



02 History

숫자로 본 극지 연구 30년

10 Now

고층대기부터 유전체 발굴까지, 극지 연구의 현재

24 Future

기후변화의 바로미터, 극지는 미래다

34 Infographic

한눈에 보는 극지 연구 인프라

History

숫자로
본
극지연구
30년



남극세종과학기지

1988. 2. 17

대한민국의 극지 진출은 1978년, 크릴을 시험 어획하며 남빙양을 조사하던 연구자들이 남극해를 중심으로 한 남극 지역에 첫 발을 내딛으면서 시작됐다. 춥고 가혹한 환경에서도 우리 연구진은 지속적인 조사를 벌였고, 1986년에는 남극조약에 가입했다. 하지만 기지가 없는 상황에서 실질적인 과학연구를 수행하는 데에는 한계가 있었다. 남극세종과학기지는 이런 배경에서 탄생했다. 극지의 해양학, 대기과학, 고층대기물리학, 생물학, 지질학 연구의 포문이 열렸다.

62

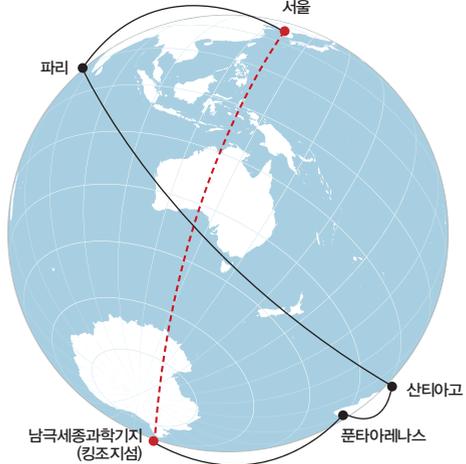
남위 62도 13분, 서경 58도 47분 위치. 킹조지섬 바톤반도 말단에 있음

30

비행기로 가는 데 약 30시간 소요 (미주 경유 29시간 30분, 유럽 경유 31시간 30분)

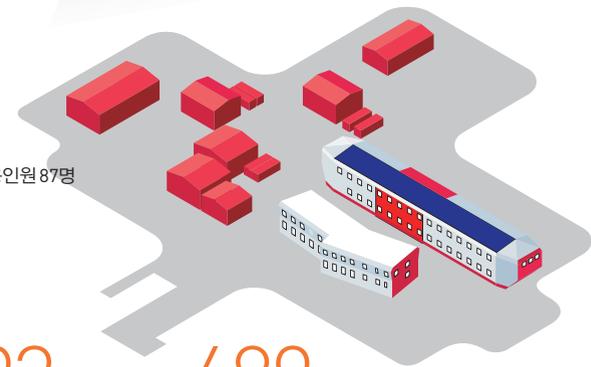
8

남극 킹조지섬에 건설된 8번째 기지. 현재 킹조지섬에는 남극세종과학기지를 포함해 8개국의 상주기지(연중 사람이 있는 기지)가 있음



171

2009년 제32차 남극조약당사국회의에서 남극세종과학기지 인근 '나레브스키 포인트'(일명 '펭귄마을')를 71번째 남극특별보호구역(ASP No.171)으로 지정



87

기지 최대 수용인원 87명

5393

기지의 면적은 5393m². 건물 15개 등으로 구성됨

489

지금까지 파견한 월동 연구대원 489명

17240

서울에서 거리 1만7240km (지구 한 바퀴가 4만km)

-25.6

평균기온 1.8도, 최저기온 영하 25.6도

17

월동 연구대원 연간 17명(하계 연구대원 연간 100명) 현재까지 파견한 월동 연구대 31차

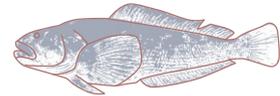


3100

남극점에서의 거리 3100km

3

남극어류 3종 유전체 분석



2000

남극세종과학기지 앞 마리안 소만의 변화를 모니터링한 결과 빙봉이 60년간 2000m 가량 후퇴했음을 밝힘

18

대한민국은 남극에 상주기지를 운영하는 18번째 나라(현재 남극에 과학기지를 운영하는 국가는 29개국. 상주기지 40개, 캠프형 하계기지 42개)

22

1990년 7월 브라질 상파울루에서 열린 제21차 남극연구과학위원회(SCAR)에서 세계에서 22번째로 정회원국이 됨

33

1986년 11월 28일, 세계 33번째로 남극조약에 가입(현재 53개국 가입). 1989년 10월 18일 세계 23번째로 남극조약협의당사국(ATCP) 지위 획득



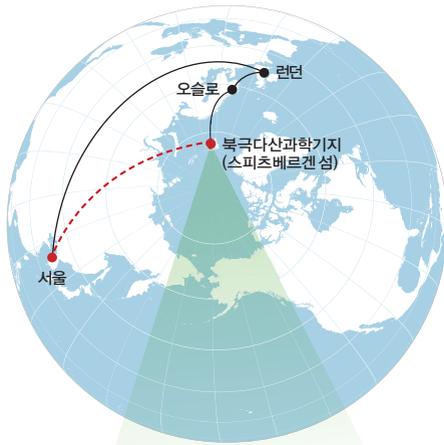
북극다산과학기지

2002. 4. 29

남극에 성공적으로 진출한 뒤에는 남극과 판이한 북극으로 눈을 돌렸다. 남극은 남극조약에 따라 기존의 영유권 주장이 유보돼 있고 새롭게 영유권을 주장할 수 없는 반면, 북극은 북극권 8개 나라(러시아, 캐나다, 미국, 노르웨이, 덴마크, 스웨덴, 핀란드, 아이슬란드)의 배타적경제수역 혹은 대륙붕에 속하거나 둘러싸여 있는 지역이다. 2002년 4월 25일 국제북극과학위원회(IASC)의 정식 회원국가로 가입한 우리나라는 4월 29일 북극에 다산과학기지를 개소했고, 2013년부터는 북극권 8개 나라가 주도하는 북극이사회의 정식 옵서버 국가로 북극문제 논의를 위한 최상위 포럼에서 '기후와 환경', '생물 다양성' 등의 이슈를 함께 고민하고 있다.

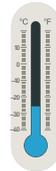
78

북위 78도 55분, 동경 11도 56분 위치. 노르웨이령 스팔바드 군도 스피츠베르겐 섬 니알슨 과학기지에 있음



-26.6

평균기온 3.1도, 최저기온 영하 26.6도



1234

북극점에서의 거리 1234km

6400

서울로부터 거리 6400km

17.5

가는데 걸리는 최단 시간 17시간 30분

12

국내 최초, 세계 12번째 북극 과학기지. 현재 니알슨 과학기지에는 한국을 포함해 10개국(노르웨이, 일본, 독일, 프랑스, 영국, 네덜란드, 이탈리아, 중국, 인도)이 기지를 운영 중

북극다산과학기지 (니알슨 과학기지촌)
스피츠베르겐 섬

13

한국은 북극이사회의 13개 정식 옵서버 국가 중 하나. 2013년 5월 15일 스웨덴 키루나에서 열린 북극이사회 제8차 각료회의에서 정식 옵서버 자격을 얻음



216

기지의 면적은 216m². 건물 1개 동을 프랑스와 공동 사용함. 최대 수용인원은 약 18명



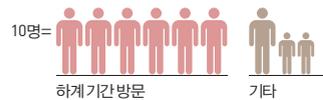
339

북극해 해빙을 연구한 결과, 2012년 9월 여름철 해빙 면적이 역대 최소인 339만km²로 감소했다는 사실을 밝힘. 이는 지난 38년간 평균(붉은선)인 622만km²의 54% 수준



72

비(非)상주기지로 운영 중. 2016년 한 해 23개 기관에서 72명 방문. 매년 하계기간(6~9월)에 국내외 연구자 60여명 방문



아라온호

2009. 11. 2

아라온호가 건조되기 전까지 대한민국의 극지 연구는 남극 반도와 북극 지역의 작은 섬들에 국한됐다. 남북극 결빙해역에서의 독자적인 연구도 불가능했다. 쇄빙연구선이 절대적으로 필요하다고 판단한 한국 정부는 2009년 11월 '아라온'으로 명명된 우리나라 최초의 쇄빙연구선을 건조했다.

7507

무게 7507(톤)
길이 111m
폭 19m
깊이 9.9m

3

1m 두께의 평탄빙을 시속 3노트(약 5.5km)로 연속 쇄빙 가능

-30

아라온호가 견딜 수 있는 최저기온은 영하 30도



2015~2016년 남극항해 항적도



17

극지 해상에서 자체적으로 쇄빙하면서 운항할 수 있는 추진력 1만 마력 이상의 쇄빙연구선박을 가진 나라는 전세계 17개국. 전체 80여 척 중 절반을 러시아가 보유

31

20피트(약 6m) 컨테이너 31TEU(개) 적재 가능 (남극 과학기지 보급품 운반)

85

승선인원 85명



10명= 연구원 승무원

31500

한 번 출항 후 이동할 수 있는 거리 3만 1500km(약 1만 7000해리). 물자 보급 없이 지구 한 바퀴를 돌 수 있는 셈

39

39m급 점보 피스톤 시추기를 장착한 세계 유일의 쇄빙연구선 아라온호에는 그밖에 51종의 연구 장비가 설치돼 있음

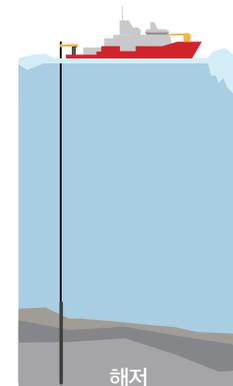
235

2016년 한 해 총 235일(남극 172.5일, 북극 62.5일)에 걸쳐 연구 항해 및 보급 지원 운항



104

2016년 한 해 아라온호에 승선해 연구 항해에 참여한 기관 104개



남극장보고과학기지

2014. 2. 12

전 지구적 기후변화에서 남극의 중요성이 강조됨에 따라 극지연구소는 남극대륙 연구의 거점인 장보고과학기지를 준공했다. 세종과학기지가 서남극 권 킥조지점에 위치해 해양 기반인 것과 달리, 장보고과학기지는 동남극 시작점에 위치해 남극대륙 접근이 가능하다. 현재 빙하와 대기구성물질 조성 등 기상 대기과학 연구와 우주과학 연구, 운석 탐사, 곤드와나 초대륙 경계부의 지질 현상 등 대륙에 특성화된 극지 연구를 활발히 진행하고 있다.

74

남위 74도 37.4분, 동경 164도 12분 위치. 북빅토리아랜드의 테라노바만 지역에 있음

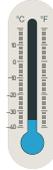


12740

서울로부터 거리 1만2740km

-36.4

평균기온 영하 15.1도
최저기온 영하 36.4도



20

비행기로 가는데 최소 20시간 소요

4661

기지의 면적은 4661m². 16개 동으로 구성됨



17

한 해 파견되는 월동 연구대원 17명, 하계 대원은 80명

10

남극에 2개 이상의 상주기지를 보유한 10번째 국가. 한국 외에도 러시아, 미국, 아르헨티나, 영국, 인도, 중국, 칠레, 프랑스, 호주 등 9개국이 남극에 2개 이상 기지를 보유

62

기지 최대 수용인원 62명



100

남극장보고과학기지는 위도가 백야권(남위 74도) 내부에 있어 백야가 100일 동안 나타남

4500

남극세종과학기지와 무려 4500km 떨어져 있어 환경이 다름. 세종과학기지는 연중 해안 결빙이 거의 없는 반면, 장보고과학기지는 하계 두 달 동안만 결빙이 소멸

1700

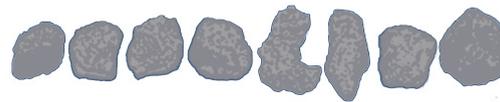
남극점에서 떨어진 거리 약 1700km

94.2

장보고과학기지서 남쪽으로 350km 지점에 위치한 드윗산의 청빙지대에서 94.2g짜리 '달 운석(lunar meteorite)'을 국내 최초로 발견

990

현재 우리나라가 보유하고 있는 남극 운석은 990개



50

2016년 4월 9일 장보고과학기지서 남쪽으로 약 50km 지점에 있는 난센빙봉 붕괴 과정을 세계 최초로 현장 관측함. 해수면 상승 원인을 규명하고 예측하는 데 중요한 단서로 작용



2016. 4. 2

2016. 4. 9

70

장보고과학기지서 약 70km 거리에 활화산인 멜버른 화산이 있어 옛 지질 환경을 연구하기에 최적의 조건

1500

장보고과학기지서 남극점까지 도달하는 약 1500km '코리아안 루트(K-루트)'를 건설 중. 현재 가장 어려운 370km까지 확보한 상태. 평균 고도 2500m인 남극대륙을 연구하기 위해서는 험악한 고원지대에 길을 내는 것이 관건



N o w

고층대기부터
유전체
밭굴까지
극지 연구의
현재



우주를 탐색하다

글 지건화 극지기후과학연구부 책임연구원

극지는 우주로 열린 창이다. 지구의 자기력선은 남극과 북극에서 우주로 열려있다. 이런 자기력선을 따라 지구 대기로 유입된 우주의 입자들은 지구의 '고층대기(upper atmosphere)'와 상호작용하며 여러 가지 현상을 일으킨다. 오로라가 대표적이다. 오로라는 대기 깊숙이 들어온 하전입자가 대기 중 원자나 분자와 충돌해 발생한다.

고층대기, 어렵지만 중요한 이유

남위 62도 13분, 서경 58도 47분. 위치상 '서브 오로라대(Sub-auroral Region)'에 속하는 남극세종과학기지는 고층대기를 연구하기 위한 최적의 장소다.

고층대기는 대류권과 성층권이 있는 저층대기보다 높은, 고도 50km 이상의 대기 영역이다. 즉 중간권(고도 50~90km)과 열권(고도 90~500km), 그리고 열권에 중첩돼 있는 전리권을 일컫는다. 전리권에는 원자가 태양 극자외선을 받아 이온과 전자로 전리(ionization)된



지건화

플라스마가 존재한다. 이로 인해 고층대기는 대류권이나 성층권과는 매우 다른 복잡한 전자적, 동역학적 현상을 보인다.

극지 고층대기는 우주 환경의 영향과 저층대기에서 전파되는 대기 파동의 영향을 둘 다 받는다. 우주 환경에서 유입되는 고에너지 입자들은 고층대기 온도를 상승시키고 전리권 전자밀도를 크게 증가시킨다. 또한 고에너지 입자의 에너지 크기에 따라 오존과 같은 저층대기 구성입자들의 생성과 소멸 화학반응에도 영향을 준다.

남극세종과학기지에 있는 우주환경광학관측동 건물, 상부에 고층대기의 온도, 바람을 측정하는 장비(위 사진)가 설치돼 있다.



지건화

저층대기로부터 받는 영향도 있다. 남극세종과학기지가 위치한 남극반도 주변은 남북으로 길게 뻗어 있는 남아메리카의 안데스 산맥과 남극반도를 따라 병풍처럼 펼쳐진 남극산맥 등 지형적인 특성이 독특하다. 겨울철 성층권에서 활발한 남극 소용돌이(Antarctic Vortex)에 의해 대기 파동 현상도 발생한다. 이 파동은 고층대기로 전파돼 고층대기의 열역학적, 동역학적 특성에 매우 중요한 영향을 미친다.

이토록 복잡하게 작동하는 고층대기를 연구하는 이유는 고층대기를 포함하고 있는 우주환경이 인간 생활에 직접적인 영향을 주기 때문이다. 고층대기 전리권이 교란되면 단일 주파수 위성위치확인시스템(GPS)에 오차가 생길 수 있고, 단파통신이 두절될 수 있다. 고층대기 영역에 상주하고 있는 인공위성의 운영이나 위성과의 통신에 장애가 발생하기도 한다. 또한 지상 전력망에 지자기 유도전류를 일으켜 심각한 영향을 줄 수 있다. 우주선과 같은 고에너지 입자는 우주에서 활동하는 우주인이나 극궤도 항공기 승무원의 건강에 치명적일 수 있다.

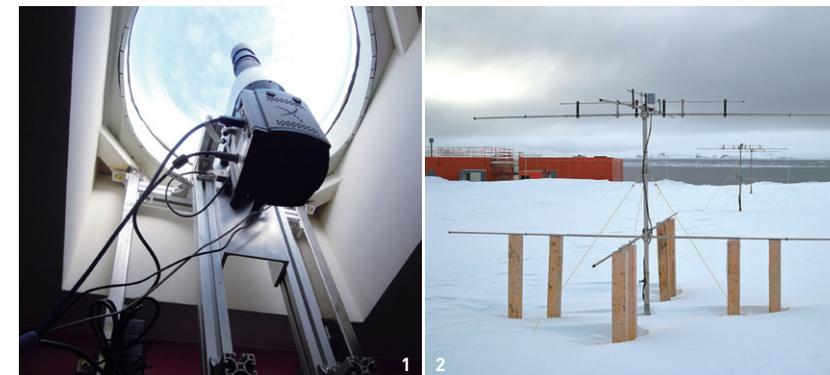
고층대기 온도·바람 30년 모니터링

극지연구소는 2000년대 초반부터 남극세종과학기지와 장보고과학기지, 북극다산과학기지 등에 다양한 광학 관측기와 레이더 관측기기를 설치해 중간권 상부(고도 약 70km)에서 열권(고도 약 300km)까지의 바람과 온도를 지속적으로 모니터링 해왔다.

특히 남극세종과학기지는 현재 남극반도 주변 여러 기지 가운데 고층대기 관측 시설을 가장 많이 보유하고 있다. 1988년 완공 이후 미국 뉴욕주립대와 공동으로 패브리-페로(Fabry-Perot) 간섭계(특정 파장대의 대기광을 관측해 고층대기 바람과 온도를 동시에 측정할 수 있는 광학 관측기)를 설치하며 열권 관측을 처음 시도했다.

그리고 1990년대 말 적외선 간섭계를 설치해 중간권 상부와 열권 하부의 온도를 관측하면서 본격적인 연구를 시작했다. 적외선 간

지건화



섭계는 2002년 대기광 분광계로 교체돼 현재까지 극지 고층대기의 온도를 관측하고 있다. 이를 통해 다양한 주기의 대기 파동이 이 영역에 존재한다는 사실이 확인됐다.

2007년에는 총남대 연구팀과 공동으로 유성(流星) 레이더를 세종과학기지에 설치해 중간권~열권 하부의 바람, 온도 등 고층대기 데이터를 지속적으로 수집하고 있다. 또한, 2008년에는 고층대기에 영향을 미치는 대기 파동을 직접 관측하기 위해 남극세종과학기지 주변 하늘 전체를 촬영할 수 있는 전천(全天) 카메라를 설치해 현재까지 운영하고 있다.

최근에는 미국 국립대기과학연구소(NCAR)와 공동으로 페브리-페로 간섭계를 남극세종과학기지에 설치해, 유성 레이더에 의한 중간권 및 열권 하부 관측에 이어 열권 상부까지 고층대기 관측을 확장할 수 있게 됐다.

2014년에는 두 번째 남극 기지인 남극장보고과학기지를 남극반대편에 있는 테라노바만에 설립해, 극지 전리권, 오로라, 자기권, 우주선 등 극지 고층대기를 포함한 종합적인 우주환경 관측 시스템을 구축하기 시작했다.

1 양성자 오로라 관측을 위해 남극장보고과학기지에 설치한 전천 카메라.
2 유성을 관측해 고층대기를 파악하는 유성 레이더.

지구 역사의 비밀을 캐다

글 이재일 극지고환경연구부 책임연구원

남극세종과학기지가 위치한 서남극 지역은 최근 빙붕(ice shelf) 붕괴와 같은 급속한 환경 변화를 겪고 있고, 이는 최근의 지구온난화 경향과 관련 있다고 여겨진다. 그런데 혹시 이런 기후변화가 인간 활동의 영향 때문이 아니라, 자연적으로 일어나는 변화는 아닐까 하는 의문이 생길 것이다.

극지연구소 고환경연구부에서는 자연적인 변화 추세를 파악하고 그 메커니즘을 이해하기 위해 과거 서남극 지역에서 어떤 기후변화가 일어났는지, 또 그에 따라 환경에는 어떤 영향이 있었는지 연구하고 있다.

과거의 기후 기록을 간직하고 있는 많은 물질들 중에서 극지연구소 고환경연구팀이 주 연구대상으로 삼은 것은 해양과 육상의 퇴적물이다. 퇴적물을 분석해 지난 수천~수만 년의, 마지막 빙하기 이후의 서남극 환경 변화를 주로 복원하고 있으며, 때로는 수백만 년 이상으로 그보다 훨씬 오래된 환경 변화도 복원한다.

붕괴 빈번한 라슨 빙붕 탐사

극지연구소는 남극세종과학기지가 있는 킹조지섬을 포함한 서남극의 남극반도 지역을 오랫동안 연구해왔다. 퇴적물을 이용한 고환경 연구는 1990년대 말부터 시작됐다. 초창기에는 주로 남극세종과학기지 주변의 해양퇴적물 및 육상 토양을 연구했다. 대표적으로 남극세종과학기지 앞 맥스웰만의 빙해양 퇴적작용을 해석해 홀로세 동안의 기후변동을 분석하는 연구가 있다. 2010년에는 최근 3000여 년 동안 이 지역에 약 500년 주기의 기후변동이 일어났음을 밝힌 논문이 국제학술지인 '미국

아라온호를 타고 남극세종과학기지 주변을 시추하는 모습. 퇴적물을 분석해 수천~수만 년 전 고환경을 복원한다.

지질학회지(Geological Society of America Bulletin)'에 실리기도 했다.

최근엔 연구 영역이 훨씬 더 확장됐다. 2013년 초에는 한국의 쇄빙연구선 아라온호를 타고 웨델해 서쪽에 있는 라슨 빙붕 지역을 탐사하고 관측 장비를 설치했다. 라슨 빙붕 지역은 남극반도에서 가장 큰 빙붕 지역으로, 최근 빙붕 붕괴가 지속적으로 발생하고 있다. 2002년에는 한 달 정도의 짧은 기간 동안 3000km²가 넘

빙붕
대륙 빙하인 빙상(ice sheet)이 바다 쪽으로 흘러내려 빙상의 연장이 바다에 떠 있는 부분. 두께가 200~600m에 달한다.



김재일

는 빙붕(라슨B)이 붕괴됐다. 이 정도면 남한 면적의 3분의 1 넓이다. 그러나 접근이 용이하지 않아 지금까지 본격적인 연구가 이뤄지지 않았다.

극지연구소 연구팀은 2013년 아라온호에 다양한 지질·지구물리 장비를 싣고 라슨 빙붕 지역을 탐사했다. 퇴적물 시추기를 사용해 여러 개의 해양퇴적물 코어를 획득했고 퇴적물의 연대를 측정했다. 또한 퇴적물 내 유기물 조성 및 함량, 화석 종류, 미량 원소나 안정동위원소의 변화 등을 이용해 과거 환경을 해석하는 연구를 진행하고 있다.

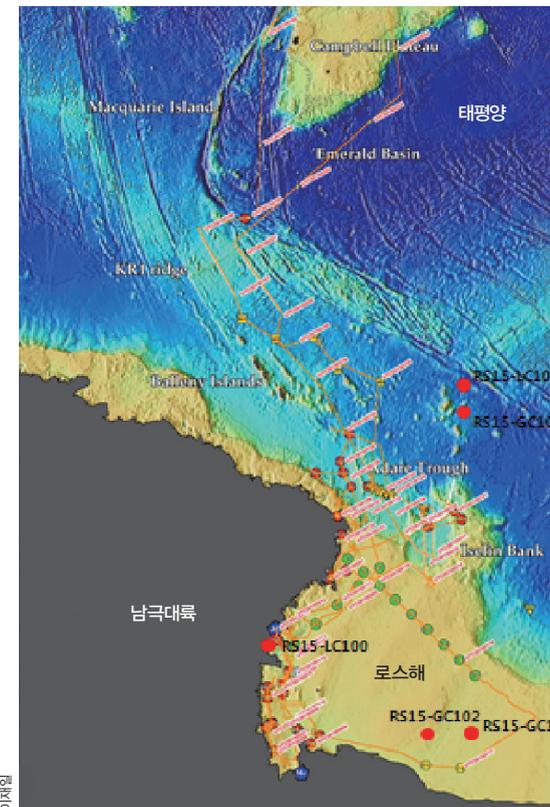
특히 이 탐사를 통해 라슨C 빙붕 지역에서 세계 최초로 퇴적물 코어를 획득하는 데 성공했다. 이 시료들은 마지막 빙하기 이후 라슨 빙붕 지역의 고환경을 복원하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

해빙기 빙하 후퇴 양상 새롭게 밝혀내

탐사 경험이 축적되면서 극지연구소는 고환경 복원 분야에서 세계적으로 의미 있는 성과들을 내고 있다. 한 예로 남극 로스해(Ross Sea) 탐사를 통해 로스해의 빙하 후퇴 패턴에 대해 새로운 사실을 밝혀냈다.

로스해 지역은 마지막 빙하기 동안 수백m가 넘는 두꺼운 얼음으로 뒤덮여 있었으나, 빙하기가 끝나면서 빙상은 후퇴하고 현재와 같은 바다가 됐다. 그동안은 로스해 전역에서 빙하기 동안 서남극 빙상의 영향이 우세했고, 따라서 빙하는 북쪽에서 남쪽 방향으로 후퇴했다는 의견이 지배적이었다.

그런데 아라온호로 로스해 서부 지역의 해저 지형을 정밀하게 탐사한 결과, 빙하가 동쪽에서 서쪽으로 후퇴한 사실이 드러났다. 이는 동남극 빙상의 영향이 과거에 생각했던 것보다 더 넓은 지역에서, 더 오랫동안 지속됐다는 것을 의미한다. 쇄빙연구선, 남극장보고과학기지 같은 극지 연구 인프라가 갖춰져 있었기에 가능한 연구였다. 연구결과는 국제학술지 '지질학(Geology)' 2017년 5월호에 실렸다.



김재일

서남극 라슨 빙붕 지역은 최근에도 빙붕 붕괴가 지속되고 있다. 2017년 7월에는 약 5800km²의 얼음이 라슨C 지역에서 깨져 나가면서 큰 관심을 모은 바 있다. 빙붕이 후퇴하면 주변 환경이 급격히 변하며 생태계 및 기후, 빙하의 흐름에 영향을 미친다. 오는 5월 극지연구소의 여러 연구팀은 아라온호를 이용해 약 20일간 라슨C 빙붕 지역과 남극반도 지역을 합동 탐사할 계획이다. 연구팀은 기후변화에 따른 남극 빙하의 후퇴 역사 및 과거 해양환경의 변화, 남극과 전세계 환경 변화의 연관성을 밝히기 위해 앞으로도 연구를 계속할 것이다.

극지연구소 연구팀이 2014~2015년, 2015~2016년 남극 항해에서 연구한 지역. 퇴적물을 획득한 지점이 붉은 점으로 표시돼 있다.

킹조지섬의 생물지도를 만든다

글 김지희 극지생명과학연구부 책임연구원, 홍순규 남극세종과학기지 제31차 월동대장



김지희

남극세종과학기지가 있는 킹조지섬 바톤반도의 대표 식생인 지의류. 극지연구소는 특정 유전자 염기서열을 이용해 다양한 지의류의 종을 정확하게 분류하는 연구를 하고 있다.

남극은 기후에 따라 '해양성 남극지역(Maritime Antarctic Region)'과 '대륙성 남극지역(Continental Antarctic Region)'으로 구분된다. 남극세종과학기지는 해양성 남극지역인 킹조지섬 바톤반도에 위치하고 있다. 바톤반도는 상대적으로 기온이 높고(연평균 영하 1.8도, 1988~2016년 관측값 평균) 다습하다(연평균 88.7%). 특히 7개월 이상 지면을 덮고 있던 두꺼운 눈이 녹아내리는 여름철(12월 21일~3월 21일) 기온은 평균 약 1.5도로 남극의 다른 지역보다 높다.

바톤반도 뒤덮은 지의류와 선대류 김지희

상대적으로 높은 기온과 충분한 수분 공급, 오밀조밀한 굴곡이 잘 발달된 바톤반도의 지형은 육상에 다양한 서식환경을 만들어 생태계 다양성을 뒷받침하고 있다.

바톤반도의 대표적인 식생은 두 부류다. 균류와 광합성 조류의 공생체인 지의류와, 선대식물에 속하는 이끼류이다. 지의류와 이끼류는 바톤반도의 지형 및 크고 작은 암석들이 이루는 세부 지형과 관계를 맺으며 분포하고 있다.

바톤반도 식생에 대한 다양성 연구는 1992년 생태 조사의 일환으로 시작했다. 이 연구로 지의류 42종과 이끼류 6종이 보고된 바 있으나 당시에는 단발적인 연구에 그쳤다. 2000년대 들어 육상식생의 분포와 다양성 연구가 본격적으로 재개돼 2006년에는 지의류 62종에 대한 보고가 이뤄졌다.

그리고 최근에는 지의류의 분류연구가 더욱 활발하게 이뤄지고 있다. 과거에는 지의체의 형태 특징과 이들이 생산하는 지의 성분을 박층크로마토그래피(TLC-Thin Layer Chromatography)로 분리한 화학적 특성을 이용해 분류했다. 그런데 요즘에는 특정 유전자의 염기서열을 이용한 분자계통학 방법도 입됐다. 그 결과 과거에 다른 종으로 분류됐던 다양한 형태의 지의류들이 같은 종으로 밝혀지는 사례도 종종 발생하고 있다.

동일종인 지의류가 서로 다른 형태를 갖는 이유는 여러 가지다. 한 예로 지의체 내에는 이를 구성하는 대표 균류와 광합성 조류



홍순규

기구(Balloon)형 드론인 '헬리카이트'에 카메라를 달아 바톤반도의 식생분포를 공간해상도 4mm 수준으로 정밀하게 파악한다.

외에도 다양한 균류와 박테리아가 공생하고 있는데, 그간 간과됐던 기타공생균류(효모, 곰팡이 등)가 지의체의 형태를 바꿀 수 있다. 또한 서식지의 환경에 따라 형태적 변이가 나타나는 경우도 있다.

극지생명과학연구부 연구팀은 지의류의 다양성 연구를 위한 새로운 연구 기법을 개발하고 있다. 현재는 킹조지섬에서 다양성이 가장 높은 분류군인 사슴지의속(Cladonia)을 대상으로 연구가 활발하다. 선대식물 중 이끼류(선류)는 킹조지섬에서 보고된 65종 중 29종이 바톤반도에서 발견돼, 현재 이들의 형태 및 분자계통학적 연구가 진행 중이다. 이와 함께 킹조지섬에서 보고된 우산이끼류(태류) 11종에 대한 연구도 진행할 예정이다.

드론 띄워 생물 분포 확인 홍순규

남극 육상생태계의 생물분포는 지형, 수분, 주변 생물 등 여러 환경 요인에 따라 결정된다. 바톤반도는 능선과 골짜기, 고지대와 저지대, 경사가 급한 지역과 완만한 지역 등 복잡한 지형

적 특성을 가지고 있다.

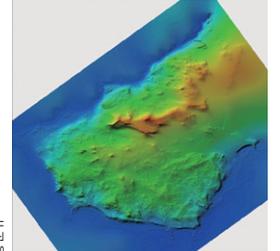
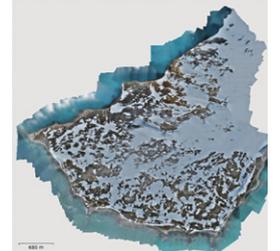
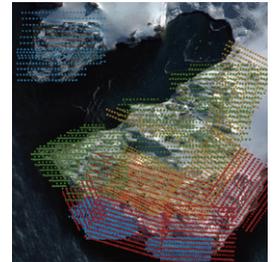
고도와 경사도가 높은 지역은 주로 암석으로 표층이 구성돼 있고, 고도가 낮고 경사도가 작은 지역의 일부에 토양층이 형성돼 있다. 각 지형은 눈이 쌓이는 형태나 물이 흐르고 고이는 정도가 다르고, 사면에 따라 빛이 도달하는 양도 다르다.

이것이 생물 분포에 미치는 영향을 알아보기 위해 육상생태계 연구팀은 드론을 띄워 바톤반도 전역의 고해상도 영상을 확보했다. 이를 바탕으로 약 10cm의 해상도로 미세지형도를 제작한 뒤, 다양한 식생이 구분지어 서식하고 있는 경사면의 환경요소를 측정했다. 이를 통해 온도와 습도, 광량 등이 지의류와 선대류의 생존과 적응에 얼마나 영향을 미치는지 분석했다.

정확한 식생분포를 확인할 필요가 있을 때에는 기구형 드론인 '헬리카이트'를 띄웠다. 헬리카이트로 촬영한 영상을 4mm 공간해상도를 가진 모자이크 영상으로 변환해 분석했다.

그 결과 가로 세로 길이가 각각 4km로 작은 지역인 바톤반도 내에서도 환경, 특히 토양의 수분 함량 차이에 따라 서식하는 생물종이 다른 것으로 나타났다. 수분이 가장 많은 저지대와 건조한 고지대, 그리고 중간 지대를 점유하는 지의류가 각각 달랐고, 여러 군데에 동시에 서식하는 지의류라도 서식지에 따라 서로 다른 유전형질을 가지고 있었다. 이는 유전형별로 선호하는 환경의 차이가 있음을 의미한다.

이처럼 환경 변화가 극심한 남극에서 수십 년에 걸친 생물종의 변화를 연구하는 것은 극지 생물의 다양성을 이해하고 앞으로 기후변화에 대응하는 단초를 제공할 것으로 기대된다.



무인항공기로 촬영한 바톤반도 전역의 이미지를 활용해 고해상도 지형도를 제작했다.

홍순규

극지에서 살아남은 '저온 유전자'를 찾아낸다

글 박현 극지유전체사업단장, 이형석 극지유전체사업단 책임연구원

남극 해양의 어류는 연중 대부분을 해수온이 빙점(영하 1.9도)에 이르는 남극해에 산다. 남극어류는 다섯 종의 아목, 대략 120종이 서식하고 있다. 이중 남극암치아목(Notothenioids)이 90% 정도를 차지하며, 생물량도 남극해 전체 어류의 약 90%를 차지한다.

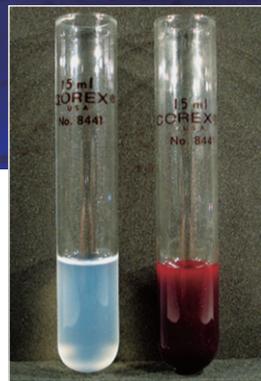
유전체로 밝힌 동결방지단백질의 비밀 박현

이들 어류들은 남극이라는 특별한 서식 환경에 적응하도록 진화해왔다. 가령 어떤 종은 적혈구를 포기하고 피부를 통해 물속의 산소를 흡수하도록 진화했다. 이런 종들이 살아남을 수 있었던 비결은 차가운 물에서는 산소가 포화 상태로 존재하고, 이 종들의 대사 작용이 온대 어류에 비해 훨씬 낮은 덕분이다. 적혈구가 없는 이런 어류들은 반투명하게 보인다고 해서 '빙어(ice fish)'라는 별명을 가지고 있다.

또한 모든 남극 어류는 동결방지단백질이 혈액을 따라 순환하도록 진화했다. 결빙의 해수에 노출됐을 때 체액의 빙점을 해수보다 낮게 보호하기 위한 생존 장치다. 어류뿐만 아니라 포유류, 곤충류, 세균, 미생물에 이르기까지 모든 생물은 체내에 얼음 결정이 생기면 생존할 수 없다. 날카로운 얼음이 물리적인 손상을 일으키고 세포와 조직의 탈수현상을 유발하기 때문이다.

실제로 극지에 서식하는 곤충, 식물, 효모, 세균 등에서 새로운 동결방지단백질들이 지속적으로 발견되고 있다. 동결방지단백질은 얼음에 결합해 얼음 결정의 성장을 억제하고, 어는점을 특이적으로 낮춘다. 이런 동결방지단백질들의 3차원 구조를 보면 공통적으로 얼음과 잘 결합할 수 있도록 편편한 부위가 있고, 여기에 물 분자와 수소결합을 이루기 위한 아미노산 잔기가 다수 존재한다.

동결방지단백질은 어떻게 만들어지는 걸까. 비밀을 풀기 위한 가장 중요한 단서는 유전체 정보다. 이를 위해 극지연구소는 2009년부터 남극어류의 유전체 해독을 시작해 2014년 남극대구, 2017년 남극드래곤피시의 유전자 지도를 완성했다. 올해는



남극 빙어의 투명한 혈액(왼쪽)과 일반 어류의 붉은 혈액(오른쪽) 비교.

아이스피시의 유전자 지도를 공개할 예정이다. 남극대구의 경우 유전자 3만2260개 중 1만 3123개가 남극대구만이 갖고 있는 고유한 유전자라는 사실이 밝혀졌다. 현재 남극어류의 유전체 분석을 완성한 연구는 세계적으로 극지연구소가 유일하다.

또한 극지연구소에서는 남극 조간대(해안의 만조선과 간조선 사이의 지대)에 서식하는 해양플랑크톤인 남극요각류(*Tigriopus kingsejongensis*)의 전체 유전체 서열을 분석해

적혈구가 없는 남극 빙어. 피부를 통해 물속의 산소를 흡수하고 혈액을 따라 동결방지단백질이 순환하도록 진화했다.

남극종새풀 군락지에서 현장 연구를 하고 있는 극지연구소 연구원.



이형석

진행 중이다. 동결방지단백질을 유전자 재조합 기술로 대량 생산하고 정제하는 기술이 개발되면 앞으로 연구가 더욱 활발해질 전망이다.

남극종새풀에서 냉해 견디는 유전자 발견 이형석

남극종새풀과 남극개미자리 등 극지 식물도 극심한 저온 환경에 생존하기 위한 다양한 적응 기작을 갖고 있을 것으로 예상된다. 그중에서도 남극종새풀은 남극에 분포하는 유일한 벼과 식물이며서 척박한 환경에서 살아남을 수 있는 고도의 적응력을 보유하고 있어 식물학자들의 많은 관심을 받고 있다.

극지유전체사업단 연구팀은 남극종새풀에서 'DaCBF7'이라는 유전자를 발견했다. 이 유전자는 식물이 서서히 저온에 적응하는 저온순화 과정에서 핵심적인 역할을 하는 것으로 알려진 유전자의 일종이다. 다른 식물에서도 유사한 유전자들이 다수 발견됐지만 남극종새풀 유전자에는 강한 추위에 더욱 특화된 정보가 포함돼 있을 것으로 예상된다.

이를 확인하기 위해 연구팀은 해당 유전자를 벼에 삽입해 추위에 견디는 내냉성이 어떻게 달라지는지 관찰했다. 벼는 남극종새풀과 같은 벼과에 속하는 친척관계이면서도 냉해에 매우 약한 작물이다. 그 결과, DaCBF7 유전자를 삽입한 벼는 일반 벼에 비해 저온에서의 생존율이 5배 정도 높은 것으로 나타났다. 저온에서 배양했을 때 일반 벼의 생존율은 평균 11%에 불과했지만, DaCBF7을 삽입한 벼는 생존율이 평균 54%에 달했다.

남극종새풀 뿐만 아니라 극지방의 다른 현화식물(꽃을 생식기관으로 가지고 밑씨가 씨방 안에 들어 있는 식물)이나 선태식물들도 작물 개량을 위한 유전자원으로 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 이런 연구는 농업 분야에서 지속적으로 발생하는 가뭄 피해, 이른 서리로 인한 냉해, 간척지에서 흔히 일어나는 고염분 피해 등 환경 조건이 적합하지 않아 생기는 농작물의 피해를 줄이는 데 도움을 줄 것으로 기대된다.

학계에 보고했다. 295메가베이스(Mb·1Mb는 100만 염기쌍) 정도의 크기를 가지는 남극요각류 유전체는 1만2000여 개의 코딩 유전자를 가지고 있다. 이것을 온대지역 요각류의 유전체와 비교한 결과, 남극 요각류가 수송과 대사과정에 관련된 특이한 유전자를 갖고 있고, 에너지 대사과정에 관련된 유전자들이 다른 유전자에 비해 급속히 진화했다는 사실이 밝혀졌다.

극지연구소에서는 현재 동결방지단백질을 활용해 혈액, 체대혈, 줄기세포와 같은 주요 생물자원을 동결 보존해 유전적 변이를 막고 장기손상을 최소화하는 연구를 하고 있다. 또 동결방지단백질을 수산양식어류에 도입해 겨울철 냉해를 막는 연구를

지구의 환경 변화를 추적하다

글 안인영 극지해양과학연구부 책임연구원 신형철 정책협력부 책임연구원



영양권

남극세종과학기지 인근 바닷속을 탐사하는 연구원들 모습.

남극해양무척추동물은 지금까지 약 1만 여 종이 등록돼 있다. 하지만 이는 빙산의 일각으로, 극지 과학자들은 남극해양무척추동물이 최소 수 만 종에 이를 것으로 추측하고 있다. 남극의 대표 생물인 펭귄이 총 7종, 물개와 해표가 6종, 고래가 25종인 것을 고려하면 엄청나게 많은 숫자다. 새롭게 발견된 신종 중에는 얼음 밑에 거꾸로 매달려 사는 말미잘처럼 상상을 초월하는 생물도 있다.

남극큰띠조개는 환경 변화의 바로미터 안인영

남극세종과학기지에서는 1988년 기지 준공 뒤 기지 주변에 살고 있는 펭귄, 물개, 지의류 등 육상 식생과 기지 앞 바다 마리안 소만의 조간대와 바닷속에 서식하는 해조류, 저서동물에 대한 기초 조사에 착수하며 연구 활동을 시작했다. 본격적인 해양생물연구는 1990년대 시작됐는데, 특히 기지 앞바다에 많이 살고 있는 ‘남극큰띠조개(Laternula elliptica)’의 얼음바다 속 생존 비밀이 주된 관심사였다.

이 종은 남극 연안에 많이 서식하는 남극토착종으로, 1980년대까지 분포 수심 외에 별로 알려진 것이 없었다. 극지연구소 연구팀은 20여 년 동안 이 종의 분포 특성, 주요 먹이, 대사활동, 성장 패턴과 생식주기, 월동에너지 전략 등에 대한 연구를 단계적으로 수행했다.

그 덕에 해당 종의 기초생물학적인 특성과 생태계 역할이 다수 밝혀졌다. 대표적으로 1993년 이 종이 먹이를 섭취하고 배설하는 활동이 남극연안해양생태계 먹이사슬의 유기물질 순환을 촉진하는 역할을 한다는 사실을 알아냈다. 이 연구결과로 해당 종에 대한 전 세계 남극해양생물학자들의 관심이 높아졌다.

또한 1998년 남극큰띠조개가 저온에서 성장률이 낮을 것이라는 기대와는 달리 부족한 먹이로도 잘 성장할 수 있다는 사실을 증명했다. 조사 결과 남극큰띠조개는 생명현상 유지에 필요한 에너지 소모량이 수온이 높은 지역에서 사는 조개들에 비해 4분의 1 정도로 낮았다.

이어 2년 동안은 남극큰띠조개의 계절에 따른 성장패턴과 생식주기를 분석해 먹이가 성장과 생식에 결정적인 요인임을 밝혀내는 한편, 남극큰띠조개 생체조직의 절반을 차지하는 근육질의 사이폰(먹이를 섭취하는 입수공과 배설물을 배출하는 출수공 부분)이 먹이가 부족한 겨울철, 생존과 생식활동에 필요한 에너지를 제공하는 저장소임을 밝혀냈다.

최근에는 독일 과학자들과 공동으로 남극큰띠조개 껍질에 기록된 과거 수십 년간 성장률의 변화가 기후변화와 상관 있음을 확인했다. 현재 이 종을 기후변화모델생물로 다양한 연구를 진행하고 있다.

원시적인 환경에서 오랫동안 적응해 살아온 남극해양생물, 그 중에서도 해저에 살고 있는 무척추동물(해양저서무척추동물)은 거의 한 곳에 붙어살거나 느리게 움직이기 때문에 진행되고 있는 환경의 변화에 매우 민감하다. 기후변화로 남극해양생태계에 어떤 피해가 있을 것인지 미리 경고해 주는 ‘탄광의 카나리아(Canaries in the mine)’인 셈이다.

극지연구소 연구팀은 세종기기 앞바다인 마리안 소만에서 기후변화로 빠르게 진행되고 있는 빙벽 후퇴가 해양저서무척추동물 군집의 분포와 다양성에 직접적인 영향을 준다는 사실을 과학적으로 증명했다. 스쿠버다이빙으로 마리안 소만 여러 곳에서 해양저서무척추동물들을 채집해 출현 종 수, 분류적 특이성, 다양성 지수 등을 분석한 결과, 빙벽 가까이 갈수록 출현 종 수와 다양성 등이 낮아지고, 멍게와 같은 기회종들이 상대적으로 많이 서식한다는 사실을 발견했다.

이 같은 분포 특성은 빙하 붕괴 시 떨어져 나온 얼음조각들에 의한 직접적인 충격, 함께 유입되는 육상 퇴적물의 침강 등이 주원인이었다. 이처럼 기후변화 연구의 최적인 모델 생태계인 마리안 소만에서 현재 다양한 연구가 진행 중이다.

작지만 큰 식물플랑크톤의 생태계 신형철

남극세종과학기지가 위치한 남극반도 끝 남세틀랜드 군도 일대 해역은 고래잡이 근거지가 될 만큼 고래를 먹여 살리는 크릴과 이를 지탱하는 식물플랑크톤이 번성하는 바다다.

남극세종과학기지에서는 1990년대 초반, 현재의 아라온호와 비교하면 매우 열악한 시설이었지만 외국의 내빙연구선을 타고 크릴과 식물플랑크톤에 관한 연구를 시작했다. 남아메리카에서 남극세종과학기지로 오기 위해 건너야 하는 드레이크 해협과, 남극세종과학기지와 남극대륙을 나누는 브랜스필드 해협이 우선 연구 대상이 됐고, ‘얼음 천국’으로 불리는 웨델해의 북쪽 가장자리까지 나아갔다.

식물플랑크톤의 종 조성과 성장 조건을 가장 크게 좌우하는 요



영양권

남극세종과학기지 실험 수조에서 키우고 있는 남극큰띠조개. 몸무게의 반 이상을 차지하고 있는 길고 튼튼한 근육질의 사이폰에 얼음 바다 속 생존 비밀이 들어있다.

인은 결국 어디에서 기원한 해수 덩어리가 어떻게 흘러들어와 섞이는데 달려 있었다. 또 한 얼어붙었던 바다가 녹아내리면서 만들어지는 소금이 덜한 가벼운 물이 바다 표층을 덮으면 바람이 불어도 바닷물이 쉽게 뒤섞이지 않고, 광합성을 하는 식물플랑크톤이 표층에 오래 남아 번성한다는 연구결과도 나왔다.

실제 크릴을 위한 식량이 얼마나 만들어지는지 탄소의 양을 기준으로 계산하기도 했다. 2000년을 전후로 해저에 침강 입자 트랩을 설치해 식물플랑크톤들이 고정한 탄소가 어떻게 바다 밑으로 가라앉아 온실가스인 이산화탄소를 해저에 모이게 만드는지 연구했다. 그 결과로 식물플랑크톤이 여름철에 폭발적으로 성장하고 1~2개월 뒤 탄소 덩어리 시체가 돼 대량으로 가라앉아 결과적으로 온실기체가 해저로 격리되는 현상이 밝혀졌다.

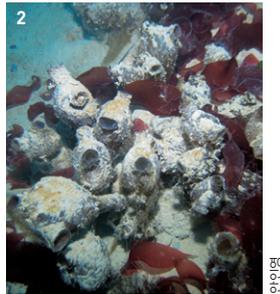
2001년에는 러시아 연구선 유즈호호를 타고 스코시아해를 가로 질러 웨델해 깊숙한 곳까지 들어가는 과감한 탐사도 진행했다. 해빙이 녹아 뒤로 물러나고 생물의 번성이 달라지는 과정을 지켜보려면 연구선에 탄 채 몇 달을 기다려야 했지만, 이미 녹은 지 꽤 오래된 바다부터 얼음이 한참 남은 바다까지 한 달음에 달려 시간의 경과에 따른 변화를 압축적으로 관측했다.

이는 식물플랑크톤의 성장에 미치는 미량 금속의 영향, 그동안 잘 몰랐던 미세 식물플랑크톤 포식자들의 존재와 그 영향력을 규명하는 성과로 이어졌다. 그때의 연구 경험과 축적된 노하우는 빙붕이 유례없는 속도로 후퇴하는 아문센해 연구와 남극반도 일대 연안 생태계 연구를 위한 귀중한 자산이 됐다.



1

영양권



2

영양권

빙벽에서 먼 곳(1)과 가까운 곳(2)의 생물상 비교. 먼 곳에는 다양한 생물이 서식하는 반면 가까운 곳에는 멍게가 대부분을 차지하고 있다.

질병 극복의 실마리를 얻다

글 임정한 극지생명과학연구부 책임연구원

남극세종과학기지 주변에 서식하는 남극 지의류와 이끼에는 화장품이나 의약품으로 이용할 수 있는 화합물이 들어있다. 대표적인 것이 '라말리나 테레브라타(Ramalina Terebrata)'에서 발굴한 '라말린(Ramalin)'이다.

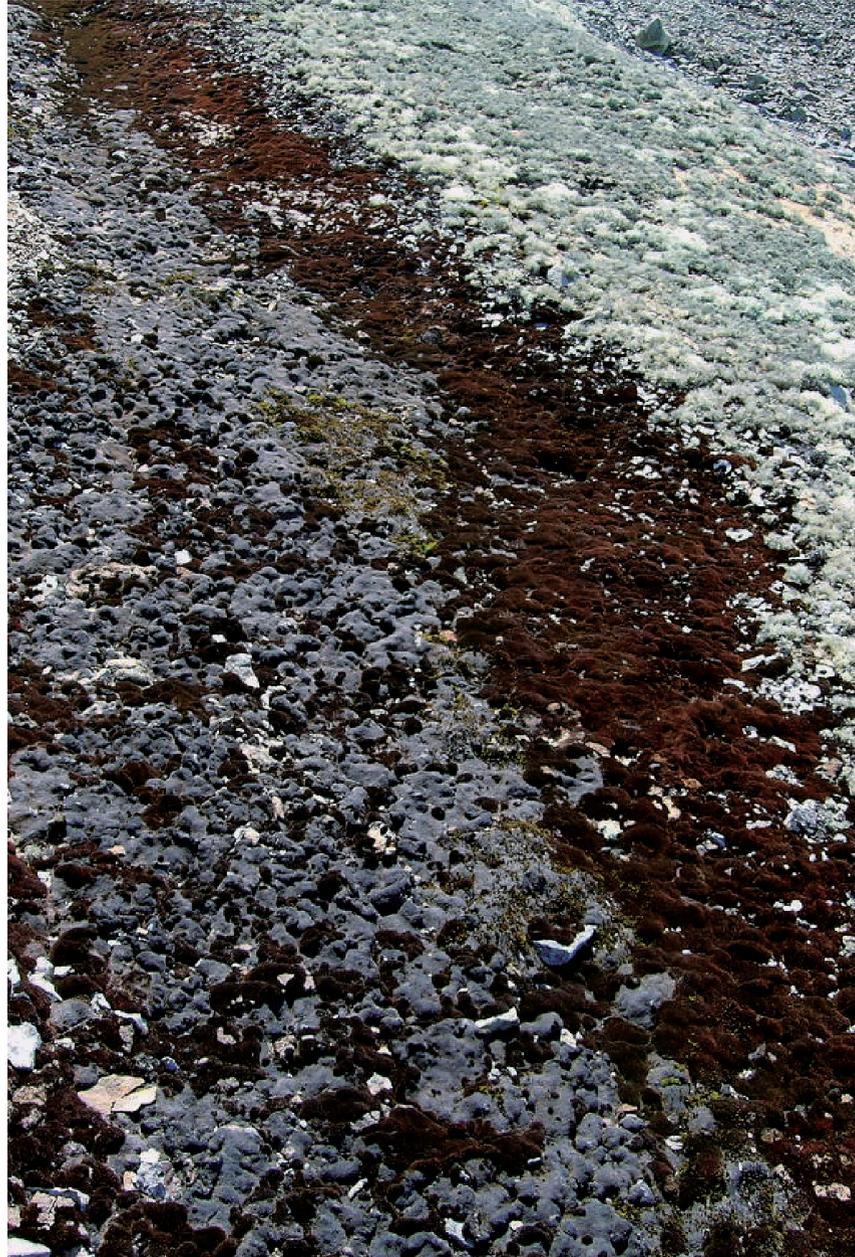
비타민 1000배 효능 '라말린' 분리

라말린은 항산화 효능이 탁월하다. 생물은 여러 대사과정에서 끊임없이 활성산소종(ROS·Reactive Oxygen Species)과 활성질소종(RNS·Reactive Nitrogen Species)을 축적한다. 활성산소종은 염증, 심혈관 질환, 암, 노화관련 질환, 대사질환 및 아테롬성 동맥경화증(Atherosclerosis)과 같은 여러 질병을 유발하는 원인이다.

활성산소종이 작용하는 방식은 단계적이다. 먼저 효소 수용체의 활성을 감소시키고, 세포막 단백질에 손상을 줘 결국에는 세포의 불활성화를 초래한다. 생물은 활성산소종의 유독성에 대항하는 자연적인 방어 기작을 가지고 있으나, 활성산소종이 지나치게 축적되면 세포에 비가역적인 산화 손상을 입힌다.

과학자들은 이런 산화 과정을 늦추거나 억제하기 위한 강력한 합성 항산화제를 개발해왔다. 그러나 이들은 암을 유발하는 부작용이 보고되거나, 시중에서 판매하는 비타민과 마찬가지로 항산화 효과나 기능이 떨어지는 등 한계가 있었다.

킹조지섬 바톤반도의 대표 식생인 지의류와 이끼류가 혼합군락을 이루고 있는 모습.



김지희

극지생명과학연구부 연구팀은 남극이라는 극한의 환경에서 살아남은 지의류에 주목했다. 지의류는 비(非)개화식물과 유사한 생물체로 곰팡이와 조류 또는 시아노박테리아(Cyanobacteria)와 공생 연합체다.

물론 그동안 많은 연구에서 다양한 지의류로부터 항생효과, 항산화, 항염증 등 여러 가지 생물학적으로 유용한 활성을 가지는 천연 화합물들을 분리해왔다. 그전까지 항산화 활성을 가진다고 알려진 지의류는 대부분 열대 및 아열대에서 기원한 종들이었다. 극지방의 지의류에 대한 항산화 활성 연구는 매우 미미한 실정이었다.

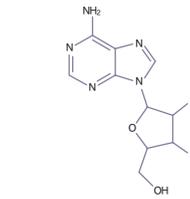
극지생명과학연구부 연구팀은 남극 지의류로부터 새로운 천연 화합물을 분리하기 위해 지속적으로 시료를 확보하고 스크리닝했다. 그 결과 남극세종과학기지가 있는 남극대륙 킹조지섬에 군락으로 자생하는 라말리나 테레브라타가 기존 합성물질이나 천연물질보다 뛰어난 항산화 활성을 가지는 물질을 포함하고 있다는 사실을 알게 됐다.

우리는 여기서 새로운 구조의 화합물인 라말린을 분리했다. 라말린은 시판되는 합성 항산화제인 비타민C보다 1000배 이상 매우 높은 항산화 효과를 가진 것으로 나타났다. 실제로 2011년 LG생활건강은 라말린을 활용해 '프로스탄'이라는 화장품을 출시하기도 했다.

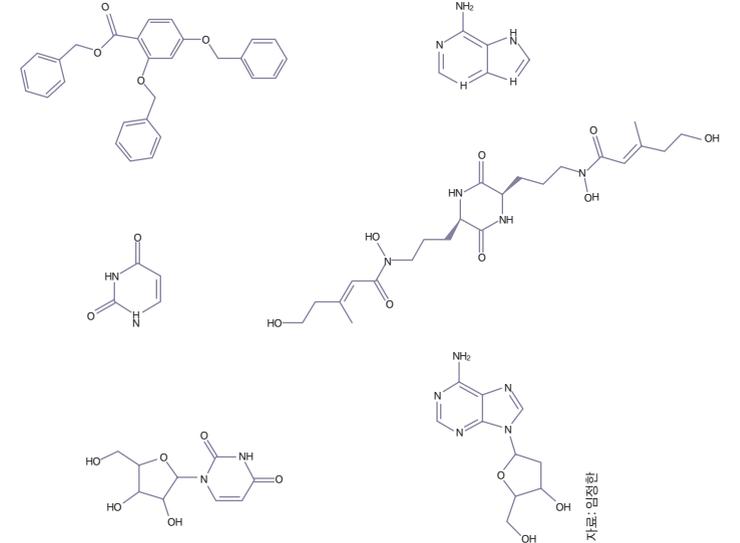
라말린은 치매 치료제로도 개발되고 있다. 현재는 라말린이 유전자 발현을 조절하는 히스톤 탈아세틸화 효소(HDACs·Histone deacetylase)를 저해하는 효과를 낸다는 사실을 확인한 상태다. 라말린이 치매를 억제하는 효과가 있는지 향후 분석할 계획이다.

대사체 라이브러리 확보할 것

극지연구소는 남극에 있는 동물자원에서도 생명공학의 블루오션을 찾고 있다. 대표적인 연구가 극지 요각류 연구다. 요각류는 새우나 게 같은 갑각류의 한 종류로 몸길이가 보통 1~4mm 내외에 불과하다.



극지미생물(Preussia sp.)에서 추출한 7가지 대사체 화합물의 구조. 극지연구소는 새롭게 추출한 대사체의 라이브러리를 구축하고 있다.



김정원·김지희

그간 연구팀은 남극 고유 생물인 요각류(Tigriopus kingsejongensis)가 강한 자외선을 받았을 때 스트레스에 어떻게 반응하고, 이때 항산화 방어 기작을 어떻게 작동하는지 연구해왔다. 그 결과 요각류에서 글루타치온 퍼옥시다제, 카탈라아제 등 항산화 효소와 열충격 단백질을 확보했다.

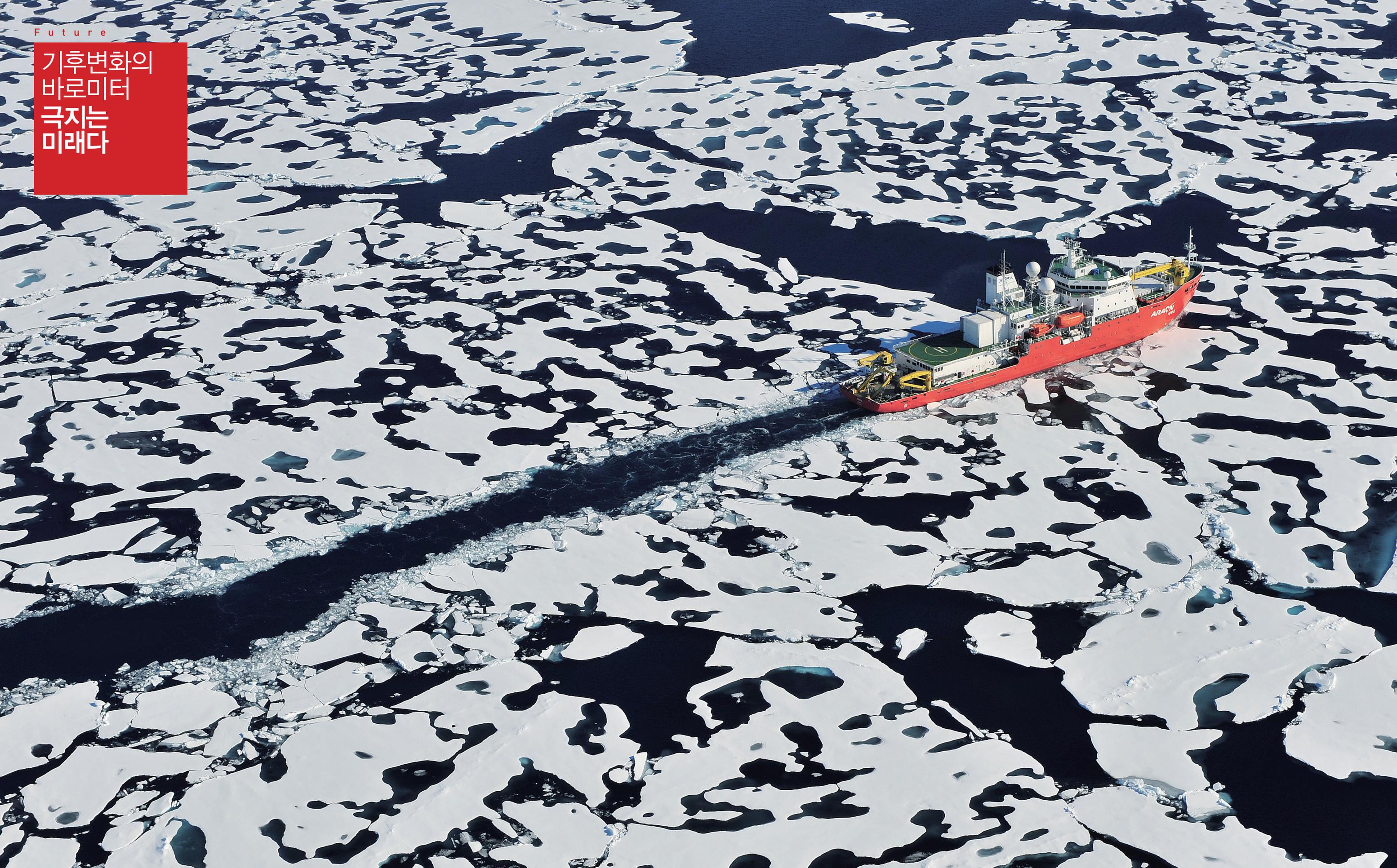
극한 환경에 서식하는 극지 생물자원에는 '제2의 라말린'이 수두룩할 것이다. 우리는 이러한 대사체를 활용하는 기반을 마련하기 위해 추출물 및 대사체 라이브러리를 구축하고 있다. 남극 로스해 해양생물로부터 100여 종의 추출물 및 대사체를 확보하는 등 현재 500여 종의 라이브러리 정보를 쌓아둔 상태다.

신규 대사체의 활성을 검증하는 연구도 지속하고 있다. 2016년에도 균류(Preussia sp.)에서 대사체 7종의 구조를 결정하고, 진균에서 유래한 대사체 3종의 구조 분석을 완료했다.

앞으로 '극지미생물자원은행'과 '극지생물유전자정보은행'을 운영하며 극지생물과 유전자 정보를 국내외 연구자에게 제공할 계획이다. 30

Future

기후변화의
바로미터
극지는
미래다



극지는 기후를 보는 바로미터다. 극지에 쌓인 기후자료를 복원해 과거에 기후가 어떻게 변했는지 파악하고, 현재 기후변화가 얼마나 빠르게 진행되는지 정량화함으로써, 미래 기후의 변화를 가장 잘 예측할 수 있다.

눈과 얼음이 사라진다

“극지는 전 지구에서 기후변화에 가장 민감한 지역입니다. 눈과 얼음으로 뒤덮여 있기 때문입니다.”
김성중 극지기후과학연구부 책임연구원은 기후변화를 연구하기 위해 극지에 주목하는 이유를 이같이 설명했다. 극한 지역인 극지가 눈과 얼음으로 뒤덮인 것이 대수냐는 반문이 튀어나왔다. 김 책임연구원은 “태양에너지를 흡수하는 차이가 중요하다”고 설명했다.

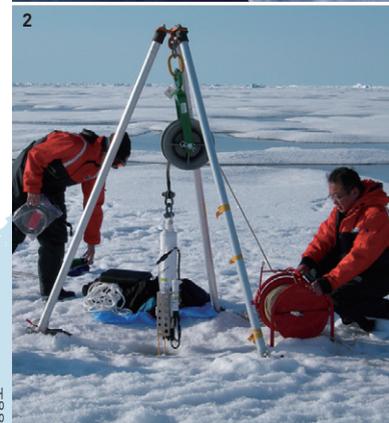
갓 내린 흰눈은 태양빛을 85% 반사한다. 불순물이 내려앉은 눈도 반사율이 70%에 달한다. 그러나 지구온난화 같은 외적인 요인에 의해 눈이나 얼음이 푸른색을 띠는 물로 변하면 반사율이 약 10%로 급감한다. 태양에서 오는 에너지의 90%를 흡수한다는 뜻이다.
더 큰 문제는 이런 현상이 ‘양의 되먹임’을 일으킨다는 점이다. 더 많이 흡수된 태양에너지는 주변 공기와 바닷물의 온도를 상승시킨다. 이

때문에 주변 얼음이나 눈이 평소보다 더 녹는다. 결과적으로 태양빛을 흡수하는 양도 더 늘어난다. 이것을 ‘얼음-알베도-기온의 양의 되먹임 작용’이라고 부른다.
게다가 대부분 바다로 이뤄진 북극은 수온이 올라가면 해양에서 대기로 많은 양의 수증기가 방출된다. 수증기는 이산화탄소와 같은 온실가스로 작용한다. 지구 복사를 흡수하며 북극의 온도를 높인다. 북극이 남극에 비해 더 빠르

게 온난화가 일어나는 이유 중 하나다.
“이런 변화는 당장 우리 삶에 영향을 미칩니다. 북반구 중위도에 극심한 한파가 자주 발생하는 원인도 북극 해빙에서 찾을 수 있습니다.”
강성호 극지해양과학연구부장은 해빙을 ‘냉장고 문’에 비유했다. 문이 닫혀 있을 때는 냉기가 잘 보존되지만 열려 있을 때는 외부와 열교환이 일어난다. 즉 해빙이 덮여 있지 않으면 열기와 수증기가 바다에서 빠져나가고, 이는 북극과 중위도를 연결하는 ‘극 소용돌이(polar vortex)’를 약화시킨다. 극지의 찬 공기가 쉽게 남하할 수 있는 조건이 되는 셈이다.
그런데 최근 북극의 해빙 면적은 10년마다 약 4.1%씩 급격히 줄고 있다. 1990년대까지만 해도 북반구 겨울철(3월 초) 해빙 면적이 약 1500만 km²까지 늘어나다가 여름철(9월 초) 700만 km²까지 감소했다. 그런데 2000년 이후부터 해빙 분포가 급격히 줄기 시작해 2012년 9월 초에는 약 350만 km² 정도로 줄었다.

북극의 해빙이 감소하면서 기후변화는 더 격해졌다. 원래 단기적이었던 현상들이 지속적인 한파, 혹서, 폭염, 가뭄, 홍수로 변하고 있다. 강 부장은 “북극해에서 진행 중인 환경변화는 사람들의 온실가스 배출 감소 노력과 상관없이 이번 세기 중반까지 가속화될 것”이라며 “기후변화의 영향이 향후 30~40년 동안은 더 강해질 것”이라고 전망했다.

아라온호를 활용해 기후변화로 인한 북극해의 환경변화를 조사하는 모습.



1 해빙 탐사 중 발견한 북극곰 가족.
2 극지연구소 연구원이 해빙 주변 해양 물리환경을 조사 중이다.

남극장보고과학기지 인근 난센 빙붕. 빙붕 표면이 녹아 물웅덩이가 형성되면 빙붕의 붕괴가 촉진된다는 통념이 최근 연구를 통해 깨졌다.



이원상

다
진
너
마
이
파
괴

극지의 얼음은 중위도의 해수면에도 직접적인 영향을 미친다. 육상 빙하(빙상)가 바다로 흘러내리는 것을 막는 빙붕(육상 경계면부터 넓고 길게 바다 위에 떠 있는 두꺼운 얼음. 보통 두께가 200~900m에 이른다)이 녹거나 붕괴하면 육상 빙하가 바다에 빠지면서 해수면이 상승하기 때문이다.

지구 담수의 약 99%는 얼음의 형태로 북극 그린란드와 남극대륙에 존재하고 있다. 그린란드와 남극의 빙상이 모두 녹으면 해수면이 각각 7m, 60m씩 상승할 것으로 예상된다. 2100년에는 전지구 평균 해수면이 지금보다 2m 상승할 것이라는 예측도 나온다.

“관건은 빙붕과 빙상이 얼마나 불안정한지, 그리고 얼마나 빠르게 녹을지 정확히 예측하는 것입니다.”

이원상 해수면변동예측사업단장은 “극지의 빙권 거동을 이해하는 것이 해수면 상승을 예측하고 대응하는 데 가장 중요한 요소”라고 강조했다.

이 단장이 이끄는 연구팀은 2014년부터 추진하고 있는 ‘남극장보고과학기지 주변 빙권 변화 진단, 원인 규명 및 예측’ 연구를 통해 빙붕에 구멍을 뚫고 얼음 아래 바다의 수온과 유속, 염도를 측정하고 있다. 또 얼음 위에 두께를 정밀하게 측정할 수 있는 레이더 장비를 설치해 빙붕의 변화를 관측하고 있다.

쇄빙연구선 아라온호를 활용해 빙붕 주변 바다 환경 변화도 지속적으로 살피고 있다. 특히 무인 잠수정으로 빙붕 아래가 얼마나 녹고 있는지 직접 측정했다. 그밖에도 육상 빙하 위에 위성위치확인시스템(GPS) 수신기를 설치해

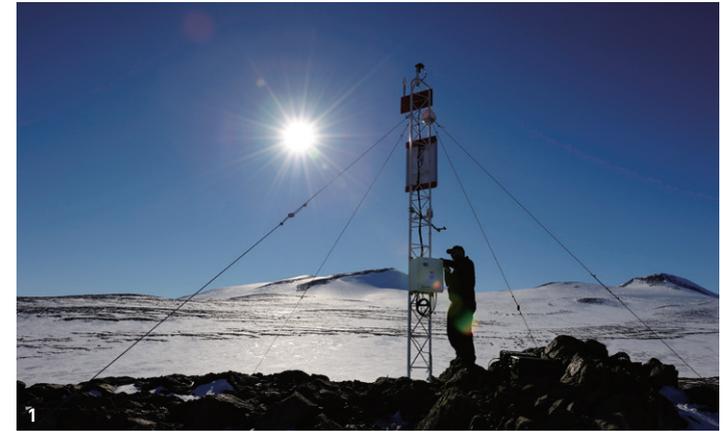
빙하가 어느 정도의 속도로 바다를 향해 흘러 내려가는지 추적하고, 빙하가 흘러가며 지면을 긁는 소리 등을 지진계로 분석해 빙하가 움직이는 원인을 분석했다.

그 결과 학계의 통념을 깬 의미 있는 성과가 나왔다. 그동안 학계에서는 기온이 상승하면 빙붕 표면의 얼음이 녹으면서 물웅덩이(melt ponds)가 형성돼 빙붕의 붕괴가 촉진된다고 여겼다. 푸른빛을 띠는 물웅덩이가 태양에너지를 더 많이 흡수해 웅덩이가 점점 더 커지고, 이것이 빙붕에 구멍을 뚫어 붕괴를 심화시킨다는 것이다.

그러나 극지연구소와 미국 컬럼비아대, 미국 항공우주국(NASA) 등 공동연구팀이 남극장보고과학기지 인근 ‘난센(Nansen) 빙붕’을 관찰한 결과, 비탈진 형태의 빙붕에서는 이 같은 가설이 들어맞지 않았다. 물웅덩이가 형성돼도 곧 빙붕 표면에 생기는 물줄기를 통해 흘러 내려 빙붕 붕괴가 촉진되지 않았다.

이 단장은 “해수면 상승이 예상보다 느리게 진행할 수 있다는 뜻”이라며 “연구결과를 남극의 다른 빙붕으로 확대해 해수면 변동을 더 정확하게 예측할 계획”이라고 설명했다. 연구결과는 ‘네이처’ 2017년 4월 20일자에 실렸다.

이 단장이 이끄는 연구팀은 최근 남극에서 가장 빠르게 녹고 있는 서남극 스웨이트(Thwaites) 빙하의 거동을 예의주시하고 있다. 따뜻한 남극 순환 심층수(Circumpolar Deep Water)가 서남극 지반선(육상과 바다의 경계)까지 침투해 서남극의 빙붕 두께가 20년 전에 비해 약 7% 정도 급격히 감소했기 때문이다. 남극 순환 심층수는 그 온도가 해수의 어느점



유원호



유원호

(영하 1.9도)보다 약 3.5도가량 높아 얼음 하부를 녹이는 데 크게 기여한다. 만일 이산화탄소 방출량이 현재와 비슷한 수준으로 유지된다면 2100년에는 이 지역 빙상이 붕괴하는 것만으로 해수면이 1m 가량 상승할 수 있다. 이 단장은 “다학제 연구를 통해 미래 해수면 변동 예측 연구의 정확도를 향상시켜야 한다”고 강조했다.

1 남극장보고과학기지 주변에 설치한 기상과 빙하, 빙붕 하부 및 지구물리 현상을 종합적으로 관측하는 장비.
2 빙하가 깨지거나 흘러가며 지면을 긁는 소리를 관측해 빙하의 움직임을 파악하는 지진관측장비도 설치했다.

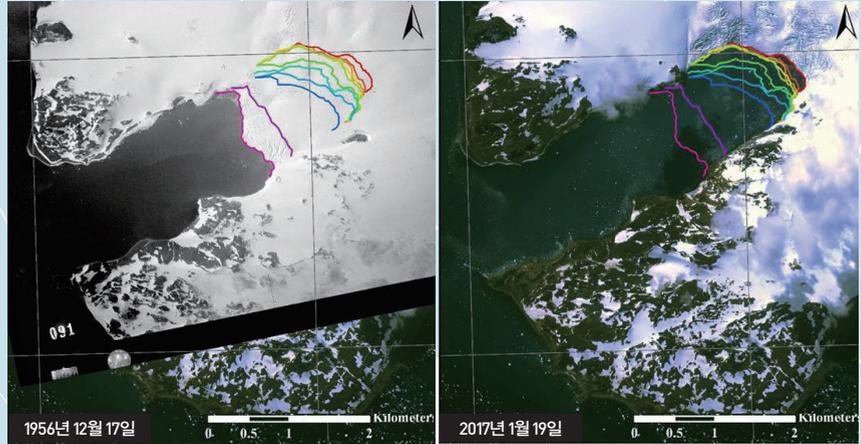
빙벽이 후퇴한다

빙하의 위치도 현재 일어나고 있는 기후변화를 정량화할 수 있는 주요한 지표다. 김현철 북극해빙예측사업단장은 “인공위성 관측 결과 남극세종과학기지 앞 마리안 소만에 위치한 빙벽이 해마다 후퇴하고 있다”고 설명했다. 마리안 소만에는 길이가 약 2.8km, 폭이 약 1.2km인 조수빙하(빙하의 끝이 바다와 맞닿아 있는 해안빙하)가 있다. 이것은 관측 기록이 존재하는 1956년 이후 60년이 넘도록 지속적으로 후퇴하고 있다. 2017년까지 2km나 후퇴했다.

엄청난 변화이지만 육안으로 확인하기는 어렵다. 특정 지점을 정해두고 10년, 20년 장기적으로 관측해야 알 수 있기 때문이다. 김 단장은 “인공위성을 활용한 해빙과 빙권의 원격 연구가 갈수록 중요해지고 있다”며 “인공위성 원격 탐사는 과거 유럽과 미국 등에서 주도했는데, 이제는 한국도 지구관측 위성인 다목적실용위성(아리랑)으로 인공위성 원격탐사를 하고 있다”고 말했다.

실제로 극지연구소 연구팀은 광학위성인 ‘아리랑 2호’, ‘아리랑 3호’를 이용해 마리안 소만의 빙벽 후퇴를 현재까지 지속적으로 관찰하고 있다. 또 아리랑 2호, 3호로 남극세종과학기지가 위치한 바톤반도의 식생분포를 정밀하게 관측해 세계 최초로 식생 분포도를 작성했다. ‘아리랑 5호’ 영상레이더를 기반으로 서남극해의 해빙을 정밀하게 탐지할 수 있는 알고리즘도 개발했다.

김 단장은 미국항공우주국(NASA)과 유럽우주국(ESA)이 운영하는 광역관측 인공위성을 활용해 남극해를 순환하는 ‘남극순환류



(ACC-Antarctic Circumpolar Current)의 패턴 변화도 종합적으로 연구할 수 있다고 덧붙였다. 남극순환류는 남극대륙 주변을 시계방향으로 흐르는, 지구상에서 가장 거대한 해류다. 대서양, 태평양, 인도양과 모두 접해 있어 남극과 각 대양간의 열과 해수 교환이 이뤄진다. 남극순환류의 위치와 수송량 변동은 기후변화에 큰 영향을 미친다. 김 단장은 “해류는 지구 온도에 가장 큰 영향을 주는 요소”라며 “남극의 얼음 양은 남극순환류의 세기에 변화를 가져오는 중요한 인자”라고 설명했다.

항공사진과 인공위성이미지로 분석한 마리안 소만빙하의 변화. 약 60년 동안 2km 가량이 후퇴했다.

기후변화가 생물에 미치는 영향을 보기 위해서는 극지의 생태계를 연구하는 것이 가장 좋다. 현재 남극의 해양 생태계는 기후변화로 급변하고 있다. 특히 남극세종과학기지가 위치한 킹조지섬은 남극반도 해역에서도 기후변화가 가장 빠르다.

강성호 극지해양과학연구부장이 이끄는 연구팀은 1996년부터 미세조류의 종 구성과 생물량을 모니터링해 기후변화에 따른 해양 생태계 변화를 추적하고 있다. 그는 “고온의 해류가 남극으로 확산되고 남극해 해수에 녹아있는 이산화탄소 농도가 증가하면서 1차 생산자인 저온 서식 미세조류(식물플랑크톤)의 생산력과 우점종이 변하고 있다”고 말했다.

식물플랑크톤의 생물량은 매년 수온이 상승하는 남극의 늦은 봄부터 여름까지 증가하고, 수온이 낮아지는 겨울철에는 감소한다. 연구팀은 이러한 식물플랑크톤의 종 구성이 서식지의 환경 변화에 따라 바뀐다는 사실을 알아냈다. 저온에서 서식하는 종들이 사라지고 상대적으로 따뜻한 물에 서식하는 종이 늘어난 것이다.

식물플랑크톤의 구성이 바뀌면 크릴의 먹이가 바뀌고, 먹이사슬에 따라 펭귄 같은 큰 생물에게까지 영향을 준다. 김정훈 극지생명과학연구부 책임연구원이 이끄는 연구팀은 2017년 6월부터 5년 간 남극장보고과학기지 인근 로스해에서 생태계에 영향을 미치는 환경 요인을 파악하기 위해 펭귄이 먹이를 구하는 곳의 식물플랑크톤 및 해수의 온도 분포 변화를 분석하고 있다.

북극에서는 토양이나 암석의 역할을 확인하

다 바뀐다 사슬이 먹이 사슬이 태계



1 극지연구소 연구원들이 해양 생태계 변화를 조사하기 위해 극지 해양 생물을 채집하고 있다.
2 남극특별보호구역인 ‘나레브스키 포인트’에 서식하는 젠투펭귄. 플랑크톤의 변화는 펭귄 같은 큰 생물에게까지 영향을 미친다.



는 연구가 진행되고 있다. 이유경 극지생명과학연구부 책임연구원이 이끄는 연구팀은 북극 중앙로벤 빙하에서 생태계의 변화를 연구한다. 북극다산과학기지에서부터 1시간 거리에 있는 중앙로벤 빙하는 1920년 이후 매년 12m씩 꾸준히 후퇴하고 있다.

이렇게 빙하가 녹으면서 새롭게 드러나는 토양은 주변에서 이입되는 모든 생물이 새롭게 정착할 수 있는 공간이 된다. 빙하의 후퇴 시기와 지형이 육상 생태계에 어떤 변화를 가져오는 지 연구하기에 최적인 셈이다.

현재까지 연구에 따르면 빙하 후퇴 지역의 생태계는 단순히 빙하가 사라진 시간에만 영향을 받는 것이 아니라 눈이나 빙하가 흘러내린 물줄기, 주변 생물, 미세한 지형 등 다양한 환경 요인에 영향을 받는다.

과거 기후를 추적하다

극지 해저에 잘 보존된 퇴적층에서 과거의 기후와 환경 변화 기록을 복원하는 일도 기후변화 연구에서 하나의 큰 축을 이루고 있다. 대표적인 연구가 퇴적물 코어에서 북극해 기후변화의 기록을 읽는 것이다. 북극해 해저에 쌓인 퇴적물에는 북극해가 생성된 이후 수천만 년의 기록이 차곡차곡 책갈피처럼 쌓여 있다. 육상에서 기원한 크고 작은 자갈과 모래나, 해양에서 기원한 식물성 및 동

물성 플랑크톤 잔해가 바로 그것이다. 이들을 분석하면 과거 북극해 주변 대륙 빙하가 어떤 위치에 어떤 규모로 존재했는지, 해빙으로 얼마나 덮여 있었는지 또는 녹았는지 알 수 있다. 남승일 극지환경연구부 책임연구원은 “자갈이나 모래는 빙하가 확장하거나 후퇴하는 시기에 주로 빙산에 의해 운반돼 해저에 퇴적된다. 반면 빙하가 내륙으로 후퇴하고 해빙이

현재와 같이 많이 녹는 따뜻한 간빙기에는 표층에 살던 식물성, 동물성 플랑크톤 등 해양기원의 유기물이 주로 퇴적층에 쌓인다”고 설명했다. 연구팀은 서북극해에서 2010~2015년 여섯 차례에 걸쳐 아라온호로 탐사를 진행해 해저 지형 및 천부해저지층 탐사 자료를 획득하고 퇴적물 코어를 다량 시추했다.

특히 2015년 여름 제6차 아라온 서북극해 탐사에서는 척치 해와 동시베리아 해역에서 처음으로 14m 길이의 퇴적물 코어를 획득했다. 코어에는 약 50만 년 전인 제4기 중기 이후 빙하의 역사와 빙하기와 간빙기가 반복되면서 북극해에서 일어났던 기후환경변화 기록이 잘 보존돼 있었다.

남 책임연구원은 “퇴적물에서 분석한 과거의 기록들은 현재 진행 중인 급격한 지구온난화에 의해 앞으로 진행될 북극해의 기후환경변화를 이해하고 예측하는 데 중요한 자료”라고 강조했다. 이는 현재와 같이 온난했던 간빙기에 북극해 해빙이 어느 정도 녹았는지, 빙하기에 대부분 해역이 결빙됐던 표층수에서 얼마나 많은 생물이 생산 활동을 했는지 간접적으로 알 수 있다는 뜻이다.

연구팀은 현재 서북극해뿐만 아니라 기후변화에 가장 민감하며 우리나라 북극다산과 학기지가 위치한 북극 스발바드 군도에서 과거 기후환경변화를 복원하고 있다. 요즘처럼 따뜻한 기후가 안정됐던 약 1만1700년 전(홀로세) 이후 피오르드에서 조수빙하 후퇴에 의한 기후환경변화가 어떻게 일어나고 있는지 노르웨이 트롬소대와 공동으로 연구하고 있다.



1 해저 퇴적물을 시추하기 위해 아라온호에 장착된 코어링 시스템을 설치하는 장면.
2 북극 척치해 심해 분지에서 획득한 14m 길이의 빙해양 퇴적물 코어의 일부. 빙하 역사와 고(古)해양 기후환경 변화 기록이 잘 보존돼 있다.

다빈치 남극 빙하가 남극 서남극

빙하나 해양 퇴적물 같은 자료로 과거를 복원하고, 복원된 자료를 검증하는 데 수치모델은 없어서는 안 될 존재다. 가령 빙하 거동 모델링 연구는 빙하 거동의 원인이 하부의 지형과 지역적인 기후변화 외에도 겨울철에 내리는 강설에 큰 영향을 받는다는 새로운 사실을 알게 해줬다.

이런 수치모델은 과거의 자료를 바탕으로 미래를 예측하는 데에도 쓰인다. 김성중 극지기후과학연구부 책임연구원은 “수치모델을 이용해 동남극과 서남극의 기후변화 차이를 연구할 계획”이라고 밝혔다.

남극의 기후변화는 서쪽과 동쪽에서 판이한 양상을 보이고 있다. 서남극은 빠른 온난화로 육상 빙하와 해빙이 급격히 감소하고 빙봉이 붕괴되는 반면, 동남극의 변화는 미미한 수준이다. 오히려 빙하와 해빙이 소폭 증가하는 등 약간의 냉각화가 나타나는 경향도 있다. 왜 이런 현상이 나타나는지, 이 현상이 언제까지 지속될지가 현재 전 세계 극지 연구자들의 초미의 관심사다.

일각에서는 이를 오존 농도 감소와 연결 지어



기후변화는 더 이상 먼 미래나 남의 나라 문제가 아니다. 연구자들이 국적이나 분야를 막론하고 힘을 모으는 이유다.

설명한다. 오존농도가 감소하면서 남극 진동을 강화시켜 남극대륙을 감싸고 도는 서풍 제트기류가 더 세지고, 그로 인해 저위도로부터의 열전달이 약화돼 서남극과 동남극에 각각 다른 추세가 나타난다는 연구 결과가 있다. 김 책임연구원은 “서남극에 있는 남극세종과 학기지에서 관측한 자료와 동남극의 시작 지점에 있는 남극장보고과학기지에서 관측한 자료를 복합적으로 활용해 이를 모델링할 계획”이라고 말했다.

연구자들은 관측 자료를 바탕으로 수치모델을 점점 정교하게 만들고 있다. 가령 극지는 우리가 살고 있는 중위도와 달리 지면이 대기보

다 차가운 날이 많다. 지면 근처의 대기 구조가 중위도와는 다른 모습을 보여 모델링이 불확실하다. 이때 관측 자료를 넣어 수치모델의 검보정 작업을 수행한다. 기온뿐 아니라 해수면 변동, 해빙의 분포 변화 등 다양한 수치모델이 활용되고 있다. 30

한 눈에 보는 극지연구 인프라

극한지역인 '극지'를 연구하기 위해서는 인프라를 구축하는 것이 가장 중요하다. 세상의 끝에서 24시간 바쁘게 돌아가는 극지 연구의 주요 인프라를 정리했다.

남극장보고과학기지

1 본관동

남극장보고과학기지의 중심이 되는 건물. 강풍에 잘 견디는 독특한 'Y'형 구조다. 3개로 나뉜 각각 동에는 기상예보대기과학연구소, 생명해양과학연구소, 지구물리연구소, 지질온석연구소 등 연구실과 침실, 기지 대장실, 총무실, 통신실, 병원, 식당 등 생활시설이 갖춰져 있다.

2 발전동

남극장보고과학기지의 심장 역할을 하는 발전동. 275kW 발전기가 있는 기전실, 전기설비 창고 외에도 오수처리시설, 식품저장실, 병하연구실, 냉동시료보관실 등이 함께 있다.

3 정비동

굴삭기, 크레인 등 기지 내 중장비를 실내에 보관하고 정비하는 건물. 목공실, 창고 등도 함께 있다.

4 비상대피동

비상 시 월등대원들의 생존을 위한 대피 시설. 열 건물 비상발전동에 독립된 발전기를 갖추고 있다.

5 우주기상관측동

고층대기를 연구하는 전천 카메라와 뉴트론(중성자) 모니터, 전리권 영역에 대한 전자밀도 관측 시스템 등 관측 장비가 운영되고 있다.

6 라디오존데 비양동

온도, 습도, 기압, 풍향, 풍속을 측정할 수 있는 센서를 기상관측기구(라디오존데)에 달아 날리는 연구동. 지상 20km 상공까지의 대기 정보를 알 수 있어 기후 연구에 핵심 역할을 한다.

7 지구물리장비시험동

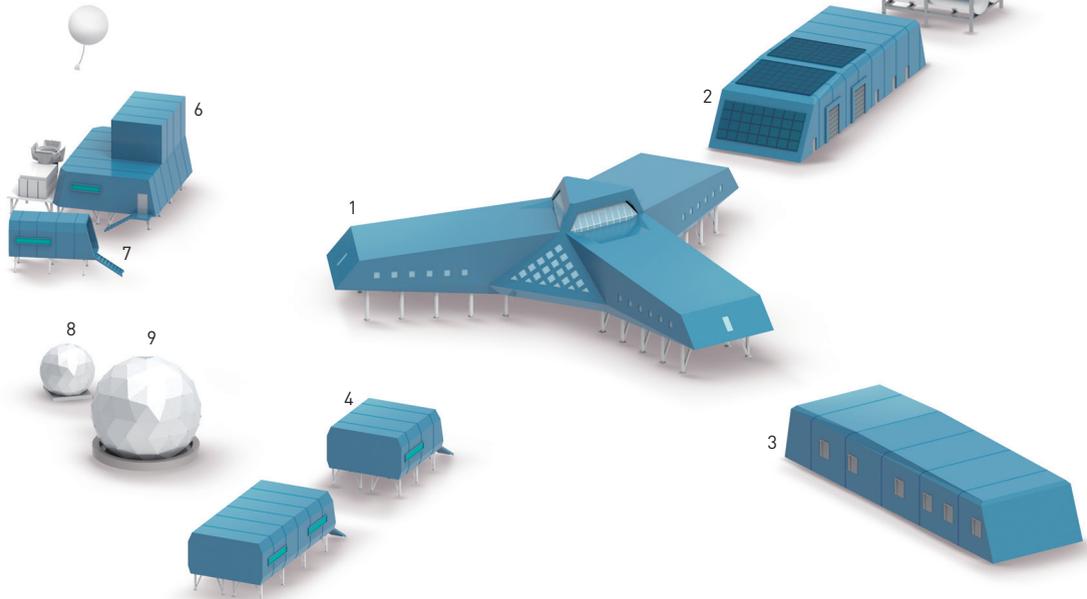
지진계, 초저주파 음향계, 초전도 중력계, 위성위치확인시스템(GPS) 등을 이용해 기지 주변 지구물리적 현상을 24시간 관측하는 연구동.

8 위성영상수신안테나

인공위성 영상자료를 수신하는 안테나.

9 위성통신안테나

전용통신망을 구축해 2Mbps 전송 속도로 안정적인 인터넷 사용이 가능하다.



북극다산과학기지



1 실험실
5개의 실험실에 미생물 실험 등에 이용하는 클린 벤치, 저온 배양기 등의 장비가 갖춰져 있다. 현장조사를 통해 채집된 시료를 이곳에서 1차로 처리해 국내로 가지고 온다.

2 잠수준비실
극지방의 저온수 잠수를 위한 준비실. 구명복이 보관돼 있다.

3 생활공간
기지 대장실, 사무실, 휴게실, 간이식당, 샤워실, 침실 등 생활공간이 갖춰져 있다.



아라온호

1 대형 크레인
다중그물막 시스템 등 시료채집 장비와 측정 장비, 무인잠수정(AUV) 등을 바닷속으로 내려보내다.

2 다중채널탄성파탐사기기
음파를 보낸 후 해저 바닥에서 반사된 음파를 센서로 탐지하는 장비. 선체바닥에 있다.

3 롱 코어 장비
선상에서 와이어에 연결시킨 퇴적물 코어를 바닷속으로 내려해저퇴적층에 수직으로 꽂은 뒤 들어 올리는 장치.

4 CTD
해수를 채취해 바다의 지점별 수온, 염분, 수심을 측정하는 장비.

5 공분산기체교환측정시스템
이산화탄소의 농도, 바람의 방향, 세기를 측정하는 장비.

6 대기 라이다
대기경계층(지면이나 수면의 마찰에 영향을 받는 대기층)의 높이를 측정해 해양과 대기의 에너지 교환 정도를 평가하는 장비.

남극세종과학기지

1 신축하게연구동
노후화된 연구동과 숙소건물을 대체하기 위해 신축한 건물. 2018년 완공됐다. 1층에는 토양암석분석실, 현미경실, 대기우주과학연구소 등 연구시설이, 2층에는 연구원들의 침실이 있다.

2 생활관동
남극세종과학기지의 중심이 되는 건물. 1층에는 식당, 휴게실, 의무실, 도서실과 같은 편의공간, 2층에는 대장실, 총무실, 통신실 및 대원들의 개인 휴식 공간이 있다.

3 지구물리관측동
지구물리 관측 자료를 획득해 외부로 전송하는 건물. 지진계 상시 관측, 위성위치확인시스템(GPS) 관측, 상대지자기상시 관측 서버가 있다.

4 대기관측동
남극 대기를 실시간으로 모니터링 하는 건물. 에어로졸 측정 장비, 미량기체 포집기 등 약 15종류의 장비를 24시간 운영하고 있다.

5 고층대기관측동
중간권 및 열권 하부와 전리층의 물리적 상태를 관측하기 위한 건물. 중성대기의 바람상태를 관측하는 유성레이더, 특정 고도의 온도를 측정하는 대기광 분광계, 전리권 영역에 대한 전자밀도 관측 시스템을 갖추고 있다.

6 발전동
남극세종과학기지의 심장 역할을 수행하는 발전동. 275kW 발전기 3대와 오수처리기, 열병합 설비 등이 있다.

7 보트창고동
남극세종과학기지의 필수 이동수단인 고무보트를 보관하는 보트창고동. 최대 4대의 고무보트를 보관할 수 있으며 건물 내에서 정비와 유지 관리를 할 수 있다.

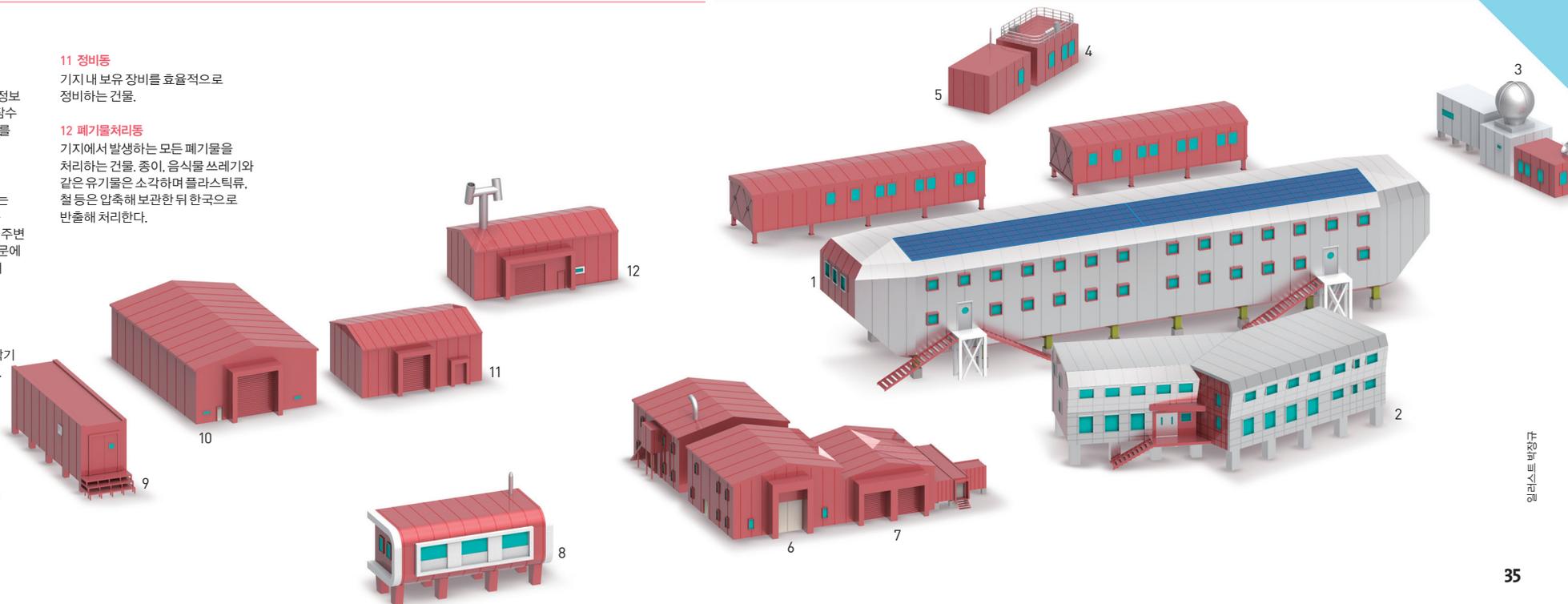
8 측지관측동
남극 평균 해수면 변화량 관측과 정밀 측지측량을 통한 극지역 공간정보 구축을 위해 설립한 건물. 조위계, 잠수 지원시설 및 해양 생물의 생리 연구를 위한 사육조를 운영 중이다.

9 우주환경광학관측동
중성대기의 바람 및 온도를 측정하는 페브리-페로 간섭계와 고층대기를 직접 촬영하는 전천 카메라가 있다. 주변 불빛으로부터 영향을 많이 받기 때문에 생활관동으로부터 약 800m 떨어져 있다.

10 중장비보관동
기지 내 보유 장비를 효율적으로 보관하고 유지·관리하는 건물. 굴삭기 등 대형 장비를 실내 보관할 수 있다.

11 정비동
기지 내 보유 장비를 효율적으로 정비하는 건물.

12 폐기물처리동
기지에서 발생하는 모든 폐기물을 처리하는 건물. 종이, 음식물 쓰레기와 같은 유기물은 소각하며 플라스틱류, 철 등은 압축해 보관한 뒤 한국으로 반출해 처리한다.



극지, 끝없는 프론티어

발행처 극지연구소

인천광역시 연수구 송도미래로 26

www.kopri.re.kr | 032-770-8400

공동기획·편집·디자인 동아사이언스

인쇄 교학사

*이 책에 실린 글과 이미지의 저작권은 극지연구소 및 동아사이언스에 있습니다.
이 책에 실린 글, 사진, 일러스트의 무단전재, 복사 및 재배포를 금지합니다.

비매품