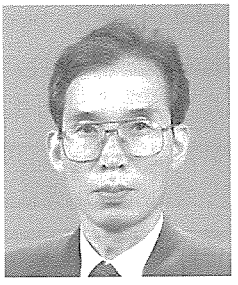
새로운 지구관...판구조론
— 화산·지진은 살아있는 지구의 숨소리

지금 지구상에서 일어나고 있는 화산 활동이나 지진 발생은 단순한 천재지변이 아니라 살아있는 지구의 숨소리이며 기지개라고 할 수 있다. 만약 그러한 활동이 없다면 우리의 지구는 수성이나 화성처럼 생명이 살 수 없는 행성이 되었을 것이다.



崔 德 根
〈서울대 자연과학대학 지질과학과 교수〉

앞에서 소개했던 대륙이동설은 당시로서는 너무 파격적인 이론이었기 때문에 학계에 받아들여지지 못한 채 사장되었다. 몇몇 학자들이 이 이론을 소생시키기 위해 노력하였지만 당시의 과학 수준이 대륙이동설을 받아들일 정도로 성숙되어 있지 않았다. 제2차 세계대전이 끝난 후, 전쟁에 사용되었던 많은 군사장비들이 자연스럽게 순수한 과학적 연구활동에 쓰여지게 되었는데, 특히 미국 해군에서 사용하였던 당시로서는 첨단의 전자장비들이 해양 탐사에 투입되면서 엄청나게 많은 새로운 자료를 얻게 되었다. 그 무렵 지구에 관한 연구의 대부분은 대륙에만 국한되었기 때문에 바다 밑은 거의 미지의 세계였으며 오히려 달의 표면에 대해서 아는 것보다 적었다고 한다. 그런데 1950년대와 1960년대의 심해저 탐사에 의하여 밝혀진 여러 분야의 연구결과들이 처음에는 전혀 관련이 없는 것처럼 보였지만, 나중에 이 자료들이 종합되어 새로운 지구관을 태동시키게 된다.

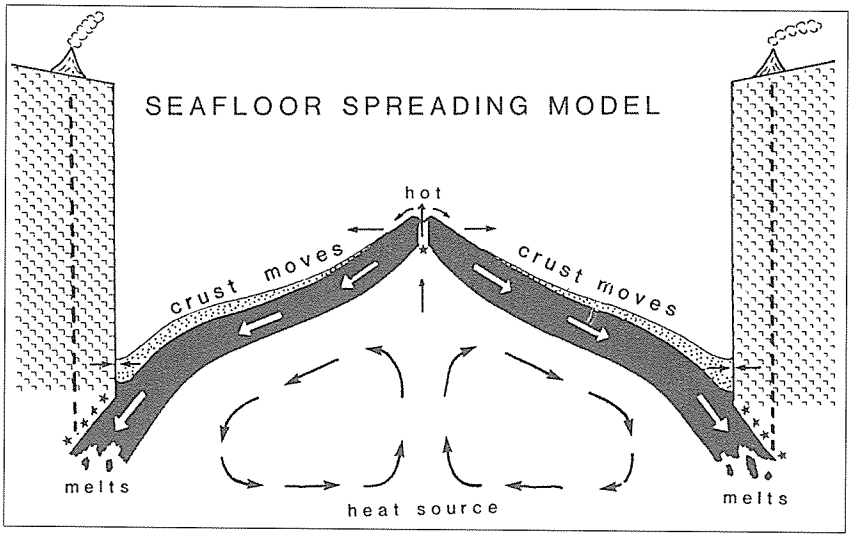
해저엔 현무암 덩어리

〈해저지형의 탐사〉 1950년대 미국의 라몬트(Lamont) 지질연구소에서는 주로 대서양의 해저지형과 지질에 관한 연구를 수행하였다. 이 연구결과, 대서양의 중앙을 따라 산맥(대서양 중앙해령)이 존재하고 그 중앙부에는 깊은 골짜기가 있다는 사실이 밝혀졌다. 그 후, 대서양에서 발생하는 지진의 위치를 해저지형도에 표시한 결과 진앙의 위치가 모두 해령의 중추부를 따라 배열된다는 사실도 알려졌다.

그리고 대서양 중앙해령과 같은 해저산맥이 다른 해양에도 있으리라고 예측하고 조사한 결과, 실제로 다른 해양에도 비슷한 해령이 분포한다는 사실을 알아냈고 이를 종합한 해저지형도가 완성되었다. 해저지형 조사와 함께 해양지각에 대한 조사도 병행되었는데, 해양지각은 현무암질 암석으로 이루어지며 두께도 평균 6km로 대륙지각의 35km에 비하여 훨씬 얇다는 것이 밝혀졌다.

한편, 대서양 중앙해령 부근에서 채취된 암석은 예상과 달리 두꺼운 퇴적물이 아니라 베개모양의 현무암 덩어리였고, 해령을 따라 방출되는 지열은 다른 지역의 8배나 되었다. 대서양의 대륙붕에는 수천m 두께의 퇴적층이 쌓여있는데 반하여 해령 부근에는 퇴적층이 없다는 사실을 어떻게 설명할 수 있을까?

〈해저확장설〉 1960년 경, 미국의 프린스턴대학 헤스(harry H. Hess)는 해령 주위에서 지열이 높고 베개모양의 현무암이 분포한다는 점을 설명할 수 있는 가설을 제안하였다. 헤스는 자신의 새로운 가설이 보수적 학계에 줄 충격을 완화하기 위하여 논문의 서두에 '지구에 관한 수필' 정도로 받아주기를 부탁하고 있다. 그의 가설에 의하면, 해저는 고정되어 있는 것이 아니라 중앙해령의 갈라진 골짜기를 따라 맨틀로부터 뜨거운 용암이 솟아오르기 때문에 지열이 높으며, 용암은 식어 현무암질의 해양지각을 형성하고, 서서히 해령의 양쪽으로 이동하여 대륙 연변부에서 지구 내부로 들어간다고 설명하였다 〈그림 1〉. 이 가설을 해저확장설이라고 부른다.



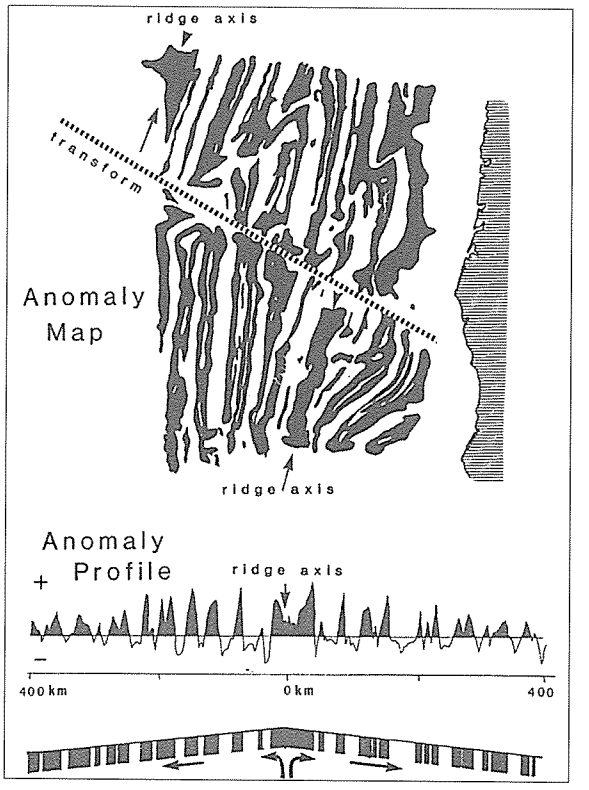
〈그림 1〉 헤스가 주창한 해저확장설의 개념을 모식적으로 표현한 그림

〈고지자기〉 지구가 하나의 커다란 자석과 같다는 사실은 일찍이 1600년경 길버트(William Gilbert)에 의하여 알려졌다. 암석 중에는 자성을 띠는 광물이 있다. 자성이 있는 광물입자가 다른 퇴적물과 함께 쌓일 때, 그 입자는 자장의 방향에 따라 배열될 것이다. 마찬가지로, 용암이 식으면서 암석이 만들어질 때, 일정한 온도(큐리점이라고 함) 이하로 냉각되면 어떤 광물은 자성을 띠고 당시의 자장방향에 따라 배열된다. 1950년대에 암석 속에 기록되어 있는 자기적 성질을 분석하면 암석 생성 당시의 극 위치와 위도를 알 수 있다는 이론적 바탕이 세워졌고, 그 결과 몇가지 놀라운 사실들이 밝혀졌다. 첫째, 시대를 달리하는 암석에 대한 고지자기 측정 결과 극의 위치가 시대마다 다르다는 점이었다.

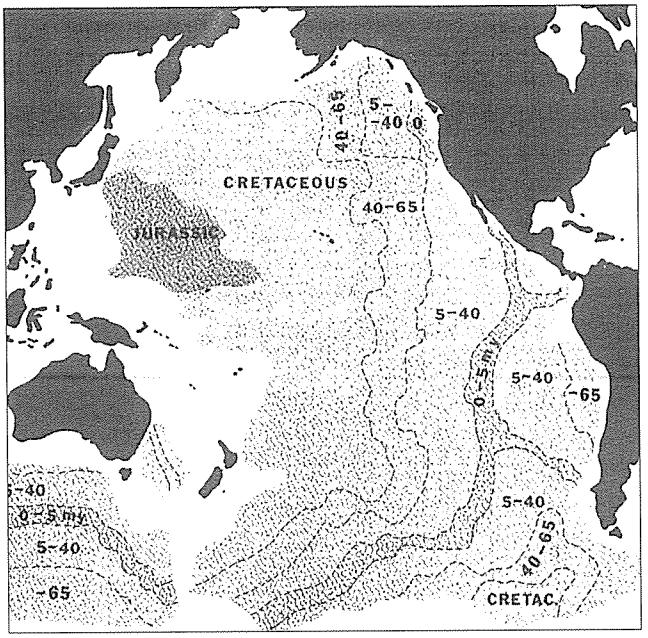
처음에는 자극 자체가 움직이는 것으로 생각했으나, 얼마 후 지구자기장의 축이 변한다는 것이 불가능하다는 결론 아래 대륙이 이동하면 마치 자극이 이동하는 것처럼 보일 것이라는 생각으로 발전하였다. 둘째, 1950년대 후반 미국 태평양 연안 해역에 대한 자기의 세기를 조사하는 과정에서 강하게 자화된 부분과 약하게 자화된 부분이 번갈아 나타나는 마치 얼룩말의 줄무늬와 같은 모습이 관찰되었다〈그림 2〉.

셋째, 지구의 자기장이 현재와는 반대로 배열된 시기가 있었다는 사실의 발견이다. 물론 반대방향으로 자화된 암석이 있다는 사실은 일찍이 1920년대에 알려져 있었지만, 그러한 역전현상이 지질시대동안 여러 번 일어났었다는 사실이 밝혀진 것이다. 1960년대 초까지 고지자기의 이러한 현상은 설명하기 어려운 수수께끼였는데, 해저암석에 대한 고지자기 연구가 진행되면서 자기세기의 강한 부분과 약한 부분이 번갈아 나타나는 것이 지구자기장의 역전 현상과 관련이 있다는 결과가 발표되었다.

나아가서 해저지각에서 알려진 자기세기의 얼룩말 무늬형태는 해저확장과도 관련이 있는 것으로 발전하였다. 즉, 해령에서 새롭게 태어난 암석은 식으면서 생성 당시의 지구 자기장 방향과 같은 방향으로 자화될 것이고, 지구 자기장이 수시로 바뀌었다면 해양지각의 암석에 자기장이 반복적으로 바뀌는 양상이 기록된다는 것이다〈그림 2〉.



〈그림 2〉 해저의 자기장 세기를 측정하여 평균값보다 센 부분과 약한 부분을 구분하여 표시하였을 때 얼룩말 무늬의 양상이 관찰되는데 이는 해저의 확장과 지구자기장 역전 현상으로 설명할 수 있다



〈그림 3〉 태평양 해저 암석의 나이 분포(단위는 백만년전)

해저 암석 나이는 2억년

〈해양지각의 나이〉 1960년대 심해저 탐사의 일환으로 시작된 심해저시추계획 (Deep Sea Drilling Project, 현재는 Ocean Drilling Project라고 함)에 의하여 채취된 해저암석에 대한 나이의 측정이 가능하게 되었다. 그 결과 해령에서 멀어짐에 따라 해양지각의 나이가 증가하고 마찬가지로 퇴적층의 두께와 나이도 증가한다는 것이 밝혀졌다〈그림 3〉.

또한, 해양지각 중 가장 오랜 암석의 나이가 2억년을 넘지 않는다는 사실도 알려졌는데 이는 대륙지각 중 가장 오랜 것이 40억년인 것에 비하면 무척 젊은 셈이다. 해양지각이 젊은 이유는 해저확장에 의하여 해구부근에 도달한 해양지각이 지구 내부로 들어가기 때문이라는 사실로 설명될 수 있다.

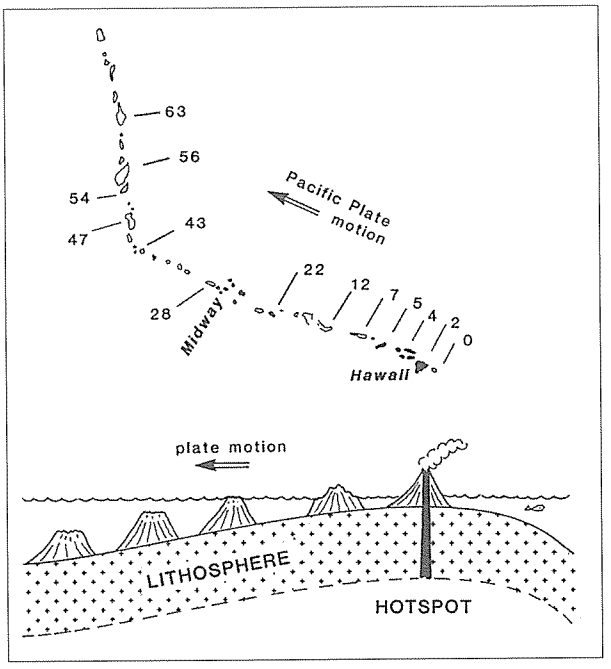
〈변환단층〉 해저지형도를 자세히 살펴보면, 해령은 지속적으로 연결되는 선구조가 아니라 이따금 해령에 거의 수직으로 배열된 기다란 단층에 의하여 어긋나 있음을 알 수 있다.

이 단층은 그 형태에 있어서 일반적으로 대륙에서 관찰되는 수평이동단층과 다르다. 이 단층의 형성과정에 관심을 가지고 있던 캐나다의 윌슨(Tuzo Wilson)은 여러 가지 가능성을 검토하여, 이 단층에 의하여 구분되는 해양지각은 해령을 중심으로 서로 반대방향으로 이동하였을 것으로 추정하였다.

이 해석에 의하면 해령과 해령사이에 있는 단층 부분에서는 지진이 발생하지만 해령으로부터 멀리 떨어진 부분에서는 지진이 일어나지 않는다는 점을 설명할 수 있다. 이러한 형태의 단층을 변환단층이라고 불렀다.

〈화산섬의 행렬과 열점〉 1963년 하와이섬을 방문하였던 윌슨은 하와이 열도를 관찰하고 매우 흥미로운 사실을 발표하였다. 현재 활동중인 킬라우에아 화산이 있는 하와이섬에서 북서쪽으로 가면 화산섬들의 화산활동이 멈추었을 뿐 만 아니라 섬의 나이도 증가하고 더욱 심하게 풍화된 양상을 보여준다〈그림 4〉. 더욱 북서쪽으로 가면 화산섬들이 해수면 아래로 잠기게 되고 수중화산들은 정상부분이 평평한 기요(guyot)의 모습이었다.

윌슨은 이러한 현상을 설명하는 메커니즘으로 태평양 해양지각 아래의 맨틀 깊은 부분에 마그마를 공급하는 통로가 있으며, 이 통로를 따라 지표면에 올라온 용암이 현재 하와이섬을 이루었다고 생각하고 이 지점을 열점(熱點)이라고 불렀다. 이 열점은 고정되어 있으며, 따라서 태평양 해양지각이 서쪽으로 이동해 감에 따라 화산이 줄지어 만들어진 것이라고 설



〈그림 4〉 하와이 섬에서 북서쪽으로 갈수록 화산섬의 나이가 증가한다(단위는 백만년전)

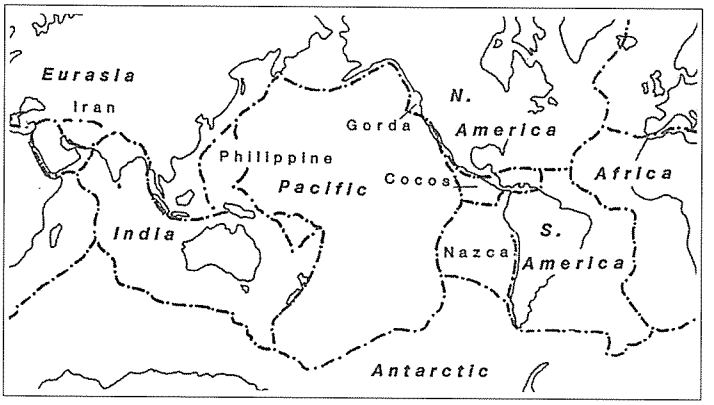
명하였다. 열점으로부터 멀어진 화산섬은 지각의 냉각과 함께 수심이 깊어져 점점 가라앉게 되고, 화산의 정상부가 해수면에 접근하였을 때 파도의 침식작용에 의하여 깎여 산꼭대기 부분이 평평한 기요를 이루게 되었다고 설명하였다.

〈호상열도와 해구주변의 지진활동〉 태평양 서쪽의 가장자리에는 북반구에서 남쪽으로 가면서 알류산열도, 쿠릴열도, 일본열도, 필리핀열도 등 화산활동이 활발한 호상열도(弧狀列島)를 이루고 있으며, 이 호상열도와 나란히 태평양쪽에는 깊은 골짜기 즉 해구(海溝)가 배열되어 있다. 해구는 수심이 5,000m 이상이며, 가장 깊은 마리아나 해구는 11,600m로 알려져 있다. 태평양 연안의 지진활동을 연구하던 학자들은 진원의 위치가 해구에서 대륙쪽으로 가면서 서서히 깊어져 가장 깊은 곳은 700km까지 이르며, 마치 경사진 면을 따라 지진이 발생하는 것처럼 보인다는 사실을 알아냈다. 처음에는 이러한 진원의 분포가 무엇을 의미하는지 알지 못했지만, 1960년대 후반 해저확장설과 연결하여 해구에 도달한 해양지각이 맨틀 속으로 사라질 때 일어나는 현상이라고 생각하게 되었다.

즉, 해령에서 생성된 뜨거운 해양지각은 비교적 가볍기 때문에 주변의 해저보다 높은 고도를 유지하다가 해령에서 멀어지면서 식으면 밀도가 증가하고 이에 따라 수심이 점점 깊어져 해구에 도달하였을 때 가장 깊어지는 것으로 설명할 수 있다. 해구에서 맨틀로 들어가는 해양지각과 대륙지각 사이의 마찰에 의하여 지진이 발생하고, 깊은 곳에서는 부분적으로 지각물질이 용융되어 지각의 약한 부분을 뚫고 올라온 화산들에 의하여 호상열도가 만들어졌다고 설명한다.

판구조론 바탕 연구활발

이상에서 소개한 내용들은 모두 1950년대와 1960년대에 걸쳐서 수행되었다. 처음에는 각 분야의 연구들이 독자적으로 이루어졌기 때문에 서로 밀접한 관련이 있다는 사실을 몰랐지만, 연구가 진행되면서 이들 현상을 통합적으로 설명할 수 있다는 사실을 알게 되었다. 윌슨은 지구의 겉 부분이 여러 개의 판(plate)으로 이루어졌다고 제안하였고, 1968년 프린스턴 대학의 모오간(W. J. Morgan)에 의하여 지구 표면은 해령, 해구, 습곡산맥 그리고 변환단층에 의하여 구분되는 여러 개의 단단한 판으로 이루어지며 각 판은 서로 상대적으로 움직이고 있다는 내용이 발표되었다〈그림 5〉. 이 개념을 판구조론(Plate Tectonics)이라고 부른다. 20세기의 마지막 30년은 바로 이 새로운 지구이론인 판구조론을 바탕으로 지구를 연구했던 시기라고 할 수 있다. 현재 지구상의 대륙과 해양이 움직이고 있다는 사실을 받아들인다면, 지구 생성 이래 지구의 모든 부분이 끊임없이 이동해왔으며 앞으로도 계속 변하리라고 예상할 수 있다. 판구조론은 현재 지구상에서 일어나고 있는 여러 가지 자연현상을 잘 설명해 줄 뿐 만 아니라 지구의 과거와 미래의 모습을 상상할 수 있게 해준다. 실제로 지난 5억년 전 이후의 대륙과 해양의 역사는 비교적 상세히 알려져 있다. 그러나 시대가 오래면 오랠수록 그 발자취를 알아보기가 어렵다. 현재 많은 학자들이 오랜 옛날의 대륙과 해양의 발자취를 추적하기 위하여 연구를 하고 있다. 이와 병행하여 지구 겉부분의 판을 이동시키는 원동력을 이해하기 위한 연구들도 활발하게 수행하고 있다.



〈그림 5〉 현재 지구상에는 7개의 주요판과 여러 개의 작은 판이 분포한다

판구조론에 의하면, 지금 지구상에서 일어나고 있는 화산활동이나 지진발생은 단순한 천재지변이 아니라 살아있는 지구의 숨소리며 기지개라고 할 수 있다. 만일 그러한 활동이 없다면, 우리의 지구는 수성이나 화성과 마찬가지로 생명이 살 수 없는 행성이 되었을 것이다. 앞으로 다가오는 21세기에도 판구조론에 바탕을 둔 지구의 이해에 초점을 맞춘 연구들이 진행될 것이다. ST