

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구

생태평가연구실 생태계서비스팀

권혁수, 최태영, 김일권, 김성훈, 강다인,
전배석, 정다예, 이주은, 주우영, 서창완

A Study on the Evaluation and Awareness of Local Ecological Value

Hyuksoo Kwon, TaeYoung Choi, Ilkwon Kim,
Sunghoon Kim, Kang da in, Baysok Jun, Daye Jeong, Jooeun Lee,
Wooyeong Joo, Changwan Seo

Team of Ecosystem Services

Division of Ecological Assessment Research

Bureau of Conservation & Assessment Research

National Institute of Ecology

2020

국립생태원

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구

참 여 연 구 진

Ⅰ 외부참여 연구원

시민참여평가 평가방법 고도화

책임연구원 - 손용훈

보조연구원 - 이주경, 김연정,
김도은

근린생활권 도시공원 보행 접근성 평가

책임연구원 - 강완모

연구원 - 문영주

생태계서비스와 기업의 지속가능경영 우수사례 분석

책임연구원 - 이영애나무

연구원 - 이해경, 정지웅,
남승희

보조연구원 - 김소연

수문 생태계서비스 평가 및 지도 구축

책임연구원 - 조홍래

연구원 - 구본경, 김종구,
정의상, 박민혜, 이태환

코로나19 이후 인간과 생태계 관계에 대한 국내외 인식 및 정책추진 요구 높아지고 있다. 이를 위해 우리는 지속 가능한 국토 환경 조성(국정과제 59)의 효율적 추진하기 위해 지역 자연자원과 관련된 이해당사자 인식과 의사결정과정을 이해하고, 자연환경과의 상호작용에 대한 평가를 목표로 연구를 추진하였다. 주요 연구내용은 다음과 같다.

1. (자연침해조정제도) 생태계서비스 평가와 전문가 설문(델파이분석)을 통해 자연침해조정 제도 도입을 위한 생태계서비스 기반의 총량산정 매트릭스를 제시하였다.
2. (생태계좌운영방안) 훼손지를 대상으로 자연침해조정제도를 적용하여, 생태계좌 및 비축지 개념을 통한 생태계서비스 개선 및 운용방안을 제안하였다.
3. (건강가치·수요지도) 취약계층의 생태계서비스의 혜택이 충분히 도달하는지를 분석하기 위하여 수원시를 대상으로 도시녹지의 미세먼지 저감효과를 분석하였다.
4. (도시공원 접근성) 시민들이 도시공원 및 녹지에 도달하는 거리가 얼마나 되는지, 제공되는 도시공원이 충분한지 검증하기 위하여 용인시 도보권에 대한 DB를 구축하여 평가하였다.
5. (시민참여평가) 시민요구사항이나 코로나 대응하여 시민참여 간이평가표를 개선하였으며, 안양시를 대상으로 시행한 생태계서비스 시민참여 평가 결과를 지도화하였다.
6. (시민참여평가개선) Q방법론을 통해 시민들의 다층적인 생태자산에 대한 인식을 도출하고, 생태자산의 훼손량을 평가하는 방법을 추가·개선하였다.
7. (평가모형 개선) 기존 InVEST모형의 한계점을 개선하기 위해 수문관련 새로운 지표(침투량)를 선정하고 이를 기반으로 경기도 지역 수문평가지도를 구축하였다.
8. (기업생태계서비스) 최근 국제사회에서 대두되는 환경계정 및 기업의 사회적 가치(환경 가치)에 대한 동향을 파악하고 이에 대응하는 생태계서비스평가 방안을 제시하였다.

우리는 위의 8가지 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 자연침해조정제도의 정책적 실효성을 높이기 위해서는 침해량 및 보상량 산정에 대한 과학기반 정책의사과정이 필요하고, 이를 제도상 운용하기 위한 환경영향평가제도·생태계좌

등 다양한 연계 방안이 필요하다.

둘째, 인간에게 제공하는 혜택을 평가하는 생태계서비스 특성을 반영하여, 미세먼지나 공원 접근성과 같은 좀더 현안이나 수요 중심의 생태계서비스 평가체계 전환이 필요하다.

셋째, 또한 이러한 시민의 현안과 수요를 반영할 수 있는 다양한 시민참여 평가 방식의 좀 더 지표를 개선하고, 결과활용 방안을 개발되어야 한다.

There has been a growing national and international demand that focuses perceptions and policies based on relations between humans and ecosystems after the COVID-19 crisis. Under these circumstances, this study conducted a research that aimed to understand the perceptions and decision-making processes of the stakeholders with regard to regional natural resources to promote a sustainable land environment, and assessment of interactions between human and natural environments.

First, a matrix was presented, which estimates the total amount of ecological resources based on ecosystem services for introduction of impact mitigation regulations through assessment results of ecosystem services and expert surveys using the Delphi method.

Second, compensation methods and application plans of impact mitigation regulations regarding the improvement of ecosystem services based on concepts about the eco-account and land banking systems was proposed. Then, the method was applied to the current damaged lands.

Third, the effects of fine particle reduction of urban green spaces (UGSs) were analyzed to estimate the levels of ecosystem services benefits to vulnerable social groups in Suwon city.

Fourth, the walking sphere was analyzed to estimate the walking distance of urban residents to urban parks and green spaces and to verify sufficiency of provision of urban parks to urban residents.

Fifth, the matrix of rapid assessment of citizen participation was improved in response to the requirements of the citizens on participatory assessment or issues on COVID-19. Then, a map of citizen participatory assessment of ecosystem services in Anyang city was created.

Sixth, the application of Q methods was improved to identify multilayered citizens' perception of ecological assets and to estimate the amount of damage to ecological assets.

Seventh, the assessment map of hydrological ecosystem services was created based on assessment results of surface infiltration regarding hydrological processes to improve the limit on the InVEST model.

Eighth, an assessment method of ecosystem services that correspond to recent international movement on environmental accounting and corporate social (and

environmental) values were presented.

Through the eight detailed studies mentioned above, we came to the following conclusions. First, various linked plans are necessary, which reflect the scientific policy decision processes calculation of quantitative amounts of impacts and compensations and interconnect current policies such as environmental impact assessment for eco-account to improve policy effectiveness of impact mitigation regulations. Second, changes in an assessment system that focus demands on ecosystem services, accessibility to UGSs, and response to fine particle reduction are necessary in terms of ecosystem service properties that provide benefits to human societies. Third, citizen participatory assessment methods should be improved with the development of indicators reflecting various issues and demands of the citizens. In addition, the development of application plans using results from assessments of the citizens is necessary for further development.

I

서론 ... 1

1. 연구 배경	3
----------------	---

II

계획 자연자원총량제의 총량산정을 위한 생태계 기능 평가 및 적용 ... 7

1. 자연침해조정제도 적용을 위한 생태기능점수 체계 마련	9
가. 침해량 평가방법 수립 배경	9
나. 생태계 기능점수 매트릭스	11
다. 침해량 산정 매트릭스 결과	15
2. 훼손지 및 생태계좌 비축지의 생태계서비스 개선효과 평가	19
가. 자연자원 총량 증진을 위한 훼손지 복원	19
나. 훼손지 선정 절차	20
다. 훼손지 선정 결과	21
라. 훼손지 복원의 생태계서비스 개선효과	23
마. 고찰	29

III

생태계서비스 수요평가 ... 31

1. 생태계서비스와 건강가치 수요 인과관계	33
가. 대기질 조절 생태계서비스와 건강가치 수요 인과관계 분석 필요성	33
나. 생애주기별 미세먼지 관련 건강 위험성	34
다. 생태계서비스 수요-공급 평가방법	37
라. 생태계서비스 수요-공급 평가결과	38
마. 고찰	42

2. 근린생활권 도시공원 보행 접근성 평가	43
가. 근린생활권 도시공원 보행 접근성 평가의 필요성	43
나. 국내·외 연구현황	44
다. 도시공원 보행 접근성 평가	51
라. 도시공원 보행 접근성 평가 결과 및 활용방안	53

IV

시민참여 생태계서비스 분석기법 개선 ... 57

1. 시민참여 생태계서비스 평가	59
가. 시민참여 생태계서비스 평가 목적 및 필요성	59
나. 시민참여 생태계서비스 평가 과정	60
다. 시민참여 생태계서비스 평가 결과	64
2. 시민참여 생태계서비스 인식 차이 평가방법 고도화	71
가. 생태자원 보전에 대한 Q방법론 활용	71
나. 연구방법	71
다. 결과 및 고찰	72

V

위탁연구 ... 77

1. 생태계서비스와 기업의 지속가능경영 우수사례 분석	79
가. 생태계서비스와 기업의 지속가능경영 우수사례 분석	79
2. 수문 생태계서비스 평가 및 지도 구축	95
가. 연구 배경 및 목적	95
나. 연구 방법	96
다. 연구 결과 및 고찰	100

■ 참고문헌	109
--------------	-----

표 II-1-1 모델 기반 초기값 적용 모델 개요	13
표 II-1-2 델파이 설문조사 개요	15
표 II-1-3 침해량 산정 매트릭스	16
표 II-1-4 1차 설문 응답확신도 및 표준편차	18
표 II-1-5 2차 설문 응답확신도 및 표준편차	18
표 II-2-1 인천시 서구 훼손지별 공간특성	23
표 II-2-2 훼손지복원에 따른 생태기능점수 변화	25
표 II-2-3 생태계서비스 평가항목 및 방법론	26
표 II-2-4 복원발안별 생태계서비스 변화	27
표 III-1-1 생애주기별 미세먼지 건강 위험성	36
표 III-1-2 토지파복에 따른 흡착속도(Powe & Willis(2004)를 참고하여 변형).	37
표 III-2-1 측정지표 및 기준(허미선과 진양조, 1996)	45
표 III-2-2 공원 유형에 따른 일정시간 기준(경기연구원, 2019)	46
표 III-2-3 NRPA의 공원 및 녹지 분류 체계(Nicholls, 2001)	47
표 III-2-4 2018 Forecast Census Block Groups demographic data 인구통계변수와 가중치 (The Trust for Public Land, 2012)	49
표 III-2-5 ANGSt의 녹지 접근성 표준(Fan et al. 2017)	50
표 III-2-6 다중 기준 분석(MCA)에 사용된 4가지 상위 기준 및 9가지 하위 기준(Jabbari et al. 2018)	50
표 III-2-7 용인시 읍면동별 1인당 도시공원 접근성 및 공원면적	54
표 IV-1-1 안양 생태자산 유형	61
표 IV-1-2 안양 생태자산 목록	63
표 IV-1-3 생태계서비스가 가장 높게 평가된 안양 생태자산	65
표 IV-1-4 변화요인이 가장 높게 평가된 안양 생태자산	68
표 IV-2-1 요인분석 매트릭스	73
표 IV-2-2 요인점수 기반 상관관계 매트릭스	73
표 IV-2-3 두 설명 그룹이 인식하는 지역 생태계서비스 자산 활용에 대한 Q 문항	75
표 IV-2-4 두 설명 그룹에 의한 지역 생태계서비스 자산 취약성 평가	76
표 V-1-1 기업과 생태계서비스 분석체계 사례	84
표 V-1-2 생태계서비스 평가 톨 이용 현황	85
표 V-1-3 국내 기업활동의 생태계서비스 평가 연계성 검토	89
표 V-2-1 유역모형 시간 입력자료	99
표 V-2-2 모형 예측 평가 지표	99
표 V-2-3 수문과정별 반응과 서비스에 대한 영향	100

표 V-2-4 수문과정 요소별 생태계서비스 평가지표 타당성 검토	101
표 V-2-5 수문모형(유역모형)선정조건	102
표 V-2-6 주요 수문모형의 구조 및 기능 비교	103
표 V-2-7 InVEST와 STREAM 모의결과와 비교(한강수계, 2018년 기준)	107

그림 II-1-1 매트릭스 평가방법 연구 추세(2019년 말 기준)(Campagne et al., 2020)	10
그림 II-1-2 침해량 매트릭스 설정 과정	11
그림 II-2-1 생태기능 매트릭스 기반 복원사업 효과 평가 예시	19
그림 II-2-2 토지피복변화 기준을 적용한 훼손지 선정 절차(고려대학교, 2019 수정)	20
그림 II-2-3 인천시 서구 훼손지 선정 결과	22
그림 II-2-4 생태기능 매트릭스 기반 복원사업 효과 평가 예시	24
그림 II-2-5 상품생산의 생산가능곡선	28
그림 II-2-6 생태기능 매트릭스 기반 복원사업 효과 평가 예시	29
그림 III-1-1 대기 질에 영향을 주는 인자 및 대기 질 오염으로 인한 건강관계도 (Eco-Health relationship browser, EPA)	34
그림 III-1-2 입자상 물질의 기도 내 침착(2016, 명준표)	35
그림 III-1-3 수요분석 결과	39
그림 III-1-4 공급분석 결과	40
그림 III-1-5 불일치분석 결과	41
그림 III-2-1 좌: 코로나-19 이후 SDG 11 대응(UN, 2020), 우: 범국가 단위별 오픈스페이스 도보권 400m 내 거주 인구 비율(UN, 2020)	43
그림 III-2-2 공공복지 증대를 위한 공원 접근성 개념 적용사례	44
그림 III-2-3 시군구별 생활권 공원 평균 접근성 지도(국토교통부, 2019)	46
그림 III-2-4 근린시설 종류와 인구밀도에 따른 접근성 평가지도(Loifi and Koohsari, 2009)	48
그림 III-2-5 UGA 지표 계산식과 개념적 표현(Jang et al. 2020)	51
그림 III-2-6 건물 내 점 자료 및 인구분포 격자 배분	52
그림 III-2-7 입력 공간자료	53
그림 III-2-8 용인시 도시공원 접근성	55
그림 IV-1-1 시민참여 생태계서비스 평가과정	60
그림 IV-1-2 생태계서비스 간이평가지	62
그림 IV-1-3 안양 생태자산 생태계서비스에 대한 지역활동가의 의견	64
그림 IV-1-4 안양 생태계서비스 평가 종합	66
그림 IV-1-5 안양 생태자산 변화요인에 대한 지역활동가의 의견	67
그림 IV-1-6 안양 변화요인 평가 종합	69
그림 IV-1-7 시민참여 생태계서비스 평가 후 생태가치에 대한 인식변화	70
그림 V-1-1 기업활동의 생태계서비스 활용 추세	79
그림 V-1-2 기업의 생태계서비스 가치평가 절차(WBCSD, 2011)	82

그림 V-1-3 기업활동의 생태계서비스 리뷰 절차(WRI, 2012)	82
그림 V-1-4 자연자본 프로토콜의 체계(CC, 2016)	82
그림 V-1-5 식품산업 영향평가를 위한 체계(TEEB, 2018)	83
그림 V-1-6 생물다양성메트릭 산식(CISL, 2020)	86
그림 V-1-7 제품생물다양성발자국 방법론 모식도(A. Asselin et al, 2020)	87
그림 V-1-8 환경손익계적 적용 사례	88
그림 V-1-9 수자원 전략 도출을 위한 절차 예시(Water Mandate, 2018)	92
그림 V-1-10 자연자산 평가를 위한 기업들의 행동 전략(BfN, 2020)	92
그림 V-1-11 초콜렛회사 Tony's Chocolonely의 환경비용 내재화	94
그림 V-2-1 수문 생태계서비스 연구 필요성	95
그림 V-2-2 연구 흐름 및 내용별 상호 연관성	96
그림 V-2-3 수문 생태계서비스 평가를 위한 물수지 분석 예시	97
그림 V-2-4 불투수층 증가에 따른 직접유출 및 토양침투량 변화(USEPA, 2010)	102
그림 V-2-5 수문모형 STREAM의 구조 및 기능(조홍래 등, 2015)	103
그림 V-2-6 평수년, 갈수년 홍수년별 경기도 지역에서의 토양침투량의 공간 변화	104
그림 V-2-7 강우조건별 토양침투량의 월별 변동성	105
그림 V-2-8 경기도 시군구별 연간 토양침투량	106
그림 V-2-9 InVEST water yield 모형의 수문 모의 항목(Conte et al. 2015)	107

지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구



I

서론

1. 연구 배경

I. 서론



1 | 연구 배경

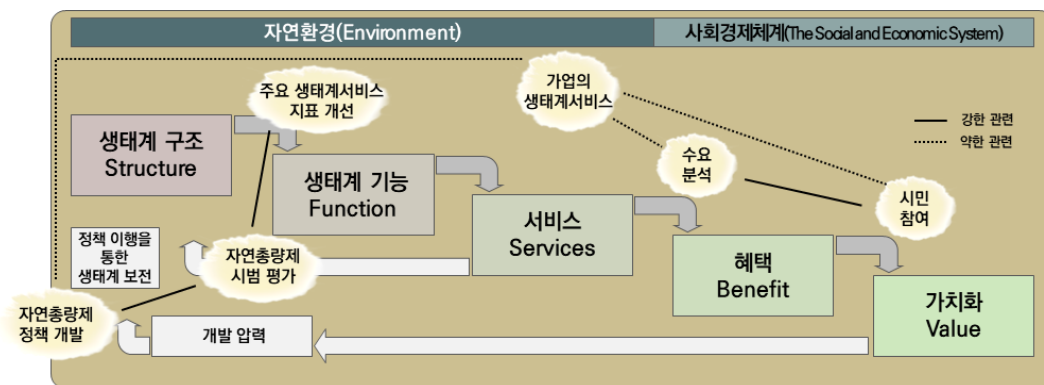
우리는 코로나 팬데믹이나 기후위기 상황에서 자연의 중요성을 더 많이 느끼게 되었으며, 많은 사람들이 공원과 녹지를 방문하여 거닐거나 자연을 체험하고 싶어 한다.

인류는 전례없는 도시 성장시대에 살고 있으며, 이에 따른 환경 수용력이나 회복력에 대한 고려없이 도시 확장이 일어나 도시 내 다양한 자연재해가 일어나고 있다. 우리는 이 시점에서 지속가능한 도시를 위한 체계적인 도시 재구조화가 필요하다. 많은 도시민들은 여름밤 극심한 더위에 시달리고 있으며, 미세먼지 등에 따라 호흡기 질병에 노출되어 있다. 또한 불투수 포장에 따라 짧은 기간 집중호우에 취약한 도시 시설구조를 가지고 있다.

도시에 사는 사람들은 삶의 90%를 실내에서 보내고 있으며(Höppe & Martinac, 1998) 통제되지 않은 실외로 나갈 때 다양한 환경 위협에 직면하고 있다. 도시 내 자연과 자연기반시설(Green Infrastructure)에 대한 역할과 확충에 대한 도시민들의 요구는 증가하고 있다. 최근 기후변화에서 그 심각성을 고려하여 기후위기라고 불리는 이 시기에 정부에서도 다양한 탄소중립 및 그린뉴딜사업에서 자연기반시설 확충을 중요한 사업으로 제시하고 있다.

생태계서비스 연구는 이러한 다양한 인간들의 욕구(수요)와 자연에서 일어나는 다양한 혜택과 기능(공급)등을 평가하는 일들을 하며, 최근에는 이러한 공급과 수요들이 적절히 공간 내 배분되는지에 대한 연구가 진행되고 있다. Nesbitt et al.(2019)의 연구에 따르면, 저소득 동네에서 공원 및 녹지접근성이 낮게 나타났다는 점에서 도시계획 파트에서 자연의 혜택을 공평하게 누릴 수 있는 형평성 문제(환경정의)가 대두되었다. 생태계의 혜택이 어디서 얼마나 발생하는지, 이 서비스가 필요한 시민들에게 적절하게 전달이 되는지를 파악할 필요가 있다. 추가적으로 제공되는 서비스가 부족하다면, 우리는 그 서비스를 어떻게 제공할 수 있을지를 고려할 필요가 있다.

본 사업은 2018년부터 공간 평가 및 지도화를 기반으로, 생태계 구조와 기능에 따른 서비스가 지역사회 생태계에 대한 수요로 어떻게 반영되어야 하는지에 대한 다양한 기초연구를 꾸준히 진행해 오고 있으며, 2020년에 생태계서비스 수요에 대한 구체적인 사례연구를 추진하고 있다.



Haines-Young and Potschin's Cascade model 일부수정 (Potschin and Haines-Young, 2016)

이 사업은 크게 4가지 주제로 나누어 추진하였다.

첫째, 생태계 구조와 기능 총량의 순손실방지(No Net Loss)를 달성하기 위해 독일의 자연침해조정제도를 시범적용한 생태계서비스 기반 총량산정 매트릭스를 제시하였다. 또한 훼손지를 대상으로 자연침해조정제도를 적용하고, 생태계와 및 비축지 개념을 통한 생태계서비스 개선 및 운용방안을 제안하였다.

둘째, 시민들에게 생태계서비스 혜택이 충분히 도달하는지를 분석하기 위하여 도시녹지의 미세먼지 저감효과와 도시공원의 접근성에 대한 분석을 진행하였다. 이를 통하여 시민들에게 혜택이 충분히 제공되는지, 부족한 곳은 어디인지를 파악하였다.

셋째, 2017년 이후 진행하였던 시민참여 생태계서비스 평가의 방법을 개선하여 지역의 다양한 현안이나 위협요인들을 찾아내는 방안을 고려하였다. 또한 Q 방법론을 통해 시민들의 생태자산에 대한 다양한 이해와 요구사항들을 분석하였다.

마지막으로, 수문모형에 대한 InVEST모형의 한계점을 개선하기 위해 수문관련 새로운 지표(침투량)를 선정하고 이를 기반으로 경기도 지역 수문평가지도를 구축하였다. 또한 최근 국제사회에서 대두되는 환경계정 및 기업의 사회적 가치 (환경가치)에 대한 동향을 파악하는 연구를 수행하였다.

이번 연구 결과를 기반으로, 향후 연구에서는 생태계서비스 기반의 기능평가 연구를 개선하고, 이를 훼손지 복원이나 생태계좌 제도를 마련하는 연구를 꾸준히 추진할 계획이다. 또한 시민들의 다양한 수요를 반영하는 지표를 개발하여 도시생태계 기능 개선과 그린 인프라 계획에 도움이 될 수 있는 기반이 되는 연구를 추진하고자 한다.



계획 자연자원총량제의 총량산정을 위한 생태계 기능 평가 및 적용

1. 자연침해조정제도 적용을 위한 생태기능점수 체계 마련
2. 훼손지 및 생태계좌 비축지의 생태계서비스 개선효과 평가 및 최적지점 파악

II. 계획 자연자원총량제의 총량산정을 위한 생태계 기능 평가 및 적용

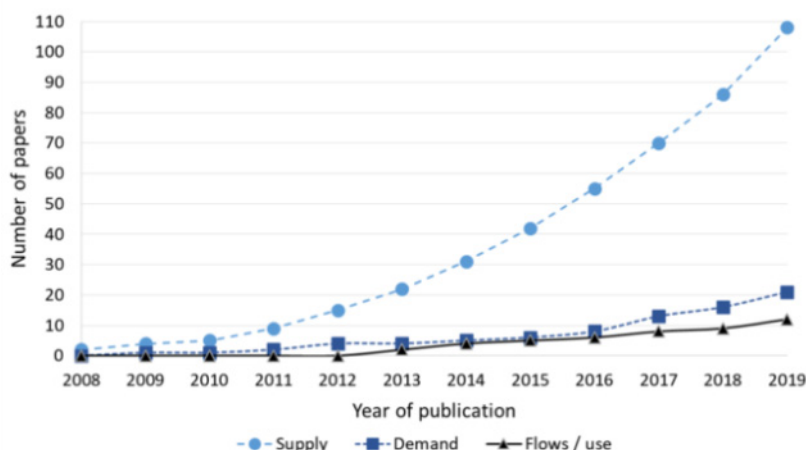


1 | 자연침해조정제도 적용을 위한 생태기능점수 체계 마련

가. 침해량 평가방법 수립 배경

순손실 방지에 대한 달성여부를 판단하기 위해서는 생물다양성 혹은 생태계서비스의 감소나 증가에 대한 측정이 필요하다(OECD, 2016). 순손실 방지를 위해 많은 나라에서는 다양한 평가체계를 사용하고 있다. 프랑스와 호주의 경우 서식지 유형과 규모에 따라 생물다양성 및 생태계 기능에 따른 점수를 곱하여 개발영향을 평가하고 있다(OECD, 2016). 자연침해조정제도를 선행해서 시행해오고 있는 독일의 경우 주마다 다른 침해량 산정 체계를 갖고 있다. 주로 토지이용 유형 및 비오톱 유형별 생태계 기능을 점수화한 체계표를 기준으로 사업 시행 전후를 비교하여 자연자원의 손실량을 계산하는 방법을 사용한다(Wnede et al, 2018). 대표적으로 독일 헤센의 경우에는 토지이용 유형 및 비오톱 유형별 생태계 기능을 원단위 점수화한 eco-points 체계를 사용하고 있다(Darbi and Tausch, 2010). 개발사업에 따른 토지이용 및 비오톱 유형의 변화에 따른 면적을 해당 비오톱 유형별 생태계 기능 점수와 곱하여 합산한 값의 차를 침해량으로 산정한다.

생태계서비스 개념은 Millenium Ecosystem Assessment(2005)에 확립된 이후 환경 의사결정에서 주류화가 되고 있는 개념으로서(UK NEA, 2010; 생물다양성법 제2조 10항). 생태계서비스 평가방법 중에서도 생태계 유형별 생태계 기능 점수를 산정하는 방법인 매트릭스 접근법은 Burkhard et al.(2009) 연구에서 프레임워크를 제시한 이후 생태계서비스 수요, 공급, 흐름 각 분야에서 적용 연구가 증가하고 있다(Campagne et al., 2020; 그림 3-1). 매트릭스 적용 사례 연구 증가 추세를 이끄는 이유 중 하나는 매트릭스 접근법의 빠르고 쉽게 적용할 수 있는 장점 때문이다(Jacobs, et al., 2015).



| 그림 II-1-1 | 매트릭스 평가방법 연구 추세(2019년 말 기준)
(Campagne et al., 2020)

토지피복 기반 매트릭스 방법을 적용한 대표적인 사례로서, 유럽환경청은 CORINE 토지피복도를 생태계유형으로 전환하여 생태계 기능을 평가하고 그 혜택을 산정하는 연구를 수행하였다(Burkhard, et al. 2009). 토지피복 기반 매트릭스 산정 방법은 쉽고, 효율적이고, 지역 및 광역 스케일에서 적용 가능하며, 다양한 종류의 정성·정량 데이터를 통합할 수 있다(Burkhard et al., 2012; 2014). 또한, 전문가 지식을 기반으로 지역 내 잠재적으로 제공되는 생태계서비스를 신속하게 평가할 수 있는 방법이다(Vihervaara et al., 2012, Stoll et al., 2014).

본 연구는 자연침해조정제도를 뒷받침하기 위해 개발사업에 따른 사업 전·후 생태계 기능 총량을 산정하는 방법을 제안하기 위해 매트릭스 접근법을 사용하여 자연자원의 침해량을 산정하는 방법을 제시한다. 본 연구의 목표는 정책 활용도를 높이는 것으로서, 결과로 산출되는 매트릭스의 신뢰도를 높이기 위해 선행연구를 토대로 다음의 설문 방법과 통계적 기법을 적용한다. 첫째, 전문가 기반 평가와 모델 기반 평가를 전문가 델파이 설문으로 초기 참조값으로 제공하고, 다양한 이해관계자 집단의 전문가 의견을 수렴하는 과정을 거쳐 높은 신뢰도를 확보한다. 둘째, 델파이 방법의 통계적 검정 절차를 엄격하게 거치고, 전문가별 응답의 확신 정도를 확인하여 신뢰도 높은 매트릭스를 구축하여 자연침해조정제도 정책을 지원하는 연구사례로서 제시한다.

평가체계 수립에서 가장 중요하게 고려하였던 점은 제도 도입의 용이성이며, 이를 위해 연구 초기에 마련한 원칙을 고려하였다. 첫째, 침해량 산정 방법을 적용하여 사업 전·후 침해량 비교가 가능해야 한다. 둘째, 평가 자료가 사전에 충분히 확보되어 있어야 한다. 셋째, 단기간

내에 평가 방법 마련이 가능해야 한다. 넷째, 사업자 스스로 평가 가능하도록 평가 방법이 쉬워야 한다. 다섯째, 평가기관에서 사업내용을 공정하게 평가할 수 있어야 한다.

나. 생태계 기능점수 매트릭스

침해량 산정 매트릭스 설정을 위해 구조화된 전문가 의견수렴 방법인 델파이 설문 방법을 적용하였다. 델파이 방법은 설문 과정 익명성을 통해 전문가의 자유로운 의견표현을 보장하며, 연구에 참여하는 다른 전문가 견해에 대한 정보를 제공하여 반복 설문 과정 중 이전 판단을 수정할 수 있는 방법으로서 의견수렴을 이끌어내는 방법이다(Profillidis & Botzoris, 2019). 델파이 방법을 사용한 침해량 매트릭스 설정 연구 과정은 크게 세 단계로 구성된다(그림 3-2).



그림 II-1-2 | 침해량 매트릭스 설정 과정

(1) 매트릭스 행·열 설정

매트릭스의 행 축에 생태계 유형을 설정하였다. 환경부 토지피복도 세분류 및 중분류를 기준으로 생태계 유형을 설정하였다. 환경부 토지피복도는 전국을 대상으로 통일된 제작지침을 기준으로 표준화된 규격으로 제작되고 항목별 분류기준이 명확하기 때문에 생태계 유형 구분에 적절하다. Burkhard et al.(2009; 2012) 연구의 전문가 기반 매트릭스 값을 활용하기 위해 유럽의 CORINE 토지피복 유형과 비교·대조하여 토지피복 기반 생태계 유형을 25개 유형으로 설정하였다.

매트릭스의 열 축에 생태계 기능을 설정하였다. 이 연구에서 매트릭스 구축에 사용한 생태계 기능은 Costanza et al.(1997) 및 de Groot et al.(2002)의 생태계서비스 연구를 기초로 설정하였다. 7개 생태계 기능을 설정하였으며, 다음과 같이 정의하였다. (1) 물 공급: 수문학적 과정을 통해 생태계가 담수를 제공하는 기능, (2) 대기조절: 대기오염물질(SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀)을 흡수 및 정화하는 기능, (3) 기후조절: 대기의 탄소를 흡수 및 저장하여 기후변화를 완화하는 기능, (4) 침식조절: 식생의 뿌리가 토양을 유지하여 침식을 완화하는 기능, (5) 수질

조절: 수질 오염 물질(N, P)을 정화하는 기능, (6) 경관: 생태계 구성요소들이 사람들에게 미적경관을 제공하는 기능, (7) 생물다양성: 다양한 생물들이 살아갈 수 있는 서식처를 제공하는 기능.

(2) 델파이 설문 초기값 설정

델파이 전문가 설문의 참고자료로서 기존 연구를 바탕으로 한 국외 전문가 설문을 기반으로 한 매트릭스와 모델 기반으로 평가한 국내 생태계서비스 제공량을 초기값으로 제시하였다. 전문가 기반 매트릭스는 Burkhard et al.(2009; 2012)가 제시한 매트릭스를 활용하였다. Burkhard et al.(2012)는 유럽연합을 대상으로 토지피복 기반 매트릭스 프레임워크를 제안하였으며, 이 프레임워크는 사례연구에서 널리 사용되고 있다. 매트릭스는 유럽의 CORINE 토지피복 분류를 기준으로 작성되었으며, 본 연구에서는 국내 토지피복도 분류에 맞추어 수정된 매트릭스를 작성하였다. 앞서 정의한 생태계서비스 25개 생태계 유형(행)과 7개 생태계 기능(열)에 따라 작성하였다.

모델 기반 초기값 매트릭스에는 국립생태원(2017), 환경부(2018; 2019), Lee et al.(2018), Kim et al.(2020) 연구에서 누적하여 수행한 20개 지역¹⁾의 생태계서비스 평가지도를 사용하였다. 생태계서비스 평가지도는 10m 격자 공간 단위로 제작되었으며, 본 연구에는 앞서 정의한 7개 생태계 기능에 해당하는 평가지도를 사용하였다. 경관 기능의 평가지도는 보완이 필요하다고 판단하여 제외하였다. 생태계 기능 공급량 계산은 앞에서 정의한 25개 생태계 유형 분류에 따라 토지피복 유형별 단위면적 당 공급량으로 구하였다. 공간분석은 Esri ArcGIS Pro 환경에서 zonal statistics 지오프로세싱 도구를 사용하였다. 지표마다 단위가 다르기 때문에 min-max normalization 방법을 사용하여 0에서 10점 사이 값으로 표준화하였다.

1) 20개 도시는 강원도 강릉, 속초, 경기도 과천, 광주, 김포, 남양주, 부천, 수원, 시흥, 안산, 양평, 연천, 파주, 평택, 밀양, 경상남도 밀양, 창원, 전라북도 군산, 충청남도 서천, 제주도 제주시, 서귀포시이다.

| 표 II-1-1 | 모델 기반 초기값 적용 모델 개요

지표	정의	단위	분석모델	참고문헌
물 공급	담수 공급량	m3/ha/yr	STREAM model(SWAT 기반)	국립생태원(2018)
대기조절	대기오염물질(SO2, NO2, O3, PM10) 흡수량	kg/ha/yr	국내 산림 SO2, NO2, O3, PM10 흡수량 합을 원단위로 사용	국립산림과학원 (2017)
기후조절	연간 CO2 흡수 및 저장량	tCO2/ha/yr	InVEST carbon storage and sequestration model,	김성훈 외(2018)
침식조절	토양보전량	ton/ha/yr	InVEST sediment delivery ratio model(RUSLE 기반)	국립생태원(2018)
수질조절	수질 오염물질(N, P) 정화량	kg/ha/yr	InVEST 인, 질소 저류효율	국립생태원(2018)
경관	미적경관 제공 가치	-	-	-
생물 다양성	생물 서식처 제공하는 기능	점수	국토환경성평가지도 환경생태적 평가 항목	환경부(2018)

(3) 델파이 설문 및 최종 매트릭스 작성

델파이 설문지는 0-10점 리커트 척도로 응답하도록 설정하였으며, 매트릭스 및 응답확신도 문항 208개 문항, 응답자 일반 특성 항목 9개 문항으로 전체 217개 문항으로 구성하였다. 설문지에는 국외 전문가 기반 초기값과 국내 모델 기반 초기값을 참고할 수 있도록 제시하였다. 전문가 기반 초기값과 모델 기반 초기값의 의존 경향을 확인하기 위해 응답 의존도 문항을 추가하였다. 설문지 초안 작성 이후 예비설문조사를 통해 설문항목을 수정·개선하였다. 예비설문은 국립생태원 내 전문가 29인을 대상으로 2회 반복 실시하였다. 응답 소요시간은 평균 20-30분 소요되었다.

전문가 설문 대상자 선정을 위해 환경부 자연자원총량제도 포럼 참여자 및 환경영향평가 관련 이해관계자인 학계, 업계, 시민단체, 관계기관 소속 전문가를 대상으로 47명의 전문가 패널을 구성하였다. 본 연구에서 전문가란 국내 생태계 유형에 관한 생태계 기능을 평가할 수 있는 자로서, 연구 및 직업 경험에 기초한 지식 및 기술을 갖춘 자로 정의하였다.

본 연구에서 델파이 설문의 목적은 다양한 이해관계 전문가 패널의 의견수렴이므로 설문 회수는 의견수렴이 이루어질 때까지 반복하였다. 델파이 2라운드 설문은 1라운드에 제시한 본인

응답과 전체 응답의 평균 및 표준편차를 함께 제시하여 본인 의견을 비교 수정하도록 구성하였다. 설문 응답은 전자우편을 통해 수집하였다. 각 델파이 라운드에서 통계적 검정을 통해 응답일관성과 응답수렴도를 확인하였다. 응답일관성 검정은 Krippendorff's alpha 통계량을 사용하였다. K-alpha 통계량은 경험적으로 신뢰수준 0.95에서 $\alpha \geq .800$ 일 때 자료에 일관성이 있다고 판단하며, 시험적인 연구인 경우에는 $\alpha \geq .667$ 일 때 일관성이 있다고 판단한다. $\alpha < .667$ 인 경우에는 일관성이 없는 자료로서 폐기한다(Krippendorff, 2004). 분석은 R 커뮤니티에서 제공하는 irr 패키지의 kripp.alpha 스크립트를 사용하였다(Garmer et al., 2012). 응답수렴도 검정에는 각 매트릭스 항목의 사분위수 범위(IQR, Interquartile Range)를 확인하였다. 사분위수 범위는 3사분위수에서 1사분위수의 차로 구하며, 일반적으로 리커트 척도가 10일 때 사분위수 범위가 2 이하의 값이 나오면 의견이 수렴한다고 판단한다(Scheibe, et al, 2002). 의견수렴이 이루어졌다고 판단하였을 때 설문 종료시점을 확정하였다.

최종 매트릭스의 신뢰도를 확인할 수 있는 방법으로서 175개 개별 항목에 대한 전문가 설문의 응답확신도를 설문하였다. 응답확신도는 응답자의 전문성 및 확신도에 따라 7개 생태계 기능, 25개 생태계 유형에 대해 각각 1-3 리커트 척도로 평가한 후, 이를 생태계 기능과 생태계 유형 조합에 따라 곱하고 1-6점 척도로 환산하여 사용하였다. 예를 들어, 생태계 기능($V_{k,o}$)과 생태계 유형($V_{i,o}$) 점수를 곱하면 가능한 수는 1,2,3,4,5,9 값이 나오며, 5는 6으로, 9는 6으로 변환하여 응답확신도($V_{k,i,o}$)를 구하였다. 산식: $V_{k,i,o} = V_{k,o} \times V_{i,o}$ (Campagne et al., 2017). 응답확신도는 최종 매트릭스 점수에 가중치로 적용하였다. 최종 매트릭스 점수($\mu_{k,i}$)는 전문가별 응답확신도 가중치($V_{k,i,o}$)를 개별 점수($Y_{k,i,o}$)에 적용한 값($Y'_{k,i,o}$)의 평균으로 계산하였다(Campagne et al., 2017). 최종 매트릭스 점수의 표준편차는 가중치를 적용한 값의 표준편차($\sigma'_{k,i}$)로 구하였으며, 계산식은 아래와 같다²⁾. 최종 매트릭스 결과의 신뢰도를 검토하기 위해 각 항목의 응답확신도 평균값과 가중치를 적용한 점수의 표준편차를 한 눈에 볼 수 있도록 도표화하여 교차 확인하였다.

$$2) Y'_{k,i,o} = Y_{k,i,o} \times V_{k,i,o}, \mu_{k,i} = \frac{\sum_{k,i} Y'_{k,i,o}}{\sum_{k,i} V_{k,i,o}}, \sigma'_{k,i} = \sqrt{\frac{\sum_{k,i} \{(Y_{k,i,o} - \mu_{k,i})^2 \times V_{k,i,o}\}}{\sum_{k,i} V_{k,i,o}}}$$

다. 침해량 산정 매트릭스 결과

(1) 응답자 표본 특성

전문가 패널 47명에게 설문을 의뢰하여 1차 설문에는 33명이 응답하였다. 1차 설문 응답자를 대상으로 2차 설문을 실시하였고, 1차에서는 학계 16명, 업계 9명, 시민단체 3명, 관계기관 5명, 총 33명이 설문에는 응답하였다. 2차에서는 학계에서 무응답자 1명이 발생하여 총 32개 표본을 분석에 사용하였다. 응답자의 55%가 경력 20년 이상이며, 응답자의 67%가 최종학력 박사 학위 이상에 해당하였다. 설문 응답자 구성은 학계 47%, 업계 28%, 시민단체 10%, 관계기관 15%으로 이뤄졌다.

표 II-1-2 | 델파이 설문조사 개요

구분	기간	대상
델파이 예비설문 1라운드	1월16일~1월26일	국립생태원 소속 29명
델파이 예비설문 2라운드	2월18일~3월4일	
델파이 설문 1라운드	2월20일~3월9일	학계(16), 업계(9), 시민단체(3), 관계기관(5), 33명
델파이 설문 2라운드	3월11일~3월25일	학계(19), 업계(9), 시민단체(3), 관계기관(5), 32명

(2) 침해량 산정 매트릭스

응답일관성 검정 결과, 신뢰수준 0.95에서 Krippendorff alpha 통계량 0.803이 나타났다. 즉, 자료의 80%가 우연히 얻어지는 경우보다 더 나은 수준의 일관성을 띠는 자료를 의미한다. 경험적으로 일관성이 높은 자료로 판단하는 값 0.8보다 높으므로 본 델파이 설문의 응답자 내 응답 일관성이 높은 것을 확인하였다. 응답수렴도 검정 결과, 설문 2차 시점에서 7개 항목을 제외하고 168개 항목에서 IQR 값이 2이하로 나타나 응답에 합의가 이루어진 것으로 판단하여 설문 2차를 종료시점으로 설정하였다.

최종 매트릭스를 설정한 결과, 7개 생태계 기능 중 경관(합계 148점), 물공급(138점), 생물다양성(133점) 기능에서 높은 점수를 보였다. 반면, 침식조절(74점), 대기조절(75점) 기능은 상대적으로 낮은 점수를 나타냈다. 25개 생태계 유형 중에서는 침엽수림(합계 67점), 활엽수림(63점), 혼효림(66점) 유형에서 대체로 높은 점수를 보였다. 그 다음으로 자연초지(47점), 내륙습지(44점), 갯벌과 하천(36점), 호소(35점), 과수원과 기타초지(33점) 순으로 높은 점수

가 나타났다. 생태계 유형 중 낮은 점수를 받은 유형은 채광나지(7점), 운동장과 기타나지(6점), 시가화건조지역(5점)으로 나타났다(표 3-5).

| 표 II-1-3 | 침해량 산정 매트릭스

구분	생태계유형	물 공급	대기 조절	기후 조절	침식 조절	수질 조절	경관	생물 다양성	합계
자연	활엽수림	9	10	10	10	10	10	10	69
	침엽수림	7	9	9	9	9	10	10	63
	혼효림	8	9	9	10	9	10	10	65
	자연초지	7	4	5	7	7	8	8	46
	내륙습지	8	3	5	3	8	8	8	43
	갯벌	5	2	4	1	5	8	8	33
	염전	4	1	1	0	1	6	6	19
	해변	4	1	2	1	2	9	9	28
	강기슭	5	2	2	1	3	9	9	31
	암벽/바위	3	1	1	1	1	8	8	23
	하천	7	2	3	1	5	9	9	36
	호소	7	2	3	1	3	9	9	34
준자연	논	7	3	4	2	4	6	6	32
	밭	5	3	3	2	3	4	4	24
	시설재배지	3	1	3	1	2	2	2	14
	과수원	6	4	5	4	4	6	6	35
	목장·양식장	3	2	2	3	2	5	5	22
	기타재배지	5	3	3	3	2	3	3	22
	골프장	6	3	3	3	3	6	6	30
	묘지	5	2	3	4	3	3	3	23
	기타초지	6	4	4	4	4	5	5	32
	채광나지	3	0	0	0	1	0	0	4
	운동장	3	0	0	0	0	1	1	5
	기타나지	3	0	0	0	0	0	0	3
인공	시가화건조지역 (불투수토양)	1	0	0	0	0	1	1	3

응답의존도 분석 결과, 최종 매트릭스의 전반적인 패턴과 사전 제시한 초기값을 비교하였을 때, 국외 전문가 기반 초기값보다 국내 모델 기반 초기값에 더 가까운 결과를 보였다(부록 00). 응답의존도 설문 결과에서도 전문가 기반 초기값을 다소 더 참고하였다는 응답(8명)보다 국내 모델기반 초기값을 다소 더 참고하였다는 응답(16명)이 높게 나타났다(그림 3-3 f.).

델파이 설문 방법의 의견수렴 효과를 확인하기 위해 각 항목의 응답확신도 평균값과 가중치를 적용한 점수의 표준편차를 도표화하여 교차 확인하였다(표 3-4; 3-5). 설문 결과 2차 델파이 설문을 통한 응답별 표준편차가 전반적으로 감소하였다³⁾ 전반적인 패턴을 보았을 때, 활엽수림과 침엽수림의 대기조절, 기후조절, 침식조절, 수질조절 기능에서 높은 응답 확신도와 작은 편차를 보였던 1차 설문 시보다, 1차 결과를 제공하고 설문을 진행하였던 2차 설문 시 응답의 편차가 더 증가한 것을 확인하였다. 해변과 암벽 및 바위 피복 유형의 경관 기능에 대한 응답 확신도는 1차 설문 때보다 감소하였다. 반면, 채광나지, 운동장, 기타나지에 대한 대체로 전반적인 기능의 응답 신뢰도는 증가하였다.

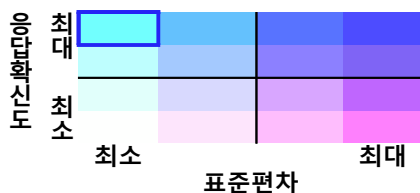
2차 설문에서 응답 확신도가 작은 항목은 대체로 염전, 시설재배지, 기타재배지, 목장 및 양식장, 기타초지 유형으로서 6점 만점 3.6~4.0점대로 나타났다. 이에 반해, 응답 확신도가 높은 항목은 참활혼효림, 하천, 시가화 건조지역으로서 4.7~5.3점대로 나타났다. 응답 표준편차는 전체 항목에서 대체로 감소하거나 극히 미미한 증가가 나타났다. 2차 설문에서 응답 표준편차가 작은 항목은 참활혼효림의 대기조절, 기후조절, 침식조절, 경관 기능으로 나타났다. 시가화 건조지역의 대기조절, 기후조절, 수질조절 기능에서도 표준편차가 작게 나타났다. 응답 표준편차가 높은 항목은 해변과 암벽 및 바위의 생물다양성 기능으로 나타났다.

전문가 패널의 학계, 업계, 시민단체, 관계기관의 4개 소속집단에 따라서 응답 항목에 차이가 있었는지 확인하기 위해 각 소속집단별 최종 매트릭스를 작성하였다. von der Gracht, et al(2012)은 설문 초기에 두 가지 참조값을 제공하는 경우 응답자의 경향은 두 참조값 중 하나를 선택하기 때문에 강력하게 응집력 있는 두 하위그룹이 형성되어 합의 달성 가능성이 저하될 가능성을 우려하였다. 그러나 본 연구에서는 설문 초기 두 가지 참조값을 제시하였음에도 불구하고 전반적인 최종 매트릭스의 합의 과정에서 7개 항목을 제외한 나머지 항목에서 합의가 이뤄진 것으로 나타났다.

3) 가중치를 적용한 최종 매트릭스 점수의 표준편차($\sigma'_{k,i}$)들의 평균값을 구한 결과, 1차 설문 결과(1.8)에서 2차 설문 결과(1.6)로 감소하였다.

| 표 II-1-4 | 1차 설문 응답확신도 및 표준편차

구분	생태계유형	물 공급	대기 조절	기후 조절	침식 조절	수질 조절	경관	생물 다양
자연	활엽수림							
	침엽수림							
	혼효림							
	자연초지							
	내륙습지							
	갯벌							
	염전							
	해변							
	강기슭							
	암벽/바위							
준자연	하천							
	호소							
	논							
	밭							
	시설재배지							
	과수원							
	목장·양식장							
	기타재배지							
	골프장							
	묘지							
인공	기타초지							
	채광나지							
	운동장							
	기타나지							
인공	시가화							
	건축지역							



※ 응답확신도가 높고 표준편차가 낮을수록 응답항목 신뢰도 높음

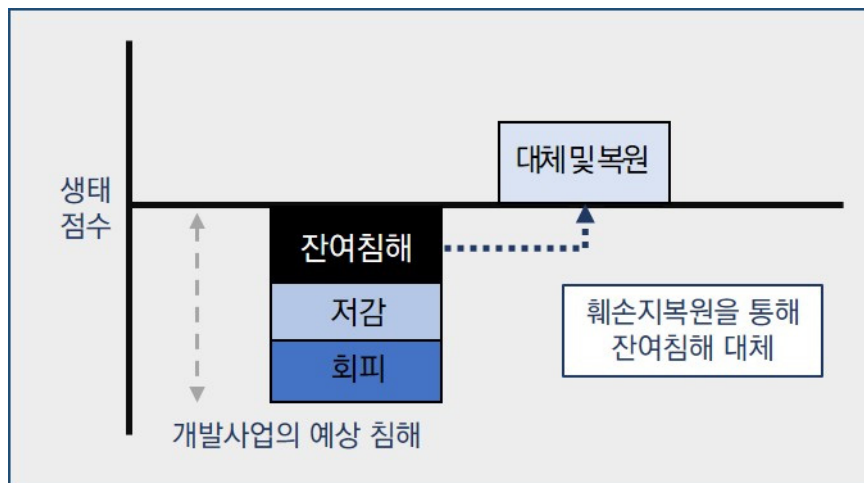
| 표 II-1-5 | 2차 설문 응답확신도 및 표준편차

구분	생태계유형	물 공급	대기 조절	기후 조절	침식 조절	수질 조절	경관	생물 다양
자연	활엽수림							
	침엽수림							
	혼효림							
	자연초지							
	내륙습지							
	갯벌							
	염전							
	해변							
	강기슭							
	암벽/바위							
준자연	하천							
	호소							
	논							
	밭							
	시설재배지							
	과수원							
	목장·양식장							
	기타재배지							
	골프장							
	묘지							
인공	기타초지							
	채광나지							
	운동장							
	기타나지							
인공	시가화							
	건축지역							

2 | 훼손지 및 생태계좌 비축지의 생태계서비스 개선효과 평가

가. 자연자원 총량 증진을 위한 훼손지 복원

자연침해조정제도를 운영하는 과정에서 개발사업지 내에서 침해에 대한 저감과 회피절차를 수행하였음에도 불구하고, 잔여침해량이 존재하는 경우 이를 보상하기 위해서 개발사업지 이외 지역에 대한 대체 및 복원사업을 수행한다 (그림 1). 독일 자연침해조정제도에서는 개발사업지내에서 침해의 보상이 어려운 경우, 사전에 비축한 대체지에 복원사업을 수행하는 대체지 비축제도(Flächenpool)나 사전에 보상조치를 수행하고, 이를 계좌에 적립하는 생태계좌(Ökokont)제도를 운영하고 있다 (국토연구원, 2012). 대체지비축제도와 생태계좌제도는 보상사업을 수행할 때, 사업자들이 어려움을 가지는 토지확보의 문제를 완화시킬 수 있으며, 보상사업에 시공간적인 유연성을 부여한다 (국토연구원, 2012). 본 연구에서는 자연침해조정제도를 효율적으로 운영하기 위하여 인천시 서구를 대상으로 훼손지를 선정하고, 이들에 대한 복원사업을 수행함으로써 잔여침해를 보상하는 방안을 시범적으로 적용하였다.



| 그림 II-2-1 | 생태기능 매트릭스 기반 복원사업 효과 평가 예시

훼손지 복원사업의 시범적용 연구는 다음의 절차로 수행되었다. 먼저 공간자료를 이용하여 훼손지를 파악하였다. 이후 앞서 제시된 생태점수 매트릭스를 적용하여 훼손지 복원시 생태기능 개선수준을 파악하였다. 또한 생태계서비스 평가도구 및 모형을 이용하여 복원사업에 의한 생태계서비스 증진효과를 파악하였다.

나. 훼손지 선정 절차

훼손지를 선정하기 위해서는 훼손지를 정의하고, 이에 부합하는 기준을 마련하여 적용하는 과정이 필요하다. 자연침해조정제도를 효율적으로 운영하기 위해서는 훼손지 복원사업을 수행하기 용이하고, 훼손지 복원에 따른 개발사업자들의 부담도 적어야 한다. 고려대학교(2019)는 토지이용변화와 공간자료(규제지역, 용도지역, 지적도 등), 위성영상 검증 및 현장조사를 수행하여 훼손지를 파악하였다. 본 연구에서는 이를 수정 적용하여 훼손지를 다음과 같이 선정하였다. 2014년과 2019년 세분류토지피복도를 이용하여 토지이용이 시가지, 농경지, 산림, 초지, 습지에서 나대지로 변화된 지역을 추출하였다. 나대지로 변화된 지역 가운데, 용도지역지구도의 규제지역 및 용도지역, 생태축(한남정맥)에 포함된 지점들을 추출하였다. 다음으로 개발사업의 효율성을 고려하여 면적이 0.5ha 이상인 지점들만을 선택하여 잠재훼손지로 분류하였다. 이후 위성영상자료(네이버 및 다음지도 등)를 이용하여 잠재훼손지들이 개발사업의 대상지인지를 검토한 뒤, 실제 복원사업이 가능한 지점들을 선정하였다 (그림2).

공간자료를 이용한 훼손지 선정

1. 토지피복이 시가지, 농경지, 산림, 초지, 습지에서 **나대지로 변화된 지역** 추출
2. 용도지역지구도(KLIS) 중 **규제지역 및 용도지역**(상수원보호구역, 공장설립제한구역, 수변구역, 자연공원, 자연환경, 야생생물보호, 자연환경보전지역, 생태계보존지구), **생태축**(한남정맥) 파악
3. **규제지역과 생태축내 토지피복변화(나대지)지역**을 파악
4. 중첩된 지역 가운데 **면적이 5,000㎡ 이상인** 지점을 추출

훼손지 분석결과 보정

1. 선정된 훼손지를 **다음, 네이버 영상자료와 비교**하여 시가지로 전환되거나, 농경지/산림/초지가 조성된 경우 제외

훼손지 특성파악 및 DB화

1. 선정된 훼손지 자료와 토지지도, 지가, 소유정보 등을 중첩하여 훼손지의 특성파악

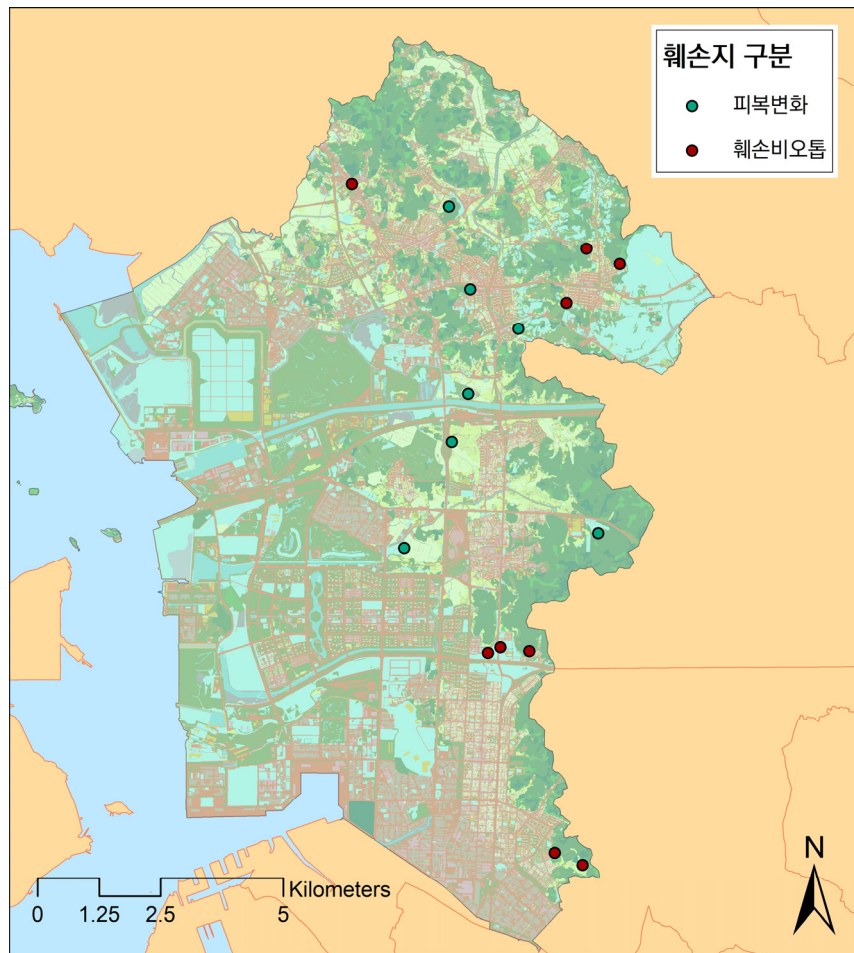
| 그림 II-2-2 | 토지피복변화 기준을 적용한 훼손지 선정 절차 (고려대학교, 2019 수정)

또한 인천시의 도시생태현황도에서 바이오롬항목이 훼손지로 평가된 지점들을 잠재적 훼손지로 선정하였다. 도시생태현황도의 토지이용항목이 산림훼손지 및 폐건폐지로 분류되었거나, 바이오롬 소분류항목이 식생이 없는 벌채지 및 훼손지, 외래초본이 우점하는 벌채지 및 훼손지를 훼손바이오롬으로 선정하였다.

잠재적인 훼손지 가운데 면적이 0.5ha 이상인 지점을 추출한 뒤, 위성영상자료(네이버지도)와 비교하여 시가지로 전환되거나 전환예정인 지역들을 제외하고, 최종적으로 훼손지를 선정하였다. 선정된 훼손지 공간범위자료와 토지피복현황(14년, 19년), 토지지목, 토지소유정보, 공시지가 자료들을 이용하여 훼손지의 특성들을 파악하고, 이를 정리하여 데이터베이스로 구축하였다.

다. 훼손지 선정 결과

인천시 서구를 대상으로 훼손지를 파악한 결과 총 16개의 훼손지가 추출되었다. 훼손지는 토지피복과 용도구역 기준에 따라서 선정된 피복변화 훼손지와 도시생태현황도에서 훼손비오톱으로 분류된 훼손지로 구분하였다 (그림 3). 피복변화 훼손지는 7곳이 선정되었으며, 주로 서구의 동북부 지역내에 위치하였다. 피복변화 비오톱은 2014년에는 농경지, 초지 혹은 산림이었던 지역들이 2019년에는 나지로 분류된 지역으로 면적은 0.68~1.39ha이며, 토지지목은 전, 답, 잡(잡종지), 유(유지), 임(임야), 대(대지) 등으로 다양하게 나타났다. 인천시의 경우 용도지역지구도의 규제 및 용도지역의 비율이 낮기 때문에, 훼손지들은 주로 한남정맥을 따라서 분포하였다. 토지소유현황의 경우 개인 4곳, 공유 3곳, 국유 3곳, 법인 2곳으로 나타났으며, 1㎡당 공시지가는 3만원인 지점부터 128~147만원인 지점까지 다양하게 나타났다. 비오톱유형기준에 따라 선정된 훼손지는 총 9곳으로 나타났으며, 서구의 동쪽에 위치하였다. 훼손비오톱은 16번 훼손지(ID-16)의 일부지점을 제외하면 토지피복도 상에서 피복변화가 나타나지 않았다. 훼손비오톱에서는 복수의 토지피복이 나타나는데 농경지, 초지, 시가지, 산림, 나대지 피복이 다양하게 나타났으며, 면적은 0.59~2.88ha로 평가되었다. 토지지목은 대(대지), 임(임야), 장(공장), 목(목장), 도(도로), 차(주차장) 등이 나타나면서 전답이 우세한 피복변화 훼손지와 다른 특성을 가졌다. 소유현황의 경우 법인 6곳, 국유 3곳, 공유 3곳, 개인 2곳으로 법인소유의 비율이 높았으며, 1㎡당 공시지가는 3~15만원인 지점부터 37~260만원인 지점까지 다양하게 나타났다(표 1).



| 그림 II-2-3 | 인천시 서구 훼손지 선정 결과

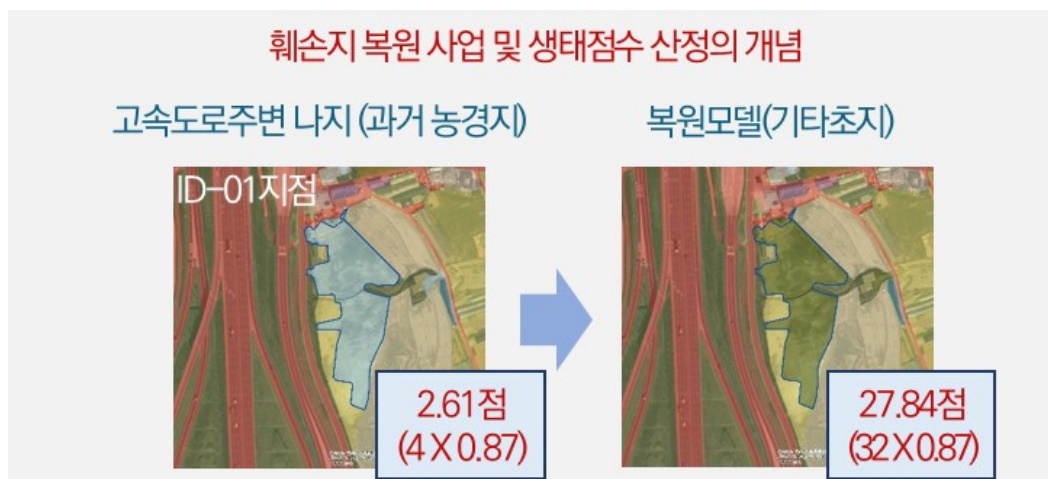
| 표 II-2-1 | 인천시 서구 훼손지별 공간특성

구분	구분	과거피복 (2014년)	현재피복 (2019년)	면적 (ha)	지목	소유현황	공시지가 (만원/㎡)
ID-01	피복변화	농경지	나대지	0.87	전, 답	개인, 공유	24~28
ID-02		초지	나대지	1.39	잡	개인, 공유	25~26
ID-03		농경지	나대지	0.77	유	국유, 공유	25.4
ID-04		산림, 초지	나대지	0.77	임	국유	3
ID-05		농경지, 산림	나대지	1.21	전, 임	개인, 국유	NA
ID-06		농경지	나대지	0.72	대	개인, 법인	128~147
ID-07		농경지, 산림	나대지	0.68	전	법인	NA
ID-08	훼손비오름	농경지, 초지	농경지, 초지	0.89	대	법인, 국유	11~98
ID-09		초지, 시가지	초지, 시가지	1.09	임	법인, 국유	11~34
ID-10		초지, 시가지	초지, 시가지	1.34	임	법인	NA
ID-11		초지, 시가지	초지, 시가지	0.77	임, 장	개인, 공유	15~73
ID-12		산림, 나대지	산림, 나대지	0.59	임, 대	공유	3~15
ID-13		초지, 농경지	초지, 농경지	0.67	임, 목	개인	3~58
ID-14		시가지, 나대지	시가지, 나대지	2.88	대, 도	국유, 법인	37~260
ID-15		농경지, 초지	농경지, 초지	0.79	목, 임	법인	NA
ID-16		시가지, 나대지	나대지	0.63	대, 차	법인, 공유	NA

라. 훼손지 복원의 생태계서비스 개선효과

(1) 매트릭스 기반 평가

선정된 16곳의 훼손지를 대상으로 생태계서비스 평가 매트릭스를 적용하여 훼손지 복원의 효과를 정량적으로 평가하였다. 매트릭스기반 평가는 앞서 제시된 생태기능점수매트릭스를 이용하여 훼손지의 현재 생태점수를 산정한다. 그리고, 훼손지가 도시녹지에 해당되는 기타초지로 복원된 상황을 가정하여 생태점수를 산정하고, 이를 현재 생태점수와 비교하여 복원사업의 생태기능 효과를 평가하였다. 예를 들어 ID-01지점의 복원효과를 생태기능점수로 평가할 경우는 다음과 같이 진행된다. ID-01지점의 현재 피복인 생태기능점수는 인공나대지의 4점(1ha당)에 훼손지 실제면적인 0.87을 곱하여 총 2.61점이 된다. 해당지점이 기타초지로 복원 되면 기타초지의 32점(1ha당)에 훼손지의 면적인 0.87을 곱하여 총 27.84점의 생태점수를 확보한다. 이에 따라 복원에 따른 생태기능점수 개선효과는 25.23점이 증가하는 것으로 평가되었다(그림 4).



| 그림 II-2-4 | 생태기능 매트릭스 기반 복원사업 효과 평가 예시

표 2는 전체 16곳 훼손지의 생태기능점수 기반 복원사업 효과의 정량평가 결과는 다음과 같다(표 2). 피복변화 훼손지의 경우 토지피복이 전부 나대지이며 다른 피복이 존재하지 않기 때문에, 나대지가 기타초지로 변화 되면서 생태기능점수의 증진효과가 높게 나타난다. 모든 훼손지에서 균일하게 1ha당 4점에서 32점으로 점수가 향상되며, 훼손지의 면적에 따라 최대 35.09점(ID-05)이 증가하게 된다.

훼손비오톱의 경우 현재의 토지피복이 농경지, 초지, 산림 등으로 다양하게 나타나기 때문에 기타초지보다 생태기능점수가 낮은 피복(농경지(밭), 시가지, 나대지)은 기타초지로 전환시킨다. 반면 기타초지보다 생태기능점수가 높거나 동일한 산림과 초지가 포함될 경우, 산림과 초지피복은 유지한 상태에서 나머지 피복에 대한 복원사업을 진행하였다. 이와 같이 복원사업을 진행할 경우 토지피복이 시가지와 나대지인 ID-14번 훼손지의 생태기능점수가 74.88점으로 변하면서 복원사업의 효과가 가장 높게 나타났다. 반면 기존 피복이 초지와 농경지인 ID-08번 훼손지의 경우 초지는 유지한 채 농경지가 기타초지로 복원되면서 생태기능 향상수준이 낮게 나타났다.

훼손지복원사업의 생태기능기반 평가는 생태계좌와 연계하여 적용이 가능하다. 만약 생태점수가 300점인 인천시 서구지역에서 개발사업을 수행하면서 생태기능점수가 250점이 되면, 잔여침해는 50점이 남게 된다. 개발사업자는 잔여침해를 고려하여 ID-01과 ID-02지점에 복원사업을 수행하여 65.54점을 확보할 수 있다. 이 중에서 50점은 개발사업의 잔여침해를 보상하는데 사용하고, 나머지 15.54점은 생태계좌에 비축하여 저장이 가능하다. 저장된 생태점수 증가분은 향후 다른 개발사업으로 발생하는 잔여침해를 보상하는데 사용이 가능하다.

표 II-2-2 | 훼손지복원에 따른 생태기능점수 변화

구분	구분	과거피복 (2014년)	현재피복 (2019년)	면적 (ha)	생태점수		
					현재	복원후	변화
ID-01	피복변화	농경지	나대지	0.87	2.61	27.84	▲25.23
ID-02		초지	나대지	1.39	4.17	44.48	▲40.31
ID-03		농경지	나대지	0.77	2.31	24.64	▲22.33
ID-04		산림, 초지	나대지	0.77	2.31	24.64	▲22.33
ID-05		농경지, 산림	나대지	1.21	3.63	38.72	▲35.09
ID-06		농경지	나대지	0.72	2.16	23.04	▲20.88
ID-07		농경지, 산림	나대지	0.68	2.04	21.76	▲19.72
ID-08	훼손 비오톱	농경지, 초지	농경지, 초지	0.89	27.83	29.41	▲1.57
ID-09		초지, 시가지	초지, 시가지	1.09	33.86	37.92	▲4.07
ID-10		초지, 시가지	초지, 시가지	1.34	39.88	44.04	▲4.16
ID-11		초지, 시가지	초지, 시가지	0.77	16.67	32.15	▲15.48
ID-12		산림, 나대지	산림, 나대지	0.59	14.63	24.21	▲9.58
ID-13		초지, 농경지	초지, 농경지	0.67	21.11	24.22	▲3.11
ID-14		시가지, 나대지	시가지, 나대지	2.88	17.35	92.23	▲74.88
ID-15		농경지, 초지	농경지, 초지	0.79	21.52	27.50	▲5.98
ID-16		시가지, 나대지	나대지	0.63	1.89	20.16	▲18.27

(2) 모형기반 평가

훼손지 복원사업의 생태계서비스 개선효과를 정량적으로 평가하는 다른 방법은 복원사업 전후의 피복자료를 이용하여 기존의 생태계서비스 평가모형과 방법론에 적용하는 방안이다. 이는 다음의 과정으로 진행된다. 우선 인천시 서구의 토지피복도를 이용하여 현재 수준에서 생태계서비스를 평가한다. 다음으로 훼손지에서 초지와 산림을 제외한 나머지 피복들이 기타 초지로 전환된 토지피복도를 제작하여 생태계서비스를 평가한다. 생태계서비스 항목들의 경우 물공급, 침식조절 등과 같이 주변 및 유역상류 지점들과의 상호작용이 반영되기 때문에 인천시 서구지역 전체를 대상으로 생태계서비스를 평가한다. 이후에 훼손지들을 따로 추출하여 생태계서비스 평가결과의 차이값을 이용하여 훼손지 복원사업에 의한 생태계서비스 개선효과를 평가한다.

생태계서비스평가는 환경부(2018)를 참고한 뒤, 공간자료와 방법론의 적용가능성을 검토하

여 물공급, 대기조절, 기후조절, 침식조절, 수질조절의 5개 항목을 대상으로 수행되었다(표 3). 선택된 5개 생태계서비스 항목들은 평가과정에서 토지피복도를 입력자료로 활용되기 때문에, 복원사업에 따른 토지피복 변화의 효과를 평가하기에 적합하다.

표 II-2-3 | 생태계서비스 평가항목 및 방법론

생태계서비스	지표	단위	평가방법
물공급	가용 수자원량	Mm ³ / year	InVEST water yield 모형
대기조절	오염물질 흡수량	kg / year	피복별 단위 값 적용 (국립산림과학원, 2017)
기후조절	탄소저장량	tCO	InVEST carbon 모형
침식조절	토양보유량	ton / year	InVEST SDR 모형
수질조절	오염물질 저류효율	%	InVEST NDR 모형

본 연구에서는 모형기반 평가를 수행하는 과정에서 2가지 복원유형별 시나리오를 제작하여 적용하였다. 첫 번째 시나리오는 매트릭스기반 평가와 동일하게 초지와 산림을 제외한 나머지 피복들이 기타초지로 전환되는 복원사업을 수행하는 경우이다. 두 번째 시나리오는 훼손농경지를 복원하는 경우에 농경지 고유의 기능을 극대화하는 복원사업을 수행하는 경우이다. 훼손농경지의 복원사업은 기존 농경지의 기능을 유지하는 것과 산림으로 복원하는 방안으로 구분하여 추진할 수 있다(대구경북연구원, 2008). 이를 반영하여 훼손농경지는 농경지 피복을 유지하면서 농경지가 제공하는 기능과 서비스를 회복시키는 방향으로 복원사업을 진행하고, 시가지와 나대지는 기타초지로 복원하는 상황을 가정하였다.

복원방안 시나리오를 공간화는 토지피복도에서 16개의 훼손지 범위를 추출하고, 복원사업 시나리오별 토지피복도를 제작한다. 시나리오1에서는 초지와 산림을 제외한 훼손지내의 피복이 기타초지로 전환되는 상황을 반영하여 토지피복도를 제작하였다. 시나리오2에서는 시가지와 나대지는 기타초지로 전환되지만 농경지는 유지되는 상황을 반영하는 토지피복도를 제작하였다. 새롭게 제작된 토지피복도들은 InVEST 모형과 피복별 단위값(대기조절)을 산정하는 입력자료로 활용되었다. 이를 통해서 평가된 16개 훼손지의 복원유형에 따른 생태계서비스 결과는 다음과 같다(표 4). 복원사업의 생태계서비스 평가결과를 항목별로 살펴보면 물공급서비스는 복원유형에 상관없이 크게 감소하는 것으로 평가되었다. 이는 InVEST water yield모형에서 산정하는 가용 수자원량이 초지와 농경지보다 나대지에서 높게 평가되기 때문이다. 반면 산림과 초지에서 높게 평가되는 대기조절과 기후조절은 복원사업의 효과로 인하여 증가하는 것으로 평가되었다. 침식조절의 경우 복원대상지가 평지지역에 위치하기 때문에 기타초지로

복원하는 경우에 변화가 거의 나타나지 않았다. 수질조절은 복원시나리오1을 적용하는 경우에는 3.2%가 증가하는 반면, 복원시나리오2를 적용하는 경우에는 17.5%가 증가하는 것으로 평가되어 다른 생태계서비스 항목들에 비해 복원사업별로 차이가 나타났다. 수질조절 효과가 높은 농경지가 그대로 유지되면서 시가지와 나대지만이 기타초지로 전환되면서 이와 같은 결과가 나타났다.

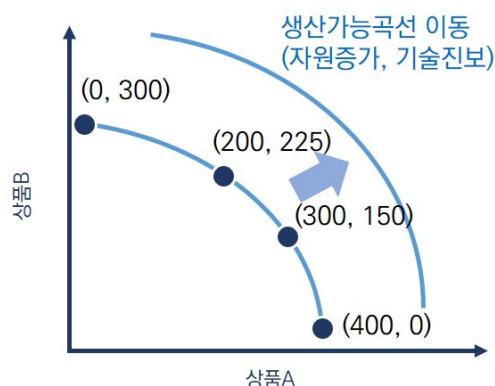
표 II-2-4 복원발안별 생태계서비스 변화

생태계서비스	단위	현재값	복원시나리오1		복원시나리오2	
			복원후	증감량	복원후	변화율
물공급	Mm ³ / year	1.12	0.68	▼0.44 (-39.0%)	0.68	▼0.44 (-39.0%)
대기조절	kg / year	761	2,647	▲1,886 (+248%)	2,533	▲1,772 (+233%)
기후조절	tCO	584.7	1385.3	▲800.6 (+136%)	1375.8	▲791.2 (+135%)
침식조절	ton / year	2,745	2,748	▲3 (+0.1%)	2,745	▲0.1 (+0.1%)
수질조절	%	48.55	50.11	▲1.56 (+3.2%)	57.03	▲8.48 (+17.5%)

(3) 생태계서비스 생산가능곡선 제작

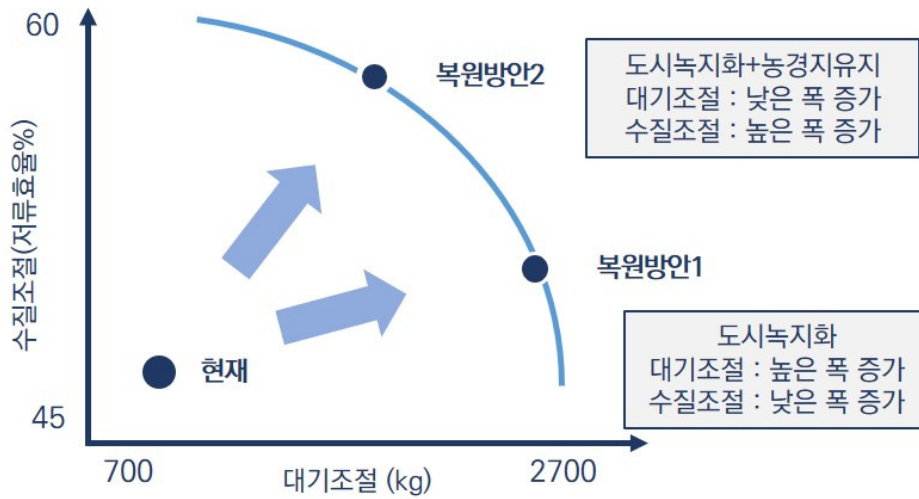
생산가능곡선(PPF: Production Possibility Frontier)은 특정한 경제적 사회가 현재의 자원과 기술 수준에서 효율적으로 생산할 수 있는 상품들의 최대생산량 조합을 표현하는 곡선이다 (Grafius et al., 2016). 특히 가용자원이 제한적인 상황에서 상품을 선택해야 할 때, 두 종류 상품의 생산가능성을 비교하고, 트레이드오프를 고려하는 최적의 생산조합을 파악하는데 활용된다 (Lang and Song, 2017). PPF는 한정된 재화를 가지고 상품을 생산하는 경우에 A 상품만을 생산하는 경우에 400개를 생산하고, B상품만을 생산하는 경우에 300개를 생산하는 상황에서 재화를 효율적으로 활용하여 사회에서 생산가능한 최대의 조합들을 추출한다(그림 5). 이 경우에 각 상품의 효율성과 희소성 수준이 다르기 때문에 상품조합의 생산량이 직선이 아니라 곡선의 형태로도 나타나며, A상품을 300개를 생산하고 나머지의 재화로 B상품을 150개 생산하는 것이 가능하다. 반면 A상품의 생산량을 100개 줄여서 200개만 생산하더라도, B상품의 생산량은 75개만 증가하기도 한다. 이처럼 한정된 재화를 가지고 생산이 가능한 양을 파

악함으로서 제품의 생산에 대한 희소성, 효율성 및 선택의 문제를 반영하여 상품간의 트레이드 오프문제를 파악한다. 또한 PPF는 이용가능한 자원의 양이 증가하거나, 기술이 발전하면 곡선이 바깥쪽으로 이동하는 반면, 이용가능한 자원의 양이 감소하는 경우에는 곡선이 안쪽으로 이동하게 된다.



| 그림 II-2-5 | 상품생산의 생산가능곡선

생태계서비스는 생태계가 고유의 과정과 구조를 통해서 인간사회에 편익을 제공하는 결과물으로써, 생태계서비스 생산의 측면에서 PPF를 적용한다(Laang and Wang, 2017). 생태계서비스를 제공하기 위한 자연자원이 고정된 상황에서, 트레이드오프 관계를 가지는 두 종류의 생태계서비스 사이의 관계를 생산가능곡선으로 표현할 수 있다. 또한 생태계서비스를 제공하는 자연자원의 양이 증가하는 경우에 PPF가 바깥 쪽으로 이동하는데, 자연자원의 증가방향에 따라서 특정 생태계서비스들의 증가수준이 달라지면서, PPF를 생성한다. 본 연구에서는 훼손지라는 고정된 자연자원의 면적에서 복원사업을 수행하면서 나타나는 생태계서비스 개선효과를 비교하기 위해, 복원사업 유형에 따라 증가수준이 달라지는 수질조절서비스와 대기조절서비스를 이용하여 PPF를 제작하였다 (그림 6).



| 그림 II-2-6 | 생태기능 매트릭스 기반 복원사업 효과 평가 예시

훼손지 전체를 기타초지로 전환하는 복원방안1을 수행하는 경우 현재보다 수질조절서비스의 개선효과는 낮은 반면, 대기조절서비스의 개선효과는 높게 나타난다. 반면 농경지를 유지하면서 나머지 피복을 기타초지로 전환하는 복원방안2의 경우, 복원방안1보다 수질조절서비스의 개선효과는 높아지는 반면, 대기조절서비스의 개선효과는 작아진다. 그러므로 복원사업의 형태에 따라 대기조절서비스와 수질조절서비스는 트레이드오프를 가지게 된다. 이처럼 복원사업별 생태계서비스 트레이드오프를 PPF를 이용하여 파악함으로써, 지역의 생태계서비스 수요와 생태계서비스 개선의 효율성을 고려하는 복원방안을 선택할 수 있다.

마. 고찰

본 연구에서는 공간자료를 이용하여 훼손지를 파악하고, 훼손지복원 사업의 효과를 생태기능 매트릭스와 생태계서비스 평가모형을 이용하여 정량적으로 평가하였다. 매트릭스 기반평가는 자연침해조정제도의 침해산정방법론에 대응하여 복원사업의 생태기능점수 개선효과를 평가하여 잔여침해를 보상하고, 생태계좌제도와 연계하여 적용이 가능하다. 현재 검토 중인 자연침해조정제도 체계에서는 개발사업대상지의 피복이 시가지 혹은 나대지인 경우에는 개발사업을 수행하면서 녹지(초지)를 함께 조성함으로써 생태기능점수가 유지 혹은 증가하여 사업지내에서 침해보상이 가능하다. 반면 기존피복이 농경지, 초지, 산림이 우세한 경우에는 사업지내에서 침해의 완전한 보상이 어렵다. 그러므로 훼손지 복원사업을 생태계좌와 연계하여 적용할

경우, 개발사업으로 예상되는 잔여침해를 보상하는 방안을 제시함으로써 개발사업자들이 복원 대상지를 찾는데 소모되는 시간과 비용을 줄일 수 있다. 지역의 공간환경계획을 고려하여 선정기준을 마련한 뒤에 훼손지를 파악할 경우에는 지역의 공간환경계획의 목표를 달성하는데 기여할 수 있다. 또한 모형기반 평가는 생태계서비스 평가와 연계하여 지역의 생태계서비스 관리목표와 증진방향을 고려하는 복원사업의 선택과정에 기여할 수 있다. 특히, 생태계서비스 증가과정에서 트레이드오프가 발생할 경우에 다양한 복원사업의 효과를 비교하여 효율적인 복원사업을 선택하도록 해준다. 트레이드오프의 수준이 적고, 전체 생태계서비스 증가효과가 높은 복원사업을 선택함으로써 지역 생태계서비스 총량관리에도 기여할 수 있다.



III

생태계서비스 수요평가

1. 생애주기별
2. 생태계서비스 수요지도 작성

III. 생태계서비스 수요평가



1 | 생태계서비스와 건강가치 수요 인과관계

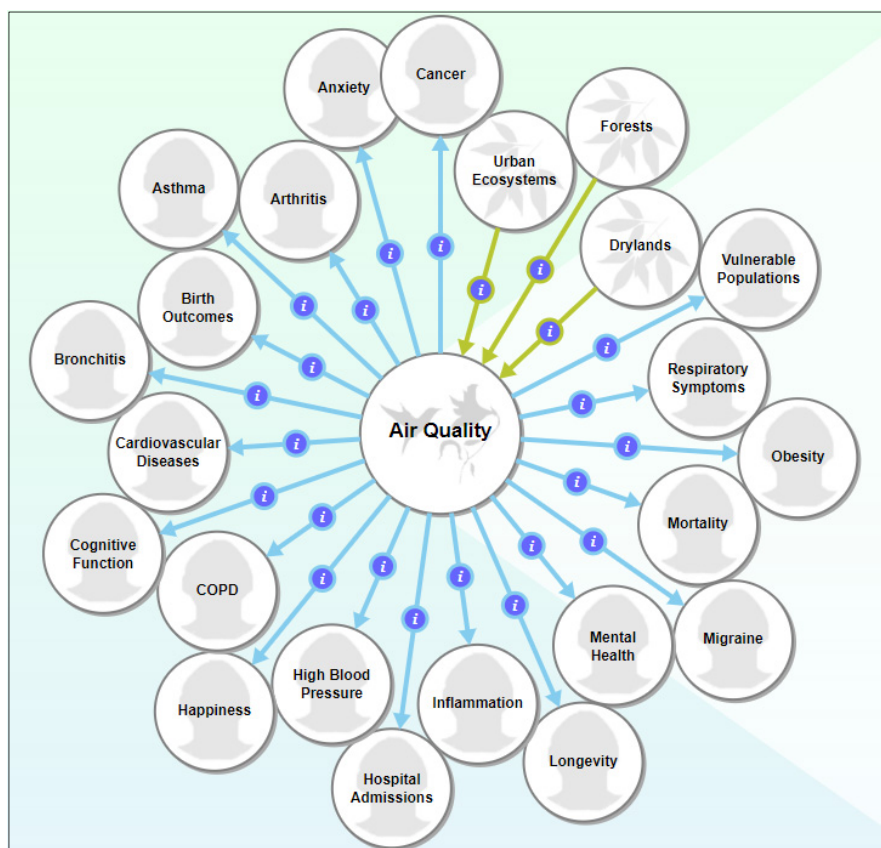
가. 대기질 조절 생태계서비스와 건강가치 수요 인과관계 분석 필요성

생태계서비스는 인간 복지의 거의 모든 측면을 뒷받침 하고 있다(EPA, 2015). 자연생태계는 오염물질을 걸러 내거나 재해를 완화하고, 공동체에 레크리에이션을 제공하여 인간건강을 증진한다(EPA, 2015; Jackson et al, 2013). 건강 결정요소는 ‘개인의 현재 건강상태에 기여하는 요소’라고 할 수 있으며(CDC, 2010) 자연생태계도 개인의 건강상태에 영향을 미칠 수 있는 건강결정요소이다.

개인의 건강상태에 영향을 미칠 수 있는 생태계서비스는 생애주기별로 수요가 다르게 나타난다. 청소년기나 장년기보다 유아기 때 생존 및 건강과 관련된 생태계서비스를 요구하였고(국립생태원, 2019a), 미취학아동이나 노인 등 건강에 취약한 연령을 대상으로 미세먼지의 관련 건강성이 연구되었다(정경준, 2018 ; 박과 김, 2020). 생애주기별 생태계서비스 수요를 파악하는 것은 정책수립에 있어 중요한 역할을 할 수 있다.

대기오염물질의 증가는 암 발생, 천식, 행복도 감소, 혈압상승, 기대수명감소 등의 영향을 미친다(그림 1). 대기오염물질 중 미세먼지는 1급 발암물질로 지정되었으며 Pope 등(2009)은 PM2.5농도가 증가함에 따라 수명이 단축된다고 하였다. 도시민들도 미세먼지를 검색한 횟수가 증가하는 등(국립생태원, 2019b), 미세먼지의 심각성에 대한 인식도 증가하고 있어 미세먼지 저감에 관한 생태계서비스는 수요가 높은 항목 중 하나이다. 따라서 생애주기 별 미세먼지 저감 수요를 유추하였다.

미세먼지 저감에 대한 수요와 공급을 공간적으로 파악하는 것은 생태계서비스 이용 효율성 면에서 중요하고(Burkhard, 2012), 생태계서비스를 안정적으로 제공하는 것이 관리계획에서는 핵심이다(de Groot 2010). 따라서 생애주기별 미세먼지 관련 건강 위험성을 분석하고 취약인구의 미세먼지 저감에 대한 수요를 파악하여 공급과 공간적인 차이를 파악함으로써 의사 결정과정에서 대기 질 조절 서비스 개념을 활용하고자 한다.

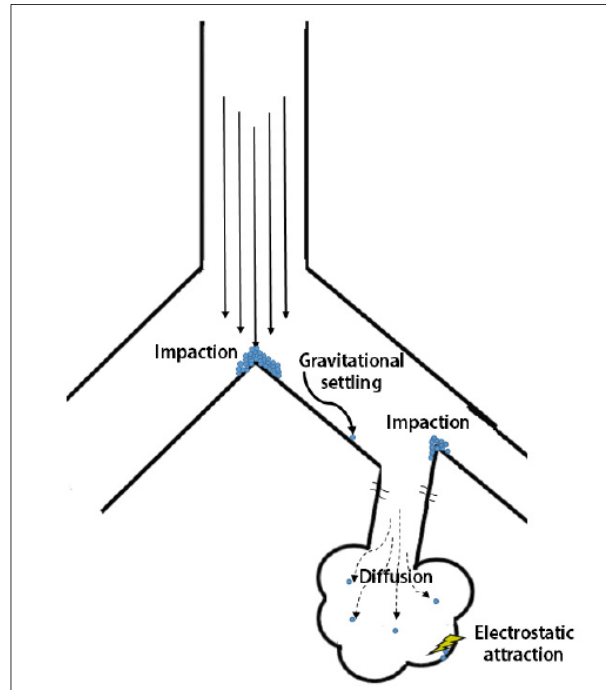


| 그림 III-1-1 | 대기 질에 영향을 주는 인자 및 대기 질 오염으로 인한 건강관계도
(Eco-Health relationship browser, EPA)

나. 생애주기별 미세먼지 관련 건강 위험성

국립생태원(2019a)은 생애주기 유형을 유아기(Infant+Child), 청소년기(Adolescent+Youth), 장년기(Adult+Senior)로 구분하여 생애주기 별 생태계서비스 수요를 분석하였다. 이를 기준으로 미세먼지 위험성에 대한 분석을 문헌고찰의 방법으로 시행하였다.

미세먼지는 크기에 따라 충돌(impaction), 중력침강(gravitational settling), 확산(diffusion), 정전기적 흡착(electrostatic attraction) 등의 매커니즘에 따라 기도 내의 부위별로 분진이 침착된다(2016, 명준표). 따라서 연령별 호흡특성에 따라 미세먼지가 흡착되는 장소 및 누적 분진의 양이 달라진다.



| 그림 III-1-2 | 입자상 물질의 기도 내 침착(2016, 명준표)

생애주기 중 유아기의 미세먼지 피해는 다음과 같다. 성장 중인 만 3세부터 6세까지의 아동은 면역체계가 완성되지 않아 같은 조건 속에서 민감도가 일반 성인보다 크며(국립환경과학원, 2009), 연령이 낮을수록 세기관지에 침착 되는 분진이 많고(Lippmann & Chen, 2007; Isaacs & Martonen, 2005), 대기오염과 관련된 사망자 수를 분석한 국내 연구에서도 PM10의 증가와 영아 사망률이 증가와 관련이 있음을 규명하였다(Ha et al, 2003).

청소년기의 미세먼지 피해는 다음과 같다. 청소년은 단위 체중당 호흡량이 성인보다 높아 상대적으로 더 많은 공기오염물질을 들이킬 수 있다(환경부, 2016). PM10의 단기노출은 청소년의 1초 간 강제 호기량(forced expiratory volume in 1 second, FEV1) 및 강제폐활량을(forced vital capacity, FVC) 감소시킨다(Chang et al, 2012). 강제 폐활량은 최대로 숨을 들이쉬 후 (강제로) 내뿔을 수 있는 공기량으로 폐기능 측정을 위해 일반적으로 사용되며

(Gehring, 2013) 폐기능은 호흡기 건강의 객관적인 지표이다(Sin et al, 2005). 또한 미세먼지는 청소년의 알레르기 질환과 연관성을 가지고 있다(최하영, 2019).

장년기의 미세먼지 피해는 다음과 같다. World Health Organization(WHO)는 미세먼지에 장기간 노출 시 PM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가마다 22개월의 기대수명이 손실(30세 이상 성인기준)된다고 하였고(Medina, 2012), 미세먼지 농도가 기준치보다 낮다고 하더라도 3개월만 미세먼지 농도가 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가해도 미국 내에서 13년 간(2000년~2012년) 7,150명이 추가로 사망할 수 있다는 결과가 보도되었다(Di et al, 2017). 여름(따뜻한 계절)에는 미세먼지의 농도가 높을수록 뇌졸중 사망률이 높아졌고(Kettunen et al, 2007), 일별 미세먼지 농도 증가는 65세 이상 연령집단에서 심혈관계 질환과 호흡기계 질환으로 인한 입원발생 위험을 높였다(KEI, 2013).

표 III-1-1 | 생애주기별 미세먼지 건강 위험성

구분	생애주기별 미세먼지 위험
유아기	- 사망률 증가 - 세기관지 침착 증가 - 3세~6세 아동은 성인보다 높은 민감도
청소년기	- 폐기능 약화 - 알레르기 질환과 연관성
장년기	- 30세 이상 성인 기대수명 감소 - 뇌졸중 증가 - 65세 이상 심혈관계 및 호흡기계 질환 발병률 증가

미세먼지는 인체 위해성이 높고 생애주기별 특성에 따라 다르게 나타났다. 유아기 때는 면역에 취약한 만큼 노출에 따른 민감한 반응으로 인해 사망률이 증가하였고, 청소년기에는 폐기능의 약화와 알레르기 질환의 증가, 장년기에는 기대수명 감소 및 심혈관계·호흡기계 질환의 발병률이 증가하였다. 특히 농도가 1만 증가해도 노인의 사망률이 증가하여 미세먼지 농도가 높지 않더라도 위험하였고 생애주기 중 유아기와 장년기 중 노년기의 미세먼지 노출은 생존과도 연관이 있어 취약계층으로 구분하였다.

다. 생태계서비스 수요-공급 평가방법

(1) 분석 대상지

분석 대상지인 수원시는 면적은 약 121km²이고 거주인구가 약 119만 명으로 경기도 시·군 중 인구밀도가 3번째로 높으며(KOSIS,2019), 설치된 미세먼지 측정망 수는 8개소로 경기도 내에서 가장 많다.

(2) 생태계서비스 수요

수요는 취약인구와 동별 미세먼지의 무게로 판단하여 분석하였다. 미세먼지 농도를 무게로 환산하는 방법은 Larondelle & Lauf(2016)가 제시한 모델을 활용하였다.

$$\text{미세먼지 수요(총 무게)} = \text{미세먼지 농도} \times \text{산출일} \times \text{높이(200m)} \times \text{동의 면적}$$

미세먼지 농도는 토지피복에 영향을 받으며, 특히 도로의 영향력이 크고(최태영 외, 2019), 2016년도의 미세먼지 총 배출량 중 도로가 배출하는 미세먼지는 약 35%이었다(국립환경과학원). 이에 측정망에서 관측된 농도를 바탕으로 도로의 면적만큼 35%의 가중치를 부여하여 농도를 산출하였다.

(3) 생태계서비스 공급

녹지는 미세먼지를 흡착하기 때문에 공급은 미세먼지 흡착량으로 판단하였다. 흡착량은 Powe & Willis (2004)가 제시한 모델을 활용하였다.

$$\text{미세먼지 공급(흡착량)} = \text{FLUX} \times \text{잎의 총 표면적} \times \text{기간}$$

| 표 III-1-2 | 토지피복에 따른 흡착속도 (Powe & Willis (2004)를 참고하여 변형).

구분	환경부 토지피복 code	흡착속도 (m/s)	
		On-leaf	Off-leaf
침엽수	321	0.0080	0.0080
활엽수	311	0.0050	0.0014
혼효림	331	0.0065	0.0047
초지	411/421/422	0.0010	0.0010
도시녹지	423	0.0065	0.0047

FLUX는 흡착속도와 오염물질 농도의 곱으로 구한다. 흡착속도는 침엽수, 활엽수와 같은 성상에 따라 달라진다. Powe & Willis (2004)는 침엽수와 활엽수, 초지의 흡착속도를 제시하였는데 혼효림의 흡착속도는 제시되어 있지 않아 침엽수와 활엽수 값의 중간 값을 사용하였다. 환경부 세분류 토지피복도를 기준으로 성상을 구분하였고 기타조치를 도시녹지로 분류하였다. 흡착속도는 잎의 시기에 따라서도 영향을 받는데 잎이 있는 시기(On-leaf)는 5월부터 10월까지, 잎이 없는 시기(Off-leaf)는 1월에서 4월까지, 11월에서 12월까지로 설정하였다.

잎의 총 표면적은 녹지의 면적에 엽면적의 곱으로 구한다. 녹지면적은 환경부 세분류 토지피복도를 기준으로 계산하였다(보안구역 제외). 엽면적 지수(LAI, Leaf Area Index) 산출은 Sentinel-2영상을 활용하여 전용 프로그램인 SNAP(Sentinel Application Platform)을 이용해 계산하였으며, 2019년 7~8월은 구름으로 인해 영상획득이 어려워 6월 값으로 대체하였다.

강우일의 흡착속도가 0으로 가정되어(Powe & Willis, 2004), 월별 비강우일에 일을 초 단위로 환산한 86,400초의 곱하여 기간을 산출하였다.

(4) 수요-공급 불일치

미세먼지 저감의 불일치는 수요대비 공급량의 초과 비율을 산출하여 평가하였다. 수요대비 공급량의 비율이 0%를 넘지 못하는 경우 공급이 부족한 지역으로 판단하였고, 산림이 포함된 모든 녹지와 산림이 제외된 도시녹지에 대해 모두 평가하였다.

$$\text{불일치 평가(수요량 대비 공급량의 초과비율)} = \{(\text{공급량} - \text{수요량}) / \text{수요량}\} \times 100$$

라. 생태계서비스 수요-공급 평가결과

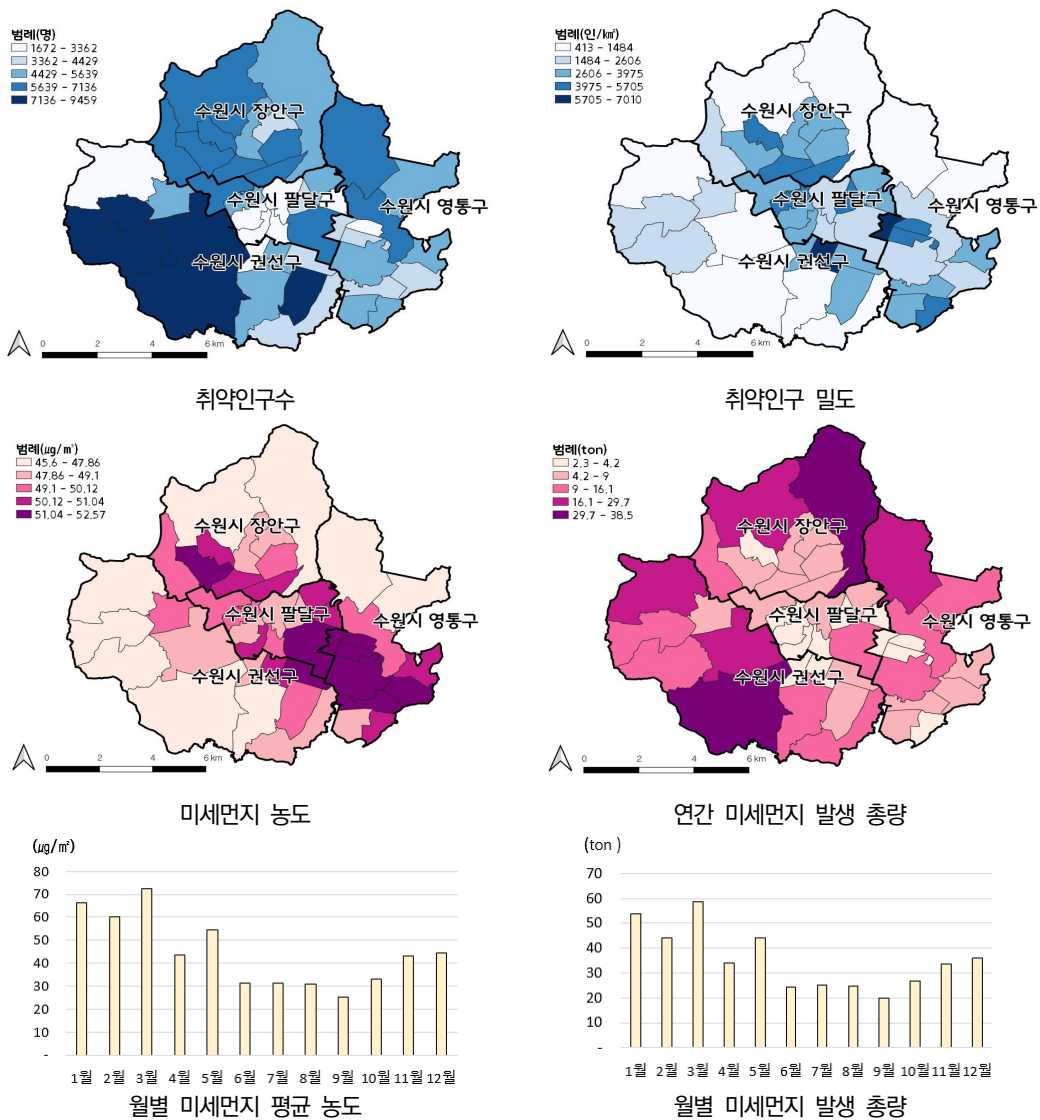
(1) 수요분석 결과

취약인구의 분포는 수원시 외곽 쪽이 내부보다 대체로 높았으나 특정 지점에 밀집해 있지 않고 전 영역에 걸쳐 퍼져있었다. 인구밀도는 도시의 가운데 위치한 동들의 인구 밀도가 높았고 외곽에 위치한 동들은 낮았다. 인구수는 동의 면적에 영향을 많이 받아 인구수와는 다른 경향을 보인 것으로 판단된다.

연평균 미세먼지 농도의 분포는 장안구 남쪽과 팔달구, 영통구 남동쪽의 농도가 높게 나타났고 대체로 수원 중심부분의 농도가 높았다. 동별 미세먼지 추정 값으로 동별 농도에 차이를

분석할 수 있었다. 월별 미세먼지 농도를 무게로 변환하여 합산한 연간수요 분포는 농도분포와 다소 다른 경향을 보였다. 인구수와 마찬가지로 동 면적에 영향을 받은 것으로 판단되나 동의 크기가 유사한 지역은 농도가 높은 동이 수요가 높게 분석되었다.

미세먼지 농도 및 수요의 분포는 월별로 유사하였고 1~3월이 가장 높았다. 수원시의 월별 미세먼지 저감 수요는 봄·겨울에 높고 여름·가을에 낮았다. 일반적 미세먼지농도의 계절별 경향도 봄·겨울에 높고 여름·가을에 낮아 분석 결과와 유사하였다.

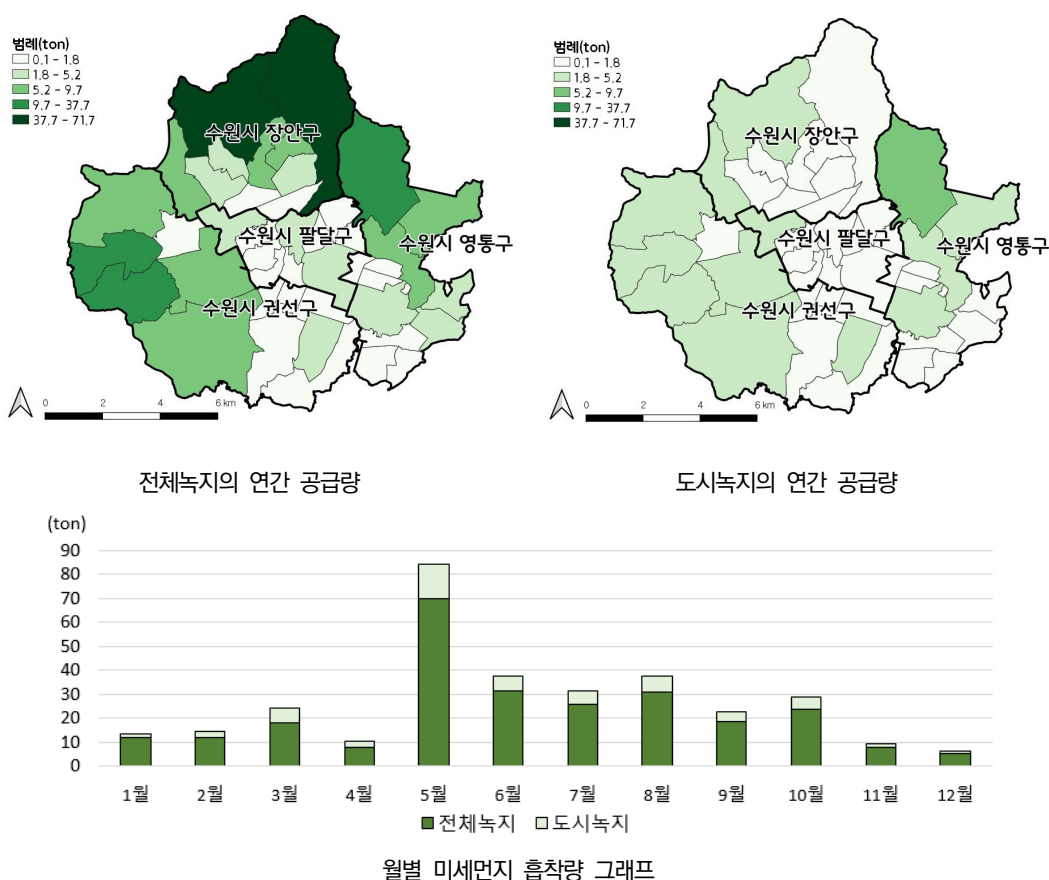


| 그림 III-1-3 | 수요분석 결과

(2) 공급분석 결과

모든 녹지의 공급 분포는 장안구 및 영통구 북쪽 일부와 권선구 서쪽에서 높았고 이 지역들은 산림의 면적이 높은 동이다. 도시의 가운데 있는 팔달구는 산림이 부족하지만 일부 잔존산림이 있는 지역의 공급량이 다른 동보다 다소 높게 나타났다. 도시녹지의 공급 분포는 산림과 다른 경향을 보여 영통구 북쪽 일부와 권선구 남쪽 일부동이 높게 나타났다. 그 외 지역에서의 흡수량의 우위는 전체 녹지 결과와 유사한 것으로 분석되었다.

월별 공급량 비교결과 5월의 공급량이 가장 높았다. 엽면적 지수 값이 급격하게 높아지는 시기였다. 하지만 엽면적 지수 값이 가장 높았던 6~8월에는 강우일이 많아 5월에 비해 흡착량이 높지 않았다. 도시녹지의 월별 공급량이 산림 공급량과 유사한 경향성을 보이고 있지만 수목의 밀도가 낮고, 면적이 작기 때문에 산림보다 공급량이 다소 낮은 것이라 판단되었다.

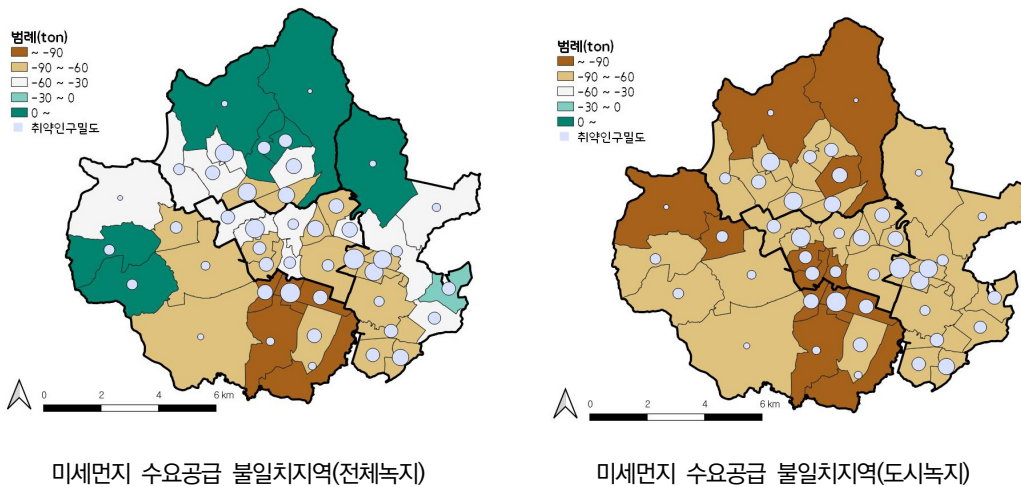


| 그림 III-1-4 | 공급분석 결과

(3) 불일치 지역 분석 결과

미세먼지 저감 수요와 공급평가 결과를 바탕으로 수요와 공급의 불일치되는 지역을 파악하였다. 전체 녹지를 분석한 결과 산림이 많은 지역에서는 공급이 우세하였다. 구별로는 장안구 북쪽에 일부 공급이 여유로운 동이 많았고 권선구 서쪽 동 일부, 영통구 북쪽 동 일부의 공급량이 수요량을 초과하였다. 그 외 지역에서는 모두 수요량보다 공급량이 적었고, 특히 권선구 남쪽의 동은 매우 부족한 것으로 분석되어 수요대비 97.9%가 부족한 동도 있었다.

모든 녹지의 공급량이 분석되면 산림의 면적비율이 높은 지역의 공급이 높지만, 도시녹지의 공급량이 분석되면 전체적으로 공급이 낮았다. 이에 산림의 미세먼지 흡착효과가 도시녹지보다 좋은 것으로 판단되었으나 도시녹지는 산림이 부족하거나 없는 동에서 미세먼지를 저감할 수 있는 주요 수단이고, 도시민 및 취약계층과 밀접한 연관이 있기 때문에 충분한 확충이 필요하였다.



| 그림 III-1-5 | 불일치분석 결과

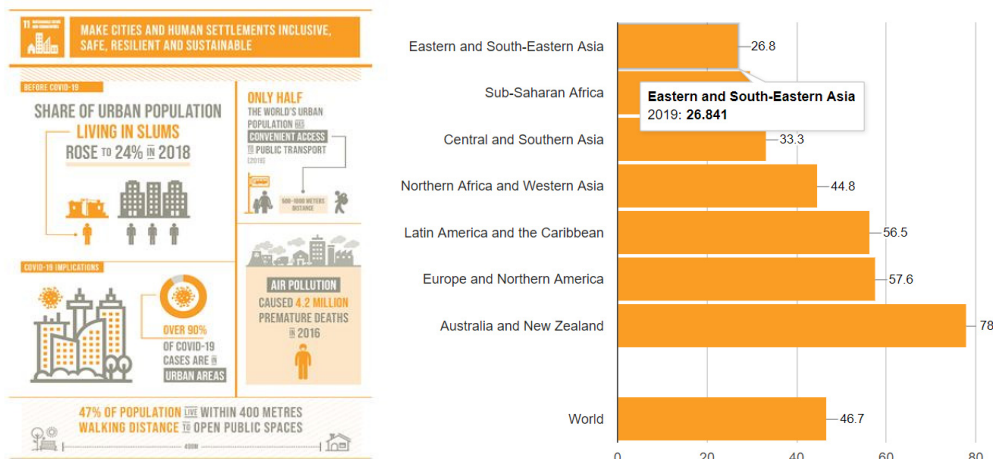
마. 고찰

생애주기별 미세먼지 관련 위험성을 분석하여 취약계층을 분석하고 미세먼지 저감에 대한 생태계서비스의 수요와 공급을 공간적으로 파악하여 공급이 우선적으로 필요한 지역을 분석하였다. 모든 녹지를 공급량을 분석한 결과 산림의 면적이 높은 동이 연간 수요량을 초과한 잉여공급을 제공하였다. 도시녹지를 공급량으로 분석한 결과 수요량을 초과하는 동이 없어 산림의 효과가 큰 것으로 판단되었다. 하지만 도시녹지는 산림이 없는 지역에서 생태계서비스를 제공하는 주요 수단이고 취약계층에게는 생활권 가까이 있는 도시녹지가 건강가치 측면에서 효과적이었기 때문에 중요하였다. 수요지도에 필요한 미세먼지 농도는 데이터의 한계로 농도 값이 추정되어 사용되었으며 이 농도를 무게로 전환하는 방법도 실제와 차이가 있을 것으로 판단되었다. 도시녹지를 토지피복의 기타초지를 이용하여 평가가 이루어진 한계점을 가지고 있었다. 그럼에도 불구하고 이러한 분석은 의사결정과정에서 생태계서비스 개념을 활용할 수 있는 방안이었고 분석결과는 미세먼지 관리에 있어 기초자료로써 사용될 수 있다. 또한 불일치 지역의 공간적 분포와 그 정도를 파악함으로써 생태계서비스의 효율을 높이고 산림의 보존, 녹지의 지정 및 해제 우선지역 등의 의사결정을 돕는 측면에서 의미가 있다.

2 | 근린생활권 도시공원 보행 접근성 평가

가. 근린생활권 도시공원 보행 접근성 평가의 필요성

최근 프랑스 파리, 싱가포르, 벨기에 앤트워프, 스페인 바르셀로나 등의 대도시에서 공공복지를 위해 오픈스페이스와 보행 접근성을 고려한 신개념 정책 및 공간계획이 추진 중이다. 오늘날 도시오픈스페이스의 생태적, 문화적 사회적 가치는 수많은 연구를 통해 검증된 바 있다 (Thompson, 2002; Wilson et al., 2008; Kondo et al., 2018). 접근성이 우수한 도시오픈스페이스는 인간의 건강과 생산성을 증대에 기여하며 특히 상권과 연결된 경우 효과적인 경제적 효과를 창출하는 동시에 시민 삶의 질을 증대한다(United Nation, 2020). 코로나19 이후 도보권(Walkability) 내 도시오픈스페이스의 건강 및 생산성 증대 효과에 대한 국제적 관심이 증가하고 있다. 2020 지속가능 개발 목표 11(지속가능학 도시와 커뮤니티)에서는 인구가 밀집되는 대중교통이용 과정에서 코로나 확산을 완화하기 위해 대중교통을 도보, 자전거와 연동할 수 있는 장기적 계획의 필요성을 시사한 만큼 오늘날 우리사회에서 도보권은 중요한 요소다. (그림 11).



| 그림 III-2-1 | 좌: 코로나-19 이후 SDG 11 대응(UN, 2020),
우: 범국가 단위별 오픈스페이스 도보권 400m 내 거주 인구 비율(UN, 2020)

UN은 현재 세계인구 46.7% 분만이 오픈스페이스 400m 도보권 내 거주하고 있음을 공표한 바가 있다. 현재 싱가포르에서는 ‘2030 City in Nature’ 10분 도보권 공원 계획을 추진하

고 있으며 영국에서는 2020년 공중보건과 공원녹지의 접근성에 대한 연구를, 파리는 어느 공공시설이든 15분 내 도달 가능한 2020 ‘15 minute city’를, 바르셀로나에서는 도보권 공유 개념을 적용한 ‘Superblocks model’을 도입한 바가 있다. 벨기에 엔트워프에서는 포용적이고 안전하며 회복탄력적인 도시와 인간거주지 조성을 위해 공원으로부터의 접근성 개념을 도시공간계획에 반영하려고 시도 중이다.

우리나라는 현재 공원과 관련하여 국민 삶의 질 지표, 공원서비스 평가, 공원결핍지역 등의 평가개념 및 도시자연공원구역 설정과 같은 정책이 제시되고 있으나 공원 수요자 측면에서 체감하기에는 다소 부족한 면이 있다. 이를 개선하기 위해 국내 오픈데이터를 활용하여 수요자가 직접 체감할 수 있는 도시녹지 접근성에 대한 연구를 실시하고자 한다. 연구를 위해 공원과 도보 접근성에 대한 국내·외 선행사례를 검토하여 국내에 적용 가능한 방법을 도출하여 경기도 용인시에 적용하고자 한다.



| 그림 III-2-2 | 공공복지 증대를 위한 공원 접근성 개념 적용사례

나. 국내·외 연구현황

(1) 국내 연구현황

도시녹지 접근성 평가와 관련한 국내 연구에서는 주로 도시공원을 중심으로, 공원 유형에 따른 적합한 접근 기준을 제시하고 해당 공원의 접근성을 평가하는 연구가 주로 이루어진다. 또한, 접근성 분석을 통해 미집행 공원이나 신규 공급되는 공원의 매입·공급 우선순위를 평가하고, 공공서비스 측면에서 공원 서비스의 수혜인구를 산출하기 위한 연구들이 진행되었다.

허미선과 진양조 (1996)는 근린공원에 적용 가능한 접근성 지표와 측정값을 제시하고 접근

반경에 대한 타당성을 검토하였다. 이를 위해 이용접근권 개념을 도입하여 실이용접근권에 가상이용접근권을 중첩하여 면적과 최대거리 차이 비교로 최적 접근성 기준을 제시하였다. 지도 기입문항이 들어간 설문조사를 통해 실이용접근권을 산출하고 가상이용접근권은 (표 4)의 측정지표 및 기준에 따라 산출하되 선형의 보행 도로망으로 20m 정방향 격자로 나타내었다. 이 연구는 도시 서비스 시설 접근성 고려 시 가장 효율적이고 적합한 측정지표를 검토했다는 데 의의가 있다고 볼 수 있다.

표 III-2-1 측정지표 및 기준(허미선과 진양조, 1996)

개념		구분단위	구분치
이동거리		100m	200 ~ 1,200m
소요시간		5분	10 ~ 30분
이동 난이도	건너기 고려	2회	5 ~ 13회
	방향 바꾸기 고려	2회	5 ~ 13회
	건너기 + 방향 바꾸기 고려	혼합 5회	10 ~ 30회

문지영과 반영운 (2018)은 도시 생활권 공급서비스 수준을 평가하는 6가지 유형과 28개 세부지표를 선정하였고, 그중 이용가능성 및 접근성 지표의 중요도가 가장 높다고 평가하였다. 이를 위해 문헌연구와 포커스 그룹 인터뷰(Focus Group Interview, FGI) 과정, 전문가 그룹 브레인스토밍을 거쳐 지표를 추출, 병합 및 삭제하고 최종적으로 5점 리커트 척도 문항으로 지표를 유형화하고 중요도를 평가하였다. 이 연구는 합리적이고 체계적인 도시 생활권 공원 서비스의 제공을 위한 통합적인 평가지표를 도출하고 우선순위를 평가하였는데 의의가 있다.

이진우와 윤갑식 (2018)은 미집행 어린이공원(10개소) 신규공급에 의한 이용자 총 접근 거리가 짧을수록 도시공원 공급 우선순위가 높을 것으로 판단하였다. 이를 위해「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 제 15조」에 따른 ‘생활권공원’을 대상으로 하고, 100m 단위 격자로 나눈 격자 중심점으로부터 최근접 공원까지 거리와 해당격자의 인구규모 가중치를 곱한 합으로 총 접근 거리를 산출하였다. 이 연구는 도시공원 공급 우선순위에 대한 기준을 설정하고 이를 실증 분석하였으나, 도시공원 공급 우선순위를 접근성 기준에만 한정하여 분석했다는 한계가 있다.

경기연구원 (2019)은 공원 유형에 따른 접근 기준으로 공원 서비스 수혜인구비율을 산출하여 접근성을 평가하였다. 공원 서비스 ‘수혜인구비율’로 각 시군 총인구수 대비 일정시간 내 공원까지 도보로 도착 가능한 인구비율로 접근성을 평가하였다. 인구센서스, 토지피복도를 활

용하여 생성한 인구밀도 재현 분포도를 인구자료로 활용하였고 공원 유형에 따른 일정시간은 다음 (표 5)를 참고하였다. 이 연구는 도시공원을 점수로 평가할 수 있는 질적 지표를 만들어 도시공원 문제들을 효과적으로 해결하고자 하였다.

표 Ⅲ-2-2 | 공원 유형에 따른 일정시간 기준(경기연구원, 2019)

공원유형	시간	속도
소공원, 어린이공원	250초	1 m/s
근린공원, 주제공원	500초	1 m/s

단, 육교, 지하도, 횡단보도 이용시 40초 추가

국토교통부 (2019)는 공공서비스로서 공원으로서의 접근성 및 이용가능성을 측정하고 형평성 측면에서 공원 서비스의 질적 수준을 파악하고자 하였다. 우선 대상공원은 LH 스마트도시본부와 공간정보처의 도시·군 계획시설인 도시공원(묘지공원 제외)으로 하였고, 격자체계표준에 따라 250m 격자 단위 기준을 적용하였다. 접근성 평가를 위해 전국을 250m 격자 단위로 나누고 격자 중심부로부터 최근접 공원까지의 최단거리를 계산하여 시군구별 도시공원시설 평균 거리를 산출하였다. 이 연구는 기존 500m 격자 기반 접근성 분석을 250m로 확대하여 분석할 필요성을 언급하였고 지자체에서 활용 가능한 구체적인 지표의 개념과 산출방법을 제시하였다 (그림 13).

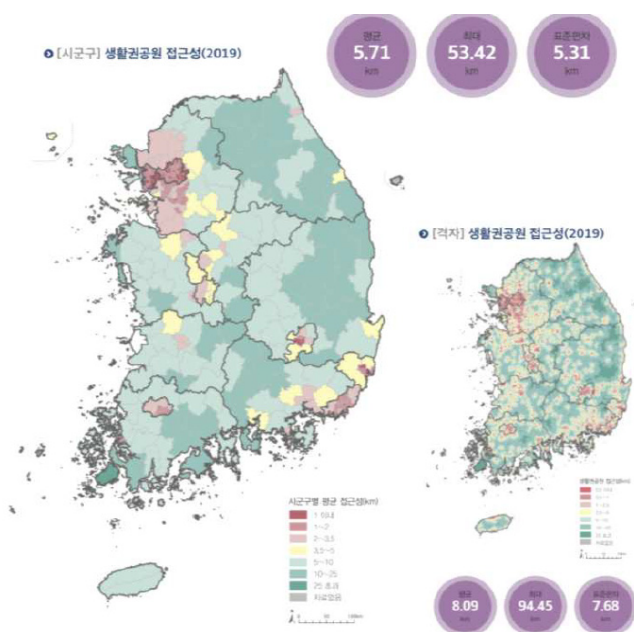


그림 Ⅲ-2-3 | 시군구별 생활권 공원 평균 접근성 지도(국토교통부, 2019)

(2) 국외 연구현황

국외에서는 정량적인 지표개발을 목표로 하여 접근성 측정을 위한 타당한 접근 거리와 녹지 기준을 설정하고, 개발한 지표를 특정 도시에 적용하여 사례 분석한 연구가 다수 진행되었다. 또한, 측정을 통한 접근성 객관화와 함께 사회·경제적인 환경을 고려한 시민의 주관적 접근성을 통합하여 분석하는 등 다양한 분석법이 연구되었다. 녹지면적이나 접근 거리 외에도 정규 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)의 활용 등 개별 녹지의 질적 특성과 녹지로 접근 가능한 도로의 위상과 도로 종류 등 접근성에 영향을 끼치는 다양한 요소들을 고려한 분석도 진행되었다.

Nicholls (2001)은 도시공원에 대한 형평성과 접근성을 측정하기 위해 공원까지의 접근 용이성과 공원 서비스의 분배적 형평성의 정량화 연구를 진행하였다. 이를 위해 도시공원까지의 직선거리와 도로망 상의 거리를 구분하여 측정하고 주변 환경 요인을 고려한 접근성을 비교하였다. 도시공원에 대한 접근성 기준은 미국의 국립휴양공원협회(National Recreation and Park Association, NRPA)에서 제시한 공원 및 녹지 분류 체계에 따라 설정하였다(표 6). 이 연구는 공원 서비스 수혜인구와 지리적 범위를 고려하여 접근성을 평가하였으며, 특히 도로망을 고려한 분석 방법의 중요성을 강조하였다.

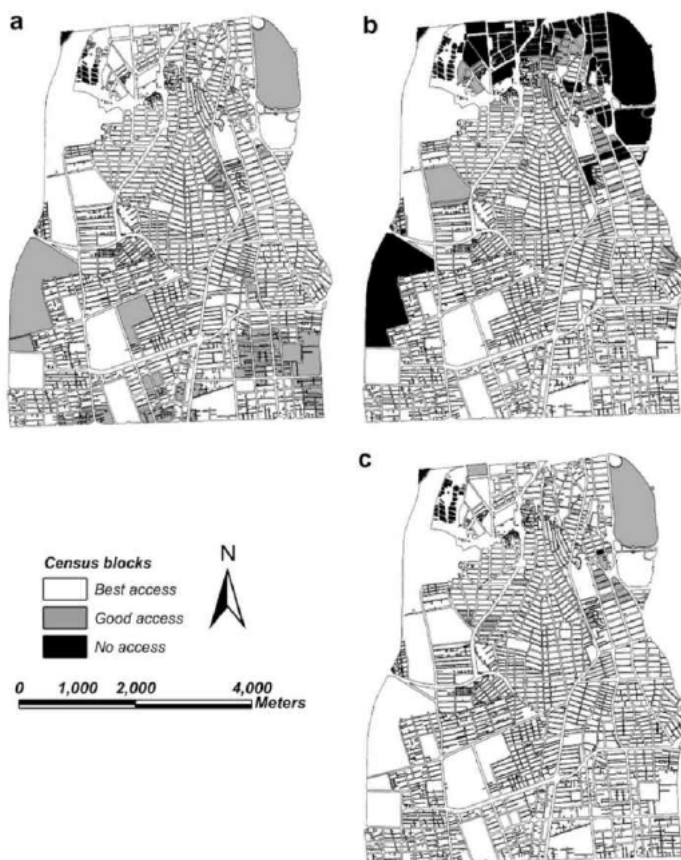
표 III-2-3 | NRPA의 공원 및 녹지 분류 체계(Nicholls, 2001)

공원종류	위치 기준	면적 기준	수혜 인구
소공원	0.4km 이내	0.02~0.4ha 이내 최대 2.0ha	500~2,500명
근린공원	0.4~0.8km 이내	최소 2.0ha 2.8~4.1ha 이내	2,500~10,000명
지역공원	0.8~4.83km 이내	8.1~20.3ha 이내	10,000~50,000명

Liu et al. (2008)은 도시녹지의 정량적 접근성을 계산하여 시민들이 도시녹지 공간에 접근하는 방법을 평가하였다. 대상지역을 500m 크기의 격자로 나누고, 격자 간 이동 흐름에 도로망과 토지이용 유형에 따라 가중치를 부여한 뒤, 가장 낮은 저항값을 갖는 경로를 도출하였다. 도로 종류와 해당 도로에서의 이동속도를 기준으로 도로망을 분류하여 가중치를 부여하였고 토지이용유형은 토지이용형태변화에 따라 저항값을 부여하였다. 도시녹지가 균형적으로 분포하는지에 대한 평가를 시도한 연구로 도시에서 녹지공간이 부족한 지역을 찾고 보완하는 데

있어 정책적 활용도가 높다.

Loifi and Koohsari (2009)는 근린시설에 대한 객관적 접근성을 측정하고, 시민의 사회·경제적 여건을 고려하여 종합적으로 근린시설의 공간적 분포를 분석하였다. 이를 위해 보행을 통한 지역 단위 접근성 수준은 도로망 상의최단거리로 측정하였다. 또한, 근린시설까지의 접근성을 퍼지 로직(Fuzzy Logic)을 사용하여 측정하고, 이를 논리형 자료(Boolean)로 변환하여 도출해낸 결과를 사회·경제적 특성과 비교하였다. 근린시설까지 거리로 800m 미만, 800~1,200m 이하, 1,200m 초과로 구분한 접근성 수준을 고려하였다. 이 연구는 근린시설의 공간패턴 분석을 위한 향상된 방법론을 고안하여 근린시설에 대한 객관적 접근성과 함께 이용 측면에서 시민의 주관적 접근성을 통합하여 평가하였다 (그림 14).



| 그림 III-2-4 | 근린시설 종류와 인구밀도에 따른 접근성 평가지도(Loifi and Koohsari, 2009)

The Trust for Public Land (2012)는 2012년부터 시행된 미국 100대 도시공원 서비스평가 시스템인 ParkScore를 만들어 공원면적과 투자, 편의시설, 접근성을 지표로 매년 도시공

원 서비스를 평가하였다. 도시공원별 10분(0.5마일에 해당하는 약 805m) 이내의 도보 가능 서비스 권역에 거주하는 인구비율로 접근성 지표를 산출하였다. 도보 가능 서비스 권역을 벗어나는 지역에 대해서는 2018 Forecast Census Block Groups Demographic Data의 인구통계변수에 가중치를 부여하여 공원 요구 수준을 파악하였다(표 7). ParkScore는 객관적인 도시공원 서비스평가에 유용할 뿐만 아니라 소외계층의 공원 혜택 및 요구 수준에 대한 정보도 함께 제공한다는 장점을 가진다.

| 표 III-2-4 | 2018 Forecast Census Block Groups demographic data 인구통계변수와 가중치
(The Trust for Public Land, 2012)

인구통계변수	가중치(%)
인구밀도	50
19세 미만 인구비율	25
저소득층(도시소득 중앙치 75% 이하) 비율	25

Poleman (2016)은 유럽연합 시민이 근린지역 내에서 평등하게 녹지 혜택을 누려야 한다는 전제하에 녹지 접근성 지표를 제시했다. 이를 위해 1km² 기반 인구 데이터와 유럽거주지도(European Settlement Map, ESM)를 활용하여 Urban Atlas의 각 폴리곤에 인구가중치 값을 할당하였다. 또한, 기존 도로망 데이터로부터 보행속성을 추출하여 생성한 보행 도로망 상 도보 10분 거리(보행속도 5km/h)를 기준으로 활용하였다. 접근성 지표로 Urban Atlas의 폴리곤별 인구가중치를 반영한 인근 녹지면적 합계를 계산하고 중위값을 도시 녹지 접근성 대푯값으로 활용하였다. 이 연구는 유럽을 대상으로 인구통계학적, 사회·경제적, 환경적변수 등 다양한 변수들을 활용하여 고해상도로 주요 도시의 녹지 접근성 지표를 산출하였고, 지속 가능한 도시 모니터링 발전에 기여할 것이라는 평가를 받고 있다.

Fan et al. (2017)은 도시 주변의 녹지공간에 대한 접근성을 평가하고 공원 조성계획 과정이 접근성 향상에 끼치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 새로운 녹지 접근성 지수(Green Accessibility Index, GAI)를 제시하고, 정량적으로 접근성을 평가하였다. 대중교통과 도보에 의한 녹지 접근성과 편안함, 소음 정도, 이용료, 공원면적 등 녹지의 질을 결정하는 요인들을 선정하여 GAI를 개발하고, 도시녹지 접근성을 평가하였다. 보행거리에 따른 녹지 접근성 기준은 영국 정부 산하의 자연보호 집행기구(Natural England)에서 제시한 접근 가능한 자연녹지 기준(Accessible Natural Greenspace Standards, ANGSt)을 따랐다(표 8). 이 연구에서는 녹지 접근성과 녹지의 질을 복합적으로 고려한 새로운 녹지 접근성 지수 GAI를 개발하고 공공녹지의 접근성 측면에서 도시녹지 서비스평가를 시도한 의의가 있다.

| 표 III-2-5 | ANGSt의 녹지 접근성 표준 (Fan et al. 2017)

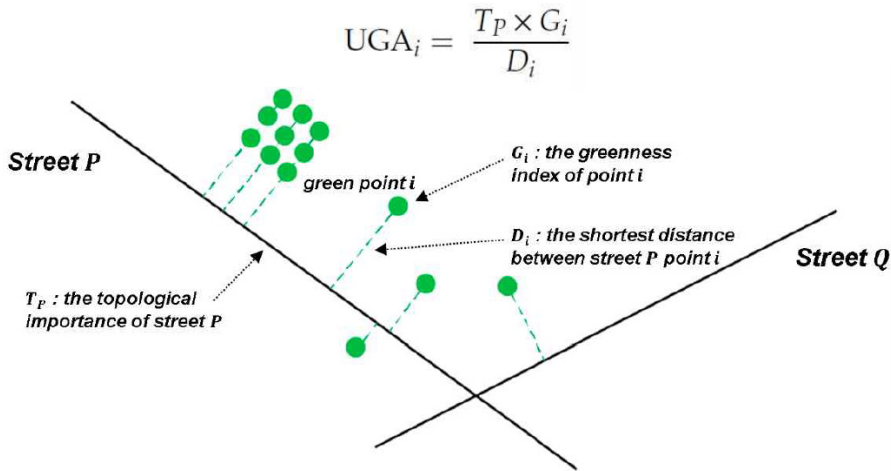
녹지면적 기준	도보 최대거리
2 ~ 2ha 이내	300m 이내
20 ~ 100ha 이내	2km 이내
100ha 이상	5km 이내
500ha 이상	10km 이내

Jabbari et al. (2018)는 다중 기준 분석(Multi-Criteria Analysis, MCA)과 공간구문론(Space Syntax)을 결합하여 포르투갈 오포르토(Oporto) 시를 대상으로 보행자 네트워크를 평가하였다. 다중 기준 분석에서는 보행성에 주로 영향을 끼치는 4가지 상위 기준과 9가지 하위 기준이 활용되었으며 (표 9), 기준 선정과 가중치 부여를 위해 문헌 검토와 전문가 평가를 진행하였다. 도로 연결성 평가를 위해 공간 구문론을 이용하였으며 최종 가중치 결과로 전문가들에 의해 자연환경(녹지공간, 미시적 기후 조건)과 접근성(대중교통, 지능형 교통)이 보행성에 있어 가장 중요한 요소로 선정되었다. 기준 평가 가중치와 도로 연결성 가중치는 퍼지 로직(Fuzzy Logic)을 통해 0~1 사이의 값으로 정규화 후, 기준 평가 0.5와 도로 연결성 0.5의 가중치를 부여해 최종 점수를 산정하여 보행 네트워크를 평가하였다.

| 표 III-2-6 | 다중 기준 분석(MCA)에 사용된 4가지 상위 기준 및 9가지 하위 기준(Jabbari et al. 2018)

상위 기준	하위 기준
물리적 환경	경사도, 시각적 구성, 휴먼스케일
도시기능	인구밀도, 토지이용
접근성	대중교통, 지능형 교통
자연환경	녹지공간, 미시적 기후 조건

Jang et al. (2020)은 도시 전체 또는 지역적 녹지 분포 패턴 특성을 나타내는 도시녹지 접근성(Urban Green Accessibility, UGA) 지표를 개발하고 뉴욕, 샌프란시스코, 캘리포니아를 대상으로 사례 분석한 바가 있다. 도시녹지 접근성 지표는 개별 녹지의 질을 나타내는 녹지 성과 녹지에서 가장 가까운 도로의 위상적 중요성, 그리고 녹지에서 가장 가까운 도로까지의 거리로 평가되었으며, 녹지로의 접근은 모든 도로망을 통해 이루어진다고 가정하여 최단거리를 적용하였다 (그림 15).



| 그림 III-2-5 | UGA 지표 계산식과 개념적 표현(Jang et al. 2020)

녹지성은 정규식생지수(NDVI) 값을 적용하여, 0.3~0.8 범위의 지수 값을 갖는 곳을 녹지로 선택하였다. 공간구문론(Space Syntax)으로 두 가지 지수를 적용하여 도로의 위상적 중요성을 평가하였고, 분석 범위로 도시 전체와 지역 범위의 접근성 차이를 비교하기 위해 n(글로벌), 400m(1/4마일), 800m(1/2마일), 1,600m(1마일)로 설정하였다. 분석 결과, 뉴욕과 샌프란시스코에서 접근성이 높은 녹지는 주요 공원이 아니라 관광지, 주거지, 공공광장 등 다른 도시기능과 연계된 공간으로 나타났다. 정규식생지수가 낮지만, 접근성이 높은 녹지도 확인할 수 있었다. 즉, 녹지성과 도로의 위상적 중요성을 함께 고려한 도시녹지 접근성 지수를 통해 주요 공원뿐만 다른 기능을 하는 녹지 또한 보행자를 위한 효율적인 녹지공간이 될 수 있음을 시사하였다.

다. 도시공원 보행 접근성 평가

(1) 인구분포데이터 구축

도시공원 접근성 평가를 위한 GIS 공간자료로 인구분포 데이터를 구축하여 근린생활권 인구분포 추정자료로 활용하였다. 통계지리정보 서비스 (<https://sgis.kostat.go.kr/view/index>)에서 제공하는 최근 시점의 2018년 기준 집계구 경계 쉐이프파일(shapefile)과 집계구 인구통계 텍스트 자료를 확보했다. 국가공간정보포털에서 제공하는 2020년 11월 기준 용인시 GIS건물통합정보 쉐이프 파일을 확보하였다. 집계구 인구통계자료를 Microsoft Excel을 이용

하여 CSV 파일로 변환한 뒤, ESRI ArcMap10.5를 이용하여 집계구 경계파일과 조인하고 용인시 행정구역을 추출한 후 Create Fishnet 기능을 이용하여 건축물 폴리곤에 5m 간격의 점 자료를 생성하였다. 점자료에는 건축물의 연면적 데이터를 입력 후, 집계구 내 총 연면적과 개별 점의 건축물 연면적 비율을 산출하였다. 집계구 내 인구를 산출된 연면적 비율로 계산하여 개별 점 마다 인구분포를 예측하였다. ESRI ArcMap10.5의 Create Fishnet 기능을 이용하여 50m 격자를 생성한 뒤 점 자료와 통합하여 인구를 재할당 하였다 (그림 16).



그림 III-2-6 | 건물 내 점 자료 및 인구분포 격자 배분

(2) 도시공원데이터 구축

도시공원 공간자료 구축을 위해 용인시 행정구역 쉐이프파일과 도시공원 위치자료, 토지피복도가 필요하다. 공공데이터포털(<https://www.data.go.kr/index.do>)에서 2020년 11월 기준 Excel 자료를 확보했으며 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/main.do>)에서 2019년 세분류 토지피복도를 확보했다. 도시공원정보표준데이터의 공원별 좌표를 ESRI ArcMap10.5에서 지오코딩하여 점 형태의 쉐이프파일로 변환하였으며, 여러 공원 유형 중 묘지공원은 제외하였다. 이어서 도시공원 점 자료를 세분류토지피복도와 중첩하여 폴리곤 형태의 공원경계를 얻고, 카카오맵과 네이버 지도 등 국내 웹 기반의 항공지도 서비스를 참고하여 수정·보완하였다.

(3) 보행망 구축 및 분석

거주지 등 생활공간으로부터 도시공원으로 접근 가능한 보행로를 구축하였다. 도로 공간자료로 Geofabrik (OpenStreetMap(<https://www.geofabrik.de>))에서 제공하는 2020년 8월 기준의 선 형태의 셰이프파일을 활용하였다. 경계 설정에 따른 오류를 줄이기 위해 용인시 행정경계로부터 1 km 내의 도로 데이터를 대상으로 하였으며, 도로 유형 중 보행로가 없는 고속도로와 자동차전용도로를 제외하였다. 카카오맵 등 국내 웹 기반의 항공지도 서비스에서 제공하는 로드뷰를 이용하여 보행로 데이터를 디지털화하여 수정·보완하였다 (그림 17).



그림 III-2-7 | 입력 공간자료(좌: 인구분포도, 가운데: 보행네트워크, 우: 도시공원현황)

보행 네트워크 경로에서의 출발지(인구분포 위치)와 목적지(도시공원) 간 최단거리와 인구분포 추정치로 도시공원 보행 접근성을 평가하고 용인시 읍면동 단위에서의 1인당 평균 접근성 지표를 도출하고 지도화하였다.

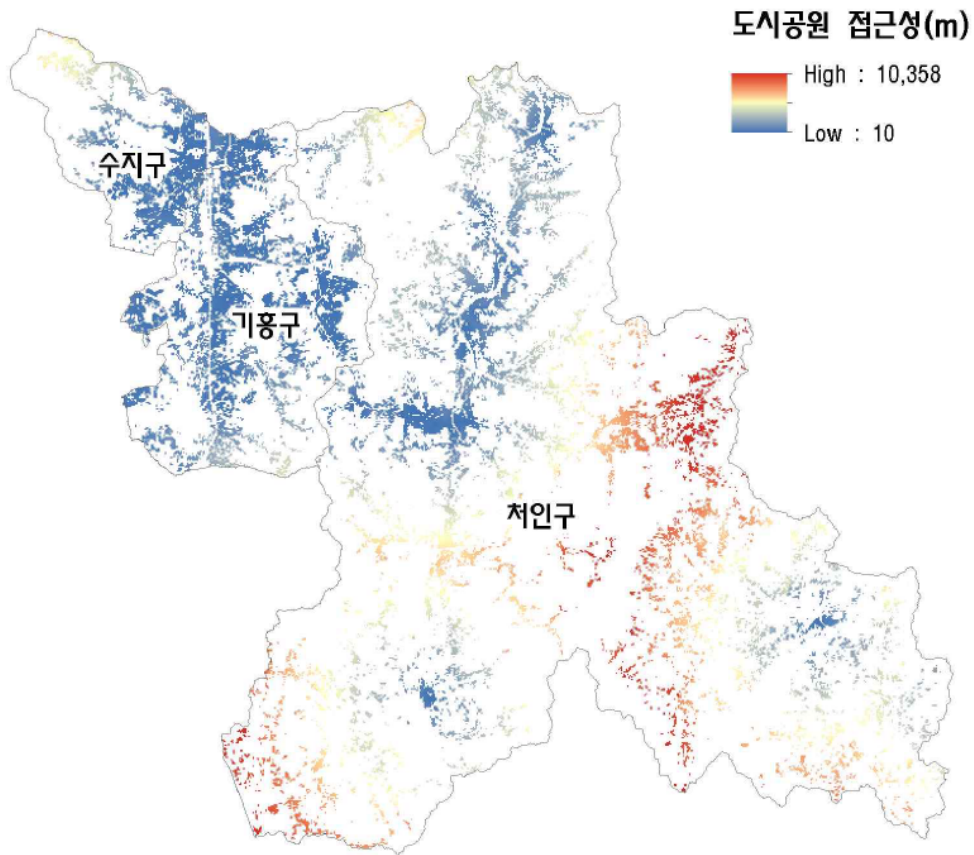
라. 도시공원 보행 접근성 평가 결과 및 활용방안

시민이 거주 및 생활 가능한 건물로부터 도시공원까지의 거리에 따른 접근성 분포 지도를 도출한 결과 용인시 처인구가 다른구에 비해 상대적으로 접근성이 떨어지는 것으로 나타났다 (표 10).

| 표 III-2-7 | 용인시 읍면동별 1인당 도시공원 접근성 및 공원면적

순위	읍면동	1인당 접근성 (m)	공원면적 (ha)	순위	읍면동	1인당 접근성 (m)	공원면적 (ha)
1	기흥구 신갈동	114	37.56	22	기흥구 상하동	354	3.94
2	기흥구 상갈동	121	11.94	23	처인구 삼가동	384	1.54
3	기흥구 청덕동	122	17.69	24	처인구 마평동	433	0.37
4	기흥구 중동	124	38.22	25	처인구 유방동	496	0.27
5	수지구 풍덕천동	124	25.60	26	기흥구 하갈동	571	0.00
6	기흥구 동백동	154	21.04	27	기흥구 농서동	701	21.25
7	기흥구 구갈동	160	10.77	28	처인구 포곡읍	735	1.31
8	수지구 신봉동	176	10.24	29	기흥구 지곡동	1,022	0.00
9	수지구 죽전동	179	10.70	30	처인구 남동	1,137	5.45
10	기흥구 보정동	187	43.75	31	처인구 고림동	1,160	0.00
11	처인구 김량장동	197	7.41	32	기흥구 고매동	1,333	0.00
12	수지구 성북동	202	38.16	33	처인구 모현읍	1,758	0.74
13	수지구 상현동	205	43.76	34	처인구 백암면	2,552	0.13
14	처인구 역북동	221	7.97	35	수지구 고기동	3,169	10.30
15	기흥구 마북동	222	7.89	36	처인구 이동읍	3,264	0.52
16	기흥구 서천동	236	17.72	37	처인구 운학동	4,303	0.00
17	기흥구 영덕동	245	19.62	38	처인구 남사면	5,005	0.00
18	기흥구 연남동	263	2.23	39	처인구 호동	5,524	0.00
19	기흥구 공세동	312	9.71	40	처인구 원삼면	5,637	0.00
20	수지구 동천동	319	0.08	41	처인구 양지면	6,470	0.00
21	기흥구 보라동	353	9.84	42	처인구 해곡동	8,252	0.00

용인시 읍면동별 1인당 도시공원 접근성이 높은 상위 5개 지역을 살펴보면 기흥구 신갈동이 114m로 가장 좋았고, 그다음은 기흥구 상갈동, 기흥구 청덕동, 기흥구 중동, 수지구 풍덕천동의 순이었다. 기흥구 보정동과 수지구 상현동은 도시공원 면적이 약 43.8ha로 다른 읍면동에 비해 높지만, 접근성은 높지 않은 수준으로 이들 지역 내 인구분포와 공원 배치에 대한 면밀한 검토가 필요한 것으로 보인다. 1인당 도시공원 접근성이 낮은 5개 하위지역은 모두 처인구에 속하는 해곡동, 양지면, 원삼면, 호동, 남사면으로 이들 행정구역에는 도시공원이 없어 인근 행정구역 내 도시공원까지의 거리로 측정되었다. 전반적으로 처인구에 속하는 행정구역이 기흥구나 수지구의 행정구역보다 1인당 도시공원 접근성이 낮은 것으로 나타났다 (그림 18).



| 그림 Ⅲ-2-8 | 용인시 도시공원 접근성

본 연구의 결과는 해당 방법론을 통해 근린생활권 도시공원 보행 접근성을 고해상도에서 정량적으로 진단 및 평가할 수 있음을 시사하였다. 향후, 다른 시·군 지역으로의 확장 분석도 필요하며, 공원·녹지 규모에 따른 근린생활권 접근성 차이 및 변화 분석과 함께 녹지규모 및 취약계층 생태계서비스, 인구기반 생태계서비스 수요지표 개발 등에 추가 활용 가능 할 것으로 보인다.



IV

시민참여 생태계서비스 분석기법 개선

1. 생태계서비스 시민참여 평가
2. 시민참여 생태계서비스 인식 차이
평가방법 고도화

IV. 시민참여 생태계서비스 분석기법 개선



1 | 시민참여 생태계서비스 평가

가. 시민참여 생태계서비스 평가 목적 및 필요성

코로나19에 따른 사회적 거리두기가 지속되면서 사람들은 자연의 중요성에 대해 생각하기 시작했으며, 점점 더 많은 사람들이 가까운 공원이나 녹지들을 찾고 있다. 해외의 많은 도시들은 공공의 안정을 유지하면서도 자연과 접촉을 넓히는 다양한 아이디어를 시도하고 있다. 도시 내 공원에서 시민들의 접촉을 최소화하는 일방통행 자전거 및 산책로, 자동차 통행로 및 주차장 폐쇄를 통한 새로운 야외공간을 조성하고 있다.⁴⁾ 이러한 공간 조성은 시민들의 참여와 동의가 수반되어야 한다.

그러나 아직까지 시민활동이나 정책참여에 대한 불신이 공공연하게 있으며, 정책참여에 대한 도구도 제한적이었다. 그러나 지역주민이 주체가 되어 생태자산을 발굴하고 평가하고 공유함으로써 지역 현안에 대해 평가하는 것이 중요하다. 또한 환경에 관심 있는 지역 활동가를 포함하여 시민들의 의견을 들어 정책에 반영하는 다양한 시민참여평가 플랫폼 구축이 필요하다.

본 연구는 리빙랩의 특징을 적용하여 연구주체(국립생태원), 시민사회(지역주민, 안양군포의 왕환경운동연합, 안양지역시민연대, 숲체험학교, 담쟁이자연학교, 안양천생태이야기, 물총새지킴이)가 함께 참여하여 환경정책 분야의 현장성과 연구의 전문성을 결합할 수 있는 시민참여형 연구를 수행하였다.

4) <https://www.fastcompany.com/90590132/the-future-of-cities-is-walkable-healthy-resilient-places>



그림 IV-1-1 | 시민참여 생태계서비스 평가과정

나. 시민참여 생태계서비스 평가 과정

연구지역의 시민단체와 관련기관을 통해 10명의 지역활동가를 추천받아 선발하였다. 안양 군포의왕환경운동연합, 안양지역시민연대, 숲체험학교, 담쟁이자연학교, 안양천생태이야기, 물 총새지킴이에서 참여하였다. 이들을 대상으로 생태자산과 생태계서비스 개념에 대한 교육을 실시하였으며 안양 생태자산 50개를 직접 선정하여 선정이유와 함께 목록을 작성하였다. 약 두 달간 2인 1조로 생태계서비스 간이평가를 진행하였다.

작년과 동일한 간이평가지에 몇 가지를 개선하였다. 생태계서비스 혜택에 대한 불이익을 평가하는 음수 값(--, -)을 포함한 5점 척도에서 양수 값으로만 생태계서비스 혜택을 평가하도록 하였다. 1은 매우 낮은 혜택 또는 없음, 2는 낮은 혜택, 3은 보통, 4는 높은 혜택, 5는 매우 높은 혜택을 제공할 경우로 범례를 나누었다. 공급서비스의 ‘친환경에너지’ 항목을 제외하여 생태계서비스 17개 지표에 대하여 평가하도록 개선하였다. ‘개발압력’, ‘기후변화’, ‘환경오염’, ‘과이용’, ‘외래종’ 5가지 변화요인 항목을 추가하였다. 생물다양성과 생태계서비스에 대한 5가지 변화요인에 대해 평가하였다. 참여자가 아는 만큼 평가하되 생태자산의 변화요인 정도에 따라 이유와 설명을 함께 기재하게 하였다. 도로나 관광단지 건설 등 개발압력이 높은 지역, 빈번한 가뭄이나 홍수 또는 열섬현상 등 기후변화에 취약한 지역, 물, 공기, 쓰레기 등 환경오염이 심한 지역, 과도한 이용과 훼손으로 회복하기 어려운 지역, 외부생물들이 들어와 자

생생물을 위협하는 지역을 1~5까지 5점 척도로 평가하였다. 1은 없거나 매우 낮은 위협인 경우, 2는 낮은 위협, 3은 보통, 4는 높은 위협, 5는 매우 높은 위협인 경우로 범례를 나누었다. 지역활동가들 간 평가방법의 편차를 줄이기 위해 생태계서비스 지표를 단순화하고 가이드라인을 제시하였다. 또한 동일지역을 반복 조사하여 참여자의 부담을 줄이고 평가 값의 불확실성을 감소시켰다.

안양 생태자산은 ‘공원·녹지’, ‘산림’, ‘하천지형’, ‘습지’, ‘역사·유적’, ‘휴양공간’으로 6가지 유형으로 분류하였다. 이 중 ‘하천지형’, ‘공원·녹지’, ‘산림’ 유형이 가장 높은 비율을 보였다. 안양 지역활동가는 안양천, 수암천, 삼성천, 학의천과 인접하고, 관악산, 수리산, 비봉산 등과 관련된 생태자산의 가치를 높게 평가하는 경향을 보였다.

표 IV-1-1 | 안양 생태자산 유형

생태유형	산림	습지	하천지형	공원·녹지	역사·유적	휴양공간	합
개수(개)	14	3	15	15	1	2	50

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 이용	물공급	식수, 농업용수, 축산 용수 등 제공		
	식량	곡물, 과일, 물고기 등 인간에게 먹거리 제공		
	자원	목재나 약재 등 상품의 재료로 활용		
환경 개선	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 및 사회	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		
지지	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 IV-1-2 | 생태계서비스 간이평가지

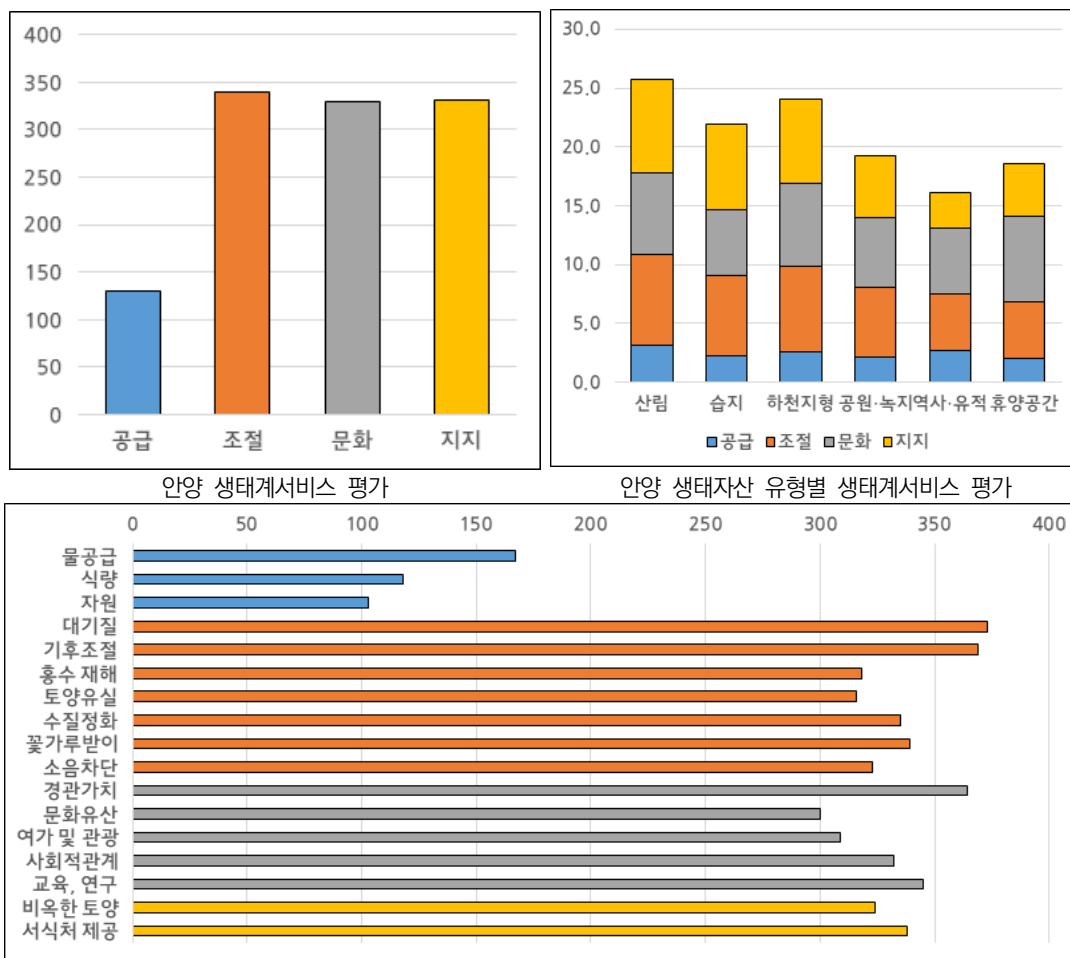
| 표 IV-1-2 | 안양 생태자산 목록

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

다. 시민참여 생태계서비스 평가 결과

(1) 생태계서비스 평가 결과

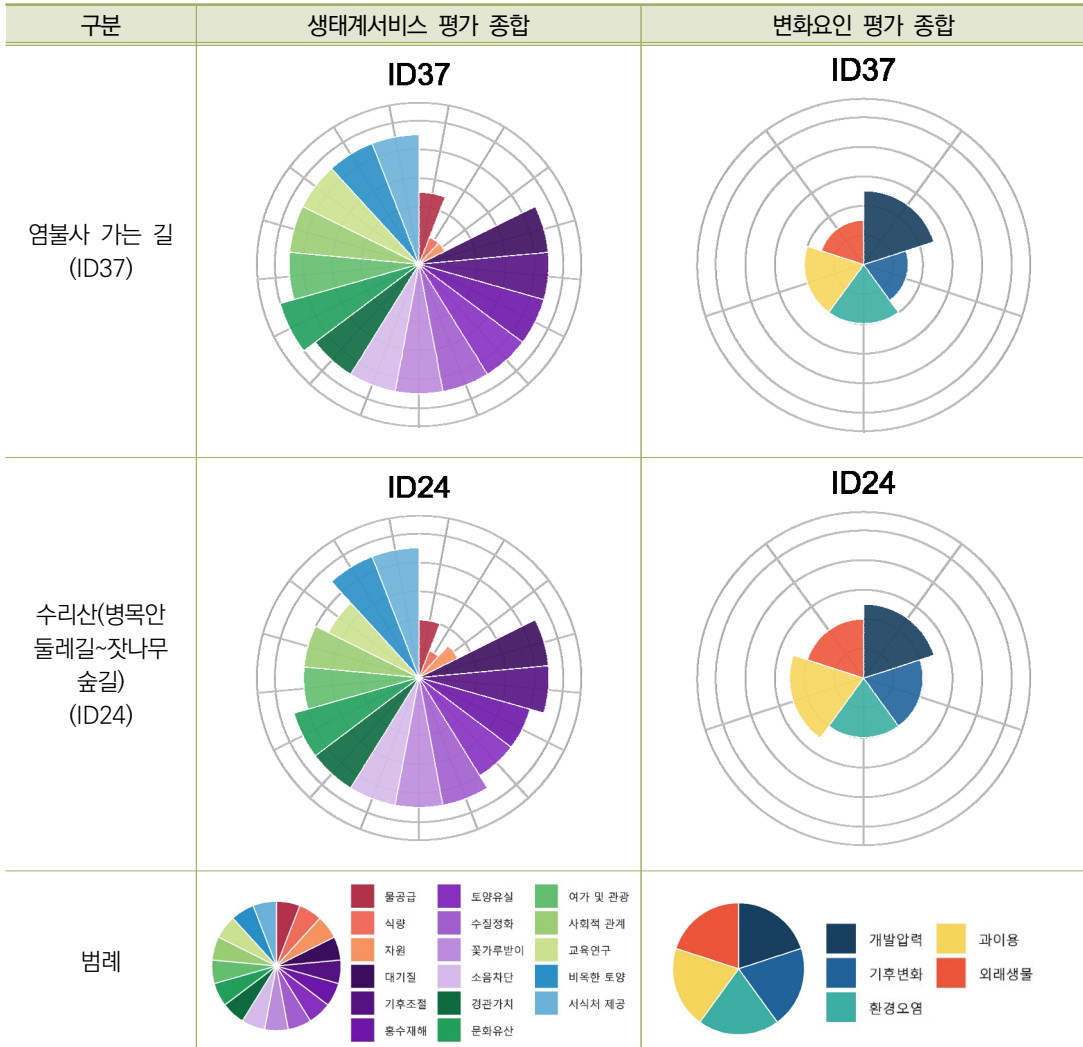
안양 지역활동가의 생태계서비스 간이평가 결과 지지서비스(비옥한토양, 서식처제공)가 가장 높게 나타났지만 문화서비스(경관가치, 문화유산, 여가 및 관광, 사회적 관계, 교육·연구)와 조절서비스(대기질, 기후조절, 홍수재해, 토양유실, 수질정화, 꽃가루받이, 소음차단) 평가값 모두 비슷하게 나타났다. 비교적 공급서비스(물공급, 식량, 자원)는 낮게 평가되었다. 안양 생태자산 대부분을 차지하는 ‘산림’, ‘하천지형’, ‘공원·녹지’ 유형의 생태계서비스 평가가 높았고 전체의 6%를 차지한 ‘습지’ 유형도 생태계서비스 평가가 높았다.



[그림 IV-1-3] 안양 생태자산 생태계서비스에 대한 지역활동가의 의견

간이평가를 토대로 안양의 생태계서비스가 종합적으로 높게 평가된 생태자산을 확인하였다. ‘염불사 가는 길(ID37)’과 ‘수리산(병목안 돌레길~잣나무 숲길)(ID24)’ 순으로 가장 높았다.

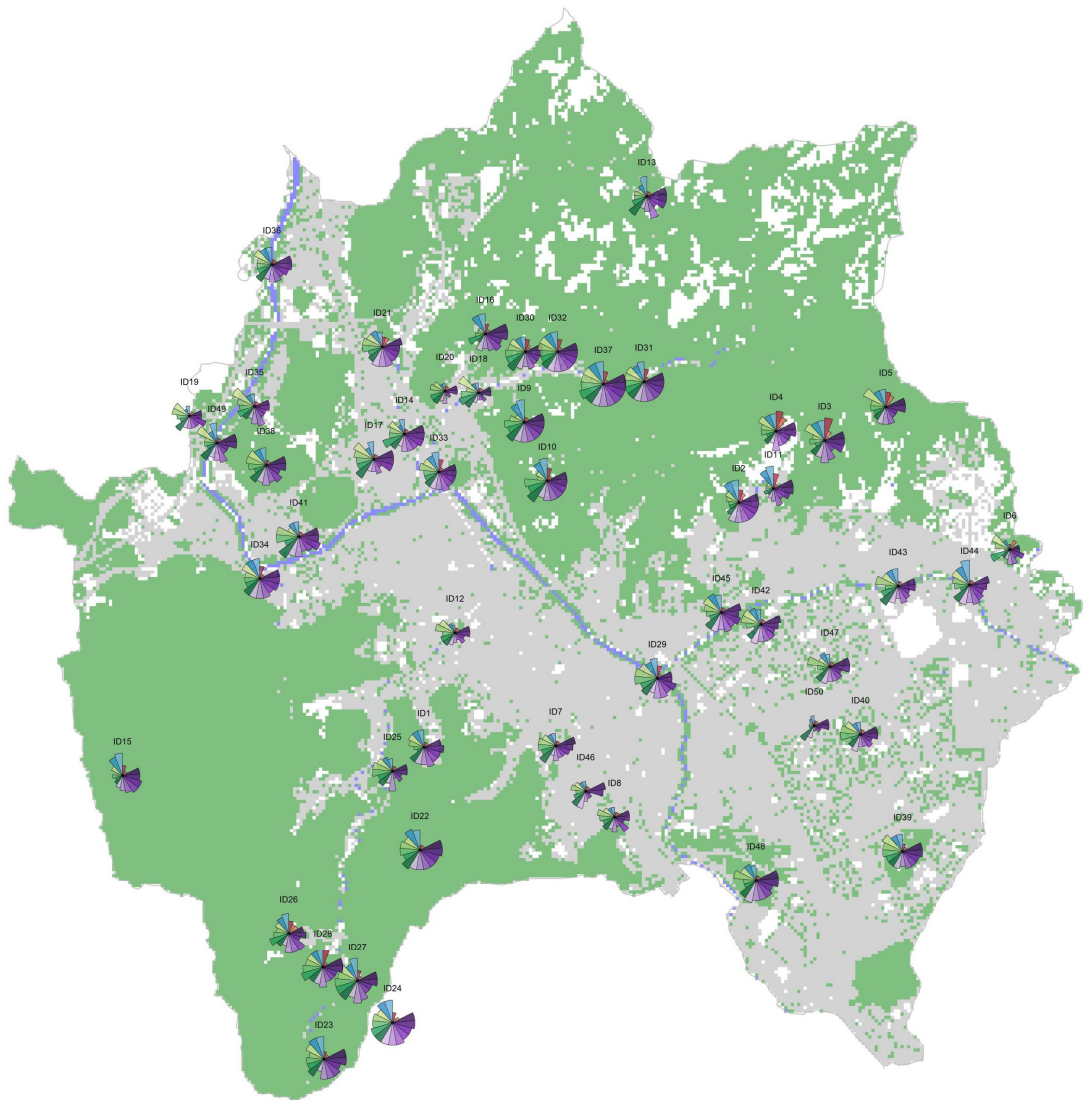
표 IV-1-3 | 생태계서비스가 가장 높게 평가된 안양 생태자산



‘염불사 가는 길(ID37)’은 비교적 낮은 혜택을 제공하는 약수터가 있고 먹거리 혜택 제공이 되지 않아 공급서비스 평가는 다소 낮았다. 그러나 삼성산에 위치하여 울창한 산림지역인 점, 밀도 높은 수목이 식재되어 있어 대기오염감소 효과가 높고 온실가스와 토양유실을 완화시켜 주고 소음차단효과가 뛰어나 조절서비스가 높게 평가되었다. 숲의 사계절을 감상할 수 있고, 문화유산가치를 제공하는 곳으로 문화서비스가 높게 평가되었다. 산림의 풍부한 토양에 많은 식물이 생육하고 포유류, 조류, 양서류 등 다양한 야생동식물이 서식하는 점을 들어 안양 50

개 생태자산 중 조절서비스, 문화서비스, 지지서비스가 가장 높게 평가되었다. 5가지 변화요인은 다소 낮게 평가되었다.

‘수리산(병목안 들레길~잣나무 숲길)(ID24)’은 수리산 계곡 지류가 한강으로 유입되는 양과 식량제공이 미흡하여 공급서비스가 낮게 평가되었다. 그러나 다양한 식생이 존재하는 밀도 높은 숲이 높은 조절서비스를 제공한다고 평가되었고 이는 시/군/구 규모의 혜택이라고 답변하였다. 잣나무 숲길은 경관 가치가 우수하여 문화서비스를 높게 평가하였고 지역 정체성을 형성하는 생태자산이라고 답하였다. 토양이 비옥하고 야생동물의 서식처를 제공하여 안양 50개 생태자산 중 지지서비스가 가장 높게 평가되었다. 5가지 변화요인은 다소 낮게 평가되었다.



| 그림 IV-1-4 | 안양 생태계서비스 평가 종합

(2) 변화요인 평가 결과

안양 지역활동가의 생태자산 변화요인 평가 결과 개발압력에 대한 위협을 가장 크게 평가하였고 기후변화를 가장 낮게 평가하였다. 그러나 5가지 변화요인 사이에 큰 차이는 없었다. 안양 생태자산 유형별 변화요인 평가를 보면 ‘역사·유적’유형 생태자산의 변화요인이 가장 높았다. 그중 외래생물 위협이 가장 높게 평가되었다. ‘산림’, ‘습지’, ‘휴양공간’유형 생태자산은 5가지 변화요인 중 개발압력 위협이 가장 높았다. 현재 개발 중이거나, 이용객이 많아 앞으로 개발 가능성이 높은 생태자산이 다수였다. ‘하천지형’유형은 개발압력과 이용객으로 인한 환경오염 위협이 가장 높게 평가되었고 ‘공원·녹지’유형은 환경오염과 과이용 위협을 높게 평가하였다.

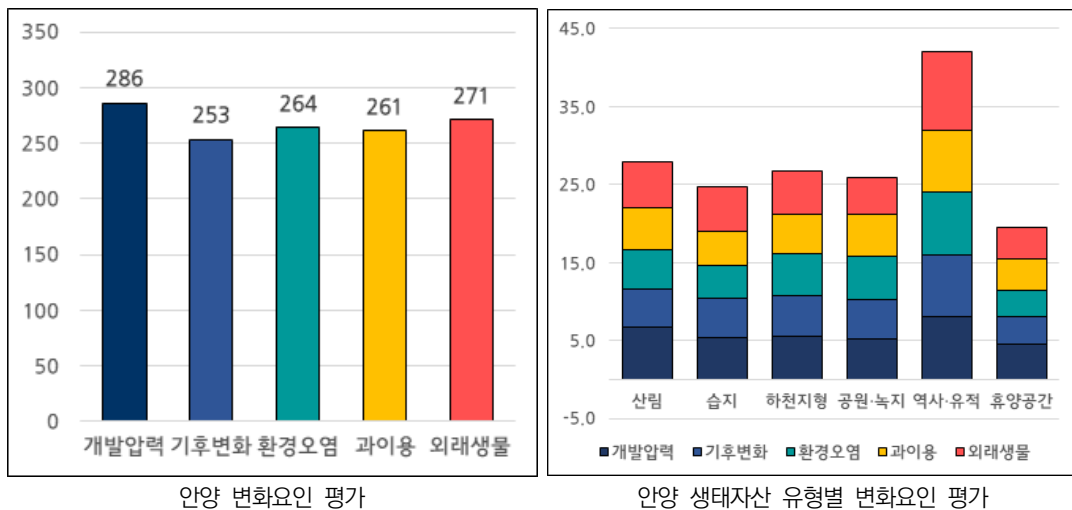
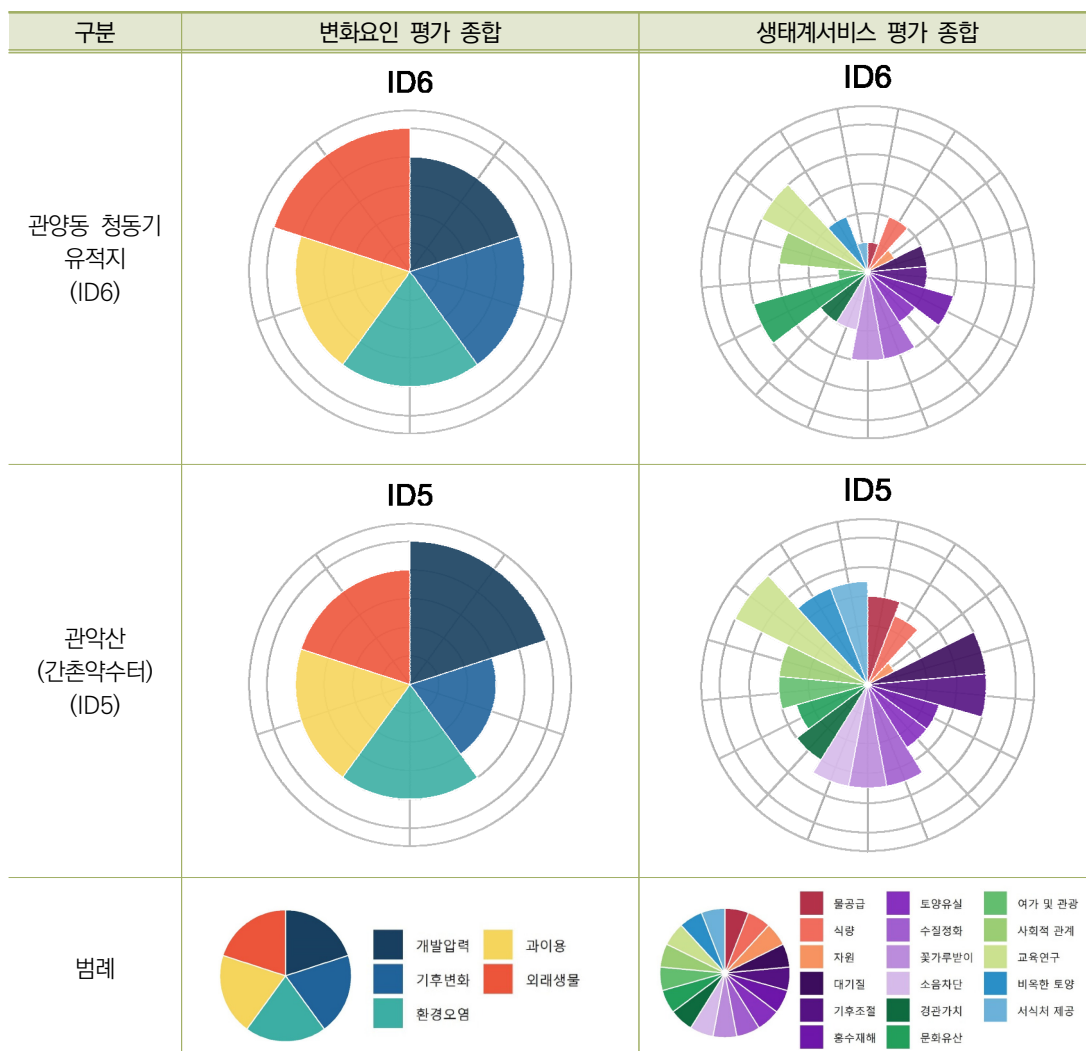


그림 IV-1-5 | 안양 생태자산 변화요인에 대한 지역활동가의 의견

간이평가를 토대로 안양의 변화요인이 종합적으로 높게 평가된 생태자산을 확인하였다. ‘관양동 청동기 유적지(ID6)’와 ‘관악산(간촌약수터)(ID5)’ 순으로 가장 높았다.

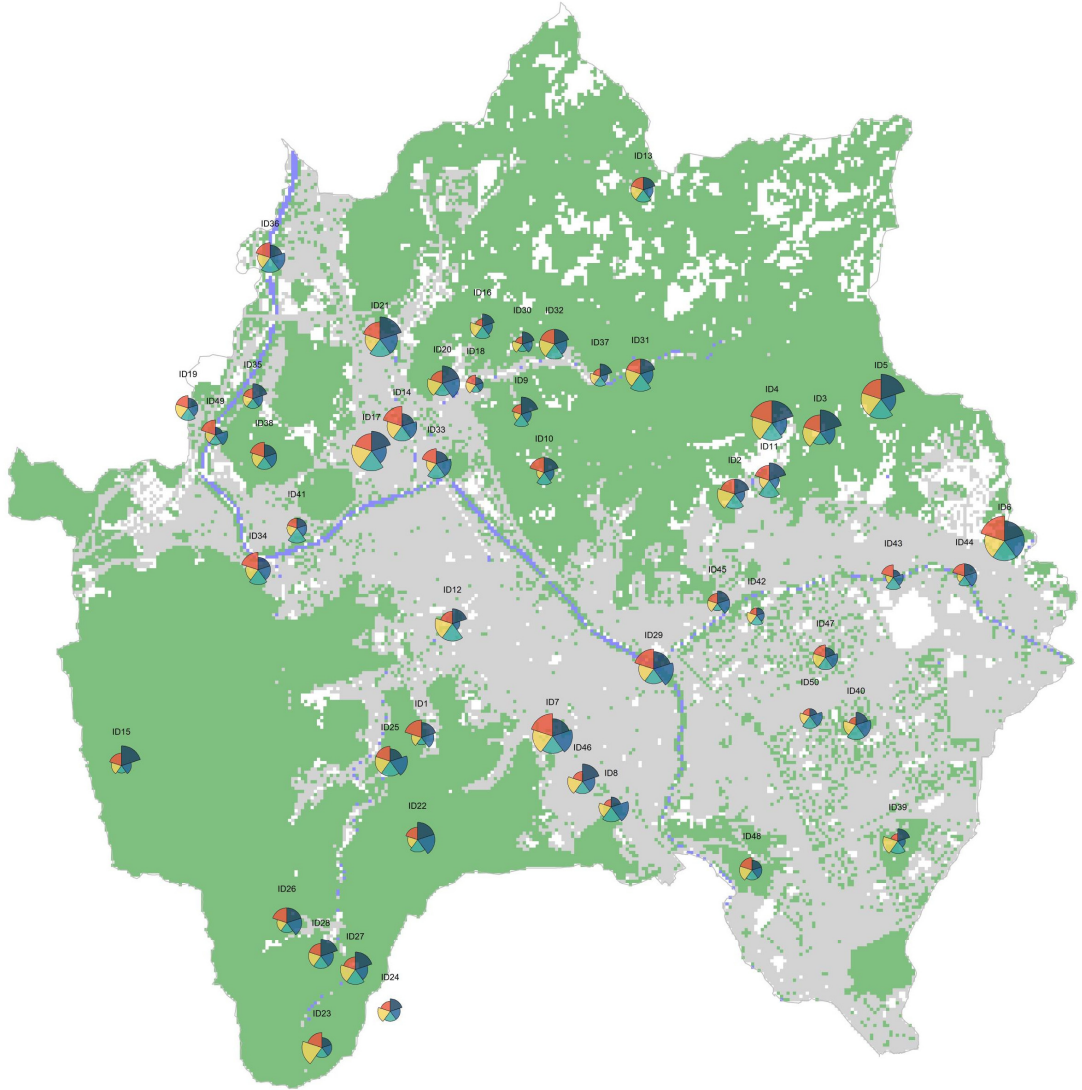
‘관양동 청동기 유적지(ID6)’은 청동기시대 집터유적지가 보존된 곳으로 5가지 변화요인 모두 높았다. 주변이 이미 개발이 진행되었고 예정지가 많이 남아있어 개발압력 위협을 높게 평가하였다. 주변의 도로와 주택지의 영향으로 기후변화와 환경오염에 취약하다고 평가되었다. 이미 진행된 주변의 개발로 생태적 회복이 어렵고 외래생물의 위협이 있다고 평가하였다. 생태계서비스 평가를 보면 공급서비스, 조절서비스, 지지서비스의 평가가 하위권에 속하였다. 개발로 인한 생태적인 건강성을 기대하기는 어렵지만 역사적 가치가 높은 곳으로 보전관리가 필요하다고 평가하였다.

| 표 IV-1-4 | 변화요인이 가장 높게 평가된 안양 생태자산



‘관악산(간촌약수터)(ID5)’는 유아숲체원이 있는 곳으로 5가지 변화요인의 위협이 높은 곳으로 평가되었다. 해당 생태자산은 건축물과 구조물이 공간에 비해 많고 개발예정지를 포함하고 있어 개발압력 위협이 가장 높게 평가되었다. 자연림이 있어 기후변화 위협은 보통으로 평가되었다. 대단지 아파트와 인접하여 이용이 편리하여 문화서비스가 높은 곳이나, 이로 인한 환경오염과 과이용, 외래생물 위협이 높게 평가되었다. 생태계서비스 평가를 보면 경작용수와 약수터를 제공하고 경작지의 농작물이 생산되어 공급서비스는 상위권에 속하였다. 관악산과 이어지는 자연식생이 제공하는 조절서비스 중 ‘대기질’과 ‘기후조절’ 지표가 높게 평가되었다. 문화서비스의 ‘문화유산’ 지표는 낮으나 유아숲체원이 있어 ‘교육·연구’ 지표 평가값이 높았

다. 땀퐁이, 반딧불이의 서식지였던 곳으로 주변 자연림과 토양이 비옥하나 식생이 적다고 평가하였다.

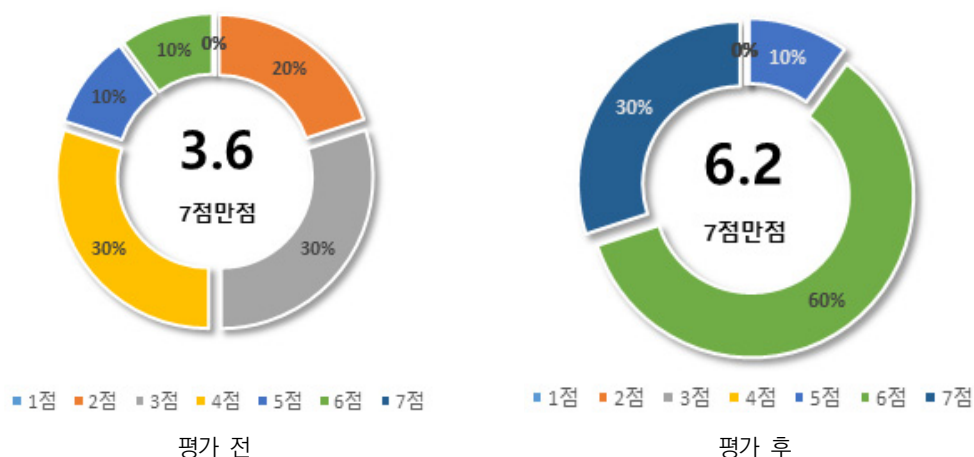


| 그림 IV-1-6 | 안양 변화요인 평가 종합

(3) 시민참여 생태계서비스 평가 후 인식변화

시민참여 생태계서비스 평가 전후로 생태계서비스와 생태가치에 대한 이해 정도, 관심, 생태자산 가치평가의 필요성, 전반적 만족도 등에 대한 설문을 실시하였다. 안양 지역활동가 모두 시민참여 생태계서비스 평가 교육 후 인식이 상승하였다. 교육 후 이해 정도가 ‘높다’고 답한 비율은 10%에서 60%로, ‘매우 높다’고 답한 비율은 0%에서 30%로 전체적으로 크게 인식이 상승하였다.

지역활동가들은 생태계서비스라는 개념을 알게 되었고 자연이 주는 혜택을 자세히 들여다 보게 되었고 직접 생태자산 목록을 구성하고 평가하고 공유하는 전 과정이 의미 있었다는 긍정적인 반응을 보였다. 또 선정한 생태자산을 중심으로 구간을 세분화시켜 연 3~4회 방문하는 등 지속적인 평가와 비교가 필요하다고 제안하였다.



| 그림 IV-1-7 | 시민참여 생태계서비스 평가 후 생태가치에 대한 인식변화

2 | 시민참여 생태계서비스 인식 차이 평가방법 고도화

가. 생태자원 보전에 대한 Q방법론 활용

2019년 연구지역인 파주를 대상으로 Q 방법론을 통해 가치 평가 기준을 구분하고 생태자원에 대한 생태계서비스 평가 비교 및 위협요인 분석을 실시하였다.

지역주민 생태자산 평가에 있어서 같은 대상에 대해서 가치관과 인식 차이에 따라 평가 결과가 다르게 나타날 수 있다. 최근 환경 분야에 갈등이 유발 될 가능성이 있는 대상을 연구하는데 있어서 Q 방법론을 활용한 연구가 매우 증가하고 있다(Grimsrud, k., *et al.*, 2020; Nhem, 2019, Wainger, 2017; Pike, 2015).

나. 연구방법

Q방법은 사람들의 다양한 인식을 의미하는 집합을 찾아내는 것을 목적으로 개인적인 인식의 내용을 파악할 수 있다. 주로 언어, 사진 등과 같은 표현매체들을 분석하는 연구방법이다(Browm, Steven R, 1993).

파주지역의 생태자산 50개 중에서 상대적으로 인지도가 높으며, 다양성을 고려한 형태로 25개를 선정하여 Q sample(Q-set)을 설정하였다. 응답자는 가치관이 편중되지 않도록 다양한 배경을 가진 지역주민 49명을 선정하였으며, 이들에게 생태계서비스에 대한 교육 후 25개 생태자산에 대해서 지속가능한 활용이 더 요구되는 생태자산은 오른쪽(+), 보전이 요구되는 생태자산은 왼쪽(-) 피라미드 형태로 배치하는 형태로 Q sort를 하도록 하였다.

또한 생태자산 취약성 분석은 생태계서비스의 질적 저하의 원인이 되는 5개의 위협요소를 정하여 평가하였다. 위협요소는 개발압력(Development Pressure, DP), 기후변화(Climate Change, CC), 환경오염(Environmetal Pillution, EP), 과이용(Over use, OU), 외래종(Invasive Species, IS)이다. 전체 피험자의 취약성 평가와 함께 취약성 평가의 함께 점수가 높은 생태자산을 추출하였으며, 설명그룹(Narrative group)별로 그 차이를 Chi-square 검증을 통해 분석하였다

다. 결과 및 고찰

(1) 생태자원 인식 차이에 따른 주민 그룹화

파주 지역주민 49명(P set)을 대상으로 생태자산 25개에 대해 Q sort 조사 값을 분석한 결과 5개의 요인(Factor)로 분류하였다. 표-IV-2-1에서 양의 값으로 표시된 것은 해당 생태자산에 대해서 지속가능한 개발이 필요하다는 것을 나타내며, 음의 값은 활용보다는 보전에 대한 노력이 필요하다는 것을 말한다.

최종적으로 2개의 요인을 채택하였는데, 응답자의 수, 고유값, 설명값이 현저히 컸으며, 요인 1은 고유값이 11.86534, 요인 2는 10.39148로 다른 요인에 비해서 상대적으로 높게 나타났다. 또한 두 요인을 합한 전체 설명값은 45.4%이다.

채택하지 않은 요인 3, 요인 4, 요인 5는 요인 1과 요인 2와 유사성이 있었으나, 요인 1과 요인 2가 지역전체에 대한 가치관의 차이를 보이는 설명그룹이라면, 요인 3, 요인 4, 요인 5는 특정 지역에 대한 이해관계를 설명하는 요인이라고 해석할 수 있다.

설명그룹 1(Factor 1)과 설명그룹 2(Factor 2)의 내용을 해석하면, 현재 생태자원을 활용한 관광시설로 개발되어 제공되고 있는 생태자원(오두산전망대, 운정호수공원, 벽 초지수목원 등)에 대해서 적절한 활용이 필요하다고 판단하였다. 그러나 울곡습지공원, 산남습지, 공릉천 기주지역 등은 보전이 더 적합한 생태자원으로 평가하였다. 따라서 설명그룹 1은 생태보전 그룹(Nature conservation Group)으로 정하였고 전체 P set 중 생태보전 그룹(Nature conservation Group)에는 18명이 속하였다.

설명그룹 2(Factor 2) 일부 생태자원(오두산전망대, 운정호수공원)에 대해서는 적절한 활용이 필요하다고 했지만, 역사문화자원과 연계된 생태자원(장릉, 파주삼릉, 소령원 등)에 대해서 보전이 더 적합하다고 판단하였다. 설명그룹 2는 유산보전 그룹(Heritage conservation Group)로 정하였고, 전체 P set 중 유산보전 그룹(Heritage conservation Group)에는 13명이 속하였다.

| 표 IV-2-1 | 요인분석 매트릭스

생태자산	유형	요인 1	요인 2	요인 3	요인 4	요인 5
오두산전망대	문화재	4	3	0	4	-1
운정호수공원	공원	3	3	1	-2	-2
벽초지 수목원	공원	3	2	-1	0	1
마장호수-출렁다리	강	2	4	3	2	0
임진강 두지리 황포돛배	문화재	2	2	0	2	-4
파평윤씨 정정공파 묘역	문화재	2	-1	1	1	-1
용미리 마애이불입상	문화재	1	1	-1	3	1
윤관장군묘	문화재	1	-2	1	-1	-1
장릉	문화재	1	-3	0	3	0
파주삼릉	문화재	1	-4	-1	1	0
박중손 묘역	문화재	0	-1	-1	-1	2
해음 원지	문화재	0	-1	-2	-2	-1
덕은리 주거지와 지석묘군	문화재	0	-2	0	1	1
허준묘	문화재	0	-2	-3	0	4
소령원	문화재	0	-3	0	-1	2
심학산	산	-1	2	2	0	-3
소리천	강	-1	1	-2	2	3
봉서산	산	-1	0	2	-3	-2
덕진산성	문화재	-1	-1	-3	1	2
공릉천	강	-2	1	4	-1	1
애룡저수지	저수지	-2	0	2	0	-2
파평산	산	-2	0	1	-4	-3
울곡습지공원	습지	-3	1	-2	-3	0
산남습지	습지	-3	0	-4	-2	0
공릉천 기수지역	강	-4	0	3	0	3

| 표 IV-2-2 | 요인점수 기반 상관관계 매트릭스

	요인 1	요인 2	요인 3	요인 4	요인 5
요인 1	1.000	0.196	-0.018	0.488	-0.100
요인 2	0.196	1.000	0.322	0.113	-0.323
요인 3	-0.018	0.322	1.000	-0.019	-0.219
요인 4	0.488	0.113	-0.019	1.000	0.249
요인 5	-0.100	-0.323	-0.219	0.249	1.000
응답자 수	18	13	3	3	3
요인 고유값	11.86534	10.39148	4.324111	3.623398	3.154721
설명값	24.21497	21.20711	8.824716	7.394691	6.438207
내적 신뢰도	0.986301	0.981132	0.923077	0.923077	0.923077

(2) 생태보전 중심 그룹과 유산보전 중심 그룹의 생태자원 인식 차이

생태보전 그룹(Nature conservation Group)과 유산보전 그룹(Heritage conservation Group)의 평가 내용을 유형별로 보면, 벽초지 수목원, 운정호수 공원 등 공원에 대한 평가는 비슷하였다. 대개 공원은 지속 가능한 활용이 필요하다고 평가하였으며, 공원과 같이 사람들이 많이 이용하는 관광시설(마장호수, 임진강 두지리 황포돛배, 오두산 전망대)에서도 비슷한 결과가 나왔다. 두 그룹은 이미 관광자원으로 활용되어 있거나 공원과 같이 자연에서의 여가 목적으로 개발된 시설에 대해서는 지속 가능한 활용이 필요하다고 동일한 의견을 가지고 있다.

반면, 생태보전 그룹(Nature conservation Group)과 유산보전 그룹(Heritage conservation Group)이 크게 의견차이가 있었던 곳은 보전이 더 요구되는 생태자산이었다. 생태보전 그룹(Nature conservation Group)은 대표적으로 습지, 산림, 하천 등의 공룡천 기수지역, 산남 습지, 울곡습지공원 등 생태자산 중 생태적 보전가치가 높거나 훼손 위험성이 높은 생태자산에 대해서는 보전이 요구된다고 파악하였다. 설명그룹 1은 자연환경(습지, 하천, 산)에 대한 보전 성향이 강하였으나, 문화유산에 관련한 생태자산(파주삼릉, 장릉 등)에 대해서는 보전 성향이 강하지 않았다.

유산보전 그룹(Heritage conservation Group)은 문화유산과 연계된 생태자산(파주 삼릉, 장릉, 소령원 등)에 보전이 요구된다고 파악하였다. 이들은 국가 문화재에 지정된 유산과 주변의 자연환경에 대한 보전 성향이 강하였으나, 반면 습지에 대한 보전 성향은 강하게 나타나지 않았다.

| 표 IV-2-3 | 두 설명 그룹이 인식하는 지역 생태계서비스 자산 활용에 대한 Q 문항

유형	생태자산	NG1	NG2
공원	벽초지 수목원	3	2
	운정호수공원	3	3
	울곡습지공원	-3	1
산	파평산	-2	0
	봉서산	-1	0
	심학산	-1	2
습지	산남습지	-3	0
	공릉천 기수지역	-4	0
강	소리천	-1	1
	공릉천	-2	1
호수	애룡저수지	-2	0
	마장호수-출렁다리	2	4
문화유산	파주삼릉	1	-4
	장릉	1	-3
	소령원	0	-3
	박중손 묘역	0	-1
	윤관장군묘	1	-2
	허준묘	0	-2
	파평윤씨 정정공파 묘역	2	-1
	덕은리 주거지와 지석묘군	0	-2
문화적 재산	덕진산성	-1	-1
	해음원지	0	-1
	용미리 마애이불입상	1	1
기타 관광시설	임진강 두지리 황포돛배	2	2
	오두산전망대	4	3

(3) 각 생태자원에 대한 훼손도 평가

25개 생태자산에 대한 5가지의 대표적인 위협요소(개발압력(Development Pressure, DP), 기후변화(Climate Change, CC), 환경오염(Environmetal Pillution, EP), 과이용(Over use, OU), 외래종(Invasive Species, IS))에 대한 훼손 위험성에 관한 인식을 조사하였다.

두 그룹을 합친 전체 응답자들은 개발압력(102건), 환경오염(73건), 외래종(56건), 기후변화(38건), 과이용(24건) 순으로 인식하고 있었다. 특히 개발압력에 대해서는 25개 생태자산 중 2개 자산을 제외하고 모두 악영향을 받고 있다고 인식되고 있었다.

생태보전 그룹(Nature conservation Group)이 유산보전 그룹(Heritage conservation Group)보다 전반적으로 생태자원의 훼손에 대해서 크게 인식하고 있었다. 두 그룹 모두에서 산남습지, 공릉천, 공릉천 기수지역을 생태계서비스, 훼손 위험성이 큰 곳으로 인식하였으나 전반적인 평가 성향은 비슷하였다.

표 IV-2-4 | 두 설명 그룹에 의한 지역 생태계서비스 자산 취약성 평가

생태자산	유형	요인 1	요인 2	요인 3	요인 4	요인 5
산남습지		4	3	0	4	-1
공릉천		3	3	1	-2	-2
공릉천 기수지역		3	2	-1	0	1
마장호수-출렁다리		2	4	3	2	0
심학산		2	2	0	2	-4
운정호수공원		2	-1	1	1	-1
소리천		1	1	-1	3	1
애룡저수지		1	-2	1	-1	-1
오두산전망대		1	-3	0	3	0
벽초지 수목원		1	-4	-1	1	0
임진강 두지리 황포돛배		0	-1	-1	-1	2
울곡습지공원		0	-1	-2	-2	-1
덕진산성		0	-2	0	1	1
장릉		0	-2	-3	0	4
파평산		0	-3	0	-1	2
박중손 묘역		-1	2	2	0	-3
봉서산		-1	1	-2	2	3
용미리 마애이불입상		-1	0	2	-3	-2
윤관장군묘		-1	-1	-3	1	2
파평윤씨 정정공파 묘역		-2	1	4	-1	1
소령원		-2	0	2	0	-2
파주삼릉		-2	0	1	-4	-3
해음원지		-3	1	-2	-3	0
덕은리 주거지와 지석묘군		-3	0	-4	-2	0
허준묘		-4	0	3	0	3



위탁연구

1. 생태계서비스와 기업의 지속가능경영
우수사례 분석
2. 수문 생태계서비스 평가 및 지도 구축

V. 위탁연구



1 | 생태계서비스와 기업의 지속가능경영 우수사례 분석

가. 생태계서비스와 기업의 지속가능경영 우수사례 분석

(1) 생태계서비스와 기업의 지속가능경영 우수사례 분석의 필요성

오늘날 기업이 자연에 미치는 영향과 의존성을 통합적으로 관찰하는 자연자본 측면에서 생태계 회복탄력성을 담보할 수 있는 기업활동의 새로운 체계와 접근법에 대한 요구가 늘어나고 있다. 이에 대응하고자 UN, 유럽연합을 포함한 국제기구들은 사회적 환경적 비용을 고려하지 않는 경제발전의 패러다임을 전환하기 위하여, 자연 자본과 생태계서비스 접근법을 정부 정책과 기업경영 의사결정과정에 통합시키기 위한 다양한 이니셔티브를 추구하고 있다. 2005년 생태계와 인간복지에 관한 연계성을 과학적으로 밝힌 새천년생태계평가(MEA) 연구 결과가 발표된 이후, 기업의 생태계와 생물다양성 경제학(TEEB, 2010), 기업의 생태계서비스 가치평가(WBCSD, 2011), 자연자본 프로토콜(NCC, 2016), 생물다양성프로토콜(진행중)에 관한 일련의 이니셔티브들이 진행되어왔다 (그림 1). 이러한 이니셔티브들은 인간사회의 기반이 되는 생태계에 대한 가치를 정량적으로 측정하여 정책과 산업부문에서 어떻게 생태계서비스 접근법이 활용될 수 있는지를 보여준다.



| 그림 V-1-1 | 기업활동의 생태계서비스 활용 추세

최근 EU는 지속가능 금융 촉진을 위한 EU 분류체계(Taxonomy)를 법제화함으로써 지속가능한 경제활동을 판별하는 공통기준을 마련하였으며 6가지 환경 목표⁵⁾를 설정하였다. 우리나라 환경부 또한 그린본드 시장 확장을 위해 녹색성장기반을 구축하기 위해 녹색 금융제도 개선(K-Taxonomy) 도입 예정이므로 이에 대응하기 위한 기업의 역량강화가 필요한 실정이다.

국제 금융권에서 또한 본격적으로 기업활동의 생물다양성 발자국 및 생태계 보전 노력을 투자결정에 통합하기 위해 생태계서비스 보고 및 투자 전략을 연계하는 이니셔티브를 공표하고 있다. UNEPFI(2018)는 ‘Principles for positive impact finance’ 이니셔티브를 통해 SDGs 지원을 위한 공통의 프레임워크를 제공하였으며 ASN Bank(2017)의 ‘Platform Carbon Accounting Financials’를 제시함으로써 금융기관의 탄소회계 접근 조정 및 개발 방안을 제시하였다. 더해서 ICMA(2018)은 ‘Green Bond Principles’를 제시하면서 녹색채권 발행을 위한 투명성과 정보공개성 향상, 표준화된 영향지표 개발을 위한 시도를 하였다. 그러나 현재까지 국내 투자기관이 활용할 수 있는 생물다양성 영향평가를 위한 공통 기준은 전무하다.

오늘날 기업 지속가능보고서의 생물다양성 비중이 급격히 증가하고 있다. 윤리적바이오거래연맹(UBET)의 연례 보고서(Biodiversity Barometer)에 의하면 생물다양성 보고 내용은 뷰티산업에서 2009년 13%에 비해 2019년 전체 49%가 확대되었고, 식품음료산업에서도 전체 76%로 확대되었다. 식음료, 화장품, 제약회사의 경우 원료공급망 조달에 생물다양성 영향이 상대적으로 크므로, 마틴바우어 (Martine Bauer)기업처럼 자체 인증기준을 만들어 환경지속가능성을 측정하기도 했다. 기업의 생물다양성 보고 표준화 작업에 대한 관심도 증가하여 현재는 개별적 틀과 기준을 활용하고 있으나, ‘기업의 생물다양성 측정방안 조정’프로젝트처럼 생물다양성 관련 보고서 작성 및 공시 방안마련에 대한 논의가 가속화되고 있다.

환경과 생물다양성은 기업의 지속가능 이슈의 중요한 요인이며, 전 세계적으로 기업의 생물다양성 전략 개발에 주요 안건으로 발전하고 있다. 2000년대 이래 국외에서는 생물다양성과 생태계서비스 관리모델, 기업의 자연자산 계정 개발 등 생물다양성과 생태계서비스를 비즈니스 모델로 통합하는 다양한 가이드라인이 개발되고 있다. 한국 또한 마찬가지로 생물다양성 및 생태계서비스에 기반을 둔 국제적 환경현안에 대응하고자 2014년 기업의 생물다양성과 생태계서비스 분야 플랫폼(BNBP) 사무국을 구축하였다. 그러나 주요기업 대부분이 지속가능발전목표(SDGs) 기반의 지속가능경영보고서에 치중되어있으며, 생태계서비스개념이 배제된 국

5) EU Taxonomy의 6가지 환경목표: 기후변화 완화, 기후변화 적응, 수자원 해양자원의 지속가능한 이용과 보호, 순환경제로의 전환, 오염 방지 및 관리, 생물다양성과 생태계 보호 및 복원

내 기업의 지속가능경영 평가로 인해 기업활동의 전 과정이 생태계에 미치는 통합적 영향을 파악하기 어려운 실정이다.

현재 국가환경전략(생물다양성전략, K-SDGs)의 목표는 국가차원에서 설정되어 기업 활동과의 실질적인 연계가 어렵다. 또한, 기업 투융자 유치 시 생태계서비스와 연계된 ESG분야 금융권 정보공개 요구가 증가하고 있는 반면 생태계서비스 관련 기업활동 정량데이터 측정 기준이 마련되어있지 않아 정보제공이 어렵다. 이러한 취약점 개선을 위해서는 생태계서비스에 대한 국내 기업의 인식 개선 및 표준 안내서 개발을 위한 기반 마련이 필요하다. 본 연구에서는 국외 기업의 생물다양성과 생태계서비스 관리 선진사례를 살펴봄으로써 농업, 식품, 금융 분야에 속한 우수기업들이 어떠한 틀과 개념을 통해 변화하는 생물다양성과 생태계서비스량을 파악하여 대응하고, 이로 인해 어떠한 혜택이 발생했는지 살펴보았다. 이어서 국가 지속가능경영보고 내용 검토를 통해 국가 환경분야 주요 현안과 더불어 국내 기업이 대면하고 있는 구체적인 한계점을 파악하였다. 최종적으로 국내 기업의 한계점과 국외 우수 사례를 파악함으로써 국내 기업의 지속가능성 증진을 위한 생태계서비스 적용 방안을 제시하고자 한다.

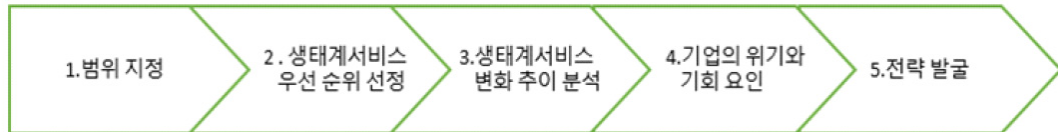
(2) 기업의 생물다양성과 생태계서비스 관리 선진사례

기업활동이 생물다양성 및 생태계서비스에 미치는 영향을 구체화 하고 이에 대한 기업의 인식증진을 위해 농업, 제조업, 금융관련된 다양한 국제기구에서 각 기업 활동 유형과 연관된 생태계서비스 분석체계를 제시해 왔다. 기업활동의 생태계서비스 접근법에 선도적 역할을 하고 있는 세계지속가능발전기업 협의회(WBCSD)와 세계자원연구소(WRI)는 2010년대 초 생태계서비스 체계를 기업활동에 적용하여 기업의 생태계가치평가(CEV)가이드라인 (그림 2)과 기업의 생태계서비스 리뷰(ESR)을 발표했다 (그림 3). CEV 가이드라인과 생태계서비스리뷰(ESR)는 기업의 생태계 의존성과 영향을 기업 위기와 기회요인 관리 전략 도출 과정에 통합시키는 체계를 설명한다.

생태계서비스리뷰(ESR)는 기업의 생태계 영향과 의존성으로 인해 발생할 수 있는 기업의 위기와 기회요인을 관리하기 위한 전략을 개발을 목적으로 한다. 세부 내용으로는 평가의 범위, 생태계서비스의 우선순위 선정, 생태계서비스 변화 정량적 측정, 기업의 위기와 기회요인 분석을 통한 전략발굴의 5 단계 방법론을 제시한다. 기업생태계가치평가(CEV)는 기업 의사결정에 도움이 될 수 있는 가치평가를 실제 어떻게 이행할지에 대한 내용을 처음으로 다뤘다는 데 의미를 가진다.

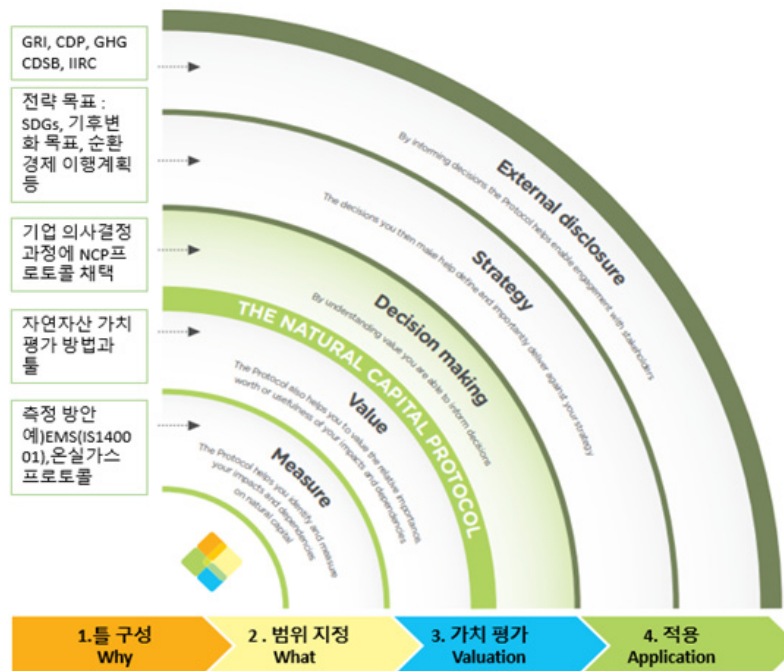


| 그림 V-1-2 | 기업의 생태계서비스 가치평가 절차(WBCSD, 2011)



| 그림 V-1-3 | 기업활동의 생태계서비스 리뷰 절차(WRI, 2012)

이후 기업 활동이 의존하는 자연자산의 정량적 평가에 대한 절차를 표준화하고, 새로운 체계의 활용이 용이할 수 있도록 기업 간 논의를 거쳐 자연자산 프로토콜(Natural Capital Protocol)이 2016년 최종 완성되었다. 이 프로토콜은 기업이 자연자본의 가치를 기업경영의 사결정 과정으로의 통합하는 단계를, 자연자본 가치평가 계획, 평가 범위 지정, 자연자본 변화 및 의존성과 영향 정량적 평가, 평가결과 적용의 4가지로 구분하여 설명한다 (그림 4).



| 그림 V-1-4 | 자연자본 프로토콜의 체계(CC, 2016)

자본연합(CC)은 2020년 자연자본 체계와 개념을 세부 산업 분야별로 적용하기 위해 후속 가이드라인으로 농업부문과 생물다양성 부문을 접목한 농식품 산업 실용가이드라인(TEEB) 발간하였다(그림 5). TEEB는 자연자본프로토콜의 실행 적용 방안을 구체적으로 제시하고 단계별로 평가를 어떻게 진행할지 다룬다. 또한, 기업활동의 영향을 자연자본뿐만 아니라 사회자본, 인적자본, 생산자본까지 포괄한다.



| 그림 V-1-5 | 식품산업 영향평가를 위한 체계(TEEB, 2018)

표 V-1-1 | 기업과 생태계서비스 분석체계 사례

분석체계	주요관점	설명	주요 내용
자연자산 프로토콜 (Natural Capital Coalition Protocol, 2016)	자연자산	기업활동이 자연자산에 가하는 영향, 의존성, 사회에 유발하는 비용, 혜택에 대한 정량적, 정성적 가치평가 개념 적용	- 기업의 위기와 기회요인 평가 - 방안 비교 - 이해당사자에 대한 영향 평가 - 총가치 및 순영향 평가 - 정보공유
농식품 분야 기업 가이드라인 (TEEB for Agriculture and Food, 2020)	농식품	TEEB 농식품 영향 평가 체계를 기반으로 기업이 실제 적용 가능한 가이드라인	- 생산을 위한 자본 - 농식품 가치사슬단계의 흐름 - 자본의 변화량 - 인간복지(환경, 경제, 건강, 사회)에 대한 기여
기업의 생태계서비스 리뷰(WRI, 2012)	생태계 서비스	생태계 의존성과 영향에 기반한 기업 위기 및 기회요인 관리를 위한 전략 도출 과정	- 범위지정 - 생태계서비스 우선순위 선정 - 생태계서비스 변화 추이 분석 - 기업의 위기와 기회 요인 - 전략 발굴
기업의 생태계서비스 가치평가(WBCSD, 2011)	생태계 서비스	기업이 의존하는 생태계서비스의 가치를 평가하여 기업 전략과 분석에 활용	- 범위 지정 - 계획구상 - 가치평가방법 - 적용방안 - 사후이행계획
Mondi의 생태계 지침(WRI, 2012)	기후위기, 수자원, 생물다양성	기후위기, 수자원, 생물다양성 이슈를 통합적으로 고려한 지속가능한 산림모델 구축	- 자연자산접근법 - 이해당사자 동반 매트릭스 - 생물다양성 영향 최소화 방안 - 장소 유형별 생물다양성 행동계획 이행 - 생태네트워크 관리방안

앞서 설명한 자연자산 프로토콜, 농식품 분야 기업 가이드라인, 기업의 생태계 서비스 리뷰, 기업의 생태계서비스 가치평가 등을 기반으로 민간기업, 대학연구기관에서는 각 분야별 기업의 특성을 고려하여 기업활동과 직접적으로 연관 가능한 생태계서비스 정량 평가 틀을 제시하였다(표 2). 대표적인 평가 틀은 영국 Cambridge Institute for Sustainability Leadership(CISL)에서 제시한 생물다양성 영향 측정 매트릭(Biodiversity Impact Metric), Kering그룹과 푸마社에서 제시한 환경손익계정(Environmental Profit and Loss Account), 프랑스 환경보호청과 I CARE사가 개발한 제품의 생물다양성 발자국(Product Biodiversity Foot print), 브라질의 LIFE Institute가 개발한 Life key 등이 존재한다.

| 표 V-1-2 | 생태계서비스 평가 툴 이용 현황

Tool	개발자	현황	민간부문 참여	핵심 분야
Biodiversity Impact Metric	CISL(UK)	시범사업중	Kering, ASDA, Mondi, Anglian Water 등	생물다양성
Environmental Profit & Loss	Puma, Kering(France)	활용중	Kering	생태계서비스
Product Biodiversity Footprint	I CARE-Sayari(France)	시범사업중 (농업계 등)	Kering, Avril, L'Oreal	생물다양성 & 생태계서비스
Life Key	LIFE Institute(Brazil)	활용중 (라틴아메리카 및 유럽)	28개 기업 및 기관	생물다양성 & 생태계서비스
Biodiversity Footprint Financial Institutions	ASN Bank(NL)	활용중	ASN Bank	생물다양성

(가) 생물다양성 영향 측정 매트릭

생물다양성 영향 측정 매트릭은 CISL이 글로벌 기업과 협력하여 생물다양성 영향을 측정하기 위해 개발된 평가 툴이다. 장소에 따라 생물다양성 영향이 다르므로, 기업활동의 생물다양성 영향을 정확히 측정한다는 것은 기술적, 시간적, 비용적으로 큰 어려움이 있다. 이 매트릭의 장점은 자체 데이터가 없는 경우, 글로벌 데이터를 차용할 수 있고, 악영향이 발생할 수 있는 지역으로부터의 농산물 공급에 대한 위험성을 사전에 체크할 수 있도록 한다.

기업 공급용 농산물의 생물다양성 영향 계산 방식은 상품 생산에 필요한 토지 면적(토지 발자국), 토지이용 유형(초지 vs. 농경지) 및 농업 방식(단일재배 vs. 유기농 재배)에 따른 생물다양성 영향 계수(0~1), 생물다양성의 상대적 중요도 값을 곱하여 간단하게 영향을 측정해 볼 수 있다 (그림6). 또한 기업이 원재료를 어디에서 공급받을지 결정을 내릴 때 영향 측정 결과 값을 활용할 수 있다. 공급지역별 결과 값을 비교하여, 생산에 필요한 토지면적을 줄이거나, 토지 이용 방식을 변화하거나, 멸종위기종이나 생물다양성이 될 풍부한 지역의 농산물 조달을 한다는 등 기업은 지역별 생물다양성 영향을 감소할 수 있는 여러 전략 수립이 가능하다. 현재 이 매트릭은 프랑스의 케어링(Kering) 그룹 제품의 면화 공급지에서 발생하는 생물다양성 영향을 측정하는데 적용해보고, 기업생물다양성 전략을 개발하는데 활용되고 있다.



| 그림 V-1-6 | 생물다양성메트릭 산식 (CISL, 2020)

(나) 생물다양성 발자국 평가

기업이 생산하는 제품의 환경영향을 측정하기 위한 노력은 제품의 전과정평가(LCA) 방법을 통하여 이루어져왔으나 생태계 영향평가에 밀접한 생물다양성은 전과정평가에서 다뤄지고 있지 못하다. 최근에는 생물다양성 손실영향평가를 제품의 전과정평가에 포함하여 현행 평가에서 미흡한 생태계 요소를 통합 평가하려는 시도가 이루어지고 있다.

프랑스 환경보호청 지원으로 I-Care에서 2017년 개발한 제품의 생물다양성 발자국(PBF, Product Biodiversity Footprint) 방법 (그림 7)은 생태계 변화에 영향을 주는 5가지 주요 인자를 제품의 전과정평가 지표에 포함시키고, 평가 결과를 제품의 에코디자인 결정에 반영하기 위함이다.

새천년생태계평가(MEA, 2005)연구에서 설명하는 생물다양성 손실의 5가지 주요 요인은 서식지 변화, 오염, 기후변화, 자원남용과 외래종이다. 이 요인을 설명할 수 있는 일부 정량적 지표를 제품 가치사슬에 적용한 생물다양성발자국 방법론은 로레알, kering그룹, 아브릴社 제품군에 시범 적용되었으며, 제품군의 기존 전과정평가를 보완하는데 유용했다는 연구결과가 있다.

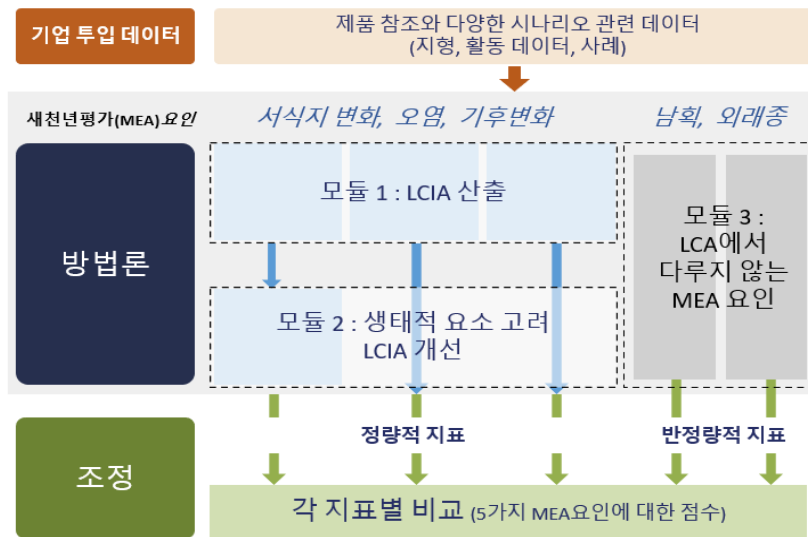


그림 V-1-7 | 제품생물다양성발자국 방법론 모식도 (A. Asselin et al, 2020)

로레알은 2005년부터 생물다양성 협약이 제시하는 원칙에 근거하여 식물 원자재 공급 정책을 이행해왔으며, 2020년까지 모든 사업지에서 생물다양성 보전 프로젝트를 추진하겠다고 공표하였다. 유럽연합의 녹색제품 단일시장화 계획에 따른 제품환경발자국(PEF) 기준은 기존 유럽 시장에서 혼용되는 인증제도를 통합하고 제품의 전과정 환경 성과를 측정하기 위한 새로운 지침으로 정립되었다. 새로운 기준에 대응하여, 로레알은 원료 생산방식을 기존 관행과 지속 가능한 농법으로 차별화하였을 경우 제품이 생물다양성에 미치는 영향을 비교 연구하였고 이 결과를 제품 디자인 설계에 반영하였다. 로레알은 지속가능한 원료 공급과 제품의 전과정 생물다양성 평가를 위하여 자체적으로 ‘지속가능제품 최적화 툴 SPOT(Sustainable Product Optimization Tool)’을 개발한 바가 있다.

(다) 환경손익계정

환경손익계정(Environmental Profit and Loss Account)이란 제품생산과 기업활동으로 인해 환경에 미치는 영향을 수치적 화폐단위 값으로 변환하여 전과정평가에 적용하는 방법이다. 환경손익계정은 불확실성이 많은 환경영향을 수치적 값으로 환산하는 것은 여러 비판에도 불구하고 비교분석과 결과에 대한 재무적 경영관리를 가능하도록 한다. 푸마사가 환경손익계정 평가 방법을 개발하여 기업 지속가능성 평가에 적용한 후 국제기구, 정부, 민간부문에서 푸마사의 생태계서비스 접근법 사례를 대표적 모범사례로 평가했으며, Kering 그룹, 필립스社 등도 이 방법을 적용한 기업활동 평가 결과를 매년 발표하고 있다.

Kering그룹의 경우, 전체 제품생산과정에서 탄소배출, 물소비량, 대기 및 수질 오염, 토지 이용, 쓰레기 배출량을 평가요소로 설정하고, 토지이용 변화에 따른 생태계서비스 손실의 경제적 환산가치 값을 계정에 반영하였다(그림 8). Kering그룹은 과학적 평가와 투명성을 확보하기 위해 데이터 취합과 관리에 상당한 노력을 기울여왔고, 데이터의 완전성, 일관성, 공개성, 유용성, 장소특이성, 신뢰성, 인간복지에 미치는 영향까지 고려한 데이터 원칙을 표방하고 있다. Kering그룹 환경계정의 평가는 가치사슬 영역의 대상선정, 공급망과 제조과정의 도식화(mapping), 필요한 데이터의 우선순위 파악, 기초 데이터 취합, 1차 데이터를 보완할 LCA, EIO 등 2차 데이터 취합, 경제적 가치평가, 결과 분석의 7단계 과정을 거친다. 의류 산업의 경우 일반적으로 원료 생산(Tier4)과 처리과정(Tier3)에서 환경에 미치는 영향이 크며, 토지 이용과 수자원 오염문제도 주로 이 단계에서 발생한다.

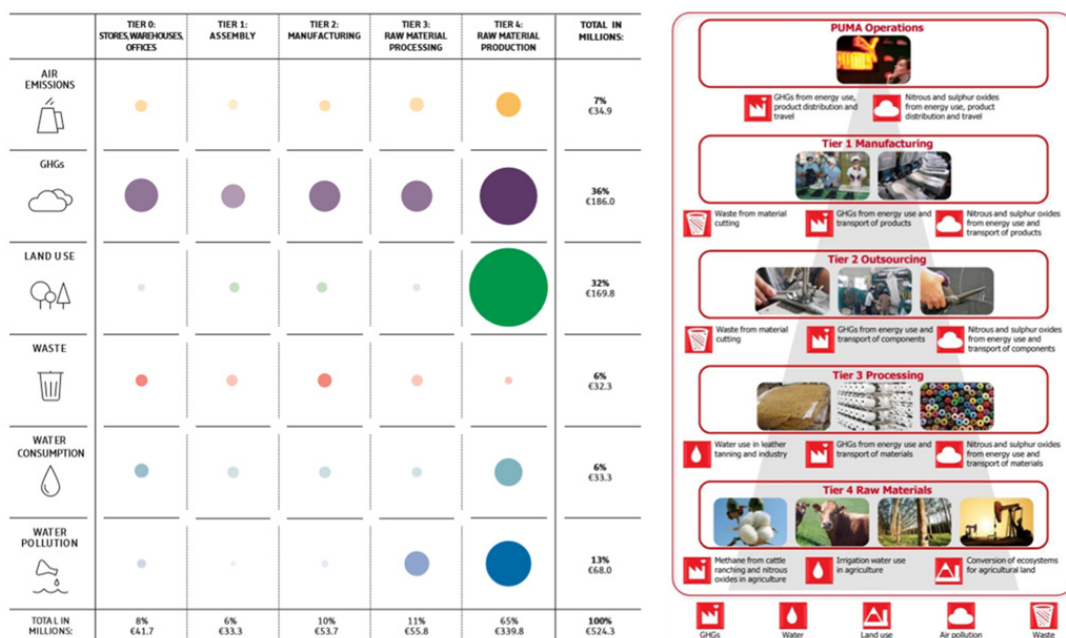


그림 V-1-8 | 환경손익계적 적용 사례(좌: Kering 그룹 분석 결과(Kering, 2019), 우: Puma사의 분석 체계)

(3) 국가 환경분야 주요 현안에 대한 국내 기업의 대응 현황 및 한계점

국가 환경분야 주요 현안에 대한 국내 기업의 대응 현황을 살펴보고자 제4차 국가생물다양성 전략(관계부처합동, 2018), 국가 지속가능발전 목표 K-SDG(환경부, 2019), 한국형 그린 뉴딜과 기업활동의 연계 가능성을 살펴보았다. 제4차 국가생물다양성 전략의 경우 실천목표

‘생물다양성 친화적 생산·소비’가 직접적으로 기업활동과 연관되어있음을 확인하였으며 간접적으로는 ‘오염물질 저감’, ‘지속가능한 생태자원 활용 활성화’, ‘나고야의정서 이행’, ‘지속가능한 농·임·수산업’이 연관성을 가진다. 우리나라 생물다양성 협약 Aichi Target 달성 계획 제3차 전략 세부목표4에는 2020년까지 지속가능한 생산 및 소비를 위한 계획 이행 및 자원사용이 미치는 영향을 생태적 안전 한계내로 제안되어야 함을 강조하고 있다. 제4차 전략에는 생물다양성 보전을 고려한 생산을 명시하고 있으며 이는 정부-산업계 생물다양성보전파트너십(BNBP)운동을 통한 기업의 생물다양성 인식 제고와 생산자들의 생물다양성 인지도 향상을 위한 맞춤형 정보 제공(친환경 별채운영 요령 고시, 천연소재 제품발굴 확대 등)이 포함된다.

국가 지속가능발전 목표(환경부, 2019) 지구 환경부문 전략에는 건강하고 안전한 물 관리, 에너지의 친환경적 생산과 소비, 기후변화 대응, 해양생태계보전, 육상생태계 보전의 중요성이 명시되고 있다. 또한 환경분야 주요 지표 중 ‘주요 멸종위기종 복원율’의 2017년 대비 2030년의 목표값을 74.3%에서 90%로 ‘갯벌 복원 면적’을 0.2%에서 6%으로, ‘친환경농업 인증면적 비율’을 4.9%에서 10%까지 설정하였다.

한국형 그린 뉴딜 추진에 있어 EU 분류체계를 참고한 한국형 녹색금융 분류체계(K-Taxonomy)가 정립될 예정이며 환경부와 금융위원회는 기후변화 위기관리, 녹색투자 활성화, 환경정보 공시를 위해 2020년 녹색금융추진협의체를 발족하고 녹색금융 활성화 전략과 녹색채권 투자가이드라인을 정립한 바 있다. 이로써 현재 국가 환경 정책이행을 위해서는 기업과의 적극적인 협업이 절대적으로 필요함을 알 수 있다. 현재 삼성전자, 아모레퍼시픽, 에스케이, LG이노텍, 유한킴벌리, 신한은행, GS칼텍스, 에쓰오일, 포스코 등과 같은 국내 주요기업의 생태계서비스 또는 생물다양성 대응활동을 살펴본 결과 기후변화, 수자원, 생물다양성, 토지이용변화, 자원공급 분야에서 다양한 보전활동 및 정량평가를 추진하고 있음을 확인 할 수 있다 (표 3).

표 V-1-3 | 국내 기업활동의 생태계서비스 평가 연계성 검토

주제	기업명	대응활동
기후변화	CISL(UK)	시범사업중
	삼성전자	반도체 생산공정 F-Gas감축설비운영, 온실가스 감축 프로젝트 실행
	LG이노텍	Scope1(직접배출), Scope2(간접배출)을 포함하여 Scope3(기타간접배출)까지 확대 관리 및 검증 배출량제로인 외부 소각폐열 활용 및 스팀 공급 등 그린사업장 조성

주제	기업명	대응활동
	아모레퍼시픽	환경친화적 지속가능제품 개발 강화와 제품 전과정평가체계 구축 / 기후변화 중장기 전략수립을 통해 신재생에너지 확대 및 효율성 제고 방안 도출 / 신재생에너지 발전 확대 및 생산 사업장 에너지 절감
	CJ제일제당	온실가스 배출권 판매로 인한 재무성과 창출, 풍수해 리스크 방지를 위한 폭염 및 폭우 영향평가 시행 / 협력사 온실가스 배출량 산정 및 모니터링 시행
	유한킴벌리	환경경영2030계획 수립 및 탄소중립선언 / 매년 전 사업장 온실가스배출 모니터링 실시 및 배출량 정보공개(Scope1,2,3)
	신한은행	온실가스 및 에너지 감축을 위해 전사 환경에너지 협의체 운영 및 실적 모니터링 실시 / 자산운용 시 투자대상 기업의 환경 영향 고려 투자 실시 / 적도원칙 프로세스 구축으로 환경파괴 기업(프로젝트) 대출 제한
수자원	삼성전자	취수전처리 과정을 거쳐서 수질 확보 / 사업장 방류수에 대한 지속적인 모니터링(생태독성 측정) / 생산지연 방지를 위한 취수 이중화 시설 및 집수시설 설치 / 법적 배출 기준보다 엄격한 사내 기준 준수 / 시설 신속시 물 효율성 검토 및 기준 시설의 물 효율성 향상 설비투자 / 사업자주변 하천범람 대비 습지조성, 제방설치
	LG이노텍	물사용량 관리, 물 재활용량 증대 / 방류수 모니터링 시스템 강화
	아모레퍼시픽	3R원칙에 따라 수자원 활용 최적화 및 용수절감 과제 발굴 및 적용을 통한 용수 사용량 절감
	CJ제일제당	중앙 환경관리 시스템 구축을 통한 수질오염 실시간 모니터링 및 관리 / 재생용수 및 용수 재활용 확대
생물다양성	삼성전자	하천생태영향조사(화성,기흥,평택) 및 하천생태계 보존활동 실시, 멸종위기종 서식지 보호활동 추진
	에쓰오일	멸종위기종(천연기념물) 보호 환경지킴이 추진(수달,두루미,장수하늘소,어름치)을 통한 종 보전 / 목도 상록수림 주변 환경정화활동
	GS칼텍스	해양자원보존활동(수산종묘 방류사업)
	포스코	해양정화활동 / 해양생태계복원을위한바다숲 조성사업(트리톤바다숲, 바다목장)
	아모레퍼시픽	생태습지 체험(마이 습지 홈 인 서울) 및 습지 서식 멸종위기종(수달)캐릭터 홍보 소나무재선충 피해지 생태 복원을위한 나무심기 활동 전개
토지이용변화	아모레퍼시픽	생태습지 보전을 위한 Love the Earth캠페인 실시 생태우수지역(제주 매오름,도청오름) 정비및 복구(제주 곳자왈)
	유한킴벌리	우리강상푸르게푸르게 캠페인(도시숲,미래숲,공존숲)을 통한 500ha숲가꾸기('15~'19) / 토지황폐지복구를 위한 양묘시설 및 사업 실시
자원(원료) 공급	아모레퍼시픽	팜유 등 주요 원재료 및 천연 원료 농작물의 가격변동 모니터링 및 보고 / RSPO인증시스템을 통한 산업계 전반의 지속가능한 팜유사용 지지, 살림벌채없는팜유 구매 확대 / 283개 품목에 지속가능한 팜 유래 원료 사용
	CJ제일제당	지속가능한 원재료 조달 정책 수립 및 준수(환경영향저감, 동물복지 준수),지속가능한 바이오사이클 구현 / RSPO인증 원료(팜유) 구매 확대 및 유럽 RTRS, US RS 인증 원료(대두) 사용 / 지속가능한 패키징 3R정책으로 플라스틱 원재료 감축 및 생분해성 플라스틱 소재(CJ BIO PHA)개발

그럼에도 불구하고 생태계서비스 측면 국내 기업의 지속가능 보고 시사점 및 한계점을 도출할 수 있었다. 우선 기업의 전반적인 동향과 인식을 살펴본 결과 글로벌 측면에서 생물다양성 및 생태계서비스 반영 요구가 지속적으로 증가하고 있으나 국내 기업의 생태계서비스에 대한 인식이 저조하며 표준 안내서의 부재를 확인할 수 있었다. 국가환경전략의 경우 국가에서는 생태계서비스 개념 도입을 위한 다양한 시도를 하고 있다. 그러나, 현 생물다양성전략과, K-SDGs의 목표가 국가차원에서 한정되어 국내 일반기업의 참여가 어렵다. 이를 개선하기 위해서는 국내 일반기업의 참여를 도모할 수 있는 중·단기 법적, 제도적 근거가 마련되어야 한다. 또한 장기적으로 고객의 니즈를 반영하기 위해서는 생태계서비스 요소 정보공개에 위한 기업활동 전략데이터 확보 기준이 마련되어야 한다. 이를 위해 국내 기업이 적용할 수 있는 생물다양성 및 생태계 영향평가 가이드라인과 도구가 마련되어야 한다.

(4) 국내 기업의 지속가능성 증진을 위한 생태계서비스 적용 방안

인류 사회가 체감하는 자연재해 발생 빈도와 규모는 기존의 자연 관리 방식에 대한 의구심을 불러일으켰고, 기업이 이윤 추구만 매진하고 기업 활동이 유발하는 환경 비용을 제대로 부담하지 않는다는 비판을 키운다. 이처럼 기업 활동의 사회 환경분야 책임성과 관련정보 정보 공개 투명성에 대한 요구가 높아짐에 따라 최근의 세계경제포럼에서도 기업의 사회적 환경적 책임이 기업 경영위기를 감소시킬 수 있는 핵심이라고 이야기하고 있다.

기존의 기업경영방식(BAU)으로는 기후변화, 지속가능한발전, 생태계보전에 관한 새로운 규범과 요구에 대응하기 어렵다. 녹색성장을 위한 자연자본 중심의 비즈니스 모델 발굴에 다국적기업들이 적극 나서고 있는 이유가 존재한다.

(가) 기업 경영자들의 약속

수자원 관리책무(Water Mandate)란 기업이 사용하는 수자원의 양적, 질적 위기를 평가하고 기업의 수자원 가치를 정량적으로 측정하여 기업의 수자원 전략을 도출하기 위한 기업 간 협력으로 국내에 일반기업의 참여를 도모할 수 있는 새로운 비즈니스 모델 중 하나다 (그림 9).



| 그림 V-1-9 | 수자원 전략 도출을 위한 절차 예시(Water Mandate, 2018)

Business for Nature는 기업 의사결정과정에 자연자산의 가치평가를 통합하기 위하여 기업들이 정부 정책 변화와 재정시스템의 전환을 촉구하고 공동 행동에 나서겠다고 발표했다(그림 10). 따라서 이와 같은 다양한 비즈니스 모델 사례가 증가할 것으로 예상되며 국내 대규모 기업 및 중소기업이 착안할 수 있는 사례에 대한 지속적인 검토가 필요하다.



| 그림 V-1-10 | 자연자산 평가를 위한 기업들의 행동 전략(BfN, 2020)

(나) 산업 부문별 생태계 보전 노력

임업, 농업, 광업 회사들의 산업부문별 생태계 영향을 저감하기 위한 다양한 프로그램이 추진 중에 있다. 제지 및 임업회사들은 이해당사자들 간 플랫폼을 구축하여 모니터링 정보를 공유하고 원산지 국가의 산림황폐화 저감을 지원하는 활동을 하고 있으며 공급망의 100% 인증을 통한 지속가능한 팜오일 협력 이니셔티브도 운영되고 있다. 이와 같이 국내 기업 또한 산업 부문별로 착안 할 수 있는 다양한 플랫폼 구축사례를 검토 할 필요가 있으며 이를 위해서는 기업의 인식전환을 위한 법적, 제도적 근거가 마련되어야 한다.

생태계 영향 저감을 선도하고 있는 네슬레는 토양보전 프로그램 도입을 통해 2020년까지 12가지 주요원료의 80%를 추적평가가 가능하도록 하고, 특히 생물다양성을 포함하여 70% 원료는 지속가능성 확보를 약속했으며 2025년까지는 원료의 100%를 토양보전 농업모델 혹은 유기농 농업 이행을 약속한 농장에서만 공급받을 것을 목표로 설정하였다. 프랑스의 경우, 400여명 이상의 생산자와 사육자들이 네슬레의 “살아있는 토양에서의 농업” 프로그램에 동참했으며, 생산자 및 농업협동조합과 시범사업을 운영한 바가 있다.

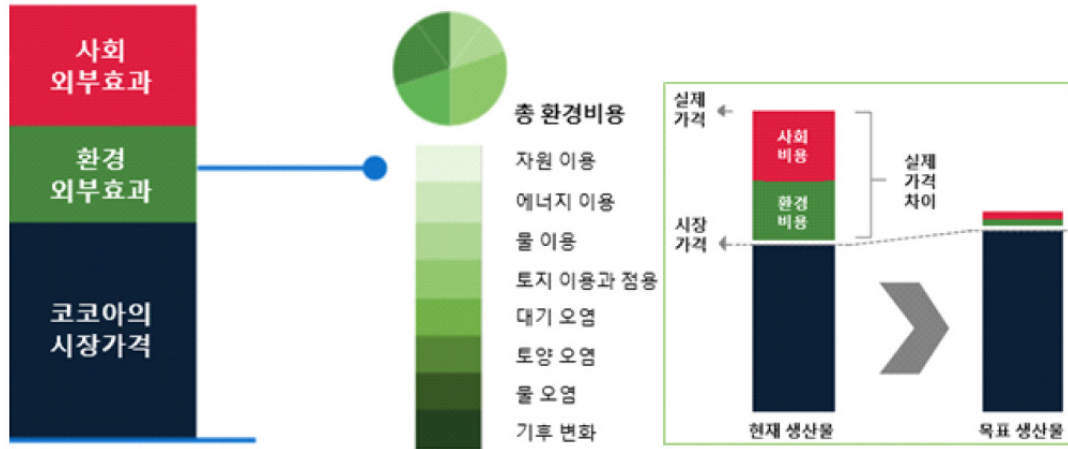
세계적인 광업회사인 리오틴토는 이미 2004년부터 자사의 기업활동이 영향을 미치는 지역의 자연복원과 생물다양성 영향을 상쇄하기 위하여 생물다양성 전략을 수립하여 이행하고 있다. 특히 채굴 현장의 생물다양성의 가치와 서식처에 미치는 영향을 측정하는 도구를 개발하고 생물다양성에 미치는 순긍정 영향을(Net Positive Impact) 목표로 삼았다.

(다) 기업의 환경비용을 내재화한 실제 가격 산정

국내 적용가능 방법론으로 True pricing 방법론이 존재한다. True pricing 방법론이란 기업활동의 사회적 환경적 외부효과 비용을 정량적, 경제적으로 평가하여 기업활동의 의사결정 과정에 포함하는 이니셔티브다. 환경외부효과를 화폐가치로 환산하면 소비자, 기업경영자, 투자자들은 가격과 이유에 대한 의사결정이 용이해지며 다국적회계법인 PwC, 딜로이트 등이 기업 전략 컨설팅의 일환으로 기업활동이 환경에 미치는 영향을 제품가격에 내재화하기 위하여 이니셔티브를 주도하였다.

대표적인 예로 초콜릿회사 Tony's Chocolonely는 환경비용 내재화를 위해 지속가능한 공급망 구축을 목표로 세우고, 목표 달성 성과를 측정하기 위하여 2013년 처음으로 True pricing 방법을 채택하여 기업의 지속가능성 평가를 초콜릿 제품 가격 결정과정에 반영하였다. 경제적 가치방법론은 감소비용법과 손상비용법을 택했으며, 환경영향은 자원이용, 에너지

이용, 토지이용과 점용, 대기오염, 토양오염, 물 오염, 기후변화의 6가지 영향 요소를 측정했다(그림 10). 결과적으로 2013년 대비 초콜릿생산의 환경발자국을 40% 감축했다는 성과를 발표하였다.

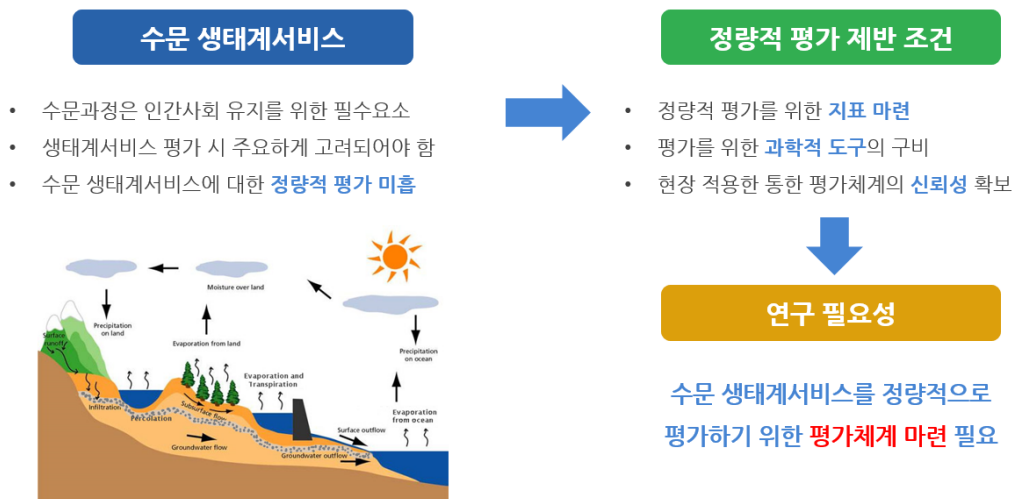


| 그림 V-1-11 | 초콜릿회사 Tony's Chocolonely의 환경비용 내재화

2 | 수문 생태계서비스 평가 및 지도 구축

가. 연구 배경 및 목적

수문과정은 인간사회 유지를 위한 필수 요소 중 하나로 생태계서비스를 평가에서 중요한 지표 중 하나다. 수문과정에서 제공하는 수량, 수질 측면의 생태계서비스를 정량적으로 분석하기 위한 도구로는 수문모형의 활용성이 높을 것으로 판단되나, 국내의 경우 수문모형을 적용하여 생태계서비스를 평가한 연구는 부족하다. 또한 수문, 수질 생태계서비스를 평가하기 위해서는 수문과정에 포함되는 다양한 요소를 대표하여 인간이 받는 수문 생태계서비스 혜택을 평가할 수 있는 지표 선정이 요구되며, 이와 함께 평가지표를 과학적이고 일관성 있게 평가할 수 있는 평가체계의 마련되어야 한다.



| 그림 V-2-1 | 수문 생태계서비스 연구 필요성

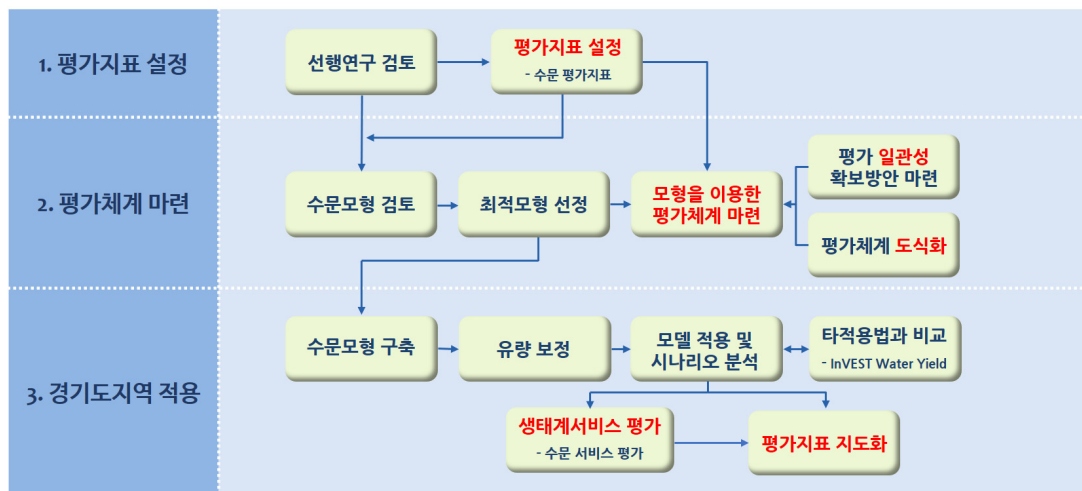
적절한 수문과정은 인간에게 다양한 혜택을 제공하지만, 그 과정이 왜곡될 경우 홍수, 가뭄, 수질오염 등의 악영향이 미칠 수도 있다. 수문과정을 통한 생태계서비스 혜택은 수량 공급, 수질 확보, 서식처 제공, 생물군 유지 등과 같은 다양한 형태로 제공되기도 하지만 수문 생태계서비스는 인간활동에 의한 위협요인이 있다. 수문 생태계서비스를 현실적으로 평가하기 위해서는 수문과정 현황 분석과 변경 압력에 따른 수문과정의 변동성을 평가할 필요가 있다. 현재 수문모형은 유역 내 다양한 수문과정과 오염원 변환 및 유출과정을 포함하여 유역의 수문, 수질 특성을 분석할 수 있는 수문모형(또는 유역모델)으로 발전하여 사용되고 있으며, 국내외에

서 SWAT, HSPF 등의 모형 등이 활발하게 활용되고 있다. 수문과정에서 발생하는 수량, 수질 측면의 생태계서비스를 평가하기 위한 정량적 분석 도구로 수문모형은 유용하게 사용될 수 있으나 외국에서 개발된 수문모형은 국내 환경 특성을 충분히 반영하지 못하는 단점을 갖고 있기에 적용 시 이에 대한 면밀한 분석이 요구된다. 국내 경우 밀도 높은 토지이용으로 인하여 도시, 농촌, 산림 등이 한 유역 내에 혼재하여 존재하는 경우가 많으나, 미국을 중심으로 개발된 모형의 경우 광활한 농경지를 대상으로 개발되어 이를 반영하기 어려운 경우가 있다. 특히, 국내 농업환경에 있어 논은 수문과정을 변경하는 중요한 요소로 작용하나 외국에서 개발된 모형의 경우 논이 담수심, 관개 등을 고려하지 못하는 한계를 가진다. 따라서 수문과정의 생태계서비스를 정량적으로 분석함에 있어 국내 환경특성을 반영할 수 있는 적합한 수문모형 선정이 요구된다. 수문과정은 강우, 증발산, 침투, 유출, 관개 등 매우 다양한 요소들이 상호 복잡하게 연결되어 있으며, 이에 따라 수문과정이 인간에게 주는 혜택을 평가하기 위해서는 이를 대표할 수 있는 지표 선정과 과학적인 평가체계가 필요하다.

본 연구는 수문 생태계서비스 평가지표 및 평가체계를 확립하고, 경기도 지역을 대상으로 수문모형을 이용하여 수문 생태계서비스를 정량적으로 평가하는데 그 목적이 있다.

나. 연구 방법

(1) 연구 추진절차 및 방법론

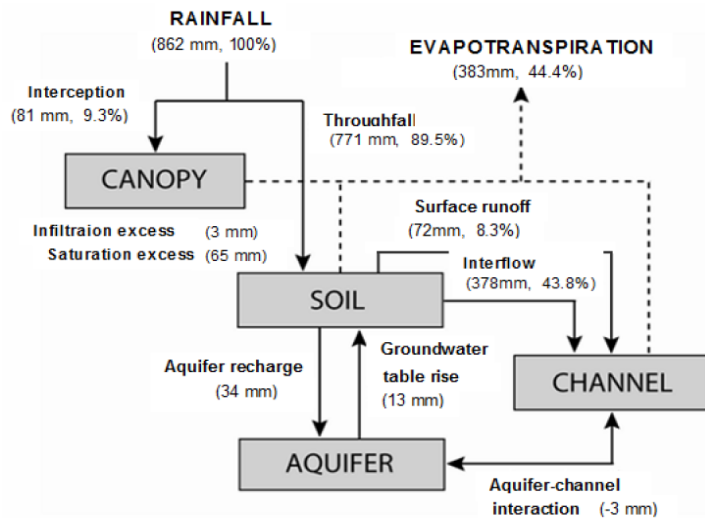


[그림 V-2-2] 연구 흐름 및 내용별 상호 연관성

연구는 크게 ① 수문 생태계서비스 평가지표 선정, ② 모형을 이용한 수문 생태계서비스 평가체계 마련, ③ 모형을 이용한 경기도 지역의 수문 생태계서비스 평가 및 지도화로 구분되며, 각 연구 내용별 연관성은 위 그림과 같다.

(2) 수문 생태계서비스 평가지표 설정

선행연구에 대한 문헌검토를 수행하여 수문 생태계서비스 평가 시 사용된 평가지표를 검토하고, 수문모형에서 제시하는 다양한 결과물에 기초하여 수문 생태계서비스를 합리적으로 평가할 수 있는 평가지표를 선정하고자 한다. 수문 생태계서비스 평가지표를 선정하기 위해 유역 내에서 발생하는 수문과정에 대한 물수지 분석 결과를 활용하도록 하였다. 물수지 분석은 수문모형 모의를 통해 수행되며, 이는 아래 그림과 같다.



[그림 V-2-3] 수문 생태계서비스 평가를 위한 물수지 분석 예시

수문 생태계서비스 지표로서 고려될 수 있는 물수지 항목은 크게 토양침투, 증발산, 지하수 충전, 하천유출 등으로 구분된다. 이 중 하천유출은 다시 강우 시 빠르게 하천으로 유입되는 직접유출과 평상시 하천의 기저유량에 해당하는 지하수유출으로 구분되며, 직접유출은 지표면 유출과 토양 내 대공극을 통한 중간류 유출로 구분된다. 수문 생태계서비스 평가지표는 제시된 유역모형 모의결과를 직접 이용하는 방법과 다수의 모의항목을 조합하여 지표를 산정하는 방법으로 구분될 수 있으며, 이는 적용목적, 적용 대상지역 등에 따라 달라질 수 있다.

(3) 수문 생태계서비스 평가지표 설정

수량, 수질, 공간분포, 시간분포 등 수문 생태계 비스에 영향을 미치는 요소에 대한 구분하였다. 수문 생태계서비스 평가를 위한 모형의 선정조건을 수문과정 특성 고려 가능 여부, 국내 수문환경 특성 반영 여부, 대규모 유역 모의 가능성, 장기 모의 가능성, 기능개선과 지속적 사용 가능성으로 분류하고 선정 조건에 따른 주요 수문모형의 구조 및 기능을 비교하여 최적의 수문모형 선정하였다. 평가의 일관성 확보를 위한 평가체계 도식화를 위해 수문모형 적용 및 모의결과 해석과정을 도식화 하였으며, 평가체계 적용과정을 준비단계, 수문모형 구축 및 모의단계, 결과해석 및 지도화 단계로 구분하여 제시하였다.

(4) 경기도 지역 수문 생태계서비스 평가 및 지도화

1) 수문모형 모의 대상유역

경기도는 한강본류, 안성천, 한강서해, 미호천 유역에 중첩되어 위치하고 있다. 경기도 지역 수문 생태계서비스 평가를 수행하기 위해 모의대상유역을 한강본류(34,427.5 km²), 안성천(1,658.6 km²), 한강서해(1,337.6 km²) 등을 포함하여 설정하였다(총면적 38,067.3 km²). 아울러 한강본류 유역에 대해 수문모형 보정을 수행하고, 이로부터 설정된 매개변수를 경기도 지역이 포함된 안성천, 한강서해, 미호천 유역에 적용하여 수문모형 모의결과를 도출하였다.

2) 수문모형 입력자료 구축

수문모형을 구축하기 위해서는 다양한 시공간 입력자료가 요구된다. 고도 자료는 국토지리정보원에서 제공하는 수치고도모형(DEM)을 이용하였으며, 본 자료를 이용한 GIS 수문분석을 통해 유향(Flow Direction), 누적유향(Flow Accumulation), 경사도(Slope) 등의 자료를 생성하였하였다. 토지피복 입력자료는 환경부의 토지피복 세분류도를 이용하였으며, 토성자료는 농촌진흥청의 정밀토양도 및 개략토양도를 활용하여 생성하였다. 시간 입력자료는 강우 및 기상자료, 점오염원 방류유량자료, 댐운영자료를 구축하였다.

| 표 V-2-1 | 유역모형 시간 입력자료

구분	내용
강우 기상	- 기상청(기상대) 제공기상자료 - 항목: 강우, 기온, 상대습도, 풍속, 현지기압, 일사량
점오염원 방류유량자료	- 환경부 환경기초시설 방류량 자료
댐 운영 자료	- 주요 댐 방류량 자료구축, 비선형 회귀식을 구성하여 모형 반영 - 댐 방류량 = f(저수율, 유입량, 강우량)

이와 함께 경기도지역 수문 생태계서비스 평가 및 지도화를 위해 토지이용별 불투수지표면 비율, 식생의 엽면적지수 등을 모형 입력자료로 구축하였다.

3) 수문모형 보정 및 검정

수문모형을 수문 생태계서비스를 평가하는 도구로 사용하기 위해서는 수문모형 모의를 통해 도출된 모의값이 실측값을 제대로 재현할 수 있는지에 대한 평가가 우선되어야 한다. 본 연구에서는 대상유역의 각 말단에서 관측된 유량 관측 자료를 이용하여 모형의 정확성을 평가한다. 매개변수 보정은 시행착오법을 이용하며, R^2 및 PBIAS (Percent BIAS, %)를 이용하여 실측값과 모의값의 오차 정도에 따른 모형 예측 정확도를 확인하였다.

| 표 V-2-2 | 모형 예측 평가 지표

Name	Equation	Optimal Value
Percent BIAS (PBIAS, %)	$PBIAS = \frac{\left \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right }{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100$	0
결정계수 (R2)	$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}$	1

P_i = 모의값, O_i = 관측값,
 $\bar{P}$ = 모의값의 평균, $\bar{O}$ = 관측값의 평균, n = 총 모의 및 실측 횟수

다. 연구 결과 및 고찰

(1) 수문 생태계서비스 평가지표 설정

수문과정은 강우, 증발산, 침투, 유출, 관개 등 매우 다양한 요소들이 상호 복잡하게 연결되어 있으며, 이러한 수문과정별 반응과 서비스에 대한 영향을 공급과 조절 서비스를 중심으로 정리하면 아래와 같다.

표 V-2-3 | 수문과정별 반응과 서비스에 대한 영향(↑: 긍정적인 영향, ↓: 부정적인 영향)

서비스		생태 수문과정	수문과정별 반응(기능)	서비스 영향	참고문헌
공급	수량	증발산	증발산량이 많으면 지하수 충전 수량이 감소함	↓	Zhang et al., 2001
		차단	안개와 구름에 의한 물의 차단은 점진적인 낙수 (throughfall)를 유발함	↑	Brauman et al., 2012
		대기수분	증발산량이 많으면 대기 중 수분을 증가시켜 강우량 공급에 기여함	↑	Ellison et al., 2012
		침투	높은 침투율은 토양수분 증가와 대수층 충전에 기여함	↑	Ilstedt et al., 2007
	시기	증발산	계절에 따른 증발산 속도 차이는 일부 지역의 수분 손실을 감소시킴	↑	Brown et al., 2005
		수관통과 우량	강우 후, 수관에 저장된 물은 낙수되어 땅으로 침투하며, 이는 대수층 충전에 기여함	↑	Chapin et al., 2002
		침투	높은 침투율은 연중 점진적인 유출에 기여함	↑	Calder, 2002
	수질	지표면 유출	지표면 유출의 감소는 수로의 표면 퇴적물 이동을 줄이는 데 기여함	↑	Neary et al., 2009
조절	수량	유출	산림은 유출을 감소시키며, 이는 재해 위험을 완화시킴	↑	Tran et al., 2010
		지표면 유출	지표면 유출의 감소는 토양 안정화에 기여하며, 유수에 의한 침식을 감소시킴	↑	Lin et al., 2008
	시기	침투	높은 침투율은 물 흐름을 조절하여, 가뭄과 홍수의 빈도와 영향을 최소화함	↑	Calder and Aylward, 2006

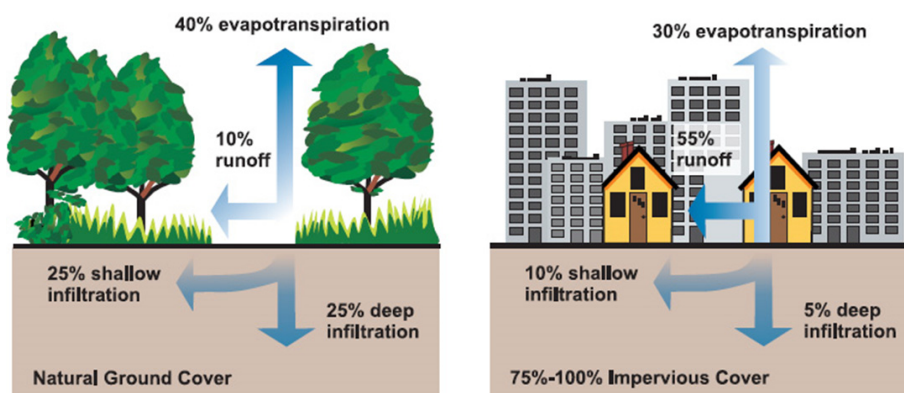
(출처 : Carvalho-Santos et al., 2014)

수문 생태계서비스의 영향과 고려사항을 살펴볼 때 평가지표로 토양침투량을 선정하는 것이 본 연구에서는 합리적인 것으로 판단하였다.

| 표 V-2-4 | 수문과정 요소별 생태계서비스 평가지표 타당성 검토

수문과정 요소		서비스 분류	생태계서비스 지표시 고려사항	타당성 (상중하)
강수		공급	- 수문과정의 시작지점으로 중요한 의미를 가짐 - 물공급량과 밀접히 연관되어 공급 서비스 평가 가능. 그러나 조절 서비스는 평가 불가능 - 극한강우가증가할 경우 수질에 부정적 영향	하
증발산		조절	- 수자원 관점에서 손실되는 수량으로 구분됨 - 물공급 및 물조절 평가에 어려움이 있음	하
유출	직접유출	공급	- 물공급 측면에서 중요한 평가 요소임 - 시기와 위치를 고려한 안정적 물공급 측면에서는 한계를 가짐 - 직접유출 증가는 홍수 등 재해 유발의 원인이 될 수 있으며, 비점오염 유출을 가중하여 조절 서비스 측면에서 부정적 요인으로 작용	중
	기저유출	공급	- 평수기 하천의 물공급량 평가 - 평수기 안정적 하천 유지용수 공급과 생물서식처 등 생태성 유지의 혜택을 제공 - 조절 서비스 평가에 어려움이 있음	상
	총유출 (기저+직접)	공급	- 물공급 측면에서 그동안 수문 생태계서비스 평가 주요 지표로 사용 - 총량 관점에서 주요한 의미를 가지나, 시기별, 지역별 평가에 한계 - 홍수 등 재해의 직접적 요인이 될 수 있으며, 조절서비스 평가에 한계	중
토양 침투 (토양수분함량)		공급 조절	- 공급과 조절 서비스를 함께 평가할 수 있는 수문과정 - 지하수유출의 주요 공급원으로 안정적 하천유량공급에 기여 - 지표면유출 감소로 비점오염유출 저감과 토양내 자정작용 등의 조절서비스 제공	상
지하수 충전		공급 조절	- 하천의 안정적 수량공급에 기여 - 지하수 충전량은 상대적으로 모의 불확실성이 큼	상

강수의 토양침투는 이어지는 토양증발과 식생증산, 지하수충전과 지하수유출, 중간류유출 및 지표면유출에 직접적인 영향을 미치는 중요한 수문과정이다. 토지이용(도시, 농경지, 산림 등), 토양, 지형 등의 지역 특성에 따라 가장 먼저 변동되는 수문과정으로, 이후 이어지는 수문 현상에 지배적 영향을 주고 있다. 아래그림은 도시화에 따른 불투수지표면 증가가 토양침투량과 이어지는 수문과정에 미치는 영향을 도식화하여 보여주고 있다. 자연적인 투수지표면과 비교할 때, 불투수지표면이 70~100% 증가한 지역은 침투량이 강수량 대비 50%에서 15%로 감소하여, 지표면유출이 강수량 대비 10%에서 55%로의 증가와 증발산량이 40%에서 30%로 감소하는 영향을 초래한다. 이와 같이 토양침투는 인간활동 등에 따라 왜곡된 수문과정을 합리적으로 평가할 수 있는 지표로 평가될 수 있다.



| 그림 V-2-4 | 불투수층 증가에 따른 직접유출 및 토양침투량 변화(USEPA, 2010)

(2) 수문 생태계서비스 평가체계 마련

본 연구에서 ① 수문과정 특성 고려, ② 국내 수문환경 특성 고려, ③ 대규모 유역 모의 가능성, ④ 장기 모의 가능성, ⑤ 기능개선과 지속적 사용 가능성 여부 등을 기준으로 현재 수문 모형 분야에서 사용되고 있는 모형에 대한 검토와 평가를 수행하였다.

| 표 V-2-5 | 수문모형(유역모형)선정조건

선정 조건	검토 항목	평가 내용
① 수문과정 특성 고려	- 수량, 수질의 시공간 분포 특성 - 수문과정의 세부 모의	- 공간분할구조, 모의시간 간격 - 지표면유출, 중간류유출, 지하수유출, 증발산, 토양침투, 지하수충전, 토양함수량 등 세부 수문과정 모의
② 국내 수문환경 특성 고려	- 비균질적 토지이용 반영 - 농업지역 환경 특성 반영	- 도시지역 불투수지표면, 관망 반영 - 논·논의 저류 및 관개 기능 모의
③ 대규모 유역 모의 가능성	- 연구 대상지 면적 고려	- 중대규모 유역 모의
④ 장기 모의 가능성	- 강우량과 기상조건 영향 고려	- 장기 모의 가능성 - 홍수년, 갈수년, 평수년 모의
⑤ 기능개선과 지속적 사용 가능성	- 기능 확장 가능성 - 시나리오 평가 가능성	- 소스 코드 접근성 - 토지이용, 기후변화 등 시나리오 분석

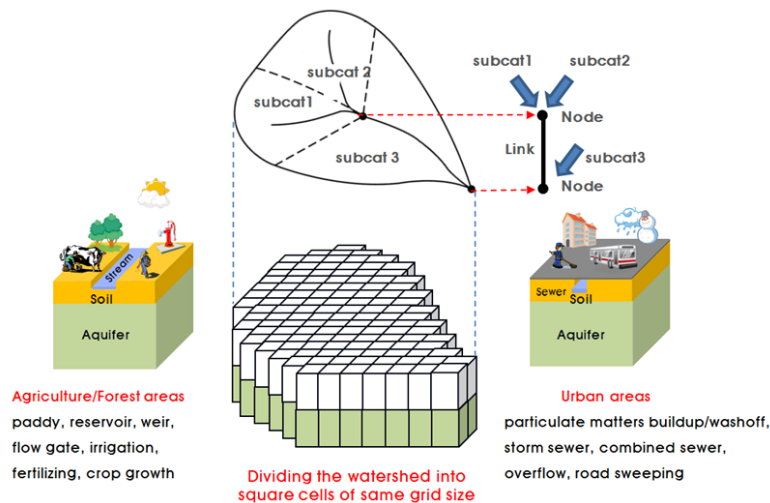
위의 선정조건을 만족하는 수문 생태계서비스 평가모형을 선정하기 위해 학계 및 산업계에 많이 사용되고 있는 모형인 InVEST, SWAT, HSPF, GSSHA, STREAM의 특성을 검토하여 아래와 같이 제시하였다.

| 표 V-2-6 | 주요 수문모형의 구조 및 기능 비교

평가기준	InVEST	SWAT	HSPF	GSSHA	STREAM
공간분포모의 (유역분할 구조)	Semi -distributed	Semi -distributed	Semi -distributed	Square grids	Square grids
모의 시간 단위	Yearly	Daily	1 min. to 1 day	1 sec. to 1 min.	1 min. to 1 hour
환경 특성 반영 (환경특성에 따른 매개변수 지정)	△	O	O	O	O
수문과정	Conceptual	Conceptual	Conceptual	Physically -based	Physically and conceptual
탄소	△*	X	X	X	O
질소	△	O	O	O	O
인	△	O	△	O	O
불투수지표면	X	O	O	X	O
관거	X	X	X	X	O
논	X	△	X	X	O

이상의 선정 조건을 고려할 때, 국내 유역환경을 고려하며 시공간적으로 수문과정을 평가함에 적합한 STREAM을 본 연구의 적용 모형으로 선정하였다.

유역모형 STREAM (Spatio-Temporal River-basin Eco-hydrology Analysis Model)은 중대규모 유역에서의 수문과정과 물질 변환 및 이동을 모의하기 위해 개발된 격자기반 유역모형으로 시화호, 금강 유역 등 다년에 거친 다수의 적용사례를 가지고 있다(조홍래 등, 2015)

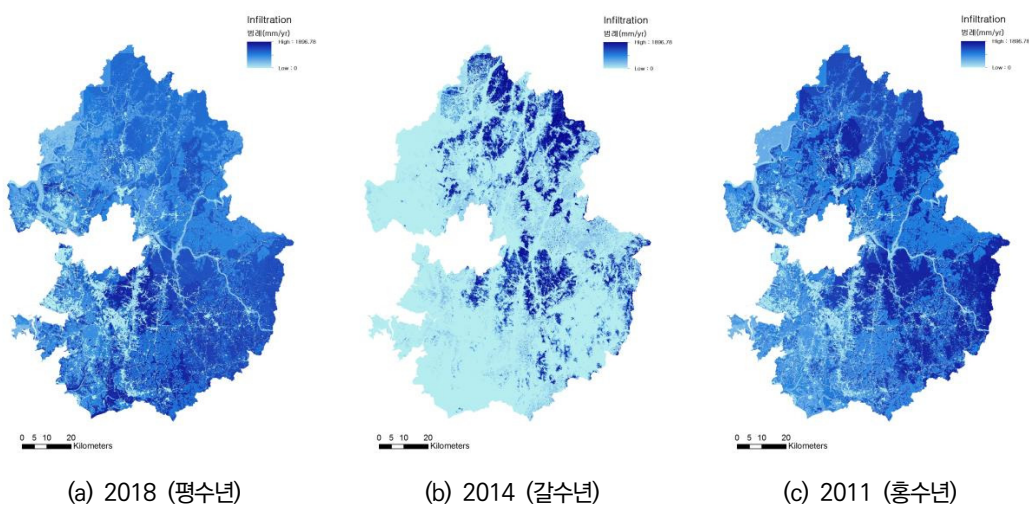


| 그림 V-2-5 | 수문모형 STREAM의 구조 및 기능(조홍래 등, 2015)

대상 유역을 임의 크기의 정방형 격자로 분할하고, 격자에서의 물질수지를 계산한다. 모의 시간간격은 하천길이와 유속을 고려하여 모형 내부에서 결정하거나 또는 사용자가 지정한 시간 간격을 사용한다. 지표수의 유동은 정상류(steady flow)로 가정하여 Manning 공식에 의해 해석하며, 연산속도 향상을 위해 격자 사이의 물질이동은 생략한다. 호수 및 저수지는 제방이나 댐의 제원에 따라 모형 내부에서 생성하며, 논밭의 독과 하천제방의 높이에 따라 지표수의 흐름을 제어할 수 있다. 도시지역의 경우 분류식, 합류식 관거시스템을 구별하여 모의하며, 대상 유역에서 차집 또는 펌핑을 통한 물의 이동이 발생할 경우 이를 모의할 수 있다. 추가적으로 도시지역 불투수지표면에서의 입자성 오염물질의 축적과 유출 과정을 모의하며, 토양/지표수/지하수 중의 탄소, 질소, 인 변환과정과 이동을 모의할 수 있다.

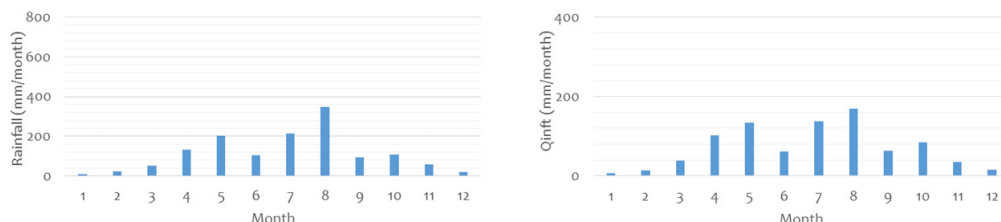
(3) 경기도지역 수문 생태계서비스 평가 및 지도화

본 연구에서 제시한 수문 생태계서비스 평가지표인 강우의 토양침투량에 대한 경기도 지역의 시공간적 분포 특성을 살펴보면 Fig. 3-38 ~ 3-39와 같다. Fig. 3-38은 강우조건별 토양 침투량의 공간적 변동성을 보여주고 있다. 연도에 따라 토양침투량에 큰 차이가 있으나, 연도별 상대적 비율은 공간적으로 크게 변동되지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 토양침투량에 큰 영향을 미치는 토지이용 및 토성이 공간적으로 큰 변동성이 없기 때문인 것으로 보인다.

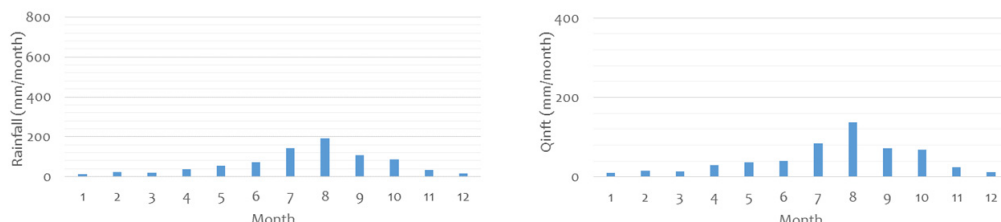


| 그림 V-2-6 | 평수년, 갈수년 홍수년별 경기도 지역에서의 토양침투량의 공간 변화

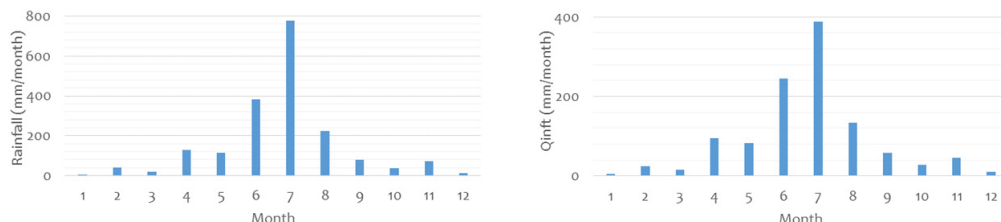
토양침투량은 월별 강수량과 밀접한 연관성을 보이며, 월 강수량이 증가할수록 토양침투량이 함께 증가함을 알 수 있다. 그러나 해당월 이전에 강우가 많을 경우에는 토양습윤도가 증가하여 월 강수량에 대한 토양침투량이 상대적으로 작은 비율을 보이는 것을 알 수 있다.



(a) 평수년(2018년) 월별 강수량과 토양침투량



(b) 갈수년(2014년) 월별 강수량과 토양침투량



(c) 홍수년(2011년) 월별 강수량과 토양침투량

| 그림 V-2-7 | 강우조건별 토양침투량의 월별 변동성

예를 들어, Fig. 3-39의 (a) 그래프를 보면, 7월 강수량과 토양침투량은 각각 212.7 mm, 136.8 mm로 토양침투량이 강수량의 64.3%를 차지함에 반해, 8월 강수량과 토양침투량은 각각 346.6 mm, 169.0 mm 강수량 대비 48.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 6월 강수량이 103.9 mm로 상대적으로 8월 토양에 습윤도에 영향을 미치는 7월 강수량보다 작아, 7월달 토양이 8월달 토양에 비해 상대적으로 건조한 조건을 유지했기 때문인 것으로 보인다.

경기도 지역에서의 시군구별 연간 토양침투량은 Table 3-28과 같다. 평수년인 2018년의 경우, 광주시 963.4 mm, 여주시 946.7 mm, 이천시 940.9 mm, 포천시 937.6 mm, 동두천 922.4 mm 순으로 토양침투량이 높은 것으로 나타났으며, 가장 작은 시군은 부천시로 토

양침투량이 359.0 mm인 것으로 분석되었다. 갈수년인 2014년의 경우, 안성시 590.3 mm, 이천시 589.4 mm, 여주시 584.1 mm, 광주시 582.1 mm, 용인시 554.4 mm 순으로 토양 침투량이 높은 것으로 나타났으며, 가장 작은 시군은 부천시로 토양침투량이 259.9 mm인 것으로 분석되었다. 홍수년인 2011년의 경우, 광주시 1346.2 mm, 동두천 1322.5 mm, 여주시 1318.1 mm, 가평군 1257.4 mm, 양평군 1225.5 mm 순으로 토양침투량이 높은 것으로 나타났으며, 가장 작은 시군은 부천시로 토양침투량이 468.0 mm인 것으로 분석되었다. 경기도 시군 중 광주시는 연간 토양침투량 매우 큰 것으로 나타났으며, 이는 광주시 토지이용과 토성 특성에 따른 결과로 보인다. 특히 광주시의 토양은 대부분 sandy loam으로 구성되어 있으며, 상대적으로 높은 수리전도도에 의해 토양침투를 촉진한 것으로 평가되었다. 경기도 시군 중 부천시가 연간 토양침투량이 최소인 것으로 나타남. 부천시는 불투수지표면비율이 전국 최고인 시로, 전체 시의 62%를 차지하고 있다. 이러한 불투수지표면 비율로 인하여 토양침투가 저해된 것으로 보인다.

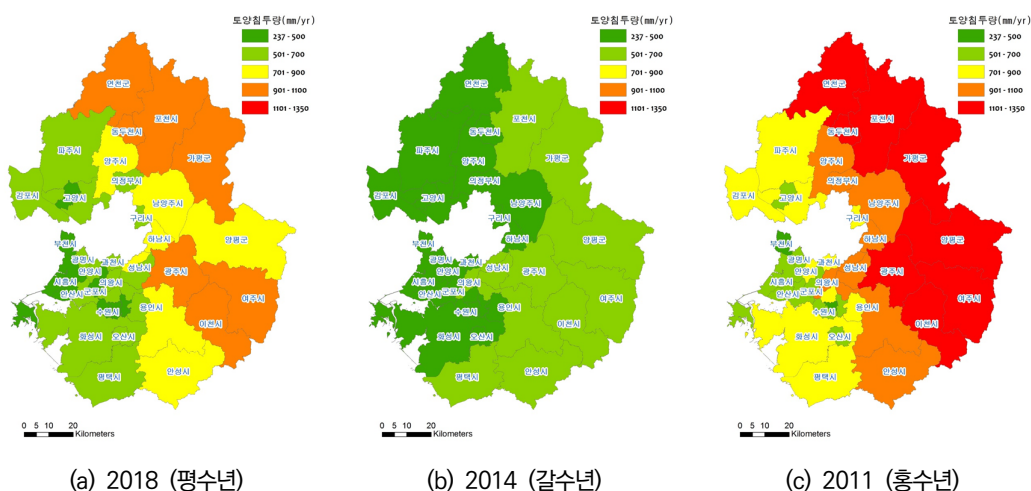
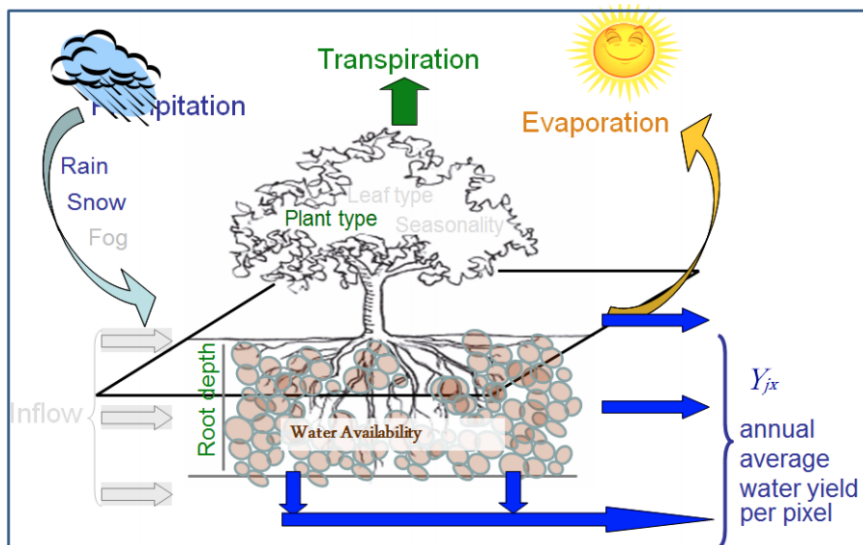


그림 V-2-8 | 경기도 시군구별 연간 토양침투량

(4) InVEST Water Yield과 STREAM 모형과의 비교

InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)는 Natural Capital Project 팀에서 개발한 종합 모형으로 수문 생태계서비스 평가 연구에 다수 활용되어오고 있다. InVEST는 수문과정을 간략화하여 평가하는 모형으로 연간 또는 월 수자원함량을 개략 평가하는 도구로 사용된다. Fig. 3-41은 InVEST water yield에서 수문을 모의하는

구조를 보여줌. InVEST는 연강수량에서 증발산량을 제외하여 유출유량(water yield)을 산정함. 이는 당해연도 내에서 토양 및 지하수 등에서 저장량 변화가 없이, 유역 내에 들어온 수량은 모두 대기 또는 유역출구로 빠져나간다는 가정에 의거함



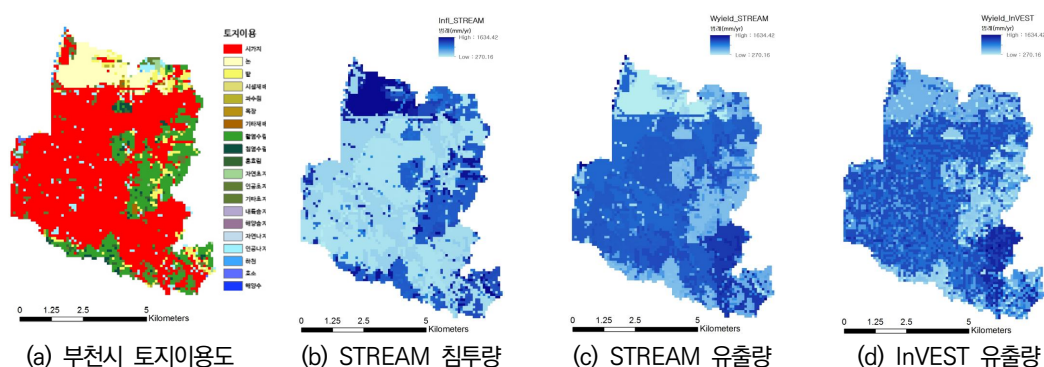
| 그림 V-2-9 | InVEST water yield 모형의 수문 모의 항목(Conte et al. 2015)

한강수계를 대상으로 InVEST에 의한 연간 유출량 모의 결과와 STREAM 모의 결과를 비교하여 제시하면 Table 3-30과 같다. 연간 유출량이 2018년 기준 InVEST의 경우 713.0 mm (전체강우량의 52.5%)로 STREAM 모의 결과 707.5 mm(전체강우량의 52.1%)와 매우 유사한 결과를 도출하였다. 이에 연간 총유출량을 모의하는 수준에서 InVEST의 적용성이 있다고 판단된다. 그러나 InVEST는 연간 총유출량은 산정하나, 이를 구분하여 직접유출량과 지하수 유출량으로 제시하지 못하며 토양침투량을 산정하지 못하는 한계를 가지고 있다.

| 표 V-2-7 | InVEST와 STREAM 모의결과와 비교(한강수계, 2018년 기준)

구분	STREAM		InVEST	
	(mm/yr)	(%)	(mm/yr)	(%)
Rainfall	1,357.1	100.0	1,357.1	100.0
Water Yield	707.5	52.1	713.0	52.5
직접유출량	453.6	33.4	평가불가	평가불가
지하수유출량	253.9	18.7	평가불가	평가불가
토양 침투량	860.1	63.4	평가불가	평가불가

모의결과의 공간분포를 살펴보기 위해, 불투수지표면비율이 높은 부천시를 대상으로 STREAM과 InVEST 모형의 유출량 결과를 살펴보면 Fig. 3-42와 같다. 두 모형 모두 도심지에서의 유출이 비도심지에 비해서 큰 것으로 나타났다(Fig 3-42(c), (d)). 이러한 결과는 유출량만으로 생태계서비스를 평가할 경우 도심지가 산림 등 비도심지보다 가치가 높게 평가될 수 있음을 보여준다. 반면, STREAM의 침투량 모의 결과는 도심지에 비해 비도심지에서 높은 것으로 분석됨(Fig 3-42(b)). InVEST의 경우 침투량 산정이 불가능하며, 이는 생태계서비스 평가에 있어 한계점으로 볼 수 있다.



수문 생태계서비스를 평가하기 위해서는 수문 생태계서비스의 공간적, 시간적 변동성과 각 수문과정에 포함된 증발산, 토양침투, 지표면유출, 지하수유출 등을 평가할 수 있어야 하는데, InVEST는 이를 평가할 수 없는 단점을 가진다. InVEST에서는 소유역 또는 전체 유역에 대해 균일한 공간 입력자료를 제시하여 총유출량을 산정하며, 이는 해당 공간단위의 세부적 특성을 반영할 수 없는 한계가 된다. 참고로, 분포형 모형은 유역을 정방형의 격자로 구분하여 공간적 이질성을 나타내며, 준분포형 모형은 소유역내 토지이용, 토성, 경사도 등의 특성을 이용하여 공간모의단위를 설정하여 공간적 특성을 반영하고 있다. 또한, 수문과정의 시간변동성을 파악하기 위해서는 모의시간단위가 일단위 이하일 필요가 있다. 특히, 우리나라와 같이 특정 시기에 강우가 집중되는 지역에서 수문과정을 모의할 경우에는 더욱 모의시간단위가 중요한 요소가 된다. 그러나 InVEST는 연총유출량만을 제시하기에, 강우에 의한 수문과정의 변동 또는 시기별, 계절별 수문과정 특성을 파악할 수 없다.

따라서 InVEST 모형은 한강 수계와 같이 넓은 공간 범위를 대상으로 연간 유출량을 개략 평가하는 데에는 효과적으로 사용될 수 있으나, 시공간 분포를 고려한 수문 생태계서비스 평가와 시나리오 분석에 한계가 크다.

참 고 문 헌

| 국내문헌 |

- KEI, 2013, 초미세먼지(PM2.5)의 건강영향 평가 및 관리정책 연구(II)
- KOSIS, 2019. 한국도시통계
- 경기연구원. 2019. 경기도 도시공원 신규지표 도입방안. 경기연구원. 수원.
- 고려대학교, 2019. 훼손 유형별 생태복원사업 모델 개발 및 평가 체계 구축 사후관리 기술개발 II. 고려대학교, 서울.
- 관계부처합동. 2018. 제4차 국가생물다양성전략: 2019~2023. 환경부. 세종.
- 국립생태원, 2019a. 지역의 생태가치 평가 및 인식 증진방안 연구
- 국립생태원. 2019b. 도시녹지의 미세먼지 조절 기능 연구(II)
- 국립환경과학원. 2009. 환경성질환의 이해와 국내동향
- 국립환경과학원. 배출량통계
- 국토교통부. 2019. 공원녹지 지표 개선 및 운용방안 연구. 국토교통부. 세종.
- 국토연구원. 2012. 독일의 자연침해제도와 정책제언. 국토연구원, 세종.
- 대구경북연구원. 2008. 백두대간 이화령 생태복원 방안 연구. 대구경북연구원, 대구.
- 문지영, 반영운. 2018. 도시 생활권공원의 서비스 공급수준 평가를 위한 지표개발 및 우선순위 결정. 한국도시설계학회지 도시설계 19: 39-51.
- 박민경, & 김광숙. (2020). 노인의 미세먼지 관련 건강행위와 영향요인. Journal of Korean Academy of Nursing, 50(3), 431-443.
- 이진우, 윤갑식. 2018. 접근성을 고려한 도시공원의 공급 우선순위 분석: 부산광역시 남구를 대상으로, 지방정부연구 22: 77-90.
- 정경준. (2018). 서울시 거주 미취학 아동 대상 시설공간 및 활동별 일일 미세먼지 노출 추정연구 (연세대학교 보경대학원 석사학위논문).
- 최태영, 강다인, & 차재규. (2019). 서울시 월별 미세먼지 농도와 주변 토지피복의 관계 분석. 한국환경영향평가학회, 28(6): 568-579
- 최하영, 2019. 대기오염과 청소년 알레르기 질환의 상관성에 영향을 미치는 요인. 서울대학교 보건대학원 석사학위논문.
- 허미선, 진양조 1996. GIS 를 활용한 서울시 도시근교공원의 접근성 지표에 관한 연구. 한국조경학회지 24: 42-56.

환경부, 2016. 어린이·학생·어르신 등 건강 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응 매뉴얼
환경부, 2018. 생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업. 환경부, 세종.
환경부, 2019. 국가 지속가능발전목표 수립 보고서2019. 환경부, 세종.

| 국외문헌 |

Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, & Müller F. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*. 21: 17-29.

Centers for Disease Control and Prevention.(CDC) (2010). Social Determinants of Health Centers for Disease Control and Prevention.

Chang, Y. K., Wu, C. C., Lee, L. T., Lin, R. S., Yu, Y. H., & Chen, Y. C. (2012). The short-term effects of air pollution on adolescent lung function in Taiwan. *Chemosphere*, 87(1), 26-30.

De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological complexity*, 7(3), 260-272.

Di Q, Wang Y, Zanobetti A, Wang Y, Koutrakis P, Choirat C, et al. Air pollution and mortality in the medicare population. *The New England Journal of Medicine*. 2017;376(26):2513-2522.

EPA(2015). Health Impact Assessment(HIA) & EnviroAtlas.

Gehring, U., Gruzieva, O., Agius, R. M., Beelen, R., Custovic, A., Cyrys, J., ... & Hoffmann, B. (2013). Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project. *Environmental health perspectives*, 121(11-12), 1357-1364.

Ha EH, Lee JT, Kim H, et al. Infant susceptibility of mortality to air pollution in Seoul, South Korea. *Pediatrics* 2003;111:284-290.

Isaacs KK, Martonen TB. Particle deposition in children's lungs: theory and experiment. *J Aerosol Med* 2005;18:337-353.

Jackson, L. E., Daniel, J., McCorkle, B., Sears, A., & Bush, K. F. (2013). Linking ecosystem services and human health: the Eco-Health Relationship Browser. *International journal of public health*, 58(5), 747-755.

- Kettunen, J., Lanki, T., Tiittanen, P., Aalto, P. P., Koskentalo, T., Kulmala, M., ... & Pekkanen, J. (2007). Associations of fine and ultrafine particulate air pollution with stroke mortality in an area of low air pollution levels. *Stroke*, 38(3), 918-922.
- Larondelle, N., & Lauf, S. (2016). Balancing demand and supply of multiple urban ecosystem services on different spatial scales. *Ecosystem Services*, 22, 18-31.
- Lippmann M, Chen LC. Particle deposition and pulmonary defense mechanisms. In: Rom WN, ed. *Environmental and Occupational Medicine*. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2007:168-186.
- Medina S. Summary report of the APHEKOM project 2008-2011. Saint-Maurice Cedex: Institut de Veille Sanitaire, 2012.
- Pope CA 3rd, Ezzati M, Dockery DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N Engl J Med* 2009;360:376-386.
- Powe, N. A., & Willis, K. G. (2004). Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO₂ and PM₁₀) absorption attributable to woodland in Britain. *Journal of environmental management*, 70(2), 119-128.
- Sin, D. D., Wu, L., & Man, S. P. (2005). The relationship between reduced lung function and cardiovascular mortality: a population-based study and a systematic review of the literature. *Chest*, 127(6), 1952-1959.
- Grafius DR, Corstanje R, Warren PH, Evans KL, Hancock S, Harris JA. 2016. The impact of land use/land cover scale on modelling urban ecosystem services. *Landscape Ecology* 31: 1509-1522.
- Lang Y, Song W. 2018. Trade-off analysis of ecosystem services in mountainous Karst Area, China. *Water* 10(3): 300.
- Asselin A, Rabaud S, Catalan C, Leveque B, L'Haridon J, Martz P, Neveux G. Product biodiversity footprint- a novel approach to compare the impact of products on biodiversity combining life cycle assessment and ecology. *Journal of Cleaner Production* 248(2020): 119262.
- Business for Nature. 2020. High-Level Policy Recommendations. Business for Nature. Capitals Coalition. 2020. Draft TEEB for Agriculture and Food: Operational Guidelines for Business. Capitals Coalition.

- CISL. 2020. Measuring business impacts on nature : a framework to support better stewardship of biodiversity in global supply chains
- Fan P, Xu L, Yue W, Chen J. 2017. Accessibility of public urban green space in an urban periphery: The case of Shanghai. *Landscape and Urban Planning*, 165: 177-192.
- Hanson C, Ranganathan J, Iceland C, Finisdore J. 2012. The corporate ecosystem services review.
- Hanson C, Ranganathan J, Iceland C, Finisdore J. 2012. The corporate ecosystem services review: Guidelines for Identifying Business Risks and Opportunities Arising from Ecosystem Change. Version 2.0. Washington, DC: World Resources Institute.
- Jabbari M, Fonseca F, Ramos R. 2018. Combining multi-criteria and space syntax analysis to assess a pedestrian network: the case of Oporto. *Journal of urban Design* 23: 23-41.
- Jang KM, Kim J, Lee HY, Cho H, Kim Y. 2020. Urban Green Accessibility Index: A Measure of Pedestrian-Centered Accessibility to Every Green Point in an Urban Area. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9: 586.
- Kering. 2019. Environmental Profit & Loss(EP&L) 2019 Group Results. Kering.
- Kondo MC, Fluehr JM, McKeon T, Branas CC. 2018. Urban green space and its impact on human health. *International journal of environmental research and public health*, 15(3): 445.
- Liu Z, Mao F, Zhou W, Li Q, Huang J, Zhu X. 2008. Accessibility assessment of urban green space: A quantitative perspective. In *IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* 2: 1314-1317.
- Lotfi S, Koohsari MJ. 2009. Measuring objective accessibility to neighborhood facilities in the city (A case study: Zone 6 in Tehran, Iran). *Cities* 26: 133-140.
- Natural Capital Coalition. 2016. Natural capital protocol. Natural Capital Coalition.
- Natural Capital Coalition. 2016. The path towards the natural capital protocol : a primer for business. Natural Capital Coalition.
- Nicholls S. 2001. Measuring the accessibility and equity of public parks: A case study using GIS. *Managing leisure* 6: 201-219.

- Poleman H. 2016. A walk to the park? - assessing access to green urban areas in Europe's cities.
- TEEB. 2010. The economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.
- TEEB. 2018. TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations. Geneva: UN Environment.
- The Trust for Public Land. 2016. ParkScore index, Internet: <https://www.tpl.org/parkscore/about>
- Thompson CW. 2002. Urban open space in the 21st century. *Landscape and urban planning*, 60(2): 59-72.
- UNEP Finance Initiative. 2018. The principles for positive impact finance.
- United Nations. 2020. The Sustainable Development Goals Report 2020. New York.
- Wilson E, Nicol F, Nanayakkara L, Ueberjahn-Tritta A. 2008. Public urban open space and human thermal comfort: The implications of alternative climate change and socio-economic scenarios. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 10(1): 31-45.
- World Business Council for Sustainable Development. 2011. Guide to Corporate Ecosystem Valuation: A Framework for Improving Corporate Decision-making. World Business Council for Sustainable Development.
- BBOP(Business and Biodiversity Offsets Programme). (2012). Guidance Notes to the Standard on Biodiversity Offsets. Washington, D.C.
- BBOP(Business and Biodiversity Offsets Programme). (2018). Glossary.
- Breunig, Th.; Vogel, P. (2005): Bewertung der Biotoptypen Baden-Württembergs zur Bestimmung des Kompensationsbedarfs in der Eingriffsregelung. Hg. v. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU). Institut für Botanik und Landschaftskunde.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., & Müller, F. (2014). Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape online*, 34, 1-32.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities

- to provide ecosystem services-a concept for land-cover based assessments. *Landscape online*, 15, 1-22.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological indicators*, 21, 17-29.
- Campagne, C. S., Roche, P., Gosselin, F., Tschanz, L., & Tatoni, T. (2017). Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability. *Ecological Indicators*, 79, 63-72.
- Campagne, C. S., Roche, P., Müller, F., & Burkhard, B. (2020). Ten years of ecosystem services matrix: Review of a (r) evolution. *One Ecosystem*, 5, e51103.
- Coggan, A., Buitelaar, E., Whitten, S., & Bennett, J. (2013). Factors that influence transaction costs in development offsets: Who bears what and why?. *Ecological Economics*, 88, 222-231.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M.(1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological economics*, 25(1), 3-15.
- CSBI(Cross Sector Biodiversity Initiative) (2015). A cross-sector guide for implementing the Mitigation Hierarchy. Cross Sector Biodiversity Initiative, Cambridge
- Darbi, M., & Tausch, C. (2010). Loss-gain calculations in German impact mitigation regulation. Occasional paper contributed to BBOP. Consulted on-line at http://www.forest-trends.org/publication_details.php.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- Dickie, I., Mesquite, S., Delphine, M., Stoeckel, M.-E., James, W., Wende, W., (2013). Glossary working group on no net loss of ecosystems and their services. EU. (2011). The EU Biodiversity Strategy to 2020
- Gamer, M., Lemon, J., Fellows, I., & Singh, P. (2012). Various coefficients of interrater reliability and agreement. R package version 0.84, 1.

- Gardner, T. A., Von Hase, A., Brownlie, S., Ekstrom, J. M., Pilgrim, J. D., Savy, C. E., Theo Stephens, R. T., Treweek, J., Ussher, G. T. Ward, G. & Ten Kate, K. (2013). Biodiversity offsets and the challenge of achieving no net loss. *Conservation Biology*, 27(6), 1254-1264.
- HMULV - Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (ed.), (2007), Arbeitshilfe zur Verordnung über die Durchführung von Kompensationsmaßnahmen, Ökokonten, deren Handelbarkeit und die Festsetzung von Ausgleichsabgaben (Kompensationsverordnung - KV), Hauseigene Druckerei, Wiesbaden.
- Höppe, P., & Martinac, I. (1998). Indoorclimate and air quality. *International Journal of Biometeorology* 42(1), 1-7.
- ICF, I. (2014). Study on specific design elements of biodiversity offsets: biodiversity metrics and mechanisms for securing long term conservation benefits. ICF International & Institute for European Environmental Policy (IEEP).
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., & Schneiders, A. (2015). 'The Matrix Reloaded': A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling*, 295, 21-30.
- Kim, I., Kwon, H., Kim, S., & Jun, B. (2020). Identification of landscape multifunctionality along urban-rural gradient of coastal cities in South Korea. *Urban Ecosystems*, 1-11.
- Krippendorff Klaus. (2004). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. Sage Publications, Thousand Oaks, CA.
- Küpfer. (2008). "The eco-account: a reasonable and functional means to compensate ecological impacts in Germany" Available online: https://www.stadtlandfluss.org/fileadmin/user_upload/text_files/the_eco_account.pdf.
- Lee, J. H., Kim, S. H., Kim, B. R., Kim, I., Park, H. J., & Kwon, H. S. (2019). Boundary Setting for Ecosystem Services by Factor Analysis. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 7(2), 21-35.
- MA. (2005). *Ecosystems and human well-being : health synthesis : a report of the Millennium Ecosystem Assessment*.

- Mazza, & J. Schiller. (2014), "The use of eco-account in Baden Württemberg to implement the German Impact Mitigation Regulation: A tool to meet EU's No-Net-Loss requirement?", Institute for European Policy.
- Nesbitt, L., Meitner, M. J., Girling, C., Sheppard, S. R., & Lu, Y. (2019). Who has access to urban vegetation? A spatial analysis of distributional green equity in 10 US cities. *Landscape and Urban Planning*, 181, 51-79.
- Obermeyer & Spiekermann (2015a): Projekt Stuttgart 21 Planfeststellungsunterlagen PFA 1.3 Filderbereich mit Flughafenbindung, Teilabschnitt 1.31, Neubaustrecke mit Station NBS Anlage 18.1 Landschaftspflegerischer Begleitplan (LBP) Erläuterungsbericht. Ingeniergemeinschaft Stuttgart 21. Stuttgart.
- Obermeyer & Spiekermann (2015b): Projekt Stuttgart 21 Planfeststellungsunterlagen PFA 1.3 Filderbereich mit Flughafenbindung, Teilabschnitt 1.31, Neubaustrecke mit Station NBS Anlage 18.1 Landschaftspflegerischer Begleitplan (LBP) Beilage1 Bilanzierung. Ingeniergemeinschaft Stuttgart 21. Stuttgart.
- OECD. (2016), *Biodiversity Offsets: Effective Design and Implementation*, OECD Publishing, Paris.
- Profillidis, V.A., Botzoris, G.N. (2019). Chapter 4 - Executive Judgment, Delphi, Scenario Writing, and Survey Methods. *Modeling of Transport Demand*, 125-161.
- Scheibe, M., Skutsch, M., & Schofer, J. (2002). IV. C. Experiments in Delphi methodology. In: Linstone H, Turoff M (eds) *The Delphi method: techniques and applications*, 257-281.
- Stoll, S., Frenzel, M., Burkhard, B., Adamescu, M., Augustaitis, A., Baeßler, C., Bonet, F.J., Carranza, M.L., Cazacu, C., Cosor, G.L., Díaz-Delgado, R., Grandin, U., Haase, P., Hämäläinen, H., Loke, R., Müller, J., Stanisci, A., Staszewski, T., Müller, F. (2014). Assessment of ecosystem integrity and service gradients across Europe using the LTER Europe network. *Ecological Modelling*, 295, 75-87.
- Tallis, H., & Polasky, S. (2009). Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural-resource management. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1), 265-283.

- Tallis, H., Kennedy, C. M., Ruckelshaus, M., Goldstein, J., & Kiesecker, J. M. (2015). Mitigation for one & all: An integrated framework for mitigation of development impacts on biodiversity and ecosystem services. *Environmental Impact Assessment Review*, 55, 21-34.
- Tan, R. Wang, T. Sedlin. (2014), "Land-development offset policies in the quest for sustainability: what can China learn from Germany?", *Sustainability*, 6, 3400-3430.
- UK National Ecosystem Assessment (2011) The UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Findings. UNEP-WCMC, Cambridge.
- Vihervaara, P., Kumpula, T., Ruokolainen, A., Tanskanen, A., & Burkhard, B. (2012). The use of detailed biotope data for linking biodiversity with ecosystem services in Finland. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2), 169-185.
- Wende, W., Tucker, G. M., Quétier, F., Rayment, M., & Darbi, M. (Eds.). (2018). *Biodiversity Offsets: European Perspectives on No Net Loss of Biodiversity and Ecosystem Services*. Springer.