

리뷰 논문

인류세 시대의 컴퓨팅: 인간과 지구를 매개하는 컴퓨팅 기술

김희원* · 김성은**

■ 본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (NRF-2018R1A5A7025409)입니다. 본 논문을 수정하는 과정에서 값진 조언을 주신 익명의 심사위원분들과 편집위원회에 감사드립니다.

* 카이스트 과학기술정책대학원 박사과정 전자우편: heewonkim@kaist.ac.kr

** 카이스트 과학기술정책대학원 박사과정 전자우편: kim8278@kaist.ac.kr

본 논문은 컴퓨팅 기술을 동원하여 행성적 활동이 탐구 가능하게 된 과정을 살핀 역사학 연구와 컴퓨팅의 물질성(materiality)과 환경 영향에 방점을 둔 미디어 연구, 그리고 인류학 분야의 연구 동향을 소개한다. 특히 이러한 연구의 필요성은 지구를 이해, 사용, 소모하는 인간 활동이 두드러지는 인류세 시대에 더욱 증대되고 있다. 컴퓨팅을 바라보는 시간적-공간적 시선을 확장하여 컴퓨터와 인간, 그리고 지구의 관계를 종합적으로 살피는 작업이 필요한 것이다. 이를 위해 우리는 정보통신기술의 사회적, 정치적, 문화적 요소를 검토한 연구가 상정하는 기술과 행성의 관계를 재검토한다. 컴퓨팅 기술은 인류세로 특징지을 수 있는 흔적을 포착하는 데 사용되면서도, 그 스스로가 지구에 더 깊은 흔적을 남기는 데 기여한다. 인류세와 컴퓨팅 기술은 상호구성적 관계를 맺고 있는 것이다. 마지막으로 위의 논의들을 바탕으로 국내 과학기술학계에서도 인류세적 관점을 수용하여 정보통신기술을 새롭게 바라보는 연구가 수행되어야 한다고 제안한다.

주제어 | 인류세, 컴퓨팅, 계산된 지구, 하부구조, 지구 소모적 활동

1. 서론

2020년 2월 남아메리카 프랑스령 기아나의 우주센터에서 발사된 복합위성 천리안 2B호가 정지궤도에 성공적으로 안착했다. 천리안 2B호에는 대기오염물질의 이동을 감시할 수 있는 대기환경 관측 장비 ‘젬스(GEMS)’와 해양 오염물질을 실시간 모니터링하는 관측 장비 ‘고씨투(GOCI-II)’가 탑재되어 아시아의 대기와 해양 환경 변화를 종합적으로 감지하는 센서 역할을 수행할 예정이다. ‘젬스’가 측정하는 자료는 몇 년 후에 발사될 미국의 ‘템포(TEMPO)’ 위성, 유럽의 ‘센티넬4(Sentinel-4)’ 위성으로 모은 자료와 함께 전지구적 환경 감시와 대응에 활용될 것으로 기대되고 있다(곽노필, 2020. 2. 19; 과학기술정보통신부, 2020. 2. 19). 국경을 넘어 이동하는 대기오염 물질을 실시간으로 모니터링하기 위한 행성 수준의 네트워크가 구축되는 것이다.

디지털 장비와 컴퓨팅 기술은 사람이 탐구 대상을 인지하고 이해하는 방식을 근본적으로 바꾸어 놓았다. 사람이 혼자 힘으로 다룰 수 없는 방대한 데이터를 빠르고 정확하게 처리할 수 있게 된 덕분에, 기존의 개념과 이론을 더 정교화하는 것은 물론이고 한때 인지할 수 없었던 행성 수준의 변화까지도 포착할 수 있게 되었다.¹⁾ 지구 단위의 데이터가 축적되면서 인간 활동이 지구 시스템에 미치는 영향에 대한 단서들을 발견한 대기과학자와 지질학자, 그리고 생태학자 등은 인간의 시대를 의미하는 ‘인류세’를

1) 역사학자 폴 에드워즈(Paul N. Edwards)는 “인류세 시대(Anthropocene epoch)와 ‘기술권(technosphere)’이라는 개념적 도구들이 지나는 가장 큰 강점은 여러 세부 분야로 분산되어 생각되거나 지역적이고 단기적인 문제로 다루어질 수 있는 현상들을 큰 스케일로 장기적이고 체계적으로 포착하기를 고집한다는 점에 있다”고 지적했다(Edwards, 2017: 40).

공식적인 지질 시대로 제안했다(Crutzen and Stoermer, 2000; Crutzen, 2002). 인류세 개념은 자연과학, 사회과학, 인문학, 그리고 예술 분야를 망라하는 전문가들에게 영감을 주며 인간과 자연의 상호작용, 인간과 기술의 연결성, 그리고 기술과 자연의 관계를 재검토할 것을 촉구해왔다.

컴퓨팅 기술의 활용 범위가 넓은 만큼, 그 정치적, 사회적, 문화적 특성을 살핀 과학기술학 연구는 지금까지 활발하게 전개되어 왔다.²⁾ 이러한 연구들은 정보통신기술이 도입되고 이용되는 방식을 그 역사적, 사회적, 문화적 배경과 함께 검토하거나,³⁾ 관련 학계나 산업의 형성 과정을 분석하며 컴퓨팅 기술이 내포하는 사회적, 문화적 요소들을 규명하는 작업을 수행하였다.⁴⁾ 최근에는 4차 산업혁명 담론의 유행에 따라 인공지능과 빅데이터의 윤리적,

2) 컴퓨팅은 『과학기술학편람(Handbook of Science and Technology Studies)』에서 반복해서 다루는 정도로 과학기술학 분야에서 중요한 주제다. Edwards, P. N. (1994) "From "Impact" to Social Process: Computers in Society and Culture," and Collins, H. M. (1994). "Science Studies and Machine Intelligence," in *Handbook of Science and Technology Studies, 2nd edition*; Suchman, L. (2007). "Feminist STS and the Sciences of the Artificial," The Virtual Knowledge Studio, (2007). "Messy Shapes of Knowledge—STS Explores Informatization, New Media, and Academic Work," Boczkowski, P. and Lievrouw, L. A. (2007). "Bridging STS and Communication Studies: Scholarship on Media and Information Technologies" in *Handbook of Science and Technology Studies, 3rd edition*; Vertesi, J. et al., (2016). "Engaging, Designing, and MMaguireaking Digital Systems," Postigo, H. and O'Donnell, C. (2016). "The Sociotechnical Architecture of Information Networks" in *Handbook of Science and Technology Studies, 3rd edition*; 디지털 기술 관련 과학기술학 총서로는 Vertesi와 Ribes가 총괄 편집한 『디지털STS(digitalSTS: A Field Guide for Science and Technology Studies)』를 참고할 수 있다.

3) 정부 부처나 기관, 과학자나 공학자 등 특정 집단이 컴퓨팅 시스템을 도입하고 활용한 과정을 분석하는 연구들이 있다(c.f. Agar, 2003; Yates, 2005; MacKenzie, 1991; Abbate, 2012; November, 2012). 컴퓨터가 사용된 지역적 스펙트럼을 확장해 미국, 유럽, 캐나다, 러시아 등 이미 오래 전에 산업화된 지역(c.f. Schlombs, 2019; Jones-Imhoteb, 2017; Peters, 2016)과 상대적으로 컴퓨터의 도입 시기가 늦은 남반구와 아시아 연구(c.f. Medina, 2011; Tinn, 2018; Park, 2015)도 이루어지고 있어 특정 문화적, 경제적, 그리고 정치적 배경에 따라 다양한 컴퓨팅 기술의 풍경이 형성될 수 있음을 이해하게 되었다.

4) 인종이나 젠더, 노동 문제와 같이 기존 사회학적 프레임으로 컴퓨팅 현장을 살피는 연구가 이에 속한다(c.f. Nakamura, 2014; Chun, 2013; Abbate, 2012; 마리 힉스, 2019; Ensmenger, 2010).

사회적, 법적 쟁점을 다루는 저서가 다수 출판되어 대중적으로 확산되고 있다(c.f. 캐시 오닐, 2017; 사피아 우모자 노블, 2019).

한편 컴퓨팅 기술의 환경적인 측면에 대한 관심은 기술과 환경의 상호작용 혹은 미디어 기술의 물질 종속성을 다루는 연구에서 주로 나타나고 있다. 2017년에는 정보와 정보 관련 기술의 사회문화적 영향을 다루는 학술지 『정보와 문화지(Information and Culture)』에서 “컴퓨팅과 환경(computing and environment)”이라는 주제로 특집호가 기획 발간되었다(Ensmenger and Slayton, 2017).⁵⁾ 발간사를 쓴 컴퓨팅 기술사학자 네이슨 엔스멘저(Nathan Ensmenger)는 이듬해에 컴퓨팅 환경사(environmental history of computing) 연구의 필요성을 주장하는 논문을 발표했다. 그는 컴퓨팅 환경사의 학술적 의미를 설명함과 동시에 이러한 연구가 정보통신기술을 기획, 설계할 때 고려해야 하는 환경 윤리적 기준을 마련하는 과정에도 기여할 수 있을 것이라고 전망한다(Ensmenger, 2018). 이 외에도 과학기술학, 인류학, 미디어 연구, 디지털 인문학 등 다양한 분야에서 지식생산 도구로서의 디지털 기술과 사람, 그리고 환경의 관계를 규명하는 데 기여하고 있다.

인간이 자신의 활동을 지속하기 위해 지구 자원을 무분별하게 소모한다는 인류세적 서사는 분명 환경과 기술의 상호작용을 규명하는 연구들과 공명한다. 이를테면, 환경사회학자들은 그간 과학기술학의 영향을 받아 환경과 인간의 관계를 재정립해왔고, 학제 간 협력의 중요성을 강조했으며, 환경 문제의 원인과 결과의 복잡성을 연구해왔다는 점에서 인류세 논의에 쉽게 동참할 수 있다(Lidskog and Waterton, 2016; Jørgensen, 2014). 최명애와 박범순은 인

5) 발간문에서 기술사학자 네이슨 엔스멘저(Nathan Ensmenger)와 레베카 슬레이턴(Rebecca Slayton)은 환경과 기술의 관계를 살피는 역사학자가 크게 세 가지 지점에서 ‘컴퓨팅과 환경의 관계’라는 학술 의제에 기여할 수 있다고 말한다. 첫째, 사람들이 기술을 활용하여 환경을 구성하거나 변화시키는 주제가 있다. 둘째, 자연이 적극적인 역할을 수행함으로써 사람들의 활동을 특정한 방식으로 구성할 수 있음을 보여주는 주제가 있다. 셋째, 사람이 환경을 인지하고 이해하는 방식에 기술이 개입할 수 있다(Ensmenger and Slayton, 2017).

류세에 대한 사회과학적 접근을 실증적 접근, 정치경제적 접근, 그리고 신유물론 접근으로 구분할 수 있다고 주장한다. 특히나 컴퓨팅 기술과 얽혀있는 환경 문제에 내재된 권력관계를 포착하거나 기술의 물질성(materiality) 개념들을 계승해 자연-사회의 분리불가능성을 강조한다는 점에서 인류세적 관점은 기존의 사회과학적 관점의 연장선상에 존재한다(최명애·박범순, 2019).

그렇다면 이 글에서 제안하는 ‘인류세적 관점’은 기존의 사회과학적 접근과는 다른 어떤 새로운 차원의 논의를 가능하게 해주는가? 우선, 인류세적 접근은 분석을 위한 시간적-공간적 스케일을 극적으로 확장시킬 것을 제안한다. 기존 연구가 현재진행형인 환경 문제를 진단하기 위해 그 역사적 과정이나 구성 요소를 이해하는 데 초점을 맞추고 있다면, 인류세 연구는 미래를 상상하고 이에 대비하기 위해 현재의 문제를 이해하는 “미래 지향적 탐색”을 추구한다(Lorimer, 2017). 그리고 기술과 환경 문제를 직면하는 지역의 사회적, 정치적, 문화적 상호작용을 살피는 지역적 문제로 국한시키지 않고 전 지구적 문제, 행성 차원의 문제(planetary)로 확장하여 검토한다(DeLoughrey, 2014). 과학기술인류학자 가브리엘 헤트(Gabrielle Hecht)는 인류세 연구가 확장된 시간적-공간적 사유를 통해 이루어져야함을 강조하며 다양한 스케일의 시간 단위와 지리적, 정치적 공간을 횡단하는 ‘스케일 간 매개체(interscalar vehicle)’ 개념을 제안한다. 이 매개체는 본질적으로 불변하는 것이 아니라 다른 행위자와 관계를 맺어 새로운 가치를 얻을 수 있고, 결과적으로는 해당 매개체를 두고 서로 다른 가치와 스케일이 경합하는 상황이 벌어지기도 한다. 이 조응과 경합의 과정 속에서 ‘스케일 간 매개체’는 지질학적 시간을 의미하는 ‘심원한 시간(deep time)’과 ‘인간의 시간(human time)’, 지리학적 공간과 정치적 공간을 넘나들며 인류세적 문제를 구성하는 정치적, 윤리적, 인식론적, 그리고 정동적 차원의 얽힘을 분석 가능하도록 만들어 준다(Hecht, 2018: 122, 131).⁶⁾

인류세 연구자, 혹은 그 문제의식에 공감하는 자들이 현 상황을 ‘파국’으로 인지하고 실천적인 자세로 토론에 임한다는 점 역시 기존의 환경 연구와 상이한 지점이다. 사회학자 김홍중은 인류세적 파국이 “제도, 지역, 인간, 비인간을 포함하는 복합적(사건)으로 등장하며 환상과 예술을 통해 표현”되는 ‘어셈블리지’고, 이를 기반으로 급진적인 성찰자들이 생산된다고 본다(김홍중, 2019: 34, 39). 인간 종의 책임을 강조하는 ‘인류세’라는 용어는 이 파국적인 위기 상황을 공적으로 선포하고, 자연과학자, 인문학자, 사회과학자, 예술가 등 다양한 전문성과 배경의 사람들을 한 자리에 불러 모아 전대미문의 위기를 극복하도록 협력을 도모한다(Castree, 2014).⁶⁾ 물론 파국을 이해하고 이에 대응하는 방식이 관점과 방법론에 따라 상이할 수 있지만, 자신의 문제가 인류세라는 거대한 담론과 어떠한 방식으로 연결되어 있는지 고민하는 과정 속에서 새로운 연대가 시작되고 실천이 현실화될 수 있을 것이다.

6) 헤트는 스케일 논의에 참여하는 인류학자들의 연구를 정리하며 스케일의 문제가 단순히 규모나 입상만의 문제가 아니라 범주와 정렬의 문제이기도 하다고 지적한다. 그는 스케일이 사회적, 문화적, 기술정치적 과정의 결과물이라는 점을 이해하고 인류세가 스케일적인 프로젝트라는 점을 관찰하는 것을 넘어서, 직접 스케일을 넘나들며 인류세 논의에 동참할 것을 동료 인류학자들에게 제안한다(Hecht, 2018: 111-115).

7) 물론 인문사회과학계 일각에서는 인류세 개념의 한계점과 위험성을 지적하고 있다. 특히 인류세의 ‘인류’라는 수식어가 복잡다단한 인간 집단을 균질하게 묘사하고 정치경제적 불균등을 비가시화하며 지나치게 인간 중심적인 개념이라는 주장은 많은 호응을 얻기도 했다(Malm and Hornborg, 2014; Haraway, 2015; Löwbrand et al., 2015; Tsing, 2016; Winner, 2017). 하지만 최근의 정치경제학적, 신유물론적 접근들이 보여주는 인류세 개념에 대한 확장적 재해석은 이러한 비판을 포용함으로써 인류세를 새로운 지식 생산의 프레임워크로 간주할 수 있는 기회를 제공하고 있다(최명애·박범순, 2019). 다른 한편으로는, 인류세 개념에 대한 논박이 오가는 것 자체가 현재 지구가 맞이한 파국의 심각성을 방증한다고 볼 수 있으며, 다양한 스케일을 넘나들며 지구적 파국에 대해 논의할 수 있는 초국가적, 초학제적 장을 마련해준다는 점 자체를 인류세 개념의 성과라고 평가할 수 있다. 본 논문 역시 지구과학적, 공학적 인류세 개념에 대한 무조건적 수용보다는 최근 활발히 이루어진 정치, 경제, 물질의 차원을 비판적으로 바라볼 수 있는 개념으로서 인류세를 고려한 연구가 필요하다고 제안한다.

우리는 컴퓨팅을 바라보는 시간적-공간적 시선을 확장하여 컴퓨터와 인간, 그리고 지구의 관계를 종합적으로 살피는 과학기술학 연구가 필요하다고 본다. 과학기술학 연구는 지구적 활동을 이해하는 현생인류의 지식 생산 활동을 성찰적으로 살피고, 동시에 이러한 활동이 인류세적 위기 상황을 초래한다는 점을 드러냄으로써 인류세의 의미를 다각적으로 조명할 수 있다. 인류세 논의에 직접 참여하거나 문제의식에 공감하는 연구자들은 최근 인간의 삶에 깊이 개입하고 있는 컴퓨팅 기술과 지구의 관계에 주목하기 시작했다. 『네이처(Nature)』 지에 “인류세의 컴퓨터 시대(On the Age of Computation in the Epoch of Humankind)”라는 제목의 글을 실은 독일 막스플랑크 연구소(Max Planck Institute) 소속 연구진들은 ‘디지털 전환(digital transformation)’이 인류세의 주요 동인이자 효과적인 매개체라고 말한다(Rosol et al., 2018). 컴퓨팅 기술은 인류세로 특징지을 수 있는 흔적을 포착하는 데 사용되면서도, 그 스스로가 지구에 더 깊은 흔적을 남기는 데 기여한다. 인류세와 컴퓨팅 기술은 상호구성적 관계를 맺고 있는 것이다.

본 논문은 컴퓨팅 기술을 동원하여 행성적 활동이 탐구 가능하게 된 과정을 살핀 역사학 연구와 컴퓨팅의 물질성(materiality)과 환경 영향에 방점을 둔 미디어 연구, 인류학 연구를 검토한다. 여기서 검토하는 연구들이 인류세 개념을 명시적으로 논의하지는 않았을지라도, 필자들은 이들의 분석 안에서 인류세적 접근의 주요 특성인 물질성의 강조, 확장된 스케일 등의 요소를 읽어낼 수 있다고 보고, 궁극적으로는 이 연구들이 ‘인류세적 관점의 컴퓨팅’이라는 의제로 묶일 수 있다고 평가한다. 우선 2절에서는 컴퓨팅 기술을 동원하여 지구의 면면을 이해할 수 있게 되는 과정을 살핀 과학기술학 연구들을 다룬다. 공기 흐름이나 바다 지형을 감지하는 센서와 데이터 처리 장치를 동원해 지구 단위의 현상을 이해하는 과학자의 활동은 기계의 언어로 번역된 다양한 버전의 지구 모델을 재생산한다. 3절에서는 컴퓨팅 기술의 세련된 은유 뒤

에 감추어진 무거운 하부구조(infrastructure)에 대한 논의들을 정리한다. 물질성을 초월하는 것처럼 여겨지는 컴퓨팅 시스템의 기저에는 지표면 곳곳에 뿌리내리고 있는 기반시설이 컴퓨팅의 하부구조로서 존재하는데, 그 예시로 해저 케이블과 데이터 센터 사례 연구를 소개할 것이다. 4절에서는 컴퓨팅 기계의 생애를 추적하며 컴퓨팅 기술이 지구의 자원과 노동력을 소모하며 지구에 남기는 흔적을 밝힌 연구를 검토한다.

2. 계산된 지구

지구를 하나의 거대한 컴퓨터라고 생각할 수 있을까? 닷컴 버블이 한창이던 1999년, 컴퓨터 과학자 마크 와이저(Mark Weiser)는 초소형 컴퓨터가 물리적 환경으로 스며들어서 어디에서든 센싱과 컴퓨팅이 일어나는 미래를 꿈꿨다. 컴퓨터와 통신의 발전으로 지구 그 자체가 거대한 컴퓨터가 되는 이러한 세상을 그는 ‘유비쿼터스 컴퓨팅’이라고 불렀다(Weiser, 1993). 세상을 컴퓨터로 뒤덮겠다는 생각은 와이저만의 것은 아니었다. 같은 해 『비즈니스 위크(Business Week)』 지에 실린 한 기고는 광케이블로 연결된 수백만 개의 센서들이 지구의 새로운 피부층을 이루게 될 것이라고 예측했다. 새천년을 앞두고 벌어진 담대한 상상은 지구를 둘러싸는 얇은 실리콘 지층이 지구의 상태와 변화를 민감하게 감지하고, 나아가 어떠한 변화에도 자율적으로 대응할 수 있을 것이라고 예상했다(Gross, 1999). 미국의 부통령이었던 앨 고어는 1998년 ‘디지털 지구(digital earth)’라는 개념을 제안해 이러한 기술적 상상을 현실화하고자 했다. 한적한 시골 마을의 어린이도 가상현실 헤드셋과 디지털 장갑만 착용하면 지구 어디로든 여행하며 지식과 정보를 찾

아볼 수 있도록 디지털 지구를 만들자는 것이 그의 계획이었다(Gore, 1998). 그는 이러한 데이터화된 지구를 만들기 위해 인터넷 인프라의 대대적 건설을 지지했다. 21세기의 지구는 센서, 전선, 실리콘으로 된 옷을 입고는, 자기 자신을 측정하고, 감지하고, 결국에는 프로그램할 수 있는 컴퓨터로 거듭날 것이었다(c.f. Dourish and Mainwaring, 2012).

20년이 지난 지금, 기고가, 정치인, 컴퓨터 과학자들의 꿈은 얼마나 실현되었을까? 21세기의 지표면은 실로 새로운 피부, 혹은 지층이라고 말할 수 있을 정도로 많은 센서와 컴퓨터로 수놓아져 있다. 해양에는 수천 개의 부표가 바닷물의 흐름, 염도, 수온을 실시간으로 측정해 데이터 센터로 전송한다. 국제기상기구(WMO) 같은 과학협회들은 습도, 바람, 온도와 같은 기상 변수를 측정하는 표준화된 센서들을 종합해 실시간으로 세계 날씨 정보를 제공한다. 우주에서 지구를 감시하는 인공위성은 지표면을 수십 센티미터 해상도의 사진으로 찍어내고 산불, 지진, 쓰나미 같은 자연재해를 실시간으로 관찰해서 빠른 재난 대응을 돕고 있다. 누구나 들고 다니게 된 스마트폰을 활용해 시민을 살아있는 디지털 센서로 활용하는 방안도 활발하다. 인간으로 인한 환경 파괴가 극심해진 인류세 시대에 이러한 지구 관측은 더욱 중요하다. 기후변화가 동토층에 주는 영향을 측정하는 센서들은 지구에서 가장 외진 북극과 남극까지 파고 들어가 인류가 초래한 지구 온난화의 영향을 관측하고 있다. 최근에는 가장 깊은 바다로 알려진 마리아나 해구에서 인간이 만든 플라스틱을 발견한 한 연구가 언론을 통해 유명해지기도 했다(Chiba et. al., 2018). 이렇게 지표면을 센서로 빼곡히 덮어 계산된 지구는 세상을 바꾸는 결정들에 힘을 미친다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)가 시뮬레이션해 내놓은 기후의 전망은 각국의 강력한 탄소 감축을 요구하고 있다(IPCC, 2014). 센서와 컴퓨터를 거쳐 모사된 지구가 물리적 현재를 파악하고, 그 미래를 전망해, 사람들의 행동을 바꾸어놓기에 이르고 있는 것이다.

물론 계산되고 데이터화 된 지구가 지구에 대한 믿을만한 지식으로 여겨지게 된 것은 컴퓨팅 파워나 센서의 수적 증가로만 가능해진 것은 아니다. 계산된 지구를 만드는 과정은 20세기 말의 기술 애호가들이 상상한 것처럼 매끄럽고 재빠르게 이루어지지 않았다. 지구를 관측하는 일의 역사적 기원이나 새롭게 이루어지는 측정에 대한 여러 역사적, 사회학적 연구들은 계산된 지구를 만드는 과정의 복잡다단함을 강조해왔다. 센서가 내놓는 신호들이 지구에 대한 믿을만한 지식으로 거듭나기 위해서 다양한 과학적, 정치적, 문화적 과정을 거쳐야만 한다. 우선 지구를 어떤 존재로 상상할 것인지에 대한 이론적 문제가 있다. 어떤 모형과 이론을 사용해 행성을 계산하고 측정하는지에 따라 데이터의 중요도가 달라지기 때문이다. 지리학자 제시카 레이만(Jessica Lehman)이 강조하듯, ‘지구’나 ‘행성’과 같은 범주는 자명한 물리적 실재라기보다 이를 계산하는 과정에서 드러나고 생성되는 것이라고 할 수 있다(Lehman, 2016).⁸⁾ 다시 말하자면, 지구가 어떤 존재인지 수식, 이론, 모형으로 상상하는 일과 지구를 측정하는 일은 상호공생적 관계에 있다(Edwards, 2010).⁹⁾ 두 번째는 스케일의 문제다. 행성이라는 거대한 단위의 관측을 일관된 방식으로 해내기 위해서는 초국가적 단위의 관찰자와 자원이 필요하다. 한국이 미세먼지 예보를 내리기 위해 중국의 대기 정보가 꼭 필요하듯, 지역과 국가를 넘어서는 지구데이터(geodata)의 생산은 따라서 지구정치적(geopolitical) 문제와도 긴밀히 연결되어 있다. 실제로 20세기 후반 지구를 감지하

8) 감지하고 계산하는 일과 관찰자의 등장이 긴밀하게 연관되어 있다는 이러한 주장은 센스(sense)라는 영어 단어가 가지는 두 표현을 상기시킨다. 지구를 감지(sensing the Earth)하는 일과 지구를 이해해서 행동의 대상으로 삼는 일(make sense of the Earth)은 항상 서로가 서로를 촉진하며 일어난다. 지구에 대한 감각은 특정한 감지 활동을 추구하고, 그렇게 감지된 지구는 지구에 대한 새로운 감각을 불러일으킨다.

9) 측정하는 이유와 측정하는 행위가 서로를 구속한다는 점에서 지구를 관측하는 사람은 과학 기술학자 콜린스가 말한 ‘실험자의 회귀(experimenter's regress)’의 지구적 상황을 맞힌다고 볼 수도 있을 것이다(c.f. Collins, 1992). 지구를 측정하기 위해서는 어떠한 종류의 지구적 관념이 필요하다. 역으로 어떠한 지구적 관념은 지구에 대한 측정 데이터에 의존한다.

고 계산하려는 다양한 시도들은 냉전이라는 특수한 정치적 상황에 힘입어 진행되었다(Aronova, Baker, and Oreskes, 2010; Doel, 2003; Masco, 2010). 지구 구석구석에 센서를 심고, 관리하고, 데이터를 추출하는 작업은 때로는 지구적 대립의 상황에서 승리하기 위해, 때로는 대립을 벗어난 세계적 협력이라는 모토 아래에서 지원받을 수 있었던 것이다. 마지막으로 스케일 간의 간극에서 발생하는 정치적, 문화적 문제가 있다. 행성 단위의 과학기술 연구는 단순히 지역연구의 합이 아니기 때문에, 때로는 지역의 이해관계와는 상반되는 결과를 내놓기도 한다(Jasanoff and Martello, 2004; Miller and Erickson, 2006). 예컨대, 아마존의 기후변화 기여에 대한 거시 관점의 연구가 브라질 정부의 지속가능 성장에 필요한 지식을 제공하지 않는 경우가 이러한 스케일 간의 간극에 해당한다(Lahsen and Nobre, 2007). 이처럼 로컬과 글로벌 사이 다양한 층위에서 발생하는 인식론, 실행, 의미의 다양성을 어떻게 화합해낼 것인지의 문제도 계산된 지구를 만드는 일의 어려움에 속한다.

역사학자 폴 에드워즈(Paul N. Edwards)의 저작 『광활한 기계(A Vast Machine)』는 지금 시점에서 당연한 것으로 보이는 기후 모형과 데이터가 19세기 후반부터 현대에 걸쳐진 지난한 역사적 과정을 통해 협의되고 조정된 결과라는 것을 강조한다. 기후 과학자는 ‘지구 단위의 데이터를 만드는 일(making global data)’과 ‘데이터를 지구화하는 일(making data global)’이라는 이중적 어려움을 마주한다. 지구의 시공간을 계산하고자 하는 기후 과학자는 서로 다른 측정 주체들이 각기 다른 방법으로 채집한 숫자들을 어떻게든 표준화해서 컴퓨터가 해석할 수 있는 하나의 데이터 집합으로 만들어야 한다(Edwards, 2010).

실제로 지난 수십 년 동안 대기 과학자들은 서로 다른 기계가 각양각색의 기준과 방식으로 생산해 낸 비균질한 데이터들을 다양한 방식으로 비교 대조해 차이들을 최소화하는 과정을 수행했다. 우선 공간적 측면에서 과학자들은 지리적으로 듬성듬성 펼

어진 데이터 사이에 비어있는 중간 값을 끼워 넣거나(interpolate) 새롭게 측정해서 채워 넣는 작업을 수행했다. 시간적 범위를 확장하기 위한 다양한 보정 작업도 수행되었다. 예컨대 인간의 산업 활동과 온도의 상관관계를 파악하기 위해서는 지난 몇 만 년 단위의 고기후 변화를 간접적으로 알 수 있는 빙핵(ice core) 데이터, 나무의 나이테로부터 도출되는 지난 수 천 년간의 변화, 19세기 기상학자들이 지표면의 온도계로 측정한 자료, 그리고 20세기 인공위성이 관측한 자료 등 상이한 시간대와 측정 방식이 서로 비교, 조율, 결합되어야 하는 것이다. 다른 도량형과 주파수를 사용하는 센서들의 신호들을 통합하거나, 실수나 센서 고장으로 인해 비정상적으로 측정된 데이터를 일일이 지우는 고된 노동도 이러한 보정 작업에 포함된다.

에드워즈는 이렇게 특정 시공간에서 특정 기법을 활용해 만들어진 지엽적 데이터를 지구적 데이터로 만들어 컴퓨터로 하여금 계산 가능하게 만드는 과정을 ‘데이터 마찰(data friction)’을 없애는 일이라고 표현했다.¹⁰⁾ 계산된 지구는 연결된 센서들이 단번에 내놓는 결과라기보다는 방대한 시공간에 걸쳐 생성된 혼종적 데이터를 과학자들이 사회적·인식적·기술적·조직적 활동을 통해 합쳐낸 것이다. 그런 의미에서 디지털 지구의 표피는 1999년 기술애호가들이 생각한 매끈한 피부 같다가보다는 서로 다른 모양과 크기의 데이터를 한 땀 한 땀 기워서 만든 울퉁불퉁한 조각보에 더 가깝다고 할 수 있다.

에드워즈에 따르면 20세기 후반, 기후 모델링의 발전 과정에서 데이터 마찰을 해소하는데 가장 큰 유효유 역할을 한 것은 WMO와 같은 국제기구들이었다. 제2차 세계대전 이후 지리적 지식을 주로 생산했던 제국이 해체되고 국가가 새로이 생성되면서 지구 단위의 데이터를 일관적으로 모으는 것은 더욱 어려워졌

10) 에드워즈에 따르면 데이터 마찰은 데이터를 모으고, 검증하고 보관하고, 옮기고 주고받는 과정에서 필요한 여러 시간, 에너지 비용을 통칭한다(Edwards, 2010: 84).

다.¹¹⁾ 국제과학기구들은 데이터 표준을 설정하고 이를 각국의 과학자들이 받아들이도록 설득해 데이터 간 마찰을 해소하는 데 중요한 역할을 했다. 특히 WMO가 주도한 월드웨더와치(World Weather Watch, WWW) 프로그램은 향후 더 복잡하고 조밀한 지구 데이터를 모으기 위한 원형을 제공했다는 점에서 가장 중요하다. 월드웨더와치 프로그램은 하나의 단일한 날씨 측정 방식을 강제하는 대신에 각 국가의 기상 기구들의 자율성을 존중하면서도 이들이 서로의 데이터를 주고받을 수 있는 소통 창구의 역할을 담당했다. 그 결과 WMO는 역사 상 가장 성공적인 지구 단위의 지식 인프라(knowledge infrastructure)를 형성할 수 있었다. 계산된 지구의 기후는 세계 곳곳에 위치한 센서들 뿐만 아니라 데이터를 모으는 표준화된 방식과 월드웨더와치라는 세계적 연구 조직의 성장, 세계 대전 이후 각국의 기후 관측 집단과의 정치 동학과 긴밀히 연결되어 발전한 것이다.¹²⁾

성공적으로 계산된 지구의 신뢰성이 거듭 확인됨에 따라 현대에는 데이터 마찰을 극복하고 지구에 대한 계산된 데이터를 구하는 일이 훨씬 수월해졌다. 예컨대 인터넷에만 접속할 수 있다면 누구든 전 세계 해양의 수온이나 염도를 몇 번의 클릭만을 거쳐

11) 19세기 중반에서 20세기 초에 걸쳐 오스트리아의 과학자들이 제국이라는 사회 정치적 맥락 하에서 다양한 시공간적 스케일을 오가며 지역적 기상 관찰을 지구적 현상과 연결시켰던 역사에 대한 상세한 분석은 Coen, D. R. (2018). *Climate in Motion: Science, Empire, and the Problem of Scale*.

12) 지구적 단위의 데이터를 얻기 위한 국제 과학 프로젝트의 중요성은 다른 학문 분야에서도 두드러진다. 지구물리 분야에서는 1957년부터 1958년까지 진행된 ‘국제지구관측년(International Geophysical Year)’ 프로젝트가 냉전의 분위기 속에서도 성공적으로 진행된 지구 관측 프로젝트로 기록되고 있다. IGY는 세계데이터센터를 미국과 소련 등지에 건설해 지구적 데이터의 원활한 생성과 분배에 대한 선례를 남겼다. IGY가 구축한 국제 학술 네트워크 및 데이터 공유 시스템을 모델로 하여 지구 생태계 관측을 시도한 프로젝트인 ‘국제생물프로그램(International Biological Program)’은 이에 비견될만한 일관된 성과를 도출하지는 못하였지만 생명권에 대한 지구적 접근을 처음으로 시도하고 이를 위한 데이터를 수집하는 경험을 후대 생태학자들에게 전달했다는 면에서 역사적 의의를 지닌다(Collis and Dodds, 2008; Aronova, Baker, and Oreskes, 2010).

자신의 사무실 데스크탑에서 열람해 볼 수 있게 된 것이다(Helmreich, 2019). 전 세계 지표면의 이미지를 제공하는 구글 어스(Google Earth)와 같은 서비스도 보편화되었다. 그 결과 지구를 관측하고 그 결과를 열람하는 것은 전문 과학자뿐만 아니라 환경 보호에 관심이 있는 대중들에게도 가능한 일이 되어가고 있다. 제니퍼 가브리스(Jennifer Gabrys)는 저작 『프로그램 지구(Program Earth)』에서 지구 환경변화를 측정하려는 다양한 시민 과학 운동을 분석하는데, 여기서 그의 주요 관심사는 계산된 지구가 특정한 정치문화적 정체성의 등장과 공생하는 현상이다. 가브리스가 분석한 야생 동물 감시, 해양 쓰레기 관측, 도시 대기 측정과 같은 과학 프로젝트들은 이러한 측정에 참여하는 시민들의 환경에 대한 실천과 정동을 구성하고 또 이에 영향을 받는다는 것이다. 가브리스는 이렇듯 측정하는 주체, 목적, 방식에 따라 다르게 포착되는 계산된 지구의 수행적 측면을 두고 화이트헤드와 과학철학자 이사벨 스탕제의 언어를 빌려 서로 다른 계산과 측정의 방식들이 복수의 지구들(multiple earths)을 만들어 낼 수 있음을 강조한다(Gabrys, 2016).

지구의 복수성을 보여주는 더욱 강력한 예시는 단일한 지구 관측 프로그램이 어떻게 지구에 대한 상이한 여러 관점들을 포괄하는지 보여주는 에티엔 벤슨(Etienne Benson)의 연구다. 벤슨이 조사한 아르고스(Argos)는 위성, 부표, 지상 관측소 등의 네트워크로 이루어져 다각도의 환경감시를 수행할 수 있는 지구관측 시스템이다. 벤슨에 따르면, 아르고스가 지구를 관측하는 주된 방식은 시간의 흐름과 아르고스를 둘러싼 정치적, 기술적 환경 변화에 따라 바뀌어왔다. 아르고스가 처음 운영된 1970년대 후반에는 국제기구의 지원을 받은 기상학자와 지구물리학자들의 활용이 두드러진 반면, 1980년대 중반 이후에는 생물의 장거리 이동을 연구하는 생태학자들의 아르고스 활용이 늘어난 것이다. 주로 활용하는 과학자 그룹의 성격이 변화함에 따라 아르고스가 생성하는 데이터

도 지구물리 연구에 적합한 유체의 전반적 흐름을 관측하는 것에서 생태연구에 적합한 센서 네트워크와 인공위성 시스템은 서로 다른 지구에 대한 이론, 실천, 상상이 경합하는 장이 되기도 한다는 점을 강조한다(Benson, 2012). 센서를 주로 활용하는 과학자 그룹의 성격이 변화함에 따라 아르고스가 생성하는 데이터도 지구물리 연구에 적합한 유체의 전반적 흐름을 관측하는 것에서 생태연구에 적합한 장거리 이동을 측정하는 방향으로 바뀌어 갔다. 이처럼 센서 네트워크가 지구에 대한 복수의 이미지를 생성하는 것을 보이는 벤슨의 연구는 컴퓨팅 시스템이 서로 다른 지구에 대한 이론, 실천, 상상이 경합하는 장이 되기도 한다는 점을 강조한다(Benson, 2012).

지구 측정에 대한 일련의 과학기술학적 연구들은 계산된 지구가 물리적 지구의 유일하고 일반화 가능한 표현이 아니며, 지구에 대한 이론, 측정하는 행위, 측정 센서의 물질적 네트워크, 측정자의 정치문화적 입지 등 상이한 요소의 결합으로 인해 등장하고 만들어지는 것이라는 점을 강조한다. 이 입장은 일견 이러한 연구들이 계산된 지구가 실재를 그대로 반영하는 것이 아닌 의도에 의해 조작 가능한 대상이라는 주장으로 오독될 수 있다. 실제로 많은 기후 변화 회의주의자들은 IPCC의 기후 모델이 실측 데이터를 여러 방식으로 가공한 계산되고 모사된 결과라는 이유로 이것이 실제 지구를 제대로 대변할 수 없다고 주장한다(cf. Heymann, 2010). 데이터화된 지구에 아무런 설명능력이 없다고 하는 것은 아니다. 이 연구들은 오히려 어떤 물리적 지구에 대한 생각도 계산된 지구로 매개되지 않고서는 믿을만한 지식으로 만들어질 수 없다는 점도 강조한다. 오히려 지구의 복수성은 계산된 지구가 포괄하는 시나리오의 범위를 넓히는 데에 기여한다. 에드워즈는 계산된 지구를 더 포괄적으로 만드는 건전한 데이터 불일치를 ‘합의 내의 논쟁(controversy within consensus)’이라고 명명했다(Edwards, 2010: 427). 계산된 지구는 세계를 그대로 비추는 거울이 아니다. 하지만 그렇다

고 해서 그 안에 어떤 종류의 실재성이 결여된 존재도 아니다.

지구적 변화가 극심해질 인류세 시대에 계산된 지구를 만드는 활동은 과학기술 전문가와 일반 대중 모두에게 더욱 중요해질 것이다. 우선 지구시스템을 연구하는 과학자들에게 해양, 대기권, 생태계의 심대한 변화를 어떻게 감지하고 계산해 낼 것인지의 문제는 과학적 차원은 물론 정치, 사회적 차원의 다양한 논쟁을 불러일으킬 것으로 예상 된다(c.f. Heymann and Dalmedico, 2019). 또 이렇게 계산된 지구를 어떻게 하면 권위 있는 지식으로 받아들일 것인지, 또 상이한 종류의 계산 결과들을 어떻게 종합할 수 있을지에 대한 고민도 더 복잡해질 것이다. 일반 대중의 인식 측면에서도 계산된 지구는 행성에 대한 인식을 새로이 하는데 영향을 끼칠 수 있다. 1960년대와 1970년대의 초기 인공위성이 보내온 지구의 사진이 당대의 환경 운동에 지대한 영향을 끼친 것과 같이, 계산된 지구가 내어놓은 여러 계산 결과들이 개별 행위자의 실천, 주체성, 정동에 어떠한 영향을 줄 것인지에 대한 관심도 커지게 될 것이다(Cosgrove, 2001; Jasanoff, 2001). 인류세 시대의 인간은 어떤 지구를 행동과 결정의 근거로 삼을 것인가?

3. 지구를 감싸는 컴퓨팅 하부구조

방대한 관측 데이터를 이용하여 지구적 단위의 현상을 이해하고 예측하여 계산된 지구를 만드는 활동에는 물질적, 인적 자원이 농축되어 있다. 하지만 컴퓨팅 기술이 지구 표면을 덮는 여러 기반 시설에 의존하고 있다는 사실은 물질적 한계를 초월한 디지털 세상을 기다리는 사람들의 보편적인 상상과 충돌한다. 디지털 문화 연구자인 통휘 후(Tung-Hui Hu)는 ‘구름’이라는 은유 뒤에 감추어진

클라우드 컴퓨팅(cloud computing)기술의 무겁고 거대한 하부구조의 존재를 추적한다. 후는 공간을 초월하고, 소음을 내지 않으며, 공기와 같은 비물질적인 기술로 묘사되는 클라우드가 실제로는 첼로나 수도관과 같은 오래된 네트워크에 새로운 기술적 층위가 접목되어 형성되었음을 강조한다(Hu, 2015). 이러한 연구는 디지털 미디어를 무게 없는 존재가 아닌 물질적 실체로 개념화하고 지구 환경과 부대끼며 작동하는 과정을 추적하는 일군의 미디어 연구자들의 관점과도 유사하다고 할 수 있다(c.f. Parks and Nicole, 2015; Parikka, 2015; 존 피터스, 2018).

앞서 미디어 연구자들이 보여주었듯이, 컴퓨팅 시스템의 하부구조는 본질적으로 비가시적인 것이 아니다. 오히려 하부구조를 구성하는 중후한 기술은 대중에게 강렬한 인상을 남긴다. 기술사학자 데이비드 나이(David Nye)는 20세기 초 미국의 숭고한 자연을 대표했던 나이가가라 폭포 위에 수력발전용 댐이 건설되면서 새로운 숭고의 대상이 부상했음을 보여주고, 이것이 불러일으키는 감각과 효과를 ‘기술적 숭고함(technological sublime)’이라고 명명했다(Nye, 1994). 하지만 어떤 압도적인 경관이 없는 기술이더라도 새로운 종류의 경험을 제공하고 이상을 실현시켜줄 것이라는 기대가 그 기술을 숭고의 대상으로 만들어주기도 한다(Mosco, 2004). 글로벌 전신 네트워크의 사회적, 문화적 형성을 연구한 역사학자 시몬 뮐러(Simone M. Müller)는 해저전신케이블이 세계화의 역사적 동력이었다고 주장한다(Müller, 2016: 8). 19세기 말, 대서양을 횡단해 미국과 유럽 대륙을 연결한 세계 최초의 해저전신케이블은 국가 스케일을 초월하는 세계화의 이상을 현실화 시키고자 했던 백인 상류층 남성의 지지를 얻어 설치되었다. 당시 해저케이블 구축에 찬성하고 지지한 주체들은 케이블을 유지·보수하는 실천적 지식을 생산하는 전신기술 엔지니어 협회를 코스모폴리탄 성향의 단체로 규정하는 등 케이블을 둘러싼 규제와 정책, 기술적 설계를 세계화라는 그림에 맞추어 구축해 나갔다(Müller, 2016).

한때 많은 사람들의 기대와 관심을 한 몸에 받았던 거대한 기술시스템이라 하더라도 시간이 지나 다른 기술을 지지하는 기반으로 자리잡으면서 사람들의 시선에서 벗어나게 된다. 하부구조를 연구하는 과학기술학자들이 지적하듯이 ‘infrastructure’는 단어의 의미 그대로 ‘하부에 놓인 구조’로서 투명하거나 배경의 일부로 존재한다. 하부구조는 정상적으로 작동하는 동안에는 눈에 잘 띄지 않다가 문제가 생겨야 비로소 그 존재감을 드러낸다. 가령, 서버 이용자들이 서버가 다운되는 문제가 발생하기 전까지는 그 존재를 쉽게 인지할 수 없다는 점은 정보통신 기반 시설의 하부구조적 특성이 잘 드러나는 사례다(Star, 1999).

인간의 활동이 지구 시스템 수준의 변화를 야기한다고 보는 인류세적 관점에서 하부구조는 중요한 분석 대상이다. 기존의 기반시설 위에 새로운 기반시설이 덧입혀져, 이를 이용하여 수행되는 활동이 더욱 활성화되고, 결과적으로 다시 새로운 기반시설의 구축으로 이어진다(Jackson et al., 2007). 즉, 하부구조를 구성하는 기반시설이 인공물로서 주변 환경에 영향을 미치는 동시에 더 큰 변화를 위한 촉매가 되는 것이다.

기반시설이 겹겹이 쌓여 복잡하게 뒤얽혀 있는 인류세 시대에 자연적인 환경과 인공적인 하부구조를 구분하는 일은 관련 연구자들에게 중요한 의제가 되었다. 환경과 하부구조를 구분하는 가장 통상적인 방법은 각각에 관여하는 사람의 의도와 시간에 따라 나열해보는 것이다. 이때 환경은 하부구조보다 선행되는 것으로 받아들여지는데, 이는 지형도 조사가 엔지니어의 교량 설계보다 선행되고, 교량 설계가 실제 교량을 선행하는 것과 같은 논리다. 그러나 하부구조가 구축되는 과정에서 자연적인 환경이 함께 관리, 조정, 재구성되는 모습을 보여주는 연구들 덕분에 어느 만큼이 인공적인 것이고 어디까지가 자연적인 환경인지 명확하게 구분하기 어렵다는 견해가 힘을 얻기 시작했다(Carse, 2014; Hetherington, 2019: 6). 분석의 시간적-공간적 스케일을 확장시키면 지금까지 당

연하게 받아들여진 자연적인 환경과 인공적인 하부구조의 이분법적 구분이 쉽지 않다는 사실이 명백해진다.

인류세적 관점을 견지하여 전선, 안테나, 케이블과 같은 지구 단위의 정보통신 네트워크를 위한 기반시설을 추적하면, 컴퓨팅의 하부구조가 주변 환경과 역동적으로 공존하는 모습을 확인할 수 있다. 최근에는 하부구조가 자연환경의 영향을 받고, 심지어는 자연환경이 그 일부로 포섭됨을 보여주는 연구가 미디어 연구와 과학기술학 분야에서 큰 호응을 얻고 있다. 일례로, 미디어 연구자로서 해저광케이블의 사회적, 물질적 동역학을 연구한 니콜 스타로시엘스키(Nicole Starosielski)는 『해저 네트워크(Undersea Network)』에서 해저 케이블 유지·보수 기술과 주변의 환경 조건 사이의 협력과 긴장관계를 보여준다. 해저케이블을 계획하는 단계에서는 심해 환경이 해저 케이블을 유지하는 데 가장 큰 위협으로 여겨졌지만, 실제 설치 과정에서 심해 환경에 대한 이해가 깊어지면서 오히려 케이블을 공고하게 지키는 하부구조의 일부가 되었다(Starosielski, 2014; 2015). 이처럼 정보통신기술의 하부구조로서 기능하는 지구 환경 조건에 대한 이해는 경제적, 기술적, 사회적 비용을 중심으로 분석하는 기존의 관점을 넘어서서 환경 요소까지 고려하는 총체적인 논의가 가능하게 해준다.

자연적인 환경 요소는 새로운 하부구조 구축을 위한 중요한 결정 요인이 되기도 한다. 디지털 기술과 환경의 상호작용, 특히 디지털 인프라가 자연 환경을 전유(appropriation)하면서 구축되는 현상에 주목해온 인류학자 제임스 매과이어(James Maguire)와 과학 기술학자 브릿 윈테라이크(Brit Winthereik)는 덴마크 정부가 거대 IT 기업의 데이터센터를 유치하는 과정에 대한 현장 연구를 수행했다. 이들은 유치 과정에서 거대 IT 기업이 덴마크의 물리적 공간과 재생에너지에 대한 접근성을 얻고, 덴마크 정부는 전도유망한 디지털 미래를 덴마크에 이식하는 일종의 ‘교환 작업(exchange practices)’이 이루어진다고 분석한다. 여기서 ‘자연적’이라고 여겨지

는 덴마크의 영토와 자원은 ‘인공적’이라고 여겨지는 거대 기업의 데이터센터 기술과 맞바꿀 수 있는 협상 카드로 사용되는데, 이는 양 측에서 제시했던 조건의 가치가 협상 과정을 거치면서 비등해졌음을 의미하기도 한다(Maguire and Winthereik, 2019). 비슷한 논리로 강원도는 춘천시가 평균 기온이 1년 내내 한국 평균보다 낮고 소양강댐의 심층수를 냉각수로 활용할 수 있다는 점에서 데이터센터의 효율성을 높이는 지정학적 조건을 갖추고 있다고 홍보한다(김민정, 2019). 소양강댐 주변 지역의 자연-인공적 환경 요소들이 강원도 지방자치단체의 기획에 따라 데이터센터 설립에 최적화된 조건으로 재정립되는 것이다.

컴퓨팅 기계의 생산과 작동 시 발생하는 폐열 문제 역시 자연적인 환경과 인공적인 하부구조의 경계를 나누기 어려움을 보여주는 중요한 사례다. 경기도 이천 죽당천에는 SK 하이닉스 공장에서 방류된 온수 덕분에 방사된 열대관상어 구피(*Poecilia reticulata*)가 생존할 수 있는 환경이 조성되었다. 한겨울에도 26도를 유지하면서 24도에서 27도 사이의 수온에서 서식하는 구피가 생존할 수 있는 환경이 만들어진 것이다(배문규, 2018. 6. 6). 김준수는 죽당천 구피 번성 사례를 인류세의 지오 엔지니어링(geo-engineering)적 현상이자 사회와 자연의 분리불가능성을 보여주는 하나의 사례라고 진단한다(김준수, forthcoming).¹³⁾ 데이터센터에서 방출되는 폐열에는 에너지원이라는 새로운 가치를 부여하여 ‘폐열 재활용’이라는 형태로 기존의 에너지원의 대안으로 제안되기 한다(Velkova, 2016). 강원도 춘천의 수열에너지 클러스터 관계자들도 서버 냉각에 사용된 물을 그대로 흘려버리지 않고 수열에너지 클러스터 내부에서 재활용한다는 계획을 세우고 있다. 데이터 센터 냉방에 사용된 물의 온도는 5도 가량 오르는데, 이렇게 따뜻해진 물을 근처

13) 지오 엔지니어링(geo-engineering)은 과학 기술로 지구 시스템에 개입하여 기후를 조작하는 연구 분야다. 대표적인 예로 인공 강우나 인공 차단막 등을 이용하여 기후 변화를 막는 연구가 있다. 더 자세한 설명을 위해 브리타니카 백과사전의 「Geoengineering」 페이지를 참조할 수 있다. url: <https://www.britannica.com/science/geoengineering>(최종접속일: 2020.2.25.)

스마트팜의 난방용 농업용수로 활용함으로써 물의 생애주기를 연장하는 것이다(임보연, 2017. 7. 10). 폐열 재활용 시스템은 앞서 소개한 전력 효율을 높인 데이터 센터와 마찬가지로 환경 문제를 성찰하여 설계된 기반시설임이 분명하다. 그러나 이처럼 개선된 기반시설 역시 본질적으로는 컴퓨팅의 활용을 촉진하는 방향으로 작동하기 때문에 인류세의 책임으로부터 완전히 해방되기는 어려울 수 있다.

4. 지구 소모적인 컴퓨팅

방대한 자료를 신속하게 처리하고 전송할 수 있는 정보통신기술은 정보를 기반으로 하는 시장 경제의 성장에 기여한 중요한 도구로 지목된다. 상품에 대한 정보를 선점하고 교환하는 활동이 핵심적인 시장에 컴퓨팅 기술이 도입되면서 정보는 그 자체로서 의미와 가치를 지니게 되었다. 컴퓨팅 기술과 이들이 다루는 정보를 중심으로 가치를 창출하고 자본을 축적하는 정치경제 체제가 형성된 것이다.¹⁴⁾ 이러한 체제 안에서 시가 총액 기준으로 세계 5대 기업은 애플, 아마존, 알파벳, 마이크로소프트, 그리고 페이스북으로, 모두 데이터 소유와 교환을 위한 플랫폼을 제공하는 거대 IT 기업이다(Rosol, et al., 2018).

정보통신 기술은 전 지구적으로 구축된 통신 네트워크를 이용하여 물리적, 물질적 한계를 초월한다는 약속을 제시하며 파급력을 얻고 있다. 클라우드 컴퓨팅을 낙관하는 사람들은 디지털 환경의 빠르고, 가볍고, 친환경적인 이미지를 부각시키는 “구름”은

14) 역사학자 댄 실러(Dan Schiller)는 네트워크와 디지털 도구를 기반으로 형성된 시장 관계를 ‘디지털 자본주의(digital capitalism)’라고 정의하고 그 전지구적 영향에 대해 경고한다(댄 실러, 2001).

유를 적극적으로 사용한다(Hu, 2015). 클라우드 컴퓨팅의 등장 이전부터 꾸준히 성장해온 반도체 산업 역시 검은 연기가 뿜어져 나오는 굴뚝과는 대조적인 청정한 산업이라는 이미지와 담론으로 포장되었다(Lécuyer, 2017).

분석의 시공간적 스케일을 확장하여 컴퓨팅 서비스를 가능하게 만드는 여러 조건들을 살펴보면 은유와 포장으로는 설명할 수 없는 컴퓨팅 산업의 지구 소모적 특성이 눈에 띈다. 예를 들어, 실리콘밸리의 토양에는 반도체 공정에 필요한 자일렌, 트리클로로에틸렌, 프레온, 황산 등의 유해 물질이 축적되어있고, 공정 과정이 복잡해 노동자들이 강산 용액을 흘리거나 유해물질이 누출되는 사고가 타 산업에 비해 평균 세 배 이상 발생한다(Lécuyer, 2017). 컴퓨팅 기술이 널리 사용되어 이에 필요한 에너지가 급증하고 있을 것으로 예상되면서 컴퓨팅 활동은 기후 변화의 숨은 원인으로 지목되기도 한다. 국제 환경단체 그린피스에 전 세계의 모든 클라우드 컴퓨팅 시설을 모아 하나의 국가라고 가정할 때, 그 전력 소모량이 세계에서 여섯 번째로 전력을 많이 소모하는 국가와 같다고 발표했다(Greenpeace, 2012). 그린피스의 발표 이후로도 일상적인 컴퓨팅 활동의 지구 소모적 특성을 고발하는 연구와 기사가 연이어 발표되면서 컴퓨팅 활동이 지구에 남기는 흔적에 대한 관심을 촉구하고 있다(Mahdawi, 2020. 2. 12). 그러나 컴퓨팅 기술의 탄소배출량에 대한 우려가 과장되어있다는 지적도 존재한다. 에너지 기술 관련 공학자로 구성된 연구팀에서 최근 『사이언스(Science)』 지에 게재한 연구에 따르면, 과거에는 데이터 저장소가 작은 규모의 시설에 분산되어있던 데 반해, 2010년 이후부터는 에너지 효율이 높은 데이터 센터에 데이터가 집중되기 시작한 덕분에 총 에너지 사용량의 증가 폭이 컴퓨팅 활용 증가에 비해 작다고 평가한다. 저자들은 컴퓨팅 하부구조의 지구 소모적인 면모를 개선하려는 연구자들의 협력이 중요하다고 강조하며, 이를 뒷받침할 수 있는 정책적, 경제적, 기술적 지원이 활성화되어야 한다고

주장한다(Masanet et al., 2020). 다시 말해, 에너지와 자원의 공급이 컴퓨팅 활동의 기본적인 조건이기 때문에 ‘디지털 경제’와 ‘화석 연료 경제’ 사이의 연결고리를 끊기 위한 급진적 성찰이 환경단체부터 에너지 기술 전문가까지 여러 분야에서 동시다발적으로 이루어지고 있는 것이다.

하지만 컴퓨터의 지구 소모적 특성을 규명하거나 이를 완화시키기 위한 기술 개발의 필요성을 주장하는 연구와 기사가 디지털 플랫폼을 이용하는 실제 사용자의 행동에 영향을 미칠 수 있을지 여부는 불투명하다. 컴퓨팅 기술의 혜택을 누리는 특정 사회의 사람들을 위해 다른 지역의 자원과 노동이 착취당하는 자본주의체제의 모습이 컴퓨팅 기술의 생산, 이용, 폐기 과정에서도 재현되기 때문이다. 컴퓨팅 기술의 혜택과 위험 배분의 불평등은 ‘인류세’라는 용어가 ‘단일한 인류’를 가정하면서 화석 경제의 탄생을 주도한 서구 자본가들의 책임을 전인류에 돌리고 있음을 경고하는 인문사회학자들의 지적을 상기시킨다(Malm and Hornborg, 2014; Yusoff, 2018). 자본 축적을 위해 생태계를 파괴하고 있는 자본인은 중심부의 인간 집단인데, 그에 대한 책임을 인류 전체에게 돌리는 점을 비판하는 것이다. 이들은 인류세 개념이 지구적 생태위기의 원인으로 지목하는 ‘종으로서의 인간(human as species)’ 내부의 불평등을 수면 위로 끌어낼 수 있는 대안적 개념이 필요하다고 강조한다. 인류세의 대안 중 하나로 제안되는 ‘자본세(Capitalocene)’는 전 지구적 불평등과 ‘값싼’ 자연에 의존하는 자본주의체제가 지구 시스템 변화의 직접적인 원인임을 강조하는 용어다. 즉, 물질적, 인적 자원의 착취를 정당화하는 근대의 인식체계가 인류세적 위기 상황의 원인이 되었다고 보는 것이다(c.f. Moore, 2016; 2017).

컴퓨팅 기술의 생애주기를 살펴보면, 우선 컴퓨터 부품의 재료가 되는 주석, 리튬, 알루미늄 등 다양한 광석이 필요하다. 이러한 광석을 얻기 위해서는 지구의 속을 말 그대로 ‘뒤집어엿는’

위험하고 고된 작업이 따라야한다.¹⁵⁾ 희소 광물의 가치는 지역마다 다르게 매겨지기 때문에 채굴 비용이 낮은 지역에서 생산된 광물이 높은 가격에 거래되는 지역으로 매끄럽게 이동하는 지구적 네트워크가 형성되어있다(c.f. Sheller, 2014; Ingulstad, Perchard and Storli, 2014). 자본주의와 연결되어있는 국가 간 질서와 권력 관계, 그리고 이를 둘러싼 사회적, 문화적, 정치적 조건에 따라 누군가에게는 착취적이고 파괴적인 방식으로 부품의 원재료를 얻어야하는 것이다.

컴퓨팅 산업에 필요한 노동력 역시 인종주의, 노동 정책, 규제 정책과 관계 맺고 있는 자본주의적 논리 하에 동원된다. 인종과 민족 문제에 관심을 두는 미디어 연구자 리사 나카무라(Lisa Nakamura)는 미국 반도체 공장의 해외 이주가 시작되었던 1960년대에 원주민 보호구역 또한 반도체 공장 설립에 적격이라는 담론이 형성되었던 사례를 소개하며 컴퓨팅 산업을 위한 노동력 확보가 정착식민주의적 착취와 폭력의 관성에 따라 정당화되는 모습을 보여준다. 이때 나바호족 원주민 여성은 양탄자 직조 기술을 갖고 있고 노동 유연성이 높다는 점에서 반도체 공정 작업에 적합한 인력으로 묘사되었다. 하지만 반도체 생산에 유리한 것으로 알려진 원주민 여성의 ‘민족적 정체성’은 사실 페어차일드(Fairchild)사가 원주민 보호구역에서 사업을 추진할 경우 노동조합 설치 의무가 적용되지 않고 세제 혜택을 받을 수 있다는 사실을 알게 되고 나서 사후적으로 구성한 것이었다(Nakamura, 2014). 이처럼 미국 본토에 설립되었던 반도체 공장들이 기본임금이 낮고 각종 규제가 정립되지 않은 공장 운영에 유리한 장소로 이주하면서 컴퓨팅 산업은 초국가적 생산 네트워크를 구축하게 되었다. 앞서 언급했듯이 아이비엠(IBM)과 알씨에이(RCA)와 같은 전자기기 회사들은 부품 생산 비용을 줄이기 위해 1960년대 중반부터 일본과 대한민

15) “지구 속을 뒤집어 엎는다”는 표현은 가브리엘 헤트의 발표 제목과 내용, “Inside-Out Earth”에서 착안했다(Hecht, 2019).

국, 대만, 싱가포르, 그리고 홍콩 등 동아시아 국가에 공장을 세웠고, 1970년대부터는 중국의 경제특구에 공장을 지었다(Ernst, 1997; Ku, 2006; Ross, 2006; Chen, 2011; Chan, Pun, and Selden, 2013). 이러한 지역의 가장 큰 문제점은 노동자가 산업재해 관련 정보를 사전에 공지 받을 권리와 신체에 유해한 작업을 거절할 권리가 법적으로 보장되지 않는다는 점이다(Foran and Sonnenfeld, 2006: 70-71). 공정 과정에서 사용되는 유해 화학물질에 노출된 노동자들은 집단적으로 건강에 이상이 생겼고, 피해자와 국제 노동보건운동가들 간의 연대를 통해 글로벌 문제로 대두되기 시작했다.¹⁶⁾ RCA의 유해 화학물질 불법 투기와 이에 노출된 대만 노동자들의 투쟁을 검토한 유링 구(Yu-Ling Ku)는 “전 RCA 노동자들의 투쟁은 국제 자본주의의 영향에 대한 경고라고 이해되어야 한다”고 강조한다(Ku, 2006).

컴퓨팅 기계는 폐기 과정에서도 여러 유해 물질과 중금속이 유출되어 지구의 토양과 그 위에 터를 잡고 살아가는 사람들을 위협한다. 대표적인 전자기기 처리장인 가나의 아그보그볼로시(Agbogbloshie)의 사람들은 세계 각지에서 수입해 모은 전자 폐기물의 전선을 태우고 남은 구리 금속을 모아 생계를 유지한다. 플라스틱 피복을 태우면서 발생하는 오염물질은 그대로 공기, 땅, 그리고 물에 스며들어 생태계를 교란하고 지역 주민을 병들게 한다(Minter, 2016). 최근 한 연구에 따르면 폐기장 근처에서 생산된 달걀에서 극소량으로도 매우 위험한 다이옥신과 폴리염화비페닐이 위험 수준 이상으로 검출되었다. 성인이 달걀 한 개를 먹으면 유럽 식품 안전 기준의 220배 이상의 염화 다이옥신을 섭취하는 것과 마찬가지였다(Petrlík et al., 2019; Beaumont, 2019. 12. 28). 반도체 공장에서 발암성 용액을 다루는 노동자와 전자기기 쓰레기 더미

16) 반올림이 ‘삼성백혈병’ 문제에 대응하기 위해 연대한 참여했던 미국의 테드 스미스(Ted Smith)는 2006년에 전자산업질병이 하나의 국가를 뛰어넘는 글로벌 문제임을 보여주는 *Challenging the Chip: Labor Rights and Environmental Justice in the Global Electronics Industry* (Smith, Sonnenfeld, and Pellow, 2006)를 편집, 공저했다. 이 책은 2009년에 한국어로 번역되었다(테드 스미스 외, 2009).

에서 재활용 가능한 부품을 긁어모으는 사람들의 몸에서 컴퓨팅 기계를 구성하는 화학물질의 흔적을 찾는 것은 어려운 일이 아니다.

오염물질이 대지에 스며들어 흙과 물을 오염시키거나 대기로 확산되는 문제는 인류세적 고통에 취약한 남반구에 국한되어 있지 않다. 환경보건과 정치 생태계 분야의 인간-자연 상호작용의 복잡성을 연구하는 인류학자 피터 C. 리틀(Peter C. Little)은 미국 뉴욕 주에 위치한 엔디콧시 지역 내 IBM 공장의 발암물질 유출로 ‘오염된 도시(toxic city)’라는 정체성이 형성된 과정과 이에 대한 여러 행위자의 대응에 주목한다. “더욱 똑똑한 행성 만들기(Making a Smarter Planet)”를 슬로건으로 내세우며 데이터의 가치와 중요성을 역설하는 IBM은 자사 공장이 원인이 된 보건환경 재난 상황에서도 모니터링 장치와 같은 첨단 오염물질 저감시스템으로 문제 해결을 모색했다. 하지만 저감 시스템의 모니터링 장치는 연일 소음을 발생시키는 데다가 효용성이 분명하지 않다는 문제가 있었고, 저감 장치 자체의 성능에도 본질적인 한계가 존재했다. 이에 대해 리틀은 엔디콧 시에서 “과학과 전문성, 그리고 보장성의 다양한 형태가 뒤얽혀 만들어진 네트워크의 정경을 볼 수 있다”고 주장한다(Little, 2014: 21). 사람이 야기한 환경오염 문제를 더욱 정교하게 설계된 개입으로써 해결한다는 이야기의 흐름은 인류세적 현상의 전형이라고 할 수 있다.

컴퓨팅 기술의 지구 소모적 특성을 자원의 착취와 환경 영향이라는 측면에서 규명해온 연구들을 통해 알 수 있듯이, 지구에 커다란 자취를 남기고 있는 컴퓨팅 기술은 인류세적 관점의 분석이 필요한 연구 대상이다. 즉, 정보 기계가 빠르고 깨끗하게 효율을 만들어내는 일면 만을 볼 것이 아니라, 이를 만들고 배포하고 폐기하는 사회적, 문화적, 기술적 작업들을 컴퓨팅에 대한 논의 안으로 끌어들이자는 것이다. 이를 통해 컴퓨팅은 지구적 차원의 문제로 확대될 수 있다.

5. 결론

인류세 개념을 두고 국제 학계의 논의가 활발하게 이루어지고 있는 가운데, 최근 국내에서도 문학, 사회학, 지리학, 생태학 등의 분야에서 분석틀로서 인류세 개념이 갖는 유용성을 소개하는 연구가 진행되고 있다. 이 논문은 이러한 흐름의 연장에서 컴퓨팅과 지구의 관계를 다각적으로 다루어 온 역사학, 인류학, 미디어학의 기존 연구들을 ‘인류세와 컴퓨팅’이라는 틀로 리뷰하고, 컴퓨팅 기술을 인간과 지구의 매개체로 개념화함으로써 얻을 수 있는 새로운 연구 관점을 크게 세 가지로 분류하여 정리하였다. 첫째로, 컴퓨팅 기술은 인간이 지구라는 거대하고 복잡한 시스템의 급진적 변화를 감지, 이해, 예측하고 이에 대해 행동할 수 있는 기반을 제공한다는 측면에서 인간과 지구를 인식적으로 매개하는 역할을 수행한다. 둘째로, 이러한 접근은 컴퓨팅 기술이 기존의 ‘클라우드’ 같은 비유가 강조하는 비물질적 이미지와는 달리 방대한 자연적, 기술적 하부구조에 기대어 작동한다는 점을 드러냄으로써 기존 과학기술학이 주장해왔던 자연과 기술의 이분법 해체를 형성 전반의 차원으로 확장한다. 셋째로, 컴퓨터를 생산, 사용, 유지, 해체하는 데에 전 세계적으로 엄청난 양의 자원이 소모되며, 이에 따르는 위험이 불균등하게 분배된다는 점을 명백히 함으로써 20세기 후반에 급속도로 발전한 컴퓨팅 산업이 지구와 특정 인간집단을 소모하는 자본세의 문제에서 자유롭지 못하다는 사실을 강조한다.

물론 인간과 지구의 관계를 컴퓨팅으로 매개해보려는 이 세 가지 관점은 정보기술의 물질성, 노동, 위험을 다루어 온 기존의 환경사적, 환경사회학적 연구와 동떨어져있지 않다. ‘인류세와 컴퓨팅’이라는 사고틀은 개별적으로 고려되던 연구들을 새로운 스케일에서 종합할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 즉, 인류세적 관점은 비교적 지엽적인 문화적, 지리적, 정치적 맥락에서 제시되곤

했던 컴퓨팅의 다양한 환경정치적 논점들을 새로운 시공간적 스케일들에서 관찰해볼 것을 요청하는 것이다. 이러한 이론들은 또한 인간이 실존하기 위한 물리적 경계인 행성의 변화와 파괴를 더 극명하게 드러냄으로써 더 적극적인 행동과 실천을 촉구한다.

시공간적 확장을 통한 스케일 간의 대화를 유도한다는 점에 있어 인류세와 컴퓨팅 연구는 한국의 과학기술학계에도 신선한 자극을 줄 수 있을 것이라고 기대된다. 과학기술과 국가 단위 정치체제의 공생산을 주요한 연구 관점으로 삼아온 국내 과학기술학계에서 컴퓨터, 환경관측과 관련된 기술은 주로 현대 한국이라는 지리적, 정치적 스케일에서 분석되어 왔다. 예컨대 컴퓨팅 산업의 대표적 환경 피해라고 볼 수 있는 삼성 백혈병 소송을 다룬 연구들은 주로 정부-기업과 시민단체의 대항 운동가 사이에서 발생하는 지식정치를 분석하는 데에 집중했다(김종영·김희운, 2013; 방희경, 2014; 임자운, 2018). 그 결과 이 연구들은 한국 사회와 법정에서 과학적 지식이 경합하는 양상을 상세하게 분석했다는 장점을 가진다. 하지만 이러한 논쟁이 보다 넓은 시공간적 배경, 특히 세계 전자 부품 산업이 1960년대 이래 선진국에서 노동, 환경 규제가 약한 개발도상국으로 이전하는 과정에서 어떠한 의미를 지니는지에 대해서는 아직 충분한 분석이 이루어지지 못했다(c.f. Chen, 2011; Chan et al., 2013). 인류세와 컴퓨팅의 관점은 이처럼 기존 연구를 행성과 인류라는 실험적 차원에서 재구성함으로써 그 의의를 확장, 재검토할 수 있도록 도울 수 있다.

인류세 개념이 컴퓨팅 기술에 대한 과학기술학 연구를 새로이 할 수 있는 이러한 가능성들은 앞으로 다양한 경험 연구들을 통해 확인될 수 있을 것이다. 더 많은 센서, 광케이블, 인공위성이 해저부터 우주까지 지구의 표면을 촘촘하게 채워가는 세상에서 지구는 더욱 계산 가능한 존재로 변모한다. 더 많은 컴퓨터를 만들기 위해 지구의 깊숙한 속내를 헤집어서 광석을 캐내고 가공하는 정보 산업의 현장은 지구 곳곳에 돌이킬 수 없는 흔적을 남긴

다. 컴퓨터를 자연에서 환경과 무관한 기술이 아니라 지구의 새로운 지층을 구성하는 기술 경관으로 개념화하는 향후 연구들은 컴퓨팅 기술이 지구에 가져오는 변화들을 제대로 이해하고 해결하기 위한 토대를 제공할 것이다. 인류세적 컴퓨팅 활동이 그 어느 때보다도 활발하게 진행되고 있는 한국에서도 정보기술에 대한 인식의 전환점을 제공할 수 있는 연구들이 수행되기를 기대한다.

참고문헌

- 과학기술정보통신부 (2020. 2. 19), 「천리안위성 2B호, 2월 19일 아침 발사 성공」 보도자료, https://msit.go.kr/web/msipContents/contentsView.do?cateId=_policycom2&artId=2626118.
- 광노필 (2020. 2. 19), 「우리 기술로 만든 미세먼지 감시 위성 ‘천리안2 B’ 발사 성공」, 『한겨레신문』, <http://www.hani.co.kr/arti/science/technology/928777.html>.
- 김민정 (2019), 『[강원경제Brief, 2018년] 강원도 데이터센터 현황과 향후 과제』, 지역경제브리프, 한국은행.
- 김종영·김희운 (2013), 「‘삼성백혈병’의 지식정치 - 노동보건의동과 현장 중심의 과학」, 『한국사회학』, 제47권 제2호, 267-318쪽.
- 김준수, forthcoming. 「전회, 교란, 번역 그리고 백남준의 정치생태학」, 『njp 리더』, 제9호.
- 김홍중 (2019), 「인류세의 사회이론 1: 파국과 페이션시(patency)」, 『과학기술학 연구』, 제19권 제3호, 1-49쪽.
- 댄 실러, 추광영 번역, (2001), 『미국의 새로운 세계지배 전략 디지털 자본주의: 세계시장체제의 네트워크화』, 나무와숲. [Schiller, D. (1999), *Digital Capitalism: Networking the Global Market System*, The MIT Press.]
- 마리 히스, 권혜정 번역 (2019), 『계획된 불평등: 여성 기술인의 배제가 불러온 20세기 영국 컴퓨터 산업의 몰락』, 이김. [Hicks, M. (2017), *Programmed Inequality: How Britain Discarded Women Technologists and Lost Its Edge in Computing*, The MIT Press.]
- 방희경 (2014), 「행위자-관계망 이론으로 재구성한 ‘삼성반도체 작업환경과 백혈병 사이의 인과관계’: 추단할 수 있는 단서들 수집 vs. 부재 증명」, 『언론과 사회』, 제 22권 제2호, 64-110쪽.
- 배문규 (2018. 6. 6), 「[배문규의 에코와치]미스터리 ‘구피천’ 가보니 ...

한번 퍼올리면 수십마리 ‘바글’, 『경향신문』, http://news.khan.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=201806061626001&code=610103#csidxfda985bbbc695d faaf9373f75e24e76.

- 사피아 우모자 노블, 노윤기 번역 (2019), 『구글은 어떻게 여성을 차별하는가』, 한스미디어. [Noble, S. U. (2018), *Algorithm of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism*, New York University Press.]
- 임보연 (2017. 7. 10), 「소양강댐 냉수 활용 데이터센터 전기료 획기적 절감」, 『연합뉴스』, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20170710125600062?input=1195m>.
- 임자운 (2018), 「반도체 직업병 10년 투쟁의 법·제도적 성과와 과제」, 『과학기술학연구』, 제18권 제1호, 5-62쪽.
- 존 피터스, 이희은 번역 (2018), 『자연과 미디어: 고래에서 클라우드까지, 원소 미디어의 철학을 향해』, 컬처북. [Peters, J. D. (2015), *The Marvelous Clouds: Toward a Philosophy of Elemental Media*, Chicago: University of Chicago Press.]
- 최명애·박범순 (2019), 「인류세 연구와 한국 환경사회학: 새로운 질문들」, 『ECO』, 제23권 제2호, 7-41쪽.
- 캐시 오닐, 김정혜 번역 (2017), 『대량살상수학무기: 어떻게 빅데이터는 불평등을 확산하고 민주주의를 위협하는가』, 흐름출판. [O’Neil, C. (2016), *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*, Crown Books.]
- 레드 스미스·데이빗 A. 소넨필드·데이빗 A. 펠로우, 공유정옥, 김승섭, 김태훈, 류현철, 박원일, 박정준 (...) 최홍조 번역 (2009), 『Challenging the Chip: 세계 전자산업의 노동권과 환경정의』, 메이데이. [Smith, T., Sonnenfeld, D. and Pellow, D. (2006), *Challenging the Chip: Labor Rights and Environmental Justice in the Global Electronic Industry*, Philadelphia, PA: Temple University Press.]
- Abbate, J. (2012), *Recoding Gender: Women’s Changing Participation in*

Computing, Cambridge, MA: The MIT Press.

- Agar, J. (2003), *The Government Machine: A Revolutionary History of the Computer*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Aronova, E, Karen S. B., and Oreskes, N. (2010), “Big Science and Big Data in Biology: From the International Geophysical Year through the International Biological Program to the Long Term Ecological Research(LTER) Network, 1957-Present”, *Historical Studies in the Natural Sciences*, Vol. 40, No. 2, pp. 183-224.
- Beaumont, P. (2019. 12. 28), “Rotten eggs: e-waste from Europe poisons Ghana’s food chain”, *The Guardian*, <https://www.theguardian.com/global-development/2019/apr/24/rotten-chicken-eggs-e-waste-from-europe-poisons-ghana-food-chain-agnobloshie-accra>
- Benson, E. (2012), “One Infrastructure, Many Global Visions: The Commercialization and Diversification of Argos, a Satellite-based Environmental Surveillance System”, *Social Studies of Science*, Vol. 42, No. 6, pp. 843-868.
- Boczkowski, P. and Lievrouw, L. A. (2007), “Bridging STS and Communication Studies: Scholarship on Media and Information Technologies” in Hackett, E. J., Amsterdamska, O., Lynch, M. E., and Wajcman, J. eds., *Handbook of Science and Technology Studies, 3rd edition*, pp. 949-977, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Carse, A. (2014), *Beyond the Big Ditch: Politics, Ecology, and Infrastructure at the Panama Canal*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Castree, N. (2014), “The Anthropocene and the Environmental Humanities: Extending the Conversation”, *Environmental Humanities*, Vol. 5, No. 1, pp. 233-260.
- Chan, J., Pun, N., and Selden, M. (2013), “The Politics of Global Production: Apple, Foxconn and China’s New Working Class”, *New Technology, Work and Employment*, Vol. 28, No. 2. pp. 100-115.

- Chen, H-H. (2011), “Professionals, Students, and Activists in Taiwan Mobilize for An Unprecedented Collective-Action Lawsuit against a Former Top American Electronics Company”, *East Asian Science, Technology and Society*, Vol. 5, No. 4, pp. 555-565.
- Chiba, S., Saito, H., Fletcher, R., Yogi, T., Kayo, M., Miyagi, S. Ogido, M., and Fujikura, K. (2018), “Human Footprint in the Abyss: 30 Year Records of Deep-Sea Plastic Debris”, *Marine Policy*, Vol. 96, pp. 204-212.
- Chun, W. H. K. (2013), “Race and/as Technology, or How to Do Things to Race”, in Nakamura, L. and Chow-White, P. A. eds., *Race After the Internet*, pp. 44-66, New York: Routledge.
- Coen, D. R. (2018). *Climate in Motion: Science, Empire, and the Problem of Scale*. Chicago: University of Chicago Press.
- Collins, H. M. (1992). *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*. Chicago: University of Chicago Press.
- Edwards, P. N. (1994), “Science Studies and Machine Intelligence”, in Jasanoff, S., Markle, G., Peterson, J. C., and Pinch, T. eds., *Handbook of Science and Technology Studies, 2nd edition*, pp. 286-301, SAGE Publication.
- Collis, C. and Dodds, K. (2008), “Assault on the Unknown: the Historical and Political Geographies of the International Geophysical Year (1957-8)”, *Journal of Historical Geography*, Vol. 34, No. 4, pp. 555-573.
- Cosgrove, D. E. (2001), *Apollo’s Eye: A Cartographic Genealogy of the Earth in the Western Imagination*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Crutzen, P. J. (2002), “Geology of Mankind”, *Nature*, Vol. 415, p. 23.
- Crutzen, P. J. and Stoermer E. F. (2000), “The Anthropocene”, *Global Change Newsletter*, Vol. 41, pp. 17-18.
- DeLoughrey, E. (2014), “Satellite Planetarity and the Ends of the Earth”,

Public Culture, Vol. 26, No. 2, pp. 257-280.

- Doel, R. E. (2003), "Constituting the Postwar Earth Sciences: The Military's Influence on the Environmental Sciences in the USA after 1945", *Social Studies of Science*, Vol. 33, No. 5, pp. 635-666.
- Dourish, P., and Mainwaring, S. D. (2012). "UbiComp's Colonial Impulse." in *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, pp. 133-142.
- Edwards, P. N. (1994), "From "Impact" to Social Process: Computers in Society and Culture," in Jasanoff, S., Markle, G., Peterson, J. C., and Pinch, T. eds., *Handbook of Science and Technology Studies, 2nd edition*, pp. 257-285, SAGE Publication.
- Edwards, P. N. (2010), *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Edwards, P. N. (2017), "Knowledge Infrastructures and the Anthropocene", *The Anthropocene Review*, Vol. 4, No. 1, pp. 34-43.
- Ensmenger, N. (2010), *The Computer Boys Take Over: Computers, Programmers, and the Politics of Technical Expertise*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Ensmenger, N. (2018), "Environmental History of Computing", *Technology and Culture*, Vol. 59, No. 4, pp. S7-S33.
- Ensmenger, N. and Slayton, R. (2017), "Computing and the Environment: Introducing a Special Issue of *Information & Culture*", *Information and Culture*, Vol. 52, No.3, pp. 295-303.
- Ernst, D (1997), 'From Partial to Systemic Globalization', Berkeley Roundtable on the International Economy Working Paper 98. <http://brie.berkeley.edu/publications/WP%2098.pdf>
- Foran, T. and Sonnenfeld, D. (2006), "Corporate Social Responsibility in Thailand's Electronics Industry" in Smith, T., Sonnenfeld, D. A. and Pellow, D. N. eds., *Challenging the Chip*, Philadelphia, PA: Temple University Press.

- Gabrys, J. (2016) *Program Earth: Environmental Sensing Technology and the Making of a Computational Planet*, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Gross, N. (1999), “The Earth Will Don an Electronic Skin.” *Business Week Online*, <https://www.bloomberg.com/news/articles/1999-08-29/14-the-earth-will-don-an-electronic-skin>.
- Gore, A. (1998), “The Digital Earth: Understanding Our Planet in the 21st Century”, *Australian Surveyor*, Vol. 43, No. 2, pp. 89-91.
- Greenpeace (2012), *How Clean Is Your Cloud?*, <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2012/iCoal/HowCleanisYourCloud.pdf>
- Haraway, D. (2015), “Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making Kin”, *Environmental Humanities*, Vol. 6, No. 1, pp. 159-165.
- Hecht, G. (2018), “Interscalar Vehicles for an African Anthropocene: On Waste, Temporality, and Violence”, *Cultural Anthropology*, Vol. 33, No. 1, pp. 109-141.
- Hecht, G. (2019), “Inside-Out Earth: Residues of the Anthropocene in Africa”, Presentation from The International Symposium on Anthropocene Studies.
- Helmreich, S. (2019), “Reading a Wave Buoy”, *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 44, No. 5, pp. 737-761.
- Hetherington, K. ed. (2019), *Infrastructure, Environment, and the Life in the Anthropocene*, Durham, NC: Duke University Press.
- Heymann, M. (2010), “Understanding and Misunderstanding Computer Simulation: The Case of Atmospheric and Climate Science –An Introduction”, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, Vol. 41, pp. 193-200.
- Heymann, M. and Dalmedico, A. D. (2019), “Epistemology and Politics in Earth System Modeling: Historical Perspectives”, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, Vol. 11, No. 5, pp.

1139-1152.

- Hu, T-H (2015), *A Prehistory of the Cloud*, The MIT Press.
- IPCC (2014) *Fifth Assessment Report of the intergovernmental panel on Climate Change*, IPCC.
- Ingulstad, M., Perchard, A., and Storli, E. (2014), *Tin and Global Capitalism, 1850-2000: A History of "the Devil's Metal"*, New York: Routledge.
- Jackson S. J., Edwards, P. N., Bowker, G. C., and Knobel, C. P. (2007), "Understanding Infrastructure: History, Heuristics, and Cyberinfrastructure Policy", *First Monday*, Vol. 12, No. 6., <https://www.firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/1904/1786>
- Jasanoff, S. and Martello, M. (2004), *Earthly Politics: Local and Global in Environmental Politics*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Jasanoff, S. (2001), "Image and Imagination: The Formation of Global Environmental Consciousness." in Miller C. and Edwards P. eds. *Changing the Atmosphere: Expert Knowledge and Environmental Governance*, pp. 309-337, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Jones-Imhote, E. (2017), *The Unreliable Nation: Hostile Nature and Technological Failure in the Cold War*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Jørgensen, D. (2014), "Not by Human Hands: Five Technological Tenets for Environmental History in the Anthropocene", *Environment and History*, Vol. 20, No. 4, pp. 479-489.
- Ku, Y. (2006), "Human Lives Valued Less Than Dirt", in T. Smith, D. A. Sonnenfeld and D. N. Pellow. eds., *Challenging the Chip*, pp. 181-190, Philadelphia, PA: Temple University Press.
- Lahsen, M. and Nobre, C. A. (2007), "Challenges of Connecting International Science and Local Level Sustainability efforts: The Case of the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia", *Environmental Science and Policy*, Vol. 10, No. 1,

pp. 62-74.

- Lécuyer, C. (2017), “From Clean Rooms to Dirty Water: Labor, Semiconductor Firms, and the Struggle over Pollution and Workplace Hazards in Silicon Valley”, *Information and Culture*, Vol. 52, No. 3, pp. 304-333.
- Lehman, J. (2016), “A Sea of Potential: The Politics of Global Ocean Observations” *Political Geography*, Vol. 55, pp. 113-123.
- Lidskog, R. and Waterton, C. (2016), “Anthropocene: A Cautious Welcome from Environmental Sociology?”, *Environmental Sociology*, Vol. 2, No. 4, pp. 395-406.
- Little, P. C. (2014), *Toxic Town: IBM, Pollution, and Industrial Risks*, New York: NYU Press.
- Lorimer, J. (2017), “The Anthro-scene: A Guide for the Perplexed”, *Social Studies of Science*, Vol. 47, No. 1, pp. 117-142.
- Lövbrand, E., Bech, S., Chilvers, J., Forsyth, T., Hedrén, J., Hulme, M., (...) Vasileiadou, E. (2015), “Who Speaks For the Future of Earth? How Critical Social Science Can Extend the Conversation on the Anthropocene”, *Global Environmental Change*, Vol. 32, pp. 211-218.
- MacKenzie, D. (1991), “The Influence of the Los Alamos and Livermore National Labs on Supercomputing”, *IEEE Annals of the History of Computing*, Vol. 13, No. 2, pp. 179-201.
- Maguire, J. and Winthereik, B. (2019), “Digitalizing the State: Data Centres and the Power of Exchange”, *Ethnos: Journal of Anthropology*.
- Mahdawi, A. (2020. 2. 12), “The Real Problem with your Netflix Addiction? The Carbon Emissions”, *The Guardian*, <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/feb/12/real-problem-netflix-addiction-arbo-n-emissions>
- Malm, A. and Hornborg, A. (2014), “The Geology of Mankind? A Critique of the Anthropocene Narrative”, *The Anthropocene Review*, Vol. 1, No. 1. pp. 62-69.

- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and Koomey, J. (2020), “Recalibrating Global Data Center Energy-use Estimates”, *Science*, Vol. 367, No. 6481, pp. 984-986.
- Masco, J. (2010), “Bad Weather: On Planetary Crisis”, *Social Studies of Science*, Vol. 40, No. 1, pp. 7-40.
- Medina, E. (2011), *The Cybernetic Revolution: Technology and Politics in Allende’s Chile*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Miller, C. and Erickson, P. H. (2006), “The Politics of Bridging Scales and Epistemologies: Science and Democracy in Global Environmental Governance”, in Reiv W. V., Berkes, F., Wilbanks, T., and Capistrano, D. eds. *Bridging Scales and Knowledge Systems: Concepts and Applications in Ecosystem Assessments*, pp. 297-314, Washington: Island Press.
- Minter, A. (2016), “The Burning Truth Behind an E-Waste Dump in Africa”, *Smithsonian Magazine*, <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/burning-truth-behind-e-waste-dump-africa-180957597/>.
- Moore, J. W. (2016), *Anthropocene or Capitalocene? Nature, History and the Crisis of Capitalism*, PM Press.
- Moore, J. W. (2017), “The Capitalocene, Part I: On the Nature and Origins of Our Ecological Crisis”, *The Journal of Peasant Studies*, Vol. 44, No. 3, pp. 594-630.
- Müller, S. M. (2016), *Wiring the World: The Social and Cultural Creation of Global Telegraph Networks*, New York: Columbia University Press.
- Nakamura, L. (2014), “Indigenous Circuits: Navajo Women and the Racialization of Early Electronic Manufacture”, *American Quarterly*, Vol. 66, No. 4. pp. 919-941.
- November, J. (2012), *Biomedical Computing: Digitizing Life in the United States*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Nye, D. E. (1994), *The American Technological Sublime*, Cambridge, MA: The MIT Press.

- Park, D. (2015), “Social life of PKI: Sociotechnical Development of Korean Public-key Infrastructure”, *IEEE Annals of the History of Computing*, Vol. 37, No. 2, pp. 59-71.
- Parks, L. and Starosielski, N. eds. (2015), *Signal Traffic: Critical Studies of Media Infrastructures*, Champaign, IL: University of Illinois Press.
- Parikka, J. (2015) *A Geology of Media*, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Peters, B. (2016), *How Not to Network a Nation: The Uneasy History of the Soviet Internet*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Petrlik, J., Adu-Kumi, S., Hogarth, J., Akortia, E., Kueupo, G., Behnisch, P., (...) Digangi, J. (2019), *Persistent Organic Pollutants (POPs) in Eggs: Report for Africa*. Arnika, IPEN, CREPD.
- Postigo, H. and O'Donnell, C. (2016), “The Sociotechnical Architecture of Information Networks” in Felt, U., Fouché, R., Miller, C. A., and Smith-Doerr L. eds., *Handbook of Science and Technology Studies, 4th edition*, pp. 583-608, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Rosol, C., Steininger, B., Renn, Ju., and Schlögl, R. (2018), “On The Age of Computation in the Epoch of Humankind,” *Nature*, Vol. 563, pp. 7733-7738.
- Ross, A. (2006), *Fast Boat to China*, New York: Pantheon Books.
- Schlombs, C. (2019), *Productivity Machines: German Appropriations of American Technology from Mass Production to Computer Automation*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Sheller, M. (2014), *Aluminum Dreams: The Making of Light Modernity*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Smith, T., Sonnenfeld, D. A. and Pellow, D. N. eds., *Challenging the Chip*, Philadelphia, PA: Temple University Press.
- Star, S. L. (1999), “The Ethnography of Infrastructure”, *American Behavioral Scientist*, Vol. 43, No. 3, pp. 377-391.

- Starosielski, N. (2014) “Signal Tracks,” *Journal of the New Media Caucus*. Vo l. 10, No. 1, <http://median.newmediacaucus.org/art-infrastructures-hardware/signal-tracks/>
- Starosielski, N. (2015), *The Undersea Network*, Durham, N.C.: Duke University Press.
- Suchman, L. (2007), “Feminist STS and the Sciences of the Artificial,” in Hackett, E. J., Amsterdamska, O., Lynch, M. E., Wajcman, J. eds., *Handbook of Science and Technology Studies, 3rd edition*, pp. 139-164, Cambridge, MA: The MIT Press.
- The Virtual Knowledge Studio (2007), “Messy Shapes of Knowledge—STS Explores Informatization, New Media, and Academic Work”, in Hackett, E. J., Amsterdamska, O., Lynch, M. E., Wajcman, J. eds., *Handbook of Science and Technology Studies, 3rd edition*, pp. 319-351, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Tinn, H. (2018), “Modeling Computers and Computer Models: Manufacturing Economic-Planning Projects in Cold War Taiwan, 1959–1968”, *Technology and Culture*, Vol. 59, No. 4, pp. S66-S99.
- Tsing, A. (2016), “Earth Stalked by Man”, *The Cambridge Journal of Anthropology*, Vol. 34, No. 1, pp. 2-16.
- Velkova, J. (2016), “Data That Warms: Waste Heat, Infrastructural Convergence and the Computation Traffic Commodity”, *Big Data and Society*. Vol. 3, No. 2, pp. 1-10.
- Vertesi, J., Ribes, D., Forlano, L., Loukissas, Y., and Cohn, M. L. (2016), “Engaging, Designing, and Making Digital Systems”, in Felt, U., Fouché, R., Miller, C. A., and Smith-Doerr L. eds., *Handbook of Science and Technology Studies, 4th edition*, pp. 169-195, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Vertesi, J. and Ribes, D. eds. (2019), *digitalSTS: A Field Guide for Science and Technology Studies*, Princeton University Press.
- Winner, L. (2017), “Rebranding the Anthropocene: A Rectification of

Names”, *Techné: Research in Philosophy and Technology*. Vol. 21, No.2/3, pp. 282-294.

- Weiser, M. (1993), “Ubiquitous Computing”, *Computer*, Vol. 26, No. 10, pp. 71-72.
- Yates, J. (2005), *Structuring the Information Age: Life Insurance and Technology in the Twentieth Century*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Yusoff, K. (2018), *A Billion Black Anthropocene or None*, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- 「Geoengineering」, <https://www.britannica.com/science/geoengineering>

논문 투고일	2020년 01월 16일
논문 수정일	2020년 03월 13일
논문 게재 확정일	2020년 03월 16일

Computing in the Anthropocene: How Computing Technologies Mediate between the Human and the Earth

Heewon KIM · Sungeun KIM

ABSTRACT

This paper reviews literature from history, media studies, and anthropology to provide an expansive spatio-temporal framework that examines the epistemic and material aspects of computing technologies in the Anthropocene. Reconceptualizing computing as planetary technology has become imperative in the Anthropocene, in which digital sensors, devices, and infrastructures are increasingly mediating human activities to understand, utilize, and consume the Earth. Drawing upon the previous works that have examined the social, political, and cultural elements of information and communication technology (ICT), we provide three perspectives to reconsider the relationship between computing technology and the planet. Computing technologies are increasingly being adopted to measure the anthropogenic impacts on the planet, while these technologies themselves also take part in leaving deep social and material traces upon the Earth's surface. In this sense, we argue that the Anthropocene and computing technologies are co-constructive. Such a renewed perspective on computing and the Anthropocene, we hope, would bring new scalar imaginations to future studies on ICT.

Key terms | Anthropocene, Computing, Calculated Earth, Infrastructure, Extraction.