6

지구과학분야 – 천문학

은하를 탄생시킨 창조의 근원 '블랙홀'

글 | 형 식 _ 충북대학교 과학교육학부 교수 hyung@chungbuk.ac.kr

우주에 대한 우리의 지식은 망원경의 개발에 의해 크게 확장되었지만, 20세기초에 이르기까지도 우리의 지식은 우리가 살고 있는 '은하수'를 벗어나지 못했다. 오늘날 우리는 은하수 이외에도 안드로메다를 비롯한 '섬은하'로 구성된 외부 은하가 존재하고, 은하수는 우주에 있는 대략 1천억 개의 은하 중의 하나에 지나지 않는다는 사실을 분명히 알게 되었다.

빅뱅 이론에 근거해 은하 탄생과 진화 연구

지난 10여 년 동안에 은하와 블랙홀에 대한 천문학 이론은 큰 변화를 경험했다. 20세기초 허블에 의해 우리 우주가 팽창하고 있다는 사실을 관측을 통해 처음 알게 되었고, 우주는 빅뱅에서 시작되었다고 생각하게 되었다. 오늘날 은하와 은하단의 탄생과 진화는 빅뱅의 이론에 근거하여 연구되고 있다. 그러나 끈이론 또는 M-이론에 의하면, 우주가 팽창하는 것처럼 보이기는 하지만 실제로는 주기적으로 또 다른 차원의 우주와 충돌하여 팽창 또는 수축하는 것이라는 주장도 있다. 우리 우주는 3차원 막(브레인)에 갇혀있고, 이러한 우리 우주는 또 다른 막에 갇힌 다른 우주와 불과 몇 센티미터 옆에 존재할 수도 있다.

무거운 별이 죽어가는 과정에서 초신성 폭발이 일어나고, 중심부가 블랙홀이 되는 것으로 알려졌다. 그렇게 만들어진 블랙홀은 다른 별에서 너무 멀리 떨어져 있기 때문에 큰 위협이 되지는 않는다. 그러나 은하와 은하 사이의 거리가 비교적 가깝게 있는 경우에는 은하 중심에 있는 거대 블랙홀이 주위의 별들을 삼키기도 하고, 은하를 파괴하지도 않을까? 10여 년 전까지만 하더라도 그런 거대 블랙홀은 아주 드물게 일부 은하에만 존재하는 것으로 여겼다. 그러나 지금은 LMC나 SMC와 같은 왜소 은하를 제외한 대부분의 은하 중심부에는 거대 블랙홀이 존재하고 있고, 이 블랙홀이 은하가 일정한 크기로 자라도록 도와주고, 은하가 형성된 후에는 다시 블랙홀을 보호하고 성장시켜 왔던 것으로 알려지게 되었다. 그렇게 형성된 은하가 다른 은하와의 결혼(병합)을 통해 성장하여 새로운 블랙홀을 탄생시키기도 한다는 사실을 가까운 은하들의 영상관측을 통해 현재의 사건으로 목격하기도 한다.

은하는 빅뱅에서 생긴 원소인 수소와 헬륨의 가스로부터 형성되었다. 빅뱅이 일어난 후 1억 년에서 10억 년 정도 지난 후부터 은하 형성의 역사가 시작되었다. 우주 안의 물질은 우리 은하수의 수백만 배 크기로 뭉쳐지기도 하고, 우리 은하수보다 수백만 분의 1의 작은 덩어리로 분리되기도 했다. 이러한 물질 밀도의 요동은 인플레이션이론 등에 의해 설명된다. 대부분의 은하는 은하단 안에 속해 있고, 은하에는 암흑물질이 존재한다. 초기우주에서 작은 밀도의 차이가 우주가 팽창하면서 점점 더 증폭되어 은하가 만들어지게 된 것이다. 물질이 모이게 되느냐 퍼지느냐는 어느 반경 안에 속한 물질들의(운동에너지, 압력, 중력 등에 의해 결정되는) 물리적 조건에 의해 결정된다. 은하는 어떤 임계점에 이른 범주 안에서 가스의 수축으로 만들어졌다.

허블망원경이나 미국의 지름 10m짜리 켁, 유럽의 VLT 망원경 등을 통해 알아낸 사실에 따르면, 우주의 시간을 거슬러 깊은 과거의 천체들은 가시광영역의 파란색 파장대쪽이 더 많은 에너지를 방출한다. 이 파란빛은 매우 젊고 질량이 크며 밝은 별들이 탄생하는 과정에서 방출되는 것이다. 이러한 은하들은 50억 년에서 100억 년 전의 것이다.

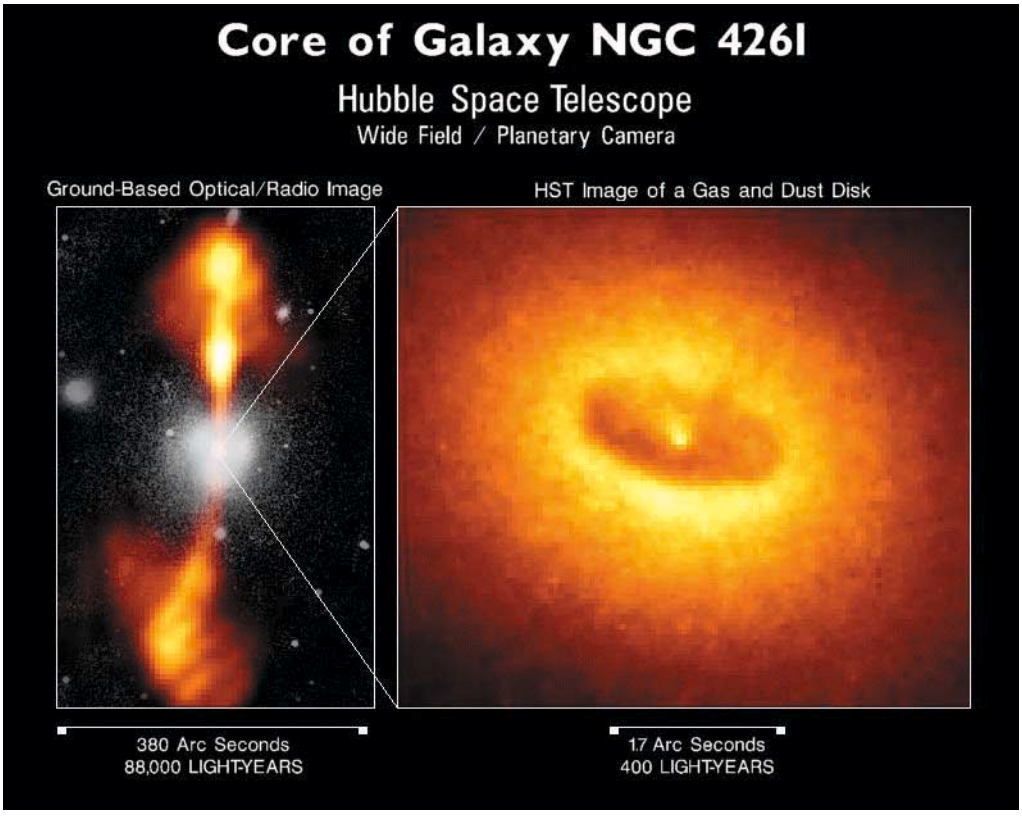
은하를 탄생시킨 블랙홀, 은하와 함께 성장

우리는 블랙홀이 가까이 오는 물질들을 삼키고 빛마저 삼키는 괴물로 알고 있다. 블랙홀에 가면 시간도 흐르지 않고, 따라서 우리가 알고 있는 공간도 정의되지 않는다. 어쩌면 블랙홀은 다른 곳에 있는 또 다른 시공의 개념이 없어지는 또 다른 블랙홀과 연결될지도 모른다. 그러한 신비의 거대 블랙홀이 바로 우리 은하의 중심부에도 있는 것으로 알려져 있다. 최근의 허블 우주망원경 연구에 의하면 대다수의 외부은하 중심부에도 저마다 큰 블랙홀을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다.

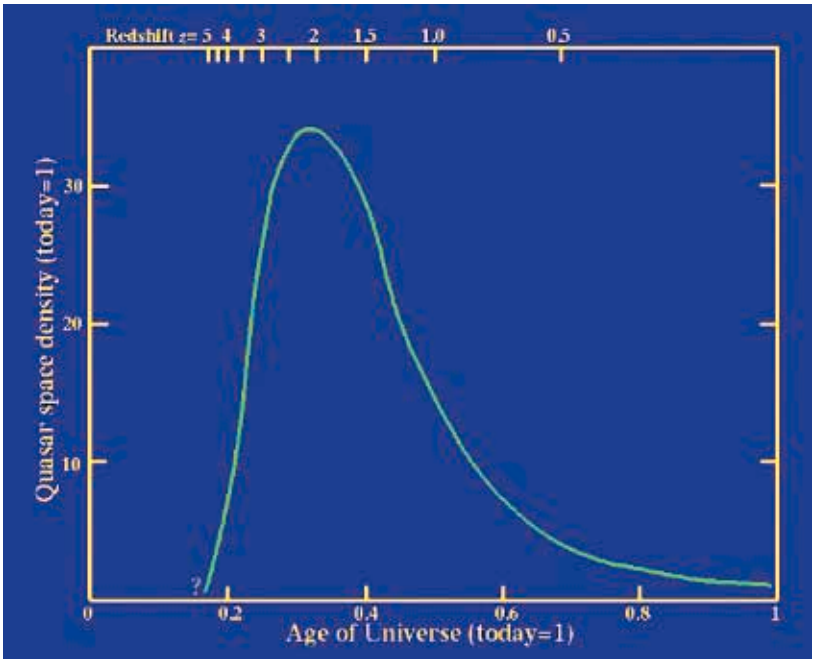
거대블랙홀은 은하 중심에 위치하기 때문에 은하의 대부분을 차지하는 물질이나 별들과 아주 멀리 떨어져 있다. 은하는 크기가 클수록 별들의 회전 속도가 빠르고, 은하 중심부에 존재하는 거대 블랙홀의 질량도 크다. 우리 은하와 같은 작은 은하는 태양의 수백만 배 정도의 비교적 소형의 거대블랙홀을 가지고 있지만, 태양의 수억 배에 달하는 초거대 블랙홀을 가지고 있는 큰 은하도 있다. 이 둘이 상관관계가 있는 것일까?

천문학자들은 블랙홀이 은하의 형성에 영향을 주었는지에 주목하게 되었다. 최근에 밝혀진 사실에 따르면 은하중심부의 거대 블랙홀은 초기 우주에서부터 지금까지 은하와 같이 성장해오고 별 탄생과 우주의 역사를 있게 한 친구라는 것이다. 은하의 생성을 연구해온 영국 케임브리지 대학의 마틴 리스나 옥스퍼드대학의 조셉 실크의 이론에 의한 은하 형성에 관한 시나리오는 다음과 같다.

은하가 생성되기 시작한 처음에는 가스 구름이 붕괴하여 중심부에 거대 블랙홀이 먼저 형성되었다. 블랙홀은 곧바로 주위 가스를 흡수하기 시작하면서 퀘이사가 형성되었다. 새로 생긴 퀘이사로부터 나오는 에너지가 블랙홀 주위 가스의 온도를 급격하게 변화시키고, 그런 변화가 블랙홀 주위의 가스와 퀘이사를 새로 응축시켜서 뜨겁게 빛을 발하여(열복사) 별들이 탄생된다. 블랙홀이 먹이를 먹는 활발한 활동에 의해 마찰열이 생겨 수백만 도의 열이 생기고, 블랙홀을 감싸는 원반으로부터 강한 전파와 X-선이 생긴다. 은하중심에 있는 블랙홀은 별이나 가스를 집어 삼키면서 은하는 몸집이 커진다. 빛나는 부분 안에 숨겨진 거대 블랙홀은 제트라는 격렬한 에너지를 밖으로 분출시키기도 한다. 제트는 은하를 뛰어넘어 수백만 광년에 이르는 경우도 있다. 이러한 존재가 퀘이사이다. 즉, 블



허블망원경으로 본 NGC 4261은하중심부 : 블랙홀을 감싼 원반과 제트 분출



우주의 진화에 따른 퀘이사의 수밀도. 수평축은 시간임(현재시간 = 1이며, 이는 적색편이로 z=0) : 수직축은 상대적 퀘이사 개수를 나타냄

랙홀이 은하를 탄생시킨 것이다. 하지만 현재의 대다수의 은하는 이러한 특성이나 활동성을 보이지 않고 잠자고 있다. 블랙홀이 언제부터 주위의 가스를 모으는 일을 중단하고 성장을 멈추었을까? 블랙홀이 언제부터 잠자게 되었을까?

이것은 은하외각의 별들이 얼마나 빨리 회전하는가에 달려있다. 은하의 외각의 별들이 빨리 회전할수록 그들을 밀어내기가 힘들어지고, 물질을 계속해서 삼켜서 블랙홀은 더욱 커지게 된다. 이렇게 커지는 과정에서 언젠가는 빠른 속도의 별들의 각운동량을 극복하기에 충분한 에너지를 생성할 정도까지 성장하면 성장을 중단하게 된다. 즉 블랙홀이 성장할 수 있는 최대 크기는 블랙홀의 영향을 받아 새롭게 생성된 은하 외각의 별들의 속도 크기에 밀접한 관련이 있다. 블랙홀은 처음에는 은하를 형성시키고, 나중에는 은하의 크기에 합당한 만큼만 자라게 된다.

30억~40억년 후 우리 은하와 안드로메다 은하 결합

블랙홀은 수천만에서 1억 년 동안만 활동하다 먹이 부족으로 잠들어 버리기 때문에 은하의 모든 별들을 삼켜버리지는 않는다. 가스를 삼키면서 성장하는 블랙홀은 은하 전체 질량의 0.1~0.2%가 되면 활동이 멈춰진다. 100억 년 전에는 대부분의 블랙홀들은 활발하게 활동하였다. 블랙홀은 별들의 탄생을 도왔고, 이러한 은하는 또한 블랙홀의 성장시켜왔다. 성장을 멈춘 중심블랙홀은 격렬한 활동이나 몸짓을 하지 않고 영원히 잠드는 것일까?

사람이 성장한 후에 결혼을 하듯이 은하는 또 한번 병합이라는 사건을 통해 성장(변화)하는 계기가 마련된다. 즉 은하와 은하는 서로 인력으로 맴돌다가 충돌하기도 하고, 결합하기도 하여 변화하며 성장한다. 이 때 또 한번 많은 빛을 방출하며, 활동 은하로서 블랙홀은 활동을 하기도 하여 자신의 존재를 외부에 알린다.

우리 은하와 안드로메다 은하는 중심에 하나씩의 블랙홀을 가지고 있다. 그런데 두 은하는 약 30억~40억 년 후 결합하게 될 것으로 추정된다. 두 은하의 결합을 컴퓨터 모의실험으로 미리 볼 수 있다. 두 은하가 가까워지면 몇 번 가까워졌다 멀어지는 과정을 반복하는 과정을 거쳐 하나가 되어간다. 이 과정 속에서 잠들어 있던 블랙홀은 다시 활동을 시작하고, 서로의 인력으로 나선형의 모습이 되었다가 마침내 뒤틀리면서 하나로 결합하게 된다. 그리고 제트를 격렬히 분출할 것이다. 이 블랙홀과 제트는 엷은 가스를 모아서 새로운 별들을 탄생시킬 것이고, 지구가 만일 별 탄생의 영역에서 멀리 떨어졌다면, 30억 년 후의 다른 생명체들은 처음 약 1억년 동안은 밤하늘에서 환상적으로 아름다운 많은 별들의 구름과 두 개의 은하수를 보게 될 것이다. 우리는 정지해 있는 것처럼 보이지만 변화하고 진화하는 우주에 살고 있고, 블랙홀과 같이 파괴의 주체로 보이는 것도 사실은 창조의 근원이었던 것이다.

글쓴이는 UCLA에서 천문학 박사학위를 받았다. UCLA 천문학과 연구원, 한국천문연구원 선임연구원을 지냈다.

6

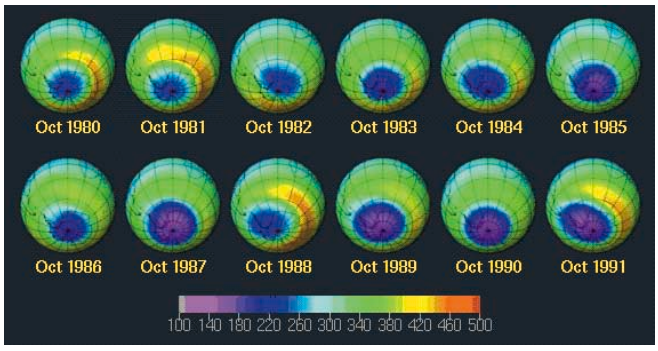
지구과학분야 – 대기과학

과학적으로 기후변화·재앙 예측해 피해 최소화

글 | 안순일 _ 연세대학교 대기과학과 교수 sian@yonsei.ac.kr

대기과학은 물리, 화학, 생물 등의 기초과학과 슈퍼 컴퓨팅, 위성 탐사, 고속 통신망, 정밀 관측 등의 첨단 기술을 어우르는 종합과학이다. 특히 현시대의 인류는 기상, 기후 정보를 보다 폭넓게 활용하여 그 삶을 윤택하게 하고 있으며, 이를 위하여 대기과학의 한층 진보된 발달을 요구하고 있다.

지난 30년간 대기과학에 대한 관심은 기하급수적으로 증가하였고, 이와 더불어 대기과학도 비약적인 도약을 하였다. 이를 가능하게 한 것은 아이러니컬하게도 인류가 만든 재앙에 대한 경고로 시작되었고, 한편으로는 인류가 발명한 기기의 발달이 큰 몫을 하였다.



10월 평균 남반구 오존량 분포도. 오존홀의 크기와 강도의 연변화를 나타냄

1985년 남극 상공에서 '오존 홀' 발견

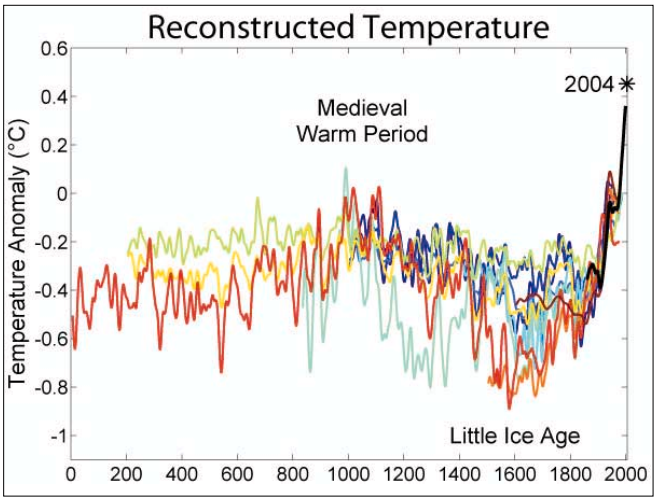
대기권은 기온의 연직 분포에 따라 대류권, 성층권, 중간권, 열권으로 구분된다. 지표와 접하고 있으며 거의 모든 기상 현상이 발생하는 대류권은 고도가 증가함에 따라 기온이 감소하는 반면, 그 위 성층권에서는 고도에 따라 기온이 상승한다. 이러한 성층권에서의 기온 상승은 성층권 상부에 존재하는 오존이 태양으로부터의 자외선 에너지를 흡수하면서 가능해진다.

오존은 생물체에 유해한 자외선을 흡수함으로써 결국 지구상에 생물체 생존에 필요한 보호막의 역할을 하고 있다. 그러나 이러한 보호막이 파괴된 모습이 1985년 처음으로 남극 상공에서 관측되었다. 오존홀의 발견 이후 인공위성을 이용하여 관측한 결과 과거 12년 동안 북반구에서 오존의 양이 6~8% 정도 감소하였음이 나타나고 있다. 또한 오존층 파괴의 원인이 염화프루오르화탄소(CFC, 일명 프레온 가스)의 방출이라는 사실이 밝혀지고, 프레온 가스에 의한 오존층 파괴가 현실적인 문제로 등장하면서, 유엔환경계획을 중심으로 오존층 보호 규제가 시작되었으며, 그 결과 국제적 프레온 규제 조약인 몬트리올 의정서가 채택되었다.

오존홀의 발견으로 촉발된 이러한 움직임은 대기과학자와 환경학자들의 연구를 바탕으로 이루어진 미래 재앙에 대한 경고를 전 세계가 인식하게 되었다는 점과 더 나아가 이를 미연에 방지하기 위한 실질적 정책이 수립되었다는 점에서 그 의미가 매우 크다. 현재에도 오존의 관측을 통한 경보시스템의 구축과 이를 예측하기 위한 모형개발 등의 연구가 끊임없이 진행중이다.

지구 온실효과의 메커니즘 규명

지구 대기는 단순히 태양으로부터의 자외선을 막아주는 보호막의 역할뿐만 아니라 태양으로부터 받은 열에너지를 쉽게 잃지 않도록 하는 덮개의 역할도 하고 있다. 이 덮개는 대기가 존재하지 않을 때와 비교하여 무려 30도 이상 지구 기온을 높임으로써 지상에 생



지난 2000년 동안에 나타난 지구평균 온도의 변화 (출처: Wikipedia, the free encyclopedia), 최근의 온도 상승은 지난 2000년 동안에 비하여 가장 큰 것으로 기록되고 있다.

명체가 생존하기에 적합한 환경을 제공해주고 있다. 이 덮개 효과가 바로 온실효과다. 지구 대기의 온실효과는 주로 대기 중의 수증기에 의한 것이며, 이산화탄소, 메탄 등이 그 뒤를 잇는다.

과거 수만 년 동안의 관측 자료에 의하면, 지구 기온의 변화와 대기 중의 이산화탄소량의 변화가 밀접하게 관련되는 것으로 보고되고 있다. 그러나 이러한 변화는 자연적인 것으로, 태양 복사량의 증가에 따른 기후계의 반응의 결과로 이산화탄소량이 변화된 것이라 할 수 있다. 그러나 최근 100년 동안의 온실 기체의 증가는 인류의 화석연료 사용의 증가로 인한 인위적인 증가 현상이라 할 수 있다.

온실기체에 대한 연구는 이미 1940년대에 본격적으로 이루어졌으며, 1960년에 이르러 지구화학자 찰스 킬링이 관측을 통하여 대기 중의 이산화탄소 증가가 최근 지구 기온 상승의 주요인이라는 것을 밝혀냈다. 이로써 온실효과에 의한 지구 기온상승은 전 인류가 직면한 환경문제로 대두되었고, 각국 정부의 정책과 환경운동에 지대한 영향을 미치고 있다.

대기과학 분야에서는 온실효과 저감방법에 관한 연구뿐만 아니라 미래 온실기체 증가 시나리오에 따른 기후 변화를 예측하는데 총력을 기울이고 있다. 이 문제는 극히 복잡한 기후시스템을 적절하게 모의해야 하는 작업으로서 한 개인 또는 단일 연구소에서의 연구로는 부족하다. 이러한 이유로 최근에는 세계 유수 연구소들이 개발한 여러 모형들에 동일한 온실기체 증감 시나리오를 적용하여 수치 모형을 수행한 후 그 결과를 비교 분석함으로써 한 모형만을 이용했을 때 발생할 수 있는 오차를 최소화하고, 보다 신뢰도가 높은 예측 결과를 얻기 위해 노력을 기울이고 있다.

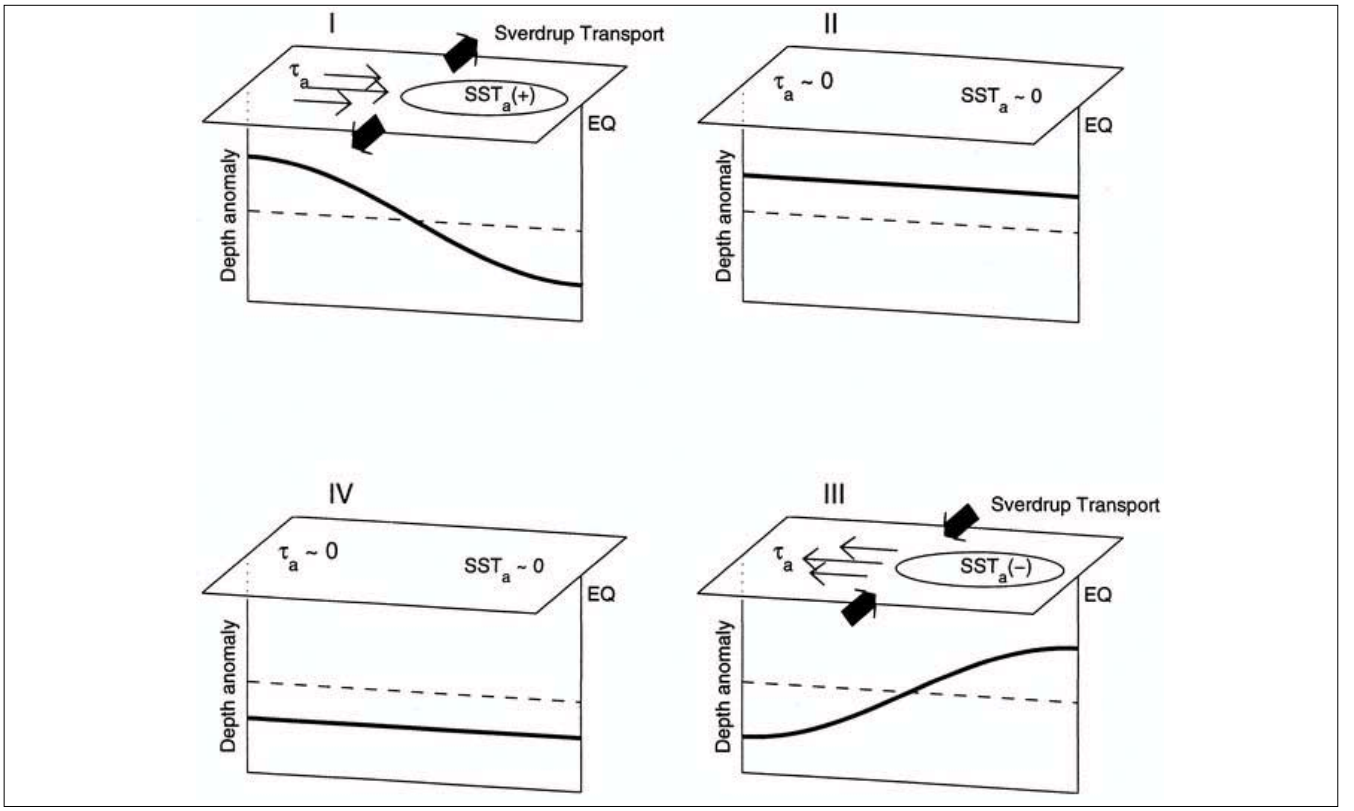
위성과 컴퓨터 발달, 예측의 한계성 극복

100년 전 노르웨이의 기상학자 비야크니스는 적절한 초기 조건으로부터 운동방정식, 열역학 방정식, 그리고 물 순환 방정식 등을 적분하면 일기 예측이 가능하다고 제안하였다. 그러나 당시에는 미비한 이론과 수치 방정식을 효과적으로 적분할 수 있는 능력이 없어 실제 예측에 적용할 수는 없었다. 그로부터 반세기가 지난 1948년 미국의 기상학자 차니는 대기의 운동을 표현할 수 있는 간단한 수학 방정식을 유도하였고, 이를 시간 적분하여 대기 상층의 흐름을 24시간 앞서서 예측하는데 성공을 거두었다. 그러나 당시는 컴퓨터의 계산 능력의 한계로 인하여 500hPa 등압면의 대기 흐름(순압대기)만을 모의할 수 있었으며, 이후 컴퓨터의 발달과 더불어 보다 많은 층과 작은 공간 규모, 그리고 태양복사와 구름 형성과 관련된 물리 과정 등을 모수화한 종합적인 수치 모형이 개발되고 있다.

최근에는 단기 또는 중장기 예측에 있어서 대기와 해양의 상호작용의 중요성이 인식되면서, 대기와 해양이 결합된 예측 모형이 활발히 개발되고 있다. 또한 지상으로부터 대기를 관측하는 지상관측소의 수가 증가하고, 이와 더불어 인공위성의 증가로 인하여 보다 많은 대기 상층 자료의 수집이 가능해지고, 이를 이용하여 보다 정확한 대기 상층 모의도 가능하게 되었다. 지난 10년 동안 수치 예보 분야의 획기적인 발전은 특히 광대한 인공위성자료와 자료동화 기술 분야의 발전을 통하여 이루어졌다. 자료동화를 위하여 인공위성, 그리고 레이더 등에서 관측된 방대하고 정확도 높은 자료가 사용되었고, 자료동화를 통하여 예측 모형의 초기 자료에 잔존하는 오차를 최대한 줄임으로써 예측 능력 향상에 크게 기여하였다. 이로써 1960년대 로렌츠가 무질서 이론에 근거하여 제창한 일기 예측의 한계 범위 이상의 능력을 갖춘 예측 기술이 현재 수치 예보에 이용되고 있다.

엘니뇨현상 발견 후 다양한 예측 모형 개발

1982년부터 1983년까지 인류는 전에 경험하지 못했던 가뭄, 홍수, 폭설 등의 기후 재앙을 경험하게 된다. 이 기후 재앙은 전지구적으로 2조 원에 가까운 경제적 손실을 주었고, 이후 이 현상을 이해하고 예측하기 위한 인류의 노력이 증대되었다. 이러한 이상 기후는 바로 엘니뇨현상에 의한 것이었다. 엘니뇨현상은 열대 동태평양의 바닷물의 온도가 수개월 동안 평년보다 높아지는 것을 의미하



엘니뇨의 주기운동을 설명하는 Recharge Oscillator의 모식도 (출처: Jin 1997 in J. of Atmospheric Science). 수평면에는 해수면 온도와 대기 하층의 바람, 연직면에는 열대 적도 수온 약층의 변화를 나타냄

며, 이로 인한 과잉에너지 방출은 전지구적으로 대기와 대양의 흐름에 영향을 줌으로써 지구 기후의 변화를 초래한다.

이러한 엘니뇨현상을 이해하기 위하여 1985년 이후부터 열대 태평양 전역에 대규모 해양 관측시스템(TOGA TAO)이 구축되었으며, 엘니뇨 예측을 위한 다양한 모형이 개발되었다. 특히 엘니뇨 역학 과정에 관한 이론적 연구는 1980년대 후반을 기점으로 괄목할 만한 발전을 거듭하였다. 예를 들면 엘니뇨의 발생과 주기 운동에 관한 메커니즘은 초기 지연진동자 이론과 이후 충전-방전 이론으로 설명되었고, 비선형 동역학과 혼돈이론은 엘니뇨의 불규칙한 변동, 그리고 계절변동에 대한 위상 잠김 현상을 설명하였다. 이러한 이론의 발견과 관측 자료의 축적은 엘니뇨 예측의 정확도를 높이는 데 크게 기여하고 있다.

인류는 혹독한 빙하기에도 살아남았다. 그러나 현재 우리는 과거 수천 년 동안 서서히 진행되었던 기후 변화를 한 세기 동안에 겪고 있으며, 앞으로 어떤 형태의 기후 재앙에 직면하게 될지 불확실한 상황에 놓여 있다. 과거 고대 문명을 꽃피웠던 이집트, 인더스, 그리고 메소포타미아 문명 지역들이 현재는 사막화하였고, 마야 문명은 기후 변화로 몰락하였다. 앞으로 닥칠 기후의 변화 역시 인류가 이루어 놓은 문명에 어떤 형태의 변화를 강요할는지 모른다. 이러한 관점에서 앞서 언급한 과거 30년 동안의 도약적인 발전이 끝없이 이루어져야 할 것이며, 이를 위한 대기과학자들의 노력은 앞으로 닥칠 기후변화와 이로 인한 재앙을 보다 과학적인 접근을 통하여 이해하고 예측하며, 이로부터 얻어진 정보를 인류에게 제공함으로써 앞으로 닥칠 기후 변화에 대하여 인류가 대처하고 적응하는 데 있어서 크게 기여하게 될 것이다. ST

글쓴이는 서울대학교 대기과학과 졸업 후 동대학원에서 석사 · 박사 학위를 받았다.

6

지구과학분야 – 지질학

인류의 먼 미래에 대한 폭넓은 시야 제시한다

글 | 손영관 _ 경상대학교 지구환경과학과 교수 yksohn@nongae.gsnu.ac.kr

지질학은 지구의 조성, 구조, 형성과정, 환경변화 등 지구의 다양한 측면에 대해 탐구하는 자연과학의 한 분야다. 특히 지질학은 시간과 공간의 틀 속에서 어떻게 지구가 변화하고 진화하여 왔는지를 탐구의 근본적인 주제로 삼고 있다는 점에서 자연과학의 다른 분야보다 역사과학의 성격이 매우 강하다. 따라서 지질학이 자연과학의 한 분야로 자리매김하기 시작한 18세기경부터 지구의 역사와 진화과정을 어떤 관점에서 바라보고 어떻게 해석해야하는가가 큰 논쟁의 대상이었고, 지질학의 발전이 격변론과 균변론의 사상 논쟁과 함께 시작되었다고 볼 수 있다.

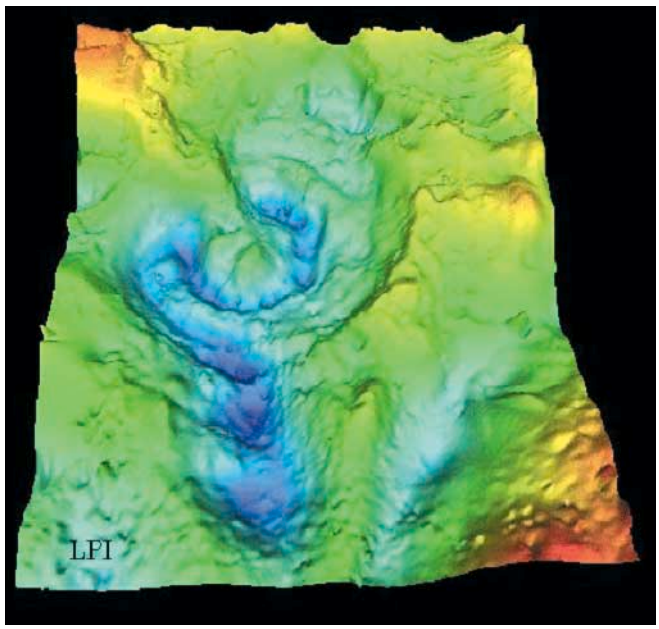
지질학 발전 이끈 격변론과 균변론의 사상 논쟁

서구문명이 르네상스 시대를 거쳐 근대사회에 진입한 18세기까지도 지구의 형성과 지질작용에 대하여 지금으로서는 상상조차 하기 힘든 황당무계한 이론과 주장이 난무하였다. 예를 들면, 히말라야 산맥이나 인도네시아와 필리핀 군도가 갑자기 융기하며 생긴 거대한 파도에 의해 메머드와 거대 포유류의 시체가 시베리아까지 휩쓸려가 묻혀버리는 바람에 오늘날 화석으로 발견된다는 주장도 있었고, 안데스 산맥이 한 순간에 솟아오르며 생긴 거대한 쓰나미가 전세계의 대륙을 범람시키며 초토화시킨 사건이 성서에 대홍수로 기록되었다는 주장도 있었다. 고명한 학자들이 격변론이라고 부를 수 있는 이런 주장들을 주창할 수 있었던 것은 당시의 사회가 성서적 사고에 지배를 받고 있었으며, 많은 지질학자들이 신학의 테두리 속에서 자연을 바라보고 지질작용을 해석했기 때문이다. 무엇보다도 지구가 대략 6천 년에 형성(창조)되었다는 성서적 믿음을 가지고 있었기 때문에 당시의 지질학자들에게는 격변론 이외의 대안이 없었다.

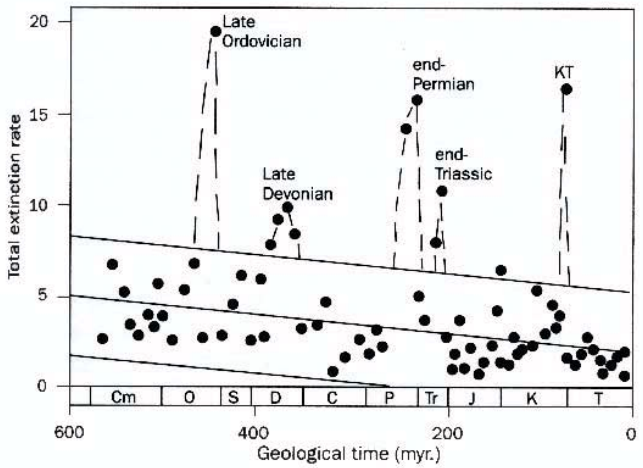
이러한 성서적 사고방식에 근본적인 의문을 제기하고 지질학 연구의 가장 중요한 원리 또는 과학적 방법론을 제시한 사람이 바로 제임스 허튼이다. 허튼은 지구가 기본적으로 평형상태를 유지하고 있으며, 현재 지구에서 일어나고 있는 지질작용이 머나먼 과거부터 끊임없이 작동하여 현재 우리가 보고 있는 자연계가 만들어졌다고 생각하였다. 따라서 허튼에게는 격변이 필요 없었으며, 대신 광대무변의 긴 시간이 필요했다. 균변론이라고 부르는 허튼의 이러한 사상은 당시의 사람들에게 새로운 세계관을 제시했다는 점에서도 의미가 있지만 그의 주장이 '관찰에 바탕을 둔 연역적 추론'에 기초하였다는 점에서 지질학 연구의 과학적 방법론을 제시하였다는 의미 또한 매우 크다.

허튼은 공교롭게도 고전경제학의 창시자인 애덤 스미스와 동시대에 살았고, 두 사람은 '역사'에 대한 공통된 시각을 갖고 있었다. 지구의 역사와 경제의 역사가 모두 "과거는 현재와의 비교를 통해 해석되어야 한다"고 생각하였던 두 사람은 지금까지 각각 근대 지질학과 고전경제학의 창시자로 추앙받고 있다. 제임스 허튼이 죽은 후 그의 지질학 이론과 철학은 찰스 라이엘에 의해 재발견

제임스 허튼의 초상화



멕시코 유카탄 반도의 지하에서 발견된 직경 180km의 Chicxulub 운석충돌 크레이터



고생대 이후부터 현재까지 생물종의 멸종률(extinction rate) 변화. 다섯 차례의 대량멸종이 확인되고 있다.

되어 지질학의 주류 사상으로 대두되었고, 라이엘과 그의 학파는 허튼의 생각을 극단적인 방향으로 정형화하게 된다. 이들은 자연계에서 일어나는 지질작용의 종류가 과거부터 현재까지 동일했을 뿐만 아니라 지질작용이 작동하는 '속도' 까지도 일정하였다는 생각에서 '일시적이고 지역적인 변동' 의 가능성조차 배제하는 극단적인 균변론을 만들어냈다. 이를 허튼의 사상과 구별하기 위해 점진론이라고도 부른다. 19세기 중반까지만 하여도 극단적인 격변론자와 극단적인 균변론자 사이에 다양한 사상적 스펙트럼을 지닌 학자들이 있었지만, 결국은 라이엘 학파의 사상이 승리를 거두었다. 그 이후부터 한 세기가 넘도록 균변론이 지질학의 주된 이데올로기로 자리 잡았으며 격변을 논하는 것은 비과학으로 여겨지게 됐다.

그렇다고 해서 지구에서의 지질학적 작용이 일정한 속도로 시작도 끝도 없이 무한히 지속되어서 진화의 가능성조차 없는 완벽한 평형계는 아니다. 이미 제임스 허튼의 시절에 조지 큐비에르는 화석종의 멸종을 인지하였으며, 지질시대를 통해 일어난 화석종의 변천을 통해 지구가 중대한 환경변화 또는 격변을 겪어왔음을 알게 되었다. 일례로, 고생대말에는 지상에 존재하던 모든 동물의 99% 가량이 멸절한 것으로 알려져 있다. 분명 격변은 인류가 현재는 물론 과거에도 경험하지 못한 드물고도 증명하기 힘든 현상이지만 무시하거나 부정할 수도 없는 지구역사의 중요한 한 단면이었다. 따라서 격변론은 균변론의 약점을 보완해가며 지구의 진화과정에 대한 폭넓은 이해를 가능하게 해줄 수 있었고, 이런 점에서 큐비에르의 발견은 높이 평가받고 있다. 그러나 큐비에르의 고생물학적 발견과 격변을 지시하는 여러 지질학적 증거들이 성서의 틀에 맞춰 해석이 되다보니 결국 격변론은 과학적 이론으로 자리매김하는데 실패하고 라이엘의 균변론 속에 매몰되어 버리게 되었다.

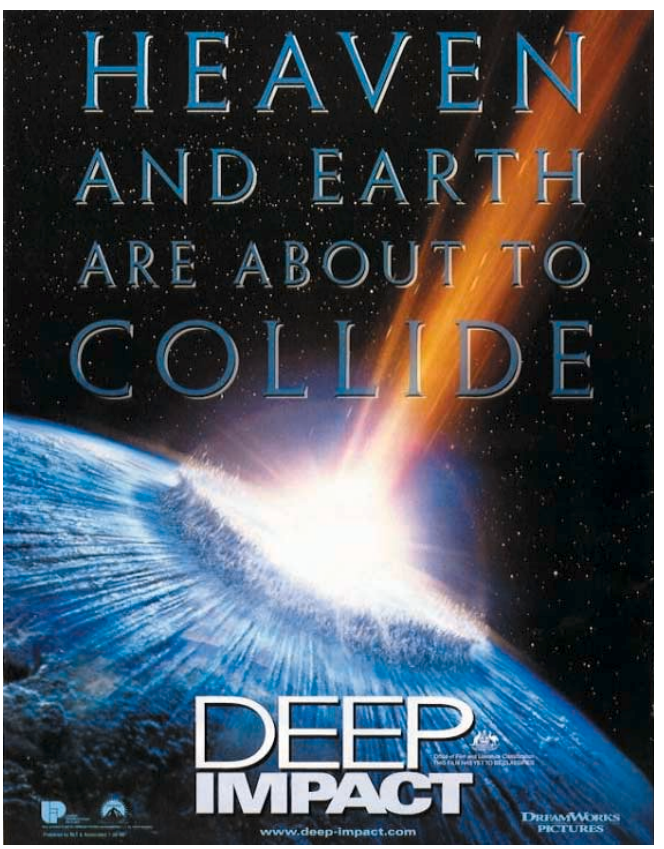
운석 충돌 과학적 증명 후 신 격변론 대두

이로부터 한 세기가 훨씬 더 흐른 20세기 후반에 지질학은 균변론을 수정하고 지구의 진화에 대한 새로운 이데올로기를 수용할 기회를 맞이하게 된다. 1977년 이탈리아의 지질학자 월터 알바레스는 중생대 백악기와 신생대 지층의 경계부에서 채취한 암석시료를 노벨상 수상자인 그의 아버지 루이 알바레스에게 보내 화학분석을 부탁했다. 분석의 목적은 이 지층의 퇴적속도를 알기 위함이었다. 그런데 뜻밖에도 백악기-신생대 지층 경계부에서 채취한 점토층에 이리듐이라는 원소가 지각 평균치에 비해 1천배나 높게 나타나는 것이 발견되었다. 지각에 거의 함유되어있지 않은 이리듐은 외계에서 유래했다고 볼 수밖에 없었다. 결국 그들은 백악기말에 직경이 약 10㎞인 운석이 지구에 떨어졌고, 그 결과로 공룡을 포함한 백악기의 생물종들이 대부분 절멸하고 신생대가 시작되었다는 결론을 내림으로써 한 세기가 넘도록 비과학으로 취급되던 격변을 과학적 자료로 증명하였다.

그 이후 지질학자들은 운석충돌의 증거를 찾아다니기 시작했으

며, 그 결과 백악기-신생대 경계뿐만 아니라 주요 지질시대의 경계를 따라 이리듐 이상, 충격석영, 숯검댕 등 운석충돌에 의해 생긴 다양한 흔적들을 발견하게 되었다. 멕시코의 유카탄 반도의 칙슐루브에서는 백악기말에 떨어져 공룡시대에 종언을 고한 운석충돌 크레이터가 발견되기도 하였다. 이러한 발견을 통해 지질학자들은 인류가 아직까지 경험하지 못한 대규모의 운석충돌 또는 외계천체의 충돌이 46억 년의 지구 역사를 통해 빈번히 일어났으며, 그 결과 생물의 대량멸종이 여러 차례 일어났음을 알게 되었다. 약 한 세기 전에 고생대, 중생대, 신생대 등으로 구분해 놓았던 지질시대도 실제로는 대량멸종의 화석기록이었던 셈이다.

운석충돌과 대량멸종이 지구 역사의 중요한 사건이었음이 확인되자 지구를 삶의 터전으로 삼아온 생물권의 진화에 대해 고생물학자들과 진화생물학자들은 새로운 시각을 갖게 되었다. 즉, 자연도태와 적자생존이 진화의 중요한 과정이지만 뜻하지 않은 외부 충격에 의해 적자가 멸절하고 대량멸종에서 운 좋게 살아남은 종이 대량멸종 이후 폭발적인 적응방산을 통해 생태계의 주체가 될 수 있으며, 이것이 거대진화의 중요한 과정이라는 인식을 갖게 된 것이다. 이와 같이 알바레스 부자의 연구결과는 지질학계를 뛰어넘어 학문과 사회 전반에 지대한 영향을 미쳤다.



운석충돌을 주제로 1998년에 개봉된 재난영화인 '딥 임팩트(Deep impact)'의 영화포스터

지구 46억년의 과거사는 미래의 열쇠

수세기에 걸친 균변론자와 격변론자의 사상 논쟁, 그리고 균변론자의 일방적인 승리를 경험했던 지질학자들 역시 운석충돌설로 대표되는 신격변론의 대두를 바라보며 많은 생각을 하게 되었다. 무엇보다도 '역사란 무엇이며, 지구의 역사기록, 즉, 여러 시대의 암석과 지층 기록을 어떻게 해석해야 하는가' 하는 근원적인 문제들을 다시 한번 생각하게 되었다. 기본적으로 역사학자는 '남아있는 것'으로부터 과거를 해석 또는 재구성한다. 그렇다면 무엇이 기록으로 남게 되는가? 과거의 모든 사건이 사물로 기록되는가? 바닷가 백사장의 모래가 오늘도 파도에 휩쓸리며 끊임없이 움직이고 있지만, 이 파도라는 사건이 수백만 년 혹은 수천만 년 이후에 암석기록으로 남게 될까? 반드시 그렇지는 않을 것이다. 일반적으로 발생 빈도가 작더라도 강도가 큰 사건이 지질학적 기록으로 더 잘 보존된다는 것이 수세기 동안의 연구와 경험을 통해 지질학자들이 터득한 사실이다.

그렇다면 최근까지 지질학의 주류 사상으로 자리잡아온 균변론의 운명은 어떠한가? 지금 현재 라이엘이 주창했던 점진론은 거의 폐기된 상태이고, 현실설에 바탕을 둔 균변론 또는 동일과정설은 아직도 지구역사 해석의 기본 개념으로 남아 있다. 초대형 폭풍, 쓰나미, 지진, 운석충돌, 화산폭발 등 인류가 지금까지 직접 경험하지 못한 대규모 사건들이 많이 있지만, 지구 역사 46억 년의 시간 범위에서는 그런 지질작용도 꾸준히 일어나는 동일과정의 하나로 볼 수 있기 때문이다. 인류가 경험한 현재는 지구의 나이에 비해 너무 짧은 시간이어서 과거의 열쇠로는 충분하지 못하다. 인류가 경험하지 못한 지구 46억 년의 과거사가 현재와 미래의 열쇠가 될 수 있다는 것이다. 그런 뜻에서 지질학은 자연과학의 한 분야로서 사회에 공헌하는 바가 매우 크다. 특히 역사과학으로서 인류의 먼 미래에 대한 폭넓은 안목과 시야를 제시한다는 점에서 그 역할과 중요성이 더욱 크다. ST

글쓴이는 서울대학교 해양학과에서 박사학위를 받았다. 한국과학기술한림원 준회원, 대한지질학회 이사를 겸임하고 있다.