

기후변화 적응을 위한 시민과학의 잠재력 : 적응 지식 간극을 중심으로*

고재경** / 예민지***

이 연구의 목적은 기후변화 적응능력 향상 및 적응정책의 효과성 제고를 위해 시민참여를 촉진하고 적응 지식의 간극을 메울 수 있는 수단으로서 시민과학의 활용 가능성을 모색하는 것이다. 국가 기후변화 적응정책이 본격적으로 시행된 지 10년 이상이 지났고 과학에 기반한 적응, 시민참여 거버넌스의 중요성이 강조되어 왔지만 두 이슈를 접목하는 접근이나 구체적인 프로그램은 부족하다. '자발적 시민참여', '과학적 요소'와 '개방성'을 특징으로 하는 시민과학은 기후변화 위험 저감을 위한 과학 및 증거 기반 정책을 지원하는 도구로서 잠재력이 높다. 전 세계적으로도 기후변화의 추이, 원인, 영향 및 대응을 이해하는 수단으로서 시민과학은 기후변화 정책 수립 및 연구에 유용한 정보를 제공하는 역할을 하고 있다. 적응 전문가를 대상으로 한 설문조사 결과 우리나라 적응정책 수립과 이행을 위한 지식과 정보 수준은 전반적으로 부족하며 국가와 로컬 간 정보 격차도 큰 것으로 나타났다. 지식이나 정보의 절대적인 부족보다 상대적으로 지식의 통합, 지식 이전과 사용이 더 심각한 문제로 인식되고 있다. 전문가들은 시민과학이 적응 지식 간극을 줄이는데 긍정적인 역할을 할 것으로 보았으며, 시민과학의 비용 대비 효용성도 높게 평가되었다. 로컬 차원에서는 모든 항목에서 비용을 상쇄할 만큼 시민과학의 효용성이 높게 나타났다. 하지만 분야별로 적응 지식 간극 유형 및 적응정책 정보의 세부 항목에 따라 시민과학의 효용성은 차이를 보였다. 따라서 적응 분야별로 정책 수립과 이행에 필요한 지식과 적응 목표와의 격차를 체계적으로 조사하고, 기후변화 관련 시민참여 프로그램에 대한 매핑 분석을 토대로 시민과학의 효용성이 높은 우선순위와 활용 기회를 파악할 필요가 있다. 그리고 적응 지식의 간극을 파악하는 과정에 지역의 이해당사자 참여가 중요하다.

주제어 _ 기후변화 적응, 시민과학, 적응 지식 간극, 시민참여, 과학적 리스크 관리

* 본 논문은 고재경 외(2020) 『기후변화 적응을 위한 시민과학 활용 방안 연구』, 경기연구원 보고서 내용의 일부를 수정·보완한 것임을 밝혀둔다.

** 경기연구원 생태환경연구실 선임연구위원(제1저자, 교신저자)

*** 경기연구원 생태환경연구실 연구원(제2저자)

The Potential of Citizen Science for Climate Change Adaptation: Focusing on the Adaptation Knowledge Gap

Jaekyung Koh* / Minji Ye**

The purpose of this study is to explore the potential of citizen science as a means to promote citizen participation and fill the gap in adaptation knowledge in order to enhance adaptive capacity to climate change and the effectiveness of adaptation policies. Since the implementation of the national adaptation policy, the importance of science-based adaptation and participatory governance has been emphasized, but an approach or specific program that combines the two issues is lacking. Citizen science, characterized by 'voluntary citizen participation', 'scientific element' and 'openness', has a great potential as an approach to support scientific and evidence-based policies for climate risk reduction. Globally, citizen science is providing useful information for climate change policy development and research. As a result of the survey on adaptation experts, it was found that the level of knowledge and information for establishing and implementing Korea's adaptation policies was generally insufficient, and the knowledge gap between the country and the local area was also large. Compared to the absolute lack of knowledge or information, the integration of knowledge, and knowledge transfer and use are recognized as more serious problems. Experts expect that citizen science would contribute to reducing the adaptation knowledge gap, and the cost-effectiveness of citizen science was also highly evaluated. In particular, at the local level, its utility was high enough to offset the cost in all categories. However, the effectiveness of citizen science differed according to the type of adaptation knowledge gap and adaptation information for each field. Therefore, it is necessary to systematically investigate the gap between the knowledge required for policy establishment and implementation by adaptation field and the adaptation goal, and to identify priorities with high utility and opportunities for use of citizen science based on the mapping analysis of climate change-related citizen participation programs. In addition, it is important to engage local stakeholders in the process of identifying adaptation knowledge gap.

Key words _ Climate Change Adaptation, Citizen Science, Adaptation Knowledge Gap, Citizen Participation, Scientific Risk Management

* Senior Research Fellow, Gyeonggi Research Institute(First Author, Corresponding Author)

** Researcher, Gyeonggi Research Institute(Second Author)

I. 서론

기후변화 대응을 위해서는 온실가스를 줄이는 노력과 함께 이미 발생하였거나 발생이 예상되는 기후 변화 영향 피해를 완화하고 예방하는 적응이 병행되어야 한다. 기후변화 적응은 의사결정과정에서 미래 기후변화 전망과 영향 예측, 리스크 분석, 적응 대안에 관한 과학적 분석과 전문가의 역할이 중요하다. 그러나 적응은 물리적 환경뿐 아니라 위험에 대한 사람들의 인식과 태도, 사회·경제적 특성, 문화적 가치와 규범과 같은 다양한 요인에 의해 영향을 받기 때문에 과학적 지식만으로 위험을 관리하는데 한계가 있다. 이에 온실가스를 줄이기 위한 완화에 비해 적응 연구에서 참여적 적응, 커뮤니티 기반 적응 등 상향식 접근이 상대적으로 활발하게 이루어지고 있다. 위험관리 패러다임 역시 민간주체가 적극적인 위험경감 투자와 행동을 통해 책임과 역할을 분담하는 방향으로 바뀌고 있다(고재경·이우평, 2016).

특히 IPCC의 1.5도 특별보고서 채택과 함께 기후변화 문제가 인류의 생존을 위협하는 위기로 인식되면서 기후위기 대응 비상 행동을 촉구하는 시민의 목소리와 참여도 확산되고 있다. 하지만 기후변화 위험에 대한 시민들의 인식과 실천 행동은 여전히 미흡한 수준이며 적응에 필요한 지식의 간극(adaptation knowledge gap)은 적응역량과 회복력에 부정적 영향을 미치는 요소로 작용하고 있다(UNEP, 2014). 이런 측면에서 시민과학은 시민참여를 통해 기후변화 위험에 대한 시민 인식과 문제 해결 능력을 높이고 과학 및 증거기반 정책을 지원하는 수단으로 주목을 받고 있다. 앨런 어윈(Alan Irwin)은 그의 저서 『시민과학』에서 기후변화와 같은 환경문제와 위험 대응을 위해서는 과학적 지식과 전문성이 필요하지만, 이슈의 특성상 다양한 이해관계자가 개입되어 문제 양상이 복잡하고 불확실성이 높아서 과학적으로 인과관계를 규명하기 어렵기 때문에 대안적인 접근이 필요하다는 점을 강조하였다(앨런 어윈, 2011).

시민과학은 19세기부터 시작된 만큼 그 역사가 매우 오래되었다. 해외에서는 시민들이 날씨 및 생물 계절을 기록하고 재해 관련 데이터를 수집·분석하는 과정에 참여하여 기후변화 정책에 도움을 주는 시민과학 활동이 활발하게 이루어지고 있다. 코로나19 이후 비대면 디지털 사회로의 확산에 따라 시민들의 시민과학 프로젝트 참여도 빠르게 성장할 것으로 기대된다(Darby, 2020).¹⁾ 또한 적응은 지역 특성

1) 코로나19로 인한 봉쇄조치 기간 동안 시민과학 참여 건수가 급속하게 증가한 것으로 나타났다. 주니버스(Zooniverse)에 따르면 2020년 4월 초에 이미지 분류 작업 참여 건수가 평소 보다 네 배 많은 5백만 건을 기록하였고 3만 명의 신규 시민과학자가 등록한 것으로 파악되었다.

을 고려한 맞춤형 대책 수립을 위해 소규모 공간 단위의 상세한 정보와 지식을 필요로 하므로 기존 정보의 사각지대 해소 및 한계를 보완하는 시민과학의 잠재력도 높아질 전망이다.

시민과학의 다양한 편익과 가치에 주목하여 정부의 정책적 지원이 증가하는 세계적 추세와 달리 우리나라는 아직 시민과학에 대한 관심이 부족하고 인프라도 미흡하다. 생태계 보전을 위한 동식물 관찰, 대기질, 수질, 악취, 유해화학물질, 해안쓰레기 발생 등 다양한 분야에서 시민참여 모니터링이 이루어지고 있으나 이들 시민참여 모니터링이 시민과학에 부합하는 활동으로 모두 연결될 수 있는 것은 아니다. 기후변화 분야 역시 생태계, 폭염 모니터링 등 시민과학 적용 분야가 매우 제한적이고 프로그램도 소수에 불과하다. 생태계의 경우 기후변화 적응정책의 일부로 중앙정부 기관이 예산을 마련하여 프로젝트가 추진되고 있는 반면에 폭염 모니터링은 대부분 시민 대상 기후변화 캠페인 성격을 띠며 과학적 접근이 부족해 시민들이 수집한 데이터가 충분히 활용되지 못하는 한계가 있다.

국가 기후변화 적응대책 수립이 법제화된 이후 10년 이상이 경과되었고 과학에 기반한 적응, 시민참여와 거버넌스의 중요성이 강조되어 왔으나 두 이슈를 접목하는 접근이나 프로그램은 부족하다. 특히 시민의 적응능력 향상을 중요한 정책목표로 설정하고 있음에도 이를 평가할 수 있는 지표나 수단도 미흡한 실정이다. 이러한 배경 하에 이 연구는 기후변화 적응능력 향상 및 적응정책의 효과성 제고를 위해 시민참여를 촉진하고 적응 지식의 간극을 메울 수 있는 수단으로서 시민과학의 활용 가능성을 탐색하는 데에 목적이 있다.

2장에서는 시민과학의 개념을 구성하는 요소인 '시민참여'와 '과학'을 기후변화 적응의 리스크 관리 거버넌스 특성과 연결하여 적응과 시민과학의 접점을 모색하였다. 다음으로 3장에서는 효과적인 적응의 장애요인인 기후변화 적응 지식 간극(adaptation knowledge gap)에 대한 이론적 배경을 살펴보고 지식 간극을 메울 수 있는 시민과학의 잠재력 측면에서 연구 동향을 파악하였다. 4장에서는 적응 전문가 대상 설문조사를 통해 우리나라 적응지식 간극 현황 및 시민과학의 적용 가능성을 진단하고 시사점을 도출하였다.

II. 기후변화 적응과 시민과학의 접점

국제적으로 기후변화 대응을 위한 시민참여의 중요성이 강조되면서 지난 20년 동안 기후변화 분야에서 시민과학 사례도 증가하고 있으나 기후변화 현상과 영향 연구에 적극적으로 활용되기 시작한 것은 최근에 와서이다(Silvertown, 2009). Web of Science의 기후변화 적응 분야 시민과학 연구 동향을 분

석한 휴겔과 데이비스(Hügel and Davies, 2020)에 의하면 기후변화 적응 분야에서 시민과학이 활용된 논문은 2000년부터 출간되기 시작하였다. 이는 2000년 이전까지 기후변화 적응은 온실가스 감축에 비해 상대적으로 관심을 받지 못했고(Massey and Huitem, 2013), ‘기후변화의 영향, 적응, 그리고 취약성’을 강조하는 IPCC의 3차 보고서가 2001년에 발표되면서 적응의 중요성이 대두되었기 때문으로 보인다(McCarthy et al., 2001). 또한 웹의 성장, GPS의 보편화, 컴퓨팅 능력의 고도화, 센싱 기능이 뛰어난 스마트폰, 오픈소스 데이터베이스, 디지털 플랫폼 등 기술 발전에 따라 데이터 확보가 용이해지고 시민들이 공간적, 시간적인 제약을 벗어나 대규모로 참여할 수 있는 환경이 조성된 것도 시민과학의 성장에 중요한 요인으로 작용하고 있다(고재경·예민지, 2020:186).

시민과학을 제도화한 미국 ‘크라우드소싱 및 시민과학법(Crowdsourcing and Citizen Science Act of 2016)’은 시민과학을 ‘개인이나 단체가 연구 질문의 형성, 프로젝트 설계 및 정교화, 과학적 실험, 데이터 수집 및 분석, 데이터 결과의 해석, 기술개발과 적용, 과학적 발견, 문제해결 등 다양한 방식의 과학적인 활동 과정에 자발적으로 참여하는 공개 협력의 형태²⁾로 규정하며, 유럽 시민과학백서(White Paper on Citizen Science for Europe)도 이와 유사하게 ‘일반 대중이 과학연구 활동에 참여하여 지적 노력, 배경지식, 도구나 자원을 통해 과학에 적극적으로 기여하는 것’으로 정의하고 있다. 학자와 기관에 따라 시민과학의 개념은 약간씩 다르지만 공통적으로 시민과학은 전문적인 훈련을 받지 않은 사람들이 과학연구 활동에 자발적으로 참여하여 과학자와 협력하는 다양한 방식을 의미한다. 시민의 자발적 참여를 포함한다는 점에서 시민과학은 전통과학과 차이가 있으며, 시민과학의 과학적 특성은 시민과학과 다른 시민참여 활동을 구분짓는 요소라고 할 수 있다.

시민과학과 기후변화 적응의 접점은 시민과학 개념을 특징짓는 요소와 기후변화 적응을 위한 리스크 관리와 거버넌스 특성에서 찾을 수 있다. 기후변화 적응은 “현재 나타나고 있거나 미래에 나타날 것으로 보이는 기후변화의 파급효과와 영향에 대해 자연, 인위적 시스템이 조절을 통해 피해를 완화시키거나, 더 나아가 유익한 기회로 촉진시키는 활동”을 의미한다(IPCC, 2007:720). 2014년 발표된 IPCC 5차 보고서는 적응정책을 리스크(risk) 관리 중심으로 전환할 것을 강조하였다. 가속화되는 지구온난화는 기후시스템과 인간사회를 위협하는 “기후위기”로 인식되고 있다. 이러한 위협에 효과적으로 대비하고 관리하려면 관찰된 기후시스템의 변화와 원인, 기후시스템 변화 예측, 미래 리스크와 영향, 적응 경로에 관한 체계적이고 과학적인 지식과 이해는 매우 중요하며, 특히 기후과학을 적극적으로 활용하는 지식 집약적 적응관리와 정책결정이 필요하다(Bauer et al., 2014;Lemos et al., 2012). 대표적으로 전

2) H.R.6414–Crowdsourcing and Citizen Science Act of 2016, <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/6414/text>, 미국 의회 홈페이지.

세계 과학자가 참여하여 주기적으로 기후변화 위험과 영향, 실현가능한 대응 전략을 평가하는 IPCC³⁾ 보고서는 기후변화에 관한 진전된 최신의 지식과 정보를 제공하고 유엔기후변화협약(UNFCCC)에서 정부 간 협상의 근거 자료로 활용되고 있다.

하지만 기후변화는 불확실성을 내포하고 있어서 과학적 지식만으로 위험을 모두 제거하기가 어렵고, 각 지역의 특수 상황이나 사람들이 위험을 인식하고 행동을 취하는 사회·문화적 맥락에 따라 영향이 다르게 나타난다(Adger et al., 2009; IPCC, 2014; 이승준 외, 2018). 2000년 이후 빠르게 증가하고 있는 적응과 시민참여에 관한 연구 주제를 보면 위험 인식과 커뮤니케이션이 중심을 이루고 있으며(Hügel and Davies, 2020), 참여적 적응(participatory adaptation), 참여적 적응계획, 커뮤니티 기반 적응 역시 공통적으로 적응을 위한 지역 지식과 커뮤니티의 역할을 강조하고 참여적 방식에 의한 사회적 학습과 다학제 간, 장소 기반 접근에 의해 효과적인 적응이 가능하다고 본다(McNamara and Buggy, 2016). 이는 기후변화 문제의 특성상 전문가 중심의 리스크 평가가 기후변화 영향과 위험에 관한 지역적 맥락을 제대로 파악하기 어렵고 커뮤니티가 체감하는 리스크나 적응 대안과 괴리가 있다는 비판에 기초하고 있다.

IPCC가 2018년에 발간한 '1.5℃의 지구온난화에 관한 특별보고서'는 기후변화 리스크 대응 능력 증진 수단으로 적응계획 과정에서의 대중참여를 강조하며(IPCC, 2018), 6차 보고서에서도 기후변화 위험에 대한 인식을 촉진하고 행동에 영향을 미치는 지식 자원으로 시민과학을 언급하고 있다(IPCC, 2022). 다양한 이해당사자가 적응과학의 생산과 사용에 참여하는 참여적 연구는 적응과학의 효용성을 높이고 의사결정 과정에 여러 관점과 지식의 통합을 촉진하는 역할을 하며(Cvitanovic et al., 2019:21), 시민과학자들이 수집한 온도, 습도, 풍속 등의 방대하고 다양한 고해상도 자료는 기후변화 적응정책의 기초자료로 활용할 수 있다(Crimmins and Crimmins, 2008).

3) 기후변화 문제에 대처하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 1988년에 공동 설립하였다.
<http://www.climate.go.kr/home/cooperation/lpcc.php>, 기후정보포털 홈페이지.

Ⅲ. 적응 지식의 간극과 시민과학 활용에 관한 이론적 배경

1. 적응 지식 간극의 개념과 선행연구

기후변화의 영향과 위험은 점점 더 복잡해지고 관리하기 어려워지고 있다(IPCC, 2022). 여러 개의 기후위험이 동시에 발생하고 기후위험과 비기후위험이 상호작용하여 위험이 복합적으로 발생하며 기후변화에 대한 대응이 새로운 영향과 위험을 초래하기도 한다. 적응을 위한 기후 과학, 기후 영향, 취약성 및 위험 저감 방안에 관한 정보는 증가하고 있으나 성공적인 적응 행동을 저해하는 요인으로 적응 지식의 부족이 계속 언급되고 있다. 대표적으로 IPCC 평가보고서(Klein et al., 2014)와 UNEP의 적응 간극 보고서(UNEP, 2014)는 선진국과 개도국에 관계없이 기후변화 계획과 실행에 영향을 미치는 주요 장애물 또는 장벽의 하나로 적응을 위한 기술, 재정과 함께 ‘지식’을 강조하고 있다.⁴⁾ 이는 적응 지식의 수요와 공급을 잘 조정하고 적응 지식 격차를 해소하기 위한 노력이 필요함을 시사한다.

적응 지식의 간극(adaptation knowledge gap)은 적응의 간극(adaptation gap)을 초래하게 되는데, 적응 간극이란 “일반적으로 허용되는 기후변화 영향, 제한된 자원과 선호, 경쟁적인 우선순위에 따라 실제로 달성된 적응과 사회적으로 설정된 목표 간의 차이”를 의미한다(UNEP, 2014). 적응 지식의 간극은 적응 조치를 계획하고 실행하는 정책입안자의 능력을 방해하고, “지식 사용자”가 기후변화의 부정적 영향에 적응하는 것을 저해한다(UNFCCC·UN Environment, 2018). 적응 지식의 간극을 줄이기 위한 기후회복력 지식-행동 네트워크인 리마 적응지식 이니셔티브(Lima Adaptation Knowledge Initiative)는 우선적으로 해결해야 할 지식의 간극 유형으로 지식의 부족(또는 제한된 지식), 기존 지식에 대한 접근성 부족, 실행가능한 지식의 부족(기존 지식의 재포장 등), 지식을 실행가능한 형태로 가공하는 도구와 방법론의 부족, 그리고 네 가지 유형의 혼합을 들고 있다.

이와 유사하게 UNEP는 적응 지식 간극을 지식 생산의 간극, 지식 통합의 간극, 지식 이전 및 사용의 간극으로 구분한다(UNEP, 2014:56-67). 먼저 지식의 생산 측면에서 적응계획을 수립하고 서로 다른 차원의 적응을 최적화하는 데 활용할 수 있는 체계적으로 수집된 데이터와 지식기반이 부족하다. 적

4) IPCC 5차 보고서는 적응 잠재력을 실현하고 단기, 중기 기후 리스크와 영향을 줄일 수 있는 주요 요인으로 자금, 기술, 지식을 들고 있으며, UNEP 적응 간극 보고서도 이에 기초하여 재정, 기술, 지식을 들고 있다. 적응 재정 간극(adaptation finance gap)은 주어진 적응목표를 달성하기 위한 비용과 가용한 재정 간의 차이를, 적응 기술 간극(adaptation technology gap)은 기술 수요 대비 가용한 기술 간의 차이를 의미한다.

응계획 및 실행 지원을 위해 필요한 지식은 지역에서 글로벌에 이르기까지, 정책담당자, 실무자, 전문가, 지역사회 등 사용자에 따라 다양하며, 효과적이고 지속가능한 적응을 위한 지식기반의 간극도 다르게 나타난다. 다학제간 지식을 필요로 하는 적응의 특성상 다양한 출처의 지식과 관점을 통합하는 것이 중요한 과제인데, 지식 통합의 간극은 적응 실행을 위한 분야별 지식의 연계와 통합이 쉽지 않음을 나타낸다. 서로 다른 지식체계를 연결하는 적응 지식 통합의 주요 쟁점 중 하나는 기후위험 해결을 위한 통합적인 방법론의 개발이다. 과학적 지식과 지역적 지식의 통합, 광범위한 규모의 취약성 지표 개발과 모니터링 시스템 구축, 하향식 접근과 상향식 접근 연계, 사회적 의제 설정을 허용하는 혁신 및 개방형 지식 시스템은 그 연장선에 있다. 민간주체, 정부 의사결정자에게 중요한 지식의 간극 문제는 정보 부족보다는 다양한 출처의 지식을 통합하고 선별하여 필요한 정보를 제공해 주는 것이다. 과학적 정보를 정책과의 연관성이나 우선순위와 관계없이 복잡한 용어나 개념을 통째로 제공하거나 생산된 지식을 정책담당자들에게 일방적으로 전달하는 하향식 접근은 과학적 지식이 정책으로 전환되지 못하는 원인이기도 하다(Albris et al., 2020).

리안 등(Ryan et al., 2019)은 UNEP(2014)가 제시한 틀을 중심으로 라틴아메리카 6개국의 정부 공무원 대상 설문조사를 통해 적응 지식의 간극을 진단하였다. 적응정책 결정 및 실행에 영향을 미치는 중요한 지식의 부족(누락되거나 불완전한 정보), 과학자의 부족, 과학자와 공공정책 담당자 간 지식의 공동생산이 직면한 장애물과 어려움, 정책입안자들의 지식 수용과 활용에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 적응정책 및 조치의 모니터링과 평가에 영향을 미치는 주요 지식 부족 문제를 파악하였다. 레모스 등(Lemos et al., 2012)은 지식의 이전과 사용의 간극에 초점을 맞추어 과학자들이 이해하는 유용한 정보와 사용자가 의사결정에 사용할 수 있다고 인식하는 것 사이의 간극을 해소하고 기후관련 위험을 줄이기 위해 유용한 정보에서 사용가능한 정보로의 전환을 위한 동적 개념 모델을 제안하고 있다.

알브리스 등(Albris et al., 2020)도 학술적 연구 및 정책문서 검토와 함께 재해위험 저감과 기후변화 적응 관련 주요 행위자, 이해당사자, 전문가에 대해 반구조화된 인터뷰를 토대로 과학적 지식이 정책으로 이전되는 과정에서의 긴장과 마찰로 인한 지식 간극을 다루고 있다. 리즈비 등(Rizvi et al., 2015)은 생태계 기반 접근(Ecosystem-based Approach)의 적응에 대한 투자 촉진을 위해 6개국에서 수행된 프로젝트의 경제적 가치에 관한 기존 데이터와 지식 격차를 평가한 결과 투자 비용 정보에 비해 경제적 편익 평가에 도움이 되는 정량적 데이터가 부족함을 밝히고 있다. 무초니 등(Muccione et al., 2016)은 보다 구체적으로 산지지역에 대해 분석 대상 국가 및 지방정부 적응정책에 대한 문헌 조사와 정책담당자 설문조사를 통해 적응전략 개발을 위한 자연과학 지식 현황과 연구 수요를 도출하였다.

우리나라 적응대책 10년을 평가한 연구(장훈 외, 2019)는 적응 간극 분석 틀을 ‘주류화, 기관, 이행, 정보 및 과학적 기반, 국제적 지원 및 원조’의 5가지 분석항목으로 제시하고 ‘정보 및 과학적 기반’ 항목에 대해 정보의 제공과 활용 측면에서 시범분석을 실시하였다.⁵⁾ 그 결과 2008년 기본계획 수립 및 이행점검 시기에 비해 최근의 적응대책 수립 및 이행점검 시기로 갈수록 점차 정보제공 측면이 강화되고 있으나 전반적으로 취약성·리스크 정보의 제공·활용 강화를 위해 리스크 분석 개념에 기반한 정보 확대, 과학적 고도화, 과거 현황 정보와 정보공개 범위의 확대가 필요한 것으로 분석되었다. 또한 과정과 결과 기반의 모니터링 정보제공의 경우 결과 기반의 분석 정보를 확대하고 적응정책 현황 정보에 대한 정보접근성을 강화할 필요가 있음을 제시하고 있다.

2. 적응 지식 간극 해소를 위한 시민과학의 활용

효과적인 적응을 위해서는 다양한 적응 방식의 성과 및 효과, 적응 옵션의 비용-편익 분석 및 비교, 기후변화의 미래 영향, 특히 기후변화와 사회경제 시스템의 상호작용에 대한 불확실성을 다루기 위한 시나리오 개발 등에 대한 지식 생산이 필요하다. 나아가 생산된 지식이 사용자 수요에 부응하는지 지식 간극을 파악하는 것이 중요하며, 사용자와 연구자 간 협력과 지식의 공동생산을 통해 적응 대안의 효과성을 높일 수 있다. 적응에 필요한 지식을 확장하여 지식기반의 격차를 줄이는 것은 중요하지만 이것만으로 적응 행동이 이루어지는 것은 아니다. 분절화된 지식이 연결되지 못해 비효과적, 비효율적으로 사용되는 문제를 해결해야 하며, 다양한 출처의 지식과 이해당사자의 관점을 통합하고 효과적인 적응을 위한 정보에 쉽게 접근할 수 있어야 한다(UNEP, 2014:57). 무엇보다 의사결정자의 수요에 맞게 지식을 가공하고 합성해야 기존 지식의 활용도를 높일 수 있다.

시민과학은 적응대책 개발에 필요한 기후환경 상호작용에 관한 모델, 평가와 예측을 위한 정보 수집을 통해 적응 지식의 간극을 메우는 역할을 할 수 있다. 기후에 의해 생계가 직접적으로 영향을 받는 곳일수록 변화하는 기후환경의 영향에 대한 이해가 중요하다. 기후 변동성과 환경의 복잡한 관계를 파악하려면 시간적, 공간적으로 방대하고 다양한 특성을 볼 수 있는 데이터가 필요하며 이를 해결하는 방법의 하나가 바로 시민과학자들의 참여인 것이다(Crimmins and Crimmins, 2008:26-27). 이러한 풍부한 데이터는 적응 전략을 파악하는 데 중요한 역할을 할 수 있으며 과학자에게 미래 조건에 대한 예

5) ‘취약성/리스크 분석 정보가 제공되고 있는가?’, ‘취약성/리스크 분석 정보가 적응 과정에 활용되고 있는가?’, ‘과정/결과 기반의 적응 모니터링 정보가 제공되고 있는가?’, ‘과정/결과 기반의 적응 모니터링 정보가 적응에 활용되고 있는가?’의 4가지 질문에 대한 하위 체크리스트를 만들어 분석을 수행하였다.

측을 수행하는 데 필요한 데이터를 제공할 수 있다. 시민들이 개인적으로 기록한 데이터는 이전에 과학자들이 충분한 표본을 확보하지 못한 지역에 대한 귀중한 장기 기록을 제공하여 이로부터 과학자들이 유의미한 결과를 끌어낼 수도 있다. 실제로 이런 특성을 가진 데이터 세트를 확보하려면 막대한 비용과 노력이 요구되므로 과학자나 정부 프로그램만으로는 한계가 있다.

변화하는 기후 및 경관 조건에 대한 식물과 동물 반응에 대한 많은 통찰력은 자원봉사자가 수집한 데이터 세트로부터 확인되고 있다(Ledneva et al., 2004; Crimmins and Crimmins, 2008). 코넬대학교 조류학 연구소의 네스트워치(NestWatch) 프로그램은 새의 등지를 모니터링하여 새끼의 생존률 감소, 번식 성공, 종 수, 기후조건 및 토지이용 변화와 같은 기타 요인 간의 관계를 파악하는데 기초 정보를 제공하고 있다(Evans et al., 2005). 과학자들은 현재 이 데이터를 분석하여 기온상승으로 인해 연초 번식 시기가 빨라지는지를 분석하고 있다. 마찬가지로 북미 번식 조류 조사(North American Breeding Bird Survey)를 통해 수집된 데이터는 1880년대 이후 거의 전적으로 자원봉사자들에 의해 수집되었으며 이미 변화하는 기후조건에 대한 조류의 반응을 정량화하는 데 사용되어왔다. 예를 들어, 나무 제비가 기온상승 때문에 30년 전보다 약 9일 일찍 알을 낳는다는 사실이 발견되었으며(Winkler et al., 2002), 미래 조건에 대한 종의 반응을 예측하는 데에도 이 데이터가 사용되고 있다(Peterson, 2003).

새가 등지를 틀거나 이동하는 시기, 식물의 잎사귀나 새싹, 꽃이 피기 시작하는 시기와 같이 주기적으로 반복되는 생물학적 현상을 다루는 생물계절학(Phenology)은 기후변화 영향을 평가하는 유용한 수단을 제공한다. 이러한 계절학적 현상은 온도, 습기 및 광주기에 크게 영향을 받는다. 최근에 설립된 미국 생물계절학 네트워크(USA National Phenology Network) 및 프로젝트 버드버스트(Project Budburst)는 날씨와 기후에 대한 식물과 동물의 현상학적 반응에 대한 데이터를 수집하는 데 전문 과학자와 학생, 아마추어 자연주의자, 정원사 및 기타 야외활동 애호가 등을 포함한 시민과학자를 모두 참여시키기 위해 고안된 공동연구 프로그램으로 기후변화의 장기적인 영향을 감지하는 데 사용된다. 식물종 식별 앱인 리프스냅(Leafsnap)의 정확도에 대해서는 전문적인 식물학자들에 의해 이미 확인되고 있다. 수백만 대의 스마트폰에 탑재되어 기후변화 및 외래종이 광범위한 지리적 규모의 수목 분포에 미치는 영향에 대한 귀중한 데이터를 수집함으로써(Kress et al., 2018) 시민과학자의 도움 없이는 불가능했던 규모로 토착종과 외래종의 지리적 분포 매핑이 가능해졌다.

2014년 11월 미국 글로벌 변화 연구 프로그램(U.S. Global Change Research Program)이 우드로우 윌슨센터와 함께 주관한 시민과학 라운드테이블은 국가 기후변화 리스크 평가에 시민과학이 구축한 자료의 활용방안을 모색한 시도로서 의미가 있다(U.S. Global Change Research Program, 2014). 제3차 국가 기후변화 평가가 발표되면서 기후변화 영향과 취약성, 대응 관련 물리적, 생태학적, 사회적

주요 지표 시스템이 제시되었는데,⁶⁾ 여기에 시민과학이나 커뮤니티 참여 모니터링과 같은 크라우드 기반 접근을 어떻게 접목할 수 있을지를 탐색하였다. 기후변화 영향·취약성이나 적응능력 평가지표에 사용되는 데이터와 정보의 검증을 도와주거나 의사결정에 적합한 스케일의 데이터를 제공하기 위해 시민과학을 활용할 수 있는지, 대중들이 참여해서 생산한 정보를 지표에 통합할 때 나타나는 문제점이 무엇인지, 국가 기후변화 평가 프로세스 지원을 위한 지표 및 기타 환경 관련 지표에 시민과학 데이터 소스 활용을 위한 가능한 솔루션이 무엇인지를 전반적으로 논의하였다.

적응 지식의 통합 측면에서 시민과학은 지역적 지식과 정보를 과학적 지식과 통합하는 의사결정 과정의 재구조화를 촉진한다. 지역적 지식은 오랜 기간에 걸쳐 특정 지역의 주민이 축적해온 독특하고 경험에 기반한 지식으로 재난의 원인과 예방적 조치에 대한 소중한 통찰력을 제공한다(Cieslik et al., 2019:3). 시민과학은 기후변화 과학의 정당성 위기를 극복하고 사회변화의 맥락에서 리스크 거버넌스를 확장할 수 있는 유용한 수단인 셈이다(Wildschut and Zijp, 2020). 레드맵 오스트레일리아(Redmap Australia)의 경우 무언가 “다른 것”에 대한 관찰 또는 특이하거나 새로운 것에 대한 관찰을 통해 참여자들에게 내재되어 나타나는 커뮤니티 지식은 과학자들에게 변화하는 기후와 종의 극지방 범위 확장과 관련된 시스템을 분석하는 데 도움을 준다. 지식의 교환은 관찰 및 설명에 대한 기초를 제공하고 특정 종에 대한 사람들의 질문에 답하는 동시에 관찰이 과학에 가치 있는 기여를 하고 있음을 사용자에게 강조한다. 시민과학은 과학자와 시민이 직접 상호작용하고 과학과 사회의 관계를 개선할 수 있는 소중한 기회를 제공하며(Pecl et al., 2019), 다양한 이해관계자 네트워크 형성에 도움을 준다.

기후변화의 직접적인 영향을 받는 농업, 산림, 어업 분야 이해당사자가 참여한 시민과학 결과물은 기후변화 적응을 위한 실행 가능한 정보로 직접 변환되어 적응 대안에 대한 수용성을 높이고 효과적인 적응을 유도한다(van Etten et al., 2019a). 농민들이 기후변화 영향을 파악하여 자신의 현장 상황에 가장 적합한 작물 품종을 도입하도록 하려면 지리적 공간 전반에 걸쳐 다양한 기후 특성에 따른 경험적 데이터 생산이 필요한데, 크라우드소싱 기반의 시민과학이 이러한 문제해결에 도움을 줄 수 있다(van Etten et al., 2019b). 다양한 환경에서 농민들이 직접 재배한 작물의 품종 성능을 평가하는 시민과학은 기후위험 저감 포트폴리오 구성, 계절 예측을 포함한 기후정보 서비스 제공, 기후변화 적응 품종 개발 전략 수립으로 연결될 수 있다. 무엇보다 시민과학 데이터를 바탕으로 과학자들이 토양, 농업기후 데이터를 결합한 기후 및 품종 정보를 농부의 의사결정에 직접 연결할 수 있으므로 적응 대안의 수용가능성과 효과성을 높이며, 기후변화 적응을 위한 작물 품종 관리 주체들 간의 광범위한 협력을 가능하게 한다.

6) 미국 글로벌 변화 연구 프로그램(Global Change Research Program, USGCRP)은 법에 의해 4년마다 기후평가를 수행한다.

IV. 국내 적응 지식의 간극 현황 및 시민과학 적용 분석

1. 자료 및 방법

『제3차 국가 기후변화 적응대책(2021-2025)』은 2차 적응대책에 이어 적응 이행 주체가 참여하는 거버넌스, 국민체감형 적응대책, 과학적 근거에 기반한 국가 기후변화 리스크 관리를 다시 언급하고 있다. 특히 중앙정부 중심에서 지역·시민사회 등 상향식·수요자 대책으로 전환하면서 적응대책 수립-이행·점검-평가-환류 전 과정에 이해당사자 참여 범위 확대를 강조하였다(관계부처합동, 2020). 적응 주류화 목표 실현을 위해 시민참여 활성화를 강조하고 생태계 분야의 시민참여형 모니터링 기반 강화, 국토·연안 분야의 시민참여 기반 기후재해 정보제공, 국민참여 적응문제 해결방안 마련을 위한 적응 리빙랩 사업 등이 포함되어 있다는 점에서 이전보다 발전된 측면이 있다. 하지만 여전히 과학적 근거 기반의 적응정보 생산을 위한 시민참여와 관련된 내용은 부재하며, 적응정책 수립과 실행에 필요한 적응 지식과 정보 수준에 대한 관심은 부족한 실정이다.

선행연구를 보면 적응 지식 진단을 위해 설문조사뿐 아니라 정부 정책과 계획, 학술연구 등 문헌 검토와 이해당사자 인터뷰 등을 다양하게 활용하고 있다. 국내 초기 연구로서 이 연구는 적응 전문가 대상 설문조사를 통해 우리나라 기후변화 적응정책 수립에 영향을 미치는 주요 정보와 지식의 간극을 이해하고 그러한 간극을 줄이기 위한 접근으로서 시민과학의 활용 가능성을 모색하고자 하였다. 설문문항은 UNEP(2014)가 제시한 적응 지식의 간극을 중심으로 관련 선행연구(Ryan et al., 2019; Muccione et al., 2016; Lemos et al., 2012; Rizvi et al., 2015; Albris et al., 2020)를 검토하여 적응 지식 간극과 시민과학의 활용, 적응정책 수립 및 이행과 시민과학의 적용, 적응 지식 간극 해소를 위한 시민과학 효용성 평가로 구성하였으며 5점 척도를 활용하였다. 상향식 접근이 강조되는 적응의 특성을 반영하여 공간 규모별 지식 간극과 시민과학 활용성의 차이를 살펴보기 위해 국가, 광역, 기초지자체로 구분하였으며, 적응 분야는 국가 기후변화 리스크 평가에 맞추어 8개로 나누었다. 국가 기후변화 적응센터의 협조를 얻어 적응대책을 수립할 때 리스크 평가에 직접 참여한 분야별 전문가와 지역의 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립 경험이 있는 전문가로 풀을 구성하고 2020년 10월 21일부터 11월 6일까지 이메일 설문조사를 실시하였다. 적응 전문가 84명 중 71명이 응답하여 84.5%의 응답률을 보였으며, 적응 분야별 비교 분석을 위해 응답자가 각 분야에 골고루 분포되도록 응답을 유도하였다.

〈표 1〉 설문응답자 분포

분야	응답자수	분야	응답자수
건강	8명	산업(에너지)	7명
농업	7명	생태계	7명
국토	10명	해양(연안/수산)	8명
물	9명	기타	7명
산림	8명	합계	71명

주 : 기타는 특정 분야에 속하지 않음

2. 분석 결과

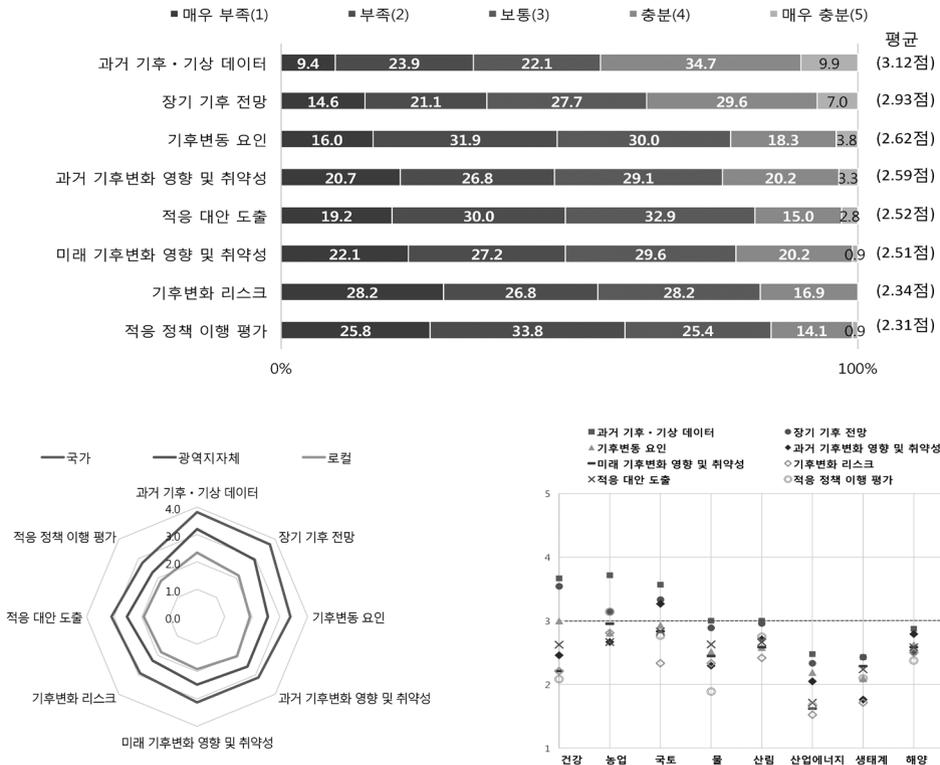
1) 기후변화 적응을 위한 적응 지식·정보 수준

적응 지식의 간극을 진단하기에 앞서 먼저 우리나라 적응정책 수립 및 이행을 위한 지식과 정보를 세분화하여 공간 규모별, 분야별로 수준을 살펴보았다. 전체 항목 평균을 보면 과거 기후·기상 데이터가 3.12점으로 가장 높았고 다음으로 장기 기후 전망(2.93점), 기후변동 요인(2.62점) 순이었으며, 기후변화 리스크(2.34점), 적응정책 이행 평가 관련 정보와 지식(2.31점)이 가장 부족한 것으로 평가되었다. 전반적으로 적응 지식과 정보 수준은 보통 미만으로 낮은 것으로 나타났다.

모든 항목에서 국가 단위에서 활용할 수 있는 정보와 지식이 가장 많고 다음으로 광역, 로컬 순으로 일정한 패턴을 보였으며 국가와 로컬 간 정보 격차도 크게 나타나고 있다. 국가, 광역, 로컬 모두 과거 기후·기상데이터 수준은 보통 이상으로 가장 높게 평가되었다. 국가의 과거 기후·기상데이터는 모든 항목을 통틀어 가장 높았으며(3.82점), 반면 기후변화 리스크(2.92점)와 적응정책 이행 평가(2.79점)에 관한 정보와 지식은 국가의 경우에도 보통 미만으로 평가되었다. 광역과 로컬 단위에서는 과거 기후·기상 데이터를 제외한 모든 항목에서 적응지식이 보통 미만으로 부족하며, 국가와 마찬가지로 적응정책 이행평가와 기후변화 리스크에 대한 정보와 지식이 가장 부족한 것으로 나타났다.

모든 분야에서 과거 기후·기상데이터 항목이 가장 높게 평가되었지만 산업, 생태계, 해양 분야는 모든 항목이 보통 미만의 평가를 받았다. 국토, 산림, 산업, 생태계 분야에서 가장 낮게 평가된 항목은 기후변화 리스크이며, 건강, 물, 해양 분야는 적응정책 이행평가로 차이를 보였다. 이외 농업 분야는 유일하게 적응정책 이행평가에 대한 정보와 지식 수준이 보통 이상인 반면 과거 기후변화 영향 및 취약성(2.67점) 및 적응 대안 도출(2.67점)이 가장 낮은 점수를 얻었다.

〈그림 1〉 공간별, 분야별 기후변화 적응 정보·지식 수준



2) 적응지식의 간극과 시민과학의 활용

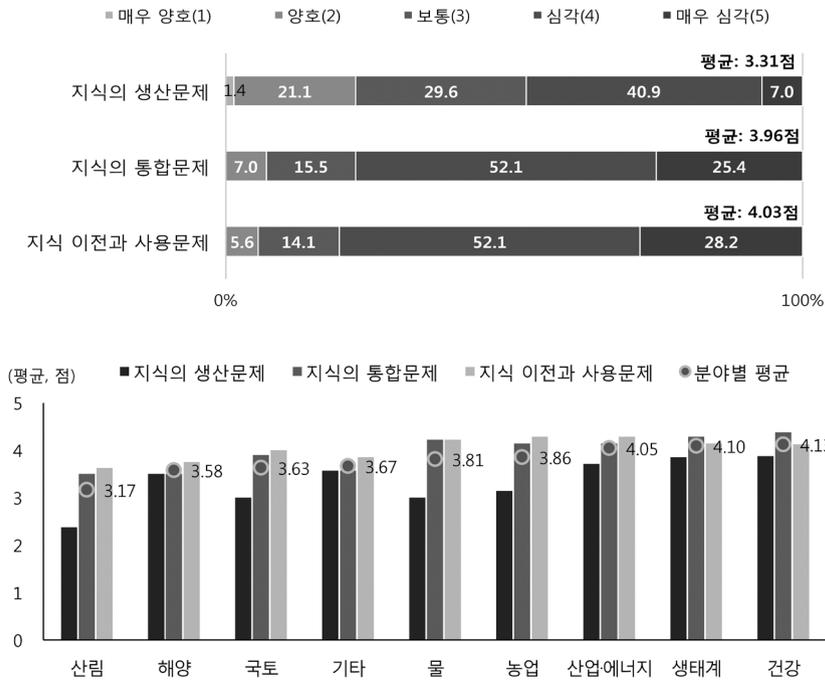
(1) 적응 지식의 간극

지식의 생산, 지식의 통합, 지식의 이전과 사용 등 지식 간극의 세 유형에 대해 전문가들은 국내 적응 정책 수립 및 이행에 필요한 지식과 실제로 가용한 지식 사이에 차이가 크다고 평가하였다. 전체 평균은 지식의 생산 3.31점, 지식의 통합 3.96점, 지식 이전과 사용 4.03점으로 상대적으로 지식이나 정보의 절대적인 부족보다는 기존 지식의 통합과 연계, 수요자가 사용할 수 있는 형태의 지식 전달과 가공이 더 심각한 문제로 인식되고 있다.

분야별 적응 지식의 간극은 산림(3.17점)이 가장 낮고 다음으로 해양(3.58점), 국토(3.63점) 순이었으며 산업·에너지, 생태계, 건강 분야는 모두 평균 4점 이상으로 심각한 수준으로 평가되었으나, 모든 분야에서 간극이 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. 그중에서도 건강 분야(4.13점)에서 지식의 간극 문제가 가장 심각하게 평가되었다.

유형별로 살펴보면 지식의 생산 문제는 산림(2.38점) > 국토(3.0점) > 물(3.0점) 순으로 양호하고 생태계와 건강이 각각 3.86점, 3.88점으로 필요한 지식과 정보 부족 문제가 가장 심각한 것으로 나타났다. 지식의 통합과 지식의 이전과 사용 문제는 분야에 따라 차이는 있지만 상대적으로 양호하게 평가된 항목의 평균도 심각한 수준으로 나타나 모든 항목에서 지식 간극이 가장 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. 지식의 통합 간극은 산림(3.5점), 해양(3.5점), 국토(3.9점) 분야가 상대적으로 양호하고 생태계와 건강이 각각 4.29점, 4.38점으로 가장 심각하며, 지식 이전과 사용 간극은 산림(3.63점)이 상대적으로 양호하고 농업과 산업·에너지가 각각 4.29점으로 가장 심각하게 나타났다.

〈그림 2〉 분야별 유형별 기후변화 적응 지식 간극



(2) 적응 지식 간극 해소를 위한 시민과학의 활용

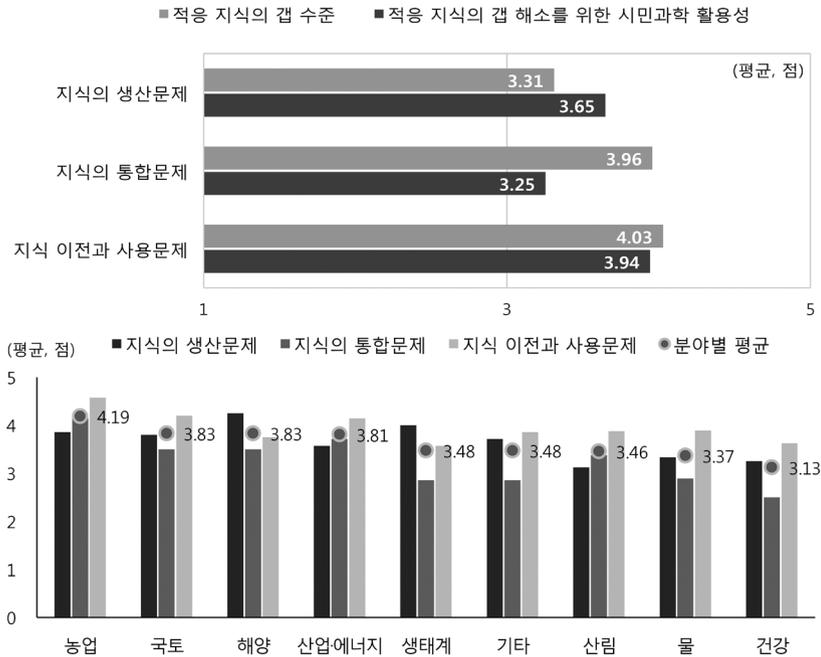
전문가들은 적응 지식 간극을 줄이는데 시민과학이 기여할 것으로 보았는데, 그중에서도 지식의 이전과 사용 측면에서의 유용성이 3.94점으로 가장 높았고 다음으로 지식의 생산(3.65점), 지식의 통합(3.25점) 순으로 나타났다. 특히 지식 이전과 사용은 적응 지식 간극이 가장 심각하다고 평가된 분야여서 시민과학을 통해 기존의 적응 지식을 사용자가 최대한 활용할 수 있도록 가공, 전달, 소통하는 역할

을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

분야별로는 모든 분야에서 평균 3점 이상으로 시민과학 활용에 대해 긍정적인 의견이 많았으나 분야별로는 차이를 보였다. 농업이 4.19점으로 가장 높았고 다음으로 국토(3.83점), 해양(연안/수산)(3.83점) 순으로 높았으며, 반면 건강 분야는 3.13점으로 상대적으로 시민과학 활용에 소극적인 것으로 나타났다.

지식 간극 유형별로는 지식 생산 간극을 줄이는데 시민과학이 기여할 수 있는 정도는 해양(연안/수산)(4.25점), 생태계(4.00점)가 높았고 건강(3.25점)과 산림(3.13점)은 가장 낮게 평가되었다. 지식의 통합은 농업이 4.14점으로 가장 높았고, 다음으로 산업·에너지(3.71점), 국토(3.50점), 해양(연안/수산 3.50점) 순을 보였으며 지식 생산 문제와 마찬가지로 건강이 가장 낮았다(2.50점). 지식 이전과 사용 촉진을 위한 시민과학의 활용도는 농업(4.57점), 국토(4.20점), 산업·에너지(4.14점) 모두 4점 이상으로 높았고 건강과 생태계가 각각 3.63점, 3.57점으로 상대적으로 낮게 평가되었다.

〈그림 3〉 분야별 적응 지식 간극 해소를 위한 시민과학 활용도



3) 적응정책 수립 및 이행을 위한 시민과학의 활용

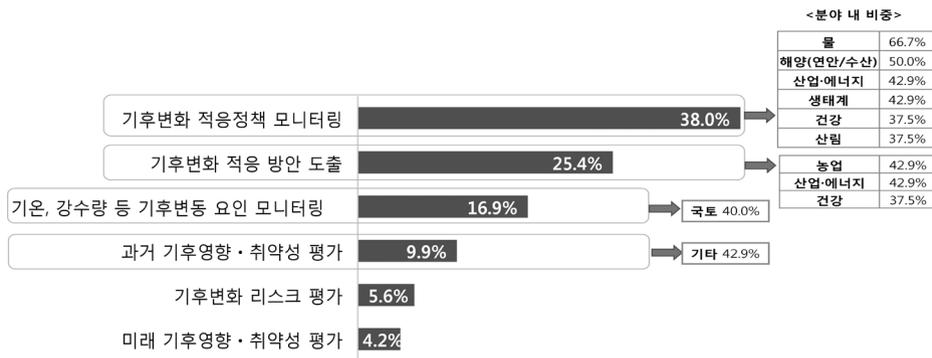
(1) 적응정책 단계별 시민과학 활용

시민과학 활용도가 가장 높은 적응정책 단계는 기후변화 적응정책 모니터링이 38.0%로 가장 높았고

다음으로 기후변화 적응방안 도출(25.4%), 기온, 강수량 등 기후변동 요인 모니터링(16.9%)으로 나타났다. 기후변화 리스크 평가(5.6%)와 미래 기후영향·취약성 평가(4.2%) 비중이 가장 낮았다.

분야별로는 차이가 있었는데 건강, 농업, 산업·에너지 분야는 기후변화 적응방안 도출, 물, 산림, 생태계, 해양 분야는 기후변화 적응정책 모니터링 단계에서의 시민과학 활용이 효과적이라고 보았으며, 국토 분야는 기온, 강수량 등 기후변동 요인 모니터링을 위한 시민과학 활용도가 높은 것으로 평가되었다.

〈그림 4〉 적응정책 단계별 시민과학 활용도



(2) 적응 지식 간극 해소를 위한 시민과학 효용성 및 비용 평가

적응정책 수립 및 이행을 위한 시민과학 활용 효용성과 비용을 각각 고, 중, 저 3단계로 평가한 결과 효용성은 2.04점으로 중간보다 약간 높았고, 비용은 1.87점으로 중간보다 낮아 비용보다 시민과학의 활용 가치가 높은 것으로 평가되었다. 효용이 중간 이상인 항목은 기후변화 적응방안 도출과 적응정책 모니터링이었으며, 비용 대비 효용성이 가장 높은 항목은 적응정책 모니터링으로 나타났다.

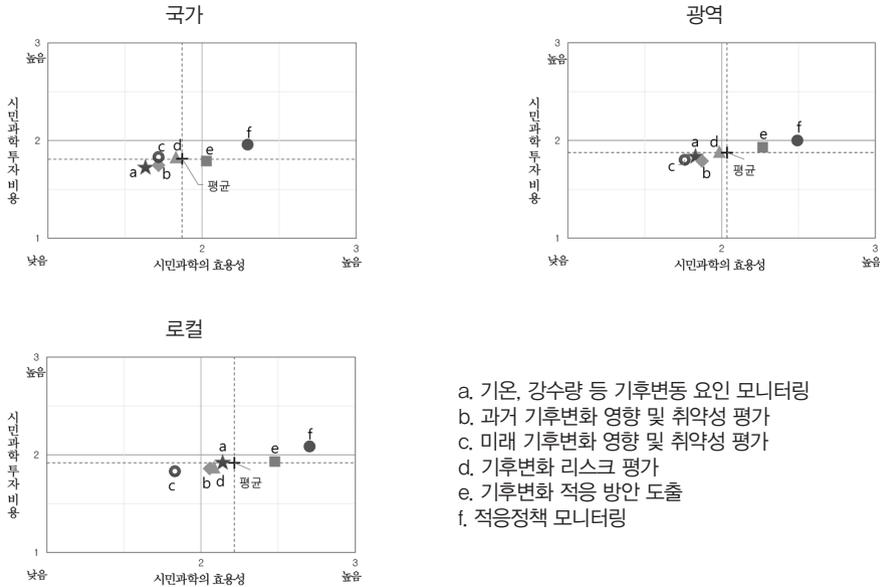
〈표 2〉 항목별 시민과학 효용성 및 투자 비용 평균

(단위: 점)

구분	효용(a)	비용(b)	(a)/(b)
기온, 강수량 등 기후변동 요인 모니터링	1.87	1.84	1.02
과거 기후변화 영향 및 취약성 평가	1.88	1.80	1.05
미래 기후변화 영향 및 취약성 평가	1.77	1.82	0.97
기후변화 리스크 평가	1.97	1.86	1.06
기후변화 적응 방안 도출	2.26	1.88	1.20
적응정책 모니터링	2.50	2.01	1.24
전체 평균	2.04	1.87	1.09

공간 규모로는 국가보다 광역, 광역보다 로컬 단위에서 시민과학의 효용성이 높고, 비용은 반대로 국가가 가장 낮고 광역, 로컬로 갈수록 높게 평가되었다. 기온, 강수량 등 기후변동 요인 모니터링, 미래 기후변화 영향 및 취약성 평가 항목은 국가와 광역 단위에서는 시민과학 효용보다 비용이 높았고 과거 기후변화 영향 및 취약성 평가 항목은 국가 수준에서도 효용이 비용보다 낮았다. 로컬의 경우 모든 항목에서 비용을 상쇄할 만큼 시민과학의 효용성이 높게 나타났다.

〈그림 5〉 국가, 광역, 로컬 단위 항목별 시민과학 효용성 및 투자 비용 분포



시민과학 비용 대비 효용성은 분야별로 차이를 보였다. 비용 대비 효용성이 높게 평가된 항목이 가장 많은 분야는 해양, 생태계, 산업·에너지, 건강 등이었으며, 산림 분야에서 효용성이 높은 항목은 국가 단위 적응정책 모니터링이 유일한 것으로 나타나 편차가 크게 발생함을 알 수 있다. 해양(연안/수산)과 생태계 분야의 경우 국가, 광역, 로컬 단위 모든 항목의 시민과학 효용성이 비용보다 높게 평가되었으며, 특히 해양은 시민과학의 효용성이 모두 중간 이상이였다. 산림을 제외한 모든 분야에서 기후변화 적응방안 도출 및 적응정책 모니터링 항목에 대한 시민과학 효용성이 높았고, 기후변화 리스크도 건강, 농업, 국토, 산업·에너지, 생태계, 해양 분야 활용도가 높은 것으로 평가되었다. 과거 기후변화 영향 및 취약성 평가에 대해서도 분야에 따라 시민과학 활용이 가능한 것으로 나타났으며, 기온, 강수량 등 기후변동 요인 모니터링은 로컬 단위에서의 국토, 물, 생태계, 해양 분야 효용성이 높은 것으로 평가되었다.

〈표 3〉 분야별 항목별 시민과학 비용 대비 효용성

구분	기온, 강수량 등 기후변동 요인 모니터링			과거 기후변화 영향 및 취약성 평가			미래 기후변화 영향 및 취약성 평가			기후변화 리스크 평가			기후변화 적응방안 도출			적응정책 모니터링		
	국가	광역	로컬	국가	광역	로컬	국가	광역	로컬	국가	광역	로컬	국가	광역	로컬	국가	광역	로컬
건강					†	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○
농업				○	○		○			○	○	○		○	○		○	
국토			○		○	○			○		†	○		○	○		○	○
물		†	○			○						†		○	○	○	○	○
산림																○		
산업에너지				†		†			○	†	○	○	○	○	○	○	○	○
생태계	†	○	○	†	†	†	†	†	†	†	†	†	○	○	○	○	○	○
해양	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
기타	†	○	○		○	○					○	○	○	○	○	○	○	○

주: ○는 시민과학 효용성이 중간 이상이면서 비용 대비 효용성이 높은 항목, †는 시민과학 효용성이 중간보다 낮지만 비용 대비 효용성이 높은 항목을 의미함

3. 시사점

시민과학은 적응을 위한 시민참여를 촉진하고 적응 지식 간극을 줄이기 위한 수단으로 비용 대비 효용성이 높은 것으로 나타났다. 하지만 적응정책 수립과 이행을 위한 지식과 정보가 부족하고 필요한 지식과 가용한 지식의 차이가 심각한 것으로 평가되었다. 과거 기후·기상 데이터와 장기 기후전망의 경우 그나마 ‘충분하다’는 평가가 ‘부족하다’보다 약간 높거나 비슷한 수준이었지만 적응에 핵심적인 기후변화 영향과 취약성, 리스크, 적응대안 도출, 적응정책 이행 모니터링에 필요한 정보와 지식 수준은 보통 미만으로 나타났으며, 분야별로도 차이가 거의 없었다. 특히 적응의 특성상 기후변화 리스크 저감을 위한 지역적 맥락의 지식과 정보가 중요한 역할을 하지만 광역, 로컬로 갈수록 적응 지식과 정보가 매우 부족한 것으로 나타나 효과적인 적응을 제약하는 요인으로 작용할 수 있다.

지식의 생산, 지식의 통합, 지식의 이전과 사용의 간극이 모두 크게 나타나고 있지만 상대적으로 지식이나 정보의 절대적인 부족보다 생산된 지식의 통합과 연계, 그리고 수요자가 사용할 수 있는 형태로 지식을 전달하고 가공하는 것이 더 심각한 문제로 인식되고 있다. 생태계와 건강 분야의 경우 다른 분야보다 적응 지식과 정보 부족 문제가 심각한 것으로 나타나 이에 대한 투자가 필요함을 알 수 있다. 적응 지식의 분절화와 통합 부족 문제는 적응 정책과정에서 지식의 사용과 유용성에도 영향을 미치는데, 지식을 공동 생산하고 관리, 사용하는 능력이 과학과 정책의 인터페이스에 영향을 미치는 주요 장벽으로 연결된다(Ryan et al., 2019; Lemos et al., 2012). 수요자가 필요로 하는 지식이 생산, 가공, 변환

되어 사용되기 위해서는 정보 생산자와 수요자 사이의 상호작용, 연구자와 의사결정자 사이의 의사소통이 중요하며, 특정한 맥락에 맞게 지식을 효과적으로 가공, 조정하고 그들이 원하는 형식과 언어로 변환하는 노력이 필요하다. 이런 점에서 지식의 간극 문제를 거버넌스 변화 측면에서 해결해야 한다는 알브리스 등(Albris et al, 2020)의 주장은 시사하는 바가 크다. 특히 적응 지식 간극이 가장 큰 지식의 이전과 사용 측면에서 전문가와 시민의 협력을 기반으로 한 시민과학의 유용성이 가장 높게 평가된 결과도 비슷한 맥락에서 이해할 수 있다.

한편 적응 지식의 간극 유형별로 시민과학의 활용 영역에 대해서는 분야마다 차이를 보였다. 건강 분야의 경우 전반적으로 지식의 간극 문제가 가장 심각하면서도 시민과학 활용 잠재력이 상대적으로 낮게 평가되었지만 세부 항목별 시민과학의 효용성은 차이를 보이고 있다. 이는 시민과학이 적응 지식 간극 해소를 위한 만능해결책은 아니며, 분야별 적응 정책 수립과 이행에 필요한 세부 정보 항목별로 효용성을 고려한 접근이 필요함을 의미한다. 시민과학의 장점 중 하나는 과학, 사회 또는 정책 관련 새로운 지식과 통찰력을 제공할 수 있다는 것이다. 적응정책 수립과 실행을 위해 필요로 하는 정보와 데이터의 종류, 수준은 분야마다 다르고 필요한 지식을 생산하는 데 비용과 시간이 수반된다. 따라서 그동안 생산된 정보와 지식에 대해 적응 목표와의 중요한 격차를 파악하여 어떤 종류의 데이터와 지식에 우선순위를 두어야 하는지에 대해 구체적인 사항들을 검토하고 논의하는 프로세스가 필요하다(Amano et al., 2016).

그리고 정부 및 민간의 기후변화 관련 시민참여 모니터링 프로그램과 거버넌스에 대한 매핑 분석을 토대로 시민과학의 효용성이 높은 우선순위와 활용 기회를 파악할 필요가 있다(Rizvi et al, 2015). 국가, 광역, 로컬 단위에서 적응 분야별로 적응 지식의 간극이 다르게 나타나므로 이러한 과정에 지역의 이해당사자 참여가 필수적이다. 데이터 사용자를 포함한 다양한 이해관계자 그룹의 참여는 생산된 과학적 지식과 정보에 대한 신뢰와 수용성을 높이고 관련 연구에 중요한 여러 관점과 지식을 통합하여 사회·경제·생태적 맥락을 고려한 맞춤형 적응 전략을 수립하는 데 도움을 줄 수 있다(Adger et al., 2005).

지식 생산 측면에서도 간극이 큰 것으로 평가된 생태계 분야의 경우 시민과학에 의한 지식 생산 기여도는 매우 높은 것으로 인식되었다. 전문가 설문조사에서는 적응정책 과정에서 전반적으로 시민참여 수준은 높지 않으나 전체 평균은 생태계 분야가 가장 높고, 광역과 로컬 수준에서도 생태계 분야의 시민참여 수준이 높은 것으로 평가되었다. 이는 기후변화 적응을 위한 지식의 공동생산 측면에서 생태계 분야 시민과학의 잠재력을 보여 주는데, 전 세계 기후변화 관련 시민과학 프로젝트 역시 생태계 분야에서 가장 활발한 활동이 이루어지고 있다. 그리고 시민들이 시민과학 방법을 설계하고 데이터를 분석하여 해석하는 활동보다는 기후변화 정책 실행을 촉발하는 수단으로서 데이터를 수집하고 관찰하는 활동

에 집중되어 있다(Kythreotis et al., 2019). 이는 시민과학이 다루는 지리적 범위가 넓고 공간적, 시간적 해상도가 높을수록 과학적 연구 활용도가 높기 때문이다(Tulloch, 2013). 하지만 데이터의 양이 많아질수록 검증과 가공을 위한 비용이 빠르게 증가할 수 있으므로 데이터에 대한 서로 다른 요구와 자원 배분 사이에서 적절한 균형을 찾아야 한다(McDonald-Madden et al., 2010; Tulloch, 2013:135에서 재인용). 기후변화 적응을 위한 시민 인식과 참여가 높지 않은 현실을 고려할 때 적응 인식증진과 교육적 효과를 고려한 낮은 단계의 참여부터 과학적 연구 및 적응 의사결정 지원, 지역의 적응 문제해결을 위한 높은 수준의 지식과 참여가 요구되는 시민과학에 이르기까지 참여대상, 공간 규모, 데이터 수집 방법 등을 적절히 매치하고 다양한 방법론을 활용하는 것이 바람직하다.

UNEP(UNEP, 2017:16-20)에 의하면 적응 성과(adaptation outcomes)와 적응대책 효과성에 대한 관심이 높아지고 있으나 적응 이행(progress) 평가는 제대로 이루어지지 못하고 있다. 파리협정에 의해 적응 이행을 평가하려면 변화를 추적할 수 있는 정도의 장기간의 정보가 일관된 방식으로 정기적으로 수집되어야 하는데 매우 미흡하기 때문이다. 설문조사에서 전문가들이 적응정책 이행 모니터링과 평가, 적응 대안 도출을 위한 시민 과학의 적용이 가장 중요하다고 평가한 것도 이러한 현실을 반영한다고 볼 수 있다. 시민과학의 효용성을 높이기 위해서는 적응정책의 수립, 이행, 평가를 위한 지표와 연결할 필요가 있다. 적응의 범위가 넓고 시민과학도 다양한 목표를 위해 활용될 수 있으므로 시민과학의 목적과 결과 활용을 염두에 두고 프로세스를 설계함으로써 생산된 데이터 및 지식의 정책적 효용성을 높일 수 있다.

마지막으로 과학 및 정책 관련 새로운 지식을 생산하는 시민과학의 잠재력을 충분히 활용하기 위해서는 시민과학 데이터에 대한 인식과 접근성을 높이고 주류과학과 시민과학, 시민과학과 정책 커뮤니티, 과학자와 시민과학자를 매개하는 플랫폼의 역할이 중요하다(Theobald et al., 2015). 기후변화 시민과학 플랫폼은 효과적인 적응을 위한 시민과학 정보와 지식의 생산, 통합, 활용과 교환을 촉진하는 지식 공유, 공개 및 중개 서비스를 제공함으로써 시민, 정책담당자, 과학자 간 소통을 촉진하고 생산된 정보와 지식을 시민, 연구자, 실무자가 쉽게 이해하고 사용할 수 있는 방식으로 가공, 변환하여 시민과학의 정책적 적실성과 활용을 높이는 역할을 할 수 있을 것이다(Amano et al., 2016).

V. 결론

이 연구는 효과적인 적응에 장애가 되는 요인 중 하나인 적응 지식 간극의 국내 현황을 살펴보고, 과학적 기반에 의한 기후위험 저감을 위한 시민참여를 촉진하고 적응 지식의 간극을 메우는 수단으로 시민과학의 활용 가능성을 모색하였다. 기초지자체까지 기후변화 적응대책 수립이 의무화되어 국가와 17개 광역지자체, 일부 기초지자체는 이미 3차 대책이 수립되어 시행 중이다. 하지만 여전히 적응에 대한 시민의 인식이 낮고 시민체감형 정책이 미흡하여 참여도 활성화되어 있지 못하다. 적응 의사결정에 필요한 기후변화 영향과 취약성, 리스크에 대한 상세한 데이터와 정보가 부족하고 기존에 있는 정보나 지식마저 분산되어 있어 적시에 활용되지 못하고 있다. 전문가 설문조사 결과 이러한 적응 지식의 간극은 국가보다 지역 단위에서 더 크게 나타나고 있다. ‘자발적 시민참여’, ‘과학적 요소’와 ‘개방성’을 특징으로 하는 시민과학은 적응 지식의 생산, 지식의 통합과 연계, 지식의 이전과 사용을 촉진하여 적응 지식의 간극을 줄이는데 기여하며, 전문가들도 시민과학의 효용성이 높은 것으로 평가하고 있다.

해외에서는 이미 기후변화 리스크 평가지표와 시민과학 데이터를 접목하거나 시민과학이 다른 방법으로 획득이 어려운 대규모 시공간 데이터, 특정 지역의 해상도 높은 기록과 정보를 제공함으로써 기후변화 영향평가 및 적응정책 수립에 유의미한 기여를 하고 있다. 시민과학에 참여한 많은 자원봉사자들이 기부한 시간은 연간 약 7~25억 달러의 가치가 있으며 이는 연간 미국 국립 과학 재단 예산의 11~42%에 해당하는 수치이다(National Science Foundation, 2013;Theobald et al., 2015:241에서 재인용). 나아가 시민과학은 지식의 습득과 지속적인 참여를 통해 기후위험에 대한 시민들의 이해를 높이고 적응역량을 강화하는 편익을 제공하며, 이는 단순한 데이터 이상의 가치를 지니고 있다. 코로나19 이후 비대면 사회로의 전환이 가속화되면서 거버넌스 혁신 수단으로 디지털 인프라에 대한 투자가 확대되는 추세도 시민과학의 잠재력을 실현할 수 있는 기회로 작용할 것이다.

기후위기 대응을 위한 온실가스 감축 노력과 함께 적응의 중요성이 강조되고 과학적 기반의 기후 리스크 관리와 시민체감형 정책에 대한 요구가 높아지는 가운데, 이 연구는 기후변화 적응과 시민과학의 접점을 모색하기 위한 첫 시도로서 시민참여 활성화 및 적응 지식의 간극 해소 측면에서 분야별, 공간 규모별로 시민과학의 효용성을 비교했다는 점에서 의미가 있다. 하지만 초기 연구로서 몇 가지 한계를 안고 있다.

분야별로 적응 지식 간극과 시민과학의 효용성에 다양한 편차가 발생하고 있으나 이에 대한 원인 진단이나 분석은 이루어지지 못하였다. 설문응답자가 기후변화 적응 전문가로서 대표성을 가지고 있긴 하나 정성적인 평가라는 한계가 있다. 향후 관련 문헌과 자료에 대한 객관적인 분석과 연구, 정책담당자 및 적응의 다양한 주체들에 대한 인터뷰와 설문조사, 참여적 연구 및 확장된 형태의 기후 리스크 평

가 포럼, 워크숍 등을 통해 객관성을 확보할 필요가 있다. 적응 지식 간극에 대한 정확한 진단은 실행가능하고 적절한 적응 옵션에 대한 피드백을 제공하고 필요한 연구 방향과 지침을 제시하는 역할을 하며, 이는 제3차 국가 기후변화 적응대책의 3대 전략인 ‘6대 부문 기후변화 적응력 향상’, ‘기후변화 적응 주류화’, ‘기후변화 감시예측 및 평가’의 성공적인 이행을 위해서도 중요하다. 마지막으로 온라인 플랫폼 기반의 광범위한 시민참여에 의해 대규모 데이터를 수집하고 이를 활용한 연구를 통해 시민과학의 효용성을 입증하는 해외 기후변화 시민과학의 동향과 국내 현실은 많은 차이가 있다. 시민과학의 편익이나 잠재력과 함께 한계나 제약 조건에 대한 충분한 탐구가 필요하다.

■ 참고문헌 ■

- 고재경·예민지(2020). “환경문제 해결을 위한 국내 시민과학 유형과 특성 연구”, 『환경정책』, 28(4):181-213.
- 고재경·이우평(2016). “기후변화 적응 행동 촉진 요인 연구”, 『환경정책』, 24(2):109-136.
- 관계부처합동(2020). 『제3차 국가 기후변화 적응대책』.
- 앨런 어윈(2011). 『시민과학 : 과학은 시민에게 복무하고 있는가?』, 김명진·김병수·김병윤 옮김, 당대.
- 이승준외(2018). 『기후위험 관리를 위한 이해관계자 참여방안 연구』, 한국환경연구원.
- 장훈 외(2019). 『기후변화 적응정책 10년: 현주소 진단과 개선방안 모색을 중심으로』, 한국환경연구원.
- Adger, W. N. et al.(2005). “Successful Adaptation to Climate Change Across Scales”, *Global Environmental Change*, 15(2):77-86.
- Adger, W. N. et al.(2009). “Are There Social Limits to Adaptation to Climate Change?”, *Climatic Change*, 93(3):335-354.
- Albris, K. et al.(2020). “Disaster Knowledge Gaps: Exploring the Interface Between Science and Policy for Disaster Risk Reduction in Europe”, *International Journal of Disaster Risk Science*, 11:1-12.
- Amano, T. et al.(2016). “Spatial Gaps in Global Biodiversity Information and the Role of Citizen Science”, *Bioscience*, 66(5):393-400.
- Bauer et al.(2014). “The Governance of Climate Change Adaptation in 10 OECD Countries: Challenges and Approaches”, *Journal of Environmental Policy & Planning*, 14(3):279-304.

- Cieslik et al.(2019). “Building Resilience to Chronic Landslide Hazard through Citizen Science”, *Frontiers in Earth Science*, 66(5):393–400.
- Crimmins, Theresa and Michael Crimmins(2008). “The Critical Role that Citizen Scientists Can Play in Identifying Adaptation Strategies to Climate Change”, *Arid Lands Newsletter*, 60:25–28.
- Cvitanovic et al.(2019). “Maximising the Benefits of Participatory Climate Adaptation Research by Understanding and Managing the Associated Challenges and Risks”, *Environmental Science and Policy*, 94:20–31.
- Darby, Megan(2020). “Coronavirus Lockdown Gives a Boost to Citizen Science Projects”, *Climate Home News*(2020.7.4).
- Evans et al.(2005). “The Neighborhood Nestwatch Program: Participant Outcomes of a Citizen–Science Ecological Research Project”, *Conservation Biology*, 19(3):589–594.
- Hanger et al.(2013). “Knowledge and Information Needs of Adaptation Policy–makers: A European Study”, *Regional Environmental Change*, 13:91–101.
- Hügel, Stephan and Anna R. Davies(2020). “Public Participation, Engagement, and Climate Change Adaptation: A Review of the Research Literature”, *WIREs Climate Change*, 11(4):e645.
- IPCC(2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Geneva: IPCC.
- IPCC(2014). *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Geneva: IPCC.
- IPCC(2018). *Global Warming of 1.5°C*, Geneva: IPCC.
- IPCC(2022). “Summary for Policymakers” in Pörtner, H.–O. et al.,(eds.). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Klein, R. J. T. et al.(2014). “Adaptation Opportunities, Constraints, and Limits” in M. L Parry et al.(eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Kress, W. John et al.(2018). “Citizen Science and Climate Change: Mapping the Range Expansions of Native and Exotic Plants with the Mobile App Leafsnap”, *BioScience*,

- 68(5):348–358.
- Kythreotis et al.(2019). “Citizen Social Science for More Integrative and Effective Climate Action: A Science–Policy Perspective”, *Frontiers in Environmental Science*, 7:10. doi: 10.3389/fenvs.2019.00010.
- Ledneva et al.(2004). “Climate Change as Reflected in a Naturalist’s Diary, Middleborough, Massachusetts”, *The Wilson Bulletin*, 116(3):224–31.
- Lemos, M. et al.(2012). “Narrowing the Climate Information Usability Gap”, *Nature Climate Change*, 2(11):789–794.
- Massey, E. and D. Huiteima(2013). “The Emergence of Climate Change Adaptation as a Policy Field: The Case of England”, *Regional Environmental Change*, 13(2):341–352.
- McCarthy, J. J. et al.(2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge(MA): Cambridge University Press.
- McNamara K. E. and Lisa Buggy(2016). “Community–based Climate Change Adaptation: a Review of Academic Literature”, *Local Environment*, 22(4):443–460.
- Muccione, V. et al.(2016). “Scientific Knowledge and Knowledge Needs in Climate Adaptation Policy: A Case Study of Diverse Mountain Regions”, *Mountain Research and Development*, 36(3):364–375.
- Pecl, Greta T. et al.(2019). “Redmap Australia: Challenges and Successes With a Large–Scale Citizen Science–based Approach to Ecological Monitoring and Community Engagement on Climate Change”, *Frontiers in Marine Science*, 6:349.
- Peterson, A. Townsend(2003). “Projected Climate Change Effects on Rocky Mountain and Great Plains Birds: Generalities of Biodiversity Consequences”, *Global Change Biology*, 9(5):647–655.
- Rizvi, A.R., S. Baig and M. Verdone(2015). *Ecosystems Based Adaptation: Knowledge Gaps in Making an Economic Case for Investing in Nature Based Solutions for Climate Change*. Gland: IUCN.
- Ryan, Daniel and Eduardo Bustos(2019). “Knowledge Gaps and Climate Adaptation Policy: A Comparative Analysis of Six Latin American Countries”, *Climate Policy*, 19(10):1297–1309.
- Silvertown, J.(2009). “A New Dawn for Citizen Science”, *Trends Ecology and Evolution*, 24(9):126–136.

- Theobald, E. J. et al.(2015). “Global Change and Local Solutions: Tapping the Unrealized Potential of Citizen Science for Biodiversity Research”, *Biological Conservation*, 18:236–244.
- Tulloch, Ayesha et al.(2013). “Realising the Full Potential of Citizen Science Monitoring Programs”, *Biological Conservation*, 165:128–138.
- U.S. Global Change Research Program(2014). *Tracking a Changing Climate: Citizen Science Contribution to the National Climate Assessment Workshop Report*, Washington D.C: U.S. Global Change Research Program.
- UNEP(2014). *The Adaptation Gap Report*, Nairobi, Kenya: UNEP.
- UNEP(2017). *The Adaptation Gap Report*, Nairobi, Kenya: UNEP.
- UNFCCC·UN Environment(2018). *Lima Adaptation Knowledge Initiative: Closing Knowledge Gaps to Scale Up Adaptation*, Nairobi: UNFCCC.
- van Etten, Jacob et al.(2019a). “Crop Variety Management for Climate Adaptation Supported by Citizen Science”, *PNAS*, 116(10):4194–4199.
- van Etten, Jacob et al.(2019b). “First Experiences with a Novel Farmer Citizen Science Approach: Crowdsourcing Participatory Variety Selection Through On–Farm Triadic Comparisons of Technologies”, *Expl Agric*, 55:275–296.
- Wildschut, D. and H. Zijp(2020). “The Discoveries of Citizens Running Around”, *Climate Risk Management*, 28:100225.
- Wilderman, C. C. et al.(2004). *Top Down or Bottom Up? ALLARMS Experience with Two Operational Models for Community Science*, Carlisle: Dickinson College.
- Winkler et al.(2002). “Predicting the Effects of Climate Change on Avian Life–History Traits”, *PNAS*, 99(21):13595–13599.
- H.R.6414–Crowdsourcing and Citizen Science Act of 2016, <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/6414/text>, 미국 의회 홈페이지.
- <http://www.climate.go.kr/home/cooperation/lpcc.php>. 기후정보포털 홈페이지.

원 고 접 수 일 | 2022년 10월 9일

심 사 완 료 일 | 2022년 11월 16일

최종원고채택일 | 2022년 11월 21일

고재경 kjk1020@gri.re.kr

2001년 서울대학교 환경대학원에서 행정학 박사학위를 취득하고, 현재 경기연구원 선임연구위원으로 재직 중이며, 주요 관심 분야는 기후변화·에너지 정책, 거버넌스, 지속가능발전이다. 주요 논문으로는 “광역자치단체 온실가스 배출량과 경제성장의 탈동조화 분석”(2022, 공저) “공동체 에너지 시민참여와 확산은 어떻게 이루어지는가?: 재생에너지 협동조합을 중심으로”(2019, 공저), “지방자치단체 기후변화 적응 거버넌스 변화 연구”(2017) 등이 있다.

예민지 ymj472@gri.re.kr

2018년 서울대학교 환경대학원에서 도시계획학 석사학위를 취득하고, 현재 경기연구원 연구원으로 재직 중이며, 주요 관심 분야는 기후변화·에너지 정책, 환경경제, 지속가능발전이다. 석사학위 논문은 “1인 가구 에너지 소비행태 분석”(2018)이다.