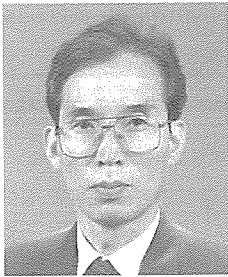


지구의 생성과정 ... 자연의 이해 계기 현대 지질학 탄생

문명이 발전함에 따라 인류는 자연을 이용하는 방법을 깨우치기 시작했다. 그래서 인류가 시작한 최초의 자연과학을 지질학이라고 할 수 있다. 고대 그리스의 학자 헤로도투스, 스트라보 등이 지질학의 출시를 이루고 있으며 종교개혁 이후 레오나르도 다빈치가 등장했으나 종교적 박해로 그의 주장을 올바르게 펴지 못했다. 17세기 아일랜드 대주교 어셔와 덴마크 출신 의사 스테노 등이 암석 등 지구의 생성과정을 본격 연구했고 18세기 들어 스코틀랜드의 허튼이 관찰한 풍화와 침식의 과정이 발표됨으로써 현대 지질학이 탄생된 것이다.



崔德根

〈서울대 자연과학대학 지질학과 교수〉

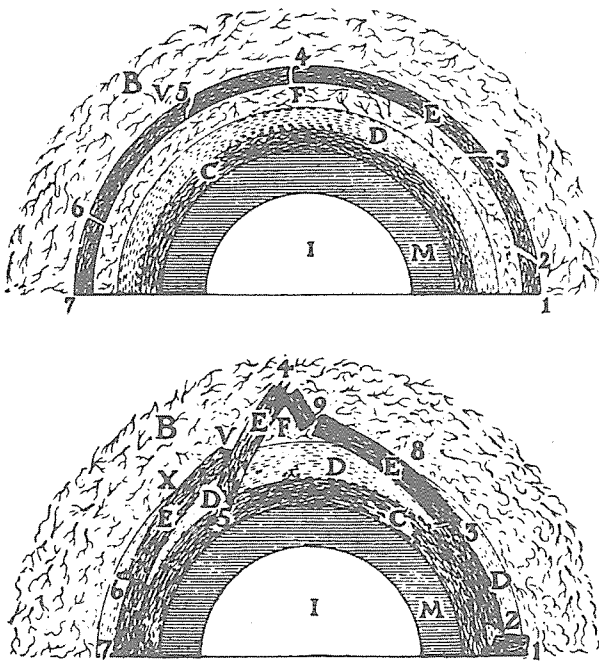
종교박해로 연구활동 끊겨

지구는 우리에게 매우 특별한 존재이다. 단지 우리 인간이 살고 있는 장소이기 때문이 아니라 적어도 우리가 알고 있는 한 우주에서 유일하게 생명체가 살고 있는 천체이기 때문이다. 아주 오랜 옛날 우리 조상들에게 지구는 삶의 터전이었던 동시에 다른 한편으로는 매우 두려운 존재로 여겨졌으리라고 생각된다. 왜냐하면 자연에 대하여 아는 것이 거의 없었고,

따라서 번개, 일식, 지진, 화산 등과 같은 자연현상을 무서운 재앙으로 받아들이는 수밖에 없었기 때문이다. 문명이 발전함에 따라 인류는 자연을 이용하는 방법들을 깨우치기 시작하였다. 인류 문명의 발전과정에서 최초의 중요한 변혁 중 하나가 도구의 이용이라고 할 수 있다. 구석기 시대의 인류들은 도구를 만들기에 적합한 암석 - 예를 들면 흑요석 - 을 알았고, 농경생활을 했던 신석기 시대에 이르러서는 유용한 광물을 채굴할 수 있는 능력도 가지게 된다. 이러한 관점에서 인류가 시작한 최초의 자연과학은 지질학이라고 할 수 있을 것이다. 자연산물을 이용하기 위해서는 자연에 대한 이해가 필요하며, 자연에 대한 이해 그것은 바로 과학의 성립을 의미하기 때문이다.

일찍이 사람들은 지구를 이루고 있는 암석의 기원과 특성에 대하여 관심을 가지고 있었다. 고대 그리스의

학자 헤로도투스 (Herodotus, 485~425년 B.C.)는 이집트의 산지에서 바다 조개껍질을 발견하고, 옛날 바다가 물러날 때 남겨진 것으로 해석하였다. 지중해 일대는 지진이나 화산활동이 활발한 지역의 하나인데, 당시 그리스나 로마의 학자들은 화산과 지진이 일어나는 것은 지구 내부에 있는 뜨거운 수증기를 방출하는 안전 밸브로서의 역할 때문이라고 설명하기도 하였다. 그리스의 학자 스트라보 (Strabo, 63 B.C. ~ 23년 A.D.)는 지중해 연안의 자연을 관찰하고 베수비우스산은 원래 화산이었다고 정확하게 설명하였다. 그리고 높은 산에서 조개 화석이 나오는 것은 옛날에 바다였던 지역이 솟아올라 육지를 이루었기 때문이라고 주장하였다. 이처럼 그리스와 로마 그리고 아랍지방을 중심으로 활발했던 자연에 대한 연구는 로마제국의 멸망과 중세의 암흑시대를 거치면서 긴 휴면에 들어갔다. 모든 자연현상은 성경에 기록된 내용과 일치해야만 했으며, 성경에 어긋나는 설명은 받아들여지지 않았다. 그러나 종교개혁과 문예부흥 이후, 학자들의 자연에 대한 관심이 유럽을 중심으로 일어나기 시작하였다. 예를 들면, 레오나르도 다빈치 (Leonardo da Vinci, 1452~1519년)는 높은 산이 침식되어 깎이면 마침내 평탄하게 된다는 사실을 알았으며, 산에서 발견된 바다생물의 화석을 보고 옛날에 그 지방은 바다였으나 후에 솟아올라 현재와 같은 육지로 바뀌었다고 정확하게 해석하였다. 그러나 이러한 그의 생각은 당시의 학계에 널리 전파되지



<그림 1> 데카르트가 제안한 과거의 지구와 현재의 지구

무렵이라고 계산하여 지구의 나이가 대략 6천년이라는 결론을 제시한다. 한편, 프랑스의 데카르트(R. Descartes, 1596~1650년)는 지구의 역사를 두 부분으로 나누어 기술하였다. 그에 의하면, 지구는 원래 태양과 같이 회전하는 별이었고, 따라서 뜨거운 물체였다는 것이다. 그런데, 지

명한 성직자이며 과학자였던 버네트는 성경에 바탕을 둔 지구의 역사를 저술하였는데, 노아의 홍수를 설명할 때 40주야의 홍수에도 불구하고 부족한 강우량의 문제에 부딪치게 된다. 그는 지구의 겹겹질층이 붕괴하면서 내부에 있던 물이 지표면에 솟아오르게 되면 이 부족한 강우량의 문제를 해결할 수 있다고 생각하였다. 17세기는 분명 자연과학의 여러 분야에서 새로운 발견과 연구 결과들이 많이 이루어진 시기였음에도 불구하고, 아직도 지구의 역사를 설명하는데 있어서 성서의 구속으로부터 벗어나지 못하고 있었다.

그러나 앞에서 언급한 어셔, 데카르트, 버네트와는 달리 어떤 학자들은 야외에서의 세밀한 관찰을 바탕으로 자연현상을 설명하고 체계화하려는 노력을 기울이고 있었다. 대표적 학자로 덴마크 출신의 의사였던 스테노(Nicolaus Steno, 1638~1686년)를 들 수 있다. 그는 높은 산에서 상어이빨, 조개껍질 등 바다 생물의 화석을 관찰하고, 오랜 옛날 지구는 모두 물 속에 잠겼었다는 가정 아래 암석의 형성과정을 다음과 같이 6단계로 나누어 기술하였다(그림 2).

1) 지구 형성 초기에 전 지구를 덮는 바다가 있었고, 이 바다에서 침전이 일어나 지표면에 수평인 지층이 쌓였다. 화학적 침전에 의하여 지층이 형성되었으므로 지층의 구성성분은 모두 같으며, 육지도 없었고 동·식물도 없었기 때문에 화석은 발견되지 않는다.

2) 이렇게 형성된 지층은 지구 최초의 대륙이 되었고, 지하에서는 물

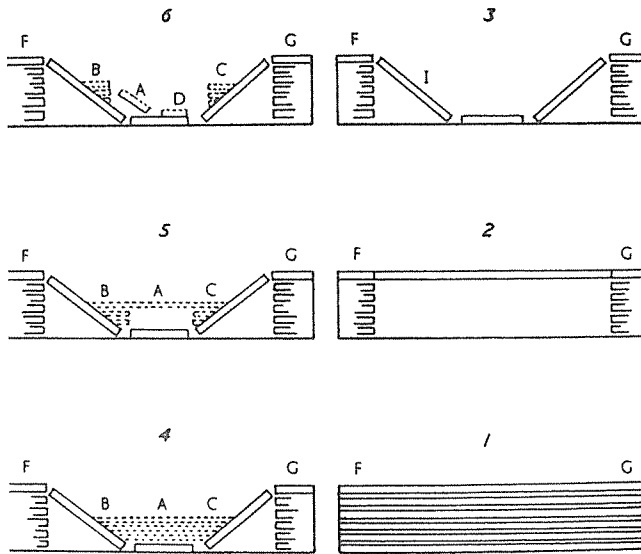
못하였는데, 그 이유는 종교적 박해를 두려워한 다빈치가 그 내용을 쉽게 알아볼 수 없도록 기록하였기 때문이다. 다빈치는 거울을 앞에 놓은 후 거울 속에서 읽을 수 있도록 글씨를 썼는데, 따라서 그냥 보면 이상한 모양의 부호들이 나열된 것처럼 보일 수밖에 없었을 것이다.

17세기 암석의 생성 밝혀

17세기에 들어와서 화석이 옛날에 살았던 생물이라는 생각이 보편화되고, 노아의 홍수와 같은 천재지변에 의하여 바다가 육지가 되고 육지가 바다가 될 수 있다는 생각도 받아들여지게 되었다. 이 무렵 지구의 역사에 관한 기록을 보면, 1650년 아일랜드의 대주교였던 어셔(James Ussher, 1581~1656년)가 성경에 쓰여진 연대표를 근거로 지구의 탄생을 기원전 4004년 10월 22일 저녁

구가 태양에 접근하여 흡수되면서 지구를 구성하는 물질들은 여러개의 층으로 나뉘게 되었다는 설명이다. 이때의 지구는 완벽한 층상구조를 이룬 구형이었다(그림 1).

가장 바깥층(B)은 공기로 이루어지고, 그 아래의 겹겹질층(E)은 흡과 암석, 그리고 그 아래에는 또 다른 공기층(F), 물층(D) 및 속껍질층(C)이 있으며, 그보다 깊은 곳(M과 I)은 알 수 없다고 하였다. 이처럼 완벽한 층상구조의 지구에서 지표면의 높낮이가 다른 현재의 지구로 바뀐 것은 겹겹질층(E)이 무너지면서 높고 낮은 부분이 형성되고, 이 때 내부에 있던 물이 방출되어 바다를 이루었다는 설명이다. 겹겹질층의 붕괴에 의한 내부 물의 방출은 후에 버네트(Thomas Burnet)에 의한 지구역사 해석에서 노아의 홍수를 설명하는 방편으로 이용된다. 영국의 저



〈그림 2〉 스테노가 생각한 지구 암석의 생성과정과 순서

에 의한 용식작용이 일어나 커다란 동굴이 형성되었다. 3) 넓은 지역에 걸쳐 형성된 동굴의 지붕이 붕괴되면 그 결과 만들어진 골짜기에 바닷물이 들어오게 되는데 이는 노아의 홍수를 의미한다고 설명하였다. 4) 이 바다에서 새로운 지층이 쌓이고, 이때 노아의 홍수 이전에 살았던 동·식물의 유해가 함께 쌓여 화석으로 남게 되었다. 5) 홍수가 물러난 후, 새로운 지층이 물로 드러나고, 지하에서는 다시 동굴이 형성되었다. 6) 이 동굴의 지붕이 무너지면서 골짜기와 능선이 있는 현재의 지표면과 같은 모습을 이루게 되었다.

이 이론에서 우리는 몇가지 중요한 지질학적 개념을 읽을 수 있다. 즉, 암석은 순차적으로 생성되었으며, 화석은 옛날에 살았던 생물의 유해이고, 지층은 지표면에 거의 수평을 이루며 쌓인다는 점이다. 그러나 무엇보다도 중요한 내용은 아래 지층은 위에 놓여있는 지층보다 먼저 형성되

의 일이다. 스테노의 이론을 이어받은 독일의 베르너(Abraham Werner, 1749~1817년)는 원시지구에는 전 지구를 덮는 바다가 있었고, 이 바다는 광물질과 물의 혼합물로 이루어졌다고 생각하였다. 이 바다에서 가장 먼저 형성된 암석을 원시암(原始岩)이라고 불렀는데, 원시암에 속하는 암석으로는 높은 산의 중앙부를 차지하는 석영과 장석 등 주로 규질 성분으로 이루어진 화강암이나 변성암을 들었다. 시간이 지나면서 해수면이 점차 내려가고 대륙이 드러나게 되었으며 곧이어 동식물이 서식하게 되었다. 그러나 아직 대륙의 규모가 충분히 크지 않았기 때문에 대부분의 암석은 화학적 침전에 의하여 형성되었고, 극히 일부분만이 침식과 운반에 의하여 퇴적되었다.

이 단계에서 형성된 암석을 중간암(中間岩)이라고 불렀으며, 변성정도가 낮은 석회암이나 사암 등을 포함시켰다. 바다에서의 침전작용이 진행

되었다는 지층 누층의 법칙을 알아낸 점이라고 할 수 있다.

스테노의 이론에서 암석의 생성순서를 명백히 언급하고 있긴 하지만, 이 이론이 빛을 보기 시작한 것은 대략 1백년이 지난 후

되고, 해수면이 낮아짐에 따라 대륙은 점점 넓어졌다. 이 때는 암석의 대부분이 침식, 운반에 의하여 형성 되었으므로 화석을 많이 포함한다. 이 단계의 암석을 제2암 또는 성층암이라고 불렀으며, 화석을 많이 포함하는 퇴적암을 모두 포함시켰다. 마지막으로 현재의 하천이나 바닷가에 쌓이고 있는 퇴적물이나 화산분출물 등을 제3암이라고 불렀다. 이 이론에 의하면 현재 지구상에 있는 대부분의 암석은 바다에서 직접 침전되었거나 하천의 작용에 의하여 형성되었다고 생각했기 때문에 수성론(水成論)이라고 불린다.

풍화·침식 주장한 허튼

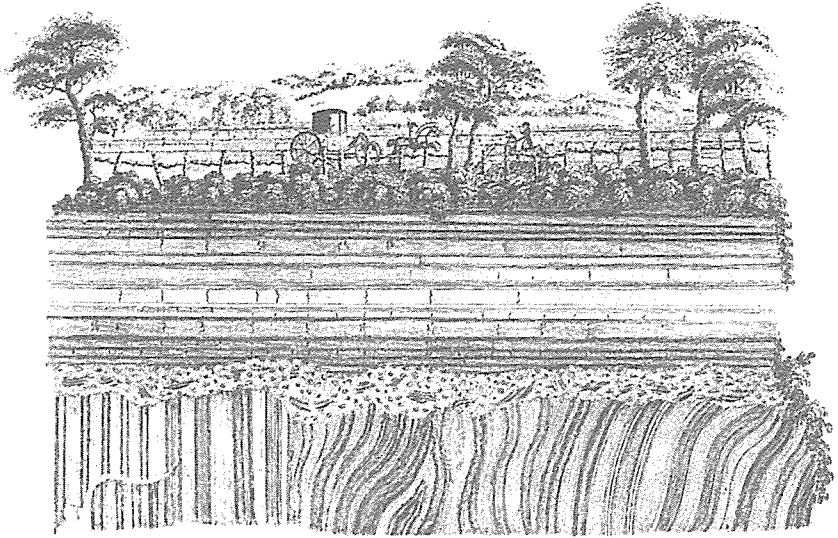
한편, 베르너의 수성론이 18세기 후반 유럽 학계에 널리 확산되고 있을 즈음, 스코틀랜드의 허튼(James Hutton, 1726~1797년)은 독자적 관찰과 연구에 의하여 새로운 이론을 세우고 있었다. 허튼은 원래 의학을 전공하였지만 의사로 활동을 한 적은 없고, 스코틀랜드의 자신의 농지를 관리하면서 농업의 증진에 힘을 쏟고 있었다. 자연스럽게 그는 토양의 형성 과정에 관심을 가졌고, 자연현상에 관한 세심한 관찰을 하였다.

오랜 관찰 결과, 허튼은 지표면의 암석은 풍화에 의하여 서서히 토양으로 바뀌고, 토양(침식물)은 하천을 따라 바다로 운반되어 그 곳에 순서대로 쌓이며, 두껍게 쌓인 퇴적물은 다져지고 지하 깊은 곳에 이르면 높은 열과 압력에 의하여 새로운 암석으로 변한다는 사실을 알아냈다. 이 암석은 오랜 시간이 지나면 지하의



열 때문에 용기하여 지표면에 드러나게 되고, 그러면 다시 풍화되어 토양으로 변한다는 사실을 알아냈다. 이 과정에서 한편에서는 소멸이 일어나고 있을 때, 다른 한편에서는 생성이 일어나고 있음을 이해하게 되었다. 앞에서 소개한 스테노와 베르너는 일방적으로 진행되는 침식의 과정만을 생각한 데 반하여, 허튼은 소멸과 더불어 재생의 과정을 인지하였다는 점에서 중요한 차이가 있다.

허튼의 이론은 다음과 같이 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 현재는 과거의 열쇠이다(The present is the key to the past). 즉, 현재 지구에서 일어나고 있는 여러 가지 변화는 과거 지구에서도 똑같이 일어났



<그림 4> 스코틀랜드 지방에서 허튼이 찾아낸 부정합

고, 따라서 현재 지구에서 일어나고 있는 현상을 이해함으로써 과거 지구에서 일어났던 일들을 알 수 있다는 생각이다. 이 개념을 동일과정의 법칙(Uniformitarianism)이라고 한다. 둘째, 지구 역사는 시작도 알 수 없고 언제 끝날지도 예측할 수 없다(no vestige of a beginning - no prospect of an end). 현재 지표면에서 일어나고 있는 과정은 매우 느리게 일어날 뿐만 아니라 끊임없이 반복된다는 관찰에 바탕을 둔 결론이다. 허튼은 한 과정(cycle)과 과정 사이를 구분해 주는 부정합면(용기 후, 풍화와 침식의 과정이 기록된 면. 따라서, 사라져버린 긴

시간을 의미하는 면)을 실제로 암석에서 찾아내었다. 이러한 자연의 과정을 설명하기 위해서 필요한 것은 엄청나게 긴 시간밖에 없다. 허튼은 암석 속에 들어있는 무한의 시간(limitless time)을 이해한 것이다. 허튼은 이 외에도 화강암과 현무암은 뜨거운 용융물질이 결정화될 때 생성된 것이라고 생각하여 베르너의 수성론과는 다른 방법에 의하여 암석이 형성될 수 있음을 제안하였다. 이 이론을 화성론이라고 부른다. 허튼은 분명 놀라운 관찰력과 논리적 사고로 자연의 현상을 정확하게 이해하고 있었다. 안타깝게도 허튼의 논문이 난해한 문장으로 쓰여졌기 때문에 당시 학계에 널리 알려지지 못했다. 그런데 허튼이 죽은 해에 태어난 라이엘(Charles Lyell)이라는 학자에 의하여 저술된 「지질학의 원리」(Principles of Geology, 1830~1833년)에 허튼의 연구결과가 자세히 소개되고 설명됨으로써 현대 지질학의 탄생을 가져왔다. ㉟



<그림 3> 19세기 초 허튼의 동일과정 이론에 반대하는 학자들이 허튼을 조롱하기 위하여 그렸다. 사람 얼굴 형상인 암석 앞에서 놀라고 있는 허튼의 모습