

# 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.

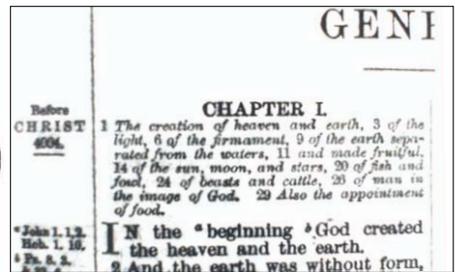
**[중략]** 약간 어두웠던 강연장으로 들어났을 때 관중 속에 켈빈 경이 와 있는 것을 보고, 지구의 나이를 다루는 내 강연의 중반 부분에서 문제가 있을 것임을 직감하였습니다. 왜냐 하면 내 결론은 그의 것과 대치되는 것이기 때문입니다. 그러나 강연이 진행되는 동안 다행스럽게도 켈빈은 잠을 자고 있었습니다. 그런데 이제 강연의 중요한 부분에 도달하자 이 늙은 분이 몸을 곧추 세우고 눈을 바로 뜨면서 나에게 약의에 찬 눈짓을 보내는 것을 볼 수 있었습니다. 이 때 나에게 한 영감이 떠올라 다음과 같이 말을 이어갔습니다. '켈빈 경은 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 추정한 후 지하 깊숙한 석탄 광산 갱도에서 관찰된 온도 기울기로부터 지구가 식는데 필요한 시간을 구한 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  $\alpha$ 선임을 알아냈다.

용융상태에서는 헬륨을 포함한 모든 기체가 공기 중으로 다 사라진다. 그러나 일단 광물이 되면 우라늄이 붕괴되면서 방출되는 모든  $\alpha$ 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.