

기후변화! 얼마나 급격하게 변할 수 있을까?

극한 기후변화에 대한 사회적 관심은 예전에 상영된 영화 '투모로우'를 통해 일반인들에게 널리 알려지게 되었다. 6주라는 아주 짧은 기간 동안에 지구의 기온이 급격하게 하락하면서 일어나는 여러 가지 이야기들이 영화 속에서 전개되었다. 하늘에서 바라 본 뉴욕시가 얼음의 도시로 변해 있는 모습은 영화의 사실감을 더해 주면서 급격한 기후변화에 대한 관객들의 관심과 두려움을 동시에 불러 일으키기도 했다. 인류가 지금과 같이 온실가스와 대기오염 물질을 계속해서 대량으로 방출하게 되면 과연 미래의 지구 기후는 팬참을까? 혹시 우리가 예상치 못한 기후상태로 변해 인류의 사

회 활동과 자연생태계에 엄청난 피해와 영향을 주지는 않을까? 이와 같은 우려가 점점 커지고 있다.

극지방 변화와 해양의 열염분 순환 변화 요인

지금처럼 지구온난화가 계속된다면 미래의 지구기후가 어떤 방향으로든 빠르게 변할 수 있는 가능성이 점차 높아질 것이라는 주장이 설득력을 얻고 있다. 그러한 가능성의 중심에 있는 여러 가지 원인들 가운데 극지방의 변화와 해양의 열염분 순환 변화가 있다. 극지방의 변화는 필자가 이전의 원고에서 언급한 바와 같이 극지방에 쌓여 있는 빙하가 녹아 지구의 반사도가 작아져 온난화가 가속되고 이



글 김지영

기상청 예보국
국가태풍센터 기상연구관
aceasia@korea.kr

글쓴이는 경북대학교 지구과학
교육과 졸업 후 천문기상학과
에서 석사학위를, 서울대학교
지구환경과학부에서 박사학위
를 받았다.



로 인해 영구 동토 층에 갇혀있던 다량의 온실가스가 대기중으로 방출돼 지구온난화를 급격하게 가속시키는 결과를 초래할 수 있는 것이다.

다른 한편으로는 극지방의 온난화로 인해 정반대의 결과가 일어날 수 있다. 이는 영화 '투모로우'의 이야기처럼 빙하에서 녹은 물이 바다로 흘러가면서 해양에서 일어나는 거대한 열염분 순환을 멈출 수 있기 때문이다. 즉 온난화로 인해 막대한 양의 극지방 얼음이 녹아 바다로 흘러가게 되면 바닷물의 염분이 떨어져 극지방의 바닷물이 가라앉지 못하게 되고 극단적으로는 해수순환이 멈추게 되는 원인으로 작용할 수 있기 때문이다. 이에 따라 해양에 의한 남북 간의 열 교환이 정상적으로 이루어지지 못해 결국 북반구 지역에 광범위한 기온 하강이 일어날 수 있는 것이다. 하지만 이러한 현상도 영화에서처럼 6주 정도의 아주 짧은 기간 동안에 일어나는 것은 거의 불가능하며 적어도 10년 정도 이상의 시간은 걸릴 것으로 예전되고 있다.

기후학자들은 급격하게 일어나는 기후변화 문제의 원인을 밝히기 위해 빙하나 퇴적물 속에 담겨있는 과거의 기후기록들을 복원하고, 과거에 있었던 급격한 기후변화의 원인을 이해하며, 한편으로는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 재현해 보는 연구를 계속하고 있다. 과거에 발생했던 급격한 기후변화의 메커니즘에 대한 근본적인 이해는 현재와 미래의 기후를 진단하고 예측하는데 매우 중요한 부분을 차지한다. 급격한 기후변화란 무엇이고, 급격한 기후변화가 왜 발생하는지, 그리고 이에 대한 대비 차원에서 우리가 무엇을 준비

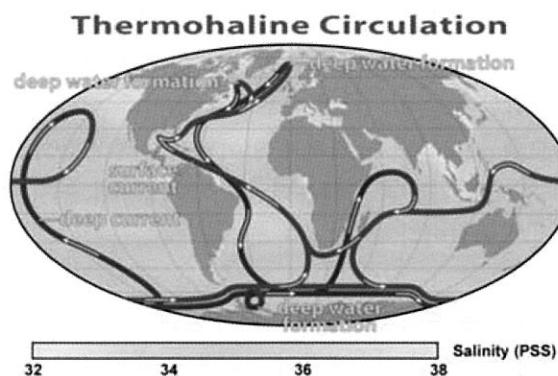
해야 할 것인지에 대해 지금까지 많은 연구들을 진행하고 있다.

빠른 기후변화, 사람과 자연이 적응 힘든 규모

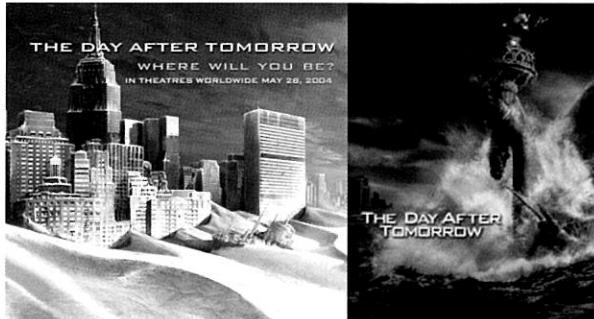
급격한 기후변화란 어떻게 정의할 수 있을까? 얼마동안 어느 정도로 기후가 변할 경우 급격하다고 볼 수 있을까? 기술적인 입장에서 보면, 급격한 기후변화는 기후시스템이 어떤 임계치를 넘을 정도로 강제될 때 일어난다. 이때 기후시스템 자체에 의해 결정된 속도나 때로는 그 이상의 빠른 속도로 새로운 상태로의 전이가 촉발되는 것이다. 기후시스템 내에서의 혼돈스런 과정도 아주 작은 규모의 급격한 기후변화의 원인으로 작용할 수 있다. 그러나 과학적인 차원에서 본 이러한 기후변화의 정의는 일반인들에게는 좀 생소한 면이 있다. 특히 대다수의 자연과학자들은 지질학적 차원의 시간규모를 가지고 급격한 기후변화를 논하기 때문에 일반인들의 이해를 돋기 위해서는 좀 더 부가적인 설명이 필요하다.

대부분의 사람들은 사회적인, 혹은 생태학적인 시간 규모 정도에서 일어나는 변화나 잠재적 영향에 대해서 관심이 있을 뿐이다. 따라서 이 같은 측면에서 봤을 때 급격한 기후변화란 사람이나 자연 시스템이 적응하기 힘들 정도의 규모로 예기치 않게 급격하게 일어나는 기후의 변화로 정의할 수 있을 것이다.

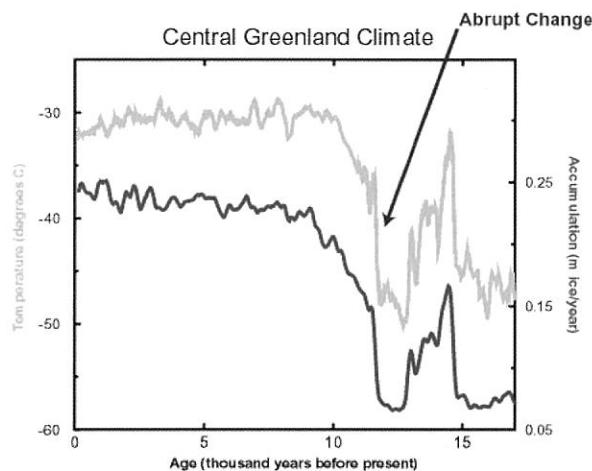
인류의 관점에서 보면 기후에 있어서 급격한 변화는 상당히 중요한 문제일 수 있다. 예를 들어 전형적인 기후의 변동 범위를 능가하는 강한 규모의 기후현상이 수년 이상의 장기간에 걸쳐 광범위한 지역(예로 sub-continental 규모 이상)에 걸쳐 지속된다면 이는 심각한 피해를 유발할 것이 분명하기 때문이다. 극심한 현상의 강도나 지속시간, 발생 빈도 등을 포함하는 기후 및 기후변동성의 변화가 때로는 나타날 수 있는데, 단일 현상으로서의 홍수, 태풍, 화산 폭발 등은 인류나 자연생태계에 중요한 현상으로 간주될 수는 있지만 이들에 의해 기후시스템이 새로운 기후상태로 전환되는 작용이 일어나지 않는다면 급격한 기후변화로 간주되지 않는다. 하지만 홍수나 태풍의 발생 횟수와 강도에 있어서 급속도로 지속적 변화가 나타난다면 이는 급격한 기후변화로 볼 수 있다는 견해가 있다.



▶ 전 지구적인 열염분 순환 그림. 표층의 해류를 통해 극지방으로 수송된 후 극지방에서 가라앉아 심해를 통해 화살표 방향으로 이동하며, 지구의 열 수송에 중요한 역할을 한다.



▶▶ 영화 투모로우의 포스터



▶▶ 영거 드라이아스기 말에 나타난 급격한 기후변화의 대표적인 사례. 가로 축의 0이 현재이며 천년 단위로 표시돼 있다.

미래 급격한 기후변화 예측 힘들어

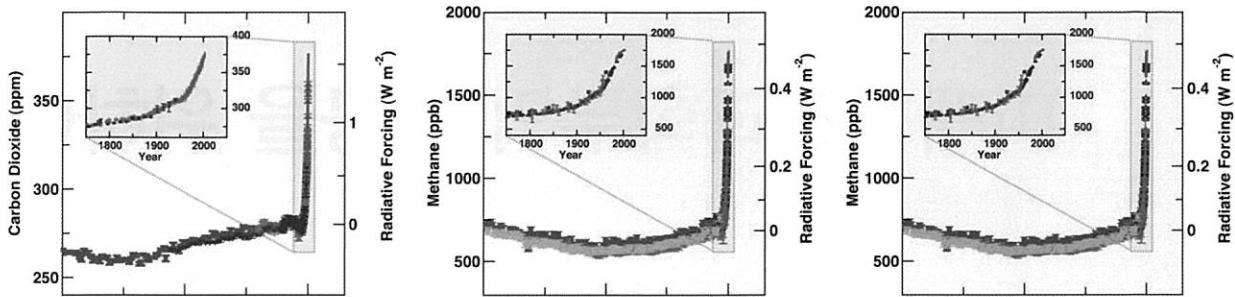
급격한 기후변화의 대표적인 사례로 영거 드라이아스(Younger Dryas)가 말경에 일어났던 전지구적인 규모의 기후변화를 손꼽을 수 있다. 이는 지금부터 약 1만1천500년 전에 발생한 것으로 현재로부터 가장 가까운 빙하시대의 종료 시점에 해당한다. 그린란드 빙하에서 채취한 시료를 분석한 결과에 따르면 10년 이내의 짧은 기간에 연 평균기온이 약 15°C도 정도 급격하게 상승한 것으로 추정되었다. 이와 동시에 연 강수량은 2배로 증가한 것으로 추정되었다. 또한 빙하시대와 현재 기후상태와의 차이의 약 1/3 ~ 1/2 정도에 해당하는 만큼의 기온과 적설량 변화가 광범위한 지역에 걸쳐 일어난 것으로 파악되는 등 이 시기에 발생한 급격한 기후변화로 기온과 강수량 등 수많은 환경변수가 영향을 받은 것으로 추정되고 있다. 특히 수년 정도의 짧은 시간에 변화의 상당 부분이 진행되었다는

사실은 고기후를 연구하는 전문가들 사이에서는 충격적인 사실로 받아들여지고 있다. 왜냐하면 과거에 이와 같이 짧은 동안에 급격하게 기후가 변화했다는 사실은 미래에도 동일하게 일어날 수 있다는 가능성을 분명하게 시사하고 있기 때문이다. 영거 드라이아스기 이후에 발생한 이보다 더 약하고 작은 규모의 변화로는 8천200년 정도 전에 있었던 짧은 기간의 한랭화가 있다. 또한 지역적인 규모이기는 하지만 1976년을 전후하여 엘니뇨의 행태가 과거에 비해 온난하고 습윤한 형태로 빠르게 변한 것도 급격한 변화로 간주되고 있다.

그렇다면 우리의 관심은 ‘미래에 나타날 급격한 기후변화를 어느 정도 예측할 수 있을까?’로 모아진다. 하지만 어렵게도 오늘날 전 세계 전문가들의 지식과 첨단 과학기술을 모두 동원하여도 급격한 기후변화에 대해 우리가 충분하게 이해하고 있지 못하기 때문에 미래의 급격한 기후변화를 예측하기는 어려운 것이다. 기후변화는 일반적으로 기후시스템을 모형화하고 슈퍼컴퓨터를 사용하여 수치적으로 시뮬레이션하는 방법을 통해 예측한다. 그러한 기후시스템 모형은 대기, 해양, 빙하, 식생 등이 물리화학적으로 복잡하게 상호작용하는 형태로 구성되어 있다. 그리고 고기후를 연구하기 위해서는 장기간에 걸쳐서 일어나는 태양활동의 변화, 지구의 공전 궤도변화, 대류의 이동, 대규모 화산폭발이나 운석의 충돌 등 지구외적인 요소나 지구물리학적인 요소도 함께 고려해야 하므로 문제의 복잡성이 더욱 커진다. 미래의 급격한 기후변화를 신뢰할 수 있는 수준으로 잘 예측할 수 있느냐를 판단하는 기준은 지구시스템 모델링 방법을 통하여 과거에 기록된 기후기록과 비슷한 형태의 결과를 충분히 재현할 수 있느냐의 여부에 달려 있다. 현재의 가용 모델들은 과거 급격하게 일어났던 기후변화의 크기, 속도, 범위를 모의하는데 있어 그 성능이 좋지 못한 것이 현실이다.

충실향 자료 축적과 충분한 이해가 병행

하지만 급격한 기후변화의 정의를 통해 언급된 것처럼 인류나 자연 생태계가 적응할 수 없을 정도의 규모로 기후가 급격하게 변화한다면 그 피해와 영향은 상



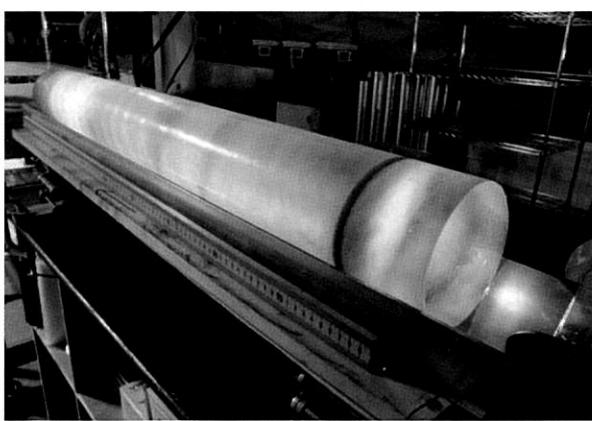
▶ 산업혁명 이후 인류가 배출한 온실가스에 의해 대기의 화학 조성이 급격하게 바뀌고 있고, 이는 기후시스템을 강제하여 인위적 기후변화를 야기하고 있다.

상을 초월할 정도로 극심할 수밖에 없다. 이는 기후변화 적응정책과 사회적 인프라가 성공적으로 구축되어 있는 선진국도 예외가 될 수 없으며 기후변화에 취약한 가난한 나라에서는 더욱 심각한 수준의 피해가 초래된다. 따라서 급격한 기후변화에 대한 체계적인 대응을 위해 관심과 연구 노력이 더욱 활발하게 진행될 필요가 있다. 이를 위해 우선적으로 급격한 기후변화와 관련된 기초적인 지식 기반을 체계적으로 개선하는 노력들이 필요하다. 특히 기후시스템 내의 상호작용을 통해 일어날 수 있는 극단적 기후변화의 임계치에 대한 이해를 개선하고 비선형적 상호작용에 대한 이해의 개선이 필요하다. 또한 급격한 기후변화를 촉발하는 메커니즘을 이해하는데 도움을 줄 수 있는 광범위한 자료의 축적도 병행돼야 한다.

극단적인 기후변화의 피해를 최소화하기 위해서는 생태 시스템이나 경제 시스템에 대한 기후변화 효과를 이해하는데 필요한 자료 축적 또한 필요하다. 미래에 나타날 극단적 기후변화를 예측하는 능력을 갖추

기 위해서는 극단적 기후변화에 초점을 맞춘 모델링 기술의 개선이 필수적이라 할 수 있다. 궁극적으로 극단적인 기후변화를 포함한 기후변화 전반에 대한 과학적 접근은 현재 일어나고 있는 현상에 대한 단편적인 이해와 접근만으로는 결코 해결할 수 없다. 지질학적인 시간규모의 고기후에서부터 근대적인 기후관측이 이루어진 기간 중 나타난 기후변화에 대한 충실햄 자료의 축적과 충분한 수준의 이해가 이루어졌을 때 신뢰할 수 있는 수준의 미래 기후변화 예측이 가능할 수 있다.

인류가 배출한 프레온가스로 인해 성층권 오존이 파괴된다는 사실을 규명하여 대기과학 연구자로는 처음으로 노벨상을 받은 독일 막스플랑크 연구소의 폴 크루첸 박사는 인류가 살고 있는 지금의 시대를 인류세라고 부를 것을 주장하고 있다. 그만큼 인간 활동이 지구시스템에 주는 강제 효과가 막대하다는 것을 의미하는 것이다. 산업혁명 이후 인류는 실제로 엄청난 규모로 지구라는 아름다운 행성에 지속적으로 인위적인 변화를 초래하고 있다. 깊은 땅속에 매장된 화석연료를 채굴하여 막대한 양의 온실가스와 대기오염 물질을 대기 중으로 배출해 왔고, 화석연료를 에너지원으로 한 각종 산업활동으로 지구의 기후시스템은 물론 이거니와 육상 및 해양의 자연생태계에 인위적인 영향을 주고 있다. 그리고 인류에 의한 그 영향의 정도는 계속해서 증가 추세를 이어가고 있다. 미래에도 우리나라가 지속가능하게 발전할 수 있도록, 자연생태계도 유지될 수 있도록, 인류가 기후시스템에 가하고 있는 강제력을 통해 급격한 기후변화의 방아쇠가 당겨지기 전에 이를 멈출 수 있도록 하기 위한 우리들의 관심과 노력이 더욱 필요하다. ◎



▶ 기후학자들은 빙하 속에 포함돼 있는 기포의 화학적 성분분석을 통해 과거의 기후변화를 복원하는데 사용한다.