인류세 맥락화하기: 포항 '촉발지진'의 사회적 구성■

김기흥*

■ 이 논문은 2019년 5월 18일 고려대에서 열린 과학기술학회에서 발표한 내용을 발전시킨 것이다. 학회에서 유용한 의견을 주신 선생님들께 감사드린다. 연구주제와 관련하여 인터뷰에 응해주신 김광희 교수님, 이윤수 교수님, 홍태경 교수님에게 감사를 드린다. 그리고 특히 세 분의 익명의 심자자들께 깊은 감사를 드린다.

* 포항공대 인문사회학부 교수 전자우편: edinkim@postech.ac.kr

본 논문은 2017년 11월 15일에 발생했던 포항지진의 원인을 둘러싼 과학자 사회의 논쟁을 과학기술학적으로 분석하며 이 현상이 인류세의 현상인가에 대해서 논의한다. 2017년 포항지진은 엄청난 경제적 손실과 정신적인 트라우마를 남겼다. 포항지진의 원인을 둘러싸고 과학자 사회는 크게 두 가지 입장으로 분화되었다. 포항지진이 보여준 특이성과 비정상성으로 인해 일부 과학자들은 이 지진이 북부 포항지역에서 진행 중이었던 지열발전소의 액체주입이 그 원인이 되었다고 주장하는 지열발전소에 의한 '유발지진론'의 관점이 제기되었다. 다른 연구자들은 2011년 3월에 발생했던 동일본 대지진으로 인한 지각변동과 이로 인해 생성된 응력에서 찾으면서 '자연발생론'을 주장했다. 이 두 관점은 주요한 논쟁의 대상이 되었으며 2019년 3월 20일 정부조사연구단의 최종연구결과가 나오기 전까지 치열하게 경쟁했다. 정부조사연구단은 포항지진의 원인이 당시 불안정성이 증가하던 상황에서 지열발전소의 액체주입이 '촉발'이 되었다는 "촉발지진"으로 규정하게 된다. 즉, 포항지진은 과거에 유례를 찾기 힘들었던 인간의 지층에 대한 직접적 기술적 개입으로 발생한 재난이었다.

포항지진이 보여준 재난의 성격과 인간이 만들어낸 자연적 재난은 최근 지질학계뿐 아니라 사회과학 분야에서도 확산되고 있는 새로운 개념인 "인류세"의 개념을 이용하여 분석한다. 포항지진이 과연 인류세적 현상인가에 대한 질문에 대해 답을 하면서 인류세의 문제를 어떻게 바라볼 것인가에 대해 논의하게 될 것이다. 본 논문의 핵심쟁점은 인류세의 재난적 상황이 전 지구적으로 확산되는 단일한 거대담론적 현상으로 이해할 것인가 아니면 상황에 따라 변동하고 구성되는 현상인가의 여부를 확인하게 될 것이다. 특히 인류세의 개념을 과학기술학 분야에 적용하여 재난적 상황에 대해 다루고 있는 브뤼노 라투르와 이자벨 스텡거스의 가이아 이론에 대해 비판적으로 논의할 것이다. 본 논문은 인류세적 현상은 불가피하게 특정 맥락에서 상황적으로 이해되어야 한다는 점을 보이게 될 것이다.

주제어 | **맥락화, 인류세, 재난, 촉발지진, 포항지진**

1.들어가는 말 – 2017년 포항지진과 인류세

2017년 11월 15일에 포항 북부지역에서 발생한 진도 5.4Mw의 지진은 100여 차례에 걸쳐 2.0 이상의 여진을 일으키면서 엄청난 피해를 일으켰다. 비록 사상자는 발생하지 않았지만, 약 546억 정도의 직접적인 물적 피해와 5만 6,000여 건의 시설물 피해가 보고되었다. 지진으로 인해 1,797명의 이재민이 발생했다(11.15 지진 지열발전 공동연구단, 2018). 1979년 현대적인 지진측정이 이루어진 이후 2016년 9월 12일에 있었던 경주지진에 이어 두 번째로 강력한 지진으로 인해, 여전히 200여 명의 이재민이 집으로 돌아가지 못한 채 임시거주지와 대피소에서 생활하고 있다(연합뉴스, 2019. 5. 13). 지진이 발생한 직후 일부 전문가들은 지진의 원인이 진앙지 부근의 지열발전소의 물주입 활동일 것이라는 문제를 제기했다. 당시 포항지역 단층에 관한 연구를 진행하던 부산대의 김광희 연구팀은 지열발전소가 진행했던 시추작업과 물주입이 지하단층의 불안정성으로 이어지면서 지진이 발생했다는 이른바 “유발지진론(induced earthquake)”을 주장했다. 반면에 다른 학자들은 포항지진의 원인을 2011년 3월에 발생했던 동일본 대지진으로 인한 지각변동과 생성된 응력[1]으로 포항지진을 설명하는 “자연발생론”을 주장

1) 응력(應力, stress)은 대상에 압력이 가해졌을 때 그 크기에 대응하여 대상 내에 생기는 저항력을 지칭한다. 기본적으로 단층, 즉 외부의 압력으로 인해 지층이 끊어져 어긋난 상태에서 양쪽에서 잡아당기는 장력, 양쪽에서 밀어 올리는 횡압력, 중력 등의 힘이 작용한다. 이 과정에서 응력이 축적되고 그것이 어느 한계점을 넘어서면 지진으로 이어지는 것이다.

했다. 연세대의 지진학자인 홍태경은 자연발생론을 적극적으로 주장했다. 이처럼 과학자 사회에서 제기된 상이한 주장은 지진의 원인에 대한 시민사회의 관심과 피해보상 문제가 겹치면서 더욱 첨예한 논쟁으로 전개된다.

2018년에 이르러 고려대의 이진한과 부산대 김광희 연구팀은 유발지진론에 대한 분석결과를 『사이언스(Science)』지에 발표하면서 유발지진론을 정식화한다(Kim et al., 2018). 거의 비슷한 시기에 홍태경 연구팀은 동일본 대지진으로 발생한 에너지가 한반도에 영향을 미치면서 일종의 도미노 현상을 일으켰고, 그 결과 2016년 경주지진에 이어 포항지진으로 이어졌다는 연구결과를 『사이언티픽 리포트(Scientific Reports)』지에 발표하게 된다(Hong et al., 2018). 하지만 포항지진의 원인을 둘러싼 두 연구그룹의 의견 차이는 2019년 3월에 포항지진조사단의 조사결과가 발표되면서 일단락되는 것처럼 보인다. 포항지진연구조사단은 지열발전소가 진행했던 강력한 수압을 이용한 물 주입으로 인해 기존 응력이 축적된 포항의 마이오세(Miocene)[2] 지층이 약해지면서 지진이 발생했다는 "촉발지진(triggered earthquake)"이라는 새로운 개념으로 정의했다. 즉, 포항지진의 발생 원인은 일차적으로 불안정한 상태의 지층 위에 지열발전소를 건설하면서, 특히 지열발전 분야에서 새로운 기술이라고 할 수 있는 인공저류 지열발전방식(Enhanced Geothermal System, EGS)을 이용한 기술이 지진을 촉발했다는 결론에

2) 마이오세(Miocene)은 약 2,300만 년 전부터 약 600만 년 전 사이에 형성된 지층을 지칭하는 지질학적 구분방식이다. 포항 분지가 위치한 지질학적 특징으로 경상북도 영덕군에서 경주 천군리 지역까지 분포하는 지층이다 특히, 포항지진의 진앙지로 지목된 포항 북부지역은 연일층군으로 불리며 사암과 이암이 주로 분포하고 있다(포항지진 정부조사연구단, 2019; Sohn & Son, 2004)

이른다. 이것은 기존의 자연 발생론과 유발지진론과는 미묘한 차이를 보이는 결론이기도 하다(포항지진 정부조사연구단, 2019). 그럼에도 불구하고, 지층에 대한 인간의 의도적 개입이 지진을 촉발하게 되었다는 잠정적 결론은 기존 유발지진론에 무게를 실어주는 것으로 해석되었다.

포항지진의 원인을 둘러싼 학계의 논쟁은 어떻게 지진의 발생 과정을 해석하는가를 보여주는 사례이다. 그리고 이 사례는 다양한 과학기술학적 이론에 근거하여 과학자 공동체의 논쟁을 분석할 수 있다. 본 논문은 2000년 이후 지질학계에서 제기된 새로운 지층분류와 지구환경 문제와 연관된 개념인 인류세(Anthropocene) 이론과 연결하여 분석할 것이다. 인류세 이론에 대한 이들[3]의 행위자 네트워크 이론(ANT)의 적용은 지구를 단순히 "생명체를 지탱하는 암석 덩어리가 아닌 그 안에서 생물과 무생물이 서로 관계를 맺으며" 단일한 행위자로서 지위를 부여한다는 새로운 함의를 던지고 있다(이광석, 2019: 31). 하지만 본 논문은 라투르나 스텡거스의 접근법이 내포하고 있는 거대담론적 성격을 지적하면서 인류세적 문제는 항상 지역적인 고유한 맥락에서 구체화할 수밖에 없다는 점을 논의할 것이다.

본 논문은 두 가지 측면에서 인류세의 문제를 다루게 될 것이다. 우선, 최근 사회과학에서 집중적인 관심을 받는 인류세의 문제 제기를 구체적인 사건과 맥락에서의 분석 가능성을 모색할 것이다. 라투르와 스텡거스를 비롯한 과학기술학자들은 인류세의

3] 인류세에 대한 과학기술학적 분석으로 확장한 브뤼노 라투르(Bruno Latour)와 철학자인 이자벨 스텡거스(Isabelle Stangers)이다(Latour, 1999a; 2004a, 2004b; 2017; 2018, Stangers, 2015a; 2015b; 2017; 2018).

논의가 전 지구적 규모의 거대담론이나 이론적 수준에서 다루어지는 학문적 경향에서 실제 사례와 경험 연구로 구체화할 방법을 찾을 것이다. 이미 라투르의 경우, 인류세에 대해서 기존 근대적 논의방식인 국민국가의 영역으로 제한할 수 없는 새로운 형태의 '지구적 정치(terrestrial politics)'의 필요성을 강조하면서 그것을 '새로운 기후 레짐(New Climatic Regime)'이라 지칭했다(Pedersen, Latour & Schultz, 2019). 인류세적 문제를 확인할 방법은 추상적 수준의 비가시성을 특징으로 하는 전 지구적 조건의 변화에서 찾기 힘들다. 그 대신 좀 더 구체적이고 지엽적인 상황에서 일어나는 사건과 경험적 현상에서 찾을 수밖에 없다. 본 논문이 논의하려는 두 번째 목적은 바로 이러한 인류세의 맥락화이다.

이러한 배경에서 포항지진 사건이 갖는 의미는 중요하다. 자연재해로서 지진을 상상할 경우, 인간의 활동이 지진의 원인이 될 수 있다는 가능성은 매우 적다. 지진학계나 지질학에서도 지진의 발생 원인을 규명하려는 노력은 대부분 지각의 물리적 변동이나 여타 다른 지질학적 변수들과의 상호작용에 집중한다. 지질학적 변동에서 행위자로서 인간이 줄 수 있는 영향이나 흔적은 매우 희소하거나 지워지기 쉬운 매우 하찮은 요소가 될 수 있다(Vistonti, 2014).[4]. 하지만 최근에 급증하고 있는 인간의 산업 활동에 의한 지층에 대한 개입으로 인해 지진이 발생하면서, 지질학적으로 구분할 수 있을 만큼 인간의 활동이 뚜렷한 영향을 주고 있

4) 일부 학자들은 전 지구적 규모에서 관찰할 수 있는 지질변동에 미치는 인간의 영향을 인류세라는 이름으로 분류하는 것에 대해 문제를 제기하기도 한다(Häusler, 2018; Malm & Hornborg, 2014; Visconti, 2014). 또한, 지질학계에서는 인류세와 연관된 분류법과 관련하여 실제 지질학적 시기 구분 방법으로 인류세를 독립적으로 볼 것인지 아니면 홀로세 일부로 볼 것인가에 관한 논쟁도 지속하고 있다(Certini & Scalenghe, 2014; Gibbard & Walker, 2014).

다. 특히, 인간의 활동으로 지진이 발생할 경우, 저수지의 건설과 취수, 물의 주입, 지하에 폐수처리, 파쇄, 지하 탄소저장소, 터널 건설, 지열발전소 건설 등의 활동이 지진을 일으킨다는 사례에 대한 보고가 급증하고 있다(Goudie & Viles, 2016; Guha, 2000; Gupta, 2002; Dura-Gomez & Talwani, 2010; El Hariri et al., 2010; Liu, Xu & Talwani, 2011; Qiu & Fenton, 2015). 포항지진에 대한 과학자들의 원인 논쟁은 단일사건으로서 지진이 어떻게 인류세라는 개념과 연결될 수 있는지를 볼 수 있는 좋은 사례가 될 수 있다. 포항지진 원인논쟁의 핵심논점은 간단하다: 인간의 산업 행위, 즉 지열발전소 개발이 지층에 영향을 미쳤는가? 본 논문은 2017년 포항지진에 대한 과학자들의 해석과 타협과정에서 어떻게 지층과 단층의 활동이 정치적 의미와 결합하는가를 논의하게 될 것이다. 그리고 인류세적 현상으로서 포항지진이 어떻게 국지적 맥락에 위치하는가를 논의하면서 인류세적 현상, 즉 전 지구적 수준의 재난은 국지적인 맥락에서 이해될 수 있음을 보일 것이다.

2. 인류세: 맥락화가 필요한 거대담론

오늘날 지구의 어느 곳도 인간의 손길이 미치지 않은 곳은 없을 것이다. 지구 역사에서 인간의 시대는 찰나에 지나지 않지만, 지구의 모든 생물종과 환경을 유지해왔던 균형과 조화에 엄청난 영향을 미쳤다. 인류세는 2000년 산화질소류가 오존을 분해하여 대기 중 오존층을 파괴한다는 문제를 해명하면서 노벨상을 받은 네

덜란드의 화학자인 파울 크뤼첸(Paul Crutzen)이 새로운 개념을 제기하면서 시작되었다(Crutzen & Stoermer, 2000). 현재 지질학적 시대로 알려진 홀로세(Holocene)[5]는 과도한 인류의 활동으로 인해 지질학적으로 더 이상 큰 의미가 없으며 새로운 지질학적 시대에 돌입하게 되었다고 크뤼첸은 주장했다(Crutzen & Stoermer, 2000)[6]. 인류세 개념은 지난 200년 동안 인간의 산업활동과 인간의 영향이 통제할 수 없을 만큼 가속화되고 있음을 의미한다. 또한, 인류세는 지속불가능성을 함의한다. 엄청나게 빠른 속도로 증가하고 있는 전 지구적 규모의 환경파괴는 되돌릴 수 없을 만큼 엄청난 결과를 가져오고 있다(Stiegler, 2017: 151). 많은 지질학자는 인간의 활동이 전지구적 규모로 미치는 영향이 갖는 엄청난 파괴력으로 인해 홀로세를 벗어났다고 주장한다(Sperling, 2019; Steffen, Crutzen & McNeill, 2007; Zalasiewicz et al. 2011).

5) 홀로세(Holocene)는 약 1만 년 전부터 현재까지의 지질시대를 의미한다. 특히 마지막 빙하기인 플라이스토세(Pleistocene)이 끝나면서 전반적으로 지구의 온도가 상승하면서 유럽대륙을 덮고 있던 빙하가 물러가는 시점을 홀로세의 시작으로 잡고 있다.

6) 물론 역사적으로 인류가 사는 환경에 대한 인간의 개입으로 인해 일어나는 지구적 변화에 관해서 지적한 사례가 없는 것은 아니다. 예를 들어, 19세기 프랑스의 변호사였던 유진 위자(Eugene Huzar)는 이미 그의 저서에서 과학기술의 발전으로 인해 대기에 이산화탄소가 증가하면서 환경파괴가 일어날 것을 예측한 바 있으며 이탈리아의 지질학자인 안토니오 스토파니(Antonio Stoppani)는 1873년에 '새로운 지구력(new telluric power)'로 상황을 정의했으며 1920년대 러시아의 지구화학자인 블라디미르 베르나츠키(Vladimir Vernadsky)는 지구를 하나의 '생물권'으로 정의하면서 인간이 이러한 생물권에 대한 영향이 증대하고 있음을 주장한 바 있다(Bonneuil & Fressoz, 2017: 23-25).

기후변화와 같은 환경위기와 관련하여 대지, 해양 그리고 대기는 하나의 생태계로 연결되어 있으며 인간이 속한 생물권도 이러한 생태계와는 분리하여 생각할 수 없다는 사고가 인류세 이론과 결합하여 확산하였다. 특히, 석유자원의 추출, 산림채취와 농업 활동의 증가는 대기에 엄청난 변화를 일으킬 뿐 아니라, 해양 산성화, 산업활동으로 유해물질의 배출과 퇴적층의 손상 그리고 생물 다양성의 감소와 같은 결과가 함께 일어나면서 인류세 이론은 설득력을 얻었다(Meybeck, 2003; Nanda ed., 2011). 이처럼 인류세 현상의 특징은 전 지구적이고 총체적인 생태계의 위험이 통제 불가능한 상황에 이르고 있음을 알리고 "근본적 변화"에 대한 사회과학적 분석을 요구하고 있다. 비록 인류세에 관한 논의가 자연과학, 특히 지질학에서 시작되었지만, 사회과학과 인문학에 걸쳐 주요 내러티브(master narrative)로서 작동하고 있다(Blok & Jensen, 2019). 특히, 과학기술학에서 인류세는 근대적 이분법, 즉 인간의 지식활동과 인식(어떻게 외부의 세계를 알 수 있는가)과 세계에 대한 근본적 질문(세계 또는 존재는 무엇인가)을 분리하던 기존 접근방식에 대한 근본적인 문제제기와 긴밀하게 연결되어 있다. 이러한 문제를 제기한 라투르는 인간/비인간 행위자 또는 자연/사회를 분리하여 설명하는 근대적 관념을 넘어서 대칭적 접근을 주장한다. 그는 대상과 사물을 주어진 것으로 받아들이고 인간의 믿음을 "투사"하는 방식을 비판한다. 근대성의 이분법에 기반한 사고는 계산적이고 예측 가능한 고정적인 대상을 "사실물(matters of fact)"로 인식했다. 하지만 라투르가 제안하는 새로운 대상은 불안정하고 자동적이고(automated), 긴장을 일으키는(catatonic) "우려물(matters of concern)"이다(Blok & Jesen, 2011; Latour, 2004b; Luisetti, 2016: 159)[7].

이러한 맥락에서 포항지진과 같이 인간의 기술적 개입으로 일어난 재난적 사건을 이해하기 위해 인류세적 접근법은 충분히 논의할 만한 가치가 있다. 특히, 인간이 자연에 대한 개입을 통해 실현하려 했던 근대성의 정치적 기획이 오히려 재난적인 상황으로 이어지는 예상치 못한 결과에 대한 분석에 인류세 개념은 유용하다. 라투르가 인류세의 문제를 다루는 의도는 분명 이러한 근대적 계몽의 기획으로 인해 발생하는 부정적인 재난의 상황이 결국 대분열(Great Divide)[8], 또는 화이트헤드가 지적한 "자연분기론

7) 라투르가 제안한 "우려물(matters of concern)"은 기존 사회구성주의적 접근법(사물에 대한 불가지론적 전제와 이에 대한 인간 중심적 믿음체계의 투사)과 유아론적 실재론(인식 외부에 존재하는 독립적이고 주어진 존재로서 대상)에 대한 비판을 통해 제안된 개념이다. 인간과 비인간 행위자의 상관주의적 연결망(relational network)으로서 형성되는 집합(gathering)은 단순히 "고정되고 주어진 이상화된 비트루비우스적 대상(Vitrurvian object)"이 아니다. 그보다 다양한 참여자들이 결합하여 만들어지는 대상이기도 하다. 이러한 측면에서는 라투르의 입장은 아직 구성주의적이다. 하지만, 라투르의 우려물은 실재론적 입장을 통해서 가능하다고 주장한다. 즉 우려물의 구성과정에서 필요한 것은 "완고한 실재론적 태도(stubborn realist attitudes)"이며, 이를 통해서 사실물이 "타당치 못하며, 비실재론적이고 정당화되지 않는 정의에 근거하고 있다는 점"을 폭로할 수 있다 주장했다(Latour, 2004b: 244). 라투르의 새로운 제안은 인간-비 인간행위자들의 결합이라는 행위자 연결망 이론의 성과를 넘어서는 그 이상의 의미를 갖지 않는 것으로 보인다. 실재론적 태도의 견지가 우려물의 구성이라는 주장에서 남는 것은 무엇일까? 이미 1980년대와 90년대의 논쟁을 거치면서 과학기술학의 (사회)구성주의에서 대상이 갖는 "우려물"적 요소들(비고정성, 비결정성, 유동성)은 충분히 내적으로 이론화되었다(Bloor, 1999a; 1999b; Latour, 1999b).

8) 계몽과 근대성의 기획은 인간과 자연을 분리하여 인간에게 인식적이고 존재론적으로 특권적 지위를 부여하면서 만들어진 것으로 지각의 주체와 지각의 대상 사이의 완전한 단절로 이어진다. 라투르가 주장하는 자연과 인간의 대분열을 극복하려는 시도는 그 자체로 의미 있는 작업이다. 그럼에도, 라투르의 기본논리는 아직도 토머스 홉스가 주장한 "만인에 대한 만인의 투쟁"이라는 야만적 "자연상태(state of nature)"에서 발생하는 대혼란의 상황을 "사회계약(social contract)"를 통해 해결한다는 고전적 논리에 대해 "사회" 대신 "자연"을 간단히 대체하는 전략을 선택했다. 이 과정에서 발생하는 것이 바로 국가 또는 사회(commonwealth)로 이를 "리바이어던(Leviathan)"으로 형상화했다. 라투르의 경우, 이 자연상태를 "만물의 만물에 대한 투쟁으로 그 주인공은 늑대와 양뿐 아니라 참치, CO_2, 해수면, 식물의 뿌리 또는 해조류까지 모든 것이며 다양한 분파의 인간들도 포함된다"라고 주장한다(Latour, 2017: 221). 이러한 혼란스러운 자연상태를 극복하는 과정은 철학자인 미셸 세르(Serres, 1995)가 주장한 "자연계약(natural contract)"을 통해 이루어지며, 그것이 시각화된 형태가 바로 "가이아"이다(Latour, 2017; Luisetti,

(the bifurcation of nature)"의 문제를 극복하고 자연과 인간, 비인간과 인간행위자 사이의 구분이나 특권의 장벽을 붕괴시키려는 것임은 분명하다(Latour, 1993; Whitehead, 1938).

과학기술학의 인류세에 대한 논의를 본격적으로 제기하는 라투르와 스텡거스는 인류세의 문제를 효과적으로 드러내기 위해 새로운 형태의 비인간행위자인 "가이아(Gaia)" 개념을 제시한다(Latour, 2017; 2018; Stengers, 2015a; 2017a; 2017b)[9]. 특히, 스텡거스는 가이아가 현재 상황의 비결정적, 비회귀적 특성을 드러낼 수 있는 적합한 개념임을 분명히 밝히고 있다. 지구적 규모의 근본적 생태계의 변화에 관해 과학적, 자본주의적 또는 다른 여타의 변수를 사용한 설명은 그 한계를 드러낸다. 가이아 이론의 목적은 바로 이 문제를 보여주는 것이다(Blok & Jensen, 2019: 12). 그리고 주목해야 할 부분은 스텡거스가 주장한 "가이아의 침범(Intrusion of Gaia)"의 개념이다(Stengers, 2015b: 43). 스텡거스의 가이아는 단순히 지금까지 우리가 이해해온 자연이나 지구의 개념과는 다른 의미이다. 좀 더 능동적이고 민감한 단일체로서 가이아를 이해할 수 있다. 가이아의 침범은 인간이 개입하거나 변경시킬 수 있는 영역을 넘어선다. 현재 인류세의 상황은 인간이 개입하여 협상을 통해 해결

2016; 2018). 이러한 홉스주의적 자연상태를 바라보는 라투르의 방식에 관해 정치철학자인 페데리코 루이세티(Federico Luisetti)는 이미 라투르가 기반한 논리는 서구의 주체(특히 유럽 중심적 주체)의 시선에 기반한 접근방식이며, 자연상태를 묘사하는 방식에서 비유럽적 존재 양식으로서의 "야만성"에서 출발하고 있다고 지적하고 있다. 이러한 라투르의 입장은 서구/비서구, 계몽/야만, 인간/자연의 이분법을 극복하려는 시도의 기저에 이미 유럽 중심적 주체관이 이미 전제되어 있음을 의미한다(Luisetti, 2016).

9) 인류세의 다른 이름으로 지칭되기도 하는 가이아 이론은 이미 1970년대 화학자인 제임스 러브록(James Lovelock)과 미생물학자인 린 마굴리스(Lynn Margulis)가 지구를 하나의 자기 안정적인 하나의 조직(self-stabilizing organism)으로 규정하기 위해 그리스의 신화에 나오는 신의 이름을 빌려 사용한 개념이다(Margulis & Lovelock, 1975; Clarke, 2017).

할 수 있는 여지가 없이 비결정적인 상황이며 불가피성의 세계이다. 가이아의 침범은 인간의 집합적 역사성(collective historicity 또는 상대성, 구성성)에 대한 침범을 의미한다(Blok & Jensen, 2019: 12). 즉, 가이아는 우리가 저항하거나 도전할 수도 없는 그리고 문제를 제기할 수 없는 피할 수 없는 상황이다(Stengers, 2018 : 108). 가이아는 과학과 문화, 정치, 경제 그리고 시민의 실천적 수준에 스며들어 있는 비결정성의 문제이다. 현재 지구온난화의 문제는 다양한 사건의 합으로 이루어진 거대한 변화를 의미하는 것이 아니다.

그렇다면 라투르와 스텡거스가 주장하는 인류세적 현상으로서 가이아의 불가피성과 비결정성의 문제를 어떻게 이해할 수 있을까? 가이아의 불가피성은 우리가 전 지구적 문제나 이에 대한 지식 그리고 현상에 대한 해석의 다양성의 여지가 없는 것처럼 보인다. 그렇다면 인간의 인식과 개입의 범위를 넘어서는 인류세적 문제의 인식은 어떻게 이루어질 수 있을까? 분명 인류세 현상으로 지구온난화의 징후를 드러내는 다양한 재난적 형태들, 허리케인이나 가뭄, 홍수 등의 문제는 국지적으로 물리적 현상으로 나타난다. 하지만 스텡거스는 “가이아의 침범”의 개념을 통해서 이 재난적 현상이 “일련의 고립되고 국지적인 현상을 다루는 것이 아니라 전 지구적 수준과 맥락에서 일어나는 동시적인 단일사건(a single event)”으로 이해해야 한다고 주장한다(Jensen, forthcoming: 12).

하지만 인류세의 이해는 분명히 맥락화하거나 경험적 현상에 근거하여 이루어질 필요가 있다. 비록 국지적으로 발생하는 다양한 재난 현상을 “동시적이고 전 지구적 수준의 단일사건”으로 이해할 수 있겠지만, 그 발생의 형태나 영향 그리고 다양한 정치적인 동학은 단순히 단일사건으로 설명하기에는 매우 복잡하고

세밀한 차이를 보인다. 예를 들어, 난지도의 형성과정에서 나타나는 지층의 이동과 인공적으로 조성된 쓰레기로 구성된 지층에 대한 분석에서 임태훈은 인류세를 바라보는 다양한 관점과 자리(position)에 대해 논의한다(임태훈, 2019). 그는 "인류세를 논할 때는 서로 다른 자리에서 관찰되고 성찰된 독립적인 담론에 기초하되, 이 언어들이 한데 결합하여 확장될 기획이 필요하다. 독립성이 강한 둘 이상의 멜로디를 동시에 결합하는 대위법의 작곡 기법처럼, 주어진 하나의 주제에 두 번째 주제를 더하는 일이다"라고 주장한다(임태훈, 2019: 120). 또한, 미국의 과학사학자인 가브리엘 헥트(Gabrielle Hecht)는 아프리카에서 핵발전의 원료인 우라늄의 채취과정에서 나타나는 문제를 분석하면서 인류세라는 생태위기와 파국적 붕괴가 미치는 영향이 모든 곳에 일관되게 나타나는 것은 아님을 보여주고 있다(Hecht, 2012; 2018. 2. 6). 헥트는 인간의 활동이 만들어낸 생태적 파국과 재난에서 등장하는 "우리"는 항상 서구의 백인 중심적인 입장을 전제하고 있다고 지적한다. 인류세 현상이 미치는 영향의 강도와 파괴력 그리고 대처방식은 매우 복잡하게 정치적이고 권력 관계와 얽혀 있다. 그녀의 문제 제기는 인류세를 거대담론으로 이해하는 것이 아닌 "분석 규모(scale)의 선택과 주장의 다양성에 의해서 정치적, 윤리적인 문제를 함께 고려"하는 것으로 본다(Hecht, 2018: 111). 여기에서 헥트는 단순히 '인류세'에 주목하지 않고 사회적이고 정치적인 맥락에 있는 '아프리카 인류세'를 분석한다. 즉, "아프리카라는 한 장소에 초점을 맞추는 것이 아니라 나는 인류세의 문제를 생각하는 출발점으로 아프리카를 이용한다. 그리고 여기에 존재하는 다중형태의 폭력에 주목한다."라고 설명하고 있다(Hecht, 2018: 112). 이처럼 인류세 문제에 대한

논의는 단순히 지구적 단일사건으로 처리하기에는 너무 다양하고 복잡하다. 특정 현상의 복잡성과 맥락성 분석은 오랫동안 과학기술학이 추구해온 학문적 기반이기도 하다. 과학기술학은 자연/문화와 같은 이분법을 극복하기 위한 학문적 시도를 해왔으며 그 최적의 방식을 복잡성과 맥락성에서 찾아왔다.

포항지진은 지질학적으로 매우 특이한 사건이다. 그 이유는 명확하다. 포항지진은 그 특성상 전통적인 지진의 특성과 매우 다른 특이한 성격을 보이기 때문이다. 또한, 만일 포항지진의 원인이 2017년 당시 포항 북부지역에서 진행되고 있던 지열발전소 시험가동과정에서 일어난 물 주입이었다면, 그것은 지질학계에서 최근에 주목해온 인간의 산업활동으로 인해 발생한 일종의 인공지진의 한 형태로 볼 수 있으며 지층에 대한 인간의 기술적 개입의 결과로 볼 수 있다. 지질학에서 인간의 기술적 개입이 가져온 파국적 결과의 대표적 사례가 지난 2008년 중국 쓰촨성에서 발생한 지진이다. 지질학자들은 중국의 쓰촨성에서 8만여 명의 생명을 앗아갔던 규모 7.9의 지진 원인을 주변에 건설된 156m 높이의 지핑푸댐(Zipingpu Dam)의 담수에서 찾고 있다(Qiu, 2012). 즉, 댐의 건설과 지진 발생 사이의 연관성처럼 포항지진은 지열발전소와 같은 인간 활동으로 지진이 발생한 사례가 된다. 이것은 인간의 자연환경, 특히 지층에 대한 직접적 개입으로 발생한 재해를 의미하며, 인류세 사건의 하나로 볼 수 있다. 그렇다면, 2017년 포항지진의 원인을 둘러싼 과학계의 논쟁이 어떻게 이루어졌으며, 그 과정에서 인류세 사건으로서 지진이 어떻게 정의될 수 있는가를 논의해 볼 것이다.

3.포항지진 원인을 둘러싼 논쟁

1) 논쟁의 시작 – 포항지진 긴급포럼

2017년 11월 15일에 발생한 포항지진은 그 규모에 있어서 2016년에 발생한 경주지진(5.8 Mw)에 이어 역사상 두 번째로 강한 지진으로 기록되었다. 하지만 진앙지인 포항 북부의 흥해읍 지역을 중심으로 그 피해는 경주의 경우보다 훨씬 컸다. 지진 발생 당시 진앙지의 깊이가 5km에 불과해(경주의 경우는 14km 깊이에서 발생했다) 그 피해가 경주보다 컸다(기상청, 2018: 14-15). 당시 지진으로 인한 물적 피해와 경제적 손실뿐 아니라 사람들이 지진의 공포로 인해 트라우마와 정신적인 충격을 겪었다. 지진이 일어난 지 1년이 지난 이후에도 80.8%의 시민들이 정신적인 피해와 심리적인 어려움을 호소하고 있다(박효민, 2018; 김준홍 · 김원규, 2018; 원태준, 2018).

포항지진은 2016년에 경주 9·12 지진과 비교해서 여러 면에서 과학자들을 혼란스럽게 했다. 우선, 역사적으로 포항지역에서 지진 발생에 대한 기록이 전혀 없었다. 반면에 경주는 역사적으로 신라시대부터 고려시대에 이르기까지 다양한 지진 기록이 있다(강태섭·이준기, 2016; 행정안전부, 2018). 여진의 빈도와 발생 기간에 있어서 양산단층에서 일어난 것으로 추정되는 경주지진과 포항지진은 상당히 다른 양상을 보여준다. 경주의 경우, 지진이 일어난 후 그 이듬해인 2017년 3월 말까지 규모 1.5 이상의 여진이 570여 차례에 걸쳐 발생한 기록이 있지만, 포항의 경우 지진 발생 이후 100일 동안 300여 회 관측된 후 여진은 멈춘다.[10] 여진 발생빈도와 기간의 차이와 관련하여, 경주지진은 단층 파열에 의한 여진이

규칙적으로 일어난 것으로 해석될 수 있지만, 포항의 경우, 여진의 발생빈도와 규모 그리고 기간에 있어서 상대적으로 불규칙한 형태를 보여주고 있다. 그리고 이러한 차이로 인해서 경주지진은 자연적으로 발생한 지진의 특성을 잘 보여준다. 하지만 포항지진은 일반적 지진과 관련된 법칙에 잘 맞지 않았다(김성균 · 이정모, 2019). 마지막으로 포항지진의 특이성은 포항의 지질학적 형태가 자연발생적 지진에 취약한 구조가 아니라는 점이다. 자연적으로 지진이 발생하기 쉬운 지역의 지층은 보통 약 10～20km 지하에 광역지하수(regional flow system)의 흐름이 있어야 한다는 것이 지질학계의 정설이다. 즉, 물의 흐름은 일종의 윤활유 역할을 하기 때문에 지층의 움직임을 가속할 수 있다(이윤수, 2019). 하지만 포항의 경우, 물이 빠르게 흘러 바다로 나갈 수 있는 투수성이 높은 사암층(sandstone)과 지하수가 더는 깊은 곳으로 흘러 들어가지 못하게 하는 화강성록암층(granodiorite)이 불투수층의 역할을 한다. 즉, 포항지역은 지진과 연관되는 광역지하수가 적정 심도인 지하 10～20km 깊이에 도달할 수 없으며, 바로 먼 바다로 빠져나가는 구조로 되어 있다(11.15 지진지열발전 공동연구단, 2018)[11].

10) 물론 2019년 9월 26일에 발생한 규모 2.3의 지진을 2017년 포항지진의 여진으로 볼 것인지 아니면 포항의 지층에 축적된 또 다른 응력이 분출되어 일어난 것인지에 대해서는 논란의 여지가 있다.

11) 포항의 지각구조가 갖는 이러한 특징으로 인해 동해로 흘러 들어간 지하수는 동해의 먼 바다에 이르러야 비로소 지진을 일으킬 수 있는 적정 깊이인 10～20km에 이르게 된다. 즉, 지진의 자연적인 발생 가능 지점은 포항지역이 아닌 포항 앞 먼바다에서 규모 4 이상의 지진이 일어날 수 있다고 육군사관학교의 지질학자인 오경두는 주장했다(김희영, 2019).

포항지진이 보여주는 비정상성으로 인해 연구자들은 포항지진의 원인을 다른 곳에서 찾기 시작했다. 2016년 경주지진 이후 부산대의 김광희 연구팀은 여진을 조사하기 위해 경주지역에 이동식 지진계를 설치했다[12]. 경주지역에 설치한 지진계에 기록된 미소지진 기록 중에서 일부는 경주지역에서 발생한 것이 아니라 포항지역에서 발생했다는 사실을 인지한다. 특히, 2017년 4월 15일에 기록된 3.1 규모의 지진의 진앙지를 포항 북부지역으로 특정할 수 있었다. 경주에서 김광희 연구팀은 2017년 3월 17일부터 11월 5일 기간 사이에 경주에 포항지열발전소 주변에서 발생하는 미소지진(micro earthquake)을 관측했다. 경주지역 지진조사가 종료된 직후 김광희 연구팀은 규모 3.1의 지진이 발생했던 포항 북부지역에 이동식 지진계 8대를 설치하게 된다(김광희, 2019)[13]. 당시 김광희 연구팀은 지열발전소에서 주입한 유체로 인한 미소지진의 발생 가능성과 연관성을 의심하기 시작했다고 주장했다. 11월 15일 지진이 발생할 때까지 이 지진계는 포항지역에서 발생하고 있던 미소지진의 세부사항을 기록할 수 있었다.

포항지진이 발생한 날 JTBC 『뉴스룸』에 출연한 고려대 지질학자인 이진한은 지진의 발생 원인이 진앙지 근처에 있는 지열발전소일 수 있다는 가능성을 강하게 제기했다. 그는 공정상 터빈을 돌리기 위해 암반층을 4.5km 정도까지 뚫어 강력한 수압파

12) 이 연구는 원자력안전위원회가 경주 주변의 원자력 발전소의 안전성을 조사하기 위해 지원하여 시행되었다(김광희, 2019; 홍태경, 2019).

13) 당시 그의 연구팀은 경주지역의 측정이 끝난 후 한 대의 지진계를 테스트용으로 포항 북부에 설치했다. 하지만 이 지진계가 오작동을 일으키면서 4대를 설치했다. 문제는 이 지진계 중 2대의 지진계가 파손되거나 작동하지 않는다는 사실을 알게 되면서, 확실한 데이터를 얻기 위해 8대의 지진계를 포항과 흥해지역에 설치했다(김광희, 2019).

쇄로 물을 주입해야 하는데 이 과정에서 암석이 깨지면서 단층에 영향을 줘 지진이 발생했다고 주장했다(JTBC뉴스, 2017. 11. 15; 김서연, 2017. 11. 16; 임재현, 2018: 41). 포항지열발전소에 의한 유발지진론이 당시 공신력 1위로 평가를 받고 있었던 JTBC의 뉴스를 통해 전국적으로 알려지면서 지진 원인을 둘러싼 논쟁이 격화되었다. 이렇게 전국적인 관심을 끌게 된 유발지진론에 대해서 각 언론사가 앞다투어 기사를 내보내면서 지진발생 원인에 대한 논의는 단순히 연구자들의 영역에서 벗어나 언론과 SNS를 통해 확산하는 양상을 보였다(이근영, 2017. 12. 4). 일부에서는 이진한의 예상치 못한 주장에 대해서 사실이 과장되었으며 복잡한 지진 발생의 메커니즘을 단순히 지열발전소의 물 주입으로만 환원시켰다고 비판했다(홍태경, 2019). 하지만 이진한의 강한 의심은 2017년 4월 15일 발생했던 규모 3.1의 지진 때문이었다. 당시 이진한은 4월 15일에 발생한 포항지진과 지열발전소 사이의 관련성에 관한 문제의식을 김광희의 연구팀과 논의했으며, "혹시나 발생할 수 있는 재난에 대해 경고를 하기 위해" 뉴스에서 강력하게 주장했다고 말했다(김광희, 2019)[14].

지진의 원인을 둘러싼 다른 입장이 제기된 것은 지진이 발생한 후 9일이 지난 뒤인 11월 24일 대한지질학회와 한국지구물리물리탐사학회, 대한자원환경지질학회, 그리고 대한지질공학회가 공동으로 주최한 『포항지진 긴급포럼』에서였다. 이 긴급포럼에서 지질학 분야의 전문가들은 포항지진의 원인에 대해서 크게 두

14) 2017년 11월 24일에 서울에서 열린 "포항지진 긴급포럼"에서 이진한은 "의도치 않게 뉴스의 중심에 서게 돼서 무척 불편하다. 포항지진을 일으킨 여러 가지 원인 중에 하나로 지열발전소로 인한 유발지진의 가능성을 이야기한 것인데 마치 그것이 최종결론이나 유일한 원인으로 받아들여져 있다"라고 말하기도 했다(유용하, 2017. 11. 24).

가지 다른 이론을 제기했다.[15]. 위에서 언급한 것처럼, 부산대의 김광희와 고려대의 이진한은 이동식 지진 관측 장비에서 얻은 자료를 바탕으로 포항지진은 지하단층에서 일어난 것으로 역단층성 주향이동을 했다고 주장했다. 이와 비교해서 2016년에 발생했던 경주지진은 단층의 이동 방향이 주향이동(strike slip)했을 뿐 역단층성 이동을 보이지는 않았다.[16] 이진한은 2000년대에 이르러 전 세계적으로 액체주입(fluid injection)과 관련된 유발 지진이 지속해서 증가해왔으며 포항지진은 진앙에서 불과 600m 정도 떨어진 지열발전소의 액체주입과정과 긴밀하게 연관되었을 가능성이 크다고 주장했다(임재현, 2018: 81-82). 유발지진론에 대해서 대다수의 학자들, 예를 들어 부경대학의 강태섭과 서울대의 민기복, 충남대 장찬동은 지진 발생을 위해서 주입되어야 하는 액체의 양과 관련된 문제를 제기했다. 진도 5 규모의 지진을 일으키는데 필요한 물의 양이 다른 외국의 사례에 비해 적었다. 포항지열발전소의 경우, 2016년 1월부터 2017년 9월까지 총 액체주입량은 12,789㎥로 이 중 땅속에 남아있는 양은 5,800㎥로 알려졌다(홍태경, 2017. 12. 26; 11.15 지진 지열발전 공동연구단, 2018). 미국 오클라호마에서 몇 년간 매달 수백만㎥의 물을 땅속에 주입했으며, 포항 본진 규모(5.4)의 지진이 발생하려면 현 수량의 2,000배를 주입해야 가능하다고 추

15) 이 포럼에서 주요 발표자로 나선 학자들은 강태섭(부경대 지구환경과학과), 김광희(부산대 지질환경과학과), 이준기(서울대 지구환경과학부), 이진한(고려대 지구환경과학과), 장찬동(충남대 지질환경과학과)이었으며 이기화 서울대 명예교수와 포항지열발전소 연구개발에 참여했던 민기복(서울대 에너지자원공학과) 등이 발언에 참여했다(대한지질학회, 2017).

16) 주향이동(strike slip)은 단층의 상반과 하반의 단층면의 경사와는 상관없이 단층면을 따라 수평으로 이동하는 현상을 지칭한다. 반면에 역단층성 주향이동은 단층이 수평으로 이동하는 동시에 단층면을 따라 앞뒤로도 이동하는 현상을 지칭한다. 즉, 포항지진의 경우에는 지층이 단층을 따라 이동함과 동시에 상하로도 이동했음을 의미한다.

정했다(홍태경, 2017; 2019)[17]. 이에 대해서, 유발지진을 주장하는 연구자들은 석유채취, 특히 셰일가스 채취과정에서 액체를 흘려보내는 상황과 포항에서 사용된 고압액체 주입방식인 EGS 공법은 비교할 수 없다고 반론을 제기했다. EGS 공법은 보통 뜨거운 증기나 물을 쉽게 얻을 수 없는 지하 암반을 뚫은 후 물을 주입하여 암반 속에 스며들어 뜨거운 열을 물이 흡수하도록 하는 방식이다. 그리고 다시 관정을 통해 물을 빼내어 터빈을 돌려 전력을 얻는다. 보통 지열발전소는 아이슬란드와 같이 화산활동이 많거나 쉽게 지열을 얻을 수 있는 곳에 건설된다. 하지만 최근 일반지역에서 지열발전을 위해 4~5km의 지하까지 암반을 뚫어 물을 주입하면 160~210도의 뜨거운 물을 얻을 수 있는 혁신적 공법으로 사용되어왔다(Olasolo et al. 2016). 유발지진론을 주장하는 김광희와 이진한은 EGS와 같은 새로운 기술을 기존의 셰일가스 채취와 폐수처리를 위한 물의 주입방식과는 비교할 수 없다고 주장했다[18].

17) 그가 비교한 미국 오클라호마 지진사례는 2009년부터 석유채굴을 위해 유정에 소금물을 주입하면서 발생한 2.5 규모의 지진 발생에 대한 것이다. 당시 소금물을 주입하면서 중소규모의 지진이 지속해서 발생했으며 이로 인해 주입된 액체의 양과 지진 발생 사이의 상관관계를 밝히는 연구가 이루어졌다(Rosen, 2015; Walsh III & Zoback, 2015).

18) EGS공법을 사용하여 지열발전을 할 때 반드시 지진 반응이 일어난다는 사실은 상식적인 수준의 지식이다. 특히 유체를 주입했을 때 발생할 수 있는 지진 현상을 어떻게 조절 통제할 것인가는 EGS 공법을 연구하는 학자들에게는 주요한 관심사였다(Bruhn et al. 2011; Zang et al. 2014). 조절통제의 방법이 제대로 개발되고 실행된다면 EGR 공법을 이용한 지열발전방법은 지열발전의 미래라고 평가하기도 했다(사이언스 타임스, 2010). 2017년 포항지진이 일어난 직후 한겨레신문은 지열발전이 지진의 원인일 수도 있지만, 대안 에너지개발을 위해서는 이 인공저류 지열 시스템의 개발과 연구는 중단해서는 안 된다는 기사를 싣기도 했다(이근영, 2017. 12. 4).

액체주입의 형태와 강도 그리고 주입량과 액체주입공법에 취약했던 구조와 강도를 가지고 있던 포항의 지층구조에 근거해 유발지진을 주장하는 학자들과 달리 일부는 연구의 관심과 규모에 있어서 상당한 차이를 보였다. 포항지진 긴급포럼에 참여했던 학자 중에서 김광희와 이진한을 제외하고 대부분은 지열발전소의 역할에 관해 유보적이거나 부정적이었다. 이들이 공유하고 있었던 중요한 요소는 바로 2011년 동일본 대지진이 한반도의 지각에 준 영향이었다. 당시 포럼에서 서울대의 이준기는 유발지진론에 대해서 유보하는 태도를 보였다. 유발지진론에 대해서 지진파 전파, 지진원을 합친 관측자료를 활용해 분석한 결과, 포항지진은 복잡한 단층면에서 발생했을 가능성, 고압 유체 영향의 가능성이 존재한다고 주장하면서 유발 지진의 가능성에 대해서 인정했다. 하지만 그보다 더 중요한 것은 동일본 대지진 이후 한반도 지각이 지진이 발생하기 쉬운 환경으로 전환되었으며, 그 여파가 지속되어 전례 없는 지진이 발생했다고 강조했다(김다혜, 2017. 11. 24; 임재현, 2018: 81). 즉, 한반도에서 규모 5 정도의 지진이 일어날 수 있는 기본적인 조건은 동일본 대지진 이후 한반도에 미친 영향으로 인해 변화했을 가능성이 존재했다. 동일본 대지진의 여파로 한반도의 지각환경 변화의 맥락에서 경주지진과 포항지진이 일어났다는 주장이다.

홍태경의 입장은 명확하게 동일본 대지진의 영향으로서 발생한 지진이라는 점을 강조하고 있다. 그는 “동일본 대지진 후 한반도 지각은 지진이 발생하기 쉬운 환경으로 진행되었으며, 동일본 대지진 이전의 지각환경으로 아직 회복되지 못하고 있다”라고 주장했다(정재훈, 2017. 11. 25). 그는 동일본 대지진은 한반도의 지

각의 밀도가 느슨해지면서 임계응력 차이가 낮아졌다고 주장했다. 이로 인해 적은 힘으로 자극을 가해도 미끄러지기 쉬운 취약한 구조가 되었고 이 상황이 지진으로 이어졌다고 설명했다(홍태경, 2019). 그는 2016년 경주에서 지진이 발생한 후 지진의 원인을 한반도 지각에 축적된 응력으로 보았다. 충분한 시간 동안 응력(stress)이 축적되면 앞으로 중대형 지진이 발생할 가능성이 크다고 예측했다(홍태경, 2016). 동일본 대지진 이후 한반도는 동쪽으로 약 2~5cm 정도 이동했다고 그는 주장했다. 이러한 지각변동은 단층에 응력을 축적하도록 만들었다. 경주지진 이후에도 한반도에 축적된 응력이 존재하며 이것이 규모 6.5-7.0 정도의 대규모 지진으로 이어질 가능성이 크다고 예측했다(홍태경, 2016). 그의 예측은 정확하게 1년 뒤에 적중했고, 포항에서 진도 5.4의 지진이 발생하면서 그는 언론의 관심을 끌게 되었다. 『신동아』는 그를 "미스터 둠(Mr. Doom)"이라고 지칭할 정도였다(홍태경, 2017).

2) 입장의 체계화 – 자연지진론과 유발지진론

동일본 지진의 연쇄반응으로서 포항지진을 바라보는 "자연지진론"과 포항지열발전소의 액체주입으로 인한 "유발지진론"을 주장하는 연구자들은 측정된 데이터를 기반으로 좀 더 구체적이고 체계적인 연구를 시작한다. 2018년에 이르러 포항지진을 분석한 연구논문들이 발표되면서 포항지진의 원인을 둘러싼 이견은 과학적 논쟁으로 전환된다. 포항지진 당시에 지진계를 설치하여 실시간 지진파를 기록했던 김광희 연구팀은 데이터 분석결과를 발표하는 방법을 모색하게 된다. 문제는 11월 24일에 있었던 지질학회의 긴

급포럼에서 확인된 것처럼, 대부분 지질학계는 유발지진론에 대해서 완전한 확신을 갖지 못했다. 김광희에 의하면, 이들 입장을 변화시킬 가능성은 적어 보였으며 해외 학회에서 받아들일 수 있는 정도의 데이터 분석을 할 필요가 있었다. 즉, 이들이 모색한 것은 국내 지질학계에서 자신들의 입장을 동조하는 연구자 네트워크를 구축하는 것보다는 외국의 연구자를 설득하여 과학적 신뢰성을 증가시키는 전략을 선택했다고 할 수 있다. 이미 2017년 12월에 있었던 미국 지구물리학회(American Geophysical Union, AGU)에서 포항지진의 사례를 설명하는데 많은 시간과 노력을 할애했다. 이 학회에서 포항지진 정부조사단의 해외조사위원회 일원으로 참가하게 되는 미국 스탠퍼드의 윌리엄 엘즈워스(William Ellsworth)와 같은 학자들에게 포항지진과 지열발전소 사이의 연관성이 일종의 "최악의 조합"이었음을 설득한다(김광희, 2019).

2018년 6월에 『사이언스』 편집위원회는 김광희와 이진한 연구팀이 제출한 논문을 빠르게 싣기로 한다. 편집위원회는 김광희-이진한 연구팀이 제출한 논문과 함께 스위스의 지질연구소(Swiss Seismological Service)의 프란체스코 그리골리(Francesco Grigoli)와 스테판 비머(Stefan Wiemer)가 제출한 또 다른 포항지진에 대한 논문을 함께 게재한다. 전자가 진앙지 근처의 지진계 데이터를 분석한 연구였다면, 후자는 원거리 지진학(teleseismetry) 연구로 포항지진과 관련된 데이터와 위성사진을 기반으로 포항지진의 원인이 근처에 건설된 지열발전소임을 주장한 연구였다(Grigoli et al., 2018). 그리골리와 비머는 2017년 4월 15일에 발생한 규모 3.1의 지진도 같은 진앙지에서 발생했다고 주장했다. 이들은 일관되게 지층에 액체를 주입하는 상업적 활동으로(예를 들어, 셰일가스 채취와 채굴,

지열발전 등) 인간이 만들어내는 인공적 유발지진(induced anthropogenic earthquakes)이 증가하는 경향에 대해 비판적인 입장의 과학자였다(Grigoli & Wiemer, 2015; Grigoli et al. 2017).『사이언스』지의 편집자들은 김광희-이진한 연구팀과 그리골리와 비머의 연구가 상호보완적이기 때문에 두 편을 동시에 게재하기로 결정했다(김광희, 2019; 홍태경, 2019).

『사이언스』지에 게재된 김광희와 이진한 연구팀의 논문은 포항지진을 유발지진으로 규정했다. 포항지열발전소가 허가를 받은 2012년 이후 시추작업을 시작했고 2016년 1월부터 2017년 9월까지 약 13,000㎥의 액체를 주입하고 그중 5,841㎥의 액체를 뽑아냈다. 이러한 시추와 액체주입과정에서 지반이 약화되는 문제가 발생했고 주입된 물이 단층에 스며들어 지진으로 이어졌다고 주장했다. 이 연구팀이 유발론을 강조하는 이유에는 몇 가지 근거가 존재한다. 우선, 지진이 발생한 흥해지역에서는 1979년 이후 단 한 번도 2.0 이상의 지진이 발생한 적이 없었다. 하지만 지열발전소가 액체를 주입하면서 미소지진이 기록되기 시작했다. 두 번째로 지열발전소에서 유체를 주입할 때마다 미소지진이 이어서 발생했으며 이를 통해서 유체주입과 지진 발생의 상관관계가 있음을 알 수 있다는 것이다. 세 번째 근거는 지진발생지점과 유체주입지역이 거의 일치한다는 점이다(Kim et al. 2018). 이러한 몇 가지 근거를 통해 이 연구팀은 지열발전을 위해 주입한 유체가 이미 상당한 에너지를 갖고 있던 단층대에 유입되었다고 보았다. 그리고 지진을 막고 있던 마찰력이 주입된 유체로 인해 마찰력이 줄어들고 언젠가 발생할지 모르던 지진의 시간대가 앞당겨졌다고 설명했다(김정현, 2018. 5. 6). 또한, 그리골리와 비머의 연구결과도

김광희-이진한 연구팀의 주장을 뒷받침한다고 평가했다. 정부의 조사위원회에 참가하고 있던 엘즈워스는 김광희-이진한의 논문이 유발지진론의 유력한 사례가 된다고 논평했다(Voosen, 2018. 4. 26). 유발지진에 관한 가설을 데이터를 통해 해외 학술지에 발표함으로써 지진의 원인에 대한 과학적 해명이 이루어진 것으로 많은 사람은 이해했으며 논란이 일단락되는 것처럼 보였다(이근영, 2018. 4. 27; 김민수, 2018. 4. 27).

하지만 논문에서 지진의 원인으로 지목된 지열발전소의 운영사인 넥스지오사는 『사이언스』지에 이 연구팀의 연구방식에 대한 문제를 제기하고 나섰다. 물론 포항에서 지진이 발생한 직후부터 넥스지오사의 대표인 윤운상은 언론을 통해 유발지진론을 지속해서 반박하면서 지진 원인이 지열발전소 시추와 액체주입이 아니라는 점을 강조해왔다. 그는 이진한 교수의 JTBC 뉴스룸에서의 주장을 정면으로 반박하는 보도 자료를 발표했다. 이 보도 자료에서 넥스지오사의 지열발전소는 이미 지진이 발생하기 2개월 전인 9월 18일에 액체 주입작업을 중지했으며, 지열수 순환설비 설치를 위해 지열정의 압력을 개방해놓은 상태였다고 주장하면서 2개월의 시간이 지난 후에 지진이 발생할 수 없다고 주장했다(이승륜, 2017. 11. 17). 그는 지진이 발생한 다음 날 JTBC 『뉴스룸』과의 인터뷰를 통해 EGS 방식은 유체를 주입하여 "수압파쇄 하는 방식이 아니라 수리 자극을 합니다. [...] 미국이나 이런 데 셰일가스 같은 경우는 몇백만 톤의 물을 집어넣는다고 하면, 저희는 그것과 비교하면 아주 약소한 수준의 수리 자극을 하고 있으므로" 지진을 일으킬 수 없다고 주장했다(JTBC뉴스, 2017. 11. 16; 김정혜, 2017. 11. 16; 임재현, 2018: 94). 윤운상의 주장은 단순히 물을 흘려

보내는 방식이지 높은 수압을 이용한 파쇄는 아니라는 점을 강조하면서 유발지진론에 반대했다. 또한, 넥스지오 컨소시엄은 『사이언스』지에 서한을 보내 이 논문의 저자인 김광희가 논문에 사용된 넥스지오사의 자료를 동의없이 사용했기 때문에 윤리적 문제가 있으며 논문은 철회되어야 한다고 주장했다(김광희, 2019). 넥스지오측은 전담기관인 에너지기술평가원과 지원기관인 산업부의 요청으로 연구 성과와 자료를 제출했지만, 김광희 연구팀이 이 자료를 국회의원실로부터 입수한 뒤에 사용 동의를 받지 않고 연구에 사용했다고 주장했다(매일경제, 2019. 4. 9). 즉, 연구팀이 전담기관인 산업부로부터 승인을 받고 데이터를 이용한 것이 아니라 국회의원실을 통해 받은 사실은 연구윤리 위반이라는 점이다. 이처럼 지진 원인을 둘러싼 논란은 『사이언스』지의 논문발표 이후 정리된 것이 아니라 오히려 더욱더 원인 자체에 대한 학술적이고 과학적 논의의 범위를 넘어 확산하는 상황이었다[19].

불과 6개월이 지난 후에 유발지진론을 적극적으로 반박해온 연세대의 홍태경와 경상대 지질학과의 김우한 연구팀은 『사이언스』지의 경쟁 학술지인 『네이처』지의 자매연구학술지인 『사이언티픽 리포트(Scientific Reports)』지에 동일본대지진-경주지진-포항지진으로 이어지는 연결고리를 분석하는 연구논문을 발표했다(Hong et al. 2018). 이미 홍태경은 경주지진이 발생한 후 개최된 지질학회 학술대회에서 경주지진은 동일본 대지진으로 인한 여파로

19) 김광희에 의하면 이미 논문을 『사이언스』지에 제출할 때 『사이언스』 편집진은 검토 초기 단계에 자료사용에서 일어날 수 있는 법률적 문제를 조사하고 문제가 될 수 있는 부분을 삭제하도록 했다. 이 검토 과정을 통해 『사이언스』지는 윤리적 문제가 없다고 판단했다. 그리고 부산대학교 연구진실성위원회는 거의 1년에 걸친 조사를 통해 넥스지오측의 자료를 획득한 과정에 심각한 문제가 없었다고 판단했다(김광희, 2019).

발생했다고 주장했다. 그리고 경주지진 이후 한반도 지각에 많은 힘이 누적되어 차례대로 배출되고 있거나, 또 다른 단층이 존재하고 있을 가능성이 있다고 주장하면서, 또 다른 지진의 가능성이 있다고 예측하는 논문을 발표하기도 했다(목정민, 2016. 12. 26). 홍태경 연구팀이 2018년 발표한 논문은 '자연지진론'의 입장을 공식화하고 있다. 이들은 동일본 대지진이 발생한 직후 한반도 지각의 매질(medium), 즉 지진파를 매개하는 물질로서의 땅이 약화하였다고 주장했다. 또한, 응력의 변동을 일으켜서 지진을 유발할 수 있는 수준인 임계응력보다 높은 수준(0.0001bar)이었다고 결론 내렸다. 이와 같은 주장은 결국 포항지진의 원인이 동일본 대지진으로 약화된 매질과 응력의 증가로 인해 발생한 일종의 연쇄 현상이었다(Hong et al., 2018). 이 연구결과는 당시 언론의 관심을 끌었으며 지진 발생 원인에 대한 논쟁을 다시 불러일으키기에 충분했다(KBS 뉴스, 2018. 9. 14; 원호섭, 2018. 9. 14; 사이언스 타임즈, 2018. 9. 14).

홍태경 연구팀의 자연지진론 또는 동일본 대지진 연관론은 유발지진론의 관점보다 상대적으로 그 관점의 폭과 사용한 변수가 포항 일대의 단층과 이를 둘러싼 변화보다는 좀 더 광범위하게 지진을 바라보고 있다. 실제로 김광희-이진한 연구팀이 『사이언스』지에 발표한 논문에서 사용한 대부분 변수는 포항지역의(알려지지 않은?) 단층과 축적된 응력 그리고 주입된 액체, 파쇄를 일으킬 정도의 수압, 액체의 양과 빈도 등의 매우 지역적인 자료들이었다. 반면에 홍태경 연구팀이 『사이언티픽 리포트(Scientific Reports)』지에 발표한 논문에 사용한 변수는 김광희-이진한 연구팀의 연구보다 좀 더 거시적이다. 지층의 움직임과 단층, 매질의 약화, 응력의 축적과 임계응력, 그리고 무엇보다도 2011년 이후 발생해온 연쇄

현상인 동일본 대지진과 경주지진의 맥락화를 시도한다는 측면에서 사용된 변수에 있어서 거시적인 특징을 보인다. 이처럼 2018년에 이르러 포항지진의 원인을 둘러싼 논쟁은 좀 더 체계적이고 학술적인 장(field)에서 팽팽한 줄다리기를 하는 것처럼 정식화되고 체계화되는 경향을 보이게 된다.

4.논쟁의 종식과 불확실성

1) 시민사회조직의 개입과 동맹자 구축

2018년을 거치면서 포항지진 원인을 둘러싼 논쟁은 단순히 가설 수준(긴급포럼의 제1단계)에서 구체적 데이터에 기반한 체계화된 증명과정(논문발표의 제2단계)을 통해서 더욱 강화되는 것처럼 보였다. 두 입장의 차이가 더욱 정식화되고 구체화되면서, 접근방식과 관점의 차이는 확연하게 드러나기 시작했다. 김광희-이진한으로 대표되는 '유발지진론'의 관점과 홍태경으로 대표되는 '자연지진론'의 두 가지 관점의 대립은 지질학계 내에서도 수용하는 분위기였다. 그러나 지질학계 내부의 다수 의견은 여전히 유발이론에 대해서 그렇게 호의적이지 않았던 것은 분명해 보인다(김광희, 2019; 홍태경, 2019). 포항지진의 원인을 놓고 두 가지 다른 입장이 공존하는 상황이 갖는 문제점은 2018년 3월에 출범한 포항지진 정부 조사연구단의 구성에서 확연하게 드러난다. 연구단이 조직되는 준비단계에서 두 진영의 전문가를 조사연구단에 참가시킬 것인가를

놓고 논란이 벌어졌다. 준비 초기 단계에서는 김광희-이진한과 홍태경이 모두 참여하는 쪽으로 결정되었지만, 김광희의 연구팀이 『사이언스』지에 논문을 먼저 발표하고 이어 홍태경 연구팀도 이에 대응하는 논문을 준비하면서 조사연구단 활동에 적합하지 않다는 의견이 제기되었다(김광희, 2019). 최종적으로 이진한과 홍태경은 상시 자문단으로 위촉되어 연구단의 활동에서 배제되었다. 즉, 연구단을 이끈 서울대의 교수이면서 지질학회장이었던 이강근 단장은 지진의 원인을 두고 팽팽하게 이견이 존재한다는 것을 인정한 것이며 편견으로 작용할 수 있는 요소를 제거하기 위해 양측의 대표연구자를 연구위원에서 배제하고 자문단으로 전환하는 결정을 내린다(임재현, 2018: 182-185).

학계의 이견과 대립, 그리고 논쟁은 당시 포항지진으로 인해 피해를 본 포항시민과 시민단체들이 개입하면서 다른 양상을 띠게 된다. 비록 포항지진이 발생한 후 포항시와 정부의 대처방식과 피해주민에 대한 보상 문제를 둘러싼 관심은 지진 발생 이후 시간이 지나면서 중앙언론이나 여론으로부터 자연스럽게 잊히기 시작했지만, 포항시민단체들이 지진과 관련된 문제에 대해서 적극적으로 개입하면서 자연스럽게 두 개의 다른 관점에 대해 이해관계에 근거하여 선택적으로 수용하거나 배제하게 된다. 지진 원인에 대한 학술적인 규명이 피해보상과 정책적 실패에 대한 책임소재를 조사하는 데 있어서 중요한 역할을 하게 되면서, 시민사회는 적극적으로 두 가지 입장 중에 한 입장을 선택해야 하는 상황이 된다. 즉, 지진 원인은 미셸 칼롱이 제시한 일종의 의무통과점(Obligatory Passage Point, OPP)이 되었으며 이를 거치면서 각각 행위자들의 이해관계를 실현하는 과정에서 필수적으로 선택해야 하는

문제가 된다(Callon, 1984). 시민단체들은 실제로 전문가들의 의견과 입장에 대해서 청취하고 인정하면서 그들이 생산하는 지식을 받아들이기는 하지만, 그것은 선택적인 동맹자 구축일 뿐, 완전히 전문가들의 의견을 맹목적으로 따르는 것은 아니었다. 예를 들어, 포항지진과 관련한 시민사회의 활동에 있어서 대표적 역할을 한 것으로 평가되는 포항지역사회 복지연구소장인 양만재 소장이 『한겨레신문』에 기고한 글에서 이러한 선택적 등록(enrollment) 행위가 잘 드러난다. 그는 이 기고문에서 포항지열발전소는 포항 시민에게는 일종의 트라우마가 되었으며, 지진 발생의 원인을 둘러싼 과학자들의 논의에 대해서 비판적이면서 선택적인 태도를 보인다. 그는 "학자들의 이론체계는 완벽하지 않다. 여러 경험을 귀납, 연역해서 쌓은 가설의 집합체일 뿐이다 [...] 우리는 이제껏 겪어보지 못했던 위협적인 자연재해를 경험하고 있다. 그래서 결론적으로는 지열발전소가 이번 지진에 영향을 주었을 가능성을 배제할 수 없다고 본다"라고 주장했다(양만재, 2017. 12. 11). 그의 관점에서 드러나는 것처럼, 시민들은 과학자들의 가설이나 주장에 담긴 불확실성과 제한성에 대해서 지적하면서 선택적으로 원인을 지적하고 있다. 지진이 발생한 직후 12월부터 일부 피해주민들과 시민단체들이 자발적으로 시민조직인 "포항지진 범시민 대책본부"를 조직한다. 이 조직은 가장 큰 피해를 입은 포항 북부와 흥해지역의 주민들을 주축으로 구성되었다. 이들의 입장은 초기부터 북구에 있었던 지열발전소의 물 주입을 지진 발생의 원인으로 보았다(김홍제, 2019; 모성은, 2019)[20]. 시민사회단체들은 자신의 이익을

20) 자발적 시민단체인 포항지진 범시민대책본부(범대본)이 유발지진론을 원인이라고 주장하기 시작하면서 2018년 3월 20일 조사위원회의 촉발지진론 결론이 발표되기 전까지 포항지역

충분히 대변할 수 있는 동맹자로 '유발지진론'을 선택했으며 강고한 동맹 네트워크를 형성하게 된다. 예를 들어, 2018년 11월 13일에 한동대에서 개최한 포항지진 관련 세미나에서 이진한 교수는 포항지진은 자연지진이 아니며, 지열발전은 사업의 맥락에서 보는 것보다는 일종의 '지진실험'을 한 것이라고 주장하면서 학술적인 논의보다는 시민사회와의 '동맹자' 구축에 성공하게 된다.

물론 모든 시민단체의 이해관계가 '유발지진론'과 결합하지는 않았다. 일부 시민단체의 경우 포항의 지열발전소가 사용한 수압파쇄방법과 물 주입량이 과연 규모 5 이상의 지진을 일으킬 수 있는지에 대해서 의문점을 주장하기도 했다. 예를 들어, 포항환경운동연합은 지진 발생 직후부터 지속해서 지열발전소의 물 주입을 원인으로 지목하는 것에 대해서 문제 제기를 해왔다. 환경운동연합은 2017년 11월 29일에 기자간담회를 통해 지진의 원인을 지열발전소에서 찾는 것이 오히려 상존하는 지진 발생 위험을 인간의 기술적 개입이라고 할 수 있는 지열발전소의 위험으로 덮어버리는 효과가 있을 수 있다고 경고했다. 이 기자간담회에서 지질재해분석 전문 사업체인 '지아이 지반정보연구소'의 대표인 김성욱을 초청하여 포항지진의 특성에 대해 논의했다. 이 발표에서 김성욱은 포항지진을 유발지진으로 볼 때 규모 5.4의 지진을 유발하기에는 지열발전소에 주입된 물의 양이 너무 적다고 주장했다. 김성욱은 홍태경이나 다른 유발지진론에 대해 유보적이거나 부정적인

에서는 비난의 대상이 되었다고 대책위원회를 이끌었던 피해자 대표였던 김홍제는 묘사한다(김홍제, 2019). 이 단체는 이듬해 있었던 6.13 지방선거와 국책사업이었던 포항지열발전소의 가처분신청에 대한 견해 차이로 인해 "포항시민 범시민대책위원회"와 "포항시민 범시민본부"로 분화하게 된다(모성은, 2019). 대책위원회는 피해자들의 조속한 복귀와 피해복구를 위한 법적 대응과 도시재건의 문제에 집중했다. 반면에 범대본의 경우는 포항지진을 정치 의제화를 시도했다.

견해의 과학자들이 제기하는 '지진유발과 주입된 물의 양 사이의 상관관계'의 문제를 제기하고 있다. 2011년 오클라호마 프라하 지역에서 발생했던 규모 5.7의 지진은 당시 이 지역에서 개발하고 있었던 4,500여 개 이상의 시추공을 통해 물을 주입하여 셰일가스를 채취하던 과정에서 일어난 대표적 사례이다(Holland, 2011; Keranen, et al. 2014; Llenos & Micahel, 2013). 환경운동연합의 초기 입장은 오클라호마 지진의 사례에서처럼 엄청난 양의 물을 주입해야만 규모 5 이상의 지진을 유도할 수 있다는 견해로, 유발지진에 대해서는 다소 유보적인 견해를 취한다. 이러한 입장이 2018년 2월 11일에 갑작스럽게 포항시 북구에서 일어난 4.6 규모의 지진에 대한 해석에서 명확하게 드러난다(환경운동연합, 2018). 환경운동연합은 한반도의 조건은 동일본 대지진 이후 근본적인 변화가 있었으며, 한반도 동남부 지역에 축적된 지진 스트레스(응력)가 경주지진으로 방출되었고 포항지진도 이러한 맥락에서 판단해야 한다고 주장했다. 즉, 환경운동연합의 입장은 실제로 지진과 같은 재해가 지열발전소와 같은 요소로 인해 발생한 일회적인 사건이 아니라 상존하는 위험이라는 점을 강조하고 있다.[21] 그럼에도 불구하고 시간이 지나면서 대부분 시민사회단체는 시민들의 피해보상문제와 직접적인 관련성을 갖는 '유발지진론'에 대한 지지를 선언한다.

21) 환경운동연합의 이러한 유보적 또는 자연발생론적 입장에 대해서 대부분 시민단체는 매우 비판적인 의견을 드러낸다. 예를 들어 포항지진 범시민대책본부는 2019년 5월에 『사이언스』지에 발표된 조사위원회의 조사위원들이 발표한 논문에 대한 논평에서 "경주·포항환경운동연합에서도 '유발지진 아니다'라고 주장합니다 [...] 얼마나 속상했는지, 마음속으로 형용할 수 없습니다. 하지만 오늘 세계지구물리학회에서 그 학술적 통설(논거)이 깨졌습니다. 오늘 2019.5.24.일자 '사이언스'지에는, 첫째, "물 주입에 의한 유발지진은 규모 5.0 이상도 발생한다". 둘째, "물주입이 종료되어도 유발지진 위험성이 존재한다."라는 내용이 실렸습니다. [...] 속이 다 후련합니다"(포항지진 범시민대책본부, 2019. 5. 24).

이처럼 논쟁의 격화와 시민단체의 선택적 동맹자 구축을 통해서 포항지역에서 구성되는 과학지식은 비대칭적으로 형성되고 있었다. 시민단체들이 구성하는 지식의 방식은 '선택적'이었고 자신의 이해관계에 적합한 지식에 대해 동맹자를 구축했다. 이러한 와중에 2019년 2월 10일에 포항 앞바다에서 50km 떨어진 해역에서 규모 4.1의 지진이 발생하면서 지진의 원인을 둘러싼 논쟁이 재점화된다. 위에서 논의한 것처럼 비록 학계에서는 '유발지진론'과 '자연지진론'이 팽팽하게 견해를 고수하고 있었던 상황에서 동해에서 발생한 일련의 지진은 문제를 더욱 혼란스럽게 만들었다. 이미 경상북도 영덕군 앞바다에서는 2018년 12월 5일에 규모 2.1과 2.5의 지진이 일어났으며 2019년 1월 1일에도 영덕군 앞바다에서 3.1 규모의 지진이 발생했다(김민수, 2019. 2. 10). 많은 학자는 경주와 포항에서 일어난 규모 5 정도의 지진으로 인해 단층에 존재했던 응력이 해소되고 감소하는 과정이라고 생각했지만, 남북으로 길게 이어진 울릉분지 일대의 단층에서 지진이 일어난 것은 예상외의 현상이었다(고재원, 2019. 4. 22). 동해에서 연속적으로 발생한 지진은 자연발생론을 고수해온 홍태경의 입장을 강화하는 듯 보였다. 지진 발생 직후에 홍태경은 자신이 주장해온 동일본 대지진으로 인한 한반도 지각변동과 이에 이어진 응력의 축적이라는 논리의 연장 선상에서 이 지진을 해석했다. 그는 이번 지진의 발생 지점은 경주와 포항지진으로 응력(스트레스)이 떨어진 지역인데, 국내 지진 가운데 4.1의 지진이 응력이 낮은 곳에서 일어난 것은 이례적이며 원래 쌓여있던 응력이 컸음을 방증하는 것이라고 주장했다. 그는 이어서 “이번 지진으로 쪼개진 단층이 생겨나고, 아직 쪼개지지 않은 단층 끝자락에 응력이 집중되면서 또

다른 지진이 발생할 가능성도 있다. 앞으로 여진이 발생할 가능성도 있다"라고 설명했다(천권필, 2019. 2. 11).

또한, 2019년 4월 19일 강원도 동해시에서 54km 떨어진 해역과 22일에 경상북도 울진군 38km 해역에서 연이어 4.3과 3.8 규모의 지진이 발생하면서 자연지진의 연쇄적 발생이라는 논의에 힘을 싣게 된다. 이에 대해서 홍태경은 계속 동해에서 발생하는 규모 3.0 이상의 지진증가는 동일본 대지진의 영향으로 이해해야 한다고 주장했다(고재원, 2019). 하지만 자연지진론의 입장에서 해석하려는 시도와는 다른 의견이 제시되기도 했다. 2월 10일 포항 앞바다에서 일어난 지진에 대해 포스텍의 지질학자인 이윤수는 포항지진이 양산단층에서 일어난 현상이라면 포항 앞바다에서 일어난 지진은 양산단층과 평행한 형태로 형성된 후포단층에서 발생한 현상이라고 주장했다. 그의 해석방식은 홍태경의 동일본대지진의 연장선에서 설명하려는 방식과는 분명한 차이를 보였다. 이윤수의 설명에 의하면 포항지진이 일어난 양산단층에서 일어난 에너지가 후포단층까지 영향을 미치기 위해서는 엄청난 에너지가 필요한데 동해안에서 일어난 후포단층 지진은 그 정도는 아니었다(천권필, 2019. 2. 11; 이윤수, 2019). 그는 지구자기장과 연관된 장기간에 걸친 지각의 변동과 연관된 맥락에서 장기적으로 포항지역은 지진 활동이 활발했던 지역으로 1,200만 년 전부터 일본 열도의 서남부 지역이 한반도 쪽으로 접근하고 동해안이 열리는 과정에서 포항과 울산지역에 습곡구조가 생겼고 이곳에 지층이 융기하는 현상이 발생했다고 설명했다. 이러한 과정에서 응력이 축적되고 해소되는 현상으로 동해안의 지진을 이해해야 한다고 주장했다(이윤수, 2019). 이러한 접근방식은 홍태경을 위시한 동일본

대지진(2011년)과 연관된 '자연지진론'의 논의보다 훨씬 장기적인 시공간적 관점에서 접근하고 있다. 그는 이미 2015년에 인류의 산업활동과 저수시설, 지하수의 과다이용으로 인해 지진이 발생한다는 인공적 개입에 의한 유발지진에 대해서 경고한 바 있다(강찬수, 2018. 6. 23). 그는 이러한 현상을 저류암 유발지진(Reservoir Induced Seismicity)이라고 규정하면서 "물이 주변 암석의 기공에 침투해 암석의 공극압을 낮춤으로써 암석의 파괴가 쉽게 일어나기 때문이다"라고 주장했다(임재현, 2018: 108-109)[22].

지속해서 증가하는 한반도 남동부지역에서의 지진과 이에 대한 다른 해석은 2019년 3월 20일에 예정되었던 정부 조사연구단의 최종연구결과 발표가 다가올수록 더욱 격화되었다. 포항지진과 이어서 발생한 동해에서의 지진에 대해서 자연지진론의 입장에서는 계속해서 동일본대지진-경주지진-포항지진의 연장선상에서의 해석을 강조했다. 하지만 유발지진론을 주장하는 학자들의 입

22) 2019년 9월 26일 포항지진이 발생한 근처에서 발생한 규모 2.3의 지진은 또다시 지진의 원인과 특성에 관한 논란을 재점화시키기에 충분했다. 2017년 발생한 포항지진의 여진은 2018년 3월 31일에 규모 2.0의 지진을 끝으로 발생하지 않았다(총 100회의 여진 발생). 하지만 1년이 지난 시점에 발생한 규모 2.3의 지진은 과학자들을 당혹스럽게 만들기에 충분했다. 9월 26일 포항지진 이외에 한반도 동남권에서 지진이 지속해서 발생하고 있다. 예를 들어, 10월 4일 밀양(규모 2.6), 10월 13일 경북 영덕(규모 2.0), 10월 27일 경남 창녕(규모 2.3), 10월 30일 경북 안동(규모 2.3)의 소규모 지진이 계속 발생하고 있다. 이러한 일련의 지진 발생빈도의 증가 현상에 대해서 자연지진론자인 홍태경은 경주, 포항지진 발생 이후 에너지가 주변에 축적되고 지진으로 이어지고 있다고 주장하면서 기존의 한반도 지층의 조건변화의 연장선상에서 해석하고 있다(YTN 라디오, 2019. 10. 27). 특히 포항지진은 2017년 지진 발생단층의 말단 부분에 응력이 모여서 발생한 것으로 해석하고 있다(홍태경, 2019). 반면에 2019년 8월 산업통상자원부가 포항지진 발생 이후 조직한 「포항 지열발전 부지 안전성 검토 TF」가 부산대와 부경대 그리고 서울대에 의뢰하여 설치한 총 35대의 임시지진관측소의 데이터를 검토하여 9월 26일 포항지진이 2017년 포항지진의 여진이라는 결론을 발표하기도 했다(연합뉴스, 2019. 10. 8). 또한, 유발지진론을 대표하는 김광희의 경우, 이렇게 증가하는 지진은 탐지기술의 발전과 경주, 포항지진 이후 지진을 경험한 사람들의 이른바 '지진 감수성'의 증가로 인해 더욱 지진에 민감해진 결과라고 주장하기도 했다(김광희, 2019).

장 또한 약화되지 않고 강화되고 있었다. 지열발전소의 액체주입과 미소지진의 발생 그리고 포항지진의 인과적 연결고리에 관한 주장이 포항을 중심으로 하는 시민단체와 SNS를 중심으로 조직된 자발적 시민모임을 통해서 더욱 힘을 얻으면서 두 가지 입장에 대한 논쟁이 지속하였다(백경서, 2019. 2. 11).

2) 논쟁의 종식? – 정부조사연구단의 최종 판단으로서 "촉발지진"

흥미롭게도 논쟁의 종식은 과학적 논쟁의 맥락에서 이루어지는 것이 아니었다. 이러한 현상은 이미 과학기술학과 과학사적 사례 연구에서도 쉽게 발견할 수 있다(Barnes, Bloor & Henry, 1996; Kim, 2005; 2007, 김기홍, 2018). 과학자들이 구성하는 지식은 논쟁이 일어난 정치, 사회, 문화적인 상황과 조건에 의해서 불완전하게 종결되기도 한다. 포항지진의 원인을 둘러싼 논쟁의 경우에도 전형적인 과학기술학적 또는 사회구성주의적 해석이 가능하다. 부분적으로 이 논쟁의(임시방편적) 종결은 분명 정부 조사연구단이라는 과학전문가와 정부 당국의 판단 때문에 이루어졌기 때문이다. 2019년 3월 20일에 발표된 최종 보고서는 포항지진을 “촉발지진(triggered earthquake)”으로 규정했다. 이 조사연구단은 서울대 지질학과의 이강근 교수를 단장으로 5명의 해외전문가와 9명의 국내 전문가로 이루어졌다. 이들은 포항지진원 단층과 지질구조, 지구물리적 탐사방법, 지진발생의 시간적 분포, 진원 위치와 분포, 단층면에 대한 관측, 수리 자극 과정의 물 주입과 공극압의 확산에 관한 조사, 이수누출(mud loss)로 인한 지진 발생 시간지연관측, 지중응력 상태 조사와 같은 연구를 통해서 포항지진의 원인과 지열발전소

와의 연관성에 대한 연구조사를 수행했다. 그 결과 지열발전 수행 중 지열정 굴착과 두 지열정(PX-1, PX-2)을 이용한 수리 자극이 시행되었고, 굴착 시 발생한 이수 누출과 PX-2를 통해 높은 압력으로 주입한 물에 의해 확산된 공극압이 포항지진 단층면 상에 남서 방향으로 깊어지는 심도의 미소 지진들을 순차적으로 유발했다고 보았다. 시간의 경과에 따라 그 영향이 본진의 진원 위치에 도달되고 누적되어 거의 임계응력 상태에 있었던 단층에서 포항지진이 촉발되었다고 결론 내렸다(포항지진 정부조사연구단, 2019: xi). 즉, 조사위원회의 결론은 포항지진에 그동안 축적되었던 응력(스트레스)이 존재하고 있었지만, 지진을 일으킨 방아쇠 역할을 포항의 지열발전소가 제공했다는 것을 의미한다.

포항은 제3기 퇴적암인 이암층(mudstone, 점토로 이루어진 세립질의 퇴적암)으로 이루어진 곳으로 그 지반이 화강암 암반으로 이루어진 경주에 비해 약하다. 포항은 과거 동해에서 점토가 퇴적되면서 만들어진 이암이 융기한 곳이어서 화강암보다 연약한 특징을 갖는다(강찬수, 2017. 11. 15; 이윤수, 2019). 이러한 조건에서 이미 응력이 충분히 축적된 상황에서 지열발전소에서 진행했던 고압의 수리 자극은 포항의 단층면에서 미소지진을 일으켰다. 또한, 이 과정에서 주입된 물이 진원의 지층에 도달하게 되었고 물은 단층이 버틸 수 있는 마찰력을 약화하는 일종의 "윤활유" 역할을 하면서 지진을 발생시켰다는 것이 조사단의 결론이었다. 하지만 조사단은 최종 보고서에서 유발지진론이 주장했던 "유발(induced)" 지진이라는 개념 대신에 "촉발(triggered)"이라는 상대적으로 새로운 개념을 제시하면서 포항지진을 정의했다. 촉발이라는 개념은 이미 충분히 축적되어 임계상태에 이른 응력에 일종의 방아쇠 역할을

하면서 지진을 일으켰다는 의미이기도 하다. 지열발전소의 액체주입이 지진의 인과론적인 직접 원인이라는 '유발지진론'자들의 주장보다는 일종의 절충적인 개념인 촉발을 사용하면서 '자연지진론'자들이 주장한 동일본대지진의 여파로 형성된 지각변동과 응력의 축적과정에 자극을 가해 지진이 발생했다는 논리를 포함할 수 있게 되었다. 특히 이러한 개념의 생소함과 혼란을 방지하기 위해 조사연구단은 보고서에서 촉발과 유발의 재정의를 통해 논의를 명확하게 하려고 시도했다. 국제적으로 지질학계에서는 유발과 촉발이라는 개념을 구분하여 사용하지 않기 때문에 혼란이 일어날 수 있다는 판단 때문이었다. 조사위원회에 의하면,

> “유발지진은 지구내부에서 유체 주입의 영향으로 공극압과 응력이 변화된 암석의 공간적 범위 내에서 일어날 수 있는 규모의 지진으로, 이때의 지진은 유체주입과 조구조운동으로 축적된 변형에너지를 방출한다. 촉발지진은 인위적인 영향이 최초의 원인이지만 그 영향으로 자극을 받은 공간적 범위를 크게 벗어나는 규모의 지진으로, 이때의 지진은 대부분 조구조운동으로 축적된 변형에너지를 방출한다.”(포항지진 정부조사연구단, 2019: xi, 0-10)

“촉발지진”이라는 개념을 새롭게 구성하는 것은 분명 두 가지 목적 때문이었을 것이다. 이미 조사단에 참가했던 부산대의 손문이 지적한 것처럼, 포항지진과 같은 사례는 전 세계적으로 찾아보기 힘들기 때문에 매우 이례적이다(윤지로, 2019. 3. 20). 이러한 특이성(uniqueness)으로 인해 일반적으로 지질학계에서 사용해온 “유발” 지진과는 구분해야 할 필요가 있었을 것이다. 두 번째로 더욱 중요한 목적은 위에서 간략하게 언급한 것처럼 유발지진과 자연

지진론이 대립하는 상황에서 완전히 유발지진론으로 결론을 내리기에는 약간의 불확실성이 존재했기 때문이다. 물론 조사단 내부에서는 이견이 거의 없었다고 주장했지만, 여전히 풀어야 할 문제가 남아있는 것은 사실이었다[23]. 자연지진론자인 홍태경의 경우 포항지진을 구분하여 볼 때 "지열발전소가 주된 원인 같지만, 경주지진 이후 상황을 종합적으로 보면 이를 반박할 근거가 많다"라고 주장했다(윤지로, 2019. 3. 20). 그는 조사단의 발표에 대해서 몇 가지 문제를 제기하면서 불확실한 측면을 강조했다. 예를 들어 촉발지진이라는 정의의 특이함은 이미 포항의 지하에는 임계응력에 도달한 상태의 단층이 존재하고 있었음을 의미한다. 액체주입이라는 행위는 결국 직접적인 촉발이 아닌 미소지진으로 유도된 응력에 의한 촉발이며 결국 이것은 2차 효과라고 볼 수 있다(홍태경, 2019. 4. 16). 그는 조사단이 규명해야 할 것은 포항지진이 발생한 단층의 응력 수준이 액체주입 이전에 이미 임계응력치에 도달했는가를 확인해야 한다고 주장했다. 또 한 가지 문제는 액체주입이 중단되고 지진이 발생한 2개월의 시점에 관한 연구가 이루어져야 한다고 주장했다(홍태경, 2019). 조사위원회는 진원의 깊이가 4km로 지열발전을 위해 주입한 깊이와 일치한다고 결론 내렸다. 문제는 연구단이 사용한 자료는 보통 지진측정에 사용하는 느린 S파보다 빠른 P파를 가지고 측정했다는 점이다. 홍태경은 포항에

23) 하지만 조사단 발표에서 조사단장이었던 이강근은 '촉발지진' 개념에 대해서 조사위원 전원의 만장일치로 결정되었다고 발표했다(김광희, 2019). 조사단이 마주한 불확실성의 영역과 고민은 이후 『사이언스』지에 발표한 보고논문에서 명확하게 드러난다. 이강근 단장을 위시한 조사위원들이 작성한 이 논문에서 포항지진은 기존의 물 주입과 발생 가능한 지진 규모 사이의 주요한 가설을 위반한 사례라고 인정한다. 특히 규모 5.4의 지진을 유도하기 위해서는 포항지열발전소에서 주입한 유체의 양보다 500배 정도 많은 양을 주입해야 함에도 불구하고 지진이 발생한 것에 대한 불확실성을 드러내고 있다(Lee et al., 2019).

서 일어난 지진의 강도가 너무 강하고 진앙의 깊이가 깊은 상태가 아니어서 빠르게 도달하는 P파로는 미세한 차이를 구분할 수 없다고 주장했다(홍태경, 2019). 홍태경 교수에 의하면 “지진이 너무 강했던 데다 지진계가 진앙 위치에서 가까워 지진계가 P파의 작은 진폭만으로도 측정한계에 도달해버려 S파를 측정하지 못했다”(조승한, 2019. 3. 20). 그가 제기한 반론은 측정에 대한 신뢰성을 어디에서 확보할 수 있는가에 관한 문제이다. 또 다른 쟁점은 유발지진에서 나타나는 미소지진의 패턴과 포항지진의 패턴은 전혀 다르다는 문제이다. 스위스 바젤의 사례에서 본진이 발생하기 전에 액체를 주입할 경우(바젤 경우에 포항과 같은 EGS 방식을 사용했다), 미소지진이 수천 건이 발생했다. 하지만 포항지진의 경우 액체주입으로 인해 발생한 미소지진의 횟수가 100여 건밖에 되지 않는다고 홍태경은 주장했다(조승한, 2019. 3. 20).

이러한 반론과 결론에서 나타나는 데이터에 대한 해석의 상이함은 논쟁이 완벽하게 종결되기 힘들다는 것을 의미하기도 한다. 특히 조사연구단이 유발이라는 지질학계에서 일반적으로 사용하는 용어를 사용하지 않고 대신에 “촉발”이라는 상대적으로 새로운 개념을 사용하면서까지 포항지진에 대해서 재개념화를 통한 설명을 시도했지만, 여전히 논쟁의 여지가 있는 불확실성을 완전히 제거할 수는 없었다. 홍태경은 동일한 데이터에 대한 재해석과 새로운 데이터를 분석하여 촉발지진론에 대한 반론을 담은 논문을 발표할 준비를 마쳤다고 말했다(홍태경, 2019). 이러한 상황은 정부조사단의 권위와 절충안의 제시에도 불구하고 논쟁의 불씨를 완전히 제거한 것은 아님을 의미한다. 하지만 일종의 사회적 합의(social consensus)는 유발지진론자들이 주장해온 지열발전소 원인론

이 전반적으로 수용될 수 있는 기반을 마련한 것은 틀림없는 사실이다. 대부분 학자와 시민사회에서도 조사위원회의 결론에 대해 의문을 제기하기보다는 수용하는 경향을 보인다. 이런 측면에서 본다면 포항지진은 매우 특이한 사건임이 틀림없다. 즉, 지구의 지층에 대한 인간의 직접적 개입 때문에 촉발된 지진이기 때문이다.

5.포항 인류세(Pohang Anthropocene)

포항지진은 일반적인 지질학적 관점에서 보더라도 매우 이례적인 사건이다. 자연재해로서의 일반적 지진 발생의 패턴과는 매우 다른 특이한 특성을 보여주고 있기 때문이다. 앞에서 논의한 것처럼 포항지진의 원인에는 분명 지열발전소라는 요소가 중요한 역할을 하는 것처럼 보인다. 지열발전소에 대해서 자연지진론자인 홍태경도 일종의 촉발자(trigger)의 역할을 했을 것이라고 인정하고 있다(홍태경, 2019). 자연지진론이 강조하는 지점은 어떻게 지진을 일으킬 수 있는 응력이 축적되었는가에 대한 관심이다. 이러한 학문적 관심과 배경에서 지진을 일으킨 중요한 요인은 '동일본 대지진'이라는 전 지구적 규모의 재난이 한반도 남동부 지역에서 일어난 일련의 지진의 원인으로 보는 것이다. 포항지진 조사위원회가 발표한 "촉발"이라는 개념에 대해서도 유발론자들과 자연론자들은 이 개념을 자신의 이론적 프레임워크 안에서 해석하려는 경향을 발견할 수 있다. 자연지진론을 주장하는 홍태경은 지질학계에서 유발지진(induced earthquake)과 촉발지진(triggered earthquake)의 개념적

차이가 거의 없다고 지적했다. 조사단이 “하필 이 두 가지 개념을 구분해서 사용했을까요? 아마도 책임소재를 따져야 하는 문제가 발생할 수 있어서 지진학에서 사용하지 않는 촉발이라는 개념을 사용하지 않았을까요?”(홍태경, 2019). 그는 촉발이라는 개념의 이면에는 포항지진의 불확실성과 지진이 발생할 수 있는 환경에 대한 문제가 있었을 것이라고 주장했다. 그는 물컵의 비유를 통해 이 개념을 자신의 언어로 설명한다. “물컵에 물이 가득 차 넘치기 직전이라고 합시다. 그런 상태에 물 한방을 떨어뜨리면 물이 넘칠 수도 있어요. 임계치에 도달한 응력이 이미 축적되어 있다는 겁니다. 촉발은 바로 그런 상태를 설명하는 겁니다”(홍태경, 2019). 자신의 이론틀 안에서 촉발지진을 해석하려는 일종의 해석적 유연성에 기반한 설명(Pinch and Bjiker, 1984; Bijker, Hughes and Pinch, 1987; Sismondo, 1993)은 유발지진론을 주장하는 학자들에게서도 동일하게 나타난다. 유발지진론을 대표적으로 주장하고 있는 부산대의 김광희는 조사위원회의 촉발개념을 일종의 “작업정의(working definition)”로 해석한다(김광희, 2019). 그에 의하면 조사위원회가 ‘촉발’이라는 정의를 선택한 것은 문제의 핵심인 “지열발전소에 물 주입이 없었다면 지진이 일어났을까?”에 대한 대답을 보여주는 것이라고 주장했다. 그의 관점에서 지열발전소의 물 주입이라는 인간의 활동과 행위가 지진을 일으킨 결정적인 열쇠이며 촉발인지 아니면 유발인지에 대한 구분을 둘러싼 논의는 논점을 흐리는 것이라고 주장했다(김광희, 2019).

전 지구적 규모(scale)의 거대담론으로 이해되는 인류세를 다양한 사건과 맥락 그리고 지역성(locality)의 수준에서 어떻게 이해할 수 있을까? 우리는 앞에서 스텡거스와 라투르가 제시하고 있는 '가이아' 이론의 거대담론적 성격을 지적했다. 거대담론은 반드시

그 규범적 판단의 편파성을 드러낼 수밖에 없다. 이러한 징후는 라투르가 제안한 "우려물"의 접근방식에서도 드러난다. 그가 의도했던 의도하지 않았던, 그가 제기한 완고한 실재론적 태도를 통한 우려물로서 대상을 구성하는 방식에는 일종의 흔들림을 포착할 수 있다. 이미 라투르는 지구적 규모에서 발생하고 있는 파국적 재난 상황에 관해 일부 구성주의적 접근방식에서 나타날 수 있는 상대주의적 태도의 부정적 함의에 대해 문제의식을 느끼고 있음이 확실하다(Latour, 2004b). 라투르나 스텡거스가 제시한 가이아의 의도와 요구는 불가피성의 영역일 수 있으며 인간의 능력을 넘어서는 규모의 사건처럼 보인다. 하지만 그 불가피성의 영역도 성찰적으로 고찰되어야 하고 대칭적인 판단이 이루어질 필요가 있다.

앞에서 설명했던 2017년 포항지진의 원인을 둘러싼 과학자들의 논쟁은 분석방식과 관련하여 전통적인 사회구성적 과학 지식논쟁처럼 보인다. 하지만 구성주의적 접근의 불가피성은 지구적 규모의 거대담론의 특성을 보여주는 인류세 논의를 맥락화하고 구체적 사건에 기반하여 실제 인류세적 사건이 어떻게 드러나는가를 보이기 위해 동원할 수 있는 방식이다. 포항지진을 둘러싼 과학자들의 논쟁은 현상으로서 지진의 불확실성을 명확하게 드러내고 있다. 과학자들은 지진의 속성과 원인을 설명하면서 동반될 수밖에 없는 불확실성을 인정한다. 포항지진의 원인에 대한 논쟁과 상관없이 과학자들은 끊임없이 수집한 데이터에 존재하는 불확실성을 제거하면서 어느 정도까지 인간의 활동이 직접 지진 발생에 영향을 주었는가에 대한 과학적 설명을 시도한다. 여기에서 주목해야 할 점은 지진에 대한 전통적인 개념, 즉 인간의 개입이나 조절통제의 영역을 넘어선 불가피한 자연재난의 개념을 재정

의해야 하는 문제에 직면했다. 이 지점은 마치 아프리카 대륙에서 벌어지고 있는 폭력과 차별 그리고 재난적 상황을 구체적으로 설명하고 있는 가브리엘 헥트의 '아프리카 인류세'의 개념 적용과 연결될 수 있다(Hecht, 2012; 2018a; 2018b)[24]. 흥미롭게도 포항지진 논쟁에 관련된 과학자들은 모두 지질학계의 구성원으로서, 인류세라는 개념과 포항지진의 문제를 자연스럽게 연결하고 있다. 물론 인류세에 관한 논의가 지구적 규모의 논의일 뿐 아니라 "철학적이고 추상적" 논의이기는 하지만(김광희, 2019), 과학자들에 대한 인터뷰에서 모든 과학자는 포항지진을 인류세 현상의 일부로서 파악하고 있다. 포항지진을 자연지진으로 해석하고 있는 홍태경조차 이 지진이 보여주는 특성 중의 하나는 분명히 인간의 활동이 어떤 방아쇠 역할을 했기 때문에 인류세적이라고 할 수 있다고 주장했다(홍태경, 2019). 즉, 하나의 행위자로서 과학자들은 "지층에 대한 인간의 개입"이라는 인류세적 논의를 자신의 맥락과 상황에서 끊임없이 재정의하고 재구성하기도 한다[25]. 또 한 가지 간과할

24) 헥트의 '아프리카 인류세'에 대한 분석과 '포항 인류세'에 대한 논의가 보여주는 공통점과 유사성에도 불구하고 분명 접근에 있어서 차이점이 존재하는 것은 부인할 수 없다. 포항지진 원인 논쟁의 과정에 참여한 지질학자들을 포함한 전문가들의 지식정치에 본 논문은 좀 더 집중하고 있다. 반면에 헥트의 분석은 아프리카의 맥락에서 일어나고 있는 제국주의적 자원착취와 수반되는 폭력 그리고 차별의 문제를 보여줌으로써 좀 더 사회행위자들의 관점에 집중하고 있다는 측면에서 상당한 차이점이 발견될 것이다. '전문가 지식정치'의 차원에서 본다면 지질학자로서 이들은 비록 단편적이라도 인류세적 문제와 고민을 포항지진 논쟁에 투영하고 있음은 분명하다. 이 차이점에 대한 문제를 지적해주신 논문심사위원에게 감사를 드린다.

25) 유발지진론자들과는 달리 거대한 규모의 지층 이동과 지각운동의 측면에서 지진을 바라보고 있는 홍태경의 경우, 인류세의 의미와 문제의식을 심각하게 인식하고 있음이 분명하다. 최근 그가 기고한 글에서 인간이 배출해낸 플라스틱과 같은 물질들이 지각판을 따라 이동하면서 지각판 충돌대를 거쳐 지구 내부로 이동할 수 있다는 문제점을 지적하고 있다(홍태경, 2019. 11. 11). 그에 의하면, 인간이 만들어낸 합성물질이 전 지구의 순환과정에 포함되는 것을 의미한다고 설명한다.

수 없는 지점은 지질학이라는 학문분과가 가진 역사성과 구성성의 문제이다. 영국의 과학사학자이며 과학지식사회학자인 마틴 러드윅(Martin J. S. Rudwick)이 데본기 지층을 둘러싼 19세기 빅토리아 시대 영국의 지질학자들 사이의 논쟁과 지구의 역사에 대한 논의에서 과학으로서 지질학은 내재적으로 복합적인 역사성을 다루는 학문이라는 사실을 보여주고 있다(Rudwick, 1985; 2007; 2014). 지질학은 단순히 순수한 자연과학이라고 할 수 없다. 내재적으로 지질학적 탐구는 이미 역사성을 체화한 일종의 역사지질학(Geohistory)의 성격을 갖고 있다. 러드윅의 문제의식은 이미 지식의 형성과정에서 사회적 요인의 역할에 대한 고전적인 과학지식사회학의 논의를 넘어서 지질학적 탐구라는 지식체계가 가진 역사성과 상대성을 보여주고 있다. 러드윅의 고전적 사례연구에서 헥트의 최근 연구까지 공통적인 문제의식은 지구적 규모의 변화를 보여주는 최선의 방식이 무엇인가에 대한 접근방식에 관한 고민이다. 즉, 인류세에 대한 사회과학적 분석은 어느 정도 맥락화와 상대화가 필요하다는 것을 의미한다.

여기에서 인류세적 현상에 대해 상대주의에 입각한 설명을 시도하고 있는 철학자인 바바라 헤른스타인 스미스(Barbara Herrnstein Smith)의 주장에 주목할 필요가 있다. 스미스는 인류세적 문제를 이해하는 방법으로서 루드비히 플렉(Ludwick Fleck)이 사용한 방법을 제안한다(Smith, 2018). 매독을 테스트하기 위해 고안된 바서만 반응(Wassermann Reaction)의 형성과정에 대한 플렉의 고전적인 분석은 과학기술학에서 널리 알려진 고전적 사례연구이다(Fleck, 1979 [1935]). 스미스가 플렉의 설명방식에 관심을 두게 된 것은 이른바 사고 스타일(thought style)의 지속적 변화과정 때문이다. 스미스는

다른 사고 스타일을 통해 사고 공동체(thought collective)가 형성된다는 플렉의 논의에 집중한다. 여기에 참여하고 있는 인식적 공동체의 행위자들 사이에서 공유되는 믿음과 인식 그리고 물질적 실천은 지속해서 끊임없이 상호조율(mutual attunement)하게 된다고 묘사했다(Smith, 2018: 115). 스미스에 의하면 플렉은 과학을 이상화하려고 하지도 비판하지도 않은 채 특정 시공간에서 발생하고 역사적으로 전환되는 과정을 추적했다고 주장했다(Smith, 2018: 69). 하나의 현상에 대해서 각기 다른 사고 집단들은 믿음-인식-물질적 실천의 견고한 상호결합을 통해 전혀 다른 방식으로 세상을 인식할 수 있다. 이러한 스미스는 상대주의적이고 구성주의적 사고에 입각한 플렉에 대한 재해석을 통해서 인류세의 문제를 이해한다.[26]

스미스의 제안은 구성주의적 관점을 유지하고 있다. 특히 스미스는 인류세적 현상에 대해 “이해 불가능성 또는 당혹감(perplexities)”과 불확실성의 문제를 제기한다.[27] 스텡거스에게 인류

26) 예센은 스텡거스와 스미스 모두 쿤의 패러다임이론에서 보여주고 있는 의미와 이해에 있어서 나타나는 근본적 단절에 반대하는 태도(즉, 상대주의에 대한 반대)로서 플렉의 “사고 스타일”에 관심을 기울이고 있다고 주장한다. 이것은 부분적으로 옳은 지적이면서도 쉽게 동의할 수 없는 부분이기도 하다. 1980년대 과학기술학 분야에서 루드비히 플렉에 대한 관심이 증가하고 있을 때 과학사학자인 조나단 하우드(Jonathan Harwood)는 플렉의 기본개념인 “사고 스타일”과 “사고 공동체(Thought Collective)”의 개념과 토마스 쿤의 정상과학 그리고 더 나아가 비트겐스타인의 후기철학에서 보여주는 의미변화과정에 대한 논의 사이의 유사성에 대해서 지적한 바 있다(Harwood, 1986).

27) 물론 스미스의 이해 불가능성 또는 당혹감(perflexities)에 관한 논의는 라투르가 주장하는 코스모폴리틱스의 생태적 정치에서 새로운 인간과 비인간 사이의 결합방식에서 나타날 수 있는 반응을 지칭하기도 한다. 스미스도 최근 발표한 인류세에 관한 책(2018)에서도 라투르의 주장을 부분적으로 수용하고 있다. 여기에서 ‘당혹감’은 다양하고 새로운 인간과 비인간 사이의 결합방식에 대한 당혹감에 대해서 열린 자세를 취하는 것이 새로운 생태정치의 시작이라고 주장한다(Latour, 2004a; 김환석, 2011). 하지만 스미스의 전체적인 주장의 맥락에서 본다면 인류세적 현상이 가져온 충격과 당혹감 그리고 각기 다른 맥락과 시공간에서 다르게 나타나는 영향과 반응방식의 이면에 존재하는 불확실성의 문제와 연결된다(Smith, 2018: 123).

세적 문제와 파국적 현상은 불가피한 문제이다. 가이아의 침범은 인간이 근본적으로 개입할 수 없는 일이기 때문이다. 이처럼 불가피하고 명확하게 발생하고 있는 문제에 대한 대처방식에 대한 근본적 변화를 촉구하는 것이 스텡거스가 제기하는 주장의 핵심이기도 하다. 하지만 스미스의 입장은 사뭇 차이를 보인다. 그녀에게 인류세적 문제와 파국적 현상은 물론 불가피하고 명확하게 발생하는 사건이기는 하지만, 그 안에는 불확실성이 존재한다. 특히 플렉의 사고스타일의 개념을 이용하여 지구온난화의 문제에 대해 각기 다른 입장의 행위자들은 다양하게 작동하는 다양한 실재들을 구성한다는 점을 보여준다. 이러한 다중적 실재에 대한 논의의 출발점은 과학적 논의를 포함한 인류세적 문제에 내재해 있는 불확실성의 문제에서 기인한다(Smith, 2018). 스텡거스의 입장에서 인류세의 문제는 세계의 모든 것을 바꿀 만큼 중요한 사건이지만, 스미스의 관점에서 모든 측면을 고려했을 때 “지구온난화의 문제는 모든 것을 바꾸는 것은 아니다”라고 주장한다(Smith, 2018: 109). 플렉의 사고 스타일의 개념을 적용한다면 가이아 이론도 분명 그 자체로 근본적이지도 영구적이지도 않다. 분명 우리가 인류세적 현상에 대한 '가이아'적 해석을 시도했을 때 염두에 두어야 하는 것은 그 논의가 성찰적으로 다시 '가이아'론 자체에 적용할 수 있어야 한다.

스미스가 제안한 것처럼 인류세적 현상은 그 자체로 이해 불가능한 또는 당혹스러운 측면이 존재한다. 그 당혹감의 배경에 존재하는 불확실성을 지적한 것처럼 포항지진은 지진학자들을 포함한 지질학자들과 시민사회에 당혹감을 일으키는 사건이었다. 그 자체로 원인을 설명할 수 없고 통제할 수 없는 지진 현상이 인간이 만들어낸 이른바 친환경 기술인 지열발전소의 물 주입 활동으

로 발생할 수 있다는 예측하지 못한 당혹스러운 사건이었다. 이 불확실성과 당혹감의 문제를 해소하기 위해 유사한 사고 스타일을 공유하고 있는 과학자들과 시민사회는 사고 공동체(thought collective)를 형성하게 되었다. 위에서 상술한 것처럼 규모 5.4의 포항지진이 지질학계와 시민사회에 던진 파문은 간단한 일이 아니다. 『사이언스』지는 촉발 지진으로서 포항지진이 가져올 파장에 대해서 이렇게 논의하고 있다: "만일 이번 결정이 확인된다면 화석연료를 줄이기 위해 지열발전소를 건설할 계획을 하고 있던 스위스와 같은 국가에는 문제가 될 수 있다. 이번 결과는 이전에 발생해온 미소지진의 공포에서 벗어나려고 애쓰던 지열 개발자들에게 큰 타격이 될 것이다"(Voosen, 2018. 4. 26). 비록 소규모의 지엽적 조건에서 발생한 사건이지만 포항지진은 한국 사회에 그리고 전 세계 지질학계에 충격을 줄 수 있는 인류세적 사건임이 분명하다. 그런 의미에서 헥트가 아프리카의 상황과 조건에서 이해할 수 있다고 주장한 인류세적 사건인 것처럼 포항지진은 그 자체로 포항 인류세적 사건이 될 수 있다.

6. 결론을 대신하여: 맥락화된 인류세적 현상으로서 포항지진

지금까지 포항지진의 원인을 둘러싼 과학자 공동체에서의 논쟁과 그 임시방편적 종결과정에 대해서 자세히 논의하면서 어떻게 포항지진의 원인이 포항과 주변 지역에 축적된 응력과 지열발전소

에서 높은 압력의 액체를 주입하는 과정에서 촉발된 “촉발지진”이라는 결론에 이르게 되었는가를 살펴보았다. 2017년 11월 15일 규모 5.4의 지진이 발생한 직후부터 일부 과학자들은 강력하게 북부 포항지역에서 진행 중이었던 지열발전소 시추 과정과 지진의 연관성을 제기해왔다. 그리고 이와 함께 포항지진이 2011년 동일본 대지진 이후 변화한 동아시아지역의 지각구조 변동으로 인해 축적된 에너지(응력)가 2016년 경주지진과 2017년 포항지진으로 이어졌다는 자연지진론의 해석이 제시되면서 논쟁이 본격적으로 이루어졌다. 지질학계 논쟁은 같은 사건을 둘러싼 각기 다른 추론방식과 접근방식에 의해 완전히 상반된 형태의 사고 스타일로 정형화되었으며 초기 가설 수준의 논쟁이 다양한 측정방식을 통해 얻은 데이터를 기반으로 정식화된다. 이러한 논쟁 당사자들의 움직임과 논쟁의 진행 과정은 인류세적 현상으로서 직접 해석될 수 없었다. 당시 지질학계에서 확산되고 있었던 구체적인 인류세적 문제 인식을 공유하는 것처럼 보인다. 지질학계에서 지진과 관련하여 지층에 대한 인간의 인공적인 개입방식에 대해서 문제를 제기하는 움직임이 확산하고 있었다. 2018년 이진한-김광희 연구팀의 연구결과를 『사이언스』지에 발표할 당시에 포항지진에 대해서 “유발지진”이라는 결론을 내린 또 다른 논문을 발표한 스위스 지진연구소의 그리골리와 비머는 지층에 액체를 주입하는 다양한 개입방식에 대해서 문제를 제기해왔다. 특히 북미지역에서 광범위하게 시도되고 있었던 셰일가스 채취를 위해 사용된 액체주입방식과 지열발전소 건설에 사용되는 고압 액체주입이 새로운 형태의 인공적으로 유도된 지진 발생의 빈도를 증가시키고 있으며 그 위험을 강조해왔다(Grigoli & Wiemer, 2015; Grigoli et al. 2015). 인공지

진 발생의 증가는 지질학자들에게는 새로운 연구영역일 뿐 아니라 새로운 위험으로 부상하고 있었다. 이렇게 증가하는 위험에 대한 인식과 대응을 촉구하는 움직임을 자연스럽게 인류세적인 문제와 결합할 수 있었다.

특히 포항지진을 인류세적 현상으로 볼 수 있는가라는 질문과 관련하여 당시 "유발지진론"을 제기한 학자들의 논의과정에 주목할 필요가 있다. 고려대의 이진한과 부산대의 김광희로 대표되는 유발지진론자들의 입장은 2018년『사이언스』지에 이 가설을 정식화함으로써 완전한 입장으로 전환되었으며 포항의 시민단체들의 이해관계와 결합하면서 일종의 과학-정치적인 연결망을 구성했다. 지진의 발생 원인은 비단 과학자들 사이의 논쟁으로 머물지 않았으며 과학자들의 이견과 논쟁 과정에 시민사회가 개입하게 되면서 논쟁은 더욱더 사회적 논쟁으로 확장된다. 특히 전통적으로 시민사회의 형성이 활성화되지 않았던 포항이라는 공간에서 지진 발생 원인논쟁은 시민사회조직의 형성을 가속화시켰으며 매우 동적인 모습을 보였다. 지진 이후 피해에 대한 국가의 책임과 보상이라는 경제적 이익에 근거한 입장이 첨예하게 대두되면서 지질 발생 원인에 대한 시민사회의 개입과 특정 이론과의 결합 현상이 가속화되었다. 물론 이 과학논쟁과 시민사회의 개입과정은 과학기술학이 관심을 가져온 고전적인 형태의 지식 구성 및 확산 과정을 설명하는 사례라고 할 수 있다[28].

28) 시민사회의 형성과 개입과정은 매우 흥미로운 또 다른 분석의 대상이 될 수 있을 것이다. 특히, 미국의 과학기술학자인 쉴라 자사노프(Sheila Jasanoff)가 제안한 시민인식론(civic epistemologies)의 이론적 틀에 기반하여 분석하면 더욱 흥미로운 결과가 나올 수 있을 것이다. 즉, "특정 사회의 구성원들이 집단적으로 지식 주장을 선택하고, 시험하고 사용하는 제도적인 실천과정"을 의미한다(Jasanoff, 2005: 255). 포항의 사례가 자사노프가 파악하려고 했던 한 국가 공동체가 공유하고 있는 특이한 문화와 상호작용에 대한 의미부여방식의 전형적인 특징을 보이는가에

포항지진이 인류세적 현상으로 이해될 수 있는 주요한 근거는 논쟁의 종결에서 보이는 흥미로운 결론이다. 위에서 논의한 것처럼, 포항지진의 원인을 둘러싼 다른 입장은 명확하게 두 가지 입장으로 분화하게 된다. 이렇게 분화된 과학자들의 입장은 다양한 형태의 동맹자들과의 연결망을 구축함으로써 더욱 강화된다. 하지만 2019년에 들어서 동해에서 일어난 일련의 지진의 발생은 안정화된 논쟁의 연결망을 다시 불안정하게 만들기에 충분했다. 이미 "유발지진론"의 입장에 있었던 과학자들은 포항지역의 시민사회와 결합하게 되면서 점차 강화된 입장을 형성할 수 있었다. 하지만 동해에서 발생한 지진은 "자연발생론"의 입장을 강화하는 자연적 현상으로 해석되기에 충분했다. 이렇게 논쟁이 다시 한번 재편되는 과정에서 포항지진 조사연구단의 조사결과발표는 논쟁을 잠정적으로 종식시키는 역할을 했다. 2019년 3월 20일에 발표된 조사결과는 "유발지진론"도 "자연발생론"의 입장을 명시적으로 지지하지 않았다. 그러나 조사연구단은 포항지진을 "촉발지진"으로 규정함으로써 인간의 행위와 의도성이 직접 지층에 개입한 결과로서 지진이 발생했다는 결론을 내리게 된다. 물론 이 조사위원회의 결론이 완전히 논쟁을 종식시킨 것은 아니지만, 지층에 대한 인간의 개입을 인정함으로써 포항지진을 인류세 사건의 한 사례로 포함하기에 충분했다. 만일 단일사건으로 피할 수 없는 전 지구적 현상으로서 인류세를 이해한다면(Stengers, 2018), 포항지진은 매우 국지적이고 단일사건으로 해석할 수도 있을 것이다. 하지만

대해서는 세부적 검토가 필요하다. 하지만 특정 맥락에서 형성되는 시민인식론과 공적 지식생산 스타일을 추적하는 것도 큰 의미가 있을 것이다. 이 문제를 제안해준 익명의 논문심사위원에게 감사드린다.

포항지진이 가져온 재난적 상황과 포항 인근 지역에 미친 엄청난 영향을 고려한다면, 촉발지진으로 해석되는 이 포항지진은 분명 인류세 현상의 징후적 사건으로 보기에 충분할 것이다. 이러한 측면에서 인류세 사건으로서 포항지진이라는 접근을 위해서는 바바라 헤른스타인 스미스가 제기한 구체적인 이론적인 맥락화와 가브리엘 헥트가 아프리카에서의 우라늄 채굴과 국제적인 수출과정에서 나타나는 제국주의적 착취와 폭력의 문제를 통해 보여준 '아프리카 인류세'의 사례연구를 통한 인류세 연구와 같은 접근이 필요하다.

인류세는 단순히 지질학적 연대 구분을 위한 구분방식의 의미를 넘어서는 다양한 함의를 갖는다. 인간이 만들어낸 전 지구적 규모의 개입으로 인해 발생한 파국적 형태의 현상들에 대해서 인류세 개념은 그 위험을 경고하고 인간성에 대한 근본적 성찰을 촉구하고 있다. 포항지진은 단순히 약 5초간 포항 인근 지역의 지층에서 일어난 극히 국지적인 사건에 불과할 수 있다. 하지만 인간이 직접 지층에 기술적 개입으로 인해 발생한 지진이라는 측면에서 그리고 지진이 가져온 장기간의 충격과 사회·경제·정치적 파급효과를 고려해본다면 분명 포항지진은 사회-정치적 재난이며 인류세 현상이라고 할 수 있을 것이다. 즉, 사실의 구성은 다양한 행위자들이 다양한 형태로 상호작용을 통해 형성되는 국지적인 형태의 사건이다. 인류세와 관련하여 그 문제의 급박성과 파국적 규모의 문제가 존재할지라도 그것이 다시 우리의 사고 밖에 존재하는 초월적이고 독립적인 실제에 대한 규명이라는 과학주의적 편향에 빠져서는 안 된다. 포항지진의 원인을 둘러싼 과학자들의 논쟁 과정에서 나타나는 상호조율적 성격, 즉 믿음체계-인식체계-

물질적 실천체계가 얽혀 결합한(entangled interlocking) 특성은 포항지진의 성격을 인류세의 문제로 전환하여 이해하려 할 때 '영구성이나 불가피성'의 측면을 떼어내고 이해할 수밖에 없다.

참고문헌

- 11.15 지진 지열발전 공동연구단 (2018) 『포항지진과 지열발전과의 연관성 보고회 자료집』 (포항, 2018년 12월 19일).
- 강찬수 (2018. 6. 23), 「지진화산 빈발 '불의 고리' 50년 주기설을 사실일까」, 『중앙일보』.
- 강찬수 (2017. 11. 15), 「경북 포항서 규모 5.4 지진. 서울 광화문까지 흔들렸다」, 『중앙일보』.
- 강태섭·이준기 (2016) 「경주 주변 지역의 역사 지진활동고찰」, 『대한지질학회 학술대회 발표자료(2016.09.12)』, 6쪽, 대한지질학회.
- 고재원 (2019. 4. 22), 「잇따라 발생한 동해지진, 동해 대지진의 전조인가?」, 『동아사이언스』.
- 기상청 (2018), 『포항지진 분석보고서』, 기상청.
- 김기흥 (2018), 「사회구성주의를 변호하며: 사회와 자연의 사회적 구성과 자기 준거성에 대하여」, 『사회와 이론』, 제32권 2호, 101-143쪽.
- 김다혜 (2017. 11. 24), 「포항지진, 지열발전소 연관성 놓고 전문가 의견 엇갈려」, 『머니투데이』.
- 김민수 (2018. 4. 27), 「포항지진 원인 지열발전 논란 가중-사이언스지에 논문 2편 발표」, 『조선비즈』.
- 김민수 (2019. 2. 10), 「포항 앞바다 이례적 규모 4.1 지진, '예상 못한 지역서 발생'」, 『동아사이언스』.
- 김서연 (2017. 11. 16), 「포항지진, '지열발전소'가 원인일 가능성 크다」, 『서울신문』.

- 김성균·이정모 (2019), 「2016년 규모 5.8 경주지진과 2017년 규모 5.4 포항지진의 여진활동규모」, 『지질학회지』, 제 55권 2호, 207-218쪽.
- 김정현 (2018. 5. 6), 「'포항지진 방아쇠는 지열발전소' 어떻게 연구했나?」, 『한국대학신문』.
- 김정혜 (2017. 11. 16), 「포항지열발전소, "지진이 우리 때문? 절대아냐"」, 『한국일보』.
- 김준홍·김원규 (2018),「포항 지진 1년, 치유되지 않은 상흔 – 끝나지 않은 싸움의 기록」, 포스텍 융합문명연구소 엮음, 『포항지진 1년, 지금도 계속되는 삶의 여진』, 19-28쪽, 포스텍 융합문명연구소.
- 김환석 (2011), 「행위자-연결망 이론에서 보는 과학기술과 민주주의」, 『동향과 전망』, 10월호, 11-46쪽.
- 김환석 (2017), 「코스모폴리틱스 (Cosmopolitics)와 기술사회의 민주주의」, 『사회과학연구』, 제30권 1호, 1-18쪽.
- 김홍제 (2019), 「포항지진 재난 거버넌스와 재난 시티즌십 라운드테이블」, 『포항지진, 그후: 재난 거버넌스와 재난 시티즌십』 (포스텍평화연구소 심포지엄, 2019년 11월 8일).
- 김희영 (2019. 3. 23), 「오경두 육군사관학교 교수 – 지열발전소에 의한 촉발지진 확신 과학적 논리 앞세워 주장」, 『경북제일신보』.
- 대한지질학회 (2017), 『포항지진 긴급포럼 프로그램』 (한국프레스센터, 2017년 11월 24일)
- 매일경제 (2019. 4. 19), 「포항지열발전 주관사 "사이언스 논문발표저자 연구윤리 위반"」, 『매일경제』.
- 모성은 (2019), 「포항지진 재난 거버넌스와 재난 시티즌십 라운드테이

블」, 『포항지진, 그후: 재난 거버넌스와 재난 시티즌십』(포스텍평화연구소 심포지엄, 2019년 11월 8일).

- 목정민 (2016. 12. 26), 「학계 '경주지진 영향으로 또 다른 지진 발생 가능해' 주장 나와」, 『경향신문』.
- 박효민 (2018), 「사회조사로 살펴본 포항지진의 트라우마」, 포스텍 융합문명연구소 엮음, 『포항지진 1년, 지금도 계속되는 삶의 여진』, 1-18쪽, 포스텍 융합문명연구소.
- 백경서 (2019. 2. 11), 「자연지진 vs 유발지진지진 이어지는 포항, 원인은?」, 『중앙일보』.
- 사이언스 타임즈 (2018. 9. 14), 「경주지진이 포항지진 방아쇠 중 하나, 위험상존」, 『The Science Times』.
- 양만재 (2017. 12. 11), 「포항지열발전소가 심각한 트라우마다」, 『한겨레신문』.
- 연합뉴스 (2019. 5. 13), 「아픔 기억해야죠...포항지진 난 11월 15일을 '안전의 날'로」, 『연합뉴스』.
- 연합뉴스 (2019. 10. 8), 「9월 포항서 발생한 규모 2.3 지진은 포항지진의 여진」, 『연합뉴스』.
- 원태준 (2018), 「수능 응시생과 포항지진」, 포스텍 융합문명연구소 엮음, 『포항지진 1년, 지금도 계속되는 삶의 여진』, 37-47쪽, 포스텍 융합문명연구소.
- 원호섭 (2018. 9. 14), 「경주지진이 포항지진 방아쇠 중 하나 - 홍태경 연세대 교수팀 논문발표, '동일본 대지진 후 방출에너지 10배'」, 『MK뉴스』.
- 유용하 (2017. 11. 24), 「포항지진 원인 지열발전으로 보기 어렵다」, 『서울신문』.
- 윤지로 (2019. 3. 20), 「포항지진은 촉발지진 '극적인 반전'남은 쟁점

은?」, 『세계일보』.

- 이광석 (2019), 「'인류세' 논의를 둘러싼 쟁점과 테크노-생태학적 전망」, 『문화/과학』, 97호, 22-54쪽.
- 이근영 (2017. 12. 4), 「지열발전소 포항지진 진범인가, 누명 쓴 마녀인가」, 『한겨레신문』.
- 이근영 (2018. 4. 27), 「포항지진은 지열발전 시추 물주입에 의한 유발지진」, 『한겨레신문』.
- 이승륜 (2017. 11. 17), 「지열발전이 뭐길래 – 이진한 교수 vs 윤운상 단장, 지진영향 논란확산」, 『국제신문』.
- 임재현 (2018), 『포항지진과 지열발전』, 여우와 두루미.
- 임태훈 (2019), 「난지도가 인류세에 묻는 것들」, 『문화/과학』, 97호, 119-142쪽.
- 정재훈 (2017. 11. 25) 「포항지진, "액상화는 일반적 현상...유발지진 추가조사 필요」, 『영남일보』.
- 조승한 (2019. 3. 20), 「포항지진은 촉발지진. 진앙지 깊이 등 남은 쟁점들」, 『동아사이언스』.
- 천권필 (2019. 2. 11), 「포항 앞바다 규모 4.1 지진, '2년 전과 달리 후포단층서 발생'」, 『중앙일보』.
- 포항지역사회연구소 (2019), 「포항지진은 인재요 관재다」, 강호진, 권영락, 김광일, 도형기, 박성진, 이대환, 이동철, 이재섭, 임재현, 임해도, 장태원 엮음, 『포항의 눈』, 76-130쪽, 여우와 두루미.
- 포항지진 범시민대책본부 (2019. 5. 24), 『포항지진 범시민대책본부 카페 밴드』, (https://band.us/band/68626866).
- 포항지진 정부조사연구단 (2019), 『포항지진과 지열발전의 연관성에 관한 정부조사연구단 요약보고서』, 포항지진 정부조사연구단.

- 행정안전부 (2018), 『2017 포항지진 백서』, 행정안전부.
- 홍태경 (2016), 「거칠고 신선한 단층 잠복, 중대형 지진 위험 상존」, 『신동아』, 686호(2016년 11월 14일호), 162-170쪽.
- _____ (2017), 「포항지진 이후: 무엇을 해야하나-깊은 땅속 활성단층 찾아내야」, 『신동아』, 700호(2017년 12월 24일호), 238-247쪽.
- _____ (2017. 12. 26), 「홍태경의 지구이야기-지열발전소로 인한 유발지진 논란」, 『서울신문』.
- _____ (2019. 4. 16), 「홍태경의 지구이야기-유발지진과 촉발지진, 뭐가 다를까」, 『서울신문』.
- _____ (2019. 11. 11), 「홍태경의 지구이야기-인류세가 남긴 흔적」, 『서울신문』.
- 환경운동연합 (2018), 「지열발전소 탓하다 지진대책 놓쳐버린 당국」, 『환경운동연합 보도자료』(2018년 2월 11일).
- JTBC뉴스 (2017. 11. 15), 「인터뷰: “포항지진, 지열 발전소 건설이 영향 준 것이라 생각”」.
- _____ (2017. 11. 16), 「인터뷰: 지열발전측 “두 달간 운영중단 중...포항지진과 무관”」.
- KBS뉴스 (2018. 9. 14), 「홍태경 연세대 교수 '포항지진은 동일본 대지진으로 지각 약해져 발생'」.
- YTN 라디오 (2019. 10. 27), 「인터뷰: 창녕지진, 경주 포항지진 후 에너지 전달된 것」, 『YTN 라디오 노영희의 출발새아침』.
- Barnes, B., Bloor, D. & Henry, J. (1996), *Scientific Knowledge: A Sociological Analysis*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Barnes, B. & MacKenzie, D. (1979), “On the Role of Interests in Scientific Change”, *The Sociological Review*, Vol. 27, No. 1 (Suppl), pp.

49-66.

- Bijker, W.E., Hughes, T.P. & Pinch, T. J. (1987), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, Mass: MIT Press.
- Blok, A. & Jensen, T. E. (2011), *Bruno Latour: Hybrid Thoughts in a Hybrid World*, London: Routledge.
- Blok, A. & Jensen, C. B. (2019), "The Anthropocene Event in Social Theory: On Ways of Problematizing Nonhuman Materiality Differently", *The Sociological Review*, Vol. 67, No. 4, pp. 1-17.
- Bloor, D. (1999a), "Anti-Latour", *Studies in the History and Philosophy of Science*, Vol. 30, No. 1, pp. 81-112.
- Bloor, D. (1999b), "Reply to Bruno Latour", *Studies in the History and Philosophy of Science*, Vol. 30, No. 1, pp. 131-136.
- Bonneuil, C. & Fressoz, J-B. (2017), *The Shock of the Anthropocene*, London: Verso.
- Bruhn, D., Huenges, E., Agustsson, K., Zang, A., Kwiatek, G. Rachez, X., Wiemer, S. ... & Oye, V. (2011), "Geothermal Engineering Integrating Mitigation of Induced Seismicity in Reservoirs – The European GEISER Project", *GRC Transactions*, Vol. 35, pp. 1623-1626.
- Callon, M. (1984), "Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St. Brieuc Bay", *The Sociological Review*, Vol. 32, pp. 196-233.
- Certini, G. & Scalenghe, R. (2014), "Is the Anthropocene Really Worthy of a Formal Geoploic Definition?", *The Anthropocene Review*, Vol. 2, No. 1, pp. 77-80.

- Clarke, B. (2017), “Rethinking Gaia: Stengers, Latour, Margulis”, *Theory, Culture & Society*, Vol. 34, No. 4, pp. 3-26.
- Crutzen, P. J. & Stoermer, E. F. (2000), “The 'Anthropocene'”, *IGBP Newsletter*, Vol. 41, pp. 17-18.
- Dura-Gomez, I. & Talwani, P. (2010), “Reservoir-induced Seismicity Associated with the Itoiz Reservoir, Spain: A Case Study”, *Geophysical Journal International*, Vol. 181, pp. 343-356.
- El Hariri, M., Aberscrobie, R. E., Rowe, C. A., & Do Nascimento, A. F. (2010), “The Role of Fluids in Triggering Earthquakes: Observations from Reservoir Induced Seismicity in Brazil”, *Geophysical Journal International*, Vol. 181, pp. 1566-1574.
- Fleck, L. (1979[1935]), *Genesis and Development of a Scientific Fact*, Chicago: University of Chicago Press.
- Gibbard P. L. & Walker, M. J. C. (2014), “The Term ‘Anthropocene’ in the Context of Formal Geological Classification”, *Geological Society, London*, Vol. 395, No. 1, pp. 29-37.
- Goudie, A. S. & Viles, H. A. (2016), *Geomorphology in the Anthropocene*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Grigoli, F. & Wiemer, S. (2017. 6. 9), “The Challenges Posed by Induced Seismicity”, *EOS*.
- Grigoli, F., Cesca, S., Priolo, E., Rinaldi, A.P., Clinton, J.F., Stabile, T.A., Dost, B. ... & Dahm, T. (2017), “Current Challenges in Monitoring, Discrimination, and Management of Induced Seismicity Related to Underground Industrial Activities: A European Perspective”, *Reviews of Geophysics*, Vol. 55, No. 2, pp. 310-340.

- Grigoli, F., Cesca, S., Rinaldi, A.P., Manconi, A., Lopez-Comino, J.A., Clinton, J.F., Westaway, R. ... & Wiemer, S. (2018), "The November 2017 Mw5.5 Pohang Earthquake: A Possible Case of Induced Seismicity in South Korea", *Science*, Vol. 360 (1 June 2018), pp. 1003-1006.
- Guha. S. K. (2000), *Induced Earthquakes*, Dordrecht: Kluwer.
- Gupta, H. K. (2002), "A Review of Recent Studies of Triggered Earthquakes by Artificial Water Reservoirs with Special Emphasis on Earthquakes in Koyna, India", *Earth-Science Reviews*, Vol. 58, pp. 279-310.
- Harwood, J. (1986), "Ludwick Fleck and the Sociology of Knowledge", *Social Studies of Science*, Vol. 16, No. 1, pp. 173-187.
- Häusler, H. (2018), "Did Anthropogeology Anticipate the Idea of the Anthropocene?", *The Anthropocene Review*, Vol. 5, No. 1, pp. 69-86.
- Hecht, G. (2012), *Being Nuclear: Africans and the Global Uranium Trade*, Cambridge. MA: MIT Press.
- Hecht, G. (2018. 2. 6), "The African Anthropocene", *Aeon*.
- Hecht, G. (2018), "Interscalar Vehicles for an African Anthropocene: On Waste, Temporality and Violence", *Cultural Anthropology*, Vol. 33, No. 1, pp. 109-141.
- Holland, A. (2011), *Examination of Possibly Induced Seismicity from Hydraulic Fracturing in the Eola Field, Garvin County, Oklahoma* (Oklahoma Geological Survey, Open-File Report OF1-2011).
- Hong, T-K., Lee, J., Park, S., & Kim, W. (2018), "Time-advanced Occurrence of Moderate-size Earthquakes in a Stable Intraplate

Region After a Megathrust Earthquake and Their Seismic Properties", *Scientific Reports*, Vol. 8, No. 13331, pp. 1-8.

- Jasanoff, S. (2005), *Designs on Nature: Science and Democracy in Europe and the United States*, Princeton: Princeton University Press.
- Jensen, C. B. (forthcoming), "Cosmopolitical perplexities: Pragmatic tests for changing climate" (unpublished manuscript).
- Keranen, K. M., Weingarten, M., Abers, G. A., & Ge, S. (2014), "Sharp Increase in Central Oklahoma Seismicity since 2008 Induced by Massive Wastewater Injection", *Science*, Vol. 345, No. 6195, pp. 448-451.
- Kim, K-H., Ree, J-H., Kim, Y., Kim, S., Kang, S., & Seo, W. (2018), "Assessing Whether the 2017Mw 5.4 Pohang Earthquake in South Korea Was an Induced Event", *Science*, Vol. 360, pp. 1007-1009.
- Kim, K-H. (2005), "Styles of Scientific Practice and the Prion Controversy" in Seguin, E. ed., *Infectious Processes: Knowledge, Discourse and the Politics of Prions*, pp. 38-72, London: Palgrave MacMillan.
- Kim, K-H. (2007), *Social Construction of Disease*, London: Routledge.
- Latour, B. (1999a), *Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Latour, B. (1999b), "For Bloor...and Beyond", *Studies in the History and Philosophy of Science*, Vol. 30, No. 1, pp. 113-129.
- Latour, B. (2004a), *Politics of Nature: How to Bring the Sciences into Democracy*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Latour, B. (2004b), "Why Has Critique Run Out of Steam? From Matters of Fact to Matters of Concern", *Critical Inquiry*, Vol. 30, No.

2, pp. 225-248.

- Latour, B. (2004c), "Whose Cosmos, Which Cosmopolitics?", *Common Knowledge*, Vol. 10, No. 3, pp. 450-462.
- Latour, B. (2017), *Facing Gaia: Eight Lectures on the New Climate Regime*, Cambridge: Polity.
- Latour, B. (2018), *Down to Earth: Politics in the New Climatic Regime*, Cambridge: Polity.
- Lee, K. K., Ellsworth, W. L., Giardini, D., Townend, J., Ge, S., Shimamoto, T., Yeo, I-W. ... & Langenbruch, C. (2019), "Managing Injection-induced Seismic Risks", *Science*, Vol. 364, No. 6442, pp. 730-732.
- Llenos, AL. & Michael, A. J. (2013), "Modeling Earthquake Rate Changes in Oklahoma and Arkansas: Possible Signatures of Induced Seismicity", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 103, No. 5, pp. 2850-2861.
- Liu, S., Xu, L., & Talwani, P. (2011), "Reservoir-induced Seismicity in the Danjiankou Reservoir: A Quantitative Analysis", *Geophysical Journal International*, Vol. 185, pp. 514-528.
- Luisetti, F. (2016), "Demons of the Anthropocene: Facing Bruno Latour's Gaia", *Philosophy Kitchen*, Vol. 5, September 2016, pp. 156-169.
- Luisetti, F. (2018), "Geopower: On the States of Nature of Late Capitalism", *European Journal of Social Theory*, Vol. 22, pp. 1-22.
- Malm, A. & Horborg, A. (2014), "The Geology of Mankind? A Critique of the Anthropocene Narrative", *Anthropocene Review*, Vol. 1, pp. 62-69.

- Margulis, L. & Lovelock, J. (1975), "The Atmosphere as Circulatory System of the Biosphere: The Gaia Hypothesis", *CoEvolution Quarterly*, Vol. 5, pp. 31-40.
- Meybeck, M. (2003), "Global Analysis of River Systems: From Earth System Controls to Anthropocene Syndromes", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*. Vol. 358, No. 1440, pp. 1935-1955.
- Nanda, V. P. ed. (2011), *Climate Change and Environmental Ethics*. New Brunswick: Transaction Publishers.
- Olasolo, P., Juarez, M. C., Morales, M. P., D'Amico, S. & Liarte, I. A. (2016), "Enhanced Geothermal System (EGS): A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 56, pp. 133-144.
- Pedersen, J. V. S., Latour, B. & Schultz, N. (2019), "A Conversation with Bruno Latour and Nikolaj Schultz: Reassembling the Geo-Social", *Theory, Culture & Society*, Vol. 25, pp. 1-16.
- Pinch, T.J. & Bijker, W.E. (1984), "The Social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other", *Social Studies of Science*, Vol. 14, No. 3, pp. 399-441.
- Qiu, J. (2012), "Evidence Mounts for Dam-quake Link", *Science*, Vol. 336, p. 291.
- Qiu, X. & Fenton, C. (2015), "Factors Controlling the Occurrence of Reservoir-Induced Seismicity", Lollino, G., Giordan, D., Thuro, K., Carranza-Torres, C., Wu, F., Marinos, P., and Delgado, C. eds. *Engineering Geology for Society and Territory: Volume 6. Applied Geology for Major Engineering Projects*, pp. 567-570, Dordrecht: Springer.

- Rosen, J. (2015), "Pumped up to Rumble", *Science*, Vol. 348, No. 6241, p. 1299.
- Rudwick, M. J. S. (1985), *The Great Devonian Controversy: The Shaping of Scientific Knowledge among Gentlemanly Specialists*, Chicago: University of Chicago Press.
- Rudwick, M. J. S. (2007), *Bursting the Limits of Time: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution*, Chicago: University of Chicago Press.
- Rudwick, M. J. S. (2014), *Earth's Deep History: How It Was Discovered and Why It Matters*, Chicago: University of Chicago Press.
- Serres, M. (1995), *The Natural Contract*, Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Sismondo, S. (1993), "Some Social Constructions", *Social Studies of Science*, Vol. 23, No. 3, pp. 515-553.
- Smith, B. H. (1997), *Belief and Resistance: Dynamics of Contemporary Intellectual Controversies*, Cambridge. MA: Harvard University Press.
- Smith, B. H. (2018), *Practicing Relativism in the Anthropocene: On Science, Belief and the Humanities*, London: Open Humanities Press
- Sohn, Y. K. & Son, M. (2004), "Synrift Stratigraphic Geometry in a Transfer Zone Coarse-Grained Delta Complex, Miocene Pohang Basin, SE Korea", *Sedimentology*, Vol. 51, pp. 1387-1408.
- Sperling, A. (2019), "Anthropocene", in Goodman, R. T. ed., *The Bloomsbury Handbook of 21st-Centry Feminist Theory*, pp. 311-324, London: Bloomsbury Academic.
- Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007), "The Anthropocene:

Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature", *Ambio: A Journal of the human Environment*, Vol. 36, No. 8, pp. 614-621,

- Stengers, I. (2015a), "Accepting the Reality of Gaia: A Fundamental Shift?", in Hamilton, C., Bonneuil, C., & Gemenne, F. eds., *The Anthropocene and the Global Environmental Crisis: Rethinking Modernity in a New Epoch*, pp. 134-144, London: Routledge.
- Stengers, I. (2015b), *In Catastrophic Times: Resisting the Coming Barbarism*, London: Open Humanities Press.
- Stengers, I. (2017a), "Autonomy and the Intrusion of Gaia", *South Atlantic Quarterly*, Vol. 116, pp. 381-400.
- Stengers, I. (2017b), *Another Science is Possible: A Manifesto for Slow Science*, Cambridge: Polity.
- Stiegler, B. (2017), "Escaping the Anthropocene" in Magatti, M. ed., *The Crisis Conundrum: How to Reconcile Economy and Society*, pp. 149-163, London: Palgrave MacMillan.
- Visconti, G. (2014), "Anthropocene: Another Academic Invention?", *Rendiconti Lincei*, Vol. 25, pp. 381-392.
- Voosen, P. (2018. 4. 26), "Second-largest Earthquake in Modern South Korean History Tied to Geothermal Plant", *Science News*.
- Walsh III, F. R. & Zoback, M. D. (2015), "Oklahoma's Recent Earthquakes and Saltwater disposal", *Science Advances*, 1 (e1500195, 18 June 2015), pp. 1-9.
- Whitehead, A. N. (1938), *Modes of Thought*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Zalasiewicz, J. Willimans, M., Haywood, A. & Ellis, M. (2011), "The

Anthropocene: A New Epoch of Geological Time?", *Philosophical Transactions of the Royal Society A.*, Vol. 369, No. 1983, pp. 835-841.

- Zang, A. Oye, V., Jousset, P., Deichmann, N., Gritto, R., McGarr, R., Major, E., & Bruhn, D. (2014), "Analysis of Induced Seismicity in Geothermal Reservoirs – An Overview", *Geothermics*, Vol. 52, pp. 6-21.
- 김광희 (2019), 『포항지진 인터뷰』, (부산대학교, 2019년 11월 1일).
- 이윤수 (2019), 『포항지진 인터뷰』, (포스텍, 2019년 3월 26일).
- 홍태경 (2019), 『포항지진 인터뷰』, (연세대학교, 2019년 10월 4일).

논문 투고일	2019년 06월 15일
논문 수정일	2019년 11월 09일
논문 게재 확정일	2019년 11월 13일

Situating the Anthropocene: The Social Construction of the Pohang 'Triggered' Earthquake

Kiheung KIM

ABSTRACT

On 15th November 2017, the coastal city of Pohang, located in the Southeastern part of South Korea was shaken by a magnitude 5.4 earthquake. The earthquake displaced more than 1,700 residents and caused more than $ 300 million dollars of economic loss. It was the second most damaging earthquake in the history of Korea. Soon after the earthquake, a group of scientists raised a possible link between the first Enhanced Geothermal System (EGS) project and the earthquake. At the same time, another group of scientists put forward a different hypothesis of the causation of the earthquake claiming that it was caused by the geological movements that were initiated by the Great Tohoku Earthquake in 2011. Since then, there were scientific debates between the two different groups of scientists. The scientific debate on the causation of the earthquake has been concluded temporarily by the Research Investigatory Committee on the Pohang Earthquake in 2019. The research committee concluded that the earthquake was caused by the Pohang EGS system: this means that the earthquake can be defined not as a natural earthquake, but as an artificially triggered earthquake.

This article is to examine the Pohang earthquake can be defined as an Anthropocenic event. The newly suggested concept, the Anthropocene is a relatively novel term to classify the earthly strata and their relationship to geological time. The current geological period should be defined by human activities and man-made earthly environment. Although the term is basically related to geological classification, the Anthropocene has been widely debated amongst humanist and social science scholars. The current disastrous situation of our planet also implies with the Anthropocene. This paper is to discuss how to understand anthropogenic events. In particular, the paper pays attention to two different scholarly positions on the Anthropocene: Isabelle Stenger's Gaia theory and Barbara Herrnstein Smith's relativist theory. The former focuses on the earthly inevitable catastrophe of Anthropocene while the latter suggests to situate and contextualise anthropogenic events. On the basis of the theoretical positions, the article is to analyse how the Pohang earthquake can be located and situated.

Key terms | Anthropocene, Contextualization; Disaster, Pohang Earthquake; Triggered Earthquake