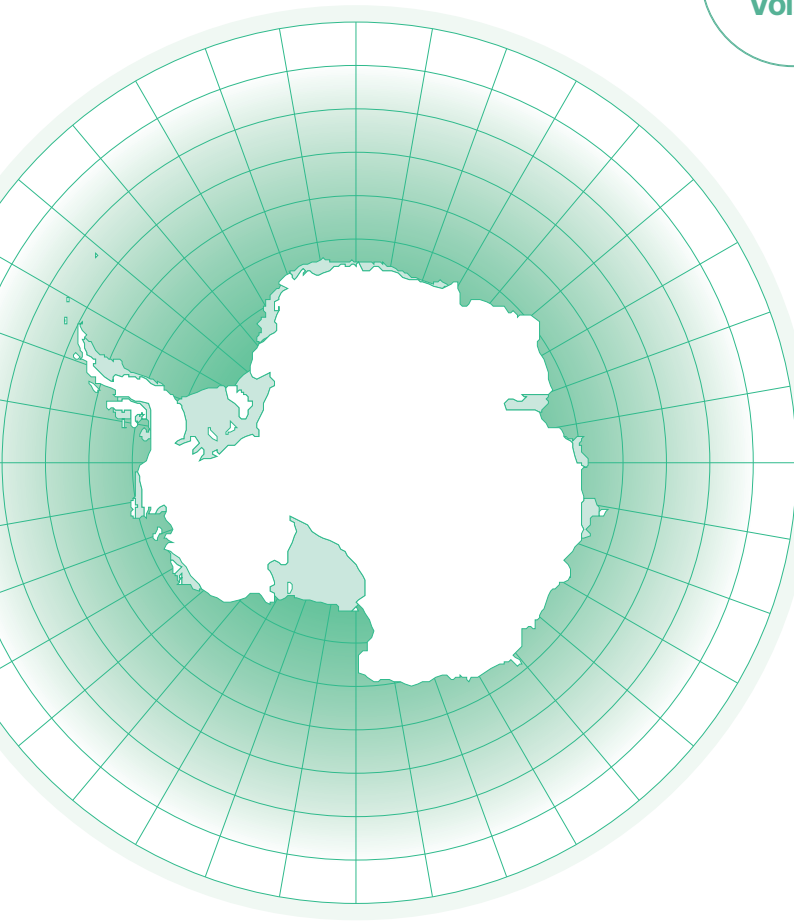


ISSN 2733-7529 (Print)
ISSN 2733-7537 (Online)

POLES & GLOBE

극지와 세계

2022
MARCH
Vol. 01



남극 식물로 냉해에 강한 작물 만들기

이형석 극지연구소 생명과학연구본부

대한민국 천문·우주탐사,
남극 내륙 고원으로 가자

정종균 한국천문연구원

뉴질랜드의 주요 남극정책과 협력 강화 가능성

진동민 한·뉴질랜드 남극협력센터

03p 이형석 극지연구소 생명과학연구본부

남극 식물로 냉해에 강한 작물 만들기

극한의 환경인 남극에서도 식물은 살고 있다. 이 지역을 대표하는 꽃식물인 남극좀새풀의 특별한 능력은 그저 바라만 보고 있기에는 아깝다. 극지연구소 생명과학연구본부는 남극좀새풀의 유전자를 도입해서 벼의 저온내성을 증가시킬 수 있다는 연구 결과를 발표했다. 벼에서 과발현된 남극좀새풀의 DaADF3 유전자가 세포 골격 재구성을 촉진해서 세포가 추위에 버티기 좋은 구조로 전환되는 것을 도와주기 때문이다. 이처럼 유용성이 검증된 극지 식물 유전자원을 활용해서 작물을 개량하기 위해 유전자 교정 기술 활용을 위한 후속 연구가 진행되고 있다.

05p 정종균 한국천문연구원

대한민국 천문·우주탐사, 남극 내륙 고원으로 가자

남극 내륙 고원은 몇 개월씩 지속되는 낮과 밤의 길이에 따라 푸르고 검은 하늘이 하얀 빙상과 함께 끝없이 이어진 지상 최고의 천문·우주탐사 지역이다. 원시별이 방출하는 TeV 대역 우주전파는 지구대기 수증기에 흡수되어 지상에서는 관측이 어려우나 남극의 경우 낮은 기온과 극히 적은 수증기량 덕분에 관측이 가능하다. 또한 남극에 있는 전파망원경을 타 지역의 전파망원경들과 연결하여 지구 크기의 가상 망원경으로 만들면 경이로운 우주의 블랙홀 움직임을 볼 수 있다. 남극에는 전기, 통신, 의료, 항법, 식량, 교통 등 우리가 당연히 누리고 있는 어떤 인프라도 존재하지 않는다. 그래서 달과 상황이 비슷하다. 최근의 우주는 인류의 영역 개척에 초점을 두고 분명한 목적을 둔 과학적 탐사영역으로 진행되고 있다. 미개척 영역을 탐사한다는 점과 극한 기술이 필요하다는 점에서 우주기술과 극지기술은 그 목적과 과정, 내용이 매우 유사하다. 따라서 우주로 가기 위한 전초기지로서 얼음 대륙, 남극 고원의 가치를 우주탐사 관점에서 고려해야 할 시점이다.

08p 진동민 한·뉴질랜드 남극협력센터

뉴질랜드의 주요 남극정책과 협력 강화 가능성

뉴질랜드는 우리나라가 정부간 남극협정을 체결하고 실질적인 협력 활동을 펼치는 유일한 국가이다. 뉴질랜드는 1957년부터 스코트 기지(Scott base)를 중심으로 남극활동을 활발히 수행해 왔으며, 2011년부터는 남극 연구에 대한 범정부계획을 수립했고, 2018년에는 남극과학플랫폼(ASP)이라는 자국 내 연구 역량을 집중한 다부처연구사업을 추진하고 있다. 뉴질랜드의 남극 연구는 지구기후변화와 로스해 지역을 중심으로 남극 환경보호를 위한 연구에 집중되어 있으며, 이를 통해 뉴질랜드는 경제사회적 이익 확보와 남극조약체제를 포함한 국제사회에서 영향력 강화를 일관되게 추진하고 있다. 장보고 기지 건설 이후에 우리나라와 뉴질랜드 간에 활발한 공동연구와 협력이 이루어지고 있고, 뉴질랜드의 다부처 사업 추진과 스코트 기지 재개발과 같은 인프라 투자가 확대되면서 양국 간의 연구 협력과 보급 지원 협력이 더욱 강화될 것으로 보인다.

남극 식물로 냉해에 강한 작물 만들기

이형석 극지연구소 생명과학연구본부



극한의 환경인 남극에서도 식물은 살고 있다. 이 지역을 대표하는 꽃식물인 남극좁새풀의 특별한 능력은 그저 바라만 보고 있기에는 아깝다. 극지연구소 생명과학연구본부는 남극좁새풀의 유전자를 도입해서 벼의 저온내성을 증가시킬 수 있다는 연구 결과를 발표했다. 벼에서 과발현된 남극좁새풀의 DaADF3 유전자가 세포 골격 재구성을 촉진해서 세포가 추위에 버티기 좋은 구조로 전환되는 것을 도와주기 때문이다. 이처럼 유용성이 검증된 극지 식물 유전자원을 활용해서 작물을 개량하기 위해 유전자 교정 기술 활용을 위한 후속 연구가 진행되고 있다.

남극에도 초록색 식물이 있다

7번. 남극세종과학기지 현장 조사를 다녀온 게 어느새 7번이다. 누군가 '가장 기억에 남는 현장조사가 언제였나' 라고 묻는다면 나의 대답은 항상 같다. 남극에 첫발을 디딘 2007년 1월이라고. 대학원 시절 몇 차례 학회 참석을 위해 해외를 다닌 적은 있었지만 남극 여정은 차원이 다른 새로운 것이었다. 남극의 관문인 칠레에서는 남미의 문화와 스페인어를 처음 경험했고, 남극으로 향할 때 탔던 군용 비행기에서는 그물 의자에서 옆사람과 부대끼며 허리가 끊어지는 듯한 고통과 귀가 먹먹한 고된 시간을 보내기도 했다. 킹조지섬 칠레 공군 비행장에 도착해서 마주한 얼음과 바위만 보이는 삭막한 자연도 놀라웠지만, 나에게 가장 충격적이었던 건 고무보트를 타고 세종기지로 이동하면서 본 초록색 산과 언덕의 모습이었다. 초록색이라니! 하얀색이 아니고? 남극은 불모(不毛)의 땅이다. 아니, 많은 사람이 그렇다고 생각한다. 드넓은 백색의 빙원과 바다에 떠다니는 커다란 얼음덩어리, 그 사이에 지어 있는 귀여운 펭귄만을 우리는 떠올린다. 하지만 남반구의 여름인 12월에서 2월 사이 세종기지가 자리 잡은 킹조지섬 해안가에는 군데군데 흰색 눈이 사라진 초록색 땅을 볼 수 있다. 초록색의 주인공은 대부분 이끼와 지의류다. 이들은 남극 여름의 지지 않는 햇살을 받아 광합성을 하고 에너지를 만들어 자기 몸을 키우고 자손을 만드느라 분주하다. 그리고 이들 사이로 꽃식물인 남극좁새풀과 남극개미자리도 만날 수 있다.



[그림 1] 세종기지 주변에서 만날 수 있는 남극좁새풀(좌)과 남극개미자리(우)

남극 식물의 대표, 남극좁새풀

남극좁새풀은 그 형태가 잔디와 매우 비슷해서 남극잔디라고도 불린다. 온난화는 세종과학기지가 위치한 킹조지섬에서 매우 뚜렷이 나타나는데, 그와 발맞추어 남극좁새풀 분포지역도 넓어지고 있다. 킹조지섬과 남극반도는 여름철 평균 기온이 0~4도 사이를 오르내린다. 초속 10m 내외의 바람을 동반하는 날이 많기 때문에 생물이 체감하는 온도는 그보다 훨씬 낮다. 남극좁새풀은 이런 척박한 곳에서 생존하고 몸을 키울 뿐 아니라, 열매를 맺고 씨를 퍼뜨려 개체수를 늘리고 있다. 황량한 남극에서 묵묵히 살아가는 남극좁새풀을 마주하면 자연스레 의문을 품게 된다. 이토록 춥고 척박한 곳에서 생존할 수 있는 비결은 무엇일까? 그 비밀을 밝혀서 인간을 위해 활용할 수는 없을까?

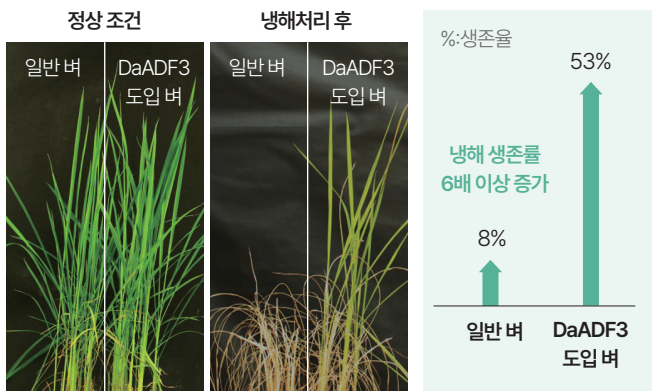
남극좁새풀에 대한 연구는 1980년대 초에 시작되었다. 초기에는 이들의 분포 지역을 조사하고 생태적 중요성을 파악하는 연구가 주를 이루었는데, 1990년대까지는 영국 극지연구소의 로날드 루이스 스미스(Ronald I. Lewis Smith) 박사와 피터 콘베이(Peter Convey) 박사가 연구를 주도했다. 이후 다수의 새로운 연구진이 참여하게 되면서 남극좁새풀이 만들어내는 독특한 대사물질로 관심이 넓혀졌다. 칠레 마누엘 기데켈(Manuel Gidekel) 교수는 남극좁새풀 유래 추출물이 높은 항암작용을 한다는 사실을 발견했고, 스페인 호세 투두리(José Antonio Matji Tuduri) 박사는 피부 손상을 완화해 주는 효과를 발견해서 각각 2010년과 2019년에 특허등록을 하기도 했다.

하지만 필자가 극지 연구를 시작한 2000년대 중반까지도 이 식물의 유전자에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이었다. 생명체의 생김새와 생리적 특징은 대부분 유전자에 의해 결정된다. 식물의 경우 잎의 모양, 꽃이 피는 시기, 환경이 변할 때의 대처법 등이 모두 여기 해당된다. 식물은 종마다 살아갈 수 있는 환경의 범위가 다르고, 가지고 있는 유전자의 종류와 기능도 다른데, 이처럼 식물마다 고유한 특

징을 부여하는 유전자를 찾아서 그 기능을 밝히는 것이 필자의 전문 분야인 식물분자생물학이라 할 수 있다. 남극종새풀이 남극의 극한 환경에서도 생존할 수 있다는 사실과 이 식물만이 갖고 있는 특화된 유전자가 있을 것이라는 가정에서 이 연구는 시작되었다.

식물이 추위를 잘 견디도록 도와주는 DaADF3

가장 먼저 진행한 것은 대규모 유전자 분석으로 남극종새풀이 가지고 있는 독특한 유전자의 후보들을 선별하는 과정이었다. 이후 선별된 유전자가 실제로 추운 환경에서 식물의 생존 가능성을 높여줄 수 있는지를 증명하는 가장 좋은 방법은, 그 유전자를 갖고 있지 않은 식물에 해당 유전자를 유전공학적으로 도입해서 추위에서의 생존율 변화를 관찰하는 것이다. 벼는 우리나라를 비롯한 아시아권의 주요 작물인 반면, 유전자 도입을 비롯한 다양한 연구기법들이 잘 확립되어 있다. 남극종새풀은 벼과 식물이기 때문에 연구팀은 남극종새풀에서 분리한 DaADF3 유전자가 식물의 저온내성을 높일 수 있는지를 확인하기 위해 벼를 이용하였다. 결과는 기대 이상이었다. 저온내성 검증을 위해 DaADF3 유전자 도입 벼와 일반 벼를 함께 28도에서 6주간 키운 후, 4도 조건으로 옮겨 7일간 두었다. 이후 다시 28도로 옮겨서 3주가 지났을 때, 일반 벼의 생존율은 평균 8%로 열에 아홉은 잎이 누렇게 뜨고 죽어 나갔으나 유전자 삽입 벼는 평균 53%로 생존율이 6배 이상 증가하였다. DaADF3 유전자가 식물의 저온내성을 증가시킨다는 것을 실험적으로 증명한 것이다.



[그림 2] 일반 벼와 남극종새풀의 DaADF3 유전자를 도입한 벼의 저온내성 비교. 일반 벼에 비해 유전자 도입 벼의 냉해 생존율이 6배 이상 증가했다.

DaADF3* 유전자는 액틴 분해효소를 만들어내는 유전자이다. 동물과 식물을 비롯한 대부분 생물의 세포는 내부에 단백질 필라멘트로 구성된 골격을 가지고 있다. 이러한 단백질 골격은 세포의 모양을 적절히 유지하고 세포 안에서 다양한 물질을 수송할 수 있게 도움을 준다. 건물의 구조를 유지하는 철근과 수도관에 해당하는 역할을 하는 것이다. 이러한 단백질 골격은 액틴과 튜불린이라는 2가지 단백질로 구성된다. 주변 환경이 달라지면 세포는 변화에 대처하기 위해 단백질 구조물을 빠른 속도로 재구성하는데, 이때 액틴의 재구성에 관여하는 효소가 ADF이다. 필요에 따라 건물도 내부 리모델링을 하듯이, 세포 내

액틴 골격의 재구성은 생물의 환경 적응과정에 매우 중요하다. 본 연구의 DaADF3 유전자는 벼의 세포 내 액틴 구조물의 재구성을 촉진시켜 세포가 추위에 버틸 수 있는 구조로 전환하도록 도와주는 것으로 추정된다.

유전자 도입을 통해 작물의 특성을 개량하고자 하는 연구는 이전에도 여러 건 보고되었고, 겨울철 추위에 강한 밀과 보리의 유전자를 작물에 도입하여 저온내성을 증가시킨 사례도 있었다. 기대한 대로 유전자 도입 후 저온내성이 증가된 경우는 다수 있었으나, 생장이 느려지거나 개체가 작아지거나, 꽃이 피는 시기가 늦어지는 등 작물 생산성이 감소하는 부작용 또한 발생했다. 하지만 남극종새풀의 유전자를 도입한 벼는 냉해에 강하면서도 일반적인 성장 조건에서 이러한 부작용을 보이지 않아 더욱 고무적이다. 우리나라는 기상이변의 영향으로 지난 1972년에서 2003년 사이 7~8년을 주기로 냉해로 인한 작물 피해를 입었다. 가장 피해가 컸던 1980년에는 전년 대비 벼 생산량의 30% 넘게 감소하기도 했다.** 이번 연구 결과가 상용화됐다면 1980년 작물의 피해 규모를 절반으로 줄일 수 있었을 것이다. 하지만 국내에서는 아직 본 연구와 같은 유전자 도입 작물의 재배나 판매가 허용된 사례가 한 건도 없다. 유전자 변형 생물체(GMO, genetically modified organisms)에 대한 불안감이 높기 때문이다. 최근 유전자의 특정 서열만 바꾸어 생물체의 특성을 개량하는 유전자 교정(Gene editing) 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 최소한의 서열 변이만 일으키고 별도의 마커 유전자 삽입이 없기 때문에 GMO의 가장 큰 우려인 인체나 생태계에 미치는 부작용을 최소화할 수 있는 기술이다. 일부 국가에서는 이미 상용화가 진행되어, 미국 Calyxt사는 유전자 교정으로 개발한 고올레산 대두를 원료로 식용유를 생산해서 2019년 세계 최초로 판매하기 시작했다. DaADF3를 비롯해 남극 식물 유래의 잠재적인 유용 유전자들 또한 유전자 교정 기술을 적용할 수 있는 좋은 대상이다. 지금까지는 남극 식물의 유용 유전자를 선별하는 연구가 주로 진행되었지만, 앞으로는 발굴된 유용 유전자를 대상으로 최소 유전자 변이로 최대 효과를 얻을 수 있는 핵심 부위를 규명하는 연구가 진행될 예정이다. 머지않은 미래에 극지 식물의 유전자를 활용한 작물 개량으로 국내 농가의 냉해 피해도 줄이고 드넓은 북한의 개마고원에서 벼농사를 짓는 날이 오기를 기대해 본다.

* DaADF3 유전자: *Deschampsia antarctica* Actin Depolymerizing Factor 3의 줄임말. 저온 환경에서 식물 세포가 냉해를 입지 않도록 세포 내 액틴 골격 변화를 일으키는 핵심 효소 유전자이다.

** <https://www.news1.kr/articles/?3152234>

대한민국 천문·우주탐사, 남극 내륙 고원으로 가자

정종균 한국천문연구원



남극 내륙 고원은 몇 개월씩 지속되는 낮과 밤의 길이에 따라 푸르고 검은 하늘이 하얀 빙상과 함께 끝없이 이어진 지상 최고의 천문·우주탐사 지역이다. 원시별이 방출하는 1Hz 대역 우주전파는 지구대기 수증기에 흡수되어 지상에서는 관측이 어려우나 남극의 경우 낮은 기온과 극히 적은 수증기량 덕분에 관측이 가능하다. 또한 남극에 있는 전파망원경을 타 지역의 전파망원경들과 연결하여 지구 크기의 가상 망원경으로 만들면 경이로운 우주의 블랙홀 움직임을 볼 수 있다. 남극에는 전기, 통신, 의료, 항법, 식량, 교통 등 우리가 당연히 누리고 있는 어떤 인프라도 존재하지 않는다. 그래서 달과 상황이 비슷하다. 최근의 우주는 인류의 영역 개척에 초점을 두고 분명한 목적을 둔 과학적 탐사영역으로 진행되고 있다. 미개척 영역을 탐사한다는 점과 극한 기술이 필요하다는 점에서 우주기술과 극지기술은 그 목적과 과정, 내용이 매우 유사하다. 따라서 우주로 가기 위한 전초기지로서 얼음 대륙, 남극 고원의 가치를 우주탐사 관점에서 고려해야 할 시점이다.

남극과 우주가 함께한 지구물리학의 해(IGY, 1957~1958)

1954년 로마에서 개최된 국제과학연맹협의회(ICSU, International Council of Scientific Union)는 최대 태양흑점 활동(1957~1958년) 기간에 맞추어 국제 지구물리학의 해(IGY, International Geophysical Year)를 설정하여 태양, 기상, 오로라, 자기장, 전리층 및 우주선(Cosmic ray)을 전 지구에서 동시에 관측하기 위한 계획을 수립하였다. 이를 달성하기 위한 두 가지 프로그램으로 남극과 우주를 제시하였다. 이에 따라 1957년 러시아는 인류 최초의 위성인 스푸트니크호를 발사하여 지구 전리층을 관측하였다. 당시 지구 전리층은 인간이 탐사 가능한 우주였다. 러시아 남극기지인 보스토크 기지는 스푸트니크호 송출 전파의 도플러 편이를 측정하여 성공적인 위성 비행을 확인하는 남극기지로서 역할을 수행하였다. 이와는 별개로 미국 존스-홉킨스 대학 응용물리연구소는 스푸트니크호 위성 신호의 도플러 편이를 이용한 위성항법시스템의 이론적 체계를 수립하였다. IGY(1957~1958)가 현대 최고의 발명품 중 하나인 위성항법시스템의 단초가 되었음을 그 당시에 누가 상상이나 했을까?

우주탐사 시대, 24시간 태양폭풍을 감시하라

여름이 다가오면 태풍이 언제 어느 곳에서 발생하고 우리나라에 얼마나 영향을 미치는지에 대해 관심을 갖는다. 태양이 지구에 보내는 엄청난 에너지에도 불구하고 지구가 생명으로 가득찬 행성이 된 이유는 지구가 적당한 대기와 자기장을 갖고 있어 생명에 위협이 되는 태양 고에너지 입자와 자외선 등을 차단하기 때문이다. 그러나 우주는 다르다. 태양에서 끊임없이 뿜어져 나오는 막대한 에너지를 우주인과 우주 비행선은 고스란히 받을 수밖에 없다. 특히 태양 플레어와 코로나 질량 방출 같은 태양폭풍은 위성항법, 위성전자부품, 우주인의 생명 등에 가장 위협적인 현상이다. 우리가 태풍 발생을 조기 감시하고 이동

경로를 예측하듯이, 태양 표면의 응축된 자기 에너지를 조기 감시하고 폭발 가능성에 대해 미리 예측하여 우리에게 얼마나 영향을 미치는지를 판단해야 한다. 남극 내륙에서 여름은 태양을 항상 관측할 수 있어 태양폭풍 전조 현상을 24시간 연속해서 추적할 수 있다. 또한 남극의 대기는 매우 낮은 수증기량과 먼지양 때문에 빛의 산란이 매우 적어 태양광학 관측에 최적지이다. 낮은 수증기량과 청정한 하늘, 24시간 연속 관측에 유일한 제약 사항인 남극 내륙 고원의 표면바람으로 발생한 대기교란을 적응광학기술¹⁾로 해결할 경우 지상 최고의 태양 광학 천문대가 될 것이다. 적응광학기술은 우주탐사 핵심기술로서 지구환경 감시, 안보, 국방 등 여러 분야로의 파급 효과 또한 매우 크다.

1) 대기교란 적응광학(adaptive optics)기술: 대기교란으로 발생한 광파면의 왜곡을 실시간으로 제어하여 광학장치 성능을 향상시키는 기술

별의 시작과 끝을 관측하는 남극 천문학

사람의 수명이 100년 남짓인 것에 비하면 평범한 별 중의 하나인 태양의 수명은 약 100억 년이다. 그래서 별은 밤하늘에 영원히 존재하는 것처럼 보인다. 그러나 영원할 것 같은 별들에게도 사람과 마찬가지로 탄생과 죽음이 있다. 별의 탄생과 죽음, 그것을 목도할 수 있는 지구상 유일한 곳이 남극 내륙 고원이다.

· 우주망원경과 경쟁하는 남극 고원 테라-헤르쯔(THz) 천문대

천문학에 아직 완성하지 못한 숙제가 있다. 그 숙제는 바로 별 탄생 시점을 제대로 보지 못한 것이다. 우주의 먼지 성간운이 중력에 의해 수축하여 어느 단계가 되면 둥그런 형태의 원시 별이 만들어진다. 원시별이 계속 수축하여 수소 핵융합 반응

이 발생하면 비로소 스스로 빛을 내는 별이 탄생한다. 즉, 원시별은 태어나기 전의 태아와 같다. 의사가 초음파로 배 속 태아의 모습을 보듯이 천문학자는 원시별을 둘러싸고 있는 먼지를 뚫고 안을 들여다볼 수 있는 0.1~2.0TH 대역 주파수로 원시별을 관측한다. 그런데 0.1~2.0TH 주파수는 지구 대기의 물 분자에 대부분 흡수되므로 대기 효과가 없는 우주망원경이 아니면 그나마 건조한 고산지대의 겨울에, 그것도 1.0TH 대역 정도만 관측할 수 있다. 나머지 주파수 대역은 지상에서 관측이 불가능하다. 이러한 한계를 넘어서기 위해 성층권 벌룬과 비행기, 그리고 우주망원경으로 원시별을 관측하고 있지만 지속적인 관측이 어렵고 비용 또한 만만치 않다. 예를 들어 허셜 우주망원경(2009~2013년)은 시간당 12만달러, 성층권 비행 천문대인 SOFIA(2010년~현재)는 시간당 10만달러, 성층권 벌룬은 고작 14~30일 동안 관측하는 데 시간당 2만달러의 비용이 든다. 이에 비해 남극 내륙 고원은 지구에서 수증기량이 가장 적고 우주망원경과 같은 구경의 망원경을 훨씬 낮은 비용으로 영구적으로 운영할 수 있다. 이런 배경으로 운영되고 있는 망원경의 예로 High Elevation Antarctic Terahertz(HEAT) 망원경과 좀 더 규모가 큰 망원경으로 프로젝트가 진행 중인 Dome-A Terahertz Explorer(DATE5)가 있다.

·블랙홀 영상의 핵심 남극 전파망원경

블랙홀은 태양 질량보다 수십 배 이상 큰 별이 중력 붕괴로 생애를 마감한 후 탄생한다. 블랙홀은 우주의 많은 현상에 영향을 주는 것으로 알려졌지만 아무도 그 모습을 직접 볼 수는 없었다. 2017년 결성되어 전 세계 200여 명의 천문학자가 모인 EHT(Event Horizon Telescope) 연구진은 블랙홀의 실제 모습을 보기 위해 전 세계 8대 전파망원경을 연결하여 이전에 없던 높은 민감도와 분해능을 가진 지구 규모의 전파망원경 성능을 구현하였다. 8대 전파망원경 중에 지리적 남극점에 위치한 아문센-스콧 기지의 남극 망원경(SPT, South Pole Telescope)도 포함되었다. SPT가 없었다면 지구 크기의 전파망원경의 구성이 불가능하여 EHT 프로젝트는 시작할 수도 없었을 것이다. 2019년 EHT(Event Horizon Telescope) 연구진은 처녀자리 은하단 중앙에 위치한 거대 은하 M87의 중심부에 있는 블랙홀 관측에 성공하였다. 현재 EHT 연구진은 2019년 블랙홀 사진 촬영에 이어서 블랙홀에 물질이 빨려 들어가는 동영상을 촬영하기 위한 프로젝트를 준비 중이다. 문제는 남극 전파망원경 개수 부족으로 동영상 촬영에 필요한 해상도를 얻지 못한다는 것이다. 광활한 남극대륙의 유일한 EHT 망원경인 SPT와 함께 장보고과학기지에 전파망원경이 추가된다면 블랙홀 동영상 촬영에 필요한 감도를 획기적

으로 향상시킬 수 있다. EHT 블랙홀 동영상 촬영은 우주에 대한 인류의 지적 수준을 몇 단계 끌어올리는 거대한 과학적 사건이다. 남극 장보고과학기지에서 2030년 안에 우리 연구진이 EHT 전파망원경을 운영하여 블랙홀 동영상을 촬영한다면 노벨상 도전의 목표가 꿈은 아닐 것이다. 앞으로 대한민국의 남극은 별의 탄생과 거대질량 블랙홀로 물질이 사라지는 가장 드라마틱한 우주 사건을 목격할 수 있는 지구의 사상 지평선이 될 것이다.



[그림 1] 2019년 EHT에서 관측한 M87 은하 중심에 위치한 초질량 블랙홀 이미지



[그림 2] 남극 내륙 고원 Ridge A에 설치한 HEAT photo credit: Craig Kulesa

남극 내륙 고원 과학기지는 건축이 아니라 개발이다

해발고도 3000m 이상의 남극 고원은 4개월의 완전한 어둠과 약 9개월 동안의 완벽히 격리된 환경을 제공한다. 유럽우주국, ESA(European Space Agency)는 남극 내륙 Dome-C 콩코르디아 기지 대원들의 햇빛과 산소 부족으로 인한 신체 변화, 그리고 운동능력 감소가 월동대원 자신과 동료들 사이의 유대감 형성에 미치는 영향에 관한 연구를 수 년 동안 진행하고 있다. ESA는 이 연구 결과를 우주선 승무원의 지상 훈련과 대처 방안에 활용할 예정이다. 1969년 7월 20일. 아폴로 11호가 인류 최초로 달에 착륙한 것을 기억하는 사람들은 많지만, 아폴로 11호의 많은 기기들이 수소연료전지로 작동했다는 사실을 아는 이는 드물다. 최근 기후변화에 대해 관심이

높아지면서 남극과학기지들 또한 그린 에너지로의 전환이 대두되기 시작했다. 2021년 11월 4일, VOA(Voice of America)에 따르면 뉴질랜드 정부와 크라이스트처치 캔터베리 대학교는 공동으로 남극 스콧 베이스에서 풍력발전을 이용한 수소연료전지용 수소를 생산하는 연구를 시작하고 있다고 알려 왔다. 고립되고 혹독한 환경의 남극에서의 수소연료전지 기술의 실현은 대한민국의 우주탐사 파급기술의 사례가 될 것이다.

남극과 우주 프로그램으로 진행하였던 1957~1958년 지구물리의 해에서는 지구와 가장 가까운 우주공간인 전리층 탐사를 위한 다양한 국제협력 연구들이 수행되었다. 그러나 불행히도 우리나라는 한국전쟁 직후의 어려운 나라 사정으로 참여하지 못했다. 극지연구소는 2021년 12월 19일 세계 7번째로 남극 내륙 고원 진출 경로인 코리아루트(K-루트) 1740km 개척에 성공하였다. 우리나라 과학사에서 참으로 가슴이 벅찬 진보가 아닐 수 없다. 다음 단계는 K-루트 남극 내륙 고원기지 구축이다. 관측 장비운영 규모를 고려해서 장보고과학기지는 블랙홀 연구를 위한 EHT 전파망원경 천문대로, 남극 내륙 고원기지는 별 탄생 관측 천문대로 기능을 구분할 수 있다. 그러나 망원경만 있다고 천문대를 운영할 수 있는 것은 아니다. 극한 환경에서 망원경을 구동하기 위한 전력, 소재, 통신, 항법, 그리고 고립 환경의 연구자를 위한 주거, 의료, 식량, 식수 등 많은 지원시설이 필요하다. 따라서 남극 내륙 고원기지는 건축이 아니라 개발의 개념으로 접근해야 할 것이다. 그 과정에서 어떤 부분은 우주탐사 기술이 적용될 수도 있는 반면에 남극 내륙 고원기지 개발과 운영기술이 우주탐사 기술로 파급될 수도 있을 것이다. 현재의 남극과 우주는 1957~1958년 지구물리학의 해와 그 방향이 비슷하다. 그때의 슬픈 과학사가 되풀이되지 않도록 남극과 우주가 지속적으로 협력할 수 있는 국내 과학자들의 생태계 조성 과 이를 강력히 추진할 수 있는 정책적 지원이 시급히 필요하다.

***용어설명**

도플러 편이(Doppler shift)

전파 등의 발생원이 다가올 경우엔 측정 주파수가 높아지고 반대로 멀어질 경우엔 측정 주파수가 낮아지는 현상.

우주전파

우주로부터 생성되는 약 10-26 Watt 정도로 미약한 세기를 갖는 자연전파. 이를 관측하기 위한 전파망원경은 안테나, 수신기, 분광기 그리고 관련 소프트웨어 등이 융합된 우주기술이다.

테라-헤르츠(THz)

적외선과 마이크로파 사이에 위치한 주파수 대역으로 별이 만들어지는 차가운 성간물질에서 방출된다.

원시별(protostar)

중력 수축하는 성간물질의 덩어리가 핵융합 반응으로 빛을 내는 별(항성)이 형성되기 전까지의 밝은 천체.

뉴질랜드의 주요 남극정책과 협력 강화 가능성

진동민 한·뉴질랜드 남극협력센터



뉴질랜드는 우리나라가 정부간 남극협정을 체결하고 실질적인 협력 활동을 펼치는 유일한 국가이다. 뉴질랜드는 1957년부터 스콧 기지(Scot base)를 중심으로 남극활동을 활발히 수행해 왔으며, 2011년부터는 남극 연구에 대한 법정부계획을 수립했고, 2018년에는 남극과학플랫폼(ASP)이라는 자국 내 연구 역량을 집중한 다부처연구사업을 추진하고 있다. 뉴질랜드의 남극 연구는 지구기후변화와 로스해 지역을 중심으로 남극 환경보호를 위한 연구에 집중되어 있으며, 이를 통해 뉴질랜드는 경제사회적 이익 확보와 남극조약체제를 포함한 국제사회에서 영향력 강화를 일관되게 추진하고 있다. 장보고 기지 건설 이후에 우리나라와 뉴질랜드 간에 활발한 공동연구와 협력이 이루어지고 있고, 뉴질랜드의 다부처사업 추진과 스콧 기지 재개발과 같은 인프라 투자가 확대되면서 양국 간의 연구 협력과 보급 지원 협력이 더욱 강화될 것으로 보인다.

뉴질랜드의 남극 관련 정부부처와 연구기관

우리나라는 2012년 8월 뉴질랜드와 정부간 남극협력에 관한 협정을 체결했다. 우리나라가 남극과 관련해서 정부간협정을 체결한 것은 1996년 페루에 이어 두 번째다. 페루와는 실질적인 남극 협력 활동이 없지만, 뉴질랜드와는 협정체결 이후 장보고과학기지 건설을 계기로 크라이스트처치에 한·뉴질랜드남극협력센터를 설치하였고, 양국 간에 남극에서 공동연구활동, 보급 지원과 관련한 협력이 꾸준히 진행되고 있다.

뉴질랜드는 남극에 대한 영유권을 주장하는 7개국 중 하나이며 1959년 남극조약의 12개국 원초 서명국 중 하나이다. 뉴질랜드는 1980년대 남극광물자원규제협력의 논의과정을 주도하고 기탁국이 되었지만 1990년 남극 환경보호로 정책 방향을 전환하면서 로스해를 중심으로 남빙양과 남극 환경보호에 역점을 두고 있다.

뉴질랜드의 남극 연구활동은 과학산업연구부(~1991, DSIR), 과학기술부(~2010, MoRST), 사업혁신고용부(~현재, MBIE) 등 명칭을 변경한 과학기술담당부처에서 경쟁연구사업을 통해 주로 지원해 왔다. 1992년 미국과의 남극 협력 강화와, 로스해 지역에서 장기적인 이익 유지는 물론 남극조약체제 내에서 뉴질랜드의 경제적 기회와 리더십 강화를 위해 과학산업연구부에 있던 남극정책팀을 외교통상부로 이관했다. 남극 연구활동은 사업혁신고용부에서 경쟁연구사업을 통해 주로 지원하고, 스콧 기지 운영을 포함한 연구활동을 위한 보급 지원은 외교통상부 산하의 뉴질랜드남극연구소(ANZ)를 통해 지원하고 있다. 2018~2020년까지 공군과 해군 등 국방부를 제외한 기관들이 남극 연구활동에 투입한 예산은 연평균 약 350억 원이다. 2012년 남극연구비 투자를 증대하기 위해 민관 합작으로 뉴질랜드남극연구소(NZARI)를 한시적으로 설치·운영하였으나 2021년 6월 30일부로 폐지되었다. 남극 연구활동을 위한 인프라 지원은 뉴질랜드남극연구소

(ANZ)가 담당하고 실질적인 연구활동은 다음에서 설명하는 주요 대학과 정부출연기관이 담당하고 있다.

빅토리아대학교는 지질학과를 중심으로 남극연구센터를 설치하고 남극 기후 역사와 과정, 지구기후시스템에 미치는 영향 등을 연구하고 있다. 오클랜드대학교는 어류생물학을 중심으로, 오타고대학교는 해빙, 펭귄, 지질학을 중심으로 연구하고 있다. 와이카토대학교는 육상 남극연구국제센터(ICTAR)를 설치하고 로스해 지역 육상생태계의 보전, 보호, 관리를 위한 연구와 유전공학을 중심으로 연구를 수행하고 있다. 캔터베리대학교는 해양생태학에서 시작하여 남극에 대한 다학제적 연구를 위해 Gateway Antarctica를 설치하고 남극자연과학과 역사 등 인문학과 국제법을 연계한 통섭적 접근을 시도하고 있다. National Institute of Water and Atmospheric Research(NIWA)는 남극에서 대기과정과 수산생태계 연구에 집중하고 있으며 2년마다 남극 항해에 연구선 Tangaroa호를 투입하고 있다. Institute of Geological and Nuclear Sciences(GNS)는 남극에서 고기후, 빙하, 지질 등과 관련한 다양한 연구를 수행하고 있다. 이외에도 1987년 공익재단으로 설치된 남극유산재단(AHT)은 남극 초기 탐험에 사용된 5개 기지를 관리하고, 관련 유물을 발굴하며 이를 대중에게 알리는 일을 하고 있다.

남극연구전략과 다부처사업 추진

남극정책팀이 1992년 외교통상부로 이관되고 로스부속해연구위원회(RDRC)는 1993~98년 5개년 연구계획을 수립했다. 1996년 로스부속해연구위원회가 뉴질랜드남극연구법에 따라 뉴질랜드남극연구소(ANZ)로 개편되고 1998~2003년, 2004~2009년 5년마다 연구전략을 수립했다. 2011년 뉴질랜드 정부는 일정 기간의 대중 의견 수렴을 통해 지구변화라는 통일된 주제를 중심으로 남극과 남빙양에

서 연구 방향과 우선순위를 발표했다. 이것은 남극과 관련한 첫 법정 부계획으로 외교통상부, 과학혁신부, 수산부, 남극연구소가 참여했으며 위에 언급한 연구비를 지원하는 정부부처와 공공기관들에 남극연구투자에 대한 가이드라인이 되었다. 또한 과학연구를 넘어서 정부 정책과 경제사회적 중요성, 국제기구와의 연계성 등을 포함하여 남극활동을 범국가 어젠다로 확대했다. 다만 생물연구가 너무 강조되었다는 지적이 있다.

비전: 남극과 남빙양에서 높은 수준의 협력 연구를 통한 뉴질랜드의 이익 제고	
연구 분야	목표
기후, 빙권, 대기권, 암석권	남극의 과거 현재 상태와 지구변화에 남극이 미치는 영향, 지구변화가 남극에 미치는 영향에 대한 이해 제고
내륙과 연안생태 시스템	남극 지식, 보전, 보호 우선순위 설정을 향상시킬 수 있는 로스해 지역의 내륙과 연안생태계에 대한 이해 제고
해양시스템	남극해양환경의 개선된 보전과 자원관리

[표 1] 뉴질랜드 남극과 남빙양 연구: 방향과 우선순위 2010~2020년 주요 내용

한편, 2018년 파리기후변화협약에 대응하여 지구시스템에 미치는 남극의 영향과 +2°C 세상에서 어떻게 변화할지를 이해하기 위해 외교통상부와 사업혁신고용부가 공동으로 남극과학플랫폼(Antarctic Science Platform) 사업을 착수했다. 주관기관은 뉴질랜드남극연구소(ANZ)이지만 사업책임자는 빅토리아대학교의 낸시 버틀러 교수가 담당하고 있다. 동 사업은 2018~2025년 7년간 약 380억 원을 투입

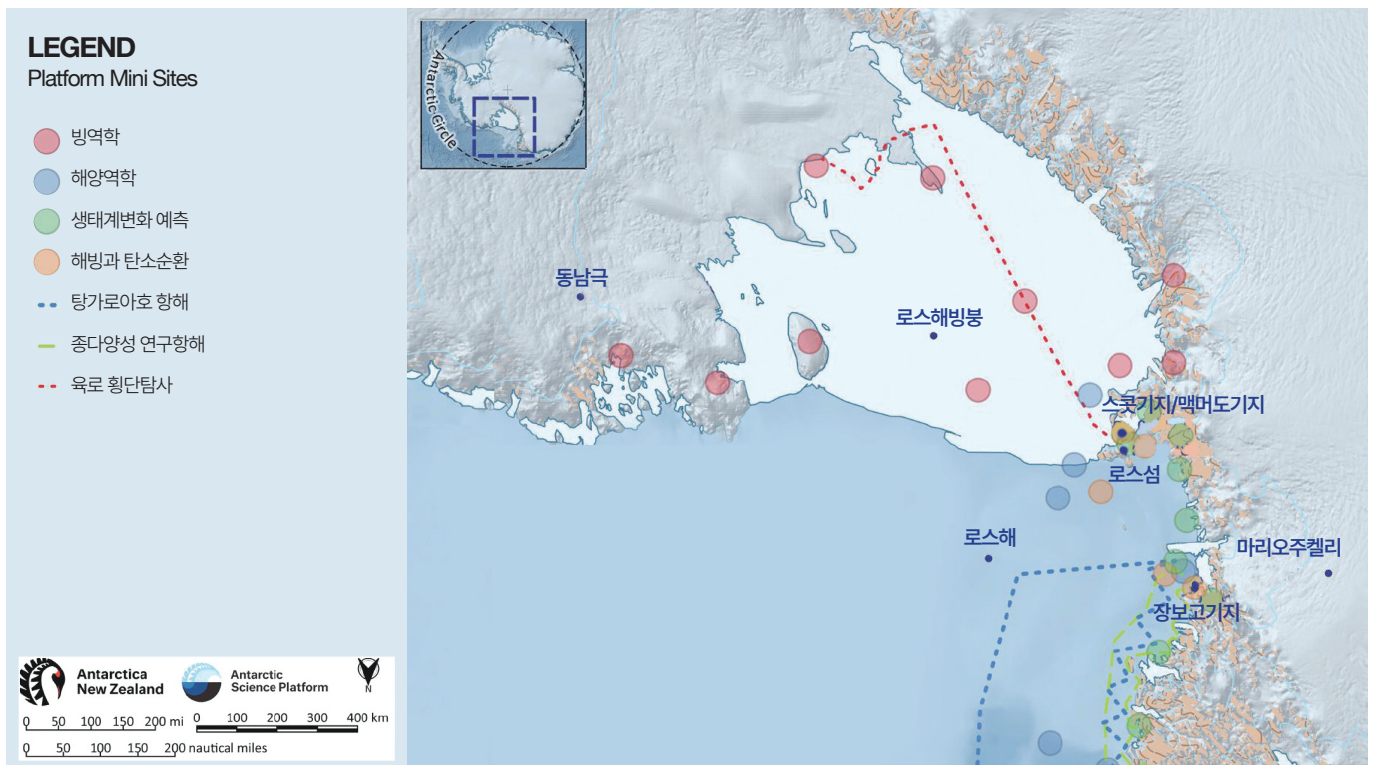
하고 약 150명의 연구인력이 참여하며, 앞서 언급한 남극 관련 주요 대학과 연구기관이 모두 참여하고 있다. 우리나라 극지연구소(KOPRI)도 서남극빙상 취약성, 북빅토리아 지역의 해양생태계, 테라노바만의 해양순환과정 연구 등에 공동 참여하고 있다. 2021/22 시즌에는 3명의 뉴질랜드 연구자가 우리 연구진과 공동으로 장보고 기지 인근에서 해양순환과정과 관련한 해빙의 역할과 생태계에 미치는 영향과 관련한 연구를 진행했으며 현지 언론에도 보도되었다.

프로그램	연구과제	주관기관	참여기관
남극 얼음-해양-대기 역학	남극 얼음 역학, 과거, 현재, 미래	GNS	NIWA, 빅토리아대, 오타고대
	남극해 대기 커플링	NIWA	GNS, 오타고대, 빅토리아대, 오토랜드대
변화하는 세계에서 로스해 지역 생태계 역학	로스해 지역 생태계 역학	오타고대	NIWA, Landcare, 오클랜드대, 와이카토대, 캔터베리대
	해빙과 탄소순환	빅토리아대	NIWA, GNS, Landcare, 오타고대, 캔터베리대, 와이카토대, 링컨대

[표 2] 남극과학플랫폼 사업의 추진 체계

2021~2030 남극활동 방향과 우선순위 및 인프라투자 강화

2021년 말 뉴질랜드 외교통상부는 남극과 남빙양 연구 방향과 우선순위 2021~2030을 발표했으며, 그 주요 내용은 [표 3]과 같다. 이 계획은 선행된 계획인 2010~2020 연구 방향과 우선순위를 계승하고 있으며, 2018년 착수한 남극과학플랫폼사업의 내용도 포괄하고



[그림 1] 남극과학플랫폼사업 주요 연구 대상 지역

있다. 지구 변화와 로스해 지역을 중심으로 남극 환경보호를 위한 연구를 통해 뉴질랜드의 경제사회적 이익과 남극조약체제를 포함한 국제사회에서 뉴질랜드의 영향력 강화를 일관되게 추진하고 있다. 뉴질랜드는 영유권을 주장하고 있는 로스해 지역에 연구역량을 집중하되 한정하고 있지는 않다. 이 계획은 선행 계획보다 연구성과물과 목표에서 더 정교해졌을 뿐 아니라 관련 국제기구에 대한 기여 등도 구체화되었다. 남극 환경보호와 인간활동의 최소화를 위해 남극이 아닌 다른 곳에서 수행할 수 없는 연구이거나 기존의 자료, 수집물, 원격관측으로 수행할 수 없는 연구만을 지원한다는 점을 강조하고 있다. 남극 연구활동이 뉴질랜드에 미치는 경제사회적 파급 효과와 외교정책을 통해 국제사회에서 뉴질랜드의 영향력 확대를 강조하고 있다. 무엇보다 특징적인 것은 뉴질랜드 원주민인 마오리족과 남극과의 연관성을 강조하고 와이탕이조약을 포함한 마오리 정신과 마오리 전통지식을 연계하려는 점이다.

뉴질랜드 정부는 2021년 5월 스콧 기지 재개발 추진을 확정했다. 약 2800억 원을 투입하여 2025/26년 남극시즌에 새 기지에서 월동을 시작하는 것을 목표로 하고 있다. 새로운 기지의 가조립은 크라이스트 처치에서 약 160km 떨어진 티마루에서 진행할 예정이다. 뉴질랜드 해군은 2020년 현대중공업에서 건조한 2만6000톤의 내빙 군수지원함 아오테아로아호를 운영하고 있으며, 2022년 1월에는 남극 연구활동에 투입하고, 추가로 내빙군함을 건조할 계획이다.

뉴질랜드와 우리나라의 협력 연구

장보고과학기지 건설계획이 발표되면서 우리나라와 뉴질랜드의 협력이 촉진되었으며, 우리나라 극지연구소에서 2021년 현재 수행 중인 과제 중 뉴질랜드와 연구 협력이 포함된 과제는 연안생태계, 육상생태계, 고기후, 빙하, 빙붕과 해수면 등 5개 과제이며 대상기관은 와이카토대, 빅토리아대, 오타고대, 캔터베리대, GNS, NIWA 등 뉴질랜드의

주요 남극연구 수행기관이다. 이는 뉴질랜드의 연구프로그램 포스터에도 잘 나타나 있다. 이외에도 NIWA의 탕가로아호를 통해 매년 남빙양 연구 항해 중 확보한 어류자원을 지원받아 유전자 분석도 추진하고 있다. 한편 2021년 2월 코로나 팬데믹 상황에서 뉴질랜드 과학자들만이 참석한 가운데 뉴질랜드는 남극 콘퍼런스를 개최했는데 108편의 연구 결과가 발표되었다. 이 중 51편은 19개국에서 다국적 참여로 이루어졌으며 국가별로는 미국, 영국, 호주, 한국, 독일의 순으로 참여했다. 단일 기관으로는 영국남극연구원에 이어 극지연구소가 참여하여 우리나라와의 협력이 활발히 진행되고 있는 것을 확인할 수 있다. 2021/22년 남극시즌은 코로나 상황에도 불구하고 장보고 기지를 중심으로 다양한 연구활동이 진행되었다. 이는 뉴질랜드 정부가 외국인에게 국경을 봉쇄했음에도 남극활동을 위한 인력과 연구선에는 예외적으로 입국을 허용해 주었기 때문이다. 연구진과 채빙연구선의 뉴질랜드 입국을 위해 수많은 업무협약이 진행되었다. 뉴질랜드에서 3명의 연구자가 장보고과학기지를 방문하여 공동연구를 수행했는데 남극 출입과 관련한 코로나 대응계획, 장보고기지의 코로나 대응계획, 안전계획 등에 대해 연구자들과 연구자들이 소속된 대학, 이들을 지원하는 남극과학플랫폼에서도 문의가 여러 차례 있었다. 뉴질랜드 남극연구활동은 범부처사업인 남극과학플랫폼사업이 주축이 될 것으로 예상된다. 집중연구지역이 장보고기지와 케이프할렛 등 우리가 활발히 연구를 수행하는 지역과 일치해 기존의 확립된 공동연구 이외에도 같은 지역에서 기후변화가 남극해빙과 생태계에 미치는 영향과 남극 환경보호를 위한 연구 협력 확대가 가능할 것이다. 한편 스콧 기지 재개발이 추진되는 동안에는 연구활동이 일부 위축될 수밖에 없다는 점이 양국 간의 협력 강화에는 기회 요인이 될 수 있다. 2022년부터 남극활동을 시작하는 군수지원함 아오테아로아함이 시험 항해 기간을 마치고 본격적으로 가동될 때는 보급 지원 분야의 협력 가능성도 더욱 커질 것으로 기대된다.

비전

- 전지구적으로 연결된 급변하는 지구시스템에서 남극과 남빙양의 역할을 이해하는 데 시급한 과제 해결
- 남극과 남빙양 보호를 위해 아오테아로아(Aotearoa)호가 뉴질랜드의 남극 연구활동에 기여할 수 있는 수월하고 강한 영향력을 지닌 과학

연구 분야	연구 목표
해수면 상승에 미치는 남극의 영향 예측	<ul style="list-style-type: none"> · 빙붕 하부의 해양-빙권 상호과정과 해양순환 과정에 대한 이해 제고 · 남극이 지역적, 뉴질랜드, 전지구 해수면 상승에 미치는 영향 예측 등
빙권-해양권-대기권 상관관계와 변화의 의미	<ul style="list-style-type: none"> · 남빙양에서 열과 이산화탄소의 흡수와 이것이 기후와 생태계에 미치는 영향 파악 · 해빙 분포-형성-표류-소멸 과정에 대한 이해와 변화 예측 개선 등
생태계 역학과 변화에 대한 반응	<ul style="list-style-type: none"> · 생태계 취약성과 변화하는 환경조건과 직접적 인간 활동에 대한 반응 예측 제고 · 변화하는 환경조건이 남극 토양, 동토, 미생물 군집 등 남극 고유종에 미치는 영향에 대한 이해 제고 등
남극과 남빙양 환경보호	<ul style="list-style-type: none"> · 해양보호구역과 ASPA를 포함한 해양과 육상보호 메커니즘의 설치 · 남극조약체제의 환경보호와 보전 목적 성취를 위한 연구와 모니터링 프로그램 실행 등

[표 3] 뉴질랜드의 남극과 남빙양 연구 방향과 우선순위 및 2021~2030년 주요 내용



ISSN 2733-7529 (Print)
ISSN 2733-7537 (Online)



발행일: 2022년 3월
발행처: 극지연구소 정책개발실 Tel. 032-770-8425
주소: 인천광역시 연수구 송도미래로 26, 극지연구소 (www.kopri.re.kr)

Copyright© 2014 KOPRI, All rights reserved.
Cover pages photo credit© KOPRI