일반논문

남극 펭귄 모니터링 연구의 시민과학 적용 탐색†

김형준* · 김정훈** · 김지연***

최근 시민과학 영역은 지역 커뮤니티 단위의 환경 모니터링 수준에서 시작해서 전지구적 환경 이슈나 온난화 문제로 확장되고 있다. 극지 연구 영역도 예외는 아니다. 극지 연구에 시민과학 적용 가능성을 탐색하기 위해 선행 연구를 분석한 결과, 극지 관광산업과 접목된 시민과학 프로그램이나 크라우드소싱 플랫폼을 활용한 펭귄과 남극해 웨델물범의 개체수 산출 프로그램 등을 살펴볼 수 있다.

본 연구에서는 일반 시민들이 펭귄 연구에 참여할 수 있는 방안으로서 온라인 시민과학 플랫폼과 해양수산부 '남극해 해양보호구역의 생태계 구조 및 기능' 연구 결과를 결합한 '펭귄 모니터링 시민과학 모델'을 제안한다.

이 모델은 남극 해양보호구역 내 드론으로 촬영한 펭귄 둥지 수를 웹이나 어플을 통해 시민이 계수한다. 둥지 수를 통해 펭귄 개체 수 파악이 가능하며, 먹이사슬의 상위종인 펭귄 개체 수 변동 연구 결과를 바탕으로 남극의 기후 변화와 남빙양에서의 어업 활동이 남극 생태계에 어떻게 영향을 미치는지를 알 수 있다.

모델에 참여하는 시민들은 과학자와 함께 펭귄 연구에 관한 지식 공동생산 과정을 경험한다. 펭귄 개체수 변화의 원인이 될 수 있는 지구온난화나 남·북극의 전지구적 작동원리에 대한 시민들의 인식 변화가 결집될 경우, 극지 연구의 방향성과 당위성에도 영향을 미칠 수도 있다. 뿐만 아니라, 극지과학자와 시민이 분석한 펭귄 모니터링 결과 보고서를 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR)에 제출하고 대중적으로 공개함으로써 남극해 해양보호구역에 대한 사회적, 학술적 가치를 강화시킬 수 있다.

[주제어] 남극연구, 시민과학, 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR), 펭귄 와치, 펭귄 모니터링 시민과학 모델

† 이 논문의 남극해 해양보호구역 펭귄 연구 결과는 2021년 해양수산부의 지원을 받아 수행되었음(PM21060, 20170336). 펭귄 연구의 시민과학 적용 탐색에 관한 첫 번째 설문(2021.1.17.~19)에 응해주신 135명의 시민들과 두 번째 설문(2021.1.26.~29)에 응해주신 171명의 시민들, 그리고 논문 작성에 도움을 주신 극지연구소 김지희 박사, 진동민 센터장께 감사드린다.

* 김형준 제1저자. 고려대학교 과학기술학협동과정 박사과정 전자우편: kimhj@kopri.re.kr
** 김정훈 한국해양과학기술원 부설 극지연구소 책임연구원 전자우편: jhkim94@kopri.re.kr
*** 김지연 교신저자. 고려대학교 과학기술학연구소 연구교수 전자우편: spring900@gmail.com

www.kci.go.kr

1. 서 론

140년 전, 최초의 남·북극 국제협력 연구 활동인「제1차 국제 극지의 해[1]」(The first International Polar Year, 1st IPY, 1882~1883)가 시작되었다. 초기 프로그램의 주목적은 기상과 지구물리 현상 관측이었으나, 최근에는 통합적 지구시스템 과학(integrated Earth System Science)으로 전환하여, 주로 기후변화 대응과 생태계·생물다양성 보호 등의 연구를 수행하고 있다(Elzinga, 2009).

극지 연구 활동은 지구 환경변화에 대한 과학적 분석이나 예측 결과 제공뿐만 아니라, 극지역을 둘러싼 정치, 경제, 입법 활동 등 여러 분야에도 영향을 미친다. 예를 들어 2018년 10개 국가는 지구온난화로 인한 해빙(海氷) 감소와 그로 인한 북극해의 노출로 발생하는 어족자원 남획을 방지하고자, 북극해 중앙 공해상 비규제 어업방지 협정(Agreement to Prevent Unregulated High Seas Fisheries in the Central Arctic Ocean, CAOFA)을 체결하였다[2]. 이 협정에 따르면, 북극해 공해 지역에서 어업을 하려면 해양환경, 수산자원생태계 조사 등의 과학적 기여를 해야 한다. 다시 말해서 극지에서의 경제활동은 극지 연구라는 '의무'로부터 주어지는 것이 되었다.

남극조약체계(Antarctic Treaty System, ATS)[3]에서도 과학연구 활동의 우선성이 강조되고 있다. 이 조약은 남극 내 새로운 영유권 주장, 군사적 행위 금지나 해양생물자원 보호 등을 명시하고 있으며, 남극의 자연적, 미학적 가치 보호를 위한 과학연구 활동에 우선순위를 두고 있다. 남극에서의 과학연구는 경제, 외교 등 다른 활동을 수행할 수 있도록 보증해주기 때문에, '통화 수단으로서 과학(Science as Currency)'이라고 불리기도 한다(Herr and Hall, 1989).

---

1) 오스트리아 과학자이자 탐험가인 칼 바이프레히트(Karl Weyprecht, 1838~1881)는 극지 과학연구를 위해 국제협력 계획을 국제사회에 제시하였고, 그 계획은 국제기상회의(International Meteorological Congress)와 국제극지회의(International Polar Conference)에서 채택(1879) 되었다(Barr and Lüdecke, 20010). 그 결과, 전 세계 과학자들은 50년마다 연대해 공동 연구를 수행하였으며, 현재까지 제1차 국제극지의 해(1882-1883년), 제2차 국제극지의 해(1932-1933년), 국제지구물리의 해(1957-1958년), 제4차 국제극지의 해(2007-2008년) 프로그램이 개최되었다(관련 사이트 참조 : http://kosap.or.kr/ipy).

2) 관련 기사 참조 : https://www.yna.co.kr/view/AKR20191030188500504?input=1195m

3) 남극조약체계란 '남극조약'(Antarctic Treaty)을 정점으로 하여 '남극의 평화적 이용'과 '남극의 환경보호'를 목적으로, 환경, 해양, 광물 등 각 분야별로 체결한 총 5개의 조약들이 포괄적으로 하나의 레짐을 형성한 것을 의미한다(관련 사이트 참조 : http://www.mofa.go.kr/www/wpge/m_4005/contents.do).

www.kci.go.kr

이상과 같은 극지 연구의 맥락을 고려하면서, 본 연구에서는 극지 연구와 온라인 플랫폼을 결합한 시민과학(Citizen Science) 모델을 제안하고자 한다. 극지역 자연현상은 전지구적인 기후변화에 중요한 영향을 미치고 있지만, 극지 연구는 현장접근이 어렵고 정보의 제약으로 대중의 이해와 관심을 받기 어려운 영역으로 남아 있다. 대중들은 극지를 '현실적인 장소'로 고려하지 않는다. 시민과학은 일반 대중들의 참여를 통해 이런 문제에 대한 새로운 접근법이 될 수 있다.

본 연구를 위해 먼저 〈Web of Science〉에서 지난 120년간 남·북극을 대상으로 한 연구들 중 시민과학 연구 사례를 조사하였다. 1900년부터 2020년 9월까지 남·북극 관련 연구 현황에 관한 검색(키워드: 'polar' or 'antarctic' or 'arctic') 결과, 301,939편의 논문이 검출된다. 이 가운데 시민과학으로 재검색(키워드: 'citizen science')할 경우, 2014년부터 40편을 찾을 수 있었다. 연도별로 2014년 1편(2.5%), 2016년 3편(7.5%), 2017년 8편(20%), 2018년 8편(20%), 2019년 10편(25%), 2020년 10편(25%)의 논문이 발표되었다. 2014년에 최초로 시민과학 키워드가 남·북극 연구에 등장한 이후로 관련 연구는 점차 증가 추세에 있다.

국가별로는 총 25개 국가 가운데 미국 21편(52.5%), 캐나다 10편(25%), 영국 10편(25%), 노르웨이 8편(20%), 독일 6편(15%), 뉴질랜드 5편(12.5%) 순으로 시민과학을 적용한 논문이 발표되고 있으며, 지리적 특성상 남·북극에 인접한 국가들의 연구가 활발히 수행되고 있다. 또한 〈Web of Science〉 범주를 통해 연구 분야를 살펴볼 경우, 생태학(Ecology) 16편(40%), 환경과학(Environmental Sciences) 12편(30%), 생물다양성 보존(Biodiversity Conservation) 7편(17.5%), 해양학(Oceanography) 7편(17.5%) 등에 시민과학이 적용되고 있다. 연구 분야의 중복을 감안하더라도 대부분 극지 생물 또는 극지 환경을 대상으로 시민과학 연구가 수행되고 있음을 알 수 있다.

본 연구는 국내 남극연구에 시민과학 적용 가능성을 파악하기 위해 첫째, 시민과학이 활용된 선행 극지 연구를 검토하고, 둘째, 현재 극지연구소에서 수행하고 있는 펭귄 연구와 연계할 수 있는 시민과학 모델을 제안하고자 한다. 마지막으로, 극지 연구를 시민과학으로 재구성한 본 연구의 의의와 제언을 제시하고자 한다.

www.kci.go.kr

2. 극지 시민과학 연구

일반 시민들은 오존층 파괴, 지구온난화, 산성비와 같은 '환경위협'과 핵발전, 미세 플라스틱, 쓰레기 오염과 같은 '위험' 속에서 자신들의 삶이 '지속가능성'을 갖도록 어떠한 대처를 해야 할까? 오늘날 이러한 사회문제를 자신의 생존 문제로 인식하고, 좁게는 지역에서 넓게는 국가, 국가간 환경 정책 등에서 시민과학이 적극적인 '실천 행동'으로 표출되고 있다. 최근에는 환경 이슈나 온난화 문제가 전지구적인 문제로 인식됨에 따라 시민과학은 극지 연구 영역까지 적극적으로 모색되고 있다.

극지 연구에 대한 시민과학 적용은 먼저 북극 연구에서 그 기원을 유추해 볼 수 있다. 유럽의 시민과학이 환경 모니터링이나 환경 의사결정과 관련하여 발생한 점은 온난화가 초래하는 북극의 환경 변화가 자국의 문제로 인식될 수밖에 없었던 환북극권 국가들의 당면 이슈와 무관하지 않다. 또한 북극권 육상 지역에서는 비교적 이동과 방문이 수월하기 때문에 북극을 기반으로 하는 시민과학 연구가 남극보다 상대적으로 쉽게 정착할 수 있었다. 대표적인 예로 북극이사회(Arctic Council)[4]는 원주민들에게 전통지식을 활용하여 북극생물 다양성 보전 및 북극 생명자원의 이용 등을 위한 각종 연구프로젝트에 참여하는 것을 권장하고 있다. 그에 비해 남위 60도 이남 대륙과 남빙양(Southern Ocean)으로 둘러싸인 남극지역은 일반 시민들의 접근이 용이하지 않다. 그렇지만, 최근 들어 일반 시민이 참여하는 남극연구 사례가 등장하고 있다.

1) 시민과학: 과학지식의 공동생산 모델

시민과학이라는 용어는 1989년에 미국 전역의 225명의 지원자가 산성비의 위험성에 대한 경각심을 알리기 위해 산성 정도를 수집하여 오듀본 협회(Audubon Society, 미국의 야생동물 보호회)에 보고하면서 처음 사용되었다(Haklay, 2015). 시민과학(citizen science)은 과학연구 내 대중 참여(Public Participation in Scientific Research(PPSR)), 참여과학(Participatory science), 시민과학(civic science),

4) 북극이사회는 북극권 환경보호와 원주민의 보호, 지속가능발전을 위하여 북극권 국가들이 1996년 설립한 정부간 협의기구이다. 회원국은 미국, 러시아, 캐나다, 노르웨이, 덴마크, 핀란드, 스웨덴, 아이슬란드 등 북극권 8개국이다(관련 사이트 참조 : www.arctic-council.org).

www.kci.go.kr

아마츄어 과학(amateur science), 크라우드소스 과학(crowdsourced science)의 용어(Haklay, 2015)나, 대중과학(popular science)(김지연, 2018)으로 불리기도 한다. 크루거와 섀넌(Kruger and Shannon, 2000)은 시민과학을 "연구자로서 시민들이 과학에 관여하는 과정"으로 표현했으며, 화이트로와 그의 동료들(Whitelaw et al., 2003)은 "관심있는 시민, 정부기관, 산업계, 학계, 지역사회 단체 및 지역기관이 협력하여 공동체의 관심 사안(환경)을 모니터링, 추적, 대응하는 과정"이라고 정의한 바 있다. 또 다른 정의로는 "과학이나 사회에 관한 새로운 지식을 생산하기 위해 과학자와 시민이 협력하는 행위"(Vohland et al., 2021)나 "비직업적인 연구자들이 체계적으로 데이터를 수집하고 분석하는 활동, 기술개발, 자연 현상 시험과 이들 활동을 전파하는 일"(박진희, 2018)로 일컫기도 한다. 본 논문에서는 "공식적 전문성의 여부와 관계없이 시민이 과학자와의 협력을 통해 과학활동에 참여하고 기여하는 행위"라고 정의하고자 한다.

기존 연구에서는 과학활동 과정에서 시민 참여 수준에 따라 시민과학 프로젝트를 유형화하고 있다. 보니와 그의 동료들(Bonney et al., 2009)은 과학자들이 프로젝트를 설계하고, 시민들은 미리 정의된 프로토콜에 따라 데이터를 수집하거나 분석하는 '기여형(contributory)', 시민들이 프로토콜 조정, 결론 도출, 연구의 새로운 방향 제안에 참여하는 '협력형(collaborative)', 과학활동 과정의 모든 단계에 시민이 참여하는 '공동 창작형(co-created)'으로 구분한다. 하크래이(Haklay, 2015)는 시민과학의 참여 유형을 〈표 1〉과 같이 분류하였다. '자발적 컴퓨팅'이나 '자발적 사고' 단계에서 데이터 수집, 분석을 수행한다. 좀 더 적극적 참여 수준인 '참여과학(Participatory Science)' 단계에서 시민들은 문제 정의에 개입하게 되고 '극단시민과학(Extream Citizen Science)' 단계에서는 문제 정의, 데이터 수집, 분석 등 과학활동의 전 과정에 참여하게 된다(Haklay, 2013). 그렇지만 현실적으로 대부분의 시민과학은 앞의 두 분류상 '기여형'이나 '자발적 컴퓨팅', '자발적 사고' 유형에 속한다. 이 유형의 특징은 특정 과학 주제를 위해 참여자를 모집하고, 시민들은 참여 동기나 흥미를 느끼는 경우, 정해진 프로토콜에 따라 등록을 하고 참여를 하게 된다(Land-Zandstra et al., 2021).

www.kci.go.kr

〈표 1〉 하크래이의 시민과학 참여 유형

유 형	예 시
수동형 감지 (Passive Sensing)	참여자가 자동감지 센서를 핸드폰에 부착하거나, 정원에 놓아두면 별도 조치 없이 자동으로 정보가 수집되어 과학자들에게 전달됨
자발적 컴퓨팅 (Volunteer Computing)	참여자가 사용하지 않는 개인 컴퓨터, 테블릿, 핸드폰을 과학자들에게 기증하여 분석 등에 사용토록 함
자발적 사고 (Volunteer Thinking)	참여자들의 인지능력을 활용하여 데이터 분석을 수행하며, 그 예로 웹에 구축된 플랫폼을 활용하여 우주, 생물, 물리학 등과 관련된 대용량 데이터나 이미지들을 분류/분석함
환경과 생태 감시 (Environmental and Ecological Observation)	시민과학의 가장 오래된 형태로 대상을 환경 오염이나 동식물 모니터링에 초점을 맞춤

* 출처 : Haklay(2015) 바탕으로 재구성

과학자나 시민의 입장에서 시민과학 참여의 의미, 즉 참여를 통해 얻게 되는 효과는 선행 조사 결과를 통해 유추 가능하다. 프로젝트 리더는 시민들의 학습 성과, 이슈에 대한 인식 증가 및 행동 변화 측면에서 특정한 목표를 염두에 둘 수 있다. 필립스와 그의 동료들(Phillips et al., 2018)은 시민과학 프로젝트 리더들이 프로젝트의 학습결과를 평가하는 항목을 조사하였다. 집계 결과, 시민들의 '과학에 대한 관심 또는 참여 유도'(46%), '과학 내용에 대한 지식 증대'(43%), '행동 변화'(36%), '태도 변화'(33%), '과학탐구기술 향상'(28%) 등으로 나타났다. 반면 시민들을 대상으로 온라인 플랫폼에 참여하는 이유를 묻는 설문 조사에서 시민들은 '과학적 발전에 기여'(91%), '프로젝트 주제에 대한 관심'(84%), '흥미'(51%) 등을 중요시하는 것으로 조사되었다.5)

시민과학을 과학지식의 공동생산모델로 볼 수 있는 이론적 근거는 '대중의 과학이해(Public Understanding of Science, PUS)'에서 찾는다. 결핍모형(deficit model)이라고 불리는 전통적 PUS에서는 대중을 지식 흡수의 수동적 용기로 간주했지만, 구성적 PUS는 대중의 국소적 문제 해결 능력을 인정할 뿐만 아니라, 과학지식의 구성과 정책의 의사결정에 참여하는 대중의 능동성을 강조한다(김동광, 2002). 이러한 관점에서 시민은 과학활동 과정에서 특정한 맥락의 경험이나 도덕적, 윤리적 가치판단을 포함하는 총체적인 지식을 갖는다(한재각·장영배, 2009). 특권 소수의 과학자뿐만 아니라, 대중이 과학지식에 관여하게 된다. 시민과 과학자는 협력활동을 통해 의견 차이를 조정하는 일

5) 관련 사이트 참조 : https://blog.zooniverse.org/tag/survey/

www.kci.go.kr

에 더해 각자의 부족한 정보를 채우고 새로운 지식을 생산해 내는 상호 학습이 가능하다(임홍탁·송위진, 2019). 이로써 지식 생산의 결과는 축적되고 집단적이며 사회적인 성격을 갖게 된다.

한편, 국내 STS를 중심으로 전개된 시민과학에 대한 논의는 시민참여에 관한 다양한 역사적 인식론에 대한 고찰(현재환·홍성욱, 2012), 운동(과학기술 민주화) 관점에서의 시민참여 사례 분석(박진희, 2004 ; 박진희, 2013 ; 김환석, 2010), 한국 시민과학 사례 소개 및 유형 분류(박진희, 2018 ; 김지연, 2018 ; 한재각·장영배, 2009)나 새로운 시민과학 모델 설계(김지연 외, 2020) 등이 있다. 대부분의 국내 시민과학 연구는 서구의 개념과 유형을 소개하고 한국에 적용된 사례를 분석하는 형태로 수행되었다.

한국적 상황의 시민과학을 분석한 김지연(2018)은 시민과학을 '교육으로서의 시민과학', '운동으로서의 시민과학', '연구플랫폼으로서의 시민과학', '거버넌스로의 시민과학'으로 분류하였다. 한국의 시민과학 활동은 주로 '교육으로서의 시민과학'이나 '운동으로서의 시민과학' 양상을 띠고 있었다. 상대적으로 '연구플랫폼으로서의 시민과학', '거버넌스로의 시민과학'의 두 유형은 거의 시도된 적이 없거나 이제 시작 단계이다.

우리나라의 대표적 시민 참여모델은 1997년 11월 출범한 '시민과학센터'나 2004년 1월 과학상점 운동을 실천코자 설립된 '시민참여연구센터'가 있다. 또한 합의회의(consensus conference), 시민배심원제(citizen jury) 시민과학 모델을 통해 일반인들을 정책적 의사결정에 적극적으로 참여시킨다. 그렇지만 국내 시민과학 활동 유형과 내용은 국외 사례와 비교하여 제한적인 것으로 나타난다(박진희, 2018). 따라서 좀 더 대중적인 방법으로 시민과학 활동의 주제와 플랫폼이 다양해질 필요가 있다.

2) 극지 시민과학 사례

여기에서 극지는 남극과 북극 권역을 말한다. 각각의 권역은 국제규약에 따라서 다음과 같이 규정하고 있다. 남극조약(Antarctic Treaty, 1959)은 남극지역을 남위 60도 이남 지역으로 규정하고 있다. 남극해양생물자원보존협약(Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR)[6]에서는 남빙양 대상 해역을 남위 60도 이남 및 남위 60도와 남극수렴

www.kci.go.kr

선[7] 사이의 지역으로 한다. 북극은 북위 66.33도 이북 지역 또는 영구 동토층의 한계선을 지칭하며, 북극해는 북미와 유라시아 대륙으로 둘러싸인 해양을 일컫는다.

극지 시민과학은 하크래이 시민과학 유형에서 제시하는 '환경과 생태 감시(Environmental and Ecological Observation)'와 부합된다. 이는 남·북극에서 기후변화에 가장 민감한 동식물의 변화를 쉽게 관찰할 수 있기 때문이다.

극지 연구가 다른 연구 분야와 다른 특징으로 접근 시기와 접근 수단에 제약을 받는다. 북극권 국가들의 육상 영토는 비교적 자유로운 이동이 가능하고, 일반시민이 직접 데이터를 수집할 수 있다. 그렇지만 남극해와 남극 대륙은 11월~2월, 북극해는 7~9월에만 한시적으로 하계 현장 방문이 가능하다. 이조차도 쇄빙연구선이나 과학기지 등의 극지 인프라가 없는 경우 접근이 매우 어렵다. 과학기지는 제한된 목적을 수행하는 인원만 출입이 가능하므로 일반시민이 직접 현장조사에 참여하여 정보를 수집하는 것에는 한계가 있다. 그러나 전세계적으로 극지 관광이 활성화되면서 관광 중인 시민들도 적극적인 정보 생산자가 되고 있다.

최근 극지역에서 수집한 정보에 대한 접근성을 확대하여 온라인 플랫폼 상에서 분석하는 형태의 극지 시민과학이 등장하고 있다. IT 기술 등의 발전은 시민과학을 통한 대중 참여와 새로운 과학 문화 형성에 특별한 방법론을 제공한다(Kim et al., 2020). 이는 하크래이(2015)의 '자발적 사고', 김지연(2018)의 '연구플랫폼으로서의 시민과학' 유형으로 제시된다. 시민들의 극지역 접근 가능성에 따른 데이터 수집 및 분석 형태는 〈표 2〉와 같다.

---

6) 남극 주변해역을 관할구역으로 하여 남극해양생물의 보존 및 합리적 이용을 위해 1982년에 발효된 국제협약으로 현재 회원국 26개국(EU 포함), 비회원 협약 가입국 10개국 등 총 36개국이 가입하였으며, 우리나라는 1985년 회원국에 가입하였다. 남극해 어획이 종속 종에 미치는 영향에 대한 정보를 제공하기 위해 남극해양생물자원보존위원회는 1989년 이래로 남극해양생물자원보존위원회 생태계 모니터링 프로그램(CCAMLR Ecosystem Monitoring Program, CEMP)을 운영해오고 있다. 동 프로그램은 크릴의존성 상위포식자를 지표종으로 선정하였으며, 남극 로스해 해양보호구역 설정 후 종합적인 생태계 변화 파악을 위해 회원국들은 5년마다 연구 및 모니터링 자료를 제출한다(CCAMLR Conservation Measure 91-05, 2016).

7) 남극해양생물자원보존에 관한 협약 제1조 제4항에 따르면, 남극수렴선이라 함은 위도선과 자오선에 따라 다음의 점을 연결한 선을 말한다. 남위 50도·경도 0도, 남위 50도·동경 30도, 남위 45도·동경 30도, 남위 45도·동경 80도, 남위 55도·동경 80도, 남위 55도·동경 150도, 남위 60도·동경 150도, 남위 60도·서경 50도, 남위 50도·서경 50도, 남위 50도·경도 0도.

www.kci.go.kr

〈표 2〉 시민들의 극지역 접근 가능성에 따른 데이터 수집 및 분석 형태

구 분	시민들의 극지역 접근 가능성		
	접근 가능 (북극 육상지역)	한시적 접근 가능 (여름철 남·북극해)	접근 불가 (남극 대륙)
데이터 수집 형태	일반 시민이 접근 가능하여 직접 데이터 수집	일반 시민이 남·북극해 관광을 통해 직접 데이터 수집	일반 시민의 접근이 불가하여, 극지 과학자가 현장 조사를 통해 데이터 수집
데이터 분석 형태	현실 공간 데이터 분석 또는 온라인 플랫폼에서 데이터 분석		

극지 시민과학의 특징과 하크래이(2015)의 연구 결과를 바탕으로 극지 시민과학 유형을 재구성할 수 있다. 극지 시민과학 유형을 재구성하고 사례를 살펴보는 이유는 기존 사례의 분석을 통해 특성을 파악하고 우리나라에 적용 가능한 시민과학 모델을 도출하기 위함이다.

극지 시민과학의 Ⅰ유형은 〈표 1〉의 '환경과 생태 감시'와 〈표 2〉의 '일반 시민이 접근 가능하여 직접 데이터 수집', '현실 공간 데이터 분석' 결합 형태이다. 인간활동이 초래하는 글로벌 환경 변화가 전 세계적으로 생물 다양성의 지속적인 감소를 야기하고 있고, 이러한 생물 다양성의 문제와 위험성을 정확하게 평가하기 위해 데이터 수집 및 모니터링 시민과학이 수행된다(Schmeller et al., 2017). 모니터링 항목은 생태계 구성원(위험에 처한 지표종이나 종), 구조(생물 다양성 분석, 핵심종, 포식자-먹이 관계 등) 또는 순환(즉, 종과 환경의 연관, 영양분 순환 등) 등 생태계의 다양한 측면이 포함된다(Milne et al., 2006). 생물 변화 모니터링의 예로서 '북극권 기후변화가 자작나무 잎의 모양이나 색깔에 미치는 영향 연구(Gonsamo and Chen, 2016)', '캐나다 북극해 지역과 그린란드에서의 기생충말벌 표본 연구(Fernández-Triana et al., 2017)', '대기 오염에 의한 이끼의 색깔 변화 관찰 연구(Gabrys, 2018)' 등이 있다. 시민들은 식물 종의 개화 시간을 기록하여 데이터를 웹(NatureWatch)[8]으로 제출하거나, 센서를 통해 측정된 공기질을 판별하기도 한다. 이러한 시민과학의 참여는

8) NatureWatch는 2000년에 캐나다 환경청과 환경 NGOs 등에 의해 만들어졌으며, 어린이, 성인, 가족, 단체, 동호회 등의 일반 시민이 뒷마당, 근린공원, 숲, 들판, 연못 등에서 개구리, 꽃, 벌레, 얼음 등의 상태를 관찰하고 스마트폰을 통해 그 기록 결과를 온라인 지도 위치와 함께 전송한다. 캐나다의 대학, 연구기관 등은 생물다양성, 기후, 자연환경의 변화 연구에 필요한 과학적 데이터 획득을 위해 이 웹사이트를 활용하고 있다(관련 사이트 참조 : https://www.naturewatch.ca).

www.kci.go.kr

스마트폰 앱 또는 웹사이트 개발이나 손쉬운 측정 센서의 개발을 통해 참여가 용이하고 활발해질 수 있다.

Ⅱ유형은 〈표 1〉의 '환경과 생태감시'와 〈표 2〉의 '일반 시민이 남·북극해 관광을 통해 직접 데이터 수집', '현실 공간 데이터 분석' 결합 형태이다. 전세계적으로 관광을 통해 이미 시민과학 연구가 활성화되고 있으며, '보존관광(conservation tourism)'이나 '참여형 환경 연구(participatory environmental research)' 등의 유사한 용어로도 불리고 있다(Scheepens, 2014). 토착지 채굴과 관련된 지질학 연구 분야의 시민과학은 지역사회 우선 순위나 공동체의 가치와 부합하지 않을 수도 있다(Pandya, 2012). 그러나 관광은 방문객, 지역 커뮤니티, 연구자 모두가 환경을 우선 순위로 여긴다는 점에서 이해관계 충돌의 여지가 없고 그만큼 시민과학 참여 동기나 활발한 활동에 잠재력이 있다. 뿐만 아니라, 남극연구를 강화하는 유효한 도구인 동시에 극지 환경에서 과학을 배우는 데 관심이 있는 여행자들에게 풍부한 경험을 제공할 수 있다(de la Barre et al., 2016). 남극 국제관광협회(International Association of Antarctica Tour Operators, IAATO)[9]는 남극 관광의 목적을 여행자들에게 직접 남극을 경험할 수 있는 기회를 제공함으로써 남극의 자연적, 미학적 가치 보호를 위한 대사들(a corps of ambassadors)을 양성하는 것이라고 언급하고 있다.

데라베르와 그의 동료들(de la Barre et al., 2016)은 남·북극 지역에서 시민과학과 관광이 결합된 프로그램을 소개한다. 알래스카 지역에서 '고래 및 빙하 과학 어드벤처 선박 투어(Whales and Glacier Science Adventure)'를 활용한 식물성 플랑크톤 샘플링/수질 테스트/혹등 고래 데이터 제공 연구, 북극해 스발바르 지역 크루즈 투어를 통한 해양 포유류 관찰 및 데이터 제공 연구를 들고 있다. 또 다른 예로는 '남극 반도의 서쪽(Western Antarctic Peninsula) 근해 식물성 플랑크톤[10] 군집 조사 연구(Mascioni et al., 2019)', '북극 스발바르 군도의 크루즈 관광객을 활용한 북극 생태계 해양쓰레기 실태조사 연구(Bergmann et al., 2017)' 등이 있다.

---

9) 남극국제관광협회(International Association of Antarctica Tour Operators, IAATO)는 1991년 설립되어 매 남극 하계 시즌에 남극 대륙을 250회 이상 왕복을 하는 관광 프로그램을 운영하고 있으며, 현재 전 세계 100여 개 이상의 협력사를 두고 있다(관련 사이트 참조 : https://iaato.org/). 남극국제관광협회에 따르면, 2018-2019년 남극 관광객은 5만 5489명에 이르며, 남극을 찾는 관광객은 해마다 5%씩 증가하고 있다. 한국의 경우는 2017-2018년에 72명으로 조사되고 있다(관련 기사 참조 : https://www.traveltimes.co.kr/news/).

10) 고래, 바다표범, 펭귄 등은 작은 무척추동물(크릴, 요각류 등)을 먹고 살고, 이들은 식물성 플랑크톤을 먹이로 하므로, 식물성 플랑크톤 조사는 먹이사슬 분석을 통한 남극생태계모니터링의 가장 기본적인 단계이다.

www.kci.go.kr

Ⅲ유형은 〈표 1〉의 '자발적 사고'와 〈표 2〉의 '일반 시민이 남·북극해 관광을 통해 직접 데이터 수집', '온라인 플랫폼에서 데이터 분석' 결합 형태이다. 데라베르와 그의 동료들(de la Barre et al., 2016)는 남극해 관광을 통한 고래 데이터 수집 및 분석 연구인 '해피웨일(Happywhale)[11]' 프로그램을 소개한다. 시민들은 크루즈 투어 동안 고래 발견 시 사진을 찍어 사이트에 업로드하고 이를 분석함으로써 고래의 개체수 및 이동경로 파악에 중요한 정보를 제공한다.

Ⅳ유형은 〈표 1〉의 '자발적 사고'와 〈표 2〉의 '일반 시민의 접근이 불가하여, 극지과학자가 현장 조사를 통해 데이터 수집', '온라인 플랫폼에서 데이터 분석' 결합 형태이다. 접근이 불가한 남극대륙의 펭귄과 웨델물범의 개체수 파악을 위해 과학자들은 크라우드소싱 기반으로 카메라 이미지 혹은 위성 영상을 웹사이트에 게시하였다(Jones et al., 2018 ; LaRue et al., 2019). 일반적으로 카메라 이미지는 생물 군집의 번식과 행동을 대규모로 동시에 모니터링할 수 있는 비침습적 수단(non-invasive measurement)으로 활용된다. 시민들은 과학자들의 대용량 데이터나 영상 이미지에서 개체수 등의 정보를 온라인 플랫폼상에서 파악하고 제공함으로써 과학적 기여에 참여한다.

〈표 3〉 남·북극 시민과학 사례 유형과 예시

구 분	시민들의 극지역 접근 가능성		
	접근 가능 (북극 육상지역)	한시적 접근 가능 (여름철 남·북극해)	접근 불가 (남극 대륙)
환경과 생태 감시	〈Ⅰ유형〉 • 기후변화가 자작나무에 미치는 영향연구 • 기생충 말벌 표본수집 연구 • 대기 오염에 의한 이끼 영향 관찰 연구 • 식물 종 개화 관찰 연구	〈Ⅱ유형〉 • 북극해 관광을 통한 알래스카 고래 데이터 수집 연구 • 북극해 관광을 통한 해양 포유류 관찰 및 데이터 제공 연구 • 북극해 관광을 통한 해양쓰레기와 포유류 관찰 연구 • 남극해 관광을 통한 식물성 플랑크톤 조사 연구	-

11) 관련 사이트 참조 : https://www.happywhale.com/

www.kci.go.kr

구 분	시민들의 극지역 접근 가능성		
	접근 가능 (북극 육상지역)	한시적 접근 가능 (여름철 남·북극해)	접근 불가 (남극 대륙)
자발적 사고	-	〈Ⅲ유형〉 • 남극해 관광을 통한 고래 데이터 수집 및 분석 연구	〈Ⅳ유형〉 • 남극의 펭귄 개체수 파악 연구 • 남극의 웨델물범 개체수 파악 연구

지금까지의 남·북극 시민과학 유형과 예시는 〈표 3〉과 같다. 현실적으로 우리나라의 일반 시민이 극지역에 접근하는데 지리적, 비용적으로 어려움이 많다. 대부분 남·북극에 가깝게 위치한 나라에서 관광 또는 방문 등을 통해 시민과학이 수행되고 있다. 그렇지만, Ⅳ유형의 시민과학은 지리적으로 극지역에서 멀리 떨어진 우리나라에서도 과학자들이 제공하는 극지 데이터를 온라인 플랫폼상에서 분석함으로써 활동이 가능하다.

3) 극지 시민과학 Ⅳ유형 분석

일반 시민이 온라인을 통해 손쉽게 극지 데이터에 접근하여 분석이 가능한 Ⅳ유형의 국내 시민과학 모델 개발을 위해 관련 연구를 좀 더 구체적으로 살펴보고자 한다.

존스와 그의 동료들(Jones et al., 2018)의 연구에서는 2012년 3월부터 2014년 1월까지 남극 반도, 사우스 셰틀랜드 제도, 사우스 조지아 지역의 펭귄(Spheniscidae; Pygoscelis 종) 서식지에서 개체군을 조사하였다. 카메라 이미지의 펭귄을 계수하기 위해 시민과학 프로젝트 '펭귄 와치(Penguin Watch)[12]'를 시작했다. 먼저 남극 내 91개의 자동화된 시간 경과 카메라(Automated time-lapse cameras)를 설치하고 1년 동안 주기적으로 이미지를 촬영하였다.

수집된 이미지는 '펭귄 와치'라는 웹사이트에 업로드되며, 시민과학 참여가 이루어진다. '펭귄 와치'는 시민과학 플랫폼인 주니버스(Zooniverse)[13]

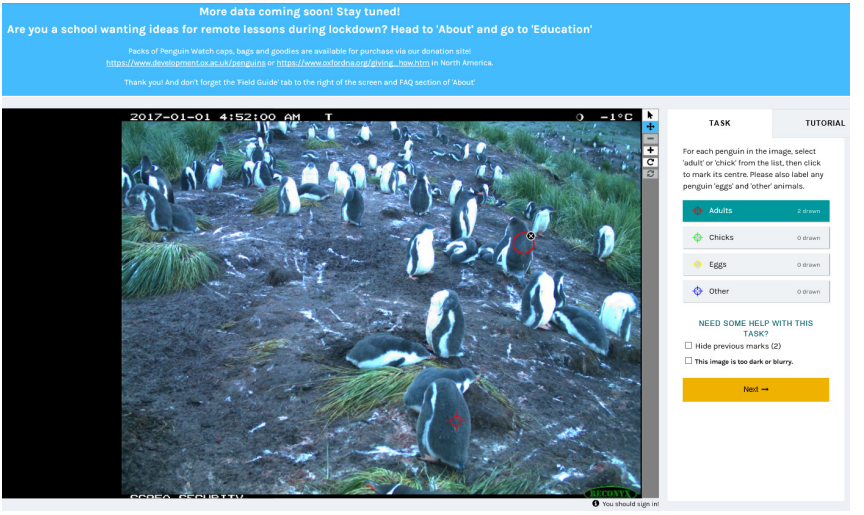
12) 관련 사이트 참조 : https://www.penguinwatch.org/

13) 주니버스(Zooniverse)는 전세계에서 가장 큰 시민과학 연구플랫폼으로서, 웹을 통한 분석 행위 뿐만 아니라, 데이터 결과를 바탕으로 연구도 가능하다. 예술, 생물, 기후, 역사, 문학, 의학, 물리학, 우주 등의 분야에서 101개 프로젝트를 수행하고 있다. 펭귄 와치는 생물 분야 내에 속해 있다(관련 사이트 참조 : https://www.zooniverse.org/).

www.kci.go.kr

상에서 운영 중이다. 주니버스 내 다른 프로젝트와 마찬가지로 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 자원자(volunteer)[14]가 자바스크립트 인터페이스를 통해 이미지를 판별한다(그림 1).

〈그림 1〉 펭귄 와치 웹사이트 화면



* 출처 : https://www.zooniverse.org/projects/penguintom79/penguin-watch/classify

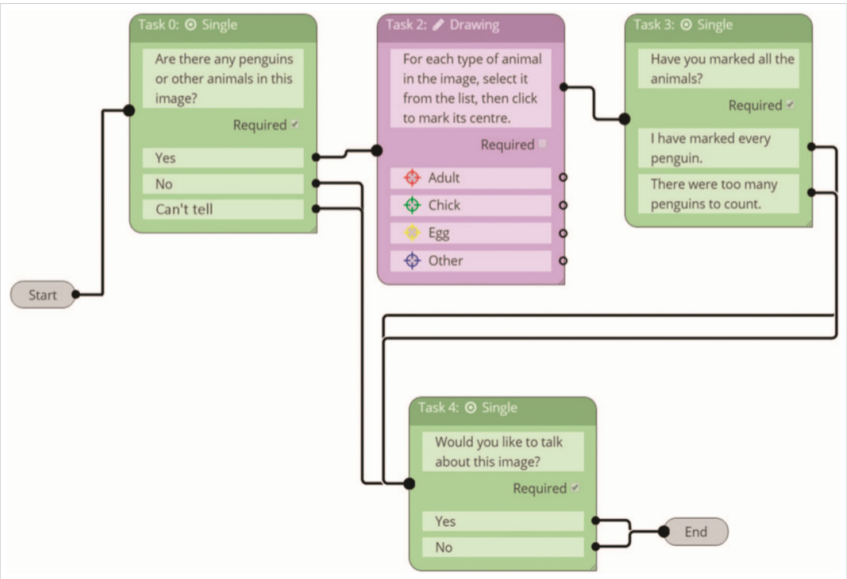
처음 네 명의 자원자가 동물이나 펭귄이 존재하지 않거나('No' 클릭), 확실하지 않다고 진술할 경우('Can't tell' 클릭), 그 이미지는 제거된다(아무도 동물을 식별하지 못했다고 가정)(〈그림 2〉의 task 0). 누군가 이미지상 동물이나 펭귄이 존재한다고 답변하는 경우('Yes' 옵션 선택) 그 이미지는 기본적으로 10명의 자원자에게 보내져, '성체(adult)', '새끼(chick)', '알(egg)', '기타' 에 대한 분류를 실시한다(〈그림 2〉의 Task 2). '지침서(TUTORIAL)'를 클릭하는 경우, 한 펭귄을 두 번 클릭하지 말거나, 배경의 너무 작은 펭귄은 무시하라던지, 기타로 분류해야 할 이미지(예 : 사람, 갈매기) 등을 알려준다. 이미지 분류가 완료되면,

14) 주니버스 자원자는 데이터 분류를 하는 프로젝트 자원자(Volunteer on a Project), 아직 출시하지 않은 프로젝트에 대한 베타 테스터 자원자(Volunteer as a Beta Tester), 프로젝트의 과학적 내용, 설계 등에 관한 'Talk' 게시판 운영을 담당하는 프로젝트 중재 자원자(Volunteer as a Project Moderator)가 있다. 자원자가 되기 위해서는 자격이 필요하지는 않지만, 회원가입을 해야 한다. 베타 테스터 자원자와 프로젝트 중재 자원자가 되기 위해서는 별도 이메일을 보내거나, 프로젝트 연구자에게 연락을 해야 한다. 현재 펭귄 와치에는 20,281명의 자원자가 있다(관련 사이트 참조 : https://www.zooniverse.org).

www.kci.go.kr

표시를 전부 했는지에 대한 확인(〈그림 2〉의 Task 3)이 이루어진다. 분류를 계속하고자 한다면 'Next' 버튼을 클릭하고, 과학적 논의(프로젝트 내용, 목표, 관찰 내용), 도움말(인터페이스, FAQ 등)에 관해 의견이 있다면 'Done & Talk'를 클릭하여 토론 게시판에 글을 남길 수 있다(〈그림 2〉의 Task 4).

〈그림 2〉 펭귄 와치 자원자(Volunteer)의 워크 플로우



* 출처 : Jones et al.(2018)

자원자가 이미지 분류를 실시한 경우, 펭귄 또는 기타로 표시하여 클릭한 좌표들이 생성된다. 이들 위치별로 그룹화가 가능하므로 각각의 이미지는 클러스터링 알고리즘을 활용하여 군집화된 그룹에 대한 평균 xy좌표를 생성한다. 클러스터링 알고리즘을 통해 생성된 데이터는 '합의 클릭 데이터(Consensus clicks data)'라고 부른다. 이들 '합의 클릭 데이터'는 '원시이미지', '메타데이터(날짜, 시간, 온도 등의 정보)'와 함께 디지털 저장소에 저장된다. 이렇게 모인 대량의 정보를 사용하여 자동으로 분류를 수행하도록 기계 학습 알고리즘의 훈련도 가능해진다.

이런 과정들을 통해 도출된 데이터 혹은 분석 결과의 객관성(정확성과 질) 문제는 시민과학에서 주로 등장하는 취약 지점이다(Balázs et al., 2021). 플랫

www.kci.go.kr

폼 참여 수행의 난이도가 너무 높거나, 시민들이 정해진 프로토콜을 따르지 않는 경우가 존재하기 때문이다. 분석의 신뢰성과 타당성이 담보되지 않는 경우 과학적 결과에 불신이 생기거나, 정책입안자나 다른 과학자 등의 이해관계자들에게 잘못된 정보를 제공한다. 따라서 데이터 검증은 시민과학에 있어 중요한 절차 중의 하나이다. 검증 방법으로는 숙달된 시민이 경험이 없거나 새로 참여한 시민의 결과 데이터를 검증하는 '동료 확인(peer verification)', 프로젝트 내 과학자와 같은 전문가가 수행하는 '전문가 검증(expert verification)', 데이터마이닝 알고리즘이나 AI 등 자동화 프로그램을 기반으로 한 '자동화된 질 평가(automatic quality assessment), 시공간의 다양한 현상을 예측하여 오류를 처리하는 '모델 기반 질 평가(model-based quality assessment)' 등이 있다(Balázs et al., 2021).

존스와 그의 동료들(Jones et al., 2018)은 시민과학 데이터에 관한 타당성 검증을 위해 자원자가 분류한 결과와 전문가가 분류한 결과의 일치성을 비교하는 '전문가 검증'을 실시하였다.

우선 100개의 이미지를 무작위로 추출하여 동물이 없는 경우를 비교한 결과, 96%의 일치성을 보였다. 일치하지 않는 4% 가운데 3개는 자원자가 잘못 표시를 하였고, 1개는 전문가가 동물을 놓친 경우였다. 자원자의 잘못 표시는 모두 단 한 명이 이미지를 판별한 경우로, 추후 한 이미지당 최소 판별자수를 두 명 이상으로 조정할 경우 오류 수정이 가능하다. 또한, 한 서식지에서 다른 각도와 거리에서 촬영된 4대의 카메라 이미지 분류 결과도 비교 분석하였다. 각 카메라마다 300개의 이미지를 무작위로 추출하였고, 자원자가 분류한 성체의 수, 새끼의 수, 성체와 새끼가 함께 있는 수를 비교하였다. 비교 결과 첫째, 이미지상 서식지의 크기가 크고 개체수가 집중화될수록 자원자의 판별 오류 발생이 늘어났다. 따라서 관심 지역에 초점을 맞추어 이미지를 세분화한다면 이러한 문제점은 해결할 수 있을 것으로 판단하였다. 두 번째, 새끼의 수 판별 정확도가 성체에 비해 낮았다. 이는 새끼가 솜털이 빠지고 깃털이 나면서 성체와 비슷하게 보일 수 있기 때문이었다. 따라서 펭귄 종별로 새끼에 대한 이미지 정보를 알려줌으로써 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단하였다. 펭귄 와치의 워크플로우로 인해 새끼수가 과소평가되는 경우도 있었다. 펭귄 와치에서는 자원자가 30개의 개체를 판별하는 경우, 흥미를 잃지 않도록 다음 이미지로 넘어갈 것인지에 대한 선택을 하도록 메시지를 보여준다. 자원자는 대개 성체를 먼저 판별하기 때문에,

www.kci.go.kr

판별을 완료하지 않고 다음 이미지로 그냥 넘어가는 경우 새끼의 수는 놓치게 된다. 따라서, 새로운 이미지로 넘어가기 전에 새끼를 포함하여 자원자가 분류해야 할 펭귄의 유형을 '지침서(TUTORIAL)'에 반영함으로써 이 오류를 극복할 것으로 판단하였다.

라루와 그의 동료들(LaRue et al., 2019)은 남극해에서 서식하는 웨델물범(Leptonychotes weddellii)의 개체수를 파악하기 위해 위성 영상에 표시된 웨델물범을 분류하는 시민과학 프로젝트인 'SOS(Satellites Over Seals)[15]'를 소개하고 있다. SOS는 고해상도 위성사진과 크라우드소싱을 활용한 온라인 플랫폼을 사용했다. 325,000명 이상의 시민 과학자들은 바다표범의 위치 파악을 위해 남극 대륙 연안의 268,611㎢ 지역에서 790개의 VHR 이미지(2010년 11월부터 2011년 11월까지)를 온라인 플랫폼상에서 분류하였다.

시민 과학자들의 분류 결과에 대한 타당성 검증을 실시한 결과, 바다표범이 아닌데 바다표범으로 표기한 경우(거짓 음성 검출률, 2종 오류)는 1.728%였고, 그 반대로 바다표범인데 아니라고 표기한 경우(거짓 양성 검출률, 1종 오류)는 0.014%였다. 이러한 오류를 감소시키기 위해서는 큰 바위, 얼음 덩어리 또는 움푹 패임/구멍 등의 주변 환경과 바다표범의 구분에 대한 이미지 해석 훈련이 필요한 것으로 판단하였다.

앞의 두 사례가 시민과학으로서 의미하는 바는 선행 플랫폼인 주니버스에서 찾을 수 있다. 주니버스는 이러한 유형의 시민과학을 수행하는 과정에서 과학자와 시민이 어떠한 상호작용 관계를 형성하는지를 설명하고 있다[16]. 홈페이지를 방문한 이들에게 다양한 펭귄 이미지와 정보를 보여줌으로써 프로젝트에 대한 친근감을 형성하고 운영 목적을 설명한다. 시민들이 참여 의사를 갖고 계정 등록을 완료하면 과학적 사실에 대한 비교적 간단한 질문에 답변하는 과학적 기여로써 대중의 지혜(wisdom of crowds)를 축적해 간다. 신뢰성 있는 정확한 데이터를 생산할 뿐만 아니라, 컴퓨터가 수행하지 못하는 패턴을 분석하기도 한다. 시민들의 오류가 발견되기도 하지만, 플랫폼상에서 지속적인 교육과 안내를 통해 오류를 수정하고 사용자 편의의 프로그램 개선이 요구된다.

15) https://www.tomnod.com 웹사이트를 통해 참여가 가능했으나, 본 프로젝트는 2018.6.20.부로 종료됨
16) 관련 사이트 참조 : https://www.zooniverse.org/about/

www.kci.go.kr

시민들은 상호간 혹은 과학자와의 교류를 통해 과학적 발견에 대한 자긍심과 소속감, 동기부여를 갖게 된다. 토론 게시판은 시민들의 궁금증이나 의견들이 공유되는 공간으로, 때로는 과학자들이 생각하지 못하는 놀라운 과학적 발견이 이루어진다. 심도 있는 분석을 위해 시민들은 과학자들과 분석팀을 구성하여 더 발전된 협력 관계를 형성한다. 시민들의 노력은 측정 가능한 과학데이터로 변환되고 공개됨으로써 학술적 성과로 재생산되고, 이렇게 생산된 논문을 플랫폼상에 게시함으로써 시민들의 자긍심으로 피드백된다. 주니버스는 시민들의 참여를 강화하는 방법으로 일정 기여 수준을 만족하는 경우에 증명서를 발급하거나 에딘버러 포상(Duke of Edinburgh's award)을 수여하기도 한다.

3. 시민과학의 극지 연구 적용 탐색

1) 우리나라의 펭귄 연구

우리나라의 극지 전문연구기관인 극지연구소(Korea Polar Research Institute; KOPRI)는 2017년에 해양수산부의 지원으로 '남극해 해양보호구역의 생태계 구조 및 기능 연구[17]'를 착수하였으며, 환경변화가 로스해 해양보호구역의 생태계 구조 및 상위포식자 아델리펭귄[18]의 개체군에 미치는 영향을 파악하고 있다. 펭귄 개체 수의 변화를 연구하는 이유는 남극의 기후 변화와 남빙양에서의 어업활동이 이러한 상징적 종에 어떻게 영향을 미치는지 파악하기 위해서이다. 또한 해양보호구역(Marine Protected Area, MPA)[19] 내에서 펭귄의 보존 노력을 알리는 데에도 사용될 수도 있다. 펭귄은 개체수가 많고 매년

17) 지원 : 해양수산부, 주관기관 : 극지연구소, 총 연구기간 : 2017.06.01.~2022.05.31.(5년)

18) 로스해 연안에는 전 세계 아델리펭귄의 약 38%가 번식하므로 해양환경-식물플랑크톤-크릴/어류-상위포식자(펭귄)으로 이어지는 먹이사슬의 생태계 구조 및 기능 연구의 최적지이다(김정훈, 2020). 또한 남극해양생물자원보존위원회에서 요구하는 개체수 파악 및 모니터링의 지표종으로 지정한 동물이다.

19) 해양보호구역은 보존할 가치가 있다고 평가되는 해양생태계 및 해양경관을 보호하고 관리하기 위한 지정된 지역이다. 이 지역 내에서 특정 종의 보존이나 서식지 보호를 위해 장기적인 생태계 모니터링 등을 수행하며, 어업 활동을 제한하거나 전면 금지시키기도 한다. 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN)은 해양보호구역을 "생태계 서비스, 문화적 가치와 연관된 자연을 장기간 보존하기 위해, 법적 또는 기타 효과적인 수단을 통해 인식, 전념, 관리되는 명확하게 정의된 지리적 공간"이라고 정의한다(관련 사이트 참조 : https://www.biodiversitya-z.org/content/marine-protected-area-mpa).

www.kci.go.kr

동일한 지역에서 집단으로 번식하여 균질한 모니터링 자료 획득이 용이하며, 무인 관측시스템을 활용한 모니터링 효율성도 높다.

우리나라가 아델리펭귄의 모니터링을 담당하는 지역은 남극 로스해에 위치하고 있는 케이프 할렛(Cape Hallett) 지역이다. 우리나라의 제안으로 2018년에 남극해양생물자원보존위원회로부터 이 지역을 장기 모니터링을 담당하는 사이트로 지정을 승인받았다. 아델리펭귄의 모니터링 기반 구축, 둥지수와 새끼수 및 취식행동 조사, 시료채집 등을 위해 매년 11월 중순에 시작하여 이듬해 1월 말까지 조사를 수행한다.

2) 펭귄 시민과학 모델 모색

주니버스 플랫폼상의 프로젝트들은 대부분 '자발적 사고' 또는 '기여형' 프로젝트로, 2009년 론칭 이후 전세계 150만 명 이상의 자원자가 활동하고 있다. 뿐만 아니라, 인터넷과 모바일 기술의 발전과 성장은 많은 사람들이 가정에서도 과학적 기여를 할 수 있게 해주었다(Land-Zandstra et al., 2021).

주니버스 '펭귄 와치' 선례를 바탕으로 온라인 시민과학 플랫폼과 우리나라 펭귄 연구성과를 결합하여 '남극 펭귄 모니터링 시민과학 모델(Penguin Citizen Science Model, 이하 'PCS 모델'이라고 칭함)' 개발을 모색하고자 한다. 이러한 목적은 남극 과학과 대중의 접점을 확대함으로써 극지 연구에 대한 관심과 참여를 높이고, 관련 지식을 증대시키기 위함이다. 남·북극의 해빙(解氷)은 해수면과 지구온도 상승, 이상기후 발생 등의 자연재해를 초래한다. 이로 인해 생태계 종 다양성이나 구조 등에도 영향을 미친다. 시민들은 이러한 환경 변화가 내 삶과 연관되어 있다고 인식하는 순간, 그다음 행동 변화나 태도 변화로 연결된다.

시민들은 과학 데이터 처리, 분석 등의 인지 작용에 자발적으로 참여할 수 있다. 과학활동을 통해 일반 시민들은 과학자와 함께 이러한 기후변화 위기와 생태계 보호 연구에 관한 지식 공동생산 과정을 경험한다. 이 과정에서 펭귄 개체수 변화의 원인이 되는 지구온난화나 남·북극의 전지구적 작동원리에 대한 인식론적 변화가 결집되고, 공동의 연구성과물은 펭귄의 개체수 보호, 국가 극지 연구 방향 결정 등의 정책적 측면에도 영향을 미칠 수 있다.

www.kci.go.kr

국내 유사 사례로서 온라인 플랫폼을 활용한 '네이처링(Naturing)'이나 '갯벌키퍼스(Getbolkeepers)'를 들 수 있다. '네이처링'은 기후변화생물지표 모니터링, 제비생태탐구 프로젝트 등을 수행한다. '갯벌키퍼스'는 '네이처링'과 생태지평연구소가 함께 개발하였으며, 갯벌생태보전을 위한 시민모니터링을 수행한다. 두 프로젝트 모두 스마트 앱이나 웹사이트를 통해 참여가 가능하며 조사 현장에서 실시간으로 온라인 플랫폼을 통해 전문가의 도움을 받을 수 있다. 두 플랫폼의 특징은 시민이 국내 생태계를 '관찰-기록-공유'한다는 점이다. 그러나 'PCS 모델'은 '(남극)촬영-분석-공유'라는 점에서 두 사례와 차이가 있다.

극지연구소는 드론을 활용[20]하여 아델리펭귄 둥지수를 파악한다. 서식지의 지형적 특성과 생태모니터링을 위해 조사지역에서 획득한 고해상도 영상으로 수치표고모델[21] 및 모자이크 영상[22]을 제작하였다. 극지과학자들은 지리정보분석 프로그램을 활용하여 촬영된 이미지상에서 수동으로 둥지 위에 점을 표시하여 둥지수를 파악하고, 연간 자료를 비교 분석하여 개체군 변동 경향을 분석한다. 'PCS 모델'을 만들기 위해서는 이러한 과학자들의 작업을 시민들이 온라인상에서 수행 가능하도록 플랫폼을 구축하여야 한다. 본 논문에서 제시하고자 하는 'PCS 모델'은 〈그림 3〉과 같다.

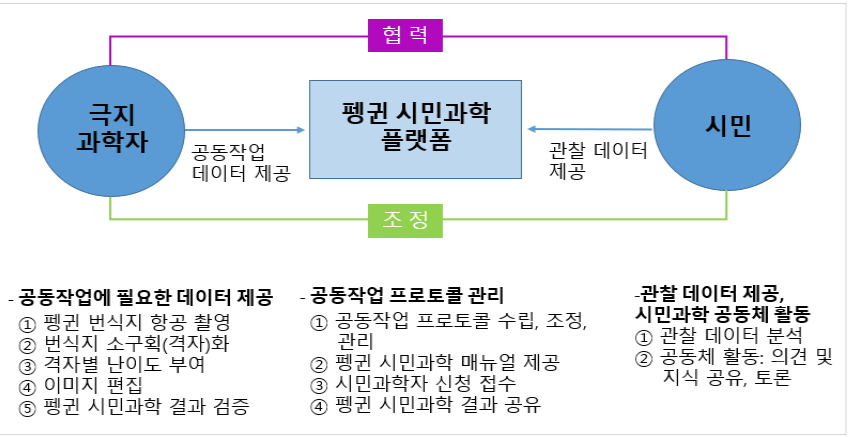
20) 남극해양생물자원보존위원회 생태계모니터링 프로그램은 데이터 수집 방법이나 분석 절차를 1980년대에 표준화하였다. 그러나 최근 펭귄 수를 세기 위한 고정형 원격 카메라와 위성사진 등 기술의 발전으로 새로운 데이터 수집 방법이 남극해양생물자원보존위원회 작업반 회의(CCAMLR Working Group on Ecosystem Monitoring and Management, WG-EMM)에서 논의될 예정이다. 극지연구소는 드론을 활용한 모니터링 방법을 제안할 것이다. 극지역 내 드론 활용 기술을 펭귄 시민과학에 적용함으로써 시민과학의 환경과 생태 감시 분야에서 ICT 과학기술의 발전 모델을 제시할 수 있다.

21) 수치표고모델은 수치지면자료를 이용하여 격자형태로 제작한 지표모형을 말한다.

22) 모자이크 영상은 넓은 면적의 전경을 격자형태로 분할하여 촬영 후 각각의 영상을 하나로 병합한 이미지를 말한다.

www.kci.go.kr

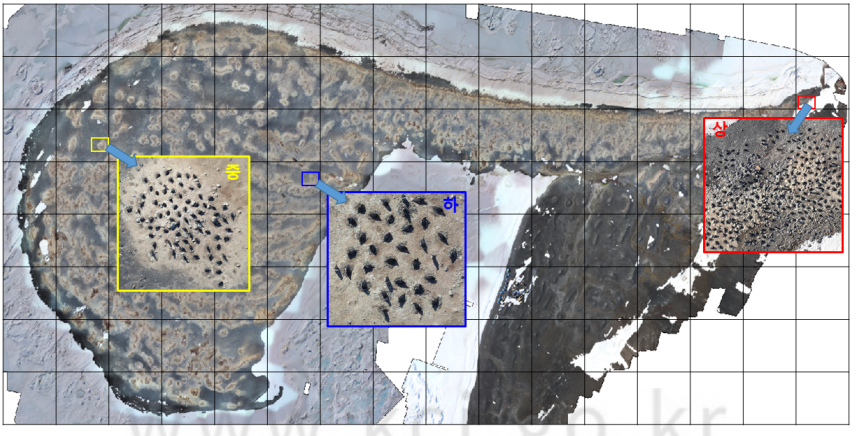
〈그림 3〉 PCS 모델



극지과학자의 역할은 공동작업에 필요한 데이터를 제공하는 것이다. 시민은 분석 및 관찰 데이터를 제공하고 공동체 활동을 수행한다. 이 모든 것이 펭귄 시민과학 플랫폼에서 가능해진다. 극지과학자와 시민은 지속적인 협력과 조정의 과정을 거친다.

드론을 활용한 펭귄 번식지 항공촬영 이미지는 50m×50m 면적으로 분할하여 격자화 한다. 펭귄 둥지의 밀집도 및 번식 소집단의 크기는 번식지의 지형특성 및 위치에 따라 다양하게 나타나므로, 이미지 판별의 난이도를 구분(상, 중, 하)하고 참여자가 결정토록 하는 것이 효율적일 것이다(그림 4).

〈그림 4〉 둥지수 카운팅용 케이프 할렛 펭귄 번식지 전경 및 격자별 난이도 부여 (예시)



www.kci.go.kr

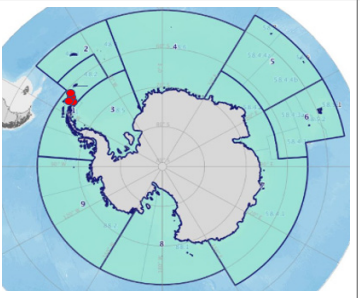
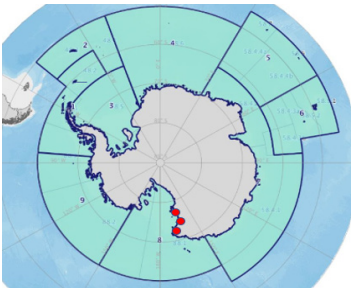
이 이미지들은 펭귄 시민과학 웹 포털 또는 모바일 앱 개발을 통해 구현할 수 있다. 웹 포털 또는 모바일 앱상에는 시민과학 참여 방법, 이미지 판별 방법, 결과 발표 등에 대한 안내 및 토론 게시판 등을 운영함으로써 극지과학자와 시민이 지속적인 상호작용을 할 수 있는 소통 통로가 될 수 있다. 각 격자별로 자료가 취합되면 통계 처리하여 평균 및 오차 범위를 산출하고, 자동 계수 프로그램 및 전문 연구자가 산출한 자료와 비교하는 정확성 검증 과정이 가능하다.

'펭귄 와치'와 본 연구에서 제안하는 'PCS 모델'이 어떠한 차이점을 갖는지 비교하면 〈표 4〉와 같다.

〈표 4〉 '펭귄 와치'와 'PCS 모델' 비교

구 분	펭귄 와치	PCS 모델
촬영방법	자동화된 시간 경과 카메라 촬영	드론 촬영
카운팅 대상	펭귄 성체, 새끼, 알	펭귄 둥지
장 점	• 펭귄 식별이 비교적 용이 • 다양한 동작의 펭귄을 보면서 흥미 유발 가능 • 연구자 없이도 1년 상시 측정 가능	• 드론을 이용하여 넓은 지역의 번식지 모니터링 가능 • 펭귄은 둥지를 중심으로 이동하므로 둥지 카운팅시 펭귄 개체수 파악이 더 용이
단 점	• 넓은 지역의 번식지를 관찰하기 위해서는 그만큼 많은 수의 카메라 필요 • 다양한 펭귄 종 이미지 식별을 위한 교육 필요 • 펭귄이 계속 이동하므로 개체수 중복 체크 가능	• 이미지가 단조로울 가능성이 있음 • 남극의 하계 기간(11월~1월) 에만 연구자에 의해 데이터 수집 가능 • 주변환경과 펭귄 둥지 식별을 위한 교육 필요
이미지 형태		

www.kci.go.kr

구 분	펭귄 와치	PCS 모델
관측 지역 (붉은 점)	 〈남국 반도〉	 〈로스해 연안〉

가장 큰 차이점은 촬영 방법에 따라 시민들이 분석해야 하는 이미지 형태이다. ‘펭귄와치’의 경우, 육상에서 고정된 카메라로 촬영을 하기 때문에 비교적 익숙한 이미지의 판별이 가능하다. 반면, ‘PCS 모델’은 드론 항공촬영 이미지로서 이미지 판별에 익숙해지는 교육이 요구될 것이다. 이러한 차이점에도 불구하고, ‘PCS 모델’ 설계시 ‘펭귄 와치’는 중요한 참고 모델이 될 것으로 본다.

그 예로 기존 연구에서 제기된 오류 및 해결 방법을 들 수 있다. 데이터의 질을 위해서 한 이미지당 최소로 필요한 판별자수나 서식지의 난이도별 적당한 크기는 모델을 운영하면서 적정 수치를 결정할 필요가 있다. 새끼의 수 과소 판별 오류나 주변 환경과 개체 구분 오류는 과학자들이 시민을 위한 매뉴얼을 만들고 충분한 교육을 통해 해결할 수 있다. 또한 데이터 검증 방법이나 시민과 과학자가 겪는 협력과 조정 사례를 학습할 수도 있다.

과학자들은 아델리펭귄의 둥지수를 신속하고 정확하게 산출하기 위해 자동계수 프로그램을 개발하고 있다. 펭귄 시민과학의 결과는 이 프로그램의 오류개선에도 기여할 것으로 본다. 이와 같이 시민, 전문가, 기계가 오류를 점차 줄여나가는 과정을 통해 ‘PCS 모델’의 정확도 향상에 상호 자극이 될 수 있다. 뿐만 아니라, 참여적 과학문화 형성에도 기여할 수 있을 것이다.

과학자의 지도하에 혹은 과학자와의 협력하에 시민들이 과학 연구에 참여하고 수집한 데이터를 바탕으로 논문을 발간하는 등의 기여형 시민과학 프로젝트는 아직 국내에서는 드문 사례에 머물고 있다(박진희, 2018). 그러나 펭귄 시민과학을 통해 극지과학자와 시민이 분석한 펭귄 모니터링 결과 보고서는 최종적으로 남극해양생물자원보존위원회 사무국에 제출된다. 매년 남

www.kci.go.kr

극해양생물자원보존위원회 생태계모니터링 프로그램 사이트에서 산출되는 펭귄의 둥지수 자료를 요구하기 때문이다. 결국, 대한민국의 극지과학자와 시민이 공동으로 생산한 연구결과는 남극해 해양보호구역에 대한 대한민국의 국제적 위상과 역할을 강화시킬 수 있다. 남극까지의 물리적 거리는 멀지만, 웹 기반 플랫폼을 통한 시민의 인지 작용으로도 펭귄 보호 연구에 기여할 뿐만 아니라, 남극 환경과 생태계 보호에 관한 의사결정에도 영향을 미칠 수 있다.

4. ‘PCS 모델’ 구현을 위한 설문 조사 해석

1) 1차 설문 조사 : 관심과 참여 의지

펭귄 연구의 시민과학 적용 탐색에 관한 시민들의 인식도 조사를 위해 설문 조사[23]를 실시(2021.1.17.~19) 하였다. 과학기술학 분야 연구자와 극지 연구자, 그리고 극지에 관심 있는 교수, 기자, 학생, NGO, 정부 관계자 등을 주요 설문 대상으로 하였으며, 기타 일반 시민을 포함한 135명이 응답을 하였다. 응답자의 성별 비율은 남성 93명(68.9%), 여성 42명(31.1%)이고, 연령 비율은 만 50~59세가 52명(38.8%), 만 40~49세가 38명(28.4%), 만 30~39세가 28명(20.9%), 만 20~29세가 12명(9%) 등을 차지한다.

설문 조사 결과, “최근에 남극 펭귄에 대한 신문기사나 뉴스, 다큐멘터리를 접한 경험이 있으십니까?”라는 질문에 “예”가 103명(76.3%), “아니오”가 32명(23.7%)를 차지하였다. 또한 “남극 펭귄에 대한 관심이나 호감이 있으십니까?”라는 질문에 응답자의 123명(91.8%)가 “예” 라고 답변을 하였다. 시민들의 펭귄에 대한 높은 친숙도는 최근 온난화에 따른 남극의 환경 변화와 남극 펭귄에 관한 대중 매체의 보도가 한 몫을 한 것으로 판단한다.

“남극 펭귄이라는 단어를 들었을 때 어떤 이미지가 생각나는가?(복수 응답 가능)”에 대한 답변으로는 “남극의 대표적인 상징 동물이다”가 95명(70.4%), “기후변화에 따라 생존의 위협을 받고 있다”가 90명(66.7%), “귀엽고, 흥미롭

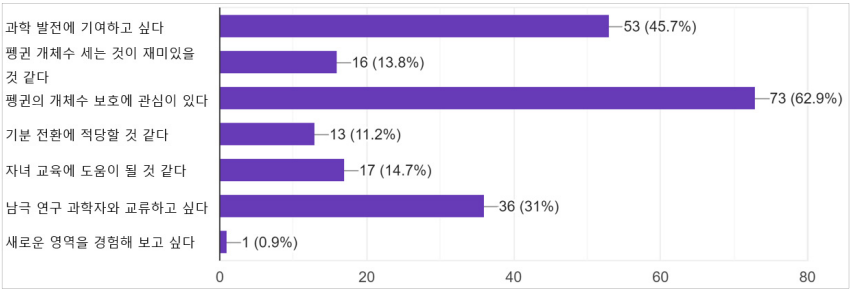
23) 설문 문항은 주니버스 설문 조사(https://blog.zooniverse.org/tag/survey/)와 Raddick et al. (2009) 연구 결과를 바탕으로 구성하였다.

www.kci.go.kr

다”가 67명(49.6%), “적극적으로 펭귄을 보호하고 싶다”가 31명(23%)을 차지한다. 일반 시민들은 펭귄에 대한 긍정적 이미지를 갖고 있고, 기후변화에 따라 남극 펭귄이 생존의 위협을 받고 있는 현실의 문제를 충분히 인지하고 있다는 점을 알 수 있다.

“만약 웹이나 모바일 어플로 펭귄의 개체수를 세는 모니터링이 가능하다면 참여할 의향이 있으십니까?”라는 질문에는 응답자의 109명(83.3%)이 “예”라고 답변하였다. “귀하가 펭귄 모니터링 연구에 참여한다면 어떤 동기로 참여하실 예정입니까?(복수 응답 가능)”라는 질문에 대한 답변은 “펭귄의 개체수 보호에 관심이 있다”가 73명(62.9%), “과학 발전에 기여하고 싶다”가 53명(45.7%)을 차지하였다(그림 5).

〈그림 5〉 펭귄 모니터링 연구 참여 동기에 관한 답변



2014년 주니버스가 지원자들을 대상으로 실시한 참여 동기에 관한 설문 조사와 비교할 때, 지원자의 90.6%가 “과학 발전에 기여하고 싶다”고 응답한 결과와 유사하다. 이는 본 연구에서 제안하는 ‘PCS 모델’을 통해 시민과 과학자가 남극 환경 변화나 생태계 보호 연구를 공동으로 경험하고, 최종적으로 이러한 연구결과가 남극 환경과 생태계 보호에 관한 의사결정에도 영향을 미칠 수 있다라는 주장을 뒷받침하는 근거라고 볼 수 있다. 참여 동기에 대한 그 밖의 답변 결과로 교육적 효과나 여가 시간의 흥밋거리 등이 조사되었다.

설문의 마지막 문항으로 남극에서 드론으로 촬영한 펭귄 사진(그림 6)을 보여줌으로써, 사진에 보이는 펭귄의 개체수를 세어보는 작업을 경험하게 했다.

www.kci.go.kr

조사 결과, “17마리”는 86명(73.5%), 17마리보다 적은 수로 제시한 사람은 21명(18.0%), 17마리보다 많은 수를 제시한 사람은 6명(5.1%), 기타(“없다” 등)는 4명(3.4%) 이었다. 이 결과가 시사하는 바는 무엇보다 펭귄에 대한 전문적인 지식이 없더라도 펭귄 카운팅을 훌륭하게 수행할 수 있다는 사실이다. 응답자들은 다양한 답을 내놓지만 결국 집단적 카운팅은 특정한 수로 수렴되기 때문이다. 17마리보다 많은 응답을 한 사람들의 경우 같은 개체를 중복 카운팅 했을 가능성이 높다. 이는 한 번 카운팅한 개체를 표시하여 중복 카운팅을 방지하는 수단을 제공함으로써 오류를 줄일 수 있을 것으로 보인다. 선행 시민과학에서 사용했던 방식(마우스 클릭 시 확인점 표시)을 차용할 수 있다.

〈그림 6〉 남극에서 드론으로 촬영한 펭귄 사진

다음으로 이번 조사에서 새로 발견한 문제는 펭귄 과학자의 카운팅과 달리 시민과학의 카운팅 규칙이 추가적으로 필요하다는 것이다. 펭귄 과학자들은 드론 촬영 사진 전체를 사용하여 카운팅하는데, 그 사진은 매우 넓은

www.kci.go.kr

지역을 촬영하므로 펭귄의 개체수가 많아 일반인에게 그대로 제공하기 어렵다. 그래서 시민과학에서 제공하는 사진은 전체 사진을 부분으로 분할한 사진을 사용하는 것이 적절하다. 그런데 이때 문제는 사진을 분할하는 과정에서 한 마리의 개체 이미지가 두 개의 사진에 걸쳐 있는 경우에, 이를 어떻게 카운팅할 것인지에 대한 것이다.

이번 설문조사에서 응답자들은 개체의 부분 이미지만으로도 한 마리의 개체가 있다고 상상해냈고, 그 행동은 수렴적이었다. 그런데 이 경우 잘려진 펭귄 이미지를 모두 완전한 한 마리로 카운팅한다면 인접한 사진에서도 카운팅 될 것이므로 결과적으로 의도하지 않게 전체적으로 중복 카운팅이 발생한다.

2) 2차 설문 조사 : 모의 카운팅

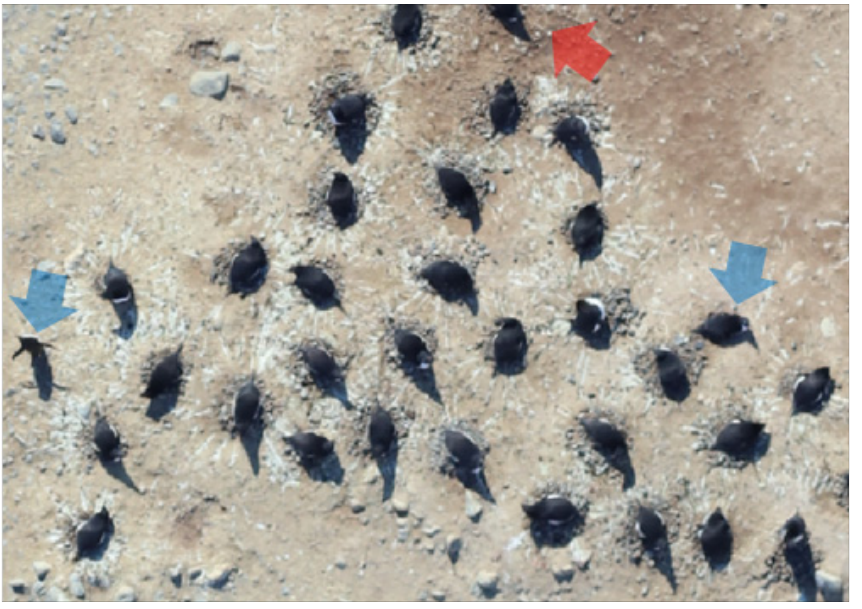
2차 설문조사는 1차 설문조사 시 발견된 문제, 즉 사진 분할 과정에서 화면에 잘려진 펭귄 이미지에 대한 시민들의 중복 카운팅 문제를 해결하기 위해 추가로 실시(2021.1.26.~29) 하였다.

설문조사시 펭귄 사진(그림 7)과 함께 중복 카운팅을 보정하기 위한 규칙을 제시하였다. 즉, 화면에 잘려진 펭귄 이미지인 경우 펭귄 형체의 60% 이상 보이는 경우만 카운팅 하도록 안내하였다. 설문조사 결과, “32마리”는 69명(41.1%), “33마리”는 63명(37.5%), 나머지 기타는 36명(21.4%) 이었다. 시민들에게 새로운 규칙을 제시함으로써 중복 카운팅 오류를 무난히 줄일 수 있을 것으로 기대했지만(“32마리”로 답변), 유사한 비율의 복수 답변이 도출되었다.

설문 응답자 가운데 3명에게 어떤 점이 어려웠는지에 대한 인터뷰를 수행한 결과, 3명 모두 〈그림 7〉의 붉은색 화살표 펭귄을 카운팅 해야 하는지 판단하기 어려웠다고 답변했다. 설문 설계 시에 이 펭귄은 형체의 60% 미만이기 때문에 시민들이 카운팅에서 제외할 것이라는 예상과는 달리 판별에 어려움이 있었던 이유는 결국 펭귄의 그림자 문제였다. 펭귄 형체와 그림자를 구분(펭귄 몸체가 그림자보다 더 진한 검정색)하기 충분할 만큼 이미지의 선명도가 높지 않고, 이를 구분하는 과정에서 시민들은 피로감을 느낄 수 있다는 점을 알 수 있었다.

www.kci.go.kr

〈그림 7〉 2차 설문 조사 시 제시한 펭귄 사진



이러한 오류를 해결하기 위해 두 가지 해결법을 제안한다. 첫 번째로 카운팅 결과수 가 비슷한 답변 비율인 경우, 이를 평균하는 방법이다. 2차 설문조사 결과의 경우, 다음과 같다.

산출식 : (32 × 41.1% + 33 × 37.5%) ÷ (41.1% + 37.5%) = 32.47마리

두 번째는 과학자들이 시민들에게 펭귄사진을 제공할 때부터 형체의 60% 미만으로 잘려진 펭귄을 표시하여 카운팅하지 말도록 안내하는 것이다. 이 경우 모든 사진을 과학자가 직접 사전 검토해야 하는 문제점은 자동으로 판별할 수 있는 프로그램을 개발하여 보완할 수 있다.

또 다른 방법으로는 시민과학을 실행할 때, 참가자들 사이의 경험 공유 플랫폼을 제공하는 것이다. 참가자들이 이 플랫폼에서 서로의 경험으로 공유하고 학습하면서, 집단적 차원에서 '적절한 카운팅 규칙'을 수립할 것을 기대할 수 있다. 시민과학 플랫폼 사례를 보면 참가자들은 경험을 공유하고, 나아가 시민과학자로서 자신의 새로운 정체성을 재형성하기도 한다. 예를 들

www.kci.go.kr

어서 이버드(e-Bird) 참가자들은 공동체를 형성하고 스스로를 '이버더(e-Birder)'라고 호명했다.

기타("42, 35, 34, 31, 30, 29, 28, 26마리" 등) 카운팅 오류의 경우, 시민들이 숫자를 직접 셀 필요 없이 펭귄을 클릭만으로 자동 카운팅 되도록 설계함으로써 이 오류를 줄일 수 있을 것으로 판단한다.

실제 이 프로젝트가 수행되는 경우, 시민들은 둥지 속의 펭귄을 카운팅해야 한다[24]. 따라서 먹이를 찾기 위해 이동 중이거나 서 있는 펭귄(〈그림 7〉의 파란색 화살표)은 카운팅하지 말아야 한다. 이를 위해 "둥지 속에 앉아 있는 펭귄(주위에 둥근 돌 무더기가 보임)과 그렇지 않은 펭귄(이동 또는 서 있는 펭귄) 이미지를 구별할 수 있나요?"라는 질문(참조 그림도 함께 제시)에 "구분 가능하다"가 120명(70.2%), "구분할 수 없다"가 22명(12.9%), "모르겠다"가 28명(16.4%), "기타"가 1명(0.6%) 이었다. 대부분의 응답자가 구분 가능하다고 답변하였지만, 추가적인 카운팅 가이드라인을 제공함으로써 카운팅 제외 이미지들에 대한 충분한 훈련이 필요하다.

5. 결론 : 시민과학으로 극지의 재구성

국제적으로 시민과학의 영역은 가정집 안마당에서 바야흐로 극지역까지 확대되고 있다. 그렇지만, 우리나라에서 남극 장보고과학기지까지의 거리는 대략 13,000km로, 국민 대다수가 이곳의 환경 및 생태계 변화에 대한 체감은 다큐멘터리 필름 한 컷의 인식 수준으로 머물 가능성이 크다. 과학은 현실의 문제를 다루고 있으며, 대중적 지지가 없다면, 과학기술정책은 일관성과 지속성에서 한계가 있을 수밖에 없다. 따라서 "가상의 인식 수준에서 현실의 공간"으로 대중을 이끌어 낼 수 있는 기술적 수단이 필요하다. 이러한 측면에서 시민과학은 일반 시민이 과학자와 소통하고, 극지역을 이해할 수 있는 통로가 될 수 있다.

최근 북극의 급격한 온난화가 중위도 지역에 한파와 같은 이상기후를 불러일으키는 원인이 되거나(Kim et al, 2014), 전세계 담수의 약 90%를 눈과

24) 펭귄 둥지만을 카운팅함으로써 한 둥지 당 펭귄 암수와 알(펭귄 종에 따라 1개 또는 2개)의 개수를 추정할 수 있다. 펭귄의 암수는 교대로 한 둥지에서 알을 품고 있기 때문에 둥지를 비울 일이 없으므로 펭귄이 알을 품고 있는 둥지수만 카운팅하면 된다.

www.kci.go.kr

얼음 형태로 저장하고 있는 남극 대륙이 모두 녹을 경우 해수면이 60~70m 상승할 수 있다고 예측한다. 지구온난화가 심각해짐에 따라, 극지역의 환경 변화는 더 이상 인접국가들만의 문제가 아니다. 뿐만 아니라, 우리나라는 남극해 최대 조업국 중의 하나로서 지속 가능한 남극해 생물자원의 이용을 위해 국제사회에서 보존 노력이 필요하다.

우리나라는 남극해양생물자원보존위원회에서 지정하는 펭귄 등의 지표종에 대한 개체 수 파악을 수행하고 있다. 펭귄은 먹이 사슬의 최상위 근처에 있으며, 이러한 펭귄의 개체 수 파악은 해양 환경의 건강 상태에 대한 훌륭한 지표가 될 수 있다. 개체 수의 변동변화를 데이터화 함으로써 시간 경과에 따라 남극의 기후 변화뿐만 아니라, 어업 활동 등 인간 영역의 확장이 이러한 상징적 종에 어떻게 영향을 미치는지 더 잘 이해할 수 있다.

이 연구에서는 일반 시민들이 펭귄 연구에 참여할 수 있는 방안으로 온라인 시민과학 플랫폼과 우리나라 펭귄 연구 결과를 결합한 'PCS 모델'을 제안하였다. 그동안 남극에 접근하거나 남극에 대해 연구할 수 있는 기회는 일부 과학자들에게 한정되어 있었다. 펭귄 연구도 마찬가지다. 그렇지만 펭귄 모니터링 시민과학 모델 참여를 통해 일반 시민들도 누구나 펭귄 연구를 수행할 수 있다. 시민들은 더이상 과학자들이 수행한 '완성된' 과학을 수용하기만 하지 않는다.

과학자들의 전문 지식과 시민들의 민간지(lay knowledge)는 상호 학습을 통하여 지식의 공동 생산으로 나아갈 수 있다. 시민들의 경험을 통해 만들어진 안목과 지식은 과학자의 검증 절차를 거쳐 점차 강화될 수 있다. 또한 과학자의 전문지식과 실행은 시민들의 사회적 가치를 흡수할 수 있다. 집단적으로 축적된 과학자와 시민의 지식 생산 결과는 더 다양한 지식 생산 방법을 자극할 것이다.

이렇게 공동 생산된 연구성과물은 국가 극지 연구 정책이나 국제기구의 의사 결정 과정에도 영향을 줄 수 있다. 시민사회의 참여는 전문가와 정책결정가 그리고 시민 사이의 상호작용을 향상시켜서 보다 정책 우선순위 결정이나 효과적인 정책형성을 가능케 만든다(김환석, 2010).

이 시민과학 모델의 목적은 펭귄 및 극지 연구에 대한 관심과 참여를 높이고, 지식을 증대시킴으로써 대중의 인식변화나 지지를 확보하는 것이다. 시민들은 과학 생산에 참여함으로써 펭귄 개체수 보호를 위한 구체적인 인

www.kci.go.kr

식을 가지게 될 것이다. 설문조사에서 나타났듯이, 시민들의 과학 발전에 대한 열망은 공통적으로 나타나고 있다.

모의 카운팅 설문조사 결과, 시민참여자들도 훌륭한 관찰 데이터를 생산할 수 있을 것으로 추정할 수 있다. 펭귄의 중복 카운팅을 보정하기 위한 모의 카운팅 설문조사 결과, 참여자들은 실제 32마리로 수렴되는 행동을 보여주었다. 둥지 속에 앉아 있는 펭귄과 그렇지 않은 펭귄 이미지를 구별 가능한가에 대한 질문에 70% 이상의 응답자가 “구분 가능하다”라고 답변하였다. 이러한 결과가 의미하는 바는 시민들의 카운팅 결과에 대한 신뢰성 확보의 잠재적 가능성을 보여준다는 것이다.

시민과학 플랫폼을 웹 뿐만 아니라, ICT 기술을 활용한 모바일 앱 게임 형태로 개발 시 더욱 대중성을 얻을 수 있을 것으로 판단한다. 시민과학의 게임화(gamification)는 격오지 데이터를 얻을 수 있는 효과적인 전략(Haklay, 2015)일 뿐만 아니라, 흥미를 유발하여 시민과학 참여의 커다란 동기를 제공할 가능성이 크다.

마지막으로 시민과학 플랫폼 기반의 남극연구 수행을 통해 일반 시민들이 과학적 기여뿐만 아니라, 기후변화에 대한 인식을 일상적으로 감각하게 됨으로써 기후변화를 초래할 수 있는 행동을 변화하는 계기가 될 것으로 기대한다. 기후변화 대응은 모든 사람의 일상적 행동의 변화를 요구하고 있다. 이는 매우 어려운 과제로서 새로운 접근을 필요로 할 것이다.

www.kci.go.kr

참고문헌

- 김동광 (2002), 「과학과 대중의 관계 변화-대중에 대한 인식 변화를 중심으로」, 『과학기술학연구』, 제2권 제2호, pp. 1-23.
- 김정훈 (2020), 『남극해 해양보호구역의 생태계 구조 및 기능 연구(제4차년도 연차실적계획서)』, 극지연구소.
- 김지연 (2018), 「한국의 시민과학이 전하는 메시지: 1982~ 2018」, 『과학기술학연구』, 제18권 제2호, pp. 43-93.
- 김지연·심재철·김규태·김유향 (2020), 「시민과학 기반 가짜뉴스 관리 플랫폼 연구」, 『과학기술학연구』, 제20권 제1호, pp. 39-85.
- 김환석 (2010), 「과학기술 민주화의 이론과 실천」, 『경제와사회』, 제16권 제2호, pp. 99-147.
- 박진희 (2004), 「과학기술 관련 시민사회운동의 역사와 그 역할」, 『과학기술학연구』, 제4권 제1호, pp. 111-140.
- 박진희 (2013), 「한국 사회에서 과학기술 민주화 논의의 전개」, 『역사와 현실』, 제87호, pp. 169-200.
- 박진희 (2018), 「한국 시민과학의 현황과 과제」, 『과학기술학연구』, 제18권 제2호, pp. 7-41.
- 임홍탁·송위진 (2019), 「시민참여형 초학제적 연구의 성격: 비판적 문헌연구」, 『과학기술학연구』, 제19권 제1호, pp. 137-179.
- 한재각·장영배 (2009), 「과학기술 시민참여의 새로운 유형 : 수행되지 않은 과학 하기 한국의 두 가지 사례 - 아토피와 근골격계 질환」, 『과학기술학연구』, 제9권 제1호, pp. 1-31.
- 현재환·홍성욱 (2012), 「시민참여를 통한 과학기술 거버넌스: STS의 참여적 전환 내의 다양한 입장에 대한 역사적 인식론」, 『과학기술학연구』, 제12권 제2호, pp. 33-79.
- Balázs, B., Mooney, P., Nováková, E., Bastin, L., & Arsanjani, J. J. (2021), "Data quality in citizen science", in Vohland K. et al. ed., *The Science of Citizen Science*, pp. 139-157, Springer.
- Barr, S. & C. Lüdecke, C. (2010), *The History of the International Polar Years(IPYs)*, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bergmann, M., Lutz, B., Tekman, M. B. & Gutow, L. (2017), "Citizen scientists reveal: Marine litter pollutes Arctic beaches and affects wild life". *Marine pollution bulletin*, Vol. 125, No. 1-2, pp. 535-540.

www.kci.go.kr

- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J. & Wilderman, C. C. (2009), "Public participation in scientific research: Defining the field and assessing its potential for informal science education. A CAISE inquiry group report", *Online Submission.*
- de la Barre, S., Maher, P., Dawson, J., Hillmer-Pegram, K., Huijbens, E., Lamers, M. & Stewart, E. (2016), "Tourism and Arctic Observation Systems: exploring the relationships". *Polar Research*, Vol. 35, No. 1, pp. 24980.
- Elzinga, A. (2009), "Through the lens of the polar years: changing characteristics of polar research in historical perspective", *Polar Record*, Vol. 45, No. 4, pp. 313-336.
- Fernández-Triana, J., Buffam, J., Beaudin, M., Davis, H., Fernández-Galliano, A., Griffin, E. & Rodriguez, F. (2017), "An annotated and illustrated checklist of Microgastrinae wasps (Hymenoptera, Braconidae) from the Canadian Arctic Archipelago and Greenland". *ZooKeys*, Vol. 691, pp. 49-101.
- Gabrys, J. (2018), "Sensing Lichens: From Ecological Microcosms to Environmental Subjects", *Third Text*, Vol. 32, No. 2-3, pp. 350-367.
- Gonsamo, A., & Chen, J. M. (2016), "Circumpolar vegetation dynamics product for global change study". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 182, pp. 13-26.
- Haklay, M. (2013), "Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation", in Sui, D. et al. ed., *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*, pp. 105-122, Springer.
- Haklay, M. (2015), "Citizen science and policy: A European perspective". *Washington, DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars*, Vol 4.
- Herr, R. A. & Hall, H. R. (1989), *Science as Currency and the Currency of Science*, Canberra: Centre for Environmental Studies, Australian National University.
- Jones, F. M., Allen, C., Arteta, C., Arthur, J., Black, C., Emmerson, L. M., Freeman, R., Hines, G., Lintott, C. J. & Macháčkov á, Z. (2018),

www.kci.go.kr

"Time-lapse imagery and volunteer classifications from the Zooniverse Penguin Watch project". *Scientific data*, Vol. 5, No. 1, pp. 1-13.

- Kim, B. M., Son, S. W., Min, S. K., Jeong, J. H., Kim, S. J., Zhang, X., Shim, T. & Yoon, J. H. (2014), "Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss", *Nature communications*, Vol. 5, No. 1, pp. 1-8.
- Kim, J. Y., Kang, Y. J., Kim, M. H., Jeon, J. H., Kim, S. H. & Kim, G. T. (2020), "Citizen Participation in Science & Technology, Communication, and Education in the Age of Great Transformation", *Asian Communication Research*, Vol. 17, No. 3, pp. 142~165.
- Kruger, L. E., & Shannon, M. A. (2000), "Getting to know ourselves and our places through participation in civic social assessment", *Society & Natural Resources*, Vol. 13, No. 5, pp. 461-478.
- Land-Zandstra, A., Agnello, G., & Gültekin, Y. S. (2021), "Participants in Citizen Science", in Vohland K. et al. ed., *The Science of Citizen Science*, pp. 243-259, Springer.
- LaRue, M. A., Ainley, D. G., Pennycook, J., Stamatiou, K., Salas, L., Nur, N., Stammerjohn, S. & Barrington, L. (2020), "Engaging 'the crowd' in remote sensing to learn about habitat affinity of the Weddell seal in Antarctica". *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, Vol. 6, No. 1, pp. 70-78.
- Mascioni, M., Almandoz, G. O., Cefarelli, A. O., Cusick, A., Ferrario, M. E., & Vernet, M. (2019), "Phytoplankton composition and bloom formation in unexplored nearshore waters of the western Antarctic Peninsula". *Polar Biology*, Vol. 42, No. 10, pp. 1859-1872.
- Milne, R., Rosolen, S., Whitelaw, G., & Bennett, L. (2006), "Multi-party monitoring in Ontario: Challenges and emerging solutions". *Environments*, Vol. 34, No. 1, pp 11.
- Pandya, R. E. (2012), "A framework for engaging diverse communities in citizen science in the US". *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 10, No.6, pp. 314-317.
- Phillips, T., Porticella, N., Constas, M., & Bonney, R. (2018), "A framework

www.kci.go.kr

for articulating and measuring individual learning outcomes from participation in citizen science", *Citizen Science: Theory and Practice*, Vol. 3, No. 2, pp. 3.

- Raddick, M. J., Bracey, G., Gay, P. L., Lintott, C. J., Murray, P., Schawinski, K., Szalay, A. S. & Vandenberg, J. (2009), "Galaxy Zoo: Exploring the Motivations of Citizen Science Volunteers", *arXiv preprint arXiv:0909.2925*.
- SC-CAMLR. (2019), *Report of the thirty-eighth meeting of the scientific committee* (SC-CAMLR-38), Hobart: CCAMLR.
- CCAMLR. (2016), CCAMLR *Conservation Measure 91-05: Ross Sea region marine protected area*, Hobart: CCAMLR.
- Scheepens, S. (2014), "Exploring the potential participation in citizen science, conservation tourism, and participatory environmental research tourism to lead an environmental change in practices". *Master's thesis, Environmental Policy Group, Wageningen University*.
- Schmeller, D. S., Böhm, M., Arvanitidis, C., Barber-Meyer, S., Brummitt, N., Chandler, M., Chatzinikolaou, E., Costello, M. J., Ding, H. & García-Moreno, J. (2017), "Building capacity in biodiversity monitoring at the global scale", *Biodiversity and conservation*, Vol. 26, No. 12, pp. 2765-2790.
- Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., R Samson, R. & Wagenknecht, K. (2021), *The Science of Citizen Science*, Springer.
- Whitelaw, G., Vaughan, H., Craig, B., & Atkinson, D. (2003), "Establishing the Canadian community monitoring network". *Environmental monitoring and assessment*, Vol. 88, No. 1-3, pp. 409-418.

논문 투고일	2021년 02월 14일
논문 수정일	2021년 03월 13일
논문 게재 확정일	2021년 04월 18일

www.kci.go.kr

과학기술학연구 제21권 제2호 168-202(2021)

The Study on the Application of Citizen Science to the Penguin Monitoring Project

Hyung-Joon Kim · Jeong-Hoon Kim · Ji-Yeon Kim

We reviewed previous research cases to examine the feasibility of applying citizen science to the monitoring and research of penguins in the Antarctic. Because access to the Antarctic region is limited, some people interested in polar research have participated in citizen science programs integrated with tourism, or census projects of weddell seals and penguins using crowdsourcing platforms.
Since 2017, the Korean government (Ministry of Oceans and Fisheries) has been supporting a research and development project (R&D) on the ecosystem structure and function of the Ross Sea region MPA to contribute to CCAMLR(The Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources)'s efforts to conserve the area.
We suggest that citizens could participate in producing CEMP(CCAMLR Ecosystem Monitoring Program) data from large-scale photographs with scientists. Through the participation of penguin citizen science, ordinary citizens experience the process of knowledge co-production with scientists.
It could not only provide a national-level scientific contribution to CCAMLR's monitoring program, but also affect the direction and justification of polar research.

[Key terms] Antarctic Research, Citizen Science, CCAMLR, Penguin Count, Penguin Citizen Science Model

www.kci.go.kr