동굴 속 오래된 미래, 지구온난화와 기후변화

글_조경남
한국지질자원연구원
제4기지질연구실 선임연구원
kjo@kigam.re.kr

글쓴이는 강원대학교 지질학과 졸업 후 동대학원에서 석사, 박사 학위를 받았다. 강원대학교 전임연구원, 극지연구소 연수연구원 등을 지냈으며 대한지질학회 젊은 지질학자상을 받았다.

현대 지구과학에서 지구온난화와 기후변화라는 전 세계적 이슈를 제외한다면 과연 무슨 말이 남을 수 있을까? 그 만큼 기후변화와 관련된 문제는 사회·문화·경제 분야에 이르기까지 광범위한 파급력을 지니고 있다. 특히 최근에 대기 중 온실가스의 급격한 증가로 인해 초래된 것으로 알려진 지구온난화는 미래의 지구를 심각하게 위협하고 있으며, 인간에 의한 급격한 대기환경 변화로 인해 인류의 미래가 보장되지 못할 수도 있다는 가능성이 제기되고 있다.

올해 17년 만에 슈퍼엘니뇨가 찾아온다고 하는 등 우리나라를 비롯해 세계 곳곳에서 기후변화의 증거를 뚜렷하게 찾아볼 수 있다. 따라서 이와 같은 기후변화에 대비하기 위해 우리는 앞으로의 기후가 어떤 식으로 변화할 것인지, 변화한다면 어떤 영향을 끼칠 것인지에 대해 촉각을 곤두세워야 한다. 과학자들은 기후변화에 대비하기 위해서는 과거 기후를 연구해야 한다고 말한다. "과거를 알면 미래가 보인다"는 말이 있듯이, 과거 기후 변화에 대한 정보는 앞으로의 기후변화를 예측할 수 있게 하고, 인류가 대비할 수 있는 방향을 제시해준다.

기후변화 예측의 실마리 제시

지난 60여 년간 전 세계 과학자들이 풀지 못하고 있던 빙하기-간빙기 순환과 관련된 북반구와 남반구 중위도 지역 간의 상반되는 기후변화 패턴을 필자가 제

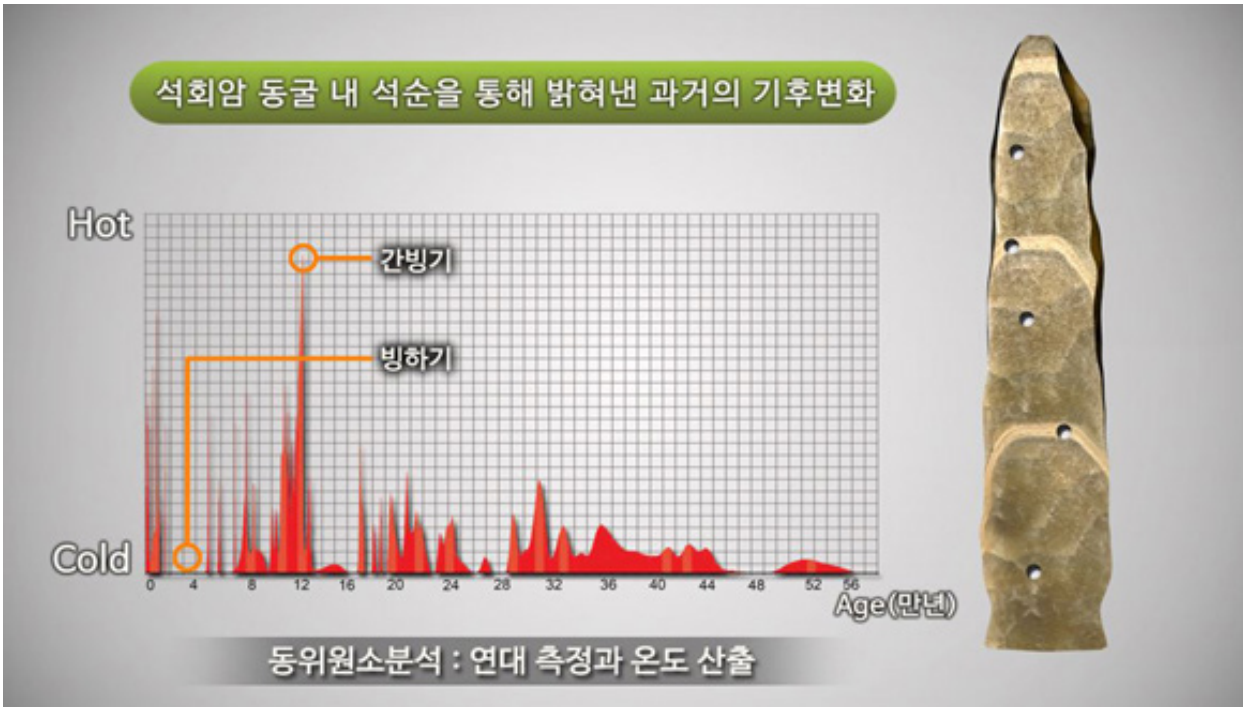
1저자로 참여한 국내 연구진이 규명해 전 세계 학계의 큰 주목을 받고 있다. 필자가 우리나라 석회암 동굴 내 석순과 유석의 성장과 외부 기후변화와의 연관성을 규명해 범지구적인 과거 기후 변화의 수수께끼를 풀 수 있는 중요한 단서를 제공한 것이다.

이번 연구결과는 '과거 55만 년 북반구-남반구 중위도 지역의 수리학적 변동(Mid-latitudinal intehemispheric hydrologic seesaw over the past 550,000 years)'이라는 공동연구 논문에 수록되었다. 이 논문은 세계 3대 과학저널 중의 하나인 '네이처(Nature)'지에 등재되는 쾌거를 이뤘다. 순수 국내 연구진이 주도한 기후변화 연구결과가 네이처지에 등재된 것은 이번이 처음이다. 특히 지질분야 논문이 '네이처'에 등재되기란 매우 어려운 일로 알려져 있어 관련 학회에서도 쾌거로 받아들이고 있다. 이 같은 성과는 한국지질자원연구원 설립이래 최초의 일이기도 하다.

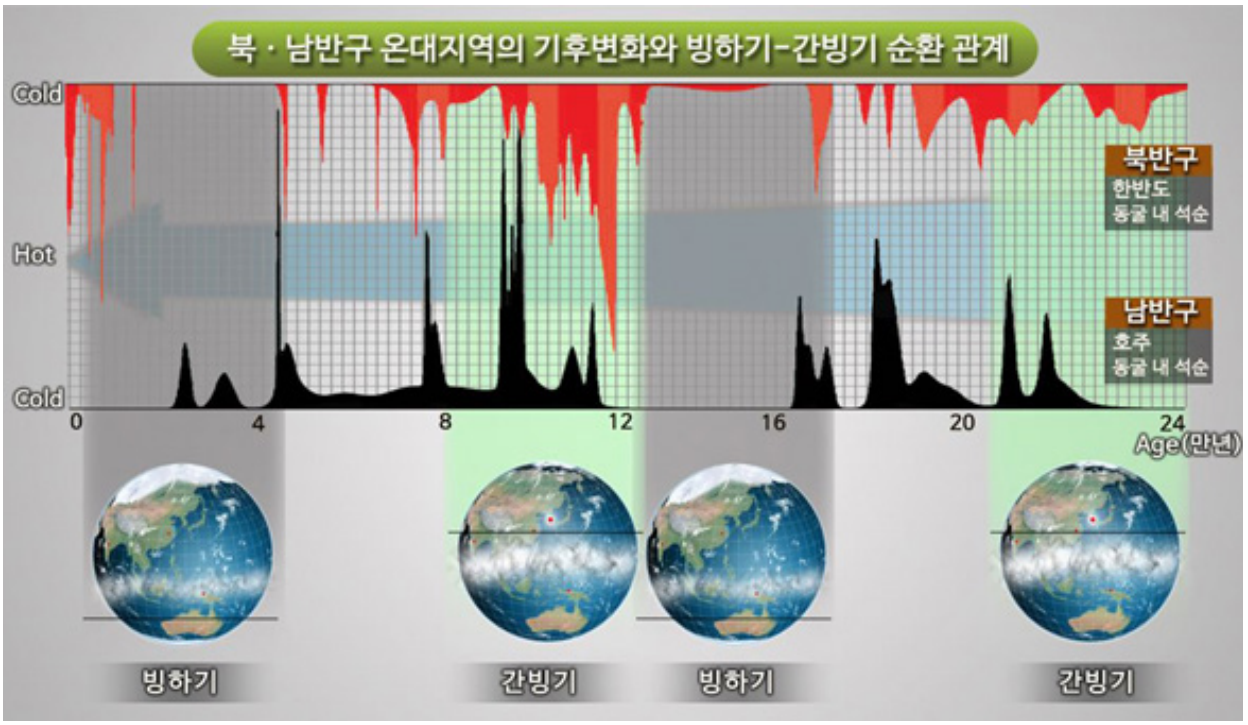
이번 연구는 과거 기후변화 자료를 담고 있는 '하드디스크'로 불리는 석회암 동굴 내의 석순과 유석에서 시료를 채취했다. 이 시료를 동위원소분석과 연대측정을 통해 석순과 유석이 어떤 시기에 얼마나 성장했는지를 밝혀내고 이를 지난 55만 년 동안의 전 세계 기후변화에 적용해 과거의 기후변화를 추적해 낸 것이다.

필자는 이번 연구를 위해 지난 7년 동안 강원도, 충북 일원의 약 200개의 동굴을 탐사했다. 그 중 강원도 평창에 위치한 백룡동굴과 삼척의 관음동굴, 영월의 대야동굴, 충북 단양의 에덴동굴 등 15개 석회암 동굴 내 석순과 유석으로부터 총 24개의 시료를 채취했다. 동위원소를 이용한 연대측정과 온도 산출을 통해 시료의 성장주기와 생성온도를 분석한 결과, 따뜻하고 습윤했던 간빙기 때는 석순과 유석이 잘 자란 데 반해, 다른 시기 즉 빙하기 때는 성장이 정체된 것으로 나타났다. 이 자료를 기존 외부의 기후변화 자료, 즉 일사량 및 빙하, 심해 퇴적층 등에서 얻은 수치와 비교해 같은 기간에 동일한 기후변화 현상이 나타남을 확인했다.

특히 북반구와 남반구 온대 지역의 석순과 유석이 서로 반대되는 성장 시기를 가지고 있음을 분석해 북



▸▸ 석순의 단면을 잘라 나이테별로 시료를 채취해 동위원소분석을 이용해 연대측정과 온도를 산출했다. 연대측정결과, 특정시기(간빙기)에는 석순이 잘 자란데 반해, 다른 시기(빙하기)에는 성장이 정체된 것으로 나타났다.



▸▸ 북반구에 위치한 한반도의 석회암 동굴 내 석순과 유석에서 얻은 자료를 남반구 호주에 위치한 석회암 동굴에서 얻은 자료와 비교한 결과, 두 지역의 기후변화가 상반된 패턴을 보였다. 중위도 지역의 하얀띠는 열대지역의 강수량 변화가 북반구와 남반구에서 서로 반대되는 경향을 보이는 현상인 '북반구와 남반구 간 수리학적 시소현상'을 표시한 것으로 그동안 열대 및 아열대 지역에 한정된 것으로 알려진 시소현상의 범위가 한반도 주변, 즉 온대지역까지 확장됐음을 알 수 있다.

·남반구의 기후변화가 상반되는 경향을 보인다는 사실을 새롭게 밝혀냈다. 이것은 그동안 열대 및 아열대 지역에 한정된 것으로 알려진 '북반구와 남반구 간 수리학적 시소현상(interhemispheric hydrological seesaw, 열대 지역의 강수량 변화가 북반구와 남반구에서 서로 반대되는 경향을 보이는 현상)'의 범위가 한반도 주변, 즉 온대지역까지 확장돼 있었음을 제시한 것이다. 이는 지난 60여 년간 설명이 어려웠던 기후변화의 세부적인 순환과정을 제시한 것으로 지역적인 기후변화가 전 지구에 큰 영향을 미치고 있었음을 시사하고 있다.

부가적으로는 한반도의 기후변화가 전 지구적인 규모에서 다른 지역의 기후변화와 어떤 관계를 나타낼지 암시하는 바가 있으며, 이번 연구결과를 바탕으로 앞으로 더욱 정확한 기후변화 모델이 만들어질 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 이번 연구결과는 '고기후(Paleoclilmate, 기상 관측망 확립 이전의 역사시대 및 지질시대의 기후)' 연구를 통해 과거 기후변화의 이해와 영향범위에 대해 알아볼 수 있는 가능성을 제시했다고 할 수 있다.

기후변화에 대한 고기후학적 접근

지질학을 통해 과거 기후변화를 연구한다고 하면, 아마도 많은 사람들은 기후변화와 지질학이 어떻게 연관될 수 있는가 라는 의문을 가질 수 있다. 지질학의 연구 분야 중 하나인 고기후학에서 그 해답을 찾을 수 있다. 고기구학 연구는 우리 실생활과 다소 거리가 멀다고 생각하기 쉽지만 과거에 실제 발생했던 대규모 기후 변화의 영향을 파악할 수 있는 유일한 방법으로, 과거 기후 변화에 민감하게 반응하는 지구표면의 물질과 흔적을 이용해 기후를 역추적한다. 대표적으로 동굴 생성물이나 빙하, 심해퇴적층, 산호초, 나이테 등의 단서를 이용한다.

그 가운데 필자가 이용한 석순과 유석 등의 동굴 생

성물은 외부환경에 노출된 다른 단서에 비해 훼손이 덜하다. 또한 세계 곳곳에 분포돼 있기 때문에 정확하고 일반적인 기후 자료 확보가 상대적으로 쉬워 고기후학 중에서도 특히 주목을 받고 있다.

그러나 고기후학 연구에 관한 기술적 한계가 존재해 연구에 어려움이 따르기도 한다. 기술적 한계는 고기후 자료의 낮은 해상도와 불확실성 문제에서 주로 기인하며, 활용도 또한 현저하게 떨어진다. 즉, 기후변화 현상을 좀 더 정확하게 예측하기 위해서는 시간적으로 길며, 공간적으로도 해상도가 더욱 높은 자료를 필요로 한다는 것이다. 또한 과거의 기후를 알아내는 데 가장 중요한 것은 시료의 연대를 측정하는 일인데, 국내에서 이 분석을 수행할 기관이 부족하여 대부분 외국기관에 의뢰해야 하는 실정이다. 필자도 이번 연구를 수행하면서 시료의 연대측정 분석을 포함한 몇몇 분석의 경우 국내에는 수행할 기관이 없어 미국 미네소타 대학 등의 외국기관에 분석을 의뢰했었다.

▸▸ 강원도 평창 백룡동굴에서 조경남 박사가 석순과 유석을 관찰하고 있다.

고기후학이 아직은 미래 기후변화 예측에 직접 활용될 수 있을 만큼 세밀하고 정확한 자료를 제공하는 데는 현실적인 어려움이 있다. 그럼에도 불구하고 고기후 자료는 장기적 관점에서 지구 기후의 진화 역사를 규명하고 있고, 이를 통해 과거 급격한 기후변화에 따른 대규모 지표환경 변화를 밝혀 왔다. 또한 과거 지질시대 동안 발생된 극한 기후사건에 의한 생태계의 충격과 반응을 평가하는 데에도 중요한 기여를 해왔다. 이에 따라 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)도 고기후 분야를 지구 기후 시스템 이해를 위한 중요한 연구 분야로 평가하고 있다. 과거에서처럼 미래에도 중대한 기후변화는 언제든지 일어날 수 있고 이에 인류가 겪게 될 충격을 보다 정확히 평가하기 위해 고기후학 연구가 절실한 시점이다.

기후변화에 대한 다양한 연구 이뤄져야

기후변화는 우리 사회에 막대한 충격을 입히지만, 우리가 자각하지 못할 만큼 천천히 이루어진다는 특징 때문에 기억 속에서 잊히기도 쉽다. 그렇기 때문에 더 위험한 것이다. 기후변화가 어느 한 나라에 국한된 문제가 아닌 전 지구적인 문제라는 점을 인식하고 다양한 분야에서 폭넓은 연구가 이루어져야 한다.

필자의 이번 연구결과는 지구온난화를 비롯한 엘니뇨, 라니뇨 등의 기후변화가 더욱 심해지는 상황에서 과거의 기후변화를 설명하고, 미래 기후변화를 예측하는 자료로 활용할 수 있어 더욱 주목을 받고 있는 만큼, 이를 계기로 우리들 역시 전 세계적 이슈인 지구온난화와 기후변화 이해 노력에 동참해야 할 것이다. 나아가 기후변화에 대응하여 인류의 미래를 지켜나가기 위한 시대적 소명에 부응하기 위해 한국지질자원연구원 또한 과거 기후변화 연구를 위한, 특히 고기후학 연구를 위한 시설도입과 국제수준의 실험실을 마련하는 등의 연구 기반을 지속적으로 갖춰나가기 위해 최선을 다할 것이다. ST