

08

지진과 같은 **자연재해**를
에너지원으로 쓸 수 있을까요

A



석원경 교수가 답하다

지진은 땅속 깊은 곳의 진원에서 거대한 지층이 움직여 발생합니다. 2011년 3월 11일, 일본 동북부 도호쿠 지역 오사카반도에서 동쪽으로 70km 떨어진 바다의 수심 29km 지점에서 지진이 시작됐습니다. 규모 9.0의 기록적인 지진으로서 이후 ‘동일본 대지진’으로 명명됐습니다.

당시 발생했던 지진의 에너지를 전력량으로 환산하면 무려 5500억 kWh에 달합니다. 10만 MW 규모의 발전 설비를 총동원해 230일 동안 쉬지 않고 가동해야 생산할 수 있는 전력량입니다.

지진에너지에는 코일보단 압전 소자가 적합

에너지량은 어마어마하지만, 결론부터 말하면 지진은 에너지원으로 적합하지 않습니다. 진앙에서 방출된 에너지가 모든 방향으로 퍼져나가기 때

문에 지표면의 특정한 위치에 도달하는 에너지의 양은 총 에너지와 비교해 미미한 수준입니다.

게다가 지진은 대개 지속 시간이 매우 짧습니다. 동일본 대지진도 고작 6분 정도 지속했습니다. 지진의 발생 위치와 시각을 정확하게 파악하는 일도 만만치 않습니다. 육지보다 바다에서 더 자주 발생하기 때문에 발전 장비를 설치하기도 어렵습니다.

지진은 비나 눈처럼 일상적인 자연 현상이 아닙니다. 지진이 발생하지 않는 대부분의 시간 동안 값비싼 발전 장비가 쓸모없는 상태로 방치돼 있어야 합니다. 이러한 사업은 타당성을 설득하기 쉽지 않습니다.

그런데도 지진 에너지를 활용해 발전해야겠다고 하면 우선 새로운 발전기부터 개발해야 합니다. 현재 발전기 대부분은 1831년 마이클 패러데이가 실험으로 증명해낸 전자기 유도 원리를 이용합니다. 강력한 영구 자석 안에서 금속 도선을 감은 코일을 회전 시켜 유도 전기를 만들어냅니다. 수력, 화력, 원자력, 풍력, 조력 발전기 모두 패러데이의 원리를 이용합니다. 하지만 지진으로 발생하는 땅의 움직임은 불규칙적이고 운동 방향이 계속 바뀌기 때문에 무거운 코일을 회전시키기에 적합하지 않습니다.

코일 대신 압전(piezoelectric) 소자를 활용하면 지진을 이용한 전기 생산도 가능성은 있습니다. 압전 소자는 외부의 진동을 전기 신호로 바꿔주는 물질로 이뤄져 있습니다. 압전 효과는 1880년 프랑스의 화학자 피에르 퀴리와 그의 형이었던 자크 퀴리가 처음 발견했습니다. 석영, 황옥(토파즈), 설탕 등의 결정에 일정한 방향으로 압력을 가하자 온도가 높아지고, 전기가 발생했습니다. 그들은 이 현상이 단순히 열역학적으로 흥미로운 현상이라고 생각했습니다.

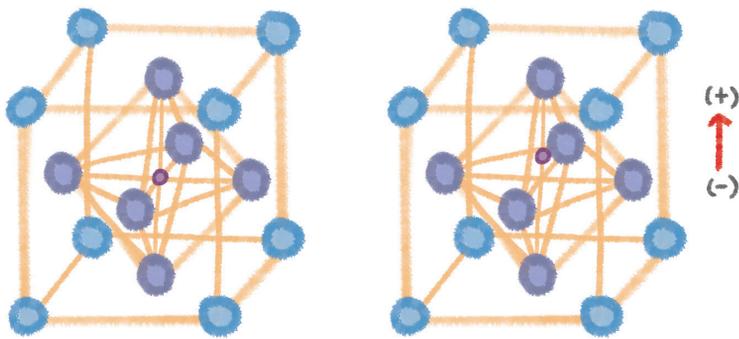
이후 압전 효과는 결정 구조를 이루는 분자의 쌍극자 모멘트(극성의 정도



를 나타내는 물리량. 화학결합에서는 결합한 두 원자 사이에서 전자의 분포 차이가 만드는 극성의 정도)가 변화하면서 나타나는 현상으로 밝혀졌습니다. 또 퀴리 온도(자성을 잃는 온도. 물질마다 다르다) 이하에서 자성을 띠는 물질인 강자성체의 결정에서 이온이 비대칭적으로 배열돼 양전하와 음전하로 대전돼도 압전 효과가 나타납니다.

과학자들은 압전 효과가 일어나는 원리를 토대로 자연에 존재하는 결정보다 훨씬 더 큰 압전 효과를 내는 물질도 합성했습니다. 타이타늄산 바륨(BaTiO_3), 지르코늄 타이타늄산 납($\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$), 텅스텐산 소듐(Na_2WO_3), 니오븀산 포타슘(K_2NbO_3) 등이 대표적입니다.

압전 소자는 다양한 용도로 사용됩니다. 가스레인지나 라이터의 발화장치나 음파와 전자파의 생성과 탐지장치, 마이크로 저울 등이 있습니다. 원



(a) 퀴리 온도 이상에서의 결정 구조

(b) 퀴리 온도 이하에서의 결정 구조

- A^{2+} 납 이온, 바륨 이온, 소듐 이온 등
- O^{2-} 산소 이온
- B^{4+} 타이타늄 이온, 텅스텐 이온, 니오븀 이온 등

자 수준의 분해능을 갖춘 투사터널링현미경(STM)이나 원자힘현미경(AFM)에서 탐지 바늘을 이동시키는 용도로도 압전 소자를 사용합니다. 압전 소자로 지진파의 에너지를 전기에너지로 변환시키는 장치를 개발하기 위해서는 다양한 연구가 필요할 것입니다.

지진으로 발생하는 마찰을 이용하는 방법도 있습니다. 울산과학기술원(UNIST)에서는 마찰전기 발전기를 개발하는 연구를 하고 있습니다. 이 발전기는 두 물체가 스칠 때 만들어지는 전하 불균형을 이용해 전기를 만듭니다.

서로 다른 물체가 접촉하면 각 물체에 있는 음전하와 양전하가 이동해 두 물체가 분리될 때 각 물체에 전하 불균형이 생깁니다. 이러한 불균형을 상쇄하기 위해 전자가 이동하며 전류가 형성되죠. 마찰전기 발전기는 이 전류를 수확하는 장치입니다.

2017년 UNIST 연구팀이 개발한 마찰전기 발전기는 금속 전극으로 양전하를 모으고, 고분자 유전체로 음전하를 모읍니다. 이 발전기는 당시 기존 기술보다 출력이 20배 높아 주목받았죠.

마찰전기 발전기는 비구름 속에서 마찰로 번개가 발생하는 것과 같은 원리입니다. 번개는 1~10억 V의 전압이 흐르지만, 지속 시간이 100분의 1초로 매우 짧아 저장하기 어려운 데다 벼락이 칠 위치를 예측하기가 어렵기에 에너지원으로 활용하기는 쉽지 않습니다.

세상에 공짜는 없다

자연의 에너지를 활용하려다가 오히려 지진을 일으키는 경우도 있습니다. 2017년 11월 15일 포항에서 발생한 규모 5.4의 지진도 이에 해당하는

사례입니다. 포항 시내를 강타한 지진으로 무려 9조 원에 이르는 피해가 발생했습니다.

원인은 포항에 건설하고 있던 지열발전소였습니다. 지열발전은 지하 깊숙이 물을 주입해 지열로 160~180°C까지 가열시키고 이때 만들어진 수증기로 발전을 하는 원리입니다. 배출된 수증기는 응축시켜 다시 지하로 내려보내죠.

포항지열발전소는 800억 원의 사업비가 투입돼 4000가구가 사용할 6.2MW의 전기를 생산하는 것이 목표였습니다. 지하 4km 깊이까지 물을 주입하는 ‘주입정(injection well)’과 수증기를 뽑아내는 ‘생산정(production well)’이 각각 설치됐죠.

포항지열발전소에서는 2016년 1월부터 2017년 9월까지 1만 3000여 m³의 물을 주입하고 다시 5841m³의 물을 뽑아 올렸습니다. 그런데 지열 발전을 위해 주입정으로 밀어 넣은 고압의 물 가운데 일부가 토양으로 스며들었습니다. 오랜 세월 동안 외부와 철저하게 차단돼 있던 땅속의 지질 환경에 상당한 변화가 나타날 수밖에 없었겠죠.

특히 지반이 연약한 퇴적층에서 영향이 더 컸습니다. 퇴적층에 뜨거운 물이 스며들어 포항 지진 당시 땅이 진흙처럼 변하는 액상화 현상이 나타났습니다. 실제로 포항 지진의 진앙은 건설 중이던 지열발전소에서 겨우 1.1km 떨어진 곳이었습니다.

인류는 자연의 에너지를 활용하기 위해 오래 전부터 부단히 노력해왔습니다. 하지만 1979년 노벨 물리학상을 받은 미국의 물리학자 스티븐 와인버그가 남긴 ‘우주에는 공짜 점심이 없다’라는 말처럼 인류가 자연의 에너지를 손해 없이 안전하게 활용할 수 있다는 기대가 어쩌면 설부른 것일 수도 있습니다.

최근 친환경 에너지로 각광받고 있는 태양광, 풍력, 조력 발전도 예외는 아닙니다. 자연을 무분별하게 이용하면 대가를 치를 수 있다는 점을 경계해야 합니다.