2) 지역별 비교

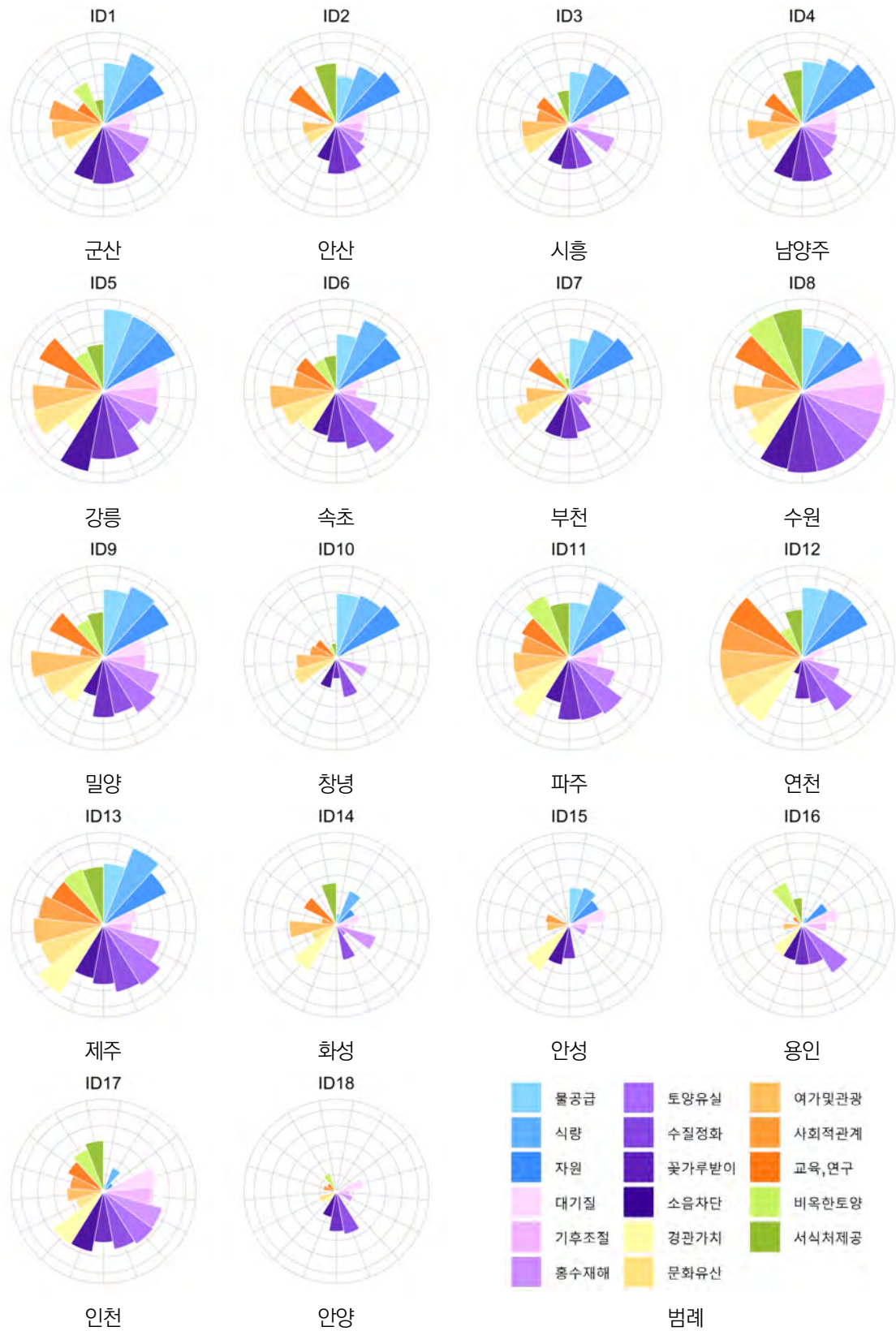
18개 지역의 생태계서비스 평가값의 평균을 정규화하여 번들로 나타내었다. 번들 조각의 색깔은 파란색 계열은 공급서비스를, 보라색 계열은 조절서비스를, 노란색 계열은 문화서비스를, 초록색 계열은 지지서비스를 나타낸다. 번들의 조각이 클수록 생태계서비스의 혜택을 더 크게 평가했다는 의미이다. 공급서비스는 강릉, 연천, 제주 등이 높게 평가되었고, 조절서비스와 지지서비스는 수원이 18개 지역 중에서 가장 높게 평가되었다. 문화서비스는 연천이 18개 지역 중에서 가장 높게 평가되었다.

화성, 안성, 용인, 인천, 안양의 번들이 다른 지역과 차이를 보이는 이유는 2020년을 기점으로 변경된 범례 때문으로 보인다. 아래 그림처럼 2017~2019년 그룹에서는 자연의 혜택을 긍정적인 값(+)과 부정적인 값(-) 모두 평가하도록 하였다. 결과를 분석할 때 --는 1로, -는 2로, 0은 3으로, +은 4로, ++은 5로 치환하여 계산하였다. 1은 전체의 0.2%를, 2는 전체의 0.5%를 차지하였고, 3과 4로 응답한 비율이 가장 높았다. 2020년에는 범례를 숫자로 수정하여 “1: 없거나, 매우 낮음, 2: 낮음, 3: 보통, 4: 높음, 5: 매우 높음”으로 숫자로 평가하도록 하였다. 4로 응답한 비율이 가장 높았지만, 1~5 응답 비율이 서로 차이가 크지 않았다. 그 결과 지역 간 비교할 수 있도록 정규화하는 과정에서 화성, 안성, 용인, 인천, 안양의 번들 조각의 크기가 다른 지역에 비해 비교적 작게 그려진 것으로 보인다.

※ 2017~2019년 평가지역(군산, 안산, 시흥, 남양주, 강릉, 속초, 부천, 수원, 밀양, 창녕, 파주, 연천, 제주)
/ 2020년 평가지역(화성, 안성, 용인, 인천, 안양)



| 그림 III-2-20 | 간이평가의 범례에 따른 평가 결과 비율

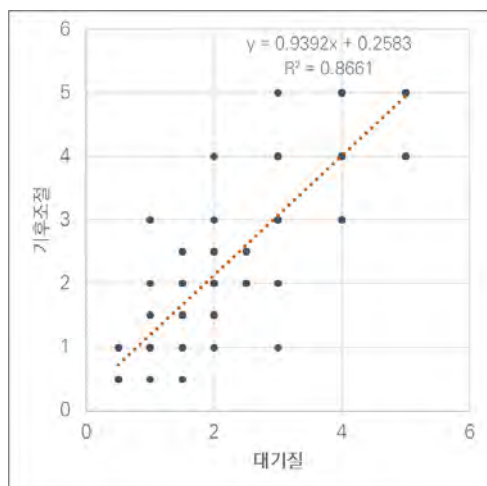


| 그림 III-2-21 | 지역별 간이평가 결과의 평균 번들

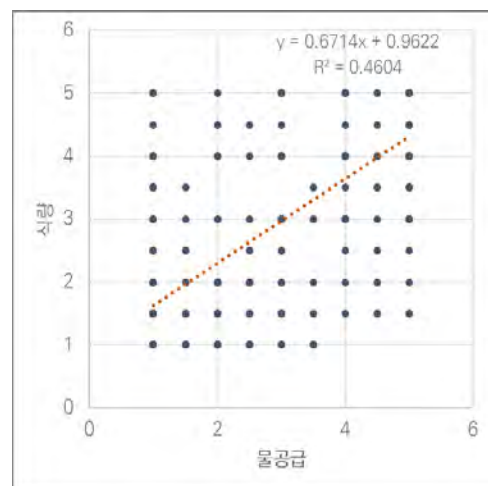
(3) 지표별 비교

지표 간 평가지의 유의성을 알아보기 위해 상관분석을 통해 결과를 도출하였다. 17개 지표 사이의 상관관계는 숫자와 색깔로 구분하였다. 진한 파란색일수록 상관관계가 높고, 진한 빨간색일수록 상관관계가 없음을 나타낸다. 이 중에서 대기질과 기후조절의 상관관계가 가장 높았고 R^2 은 0.668이었다. 홍수 재해와 수질정화의 R^2 값이 0.460로 그다음으로 관계가 높음을 확인하였다.

	물공급	식량	자원	대기질	기후조절	홍수재해	토양유실	수질정화	꽃가루받이	소음차단	경관가치	문화유산	여가및관광	사회적관계	교육연구	비육한토양	서식처제공
물공급		0.460	0.358	0.017	0.039	0.177	0.049	0.142	0.075	0.023	0.007	0.030	0.074	0.035	0.017	0.039	0.097
식량			0.424	0.005	0.020	0.113	0.033	0.097	0.046	0.003	0.009	0.074	0.100	0.056	0.027	0.031	0.096
자원				0.010	0.029	0.031	0.051	0.053	0.107	0.044	0.004	0.113	0.113	0.032	0.058	0.049	0.063
대기질					0.668	0.206	0.256	0.163	0.260	0.388	0.108	0.003	0.045	0.011	0.031	0.235	0.201
기후조절							0.265	0.262	0.204	0.229	0.361	0.093	0.005	0.061	0.013	0.032	0.227
홍수재해								0.262	0.379	0.141	0.168	0.079	0.007	0.071	0.047	0.027	0.187
토양유실									0.225	0.280	0.293	0.100	0.016	0.075	0.045	0.031	0.357
수질정화										0.194	0.116	0.071	0.025	0.055	0.023	0.062	0.269
꽃가루받이											0.291	0.058	0.034	0.052	0.042	0.082	0.314
소음차단												0.068	0.009	0.056	0.014	0.041	0.196
경관가치													0.111	0.264	0.099	0.168	0.136
문화유산														0.144	0.095	0.224	0.032
여가및관광															0.169	0.235	0.055
사회적관계																0.112	0.043
교육연구																	0.066
비육한토양																	0.306
서식처제공																	

| 그림 III-2-22 | 간이평가 결과의 지표별 상관관계 결과(R^2)

대기질과 기후조절



물 공급과 식량

| 그림 III-2-23 | 간이평가 결과의 지표별 상관관계 결과

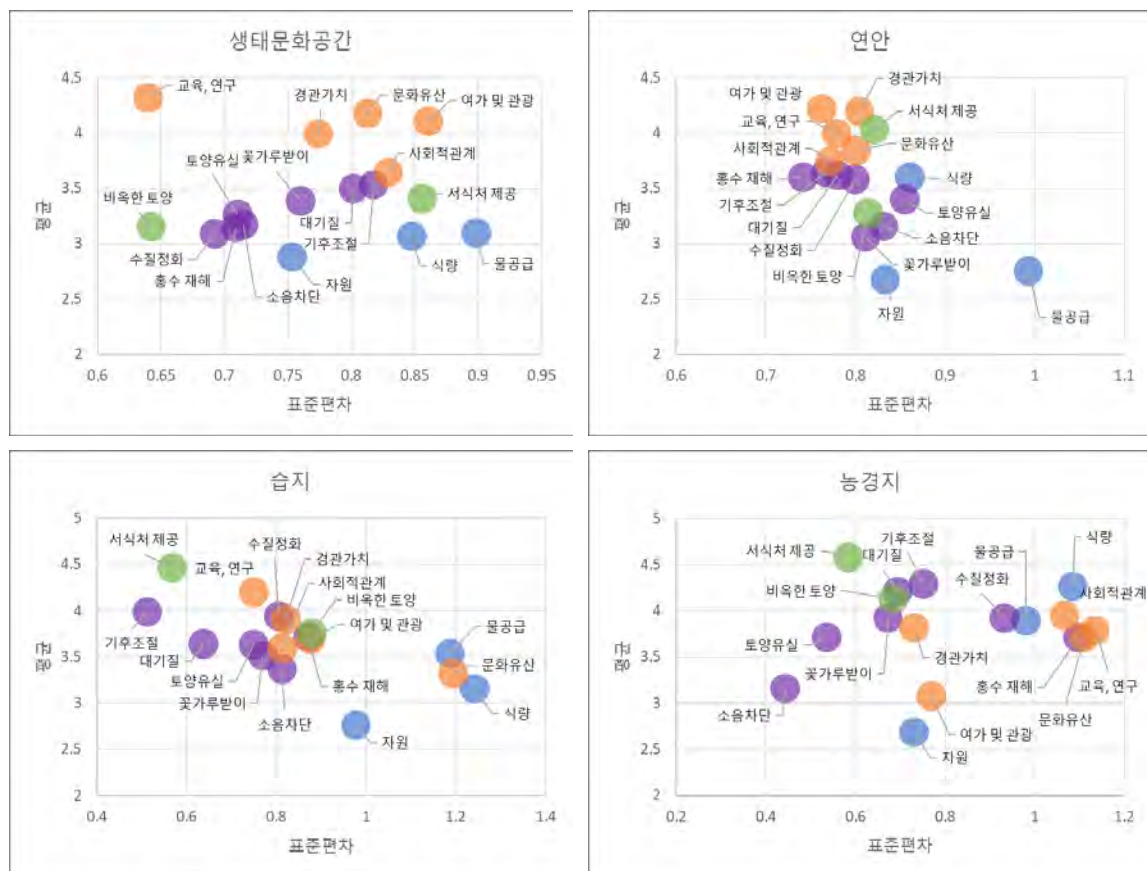
(4) 유형별 비교

생태자산 간이평가 결과의 평균과 표준편차를 분석하여, 유형별로 서로 다른 특징이 나타났다. 7가지 유형에서 모두 공급서비스 “자원”의 평균값이 가장 낮게 평가되었다. 유형별로 보면 산림, 수공간, 공원·녹지 유형에서 표준편차가 가장 높은 지표는 공급서비스(물 공급, 자원, 식량)이고, 낮은 지표는 조절서비스(대기질, 기후조절, 홍수 재해, 토양유실, 수질정화, 꽃가루받이, 소음차단)이었다. 공급서비스를 평가할 때 평가자 사이의 의견 차이가 있었음을 나타냈다. 산림 유형을 보면 공급서비스의 평균값이 낮게 평가되었고, 조절서비스가 비교적 낮았다. 서식지제공 평균값이 4.236으로 가장 높았고, 자원 평균값이 2.722로 가장 낮았다. 수공간 유형에서는 서식지 제공 평균값이 4.118로 가장 높았고 자원의 평균값이 2.604로 가장 낮았다. 공원·녹지 유형을 보면, 공급서비스의 평균이 낮게 평가되었음을 확인할 수 있었다. 교육, 연구 평균값이 4.136으로 가장 높았고, 자원 평균값이 2.414로 가장 낮음을 확인하였다.



| 그림 III-2-24 | 간이평가의 유형별 평균과 표준편차(산림, 수공간, 공원·녹지)

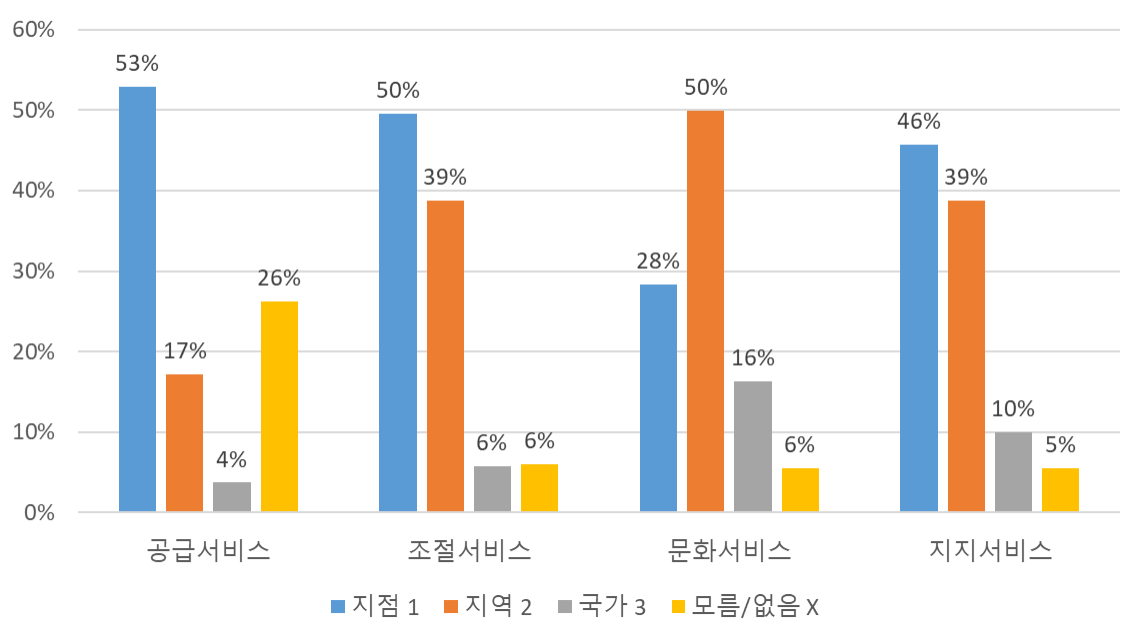
생태자산 전체 유형의 30% 정도에 속하는 생태문화공간(12%), 연안(11%), 습지(4%), 농경지(2%) 4가지 유형은 서로 비슷한 패턴을 보이지 않았지만, 각 유형의 특징을 확인할 수 있었다. 생태문화 공간 유형에서 모든 서비스의 표준편차가 제각각 달랐다. 교육, 연구 평균값이 4.320으로 가장 높았고 자원 평균값이 2.877로 가장 낮게 평가되었다. 연안 유형을 보면 문화서비스가 대부분 높았고, 다른 생태 유형에서 낮게 평가되던 식량 지표 평균값이 크게 평가된 점이 규모별 혜택 결과와 동일하였다. 여가 및 관광 지표의 평균값이 4.221로 가장 높았고, 자원의 평균값이 2.676으로 가장 낮았다. 습지 유형은 수공간 유형처럼 다른 유형에 비해 물 공급 지표가 높게 평가되었다. 서식처 제공 평균값이 4.464로 가장 높았고, 자원의 평균값이 2.762로 가장 낮았다. 농경지 유형에서는 연안 유형처럼 식량 지표에 대한 평가가 높았다. 서식처 제공 평균값이 4.579로 가장 높게 평가되었으며, 자원 평균값이 2.684로 가장 낮게 평가되었다.



| 그림 III-2-25 | 간이평가의 유형별 평균과 표준편차(생태문화공간, 연안, 습지, 농경지)

다) 간이평가의 규모별 혜택 결과

참여자에게 생태자산의 생태계서비스를 평가할 때 해당 생태자산이 주는 자연 혜택의 규모를 함께 평가하도록 하였다. 이를 “규모별 혜택”이라고 하였고, 평가 시 지점, 지역, 국가, 모름/없음, 4가지 범례로 평가하게 하였다. 해당 생태자산이 주는 혜택의 규모가 읍, 면, 동 규모 정도라고 생각하면 “지점”으로 평가하고, 생태자산이 있는 지자체 단위로 혜택을 받는다면 “지역”으로 평가하고, 이를 넘어 국가 또는 세계적으로 혜택을 준다면 “국가”로 평가하게 하였다. 생태계서비스가 없거나 모르겠으면 “모름/없음”으로 평가할 수 있다. 자연의 혜택은 현재를 기준으로 평가하였다.



| 그림 III-2-26 | 생태계서비스에 따른 규모별 혜택

참여자가 “지점” 단위의 규모별 혜택이 높다고 답한 비율은 공급서비스, 지지서비스, 조절서비스, 문화서비스 순이었다. “지역” 단위 규모별 혜택은 문화서비스에서만 “지점” 보다 “지역” 규모별 혜택이 높다고 응답하였고, 그 중 “교육·연구”가 58%로 가장 높았다. “국가” 단위의 규모별 혜택이 높다고 답한 비율은 문화서비스에서 가장 높게 나타나, 참여자들이 문화서비스 혜택의 규모를 가장 크게 생각하는 것을 알 수 있었다. “모름/없음”으로 답한 비율은 전체적으로 낮았으나, 공급서비스에서 26%로 가장 높게 나타났다. 공급서비스는 생태계서비스 간이 평가 평가값에서도 평균이 낮은 편에 속하고 “모름/없음”으로 답한 비율이 높은 것으로 보아 참여자가 평가하기 가장 어려워하는 생태계서비스로 보인다.

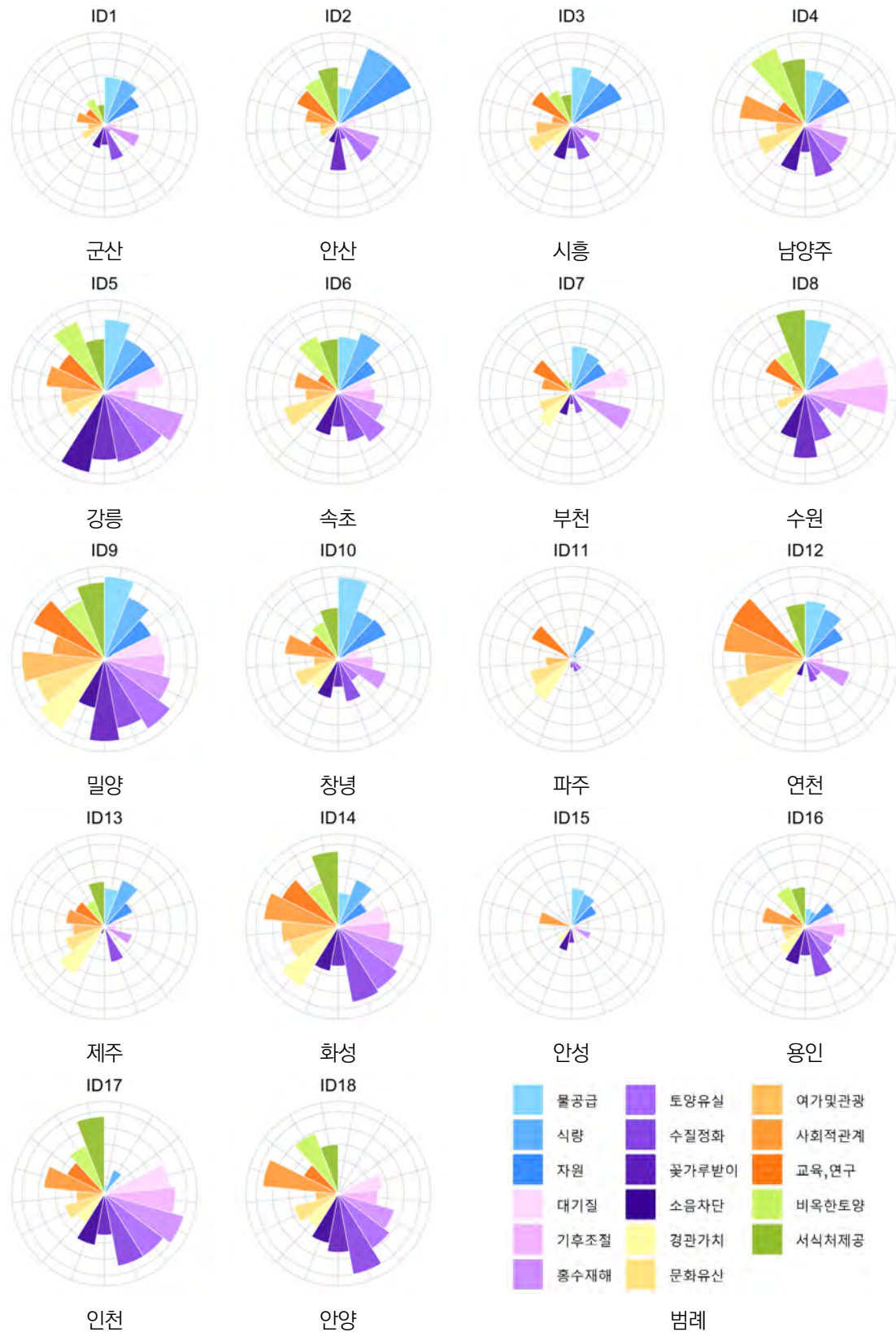
(1) 지역별 비교

2020년 평가 결과에서 “모름/없음”의 답변이 증가한 이유는 2017년~2019년은 지점, 지역, 국가 3가지 범례 중 선택하게 하였고, “없음” 범례는 없었다. 2020년(화성, 안성, 용인, 인천, 안양)은 해당 생태자산의 생태계서비스를 모르거나, 체감하기 어렵거나, 알 수 없거나, 없다고 평가될 때 규모별 혜택에서도 없다고 평가하기로 참여자끼리 합의하여 “모름/없음” 범례를 추가해 4가지 범례 중 선택하기로 개선하였기 때문이다.



그림 Ⅲ-2-27 | 지역에 따른 규모별 혜택(위: '17 군산, 아래: '20 용인)

18개 지역의 생태계서비스 평가지의 평균을 정규화하여 번들로 나타내었다. 번들 조각의 색깔 중 파란색 계열은 공급서비스를, 보라색 계열은 조절서비스를, 노란색 계열은 문화서비스를, 초록색 계열은 지지서비스를 나타낸다. 번들의 조각이 클수록 규모별 혜택의 규모를 더 크게 평가했다는 의미다. 인천과 안양의 공급서비스처럼 번들의 조각이 작거나 없는 것은 생태계서비스 규모를 작게 평가한 것이다. 해당 서비스의 규모를 가장 작은 “지점” 단위로 인식하여 평가했다는 것이다. 이와 반대로 강릉과 밀양의 조절서비스처럼 번들 조각이 크게 보이는 것은 그 지역의 생태계서비스 규모별 혜택을 지자체 규모 또는 국가 규모 정도로 평가한 것이다. 안산은 공급서비스의 규모별 혜택을 높게 평가하여 18개 지역 중에서 상위에 속했다.

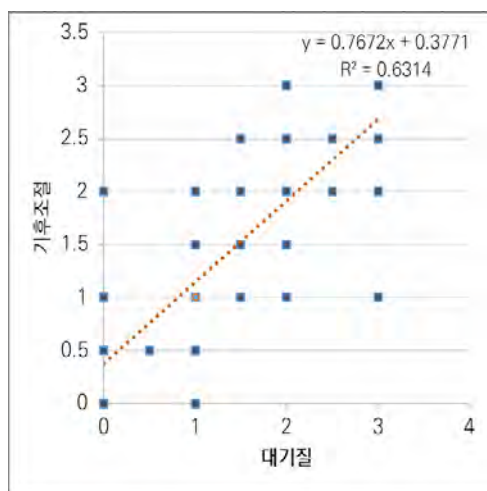


| 그림 Ⅲ-2-28 | 지역별 규모별 혜택 평가의 평균 번들

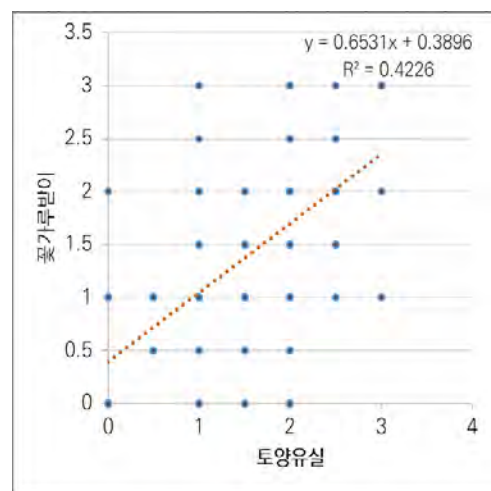
(2) 지표별 비교

지표 간 평가값의 유의성을 알아보기 위해 상관분석을 통해 결과를 도출하였으며, 17개 지표 사이의 상관관계는 숫자와 색깔로 구분하였다. 진한 파란색일수록 상관관계가 높고, 진한 빨간색일수록 상관관계가 없음을 나타낸다. 이 중에서 대기질과 기후조절의 상관관계가 가장 높았고 R^2 은 0.631이었다. 토양유실과 꽃가루받이의 R^2 값이 0.4223으로 그다음으로 관계가 높음을 확인하였다.

	물공급	식량	자원	대기질	기후조절	홍수재해	토양유실	수질정화	꽃가루받이	소음차단	경관가치	문화유산	여가 및 관광	사회적관계	교육, 연구	비옥한 토양	서식처 제공
물공급		0.165	0.165	0.035	0.061	0.105	0.043	0.122	0.079	0.087	0.024	0.013	0.018	0.033	0.014	0.051	0.086
식량			0.268	0.026	0.022	0.048	0.065	0.043	0.045	0.004	0.031	0.018	0.034	0.031	0.037	0.047	0.069
자원				0.022	0.003	0.035	0.056	0.014	0.107	0.055	0.027	0.047	0.030	0.032	0.033	0.118	0.033
대기질					0.631	0.395	0.296	0.246	0.301	0.289	0.084	0.052	0.083	0.091	0.092	0.228	0.222
기후조절						0.298	0.278	0.310	0.236	0.237	0.089	0.043	0.073	0.079	0.084	0.189	0.309
홍수재해							0.342	0.362	0.205	0.232	0.047	0.034	0.083	0.149	0.063	0.171	0.165
토양유실								0.346	0.423	0.279	0.079	0.060	0.077	0.124	0.062	0.330	0.155
수질정화									0.248	0.259	0.079	0.047	0.079	0.121	0.054	0.242	0.198
꽃가루받이										0.348	0.061	0.061	0.058	0.110	0.058	0.315	0.128
소음차단											0.043	0.041	0.045	0.100	0.061	0.231	0.110
경관가치												0.260	0.373	0.194	0.268	0.104	0.116
문화유산													0.297	0.160	0.285	0.087	0.085
여가 및 관광														0.234	0.355	0.075	0.103
사회적관계															0.164	0.127	0.089
교육, 연구																0.070	0.121
비옥한 토양																	0.289
서식처 제공																	

| 그림 III-2-29 | 규모별 혜택 평가의 지표별 상관관계 결과(R^2)

대기질과 기후조절



토양유실과 꽃가루받이

| 그림 III-2-30 | 규모별 혜택 평가의 지표별 상관관계 결과

(3) 유형별 비교①

생태자산을 7가지 유형으로 분류하여 참여자가 응답한 규모별 혜택을 분석하였다.

[표 III-2-9] 생태유형에 따른 규모별 혜택 응답 비율(공급, 조절서비스)

구분	생태유형	산림	수공간	공원·녹지	연안	생태문화 공간	습지	농경지
공급 서비스	물 공급							
	식량							
	자원							
조절 서비스	대기질							
	기후조절							
	홍수 재해							
	토양유실							
	수질정화							
	꽃가루받이							
	소음차단							

[범례] ●: 지점, ●:지역, ●:국가

공급서비스는 전체적으로 지점 단위의 규모별 혜택이 높다고 응답하였는데, 수공간 유형의 물 공급, 연안 유형의 식량, 농경지 유형의 식량은 지역단위의 규모별 혜택을 높게 평가하였다. 조절서비스 중 농경지 유형의 대기 질과 기후조절을 국가 단위의 규모별 혜택이 높다고 평가하였다. 홍수재해 지표는 생태문화공간 유형에서는 지점 규모가 우세하였지만, 농경지 유형에서는 지역 규모가 우세함을 보였다.

문화서비스는 다른 서비스에 비해 국가 규모의 혜택 응답이 높았으며 특히 경관 가치와 문화유산, 여가 및 관광 혜택의 규모를 국가 규모로 평가하는 경향이 강했다. 지지서비스 중 비옥한 토양 지표는 생태문화공간 유형에서 지점 단위의 규모별 혜택을 높게 평가하였다. 서식처 제공에 대한 평가 대부분은 지역과 국가 단위의 규모별 혜택이 높았다.

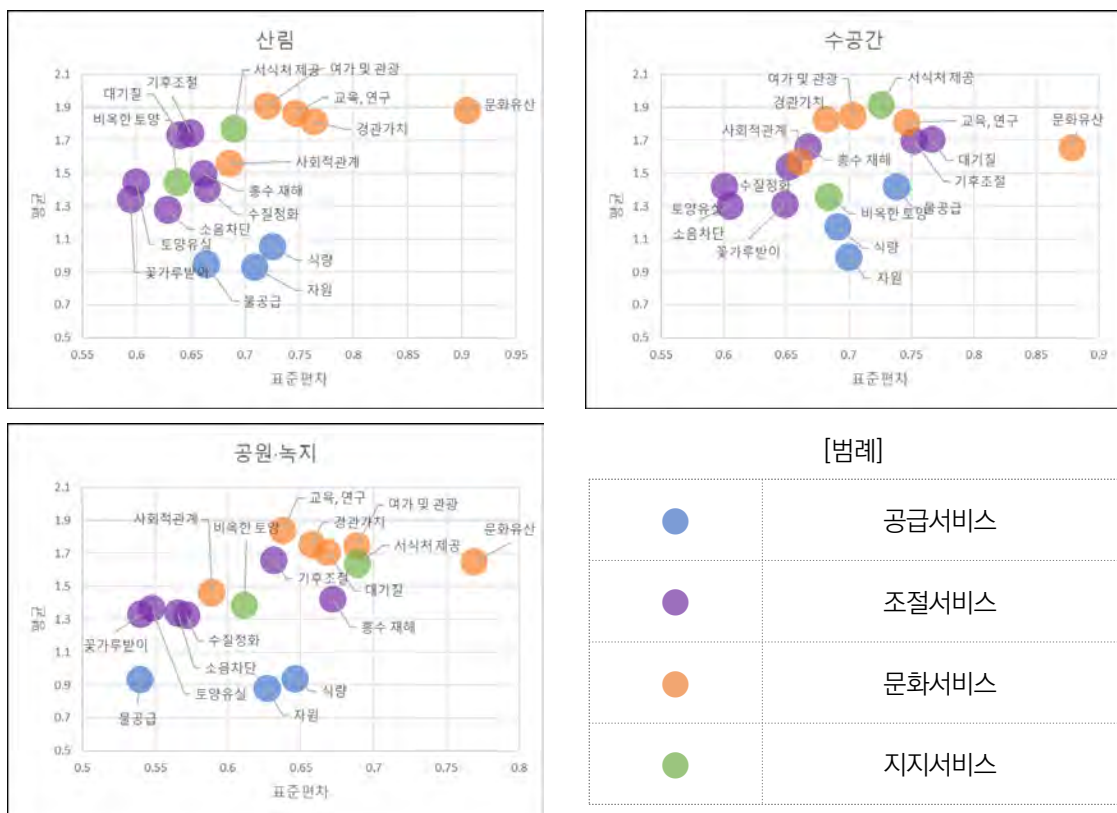
[표 III-2-10] 생태 유형에 따른 규모별 혜택 응답 비율(문화, 지지서비스)

구분	생태 유형	산림	수공간	공원·녹지	연안	생태문화 공간	습지	농경지
문화 서비스	경관 가치							
	문화유산							
	여가 및 관광							
	사회적 관계							
	교육, 연구							
지지 서비스	비옥한 토양							
	서식처 제공							

[범례] ●: 지점, ●: 지역, ●: 국가

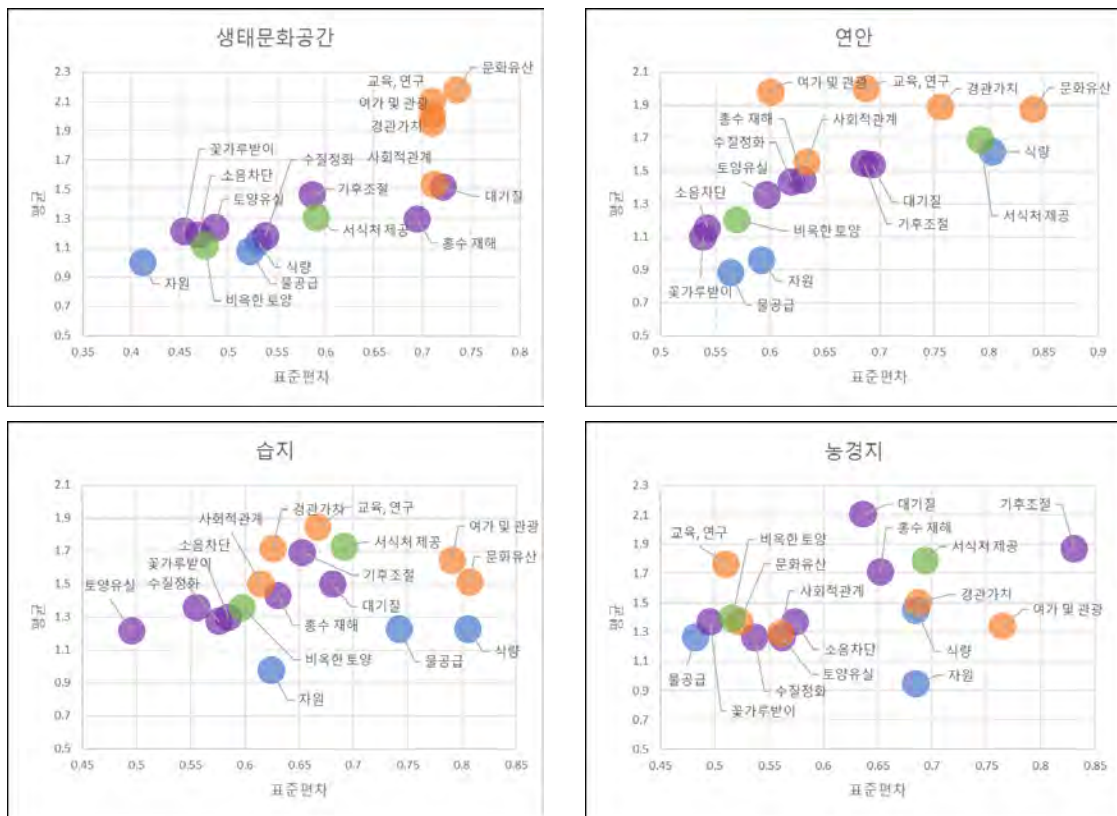
(4) 유형별 비교②

생태자산의 규모별 혜택의 평균과 표준편차를 분석하였다. 유형별로 구분하여보면 생태자산 중에서 가장 큰 비율을 차지하는 산림(25%), 수공간(24%), 공원·녹지(22%) 유형에서 비슷한 패턴을 보였다. 전체적으로 공급 서비스의 평균값이 가장 낮고, 문화서비스의 평균값이 높았다. 지표 중에서는 문화유산의 표준편차가 가장 크게 나타났다. 산림 유형을 보면, 공급서비스(물 공급, 자원, 식량)의 평균값이 낮게 평가되었고, 조절서비스(대기질, 기후조절, 홍수 재해, 토양유실, 수질정화, 꽃가루받이, 소음차단) 그룹이 표준편차가 비교적 낮았다. 문화서비스는 지표마다 표준편차가 달랐지만, 평균이 높은 그룹에 속했다. 여가 및 관광이 1.91로 평균값이 가장 높았고, 자원 평균값이 0.93으로 가장 낮았다. 수공간 유형에서는 조절서비스와 문화서비스 값의 편차가 크게 나타났다. 서식지 제공 평균값이 1.91로 가장 높았고, 자원 평균값이 0.99로 평균값이 가장 낮았다. 공원·녹지 유형을 보면, 공급서비스의 평균이 낮은 편에 속하고, 문화서비스는 높게 평가되었음을 확인할 수 있었다. 교육, 연구 평균값이 1.84로 가장 높았고, 자원 평균값이 0.88로 가장 낮음을 확인하였다.



| 그림 Ⅲ-2-31 | 규모별 혜택 평가의 유형별 평균과 표준편차(산림, 수공간, 공원·녹지)

생태자산 전체 유형의 30% 정도에 속하는 생태문화공간(12%), 연안(11%), 습지(4%), 농경지(2%) 4가지 유형은 서로 비슷한 패턴을 보이지 않았지만, 각 유형의 특징을 확인할 수 있었다. 생태문화공간 유형에서 조절 서비스는 지표마다 표준편차가 제각각 달랐고, 문화서비스 모두 표준편차가 커, 평가자 간의 견해차가 컸음을 확인할 수 있었다. 문화유산 평균값이 2.18로 가장 높았고, 자원 평균값이 1로 평가되어 가장 낮았다. 연안 유형을 보면 문화서비스가 전반적으로 높았고, 다른 생태 유형에서 낮게 평가되던 식량 지표 평균값이 크게 평가되었다. 교육, 연구 평균값이 2.00으로 가장 높았고, 물 공급 평균값이 0.88로 평가되어 가장 낮았다. 습지 유형은 평균의 최고와 최저의 차이가 가장 작았다. 교육, 연구 평균값이 1.85로 가장 높았고, 자원 평균값이 0.98로 평가되어 가장 낮았다. 농경지 유형에 해당하는 생태자산이 가장 적어서 뚜렷한 특징을 보이지 않았고, 대기질 평균값이 2.10으로 가장 높았고, 자원 평균값이 0.95로 평가되어 가장 낮았다.



| 그림 III-2-32 | 규모별 혜택 평가의 유형별 평균과 표준편차(생태문화공간, 연안, 습지, 농경지)

라. 일반시민(PPGIS)의 생태계서비스 평가

1) 모집: 참여자 선발

일반시민들도 참여하여 평가할 수 있는 PPGIS(Public Participatory GIS, 공공참여평가)는 연구지역에 사는 시민이라면 누구든지 참여할 수 있도록 하였다. 홍보 포스터는 국립생태원 SNS와 홈페이지에 업로드하거나, 각 지역의 관련 단체에 배치하였고, 지역신문 기사로 홍보하는 등 누구나 참여할 수 있도록 여러 모집 방법으로 독려하였다. 참여자에 대해서는 참여신청서를 받아 사전정보를 확인하였다. 다양한 직종과 연령대가 참여하였다.



『2019지역 생태가치 시민참여평가』 참가신청서

성 명	생년월일
	성별
연락처	E-mail
거주지 (출연도 부자연 작화)	(회사) 연천군 연천읍

- 해당하는 곳에 체크해 주시기 바랍니다. -			
해당 거주지	☐ 연천 ☐ 파주	연천 또는 파주 거주기간	☐ 1년 미만 ☐ 1년 이상 3년 미만 ☐ 3년 이상 5년 미만 ☐ 5년 이상 10년 미만 ☐ 10년 이상
특징(직업)	☐ 학생 ☐ 자영업	☐ 대학생 ☐ 공무원	☐ 주부 ☐ 기타() ☐ 직장인

※ **참가신청 작성 시 유의사항**

1. 연천, 파주 이외의 지역의 거주자는 참여 불가
2. 연천, 파주에서 과거 거주하였자는 가능

< 개인정보 수집 및 이용에 대한 안내 >

개인정보보호법 제16조, 제22조 및 제24조 규정에 따라 국립생태원은 『2019지역 생태가치 시민참여평가』의 운영을 위해 아래와 같은 개인정보를 수집하고 있습니다.

1. 개인정보를 제공받는 자: 국립생태원 『2019지역 생태가치 시민참여평가』 진행 담당 부서
2. 개인정보의 수집 이용 목적: 『2019지역 생태가치 시민참여평가』 지원자들의 기초 자료를 확보하여 신청 자격 검토 및 최종합선 사업 수행(사업안내)에 사용(이는 활용)을 위함
3. 수집 목적 이외하러는 개인정보의 항목: 생장, 생식활동, 생식, 개체기, 연차기, 이태물, 주적, 집단종
4. 개인정보의 보유 및 이용기간: 신청일로부터 사업 종료 후 3년까지
5. 신청자는 개인정보 수집 용도에 거부할 권리가 있습니다. 다만 개인정보 수집을 거부할 경우 『지역 생태가치 시민참여평가』 신청 자격 검토 및 선정 이후의 사업수행에 불가하리므로 국립생태원은 이 점에 참여에 동의할 수 있습니다.
6. 수집된 개인정보는 『개인정보보호법』에 따라 안전하게 관리됩니다.

위와 같이 참가신청서를 제출합니다.

2019년 월 일

신청인:

(인)

국립생태원장 귀하

| 그림 III-2-33 | 일반시민참여(PPGIS) 생태계서비스 평가 홍보 포스터와 참가신청서

| 표 III-2-11 | 일반시민 PPGIS 참여자

년도	지역	인원(명)	소속
2018	양평	29	직장인, 주부, 학생, 자영업, 해설사, 강사 등
	광주	37	
	김포	38	
	평택	26	
2019	파주	10	파주지속가능발전협의회, 파주환경운동연합
	연천	6	한탄강지킴이운동본부, 한탄강지질공원해설사
	제주시	21	꽃자왈사람들, 제주참여환경연대, 제주올레
	서귀포시	21	꽃자왈사람들, 제주참여환경연대, 제주올레

2) 교육: 생태계서비스와 생태자산

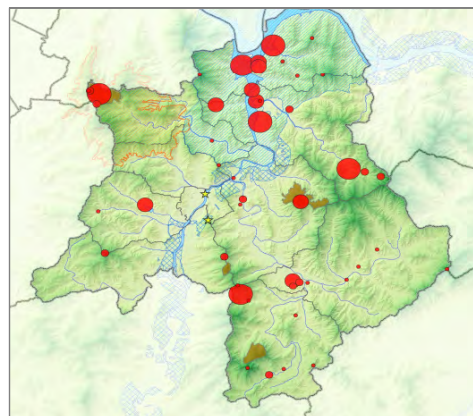
생태계서비스와 생태자산에 대한 개념 등 기본적인 교육을 진행하였고, 생태자산, 생태계서비스에 대한 기본적인 개념교육을 진행하였다. 지역활동가의 간이평가는 일정 기간 현장에서 직접 평가하지만, 일반시민(PPGIS)평가는 여건상 어려워 하루에 모두 진행되었다. 생태자산 선정과 평가까지 원활하게 이루어질 수 있도록 지역활동가의 간이평가 결과를 보여주어 일반시민과 어떤 차이가 있을지 함께 예상해보고 생태계서비스라는 개념을 쉽게 이해할 수 있도록 노력하였다.



| 그림 III-2-34 | PPGIS 시범 교육

3) 활동①: 생태자산 목록 작성

생태자산 목록 작성에 참고할 수 있게 미리 조사한 생태자산을 사진과 위치를 확인할 수 있는 지도를 제공하였다. 사전에 조사한 목록 이외에 시민들이 직접 찾아내고 자유롭게 의견을 제시할 수 있도록 외부의 간섭을 최대한 줄여 참여자의 의견이 반영되도록 하였다. 지도를 통해 위치를 보면, 선정된 생태자산이 우리 지역의 어디에 분포하고, 밀집해 있는지 확인할 수 있다. 지역민의 직업, 지역의 자연자원에 따라 대표 25개를 선정하는 기준이 지역마다 차이가 있어 목록의 특징이 다 다르게 구성되었다.



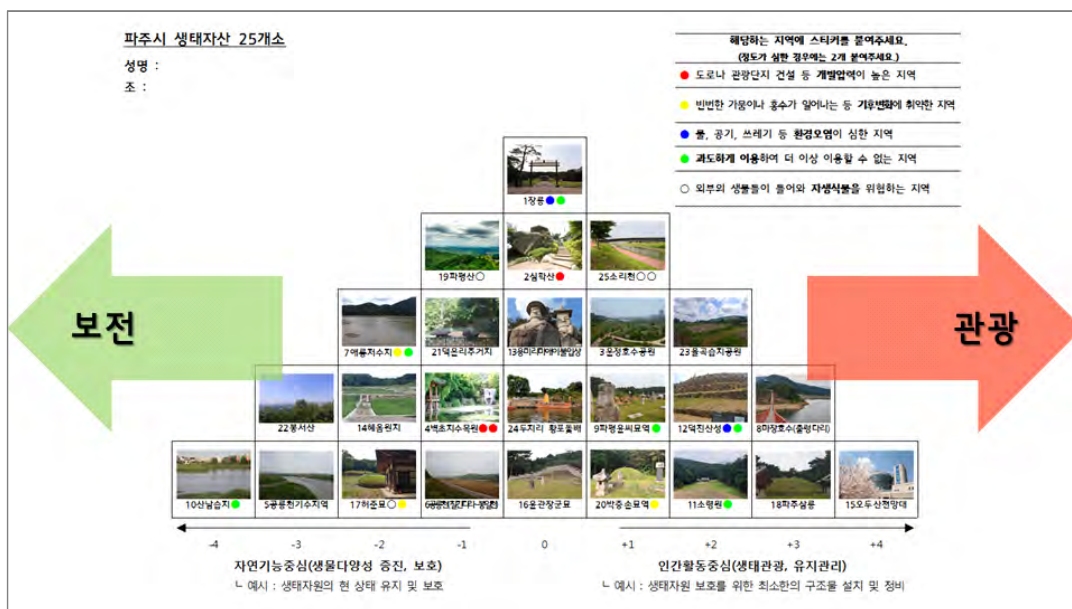
| 그림 III-2-35 | PPGIS 생태자산 선정과 주요 생태자산 지도(경기도 광주)

4) 활동②: 일반시민(PPGIS)의 생태계서비스 평가

가) Q 방법을 활용한 생태계서비스 평가

연구지역 내 자연에 관심이 많은 일반시민을 대상으로 하는 일반시민 생태계서비스 평가는 간이평가지 대신 Q 평가지를 활용하였다. Q평가지 위에 직접 또는 지역활동가가 선정한 지역의 생태자산 그림 카드를 배치하며 생태자산의 우선순위를 두어 평가하는 방법이다. 미리 선정한 생태자산이 25개 이상이어도 25개 생태자산 그림 카드만 Q평가지에 붙일 수 있어서 고민하며 붙여야 한다. 또는 25개 이상일 경우 Q평가지의 모양이 정규분포가 이루어도록 변형하여 사용할 수 있다.

평가 방법은 다음과 같다. 가운데 0점을 중심으로 한 칸씩 멀어질 때마다 더 우선순위로 생각하는 것이다. 왼쪽으로 갈수록 생태자산의 자원을 그대로 유지하길 원하는 “자연기능중심” 생태자산을 우선순위대로 배치하였다. 오른쪽으로 갈수록 생태관광, 보전관리를 통해 유지하길 바라는 “인간활동중심” 생태자산을 우선순위대로 배치하였다. 이를 통해 참여자들은 개발과 보전에 대한 선호를 개별로 평가해보고 의견을 조율하여 조별로 하나의 Q 평가지를 만들었다. 의견을 공유하여 조별로 발표해보며 참여자들 간의 인식 차이를 확인하고 공유할 수 있었다.



| 그림 III-2-36 | 우선순위로 Q시트에 배치한 생태자산 예시

나) 변화요인 평가

Q시트 위에 네 가지 생태계서비스 이외 생태자산의 생물다양성과 생태계서비스에 위협을 주는 변화요인 5가지를 평가하도록 하였다. 일반시민이 참여했던 2018년(양평, 광주, 김포, 평택)과 2019년(파주, 연천, 제주도)에는 스티커를 사용하여 아는 만큼만 붙이고 최대 2개까지만 이용하여 1개는 “있다”, 2개는 “많다”로 평가하도록 하였다.

| 표 III-2-12 | 변화요인 평가항목

변화요인 항목	내용	스티커 색깔
개발압력	도로나 관광단지 건설 등 개발압력이 높은 지역	빨간색
기후변화	빈번한 가뭄이나 홍수 또는 열섬현상 등 기후변화에 취약한 지역	노란색
환경오염	물, 공기, 쓰레기 등 환경오염이 심한 지역	파란색
과이용	과도한 이용과 훼손으로 회복하기 어려운 지역	녹색
외래생물	외부생물들이 들어와 자생생물을 위협하는 지역	흰색

연천군 생태자산 25개소

성명 : _____
 조 : 6

해당하는 지역에 스티커를 붙여주세요.
 (정도가 심한 경우에는 2개 붙여주세요.)

- 도로나 관광단지 건설 등 개발압력이 높은 지역
- 빈번한 가뭄이나 홍수가 일어나는 등 기후변화에 취약한 지역
- 물, 공기, 쓰레기 등 환경오염이 심한 지역
- 과도하게 이용하여 더 이상 이용할 수 없는 지역
- 외부의 생물들이 들어와 자생생물을 위협하는 지역

자연기능중심(생물다양성 증진, 보호) 인간활동중심(생태관광, 유지관리)

예시 : 생태자원의 원 상태 유지 및 보호 예시 : 생태자원 보호를 위한 최소한의 구조를 설치 및 정비

스티커를 활용한 변화요인 평가(2019년)

		*평가등급: 1 없음 or 매우낮은 위협, 2 낮은 위협, 3 보통, 4 높은 위협, 5 매우 높은 위협	
위험요인	생물다양성과 생태계서비스에 대한 위협요인 5가지를 평가하는 항목입니다. 본 생태자산이 해당하는 곳에 체크하여 주시기 바랍니다.	평가등급	설명
	[개발압력]	2	이미 개발되어 있지만 관리가 소홀해 보이는 곳 있음
	[기후변화]	3	폭우로 인한 무너짐이 곳곳에 보임.
	[환경오염]	2	환경오염이 낮은 곳
	[과이용]	2	과도한 훼손 낮음
	[외래생물]	2	외부 생물의 위협 낮음.

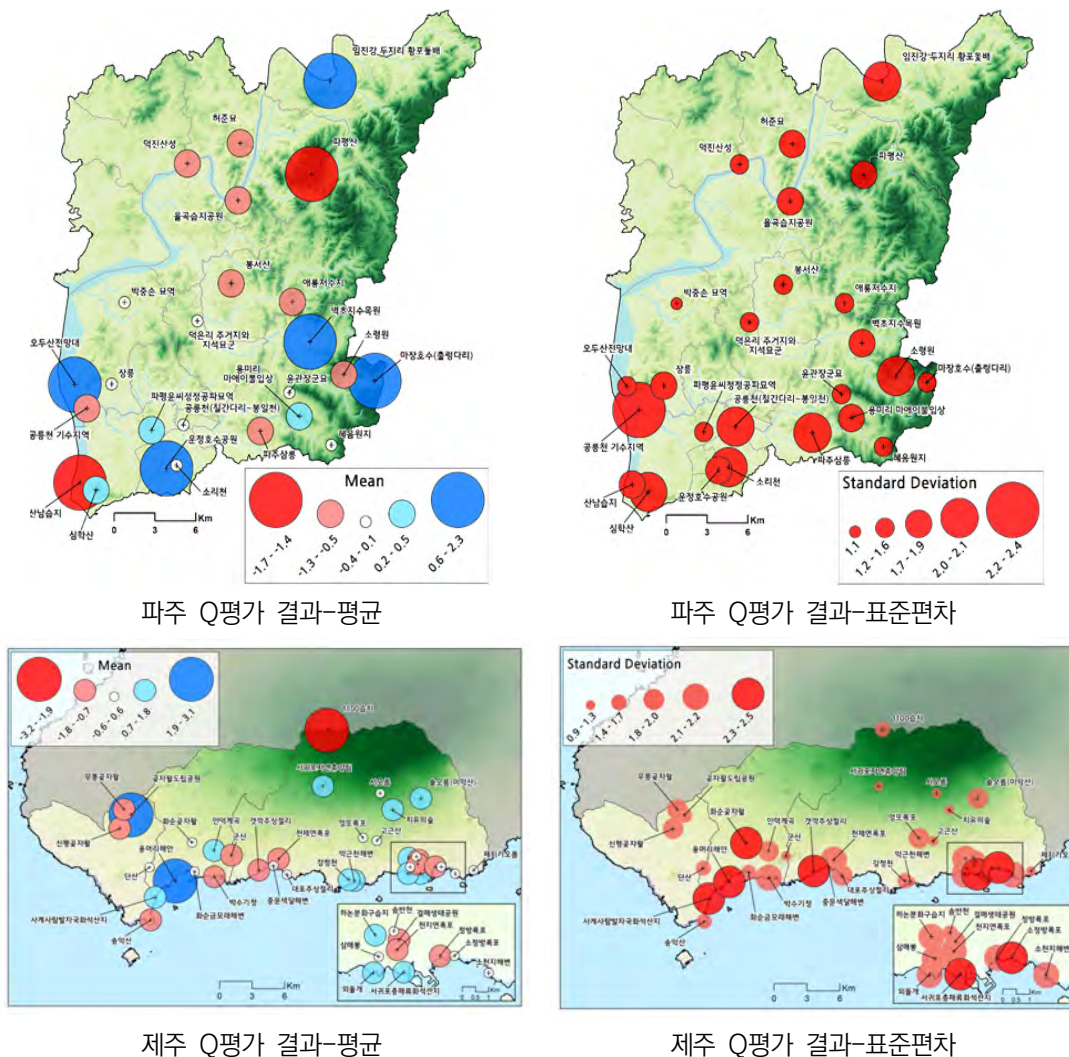
간이평가지를 활용한 변화요인 평가(2020년)

| 그림 III-2-37 | 변화요인 평가 예시

5) 분석: 일반시민(PPGIS)의 생태계서비스 평가 결과

가) 일반시민(PPGIS)의 생태계서비스 평가 결과

Q방법론을 통해 상위 25개 생태자산에 대한 선호도를 분석하였다. 관광, 관리, 개발과 같은 인간 활동 중심과 자연 자원을 보존하는 자연 기능 중심으로 나누어 평가하였다. 지역마다 개발과 보존의 인식 차이가 뚜렷하게 나타나거나, 의견이 일치하기도 하였다. 2019년 연구대상지 파주의 Q평가 결과 산남습지, 파평산 등은 생태기능이 지속적으로 유지되기를 바라고, 마장호수, 운정호수공원 등은 유지관리를 통해 인간 활동이 강화되는 것을 알 수 있었다. 그러나, 참여자 의견의 표준편차 결과를 보면, 공릉천 기수지역은 참여자의 인식 차이가 가장 뚜렷하게 나뉜 곳이었다. 이와 같은 곳은 개발·보전 계획 시 지역주민 간 갈등을 줄이고 이해당사자들의 의견을 충분히 반영시켜야 한다.⁹⁾

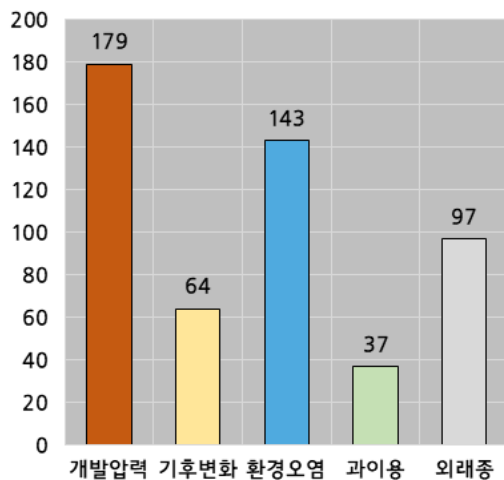


| 그림 III-2-38 | 생태자산에 대한 Q평가 결과
(출처: 국립생태원(2019). 「지역의 생태가치평가 및 인식 증진방안 연구」 p.57, 59)

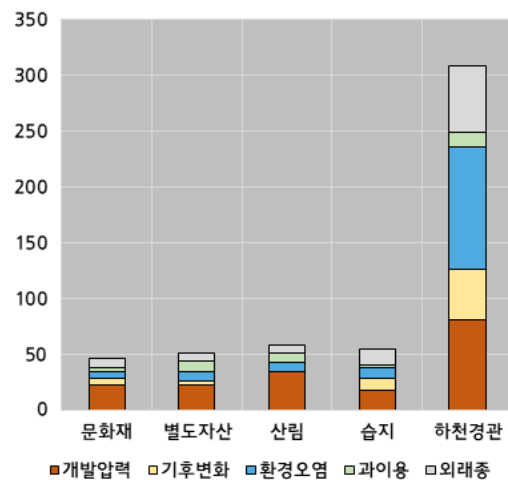
9) 국립생태원(2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업 II」 p.94

나) 변화요인 결과

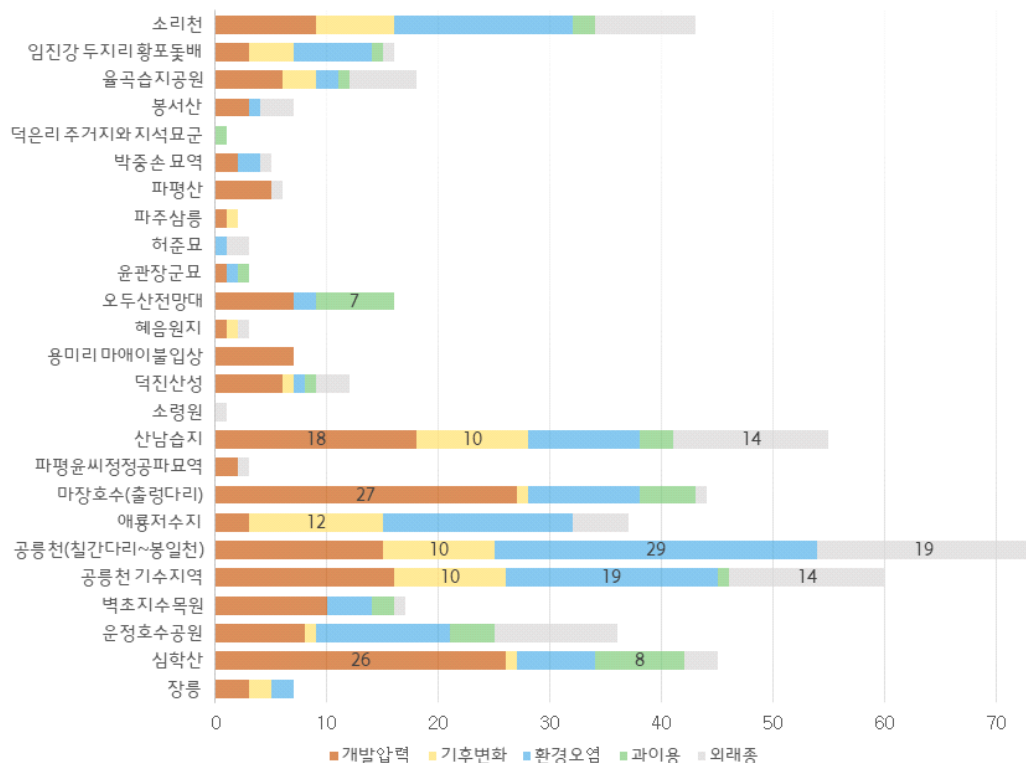
생태자산에 대해 참여자가 체감하는 자연이 훼손되는 위협요인을 평가한 내용으로 참여자 대부분 개발압력에 대해 높게 체감하고 과이용에 대해서는 낮게 체감하였다. 유형별로 구분하여보면, 참여자들이 지역의 어떤 생태자산을 주요 자산으로 인식하고 높은 관심을 보이는지 확인할 수 있다.



파주 변화요인



파주 생태자산 유형별 변화요인



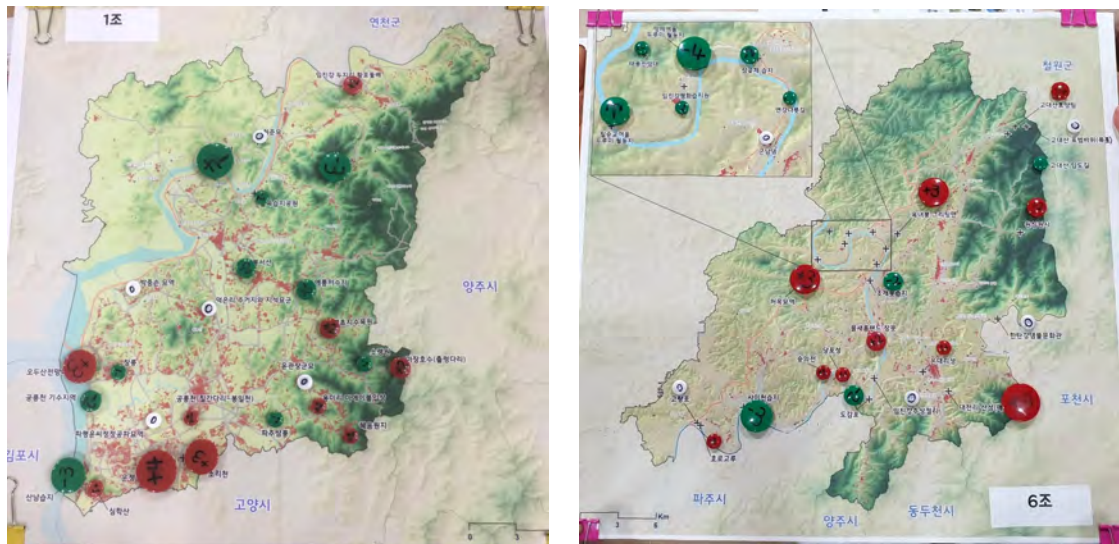
파주 생태자산별 변화요인에 대한 의견

| 그림 III-2-39 | 생태자산에 대한 변화요인 결과

(출처: 국립생태원(2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅱ」 p.96, 98)

6) 논의: 일반시민(PPGIS)의 생태계서비스 평가 결과 공유

개인별로 작성했던 Q평가지를 조원들과 비교해본 후, 조별로 하나의 지도를 만들기 위해 서로 논의하는 시간을 가졌다. 조원은 “자연기능중심”과 “인간활동중심”에 대한 각자의 생각을 말하고 그 결과를 조별 발표를 통해 지역주민 사이의 인식 차이를 공유하였다.



| 그림 III-2-40 | 조별 결과지도

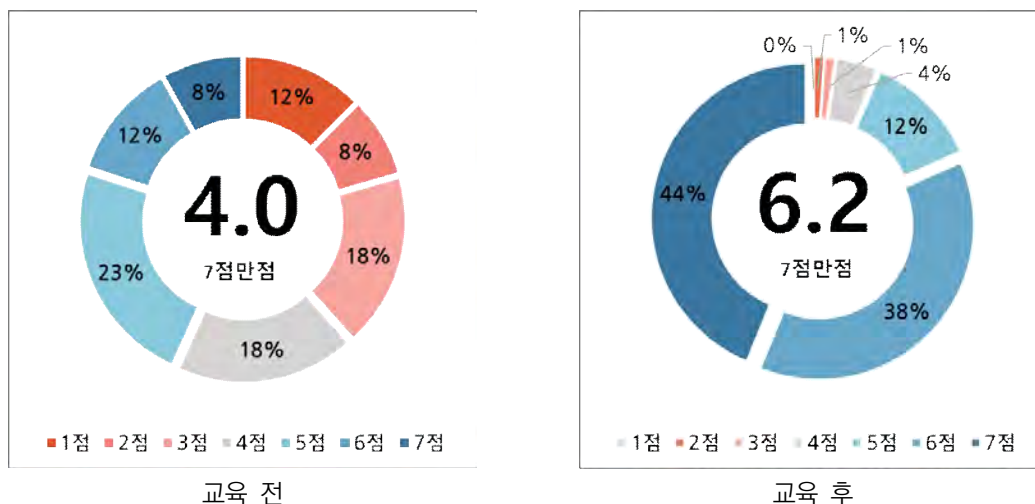


| 그림 III-2-41 | 일반시민(PPGIS)의 결과공유

PPGIS에 참여한 일반시민을 대상으로 생태계서비스에 대한 설문조사를 실시하였다. 질문은 평가에 참여하기 전과 후로 나누어 질문지를 구성하여 생태계서비스 교육을 받기 전과 후를 비교해보고자 하였다.

- [교육 전] 생태계서비스나 생태 가치에 대하여 들어본 적이 있는가?
- [교육 전] 시민(국민)참여나 사회혁신에 대해 이해하고 있는가?
- [교육 전] 생태계가 인간에게 얼마나 혜택을 주고 있는가?
- [교육 전] 생태계 가치평가(경제적 평가)가 필요한가?
- [교육 전] 해당 지역 환경정책 시민참여는 필요한가?
- [교육 후] 생태계서비스나 생태 가치에 대한 관심 정도는 어떻게 변화했는지요?
- [교육 후] 우리 사회에서 시민(국민)참여나 사회혁신이 필요하다고 느끼는지요?
- [교육 후] 생태계가 인간에게 얼마나 혜택을 주고 있는가?
- [교육 후] 생태계 가치평가(경제적 평가)가 필요한가?
- [교육 후] 해당 지역 환경정책 시민참여는 필요한가?
- [교육 후] 팀원들 간 토론과정을 통해 당신의 선호는 변화하였는가?
- [교육 후] 워크숍에 대한 전반적 만족도는 어떠하신지요?
- [교육 후] 생태자산은 삶의 질 향상에 중요하다.
- [교육 후] 가까이에 있는 자연의 가치는 먼 곳에 있는 자연의 가치보다 높다.
- [교육 후] 생태계서비스 교육에 대한 좋았던 점을 적어주세요.
- [교육 후] 생태계서비스 교육에 대한 아쉬웠던 점을 적어주세요.
- [교육 후] 생태계서비스 교육에 대한 바라는 점(어떻게 발전하면 좋을지)을 적어주세요.

설문 결과 파주, 연천, 제주 세 지역 일반시민참여자 모두 시민참여 평가 후 인식이 4.0에서 6.2로 상승하였다(7점 만점). 응답 중 관심 정도가 매우 상승하였다고 7점으로 대답한 비율은 8%에서 44%로 제일 많이 증가하였다. 시민참여 생태계서비스 평가를 통해 시민참여 필요성 또한 향상된 것을 확인하였다. 시민참여 평가가 마무리 되고 참여자들은 주위에 있었지만 가보지 못한 곳이 많았고, 우리 지역의 가치를 여러 사람과 공유할 수 있어서 좋다는 뜻깊었다는 후기를 남겼다. 생태계와 혜택에 대해 관심을 갖게 되는 기회였고, 앞으로 이런 활동이 지속되길 바랐다.



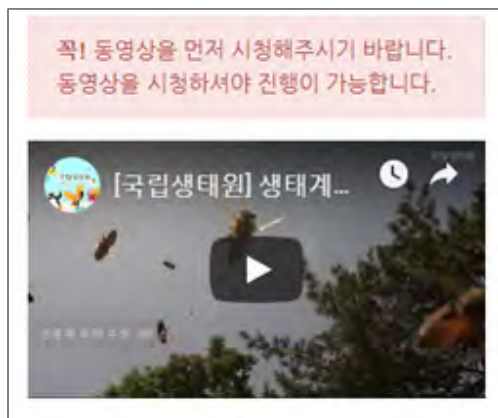
| 그림 III-2-42 | 생태계서비스와 생태 가치 인식에 대한 설문 결과('19 파주, 연천, 제주)

마. 모바일 설문조사를 활용한 생태계서비스 평가

1) 모집 및 평가 방법

제주도 지역주민과 관광객을 대상으로 확장된 인식조사를 위해 개방형 시민참여 평가 방법을 시범적으로 도입하여 설문조사를 실시하였다. 2019년 9월 23일부터 10월 25일까지 제주도의 생태자산에 대해 전 국민을 대상으로 설문하였으며 그 방법은 다음과 같다.

- 1 단계: 연결된 링크를 통해 생태계서비스와 생태자산에 대한 동영상 시청한다.
- 2 단계: 지역활동가가 선정한 100개의 생태자산 목록을 유형별로 확인한다.
그중 5곳을 선택하고, 5개 척도로 생태자산의 생태계서비스를 평가한다.
- 3 단계: 내가 평가한 생태자산 위치 확인 및 응답자의 기본정보 입력
- 4 단계: 상위 10%로 선정된 생태자산 확인 및 평가 완료



1 단계



2 단계



3 단계



4 단계

| 그림 III-2-43 | 제주도 생태자산 모바일 평가과정

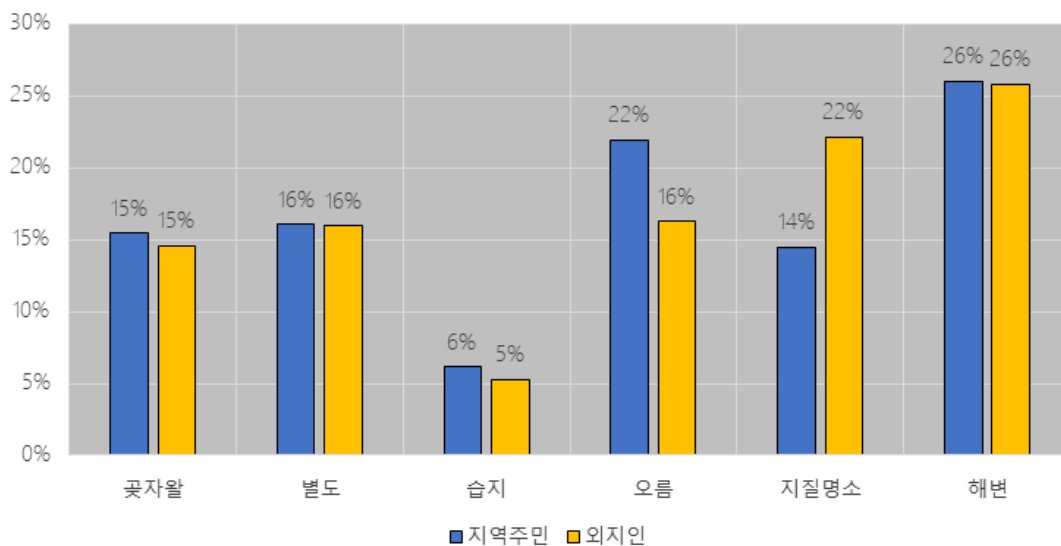
출처: 국립생태원(2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업 II」 p.64

| 표 III-2-13 | 모바일 평가와 지역활동가 간이평가 비교 항목

항목	모바일 평가	간이평가지
공급	맑고 풍부한 물을 얼마나 제공해주나요?	담수
조절	깨끗한 공기를 얼마나 제공해주나요?	기후조절
문화	경치를 보며 얼마나 아름답다고 느끼나요?	경관 가치
지지	다양한 동식물을 만날 수 있을까요?	서식처 제공

2) 모바일 생태계서비스 평가 결과

참여자 총 8,623명이었으며, 유효 표본 수는 7,873명으로 지역주민 780명, 외지인 7,083명이 제주도 생태자산의 생태계서비스를 평가하였다. 제주도 생태자산 유형에 대한 응답을 보면 지역주민, 외지인 모두 “해변” 유형에 관심이 높았고, “꽃자왈”, “별도”, “습지” 유형에서는 비슷한 비율을 보였다. 모바일 설문조사를 위한 생태자산 선정 시 지역주민과 외지인 두 그룹에서 차이를 보였지만, 생태계서비스 평가 결과의 차이는 거의 없었다. 지역활동가와 모바일 평가는 몇 가지 차이를 보였다. 평가 응답의 4점 이상 비율을 보았을 때 문화서비스와 지지서비스는 지역활동가의 평가에서 높았고, 공급서비스와 조절서비스는 모바일 평가에서 높게 평가되었다.¹⁰⁾



| 그림 III-2-44 | 지역주민과 외지인의 생태자산 유형별 모바일 평가 응답 비교
(출처: 국립생태원(2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업 II」 p.65)

10) 국립생태원(2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업 II」 p.66~74

3 생태계서비스 시민참여 평가의 Q 방법론 활용

가. Q 방법론

1) 개념

Q방법론은 인간의 주관성(subjectivity) 연구를 위해 심리학은 물론 사회과학 전반에 걸쳐 사용되고 있는 접근 방법이다(김흥규, 2008). 양적 방법을 통해 체계적이고 엄격하게 측정할 수 있는 특징을 가지고 있어 많은 이해 관계자 및 인식 차이 연구에 사용되어 왔다(박순열, 2010; Brown, 1996; Watts and Stenner, 2005).

Q방법론은 다양한 지역주민의 생태자산에 대한 인식을 행위자의 관점에서 출발하여 개개인마다 다른 주관성 구조에 따른 서로 다른 유형에 대한 이해와 설명이 가능하다.

본 연구는 생태자산에 대해 나타나는 다양한 지역주민의 인식에 대한 주관성을 심도 있게 측정하기 위해서 Q방법론으로 진행하였다.



| 그림 III-3-1 | Q분류
(출처: 제타위키 Jmnote 사용자 업로드)

2) 연구 현황

가) Q 표본의 설계 및 선정

이 연구는 시민들이 지역 내 생태자산에 대해 개발과 보전에 대한 주관적인 인식을 구조화하며 유형별 특성을 파악, 기술하고 설명하려고 하는 본 연구의 목적이며, 진술문 형태와 공간 형태의 카드를 분류하는 방법으로 이루어졌다.

2016년도부터 2020년까지 총 14개 지역을 대상으로 진행을 하였으며, 2016년에는 25개의 진술문으로 구성되었다. 2017년부터는 공간으로 확장하여 지역당 평균 25개의 개발과 보전 가운데 이슈가 되는 생태자산을 표본으로 선정하였다. 마지막으로 2020년도에는 코로나19 상황과 사회적 문제를 대비하여 비대면 진행 설계를 하였다. 특히, 안산시의 경우 2017년에는 대면 방식으로 진행하였으나, 2020년에는 비대면 방식으로 진행하였으며 Q방법론 연구 결과를 보여주는 방식에서 다르게 나타났다.



| 그림 III-3-2 | 국립생태원 Q방법론 진행 현황

나) P 표본 선정

P표본을 모집하는 과정이 대면 방식과 비대면 방식에 따라 달랐는데, 대면 방식에서는 지자체 홈페이지와 신문 보도, SNS, 현수막 등을 통해 모집하여 지역 이해당사자를 P표본으로 선정하였다.

비대면 방식에서는 기존과 다르게 눈덩이 표집(snowball sampling) 방식을 활용하여 모집하였으며 이 방식은 소수의 표본을 대상으로 사례를 조사하고, 조사된 표본 대상으로부터 추가적 사례를 계속 확보해 나가는 표집 방법으로 지역 내 자산에 대한 개인의 이해정도를 알 수 없는 상황에서 매우 적합한 모집 방식이다(국립생태원, 2021).

나. 진술문을 통한 Q 방법론 진행(2016년)

진술문 작성을 위하여 지역 생태계서비스에 대한 이슈와 지역 주민들의 인터뷰를 통하여 Q모집단(coccourse)을 구성하고, 이를 통하여 진술문(A-statement)을 작성한 후, P샘플을 선정, 분류작업(sorting) 과정을 거쳐 얻게 되는 Q-sort를 엑셀 프로그램을 이용하여 Q요인분석(Q-factor analysis)을 통해 분석하였다.

지역 이해당사자(지역주민, 상인, 환경단체, 공무원, 연구원)를 대상으로 지역 생태자산에 대한 개발과 보전에 대해 지니고 있는 전반적인 느낌, 의견, 가치관 등을 종합적으로 얻기 위해 지역 이해당사자들을 대상으로 심층 인터뷰를 통하여 주제에 관한 대표성이 가장 크다고 여겨지는 진술문을 24~25개까지 표본으로 선정하였다.

여기에서 선택된 진술문은 전체적으로 모든 의견들을 포괄하고, 긍정, 중립, 부정의 균형을 이룰 수 있도록 구성하였다. 또한 이 연구에서는 위에서 제시한 기준에 의거하여 성별, 연령, 직업 등 인구학적 특성을 적절히 고려하여 최대 26명을 P샘플로 선정하였다.

P표본에 대한 조사가 완료된 후 수집된 자료를 점수화하기 위하여 Q표본 분포도에서 가장 부정적인 경우 -4를 시작으로 +4까지 점수화하여 진술문 번호순으로 하여 코딩하였다.

1) 주요 결과

서천 갯벌에 대한 생태계서비스 평가에 대한 연구 결과는 3개의 유형이 나타났다. 3개의 유형에는 각각 13명, 10명, 2명이 속하였는데, 여기서 인원수의 의미는 없다.

우선, 그룹 1은 “생태기능형”이라고 할 수 있다. 갯벌의 생태적 기능에 주목하며, 인간활동과 관련된 항목에는 부정적이었다. 특히, 갯벌의 조절 및 부양 서비스를 중요시하였다. 그룹 2는 “생태관광형”으로 갯벌을 생태관광의 터전으로 활용되기를 원하였다. 그룹 3은 “인간활동형”으로 문화서비스에 관심이 많았다.

2) 시사점

진술문을 통한 Q방법론의 결과는 생태계서비스 지표로 진술문을 분석하였다. 따라서 생태적 가치, 지역관광 자원으로서의 가치, 지역 경관적인 가치 등과 같이 나타났다. 특히 지역 이해당사자들 간의 상반된 인식과 공통된 인식을 진술문을 통해 확인함으로써 지역 내의 생태계서비스에 대한 인식을 다른 방식보다는 좀 더 구체적으로 파악할 수 있었다.

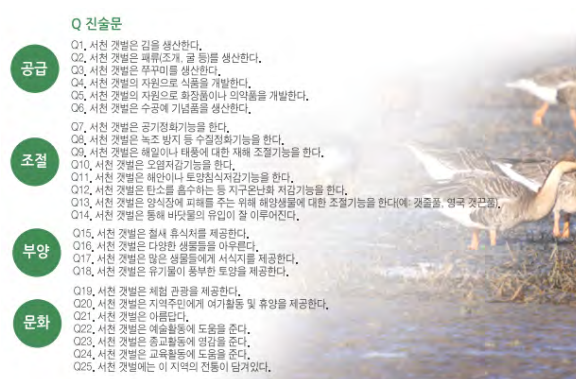


그림 Ⅲ-3-3 | 진술문(A-statement)

다. 지도(Mapping)를 통한 Q 방법론 진행(2016년~2019년)

Q모집단을 구성하기 위하여 지역활동가를 중심으로 워크숍을 통해 지역의 생태자산 약 25개를 선정하였고 이를 통하여 지도(Mapping)를 작성한 후, Q샘플을 선정하였는데 최대 36개(서귀포시·대정읍·안덕면)까지 표본으로 선정하였다.

P표본(P-sample)은 지역에서 생태, 자연에 관심이 많은 지역 이해당사자를 대상으로 지자체 홈페이지, 신문 보도, SNS, 현수막 등을 통해 모집하여 선정하였다.

P표본으로 선정된 지역 이해당사자들은 Q분류작업(Q-sorting)을 진행하여 각 지역의 생태자산 카드를 자연 기능중심(-), 중립(0), 인간활동중심(+)으로 크게 3개의 그룹으로 분류한 다음 차례로 바깥에서부터 안쪽으로 분류를 진행하여 중립 부분에서 정리하도록 하였다.

1) 주요 결과

파주 생태자산에 대한 연구 결과는 2개의 유형이 나타났는데 그룹 1은 “산남습지와 파평산”을 생태기능 중심으로 중요시하였고, 그룹 2는 “마장호수, 벽초지수목원”을 인간활동 강화 자산으로 활용되길 원하였다.

2) 시사점

지도를 통한 Q방법론의 결과는 공간으로만 분석을 진행하였으며, 생태자산을 자연기능중심(보전)과 인간활동중심(개발)으로 나타냄으로써, 지자체에서는 생태자산 관리에 있어서 보전과 활용에 대한 중요한 의사결정 자료로도 활용이 가능하다. 진술문을 통한 Q방법론의 결과는 생태계서비스 지표로 진술문 분석을 진행하였으며, 생태적 가치, 지역관광 자원으로서의 가치, 지역 경관적인 가치 등과 같이 나타났다. 특히 지역 이해당사자들 간의 상반된 인식과 공통된 인식을 진술문을 통해 확인함으로써 지역 내의 생태계서비스에 대한 인식을 다른 방식보다는 더 구체적으로 파악할 수 있었다.

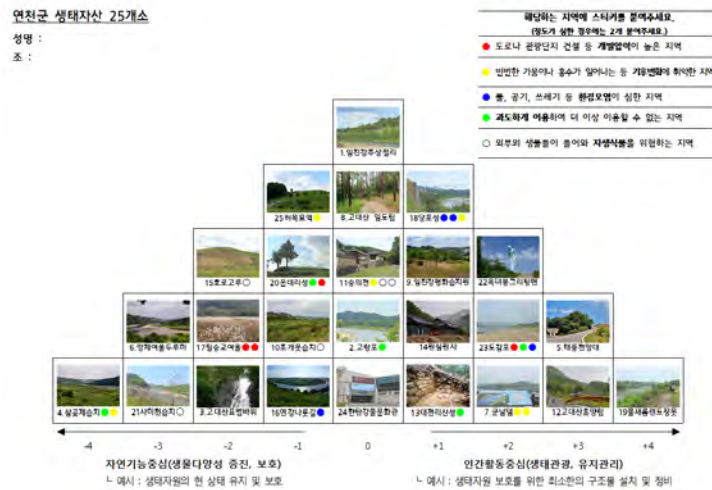


그림 III-3-4 | 지도(Mapping)의 Q sheet

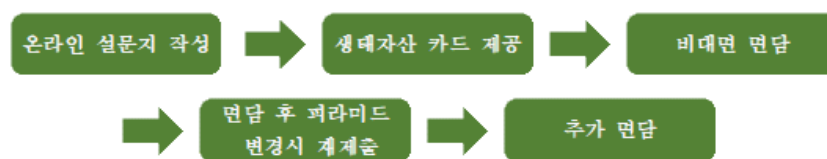
라. 비대면 통한 Q 방법론 진행(2021년)

기존에 대면 형식으로 진행한 Q방법론 연구가 코로나바이러스로 인한 사회적 거리두기의 시행으로 어려워졌다. 따라서 대면 형식을 활용한 방법을 온라인에 기반한 방식을 개발하여 진행하였다. 지도(Mapping)와 동일하게 공간 형태인 생태자산을 Q표본으로 하였으나 선정방식이 크게 달랐다. 기존에는 지역활동가들이 워크숍을 통해서 직접 지역의 생태자산을 선정하였다면, 비대면 방식에서는 연구자들이 생태자산 및 지역환경과 관련된 공간 데이터를 수집한 후, 소셜미디어(네이버 블로그)를 활용하여 수요자 중심의 생태자산을 추출하였다. 수집된 생태 자산은 GIS 맵핑을 통해 정리한 후 PPGIS 및 주민 워크숍을 통해 최종적으로 Q표본 25개를 선정하였다. P샘플 모집 역시 기존과 다르게 눈덩이 표집(snowball sampling)방식을 활용하여 지역 생태자산에 대해 평소 관심이 많고, 생태 가치를 인식하고 있는 지역활동가를 우선 연구 대상으로 선정하였다(국립생태원, 2021).

눈덩이 표집방식은 연구자가 조사 표본에 대해 접근 가능 방법을 명확하게 알지 못할 때 처음 접근이 가능한 소수의 사례를 조사한 후, 조사된 사례의 협조를 얻어 이들로부터 추가적 사례를 계속 확보해 나가는 표집방법(Yang et al., 2012; 국립생태원, 2021)으로 지역 내 자산에 대한 개인의 이해 정도를 알 수 없는 상황에서 매우 적합하다.

따라서, P표본은 눈덩이 표집 방식을 통해 선정한 후 Q-method software를 활용하여 온라인 Q설문을 진행하였는데 온라인 평가 특성상 생태자산에 대한 평가 주제별로 총 4가지 서로 다른 관점에서 25개 자산에 대한 각기 다른 평가를 진행하였다.

Q분류작업(Q-sorting)이 끝난 후 ZOOM을 활용하여 화상 면담을 시행하여 양 끝에 놓여진 생태자산에 대해서는 각각의 코멘트(심층인터뷰)를 받아 두었다.



| 그림 III-3-5 | 온라인 설문지 작성 과정

(출처: 국립생태원(2021), 「비대면 시민참여평가를 위한 Q방법론 고도화 용역」 p.116을 재작성)

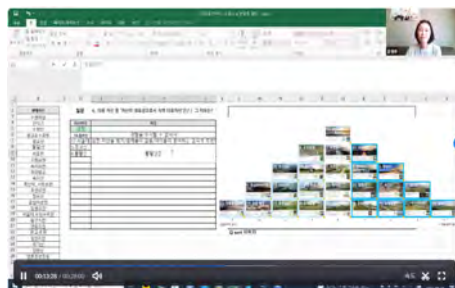
1) 주요 결과

안산시 25명의 페르소나는 AMP(1), AWP(8), VMO(1), VMP(5), VWO(2), VWP(4)로 구분되었으며 가장 많은 시민이 해당하는 페르소나는 8명으로 AWP(수생태계의 보전에 대해 중요하게 생각하면서, 수변 경관을 선호하고, 평지형 수변공원을 즐기는)로 판명되었다.

두 번째로 5명이 속한 VMP(철새도래지의 생태계 보전 측면에 대한 인식이 높으면서, 수변 경관을 선호하고, 평지형 수변공원을 즐기는) 페르소나가 많이 나타남으로 안산시의 대부분 시민이 수변 경관을 즐길 수 있는 수변 공원에 대한 생태계 보전, 경관미, 여가활동 측면에서의 중요성을 인식하고 있다고 판단하였다.

2) 시사점

기존에는 요인분석을 통해서 진술문과 공간을 결과로 나타냈다면, 비대면을 통한 Q방법론 방식의 결과에서는 질문마다 요인 유형의 특성에 맞추어 설명그룹명을 부여(알파벳)하여 응답자 개인의 페르소나를 구분하고 명명하여 생태자산 인식을 유형화하여 해석하였다. 페르소나에 해당하는 사람들의 비율(각 그룹의 비중)과 생태자산의 인지에 있어서 각 그룹 간의 의견 차이 파악과 생태자산의 문화서비스 평가 및 관리 지침 수립에 있어서 활용할 수 있다.



| 그림 III-3-6 | 비대면 면담 예시

(출처: 국립생태원(2021), 「비대면 시민참여평가를 위한 Q방법론 고도화 용역」 p.117)

4 생태계서비스 인식확산 결과

가. 대상자별 생태계서비스 교육 현황

1) 시민 대상 생태계서비스 교육

생태계서비스에 대한 시민들의 이해도를 높이고 생태계서비스 인식증진을 위해 시민단체나 시민참여 평가를 위하여 지역활동가 참여자를 대상으로 교육을 진행하였다. 교육 이후에는 참여자의 이해도와 만족도, 기타사항을 묻는 설문조사를 진행하여 매년 개선사항을 반영하도록 하였다.

【표 III-4-1】 시민 대상 생태계서비스 교육 결과

일시	교육명	참여자 수	참여자 소속
2017.9.19.	시흥시 호조별 지역 생태계서비스 교육	-	시흥시 지역주민
2017.10.20.	남양주시 지역 생태계서비스 교육	-	남양주시 지역주민
2018.4.16.~17.	지역 생태자산 외부연구원 선정 및 교육 활동(강릉)	-	강릉 지역활동가
2018.4.17.~18.	지역 생태자산 외부연구원 선정 및 교육 활동(속초)	-	속초 지역활동가
2018.3.26.	지역 생태자산 외부연구원 선정 및 교육 활동(부천)	-	부천 지역활동가
2018.3.26.	지역 생태자산 외부연구원 선정 및 교육 활동(수원)	-	수원 지역활동가
2018.4.9.~10.	지역 생태자산 외부연구원 선정 및 교육 활동(창녕)	-	창녕지역활동가
2018.5.25.	강릉시 지역 생태계서비스 교육	8명	생명의 숲, 강릉지속가능발전협의회 등
2019.6.10.~11.	2019년 지역 생태자산 외부연구원 선정 및 교육 활동	22명	파주, 연천 지역활동가
2019.7.7.	제주도 시민참여형 생태계서비스 평가 활동가 공유 워크숍	43명	곶자왓사람들, 제주올레, 제주참여환경연대, 자문위원
화성, 안성: 2020.7.8. 용인: 2020.7.14. 안양: 2020.7.15.	「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅲ」 시민참여 생태계서비스 간이평가 외부조사원 선정 및 교육	38명	화성, 안성, 용인, 안양 지역활동가
2020.8.14.	「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅲ」 시민참여 생태계서비스 간이평가 외부조사원 선정 및 교육(인천)	13명	인천 지역활동가

2) 공무원 대상 생태계서비스 교육

생태계서비스 정책 수립 및 이행을 위해서는 지방공무원의 생태계서비스에 대한 역량 강화가 매우 필요하다.¹¹⁾ 이를 위하여 공무원에 대한 생태계서비스 교육교재 및 프로그램을 만들어서 2017년부터 교육을 시작하였다. 대부분 충남도 소속 공무원을 대상으로 1회차당 약 30명에게 생태계서비스에 대한 소개와 정책적용, 생태계서비스에 대한 주민참여 방법, 생태관광 운영 시 지역주민 참여의 중요성, 주민주도 생태관광 관리방안 등에 대하여 교육을 진행하였다.

| 표 III-4-2 | 공무원 대상 생태계서비스 교육 결과

일시	교육명	참여자 수	참여자 소속
2017.5.25.	지자체(충남도) 연계 과정(공직자 연수 2기)	33명	충남도청 및 소속 시·군 공무원
2017.9.14.	지자체(충남도) 연계 과정(공직자 연수 3기)	38명	
2018.5.9.	충남도청 공무원 대상 생태계서비스 교육	28명	충남도청 및 소속 시·군 공무원
2018.10.19.	2018년 공직자 연수 (하반기 충남도 연계과정)	24명	
2018.9.14.	강릉시 생태계서비스 교육을 위한 협조	-	강릉시 공무원
2019.5.22.~24.	2019 공직자 연수 (충남도 연계과정 상반기)	33명	충남도청 및 소속 시·군 공무원
2019.9.25.~27.	2019 공직자 연수 (충남도 연계과정 하반기)	35명	
2021.5.28.	21년 공직자 연수(전통문화교육원 연계)	30명	전통문화교육원

11) 국립생태원(2018). 「지역의 생태가치 평가 및 인식증진 방안 연구」 p.168

3) 전문가 및 교직원 대상 생태계서비스 교육

그 외 지속 가능한 환경교육을 위해 서천지역의 생태자원과 기후변화 등을 연계하여 안내 및 홍보 활동이 가능한 청년 인력을 양성과정과 생태관광지역 종사자를 대상으로 생태관광 디렉터를 양성하는 교육과정에 각각 참여하여 생태계서비스 이론 및 실습을 병행하여 교육 프로그램을 진행하였다. 또한, 실제 수업에서 적용가능한 생태 교육 콘텐츠를 다양하게 제공하여 교원의 생태적 교수역량을 강화할 수 있도록 교사를 대상으로 생태계서비스 교육을 진행하였다.

표 Ⅲ-4-3 | 전문가 및 교직원 대상 생태계서비스 교육 결과

일시	교육명	참여자 수	참여자 소속
2019.5.27.	청년기후환경 교육지도사 양성과정	20명 내외	-
2020.8.10. 2020.8.12.	2020년 초등학교원 특수분야(생태교육) 직무연수	48명	전국 초등학교 교원
2020.6.23.	2020년 상반기 '생태관광 디렉터 양성과정'	30명	생태관광지역의 생태관광 관련 업무 3년 이하 종사자
2020.11.10.	2020년 하반기 '생태관광 디렉터 양성과정'	30명	
2021.4.28.	2021년 생태관광 디렉터 입문과정	24명	생태관광 관련 업무 신규 종사자, 해설사, 담당 공무원 등
2022.5.7.	자연애(愛) 기움이다! 생물다양성 직무연수	30명	전남도 내 희망 교사
2022.6.8.	군산교육지원청 생태전환교육 교원연수	15명	군산 지곡초등학교 교원
2022.6.14.	2022년 생태관광 디렉터 입문과정	37명	생태관광 관련 업무 신규 종사자, 해설사, 담당 공무원

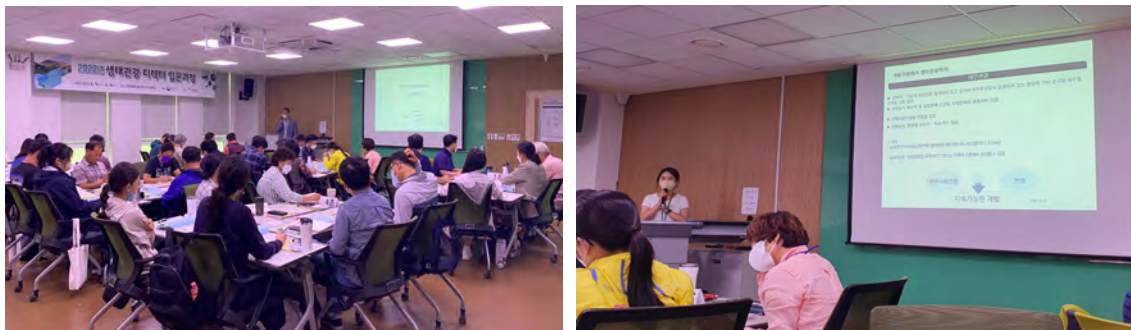


그림 Ⅲ-4-1 | 2022년 생태관광 디렉터 입문과정 강의

나. 생태계서비스 인식확산 활동

1) 2019 한국생태환경과학협의회 학술대회

생태분야 연구자들과 생태계서비스 평가연구 결과를 공유함으로써 생태계 가치에 대한 인식을 증진 시키고 연구 협력 확산에 이바지하고자 2019 한국 생태환경과학협의회 학술대회 발표 기간에 국립생태원 생태서비스 연구 결과를 공유하고 홍보를 진행하였다.



| 그림 III-4-2 | 2019 한국 생태환경과학협의회 학술발표대회 홍보부스 운영

2) SA_EU Dialogue Facility DEA* Workshop

2019년 9월 19일 남아프리카공화국 케이프타운에서 열린 SA-EU Dialogue Facility DEA¹²⁾ Workshop에 ESP 의장인 De Groot와 남아공 환경부 공무원 등이 참여하여 생태계서비스 평가를 통한 생태계 혜택 분석 및 이해당사자 참여를 발표하고, 시민과 이해당사자가 참여한 사례로 국립생태원 시민참여 사업에 대하여 소개하였다.



| 그림 III-4-3 | SA-EU Dialogue Facility DEA Workshop 강의내용과 강의하는 모습

12) DEA: Department of Environmental Affairs, South Africa

3) 제7회 국립생태원 생태동아리 탐구대회

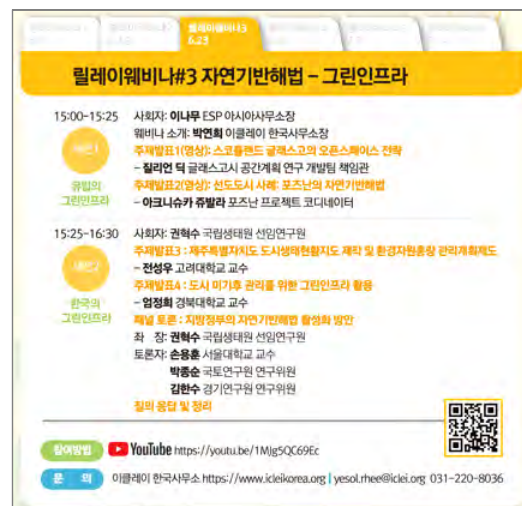
국립생태원에서 매년 주최하는 생태동아리 탐구대회의 제7회 탐구주제로 생태계서비스가 선정되었으며, 참여자는 자연이 우리에게 주는 다양한 혜택을 탐구하고 문화예술·사회·과학·인문 등 다양한 분야에서 자연을 가치 있게 누리는 방법에 대하여 제안하고 탐구활동의 멘토링, 심사, 도서 감수 등 ‘도전! 생생탐 vol. 2’ 도서 발간에 참여하였다.



| 그림 III-4-4 | 제7회 생태동아리 탐구대회

4) 한-EU 협력사업 ‘자연과 도시’ 릴레이 웨비나

릴레이 웨비나는 ‘지속가능한 도시, 자연에 답이 있다!’라는 주제로 2021년 자연기반해법(NbS) 이해 및 효과적인 활용방안을 모색하고, 다양한 이해당사자와 지역 생물다양성 증진정책 수립과 추진을 위한 교류였다. 웨비나는 2021. 6. 9.~7. 14.까지 매주 수요일 15시 YouTube 생방송으로 송출하여 매회 약 50여 명이 온라인으로 함께 참여하였다.



| 그림 III-4-5 | ‘자연과 도시’ 릴레이 웨비나 3차

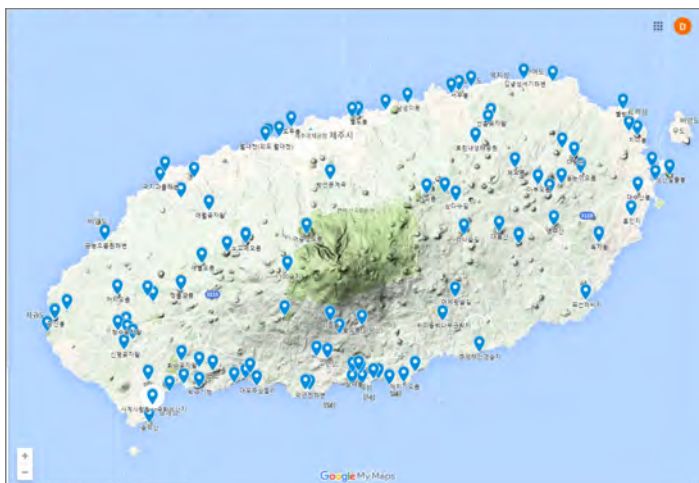
5) Google My Map을 이용한 지역별 생태계서비스 평가지도

'17~'20년 시민참여 생태계서비스 평가 18개 지역의 1,005곳 생태자산 위치(GPS)와 평가값, 현장 사진을 담은 Google map을 제작하였다. 지역 생태자산의 위치를 지도 위에서 확인할 수 있으며, 경도와 위도를 함께 나타내고 있어서 다음에도 손쉽게 방문할 수 있도록 하였다. 지도위의 핀을 선택하면 참여자와 연구원이 직접 찍은 해당 생태자산 사진을 볼 수 있으며, 시민들이 참여한 생태계서비스 평가는 5점 척도로 점수를 부여해 서비스별로 평가값도 함께 확인할 수 있다. 지역별 참여했던 지역활동가에게 URL 및 QR코드 전송·배포하여 인식증진에 활용하였으며, 현재까지 제작된 Google My Map은 18개 지역으로 PC와 모바일에서 모두 확인을 할 수 있다.

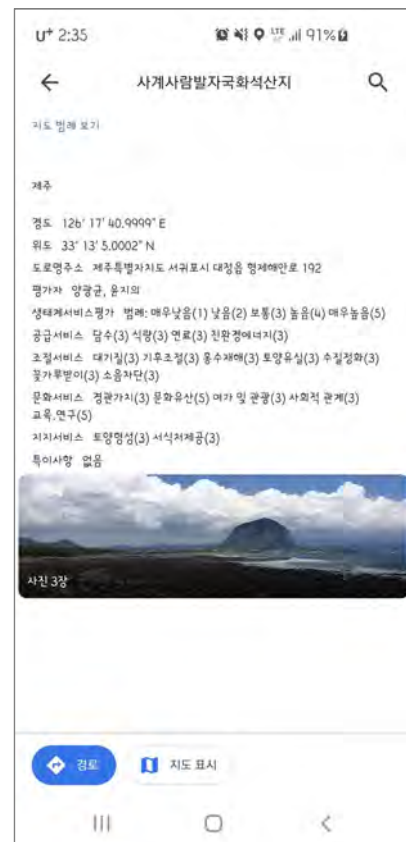
- 2017년: 군산, 안산, 시흥, 남양주
- 2018년: 강릉, 속초, 부천, 수원, 밀양, 창녕
- 2019년: 파주, 연천, 제주
- 2020년: 화성, 안성, 용인, 인천, 안양



〈접속 QR코드(왼쪽: 제주, 오른쪽: 인천)〉



〈제주 시민참여평가 Google My Map PC 화면〉



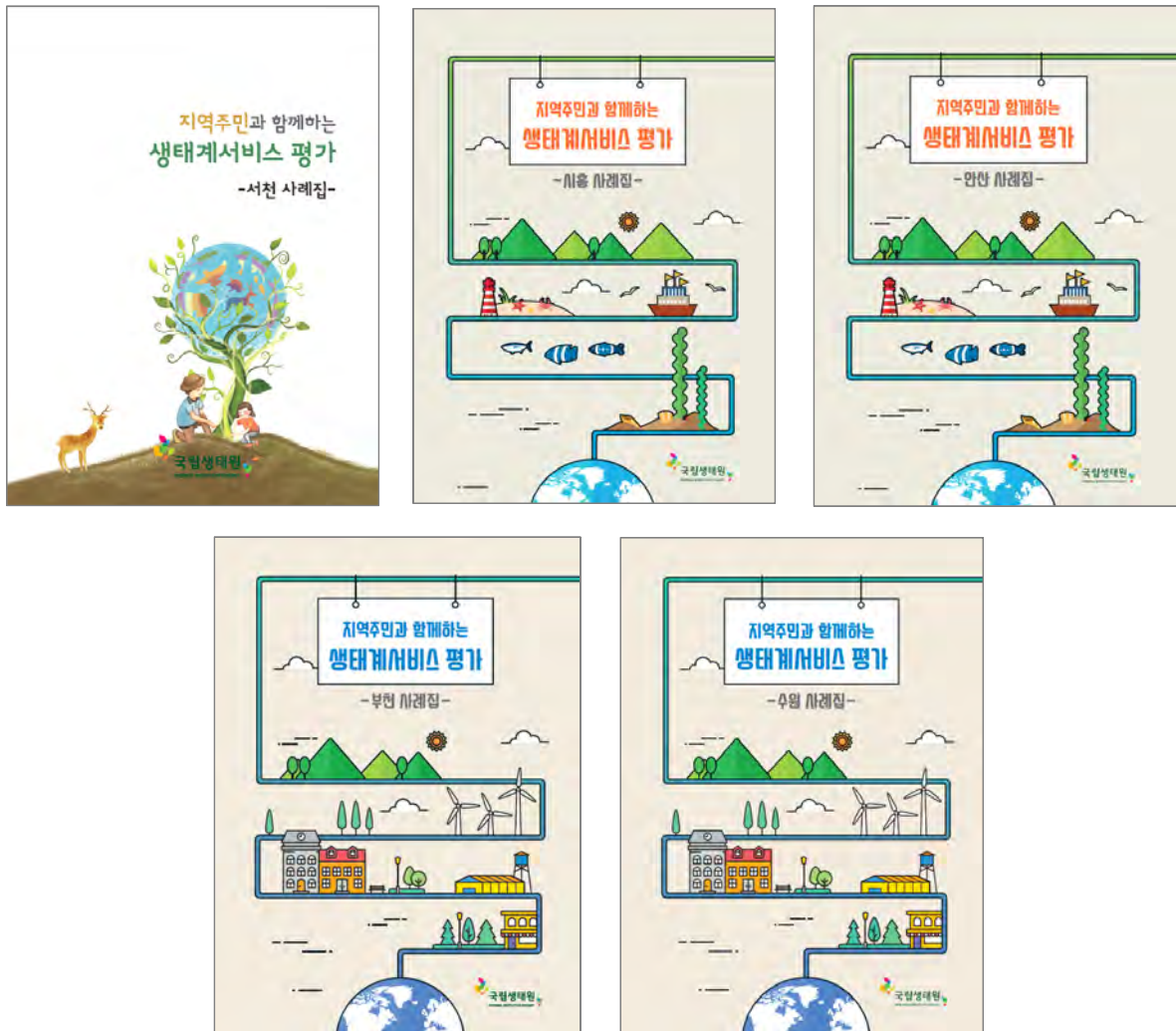
〈모바일 화면〉

| 그림 III-4-6 | Google My Map을 이용한 시민참여 평가

다. 생태계서비스 콘텐츠 개발

1) 지역별 생태계서비스 평가 사례집

시민참여 생태계서비스 평가 연구지역인 서천(2016년), 시흥(2017년), 안산(2017년), 부천(2018년), 수원(2018년)의 시민참여 평가 결과 내용을 담은 사례집을 제작하였다. 시민참여 평가 절차를 소개하고 이해당사자의 인터뷰 및 Q설문 조사를 통해 공통된 인식을 그룹별로 묶어 도출한 결과를 지도 위에 나타내어 활용방안을 제시하였으며, 제작된 도서는 참여한 지역활동가와 소속기관에 배포하였다.



| 그림 III-4-7 | 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 지역별 사례집

2) 생태계서비스 평가지도(map book)

생태계서비스 항목별 인포그래픽 및 주제도를 작성하여 생태계서비스를 이해하기 쉽게 인포그래픽과 지도로 표현하였다. 국내 통계자료 및 공간자료를 활용하여 공급, 조절, 지지, 문화서비스에 대한 생태계서비스 과정 및 평가 결과를 분석하여, 이후 수도권 전체의 생태계서비스 평가 연구 방법과 결과를 담아 생태계서비스 평가에 대한 대국민 홍보 및 교육자료로 활용하였다. 「지역주민과 함께 만든 생태계서비스 평가지도」는 리플릿 형식으로 제작되어 제주 시민참여 평가와 생태계서비스 평가 결과를 지도와 그래프로 시각화하여 평가 결과를 이해하기 쉽고 효과적으로 전달하고자 하였으며, 시민참여 평가에 참여한 지역활동가, 지역주민의 인식증진 및 향후 정책 활동 등에 활용하고자 하였다.



| 그림 III-4-8 | 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 평가지도

3) 생태계서비스 교육자료

「생태계서비스 지역평가 교육자료」는 생태계서비스와 유형별 예시를 설명하고, 다양한 이해당사자들의 의견을 반영한 생태계서비스 지역평가 사례와 평가과정을 소개하였으며, 지역의 환경보전이나 도시계획 정책의 우선순위를 선정할 때 생태계서비스를 반영하여 더 나은 환경, 생태, 지역 정책 방향을 제안하도록 하였다.

「초등교원을 위한 생태계서비스 지도서」를 통해 초등교원이 생태계서비스 개념을 쉽게 이해하고 수업에 적용할 수 있도록 학교 내에서 접할 수 있는 예시와 학습과정안으로 활동지를 구성하였다. 특히, 3~6학년 사회, 과학, 실과 교과 과정을 중심으로 각 교과별 학습목표, 내용체계, 교수내용이 생태계서비스 개념에 부합하도록 중점을 두었다. 생태계서비스 주요 내용별 5개 단원, 단원과 연계한 12개 차시로 구분하였으며, 각 차시는 교수학습과정 안, 참고자료, 활동지(교사용, 학생용)로 구성되어 있으며, 생태계서비스 카드(15종), 꿀벌의 서비스 카드(12종), 생태계 카드(5종), 생태계서비스 스티커(15종)를 학습교구로 각각 첨부하였다. 각 단원별로 교육과정과 연계성을 안내하여 초등교원이 교수학습 활용에 도움이 되도록 구성하였다.¹³⁾

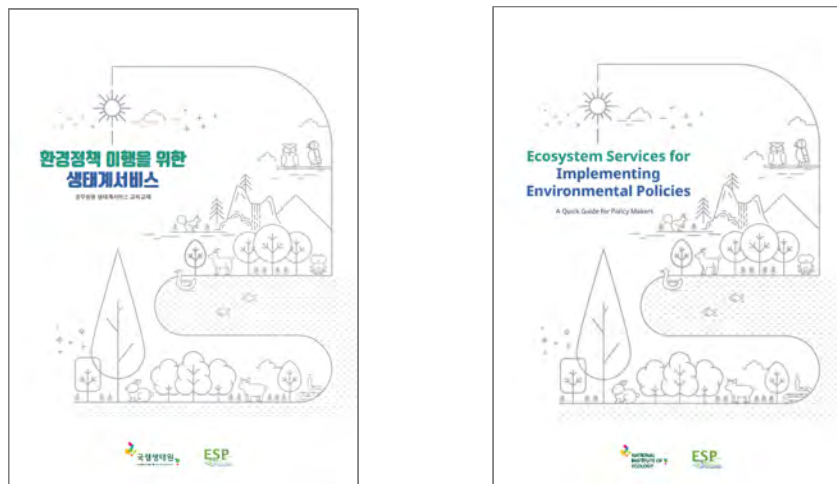


생태계서비스 지도서 교구

| 그림 Ⅲ-4-9 | 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 교육자료

13) 국립생태원(2020). 「초등교원을 위한 생태계서비스 지도서」

「환경정책 이행을 위한 생태계서비스」는 공무원의 생태계서비스 정책 이해를 증진하고 생태계서비스 정책 계획 및 이행 역량 강화를 위하여 개발하였다. 본 교재는 생태계서비스의 이해, 생태계서비스의 평가, 생태계서비스의 활용 3가지 모듈로 구성하였으며, 각 모듈에는 핵심 질문, 사례, 연습문제, 참고문헌이 포함되어 있어 학습자의 이해를 돕도록 구성하였다. 이를 통해 지역단위 정책을 계획하고 이행하는 공무원들을 위한 교육과 홍보를 위해 활용하고자 하였다.



| 그림 III-4-10 | 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 교육자료

4) 생태계서비스 이슈 브리프

기업의 기존 경영방식으로는 사회적 환경적 기업 경영평가에 즉시 대응할 수 없다는 인식이 확대됨에 따라 제품에 대한 새로운 환경기준, 기후 위기와 관련된 비용 저감의 필요성, 녹색 투자에 대한 기회, 생태계에 미치는 영향에 대한 투자자와 소비자의 요구 등, 기업이 ESG 경영 전략의 변화에 새로운 비즈니스 모델을 구축할 수 있도록 제시하였다.



| 그림 III-4-11 | 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 이슈 브리프

5) 생태계서비스 매뉴얼

「시민참여 생태계서비스 평가 매뉴얼」은 지역주민들이 직접 참여하여 지역의 고유한 자연자산을 발굴하고 평가하여야 하는 필요성과 함께 시민참여 생태계서비스 평가에 대하여 소개하였다. 생태자산과 생태계서비스의 개념, 참여자인 지역활동가와 일반시민의 유형별 특징과 평가 방법을 비교하는 내용을 담았으며, 지역 생태계서비스 인식 교류와 교육 및 시민 의견이 반영되는 지역 환경정책과 계획을 수립하는 데 활용되고자 하였다.

「비대면 시민참여 평가를 활용한 지역 생태자산 평가 매뉴얼」은 팬데믹 등 사회적 문제를 대비하여 온라인에 기반한 비대면 시민참여 평가 방법론 개발을 위해 소셜미디어를 활용한 온라인 시민참여 평가 방법과 연구 결과를 담았다.

「자연환경 침해조정제도 안내서」는 생물다양성 총량제 또는 생태계서비스 개념을 통해 순손실 방지 등 생태계 훼손으로 인한 사회·경제적 손실을 줄이고 자연생태계의 피해를 최소화하여 생태계 보전 및 생물다양성 증진을 위한 자연환경 침해조정제도에 대하여 소개하였다.¹⁴⁾

「생태계서비스 평가지도 매뉴얼」은 수도권(서울, 인천, 경기)을 대상으로 지리정보시스템(GIS)과 생태계서비스 평가모델(InVEST)을 활용한 생태계서비스 평가 방법을 담았다. 쉽게 따라 할 수 있도록 자료수집부터 결과도출 및 결과 검증까지 단계별로 보여주어 평가지도 결과를 얻을 수 있도록 자세하게 담았다.



| 그림 III-4-12 | 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 매뉴얼(1)

14) 국립생태원(2020). 「자연환경침해조정제도 안내서」



| 그림 III-4-13 | 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 생태계서비스 매뉴얼(2)

6) 지역별 자료집

2017년부터 2020년까지 수행한 시민참여 생태계서비스 평가 결과와 자료를 모아 자료집을 제작하였으며, 생태자산과 생태계서비스의 개념, 생태자산과 생태계서비스의 관계를 설명하고 생태계서비스 간이평가지 작성 방법을 담았다. 지역의 생태자산 위치를 나타내는 지도에 지역활동가가 체감하는 생태계서비스를 번들과 그래프로 표시하여 위치와 평갓값을 한눈에 볼 수 있으며, 18개 지역마다 약 50여 개의 생태자산의 간이평가지 내용과 현장 사진을 확인할 수 있다. 생태자산의 이름, 위치, 평가자를 표기하였고 17개~37개 지표별로 자연의 혜택을 체감한 정도와 그 이유, 혜택의 규모의 크기 등을 작성하였다.



| 그림 III-4-14 | 생태계서비스 콘텐츠 개발 - 지역별 자료집



| 그림 III-4-15 | 생태계서비스 콘텐츠 - 지역별 자료집(1)



| 그림 III-4-16 | 생태계서비스 콘텐츠 - 지역별 자료집(2)

| 표 III-4-4 | 생태계서비스 콘텐츠 개발목록 - 도서

연도	제목	비고
2016	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가 -서천 사례집-	
2017	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가 -시흥 사례집-	
	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가 -안산 사례집-	
	Thankyou! Ecosystem services 지역평가 교육자료	
2018	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가 -부천 사례집-	
	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가 -수원 사례집-	
	시민참여 생태계서비스 평가 매뉴얼	
	생태계서비스 평가지도(ecosystem services mapbook)	
2019	환경정책 이행을 위한 생태계서비스(국문)	대상: 공무원
	환경정책 이행을 위한 생태계서비스(영문)	
2020	지역주민과 함께 만든 생태계서비스 평가지도(리플릿)	
	초등교원을 위한 생태계서비스 지도서	대상: 초등교원
	초등교원을 위한 생태계서비스 지도서-교구	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(군산)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(남양주)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(안산)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(시흥)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(강릉)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(속초)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(부천)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(수원)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(밀양)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(창녕)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(파주)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(연천)	
	우리지역 생태자산과 생태계서비스 평가(제주)	
	자연환경침해조정제도 안내서	
	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가(화성)	
	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가(안성)	
	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가(용인)	
	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가(인천)	
	지역주민과 함께하는 생태계서비스 평가(안양)	
2021	제7회 생태동아리탐구대회 도전! 생생탐	생태교육부와 협업
	기업의 지속가능경영을 위한 생태계서비스 3종	
	비대면 시민참여평가를 활용한 지역 생태자산 평가 매뉴얼	
2022	생태계서비스 평가지도 2021	
	생태계서비스 평가지도 2022	
	생태계서비스 평가 매뉴얼	

7) 멀티미디어 영상 제작 및 배포

생태계서비스에 대한 대국민 인식증진, 정책 홍보 및 교육 등에 활용하기 위하여 생태계서비스 팀에서 진행하는 연구 활동을 바탕으로 시민들의 이해를 높일 수 있는 멀티미디어 영상을 제작하였다. 생태계서비스에 대한 전반적인 내용을 담은 영상, 수분 서비스, 기존에 올린 생태계서비스 영상을 요약하여 모바일 시민참여 평가에 활용하였으며, 2019년 시민참여 평가 활동을 기록하여 국립생태원 YouTube 채널인 국립생태원과 국립생태원 연구 미디어에 업로드하였으며, 일반인이 쉽게 접근하게 함으로써 생태계서비스 결과를 효과적으로 전달하여 인식증진 및 교육자료로 활용하고자 하였다.

표 III-4-5 | 생태계서비스 콘텐츠 개발목록 - 동영상

연도	제목	비고
2018	[국립생태원 연구미디어] 생태계서비스	
2019	[국립생태원 연구미디어] 생태계서비스(수분서비스) 티저	
	[국립생태원 연구미디어] 생태계서비스(수분서비스)	
	[국립생태원] 생태계서비스 1분요약	모바일 시민참여 평가 연동
	[국립생태원] 시민참여평가 기록영상	

8) 콘텐츠 배포 결과

생태계서비스 평가에 대한 도서 37권 및 멀티미디어 영상 5건을 제작하여 대국민 인식증진을 위해 활용하였다. 도서는 관련 기관 27곳을 통해 1,617권을 배포하였고, 도서와 멀티미디어 영상 모두 국립생태원 홈페이지와 YouTube 채널을 통해 확인할 수 있다.

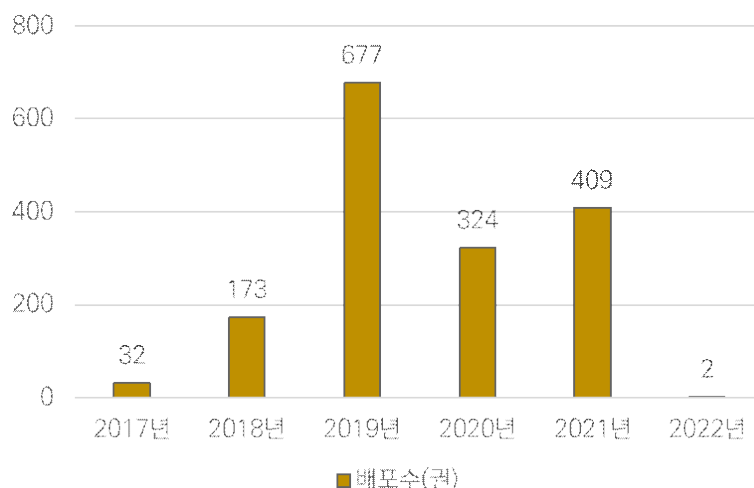


그림 III-4-17 | 생태계서비스 콘텐츠(도서) 배포 수

수요중심 생태계서비스 평가

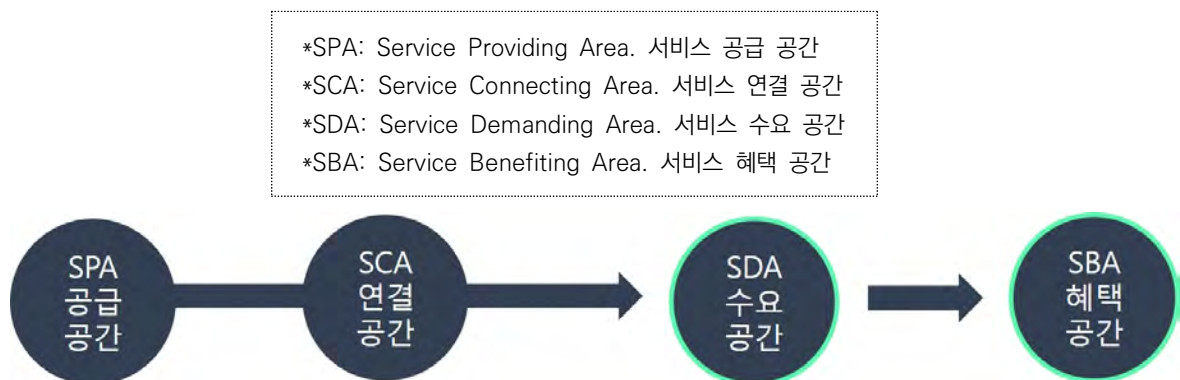
1. 생태계서비스 수요 분석 체계 연구
2. 수요기반 재해조절 생태계서비스 평가
방법 검토 및 지표개발
3. 생태계서비스 대국민 인식조사와
수요지표 평가체계 수립 연구

1 생태계서비스 수요 분석 체계 연구

가. 생태계서비스 공급과 수요, 혜택

생태계서비스 분야에서 “수요”의 개념은 지난 연구(국립생태원, 2021)에서 다룬 바 있다. 자연생태계는 인간 생태계와 상호작용을 통해 영향을 받고 또 변화하고 있으며, 이에 따라 생태계서비스도 사회경제적 환경요인들과 상호의존하는 것으로 언급된다(Scholes et al., 2013). 이와 같은 이론적 배경에 따라 기존의 생태계 공급량 측정 중심의 연구에서, 서비스 수요와 공급 간의 관계(특성, 크기, 스케일, 흐름 등)를 복합적으로 이해할 필요가 있다는 연구(Geijzenendorffer et al., 2015; Wei et al., 2017; Schirpke et al., 2019)들이 대두됨에 따라 이번 연도에는 해외 연구사례 중심으로 분석하였다. 수요에 관한 연구는 인간이 모여 사는 도시 내 자연생태계의 “상대적 가치”를 높이는 방법으로 기존 환경지도들과 차별화하였다. 다만, 생태계서비스가 전달되는 경로와 범위, 방향, 시간에 관한 연구는 추가로 보완되어야만 수요에 대한 정확한 평가가 도출될 것으로 보인다.

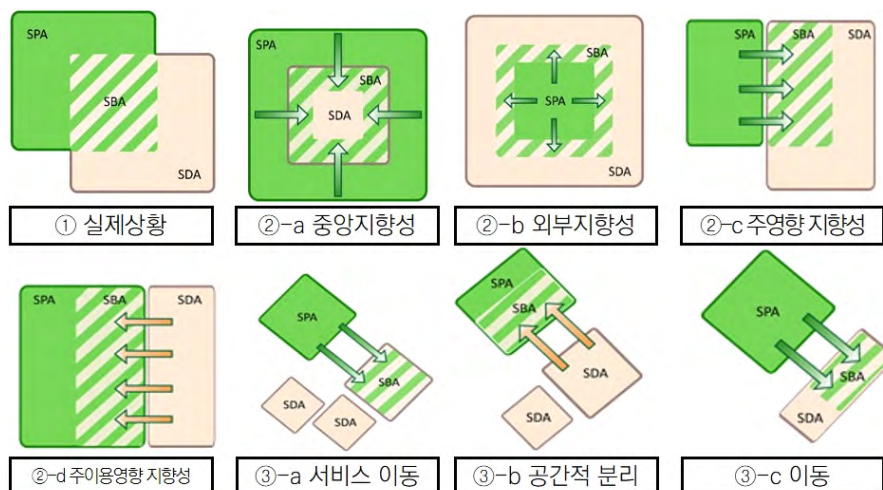
“생태계서비스 수요”는 특정 기간·특정 지역에서 현재 소비되거나 사용되는 모든 생태계 재화와 서비스를 합친 것(Burkhard et al., 2012)으로 정의하고 있으며, 생태계서비스의 잠재적 공급량이 수요자에게 어떻게 전달되는지에 대하여는 올바른 평가가 필요하다. 생태계서비스의 공간적 흐름은 다음과 같은 관계를 맺는다(그림 IV-1-1). SPA(서비스 공급 공간)는 생태계의 기능이 실질적으로 발생하는 공간으로 서비스를 제공하며, SCA(서비스 연결 공간)를 통해 수혜자에게 전달되도록 한다. SDA(서비스 수요 공간)는 서비스 혜택을 누리는 수요자들이 위치한 공간이며, 생태계서비스가 수요자와 만나는 공간을 SBA(서비스 혜택 공간)라고 한다.



| 그림 IV-1-1 | 공간 측면에서 본 생태계서비스 공급-연결-수요-혜택의 관계
 (출처: Dworczyk C. & Burkhard B., 2021에서 일부 인용)

이렇게 정의된 관계의 구조화에 대해 Dworczyk & Burkhard(2021)는 일반화·단순화된 방식으로 생태계 서비스 공간 구조 접근법에서 가능한 유형의 공간 관계를 제시하였다(그림 IV-1-2). SPA(공급)와 SDA(수요)의 공간적 위치, SCA(연결)에 따른 SBA(혜택)에 해당하는 공간을 다양한 예시를 통해 구조화했다. <그림 IV-1-2>는 다음과 같이 구성된다.

- ① 실제상황(in situ)
- ②-a 중앙지향성(찬바람 길 등)
- ②-b 외부지향성(도시열섬, 수분서비스 등)
- ②-c 주영향 지향성(미세먼지, 재해방지)
- ②-d 주이용영향 지향성(미세먼지, 해안 재해방지)
- ③-a 서비스 이동(공급서비스의 시장)
- ③-b 공간적 분리(물공급, 수질정화 등)
- ③-c 이동(생태관광 등)



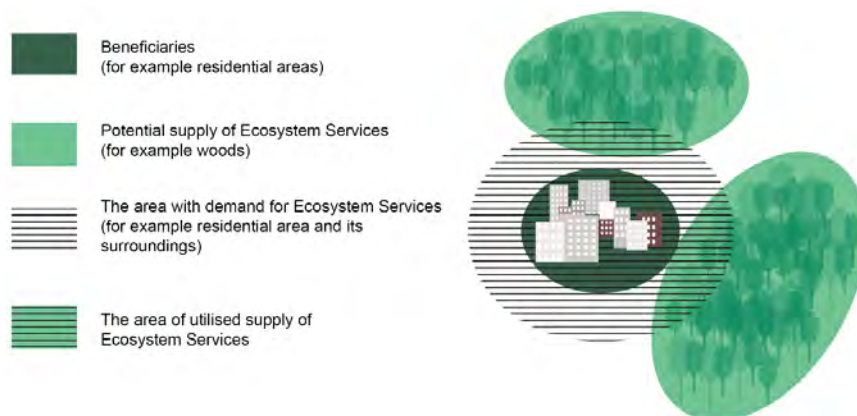
| 그림 IV-1-2 | 서비스 수요 지역(SDA)을 포함한 공간 구조 접근 방식
(출처: Dworczyk C. & Burkhard B., 2021에서 일부 재구성)

①의 경우 서비스의 공급 공간과 수요 공간이 일치하는 경우이며, 별도의 서비스 이동이 발생하지 않는다. ②-a는 공급 공간과 인접한 수요 공간에 혜택이 제공된다. ②-b에서는 중앙의 공급 공간이 주변의 수요 공간에 혜택을 제공한다고 할 수 있는데, 도시에 있는 공원이 주변 공간에 신선한 공기를 제공하지만 거리가 멀어질수록 혜택의 양이 감소한다고 할 수 있다. ②-c는 서비스의 흐름이 일방으로 흐르는 경우인데, 해안지역 주민들이 모

래언덕이나 방풍림을 통해 연안 침식 또는 강풍에 대한 보호를 받을 수 있지만, 모든 해안 지역에서 혜택을 받을 수 없다. ②-d는 수요의 주체인 주민이 서비스가 제공되는 공급 공간으로 직접 이동해서 혜택을 받는 경우이며, 등산이나 서핑 같은 경우가 해당할 수 있다. ③-a는 공급과 수요 공간이 이격된 경우이며, 자연적 요건으로 인해 모든 지역에 혜택이 제공되지 않는 경우가 해당한다. 예를 들어, 하천 상류에 있는 범람원은 범람으로부터 주민들을 보호하는데, 지리적 이유로 이러한 혜택을 얻을 수 없는 지역이 존재하는 것이다. ③-b는 ②-d와 유사한데 거리가 멀어 방문하기 어려운 경우 해당 공급 공간에서 제공하는 각종 혜택을 받지 못하는 경우가 발생한다. ③-c는 공급의 흐름이 수요 공간으로 이어지지만, 수요 공간의 모든 곳에 혜택이 제공되지 않는 경우이다. 물품 및 자재, 정보의 운송이 특정 지역에 제공되지 않을 수 있는 경우에 해당한다(Dworczyk & Burkhard, 2021).

유럽연합(EU)의 도시문제 전문기관인 'URBACT'의 기고문을 보면 빠르게 성장하는 도시에서의 빠른 인구 증가는 녹색 기반 시설과 생태계서비스 수요 및 유지에 대한 압력을 유발할 가능성이 있다고 설명하고 있고, 핀란드의 Espoo시를 대상으로 도시에 있는 녹지 공간이 제공하는 생태계서비스를 분석하여, 도시 외곽의 산림지대에서 제공하는 서비스와 공원에서 제공되는 서비스의 상대적 차이에 대한 대체 가능성에 대하여도 언급하였다(Soos, 2022). 예를 들어, 공원은 외곽의 산림과 비교를 하면 생태계서비스를 거의 제공하지 않는다고 한다. 그러나 사람들이 인식하는 건강과 웰빙에 대한 녹지 공간의 이점을 고려하여 휴식과 레크리에이션을 위한 장소 제공으로서 녹색 공간의 역할을 강조하고, 향후 서비스 공급의 취약성을 인식해서 친환경적 개발을 통한 도시 계획의 필요성에 대하여도 언급하였다. 이렇듯 주민들의 건강과 복지에 직접적 영향을 미치는 녹지 공간 이점에 대한 강조는 우리의 연구에서 도출하고자 하는 목적과도 결부된다.

〈그림 IV-1-3〉에서는 실제 서비스의 공급과 수요의 중요성에 대해 수혜자의 위치를 강조하여 2개의 녹지가 생태계서비스를 제공할 가능성은 같지만, 인접한 장소와 인원이 다양하므로 주거지역과 가까운 그린인프라에 대한 생태계서비스의 수요가 높아 가치를 갖는다고 한다. 따라서, 도시개발계획이나 환경계획 수립 시 이러한 수요가 높으면서도 생태계서비스 공급량이 부족한 지점을 파악하여 취약한 부분을 보완하는 형태의 정책 수립이 필요하다. Espoo에서는 생태계서비스 분석이 여러 계획과 가이드라인의 기초로 사용되었으며, 2050년까지 도시의 블루-그린인프라 전략계획에서도 가장 중요한 역할을 하고 있다(Soos, 2022).



〈그림 IV-1-3〉 생태계의 잠재적 서비스 공급과 인간의 수요
(가장 중요한 지역은 주거지역과 가까운 곳에 위치) (출처: Soos V, 2022)

본 연구에서는 생태계서비스의 공급과 수요, 흐름과 혜택에 대한 공간적 개념을 기반으로 다양한 해외 연구 사례를 검토하여 국내 수요 연구에 반영하고자 한다. 기존의 생태계서비스 공급 평가지표를 중심으로 이에 대응하는 수요지표를 도출하고, 국내 실정(정례적 구축 데이터, 공간화(지도화) 가능 여부 등)에 맞도록 맞춤형 지표를 구축해 나가는 것이 이번 연구의 목적이다. 각 수요지표는 사례 연구를 통해 검증 과정을 거치며, 이를 활용한 향후 수요지표 평가 체계(안)를 도출하고자 한다.

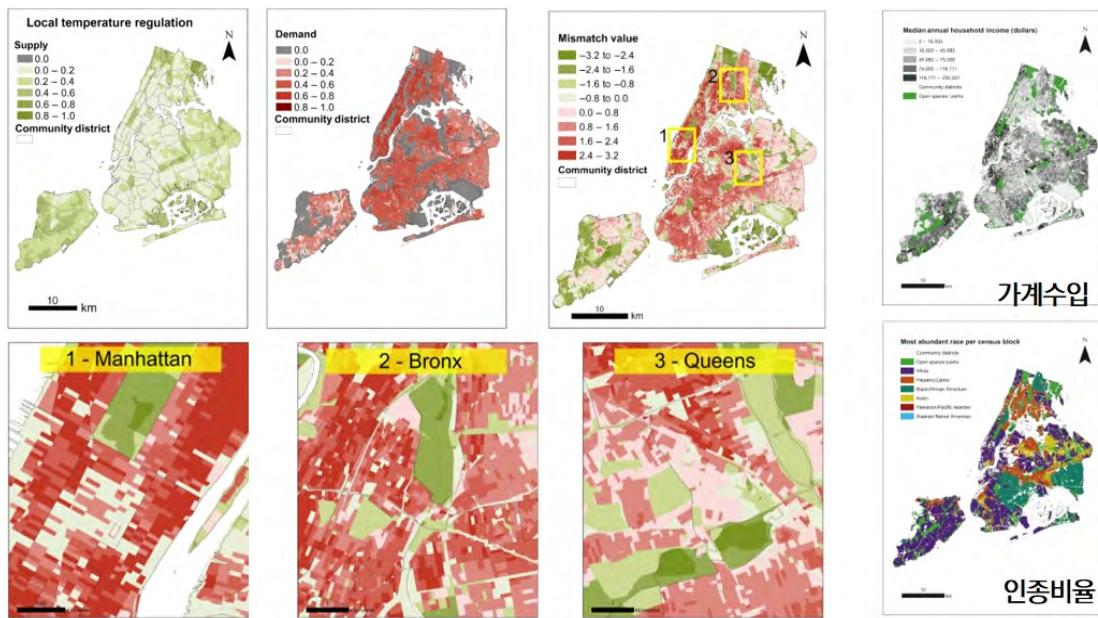
나. 수요지표의 활용사례

1) 뉴욕시 환경 정의 평가를 위한 생태계서비스 공급과 수요 지도화 사례

최근 도시에서 쟁점이 되는 다양한 환경 기원 문제(폭염, 홍수, 대기오염 등)는 인간 거주 환경의 질에 영향을 미치고 있다. 도시생태계에는 인간의 거주지와 사회 기반 시설이 집중되어 있기에(Bouwer, 2010; Dickson et al., 2012; Depietri and McPhearson, 2017; Depietri et al., 2018), 환경 기원 문제를 예방하거나 완화 시켜 줄 수 있는 생태계 기능에 대한 의존도가 다른 생태계 유형보다 높다고 할 수 있다. 도시 그린 인프라(UGI, Urban Green Infrastructure)는 국지적 온도 조절, 빗물 흡수를 통한 홍수 완화, 공기정화와 같은 다양한 생태계서비스를 제공한다. 따라서, 거주지 인근에 있는 UGI의 존재에 따라 삶의 질(거주 환경의 질)이 달라진다는 가설을 수립할 수 있다.

해당 연구사례에서는 미국 뉴욕시를 대상으로 앞에서 언급한 생태계 조절서비스의 수요 지도를 작성하고, 도시 전역의 다양한 사회·인구학적 집단 분포와 비교하여 생태계서비스의 분배 정의를 분석했다(Herreros-Cantis & McPhearson, 2021). 즉, 도시에서 발생하는 여러 환경 기원 문제에 대해 도시 내 녹지가 거주지 주변에 풍부하게 분포한다면 삶의 질이 올라갈 것이라는 가정을 하고, 역으로 녹지 주변에 거주하고 있는 시민들의 사회·인구학적 분석을 수행한 것이다.

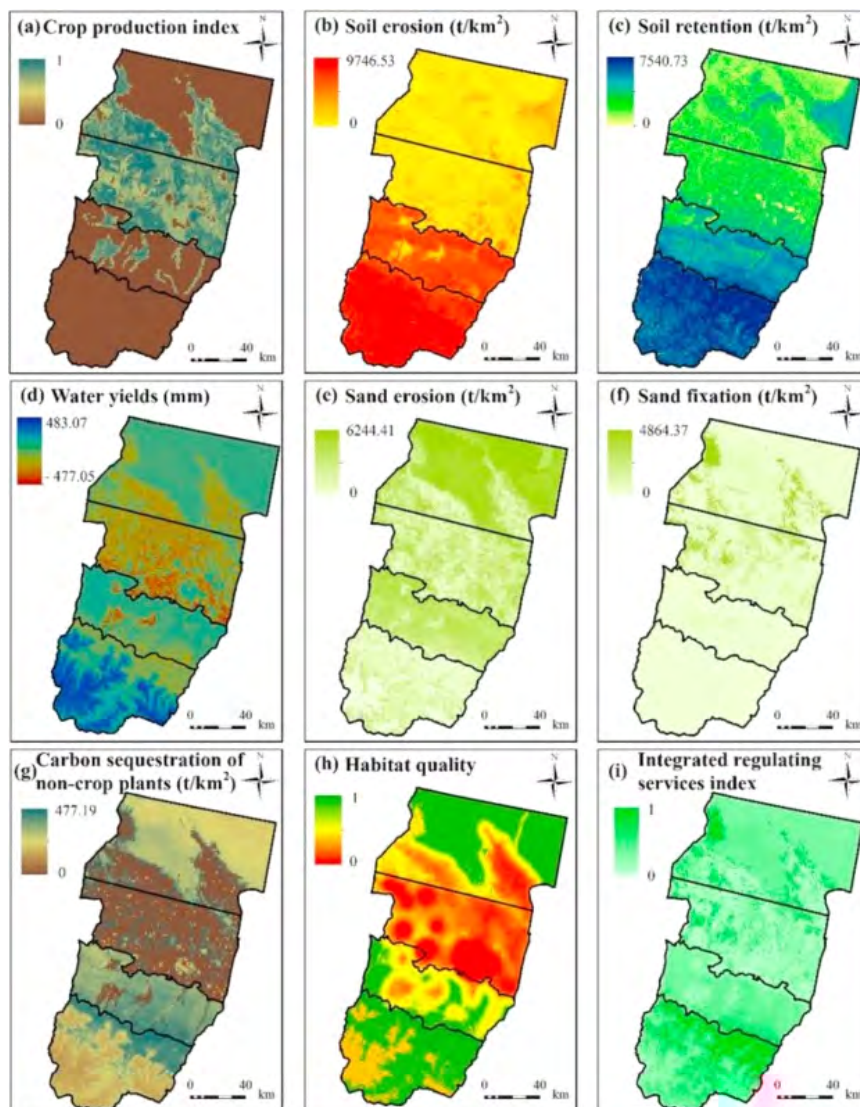
본문에서는 토지피복(나무, 잔디/관목, 나지, 수역, 건물, 도로, 기타(불투수층)), 인종/민족, 소득, 인구밀도, 상대습도, 여름철 지표 평균기온, NO₂ 농도, O₃ 농도 등의 기본 자료를 토대로 공간 분석을 수행하였고, 국지적 온도 조절에 대한 공급과 수요 지도 비교를 통하여 불일치 정도를 측정하였다(그림 IV-1-4). 이를 토대로 불일치 지도와 가계별 수입, 인종별 비율에 따른 분포도를 통해 생태계서비스 수요와 공급 차이가 발생하는 지역(취약지구)들을 공간적으로 평가하였다. 이 같은 수요-공급 평가체계를 통한 입지 배분 확인으로 취약계층에 대한 환경 정의를 실현시키고자 하며, 환경계획 수립지침에 환경 정의와 관련한 문제점 및 공간환경관리계획을 바탕으로 실행방안을 제시했다. 사례 연구 결과를 통해 환경 정의와 관련하여 영향권·유치권 등 일정 거리 내에서의 영향·피해·이용가능권역 등을 설정하고, 이를 바탕으로 긍정적 또는 부정적 환경 시설의 공간적 분배 및 서비스 이용의 공정성을 확보하여 불가피하게 부정적 영향권에 놓여 있거나 서비스 공급이 어려운 구역에 거주하는 주민(취약계층)에 대한 관리방안을 마련할 수 있는 토대를 닦았다(Herreros-Cantis & McPhearson, 2021).



| 그림 IV-1-4 | 생태계서비스 공급-수요에 기반한 국지적 온도 조절에 대한 불일치 사례(뉴욕시)
(출처: Herreros-Cantis & McPhearson., 2021)

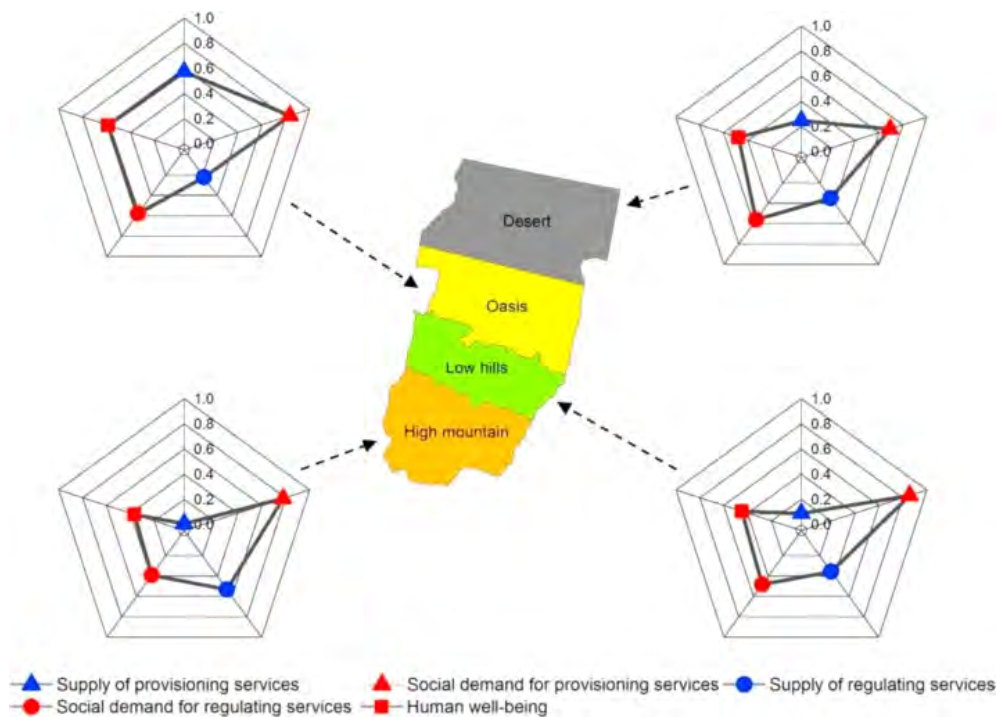
2) 중국 신장 지역의 생태계서비스 공급, 수요, 복지의 연결 사례

연구대상 지역인 중국 신장 북부의 마나스 강 유역은 건조 지역에서 산지-오아시스-사막으로 연결되는 유형의 대표적인 사례 지역이다. 저자들은 해당 지역을 고산지대-저산지-오아시스-사막의 4개 유형으로 구분하고, 작물 생산, 토양 보전, 물 조절, 모래 고정, 기후조절, 서식지 제공 등 9개 지표에 대한 서비스 공급량을 지도화하였다 (그림 IV-1-5). 공급량 계산은 기존 연구사례들(Burkhard et al., 2012; Crossman et al., 2013; Villamagna et al., 2013)에 따라 생물물리학적 특성, 생태학적 기능 및 사회적 특성을 기반으로 했으며, CASA 모형, InVEST 모형 등을 활용하였다. 수요의 경우 지역 거주민들의 수요를 정량화하기 위해 인터뷰를 진행하였으며, 삶의 질, 건강 및 보안에 대한 욕구와 관련된 14개 지표(소득, 식량 소비, 물 소비, 주거, 에너지 소비, 신체 건강, 정신 건강 등)를 중심으로 응답자 만족도 수준을 정량화하였다. 추가로 복지와 관련된 지표 체계를 설계하여 4개 구역별 복지 수준을 평가하였고, 이를 토대로 공급-수요 불일치를 식별하였다. 불일치는 Spider diagram, Spearman 순위 상관관계를 통하여 공급-수요-복지 간 공간적 대응 관계를 분석하였다.



| 그림 IV-1-5 | 2015년 기준 연구지역 생태계서비스 공급량의 공간적 분포
(출처: Wei et al., 2018)

생태계서비스 분석 결과 중 인간 복지와 관련된 지표들을 비교한 결과(그림 IV-1-6), 공급서비스 수준이 높은 지역의 복지 수준 또한 높은 것으로 연관성이 있는 것으로 나타났다. 대상 지역이 중국 동부에 비해 사회경제적 발전 수준이 상대적으로 낮아 생태계서비스에 대한 주민들이 작물 생산을 가장 중요한 요소로 인식하는 것과 연관이 있어 보이며, 사막 지역의 경우 물 조절 서비스에 대한 수요가 가장 높았다(Wei et al., 2018). 이 연구 결과는 조절서비스의 공급이 우수한 지역의 복지 수준이 낮게 나타나 음의 상관관계가 있음을 보여주었고, 이에 따라 공급과 수요의 불일치가 발생한다는 점을 보여준다. 또한, 거주 환경에 따라 중요시하는 서비스 지표가 다르고 이에 따른 공급-수요 불일치가 발생할 수 있다는 점도 입증되었다. 이를 통하여 환경정책이나 도시개발계획 수립 시 주민의 복지개선을 염두에 두면서 생태 보전 정책이나 사회적 수요를 보완해 나가야 한다는 점을 이해할 수 있다. 다만, 수요에 대한 측정이 설문조사를 바탕으로 하기에 공간 분석을 통한 공급-수요가 어렵다는 한계가 존재한다.



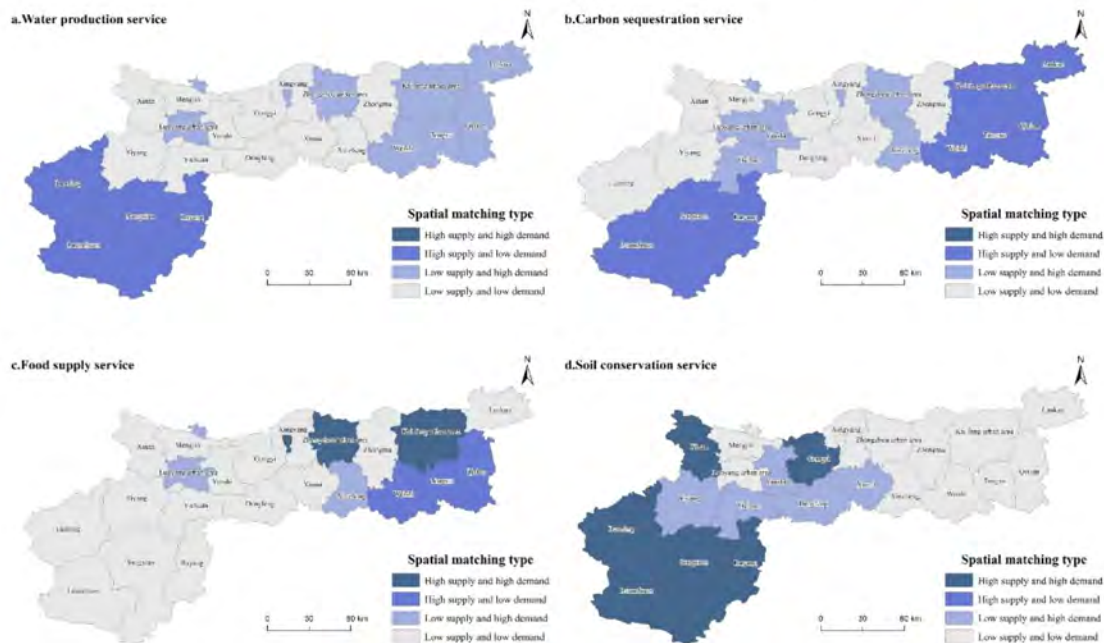
| 그림 IV-1-6 | 생태계서비스(공급-사회적 수요)와 인간 웰빙 사이의 관계를 보여주는 spider diagram
(출처: Wei et al., 2018)

3) 도시 생태 관리를 위한 생태계서비스 수급 (불)일치 평가 사례

지역의 생태계 관리를 위해서는 생태계서비스의 정확한 수급 매칭이 중요하다(Xue et al., 2022). 저자들은 물 생산, 탄소 격리, 식량 공급, 토양 보전 등 4가지 지표를 선정하고 2018년의 공간-기상-통계 자료 등을 통해, 특정 지역 생태계서비스 공급 및 수요 조건의 공간분포 특성과 서로 다른 생태계서비스의 공급-수요 관계에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 각 지표는 수확량, InVEST 모형, CASA 모형, RUSLE 모형 등을 활용하였으며, 공급과 수요를 공간화하였고, 이를 통해 공급과 수요 분석 결과를 비교하여 지역별 해당 지표의 수급 (불)일치 유형을 도출하였다(그림 IV-1-7).

생태계서비스는 인간의 웰빙과 밀접한 관련이 있으며, 공급과 수요가 불일치하면 삶의 질이 만족스럽지 못하게 된다. 따라서, 불일치에 대한 식별은 생태계서비스와 관련된 의사결정 및 정책 결정 과정에서 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다(Wei et al., 2017). 생태계서비스 수급에 대한 통합평가는 최근 몇 년 동안 많은 관심을 받고 연구 결과로 도출되고 있다(Bicking et al., 2018 등 Xue et al., 2022 에서 재인용). 그러나, 매트릭스 방식을 이용한 분석법(Burkhard et al., 2012)은 상대적 값만 제공하며 실제 상태를 반영한다고 보기 어렵다(Xue et al., 2022). 또한, 공급과 수요를 비교할 수 있는 단위로 산출하지 못하는 경우, 불일치를 식별하기 어렵기 때문에 공간 분석 결과의 지도화를 통해 접근하였다. 이 연구사례의 의의는 생태계서비스 수급의 실제 가치를 평가하면서 결과를 비교할 수 있는 단위로 도출했다는 점과 이를 활용한 정책 활용방안을 도출했다는 데 있다. 기존에 널리 활용되는 모델링을 통해 분석하였지만, 도출된 결과에 대해 실제 지역의 모니터링을 통한 검증까지는 이뤄지지 않았다는 한계가 있다. 또한 수요의 공간적 표출에는 인구·사회·경제적 특성과 권력관계와 같은 다양한 특성

들이 포함되어 있기에 수요 결과의 정확성에 영향을 미칠 수 있다는 점도 있다. 따라서, 이러한 연구 결과를 토대로 추가로 다양한 사례 연구를 통해 수급 평가의 최적화를 시도할 필요가 있다.

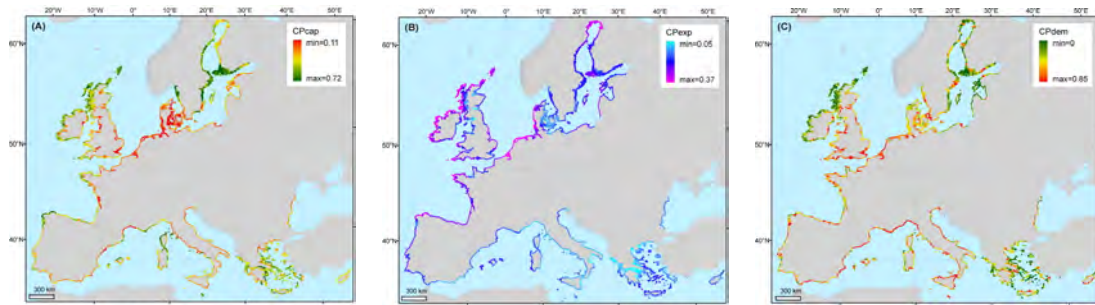


| 그림 IV-1-7 | 지표별 수급 매칭 유형
(a) 물 생산, (b) 탄소 격리, (c) 식량 공급, (d) 토양 보전
(출처: Xue et al., 2022)

4) 유럽의 생태계서비스 중 해안 보호 기능에 관한 평가 사례

해안 지역의 인구밀도는 전 세계 평균 인구밀도에 비해 3배 이상 높아 인간의 거주를 위한 선호 공간에 해당하며 (Small and Nicholls, 2003), EU 인구의 거의 절반(약 2억 명 이상)이 거주하고 인구 증가율도 높다(Eurostat, 2011). 인구의 증가는 자원에 대한 압력을 발생시키고 이에 따라 서식지의 감소와 파괴, 오염과 과도한 착취로 해안 생태계가 파괴되는 결과를 낳고 있다(EEA, 2010). 해안 지역의 생태적 가치를 평가하는 연구사례는 다수 발표되어 있지만, 대부분 특정 생태계 유형이나 지역 사례 연구에 초점을 맞추고 있어 다른 영역과의 비교 또는 시공간 척도에 맞는 개념들이나 매트릭이 제안되어 있지는 않다(Liquete et al., 2013).

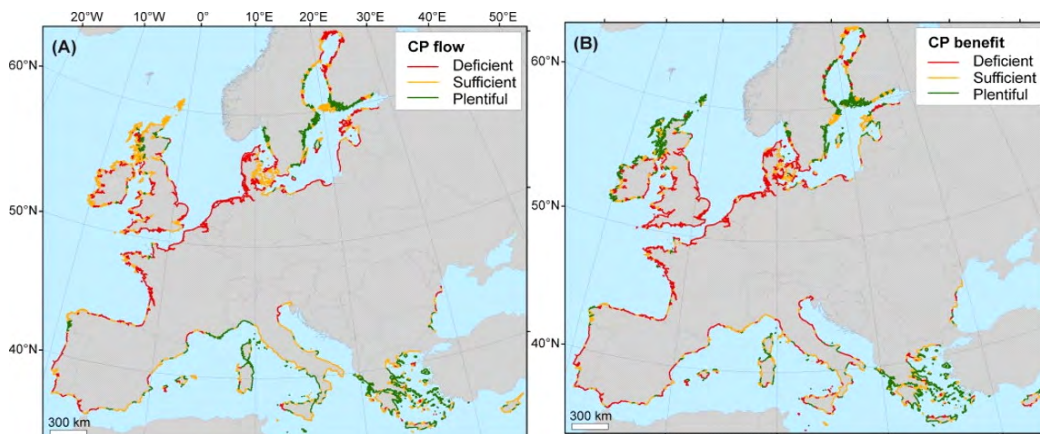
저자들은 지형, 경사, 해저 서식지, 육상피복, 파도, 폭풍 해일, 상대적 해수면 변화, 조수, 인구밀도 등 다양한 변수들을 고려하여 해안 지역의 생태계서비스 잠재적 공급량을 평가하였다(Liquete et al., 2013). 잠재량은 주로 지형에 의해 좌우되지만, 특정 서식지(예: 해변, 사구, 암초 등)에 의해서도 영향을 받는다. 해안 보호에 대한 수요는 해안선 길이, 해안 면적, 인공지표, 연안 공사 유무, 도로 밀도, 인구밀도 등에 의해 평가되며, 변수들의 상대적 중요도가 값의 분포에 따라 가중치를 적용하였다(그림 IV-1-8).



【그림 IV-1-8】 유럽 해안선을 따라 본 연구에서 제안된 일련의 지표 추정
(A) 해안 보호 공급(CPcap), (B) 해안 보호 노출(CPexp), (C) 해안 보호 수요(CPdem)
(출처: Liqueite et al., 2013)

생태계서비스 관점에서 해안 보호 서비스의 흐름은 잠재적 공급량(CPcap)과 해안 보호 노출(CPexp)의 조합으로 추정할 수 있다. 두 변수의 조합으로 해안 보호 (서비스) 흐름(CP flow, 그림 IV-1-9의 (A))을 도출하고, 최종적으로 CP flow와 해안 보호 수요(CPdem)를 조합하여 해안 보호 혜택(CP benefit, 그림 IV-1-9의 (B))을 평가할 수 있다(Liqueite et al., 2013). <그림 IV-1-9>의 (A)에서 녹색은 서비스 공급과 노출(필요성)이 높은 지역이고 적색은 공급에 비해 필요성이 높은 지역으로 서비스 공급이 부족하다고 할 수 있다. <그림 IV-1-9>의 (B)에서 녹색은 서비스 공급과 필요성이 높으면서 수요도 많은 지역이고, 적색은 수요는 높으나 서비스 공급이 낮은 지역으로 볼 수 있다. 다만 여기서 도출된 값들은 절대값이 아닌 통계적 분포를 기반으로 한 상대적 가치이다.

본 연구는 대륙 규모로 EU 전 국가들의 해안 보호 서비스 기능에 대해 동일 데이터를 활용하여 비교할 수 있는 자료를 생산했다는 의의가 있다. 다만, 해안 보호의 가치에 대해 추정할 수 있는 방법론이 부족하여 최종 평가에는 이르지 못했다는 한계가 있다. 이 연구의 개념틀을 활용하여 우리나라 해안 지역에 적용하면 지역별 해안 보호 기능을 비교하고 해안 지역 관련 정책에 활용할 수 있을 것이다.



【그림 IV-1-9】 해안 보호 서비스의 흐름(A)과 혜택(B)
(출처: Liqueite et al., 2013)

다. 생태계서비스 공급지표와 수요지표

앞서 살펴본 바와 같이, 생태계서비스에 대한 수요는 생태계로부터 주민들에게 전해지는 서비스의 흐름을 유발하지만, 경제학적 논리처럼 수요가 많아진다고 공급이 무한정 증가할 수 없다(국립생태원, 2021). 특히, 도시 내에서는 한정된 자원이 제공하는 서비스를 다수가 원하지만(높은 수요), 높은 지대(地代)로 인해 생태적 공간을 확장할 수 없는 만큼(제한된 공급) 그 기대를 충족시키기 어렵다. 공급과 수요는 서비스의 공간적 흐름을 발생시키는데, 높은 수요는 공급을 확대하기 위한 정책적 수요를 불러오고, 이에 따라 도시 공간계획의 논의 단계에서 현실적인 공급과 수요의 측정이 필요하다. 생태계서비스 분야에서 공급에 대한 측정은 지표를 중심으로 진행되고, 기존 국립생태원의 연구(2018~2022)에서는 12개 지표를 중심으로 서비스 공급량을 측정해 왔다. 공급에 대응하는 수요의 측정을 위해 다양한 국내외 연구 결과를 참고하여 기존 공급지표와 공간적 비교·분석이 가능한 수요지표 목록을 도출하였다(표 IV-1-1).

표 IV-1-1 | 수요지표 선정을 위한 선행연구 분석

수요 유형	지표 설명	출처	관련 공급지표
직접 이용	관개, 추출 및 수송을 위한 물 사용	Locatelli et al. (2013)	수량공급
소비	국가, 지자체, 관개, 산업용수 등 총 물 이용량	Chang et al. (2013)	수량공급
소비	다양한 사용자 그룹의 물 소비량	Boithias et al. (2014)	수량공급
선호도/가치	특별한 의미, 인지발달, 환경교육을 반영하거나 새로운 사고를 자극하는 영적 관련 지점	Plieninger et al. (2013)	관광
직접 이용	접근성, 근접성, 야외 여가 기회의 분배	Paracchini et al. (2014)	관광
직접 이용	거주자 수와 관광객의 1박 2일 체류에서 도출된 잠재적 수혜자의 밀도	Schirpke et al. (2018)	관광
위험	서로 다른 배출량 목록을 기준으로 한 연간 CO ₂ 배출량 비율	Trombetti et al. (2017)	기후조절
위험	1년에 배출되는 이산화탄소량	Baró et al. (2015)	기후조절
위험	대기오염 정화 및 산소 제공에 대한 인식	송인주 (2019)	대기조절
위험	하루 8시간 동안의 PM10, NO ₂ , O ₃ 연평균 농도	Baró et al. (2015)	대기조절
위험	도시 온도 저감에 대한 인식	송인주 (2019)	도시열섬
위험	열파 위험	Baró et al. (2015)	도시열섬
위험	질소 부하(생태계에 유입되는 질소량)	Schirpke et al. (2019)	수질조절
위험	인공지표, 유네스코 문화 유적지, 홍수 위험, 인구밀도, 인프라 밀도 등 위험에 대한 함수	Liquete et al. (2013)	침식조절
위험	각종 산사태로부터의 수요	Bauerhansl et al. (2010)	침식조절

〈표 IV-1-1〉에 작성된 국내외 수요지표 활용사례를 중심으로 국내 반영을 위한 활용 가능 데이터 유무, 적용 가능 스케일 등을 검토한 후 공급지표에 대응하는 수요지표를 구성하였다. 기존 공급지표 중 지지서비스에 속하는 생물다양성 지표는 중간서비스로 구분되어 수요지표 목록에서는 제외하였다. 각 수요지표의 특성을 고려하여 지표명을 부여하였고, 가용 데이터와 적용할 수 있는 방법론을 감안하여 최종 수요지표 목록을 작성하였다(표 IV-1-2). 문화서비스 관련 지표의 경우 수요적 측면에서 국가 규모나 지자체 규모를 아우를 수 있는 지표에 비해 도시 내 공원이나 배후 산지를 대상으로 한 연구사례가 주를 이루고 있어서 지속적인 연구사례 검토를 통해 보완할 필요가 있다. 그 외에 최종 수요지표는 내부 연구진의 논의 수준에서 결정된 것이며, 향후 사례 연구를 통한 검증 및 전문가 자문을 통해 보완해 나갈 예정이다.

표 IV-1-2 | 공급지표 대비 수요지표(안)

기능	공급지표	방법	수요지표	방법
공급	물 공급	Water Yield	물 이용	용수 이용량
	식량 공급	식량 생산량	식량 소비	식량 소비량
문화	경관 가치	Catena	관광객	입장객 수
	관광	PUD	관광객	입장객 수
조절	기후조절(탄소저장)	탄소저장량	탄소저감량	온실가스 감축목표량
	기후조절(탄소흡수)	연간 탄소흡수량	탄소배출량	연간 총배출량
	대기조절	대기정화량	오염물질 농도	국내 대기환경 기준
	기후조절(도시열섬)	열섬저감용량지수	폭염 임계값	건물별 전기사용료
	수질조절(질소)	질소저류량	질소 부하	생태계 유입 질소량
	수질조절(인)	인저감량	인 부하	가축분뇨 배설량 (인의 비율)
	침식조절(토양보전)	침식조절(토양보전량)	퇴적물 유지	산사태 위험지역 내 거주 인구
지지	조류종 다양성	야생조류 출현자료 기반 종 분포 모형	탐조 활동	탐조 취미활동 인구

라. 수요지표 사례 연구(물 공급 서비스)

인간뿐만 아니라 모든 생물의 생존을 위해 필수적인 물은 생태계와 인간 사이에서 여러 가지 혜택을 제공하고 있다. 생태계서비스 측면에서는 식수원이나 각종 용수를 제공해주는 공급서비스, 하천의 오염물질 정화 기능을 제공해주는 조절서비스, 수변 공간(경관)을 통해 방문객들에게 심미적 안정과 휴양, 운동할 여건을 제공하는 문화 서비스와 같이 인간의 삶에 있어서 필수 불가결한 여러 혜택을 제공한다(그림 IV-1-10). 본 연구에서는 수도권(서울, 경기, 인천) 지역을 대상으로 물의 생태계서비스(물 공급)와 관련된 공급과 수요 비교를 통해 지역별 수급 현황과 정책적 대응 방안에 대해 살펴보았다.



그림 IV-1-10 | 물 공급과 관련된 공급(supply)과 수요(demand)의 구분

물 공급의 경우 InVEST water yield 모형을 활용하였으며, 10m×10m 단위의 픽셀(pixel)에 물 공급량을 도출하였다. 수식에서 $Y(x)$ 는 수량 공급량이고, $AET(x)$ 는 픽셀의 연간 실제 증발산량, $P(x)$ 는 픽셀의 연간 강수량을 의미한다. 주요 변수인 실제 증발산량은 기준 증발산량에서 생물리적 지표인 작물 증발산 계수 값에 따라 일차적으로 토지 피복별 잠재증발산량이 계산된 후, 토양 내 유효 함수율, 유효 토심, 강수 조건에 따라 최종 산정된다.

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right) \times P(x)$$

물 수요는 대상 지역의 물 소비량으로 같음했는데, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 생활용수, 공업용수, 농업용수 이용량 자료와 환경부 세분류 토지피복도 분류 코드를 통해 10m×10m 단위의 pixel에 반영하였다. 토지피복은 생활용수(시가화 건조지역), 공업용수(시가화 건조지역 중 공업시설), 농업용수(농업지역)로 구분했고, 그 외의 토지피복 유형에서는 물 소비가 없는 것으로 가정하였다. 이용량 단위는 $m^3/year$ 이며, 서울과 인천은 광역 단위, 경기도는 시·군 단위 자료를 활용할 수 있다.

- * 생활용수 이용량(상수도+미급수지역+기타이용량)
 - 토지피복: 111, 112, 131, 132, 141, 151, 152, 155, 161, 162, 163
- * 공업용수 이용량(계획입지공단+자유입지업체이용량)
 - 토지피복: 121
- * 농업용수 이용량(논용수+밭용수+축산용수이용량)
 - 토지피복: 211, 212, 221, 222, 231, 341, 351

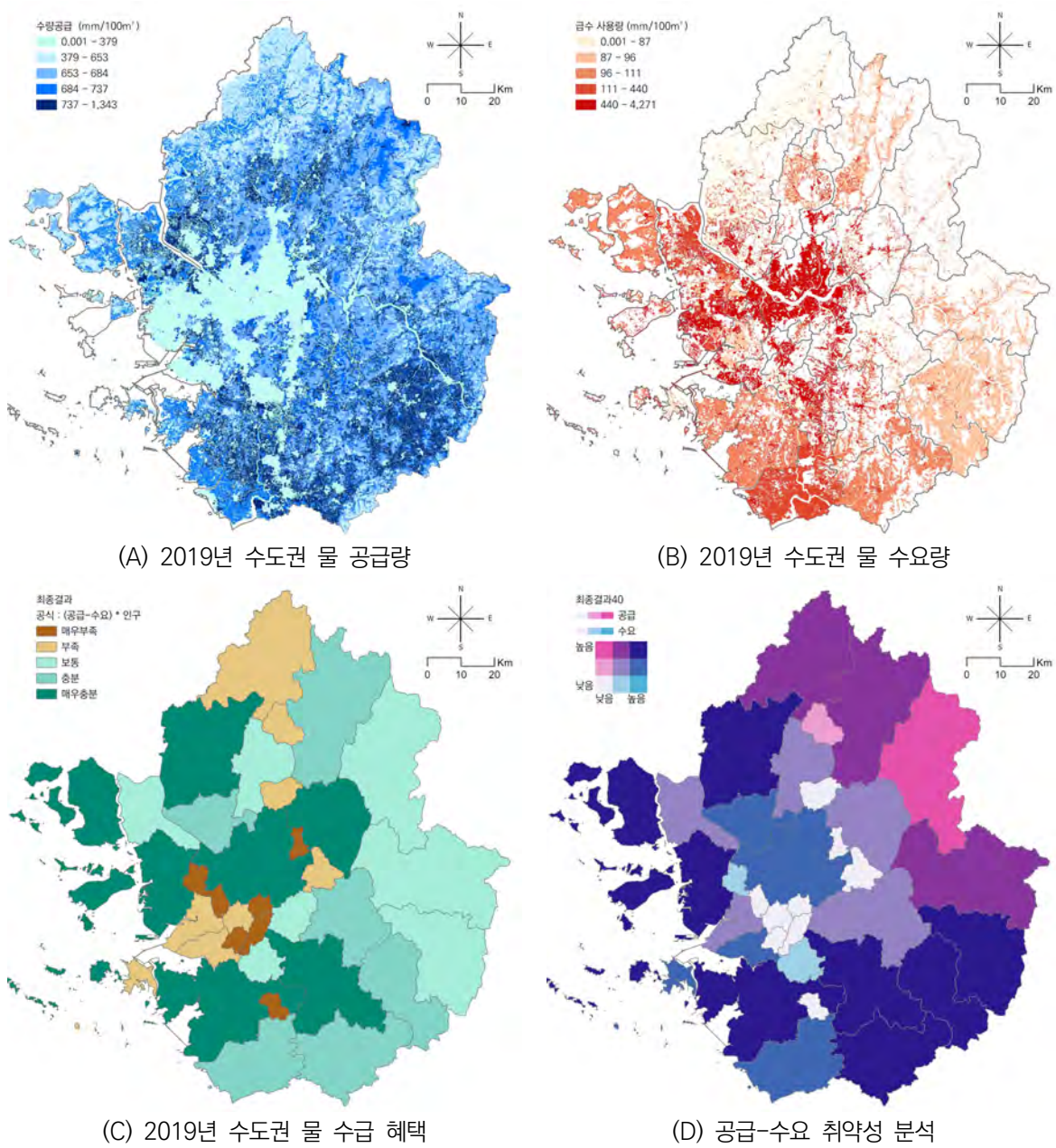
사례 연구는 우리나라 수도권 지역을 대상으로 하였으며, 물 공급량과 물 수요량을 계산하여 수도권의 물 공급 혜택을 분석했다. 또한, 이를 토대로 지역별 공급과 수요의 취약성 분석도 진행하였다. 물 공급량(A)은 연 강수량 자료와 InVEST 모델을 통해 10m×10m 단위로 공급량을 표현하였다. 토지피복도 분류상 수계와 불투수 피복 지역(건물, 철도, 도로 등), 나대지의 경우 불투수층으로 토양에 강수의 공급이 이뤄지지 않기 때문에 공급량이 0으로 나타나며, 일부 보안상 정밀 토양도가 없는 지역의 경우 공급량 산출이 되지 않았다. 분석 결과 시가지 건조지역의 비율이 높은 서울과 인천, 수원, 공단이 많은 시흥과 안산 지역의 절대적 물 공급량이 적다.

물 수요량(B)은 지역별 용수 이용량을 기반으로 산출하였으며, 10m×10m 단위로 각 토지 유형에 반영하였다. 물 이용의 용도에 따라 수요 발생 범위를 시가지 건조지역, 농업지역으로 한정하였으며, 그 외 지역은 물 수요가 없는 것으로 가정하였다. 서울시의 경우 2019년 생활용수 이용량은 약 11.3억 톤/년, 공업용수 약 42백 만 톤/년, 농업용수 약 4백만 톤/년으로 확인되며, 이를 반영하여 수요 지도를 도출했다. 물 수요량은 서울, 인천을 비롯하여 남부와 서부 지역이 높다.

물 공급량(C)은 연간 물 공급량과 수요량의 차이를 계산한 것으로, 여기에 시군 인구 자료를 곱해서 해당 지역 주민이 받는 물 공급 서비스의 혜택을 등급화했다. 서울과 인천, 남양주, 파주, 화성, 용인 등이 서비스를 가장 충분하게 받는 것으로 확인되며, 지역의 면적이 상대적으로 좁은 구리, 부천, 광명, 과천, 의왕, 군포, 오산은 수도권 내에서 혜택을 적게 받는 것으로 나타난다.

공급량과 수요량을 두 축으로, ArcGIS pro의 이변량 분석 기능을 활용한 취약성 분석 결과(D) 서울, 고양, 안산, 평택, 수원, 부천의 취약성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 특히 서울, 고양, 안산, 평택은 공급량은 보통 수준이지만 수요량이 많이 취약성이 높다. 수원과 부천은 수요가 보통 수준이지만 공급량이 적어 취약성이 높다. 다만, 공급량이 '낮음' 수준이면서 수요량이 '높음'인 지역은 없는 것으로 확인된다(그림 IV-1-11).

이번 사례 연구를 통해 우리나라에서 구축되고 있는 통계를 활용하여 물 공급 서비스의 수요와 공급 현황을 파악할 수 있었다. 물 이용의 경우 상수원 보호구역과 같이 도시 지역으로 실제 물 공급을 하는 공간이 별도로 존재하지만, 생태계 유형별 픽셀로 연간 물 공급량을 국가 규모의 표현이 가능하다. 물 수요량은 물 이용 유형(생활·공업·농업용수)과 경제활동 유형(토지피복 범주)의 비교를 통해 실제 이용 패턴과 근사치의 공간분포 패턴을 나타낼 수 있다. 물 수요량에서 활용하는 지역별 연간 물 이용량 자료는 지역 전체(시, 군, 구) 이용량을 면적으로 나뉜 픽셀에 대입함으로써 공급량과의 직접 비교가 가능한 것이 장점이다. 종합적으로 분석한 이번 사례 결과 외에, 용수별 이용 분석을 통해 향후 구조적 분석이 가능할 것으로 보이며, 연간 통계자료의 이용으로 시계열 변화 정도를 파악할 수 있어 물 관리 계획수립 시 활용이 가능하다. 나아가 물 이용량에 대한 공간적 세분화(읍·면·동)가 가능하다면, 기초 시·군 단위에서도 지역별 분석이 가능하며, 이를 통해 국지적 재해(산사태, 도시홍수 등)에 대한 대비책을 강구 할 수 있다. 이는 위험도 지도 분석을 통해 지역별 물 관리 계획을 차별적으로 적용할 수 있기에 가능하며, 지역의 생태 환경, 경제·사회적 환경에 맞는 정책을 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

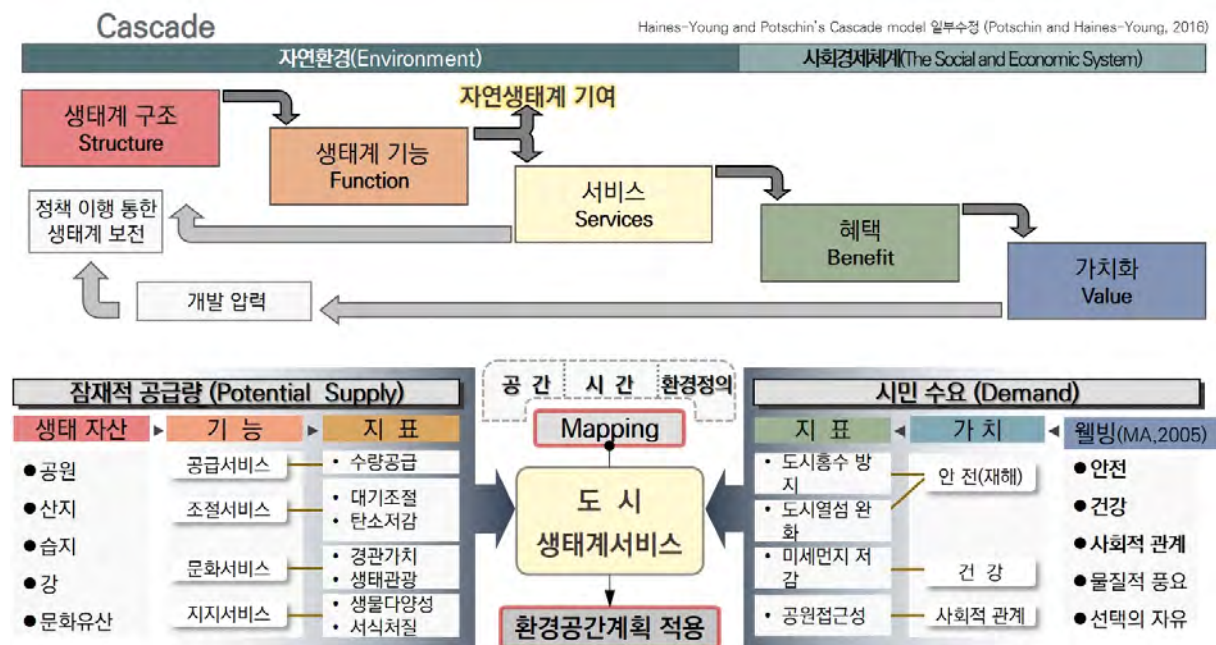


| 그림 IV-1-11 | 수도권 지역 물 공급 서비스 분석 결과

마. 수요지표 활용 및 중장기 연구 계획(안)

2022년 현재, 도시 공간에서 발생하는 생태계서비스 잠재적 공급량에 대한 측정은 다년간의 사례 연구를 통해 평가체계에 대한 검증이 어느 정도 이뤄졌다고 할 수 있다. 반면, 도시 공간에서의 수요는 그 서비스를 받는 사람마다 원하는 바와 관심사가 다르기에 추가로 인구·사회학적 항목이 동반된 세밀한 분석이 필요하다. 인구·사회학적 항목에는 “나이, 성별, 교육, 소득, 거주지, 직업” 등이 포함되며, 교차 분석을 통해 집단별 생태계서비스 수요의 ‘불일치’ 여부를 확인할 수 있다. 이번 연도에 진행된 외부 위탁연구에서는 대국민 설문을 통해 생태계서비스 수요지표에 대한 국민 인식 조사를 수행했으며, 매년 동일 문항의 설문을 통해 자료를 축적할 계획이다. 이를 통해 국민 생활과 밀접한 정책 발굴을 통해 도시 공간계획을 수립할 수 있을 것으로 전망한다.

국립생태원(2021)에서 제시한 캐스케이드 모형 기반 수요평가 체계는 수요자를 중심으로 하므로 공간적 대상은 도시생태계로 귀결된다. 수요는 ‘새천년생태계보고서(MEA, 2005)’에서 평가한 인간 복지 요소 중 생태계와 관련성이 높은 안전, 건강, 사회적 관계를 중심으로 지표 체계를 도출했다(그림 IV-1-12). 체계도는 도시생태계가 제공하는 서비스 현황을 공급과 수요를 고려하여 비교하고, 이를 토대로 환경계획이나 도시개발계획에 반영하는 것을 최종 목표로 한다.

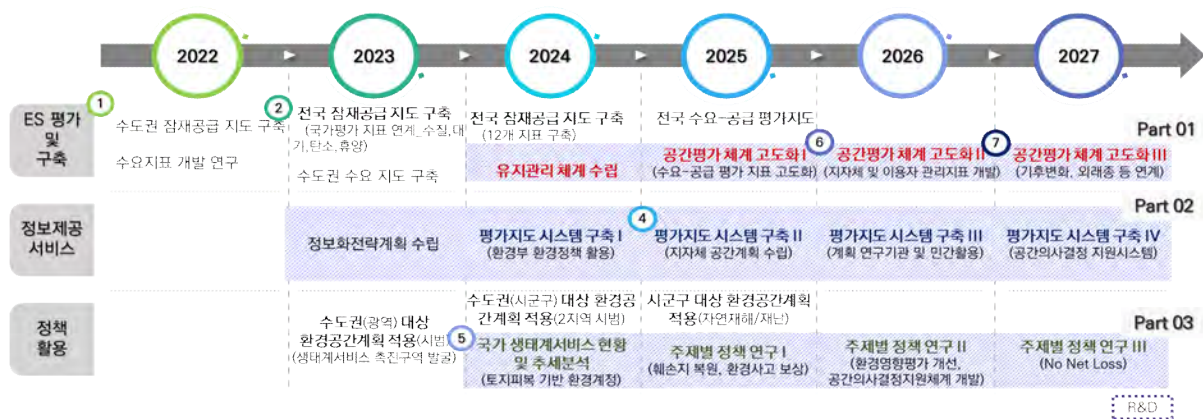


| 그림 IV-1-12 | 수요자 중심 도시 생태계서비스 개념 및 체계도
(출처: 국립생태원, 2021)

환경계획이나 도시개발계획에 대한 제안은 과학적 연구 결과가 뒷받침되어야 한다. 즉, 기존 연구에서 정립된 ‘잠재적 공급량’ 평가 결과와의 비교를 위해서는 수요에 대한 사례 연구를 통해 공간적 비교가 가능한 평가 결과가

도출되어야 하는 것이다. 기존의 수요평가 연구들은 주로 수요자 인식을 토대로 진행된 경우가 많아 지도화를 통한 공간적 표현의 난해함으로 수급분석, 취약성 분석에 있어 공급-수요 매칭에 한계가 있었다. 따라서, 앞 절에서 수행한 물 공급 분석 사례를 토대로 차년도 연구에서는 수도권을 대상으로 다른 지표의 사례 연구를 수행할 예정이다.

향후의 수요 연구는 <그림 IV-1-13>에 제시된 바와 같이 2023~2025년 동안 수도권 시범 연구를 시작, 전국으로 확대 적용하여 기구축된 잠재 공급 지도와의 비교를 통해 환경 공간계획에 적용할 수 있는 바탕을 마련하는 것을 목표로 한다.



| 그림 IV-1-13 | 공급-수요 연구 중장기 계획(안)

2 수요기반 재해조절 생태계서비스 평가 방법 검토 및 지표개발

가. 도시 홍수

1) 배경 및 필요성

최근 기후변화로 인해 전 세계적으로 물 관련 피해가 증가하고 있다. 지난 30년(1991~2020) 평균과 비교하여 2021년 전 세계의 자연재해 빈도는 13% 더 높아졌다. 이 가운데 홍수는 가장 빈번하게 발생하는 재해로 과거에 비해 48% 증가하였으며, 2021년 사망자는 4,393명으로 다른 재해에 비해 높은 수준이다(Govt. China et al., 2022). 집중호우의 빈도와 강도는 1990년대 중반 이후 증가 경향을 보이며, 일 강수량 80mm 이상의 강한 강우빈도 증가가 나타났다(기상청, 2020).

우리나라는 여름철에 강우가 집중되는 기후적 특성을 가지며 특히, 집중 강우 시 인구와 시설이 밀집된 도시는 취약한 여건에 놓인다. 도시공간은 농촌과는 달리 불투수면이 높은 비율을 차지하고 있으며, 이로 인해 강수가 땅속에 스며들어 침투하지 못하고 지표면을 따라 유출된다. 유출수는 지하 및 저지대 등을 중심으로 다양한 시설에서 침수피해의 원인이 된다. 도시 지역 불투수층 면적률은 1970년 3.0%에서 2018년 7.5%로 2배 이상 증가하였으며 특히, 서울특별시의 경우에는 불투수층 면적이 전체 행정구역의 절반이 넘는 것으로 나타났다(국회입법조사처, 2020). 불투수층 면적이 상대적으로 적은 농촌지역은 약 45%가량이 지하로 침투하는 데 반해, 도시 지역은 25% 이내의 강수량만이 지하로 침투하는 것으로 나타났다(문영일, 2015).

일반적으로 도시 홍수 발생은 크게 외수 범람과 내수 범람으로 구분된다. 외수 범람은 도시를 인접하거나 관류하여 흐르는 “도시하천”의 수위가 상승하여 제방을 넘거나 제방이 붕괴되어 하천수가 제내지인 시가지로 유입됨에 따라 발생하는 것이며 내수 범람은 외수 범람이 없는 상태에서 집중호우, 하수관거의 용량 부족 등의 원인으로 하천으로 배제(drain)되어야 할 물이 하수관거로 “역류”하여 발생한다. 내수 범람 시 우수배제를 위한 하수도 관로가 중요한데 도심지 간선(幹線) 하수관거는 30년 빈도 설계, 지선(支線) 하수관거는 10년 빈도로 설계되어 있어, 같은 도심지에서도 지선 하수관거의 용량 부족에 따른 내수 범람 발생 소지가 크다.

도시 홍수 발생이 어떤 형태이든 그로 인한 피해 가능성은 매우 높다. 앞서 언급되었듯이 도시는 사람과 시설 등이 공간적으로 밀집되어 있어 소규모 홍수라도 여건에 따라 막대한 경제·사회적 피해를 초래할 수 있으며, 극단적으로 도시 홍수는 도시 개발 수준을 수년 또는 수십 년 후퇴시키는 결과를 초래하기도 한다. 다양한 통계를 통해 도시 홍수로 인한 경제적 피해 증가 사실을 분명하게 보여준다. 이러한 홍수 피해액의 증가는 도시 가치 상승 원인도 있지만, 한편으로는 홍수 발생 빈도와 규모의 실제적 증가로 인한 것이기도 하다.

홍수 위험에 대해 보다 효과적인 대응을 저해하는 많은 요인 가운데 하나는 도시 홍수 관리 계획에 있어 단일 부문 접근이라는 공통된 특징이 있다. 이는 홍수에 대해 편협한 관점으로 특징지어지며, 홍수관리의 수리적 및 공학적 측면에 집중하면서 공간적, 생태학적, 정치적, 사회·경제적 측면과 간과한다. 이러한 시각은 홍수를 피하거나 절대적으로 통제하는 것을 최우선 목표로 한다.

도시 홍수의 위험을 완벽하게 이해하기 위해 위험 구성 요소를 파악하는 것이 중요하다. 위험은 자연력 또는 자연력과 인간 영향의 조합으로 인한 극단적인 사건 또는 위험(홍수, 가뭄, 지진, 폭풍, 산사태 등)의 발생과 동일시함으로써 피상적으로만 이해된다. 그러한 위험 발생은 1차적 전제 조건이지만 위험 생성의 한 구성 요소일 뿐이다. 위험 생성의 2번째 구성 요소는 누군가 또는 무언가가 위험에 처하거나 취약해야 한다는 사실이다.

홍수위기 또는 위험은 손실에 대한 가능성을 나타내며, 이것은 위험, 취약성, 노출의 3가지 요소에 의해 결정된다. 만약, 위기가 증가하거나 감소한다면 3가지 요소 가운데 하나 이상의 증가하거나 감소했다는 것을 의미한다. 노출은 홍수 발생 시 물의 경로에 물리적으로 사람이나 자산이 있는가를 의미하며, 취약성은 물리, 사회, 경제 및 환경적 요인이나 그 과정상의 여건에 의해 결정된다. 홍수 발생에 따라 위험을 가중하는 요인은 아래와 같이 기상학적 요인, 수문학적 요인, 인문학적 요인으로 구분될 수 있다(표 IV-2-1).

표 IV-2-1 | 홍수 기여 요인(출처: WMO, 2008)

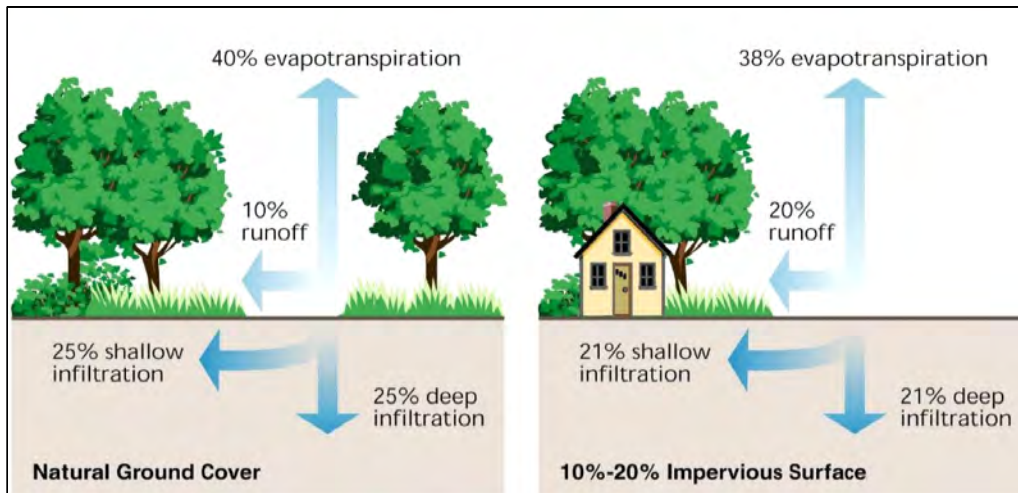
기상학적 요인	수문학적 요인	인문학적 요인
-강우 -태풍(Cyclonic storm) -소규모 태풍 -기온 -강설	-토양습도 -지하수 수위 -자연적 표면의 침투율 -불투수층 여부 -하천 교차지점의 형태와 거칠기 -제방 범람의 유무와 수로망 -다양한 구역에서의 유출량의 동기화 -배수 시 높은 조수(밀물)	-토지이용 변화 -물의 흐름을 방해하는 범람원의 점유 -인프라의 부재 또는 비효율성 -홍수 침투를 증가시키는 상류의 효율적인 배수 시스템 -기후변화가 영향을 주는 강수량과 홍수의 규모와 빈도 -도시 미기후가 강우 발생을 강화시킴

도시 홍수는 특히 직간접적인 경제적 손실 측면에서 큰 영향을 미친다. 홍수 위험은 사회·경제적 구조의 취약성과 함께 사람들과 경제활동에 대한 노출 함수이다. 따라서, 홍수가 인간의 삶과 생계에 미치는 영향력과 취약성을 이해할 필요가 있다. 홍수 위험으로 인한 취약성은 증가는 아래의 요인들에 의해 증가할 수 있다.

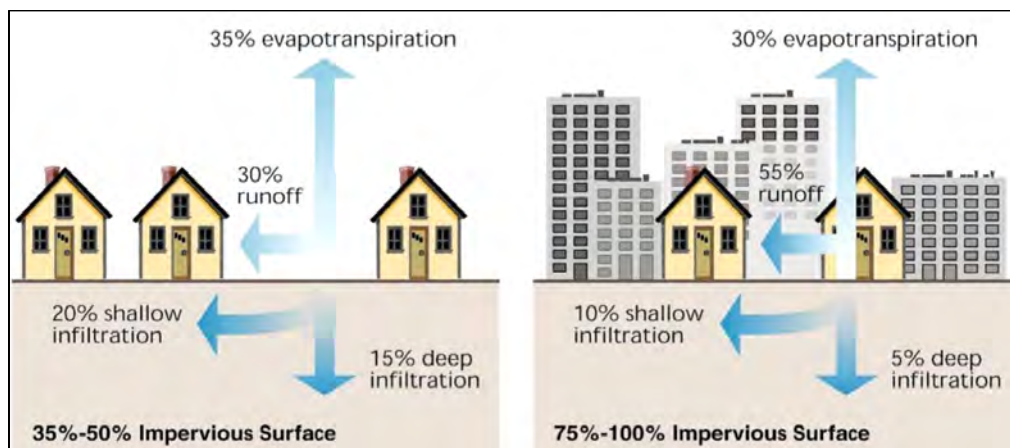
- 집중된 소득 창출 기회로 인한 집중된 인구
- 큰 불침투성 표면 및 건물 건설
- 공식적 처리시스템이 없는 고체 및 액체 폐기물의 농도
- 막힌 배수 시스템
- 경제활동의 집중
- 높은 가치를 지닌 기반 시설 및 자산
- 공적 토지 시장에서 수용하지 못한 비공식 정착지(저소득자) 형성
- 건강 및 위생 기준이 결여된 주택

도시 홍수는 지역홍수(Local Floods), 하천홍수(Riverine Floods), 해안홍수(Coastal Floods), 돌발홍수(Flash Floods)로 나뉜다. 이 가운데 지역 홍수는 우기 동안 매우 높은 강우 강도와 지속 시간으로 인해 발생하는

홍수이다. 이는 불투수성 토지피복으로 영향이 커질 수 있으며 도시와 같은 인공 환경은 지역 배수 용량을 초과하는 지표 유출수를 생성하며, 그로 인해 지역 홍수가 발생한다. 아래 그림은 도시화가 어떻게 침투율을 감소시키고 지표 유출을 증가시키는지에 대한 예시를 보여준다(그림 IV-1, 2).



| 그림 IV-2-1 | 불투수층 비율에 따른 물순환 영향(녹지가 있는 곳)
(출처: WMO, 2008)



| 그림 IV-2-2 | 불투수층 비율에 따른 물순환 영향(녹지가 없는 곳)
(출처: WMO, 2008)

지역 배수 용량은 주로 빗물 배수관, 연석 입구, 맨홀, 작은 수로, 길가 도랑 및 암거로 구성된 지역 우수 배수 시스템에 의해 결정된다. 이 시스템은 주요 하천 수로 또는 가장 가까운 큰 수역과 같은 지역 사회의 주요 배수 시스템으로 물의 흐름을 효율적으로 전달하게 된다. 도시 홍수 영향을 줄이기 위한 여러 가지 방안 가운데 주변에 연못, 습지, 정원 등 인공 저류지·침투지를 조성하고, 투과성 재료로 건설된 도로를 통해 강수의 60% 이상을 침투시켜 유출량을 감소시키는 것 등의 방안이 있다.

2) 홍수조절 평가 방법 검토

'홍수조절(Flood regulation)'은 다양한 생물리적 과정(생태계 기능)을 통합하는 용어다(Crossman et al., 2019). 이 용어는 생태계서비스에서 주로 홍수 피해나 홍수방어에 대한 인간 편익 관점을 반영하는 인간 중심적 관점이다. 범람으로 이어지는 다양한 과정과 요인을 구분하지 않으며, 생태계가 이러한 과정과 상호 작용하여 홍수의 심각성을 줄이는 방식도 구분하지 않는다(생태계 기능, Haines-Young and Potschin 2010). 자연 시스템의 기여도를 평가하거나 이를 지도화하는 것이 필요하다면 이러한 기본 프로세스의 이해 과정에 대한 중요성이 크다. 기본적인 메커니즘을 구분하지 않은 상태에서 홍수 보호에 대한 자연의 기여도를 일관성 있게 측정하고 지도화하는 것은 불가능하기 때문이다.

생태계가 홍수 조절서비스를 제공하는 방식 가운데 하나는 전체 유역에서 발생하는 물 보유(water retention)와 유출량 조절(run-off regulation)을 통한 초기 홍수를 조절하거나 예방하는 방식이다(Nedkov 및 Burkhard 2012; Czúcz et al., 2018a, b; Crossman et al., 2019). 여기서, 식생은 잎(캐노피 및 깔짚)을 통해 물의 흐름을 차단함으로써 많은 양의 물을 보유할 수 있으며 토양 표면에 도달하는 강수량을 크게 감소시킬 수 있다(EEA, 2015), 식생의 뿌리는 토양으로 침투하는 물의 양을 증가시켜 표면 유출을 줄이는 작용을 한다.

3) 지표개발을 위한 시범 평가

가) 평가방법

(1) InVEST UFRM 모형

InVEST 모형은 자연자산과 경제적 상관성을 분석하고, 생태계서비스 평가 결과를 정책 의사결정에 활용하는 목적으로 개발되었다. InVEST 모형은 시간적 공간적 방면에서 토지피복을 기반으로 유연한 상황별 분석과 전 지구·국가·지역적 단위에서 분석이 가능하며 입력자료 확보가 용이하고, 자연·환경적 가치를 의사결정 과정에서 활용할 수 있도록 개발되었다(Kim et al., 2015). 또한, 중요한 장점으로 InVEST에서 제공하는 각종 생태계 서비스 평가모형과의 연계가 쉽고 빠른 모의가 가능하다.

도시 홍수와 생태계 기능 측면에서 이용하는 모형 사례로는 폭우 관리 목적으로 배수 시스템의 유량 및 수질을 모의하기 위한 EPA SWMM(United States Environmental Protection Agency Storm Water Management Model), 미국 산림청에서 개발하고 도시 가로수의 홍수 저감 효과를 평가하는 I-tree, 도시 물 흐름 설계를 위한 호주의 MUSIC(Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation), 하천의 흐름 상태, 퇴적물, 수온-수질 모의가 가능한 HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) 등이 있다. 본 연구에서 이용한 InVEST UFRM 모형은 도시 홍수 위기 저감 기능을 시뮬레이션하기 위한 목적으로 최근에 추가되었다(Kadaverugu et al., 2021). UFRM 모형 개념과 작동은 홍수 발생의 특성 등을 기반으로 한다. 홍수는 단기간 폭우 또는 장기간의 우수로 발생하며 물의 토양 침투량을 줄여 유출량을 매우 증가시킨 결과이다.

생태계는 물의 흐름 방향을 변화시키거나 흡수하며, 지표 유출수와 하천 유출을 감소시켜 이로 인한 위험과 피해를 줄인다. 또한, 물의 저류 공간을 제공하여 홍수량과 그로 인해 파괴력을 상쇄시켜 그 영향을 완화한다 (Nedkov and Burkhard, 2012).

UFRM 모형은 강우-유출 관계 특성을 강우량, 토지피복/이용, 토양특성 등으로 단순화시켰으며 활용성과 적용성을 높였다. 집중적 강우에 따른 유출 영향을 줄이는 생태계 구조와 기능을 평가하고 홍수 피해를 경제적 가치로 산정하는 기능을 담고 있다. 토지피복과 토양도와 같은 공간정보와 SCS-CN(Soil Conservation Service Curve Number, 이하 유출곡선지수) 방법을 활용하여 유출 및 보유량과 유출에 따른 잠재적 사회·경제 손실액을 추정하게 한다. 모형의 장점은 국가와 지역의 공간자료 구축 수준에 따른 제약을 줄이고, 생태계 홍수조절 기능에 대해 빠르고 직관적 결과를 도출해 낼 수 있다. 모형 구동 입력자료는 수문학적 토양 그룹 래스터, 토지피복/이용 공간정보, 그리고 이 두 가지를 결합한 생물리학적 특성값(CN)이 있으며, 마지막으로 경제적 손실 추정을 위한 시설 및 토지 경계자료 및 단위 유출에 따른 손실 피해액 지수가 있다.

UFRM에서 유출량(Q) mm는 토지피복/이용 형태와 토양특성에 의해 정의되며 각 픽셀 단위 기준으로 CN 방법을 통해 유출량과 보유량이 산정된다. 아래의 수식 1에서 P 는 mm 단위의 강우 설계 깊이에 해당하며, $\lambda \cdot S_{\max,i}$ 는 mm 단위의 잠재적 보유량을 나타낸다.

$$Q_{p,i} = \frac{(P - \lambda S_{\max,i})^2}{P + (1 - \lambda) S_{\max,i}} \quad \text{if } P > \lambda \cdot S_{\max,i} \quad \text{수식 1}$$

경제적 피해 산정은 수식 2와 같다. $Affected.build_w$ 는 해당 구역 W 에서의 피해 기반 시설에 대한 합을 나타낸다. 아래의 식에서는 B 는 모든 기반 시설을 나타내며, b 는 이 가운데 주거, 상업, 공업 등 특정 기반 시설을 나타낸다. $a(b, W)$ 는 구역 W 에서 기반 시설이 차지하는 면적과 교차하는 부분에서의 b 의 면적이다. $d(b)$ 는 단위면적에서의 b 타입 건물에 대한 피해 가치를 나타낸다.

$$Affected.build_w = \sum_{b \in B} a(b, W) \cdot d(b) \quad \text{수식 2}$$

UFRM 모형은 위의 두 식을 기반으로 토지피복 및 토양특성에 따라 홍수 시 물 보유 능력과 공간적 홍수 피해 취약지점을 공간적으로 파악한다. 또한, 건물 면적 등과 같은 시설물 토지이용에 따른 홍수 피해의 경제적 가치도 추정하게 하고 있다.

(2) 모형 입력자료 구축

UFRM 모형은 강우 발생의 공간과 시간의 역학 관계를 고려하지 않으며 실제 홍수 시 발생 시 시간 변화에 의한 물의 흐름과 양을 모의하는 데 한계가 있다. 모형은 시작 시점부터 토양의 포화한 수리학적 전도도를 가정한 다(Endreny and Imbeah, 2009). 강우 깊이는 홍수 발생 상황에서의 총 강수량의 척도이며, 연구에서는 각기 다양한 시나리오에 의한 미래 예측 강수량(mm 단위) 값을 적용하였다. 미래 예측강수량 값은 강우 집중-지속-빈도(IDF, Intensity-Duration-Frequency) 곡선을 기반으로 하며 이는 전 세계적으로 사용하고 이는 홍수관리, 공학적 설계 적용에 있어 중요하다(Endreny and Imbeah, 2009; Agilan, 2017).

홍수량에 대한 시나리오는 아래의 <표 IV-2-2>와 같다. 본 연구에서는 수자원 공사(http://www.wamis.go.kr/wkc/wkc_flooddesign_lst.do)에서 제공하는 HadGEM3-RA(1) 방식을 이용하여 미래 예측강수량을 모형 입력값으로 활용하였다. RCP 4.5와 2년, 10년, 50년, 100년의 1시간 지속 강수량은 최소 42.33, 최대 85.57로 예측되었으며, RCP 8.5에서는 최소 48.05, 최대 99.92로 나타났다. 각 미래 예측강수량을 시뮬레이션에 활용하였다. 홍수 강우에 따른 피해손실 예측은 10년과 100년 빈도의 1시간당 미래 설계 강수량인 61.51mm와 85.57mm를 모형에 적용하였다.

표 IV-2-2 | RCP에 따른 미래 강수량 예측값

지속 시간	HadGEM3-RA(1)	강수량(mm)			
		2	10	50	100
1	RCP 4.5	42.33	61.51	78.41	85.57
	RCP 8.5	48.05	71.04	91.33	99.92

토지피복과 토양특성에 의한 유출곡선번호(CN)를 할당하기 위해 환경부 세분류 토지피복지도와 농촌진흥청 정밀토양도를 입력자료로 이용하였다. 정밀토양도는 미국 농무부의 토양분류 기준을 기초로 제작되었으며, 국내 정밀토양도의 토성, 토양심도, 토양배수, 토양팽창, 유기물 함량에 대한 SCS와 농촌진흥청의 분류기준을 정량적으로 비교·검토하여 정밀토양도상의 토양통을 SCS의 수문학적 토양군 A, B, C, D로 분류·제시할 수 있다. 본 연구에서는 농촌진흥청(2007)에서 제시한 분류기준을 참조하여 모델 입력값으로 활용하였다. 대상지 토양은 수문학적 정보를 담고 있는 토양통을 기준 52개로 분류되었으며, SCS 체계로 구분한 결과 A 21개, B 4개, C 0개, D 27개로 나타났다.

토양과 토지피복의 수문학적 특성을 결합한 CN은 국외 문헌 및 미국 농무부 자료를 참조하여 연구대상지의 토양 및 피복 특성에 맞게 적용하였다. 가이드라인에서는 토지피복을 경작지, 산림, 도시 지역으로 나누고 토지피복, 수문학적 특성, 녹지 면적 비율 등의 세부 특성을 고려한 CN이 제시되어 있다. 가이드라인은 국내 토지피복 및 여건을 반영하여 제작한 것이 아니므로 환경부 세분류 토지피복도 분류와 차이가 있다. 제시되지 않은 CN에 관해서는 국외 연구 자료 및 유사 특성을 가지는 값으로 다음 표와 같이 통합·분류하여 적용하였다. 일부 할당할 수 없는 토지피복에 대해서는 임의의 값을 적용하였다. CN 할당 결과는 다음 <표 IV-2-3>과 같다.

| 표 IV-2-3 | 토지피복 및 토양에 따른 CN 생물리적 특성값 할당

구분		토양의 수문학적 특성에 따른 CN(Curve Number)			
생태계 유형	세부 토지피복	CN_A	CN_B	CN_C	CN_D
개발지	단독 주거	77	85	90	92
	공동 주거	46	65	77	82
	공업시설	81	88	91	93
	상업업무	89	92	94	95
	혼합	73	82	88	90
	문화 체육	51	68	79	84
	철도	76	85	89	91
	도로	83	89	92	93
	교통통신	51	68	79	84
	환경기초	51	68	79	84
	교육행정	51	68	79	84
	기타 공공	51	68	79	84
경작지	논	40	51	63	70
	밭	67	78	85	89
	시설재배	85	94	98	98
	과수원	43	65	76	82
	목장 양식	59	74	82	86
	기타 재배	43	65	76	82
산림	활엽	30	30	41	48
	침엽	41	41	61	71
	혼효림	35	35	51	60
초지	자연초지	60	71	81	89
	골프장	49	69	79	84
	묘지, 기타 초지	60	71	81	89
기타	습지, 강기슭	1	1	1	1
	바위	99	99	99	99
	운동장, 나지	77	86	91	94
수역	하천, 호소	1	1	1	1

시나리오에 따른 홍수 발생 시 발생하는 경제적 손실 추정을 위해 홍수량(flood-depth)에 따른 피해 손실 함수(JRC, 2017)를 사용하였다. JRC(2017)에서는 2010년 기준으로 214개국의 연구 결과를 이용하여 주거용 건물, 상업, 산업, 운송(도로), 농업 분야의 피해 금액을 산출하였으며 화폐 단위는 유럽 유로(€)이다. 홍수로 인한 최대 피해 값(600mm 기준)은 각 국가와 대륙별로 차이가 있어 한국, 중국, 일본 등이 값을 포함하고 있는 아시아 국가들의 평균값으로 적용하였으며, 유출량에 따른 구간별 피해 가중치 값은 다음 <표 IV-2-4>와 같다.

모형의 국내 적용을 위해서는 예측하고자 하는 목표 기준년(2022년)에 따른 보정이 요구된다. JRC(2017) 지침에서는 이를 위해 물가지수 변화율과 환율을 활용한 방법을 제안하고 있다. 제시한 방법을 통해 국내 2021년

최대 피해액을 산정한 결과 주거 약 214,115(원/㎡), 상업 약 266,197(원/㎡), 공업 약 219,902(원/㎡), 도로 약 32,792(원/m), 농업 약 38(원/㎡)으로 나타났다.

표 IV-2-4 | 강우량에 따른 손실 가중치(JRC, 2017)

강우량 (단위: 미터)	구분				
	주거	상업	공업	도로	농업
0	0	0	0	0	0
0.5	0.33	0.38	0.28	0.25	0.17
1	0.49	0.54	0.48	0.42	0.37
1.5	0.62	0.66	0.63	0.55	0.51
2	0.72	0.76	0.72	0.65	0.56
3	0.87	0.88	0.86	0.80	0.69
4	0.93	0.94	0.91	0.90	0.83
5	0.98	0.98	0.96	1.00	0.97
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

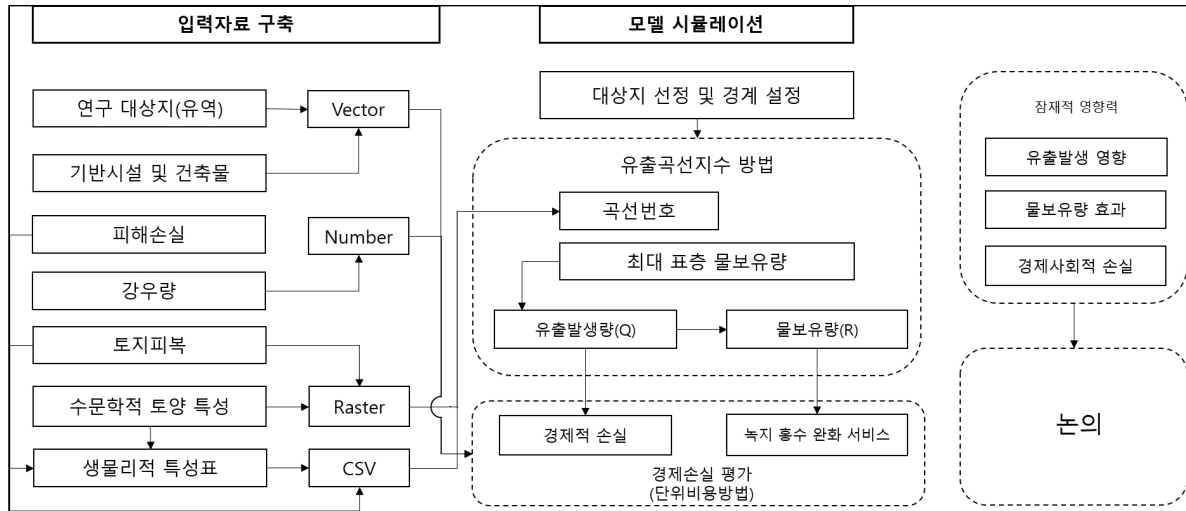
시뮬레이션을 위해 참조한 강우 설계, 토지피복, 수문학적 토양특성, 유역도, 기반 시설 자료의 목록과 구조 그리고 참조 문헌은 아래의 <표 IV-2-5>와 같다. 건물 인프라에 대한 정보는 다양한 공간정보를 활용하여 세분화 할 수 있지만 본 연구에서는 환경부 토지피복도를 활용하여 주거, 상업, 공업, 농업지역 도로를 추출하여 시뮬레이션에 활용하였다.

표 IV-2-5 | 도시 홍수 위기 저감 모형의 InVEST 입력데이터 및 형식

구분	입력데이터	형식	참조
기상자료	강우 깊이	Number	WAMIS(http://www.wamis.go.kr/wkc/wkc_flood_design_lst.do)
물리량 자료	토지피복/이용	Raster	토지피복도(환경부)
	수문학적 토양특성	Raster	정밀토양도(RDA) Jung. et al. (2007)
	유역	Vector	유역도(WAMIS)
	기반 시설	Vector	토지피복도(환경부)
속성자료	피해손실표	CSV	JRC, 2017
	생물리학적표	CSV	NRCA-USDA guidelines (2007) Carlotta. et al. (2021)

나) 연구 절차

도시생태계의 홍수 조절서비스 평가를 위한 절차는 1) 시범 대상지 선정, 2) 입력자료 구축, 3) 생물리적 정보 작성, 4) 유출량 및 보유량 모의 5) 경제적 피해 손실 산정 6) 결과 및 해석으로 진행된다(그림 IV-2-3).

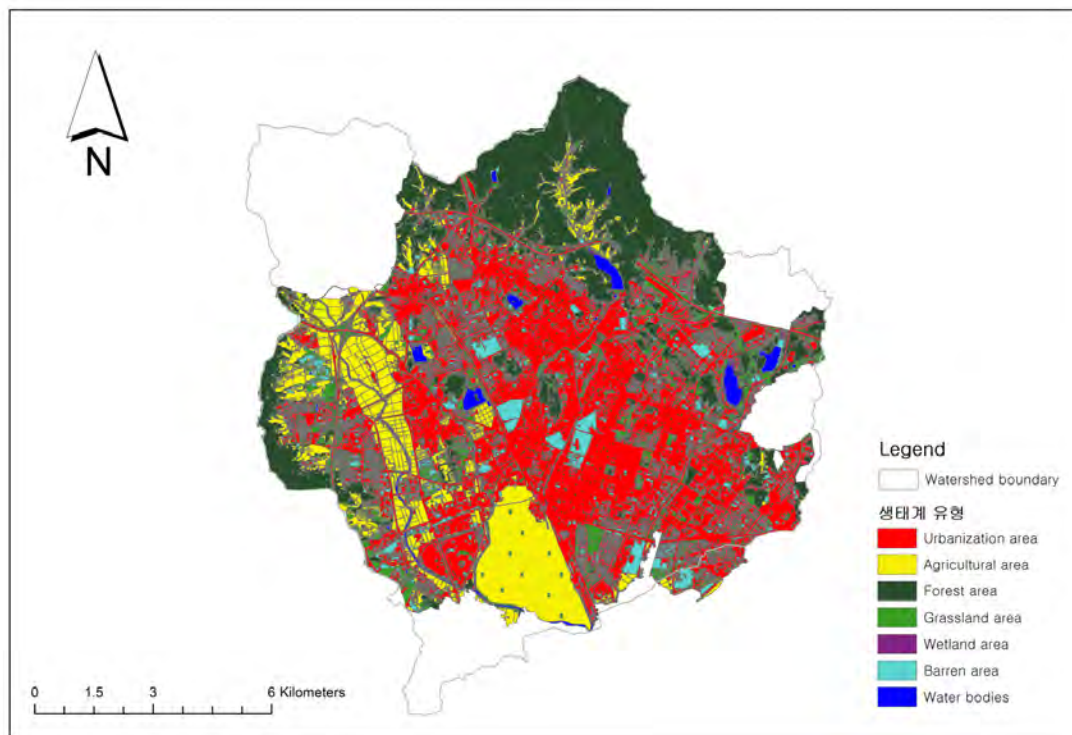


| 그림 IV-2-3 | 도시 홍수 위기 저감 모형 수행 절차

다) 대상지 선정

연구에서는 홍수 모형 시범 적용 대상지를 경기도 수원시로 선정하였다. 수원은 도시화율과 밀집도로 인해 불투수층 면적이 넓고 침수 위험성이 있는 대표적 지역이다(수원시, 2007). 수원시 행정구역 면적은 약 121km²로 북측 광교산, 서쪽 칠보산, 중앙에 팔달산과 여기산의 산림생태계가 분포해 있으며, 남측은 평탄한 농경지로 구성되어 있어 도시 지역이면서 산지와 경작지가 고르게 분포한다. 표고 100m 미만 지역이 전체 82.1% 차지하며, 비교적 평탄 지역이다. 이러한 환경으로 개발에 유리하고 도시화율이 높게 나타난다. 광교산에서 시작된 물줄기는 수원의 하천 줄기를 형성하고 일부 하천은 도심지를 관통한다. 수원시를 포함하는 유역은 황구지천 상류이며 면적은 약 148km²이다. 전체 행정구역 면적과는 19% 차이가 있다.

환경부 토지피복도 자료를 통해 주요 토지피복 기반의 생태계 유형 면적 분포를 보면 살펴보면 시가화·건조 지역이 51.3km², 경작지 17.5km², 산림 24.6km², 초지 18.2km², 습지 0.07km², 나지 6.4km² 수역 2.0km²로 조사되었다. 개발 지역은 전체 대비 약 42%로 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 다음으로 산림이 24%이며, 경작지와 초지가 각각 14%와 15%로 차지하고 있었다(그림 IV-2-4).



| 그림 IV-2-4 | 유역경계와 토지피복 특성

라) 주요 결과

대상지 도시생태계에 따른 강우유출 및 보유량 모의 결과는 다음과 같다. RCP 4.5에서는 미래 예측강우량이 2년 빈도 42.33mm, 10년 빈도 61.51mm, 50년 빈도 78.41mm, 100년 빈도에서는 85.57mm이며, 이에 따른 픽셀당(100m²) 강우 유출량의 최댓값은 2년 빈도 39mm, 10년 빈도 58.53mm, 50년 빈도 75.41mm, 100년 빈도 82.56mm로 분석되었다(표 IV-2-6 참조).

| 표 IV-2-6 | RCP 4.5 시나리오에 따른 유출 및 보유량 현황

예측 시나리오		HadGEM3-RA(1)			
발생 빈도(년)		2	10	50	100
RCP 4.5 미래 예측강우량(mm)		42.33	61.51	78.41	85.57
보유량(Ton)	최댓값	4.23	6.15	7.84	8.55
	최솟값	0.29	0.29	0.29	0.30
유출량(mm)	최댓값	39.00	58.5348	75.41	82.56
	최솟값	0	0	0	0

RCP 8.5에서는 미래 예측 강우량이 2년 빈도 48.05mm, 10년 빈도 71.04mm, 50년 빈도 91.33mm, 100년 빈도에서는 99.92mm이며, 이에 따른 픽셀당(100m²) 강우 유출량의 최댓값은 2년 빈도 45.10mm, 10년 빈도 68.05mm, 50년 빈도 88.32mm, 100년 빈도 96.90mm로 분석되었다(표 IV-2-7 참조).

| 표 IV-2-7 | RCP 8.5 시나리오에 따른 유출 및 보유량 현황

예측 시나리오		HadGEM3-RA(1)			
발생 빈도(년)		2	10	50	100
RCP 8.5 미래 예측강우량(mm)		48.05	71.04	91.33	99.92
보유량(Ton)	최댓값	4.80	7.10	9.13	9.99
	최솟값	0.29	0.29	0.30	0.30
유출량(mm)	최댓값	45.10	68.05	88.32	96.90
	최솟값	0	0	0	0

(1) 토지피복별 물 보유량

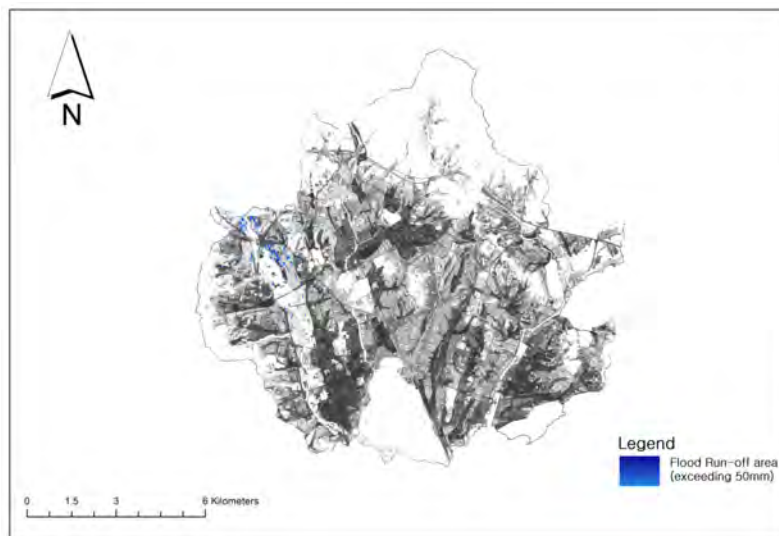
홍수 시 전체 물 보유량은 10년 빈도에서 시가화-건조 지역 1,569,611톤, 농업지역 907,706톤, 산림지역 1,496,105톤, 초지 831,705톤, 습지 1,021,742톤, 나지 206,709톤, 수역 38,087톤으로 나타났다. 100년 빈도 강우 시에는 시가화-건조 지역 1,808,376톤, 농업지역 1,172,505톤, 산림지역 2,076,019톤, 초지 1,021,742톤, 습지 47,603톤, 나지 238,363톤, 수역 52,985톤으로 10년 빈도에 비해 더욱 많은 물을 보유하였다. 100m² 단위 면적의 픽셀 단위에서 평균값을 비교해 보면 강우량에 상관없이 수역, 습지, 산림에서 가장 높은 값을 나타냈다. 수역과 습지가 강우 시 물을 그대로 수용한다는 특성을 고려할 때 당연한 결과로 보여지며, 녹지 특성을 가진 산림의 물 보유 능력이 높게 평가되었다(표 IV-2-8 참조).

| 표 IV-2-8 | 두 시나리오에 따른 강우 시 물 유출량 모의 결과

구분	면적(m ²)	빈도	단위면적(100m ²) 당 물 저장량				물 저장량
			최솟값	최댓값	평균	표준편차	
시가화-건조 지역	50,177,200	10	1.36	6.15	3.13	1.22	1,569,611
		100	1.42	8.35	3.60	1.71	1,808,376
농업지역	17,269,900	10	0.58	6.15	5.26	1.26	907,706
		100	0.59	8.53	6.79	1.94	1,172,505
산림지역	24,349,200	10	5.00	6.15	6.14	0.08	1,496,105
		100	6.06	8.56	8.53	0.18	2,076,019
초지	17,347,600	10	2.63	6.12	4.79	1.15	831,705
		100	2.88	8.20	5.89	1.66	1,021,742
습지 (수변식생)	556,300	10	6.15	6.15	6.15	0.00	34,218
		100	8.56	8.56	8.56	0.00	47,603
나지	6,075,200	10	0.30	6.15	3.40	1.16	206,709
		100	0.30	8.56	3.92	1.52	238,363
수역	619,200	10	6.15	6.15	6.15	0.00	38,087
		100	8.56	8.56	8.56	0.00	52,985
합계	116,394,600	10	-	-	-	-	5,084,141
		100	-	-	-	-	6,417,593

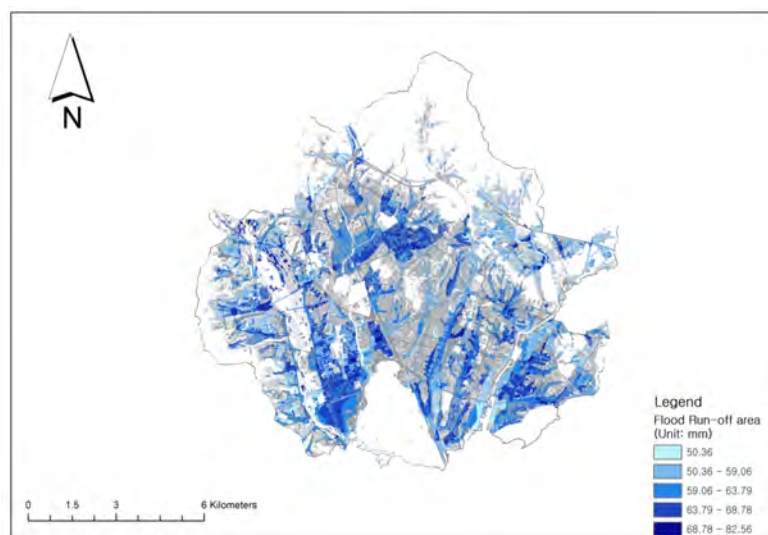
(2) 경제적 피해 손실 추정

홍수 유출에 따른 경제적 피해 손실은 2가지 시나리오를 설정하여 산정하였다. 홍수 유출에 따른 경제적 피해 손실은 일정 규모 이상의 유출이 발생했을 때를 고려하였다. 대상지에 대한 유출량 모의 결과 최소 0에서 최대 82.5663mm 사이의 유출량 값을 보이며, 피해 발생 유출량을 50~82.5663mm 사이 구간으로 보고 해당 구간에 대해 50mm 손실가중치 값을 적용하였다. 10년 홍수 빈도 시 대상지 서쪽 농경지 일부 지역이 50mm 이상 유출되는 것으로 나타났다(그림 IV-2-5).



| 그림 IV-2-5 | 50mm 이상 강우유출 지점(10년 빈도 강우 시)

100년 빈도 강우 발생 시 50mm 이상 유출되는 지점은 모의 결과 고르게 나타났으나, 광고산 일원 북측 산림과 남측 서쪽 농경지 지점에서는 50mm 이상 유출되지 않는 결과를 보여줬다(그림 IV-2-6).



| 그림 IV-2-6 | 50mm 이상 강우유출 지점(100년 빈도 강우 시)

홍수 유출에 따른 경제적 피해액 산정을 위해 토지피복 및 이용 별 면적을 살펴보면, 10년 빈도 강우 시에는 피해 면적이 농경지 중심으로 340,700m² 정도이며, 이를 활용하여 홍수로 인한 2021년 기준 잠재적 경제 손실 피해액을 산정한 결과 1,924,531원으로 추정되었다. 100년 빈도 강우에서는 대부분 지역에서 피해가 발생한 것으로 나타났으며, 면적 기준으로 살펴보면 주거 1,989,300m², 상업 5,811,500m², 공업 939,400m², 도로 409,700m, 농업 1,558,200m²로 나타났다. 이를 토대로 잠재적 피해 손실액을 추정하면, 주거지역 122,512,524(천)원, 상업지역 512,382,410(천)원, 공업지역 50,414,646(천)원, 농업지역 8,907(천)원, 도로 2,927,508(천)원으로 추정되었다. 결과적으로 RCP 4.5 시나리오에 따른 대상지에 대한 잠재적 홍수 피해액은 10년 빈도 홍수 발생 시 농경지에서 2백만 원 정도로 그 피해가 미미한 것으로 나타났으며, 100년 빈도 시 주거, 상업, 공업, 농업, 기반 시설(도로)에 전반적인 피해가 발생할 것으로 나타났으며, 전체 피해액은 약 6,882억 원으로 추정되었다. 본 피해액은 기후변화에 따른 강우량 시나리오에 기반으로 추정한 결과이며, 간접적인 사회·경제적 요인에 따라 피해액의 차이가 발생할 수 있으며, 수송 수단 등에 대한 피해액은 고려되지 않았다.

4) 고찰 및 결론

InVEST UFRM 모형을 활용한 지자체 수준의 홍수조절 서비스 평가를 통해 도시생태계의 홍수조절 효과를 정량적으로 파악할 수 있었으며, 공간적 취약지점에 대해 직관적으로 알 수 있었다. 홍수조절을 통해 경제적 손실 피해 추정액을 제시할 수 있었다. 또한, 공간 기반 모의를 통해 홍수조절을 위해 보존해야 할 지점과 보완해야 할 위치를 확인할 수 있었다. 그럼에도 불구하고 UFRM 모형은 시공간적 측면에서 지형적 차이, 물의 흐름 방향과 변화 등을 고려하지 않아 실제 취약지점의 선정에 있어 한계를 갖는다.

입력자료 구축에서는 유역 단위와 행정구역 단위가 부분적으로 일치하지 않았다. 결과적으로 행정구역 일부의 모의가 이뤄지지 않았으며, 정밀도양도 역시 하천, 호수 등에 대한 토양도 자료가 누락되어, 모형 구동 시 해당 지점에 대한 예측값을 산정할 수 없는 한계를 보였다. 환경부 토지피복도는 사용에 있어 세분류 단위에서 적용 가능하였으나 일치하지 않는 부분에 대해 통합하거나 분리할 경우 관련 근거 자료가 부족하였다. 시설물이나 건축물이 집중된 기개발지의 정확한 모의를 위해서는 투수성과 비투수성 면적, 우수관거 설치 여부 등을 고려한 세밀한 정보를 통해 CN값 산정이 이뤄져야 하며, 이를 위한 시간과 비용적 측면이 발생할 것으로 판단된다. 이를 보완하기 위해 도시생태현황도와 같은 추가적 공간자료의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

경작지 가운데 논은 집중호우와 태풍이 발생하는 특정 시기에 대한 현장 조사 등을 통하여 유출 특성을 파악할 필요가 있으며, 밭은 해당 지역의 주요 재배작물 종류와 생육 상황 등을 고려하면 결과의 정확성을 높일 수 있을 것으로 보인다. 도로는 배수로가 연결되지 않은 불투수층을 가정하였으나 국내 도로 여건상 배수로를 설치하는 경우가 많으므로 현지 여건을 고려한 입력값의 선택이 요구된다. 홍수 유출량에 따른 경제적 가치 피해 원 단위값에 대한 국내 연구 사례 연구가 부족하여 일본, 중국 등이 포함된 아시아 평균값을 이용하여 이에 관한 추가 연구가 필요하다. 최종적으로 주거지역, 상업지역, 공업지역, 인프라(도로) 시설에 대한 보다 구체적인 분류를 통해 보다 현실적인 피해액 추정이 가능할 것으로 보인다.

가) 모형의 결과와 의의

기후 위기로 인한 도시의 자연재해의 발생 빈도가 증가하고, 피해손실이 커지고 있다. 이러한 상황에서 세계적으로 통합적 물 관리에 관한 관심이 증가하고 있으나, 아직도 하수 및 우수관거 설계의 공학적 접근을 통한 물 관리가 중심이 되고 있다. 생태계가 가진 홍수조절 능력에 대한 객관적 자료와 평가가 부족한 것이 현실이다.

UFRM 모형을 통해 기후변화 시나리오에 따른 홍수 시 공간에 따른 잠재적 유출 특성과 생태계의 물 보유량을 빠르고 쉽게 파악할 수 있었다. 또한, 경제적 가치 산정을 통해 의사결정을 위한 지원이 가능할 것으로 판단된다. 모형 구동을 위한 입력자료 구축에서도 활용할 수 있는 기본적 공간자료가 국내에 구축되어 있어 도시 차원에서 모의하는데 쉬웠으며 추가적인 연구를 통해 모형 결과의 정확성을 높일 수 있을 것으로 보인다. 더욱이 공간계획 및 정책적 목적에 맞게 모형 적용이 가능하며 이를 위해 대상지의 규모와 해상도를 다양하게 적용한 추가 연구가 이뤄져야 할 것으로 판단된다.

나. 도시 열섬

1) 배경 및 필요성

기후변화로 인한 여름철 폭염 부하는 많은 지역에서 폭염 증가 가능성이 높으며 강도가 높고 지속 기간이 길어질 가능성이 높다(IPCC, 2013). 폭염 폭염일수의 증가는 도시 거주자에게 더 높은 열 스트레스에 노출시키는 원인으로 작용한다. 도시화는 녹지 공간을 축소시키고 불투수층을 증가시켜 농촌의 바닥 표면과 비교하여 알베도와 기하학적 특성에 차이를 발생시킨다(Oke, 1982).

도시 표면은 일반적으로 건축 자재 및 도시 공간 구조의 특성이 복사에너지 반사에 영향을 미치고 이로 인해 농촌지역보다 알베도가 낮다(Qin, 2015). 이로 인해, 일반적으로 도시 지역은 주변 농촌지역보다 온도가 높다(Luber and McGeehin, 2008). 도시 열섬이 도시 토지이용과 피복 변화에 따른 지역 기후변화의 결과를 보여주는 가장 명확한 사례이다(Chun and Guldmann, 2014).

식생 캐노피는 잠열 방출과 난방에 사용하는 에너지의 양을 동시에 감소시켜 잠재적으로 주변 지역의 열을 식힐 수 있다(Peng et al., 2012). 증발산을 통해 열 냉각을 증가(Gartland, 2010)시켜 도시 열 압력을 줄이는 데 도움을 준다. 녹지 공간을 통한 도시 열 완화는 사망률 및 질병 발생률 감소, 쾌적함과 노동생산성 증가, 에어컨의 사용 감소를 통해 도시민의 건강과 삶의 질에 영향을 미친다. 따라서, 도시 내 열 완화를 위한 도시계획과 실행에 열 완화에 도움을 주는 도시 녹지 공간의 열 완화 용량을 정확하게 정량화하는 것이 필요하다(Zawadzka, et al., 2021).

이를 위해서는 이 연구의 최종적 목표는 InVEST Urban Cooling Model(ver. 3.9.1)에 의해 출력된 HMI의 유효성을 여름철 위성영상으로부터 획득된 LST와의 상관관계를 통해 검증하는 것이다. 이를 위해 낮은 열 완화 지수 값이 LST의 최고 온도에 해당해야 한다(반대로 높은 HMI 값은 LST의 낮은 온도에 대응)는 가정하에 InVEST Urban Cooling Model(3.9.1)에 의해 생성된 HMI가 도시 녹지의 냉각 용량 평가에서 LST 대신 사용할 수 있다고 가정한다.

2) 평가 방법 검토

미국 스탠퍼드(Stanford) 대학에서 자연 자본 프로젝트(Natural Capital Project)를 통해 토지피복 정보와 쉽게 이용 가능하고 접근할 수 있는 몇몇 매개변수를 이용하여 열 완화 지수(Heat Mitigation Index, HMI, 이하 HMI)를 산출하는 InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) Urban Cooling Model을 개발하였다. InVEST의 도시 냉각 모델(Urban Cooling Model 이하 UCM)은 '식생 증발산량', '대규모 도시공원 냉각 거리' 및 '토지피복도'에 할당된 알베도를 기반으로 HMI를 계산한 후 대기 온도에 대한 평균 냉각 용량 및 식생 냉각과 관련 가치를 추정하고, 후속 평가(예, 건물의 에너지 사용 저감)의 정확성을 결정하는 모델이다(Zawadzka, et al., 2021).

3) 지표개발을 위한 시범 평가

가) 연구 방법

InVEST UCM은 규모가 큰 도시 녹지의 냉각 용량을 고려한다. 연구지역의 모든 녹지 냉각 용량을 추정하는 HMI 지도를 생성하고, 지역 음영(그림자 지수), 증발산 및 알베도를 기반으로 각 픽셀(pixel)의 냉각 용량(CC) 지수를 산정한다. 이 접근법은 Zardo et al. (2017)과 Kunapo et al. (2018)이 제안한 지수를 기반으로 한다. 그림자 지수(*shade*)는 각 토지이용/토지피복(LULC) 범주와 관련된 나무 수관(높이 2m 이상)의 비율을 나타내고 그 값은 0과 1 사이로 구성된다. 증발산 지수(Evapo-transpiration Index : *ETI*)는 잠재적 증발산, 즉 식생의 증발산(또는 초목이 없는 지역의 경우 토양에서 증발)의 정규화된 값을 나타낸다. 기준 증발산량(*ET0*, 사용자가 제공)과 차르기 계수(*Kc*, 픽셀의 LULC 유형과 관련됨)를 곱하고 관심 영역의 증발산 지수에 있는 증발산 지수의 최댓값으로 나누어 각 픽셀에 대해 계산된다.

$$ETI = \frac{K_c * ET0}{ET_{max}}$$

Urban Cooling Model에서 냉각 용량(*CC*)은 그림자 지수(*shade*), 증발산 지수(*ETI*) 및 알베도(*albedo*)의 가중 함수로 계산된다. 이 방정식은 식생 지역에 충분한 물이 공급되고 있다고 가정하고 있으며, 냉각 용량 지수 3가지 요소의 권장 가중치는 경험적 데이터에 기반하여 부여되어 있다.

$$CCI = 0.6 * shade + 0.2 * albedo + 0.2 * ETI$$

넓은 녹지 공간(> 2ha)의 주변 지역에 대한 냉각 효과를 설명하기 위해(Zardo et al. (2017) 및 McDonald et al. (2016)의 논의 참조) 본 모델은 도시 녹지의 HMI를 계산한다.

면적이 큰 녹지 공간의 영향을 받지 않는 경우 열 완화(*HM*)는 냉각 용량(*CC*)과 같지만 그렇지 않은 경우 큰 녹지 공간과 관심 픽셀의 냉각 용량(*CC*) 값의 거리 가중 평균으로 설정된다.

이를 위해 모델은 먼저 각 픽셀(GA_i) 주변의 검색 거리 d_{cool} 내의 녹지 면적과 각 녹지 공간(CC_{park})에서 제공하는 냉각 용량을 계산한다.

$$GA_i = cell_{area} * \sum_{j \in d radius} G_j$$

$$CC_{park_i} = \sum_{j \in d radius} g_j * CC_j * e^{\left(\frac{-d(i,j)}{d_{cool}}\right)}$$

여기서 $cell_{area}$ 는 셀의 면적(ha), g_j 는 픽셀 j 가 녹지 공간이면 1, 그렇지 않으면 0, $d(i, j)$ 는 픽셀 i 와 j 사이의 거리, d_{cool} 는 녹지 공간의 냉각 효과 거리, CC_{park_i} 는 녹지 공간에 기인하는 냉각 용량 값의 거리 가중 평균이다 ('녹지'로 인정되는 LULC 등급은 생물리학 표에서 매개변수 'green_area'를 사용하여 사용자가 결정한다. 다음으로 HMI는 다음과 같이 계산된다.

$$HM_i = \begin{cases} CC_i & \text{if } CC_i \geq CC_{park_i} \text{ or } GA_i < 2ha \\ CC_{park_i} & \text{otherwise} \end{cases}$$

토지피복도는 환경부에서 2020년에 발행된 벡터(Vector) 형식의 세분류 토지피복도를 레스터(Raster) 형식으로 변환하여 사용하였다. 기준 증발산 지수(ET0)는 송철호 등(2015)이 이용한 미국 몬테나주립대학교의 NTSG (Numerical Terradynamic Simulation Group)가 NASA Earth Observing System과의 파트너십을 통해 생산해 낸 MODIS 영상 기반 증발산량 자료(<http://www.ntsg.umd.edu/>)를 이용하였다. 해당 자료는 2011년 기준으로 MOD16 Global Evapotranspiration(ET)로써, 약 1km×1km의 공간해상도와 8일 간격의 시간해상도를 갖고 얻어진 자료를 월간 및 연간 사용이 가능하도록 수정하여 공개된 것이다.

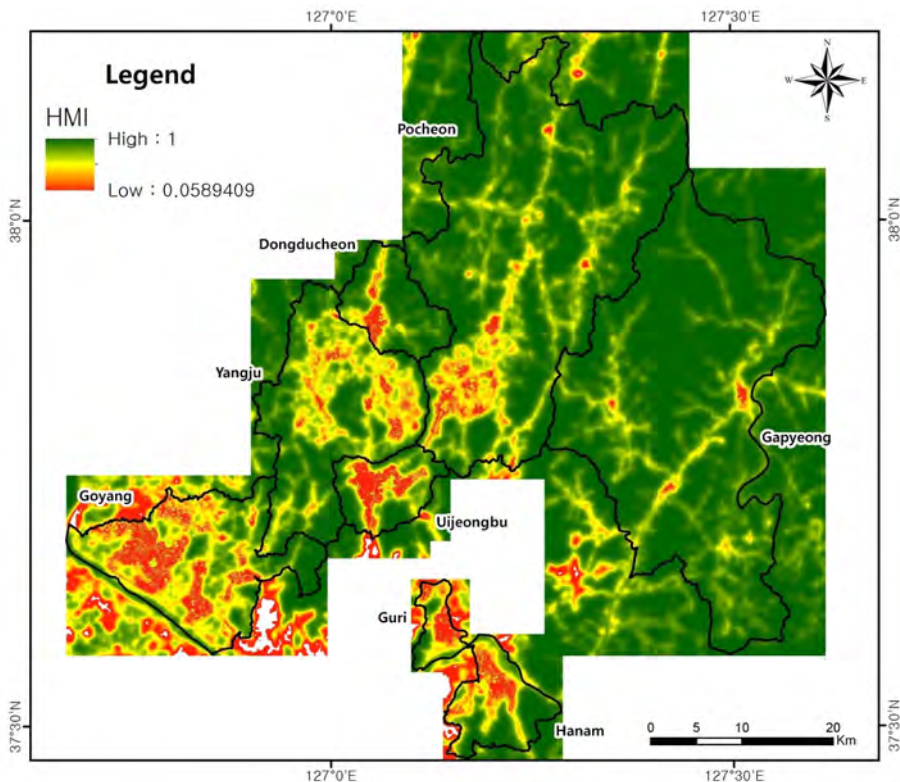
생물리표(Biophysical Table)는 각각의 정보와 토지피복 분류가 코드를 통해 연결된다. InVEST Urban Cooling Model에서는 각 토지피복에 대한 그림자 지수, 증발산 지수, 알베도, 녹지 공간 판정, 건물 강도 등이 사용된다. 먼저, 그림자 지수(*shade*)의 경우 미국 Stanford 대학의 Natural Capital Project Website에서 제공하는 샘플 자료와 Zawadzka et al. (2021)의 연구에서 제시한 토지피복 및 식생의 높이에 따른 지수를 이용하여 토지피복별 지수를 재산정 후 활용하였다. 증발산 지수(Kc)는 송철호 등(2015)이 작성한 우리나라 토지 피복별 평균 증발산 지수를 사용하였다. 마지막으로, 알베도(Albedo)의 경우 국내 지역을 사례로 알베도를 작성한 김기열(2010)과 박은빈 등(2012), 송철호(2015)의 연구 결과를 토대로 연구대상 지역과 유사한 환경하에 산출된 값을 선택하여 이용하였다. 녹지 공간 판정(Green area)과 건물 강도 값(Building intensity)은 Natural Capital Project Website의 InVEST Urban Cooling Model 사용자 설명서에 따라 입력하였다(표 IV-2-9 참조).

| 표 IV-2-9 | Biophysical Table 입력값

코드	토지피복	음영	Kc	알베도 Albedo	녹지	건물밀집도
1	단독주거시설	0.18	0.5	0.126	0	0.3
2	공동주거시설	0.05	0.5	0.126	0	0.95
3	공업시설	0.05	0.3	0.126	0	0.3
4	상업업무시설	0.05	0.3	0.126	0	0.3
5	혼합지역	0.3	0.3	0	0.3	0
6	문화체육 휴양시설	0.18	0.3	0.126	0	0.3
7	공항	0.45	0.2	0.122	0	0.1
8	항만	0.45	0.2	0.122	0	0.1
9	철도	0.45	0.2	0.122	0	0.1
10	도로	0.45	0.2	0.122	0	0.1
11	기타 교통 통신시설	0.45	0.2	0.122	0	0.1
12	환경기초시설	0.05	0.3	0.126	0	0.3
13	교육 행정시설	0.05	0.3	0.126	0	0.3
14	기타 공공시설	0.05	0.3	0.126	0	0.3
15	경지정리가 된 논	0.65	0.65	1	0	0
16	경지정리가 안 된 논	0.65	0.65	1	0	0
17	경지정리가 된 밭	0.65	0.65	1	0	0
18	경지정리가 안 된 밭	0.65	0.65	1	0	0
19	시설재배지	1	0.7	0.133	1	0
20	과수원	0.7	0.7	1	0	0
21	목장 양식장	0.85	0.85	1	0	0
22	기타재배지	1	0.85	0.133	1	0
23	활엽수림	1	1	0.095	1	0
24	침엽수림	1	1	0.095	1	0
25	혼효림	1	1	1	0	0
26	자연초지	0	0.65	0.118	1	0
27	골프장	0.65	0.65	1	0	0
28	묘지	0	0.65	0.118	1	0
29	기타 초지	0	0.65	0.118	1	0
30	내륙습지	0	1	0.125	1	0
31	갯벌	0	1	0.125	0	0
32	염전	0	1	0.125	0	0
33	해변	0	0.2	0.132	1	0
34	강기슭	0.2	0.2	1	0	0
35	암벽 바위	0	0.2	0.132	1	0
36	채광지역	0.2	0.2	1	0	0
37	운동장	0.2	0.2	1	0	0
38	기타 나지	0	0.2	0.132	1	0
39	하천	0	1	0.093	0	0
40	호소	0	1	0.093	0	0
41	해양수	1	1	0	0	0
990	No Data	0	0	0	0	0

교외지역 기온을 나타내는 'Baseline Air Temperature'의 경우 연구지역 반경 20km에 분포하는 ASOS(종관 기상관측장비, AutomatedSynoptic Observing System) 및 AWS(자동기상관측장비, Automated Weather Station) 자료 가운데 도시 외곽 평지에 위치한 파주지역(ASOS No. 99)의 2017년 8월 26일 오전 11시 기온을

사용하여 입력하였다(기상청 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr/>). 특정 일의 기온 자료를 이용하여 InVEST Urban Cooling Model의 유효성을 검증하기 위한 검증자료인 위성영상의 획득일 및 시간과 일치시켰다. 열섬효과 정도를 나타내는 값은 Yale 대학에서 수행하여 제공하는(<https://yceo.users.earthengine.app/view/uhimap>) 본 연구지역의 여름철 낮 시간대에 해당하는 지역의 Surface UHI intensity 값을 차용하였다. 상대습도는 기온 자료와 마찬가지로 2017년 8월 26일 오전 11시의 자료를 이용하였으나, 파주지역 자료가 아닌 연구지역 전체 자료의 평균을 이용하였다. 대기 중 기온이 섞이는 거리를 나타내는 ‘Air Temperature Maximum Blending Distance’와 냉각 효과에 영향을 미치는 가중치인 ‘Manually Adjust Cooling Capacity Index Weights’는 설정된 기본값을 사용하였다. 마지막으로 녹지 냉각 효과의 거리를 나타내는 ‘Green Area Maximum Cooling Distance’의 경우 100m~700m까지 50m 간격으로 값을 입력하여 InVEST Urban Cooling Model의 유효성 검증에 이용하였다.



[그림 IV-2-7] InVEST Urban Cooling Model 구동 결과 얻어진 HMI 맵

LST 산출을 위해 USGS에서 제공하는 LANDSAT 8 Data Users Handbook(2019)에 제시된 공식을 사용하여 열적외선밴드의 Digital Number 값을 분광복사량(TOA :top-of-atmosphere) 값으로 변환시켰다.

$$TOA(L\lambda) = ML * Q_{cal} + AL - Q_i$$

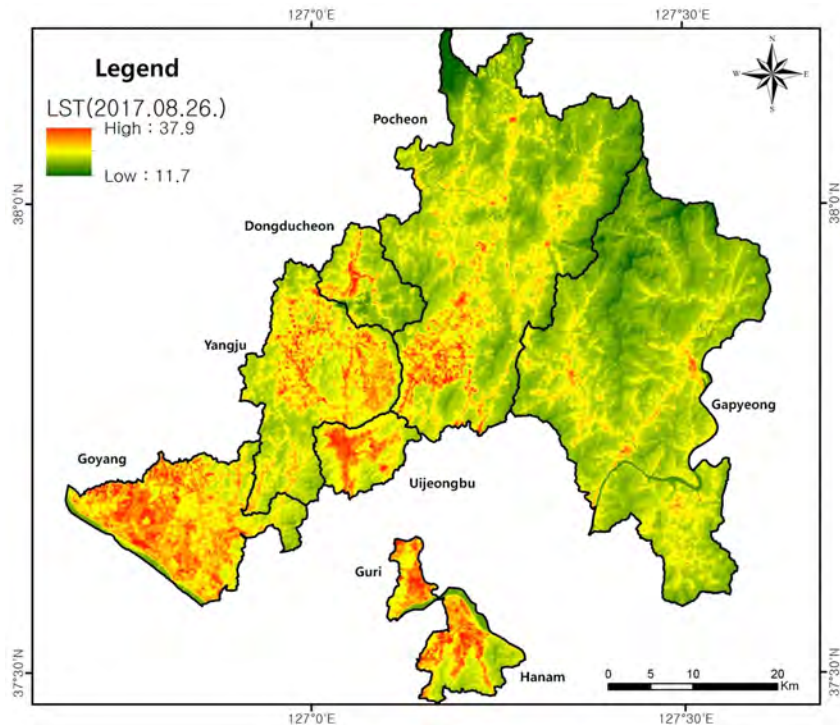
계산된 분광복사량 값($L\lambda$)과 절대온도(K)의 관계식을 이용해 밝기온도(BT: brightness temperature)를 계산하였다.

$$BT = \frac{K2}{\left[\left(\frac{K1}{L\lambda} \right) + 1 \right]}$$

이때, 구해진 BT 는 지표면을 흑체로 가정하여 실제 표면의 방사율(ϵ)을 고려하지 않은 값이다. 본 연구에선 방사율 보정을 위해 Avdan and Jovanovska(2016)의 NDVI 값을 기반으로 한 방사율 추출 방법을 사용하였다.

$$T_s = \frac{BT}{1 + \left[(\lambda BT / \rho) \ln \epsilon_\lambda \right]} - 273.15$$

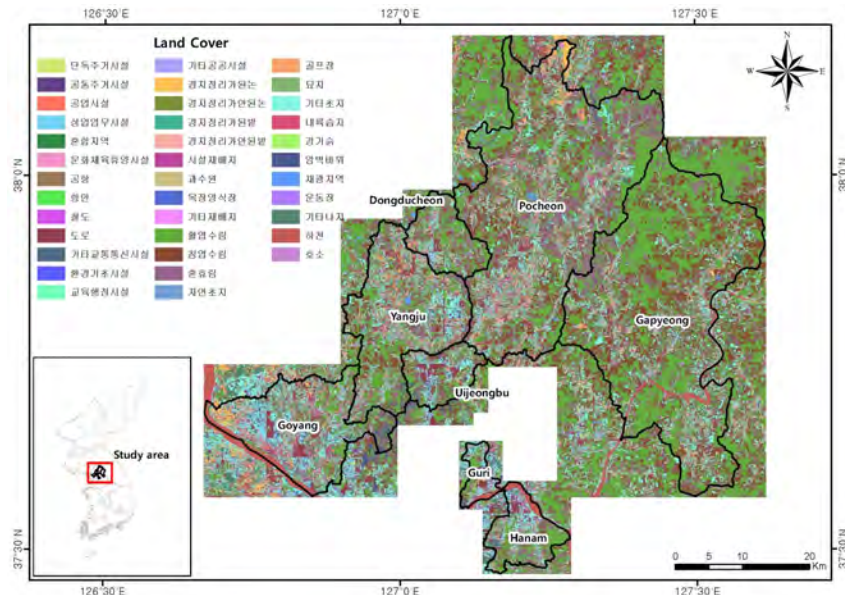
방사 보정은 방사율을 이용해 Avdan and Jovanovska(2016)가 제안한 식을 이용하였다. 이 식은 방사율과 파장, 온도와의 관계를 이용하는 식으로 T_s 는 방사 보정을 실시한 LST의 절대온도이며 BT 는 기존에 구한 흑체라는 가정 하의 LST이다. λ 은 분광복사량을 추출하는데 사용한 밴드의 파장이고 ρ 값은 $hc/K(1.438 * 10^{-2} mK)$ 이다. 이때 h 는 플랑크상수($6.626 * 10^{-34} Js$)이고 c 는 빛의 속도($2.998 * 10^8 m/s$), K 는 볼츠만 상수($1.38 * 10^{-23} J/K$)를 의미한다. ϵ 는 표면 방사율을 의미한다. 계산된 방사 보정온도를 절대온도(K)에서 섭씨 온도($^{\circ}C$)로 바꾸주기 위해 273.15를 빼주었다.



| 그림 IV-2-8 | Landsat 8를 이용하여 작성한 LST(2017.08.26.)

나) 연구대상지

연구 대상 지역은 서울시 주변의 경기도 8개 시군으로 가평군, 고양시, 구리시, 동두천시, 양주시, 의정부시, 포천시, 하남시로 설정하였다. 해당 지역은 서울의 배후도시 역할을 하는 지역으로 고양시를 제외하고 산지가 대부분을 차지하는 지역으로 곡지 및 소하천 주변의 평지의 경우 많은 지역에서 도시화가 진행되었다(그림 IV-2-9).



| 그림 IV-2-9 | 연구지역

연구지역은 총 35가지 토지피복 분류로 나뉘며 가장 넓은 면적을 차지하는 피복은 유형은 ‘활엽수림’으로 면적은 1,006.21km²로 전체의 약 39.5%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 반면, 가장 좁은 면적을 차지하는 것은 ‘혼합지역’으로 면적은 0.09km²이고 전체면적의 약 0.004%를 차지하였다. 연구지역이 경기도 북서부 8개 시·군을 대상으로 하고 있어 전체 토지피복 중 산림지가 큰 비중을 차지하고 있는 것이 특징이다(표 IV-2-10).

| 표 IV-2-10 | 연구지역 내 토지피복별 분포 면적

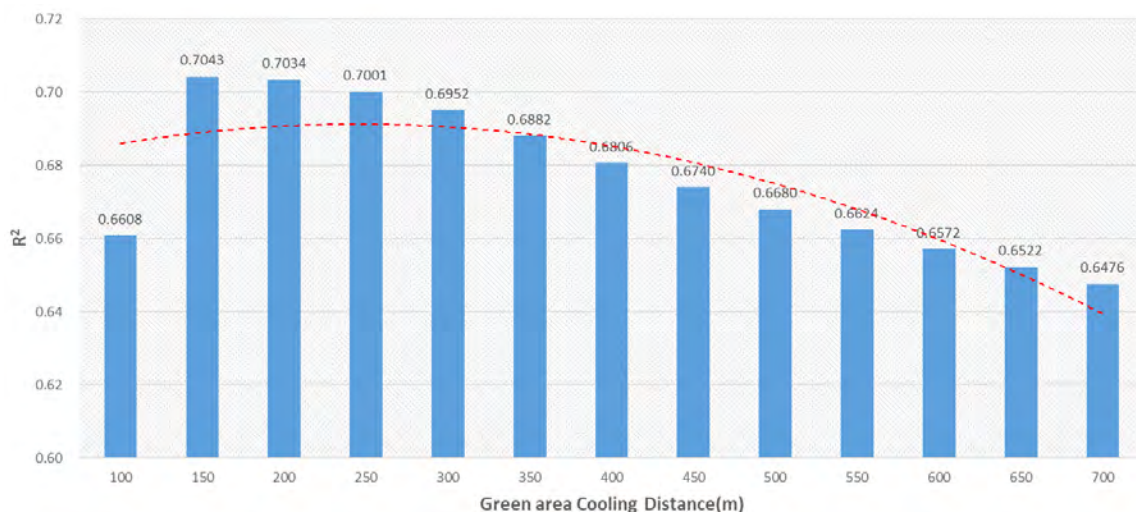
토지피복	면적(km ²)	토지피복	면적(km ²)	토지피복	면적(km ²)
단독주거시설	18.04	경지정리가 된 논	26.93	골프장	10.45
공동주거시설	8.22	경지정리가 안 된 논	64.31	묘지	26.38
공업시설	15.96	경지정리가 된 밭	4.91	기타 초지	204.10
상업업무시설	28.75	경지정리가 안 된 밭	120.72	내륙습지	21.70
혼합지역	0.09	시설재배지	28.90	강기슭	4.57
문화체육 휴양시설	5.06	과수원	8.59	암벽 바위	5.82
철도	2.00	목장 양식장	4.90	채광지역	3.77
도로	144.89	기타재배지	9.27	운동장	2.46
기타교통 통신시설	0.14	활엽수림	1,006.21	기타 나지	89.26
환경기초시설	0.69	침엽수림	401.95	하천	51.63
교육 행정시설	2.09	혼효림	200.76	호소	5.88
기타 공공시설	4.74	자연초지	13.28	-	-

다) 연구 결과

(1) 열섬저감지수(HMI)와 LST 상관관계

InVEST Urban Cooling Model을 통해 산정된 HMI와 Landsat 위성의 LST를 활용하여 유효성 검증을 실시하였다. 연구지역 내 검증 포인트를 랜덤하게 추출하였으며, 전체 검증 포인트는 총 3,080개이며 가장 많은 포인트가 선정된 곳은 활엽수림으로 1,182개였다.

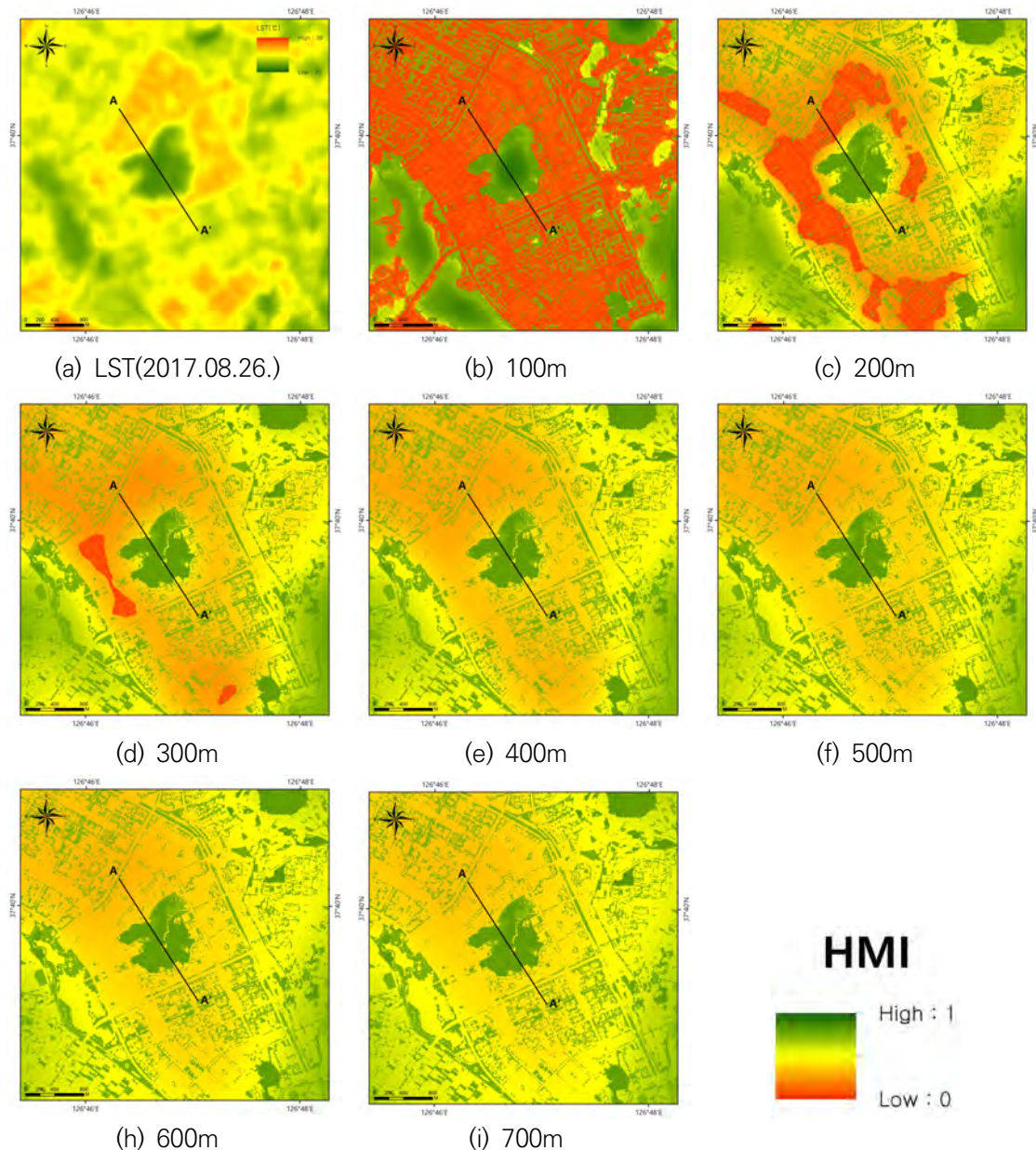
〈그림 IV-2-10〉은 50m 간격의 Green Area Cooling Distance 값을 통해 산출된 HMI와 LST와의 상관관계를 보여준다. Green Area Cooling Distance가 150m 부근에서 HMI와 LST의 상관관계를 나타내는 R^2 값이 0.7043으로 정점을 찍은 후 Green Area Cooling Distance 값이 증가할수록 상관관계가 점차 낮아지고 있는 것을 보여주고 있다. 이는 150m를 기준으로 녹지의 냉각 효과 점차 변화하고 있음을 보여주는 것으로 해석된다.



〈그림 IV-2-10〉 Green Area Cooling Distance 거리별

(2) 도시 녹지의 냉각거리별 HMI 변화

Zawadzka et al. (2021)은 InVEST Urban Cooling Model에서 큰 녹지 공간을 식별하는 데 사용되는 검색 창 크기, 냉각 거리 설정의 엄격함과 관련하여 대규모 녹지의 정의 및 해당 공간을 넘어서는 냉각 용량 추정치에 영향을 미치는 한 가지 중요한 한계를 발견하였다. 그들은 연구에서 100m 냉각 거리가 지표 온도 데이터와 가장 유사한 열 완화 지수를 반환하고 넓은 녹지 공간을 사실적으로 표현하였지만, 80m 미만 또는 100m 초과 냉각 거리를 사용하면 큰 녹지 공간과 그 냉각 용량을 과도하게 표현하여 도시 녹지 공간에 의한 도시 열섬 완화에 따른 생태계 조절 서비스의 가치를 잘못 추정하거나 도시 기온을 실제보다 낮추는 패턴을 보여준다고 하였다. 이를 본 연구에서 확인하기 위해 고양시 정발산 녹지와 구리시 검배근린공원 녹지를 중심으로 냉각 거리별 열 완화 지수와 위성영상에서 획득된 LST와의 profile을 비교하여 보았다(그림 IV-2-11).



| 그림 IV-2-11 | 고양시 정발산 녹지 부근의 LST(2017.08.26.11:10)와 Green Area Cooling Distance 변화에 따른 HMI 변화

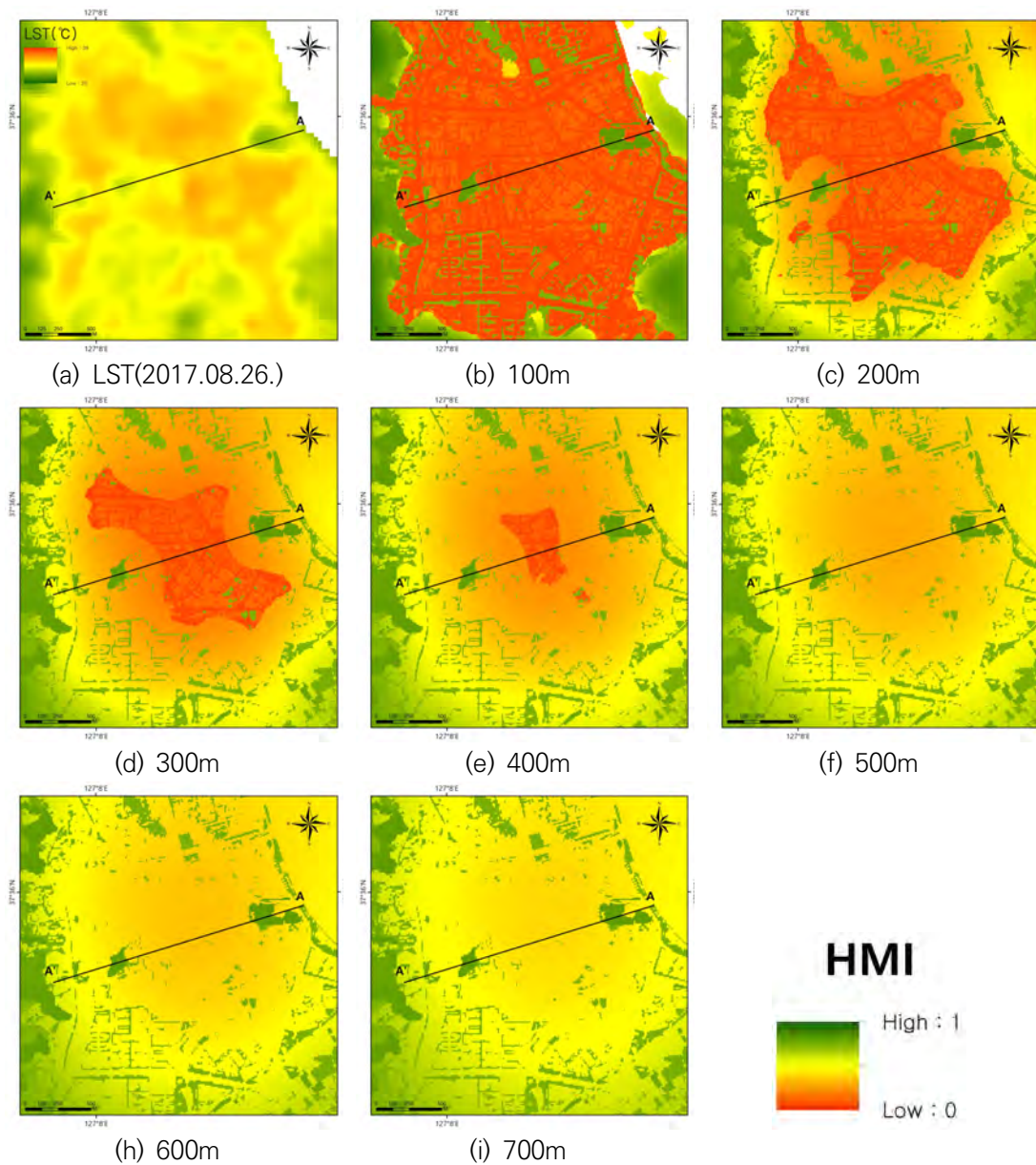
먼저, 고양시 정발산 녹지 지역을 살펴보면 녹지와 인접하여 단독주택지가 밀집해 있고, 그 경계 바깥쪽으로 고층의 공동주거시설이 위치한다. 고층의 공동 주거시설지 및 단독주택지 주변으로 소규모의 녹지가 연속적으로 조성되어 있는데, 저층의 단독주택지보다 고층의 공동 주거시설지에서 비교적 넓은 녹지 공간을 보여주고 있다. 이러한 토지이용의 분포(공동 주거시설지 및 단독주택지에 조성된 연속적인 소규모 녹지)는 LST에도 영향을 미치는 것으로 보이는데, 고층의 공동 주거시설지 보다 저층의 단독주택지에서 LST가 높게 나타나고 있다. 열 완화 지수의 경우 냉각 거리가 200m 부근에서 LST profile과 유사한 경향을 보여주고 있으며, 그 이상의 냉각 거리에서는 과도한 열 완화 형태를 보여주고 있다. 또한 100m 미만에서는 열 완화를 전혀 모의하지 못하는 것으로 나타난다(그림 IV-2-12).



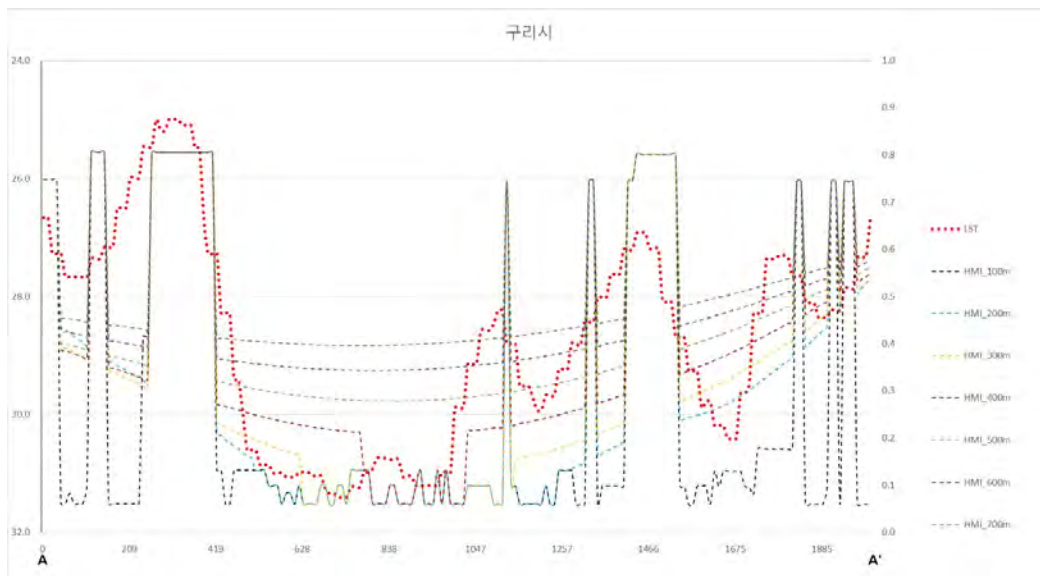
[그림 IV-2-12] 냉각 거리별 열 완화 지수 및 LST의 profile 비교(고양시 정발산 녹지)

다음으로, 구리시 검배근린공원 녹지 지역을 살펴보면 녹지와 인접하여 저층의 공동주택지가 밀집해 있고, 부분적으로 고층의 공동주거시설이 위치한다. 구리시 검배근린공원 인근 지역은 고양시와는 다르게 저층의 공동 주택지 부근에는 연속적인 녹지는 보이지 않는다(그림 IV-2-13). 이러한 토지이용의 분포는 고양시와는 다른 형태 열 완화 지수의 분포를 보여주고 있다. 고양시 정발산 녹지 지역의 경우 연속적으로 조성된 녹지에 의해 열 완화가 발생하고 있는 것으로 모의 되었으나, 구리시 검배근린공원 녹지 지역에서는 소규모 녹지에 의한 열 완화는 거의 모의 되지 않았다. 열 완화 지수의 경우 냉각 거리가 200m 부근에서 LST profile과 유사한 경향을 보여주고 있다(그림 IV-2-14). 이는 고양시의 그것과 매우 유사한 특성을 띠는 것으로 보인다. 또한, 200m 이상의 냉각 거리에서는 과도한 열 완화 형태를 보여주고 있으며, 100m 미만에서는 열 완화를 전혀 모의하지 못하는 것도 매우 유사하다.

두 지역의 사례를 통해 Zawadzka et al. (2021)의 연구에서 보여주었던 InVEST Urban Cooling Model의 한계가 동일하게 나타났지만, 그 한계 범위는 서로 다르게 나타남을 보여주고 있다. 이러한 사실은 특정 도시 내 녹지의 냉각 용량을 추정하는 데 있어 변수가 매우 많음을 보여주고 있다.



| 그림 IV-2-13 | 구리시 검배근린공원 녹지 부근의 LST(2017.08.26.11:10)와 Green Area Cooling Distance 변화에 따른 HMI 변화



| 그림 IV-2-14 | 냉각거리별 열 완화 지수 및 LST의 profile 비교(구리시 검배근린공원 녹지)

4) 고찰 및 결론

본 연구를 통해 InVEST Urban Cooling Model을 이용하여 도시 녹지의 열 완화 가능 거리를 도출할 수 있었으며, 우리나라의 경우(연구지역에 한정되지만) 녹지에 의한 냉각 효과가 국외에 비해 더 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

이러한 차이는 기본적으로 연구지역으로 사용된 시군의 도심지가 산지 사이의 좁은 곡을 따라 위치하고 있고, 도시 내에서 비교적 면적이 큰 녹지(> 2ha)라 하더라도 주변 도심보다 고도가 높은 구릉성 산지로 구성되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 녹지의 해발고도 차이에서 오는 기온 분포 기울기의 차이는 위성영상에서 획득된 LST를 통해서도 확인된다. 도시 외곽지역의 해발고도가 높은 지역의 경우 InVEST Urban Cooling Model에서 모의된 HMI보다 LST에서 얻어진 온도분포의 기울기가 훨씬 크게 나타난다. 즉, 도심지와 주변 산지와의 고도차가 높은 지역에서 본 모델을 이용하여 얻어진 도시 온도 분포도(HMI 자료를 얻기 위한 중간 단계에서 생성되는 자료 중 하나) 자체에 큰 오류를 내포하고 있는 것이다.

이를 통하여 InVEST Urban Cooling Model을 이용한 도시 녹지의 열 완화 능력을 살펴보기 위해서는 본 모델의 적용 범위를 도심지와 주변 산지와의 고도차가 높지 않은 지역이나, 비교적 넓은 평지에 있는 도심지에 대해 제한적으로 적용해야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 연구에 사용된 자료의 공간해상도의 차이(위성영상과 토지피복도의 해상도 차이)로 인해 세밀한 분석이 불가능하였다. 이러한 미비점을 보완하기 위해 추후 연구에서는 산지가 비교적 적은 도심지를 대상으로 무인항공기 탑재 열화상 센서를 이용하여 고해상도의 자료를 생산한 후 InVEST Urban Cooling Model과 비교하여 본 모델의 유용성을 고해상도로 검토해보고자 한다.

3 생태계서비스 대국민 인식조사와 수요지표 평가체계 수립 연구¹⁵⁾

가. 연구 배경 및 목적

과거 국내·외 생태계서비스 평가연구는 공급량 파악을 위주로 활발히 이루어져 왔으나(Burkhard et al., 2012; Mensah et al., 2017; 국립생태원, 2018; 국립생태원, 2019; 국립생태원, 2020), 인간사회의 중요성에 대하여 언급되면서(Gissi et al., 2015) 생태계서비스 프로세스를 구성하는 서비스 공급, 전달, 수요, 혜택 개념을 포괄하는 개념에 대한 연구가 증가하는 추세다(Wei et al., 2017; Ritzema et al., 2016; Wang et al., 2013).

생태계서비스의 혜택에 대해 공급과 수요의 불일치 여부를 파악하는 것이 환경계획 및 지속 가능한 생태계서비스 관리에서 매우 중요한 부분으로 작용하고 있으며(Wei et al., 2017), 기존의 공급지표와 연계할 수 있는 국민 인식 기반 수요지표 개발의 필요성이 대두되기도 한다.

국내에서 진행하고 있는 생태계서비스 연구는 공급에 대한 분석과 생태계서비스에 대한 대국민 인식 제고를 위한 연구 위주로 진행되었으나, 최근 유럽 등 주요 선진국들의 생태계서비스 연구 방향은 생태계서비스 수요평가에 근거한 체계적인 자연환경 정책을 수립하는데 주안점을 두고 있다.

최근의 국내 도시계획 및 정책에 중요하게 작용하는 환경영향평가와 전략환경영향평가 의사결정과정에서 생태계서비스에 대한 평가는 개발 계획자들과 지역주민들에게 도움을 주는 연구들이 점진적으로 증가하고 있다(황은주·전재경, 2017; 최지영 외, 2019; 박윤선 외, 2021).

생태계서비스 공급-수요평가 체계는 생태계 프로세스와 사회적 수요의 상호관계를 포괄하는 개념으로, 공급-수요 불일치 여부 파악을 통하여 도시 내 인간들의 웰빙과 생태계의 건강한 균형 유지를 위한 자연 기반 해법 및 생태계 관리 방안 마련에 기여하고 있다(Hashimoto and Morimoto, 2019; Cortinovis et al., 2021).

본 연구는 생태계서비스에 대한 기존의 접근방법에서 충분히 고려되지 못하였던 이용자 수요를 반영하기 위하여 생태계서비스 대국민 설문 문항 지표를 개발하고, 이를 적용하여 전 국민을 대상으로 생태계서비스에 대한 인식 파악과 함께 이를 바탕으로 생태계서비스 수요지표를 활용한 향후 관련 정책 시사점 제시를 목적으로 하고 있다(그림 IV-3-1).

15) 본 과제 위탁연구의 일환으로 수행된 [생태계서비스 대국민 인식조사와 수요지표 평가체계 수립 연구](서울대학교 손용훈 교수팀)의 연구결과를 요약하여 작성되었음.



| 그림 IV-3-1 | 연구의 목적

나. 연구 내용 및 방법

본 연구는 생태계서비스 수요지표 개발, 생태계서비스 수요지표 적용, 생태계서비스 공급-수요 평가체계 구축 및 정책 활용방안 제시들로 구성된다. 먼저, 수요지표 개발을 위하여 국내·외 생태계서비스 수요 관련 문헌 검토를 통해 생태계서비스 수요 개념을 정립하고 기존 공급 중심의 생태계서비스 평가지표 항목과 연관성을 갖는 예비 수요지표 목록을 구축하였다. 생태계서비스 평가지표 목록을 토대로 소셜미디어 분석을 위한 검색키워드를 선정 한 후, 검색어 관련 블로그 글을 취합하고 이를 대상으로 텍스트마이닝 기법(토픽 모델링 및 잠재 디리클레 할당 기법)을 적용하여 생태계서비스 지표별로 대중의 주요 인식과 수요를 기술문으로 작성하였다. 인식과 수요를 정리한 기술문에 대해 지역활동가의 의견을 수렴(FGI, Focus Group Interview)하여 생태계서비스 수요지표 사전 설문 항목을 선정하고, 도시 및 근교 지역, 농촌지역, 자연환경보전지역 실거주자 200명에게 배포하였고, 해당 설문 결과에 대해 탐색적 요인분석을 시행하여 생태계서비스 수요지표에 대한 평가 문항을 재분류하고, 크론바흐 알파 계수를 기반으로 한 항목별 내적 일관성을 검증하여 통계적으로 유효한 문항을 도출하였다.

유효 문항 검토를 위해 전문가 FGI를 실시하여 생태계서비스 유형별 문항의 균형, 용어의 적합성, 공간적 범위 등을 검토하고 전 기초 문항을 최종적으로 검토하였으며, 또한 추후 특정 지자체의 개별 분석의 활용도 증대를 위하여 모집단인 전국 인구(5,178만 명)를 대상으로 신뢰수준 95%, 표본오차 1.25% 기준으로 표본 크기를 6,000명으로 설정하고 온라인 채널을 활용하여 설문을 배포하였다.

설문 결과 분석을 위해 행정구역별 평가 결과의 평균 차이 검정 및 요인분석, ANOVA 분석, 사후분석(Scheffe)을 통한 지역 생태계 유형, 생애주기 및 성별 등의 인구 속성, 체험 여부, 거주 행정구역에 따른 각 생태계서비스 수요지표에 대한 만족도 차이를 검정하였으며, 더 나아가 전문가 간담회 개최 및 사례 검토를 통하여 결과에 대한 인문·사회적 접근, 환경적 접근 및 중요도-만족도 분석(ISA, Importance-Satisfaction Analysis) 기반 활용방안을 제시하는 등 정책적 활용방안에 대한 검토들도 수행하였다.

다. 생태계서비스 수요지표 개발

Burkhard & Maes (2017), Wolff et al. (2017), Maes et al. (2018), Dworczyk & Burkhard (2021) 등의 문헌을 중심으로 기존 생태계서비스 수요 연구의 한계 및 생태계서비스 전체의 흐름, 유형, 평가 사례 등을 검토하고 수요 개념을 정립하였다. 본 연구에서는 기존 생태계서비스 평가 공급지표를 토대로 하여, 빅데이터 분석 및 활동가-전문가 FGI를 통하여 국민 체감형 수요지표를 도출하였다(표 IV-3-1).

| 표 IV-3-1 | 공급지표와 수요지표

ES	항목	기존 공급지표(국립생태원)	수요지표/만족도
공급	식량	식량 생산액	농업/식량 공급
	물 공급	물 공급량	-
조절	대기 조절	대기오염물질 흡수량	대기 조절/미세먼지
		미세먼지 흡수량	대기 조절/미세먼지
	기후조절	연간 CO ₂ 흡수 및 저장량	탄소흡수
		열섬 조절 효과	폭염
		도시 홍수 조절	재해방지
	침식조절	토양 보전량	-
	수질조절	인, 질소 저류효율	-
	수분	수분 면적	벌 수분
문화	여가	PUD(Invest)	공원/생태관광/생태교육
		문화접근성	
		공원접근성	
지지	생물다양성	생물 서식처 제공 기능	생물다양성

빅데이터 분석은 국민 체감형 생태계서비스 이슈 도출을 위하여 진행되었으며, 국내 개인들의 의견을 자유롭게 표현하고 공유하는 네이버 블로그(blog)의 내용(문자)을 연구 자료로써 활용하였으며, 빅데이터 및 텍스트 분석 모델을 통해 다양한 생태계서비스 지표와 관련된 블로그 글을 분석하였고, 국내 생태계서비스에 관한 일반인들의 다각적인 인식들에 대하여도 탐색하였다. 문헌 연구와 빅데이터를 통해 도출한 수요지표 목록 중 기존 지표와의

위계, 용어의 적합성, 공간의 범위 등을 검토하고자 지역활동가와 전문가의 의견 등을 수렴하였다. 최종적으로 도출한 대국민 생태계서비스 평가 설문 문항은 총 40개로 생태계서비스 수요 만족도 질문 21문항, 인구통계학적 질문 7문항, 일상생활에서의 생태계서비스 경험 및 인식 질문 11문항을 포함한다. 수요 만족도 질문은 공급서비스 2문항, 조절서비스 7문항, 문화서비스 11문항, 지지서비스 2문항으로 구성된다(그림 IV-3-2).

① 인구통계학적 질문(7문항)

성별

연령

거주지
광역시·도)시·군·구
(안양/수원 → 읍면동)

거주기간

최종학력

직업

소득수준

- 조사대상: 전국 만20~70세
- 표본오차: $\pm 1.29\%$ (95%신뢰수준)
- 조사기간: '22.09.16. ~ 09.30.
- 표본 수: 7,294명
- 조사방법: 온라인 패널조사

② 일상생활에서의 생태계서비스 경험 및 인식(11문항)

경험

거주지역
유형

지역내 중요
자연장소 유형

자연환경
방문 빈도

거주공간의
쾌적성/만족 정도

자연환경의
건강증진 효과

인식

중요 자연환경
유형 순위

중요 자연환경
효능 순위

생태계서비스
개념 인지 수준

중요 생태계서비스
유형 순위

기후변화로부터의
안전 여부

③ 생태계서비스 수요 만족도 평가(21문항)

항목	질문	만족도 (평균)	Q25	공원: 운동기능제공	3.40
Q15	식량공급: 도시농업	2.94	Q26	공원: 생태체험 기능 제공	3.10
Q16	식량공급: 농업활동	2.97	Q27	공원: 여가활동 장소	3.26
Q17	탄소흡수: 도시숲	3.06	Q28	공원: 가벼운 운동기회	3.37
Q18	폭염: 녹지공간의 저감기능	3.08	Q29	생태관광: 습지 및 수변 향유기회 제공	3.00
Q19	재해방지: 도심 생태환경 중심 관리 및 기술	2.98	Q30	생태관광: 마을의 기능	3.06
Q20	재해방지: 도시숲, 도시홍수	3.11	Q31	생태관광: 풍경감상 산림 및 숲길	3.21
Q21	벌 수분: 도시녹지 수분활동기능	2.86	Q32	생태교육: 기관, 시설	2.88
Q22	대기조절/미세먼지: 도시녹지 환경개선효과	3.11	Q33	생태교육: 체험활동 및 프로그램	2.93
Q23	대기조절/미세먼지: 자연환경 쾌적성 건강기능	3.25	Q34	생물다양성: 서식지 복원, 보전활동	2.95
Q24	공원: 국립공원 향유기회 제공기능	3.21	Q35	생물다양성: 서식환경 보전 위험대처	2.98

| 그림 IV-3-2 | 설문조사 개요 및 설문 문항

라. 국민 인식 기반 생태계서비스 수요 평가

설문조사 기간은 2022. 9. 16.~9. 30.로 총 15일간 전국에 거주하는 만 20~70세 남·여를 대상으로 하였고, 온라인 설문 형식으로 진행하였다. 7,294명의 응답자를 확보하였으며, 거주지가 불분명한 응답자 16명을 제외한 7,278명을 대상으로 분석을 진행하여 60대 이상 응답자를 제외한 나머지 연령대와 응답자 성별, 거주지(도·광역시)별로 비례 할당을 하였다(그림 IV-3-3).



그림 IV-3-3 | 응답자 인구·사회학적 특성

주거 공간을 도시로 선택한 응답자는 82%(5,965명)로 비중이 가장 높았으며, 이어서 도시 근교 11%(833명), 농촌 7%(496명) 순으로 나타났다. 응답자들이 가장 중요하게 인지하는 지역의 자연환경 유형은 공원 36%(5,334명), 산림 29%(4,198명), 하천/습지 등 수 공간 20%(2,894명), 바다 7%(958명), 들/초지 4%(629명), 기타 2%(291명), 경작지 2%(284명) 순으로 경작지의 비중이 가장 낮았다. 다만, 자연환경을 방문하는 빈도는 월 1회 미만의 비율이 36%(2,637명)로 가장 높은 비중을 차지하였다(그림 IV-3-4).

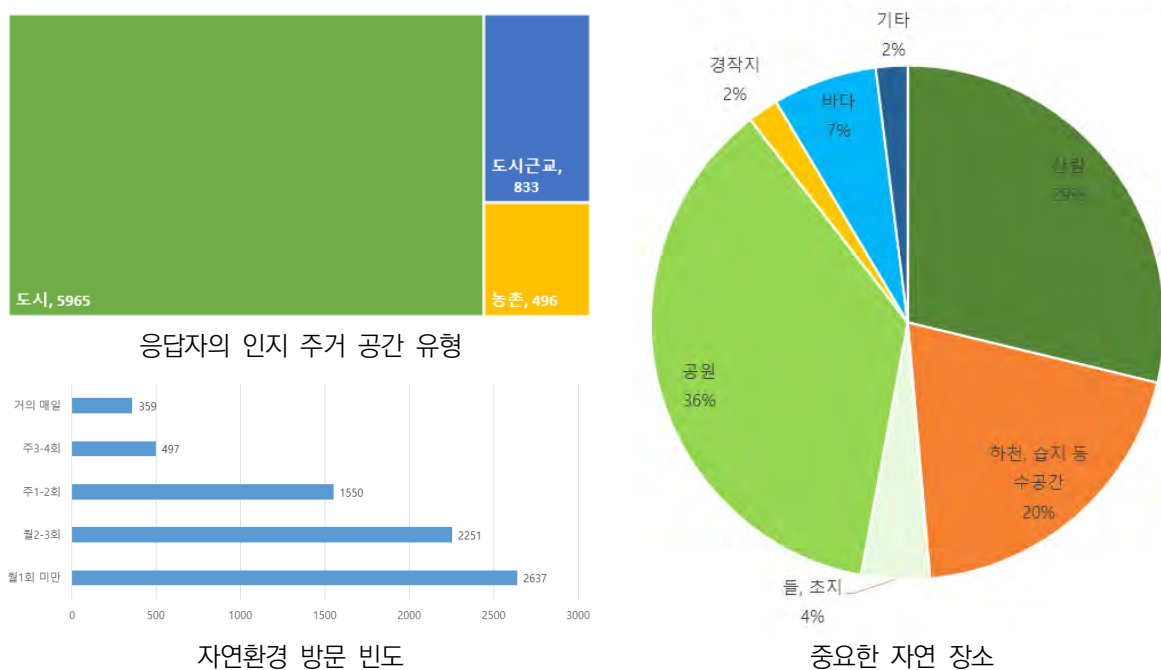
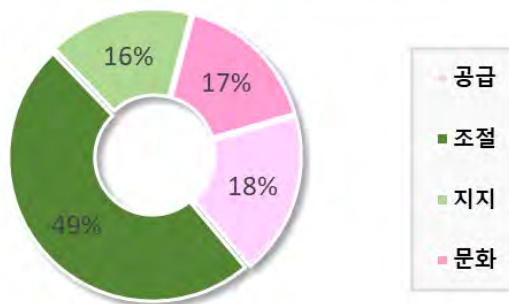


그림 IV-3-4 | 주거 공간 유형 및 방문 빈도, 중요한 자연 장소 응답 현황

대부분 응답자는 보통 이상의 수준으로 현재 거주하고 있는 공간이 가지는 쾌적성에 만족(85%)한다고 답하였으며, 생태계서비스에 대한 인지도 조사 결과 약 64%(4,613명)가 개념에 대해 인지하고 있었다. 응답자들은 생태계서비스의 기능 중 조절서비스를 가장 중요하게 평가(49%)하였으나, 전체 각 문항 평균 만족도를 비교한 결과로는 문화서비스에 대한 만족도가 가장 높았다(그림 IV-3-5).



생태계서비스 기능별 중요도



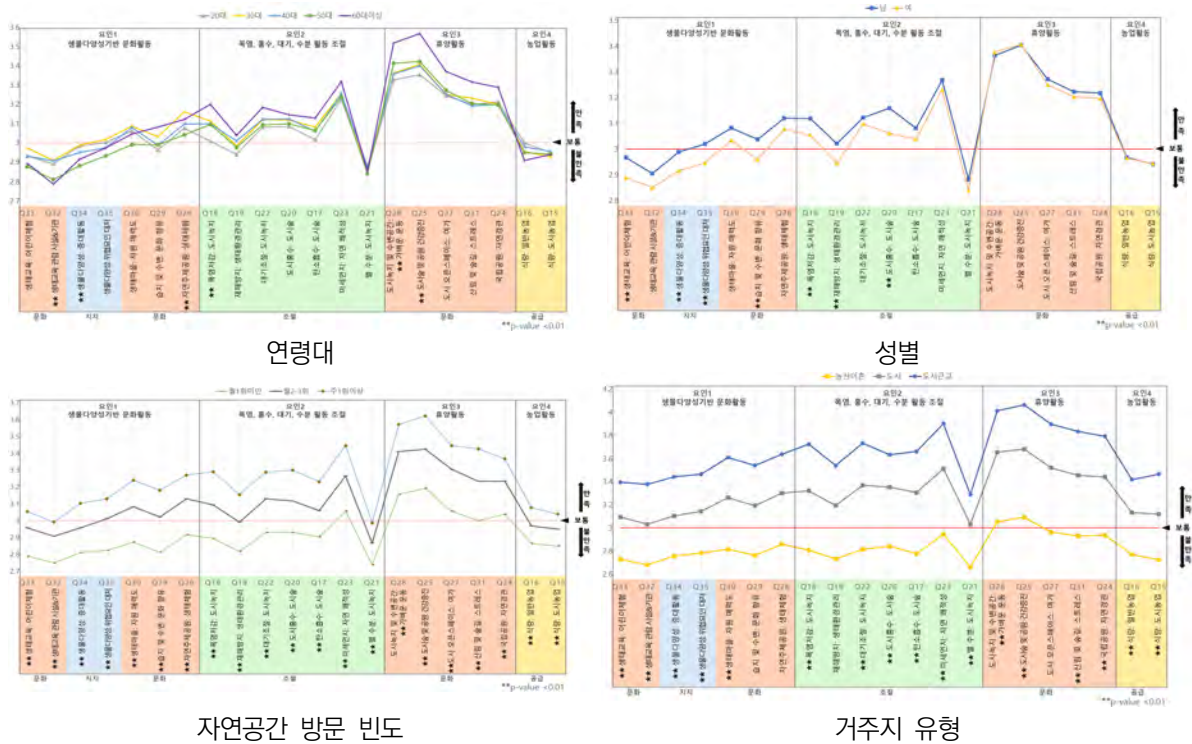
생태계서비스 기능별 만족도(지표 평균값)



생태계서비스 인식을 변화(2019→2022)

| 그림 IV-3-5 | 생태계서비스의 중요도, 만족도, 인식을 응답 현황

총 8개의 인구통계학적 특성에 따른 각 문항(Q15~Q35)의 유효성을 검토하고자 t-test 및 ANOVA test, 사후분석(Scheffe)을 실시하였으며, “교육 수준, 연령대, 성별”에서는 특정 문항만이 통계적으로 유의미했고, “자연공간 방문 빈도, 소득수준, 직업, 거주 지역, 인지 거주지 유형”에 한해 대부분의 문항이 통계적으로 유의미하게 나타났다. 사후분석한 결과, 고등학교 졸업 이하 집단과 대학원 이상 집단의 평가지가 문화 및 조절서비스 부문에서 상이함을 알 수 있었으며, 소득수준의 경우 모든 생태계서비스 부문에서 저소득층과 고소득층의 만족도가 상이하게 나타났다. 직업군에 따른 요인별 응답자 집단의 평균 만족도는 지지, 조절, 문화서비스 부문에서 무직자 집단이 학생, 사무직 종사자에 비해 낮았다. 자연공간 방문 빈도에 따른 요인별 응답자 집단의 평균 만족도는 모든 질문항목에서 차이가 있었으며, 방문 빈도가 높을수록 생태계서비스 만족도가 높았다. 또한, 인지하는 거주지 유형에 따른 요인별 응답자 그룹의 평균 만족도 또한 대다수의 부문에서 상이하게 나타났으며, 농산어촌에 거주하는 응답자의 만족도가 도시 거주자보다 낮았고, 도시 근교 거주자의 만족도 평균이 가장 높았다(그림 IV-3-6).



[그림 IV-3-6] 요인별 만족도 분석

마. 정책 활용 사례

1) 전문가 간담회 결과

대국민 설문조사 결과의 활용방안 도출을 위해 국립생태원 연구진, 서울대학교 연구진, 지역(안산, 안성, 수원) 전문가, 인식 전문가 등이 모여 전문가 간담회를 개최했으며, 이를 통해 실질적 생태계서비스 증대 및 만족도 개선 방안, 후속 연구의 필요성, 현행 연구의 개선점 등을 도출했다. 간담회에서의 의견과 함께 영국의 설문조사 (MENE, Monitor of Engagement with the Natural Environment. 자연환경에 기반한 활동 및 태도에 대한 국가통계), 주성분 분석(PCA), 중요도-만족도 분석(ISA) 사례(Quintas-Soriano et al., 2019; Zhang et al., 2020)를 참고하여 정책 활용방안을 구상했다. 일반적으로 ISA 분석은 중요도와 만족도에 대한 설문 결과를 기반으로 이루어지나 설문 결과가 대부분 만족도와 중요도가 서로 독립적이지 않고 선형관계를 갖는다는 한계점을 가진다(Matzi et al., 2004; Deng, 2007).

이에 따라 생태계서비스 대국민 인식조사에서 도출한 만족도를 자연로그값으로 환산한 후, 전체 응답자의 만족도와 편 상관분석을 실시하여 요소 간의 밀집 경향 및 선형 분포를 방지하는 수정된 IPA(Deng, 2007) 또는 ISA 분석 방법을 적용할 수 있다. 수정된 ISA 분석은 생태계서비스 항목에 대한 응답자 인식의 대응 방안을 4개 영역으로 분할 하여 제시할 뿐만 아니라 생태계서비스 간의 입지 또한 2차원적으로 표현하므로 높은 가시성과 동시에 명확한 의사결정 지원 자료로 활용될 수 있다.

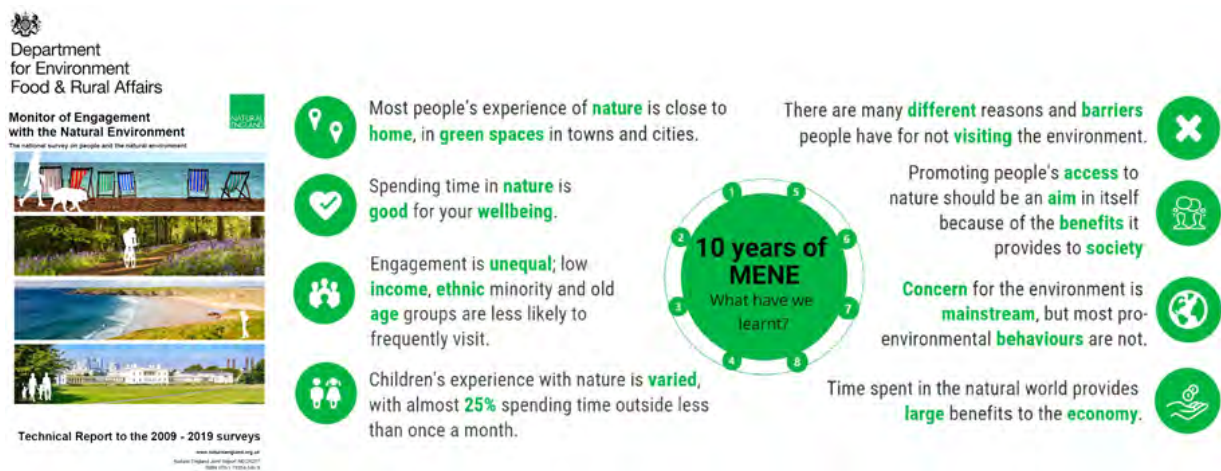
생태계서비스 대국민 인식조사는 응답자의 인문·사회적 속성을 파악하기 위한 다수의 문항을 포함하며 응답자의 성별, 연령대, 교육 수준, 소득수준, 직업군 등을 교차하여 특정 계층을 추려낼 수 있으며, 해당 계층의 생태계 서비스 인식 파악이 가능하다. 또한, 거주 지역은 같으나 소득수준에 따라 생태계서비스 만족도 차이가 크게 발생하는 지역을 대상으로 특정 생태계서비스에 대한 형평성 증대를 위한 근거 자료 마련이 가능하다.

대국민 인식조사의 주기 및 표본 규모 증대는 응답자 거주지의 통계적 유효성을 광역시·도 단위에서부터 시·군·구 단위까지, 더 나아가 읍·면·동까지 개선할 수 있으며, 정밀화된 응답자 주거지 정보는 합리적 정책 결정 근거 자료가 될 수 있다. 응답자의 주거지 파악은 단순히 광역시·도, 시·군·구, 읍·면·동 수준을 넘어 공간계획의 기초 자료가 되는 토지피복과 토지이용 등의 공간 데이터와의 연계할 수 있다. 생태계서비스에 대한 이용자 인식 조사자료가 축적되면 이를 근거로 하여 불평등 개선, 재난 및 재해 예방, 특정 생태계서비스에 대한 만족도 유지·개선을 위해 도시계획 차원에서 개발규제 강화 또는 녹지 공간 조성 등의 정책적 방안 제안이 가능하다.

2) 생태계서비스 분석 기반 해외 사례

가) 영국의 국가통계 활용

영국은 환경식품농무부(DEFRA, Department for Environment, Food & Rural Affairs) 산하의 Natural England 주관으로 국민이 자연환경을 어떻게 이용하느냐에 대한 경향을 파악하기 위해 2009년부터 현재까지 설문조사를 수행하고 있다. MENE의 주목적은 이용자 수요에 맞는 자연 기반 서비스를 제공하기 위한 근거 자료 구축 및 자연환경 보전에 관한 정책 수립이라고 할 수 있다. 이를 위해 Natural England는 국민이 자연을 어떻게 이용하고 누리는지, 자연환경 보전의 동기부여는 무엇인지, 다양한 공간 규모 및 특정 집단에서 나타나는 자연 환경의 이용에 대한 경향이 어떻게 나타나는지를 파악하기 위한 정기적 모니터링을 진행하고 있다(그림 IV-3-7. Natural England, 2019).



[그림 IV-3-7] 영국 자연환경 기반 활동 및 태도에 대한 국가통계(MENE) (Natural England, 2019)

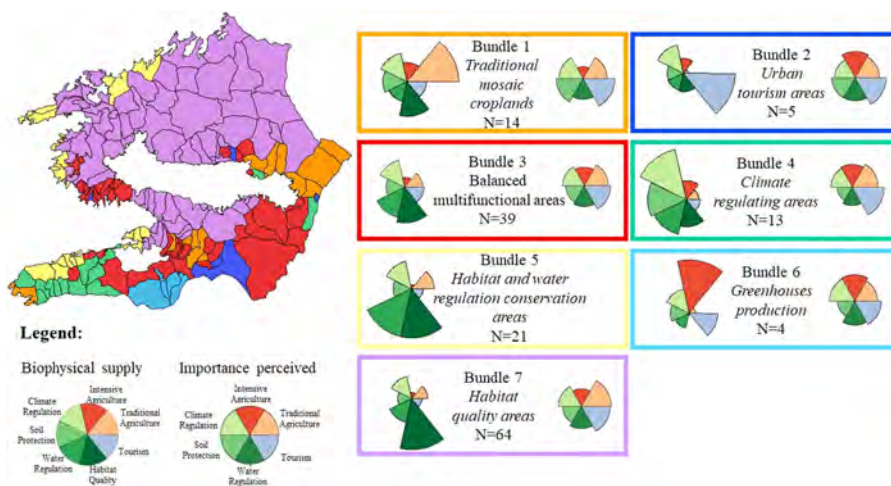
조사의 개념적 범위는 영국 시민이 시간을 보내는 공원, 도시하천, 그 외 자연지역을 포함하며, 도시 및 근교의 오픈스페이스를 모두 포함한다. 조사를 위해 영국 전 지역에 매주 약 2,000명을 대상으로 동일 문항을 배포하며, 이를 통해 안정적 데이터 구축과 시계열 분석이 가능하다. 조사 문항은 크게 옥외 공간 활동 유형, 방문행태, 방문 이유, 방문 만족도, 자연에 대한 태도(The nature connection index) 등의 본질적 질문으로 구성되었고 일반인이 공감하기 쉬운 언어로 작성되어 있다.

10년간의 설문 결과 자연 친화적 공간 특성, 자연에서의 여가활동 효과, 자연 혜택의 불평등을 유발하는 인구 통계학적 요인 파악, 사람들이 자연 친화 공간을 방문하지 않는 원인 해석, 접근성을 고려한 자연 친화 공간 조성의 중요성 근거, 환경을 대하는 인간의 실질적 행태를 파악할 수 있었으며, 이러한 기반 자료를 정책 결정 과정에 적용한다.

나) 주성분 분석(PCA) 및 중요도-만족도 분석(ISA) 활용 사례

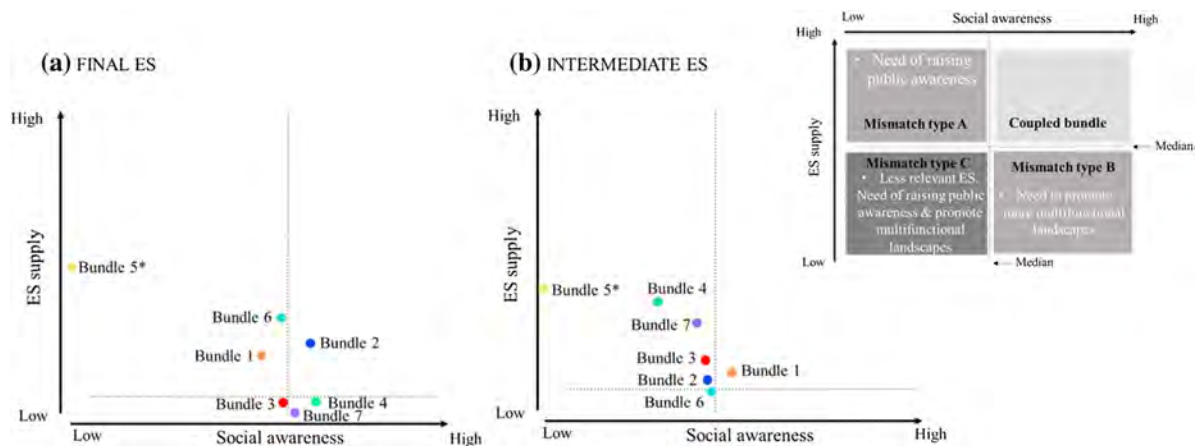
(1) 스페인 지중해 연안 경관 변화 (Quintas-Soriano et al., 2019)

스페인 동남부 지역의 경관이 생태적·사회적 측면에서 어떻게 변화했는지 파악하기 위해 생태계서비스 지도화와 번들을 통한 유형화를 했다. 이베리아반도 내 26개 지자체를 무작위로 선정하여 18세 이상 441명을 대상으로 거리 인터뷰를 진행하였고, 응답자와 대상지의 관계, 인간을 위한 생태계서비스 중요도에 대한 인식, 토지이용 유형에 대한 인식, 일반적 환경 의식 및 사회·인구 특성을 비롯하여, 총 8개의 생태계서비스(정통방식 농업, 생산 위주 농업, 기후조절, 공기 질, 물 조절, 토양 보호, 관광, 지역 정체성) 중 중요하다고 생각하는 4개의 생태계서비스 기능을 선정하도록 하였다. 이를 기반으로 응답자들에게 인지된 각 생태계서비스의 중요도를 파악하고, 공급 여부에 대하여 파악하고자 생물물리학적 공간정보를 활용하여 지도화했으며, 모든 값을 정규화한 후 주성분 분석을 통해 총 7개의 번들을 구축하고 지도화했다(그림 IV-3-8).



□ 그림 IV-3-8 □ 생태계서비스 공급과 인지된 중요도 번들 비교 사례
(출처: Quintas-Soriano et al., 2019)

공급과 인지된 중요도 연관성을 파악하기 위해 번들을 4개 유형으로 축소하여 “높은 공급과 인지된 중요도가 높은 유형”, “높은 공급과 인지된 중요도가 낮은 유형”, “낮은 공급과 인지된 중요도가 높은 유형”, “낮은 공급과 인지된 중요도가 낮은 유형”으로 구분하였다(그림 IV-3-9). 이를 통해 각 지역 사회가 필요로 하는 특정 생태계서비스를 도출했으며, 개선이 필요한 서비스 관리 방안, 문화적 영향에 따른 필요성과 수요, 대체 자원 등의 차이를 언급하며 정책 활용방안으로 결과를 확장 시켰다.



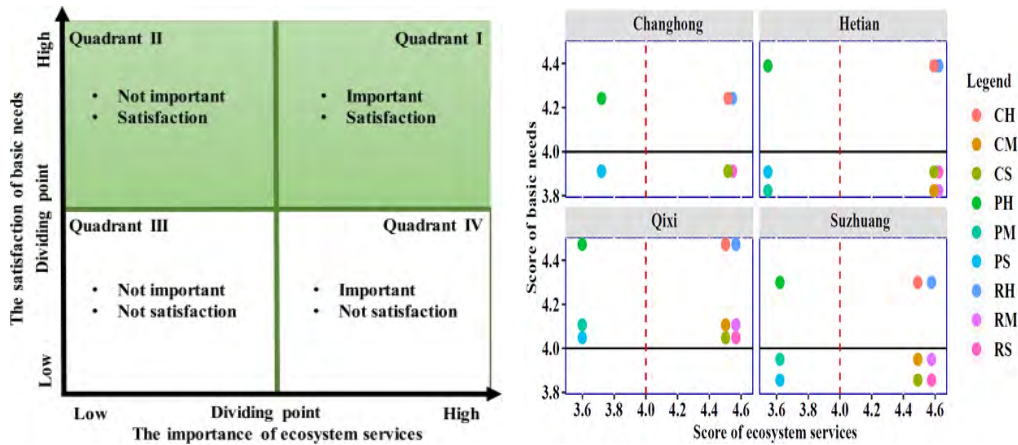
| 그림 IV-3-9 | 최종 및 중간 생태계서비스에 대한 공급 수준 및 대중 인식을 기반으로 한 생태계서비스 번들 특성화 (출처: Quintas-Soriano et al., 2019)

(2) 중요도-만족도 분석을 통한 인식 유형화 (Zhang et al., 2020)

중요도-만족도 분석(ISA)은 원래 Martilla & James (1977)에 의해 개발된 IPA 분석에 근거하여 Yang (2003)에 의해 개발되었으며, 원래 서비스 분야의 시장 경쟁 입지를 파악하거나, 교육계, 장기치료, 온천 산업 등과 관련한 개선 및 전략 개발을 위한 기회를 도출하기 위해 주로 활용되며, 설문 기법을 통해 일반적으로 이루어진다 (Shun-Hsing and Chen, 2011; Chen et al., 2020). ISA는 사람의 인식을 2차원적으로 살펴볼 수 있는 매트릭스를 제공해줄 뿐만 아니라 보호지역의 질 관리에도 활용되며, 특히 관리의 목표가 불명확한 생태계서비스 분야에서 ISA 개념 적용을 통해 우선 관리 대상 순위 도출이 가능하다. Zhang et al. (2020)은 중국의 Qianjiangyuan 국립공원 시험림과 시험림을 포함하는 4개 지역에 거주하는 650명의 지역주민을 대상으로 어떤 생태계서비스 관리가 시급한지, 잘 관리되고 있는지를 파악하고자 ISA 분석을 위한 설문지를 배포하였다.

분석 결과를 통해 ISA 기반 프레임워크를 구축하였고, 생태자산 자체의 생태계서비스가 아닌 인간과 환경이 상호작용하며 발생하는 실질적 생태계서비스를 파악하여 국립공원 시험림을 지속 가능하게 보호하기 위한 관리 방안도 제시하였다. 프레임워크의 핵심은 각 생태계서비스에 대해 방문객들이 인지한 중요도와 수요에 대한 만족도를 도식화하여 보호지역의 보존과 개발 간의 균형을 유지하기 위한 기존 정책 성과를 평가하는 것으로, 프레임워크는 4개 영역으로 구분되며 각 중요도-만족도에 따라 표본 설정을 하였다(그림 IV-3-10(좌)). 다음으로 평가를 위해 지역별 표본 인구를 파악하고 연령대별 중요도-만족도 평균을 산정한 후 ANOVA 분석을 통해 유의한 생태계서비스를 도출했다. 유의한 생태계서비스를 대상으로 평균값을 배치하고, 각 영역을 구분하는 기준을 5점 리커트 척도 중 4(만족 또는 중요)로 선정하여 Mental map을 구축했다(그림 IV-3-10(우)). Mental map은 성별,

교육 수준 등 인문·사회적 특성에 따라 변화했으며, 이를 기반으로 보호지역의 보전과 개발의 균형 유지를 통한 지속가능발전목표 달성 방향을 제시했다.

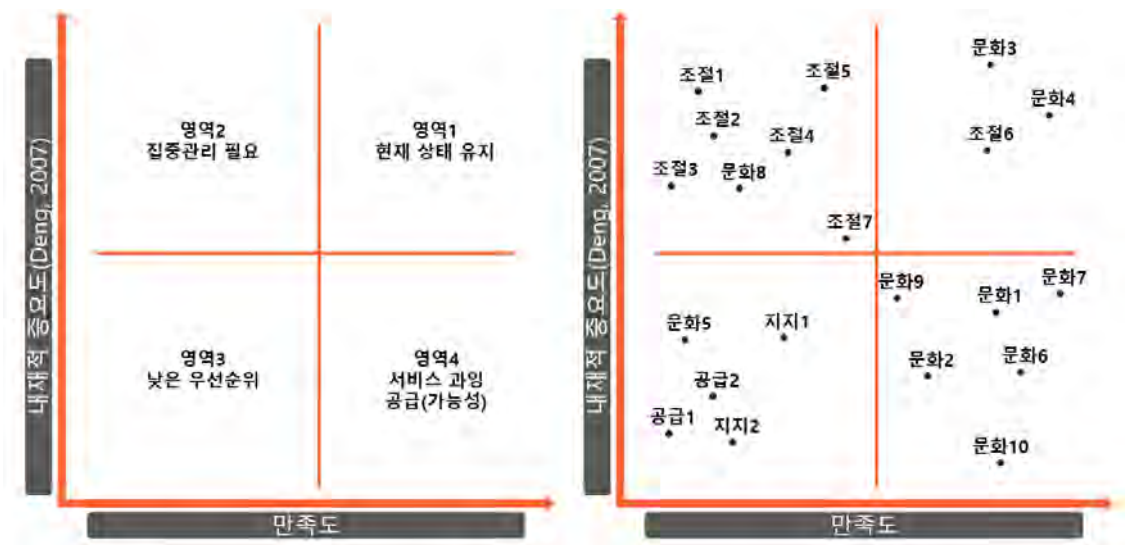


| 그림 IV-3-10 | 보호지역 관리 ISA 프레임워크(좌)와 Mental map(우)
(출처: Zhang et al., 2020)

바. 정책적 활용방안

1) 수정된 중요도-만족도 분석(ISA) 적용방안

ISA의 기본 원칙은 만족도를 X축에, 중요도를 Y축에 설정하여 각 상품 또는 대상의 만족도와 중요도를 교차시켜 도식화한 후 영역을 사분면으로 구분하여 각 영역에 있는 인자들의 전략적 수립방안을 제시하는 것이다(Kim & Son, 2018). 통상적으로 4분할 된 영역을 IPA grid 또는 ISA grid라고 칭하며 각 영역의 차이점은 다음과 같다. 영역 1은 만족도와 중요도가 높으며, 현재 상태 유지가 필요한 영역, 영역 2는 만족도가 낮으나 중요도가 높으므로 집중적인 관리가 필요한 영역, 영역 3은 중요도와 만족도가 둘 다 낮으므로 우선순위에서 밀리는 영역, 영역 4는 중요도는 낮으나 만족도가 높으므로 과잉이 발생하는 영역이라고 할 수 있다(그림 IV-3-11(좌)). 다만, 일반적으로 ISA 분석은 중요도와 만족도에 대한 설문 결과를 기반으로 이루어지나 설문 결과는 대부분 만족도와 중요도가 서로 독립적이지 않고 선형관계를 갖는다는 한계점을 가진다(Matzi et al., 2004; Deng, 2007). 이에 따라 이번 설문조사에서 도출한 만족도를 자연로그값으로 환산한 후, 전체 응답자의 만족도와 편 상관분석을 실시하여 요소 간의 밀집 경향 및 선형 분포를 방지하는 수정된 IPA(Deng, 2007) 또는 ISA 분석 방법을 적용할 수 있다(그림 IV-3-11(우)).

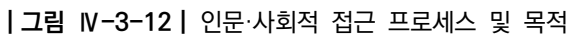


| 그림 IV-3-11 | ISA grid에 의해 구분된 4개 영역 및 예시

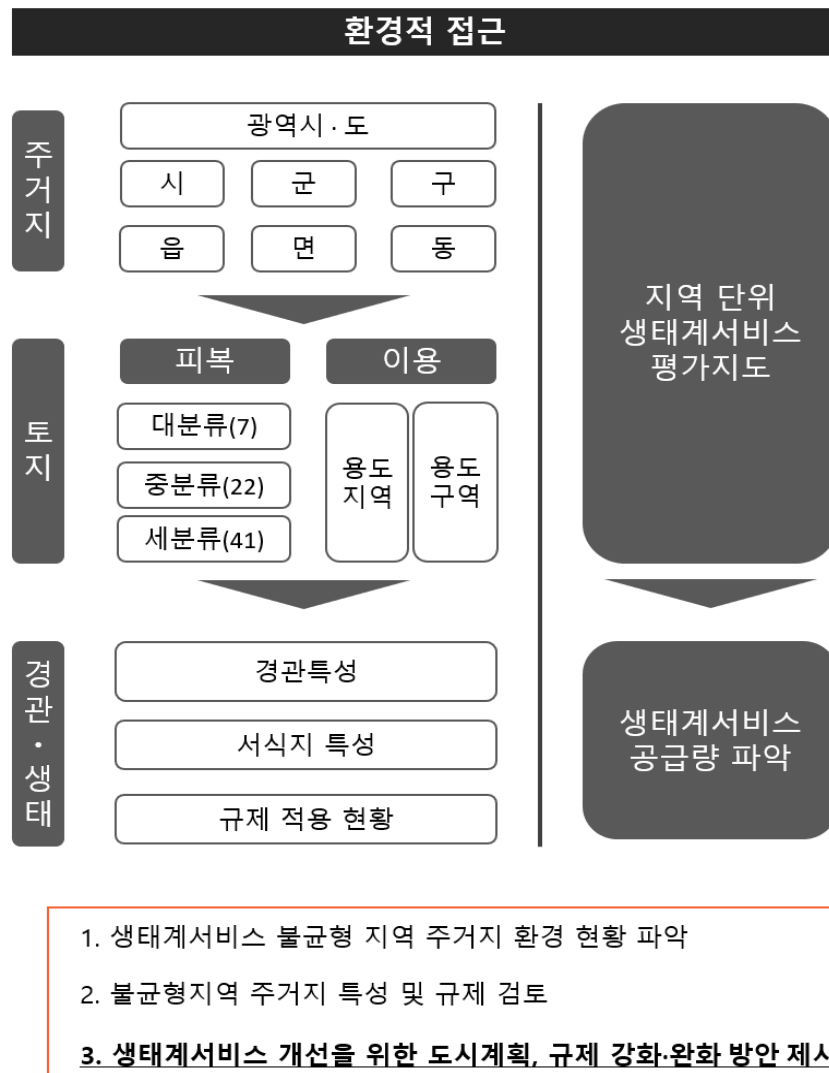
수정된 ISA 분석에 기반한 ISA grid는 특정 지역 또는 특정 집단을 대상으로 적용할 수 있으며, 각 영역에 속한 인자(항목별 생태계서비스)를 참고하여 정책 결정 기반 자료로 활용할 수 있다. 예를 들어, 특정 동 단위 거주자 집단을 대상으로 수정된 ISA 분석을 적용할 경우, 영역 1에 속한 문화4 ‘거주하는 지역에서 자연 속 다양한 여가 활동 장소를 제공하는 도시 녹지 및 수변공간의 기능에 대해 얼마나 만족하십니까?’라는 해당 응답자가 도시 녹지 및 수변공간이 여가활동의 장소로서 중요하며, 만족스럽게 기능하고 있다고 인지하고 있으므로, 현재 해당 동의 환경적 조건 유지가 적합함을 의미한다. 이처럼 수정된 ISA 분석은 생태계서비스 항목에 대한 응답자의 인식에 대응하는 방안을 4개 영역으로 나누어 제시할 뿐만 아니라 생태계서비스 간의 입지 또한 2차원적으로 표현하므로 높은 가시성과 동시에 명확한 의사결정 지원 자료로 활용될 수 있다.

2) 인문·사회적 조건에 따른 활용방안

생태계서비스 대국민 인식조사는 응답자의 인문·사회적 속성을 파악하기 위한 다수의 문항을 포함하며, 응답자의 성별, 연령대, 교육 수준, 소득수준, 직업군 등을 교차하여 특정 집단을 추려낼 수 있으며 해당 집단의 생태계서비스 인식 파악이 가능하다(그림 IV-3-12). 특히, 집단별 환경 불평등 해소를 위해 생태계서비스 만족도에 대해 저조하게 응답한 특정 집단 파악이 가능하며, 나아가 특정 집단이 분포한 지역 또한 유추할 수 있다. 취약 집단에 해당하는 저소득층인 동시에 교육 수준은 낮은 노약자의 경우 특정 생태계서비스에 대한 만족도가 높을 수 있으며, 해당 집단의 만족도가 다른 지역에 비해 상대적으로 낮게 나타나는 지역에 대한 환경 여건 제고가 가능하다. 또한, 거주 지역은 같으나 소득수준에 따라 생태계서비스 만족도 차이가 크게 발생하는 지역을 대상으로 특정 생태계서비스에 대한 형평성 증대를 위한 근거 자료 마련이 가능하다. 대국민 인식조사의 주기 및 표본 규모 증대는 응답자 거주지의 통계적 유효성을 광역·시·도 단위에서부터 시·군·구 단위까지, 더 나아가 읍·면·동까지 개선할 수 있으며, 정밀화된 응답자 주거지 정보는 합리적 정책 결정 근거 자료가 될 수 있다.



실문조사 응답자의 주거지를 파악하는 것은 생태계서비스 수요의 환경적 특성 파악에서 매우 중요한 역할을 한다. 응답자의 주거지 파악은 단순히 광역시·도, 시·군·구, 읍·면·동 수준을 넘어 공간계획의 기초자료가 되는 토지피복도가 토지이용 등의 공간 데이터와의 연계를 쉽게 되도록 한다. 응답자 주거지의 토지피복과 토지이용 등의 환경 정보는 특정 생태계서비스에 대한 인식과 유효한 상관관계를 가질 수 있으며, 추후 공간계획 수립 시에 인문·사회적 조건에서 두드러지는 특정 생태계서비스 증대를 위한 근거 자료로서의 활용도 쉽다. 나아가 불평등 개선, 재난·재해 예방 차원에서 특정 생태계서비스에 대한 만족도 유지, 개선을 위하여 도시계획 차원에서 규제 강화 또는 완화 방안 제시 또한 가능하다. 지속적 대국민 인식조사를 통한 조사 주기 및 표본 규모 증대는 토지피복 및 이용 수준의 환경 공간 정보를 넘어서, 보다 현실적 생태계서비스 관리를 위한 경관, 서식지 특성 등의 생태적 특성 파악도 쉽게 되도록 한다(그림 IV-3-13).



| 그림 IV-3-13 | 환경적 접근 프로세스 및 목적

이번 위탁연구를 통해 도출된 설문 조사지와 응답 결과는 4-1장에서 언급했듯 2023년부터 정례화된 설문으로 정착시켜 매년 설문을 진행할 예정이다. 장기간의 자료 구축을 통해 향후 도시 공간계획이나 환경계획 수립 시 정책적 기반 자료로 활용할 수 있다. 또한, 이 설문조사를 모티브로 특정 기초 지자체를 대상으로 한 별도의 수요 지표를 도출하여 해당 지역에 맞는 설문지를 새롭게 구성하여 적용할 수 있는 등 활용성도 있다. 4-1장에서 추구하는 수요지표체계의 구축을 통해 국민이 공감하고 체감할 수 있는 정책 기반 도구의 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다.

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구

참고문헌

〈 국외 〉

- Agilan, V., & Umamahesh, N. V. (2017). Modelling nonlinear trend for developing non-stationary rainfall intensity-duration-frequency curve. *International Journal of Climatology*, 37(3), 1265-1281.
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of sensors*, 2016.
- Baró, F., Haase, D., Gómez-Baggethun, E., & Frantzeskaki, N. (2015). Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological indicators*, 55, 146-158.
- Bauerhansl, C., Berger, F., Dorren, L., Duc, P., Ginzler, C., Kleemayr, K., ... & Seebach, L. (2010). Development of harmonized indicators and estimation procedures for forests with protective functions against natural hazards in the alpine space (PROALP). Institute for Environment and Sustainability. Office for Official Publications of the European Communities.© European Communities.
- Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology letters*, 12(12), 1394-1404.
- Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology letters*, 12(12), 1394-1404.
- Bicking, S., Burkhard, B., Kruse, M., & Müller, F. (2018). Mapping of nutrient regulating ecosystem service supply and demand on different scales in Schleswig-Holstein, Germany. *One Ecosystem* 3 (2018).
- Boithias, L., Acuña, V., Vergoñós, L., Ziv, G., Marcé, R., & Sabater, S. (2014). Assessment of the water supply: demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. *Science of the Total Environment*, 470, 567-577.
- Bouwer, L. M. (2011). Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(1), 39-46.
- Bouwer, L. M., Bubeck, P., & Aerts, J. C. (2010). Changes in future flood risk due to climate and development in a Dutch polder area. *Global Environmental Change*, 20(3), 463-471.
- Brown, S. R. (1996). Q methodology and qualitative research. *Qualitative health research*, 6(4), 561-567.

- Burkhard, B., & Maes, J. (2017). Mapping ecosystem services. *Advanced books*, 1, e12837.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological indicators*, 21, 17–29.
- Chan, K. M. A., Shaw, M. R., Cameron, D. R., Underwood, E. C., & Daily, G. C. (2006). Conservation planning for ecosystem services. *PLoS biology*, 4(11), e379.
- Chang, H., Jung, I. W., Strecker, A., Wise, D., Lafrenz, M., Shandas, V., ... & Psaris, M. (2013). Water supply, demand, and quality indicators for assessing the spatial distribution of water resource vulnerability in the Columbia River basin. *Atmosphere–Ocean*, 51(4), 339–356.
- Chen, W., Chi, G., & Li, J. (2020). The spatial aspect of ecosystem services balance and its determinants. *Land Use Policy*, 90, 104263.
- Chun, B., & Guldmann, J. M. (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and urban planning*, 125, 76–88.
- Cortinovis, C., & Geneletti, D. (2020). A performance-based planning approach integrating supply and demand of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 201, 103842.
- Cortinovis, C., Geneletti, D., & Hedlund, K. (2021). Synthesizing multiple ecosystem service assessments for urban planning: A review of approaches, and recommendations. *Landscape and Urban Planning*, 213, 104129.
- Crossman, J., Alzaheri, N., Abdallah, M. N., Tamimi, F., Flood, P., Alhadainy, H., & El-Bialy, T. (2019). Low intensity pulsed ultrasound increases mandibular height and Col-II and VEGF expression in arthritic mice. *Archives of Oral Biology*, 104, 112–118.
- Crossman, N. D., Burkhard, B., Nedkov, S., Willemen, L., Petz, K., Palomo, I., ... & Maes, J. (2013). A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem services*, 4, 4–14.
- Czúcz, B., Arany, I., Potschin-Young, M., Bereczki, K., Kertész, M., Kiss, M., ... & Haines-Young, R. (2018). Where concepts meet the real world: A systematic review of ecosystem service indicators and their classification using CICES. *Ecosystem Services*, 29, 145–157.
- Daniel, T. C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J. W., Chan, K. M., ... & von der Dunk, A. (2012). Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8812–8819.

- Deng, W. (2007). Using a revised importance–performance analysis approach: The case of Taiwanese hot springs tourism. *Tourism management*, 28(5), 1274–1284.
- Depietri, Y., & McPhearson, T. (2017). Integrating the grey, green, and blue in cities: Nature-based solutions for climate change adaptation and risk reduction. In *Nature-based solutions to climate change Adaptation in urban areas* (pp. 91–109). Springer, Cham.
- Depietri, Y., Dahal, K., & McPhearson, T. (2018). Multi-hazard risks in New York City. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(12), 3363–3381.
- Dickson, E., Baker, J. L., & Hoornweg, D. (2012). *Urban risk assessments: understanding disaster and climate risk in cities*. World Bank Publications.
- Dworczyk, C., & Burkhard, B. (2021). Conceptualising the demand for ecosystem services—an adapted spatial–structural approach. *One ecosystem: ecology and sustainability data journal* 6 (2021), 6, e65966.
- EEA(European Environment Agency). (2010). 10 Messages for 2010 – Coastal Ecosystems. European Environment Agency, Office for Official Publications of the European Union, Luxembourg (2010). 17 pp.
- EEA. (2015). 「European Environment Agency」
- Endreny, T. A., & Imbeah, N. (2009). Generating robust rainfall intensity–duration–frequency estimates with short-record satellite data. *Journal of hydrology*, 371(1–4), 182–191.
- Eurostat. (2011). Eurostat – Coastal region statistics–Statistics Explained. Available at:http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Main_Page
- Früh-Müller, A., Hotes, S., Breuer, L., Wolters, V., & Koellner, T. (2016). Regional patterns of ecosystem services in cultural landscapes. *Land*, 5(2), 17.
- Geijzendorffer, I. R., Martín-López, B., & Roche, P. K. (2015). Improving the identification of mismatches in ecosystem services assessments. *Ecological Indicators*, 52, 320–331.
- Gissi, E., Burkhard, B., & Verburg, P. H. (2015). Ecosystem services: Building informed policies to orient landscape dynamics. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 11(3), 185–189.
- Haase, D., Schwarz, N., Strohbach, M., Kroll, F., & Seppelt, R. (2012). Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: an integrated multiscale framework applied to the Leipzig–Halle Region, Germany. *Ecology and Society*, 17(3).

- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Ecosystem Ecology: a new synthesis*, 1, 110–139.
- Hanna, E., Bruno, D., & Comín, F. A. (2022). Evaluating Naturalness and Functioning of Urban Green Infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 127825.
- Hashimoto, S., Sato, Y., & Morimoto, H. (2019). Public-private collaboration in allotment garden operation has the potential to provide ecosystem services to urban dwellers more efficiently. *Paddy and Water Environment*, 17(3), 391–401.
- Herreros-Cantis, P., & McPhearson, T. (2021). Mapping supply of and demand for ecosystem services to assess environmental justice in New York City. *Ecological Applications*, 31(6).
- Huxham, M., Emerton, L., Kairo, J., Munyi, F., Abdirizak, H., Muriuki, T., ... & Briers, R. A. (2015). Applying climate compatible development and economic valuation to coastal management: a case study of Kenya's mangrove forests. *Journal of environmental management*, 157, 168–181.
- IPCC. (2013). 「Climate Change 2013 The Physical Science Basis」
- Jopke, C., Kreyling, J., Maes, J., & Koellner, T. (2015). Interactions among ecosystem services across Europe: Bagplots and cumulative correlation coefficients reveal synergies, trade-offs, and regional patterns. *Ecological indicators*, 49, 46–52.
- JRC(2017). 「JRC Annual Report 2017」
- Kadaverugu, R., Matli, C., & Biniwale, R. (2021). Suitability of WRF model for simulating meteorological variables in rural, semi-urban and urban environments of Central India. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(4), 1379–1393.
- Kim, I., & Kwon, H. (2021). Assessing the impacts of urban land use changes on regional ecosystem services according to urban green space policies via the patch-based cellular automata model. *Environmental Management*, 67(1), 192–204.
- Kim, T., Song, C., Lee, W. K., Kim, M., Lim, C. H., Jeon, S. W., & Kim, J. (2015). Habitat quality valuation using InVEST model in Jeju Island. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 18(5), 1–11.
- Kim, Y. J., & Son, Y. H. (2018). Features of the Rural Revitalization Projects in Jang-su County Using LDA Topic Analysis of News Data-Focused on Keyword of Tourism and Livelihood. *Journal of Korean Society of Rural Planning*, 24(4), 69–80.

- Kunapo, J., Fletcher, T. D., Ladson, A. R., Cunningham, L., & Burns, M. J. (2018). A spatially explicit framework for climate adaptation. *Urban Water Journal*, 15(2), 159–166.
- Lee, H., & Lautenbach, S. (2016). A quantitative review of relationships between ecosystem services. *Ecological Indicators*, 66, 340–351.
- Lin, S., Wu, R., Yang, F., Wang, J., & Wu, W. (2018). Spatial trade-offs and synergies among ecosystem services within a global biodiversity hotspot. *Ecological Indicators*, 84, 371–381.
- Liquete, C., Zulian, G., Delgado, I., Stips, A., & Maes, J. (2013). Assessment of coastal protection as an ecosystem service in Europe. *Ecological Indicators*, 30, 205–217.
- Liu, J., Wang, J., & Tan, Y. (2023). Spatiotemporal pattern and influencing mechanism of the flood-regulating ecosystem service capacity and demand in China's Yellow River basin, 2000–2020. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, 101312.
- Locatelli, B., Imbach, P., & Wunder, S. (2014). Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica. *Environmental Conservation*, 41(1), 27–36.
- Luber, G., & McGeehin, M. (2008). Climate change and extreme heat events. *American journal of preventive medicine*, 35(5), 429–435.
- Maes, J., Egoh, B., Willemen, L., Liquete, C., Vihervaara, P., Schägner, J. P., ... & Bidoglio, G. (2012). Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem services*, 1(1), 31–39.
- Maes J, Teller A, Erhard M, Grizzetti B, Barredo JI, Paracchini ML, Condé S, Somma F, Orgiazzi A, Jones A, Zulian A, Vallecilo S, Petersen JE, Marquardt D, Kovacevic V, Abdul Malak D, Marin AI, Czócz B, Mauri A, Löffler P, Bastrup-Birk A, Biala K, Christiansen T, Werner B (2018) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition. Publications office of the European Union, Luxembourg.
- Maes, J., Burkhard, B., & Geneletti, D. (2018). Ecosystem services are inclusive and deliver multiple values. A comment on the concept of nature's contributions to people. *One Ecosystem* 3 (2018).
- Martilla, J. A., & James, J. C. (1977). Importance–performance analysis. *Journal of marketing*, 41(1), 77–79.
- Matzler, K., Bailom, F., Hinterhuber, H. H., Renzl, B., & Pichler, J. (2004). The asymmetric relationship between attribute-level performance and overall customer satisfaction: a

- reconsideration of the importance-performance analysis. *Industrial marketing management*, 33(4), 271–277.
- McInnes, R. J., & Everard, M. (2017). Rapid assessment of wetland ecosystem services (RAWES): an example from Colombo, Sri Lanka. *Ecosystem Services*, 25, 89–105.
- Meacham, M., Norström, A. V., Peterson, G. D., Andersson, E., Bennett, E. M., Biggs, R., ... & Queiroz, C. (2022). Advancing research on ecosystem service bundles for comparative assessments and synthesis. *Ecosystems and People*, 18(1), 99–111.
- Mensah, S., Veldtman, R., Assogbadjo, A. E., Ham, C., Kakaï, R. G., & Seifert, T. (2017). Ecosystem service importance and use vary with socio-environmental factors: A study from household-surveys in local communities of South Africa. *Ecosystem Services*, 23, 1–8.
- Millennium ecosystem assessment, M. E. A. (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5, p. 563). Washington, DC: Island press.
- Natural England. (2019). Monitor of Engagement with the Natural Environment. Technical Report to the 2009–2019 surveys. Natural England Joint Report NECR277.
- Nedkov, S., & Burkhard, B. (2012). Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*, 21, 67–79.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24.
- Paracchini, M. L., Zulian, G., Kopperoinen, L., Maes, J., Schägner, J. P., Termansen, M., ... & Bidoglio, G. (2014). Mapping cultural ecosystem services: A framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU. *Ecological indicators*, 45, 371–385.
- Peng, Y., & Gitelson, A. A. (2012). Remote estimation of gross primary productivity in soybean and maize based on total crop chlorophyll content. *Remote Sensing of Environment*, 117, 440–448.
- Plieninger, T., Dijks, S., Oteros-Rozas, E., & Bieling, C. (2013). Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land use policy*, 33, 118–129.
- Polasky, S., Nelson, E., Pennington, D., & Johnson, K. A. (2011). The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. *Environmental and Resource Economics*, 48(2), 219–242.

- Qin, Y. (2015). Urban canyon albedo and its implication on the use of reflective cool pavements. *Energy and Buildings*, 96, 86–94.
- Queiroz, C., Meacham, M., Richter, K., Norström, A. V., Andersson, E., Norberg, J., & Peterson, G. (2015). Mapping bundles of ecosystem services reveals distinct types of multifunctionality within a Swedish landscape. *Ambio*, 44(1), 89–101.
- Queiroz, C., Meacham, M., Richter, K., Norström, A. V., Andersson, E., Norberg, J., & Peterson, G. (2015). Mapping bundles of ecosystem services reveals distinct types of multifunctionality within a Swedish landscape. *Ambio*, 44(1), 89–101.
- Quintas-Soriano, C., García-Llorente, M., Norström, A., Meacham, M., Peterson, G., & Castro, A. J. (2019). Integrating supply and demand in ecosystem service bundles characterization across Mediterranean transformed landscapes. *Landscape Ecology*, 34(7), 1619–1633.
- Rau, A. L., Burkhardt, V., Dörninger, C., Hjort, C., Ibe, K., Keßler, L., ... & Ekroos, J. (2020). Temporal patterns in ecosystem services research: A review and three recommendations. *Ambio*, 49(8), 1377–1393.
- Rau, A. L., Burkhardt, V., Dörninger, C., Hjort, C., Ibe, K., Keßler, L., ... & Ekroos, J. (2020). Temporal patterns in ecosystem services research: A review and three recommendations. *Ambio*, 49(8), 1377–1393.
- Sachs, J. D., & Reid, W. V. (2006). Investments toward sustainable development. *Science*, 312(5776), 1002–1002.
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., & Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(11), 5242–5247.
- Ritzema, H., Kirkpatrick, H., Stibinger, J., Heinhuis, H., Belting, H., Schrijver, R., & Diemont, H. (2016). Water management supporting the delivery of ecosystem services for grassland, heath and moorland. *Sustainability*, 8(5), 440.
- Rodríguez, J. P., Beard Jr, T. D., Bennett, E. M., Cumming, G. S., Cork, S. J., Agard, J., ... & Peterson, G. D. (2006). Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and society*, 11(1).
- Schirpke, U., Candiago, S., Vigl, L. E., Jäger, H., Labadini, A., Marsoner, T., ... & Tappeiner, U. (2019). Integrating supply, flow and demand to enhance the understanding of interactions among multiple ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 651, 928–941.

- Schirpke, U., Scolozzi, R., De Marco, C., & Tappeiner, U. (2014). Mapping beneficiaries of ecosystem services flows from Natura 2000 sites. *Ecosystem services*, 9, 170–179.
- Scholes, R. J., Reyers, B., Biggs, R., Spierenburg, M. J., & Duriappah, A. (2013). Multi-scale and cross-scale assessments of social-ecological systems and their ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 16–25.
- Shun-Hsing, C., & Chen-I, H. (2011). Application of importance-satisfaction model to identify critical success factors of hot-spring industry in Taiwan. *International Journal of Physical Sciences*, 6(10), 2470–2477.
- Soos V., (2022). Ecosystem Service Analysis enables comprehensive perspectives for planning the benefits of nature in a city. URBACT(<https://urbact.eu/>).
- Trombetti, M., Pisoni, E., & Lavallo, C. (2017). Downscaling methodology to produce a high resolution gridded emission inventory to support local/city level air quality policies. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg EUR, 28428.
- Veerkamp, C. J., Loreti, M., Benavidez, R., Jackson, B., & Schipper, A. M. (2023). Comparing three spatial modeling tools for assessing urban ecosystem services. *Ecosystem Services*, 59, 101500.
- Villamagna, A. M., Angermeier, P. L., & Bennett, E. M. (2013). Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 15, 114–121.
- Wang, B., Zhang, Q., & Cui, F. (2021). Scientific research on ecosystem services and human well-being: A bibliometric analysis. *Ecological Indicators*, 125, 107449.
- Wang, R., Zhao, J., Chen, G., Lin, Y., Yang, A., & Cheng, J. (2023). Coupling PLUS-InVEST Model for Ecosystem Service Research in Yunnan Province, China. *Sustainability*, 15(1), 271.
- Wang, S., & Fu, B. (2013). Trade-offs between forest ecosystem services. *Forest Policy and Economics*, 26, 145–146.
- Watts, S., & Stenner, P. (2005). Doing Q methodology: theory, method and interpretation. *Qualitative research in psychology*, 2(1), 67–91.
- Wei, H., Fan, W., Wang, X., Lu, N., Dong, X., Zhao, Y., ... & Zhao, Y. (2017). Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review. *Ecosystem Services*, 25, 15–27.

- Wei, H., Liu, H., Xu, Z., Ren, J., Lu, N., Fan, W., ... & Dong, X. (2018). Linking ecosystem services supply, social demand and human well-being in a typical mountain-oasis-desert area, Xinjiang, China. *Ecosystem Services*, 31, 44-57.
- Wolff, S., Schulp, C. J. E., Kastner, T., & Verburg, P. H. (2017). Quantifying spatial variation in ecosystem services demand: a global mapping approach. *Ecological Economics*, 136, 14-29.
- Xue, D., Wang, Z., Li, Y., Liu, M., & Wei, H. (2022). Assessment of Ecosystem Services Supply and Demand (Mis) matches for Urban Ecological Management: A Case Study in the Zhengzhou-Kaifeng-Luoyang Cities. *Remote Sensing*, 14(7), 1703.
- Yang, M. Y. (2003). Development of master design curves for particle impact dampers. The Pennsylvania State University.
- Yang, Y., Yang, H., & Cheng, Y. (2021). Why is it crucial to evaluate the fairness of natural capital consumption in urban agglomerations in terms of ecosystem services and economic contribution?. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102644.
- Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., & Van Eupen, M. (2017). Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem services*, 26, 225-235.
- Zawadzka, J. E., Harris, J. A., & Corstanje, R. (2021). A simple method for determination of fine resolution urban form patterns with distinct thermal properties using class-level landscape metrics. *Landscape Ecology*, 36(7), 1863-1876.
- Zhang, J., Yin, N., Wang, S., Yu, J., Zhao, W., & Fu, B. (2020). A multiple importance-satisfaction analysis framework for the sustainable management of protected areas: Integrating ecosystem services and basic needs. *Ecosystem Services*, 46, 101219.
- Zhong, Z., Fang, X., Zhang, Y., Shu, X., & Guo, D. (2022). Mapping Ecosystem Service Supply-Demand Bundles for an Integrated Analysis of Tradeoffs in an Urban Agglomeration of China. *Land*, 11(9), 1558.

〈 국내 〉

- Kim, I., & Arnhold, S. (2018). Mapping environmental land use conflict potentials and ecosystem services in agricultural watersheds. *Science of the Total Environment*, 630, 827-838.
- 국립생태원. (2018). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업」. p.29
- 국립생태원. (2018). 「지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구」
- 국립생태원. (2018). 「지역의 생태가치 평가 및 인식증진 방안 연구」. p.168
- 국립생태원. (2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅱ」. p.35
- 국립생태원. (2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅱ」. p.64
- 국립생태원. (2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅱ」. p.66~74
- 국립생태원. (2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅱ」. p.94
- 국립생태원. (2019). 「생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업Ⅱ」. p.96, 98
- 국립생태원. (2019). 「지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구」
- 국립생태원. (2019). 「지역의 생태가치평가 및 인식 증진방안 연구」. p.57, 59
- 국립생태원. (2020). 「우리지역 생태자산과 생태계서비스」. p.6
- 국립생태원. (2020). 「자연환경침해조정제도 안내서」
- 국립생태원. (2020). 「지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구」
- 국립생태원. (2021). 「비대면 시민참여평가를 위한 Q 방법론 고도화 용역」. p.116
- 국립생태원. (2021). 「비대면 시민참여평가를 위한 Q 방법론 고도화 용역」. p.117
- 국립생태원. (2021). 「지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구」
- 기상청. (2020). 「한국 기후변화 평가보고서」
- 김기열. (2010). 공공부문에 관한 외국의 개인정보보호 법제와 국내 입법의 검토 방향. *법제, 통권*, 633, 5-48.
- 김무한, 최정권, & 박재봉. (2018). 탄천 이용자의 인식조사를 통한 생태계서비스의 트레이드오프 관계 고찰. *한국환경복원기술학회지 (환경복원기술)*, 21(1), 31-40.

- 김흥규. (2008). Q-블럭과 Q-도구의 일치도 연구. 주관성 연구, 5-16.
- 문영일, 최지혁, 윤태형, & 김종석. (2015). 국내 댐 재개발 우선순위 평가 기법 비교. 3. 한국방재학회 학술대회논문집, 252-252.
- 박순열. (2010). 한국 생태시티즌십 (ecological citizenship) 인식유형에 관한 경험적 연구. 환경사회학연구 ECO, 14(2), 7-52.
- 박윤선, 김충기, & 이후승. (2021). 전략환경영향평가 시 생태계서비스 평가 결과의 활용가능성에 관한 연구. 한국환경복원기술학회지 (환경복원기술), 24(2), 115-126.
- 박은빈, 한경수, 이창석, & 피경진. (2012). MODIS 16-Day Albedo 자료를 이용한 동북아시아 지역의 토지 피복 별 알베도 변화 분석. Korean Journal of Remote Sensing, 28(5), 501-508.
- 송인주, & 윤초롱. (2019). 서울시 생태계서비스 평가체계 구축과 활용방안. 서울연구원 정책과제연구보고서, 1-169.
- 최지영, 이영수, & 이상돈. (2019). 도시개발에 따른 생태계서비스 가치 평가 연구: 부산 에코델타시티 사업을 대상으로. 환경영향평가, 28(5), 427-439.
- 최지영, 홍혁진, & 백소야. (2019). 림프종으로 오인된 척수의 경막외 반상 수막종: 증례 보고. Journal of the Korean Society of Radiology, 80(6), 1235-1240.
- 함은경, 김민, & 전진형. (2015). 시스템 사고를 통한 생태계서비스의 trade-off 관계 고찰. 한국시스템다이내믹스 연구, 16(2), 75-100.
- 황은주, & 전재경. (2017). 생태계서비스 가치의 제도화. 한국환경생태학회지, 31(3), 337-343.

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처를 표시해 주십시오.

권혁수 외. 2022. 「2022 지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구」. 국립생태원.



ISBN 979-11-6698-195-1