

지구는 언제 태어났을까?

글 | 김경렬 _ 서울대학교 지구환경과학부 교수 krkim@snu.ac.kr

1904년 러더퍼드가 톰슨에 이어 영국 케임브리지의 캐빈디쉬 연구소장을 맡기에 앞서 왕립학술회원 800여 명 앞에서 한 강연은 지구나이 탐구의 분수령이 되는 사건이었다. 이를 회고하면서 쓴 그의 글은 당시의 흥미로운 상황을 잘 전해준다.

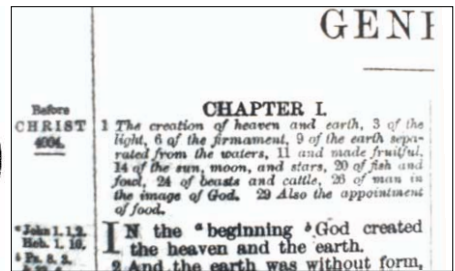
[중략] 약간 어두웠던 강연장으로 들어났을 때 관중 속에 켈빈 경이 와 있는 것을 보고, 지구의 나이를 다루는 내 강연의 중반 부분에서 문제가 있을 것임을 직감하였습니다. 왜냐 하면 내 결론은 그의 것과 대치되는 것이기 때문입니다. 그러나 강연이 진행되는 동안 다행스럽게도 켈빈은 잠을 자고 있었습니다. 그런데 이제 강연의 중요한 부분에 도달하자 이 늙은 분이 몸을 곧추 세우고 눈을 바로 뜨면서 나에게 약의에 찬 눈짓을 보내는 것을 볼 수 있었습니다. 이 때 나에게 한 영감이 떠올라 다음과 같이 말을 이어갔습니다. '켈빈 경은 어떤 다른 종류의 새로운 열원이 발견되지 않을 경우에 지구의 나이가 가질 수 있는 한계를 설정하였습니다. 이러한 생각은 바로 오늘날 우리들이 생각해보려는 라듐을 예언적으로 언급하고 있는 것입니다.' 이 소리를 듣자 늙은 켈빈은 웃음이 담긴 시선을 내게 던지는 것이었습니다. **[하략]**

이 강연은 켈빈을 앞세운 물리학자들의 '젊은 지구론'의 결정적 오류가 공식적으로 지적된 지혜로운 강연이었다.

열역학이 제시한 새로운 접근방법

지구의 나이에 대한 궁금증은 과학보다는 종교의 영역이었다. 1650년 아일랜드 대주교 어셔의 '기원전 4004년 (10월 22일 저녁)'은 꽤 타당성이 있는 지구 생일로 널리 알려져 왔다. 케플러(1571~1630)도 지구의 기원전 3993년 탄생을 주장한 것을 보면, 성경이 지구를 이해하는 정보의 원천이라는 생각이 얼마나 뿌리 깊었는지를 잘 보여준다.

지구나이에 대한 과학적 접근을 처음으로 가능하게 한 것은 열역학이었다. 식어가야만 하는 태양을 계속 불타게 할 수 있는 에너지원은 무엇일까? '핵에너지'가 밝혀지기 이전까지 참으로 답하기 어려웠던 난제였다. 이의 연장선상에서 지구나이 추정을 완성시킨



1650년 성경의 연대기로부터 지구는 기원전 '4004년 10월 22일 저녁'에 태어났다는 계산을 한 아일랜드 대주교 어셔. 어셔의 계산이 흔히 인용되는 데 기여를 한 1701년 당시 윈체스터 사원의 주교 로이드가 발간한 성경(창세기).

과학자는 톰슨(=켈빈)이었다. 톰슨은 열역학 확립의 주역이었던 대과학자로서 자연스럽게 지구의 나이에 관심을 갖게 된 것 같다.

지구가 뜨거운 암석덩이였다가 서서히 식어 오늘에 이른 것이라면 현재와 같이 식기 위해서 어느 정도 시간이 필요할까? 화산에서 분출되는 용암의 온도(섭씨 약 1100℃)를 지구 형성시의 온도로 잡고, 암석들의 열전도도를 추정하면 후 지하 깊숙한 석탄 광산 갱도에서 관찰된 온도 기울기로부터 지구가 식는데 필요한 시간을 구할 것이다.

명쾌한 이론이었지만 이를 실제 지구에 적용하는 것은 참 힘든 일이었음이 분명하다. 그러나 1862년 켈빈은 지구 나이를 약 1억 년 정도로 추정하였으며 당대의 지질학자들도 대개 이를 받아들였던 것 같다.

그런데 문제가 생겼다. 1880년경 젊은 물리학자들이 암석의 열전도율을 정밀히 측정하고 지구의 나이를 약 2500만 년으로 새로이 추정하는데, 켈빈이 이를 지지한 것이다. 켈빈을 앞세운 물리학자들의 '젊은 지구설'에 지질학자나 생물학자들이 감히 반대 의견을 내는 것은 힘든 일이었음은 말할 것도 없다. 이 때 러더퍼드가 방사능이라는 새 무기를 가지고 오류를 지적한 것이다.

태양의 원소(헬륨, He)가 준 돌파구

1868년 인도에서 일식을 관측하던 프랑스의 장쎡(1824~1907)이 태양 스펙트럼에서 밝은 노란빛을 내는 새 원소를 발견하고 태양의

신 헬리오스의 이름을 따 '헬륨'으로 명명하였다. 그런데 램지는 이 태양의 원소가 지상(우라늄 광물)에도 있다는 것을 발견하였으며, 러더퍼드는 헬륨 핵의 흐름이 바로 α 선임을 알아냈다.

용융상태에서는 헬륨을 포함한 모든 기체가 공기 중으로 다 사라진다. 그러나 일단 광물이 되면 우라늄이 붕괴되면서 방출되는 모든 α 입자(헬륨)는 광물내에 갇히면서 광물 형성 이후의 경과 시간을 알려줄 수 있다. 러더퍼드는 램지가 연구하던 우라늄 광물이 놀랍게도 10억~15억 년 전 형성되었음을 알아냈다. 지구나이의 최소 값에 해당하는 이 수치는 켈빈의 잘못을 분명히 보여주었다. 러더퍼드는 방사능 붕괴과정에서 열이 발생함을 밝혀 켈빈의 또 다른 핵심적 가정을 무너뜨렸음은 물론이다.

러더퍼드의 연구가 지질학자들에게 흔쾌히 받아들여진 것은 아니었다. 자신만만하고 오만하였던 켈빈에게서 받은 상처가 쉽게 잊히지 않은 상태에서 러더퍼드 역시 또 한 사람의 오만한 물리학자 일지도 모른다고 여겨졌기 때문이었을 것이다. 그러나 볼트우드, 흠즈와 같은 지질학자들이 러더퍼드의 연구 방법을 받아들이기 시작하면서 45억 년의 지구나이를 밝히는 여정이 본격화된다.

'동위원소'와 '방사능 붕괴계열'의 이해는 넘어야 할 필수적 과제였다. 우라늄에는 반감기가 각각 45억년과 약 7억년인 U-238과 U-235가 99.3%, 0.7%로 존재하며, 일련의 붕괴과정을 거쳐 최종적으로 Pb-206과 Pb-207로 변환된다. 동일 시료에 대하여



미국 애리조나주 디아블로 협곡에 있는 약 5만 년 전 발생한 운석 충돌이 만들어진 직경 1.2km 깊이 150m의 배링거 크레이터. 미티어 크레이터로도 불리며, 이곳에서 발견된 운석은 방사능 붕괴 영향을 받지 않은 가장 작은 납 동위원소의 비, 즉 '원시조성비'를 알려준 중요한 시료였다.

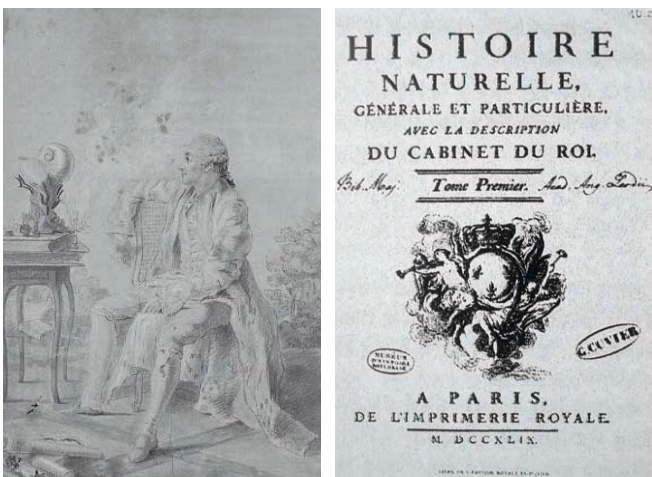
U-238/Pb-206, U-235/Pb-207 및 Pb-206/Pb-207의 세 개의 '독립적' 모래시계를 적용할 수 있는 것이다. 1936~37년 하버드 대학의 니어는 이런 방법으로 최대 20억 년에 이르는 우라늄광물의 나이를 얻을 수 있었으나 46억 년에 이르기에는 아직 역부족이었다.

1950년대초 칼텍의 패터이 우라늄이나 납 광물이 아닌 '일반 암석' 속의 적은 양의 납 시료내에서 동위원소비를 정확히 측정할 수 있는 획기적인 방법을 개발하였다. 마그마가 식어 화강암이 형성될 때 우라늄이 많이 함유된 지르콘 같은 광물이 만들어지며, 우라늄이 붕괴하면서 생성되는 납은 광물내에 축적된다. 우라늄과 납의 동위원소비를 통하여 화강암 형성 후 경과된 시간을 알아낼 수 있게 된 것이다.

외계에서 온 손님, 운석이 준 선물

이제 한 가지 문제만 남았다. 완벽하지 못한 모래시계를 극복하는 일이었다. 자연계에 존재하는 납의 동위원소들에는 우라늄의 방사능 붕괴로 만들어지는 것들 이외에 지구가 탄생할 때 만들어져 지금까지 남아 있는 것들, 즉 '원시조성'이 공존하고 있음이 분명하다. 실제 측정값은 원시조성과 방사능 기원 성분의 합인데, 모래시계는 방사능 기원의 값만을 필요로 하는 것이 문제였다.

1953년 패터슨이 우라늄을 함유하지 않아 방사능기원의 납을 무시할 수 있는 완벽한 시료를 찾아냈다. 디아블로 협곡 철운석에서 납의 '원시조성'을 찾아낸 것이다. 이 값을 이용하여 많은 운석들이 45억6천만 년의 나이를 보여주고 있음을 확인하며, 이 때 지구를 포함하는 태양계가 태어났다는 결론을 내릴 수 있었다. 방사능 발견 후 60년 만인 1956년의 일이었다. ㉔



크기가 큰 쇳덩이일수록 식을 때 시간이 더 걸리는 사실을 지구 나이 산정에 이용할 수 있을 것이라던 뉴턴의 생각을 실제 구체적 실험을 통하여 연구하였던 프랑스의 뷔퐁. 자신이 제작한 크기가 다른 10개의 가열된 쇳덩이들이 식는 과정을 관찰하여 지구 크기의 쇳덩이가 식는데 9만6천670년, 암석으로 된 지구는 약 7만5천 년 정도가 걸릴 것으로 추정하였다. 자신도 너무 짧은 것 같다고 여겼던 잘못된 가정에서 출발한 추정이었지만 구체적 실험 방법의 도입, 6천 년의 지구에서의 탈피 등은 중요한 업적으로 평가받을 만하다.



글쓴이는 서울대학교 화학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 캘리포니아대학 샌디에이고 캠퍼스에서 해양학으로 박사학위를 받았다. 현재 지구환경과학부 학부장 겸 BK21사업단장으로 있으며, 해양연구소장을 겸임하고 있다.