

# 지구환경변화와 남극

장순근

(한국해양연구원 극지연구본부)

지구환경은 지질시대에도 변했으며 지금도 변하고 있다. 지질시대에 지구환경이 변한 것은 우리가 지층에 보존된 화석과 지층의 변화로 이해한다. 지질시대의 지구환경변화는 보통 지질학의 속성대로 아주 긴 시간에 일어난 것으로 이해된다. 물론 현재에 가까워져 지층의 절대연령이 젊어지면서 그 정밀도는 높아가 꽤 짧은 시기에 걸쳐 일어난 변화도 우리가 파악할 수 있다.

현재 지구환경이 변화하면서 나타나는 현상 가운데에는 지구온난현상, 오존층 감소, 기후변화, 해양환경변화, 산성비, 사막현상 같은 것들이 있다. 물론 이런 현상들은 (태양-)대양-대기-육상-인간의 활동이 서로 복합된 현상이다. 어느 한 분야가 더 중요한 인자가 되는 수가 있겠으나 원칙은 이들이 복합되어 일어난다고 보아야 한다.

한편 남극대륙은 지리남극점을 중심으로 한 지구육지면적의 9.2%를 점유하는 거대한 대륙으로 지구환경과 깊은 관계가 있다. 먼저 대륙의 98%가 평균두께 2,160 m의 얼음으로 덮이고 연중평균온도가  $-23^{\circ}\text{C}$ 라는 저온에 평균고도가 2,300 m로 아주 높으며 남빙양에 둘러 싸여있다.

남극은 대륙가운데 가장 늦게 19세기 전반에 발견되었으며 물개잡이와 고래잡이 터전이 되었다. 그러나 문명세계에서 너무 멀고 자연환경이 가혹해 몇 몇 위대한 탐험가들만이 가까이 갔을 정도였다. 1957/58년에 걸친 국제 지구물리 관측년도(IGY)에야 남극의 자연환경이 비로소 제대로 알려지기 시작했다. 남극대륙은 대륙자체가 거의 알려지지 않았으며 남극대륙에서도 지구환경변화가 나타나, 그런 점에서도 남극대륙이 자연과학의 면에서 중요하고 남극을 연구해야 할 필요가 생긴다. 현재는 우리나라를 비롯해 18 개국이 36 개의 상주기지를 운영하면서 주로 남극의 자연과학을 연구한다.

먼저 1930년대에 자동차회사가 냉매(冷媒)로 개발한 염화불화탄소(CFCs)는 개발초기

에는 100 년 지나봐야 오존층의 2 % 정도를 파괴한다고 생각했다. 그러나 그 량지 않아, 남극의 봄이 시작하는 9-10월에 걸쳐 남극대륙을 다 덮을 정도로 엄청난 양의 오존을 파괴해 40-50% 이상이 파괴된다. 더구나 해가 가면서 더욱 많은 양의 오존이 파괴된다. 인간이 사용한 염화불화탄소는 대류권상공으로 올라가 공기대순환과 지구자전 때문에 극지방으로 모인다. 염화불화탄소의 염소이온은 겨울에는 얼어붙어 있다가 봄이 시작되면서 염소분자가 되었다가 광분해되어 염소원자가 되어 오존층에 모여있는 오존분자를 파괴한다. 오존층의 파괴는 1984년 서남극에 있는 영국 헬리기지에서 처음 관측되었다. 반드시 남극의 오존층만 파괴되는 것은 아니어서 북반구 고위도와 중위도 지방의 오존층도 상당히 파괴된다.

오존층은 자외선을 막아 지상의 생물들이 살아가게 하는 데 절대로 중요한 구실을 한다는 것은 익히 알려졌다. 예를 들어 자외선이 많아지면 해양에서 성장하는 식물플랑크톤의 6-12%가 감소하며 일차생산력이 감소한다는 연구결과가 있다. 물론 식물이 적어지고 제대로 성장하지 못하면 먹이망에 따라 그 위에 있는 동물들에게도 좋지 못한 영향을 미친다. 또 식물플랑크톤의 유전형질을 바꾸고 해수의 화학성분에도 변화를 일으키는 것으로 알려져 있다. 나아가 자외선이 강해지면 해양생물뿐 아니고 육상농작물의 성장에 나쁜 영향이 있고 지표오존이 많이 생겨 스모그를 형성하며 인체의 면역기능을 떨어뜨려 피부암과 백내장을 유발한다.

오존은 광화학(光化學) 반응으로 자연히 생기고 없어져 평형을 유지한다. 현재 염화불화탄소를 쓰지 못하게 하고 대체물질을 개발하면서 오존층은 시간은 걸리더라도 정상으로 돌아오리라고 믿어야 할 것이다.

인간이 쓰는 화석연료에서 배출된 이산화탄소 같은 온실가스 때문에 지구의 온도가 올라가리라는 것은 19세기말에 이미 예견되었다. 실제 국제지구물리 관측년도 동안에 하와이섬에서 관측된 대기중의 이산화탄소의 양은 해마다 증가한다. 대기중에 이산화탄소와 메탄가스와 염화불화탄소 같은 온실가스들이 증가하면서 서남극의 빙상(氷床 ice sheet)이 녹으리라는 것은 1970년대 말에 예언되었다.

이후 남극대륙둘레를 따라 여러 곳에서 빙붕(氷棚 ice shelf)과 빙하가 후퇴하는 현상이 관찰되었다. 예를 들면 서남극 워디(Wordie)빙붕은 1970년대 중반에 2,000 km<sup>2</sup>의 면적이 1980년대 말에는 1/3로 줄어 700 km<sup>2</sup>만 남게 되었다. 또 다른 빙붕들의 북쪽 변두

리가 갈라져 거대한 탁상형 빙산이 되어 북쪽으로 떠간다.

우리나라의 남극연구기지인 세종기지부근도 예외가 아니다. 예를 들면 기지 앞바다이자 피요르드인 마리안 소만(Marian 小灣)의 동쪽에 있는 빙벽도 항공사진과 측량과 인공위성으로 관찰하건대, 아주 추웠던 해를 제외하고는, 꾸준히 후퇴해 과거 44 년 동안에 후퇴한 양이 면적으로는 1,125,000 m<sup>2</sup> 정도이며 거리로는 636-1,346 m이며 평균 1,052 m이다. 더구나 그 후퇴하는 정도가 최근에 들어올수록 빨라져, 과거 38 년(1956-1994) 동안의 후퇴량이 최근 7 년(1994-2001) 동안의 후퇴량보다 작을 정도이다. 그러나 1987-88년 아주 추웠던 두 해에는 빙벽이 전진했다. 그런 것을 보면 빙벽의 후퇴/전진은 기온에 상당히 좌우된다는 느낌이 든다. 기지둘레의 지면도 과거보다는 더 많이 노출되었다고 믿어지나 확실한 자료가 없다. 한편 기지 남쪽에 있는 다른 피요르드의 빙벽도 마찬가지로 후퇴한다.

세종기지가 1988년 2월에 준공되어, 기상자료가 많이 수집되었다고는 말할 수 없다. 그래도 평균기온은 10 년 동안에 0.6℃가 상승하며 1988년, 1991-92년, 1995년에 결빙되었던 기지둘레의 바다도 이제는 거의 결빙되지 않는다. 한편 세종기지의 북서쪽 10 km 정도 떨어진 곳에 있는, 1968년에 준공한 러시아 벨링스하우젠 기지에서 측정된 기상자료를 보면 기온은 27 년 동안에 1℃ 정도 상승했다.

빙벽의 후퇴는 기온뿐 아니라 수온이나 강수량 같은 다른 인자와 관계가 있다고 생각되며 더 많은 인자를 찾는 것이 현재의 과제이다. 시간이 가면서 그런 자료들이 더 모이겠으나 믿을 만한 체계가 있는 자료가 모으기는 쉽지 않으리라 생각된다. 얼음 아래의 지형도 관계가 있으리 믿는다.

한편 남극에서 얼음이 녹는 현상이 과연 지구가 더워지는 지구온난현상과 관계가 있는지를 더 지켜보자는 뜻으로 지구온난이라는 용어를 쓰지 않고 지역온난이라는 용어를 쓰는 학자들도 있다. 또 최근에는 서남극의 빙상이 얇아지지 않고 두꺼워진다는 연구가 있는 바, 그 연구결과가 서남극 전체에 해당된다면, 빙벽과 빙하가 후퇴하는 현상은 남극대륙둘레에 국한된 현상일지도 모른다고 생각된다.

1980년대 들어 우리의 관심을 끄는 엘 니뇨(El Nino)와 라 니냐(La Nina)도 육지와 대기 및 해양이 복합된 해양의 이상변화라는 점에서는 남빙양과 관계가 있고 나아가 남극대륙과 남극대기의 순환과 관계가 있다고 보아야 한다. 실제 남빙양에 서식하는 물새

들과 남극물개들의 번식이 엘 니뇨-남방진동(ENSO)과 관계가 있다는 연구가 있다. 동물들은 엘 니뇨-남방진동에 따라 번식지의 수온이 올라가면 번식이 잘 되지 않는 것으로 보인다. 엘 니뇨-남방진동이 지나간 다음해에는 남빙양에 서식하는 물새들이 보통 때와는 달리 갑자기 북쪽으로 이동해 죽는 현상도 여러 지역에서 관찰되었다.

남극대륙안쪽 고원지대에 있는 러시아 보스토크(Vostok)기지에서는 남극에서 측정된 최저온도인  $-89.6^{\circ}\text{C}$ 가 1983년 7월에 기록되었다. 남위 78도 28분, 동경 106도 48분, 높이 3,480 m인 보스토크기지는 지자기남극점 부근에 건설되었다. 그 기지는 3,750 m의 얼음 위에 건설되어 얼음을 굴착하고 오로라를 관측하는 것이 주요연구과제였다. 그 기지에서 굴착한 얼음에서 채집한 공기성분 가운데 메탄과 이산화탄소를 분석한 결과 426,000 년 동안에 기후가 크게 4 번 변했다는 것을 알게 되었다. 기체성분과 그 성분에서 유추한 최고기온과 최저기온이 각각 아주 비슷하다. 또 기온이 변화하는 양상도 비슷해 기복을 가지고 천천히 낮아지는 반면 갑자기 최고온도로 높아진 다음 낮아진다. 이런 현상이 지구전체에 걸친 현상이라면 지구의 기온은 한 번 최고로 높아지면 계속해서 오르락내리락 거리며 낮아진다는 점에서 유의할 필요가 있다고 생각된다.

1970년대에 그 기지 아래에는 상당히 넓은 호수가 있다는 것이 밝혀져 그 호수를 보스토크 호수(Lake Vostok)라 명명했다. 그러나 1990년대 들어 호수의 더 정확한 내용이 알려지기 시작해, 그 호수는 크기  $230 \times 50$  km에 호수깊이 500 m 정도에 퇴적물 두께 90-330 m 정도라는 것이 밝혀졌다. 현재까지 남극대륙에서 밝혀지기로는 보스토크 호수 같은 빙원하 호수(氷原下 湖水 subglacial lake)가 70 곳 정도가 있는 것으로 알려졌다.

1998년 1월 이 호수면 위 120 m 정도인 3,623 m까지 굴착했다. 그러나 현재 인간이 가진 기술로는 호수 물을 오염시키지 않고 채집할 방법이 없다. 그러므로 미국 우주항공국(NASA)을 비롯해 유명한 연구기관에서 그 호수 물을 오염시키지 않고 채집할 방법을 찾는 중이다. 만약 호수 물과 퇴적물이 채집된다면 지금까지 상상만 했던 새로운 지구과학과 생물과학의 현상들이 밝혀질 것이다.

남극대륙과 남빙양은 지구환경과 밀접한 관련이 있다. 먼저 지구환경변화가 남극대륙

과 남빙양에 직접 나타나고 그 곳에서 성장하거나 서식하는 생물들이 영향을 입는다. 나아가 남극대륙을 덮는 빙원은 과거 지구환경변화를 간직한다는 점에서 아주 중요한 연구재료이다. 우리가 남극연구를 소홀히 생각할 수 없는 소이가 바로 여기에 있다.