

환경문제 해결을 위한 국내 시민과학 유형과 특성 연구*

A Study on Types and Characteristics of Citizen Science to Address Environmental Issues in Korea

고재경** · 예민지****

Jaekyung Koh · Minji Ye

요약: 시민과학은 일반 대중이 과학연구 활동에 자발적으로 참여하여 전문적인 과학자와 협력하는 다양한 방식으로 정의할 수 있다. 시민과학은 환경문제 해결 및 생태계 보전을 위한 수단으로 더욱 활발하게 적용되고 있으며, 스마트폰, 디지털 기술발전 등에 따라 그 잠재력도 증가할 전망이다. 이 연구는 증거기반 정책 지원 및 시민참여 거버넌스 혁신이라는 관점에서 환경문제 해결을 위한 수단으로서 시민과학의 활용 가능성을 모색하는 것이 목적이다. 이를 위해 국내 환경분야 시민과학 사례 18개를 선정하여 시민참여 유형과 특성, 결과와 성과를 종합적으로 분석하고 시사점을 도출하였다. 분석을 위해 프로젝트 담당자 대상 설문 조사와 인터뷰를 실시하고 사례 관련 보고서, 논문, 기타 자료 등을 참고하였다. 분석 결과 환경문제 해결 및 정책변화를 목적으로 한 프로젝트 비중이 높게 나타났다. 이에 따라 시민과학 유형도 자료와 데이터 수집에 참여하는 단순한 기여형보다는 협력형 또는 기여형과 협력형이 혼합된 유형이 많아 시민들이 좀 더 적극적인 역할을 수행하고 있는 것으로 나타났다. 대부분의 사례에서 논문, 보고서, 데이터 구축이라는 과학적 결과물 뿐 아니라 다양한 측면에서 과학적 지식생산과 문제해결에 긍정적인 기여를 하였다. 이 연구는 국내 시민과학 프로젝트에 대한 체계적인 평가가 없는 가운데 국내 환경분야 시민과학의 지형을 종합적으로 조망하고 분석한 첫 연구로서 의의를 지닌다. 하지만 시민과학 프로젝트 담당자의 주관적 판단에 대한 우려는 이 연구의 한계이다. 증거기반 의사결정 수단으로서 시민과학을 적극적으로 활용하기 위해서는 시민과학 플랫폼 및 평가 시스템 구축과 정부의 지원이 필요하며, 국내 특성을 반영한 시민과학 유형에 대한 추가 연구도 필요하다.

핵심주제어: 시민과학, 환경문제, 시민참여, 증거기반 정책

Abstract: Citizen science can be defined in the various ways in which the public voluntarily participates in scientific research activities and cooperates with scientists. Citizen science is being applied more actively as a means for solving environmental problems and preserving the ecosystem, and its potential is expected to increase with the development of smartphones and digital technologies. The purpose of this study is to explore the possibility of using citizen science as a means of solving environmental problems in terms of supporting evidence-based policies and innovation in citizen participation governance. To this end, 18 cases of environmental citizen science were selected to comprehensively analyze the types and characteristics of citizens' participation, results and performances of

* 이 논문은 고재경 등(2019), 「환경문제 해결을 위한 시민과학의 의미와 가능성」(경기연구원의 일부 내용을 발췌, 수정·보완한 것임을 밝혀둔다.

** 주저자 및 교신저자, 경기연구원 선임연구위원

*** 공동저자, 경기연구원 연구원

the projects, and derive implications. For analysis, surveys and interviews were conducted with project managers ; and case-related reports, papers, and other materials were referenced. The analysis shows that the proportion of projects aimed at solving environmental problems and changing policies was high. Accordingly, it was found that citizens are playing a more active role as there are many cases of “collaborative” or a mixture of “contributory” and “collaborative” type rather than a contributory type in which citizens participate in data collection. Most of the cases were found to contribute positively to scientific knowledge production and problem solving in various aspects, as well as scientific results such as papers, reports, and data construction. It is significant as the first study to comprehensively view and analyze the topography of environmental citizen science in the absence of a systematic evaluation of domestic citizen science projects. However, there is a concern that the subjective judgment of the project managers may have acted upon deriving the analysis results, which is a limitation of this study. In order to actively utilize citizen science as an evidence-based decision-making tool, it is necessary to establish a citizen science platform and evaluation system, and support from the government. Further research is also needed on the types of citizen science that reflects the characteristics of domestic citizen science.

Key Words: Citizen Science, Environmental Issues, Citizen Participation, Evidence-Based Policy

I. 서론

과거 전문가의 전유물로 여겨졌던 과학연구에 참여하는 시민들이 증가하고 있으며, 그 성과도 새로운 생물종이나 은하계의 물체를 발견하는 등 놀라운 결과로 나타나고 있다. 이들은 시민과학자로 불리는데, 시민과학은 전문적인 훈련을 받지 않은 사람들이 자발적으로 과학연구에 참여하여 데이터를 수집하거나 집단지성을 통해 문제를 해결하는 행위를 의미하며, 광의로는 일반인들이 과학기술을 둘러싼 논의와 의사결정 과정에 참여하는 것을 포함한다. 전 세계적으로 생물다양성 분야에서만 시민과학 프로젝트에 참여한 시민들이 1.3~2.3백만 명에 이르며 이러한 기여를 경제적으로 환산하면 매년 25억 달러에 이르는 것으로 추정된다(Theobald et al., 2015).

영국이나 미국 등 선진국에서 시민들이 자발적으로 날씨를 관찰하고 생물계절을 기록하며 새의 개체수를 세는 시민과학의 전통과 역사는 19세기로 거슬러 올라가지만 이러한 활동들을 ‘시민과학(citizen science)’이라

는 용어로 지칭한 것은 최근에 와서이다. 2005년 위키피디아에 시민과학이란 용어가 처음으로 등장하여, 2014년에는 옥스포드 영어사전에 추가되었다. 이는 인터넷, 스마트폰, 센서 등의 네트워크와 정보화 기술발전으로 많은 시민들이 손쉽게 참여할 수 있는 환경이 조성된 것과도 관련이 있다. 시민과학의 가치에 주목하여 EU와 미국에서는 정부 차원의 정책적 지원도 확대되고 있는데, 시민과학은 전문가나 정책입안자가 얻기 어려웠던 데이터 수집을 가능하게 하여 증거기반 의사결정을 지원하며, 사회문제 해결에 사회, 정책, 과학을 연결하고 확장하는 기회를 제공하는 사회혁신 수단으로 인식되고 있다(Bonn et al., 2016, pp.19-20).

시민과학은 특히 생태학, 보전생물학 등 환경 분야에서 가장 많이 활용되고 있으며, 이에 따라 환경문제 해결을 위한 시민과학의 잠재력도 증가할 전망이다. 국내에서도 시민들이 생태계 보전을 위한 동식물 관찰, 대기질, 수질, 악취, 유해화학물질, 해안쓰레기 발생량 등 환경질 모니터링에 참여하는 사례가 늘어나고 있다. 하지만 시민과학에 대한 전반적인 인식이 낮고 각 영역에서 산발적으로 접근되어 시민과학의 잠재력을 활용하는데 한계가 있다. 우리나라는 시민과학이라는 용어가 아직 정책적으로 공식화되어 있지 않아 아주 한정된 영역을 제외하고 시민과학에 대한 정책적 접근도 미미한 실정이다.

시민과학에 관한 국내연구는 주로 과학기술 정책의 민주화(김환석, 2001; 한재각, 2001; 박진희, 2004; 박희제, 2003; 박진희, 2007; 김정수, 2011; 김자경, 2014; 김지연, 2018; 이영희, 2009; 김동광, 2002), 과학에 대한 이해 증진 및 교육 측면의 접근(서영선·전영석, 2016; 박하나 등, 2016; 김찬국·이은주, 2014; 장진아, 2018; 김수경 등, 2006; 윤상균, 2009; 송진웅, 1999; 김성희·김은지, 2019)에 집중되어 있으며, 시민과학 방법론의 활용에 관한 연구는 매우 제한적이다. 이마저 대부분 개별 사례 연구 위주의 정성적 분석이 중심을 이루며(송재영 등, 2018; 김일훈 등, 2017; 박시룡·박대식, 2007; 백인환 등, 2014; 김윤정·이현우, 2016; 박진희·강윤재, 2018; 정지호 등, 2018) 정책과의 연계성을 다룬 연구는 거의

부재하다.

이 연구는 시민과학의 다양한 가치 중에서도 증거기반 정책결정 지원 및 시민참여 거버넌스 혁신이라는 관점에서 환경문제 해결 수단으로서 시민과학의 잠재력과 활용 가능성을 탐색하기 위해 국내 환경 관련 시민과학의 유형과 특성, 성과를 분석하고 시사점을 도출하는 데 목적이 있다. 따라서 민주적인 과학연구 과정과 거버넌스 구축을 위한 운동으로서의 시민과학보다는 전통적인 과학연구를 대규모로 진행할 수 있게 도와주는 방법론이자 사회의 지식창출 역량, 증거기반 의사결정 경로로서의 시민과학에 초점을 맞춘다(Eitzel et al., 2017). 2장에서는 시민과학의 개념, 환경문제와 시민과학의 잠재력을 살펴보고 3장에서는 선행연구 검토를 토대로 분석틀과 방법론을 제시하며, 4장에서는 시민과학 사례 분석 결과와 시사점을 도출한다.

II. 시민과학과 환경문제

시민과학은 매우 다양한 범위의 활동을 포함하는 포괄적인 용어로 사용되고 있다. 옥스퍼드 영어사전(Oxford English Dictionary)은 시민과학을 ‘전문적인 과학자와 과학기관의 지도 아래 혹은 함께 협력하여 일반 대중이 수행하는 과학 작업’으로, 유럽 시민과학백서(White Paper on Citizen Science for Europe)는 ‘일반 대중이 과학연구 활동에 참여하여 지적 노력, 배경 지식, 도구나 자원을 가지고 과학에 적극적으로 기여하는 것’으로 정의하고 있다(Serrano Sanz et al., 2014, p.8). 밀러-러싱 등(Miller-Rushing et al., 2012)도 전문가가 아닌 사람들이 과학적 연구에 참여하는 것으로 정의하며 시민과학 프로젝트가 일반적으로 전문적인 과학자와 아마추어 간의 파트너십을 포함하는 것으로 본다.

미국 ‘크라라우드소싱 및 시민과학법(Crowdsourcing and Citizen Science Act of 2016)’은 ‘개인이나 단체가 연구 질문의 형성, 프로젝트 설계 및 정

교화, 과학적 실험, 데이터 수집 및 분석, 데이터 결과의 해석, 기술개발과 적용, 과학적 발견, 문제해결 등 다양한 방식의 과학적인 활동 과정에 자발적으로 참여하는 공개 협력의 형태'로 규정하고 있으며, 이와 유사하게 독일 시민과학 전략 2020 녹색(Green Paper Citizen Science Strategy 2020 for Germany)도 시민과학을 과학기관에 속해 있지 않은 사람들이 과학적 과정에 참여하며, 참여 형태는 단기적인 데이터 수집에서 과학자(또는 다른 자원활동가들)와 함께 연구 주제를 심층적으로 탐구하기 위해 시간을 집약적으로 사용하는 것에 이르기까지 다양하다고 보았다. 이들 시민과학의 개념이 미국적 전통의 시민과학 활동에 초점을 맞춘 것이라면 아이츨 등(Eitzel et al., 2017)은 유럽적 전통의 시민과학을 포함하여 방법론, 운동, 사회적 역량 등 시민과학이 지향하는 목적에 따라 개념을 포괄적으로 정의하고 있다.

시민과학을 다른 시민참여 또는 과학 활동과 구분하기 위해 시민과학이 갖추어야 할 기본적인 요소 또는 시민과학에 포함할 수 없는 활동을 배제하는 방식의 접근도 있다. 유럽시민과학협회(European Citizen Science Association)가 제시한 시민과학의 10대 원칙은 적극적인 시민참여의 필요성과 중요성, 과학적 결과물, 프로젝트를 통해 시민과 과학자가 얻는 편익, 시민과학 프로그램의 평가 등을 강조하며, 일반적인 과학적 연구와 마찬가지로 참여자의 기여도, 결과의 공개, 저작권 등 윤리적 문제를 제시하고 있다. 맥킨리 등(McKinley et al., 2017, p.16)은 시민과학의 핵심은 과학이므로 연구 설계, 실행, 평가에서도 과학적인 접근이 이루어져야 한다는 점을 강조하며, 밀러-러싱 등(Miller-Rushing et al., 2012)도 진정한 의미의 과학연구에 시민들이 참여하는 것을 시민과학의 중요한 특징으로 언급하고 있다. 아이츨 등(Eitzel et al., 2017)은 투명성, 정보에 기반한 동의가 시민과학 프로젝트 윤리강령의 핵심이므로 시민들에게 그들이 수집한 데이터나 과학적 결과의 활용에 대해 알려주지 않는 프로젝트는 시민과학이 아니라고 보았다. 반면에 다른 용어를 사용하더라도 시민과학과 유사한 프로그램 요소를 가지고 있는 참여적 모니터링, 커뮤니티 과학, 참여적

실행 연구(Participatory Action Research) 등은 시민과학에 포함시켰다.

학자와 기관에 따라 시민과학의 범위와 경계는 약간씩 차이가 있지만 공통적으로 시민과학은 '일반 대중이 과학연구 활동에 자발적으로 참여하여 전문적인 과학자와 협력하는 다양한 방식'으로 정의할 수 있다. 시민과학은 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 특히 환경문제 해결 및 생태계 보전을 위한 수단으로 더욱 활발하게 적용되고 있다(Newson et al., 2017; Pocock et al., 2017). 날씨, 개화시기, 새 관찰과 같은 영역에서 오랜 역사를 가지고 있는 시민과학은 기술발전예 따라 더욱 두드러진 성장세를 보이고 있는데, 시민과학이 이전에는 모으기 어려웠던 데이터 확보를 가능하게 하기 때문이다. 웹의 성장, GPS의 보편화, 컴퓨팅 능력의 고도화, 센싱 기능이 뛰어난 스마트폰, 오픈소스 데이터베이스, 디지털 플랫폼 등 개방성과 빠른 연결성에 의해 시민들이 공간적, 시간적 제약을 받지 않고 대규모로 과학 프로젝트에 참여할 수 있는 환경이 조성되면서 시민과학이 이전과는 다른 양상으로 변모, 확대되고 있다(Fiske et al., 2018; Societize Consortium, 2013; Davies et al., 2016; Haklay et al., 2018).

이와 같이 시민과학은 과학적 데이터의 제약을 극복하는데 도움을 주며, 정부 입장에서는 정책결정을 위해 중앙집중적인 데이터 수집을 보완할 수 있는 비용효과적인 수단이기도 하다. 특히 시민들의 분산된 지식과 과학자들의 체계적인 방법론은 환경변화의 원인이나 추이를 분석하는데 중요한 기초 자료를 제공함으로써 기후변화와 같은 지구적 난제 해결을 위한 새로운 지식생산과 발견에 기여한다. 또한 국제협약에 의한 환경목표 이행 평가에도 유용한데(Bio Innovation Service, 2018, p.20), 지역뿐 아니라 전 지구적 차원의 모니터링과 시간적으로 수십 년 이상의 미시적인 데이터를 필요로 하는 생물다양성협약이나 기후변화협약 이행 모니터링은 전문가나 정책담당자 힘만으로는 한계가 있기 때문이다(Theobald et al., 2015).

공간적, 시계열적으로 대규모 모니터링이 어려운 분야 이외에도 지역에서 시민들의 도움을 얻지 않고는 정보를 얻기 어려운 환경 데이터 수집에

도 시민과학이 중심적인 역할을 하고 있다. 후쿠시마 원전 사고 이후 세이프캐스트(Safecast)는 시민들에게 방사능 측정 센서를 배포하여 일본을 포함한 전 세계 약 2,700만개의 데이터를 수집하여 공개하였으며, 이는 후쿠시마 주변 고농도 방사능의 공간적 분포에 대한 신뢰성 있는 추정치를 제공함으로써 시민의 건강과 안전 보호에 매우 유용한 자료로 활용되었다(Hultquist and Cervone, 2019; Coletti et al., 2017; Bio Innovation Service, 2018, p.19에서 재인용). 또한 데이터와 이미지 분석을 통해 과학적 사실을 해석하고 미묘한 특성의 차이를 파악하는 것도 가능하다.

환경문제가 복합적인 양상을 띠고 환경수요가 다양해지면서 정책을 통해 문제를 해결하기까지 시간적 간극이 발생하고 이에 따라 시민이 체감하는 만족도도 떨어진다. 이러한 간극을 메우는 과정으로 시민들이 직접 나서서 지역의 환경오염을 측정하고 환경질 변화 추이를 관찰하는 시민과학은 현장성과 시의성 측면에서 가치를 가지고 있다. 환경변화를 쉽게 찾아내어 대응이 시급한 문제들을 파악하고 정책의 효과성을 모니터링하며 이를 통해 새로운 과학적 사실을 발견할 가능성도 있다. 코넬대학교 조류실험실의 조류탐사(FeederWatch) 프로그램은 시민들이 수집한 정보에 기초해서 33개 주정부의 가금류와 다른 조류의 질병 확산을 추적할 수 있었다(McKinley et al., 2017, p.18).

특히 커뮤니티 기반 시민과학은 정책결정자들이 관심을 갖지 않거나 우선순위가 낮은 환경문제에 대해 시민들이 직접 데이터를 모아서 관심을 환기시키고 행동을 취하도록 요구하는데 도움을 준다. 지역의 자연자원, 환경에 의해 직접적인 영향을 받는 주민들이 지역적 지식을 동원하여 지역의 상황과 특성에 맞는 해결책을 찾을 수도 있다(McKinley et al., 2017). 또한 시민들은 데이터 수집 경험을 통해 환경문제에 대한 관심과 이해가 높아지고 자신들이 생산한 지식과 데이터를 활용함으로써 환경보전에 대한 책임성과 옹호심이 향상되며, 프로젝트 결과의 지역적 적합성(local relevance)과 효용성도 높일 수 있다(Shirk et al., 2012). 커뮤니티 시민과학은 시민들이 오염도 측정을 위해 오픈소스를 활용하여 기기와 장비를 직접 제작하

는 DIY 과학으로도 확장되고 있다(Bio Innovation Service, 2018, p.20).

시민과학은 증거기반의 환경정책 결정을 촉진하며, 의사결정 과정에서 전문가와 시민들이 공동으로 생산하는 지식의 중요성은 더욱 증가할 것으로 보인다. 각종 개발사업이 환경에 미치는 영향을 평가할 때 기존에 조사된 자료만으로 지역의 생태계에 미치는 위험을 파악하기에 불충분한 경우가 많으며, 이것이 갈등을 초래하는 원인이 되기도 한다. 입장이 대립되는 환경갈등 사안에 대해 단순한 주장이나 입장 표명이 아닌 과학적인 증거를 기반으로 정보와 지식의 상호교환과 학습이 이루어지므로 갈등의 사회적 비용을 줄이고 지역의 문제해결 능력을 높이는 효과가 있다. 시민과학에 의해 수집된 엄청난 양의 데이터는 기존 데이터의 한계를 보완하여 보호종의 분포와 개체 수, 핵심 서식처에 대한 정보를 제공하는 동시에 위험이 높은 지역을 파악하고 개발사업의 부정적인 영향을 줄이기 위한 대안을 도출하는데 기여한다. 패시브 탐지기와 소프트웨어를 사용하여 박쥐 분포와 개체수를 조사한 시민과학 데이터가 풍력단지 개발이나 주택건설이 박쥐 서식처에 미치는 영향을 객관적으로 제시함으로써 의사결정의 근거로 활용된 사례에서도 그러한 효과를 확인할 수 있다(Newson et al., 2017; Border et al., 2017).

Ⅲ. 선행연구 검토 및 분석틀

1. 선행연구 검토

시민과학 활동의 유형과 특성 분석에 가장 많이 적용되는 기준은 시민의 참여 수준과 주도성이다. 시민과학은 과학자와 시민의 협력을 기반으로 이루어지므로 시민들이 과학 활동 전반에 걸쳐 어느 정도의 영향력을 가지고 있는가에 따라 유형을 구분할 수 있는데 보니 등(Bonney et al., 2009)의 연구가 대표적이다. 시민참여 정도가 결과와 밀접한 관련이 있다는 가정 아래 기여모델(Contributory model), 협력모델(Collaborative

model), 공동연구(Co-create) 등 세 가지 유형으로 구분하였다(Bonney et al., 2009, p.18). 기여모델은 과학자가 연구를 설계하고 시민은 주로 과학자가 정한 프로토콜에 따라 데이터를 수집하여 제공하며, 대부분의 시민과학 프로젝트가 이 유형에 속한다. 협력모델(Collaborative model)은 기여모델과 같이 과학자들이 연구를 설계하고 시민들이 데이터 수집에 참여하지만, 시민들이 연구 설계, 데이터 수집 프로토콜 정교화, 데이터 분석 및 해석, 결론 도출, 결과 발표와 확산 등의 단계에도 참여한다는 점에서 차이가 있다. 공동연구(Co-create)는 과학자와 시민이 파트너로서 연구를 설계하고 과학적 과정의 모든 단계 또는 적어도 대부분의 단계에 시민이 적극적으로 참여한다. 커뮤니티 과학(Community science) 또는 참여적 실행 연구가 여기에 해당된다.

셔크 등(Shirk et al., 2012)은 참여의 정도와 참여의 질을 중심으로 보니 등(Bonney et al., 2009)이 제시한 3개 유형을 확장하여 계약(Contract), 기여(Contribute), 협력(Collaborate), 공동연구(Co-create), 동료(Colleagues) 등 5개로 제시하였다. 참여 수준이 가장 낮은 '계약'은 시민 또는 커뮤니티가 과학자에게 연구를 요청하는 유럽의 과학상점 형태이다. 공동연구(Co-create)보다 시민들의 참여 정도와 참여의 질적 수준이 더 높은 동료(Colleagues) 유형은 시민들이 과학적 연구를 독자적으로 수행하는 것으로 지식생산자로서 전통적인 과학자의 역할을 수행한다. 하지만 아마추어 시민의 독립적인 지식생산을 시민과학으로 포함할 것인지에 대해서는 논쟁의 여지가 있다.¹⁾

모지(Morzy, 2015)도 셔크 등과 유사하게 과학연구 단계를 세분화하고 보니 등이 제시한 세 가지 유형의 시민과학을 단계에 따라 매칭시켰다. 기여모델은 시민이 데이터 수집과 표본 분석 과정에, 협력모델은 이에 더하여 연구 설계, 데이터 분석, 데이터 해석, 결론 도출, 결과 확산 과정에 참여한다. 공동연구는 연구 전 과정에 참여하는 것으로 연구 질문의 정의,

1) 셔크 등(Shirk et al., 2012)이 분류한 5개 유형 중 계약형과 동료형의 중간 단계인 기여, 협력, 공동연구 유형은 보니 등(Bonney et al., 2009)과 동일한 유형으로 볼 수 있다.

정보 수집, 가설 설정, 결과에 대한 토론을 포함한다. 셔크 등의 모형에서 시민들이 참여하는 활동이 정도에 따라 2~3개 모델에 걸쳐 있는 반면, 모지(Morzy)는 기여 → 협력 → 공동연구 모델에 해당되는 활동을 선형적으로 제시한 것이 특징이다. 맥클룬 등(MacClune et al., 2018)과 하클레이(Haklay, 2013)가 각각 제시한 평등한 협력 모델 및 익스트림 과학 역시 보니 등의 공동연구 모델과 유사하다.

셔크 등은 또한 과학연구 과정에의 시민참여 활동을 과학자와 시민의 관심에 의한 이슈와 문제 정의(투입), 프로젝트 설계와 실행(활동), 데이터 수집 및 경험 축적(산출), 과학적, 개인적, 사회생태 시스템 차원의 결과물(결과), 생태계 보전 및 지속가능성(영향) 등 프로젝트 과정별로 시민과학의 특성을 반영한 요소를 구체적으로 제시하고 있다. 키스링거 등(Kieslinger et al., 2018)은 셔크 등이 시민과학의 결과로 언급한 과학, 사회생태 시스템, 개인적 차원을 과정과 타당성, 결과와 영향 등 두 개의 축을 중심으로 좀 더 정교한 평가 기준을 제시하고, 각각에 대해 유럽시민과학협회(ECSA)의 10대 원칙을 매치시켰다. 과학적 측면에서는 과학적 목적과의 부합성, 데이터 질과 검증 과정, 참여자들 간의 협력, 과학적 지식의 생산과 출판, 과학과 사회의 지식교환 등이, 참여자 관점에서는 참여의 정도, 상호작용과 커뮤니케이션, 개인의 지식과 과학적 소양 증진, 태도 및 행동 변화와 오너십 등이 과정과 결과를 판단하는 기준이 된다. 그리고 적극적이고 광범위한 참여와 쌍방향 커뮤니케이션, 다양한 주체 간 협력, 환경보전 및 지속가능성, 사회혁신, 경제적 파급효과는 사회·생태·경제적 시스템에서 중요하게 고려해야 할 요소이다.

이외에 디킨슨과 보니(Dickinson and Bonney, 2012)는 프로젝트 주도자(학계 또는 공공), 공간 규모와 기간(글로벌/로컬, 단기/장기), 문제의 유형(패턴 파악에서 가설 설정 등), 목표(연구, 교육, 환경보호 지킴이) 등을 기준으로, 무어(Moore, 2006)는 아마추어 과학자, 활동가, 전문가 등 시민과학 프로젝트를 주도한 주체에 따라 시민과학 활동을 구분하였다. 긴치 등(Kinchy et al., 2014)은 참여적 환경 모니터링 프로젝트 활동의 주요

목적의 인식 제고, 정책변화, 과학적 탐구로 나누고 있으며, 모지(Morzy, 2015)는 교육적 관점에서 시민과학의 영향(impact)을 참여자들의 인식, 이해 및 지식 증진, 참여 또는 관심 제고, 기술 능력 향상, 태도 및 행동 변화로 제시하였다.²⁾

2. 분석틀 및 분석 방법

기존 국내 시민과학 연구는 개별 사례를 중심으로 보니 등에서 제시한 시민과학 유형을 분석한 것이 대부분이며 결과까지 포함하여 환경분야 시민과학 프로젝트를 종합적으로 분석한 연구는 부재하다. 본 연구는 과정과 결과라는 두 축을 중심으로 시민과학 사례를 분석하기 위해 선행연구를 토대로 구성 요소를 도출하여 설문조사 문항을 구성하였다.

먼저 보니 등(Bonney et al., 2009), 셔크 등(Shirk et al., 2012), 모지(Morzy, 2015) 등의 연구를 토대로 시민과학 프로젝트 단계를 문제 제기 및 정의-자료 수집-가설 설정-데이터 수집 방법 설계-데이터 수집-데이터 분석-데이터 해석 및 결론 도출-결과물 발표 및 확산·홍보-결과 평가 및 새로운 질문 도출 등 9단계로 구분하고 시민과 과학자의 참여 정도를 분석하여 유형을 도출한다. 여기서는 기여형(Contribute), 협력형(Collaborate), 공동연구형(Co-create) 등 세 가지 유형으로 구분하였다. 그리고 시민과학의 결과 및 영향을 키슬링거 등(Kieslinger et al., 2018)과 셔크 등(Shirk et al., 2012)의 기준을 반영하여 프로젝트의 목적과 연계하여 평가한다. 선행연구에서는 세 가지 측면에 대해 좀 더 세분화된 평가 기준을 제시하고 있으나 국내 시민과학 여건 및 사례 특성을 고려하여 기준을 단순화하였다.

2) 시민과학을 통해 시민들은 과학적 정보와 환경 이슈, 프로젝트 과정에 대한 이해와 지식을 습득하고, 프로토콜에 적합한 현장 데이터 수집, 측정 도구 사용, 데이터 해석 및 결론 도출 등 기술 활용 능력을 높일 수 있다. 또한 시민과학 프로젝트는 새로운 관심을 촉발하거나 기존의 관심사를 확장하여 관심과 참여를 촉진하는 기회를 제공하며, 과학에 대한 긍정적인 태도를 형성하고 과학 연구와 공동체 활동에 더 적극적으로 참여할 수 있게 된다.

〈그림 1〉 분석틀

과정: 시민참여 유형 및 특성	시민참여 단계 구분		기여형	협력형	공동연구형
	문제 제기 및 정의				○
	자료 수집				○
	가설 설정				○
	데이터 수집 방법 설계			○	○
	데이터 수집		○	○	○
	데이터 분석		○	○	○
	데이터 해석 및 결론 도출			○	○
	결과물 발표 및 확산, 홍보			○	○
	결과 평가 및 새로운 질문 도출				○

결과와 성과	과학	문제에 대한 과학적 증거(데이터) 제공 등 새로운 과학적 지식 생산 및 출판 (연구논문, 보고서 발간 등)
	시민	과학에 대한 시민의 이해, 지식, 역량 증진, 즐거움, 참여 촉진 등
	사회·환경·경제	정책 및 제도 개선, 문제해결, 연구 혁신 등 사회·정치적 파급효과

우리나라는 시민과학으로 명명된 프로젝트나 활동이 아직 초기 단계이고 명확한 개념 정의가 이루어지지 않아 기존 환경단체의 시민참여 모니터링, 리빙랩 등 시민참여 활동과 시민과학 프로젝트 사이의 경계가 불명확한 측면이 있다. 시민과학 프로젝트의 과학적 측면을 좀 더 강조할 경우 과학연구를 수행하기 위한 일련의 과학 활동(Science Activity)과의 부합성 여부가 중요한 판단 기준이 되는 반면 시민참여에 초점을 맞추면 문제 제기, 모니터링, 대안 제시 등 일상적인 시민참여 활동(Civic Action)을 모두 포함하므로 ‘과학’ 또는 ‘환경’ 분야의 특성을 제외하면 다른 시민참여 프로젝트와 매우 유사하다. 전자에 비해 후자는 다양성과 유연성을 견지할 수 있는 장점이 있으나 환경단체에서 그동안 해왔던 시민참여 활동과 구별하기 어렵다는 한계가 있다.

환경(기후변화 및 에너지 포함) 분야 시민과학 사례 선정을 위해 먼저 논문, 보고서, 기사에서 시민과학으로 언급되었거나 시민과학을 표방한 프로젝트를 조사하여 34개의 목록을 작성하였다. 이 중 시민과학을 증거

기반 정책 결정을 지원하기 위한 수단으로 접근하는 본 연구의 목적을 고려하여 데이터 수집과 분석이라는 과학 연구의 기본적인 요소를 포함하면서 과학적 결과물을 도출하는 시민참여 프로젝트를 사례로 선정하였다. 이에 따라 논문에서 시민과학 사례로 언급되었고 시민과학 문헌에서 광의의 시민과학으로 포함하기도 하지만 데이터 수집이나 분석이 포함되지 않은 리빙랩, 메이커 운동, 커뮤니티 매핑, 그리고 과학적 연구 과정에 부합하지 않거나 전문가 위주 활동 또는 시민활동 사례는 제외하였다.

기준에 의해 선정된 18개 사례에 대해 프로젝트 담당자를 대상으로 2개월 동안(2019년 5월 1일~6월 28일) 이메일 설문조사와 인터뷰를 실시하였다.³⁾ 지금까지의 시민과학 사례 연구가 개별 사례들을 중심으로 정성적 분석에 치우쳤던 것에 비해 본 연구는 설문조사와 인터뷰를 통해 우리나라 시민과학 프로젝트의 특징에 대해 제한적이거나 정량적인 분석 결과를 제시할 수 있다는 점에서 차별성을 가진다. 한편 설문조사에 의한 정량적인 분석을 보완하기 위해 국가 해안쓰레기 모니터링, 지구사랑탐사대, 갯벌키퍼스, 시민참여 생물다양성 관측 네트워크(K-BON), 익산시 악취 3355, 시민참여형 대기질 모니터링, 구제역·AI 시민조사단 활동, 인천 저어새 시민모니터링 등 8개 사례에 대해서는 심층 분석을 실시하였다. 주제의 다양성, 공간스케일, 시민참여 특성 등을 고려하여 사례를 선정하였으며 구조화된 설문지에 의해 인터뷰를 실시하고 관련 보고서와 논문 등을 보완적으로 활용하였다.

3) 다만 논문에서 제시된 바다뱀 관찰과 포획의 제보, 한국교원대학교 양서류 모니터링 사업의 경우 프로젝트 담당자 설문조사가 이루어지지 못해 시민과학 유형 등 일부 항목에 대해서만 논문 내용으로 대체하였다.

Ⅳ. 환경문제 해결을 위한 시민과학 사례 분석

1. 시민과학 현황

1) 개요

시민과학 사례로 선정된 18개 프로젝트의 추진 배경은 시민들의 문제 제기를 계기로 시작되었거나(4개), 시민단체 활동(3개) 혹은 전문가 연구(5개)에 시민과학을 적용한 경우, 정부 사업의 일환으로 진행된 사례(6개) 등 4개 유형으로 구분된다.

〈표 1〉 환경분야 시민과학 18개 사례 개요

프로젝트명	분야	공간범위	기간	주요 활동
시민참여형 대기질 모니터링	대기	로컬	1993년 ~	Passive Air Sampler 측정기술을 한국에 도입하여 시민들이 직접 대기 측정 및 모니터링을 한 데이터로 대기 분석 연구 진행
새만금시민생태조사	생태·생물다양성	로컬	2003년 11월~	물새팀, 저서생물팀, 식물팀, 동물팀, 문화팀, 영상팀 등으로 나뉘어 간척 사업의 영향으로 변화하는 생태계와 주민들의 삶의 모습을 모니터링
인천 저어새 시민모니터링	생태·생물다양성	로컬	2009년 ~	인천저어새네트워크 활동의 일환으로 저어새 번식지 관찰 및 주요 서식지 모니터링 활동을 하고 이를 보고서로 발간하여 시민들이 철새 보존에 대한 인식 증진을 위한 홍보용 자료로 활용
야생조류 유리창 충돌 조사	생태·생물다양성	전국	2018년 7월~	우리나라 야생조류 유리창 충돌에 관한 정보를 모으고자 개인(수의사)이 SNS 등을 통해 주도한 프로젝트로 주변에서 발생하는 야생조류 유리벽 충돌에 관한 다양한 정보를 앱에 기록
갯벌키퍼스	생태·생물다양성	전국	2016년~	갯벌 시민모니터링 온라인 플랫폼인 갯벌키퍼스를 개발하여 시민모니터링 결과를 플랫폼에 등록하여 공유, 향후 데이터는 연구 및 정책 반영에 활용
양서·파충류 산란시기 조사	생태·생물다양성	전국	2010년~	한국양서파충류보존네트워크 활동의 일환으로 기후변화 생물지표종에 해당하는 양서·파충류 산란시기 모니터링 및 장기 데이터 구축, 지역별 자료를 취합하여 결과보고서를 작성하고 K-BON 사무국과 공유

구제역· A시시진조사단활동	환경오염 및 환경보건	전국	2011년 2월 ~ 2013년 4월 (완료)	매몰지 현장의 주변 침출수 오염, 주변 생태계 영향 등에 대해 시료채취를 하여 분석하고, 그 결과를 토대로 문제 제기
조류 시민모니터링	생태·생물다양성	로컬	2015년 4월 ~ 2015년 5월 (완료)	연구과제의 일환으로 시민참여형 조류 조사가 진행, 대학연합 아생조류연구회, 김포자연학교, 자연환경조사연구소 회원 등 시민 25명 이상이 참여하여 2주간 서울시 서초구의 조류관찰 현황을 앱에 기록
익산시 악취3355	대기(악취)	로컬	2016년 8월 ~ 2017년 8월 (완료)	스마트폰 앱을 활용해 악취 모니터링 데이터를 구축하고 익산시 관내 악취 유형과 악취발생에 따른 시·공간적 발생빈도 및 분포 특성 파악
바다범 관찰과 포획의 제보 및 오제보	생태·생물다양성	전국	2013년~ 2016년 (완료)	연구자가 직접 확인이나 확보가 어려운 국내 연안 내 바다범 분포에 대한 정보 및 샘플을 시민의 활동을 통해 확보
무미양서류 소리 모니터링	생태·생물다양성	전국	2005년 (완료)	전국 규모의 무미양서류 장기 모니터링 시스템 구축을 위해 학생, 시민, 교사 등이 참여하여 조사를 실시하고 점유 율과 발견율에 따른 서식지 특성 분석 및 영향 요인 추정
지구사랑탐사대	생태·생물다양성	전국	2013년~	매년 모집된 지구사랑탐사대 대원 (가족단위)이 생물종 탐사활동 내용을 온라인에 기재하고, 이를 연구 자료로 구축
시민참여 생물다양성 관측 네트워크 (K-BON)	생태·생물다양성	전국	2013년~	22개 민간단체와 협력해 국가 기후변화 생물지표에 대한 전국 모니터링을 통한 관리체계 구축 및 한반도 생물다양성의 변화 관측과 보전 자료로 활용
국립공원 북방산개구 리 산란 모니터링	생태·생물다양성	전국	2010년~	국립공원연구원의 기후변화 생태계 모니터링 사업의 일환으로 양서류 산란 모니터링을 통한 기후변화 생태계 영향 파악
국가 해안쓰레기 모니터링	폐기물	전국	2008년 ~	시민들의 모니터링 데이터를 바탕으로 해양 폐기물 추적 및 연구를 통한 개선 방안 도출
시화호 조류 모니터링	생태·생물다양성	로컬	2012년~	'제3단계 시화호종합관리계획(2012 ~'16)'의 지역역량강화 분야의 주요한 사업 중 하나로, 시화호유역의 생태환경 보전을 위한 모니터링 활동
경남 제비생태탐구 프로젝트	생태·생물다양성	광역	2010년~	경상남도 교육청 사업의 일환으로 도내 학생들이 참여하여 제비 번식 현황을 앱에 기록
서울시 제비 SOS	생태·생물다양성	광역	2015년~	서울시 제비보호 정책의 일환으로 서울 시내 제비 동지와 개체 수, 번식 유무 등 모니터링 활동 및 제비 보호 관련 시민인식 증진을 위한 생태교육

시민참여형 대기질 모니터링, 새만금시민생태조사, 인천 저어새 시민모니터링, 야생조류 유리창 충돌조사 사례는 각각 시민체감형 대기질 데이터의 부족, 새만금보전을 위한 생태계 모니터링의 필요성, 충돌사고로 인한 야생조류 폐사 등 환경문제에 대한 시민들의 요구를 시민과학으로 접근한 경우이다. 기존 시민단체 활동에 시민과학을 적용한 사례에는 깃별키퍼스, 양서·파충류 산란시기 조사, 구제역·AI시민조사단 활동 등 3개 프로젝트가 해당된다. 조류 시민모니터링, 익산시 악취3355, 바다뱀 관찰과 포획의 제보 및 오제보, 지구사랑탐사대, 무미양서류 소리 모니터링 등 5개 사례는 전문가가 연구 프로젝트에 시민과학 접근을 적용하였다. 정부 지원에 의한 6개 시민과학 사업 중 시민참여 생물다양성 관측 네트워크(K-BON), 국립공원 북방산개구리 산란 모니터링, 국가 해안쓰레기 모니터링, 시화호 조류 모니터링은 중앙정부에 의해 지원되었으며, 경상남도 제비생태탐구 프로젝트, 서울시 제비 SOS는 지자체 자체 사업으로 추진되고 있다.

해외 시민과학 동향과 유사하게 국내 환경관련 시민과학 프로젝트 분야는 생태·생물다양성 분야가 14개(78%)로 압도적으로 많았고, 대기 분야(악취 포함) 2개, 환경오염·보건과 폐기물 분야가 각각 1개로 나타났다. 공간 규모로 보면 전국 단위로 진행되는 프로젝트가 10개(56%)로 가장 많았고, 로컬 6개(33%), 광역 2개(11%) 순이었다.

2) 프로젝트 지속 기간 및 시민참여 빈도

18개 사례 중 5개 사례는 프로젝트가 완료되었으며, 이 중 전문가 연구에 시민과학을 도입한 익산시 악취3355, 조류 시민모니터링, 무미양서류 소리 모니터링은 일회성으로 진행되었다. 서울시 제비 SOS, 깃별키퍼스, 야생조류 유리창 충돌 조사는 시민과학 초기 단계에 있다. 반면 10년 이상 된 장기 프로젝트는 시민참여형 대기질 모니터링, 새만금시민생태조사, 국가 해안쓰레기 모니터링, 국립공원 북방산개구리 산란모니터링, 인천 저어새 시민모니터링, 양서·파충류 산란시기 조사, 경남 제비생태탐구

프로젝트 등 7개이며, 5년 이상 된 프로젝트가 전체의 61%를 차지하고 있다. 프로젝트당 평균 시민참여 빈도는 연간 1회 또는 비정기적(수시)인 경우가 대부분이며, 국가 해안쓰레기 모니터링, 시민참여형 대기질 모니터링, 새만금시민생태조사는 연간 5회 이상 진행되어 장기적이면서 시민참여 활동 빈도가 높은 프로젝트로 나타났다.

〈표 2〉 시민과학 프로젝트 지속 기간 및 시민참여 빈도

프로젝트 지속 기간		연간 시민참여 빈도	
3년 미만	5개	일회성	3개
3~5년 미만	2개	비정기적	6개
5~10년 미만	4개	1~3회	5개
10년 이상	7개	4회 이상	4개

3) 예산 규모 및 재원⁴⁾

지구사랑탐사대, 갯벌키퍼스, 국가해안쓰레기 모니터링, 시민참여 생물 다양성 관측 네트워크(K-BON), 경남 제비생태탐구 프로젝트 등 5개 사례는 예산이 연간 1억 원 이상으로 비교적 규모가 크며, 시민참여형 대기질 모니터링, 시화호 조류 모니터링, 구제역·AI 시민조사단 활동, 인천 저어새 시민모니터링, 서울시 제비 SOS 등 5개 사례는 연간 1~4천만 원 규모로 진행되었거나 진행 중이다. 프로젝트 초기 단계인 야생조류 유리창 충돌조사의 경우 별도의 예산 없이 진행되고 있으며, 나머지 5개 사례는 연 1~6백만 원의 소규모 예산이 투입되었다.

예산이 투입된 17개 사례 중 정부 보조금이 없는 지구사랑탐사대, 갯벌키퍼스, 구제역·AI 시민조사단 활동, 새만금시민생태조사 등 4개 프로젝트는 민간기업 또는 환경단체가 자체적으로 예산을 조달하였다. 특히 연간 예산

4) 바다뱀 관찰과 포획의 제보 및 오제보는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업으로 진행되었으며, 무미양서류 소리 모니터링은 한국과학재단의 지원을 받아 특정기초연구사업으로 진행되었다. 두 사례는 설문조사가 이루어지지 않아 예산 규모를 파악하지 못했다.

이 10억 원 규모로 가장 큰 지구사랑탐사대는 매년 수 천 명의 시민이 참여하는 대규모 프로젝트로 민간이 자체 예산으로 웹사이트 및 앱 운영비용을 충당하고 있다. 정부 보조금으로만 운영되는 국가 해안쓰레기 모니터링, 시민참여 생물다양성 관측 네트워크(K-BON), 경남 제비생태탐구 프로젝트는 연간 예산 규모가 1억 원 이상의 장기 프로젝트의 성격을 띠고 있다.)

4) 목적

프로젝트 목적을 조사한 결과 1순위로 문제해결 및 정책변화가 7개로 가장 많았고, 그 다음으로 과학에 대한 시민의 이해 및 지식 증진(5개), 데이터 및 자료의 효과적 수집(3개), 과학적 조사 및 연구의 민주화(2개), 시민참여 촉진 및 커뮤니티 역량 배양(1개) 순이었으며, 새로운 과학적 지식의 생산 및 기술 개발을 목적으로 한 사례는 없었다.

〈표 3〉 시민과학 목적에 따른 사례 구분

목적	해당 사례
문제해결 및 정책변화(7)	국가 해안쓰레기 모니터링(해안쓰레기 문제해결), 익산시 악취3355(지역의 악취문제 해결), 구제역·시 시민조사단(구제역 관련 정부의 정책 변화 요구), 인천 저어새 시민모니터링(간척지 개발로부터 저어새 보존), 양서·파충류 산란시기 조사(기후변화 영향으로 인한 양서·파충류 보존), 야생조류 유리창 충돌 조사(도심 난개발로 인한 야생조류 개체 수 감소 문제 해결), 서울시 제비SOS(도심 제비 보호 방안 마련)
과학에 대한 시민의 이해 및 지식 증진(5)	지구사랑탐사대, 경남 제비생태탐구 프로젝트, 무미양서류 소리 모니터링(주로 학생 참여, 과학과 환경에 대한 인식과 이해 증진), 시민참여 생물다양성 관측 네트워크, 새만금시민생태조사(생물·생태다양성 및 생태계 보존에 대한 인식과 지식 습득)
데이터 및 자료의 효과적 수집(3)	국립공원 북방산개구리 모니터링, 조류 시민모니터링, 바다뱀 관찰 포획의 제보 및 오제보(연구 활동에 시민과학 적용)
과학적 조사 및 연구의 민주화(2)	시민참여형 대기질 모니터링, 갯벌키퍼스(과학적 연구·조사 과정에 시민참여 촉진)
시민참여 촉진 및 커뮤니티 역량 배양(1)	시화호 조류 모니터링(시화호 유역 생태환경보전을 위한 커뮤니티 역량 배양)
새로운 과학적 지식의 생산 및 기술 개발(0)	-

5) 다만 익산시 악취3355 사례는 지방자치단체 예산이 지원되었지만 다른 정부 지원 사례와 달리 연구자가 연구 프로젝트에 시민과학을 접목한 것으로 일회성으로 그쳤다.

2. 과정 및 결과 분석

1) 과정: 시민참여 유형 및 특성

(1) 참여 시민의 규모 및 특성

국가 해안쓰레기 모니터링, 지구사랑탐사대, 익산시 악취3355 등 3개 사례는 참여 시민이 연간 1,000명 이상으로 대규모이며, 경남 제비생태탐구 프로젝트, 시민참여형 대기질 모니터링은 연 500~1,000명의 시민들이 참여하고 있다. 양서·파충류 산란시기 조사, 갯벌키퍼스, 서울시 제비 SOS, 야생조류 유리창 충돌 조사, 무미양서류 소리 모니터링, 새만금시민생태조사 등 6개 사례는 100~500명이 참여하고 있으며, 나머지 7개 사례는 참여 시민 규모가 100명 미만이다. 프로젝트에 참여한 시민의 특성을 보면 지역 주민, 학생을 포함한 일반 시민이 참여한 경우(6개)보다 해당 분야에 어느 정도 지식이 있거나 관심이 있는 시민단체 및 관련 조직 회원의 참여 비중이 높은 것으로 나타났다.

(2) 시민참여 유형

프로젝트 담당자 설문 및 인터뷰를 통해 일반 시민과 전문가의 참여 정도를 파악하였으며, 시민은 단체나 기관에 소속되어 있지 않은 일반 시민을 의미한다. 시민참여 정도를 기준으로 시민과학 유형을 살펴보면 전문가가 대부분의 프로젝트를 주도하고 시민들이 데이터 수집 과정에 주로 참여하는 기여형(Contribute)은 국가 해안쓰레기 모니터링, 지구사랑탐사대, 바다뱀 관찰과 포획의 제보 및 오제보, 무미양서류 소리 모니터링, 갯벌키퍼스, 시민참여 생물다양성 관측 네트워크, 국립공원 북방산개구리 산란 모니터링 등 7개 사례가 해당되었다. 이들은 주로 전국 단위로 모니터링이 이루어지고 장기적인 데이터 구축을 목적으로 하며, 정부 예산 지원에 의해 시민과학 데이터를 정책 자료로 활용하는 특징을 보이고 있다. 이 중 3개 사례(갯벌키퍼스, 시민참여 생물다양성 관측 네트워크, 국립공원 북방산개구리 산란 모니터링)는 시민들이 문제 제기 및 정의, 자료 수

집 과정에 일부분 참여하기도 한다.

다음으로 시민들이 데이터 수집뿐 아니라 데이터 수집방법 설계, 데이터 분석, 데이터 해석 및 결론 도출, 결과물 발표 및 확산(홍보) 등의 단계에도 적극적으로 참여하는 협력형(Collaborate)에는 가장 많은 9개 사례가 포함되었다. 하지만 이 중 데이터 수집 방법 설계, 데이터 분석, 데이터 해석 및 결론 도출, 결과물 발표 및 확산(홍보) 과정 모두에 시민들이 참여한 사례는 없으며 대부분 결과물 발표 및 확산(홍보)에 집중되어 있다. 협력형으로 분류할 수 있는 9개 사례는 시민참여 스펙트럼이 매우 다양하고 기여형과 협력형의 중간, 협력형과 공동연구형(Co-create)의 중간 단계가 혼재된 특징을 보이고 있다. 9개 사례를 다시 세분화하면 시민참여형 대기질 모니터링, 시화호 조류 모니터링은 공동연구형에, 구제역·AI 시민조사단 활동, 경남 제비생태탐구 프로젝트, 야생조류 유리창 충돌조사, 서울시 제비 SOS, 새만금시민생태조사는 기여형에 보다 가깝다.

마지막으로 시민이 연구를 설계하고 과학적 과정의 모든 단계 또는 적어도 대부분의 단계에 적극적으로 참여하는 형태인 공동연구형(Co-create)에는 인천 저어새 시민모니터링과 양서·파충류 산란시기 조사 등 2개 사례가 해당된다. 인천 저어새 시민모니터링의 경우 지역에 멸종위기 보호종인 저어새가 발견되자, 이를 간척사업으로부터 보호하기 위해 인천 저어새네트워크를 중심으로 자발적인 모니터링 활동과 문제 제기를 통해 정책 변화를 이끌어 내기도 했다. 양서·파충류 산란시기 조사는 한국양서파충류보존네트워크(KEPAR)⁶⁾가 주도적으로 기후변화 지표종에 해당하는 산개구리, 맹꽁이 산란시기를 모니터링하고, 장기 데이터를 구축하고 있다. 이들 사례는 시민들이 시민과학 활동의 전 과정에 주도적으로 참여하여 과학자들과 함께 해답을 찾고 해결책을 모색하는 커뮤니티 과학 또는 참여적 실행 연구 활동으로 볼 수 있다.

6) '양서·파충류가 살 수 없는 환경에서는 인간도 살 수 없다'는 인식을 공유하는 시민과 단체, 전문가들의 양서·파충류 보존을 위한 연대모임으로 서울, 부산, 전라, 충청, 제주에 지부를 두고 전국단위로 활동하고 있다.

〈그림 2〉 시민참여 수준에 따른 시민과학 유형

3가지 유형	공동연구형									
	문제 제기 및 정의	자료 수집	가설 설정	기여형		협력형			결과물 발표 및 확산 홍보	결과 평가 및 새로운 질문 도출
				데이터 수집 방법 설계	데이터 수집	데이터 분석	데이터 해석 및 결론 도출			
국가 해안쓰레기 모니터링					●					
지구사랑탐사대					●					
바다뱀 관찰과 포획의 제보 및 오제보					●					
무미양서류 소리 모니터링					●					
갯벌키퍼스	●	●			●					
시민참여 생물다양성 관측 네트워크(K-BON)		●			●					
국립공원 북방산개구리 산란 모니터링		●			●					
구제역·AI 시민조사단 활동	●	●			●			●	●	
경남 재비생태탐구 프로젝트		●			●	●		●		
야생조류 유리창 충돌 조사		●			●			●	●	
서울시 재비 SOS(Swallow of Seoul)	●	●			●			●	●	
익산시 악취3355	●		●		●			●		
조류 시민모니터링		●		●	●			●		
새만금시민생태조사	●	●			●			●	●	
시화호 조류 모니터링	●	●		●	●			●	●	
시민참여형 대기질 모니터링	●	●	●	●	●			●	●	
인천 저어새 시민모니터링	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
양서·파충류 산란시기 조사	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

2) 주요 결과 및 성과

시민과학 프로젝트의 과학적 성과, 시민 역량 증진 및 참여 촉진 성과, 문제해결 및 정책개선 성과에 대해 5점 척도로 담당자의 의견을 조사하였다. 담당자 설문이 이루어진 16개 사례⁷⁾ 중 10개는 과학적 데이터 제공 및 지식 생산 측면에서 우수(4점 이상)한 것으로 평가되었으며, 과학에 대한 시민의 역량 증진 및 참여 촉진, 문제해결 및 정책개선 측면에서 우수한 성과를 거둔 프로젝트는 각각 14개, 12개로 나타났다. 시민과학 프로젝트 결과를 논문으로 발표하여 과학적 성과로 연결된 사례는 바다뱀 관찰과 포획의 제보 및 오제보, 무미양서류 소리 모니터링, 조류 시민모니터링, 구제역·AI 시민조사단 활동, 국가 해안쓰레기 모니터링, 시민참여형 대기질 모니터링, 지구사랑탐사대 등 7개가 해당되었으며, 나머지는 보고서로 발간되었다.

국가 해안쓰레기 모니터링과 시민참여 생물다양성 관측 네트워크의 경

7) 바다뱀 관찰과 포획의 제보 및 오제보, 무미양서류 소리 모니터링 사례는 담당자 파악이 어려워 설문조사가 이루어지지 못했다.

우 3가지 측면에서 모두 매우 높은 평가(5점)를 받았다. 국가 해안쓰레기 모니터링 사업은 해안쓰레기의 성상과 종류, 발생원에 대한 모니터링을 통해 수집된 데이터를 근거로 해안쓰레기 문제의 원인과 해법을 제시하였으며, 이와 같은 결과는 국제학술지에 논문으로 발표되었다. 또한 조사에 참여하는 지역단체 책임자와 자원봉사자들의 역량과 인식이 향상되어 지역에서 시민과학 프로젝트를 조직화하는 활동으로 나타나고 있다. 시민참여 생물다양성 관측 네트워크(K-BON)는 시민의 생물다양성 보전 및 기후변화 적응정책에 대한 이해를 확산시키고, 기후변화 미래예측 연구로 기후변화에 의한 생물다양성 취약지역을 확인하였으며, 시민관측 결과와 표본정보를 활용한 현재의 분포정보 축적으로 향후 생물종 분포예측 연구의 실질적인 토대를 마련하는 성과를 거두고 있다.

과학적 데이터 제공 및 지식생산 성과가 두드러진 다른 사례로 구제역·AI 시민조사단은 환경부에서 개발하였으나 사용되지 않던 측정 기법을 적용한 객관적인 데이터를 근거로 가축 매몰지 문제를 제기하였고, 지구사랑탐사대 활동은 수원 청개구리 서식처와 멸종과정 분석에 중요한 기여를 하였으며 그 결과가 국제학술지에 논문으로 게재되었다. 서울 도심의 조류분포를 조사한 조류 시민모니터링 결과는 도심 내 조류 서식환경 개선 정책의 근거 자료가 되었으며, 익산시 악취3355 역시 악취 발생 시점과 장소, 악취 유형에 대한 시민과학 데이터를 정책 의사결정에 활용하였다. 시화호 조류 모니터링, 양서·파충류 산란시기 조사 역시 지속적인 모니터링을 통해 장기 데이터를 구축함으로써 전문가 모니터링의 한계를 보완하는 역할을 하고 있다.

과학에 대한 시민의 역량 증진 및 참여 촉진 측면에서는 경남 제비생태탐구 프로젝트가 교내 제비생태탐구 동아리를 지원하고 한국·일본·대만 제비캠프를 운영하여 학생들의 참여를 촉진함으로써 매우 우수한 수준으로 평가되었다. 지구사랑탐사대는 가족 단위 시민과학 프로젝트로 아이들에 대한 교육적 효과뿐 아니라 가족이 모두 자연환경에 관심을 가지고 함께 환경보전을 실천하는 변화로 이어졌다. 특히 참여자들의 흥미를 유발

하고 동기를 유발하는 프로그램을 제공하여 지속적인 참여를 유도하고 과학적 관심을 확장하는 효과를 거두었다.

시민과학을 통한 문제해결 및 정책개선 효과도 다양하게 나타났다. 인천 저어새 시민모니터링의 경우 시민들이 장기간에 걸쳐 축적한 데이터가 남동유수지 부근 하수처리장건립 계획을 저지하고 준설계획을 변경하는 근거로 활용되었다. 악취3355 앱에 의한 시민과학 데이터를 토대로 분석한 악취 모델링 결과는 지역의 악취 원인을 찾아내어 서부지역 악취 문제를 해결하는데 기여하였으며, 패시브 샘플러(Passive Air Sampler)를 이용한 시민참여형 대기질 모니터링은 지역의 환경문제 해결 역량을 높이는 데 중요한 역할을 하였다. 구제역·AI 시민조사단은 조사 결과와 매몰지 문제에 대한 인식을 확산하고 변경된 구제역 긴급행동지침(SOP) 및 매몰지 관측장 설치 강화에 영향을 미쳤다.

새만금 시민생태조사의 경우 현재 초기에 비해 시민참여 규모가 줄어들고 활동 동력이 약화되어 다른 프로젝트에 비해 성과가 가장 낮게 평가되었다. 한편 서울시 제비 SOS, 갯벌키퍼스, 야생조류 유리창 충돌 조사 사례는 프로젝트 초기 진행단계로 결과물이 도출되지 않아 성과 평가가 이루어지지 못했다. 서울시 제비 SOS는 국립산림과학원에서 3년 동안 축적된 데이터를 검증하고 있으며 향후 모니터링 지역 설정 및 모니터링 방법 개선에 활용할 예정이다. 갯벌키퍼스와 야생조류 유리창 충돌조사는 데이터를 축적하는 과정으로 데이터를 활용한 보고서를 작성하여 공개할 계획인 것으로 나타났다.

〈그림 3〉 시민과학 프로젝트별 주요 성과



3. 시사점

국내 환경분야 시민과학은 생태·생물다양성 분야에서 가장 활발하게 적용되고 있는 것으로 나타나 해외 시민과학과 유사한 특성을 보였다. 환경단체 활동에 시민과학을 적용하거나 환경단체와 전문가가 협력하여 시민과학 프로젝트를 추진하는 사례가 많아 일반 시민보다는 시민단체 및 관련 기관 회원의 참여가 더 적극적으로 이루어지고 있다. 정부 지원사업인 경우에도 환경단체가 중간지원조직으로서 역할을 담당하고 있다. 이는 환경단체의 시민참여 모니터링 활동이 우리나라 시민과학 활성화를 위한 인프라로 확장될 수 있음을 시사한다. 공간적 범위는 로컬보다는 전국 단위의 프로젝트가 많았으나 1,000명 이상이 참여하는 사례는 3개에 불과하였고 대부분 소규모 저예산 사업으로 추진되고 있고 시민참여 빈도가 일회성 또는 비정기적인 경우가 많아 재원 부족과 시민참여의 지속성 문제가 시민과학 활성화에 중요한 과제임을 알 수 있다. 이는 시민과학자의 역량과도 연결되므로 교육·훈련, 툴킷 개발 등을 통해 참여 동기를 부여하고 학습능력을 높이는 프로그램이 병행될 필요가 있다.

국내 환경분야 시민과학은 해외에서 빠르게 증가하고 있는 광범위한 스케일의 데이터 수집보다는 환경문제 해결 및 정책변화를 목적으로 한 프로젝트 비중이 높았다. 이는 시민과학이 시민들이 중요하게 생각하는 문제를 시의적절하게 반영하여 정책의 사회적 연관성을 높이고, 새로운 증거 혹은 기존의 자료를 보완할 수 있는 데이터를 제시함으로써 수요에 맞는 해결책을 제공할 수 있음을 의미한다(Bio Innovation Service, 2018, p.75). 이에 따라 시민참여 유형도 자료와 데이터 수집에 참여하는 단순한 기여형보다는 문제제기 및 정의, 데이터 해석 및 결론 도출, 결과물 발표 및 확산 등 여러 단계에 걸쳐 참여하는 협력형 또는 기여형과 협력형이 혼합되어 시민들이 좀 더 적극적인 역할을 수행하고 있는 것으로 나타났다. 인터뷰 결과 협력형과 공동연구형 시민과학 프로젝트의 경우 시민과학 활동을 계기로 준전문가 수준의 지식과 전문성을 겸비한 시민과학자로 성장하거나, 지역 환경문제에 관심을 가지고 정책결정 과정에 참여하는

역량 배양 측면에서 긍정적인 효과가 확인되었다. 교육의 관점에서 볼 때도 기존의 체험 중심 환경교육 프로그램에 비해 보다 효과적인 것으로 평가되고 있으며, 특히 자신들이 수집한 데이터가 정책 근거로 활용되는 것에 대해 높은 만족감을 나타내었다.

반면 전문가가 주도하는 기여형 모델은 주로 전국 규모의 장기 모니터링 프로젝트에서 두드러지게 나타났으며, 시민과학 데이터의 정책적 활용도가 높았다. 이는 시민과학 결과물을 의사결정에 반영하기 위한 목적으로 프로젝트가 설계되어 정책담당자가 수용할 수 있는 수준의 시민 모니터링 데이터가 생산되었고, 정부의 정책적 지원으로 프로젝트의 지속성이 보장됨으로써 참여 시민의 경험과 전문성이 축적된 결과이다. 시민과학 프로젝트 규모와 시민참여 수준 간에 인과관계가 명확한 것은 아니지만 전반적으로 공간적 범위가 넓고 대규모 시민이 참여하는 프로젝트일수록 데이터 생산에만 주로 참여하는 기여형에 가까운 반면, 과학자와 시민들 간 상호작용이 여러 단계에 걸쳐 일어나는 협력형 또는 공동연구형은 지역문제 해결을 목적으로 상대적으로 소규모로 이루어지는 커뮤니티 과학의 특성을 지니고 있다(Haklay et al, 2018).

시민과학은 새로운 데이터 제공 등 과학적 지식 생산 및 연구 결과물 발간 등 고유의 과학적 결과물을 도출하는 것을 원칙으로 하며, 이것이 일반적인 시민참여 활동과 시민과학을 구분하는 중요한 기준이기도 하다. 과학적 성과물이 나오지 않은 3개를 제외한 15개 대부분이 시민 대상 사전교육 및 전문가 검증을 통해 데이터 관리가 이루어지고 논문, 보고서, 데이터 등 시민과학 결과물이 공개되고 있었다. 프로젝트 지속 기간이 길수록 시민들이 수집한 데이터가 중요한 성과물로 간주되고 있다. 과학적인 엄밀성의 차이는 있지만 기후변화 적응을 위한 생물종 분포 예측 연구 기반 마련, 악취 발생의 정확한 원인과 유형 파악 및 의사결정 근거 자료 제공, 전문가 모니터링의 한계를 보완하는 생물종 변화 장기 모니터링 데이터 제공, 특정 지역의 환경 변화와 생물종의 관계를 파악할 수 있는 해상도 높은 시계열 데이터 구축, 기존 측정망의 사각지대나 오염원이 밀집

된 지역에 대한 시민체감형 환경질 모니터링, 악취 모니터링과 문제해결을 위한 새로운 접근 방법 제시 등 다양한 측면에서 과학적 지식생산에 긍정적인 기여를 하고 있다.

하지만 시민과학 프로젝트에 대한 체계적인 평가는 이루어지지 않고 있다. 해외에서도 시민과학의 결과물이 전반적으로 논문이 아닌 보고서, 데이터 결과, 보도자료, 블로그 형태의 비공식적인 방법으로 발표되는 비중이 높는데, 이러한 형태의 결과물은 지역의 이해당사자 인식을 높이고 결과를 확산하는 데 효과적이지만 시민과학이 지향하는 '과학의 발전'이라는 목표를 배제함으로써 전통적인 과학연구 조직에서 시민과학을 수용하기 어려운 원인이 되기도 한다(Turrini et al., 2018, p.183). 시민과학 데이터의 품질은 시민과학의 과학적 성과를 좌우하며 시민과학에 대한 정책담당자의 신뢰성에도 밀접하게 관련되어 있다. 특히 대기질, 수질, 악취 등과 같은 환경오염 문제 대응 과정에서 시민과학 데이터와 정부 데이터 간에 갈등이 발생할 여지가 높다. 이에 따라 시민과학의 정책 활용을 위한 잠재력과 실제 이용 간에 괴리가 발생한다는 지적도 있다(Chandler et al., 2017; Bio Innovation Service, 2018, pp.27-28에서 재인용). 다른 한편으로 시민과학이 과학적 엄밀성을 지나치게 강조하다 보면 시민참여가 제한되는 딜레마가 발생할 수 있다(Morzy, 2015). 아직 초기 단계인 국내 시민과학의 특성상 참여 시민의 규모와 데이터 양이 많지 않아 센서를 활용한 대규모 데이터에 비해 품질 관리 문제가 심각하게 제기되지 않고 있으나 증거기반 정책을 위한 시민과학 활용이라는 측면에서 볼 때 시민과학 데이터와 공공데이터의 통합을 위한 방법론과 절차는 매우 중요한 문제이다.

V. 결론

시민과학은 이전에 불가능했던 규모와 수준의 환경 데이터를 확보하는 방법으로 잠재력이 높아지고 있으며, 동시에 커뮤니티의 환경질을 모니터링하고 지역에 적합한 해결책을 찾는 효과적인 방법으로도 주목을 받고 있다. 본 연구는 환경문제 해결을 위한 증거기반 정책 수단으로서 시민과학의 적용 가능성을 탐색하기 위해 시민참여에 의한 과학적 성과를 전제로 한 환경 관련 시민과학 18개 사례를 선정하여 과정과 결과를 분석하였다. 기존의 연구가 단편적으로 시민과학 사례들을 정성적으로 분석하고 시사점을 제시한 것에 비해 이 연구는 처음으로 국내 환경 관련 시민과학의 지형을 종합적으로 조망하고 정성적, 정량적 분석을 통해 시민과학의 유형과 특성을 도출했다는 점에서 의의를 지닌다고 할 수 있다.

시민과학이 전혀 새로운 방법은 아니지만 저비용의 센서와 기술을 활용하여 데이터를 수집하고 분석하는 능력의 빠른 발전을 고려할 때 미래 환경정책에 있어 시민과학의 역할도 증가할 것으로 보인다. 우리나라는 아직 시민과학에 대한 인식이 낮고 시민과학의 정책 활용이 초기 단계에 있다. 해외 주요 시민과학의 특징을 보면 정부의 재정적 지원뿐 아니라 프로젝트 설계 및 집행 과정에서의 적극적인 개입이 환경정책에 시민과학을 적극적으로 활용하는데 중요한 역할을 하고 있다(Hecker et al., 2018; Chari et al., 2017). EU를 비롯하여 독일, 영국, 미국, 호주 등 선진국은 시민과학에 대한 종합적인 전략과 비전을 가지고 정부의 투명성, 과학기술 혁신, 정책결정을 위한 데이터 확보, 시민참여의 전략적 목적 등의 여러 가지 요소를 고려하여 접근하고 있다. 따라서 시민과학에 대한 종합적인 비전과 전략을 수립하고 제도적 기반과 정책적 지원을 통해 시민과학을 활성화할 필요가 있다.

분석을 위해 환경관련 시민과학 프로젝트 담당자 대상으로 설문조사와 인터뷰를 실시하고 관련 논문과 보고서 등을 참고하였다. 하지만 프로젝트 담당자들 중에서도 시민과학의 개념을 정확하게 모르거나 시민참여 환

경 모니터링과 유사하게 생각하는 경우도 있었으며, 과정과 성과에 대해 주관적인 의견이 개입될 소지가 있었다. 또한 분석 대상 사례 수가 해외 연구에 비해 적은 것도 한계이다. 이들 사례는 유럽시민과학협회가 제시한 시민과학 10대 원칙 중 대부분을 충족시켰지만 평가가 이루어진 프로젝트는 한 개도 없었다. 객관적인 평가를 위해서는 시민과학 플랫폼, 평가 기준 및 방법 등 시민과학 지원을 위한 시스템이 마련되어야 한다.

선행연구에서 제시된 기준을 토대로 시민과학 유형을 분석한 결과 국내 시민과학은 기여형에서 협력형, 공동연구형으로 선형적으로 발전하는 모델보다는 다소 복합적인 형태를 보였다. 이는 프로젝트 담당자의 주관적인 판단이 작용한 결과로 볼 수도 있지만 다른 한편으로는 과학적 연구 과정 단계별 시민참여 기준이 다양한 스펙트럼을 가진 시민과학의 유형과 특성을 충분히 반영하지 못함을 보여주는 것이기도 하다. 이에 대해서는 국내 시민과학의 특성을 반영한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

마지막으로 본 연구는 시민과학의 범위를 데이터 수집과 생산, 과학적 측면을 강조하여 사례를 선정하고 유형과 특성을 분석하였다. 시민과학은 기준에 따라 DIY, 커뮤니티 매핑, 시민들이 수동적인 센서가 되어 참여하는 방식까지 모두 포함할 수 있으므로 향후 시민과학의 범위를 확대하여 국내 시민과학의 지형을 보다 거시적으로 분석하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

■ 참고문헌 ■

- 김동광, 2002, “생명공학과 시민참여: 재조합 DNA 논쟁에 대한 사례 연구,” 『과학기술학연구』, 2(1), pp.107-134.
- 김성희·김은지, 2019, “시민참여형 환경교육 프로그램을 통한 지속가능성 강화 방안 제언: 사회적 가치 구현 효과를 중심으로,” 『환경정책』, 27(3), pp.237-250, DOI: 10.15301/jepa.2019.27.3.237.
- 김수경·성하철·박대식·박시룡, 2006, “무미양서류의 음성 신호를 이용한 생물 모니터링의 수행에 따른 중·고등학생들의 환경 인식 변화,” 『환경교육』, 19(1), pp.104-115.

- 김윤정·이현우, 2016, 『시민과학의 자연환경조사 적용방안 연구』, (KEI working paper: 2016-09), 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 김일훈·박재진·최우진·구교성·박대식, 2017, “국내 연안에서 바다뱀 관찰과 포획의 제보 및 오제보 분석”, 『한국환경생태학회지』, 31(5), pp.455-460, DOI: 10.13047/KJEE.2017.31.5.455.
- 김자경, 2014, “환경갈등 조정에 관한 공동자원론적 접근: 일본의 물 정책과 플래시방류 사회실험을 중심으로”, 『경제와사회』, 102, pp.179-207, DOI: 10.18207/criso.2014..102.179.
- 김정수, 2011, “구제역 정책실패로 인한 환경문제와 시민과학”, 『환경사회학연구』, 15(1), pp.86-119.
- 김지연, 2018, “한국의 시민과학이 전하는 메시지:1982~2018”, 『과학기술학연구』, 18(2), pp.43-93.
- 김찬국·이은주, 2014, “생태연구와 생태교육을 위한 ‘시민과학’: Cornell Lab of Ornithology 모델을 중심으로”, 『한국환경교육학회 학술대회 자료집』, 국립생태원, pp.56-60.
- 김환석, 2001, “참여연대 시민과학센터와 과학기술민주화운동”, 『다른과학』, 10, pp.19-25.
- 박시룡·박대식, 2007, 『무미 양서류의 음성신호를 이용한 장기 환경 모니터링 시스템의 구축』, (특정기초연구지원), 과천: 과학기술부.
- 박진희, 2004, “과학기술 관련 시민사회운동의 역사와 그 역할”, 『과학기술학연구』, 4, pp.111-140.
- 박진희, 2007, “6월 항쟁과 과학기술계”, 『역사비평』, pp.146-158.
- 박진희·강운재, 2018, “환경 문제, 시민지식 그리고 시민과학-시민과학의 환경 문제 해결 가능성과 과제-”, 『환경철학』, 25, pp.93-124, DOI: 10.35146/jecoph.2018..25.004.
- 박하나·서영선·김지예·이수아·유태선·전영석, 2016, “시민 과학 활동을 바탕으로 한 초등학교 3학년 융합인재교육(STEAM) 프로그램 개발 및 적용 결과”, 『한국초등과학교육학회 제70차 동계학술대회 자료집』, 부산교육대학교, p.81.
- 박희제, 2003, “생명공학논쟁을 통해 본 성찰적 과학의 전망: 생명공학자와 시민단체에 대한 인터뷰를 중심으로”, 『한국사회학』, 37, pp.187-214.
- 백인환·진선덕·유재평·임병희·전병선·이상보 등, 2014, “야생조류 정보 수집과 활용을 위한 시민과학의 접근과 적용-eBird 사업을 중심으로”, 『한국환경생태학회 학술대회논문집』, 국립중앙과학관, 2014(2), pp.108-109.
- 서영선·전영석, 2016, “시민과학 활동 중심 초등학교 4학년 융합인재교육(STEAM) 프로그램 개발 및 적용 결과”, 『한국초등과학교육학회 제70차 동계학술대회 자료집』, 부산교육대학교, p.88.
- 송재영·이호·김미란·박홍철·박은하, 2018, “시민과학을 통한 국립공원 북방산개구리

- 산란모니터링,” 『제11회 한국양서파충류학회 학술발표대회 자료집』, 국립생태원, p.10.
- 송진웅, 1999, “영국에서의 과학 - 기술 - 사회 교육의 태동과 발전 과정(I) - 19세기 초반에서 20세기 중반까지를 중심으로,” 『한국과학교육학회지』, 19(3), pp.409-427.
- 윤상균, 2009, “사회과 STS 시민성 교육의 방안 탐색: 과학기술 시민성을 중심으로,” 『사회과학교육연구』, 10, pp.13-44.
- 이영희, 2009, “기술과 시민: ‘국가재난질환 대응체계 시민배심원회의’의 사례,” 『경제와 사회』, 6(82), pp.216-239.
- 장진아, 2018, “시민과학(Citizen Science) 기반 도시환경교육 프로그램의 개발과 적용,” 박사학위 논문, 한국교원대학교, 청주.
- 정지호·최희정·최석문, 2018, 『시민 참여형 연안·해양정보 생산·활용방안』, (현안연구; 2018-11), 부산: 한국해양수산개발원.
- 한재각, 2001, “한 계단 위, 그곳에서 꾸는 꿈과 도전: 2001년 시민과학센터 운동,” 『다른 과학』, 10, pp.36-42.
- Bio Innovation Service, 2018, *Citizen science for environmental policy: Development of an EU-wide inventory and analysis of selected practices*, Final report for European Commission, Brussels: European Commission.
- Bonn, A., A. Richter, K. Vohland, L. Pettibone, M. Brandt, and R. Feldmann et al., 2016, *Green paper: Citizen science strategy 2020 for Germany*, Berlin: Bürger schaffen Wissen(GEWISS).
- Bonney, R., H. Ballard, R. Jordan, E. McCallie, T. Phillips, and J. Shirk et al., 2009, *Public participation in scientific research: Defining the field and assessing its potential for informal science education*, (A CAISE inquiry group report), Washington D.C: Center for Advancement of Informal Science Education(CAISE).
- Border, J. A., S. E. Newson, D. C. J. White, and S. Gillings, 2017, “Predicting the likely Impact of urbanisation on bat populations using citizen science data, a case study for Norfolk, UK,” *Landscape and Urban Planning*, 162, pp.44-55, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.02.005.
- Chandler, M., L. See, K. Copas, A. M. Z. Bonde, B. C. López, and F. Danielsen et al., 2017, “Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring,” *Biological Conservation*, 213, pp.280-294, DOI:10.1016/j.biocon.2016.09.004.
- Chari, R., L. J. Matthews, M. S. Blumethal, A. F. Edelman, and T. Jones, 2017, *The promise of community citizen science*, Santa Monica, California: RAND Corporation.

- Coletti, M., C. Hultquist, W. G. Kennedy, and G. Cervone, 2017, "Validating safecast data by comparisons to a U.S. department of energy Fukushima prefecture aerial survey," *Journal of Environmental Radioactivity*, 171, pp.9-20, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.01.005.
- Davies, L., R. Fradera, H. Riesch, and P. Lakeman-Fraser, 2016, "Surveying the citizen science landscape: An exploration of the design, delivery and impact of citizen science through the lens of the open air laboratories (OPAL) programme," *BMC Ecology*, 16(S1), DOI: 10.1186/s12898-016-0066-z.
- Dickinson, J. L. and R. Bonney, 2012, *Citizen science: Public participation in environmental research*, New York: Cornell University Press.
- Eitzel, M. V., J. L. Cappadonna, C. Santos-Lang, R. E. Duerr, A. Virapongse, and S. E. West et al., 2017, "Citizen science terminology matters: Exploring key terms," *Citizen Science: Theory and Practice*, 2(1), pp.1-20, DOI: 10.5334/cstp.96.
- Fiske, A., L. Del Savio, B. Prainsack, and A. Buyx, 2018, Conceptual and ethical considerations for citizen science in biomedicine, In N. B. Heyen, S. Dickel, and A. Brüninghaus (eds.), *Personal health science*, (pp.195-217), Wiesbaden: Springer.
- Haklay, M., 2013, Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation, In D. Sui, S. Elwood, and M. Goodchild (eds.), *Crowdsourcing geographic knowledge: Volunteered geographic information (VGI) in Theory and Practice*, (pp.105-122), Berlin: Springer.
- Haklay, M., S. Mazumdar, and J. Wardlaw, 2018, Citizen science for observing and understanding the earth, In P. P. Mathieu, and C. Aubrecht (eds.), *Earth observation open science and innovation*, (pp.69-88), Cham, Switzerland: Springer.
- Hecker, S., R. Bonney, M. Haklay, F. Hölker, H. Hofer, and C. Goebel et al., 2018, "Innovation in citizen science – perspectives on science-policy advances", *Citizen Science: Theory and Practice*, 3(1), pp.1-14, DOI: <http://doi.org/10.5334/cstp.114>.
- Hultquist, C. and G. Cervone, 2019, "Comparison of simulated radioactive atmospheric releases to citizen science observations for the Fukushima nuclear accident," *Atmospheric Environment*, 198, pp.478-488, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.10.018.
- Kieslinger, B., T. Schäfer, F. Heigl, D. Dörler, A. Richter, and A. Bonn, 2018,

- Evaluating citizen science: Towards an open framework, In S. Hecker, M. Haklay, A. Bowser, J. Vogel, and A. Bonn (eds.), *Citizen science: Innovation in open science, society and policy*, (pp.81-95), London: UCL Press.
- Kinchy, A. J., K. Jalbert, and J. Lyons, 2014, "What is volunteer water monitoring good for? Fracking and the plural logics of participatory science," *Political Power and Social Theory*, 27, pp.259-289, DOI: 10.1108/S0198-8719-2014_0000027017.
- MacClune, M., K. Venkateswaran, B. Wahab, S. Petersen, N. Mani, and B. Singh et al., 2018, Chapter 12: Collaborative and equitable urban citizen science, In T. Elmqvist, X. Bai, N. Frantzeskaki, C. Griffith, D. Maddox, and T. McPhearson et al. (eds.), *Urban planet*, (pp.239-260), Cambridge: Cambridge University Press.
- McKinley, D. C., A. J. Miller-Rushing, H. L. Ballard, R. Bonney, H. Brown, and S. C. Cook-Patton et al., 2017, "Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection," *Biological Conservation*, 208, pp.15-28, DOI: 10.1016/j.biocon.2016.05.015.
- Miller-Rushing, A., R. Primack, and R. Bonney, 2012, "The history of public participation in ecological research," *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), pp.285-290, DOI: 10.1890/110278.
- Moore, K., 2006, Powered by the people: Scientific authority in participatory science, In S. Frickel and K. Moore (eds.), *The new political sociology of science*, (pp.299-323), Madison: University of Wisconsin Press.
- Morzy, M., 2015, "ICT services for open and citizen science," *World Wide Web*, 18(4), pp.1147-116, DOI: 10.1007/s11280-014-0303-3.
- Newson, S. E., H. E. Evans, S. Gillings, D. Jarret, R. Raynor, and M. W. Wilson, 2017, "Large scale citizen science improves assessment of risk posed by wind farms to bats in southern Scotland," *Biological Conservation*, 215, pp.61-71, DOI: 10.1016/j.biocon.2017.09.004.
- Pocock, M. J. O., J. C. Tweddle, J. Savage, L. D. Robinson, and H. E. Roy, 2017, "The diversity and evolution of ecological and environmental citizen science," *PLoS One*, 12(4), e0172579, DOI: 10.1371/journal.pone.0172579.
- Serrano Sanz, F., T. Holocher-Ertl, B. Kieslinger, F. S. Garcia, and C. G. Silva, 2014, *White paper on citizen science for Europe*, Societize, Brussels: European Commission.
- Shirk, J. L., H. L. Ballard, C. C. Wilderman, T. Phillips, A. Wiggins, and R. Jordan et al., 2012, "Public participation in scientific research: A framework for

deliberate design,” *Ecology and Society*, 17(2), pp.29-48, DOI: 10.5751/ES-04705-170229.

Societize Consortium, 2013, *Green paper on citizen science – Citizen science for Europe: Towards a better society of empowered citizens and enhanced research*, Brussels: European Commission.

Theobald, E. J., A. K. Ettinger, H. K. Burgess, L. B. DeBey, N. R. Schmidt, and H. E. Froehlich et al., 2015, “Global change and local solutions: Tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research,” *Biological Conservation*, 181, pp.236-244, DOI: 10.1016/j.biocon.2014.10.021.

Turrini, T., D. Dörler, A. Richter, F. Heigl, and A. Bonn, 2018, “The threefold potential of environmental citizen science – Generating knowledge, creating learning opportunities and enabling civic participation,” *Biological Conservation*, 225, pp.176-186, DOI: /10.1016/j.biocon.2018.03.024.

고재경: 2001년 서울대학교 환경대학원에서 행정학 박사학위를 취득하고, 현재 경기연구원 선임연구위원으로 재직 중이며, 주요 관심 분야는 기후변화·에너지 정책, 거버넌스, 지속가능발전이다. 주요 논문으로는 “공동체 에너지 시민참여와 확산은 어떻게 이루어지는 가?: 재생에너지 협동조합을 중심으로”(2019), “주택 에너지효율 개선 사례 연구”(2018), “지방자치단체 기후변화 적응 거버넌스 변화 연구”(2017) 등이 있다(kjk1020@gri.re.kr).

예민지: 2018년 서울대학교 환경대학원에서 도시계획학 석사학위를 받았다. 석사학위 논문제목은 “1인 가구 에너지 소비행태 분석”이다. 현재 경기연구원 연구원으로 재직 중이며, 관심분야는 기후변화·에너지 정책, 환경경제, 지속가능발전이다(ymj472@gri.re.kr).

투 고 일: 2020년 11월 08일
 심 사 일: 2020년 11월 19일
 게재확정일: 2020년 11월 30일