

베게너의 대륙이동설 사례에서 드러난 과학 활동에서의 이론 선택 과정 연구

김민아
(서울대 지구환경과학부)

I. 들어가는 말

고등학교에서 처음 지구과학을 공부하게 되면서 가장 중요하게 배우는 것 중 하나는 판구조론이다. 이 때 학생들은 판구조론의 모태가 된 베게너의 대륙이동설 역시 함께 배우게 된다. 이에 대해 흔히 듣는 설명은, ‘베게너의 대륙이동설은 당시 대륙이동의 원동력을 제시하지 못해 받아들여지지 못했다’는 것이다. 이 글은 이러한 설명에 의문을 제기하고 그에 맞는 답을 스스로 찾아나가기 위한 시도라고 할 수 있다.

대륙이동설에서 시작하여 40년 후 판구조론의 성립에 이르기까지 지질학 혁명 과정은 다른 과학혁명만큼은 아니지만 그래도 적지 않은 수의 학자에 의해 분석되어 왔다. 지질학 혁명 과정에서 과학자 사회가 보여준 격렬한 적개심과 또 그에 대비되는 판구조론의 수월한 수용은 많은 과학철학자들과 과학사학자들에게 흥미로운 모습이었으리라 짐작한다. 그들이 한 연구의 주된 작업은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫째는 지질학 혁명이 어떠한 특성을 가지고 있는지 기존 과학철학자들이 제시한 방법론적 틀을 적용하여 살펴보는 것이고, 둘째는 이러한 과정에서 관찰되는 과학 활동에서의 합리성에 대해 탐구해보는 것이다. 나 역시 지질학 혁명 과정이 과학 활동에서 이론 선택의 과정이 어떻게 이루어지는지를 분석하기에 좋은 사례가 될 수 있으리라 판단했다.

글의 순서는 다음과 같다. 먼저 지질학 혁명 과정을 소개하는 데에서 시작할 것이다. 지질학 혁명이 오랜 기간 동안 이루어진 과학 혁명

이기에 아주 방대한 분량으로 세세히 설명할 수도 있겠지만 이 글에서는 뒷부분에 이루어질 철학적 고찰에 필요한 만큼만 요약하여 설명하고자 한다. 그 다음 장에서는 베게너의 이론이 받아들여지지 않은 원인을 탐색해보는 작업을 하려고 한다. 이를 위해 먼저 당시 베게너의 이론과 경쟁 이론이 각각 가지고 있던 문제를 정리해보고, 이에 대하여 어떤 설명이 가능할 것인지를 하나씩 생각해보고자 한다. 그리고 최종적으로는, 이러한 사례 연구를 통해서 경쟁하는 두 이론을 선택하는 문제에서 어떤 요인이 개입할 수 있는지를 알아보하고자 한다.

II. 지질학 혁명 개요

1. 당대의 지구관¹⁾

대륙이 이동하여 지금과 같은 모습을 하게 되었을지도 모른다는 생각을 한 사람이 베게너가 처음은 아니다. 15세기 영국의 학자 프랜시스 베이컨(Francis Bacon, 1561-1626) 역시 대서양을 사이에 두고 있는 남아메리카와 아프리카의 해안선이 서로 비슷하다는 점을 보고 그런 생각을 떠올린 사람 중 하나였다. 그러나 여러 가지 증거들을 수집하고 정리하여 체계적인 이론으로 발전시킨 사람은 베게너가 최초인 것 같다. 그가 대륙이동설을 주장할 당시 지질학에서 지배적인 이론은 불변설(permanentism)과 수축설(contractionism)이었다. 이 절에서는 베게너가 대륙이동설을 내놓았을 당시 맞서야 했던 두 이론에 대하여 간략하게 소개해보도록 하겠다.

불변설은 지금 우리에게 보이는 지표가 지구 역사 초기에 발생한 사건들의 흔적이며 그 사건들 이후로 지표의 모습은 지금까지 거의 변하지 않았다는 가설이다. 불변설을 지지하는 사람들에 따르면, 대륙은 횡적으로 이동하지 않고 사라지지도 않는다. 이 가설은 북미 지질학자들

1) 참고: 최덕근(2003). 『지구의 이해』, 서울대학교출판부, pp. 203-222.

에 의해서 오랫동안 주로 수용되었으며 가장 대표적인 사람으로는 미국 예일대학의 지질학 교수였던 제임스 D. 데이나(James Dwight Dana, 1813-1895)였다. 그가 당시 외친 슬로건은 “한 번 대륙이면, 계속해서 대륙; 한 번 해양이면, 계속해서 해양(Once a continent, always a continent; once an ocean, always an ocean)”²⁾이었다.

수축설은 원시 지구가 뜨겁게 녹아 있는 상태에서 출발하여 식으면서 서서히 굳게 되었고 그 과정에서 수축하게 되었으며 현재까지도 냉각과 수축은 진행되고 있다는 가설이다. 이렇게 지구가 수축하면서 표면에 주름이 생기게 되었고 이 때 높은 부분은 대륙과 산맥을 만들고 낮은 부분은 바다를 이루었다. 따라서 이 가설에 따르면 대륙이 위아래로 움직일 수는 있어도 횡적으로 이동할 수는 없다. 수축설은 주로 유럽 지질학자들에 의해서 수용되었는데 그중 가장 대표적인 주창자는 오스트리아의 지질학자 쥐스(Eduard Suess, 1831-1914)였다. 그는 남아메리카와 아프리카, 인도의 고생대 지층에서 같은 종류의 육상식물과 파충류 화석이 발견되는 현상을 육교(landbridge)와 곤드와나(Gondwana)의 존재를 들어 설명하고자 했다. 그에 따르면 깊은 바다를 사이에 두고 멀리 떨어져 있는 대륙 사이에는 가늘고 긴 육교가 과거에 존재했었다. 그리고 이렇게 연결된 대륙을 묶어 그는 곤드와나라고 불렀다. 이 육교를 통해서 과거에는 생물들의 이동이 가능하였지만 수축이 더욱 더 진행되면서 육교는 물속에 잠기게 되었다.

그러나 이들의 이론은 여러 가지 문제를 안고 있었다. 베게너의 대륙이동설이 가지고 있었던 문제점과 함께 이는 3장 1절에서 자세히 살펴해보도록 하겠다.

2. 대륙이동설의 등장

정확하지는 않지만 베게너는 당시 브라질과 아프리카 사이의 육교

2) Le Grand, H. E. (1988). *Drifting continents and shifting theories*. Cambridge: Cambridge University Press, p.21. (한글 번역은 본인 번역)

에 대해 고생물학적 증거들을 바탕으로 기술한 논문들을 보고서 대륙 이동에 대해 관심을 갖게 된 것으로 보인다. 대륙이동을 다룬 논문은 미국의 테일러(Frank B. Taylor, 1860 - 1938)와 독일의 베게너(Alfred Lothar Wegener, 1880-1930)에 의하여 거의 동시에 소개되었다. 이 글에서는 베게너가 이야기한 대륙이동설에 집중하도록 하겠다.

대륙이동설(continental drift theory)이란, 고생대 말에는 지구상의 모든 대륙이 한 곳에 모여 있었으나, 그 후 대륙이 갈라져 이동하여 현재의 모습에 이르게 되었다고 주장하는 가설이다. 이렇게 고생대 말 커다란 대륙으로 모아져있던 것을 초대륙(supercontinent) 판게아(Pangaea)라고 불렀다. 베게너는 어떤 증거를 가지고 이런 주장을 하게 된 것일까? 여기에는 그의 배경을 살펴볼 필요가 있다. 그는 기상학자이면서 고기후학자였다. 그는 멀리 떨어져있는 남아메리카와 아프리카의 대륙을, 길고 가느다란 육교로 연결시키는 것보다는 오히려 한 덩어리였던 것이 나중에 가서 갈라진 것이라고 설명하는 편이 더 낫다고 생각했다. 그가 대륙이동의 증거로 제시한 것들은 다음과 같다.

가장 독창적인 것은 고기후(paleoclimate) 분포를 이용한 증거이다. 보통 어느 특정 지역의 퇴적암을 분석하면 그 지역이 가졌던 과거의 기후를 추측할 수 있다. 예컨대 빙하 퇴적물은 그 퇴적암이 형성될 당시 극지방이었다는 것을 나타내고, 두꺼운 석탄층이 발견되는 지역은 해당 지역이 과거 적도 지방의 울창한 수풀을 이루었던 곳임을 추측할 수 있다. 베게너는 이러한 고기후 분포, 지질학, 고생물학 자료 등 방대한 양의 과학적 자료를 모아 1912년 『대륙과 해양의 기원』이라는 저서를 발간하였다.

베게너에 따르면, 지구는 다른 구성과 밀도를 가진 껍질들(shells)로 이루어져 있고 이 껍질들은 지구 중심, 즉 핵으로 가까이 갈수록 온도는 더욱 더 높아진다. 대륙 지각은 시알(Sial : silica+alumina)로 이루어져 있고 해양 지각은 시마(Sima : silica+magnesia)로 이루어져 있다. 시알은 가볍고 시마는 시알보다 훨씬 무겁다. 마치 바다에 떠다니는 빙하처럼 시알은 밀도가 더 큰 시마 위를 표류하고 있다. 한 때 대륙들은 초대륙 판게아로 함께 붙어있었는데 판게아는 중생대 백악기 때 분리

되기 시작했다. 그 후로 시알은 아프리카와 남아메리카 대륙처럼 서로 멀어지기도 하고, 인도와 아시아 대륙의 충돌 때문에 생긴 히말라야 산맥처럼 다시 충돌하면서 산맥을 형성하기도 한다.

베게너가 대륙을 이동하게 하는 힘으로 제시한 것은 두 가지이다. 하나는 대륙들을 극으로부터 적도 쪽으로 이동시키는 극으로부터의 원심력(Pohlflucht force)이고, 다른 하나는 조석으로 인한 마찰력이다. 조석 마찰력은 단단한 대륙물질들 위에 작용하여 대륙들을 서쪽 방향으로 이동시키는 역할들 한다.

또 그는 정량적인 계산을 통해 현재도 대륙이 이동하고 있다는 사실을 보여주려고 노력했다. 그는 그리니치 천문대를 기점으로 그린란드의 덴마크 관측소(Kornor)의 위치를 정기적으로 측정하였다. 그는 코르노의 위도를 그리니치 천문대를 기점으로 측정하였을 때 1922년에는 서쪽으로 3시간 24분 22.5초였는데, 1927년에는 3시간 24분 23.4초였다고 주장했다. 이것은 5년 동안 0.9초 늦어졌다는 것을 의미했으며 따라서 그는 두 지점이 1년에 약 36m씩 멀어지고 있다고 결론지었다.

3. 대륙이동설을 둘러싼 비판들

처음 베게너의 저서 『대륙과 해양의 기원』은 독일어로 쓰였다. 그런데 당시가 제 1차 세계 대전 중이어서 다른 나라에서는 큰 방향을 일으키지 못하다가 1924년이 되어서야 영어, 프랑스어, 스페인어 등으로 번역되면서 큰 논란을 불러일으키게 되었다. 당시의 과학계는 지역적으로 조금씩 다른 반응이 있었던 것으로 보인다.³⁾ 그들이 베게너의 이론에 대하여 비판을 가했던 지점은 주로 다음과 같다.

첫째, 베게너가 빙하 퇴적층이라고 주장하는 지층이 빙하에 의하여 쌓인 것이라고 단정할 수 없다. 둘째, 대서양 양쪽 대륙의 해안선은 실제로 정확하게 들어맞지는 않는다. 셋째로 가장 결정적인 비판은 베게

3) 지역별로 드러난 학자들의 반응에 대해서는 헨리 프랑켈의 최근 저서에 잘 연구되어 있다. (Henry R. Frankel, 2012)

너가 제시했던 대륙이동의 원동력에 가해졌다. 베게너가 대륙이동의 원동력으로 제시한 힘은 지구 자전에 의한 원심력과 달과 태양의 인력에 의한 조석마찰력이었다. 그러나 이는 당대의 저명한 지구물리학자 헤럴드 제프리(Harold Jeffreys, 1891-1989)에 의해 완전히 거부당했다. 제프리는 만약 조석마찰력을 끌어들인다면, 지구는 현재 자전을 멈춘 상태여야 하고 또 지구의 겉부분은 높고 낮음이 없는 완벽한 구형을 이루어야 한다는 것을 수학적으로 증명하여 베게너의 주장을 반증하였다. 또 그가 계산한 그린란드의 이동속도와 대륙의 분리 시기 역시 틀렸다는 것이 그들의 주장이었다.

이후 베게너의 대륙이동설을 비판하는 아주 많은 논문들이 출판되었다. 유럽의 일부 학자들은 알프스 산맥의 복잡한 습곡과 단층의 생성 메커니즘, 또 남아메리카와 아프리카의 지질학적, 고생물학적 유사성을 설명하려면 베게너의 대륙이동설을 인정할 수밖에 없다고 주장하기도 했지만 전반적으로 과학계에서는 대륙의 횡적 이동이 불가능하다는 것이 지배적인 의견이었다.

4. 판구조론의 정립

베게너의 대륙이동설이 다시 빛을 본 것은 약 40여년이 흐른 뒤였다. 제 2차 세계대전이 끝난 뒤, 당시 전쟁에 사용되었던 많은 군사장비들이 자연스럽게 과학 연구 활동에 쓰이게 되었다. 특히 미국 해군에서 사용하였던 침단의 전자장비들이 해양탐사에 투입되면서 엄청나게 많은 새로운 데이터들을 얻게 되었다. 이후 전쟁 때 주로 잠수함을 탐지하는 기술로 쓰였던 음향파를 이용하여 해저지형의 탐사⁴⁾가 이루어지

4) 해저지형의 탐사는 1912년 타이타닉(Titanic)호가 빙산에 부딪혀 침몰한 이후에 활발해졌다. 제2차 세계 대전 때에 주로 잠수함을 탐지하는 기술로 쓰였던 음향파를 이용하여 물체의 위치를 찾는 연구가 시작되었다. 그리고 이 기술을 이용해서 해저지형을 탐사하다가 해령을 발견하게 된 것이다. 이때 해령을 따라 방출되는 지각열류량을 측정해보니 다른 지역보다 5배나 높다는 것을 발견하게 되었고 이는 해저확장설을 설립하는데 큰 실마리가 되었다.

고, 방사성 동위원소를 이용하여 해양지각의 나이⁵⁾를 측정할 수 있게 되었으며 19세기 말엽 퀴리부인의 연구 결과를 등에 업고 고지자기 연구⁶⁾가 가속화 되면서 대륙 이동에 대한 실마리가 풀리기 시작했다.

특히 프린스턴 대학 지질학 교수였던 헤스(Harry H. Hess, 1906-1969)의 공이 컸다. 베게너 이론의 가장 큰 약점은 거대하고 무거운 대륙이 어떻게 이동할 수 있는지를 밝히지 못했다는 점이었다. 이 약점은 1962년 헤스의 해저확정설에 의해 비로소 풀리게 된다. 헤스에 따르면 지구 내부는 대류하고 있다. 해령은 이 대류에서 상승하는 부분으로 해령의 갈라진 골짜기를 따라 마그마가 방출하고 뜨거운 용암이 솟아오르면서 새로운 해양지각이 만들어진다. 이렇게 만들어진 해양지각이 서서히 해령의 양쪽으로 이동하여 대륙 연변부에서 지구 내부로 다시 섭입해 들어간다. 이것이 바로 그가 주장하고, 또 대륙이동의 원동력으로 제시된 해저 확장설이었다.

이처럼 판구조론으로 통합되기 전 각 분야마다 독자적으로 연구가 이루어졌다. 당대의 과학자들은 이러한 연구 결과가 서로 관련이 있다는 것을 알지 못하다가 연구가 진행이 되면 필수록 이들의 현상을 통합적으로 설명할 수 있다는 생각을 갖게 되었다. 그렇게 계속 연구 결과를 쌓아나가다가 후에 판구조론으로 이론이 모두 수렴되어 통합되었

5) 1960년대에 이르러서야 방사성 동위원소를 이용한 암석의 연력측정이 보편화되기 시작했다. 그 무렵에 심해시추계획(Deep Sea Drilling Project)의 주요 목표는 해저에서 채취한 암석의 나이를 측정하는 것이었다. 이러한 연구결과들은, 해령에서 멀어짐에 따라서 해양지각의 나이가 오래되고 퇴적층의 두께와 나이도 함께 증가한다는 것을 보여주었다.

6) 19세기 말엽 프랑스의 퀴리(Pierre Curie)의 연구결과에 따르면, 용암이 식어서 굳을 때 일정한 온도(580~600℃)에 도달하면 어떤 광물은 자성을 띠게 된다. 그래서 광물이 자성을 띠기 시작하는 그 온도를 퀴리점(Curie point)라고 부른다. 따라서 마그마에서 광물이 생성될 때, 광물 알갱이는 그때 지구의 자기장 방향에 따라 배열된다. 마찬가지로 자성이 있는 광물 알갱이가 퇴적될 때 그 알갱이 또한 당시의 자기장 방향에 따라 배열된다. 이처럼 암석에 옛날 지구의 자기가 기록되게 되는 것이다. 이렇게 기록된 것을 고지자기라고 한다. 그러므로 어떤 지역의 암석에 기록된 자기장의 내용을 알면, 암석 생성 당시의 극 위치와 그 암석이 생성된 지점의 고위도를 알아낼 수 있게 된다.

다. 현재 우리는 인공위성을 통해 실제로 판의 움직임을 관찰하며 예측하고 그 속도를 정확하게 구할 수도 있다. 판 구조론은 현재 지구상에서 일어나고 있는 여러 가지 자연현상을 잘 설명해줄 뿐만 아니라 지구의 과거와 미래의 모습까지 그려볼 수 있게 한다.

Ⅲ. 지질학 혁명의 철학적 고찰

지금까지 베게너가 처음 대륙이동설을 주창할 당시부터 그 후 40년이라는 시간이 지나 판구조론이 지질학 분야에서 하나의 패러다임으로 정착하기까지의 과정을 살펴보았다. 앞서 이야기했듯 지질학 혁명 과정이 보여주는 여러 가지 면모는 몇몇 과학철학자와 과학사학자들에게 흥미거리를 제공하기에 충분한 것이었다. 지질학 혁명 과정을 분석한 기존의 연구로는 존 스투어트(Stewart, J. A., 1990), 르 그랑(Le Grand, H. E., 1988), 나오미 오레스케스(Oreskes, N., 1999), 헨리 프랑켈(Frankel H., 2012), 그리고 둔자 세셀자와 데릭 웨버(Dunja Šešelja & Erik Weber, 2012)의 연구들이 있다. 국내에서 이루어진 연구는 거의 전무하다고 할 수 있었는데 필자가 참고한 논문은 신광복(2001)의 글이 유일하다.

지질학 혁명 과정을 검토한 대다수의 선행연구자들은 스투어트를 제외하고는 지질학 혁명을 설명하는데 있어서 토마스 쿤의 분석보다는 래리 라우단의 분석이 더 적합하다고 보고 있다. 앞서 언급한 연구자 중에서는 르 그랑과 프랑켈이 그러하다. 반면 스투어트는 토마스 쿤의 과학혁명 개념으로 지질학 혁명을 분석한다. 최근의 연구들은 대체적으로 당시 베게너의 이론이 받아들여지지 않은 것을 합리적인 요인으로 분석하고 있으며, 따라서 1910-1920년대에 베게너의 이론이 받아들여지지 않았던 것과, 이후 1960년대에 판구조론이 수용되었던 것 모두 합리적인 것으로 보고 있다. 둔자 세셀자와 데릭 웨버의 최근 연구는 굉장히 흥미롭다. 이들은 기존의 연구가 이론 수용의 맥락(the context of acceptance)에서만 이루어졌다는 점을 지적하며 베게너의 가설이 받아들여지지 않은 것은 수용의 맥락에서 보면 합리적이었지만 추구의

맥락(the context of pursuit)에서 보면 비합리적이었다는 점을 그들만의 판단 기준을 개발하여 보이고 있다.

이 장에서는 베게너의 가설이 받아들여지지 않은 이유에 대하여 철학적으로 고찰해보고자 한다. 이를 위해서 먼저 대륙이동설을 둘러싼 논쟁들에 있어서 주요한 쟁점으로 떠올랐던 것들을 지적해보고자 한다. 그리고 이러한 쟁점 들 중에서 어떤 것이 더 중요했는지를 살펴본다. 베게너의 대륙이동설이 거부되었던 것이 도대체 무엇 때문이었는지를 알아보려고 한다. 먼저 존 스튜어트의 지적한대로, 베게너의 대륙이동설이 받아들여지지 않은 이유에 사회적 요인이 결정적이었는가를 살펴보고자 한다. 여기에는 토마스 쿤의 방법론적 개념들을 사용할 것이다. 그러나 나는 이 설명이 불만족스럽다는 결론을 내리고 좀 더 당대의 논쟁을 자세히 들여다보아 당대의 주류 과학자들이 왜 베게너의 대륙이동설을 거부할 수밖에 없었는가를 합리적 요인에 초점을 맞추어 탐구해보고자 한다. 그리고 마지막 절에서는 라우단의 분석을 빌려 합리적 요인으로 인하여 베게너의 대륙이동설이 수용되는 것을 거부되었기는 하지만 그럼에도 불구하고 왜 더 추구할 가치가 없는 이론으로까지 전락하였는가를 살펴보고자 한다.

1. 대륙이동설과 경쟁 이론간의 주요 쟁점들⁷⁾

1.1 불변설과 수축설이 가지고 있던 문제

- (1) 불변설은 떨어져있는 두 대륙 간의 고생물학적 연관을 설명하지 못한다. 이는 화석으로 남아있는 자료에서 보이는 연관성뿐만이 아니라 현재 살아있는 종들과의 연관성에서도 마찬가지이다. 만약 대륙과 바다가 고정되어있어 움직이지 않는다면 넓은 대양을 사이에 두고 관찰되는 종들간의 유사성을 설명하기 어렵다. 대륙

7) 참고: Dunja Šešelj & Erik Weber (2012). "Rationality and irrationality in the history of continental drift : Was the hypothesis of continental drift worthy of pursuit?," in *Studies in History and Philosophy of Science* 43, p. 148.

이동설은 초대륙을 설정함으로써 이러한 종들간의 유사성을 설명하고 수축설은 가라앉은 대륙(곤드와나)나 가라앉은 육교를 설정함으로써 설명할 수 있다.

- (2) 불변설은 또 대륙 간 지질학적 유사성 또한 설명 못한다. 산맥들과 석탄층들은 떨어져있는 대서양을 사이로 하여 양 대륙 간의 경계에서 지질학적 유사성을 보여주고 있다. 대륙이동설은 이를 쉽게 설명할 수 있는 반면 수축설 역시 대서양에 가라앉은 부분이 역시 같은 지질학적 구조를 가지고 있다고 가정해야한다. 이렇게 되면 수축설은 길고 가는 육교와 같이 식물이나 동물들을 위한 다리 같은 것이 아니라 가라앉은 대륙을 설정해야 하며 또 그것이 양 대륙과 지질학적으로 연결되어있다고 설명해야한다.
- (3) 수축설은 당시 여러 가지 측정으로 잘 받아들여지고 있던 지각 평형설⁸⁾과 모순된다. 대륙 지각으로 이루어져있을 육교는 더 무거운 해양지각을 뚫고 가라앉을 수 없다. 가라앉은 대륙인 곤드와나도 마찬가지이다.
- (4) 수축설은 방사성동위원소와의 발견이 주는 함의와도 양립 불가능한 이론이었다. 물리학자들은 방사성 동위원소들이 지구 지각에 분포하고 있다는 것을 발견했다. 방사성 동위원소들은 붕괴되면서 열을 발생시킨다. 따라서 이러한 방사성동위원소의 존재는 지구가 그 내부적으로 열을 계속해서 잃어왔다는 수축설의 주장과 상충한다. 수축설을 주장하던 과학자들은 알프스 산맥의 형성을 설명하기 위해 1200℃ 정도가 하강하였다고 가정했는데 이는 붕괴된 방사성 동위원소가 내뿜은 열과 대치되는 이야기였다.
- (5) 수축설은 대륙과 대양저의 열류량을 설명하지 못한다. 수축론자들의 견해에 따르면 지구의 표면은 식어서 수축하는 것이므로 대륙보다 대양저의 열류량이 더 커야 한다. 그런데 실제 관측 결과 대륙과 대양저에서의 열류량은 같았다.

8) 지각 평형설(isostasy)은 지각이 밀도가 큰 하부층에 떠 있으면서 고밀도층에 의한 부력과 중력 사이의 평형을 이루고 있다는 가설이다.

1.2 대륙이동설이 가지고 있던 문제

- (1) 베게너는 대륙 이동을 설명하기 위해 제안한 극으로부터의 원심력과 조석마찰력은 대륙을 이동시키기에는 너무 약한 힘이였다. 당시 계산에 따르면, 이 힘의 100만 배 정도는 더 강한 힘이 필요했다.

“지구(를 이루는 땅덩이)가 어느 정도 유체처럼 굳다는 것은 정말 맞는 말이지만 아무도 해저가 액체와 같다고 하지는 않았다. 해저는 밀도 있는 현무암으로 이루어져 있다. 어떻게 이러한 해저 바닥을 산산 조각내는 것 없이 대륙이 이를 거쳐 횡적으로 이동할 수 있단 말인가? 어떤 거대한 힘이 대륙을 움직일 뿐만 아니라 해저 바닥을 구겨 알프스, 로키, 안데스와 히말라야 산맥을 형성시켰단 말인가? 베게너가 제안한 힘은 실제 존재하는 것이긴 하나 너무 약하다. 그 힘보다 100만 배는 더 강한 힘이 필요하며, 만약 그런 힘이 정말 존재했다면 물리학자에 의해서 분명 발견되었을 것이다.”

“the earth did behave like a fluid in some respects, but no one was proposing that the ocean floors were in fact liquid: they were composed of dense, basaltic rocks. How could the continents move laterally through such floors without crumbling to bits? What enormous force not only moved the continents but had crumpled them up to form the Alps, Rockies, Andes and Himalayas? The forces which Wegener invoked did exist but they were far too weak. A force nearly 1000000 times stronger was needed. and if it did exist it would surely have been noticed by physicists.”⁹⁾

- (2) 베게너는 그린란드를 탐험하면서 대륙이 실제로 지금도 이동하고 있다는 것을 정량적으로 측정하고자 했다. 그러나 그 측정이 정확하지 않다는 점이 다른 과학자들에 의해 드러났다.

9) Le Grand, H. E. (1988). pp. 55-56. (한글 번역은 본인 번역)

1.3 세 이론이 모두 가지고 있던 문제

세 이론이 공통적으로 가지고 있던 문제는 바로 떨어져있는 대륙 간 해안선의 모양이 서로 비슷하다는 점을 세 이론 모두 정확히 설명하지 못한다는 것이었다. 예컨대 아프리카와 남아메리카 대륙이 그러하다. 비록 베게너는 이러한 일치하는 해안선의 모양이 그의 가설을 지지해 준다고 주장하였지만 수축설과 불변설을 주장하는 학자들은 그 모양이 정확하게 일치하지 않는다고 인정하지 않았다.

1.4 무엇이 더 문제인가?

흔히 베게너의 대륙이동설이 당대의 받아들여지지 않았던 가장 큰 이유로 거론되는 것은 (5)번이다. 그러나 불변설과 수축설이 가지고 있었던 문제들과 비교해보았을 때 대륙이동의 원동력 문제는 그리 치명적인 결함으로 보이지 않는다. (2)번과 (3)번 문제는 불변설과 수축설에 완전히 상충되는 것이어서 불변설과 수축설의 성립 자체를 흔드는 것이었다면 (5)번 문제와 같은 경우에는 단지 대륙이동설을 덜 설득력 있게 만들 뿐이었다.

더구나 대륙이동설이 원동력을 정확히 설명하지 못했기 때문에 받아들여지지 않았다고 이야기하는 것은 그것의 원동력이 정확히 규명되지 않았음에도 불구하고 잘 받아들여진 많은 이론들을 볼 때 정당하지 않은 처사라 할 수도 있겠다. 중력과 빙하기의 존재가 그러하고 또 다윈의 진화론도 그렇다. 또한, 베게너의 생존 당시 대륙의 횡방향 이동을 설명할 수 있는 원동력에 해당하는 여러 가지 가설들이 이미 많이 제안되었다. 심지어 아서 홈즈가 제안한 대륙 표이 개념은 현재 판구조론에서 결정적인 역할을 한 헤스의 해저 확장설과 매우 유사하기까지 하다.¹⁰⁾

10) 신광복 (2001). 「20세기 지질학 혁명의 철학적 재고찰」, 서울대학교 과학사 및 과학철학 협동과정 이학석사학위논문, pp. 23-24.

2. 사회적 요인에 대한 분석

그렇다면 불변설과 수축설에 비해 모자랄 것이 없어 보이는 대륙이동설이 당대에 받아들여지지 않은 것은 사회적인 요인에 의해서인가? 실제로 대륙이동설을 둘러싼 논란에 대한 사회학적 분석이 이루어져왔다.

그 중 스튜어트는 토마스 쿤의 과학혁명 개념에 입각하여 지질학 혁명 과정에서 사회적 요인이 어떻게 작용하였는가를 정량적으로 분석하였다. 그에 따르면, 과학자들은 자신들의 이해관계와 가장 양립 가능한 이론을 선택한다. 이때의 이해관계는 과학적 요인과 사회적 요인을 모두 포함하는 것인데 이 때 과학적 요인은 특정 문제를 해결하기 위해 이론을 사용하려는 욕구를 말하고 사회적 요인은 자신의 사회적 지위를 지키고 싶은 욕망, 자신이 주장한 이론을 지키고 싶은 욕망 등이 포함된다. 그는 과학자들의 이해관계에 해당하는 여러 가지 변수들(과학자의 전공, 연구지역, 지질학 저널에 기고한 횟수 등)을 범주화한 후 상관관계를 조사하여 정량화한 뒤, 탁월한 과학자들일수록 대륙 표이설에 저항적이었다는 결론을 내린다. 이러한 관점에서 그는 과학자가 이론 선택을 할 때 가장 중요하게 작용하는 요인은 바로 과학자 자신들이 처한 사회적 상황에 따른 사회적 요인들이라고 주장하기에 이른다.¹¹⁾

그러나 그의 분석에는 몇 가지 문제가 있다. 그 문제는 바로 그가 정량화한 작업들에 있다. 언뜻 보면 수치상으로 드러나는 결과 때문에 객관적으로 보일 수 있는 분석이지만, 자세히 들여다보면 그가 ‘탁월한 과학자’라고 분류하기 위해 사용하는 기준이 항상 들어맞는 척도가 아니라는 점을 발견하게 된다. 이는 매너드에 의해 먼저 지적된 바 있다. 그에 따르면, 지질학 저널에 논문을 기고한 횟수가 많을수록 반드시 탁월한 과학자가 되는 것은 아니다. 예컨대, 당시 다른 분야보다 논문의 발표가 훨씬 용이했던 고생물학의 경우 스튜어트의 따르면 ‘탁월한 과학자’가 되기 쉬운 학문이었다.¹²⁾

11) Stewart, J. A. (1990). *Drifting continents and colliding paradigms : perspectives on the geoscience revolution*, Bloomington: Indiana University Press. pp. 162-215.

둘째로, 대륙이동설이 과학자들의 이해관계 때문에 패러다임 전환을 가져오지 못하고 실패한 이론이라기 보기에는 수축설과 불변설 모두 대륙이동설과 마찬가지로 지질학의 지배적인 이론이 되지 못했다는 점을 지적할 수 있다. 대륙이동설이 경쟁이론을 대체하기를 실패했다기 보다는, 오히려 세 이론 모두 지질학에서 하나의 패러다임이 되기에는 부족한 후보들이었다고 보는 것이 옳은 것 같다.

이처럼 스투어트는 지질학 혁명을 쿤의 과학혁명관에 입각하여 분석하고 있는데, 필자는 이러한 분석이 잘 들어맞지 않는다고 본다. 왜냐하면 첫째, 수축설과 불변설이 당대의 널리 퍼져있는 지구관이었던 것은 맞으나, 지질학의 지배적인 패러다임으로 군림했다고 보기에는 부족한 면이 많다. 대륙이동설이 기존의 패러다임을 대신하는 새로운 패러다임의 전환을 가져오지 못했다고 보기보다는, 아예 기존의 정상 과학이라고 불릴 만한 마땅한 것이 없었다고 본다. 둘째로 대륙이동설과 경쟁 이론이 논의되는 과정을 살펴보면 그들의 이론이 (아무리 국소적이라 할지라도) 공약불가능해보이지 않다는 점에 있다. 그리고 이러한 점은 지질학의 학문적 특성에서 기반 한 것일 수 있다. 지질학은 그 특성상 물리학, 화학, 생물학 등 기존의 자연과학의 업적을 등에 업고 그것을 수단으로 하여 탐구가 이루어진다. 따라서 물리학이나 화학에서의 패러다임이 그대로 유지되는 한, 지질학에서의 패러다임 변화는 그보다 더 작은 규모에서 이루어질 수밖에 없다.

과거의 사건에서 언뜻 보기에 이해되지 않은 당시의 사람들의 선택을 비합리적이라고 판단하는 일은 반대의 경우보다 쉬운 일인 것 같다. 사회적 요인의 개입은 합리적 요인으로 최대한 설명하려고 하는 시도 뒤에 있어야 한다. 그리고 대륙이동설이 받아들여지지 않았던 것은 합리적인 이유로도 충분히 설명이 가능하다고 본다. 대륙이동설은 판구조론의 가장 큰 차이는 바로 증거들의 질적, 양적 차이에 있다.

12) W. H. Menard(1971), 신광복(2001)에서 재인용 (pp. 17-18)

3. 베게너가 제시한 증거에 대한 분석

나오미 오레스케스는 베게너의 대륙이동설이 받아들여지지 않은 이유를 판구조론을 뒷받침했던 증거와 대륙이동설을 뒷받침했던 증거의 성질에서 찾았다. 그에 따르면 대륙이동설의 증거는 정성적이고 관찰자 의존적인 것들인데 반해, 판구조론을 뒷받침하던 증거들은 기기를 이용한 측정 데이터로, 정량적이며 탈개인화된 데이터였다. 그리고 이러한 증거들의 본성에 있는 차이점이 대륙이동설은 거부당하고 판구조론은 수용된 이유라고 말한다.¹³⁾

이에 대해 신광복은 오레스케스의 주장을 비판하며 베게너가 제시한 증거에는 정량적이고 관찰자 의존적이지 않은 증거가 있으나 오히려 그랬기 때문에 베게너에게 전혀 우호적으로 작용하지 못했다고 말한다. 베게너가 제시한 그린란드에서의 위치 측량은 육안으로 쉽게 관찰될 수 없고 오직 기기에 의한 측정에 의해서만 해석될 수 있었다. 이때의 증거들은 기기들이 여러 번의 검증 받는 과정을 거쳐야만 측정 결과가 과학자들에게 신뢰를 줄 수 있는데, 베게너가 제시한 증거는 이러한 신뢰를 줄 수 없었다는 것이 신광복의 주장이다.¹⁴⁾

그러나 나는 신광복의 지적보다 오레스케스의 주장이 더 타당하다고 본다. 베게너가 나름대로의 정량적 증거를 제시한 것은 사실이나, 판구조론의 그것과 비교해보았을 때 턱없이 적은 수였으며 이마저도 수치상의 오류가 있었기 때문이다. 베게너가 제시한 정량적 증거, 즉 그린란드에서의 측정이 성공하기만 했다면 분명 그것은 대륙이동을 직접적으로 뒷받침할 수 있는 강하고도 좋은 증거가 되었을 것이다. 그러나 그렇다고 하더라도, 그러한 증거는 베게너가 제시한 증거들 중 유일한 것이었다. 따라서 베게너가 제시한 증거가 정량적이었기 때문에 오히려 그의 이론에 불리했다는 주장은 무리가 있다.

13) Oreskes, N. (1999). *The rejection of continental drift : theory and method in American earth science*, New York: Oxford University Press.

14) 신광복 (2001). pp. 56-64

4. 대륙이동설은 더 추구할 가치가 없었나?

지금까지 베게너의 대륙이동설이 왜 받아들여지지 않았는가에 대하여 여러 가지 요인들을 분석하며 살펴보았다. 스튜어트는 사회적 요인이 결정적이었다고 말하지만 나는 비합리적 요소를 굳이 끌어들이지 않는다고 하더라도 충분히 설명 가능한 합리적 요인이 많다고 결론 내렸다. 베게너의 대륙이동설과 판구조론은 동일한 이론으로 놓고 비교할 수 없다. 대륙이 횡적으로 이동하여 지금의 모습을 하게 되었다는 기본 아이디어는 공유하고 있지만 각각의 이론을 뒷받침하는 증거들은 양적으로도 질적으로도 큰 차이를 보인다. 그리고 이러한 증거들의 차이가 각각의 이론이 받아들여지고 받아들여지지 않았는지를 설명하는 요인으로 보인다. 그렇다면 이러한 이론을 심판대 위에 올려놓고 근거를 따져가며 수용 여부를 결정한 과학자 사회는 비합리적인 것으로 볼 수 없을 것이다. 오히려, 전혀 불가능할 것 같던 베게너의 대륙이동설을 여러 논의를 거치면서 비판적으로 검토해보았다는 점은 당시 과학자들이 사회적 이유를 떠나 합리적으로 분석해보았음을 드러낸다고 본다. 그리고 이러한 생각은 나만의 주장이 아니라, 많은 연구자들에 의해서 지지되어 왔다.

그러나 여기서 두 번째 의문이 발생한다. 그 의문은 라우단이 지적한 구분에서 실마리를 얻은 것이다. 라우단은 과학 이론을 평가하는데 있어서 추구의 맥락(the context of pursuit)과 수용의 맥락(the context of acceptance)을 구분한다. 그리고 이러한 구별은 지질학 혁명 과정을 검토하는 데 있어서 유용한 것이라고 생각한다.

지금까지 살펴본 바는 바로 수용의 맥락이었다. 수용의 맥락에서 살펴보았을 때 베게너의 대륙이동설이 받아들여지지 않은 것은 합리적인 결론으로 보인다는 것이 지금까지의 이야기이다. 그러나 어쩌서 베게너의 이론은 더 추구할 가치가 없는 것으로 판단되었을까? 대륙이동설이 기존의 이론을 뒤흔들 만큼 괜찮은 것이었다면 당장 정상과학으로 수용되지는 않는다고 하더라도 더 많은 인력과 물질적 지원을 투자하

여 연구할 가치가 있는 것으로 판단되지는 않았을까?

이러한 질문 아래에서 베게너의 대륙이동설을 다시 살펴보면, 스투어트가 주장하는 사회적 요소에 개입이라는 것이 수용의 맥락에서보다는 추구의 맥락에서 훨씬 더 강력하게 영향을 미칠 수 있다는 생각이 든다. 어떤 이론이 우선 이론 평가의 심판대 위에 오르면 그건 나름대로의 합리성을 바탕으로 하여 평가가 되는 듯 보인다. 베게너의 대륙이동설이 그러했다. 그런데 그 심판대에 오르기까지의 과정, 혹은 심판대에서 버려진 후의 과정에는 아주 많은 비합리적 요소에 의해 둘러싸여지게 되는 것으로 보인다. 그런 판단을 내린 데에는 판구조론으로 통합되기 전에 여러 증거들이 확보된 경유에 있다. 판구조론의 성립에는 해저 지형에 대한 방대한 양의 자료가 결정적인 역할을 했다. 그리고 그러한 자료가 쌓일 수 있었던 계기가 된 것은, 바로 2차 세계대전이 끝난 뒤 전쟁에 쓰였던 다양한 측정 기기들이 해저 탐사에 쓰일 수 있었기 때문이다. 이처럼 전쟁과 같은 군사적, 사회적 목적으로 과학 기술이 현격히 개발된 사례는 역사적으로 적지 않다. 예컨대 현대 컴퓨터의 초기 단계로 볼 수 있는 에니악(ENIAC)은 포탄의 궤적을 계산하거나 수소폭탄의 폭발을 예측하는 등 군사적 목적을 위해 이용되었고, 앨런 튜링(Alan Turing, 1912-1954)의 튜링머신 역시 2차 세계 대전 때 에니그마라 칭해졌던 독일군의 암호를 해독해내기 위해 고안되었다.

전통 과학철학자들은 발견의 맥락과 이론 평가의 맥락을 철저히 구별하여 전자를 논의의 대상에서 제외시킴으로써 불필요한 논쟁을 피할 수 있었다. 이처럼 수용의 맥락과 추구의 맥락을 구별지어 논의한다면 이론 선택의 과정을 분석하는데 있어서 더 유용하지 않을까 생각해본다.

IV. 맺는 말

처음 이 글은 지질학 혁명 과정을 요약하는 데에서 시작하였다. 그 후 베게너의 대륙이동설이 받아들여지지 않은 원인이 무엇인지를 살펴보기 위해 먼저 이를 먼저 고찰한 기존의 연구들을 살펴보았다. 스투

어트는 탁월한 과학자일수록 베게너의 이론에 적대적이었다는 주장을 통해 그의 이론이 사회적 요인에 의해 거부되었을 가능성을 이야기했다. 그러나 이는 그가 범주화한 사회적 요인을 다시 들여다보았을 때 다른 방식으로 해석될 여지가 있다는 점에서 한계를 가지고 있었다. 또 대륙이동설과 판구조론이 서로 다른 양상을 보인 것을 사회적 요인으로만 돌리기에는 두 이론을 지지해주는 증거들의 질과 양이 현격한 차이를 보인다는 점도 무시할 수 없다. 그리고 이러한 증거들에 기반한 분석이 나오미 오레스케스와 신광복에 의해 이루어졌다. 그들의 연구결과를 제외하고서도 지질학 혁명을 분석한 대다수의 과학철학자들과 과학사학자들은 베게너의 대륙이동설이 받아들여지지 않은 것이 비합리적인 선택이었다고 보지 않는다.

여기서 더 나아가, 나는 라우단의 개념 구분 즉 수용의 맥락과 추구의 맥락을 끌어 대륙이동설 사례를 다시 살펴보았다. 수용의 맥락에서 살펴보았을 때 대륙이동설이 받아들여지지 않았던 것은 합리적인 선택이었던 것으로 보인다. 그러나 대륙이동설이 수축설과 불변설과 대립할 만큼 나름대로의 견실한 이론이었음에도 불구하고 더 추구할 가치가 없다고 판단된 것은 그것이 수용되지 않았다는 것과는 별개의 문제로 파악되어야 한다. 수용의 맥락과는 달리 추구의 맥락에서 살펴보았을 때 베게너의 대륙이동설을 전자의 경우보다 더 사회적인 요소에 취약한 것으로 보인다. 이러한 사회적 요소의 개입이 선택을 비합리적인 것으로 만든다고 단정할 수는 없지만 그것이 과학적 합리성과는 거리가 있다는 것은 분명해 보인다.

참고문헌

- Le Grand, H. E. (1988). *Drifting continents and shifting theories*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Frankel, H. (2012). *The continental drift controversy*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Stewart, J. A. (1990). *Drifting continents and colliding paradigms : perspectives on the geoscience revolution*, Bloomington: Indiana University Press.
- Oreskes, N. (1999). *The rejection of continental drift : theory and method in American earth science*, New York: Oxford University Press.
- Dunja Šešelj & Erik Weber (2012). “Rationality and irrationality in the history of continental drift : Was the hypothesis of continental drift worthy of putsuit?,” in *Studies in History and Philosophy of Science* 43: 147-159.
- 라우든, 래리, 이유선 옮김(1994). 『과학과 가치 : 과학의 목적과 과학 논쟁에서의 그 역할』, 민음사.
- 쿤, 토마스, 김명자 옮김(2006). 『과학혁명의 구조』, 까치글방.
- 최덕근(2003). 『지구의 이해』, 서울대학교출판부.
- 신광복(2001). 『20세기 지질학 혁명의 철학적 재고찰』, 서울대학교 과학사 및 과학철학 협동과정 이학석사학위논문.

