

남극에서의 글로벌

한국 :

우리의 길, K-루트와 남극 첨단연구의 오늘과 미래

극지연구소 지권연구본부 **이종익**
 극지연구소 미답지탐사단 **전성준**



- I. 선도국의 남극내륙 진출과 관련 연구 현황
- II. 대한민국의 남극 내륙진출, 극지연구의 최전선
- III. 남극내륙 진출 연구 현황 및 첨단연구 수행

산업혁명 이후 파괴적이고 무분별한 인간 활동은 전 지구의 기후·환경에 대규모 변화를 초래하였다. 이로 인해 기상이변, 생태계 파괴, 감염병, 재난재해 등과 같은 심각한 문제들이 인류의 생존에 치명적인 형태로 나타나고 있다. 남극대륙의 고립된 특수한 환경은 과학기술 연구를 통해 이러한 문제들의 해결책을 모색할 수 있는 최적의 환경이라고 볼 수 있다. 이러한 극지가 기후·환경변화, 자원개발, 과학영토 확장과 같은 글로벌 이슈의 중심으로 드러나면서 극지 연구의 중요성은 날로 증가하고 있다. 4차 산업혁명과 같은 기술의 비약적인 발전은 첨단극지 연구수행을 가능하게 만들었다. 이로 인해 한반도를 비롯하여 전 지구적으로 빈번하게 발생하고 있는 기후 환경 변화에 기인한 환경 문제들을 해결하는 실마리를 찾을 수 있고 나아가 과학적, 정치적, 경제적 글로벌 이슈의 발원지로서 극지 연구의 중요성에 대한 인식의 폭이 넓어지고 있다고 해도 과언은 아닐 것이다.

필자 중 전성준은 극지연구소와 인연을 맺은 지 올해로 10년이 되었다. 남극 탐사 및 연구 분야에서 오랜 경험과 경력을 갖춘 선배 연구자들과 비교하면 경험과 통찰이 비할 바 없지만 지난 10년 동안 대한민국의 극지 연구가 눈부시게 발전해 나가고 있음을 체감하고 있다. 2009년 대한민국 1호 쇄빙연구선 아라온이 건조되었으며, 2014년 남극 장보고기지가 준공되었고 2016년부터 남극 내륙탐사를 독자적으로 수행하고 있다. 이 글에서는 먼저 극지 연구 선도국들의 남극 내륙진출과 관련 연구 현황에 대하여 알아보고 대한민국의 남극 내륙진출과 관련 연구 현황을 정리한 후, 대한민국 남극연구의 나아가야 할 방향을 모색해 보고자 한다. 그리고, 지난 3년간 진행된 남극 내륙 탐사 수행결과를 연도 별로 설명하며 남극 내륙진출 루트 개척 계획과 이를 통해 수행할 수 있는 첨단연구 수행방법에 대한 제언을 통해 필자의 생각을 독자들과 공유하고자 한다.

I. 선도국의 남극 내륙진출과 관련 연구 현황

1. 남극대륙 극점탐사의 시작

1911년 영국의 탐험가 로버트 스콧(Robert Falcon Scott, 1868~1912)과 노르웨이의 탐험가 로알드 아문센(Roald Engelbregt Gravning Amundsen, 1872~1928)의 남극점 탐사 경쟁을 시작으로(자료1) 미국, 유럽, 러시아, 일본, 중국 등 소위 남극 탐사 선도국이라고 일컬어지는 나라들은 남극대륙에 자국의 내륙기지를 건설하고 안전하게 이동할 수 있는 「루트(route); 길(way)」을 만들어 다양한 남극 첨단연구를 수행하고 있다. 각 나라는 남극에서 내륙탐사 프로젝트를 경쟁적으로 수행하면서 주인 없는 남극대륙에 대한 지정학적 우위를 점하고 기득권을 행사하기 위해 고유 영유권을 주장했었다. 그러나 1961년 6월 23일 남극조약(Antarctic Treaty)이 발효되면서

남극의 평화적 이용, 과학조사와 교류, 영유권 주장 금지 및 군사 행동 금지 등과 같이 규정된 활동만 가능하게 되었다. 남극조약은 현재 우리나라를 포함하여 53개국이 가입되어 있으며 남극 영유권 분쟁을 막고 과학적, 평화적 이용을 목표로 하고 있으나 남극 환경보호 분야에 대한 개념이 단편적이며 일관성이 없다는 한계점을 지니고 있다. 이후 1998년 1월 14일 남극 환경보호 의정서(Antarctic Environmental Protection Protocol)가 스페인 마드리드에서 체결됨에 따라 각 국가는 의정서에 명시된 조약을 2048년까지 준수한다는 전제로 지금, 이 순간에도 남극 연구 활동을 수행하고 있다.



□자료 1. 아문센(붉은선)과 스콧(초록선)의 남극점 탐사경로
 ©BSoerfm-WIKIMEDIA

2. 선도국들의 남극 내륙진출과 연구 현황

현재 남극에는 33개 국가의 92개 기지가 운영되고 있으며 1년 동안 약 5천 명 이상의 인구가 상주하거나 탐사 활동을 수행하고 있다(2020년 7월 기준). 이 가운데 남극 내륙이라 할 수 있는 해안에서 500km 이상 안쪽에 있는 기지는 미국의 아문센-스콧 기지(Amundsen-Scott South Pole), 이태리/프랑스의 콩코르디아 기지(Concordia), 러시아의 보스톡 기지(Vostok), 중국의 곤륜 기지(Kunlun)와 태산 기지(Taishan) 그리고 일본의 돔후지 기지(Dome Fuji) 6개국 6개소이고, 월동대가 상주하는 과학기지는 단 3개소(아문센-스콧, 콩코르디아, 보스톡) 뿐이다(표1).

미국은 세계에서 유일하게 남극점에 상주 과학기지인 아문센-스콧기지를 운영하고 있다. 1956년에 설립되었으며 평균기온은 영하 49°C, 50명의 월동인력이 상주한다. 기지 정기보급의 경우 쇠빙 수송선이 로스섬(Ross Island)에 있는 맥머도(McMurdo) 기지까지 보급 물품을 운반하면 맥머도 기지에서 아문센-스콧기지까지 미 공군 항공기로 항공 보급을 해왔다. 2006년부터 해안과 내륙 기지를 연결하는 1,600km 거리의 육상 트레버스 루트를 확보하고 1회 트레버스로 항공수송 1회의 약 40배에 해당하는 물류를 보급하고 있다. 이를 돈으로 환산할 경우 약 30억 원의 비용을 절감하는 경제적 효과가 있다. 미국의 남극

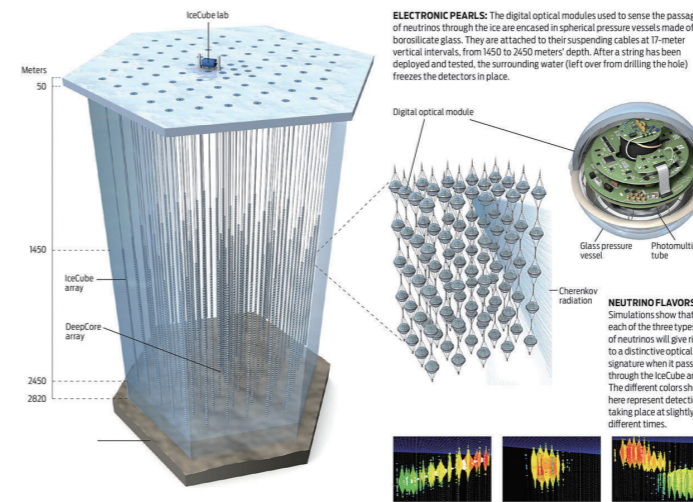
연구는 국립과학재단(NSF: National Science Foundation) 산하의 극지 프로그램에서 연구 분야를 관장하고 있으며, 빙하학, 지구물리학, 기상학, 고층대기 물리, 천문학, 입자물리, 의학학을 포함한 다양한 연구를 수행하고 있다(자료2).

이태리-프랑스는 특징적으로 두 나라가 공동으로 남극 Dome C에 콩코르디아기지를 운영하고 있다. 2005년에 설립되었으며, 평균기온은 영하 54.5°C, 13명의 월동인력이 상주한다. 동남극 해안가에 있는 프랑스 드몽드루빌(Dumont d'Urville) 기지는 약 1,100km 거리의 콩코

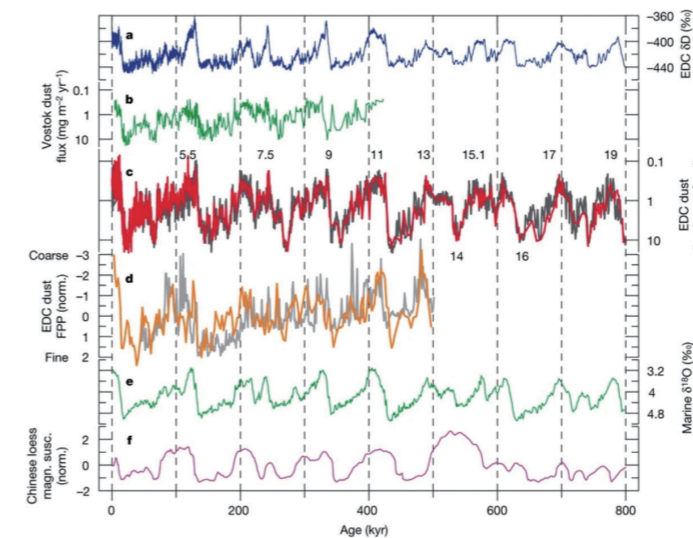
르디아기지지까지 연료 및 물자 보급을 위한 육상 트레버스를 수행하며, 로스해의 이태리 마리오 슈켈리(Mario Zucchelli) 기지는 경비행기를 이용한 인력 및 경량화물 항공수송을 전담한다. 주요 연구분야는 극지 의학, 약학, 빙하학, 천문학 및 우주물리학 등 다양한 연구를 수행하고 있다. 특징적으로 1997년부터 2005년까지 EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) Dome C 다국적 남극 심부빙하 프로젝트를 주도적으로 수행하면서 3,270m 깊이의 빙하 코어를 시추하였고, 과거 82만 년간 기후-환경변화 기록을 복원하여 현재까지 빙하코어 기록으로부터 복원된 가장 오래된 과거의 기후-환경 변화의 연구 결과를 얻었다(자료3).

러시아 보스톡 기지는 남극에서 가장 큰 빙저호라고 알려진 보스톡 호수를 덮고 있는 빙상 위에 있다. 1957년에 설립되었으며 13명의 월동인력이 상주한다. 기지보급은 Mirny 기지를 기점으로 육상 트레버스를 수행하였으나 최근 Progress 기지로 보급기지를 이동했다. 주요 연구 분야는 빙저호-심부빙하 시추를 통한 고기후-환경 연구, 지구자기장 관측, 이온권 연구, 지구물리, 의학 등의 연구를 수행하고 있다. 대표적으로 빙저호 연구에서 1975년 항공 지구물리탐사를 통해 보스톡 호수의 존재를 확인하였으며, 1990년부터 1998년까지 열수시추(Hot water drilling) 기술을 이용하여 3,580m 깊이까지 도달했다

□자료 2. 아문센-스콧기지의 외계기원 미립자 검출기(ICE CUBE)
©Emily Cooper-IEEE SPECTRUM



□자료 3 EPICA Dome C 빙하코어에서 발견된 820,000년 전 기후변화 기록
©Nature



■〈표 1〉. 국가별 남극내륙 기지 현황 (자료출처: WIKIPEDIA)

기지명 (영문)	관리국	위치 (위도,경도,고도)	기지형태 (월동인원)	준공년	육상루트
아문센-스콧 (Amundsen-Scott)	미국	89° 59'S 139° 16'E 2,835m	월동기지 (50명)	1945	1,600km
콩코르디아 (Concordia)	프랑스-이탈리아	75° 06'S 106° 50'E 3,488m	월동기지 (13명)	2005	1,100km
보스톡 (Vostok)	러시아	78° 27'S 106° 50'E 3,488m	월동기지 (13명)	1957	3,000km
곤륜 (Kunlun)	중국	80° 25S, 106° 50'E 4,087m	하계기지 -	2009	1,280km
태산 (Taishan)	중국	73° 51'S 76° 58'E 2,621m	하계기지 -	2014	1,280km
돔 후지 (Dome Fuji)	일본	77° 30'S 37° 30'E 3,810m	하계기지 -	1995	1,000km

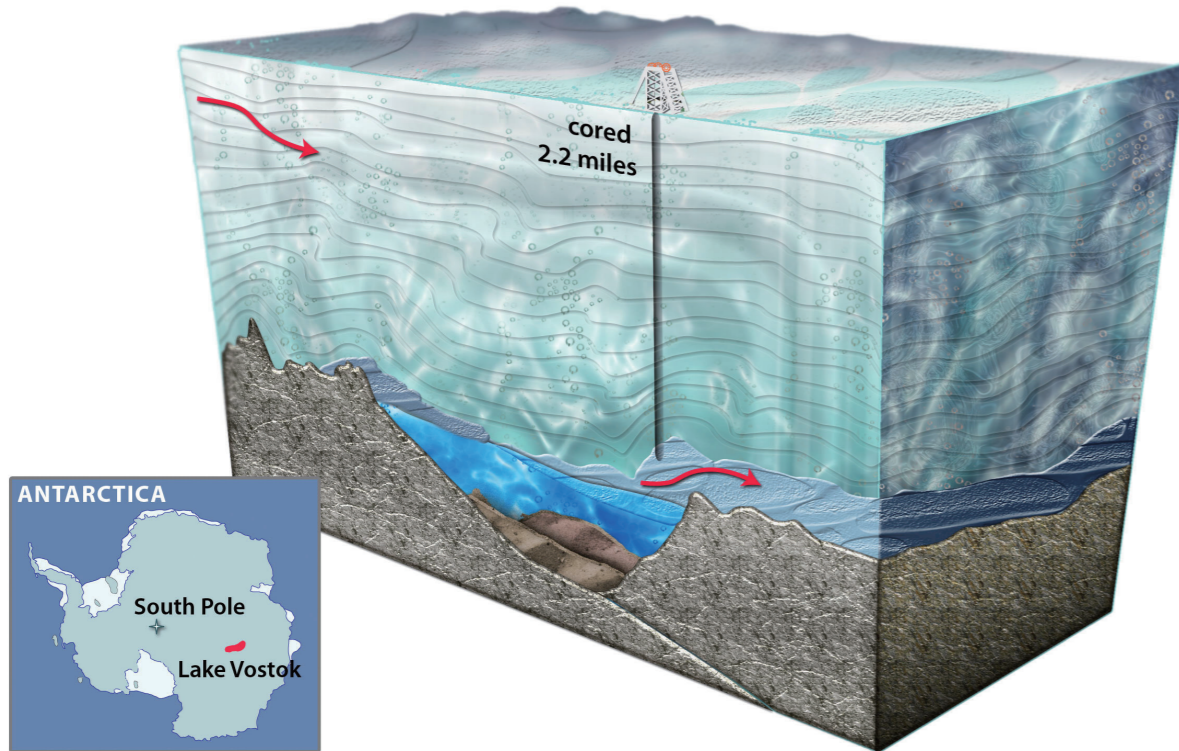
(자료4).

일본은 1967년 동남극 해안가에 건설된 쇼와(Showa) 기지로부터 남극점까지 횡단하였고, 이러한 경험을 바탕으로 돛후지 기지 건설을 추진할 수 있는 노하우를 축적했다. 1995년 남극 돛후지 지역에 캠프를 설치하고 월동을 하면서 첫 번째 심부 빙하시추를 수행하여 2,503m 깊이의 빙하 코어를 시추하였으며 34만 년간 기후·환경 변화기록을 복원했다. 돛후지 기지는 건설단계부터 심부 빙하코어 시추가 주요 목표였으며 쇼와 기지로부터 기지 유지를 위해 약 1,000km 거리의 보급 육상루트를 운영하고 있고 주기적으로 트래버스를 수행하고 있다. 이외에 오로라 관측지역의 경계부에 위치하여 천문관측 및 대기경계층의 난류를 관측하는 연구 등을 수행하고 있으며 기지의 평균

기온은 영하 54.4°C다.

중국은 남극 내륙에 곤륜 기지와 태산 기지 두 개의 기지를 운영하고 있다. 두 기지 모두 하계기간에만 운영되는 기지로 해안가에 있는 중산(Zhoungshan) 기지를 기점으로 태산 기지를 거쳐 곤륜 기지까지 약 1,280km 거리의 육상루트를 운영하고 있다. 현재 중국은 한국의 장보고 기지와 인접한 인익스프레시블 섬(Inexpressible Island)에 제5기지를 건설하기 위한 정보문서(Information Papers, IP)를 남극조약 협의 당사국 회의(Antarctic Treaty Consultative Meeting, ATCM)에 제출하였으며 2014년 환경 조사, 2017년 임시 건물을 건설하는 등 공격적인 남극 연구 활동 행보를 보인다(자료5). 주요 연구분야는 천문연구, 기상관측, 레이더 탐사 및 빙하시추 등을 포함한 연구를

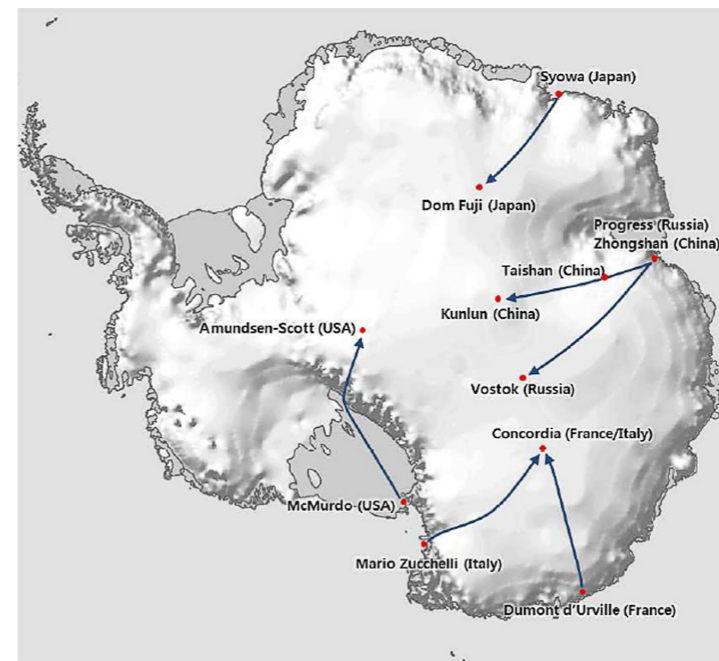
□자료 4. 남극 보스톡 빙저호 시추 단면(화살표: 빙하흐름) ©Nicolle Rager-Fuller-NSF



□자료 5. 2018 COMNAP 회의에서 발표된 중국 대륙횡단루트 계획 ©PRIC



□자료 6. 각 나라별 해안기지와 내륙기지를 연결하는 육상 운송 루트 ©KOPRI



수행하고 있으며, 2004년에 동남극 최고봉 Dome Argus에서 109.91m 빙하코어를 시추하였으며 이후 3,000m급 빙하코어 시추 프로젝트를 진행하고 있다.

각 국가는 남극 내륙에 있는 기지의 원활한 운영을 위해 자체 항공망과 함께 고유의 내륙 육상운송 루트를 운영하고 있는데 이러한 운송 활동을 '트래버스(Traverse; 가로지르다, 횡단하다)'라고 지칭한다(자료6). 남극 트래버스의 경우 항공망보다 경제적인 이점을 가지고 있으며 기지보급을 위한 연료 소모량도 현저히 감소하여 내륙기지를 운영하는 대다수 나라는 기지보급을 위한 육상 트래버스를 매년 수행하고 있다. 단적인 예로 2003/04 시즌 미국의 남극점 트래버스 수행 결과를 살펴 보면 항공망(LC-130 기종)은 kg당 6달러의 운송비가 발생하는 반면 육상 트래버스의 경우 kg 당 1.4~1.9달러의 운송비가 발생하여 항공망 활용 대비 약 72.5%의 비용절감 효과가 발생했다. 아문센-스콧 기지는 1년 동안 기지 운영을 위해 매년 약 470,000갤런(1,766t)의 연료 보급이 필요한데, 이를 위해 125번의 항공망이 운영되었고 약 612,500갤런(2,319t, 탄소배출량=6,235t) 연료를 소모하게 된다. 그러나 육상 트래버스를 활용하게 되면 단 2회 수행으로 연료 보급이 가능하며 경제적인 비용절감 효과를 볼 수 있다.

II. 대한민국의 남극 내륙진출, 극지연구의 최전선

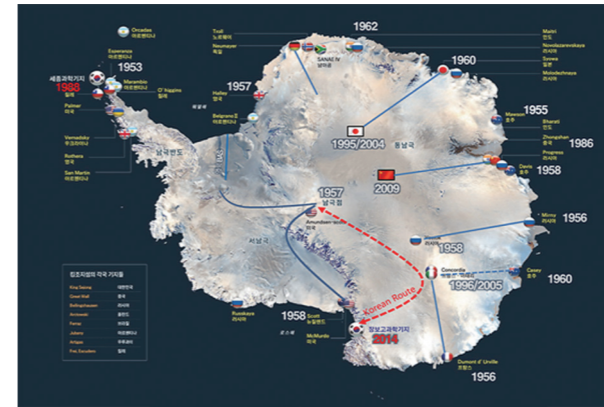
1. 대한민국 남극 내륙진출 개척의 시작, 코리안 루트

앞서 살펴본 바와 같이 20세기 중반부터 남극에 내륙 기지와 고유의 육상보급 루트를 운영하며 연구 활동을 수행하고 있는 극지 연구 선도국들과 비교하면 대한민국은 1988년 남극세종과학기지 준공을 기점으로 남극 연구를 시작한 후발주자라고 볼 수 있다. 그러나 2014년 남극 대륙 빅토리아랜드에 장보고 기지 준공을 계기로 남극 내륙탐사 및 연구의 새로운 가능성을 제시하며 이전에 수행되었던 연구의 패러다임을 전환하는 계기를 마련했다(자료7). 해양수산부 산하 한국해양과학기술원 부설

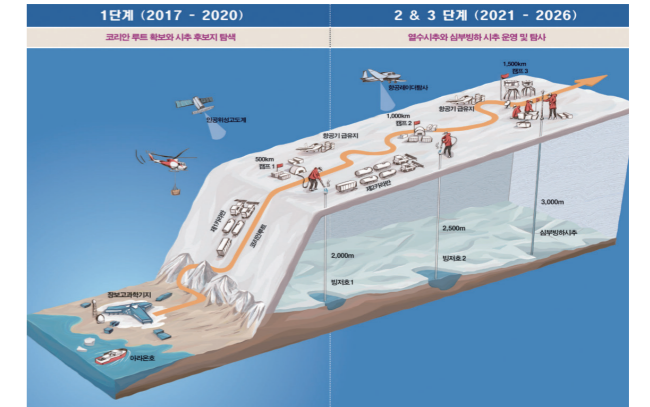
극지연구소에서 이러한 도전과 노력의 일환으로 코리안 루트(Korean Route, 이하 K-루트) 탐사를 수행하고 있다. 남극 내륙(남극점) 진출을 위한 안전한 이동 경로의 확보와 탐사 선단의 구성, 혹한 환경에서의 연구 활동을 수행하기 위한 첨단기술개발 그리고 거대과학 분야인 빙저호 열수 시추와 심부빙하시추를 목표로 하고 있다(자료8, 자료9).

K-루트 탐사는 본격적인 내륙 탐사에 앞서 2년 동안 (2015/16시즌, 2016/17시즌) 사전 현장탐사가 선행되었고, 탐사 과정에서는 위성사진을 활용한 원격탐사, 헬기를

□자료 7. 남극 테라노바 만에 위치한 대한민국 장보고과학기지 ©KOPRI



□자료 8. 국가별 기지 및 내륙진출 루트 현황과 K-루트 ©Kroute-KOPRI



□자료 9. 남극 내륙 진출 및 연구 활동 모식도 ©Kroute-KOPRI

이용한 항공탐사 그리고 경량 스노모빌과 무한궤도가 설치된 대형 설상차를 이용한 사전 육상탐사가 수행되었다(자료10). K-루트 탐사대는 역할에 따라 중장비팀, 안전팀, 연구기술팀과 의료진으로 구성된다. 탐사에 참여하는 모든 인원은 사전에 한국해양수산연수원에서 진행되는 기본적인 극지 육상안전훈련과 극지 일반교육을 이수해야

남극 활동의 자격이 주어진다. 남극 내륙 트래버스 팀의 경우 전문 교육기관에서 「남극 대륙탐사 맞춤형 위기대응 훈련 심화 과정」을 별도로 이수한다. 프로젝트의 특성에 따라 외부협력연구팀과 탐사 보도팀도 포함되어 운영되기도 한다.

□자료 10. 2015/16, 2016/17 시즌 사전탐사 전경 ©Kroute-KOPRI



2. 남극 육상 트래버스 수행을 위한 특수한 의식주와 이동수단

남극에서는 고립된 극한환경에서 탐사 대원의 안정적인 탐사 활동을 수행하기 위하여 방한 피복을 착용하게 된다. 지급기준은 활동지역에 따라 5단계로 구분되는데 K-루트 트래버스 팀은 '남극 장보고 기지 하계연구 및 지원 인력'으로 분류되어 총 9종의 방한 피복을 대여받는다(자료 11). 하지만 영하 40°C까지 기온이 내려가는 남극 내륙의 혹한 환경으로 인해 기본 대여 피복으로 육상 트래버스를 수행하기에는 다소 무리가 따르게 된다. 따라서 K-루트 탐사대는 대여 피복 이외에 국내 아웃도어 피복 제작 전문 업체의 협조로 극저온에서도 체온 유지 및 활동이 쉬운 방한복을 지원받아 탐사에 활용하고 있다. 모든 탐사대원은 안전벨트(harness)와 안전 헬멧을 항시 착용하여 사고 상황에 대비하며, 안전요원은 구조상황 발생 시 신속한 대응을 위해 크램폰(crampon), 삼중화와 같은 별도의

구조장비를 항시 휴대한다. 극저온의 환경에서 사고상황이 발생하였을 경우 구조시간과 사고자의 생존율은 반비례 관계에 있으므로 이러한 과정은 반드시 필요하다.

남극 현장에서 제한된 식자재 및 도구를 가지고 음식을 조리하여 식사한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 탐사식은 최종 조리가 완료된 후 특수 냉동 및 진공 포장된 상태로 풀이거나 굽기만 하면 바로 식사가 가능한 형태가 대부분이며, 충분한 열량 보충을 위한 간식, 음료 등 고열량 식품이 주를 이룬다. 메뉴는 일상적으로 먹는 밥, 국, 찌개, 반찬 및 야식과 크게 다르지 않지만, 해동 과정을 거치게 되면 맛과 질은 떨어질 수밖에 없다. 탐사식은 남극 탐사 시작 2개월 전(약 9월 말) 한국에서 제작 구매하여 냉동 컨테이너를 통해 해상운송 후 뉴질랜드에서 냉동시설에 보관한 뒤 현지 구매가 가능한 신선식품(달걀, 채소, 과일

등)과 함께 아이스박스에 넣어 남극까지 항공 운송하게 된다. 운송된 탐사식은 냉동·냉장 컨테이너를 활용하여 최적의 상태로 보관한다. 식수는 부피와 무게의 문제로 인해 트래버스 수행 과정에서 빙원에 존재하는 깨끗한 눈과 얼음을 녹여 사용한다. 현재까지 남극의 눈과 얼음은 매우 깨끗하기 때문에 단기간 식수로 사용해도 크게 문제가 되지 않았다.

주거는 탐사 초기에 텐트를 활용하여 해결하였다. 텐트는 가볍고 이동성이 빠른 장점이 있지만, 많은 인원이 장거리 내륙탐사를 수행하기에는 다소 부적합한 시스템이다. 이를 개선하기 위해 2017/18 시즌에는 한국건설기술 연구원에서 개발 공급한 단일 속속 컨테이너가 활용되었다. 일반적인 20피트 컨테이너 규모로서 전기가 공급되면 바닥 난방이 가능한 구조로 설계되었다. 그러나 최대 수용인원은 5명이고 화장실, 음식, 식수 공급에 있어

제한적일 수밖에 없다. 2019/20 시즌에는 극지 트래버스 전용 카라반 시스템이 구축되었다. 카라반 시스템은 숙소동 1모듈과 발전동 1모듈로 구성된다(자료12). 자체 발전이 가능하며 발전기 구동 과정에서 발생하는 냉각수 폐열을 재활용하여 온수 사용이 가능하며 화장실 처리도 소각하여 분리수거가 가능하다. 최대 12명의 탐사대원이 생활 가능하며 숙소동은 8개의 침대, 공용식당 그리고 위성 통신 부스가 있다. 발전동은 4개의 침대, 화장실 2개, 수도시설 그리고 발전시설이 있고 55kW 발전기를 통해 카라반 전체 전기가 공급되며 중장비들의 주유 장치가 외부에 설치되어 있다. 일반 화물용 썰매는 4개의 스키 발이 장착되어 있지만, 카라반 시스템은 3개의 스키 발이 장착되어 있는데, 이는 상대적으로 부피가 큰 카라반의 견인을 쉽게 해준다.

K-루트 육상 트래버스에 활용되는 장비는 설상차(피스텐

원피스



□자료 11. 남극탐사용 보급 피복(원피스, 방한외투)
©윤태호-카카오페이지

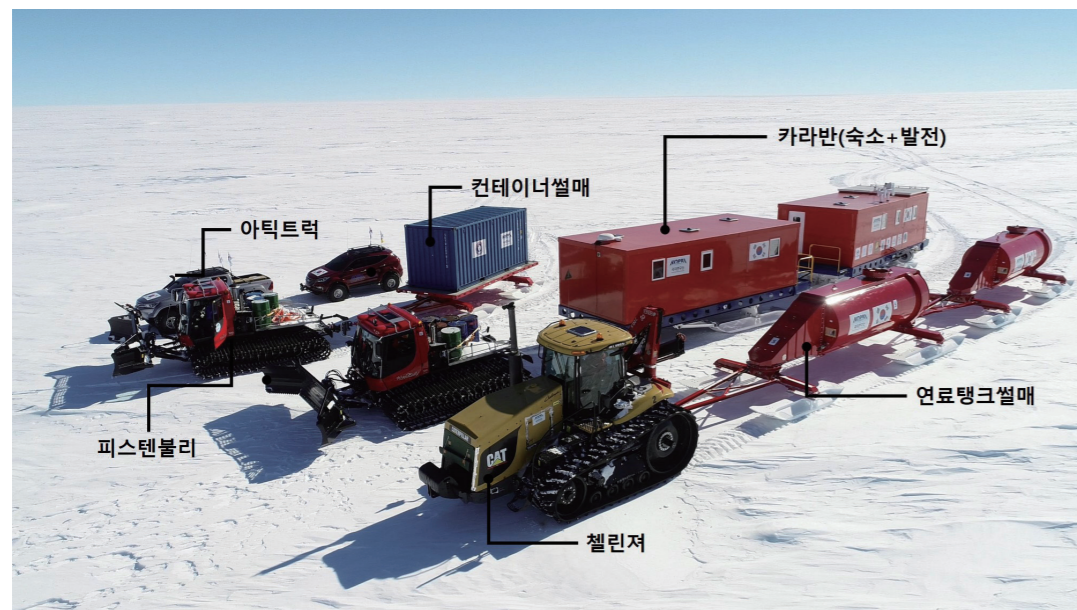


□자료 12. 카라반 내부 모식도
©Kroute-KOPRI

블리), 남극전용 트랙터(첼린저), 개조형 남극횡단트럭(아티트럭), 연료탱크 썰매, 컨테이너 썰매, 소형 굴삭기, 소형 스노모빌 등 다양한 목적에 맞는 동력 및 무동력 장비를 활용하고 있다(자료13). 피스텐블리는 스키장에서 볼 수 있는 무한궤도 구동형 설상차와 유사하다. 다만 극저온 환경에 적합하도록 특수 개조된 모델(Polar 300)로 사용 목적에 따라서 차량 앞에는 진행 방향의 눈 언덕을 파주는 장치(블레이드)나 눈삽, 후미는 눈을 평평하게 다져주는 장치(틸러)의 탈부착이 가능하며 운전석 뒤편 적재공간은 크레인이나 인원 탑승 캐빈으로 개조가 가능하다. 첼린저는 문명권에서 농기계로 쓰이는 트랙터를 남극 트래버스 수행에 적합하도록 개조한 특수트랙터다. 피스텐블리와 비교하였을 때 최대 5배의 견인능력(50톤)을 보유하고 있으며 주로 중량이 무거운 화물수송에 사용된다. 그렇지만 고무트랙으로 구동되는 첼린저는 경사진 빙하 계곡에서 슬립(Slip) 현상이 발생하게 된다. 이를 개선하기 위해

구동부 고무 트랙에 철재 스파이크를 보강하여 미끄러짐 현상을 최대한 방지하였으나 차체의 자체중량(30톤)이 무거운 이유로 인해 피스텐블리의 보조조건을 필요로 한다. 아티트럭은 현대자동차에서 기부해 준 상용 SUV 차량을 아이슬란드 Arctic Truck사에서 남극탐사에 적합하도록 개조한 특수 SUV 차량으로, 빙원 위 기동성이 우수하고 소수의 인력 및 장비 운송에 적합하다. 타이어 공기압 자동 조절 시스템을 적용하여 눈표면의 상태에 따라 타이어 접지력을 조절하여 효율적인 주행이 가능하다. 연료탱크 썰매는 극한환경에 맞게 특수 제작된 형태로 탱크 내부에 3개의 격벽을 만들어 내부 유체의 흐름이 썰매구동의 영향을 받지 않도록 설계되었으며 총 12,000L의 유류저장 능력을 보유하고 있다. 컨테이너 썰매는 상부에 컨테이너를 상치하여 탐사에 필요한 연구물품이나 식자재 등을 적재하여 활용한다.

□자료 13. K-루트 활용 중장비 ©Kroute-KOPRI



3. K-루트 탐사 3년의 기록 그리고 남극점을 향한 계획

2017/18 시즌 K-루트 탐사는 2017년 10월 20일부터 2017년 12월 20일까지 총 62일(트래버스 수행기간: 16일)의 기간 동안 진행되었으며, 총 14명(트래버스 7명, 미생물 연구 4명, 기지지원 및 공동연구 3명)의 탐사대원이 참여하였다. 총 8대의 중장비가 활용되었으며(표2, 자료14),

트래버스 기간 장보고 기지에서 빙저호 1차 후보지역 (D1)까지 약 300km 내륙진출루트 탐사를 완료했다(자료 15). 특히 장보고기지에서 약 30km 떨어진 브라우닝 패스 지역은 히든크레바스(표면이 눈에 완전히 덮여 육안으로 식별이 불가능한 크레바스)가 존재하는데, 이러한 히든

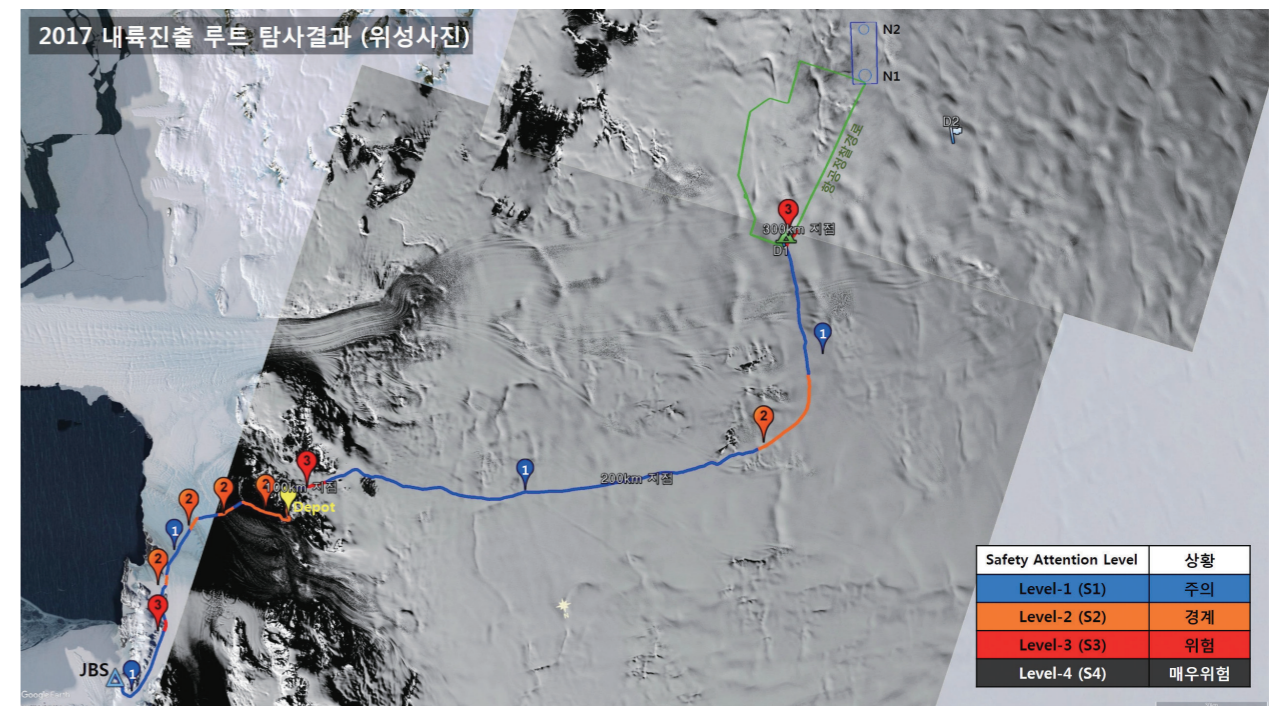
■<표 2>. 남극 현장 시즌별 활용장비 현황

시즌	동력	비동력
2017/18 시즌	설상차 2대, 첼린저 1대, 스노우모빌 1대, 굴삭기 1대	유류탱크썰매 1대, 컨테이너썰매 1대, 숙소컨테이너썰매 1대
2018/19 시즌	설상차 2대, 첼린저 2대, 스노우모빌 2대	유류탱크썰매 3대, 컨테이너썰매 2대, 숙소카라반 0.5세트
2019/20 시즌	설상차 6대, 첼린저 2대, 아티트럭 3대, 스노우모빌 2대	유류탱크썰매 5대, 컨테이너썰매 7대, 숙소카라반 2세트 (고단열 컨테이너 1대, 냉동냉장 컨테이너 1대)

□자료 14. 2017/18 시즌 K-루트 탐사 선단 ©Kroute-KOPRI



□자료 15. 2017/18 시즌 K-루트 내륙 진출 루트 탐사결과 ©Kroute-KOPRI





□자료16. 102km 지점 화물 썰매 크레바스 함입상황 ©Kroute-KOPRI



□자료17. 2018/19 시즌 K-루트 탐사선단 ©Kroute-KOPRI

크레바스는 빙하가 흘러내릴 때, 깨어져 생기는 틈으로 트레버스 수행에 치명적인 방해요소로 작용될 수 있어서 본격적인 트레버스 수행 이전에 GPR(Ground Penetrating Radar) 탐사를 수행한다. 본 GPR 탐사를 통해 빙하에서 발달하는 내부 크레바스의 구조 및 빙하의 유동 등과 관련된 정보를 확인하였고, 트레버스 선단이 이동 가능한 지역을 깃발로 표시하는 기문작업을 수행했다. 102km 지점 크레바스 지역에서 화물 썰매 발이 우측으로 빠지는 상황이 발생하였으나 챌린저에 설치된 크레인과 설상차를 이용하여 견인-구조를 완료하였다(자료16).

2018/19 시즌 K-루트 탐사는 2018년 10월 17일부터 2019년 2월 9일까지 총 116일(트레버스 수행기간: 30일)의 기간 동안 진행되었으며, 총 25명(트레버스 12명, 지지

지원 4명, GPR탐사 2명, 현장자문 3명, 공동연구 및 지구 물리 연구 4명)의 탐사대원이 참여하였다. 총 12대의 중장비가 활용되었으며(표2, 자료17), 장보고기지에서 빙저호 2차 후보지역(D2)을 지나 엘리펀트 모레인(Elephant Moraine) 청빙지대(Blue Ice)까지 총 700km 내륙진출루트 탐사를 완료하였다(자료18). 100km 지점 하든 크레바스에 챌린저의 함입상황이 발생하였으나 다른 중장비들을 이용하여 견인-구조를 완료하였다(자료19).

2019/20 시즌 K-루트 탐사는 2019년 10월 24일부터 2020년 2월 9일까지 총 109일(트레버스 수행기간: 46일)의 기간 동안 진행되었으며, 총 25명 전체인원이 탐사에 직접적으로 참여했다. 세부적으로 연구원 9인, 중장비대원 5인, 안전요원 5인, 의료대원 1인, 외부협력연구원 3인, 탐사

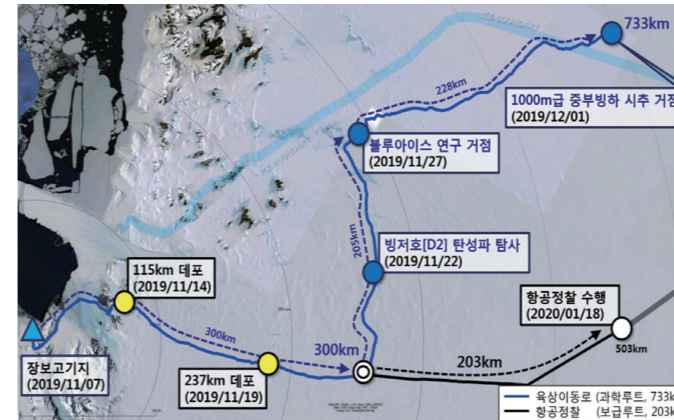
□자료 18. 2018/19 시즌 K-루트 탐사 결과, 700km 루트 확보 ©Kroute-KOPRI



□자료 19. 100km 지점 크레바스 지역 챌린저 함입상황 ©Kroute-KOPRI



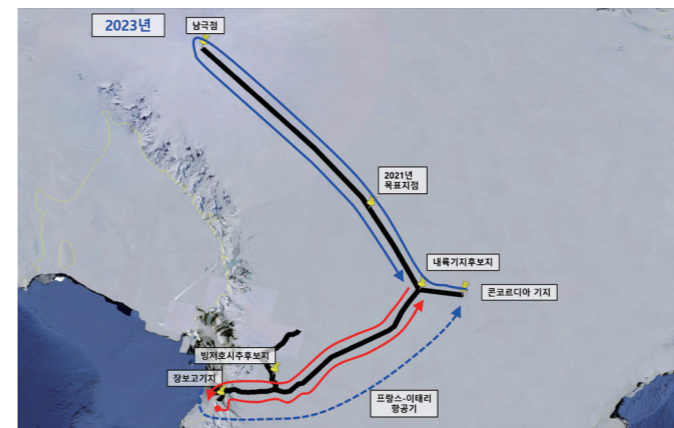
□자료 20. 2019/20시즌 K-루트 탐사 선단(캠프 배치) ©Kroute-KOPRI



□자료 21. 2019/20 시즌 K-루트 탐사 결과, 936km 루트 확보 ©Kroute-KOPRI



□자료 22. 232km 지점 크레바스 지역 챌린저 함입상황 ©Kroute-KOPRI



□자료 23. 2023년 남극점 K-루트 탐사 계획 ©Kroute-KOPRI

보도대원 2인으로 구성되었다. 총 29대의 중장비가 활용 되었다(표2, 자료20). 이번 탐사는 루트 개척팀과 빙저호 연구팀으로 나누어 운영되었는데, 루트 개척팀은 육상이동로 개척을 위한 트레버스를, 빙저호 연구팀은 빙저호 후보지(D2)의 육상 탄성파 탐사를 수행하였다. 총 936km 지점 (과학루트 733km + 보급루트 203km)의 내륙 진출루트 탐사가 완료되었으며 5개 크레바스 위험구간을 파악하여 안전루트를 확보하였다(자료21). 232km 지점 하든 크레바스에 챌린저의 함입상황이 발생하였으나 설상차와 챌린저를 이용하여 견인-구조를 완료하였다(자료22).

K-루트 탐사대는 2020/21시즌 1,500km, 2021/22 시즌 2,100km 그리고 2022/23 시즌 3,000km 남극점 진출 달성을 1차 목표로 하고 있다(자료23). 이는 중간거점인 1,500km 지점에 심부빙하시추와 천문우주관측이 가능한 다목적 내륙기지를 확보하고, 남극점까지의 광대한 영역 까지 우리나라의 과학탐사활동을 보장하기 위함이다. 남극 내륙 연구기반 구축을 위해 신규 내륙 탐사 루트 개척을 통한 연구캠프와 연구수행을 위한 연구지원시스템(캠프·의료·안전 메뉴얼·모듈형 무인관측장비 및 저전력 스마트 컨테이너 기술개발 등) 구축을 수행할 예정이었다.

하지만 2020년 8월 5일 COMNAP에서는 COVID-19로 인해 2020년 남극 활동과 관련된 인프라 운영을 대폭 축소하였고 남극 대륙 간 항공기 운영이 잠정적으로 취소되었다. 대한민국은 쇄빙연구선 아라온을 통해 필수적인 인력(세종기지, 장보고기지 월동대, 선박운영 인력, 일부 하계연구팀 등)만 탑승할 수 있는 제한된 조건 아래 남극 활동을 수행하는 비상계획을 진행 중이다. 탑승 인원은 대한민국 국민으로 제한되었고 승선과 하선 이전에 각각 2주간의 격리 기간을 거쳐 COVID-19 검사를 받아야 한다. 2020/21 시즌 남극 현장조사는 COVID-19 확산

III. 남극내륙 진출 연구 현황 및 첨단연구 수행

방지가 최우선적인 고려사항으로 간주됨에 따라 정상적인 수행이 현실적으로 불가능하게 되었다. 따라서 K-루트 탐사대는 내년도 육상 트래버스 수행이 차질이 없도록 115km 거점 지역의 탐사 장비의 사전관리 및 유지작업과 다음 연도 활용 예정 연구 장비 하역을 올해 탐사 목표로

하고 있다(자료24). 남극 내륙탐사의 성패를 좌우하는 유류보급량 역시 축소됨에 따라 전반적인 탐사계획에 차질이 발생할 수밖에 없는 상황이다. 비상계획 수립 및 진출 목표를 순차적으로 연기하는 것이 현실적인 목표달성을 이루는 데 필요하다고 판단된다.

□자료 24. 115km 거점지역의 장비 배치현황 ©Kroute-KOPRI



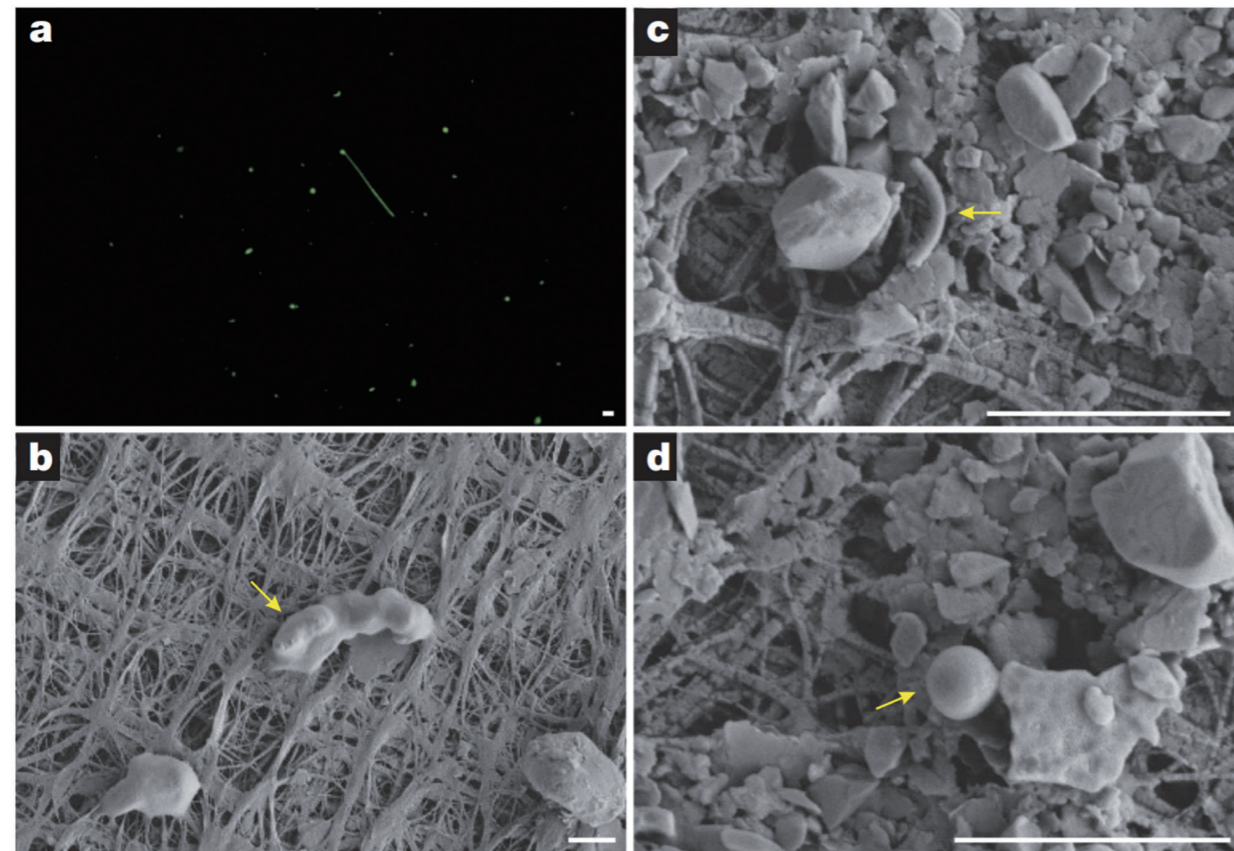
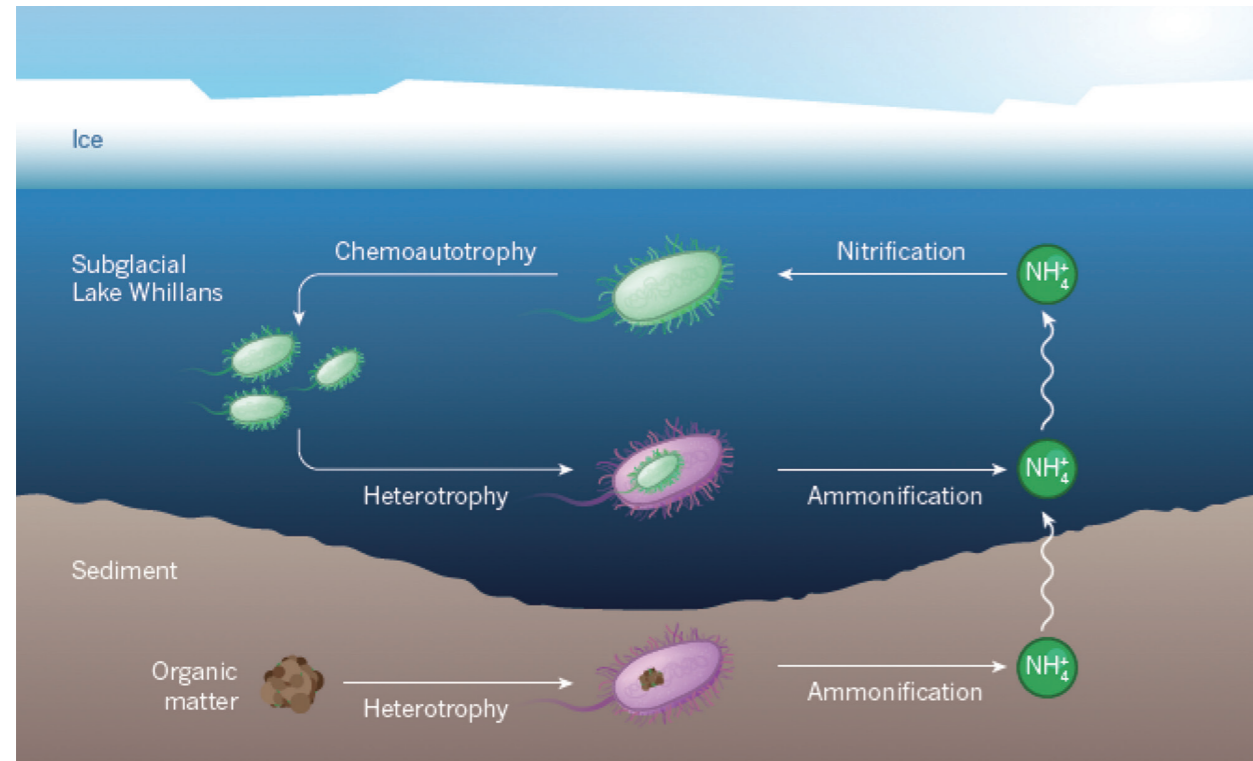
1. 남극내륙의 빙저호 시추기술 개발

빙저호(Subglacial lake)는 수백에서 수천 미터 두께의 남극대륙 빙하 아래에 있는 호수다. 빙하의 막대한 하중에 의해 생성된 압력, 빙하 아래 기저 면과 얼음의 유동에 의한 마찰열 그리고 지구 내부로부터 기인한 열 등의 복합적인 상호작용으로 빙하 최하층부가 녹거나 얼지 않는 상태로 존재한다. 용융 수가 기저 면(Bedrock)에 고여 보존된 지형으로 호수와 유사한 형태로 이해될 수 있다. 1976년 동남극에서 최초로 빙저호가 발견된 이후 항공 레이더 탐사 및 인공위성 원격탐사를 통해 379개의 빙저호가 발견되었으며, 남극대륙에 400여 개 이상의 빙저호가 존재할 것이라는 연구결과가 보고되었다(자료25).

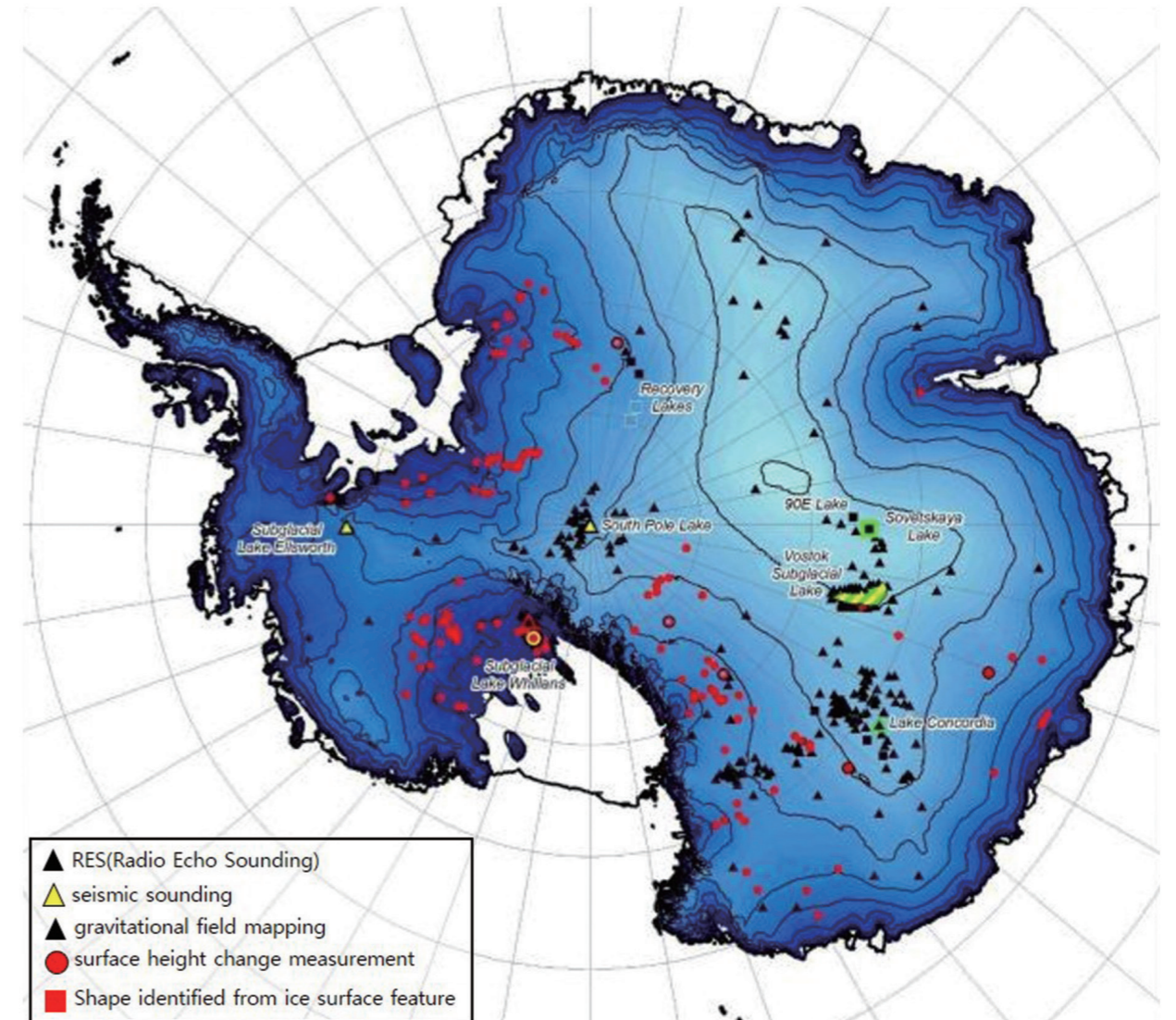
빙저호의 존재가 알려지기 시작한 1980년대만 하더라도 과학자들은 빙저호 환경은 생명체가 살아갈 수 없는 무균 상태로 존재하리라 생각되었다. 빙저호 환경은 태양으로부터 오는 에너지원이 수백 혹은 수천 미터에 이르는 두꺼운 얼음층을 투과하지 못할 뿐만 아니라, 수백만 년이란 오랜 동안 외부로부터 철저히 고립됐을 것이라 예상했기 때문이다. 하지만 과학자들의 예상과 달리 지난 2013년 미국 연구팀은 서남극에 있는 윌란스 빙저호(Lake Whillans) 탐사를 통해 4천여 종에 이르는 다양한 박테리아와 고세균들이 서식하는 것으로 보고한 바 있다. 이들은 주로 화학합성 독립영양(Chemolithoautotrophs)의 형태로 살아가는 미생물들로서 태양 에너지 대신 빙하 용융 수나 빙하의 침식작용으로 생성된 무기 이온들에서 에너지를 얻는 것으로 알려졌다. 또한, 미국은 최근 2019년 윌란스 호에서 50km 떨어진 머서 빙저호(Lake Mercer) 탐사를 통해 소형 갑각류와 물곰(Tardigrade)의 사체를 발견해 이후 학계에서 이들 고등 생물의 기원과 빙저호 서식 여부가 화두로 떠오른 바 있다. 이러한 극한 조건의 빙저호 환경 내 생명체 탐사는 지구 상에 존재하는 생명체의 기원과 적응

진화 메커니즘, 서식 한계를 확인한다는 측면에서 많은 과학자의 관심을 받아왔다. 빙저호 생명체 탐사는 또한 우주생물학에도 맞닿아 있다. 남극 빙저호와 유사한 형태의 지형이 화성의 극관이나 목성의 위성 유로파와 같은 지구 밖 외계 천체에 존재할 가능성이 대두됨에 따라 빙저호 생태계 연구를 통해 외계 생명체의 존재 여부와 그들의 생존 방식에 대한 단서를 찾을 수 있기 때문이다. 현재 많은 수의 남극 빙저호들은 여전히 미답지로 남아 있으며 미국만이 유일하게 외부 오염원 유입 없이 온전한 호수 시료와 퇴적물을 획득하는 데 성공한 바 있다. 대한민국이 머지않아 남극내륙 빙저호 시추를 성공적으로 수행한다면 국제적으로 시추기술과 우주생물학 발전을 선도할 수 있는 발판이 될 뿐만 아니라 얻어질 학문적 성과는 세계 과학사에 기록될 정도의 가치를 가지고 있다(자료26).

남극의 빙저호 시추는 기계식 시추(Mechanical drilling)와 열수 시추(Hot-water drilling)의 두 가지 방법으로 수행되었다. 기계식 시추는 금속 재질의 시추날(Cutter)이 회전하면서 원통 형태의 빙하시료를 채집하는 건식(Dry) 시추방법으로 시추공(Borehole)이 만들어지면 빙저호에 시료채취장비(Sampler)가 접근한 후 시료를 채집하는 방법이다. 대표적으로 러시아의 보스톡 호수에서 기계식 시추방법을 활용하여 빙저호 시추가 수행된 바 있다. 기계식 시추의 경우 빙하코어 시료를 획득하면서 빙저호 시료까지 채취할 수 있는 장점이 있지만, 시추 기간이 수년에 걸쳐 진행되기 때문에 빙하 유동에 따른 시추공이 막히는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해 빙하의 밀도(0.9)와 유사하면서 영하 30도 이하의 온도에서도 결빙되지 않는 부동액(Fluid)을 넣어 시추공 형태를 보존한다. 이에 따라 발생하는 환경오염 및 시료 오염 가능성과 시추 기간의 증가로 인한 캠프



□자료 25. 남극 윌란스 빙저호에서 발견된 미생물들의 다양한 형태적 특징과 암모늄 이온 매개 물질순환 모식도 ((a)형광 현미경으로 관찰된 미생물들의 다양한 형태적 특징, (b-d) 전자 현미경으로 관찰된 (b)막대모양, (c)곡선형, (d) 둥근모양의 미생물 형태(노란색 화살표)) ©Nature



□자료 26. 남극 빙저호 지역(▲RES(빙하용 레이더 탐사): X선처럼 레이더를 빙하를 향해 쏘면 레이더가 눈과 얼음을 통과하지만 기저면(지면)을 통과하지 못하여 기저면의 모양과 빙하 두께 관측, ▲ Seismic sounding(지진파 감지기): 지구에서 자연적으로 발생하는 지진에 의해 발생하는 P,S파를 감지하여 남극의 지각과 맨틀 모형 파악, ▲Gravitational field mapping(지구 중력계 감지기): 지구 중력을 측정하여 눈과 빙하의 질량 변화를 관측, ●Surface height change measurement(빙하 표면 고도 측정기): 표면의 고도를 측정하여 빙하의 용융, 적설 그리고 빙하 질량의 변화와 흐름을 관측, ■ Shape identified from ice surface feature(빙하표면의 특징적 모양 식별)

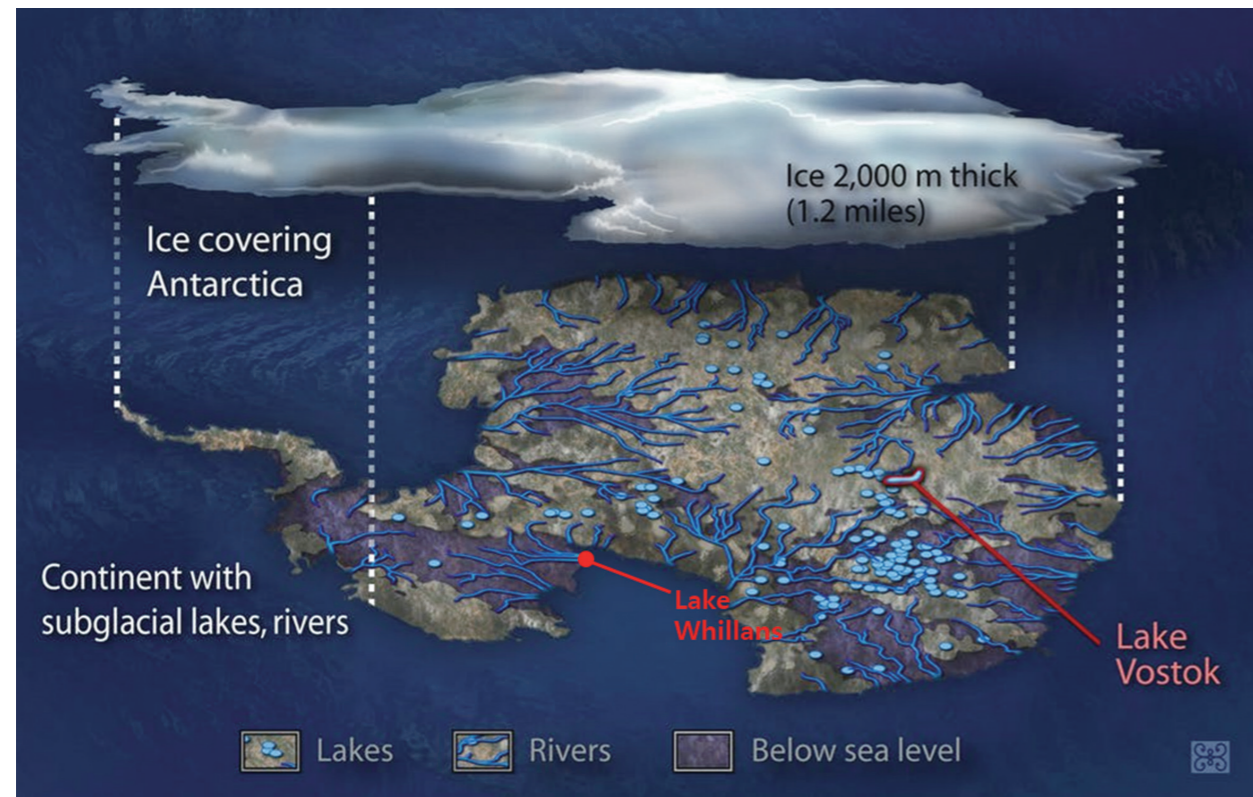
©Antarctic Environments Portal-Siegert

유지의 어려움과 같은 문제를 해결해야 할 필요가 있다.

반면 열수시추는 뜨거운 고압의 물을 긴 원형 삼각뿔 형태의 랜서(Lancer)가 수직 분사하여 빙하에 구멍을 내고 그 구멍을 통해 빙저호에 빠른 속도로 접근하여 시료 채취 장비를 통해 시료를 채취하는 방법이다.

남극이라는 혹한 환경에서 열수를 만들고 보이지 않는

빙하 바닥까지 빠르게 천공하여 오염되지 않은 상태의 시료를 채취하는 것은 매우 고도화된 기술과 노하우가 필요한데, 실제로 열수시추는 현재 극히 일부 극지 연구 선도국(미국, 영국 등)만 보유하고 있으며, 장비의 개발 뿐만 아니라 운영에 있어서 많은 어려움을 가지고 있는 매우 도전적인 기술이기 때문이다. 현재 열수시추 기술을



□자료 27. 남극 빙상하부에 존재하는 빙저호 유수 흐름 ©US National Science Foundation

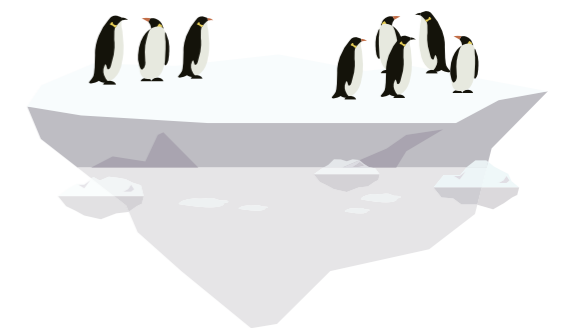
이용한 대표적인 빙저호 시추는 미국의 윌란스 호(WISSARD, Willians Ice Stream Subglacial Access Research Drilling) 빙저호 시추와 영국의 엘스워스호(Ellsworth) 빙저호 시추가 있다.

미국의 서남극 로스빙방 가장자리에 있는 윌란스 빙저호는 2007년 지구물리탐사 및 GPS 기록 등 사전 정밀조사를 바탕으로 존재 여부가 확인되었다. 800m 두께의 빙하 아래 표면적 약 60km², 평균수심 2m, 수온은 영하 4.9°C며 호수의 유출수가 로스해로 유입되는 개방형(Open system) 빙저호 특성이 있다(자료 27). 총 연구 수행 기간은 5년(2009년~2014년)으로 2010/11 시즌과 2013/14 시즌 현장탐사에 성공하였으며 2013년 1월 세계

최초로 빙저호 시료와 퇴적물 시료채집을 통해 생명체의 존재를 확인하여 2014년 네이처에 연구결과를 발표하였다. 영국은 1996년 서남극 로네빙방 인근에서 엘스워스 빙저호의 존재를 확인하였다. 3,400m 두께의 빙하 아래 표면적 30km², 길이 12km, 최대수심 150m, 표면 고도는 해수면 아래 1,400m의 지형적 특성이 있다. 총 연구수행 기간은 6년(2008년~2014년)으로 연구수행 이전에 약 10여 년간 빙저호 수괴 탐색 연구가 면밀히 수행되었다. 사전정밀조사 이후 2012년 탐사를 시작하였지만, 현장에 지속적인 기술적인 문제로 인해 시추를 중단하고 현재 시추 실패 원인분석 및 대응방안을 마련하여 추가적인 연구수행을 추진하고 있는 단계다.

대한민국은 2016년부터 장보고기지에서 380km 떨어진 지점에서 항공 IPR탐사와 인공위성자료 분석을 통해 지난 10년 동안 표면이 최소 20m 상승한(빙저호수에 물이 채워지고 있다는 증거) 빙저호(D2)의 존재를 확인했다. 2019시즌 폭약을 이용한 인공에너지원과 30m 열수시추기를 활용하여 육상 탄성파탐사를 수행하였다. 탐사결과 빙저호의 깊이는 표면에서 2,300m, 면적은 12~15km² 이고 호수의 깊이는 최소 100m 이상인 것으로 밝혀졌다. 탐사와는 별도로 열수 시추기술 습득을 위해 국내 기술진의 뉴질랜드 빙봉 열수 시추 현장 참여와 영국남극조사소(BAS, British Antarctic Survey)와의 연구협력 약정을 체결하고 양 국가 간 공동연구 정례회의를 개최하여 연구 수행 역량 강화를 시도했다. 아울러 탄성파 탐사용 천부 열수 시추기를 국내에서 제작, 개발하여 남극 현장 성능 평가를 수행했다. 열수 시추의 경우 기계적 시추와 단순히 시추 기간만 비교하였을 때 비교적 짧은 시간(열수: 1년, 기계식: 5년 이상)에 시료를 획득할 수 있는 장점이 있다. 더군다나 기계적 시추는 심부 빙하시추를 위한 소형기지 규모의 캠프가 설치되어야 수행할 수 있어서 현 단계에서 기계적 시추방법을 이용한 빙저호 시료채집이 어렵다고 판단하여 열수 시추기술을 활용하여 빙저호 시추를 시도하게 되었다. 비록 위에서 언급한 극지 연구 선도국들과 비교하면

대한민국의 열수 시추기술은 기초단계에 불과하지만, 열수 시추기술을 지속해서 개발하여 시추에 성공한다면 선도국과의 기술격차를 해소하고, 나아가 극지탐사 분야를 선도할 수 있는 역량을 극대화할 수 있을 것이라 예상된다.



2. 남극내륙의 심부빙하 시추기술 개발

‘빙하코어’란 극지의 빙원(Ice cap)에 존재하는 빙상(Ice sheet)으로부터 기계적 시추기술을 이용하여 획득한 원통 모양의 코어 시료(내경 60-200mm)를 의미하며 이러한 빙하코어를 채집하는 기술행위를 말한다(자료28). 빙하 시추기술 가운데 특히 심부 빙하시추는 남극탐사 분야 중에서 극한지 공학의 최첨단 기술이 집약된 분야로서 우주탐사와 버금가는 최고 수준의 기술 및 자원을 필요로 한다. 극지에 존재하는 빙하는 매년 강설이 녹지 않고 쌓이면서 수백 년에서 수십만 년에 걸쳐 층상(layer) 구조를 형성한다. 층상구조 형태의 빙하를 형성하는 강설은 구름에서

눈의 결정체로 형성되고 지표면에 퇴적되는 과정을 거치면서 당시 대기 환경에 존재하는 미세먼지, 화산재, 대기가스 버블, 방사성 물질을 보존하고 있어 “냉동타임캡슐”이라고 한다. 심부 빙하코어를 분석해 획득할 수 있는 물리, 지화학, 동위원소 가스등과 같은 자료들은 과거 수십만 년 동안의 전 지구적 기후환경 변화를 고해상도로 복원할 수 있는 유일한 프록시(Proxy; 대리적 지시자)로 당시 대기 환경 변화를 그대로 보존하고 있는 특성을 지니고 있다. 예를 들면 빙하코어 시료의 불안정동위원소 및 온실기체는 기후변화, 수용성 이온은 대기 순환과 지표면의 환경변화

□자료 28. 남극빙하시추 ①시추준비 ②시추 ③배럴 회수 ④배럴 분리 ⑤시료획득 ©NASA



그리고 화산재, 미량원소, 화산 기원 수용성 이온은 화산 활동 그리고 불용성 먼지의 크기와 농도는 바람 세기의 변화와 연관 지어 연구하고 있다. 이러한 물리·화학적 특질은 과거 기후환경변화를 추정할 수 있는 단서를 제공할 수 있다. 더군다나 심부 빙하코어 시료는 기후변화 기록 복원을 통해 자연적인 기후변화 메커니즘과 인간 활동의 영향을 규명하고 미래 기후변화 예측 정확도를 향상할 수 있는 아주 귀중한 시료다. 심부 빙하시추는 1960년대부터 극지 연구 선도국들에 의해 주도적으로 수행되었다. 현재까지 심부 빙하시추를 시도하여 성공한 나라는 미국, 러시아, 프랑스, 이태리, 영국, 일본, 호주, 중국으로 8개국에 불과하며, 그중에서도 3,000m 이상 심부 빙하를 시추한 나라는 5개국에 불과한 상황이다.

미국은 1966년 버드(Byrd) 기지에서 2,164m 깊이의 남극 최초 심부 빙하코어를 시추했다. 이후 2006년부터 2011년 동안 미국은 WAIS 빙상에서 3,405m 깊이의 빙하코어를 시추하였다. 1970년 구소련은 보스톡 기지에서 심부 빙하코어 시추를 시작하였으며 1996년까지 총 3,350m 깊이의 남극 최장 심부빙하코어를 시추하였고 1997년부터 2005년 동안 이태리와 프랑스는 3,270m 깊이의 국제 심부 빙하시추 프로젝트 EPICA DOME C 프로젝트를 주도적으로 진행하여 82만 년 전에 만들어진 빙하 층을 획득하여 빙하코어를 이용하여 가장 오래된 과거 기후 환경변화 기록을 복원하는 데 성공했다. 일본은 1995년부터 2006년 기간 동안 3,035m 깊이의 심부 빙하시추를 수행하였고,

중국은 2004년부터 Dome A 곤륜 기지에서 심부 빙하시추가 진행되고 있다. 최근 남극 심부 빙하코어 시료에서 과거 150만 년 기후환경 변화기록 복원을 시도하는 Beyond EPICA 프로그램이 이태리와 프랑스 주도하에 추진되고 있다. 2020년 이후 일본, 호주, 러시아, 중국 등 극지연구 선도국들을 중심으로 가장 오래된 빙하코어를 찾기 위한 심부 빙하시추 프로젝트가 경쟁적으로 추진되고 있다.

대한민국은 심부 빙하시추 기술습득 및 향상을 위하여 심부 빙하시추 국제 공동프로그램(EPICA, NEEM, GV7, EGRIP 등)에 참여하였다. 장보고기지 건설을 계기로 독자적인 빙하시추 프로그램을 추진하여 2014/15 시즌에 스틱스(Styx) 빙하에서 210.5m, 2015/16 시즌 허클레스네베(Hercules Névé) 지역에서 80m 천부빙하 시추에 성공했다. 대외적으로 일본 극지연구소와 심부 빙하 시추기 제작 및 향후 협력방안 논의, 미국 텍사스 대학(UTIG)과 Dome C 인근 심부 빙하시추 후보지에 대한 지구 물리 탐사방안 논의 등 국제협력 강화방안도 모색하였다. 앞서 설명한 바와 같이 심부 빙하시추는 내륙탐사 루트 로지스틱이 정립되고 이를 위한 연구기지를 건설하는 과정이 수반되어야 진행될 수 있다. 따라서 대한민국 남극 내륙 진출 루트인 K-루트 확보가 최우선으로 필요하며 남극 내륙 탐사 노하우 습득, 전문인력 양성 및 첨단기술개발을 통한 대형 융복합 프로젝트로서의 본격적인 심부 빙하시추 시대를 차근차근 준비할 필요성이 있다.

3. 4차 산업혁명과 남극의 첨단연구

2016년 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)은 향후 세계가 직면할 혁신으로 『4차 산업혁명』을 꼽았다. 1차, 2차 산업혁명은 과거에 살았던 동물과 식물을 채굴하며 자리매김한 이른바 화석연료 문명이다. 기계화나 대량생산화도 1차·2차 산업혁명을 대변하는 키워드라고 봐도 무방할 것이다. 이 문명은 모든 생활구조 형태가 화석연료에 의존하는 메커니즘으로 작동된다고 볼 수 있다. 반면 3차 산업혁명의 경우 디지털 혁명으로도 불리며 화석연료에 대한 의존도를 최대한 낮추면서 신재생에너지와 개인용 컴퓨터 및 인터넷 등과 같은 정보통신 기술을 기반으로 하는 디지털 기술을 이용한 사회의 지속 가능한 발전을 추구한다. 4차 산업혁명은 로봇 공학, 나노 기술, 양자 프로그래밍, 생명공학, 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI) 등 첨단 정보통신기술이 경제사회 전반에 융합되어 혁신적인 변화를 나타내는 초연결·초지능·초융합의 시대라고 말하고 있다.

극지연구 선도국들은 과거 남극에서 빙저호 시추나 심부 빙하시추와 같은 시료 지향적 연구들을 수행해왔다. 최근 남극에서는 원격탐사 플랫폼인 인공위성을 이용한 높은 수준의 시공간 데이터 확보가 가능해졌으며 인공 위성 원격탐사의 한계점을 보완하는 무인 항공기(UAV) 플랫폼이 센서의 소형화 및 내구성 향상과 함께 정보통신 기술의 발전과 배터리 기술혁신으로 극지연구의 새로운 패러다임을 구축하고 있다. 관측 자료는 센서의 시공간적 해상도와 정밀도가 향상됨에 따라 획득 가능한 다양한 정보를 한 번에 확보할 수 있게 되면서 데이터의 규모 자체가 정교해지고 거대화되어 효과적인 데이터 활용을

위해 빅데이터 기술과 인공지능 기술은 꼭 필요한 기술이다. 4차 산업혁명과 연계된 탐사기술이 극지연구와 적절히 융합되어야 시너지 효과를 창출할 수 있고 남극 내륙진출을 통한 첨단기술개발은 대한민국의 미래혁신 성장 동력 창출 및 기술위상을 높이고 다부처 간 협력 연구개발과 같은 기술적 파급효과를 가져올 수 있다. 이뿐만 아니라 남극의 첨단연구를 통해 기후변화 대응 및 환경위기 극복을 위한 정부의 사회적 비용 절감과 홍수, 폭염, 폭설과 같은 국지적인 기상이변에 대한 국가적인 경제·사회 피해 경감 대책 마련의 과학적 자료를 제공하는 경제·산업적 효과를 발생시킬 수 있다. 더불어 세계 10위권의 경제 규모인 대한민국의 국제적 위상에 걸맞은 인류 현안 해결의 공동 해결방안을 모색하는 선진국으로서의 사회적 배경을 제공하여 극지 연구의 대국민적 공감대 형성 및 자긍심을 고취할 수 있는 사회문화적 파급효과를 창출할 수 있을 것이다. 4차 산업혁명의 선도기술을 적용하고 실험할 수 있는 최적의 장소는 남극 내륙 고원의 극한환경 지역을 꼽을 수 있다. 이를 위해 극지연구소는 K-루트 개척을 통한 안전한 보급 루트를 확보하고 1,500km 지점 고원에 제3 내륙기지를 건설하기 위한 도전적인 프로젝트를 추진하고 있다. 2020년대 후반 건설될 내륙기지는 무인으로 운영될 수 있도록 원격으로 제어할 수 있고 연구목적에 따라 이동이 가능한 모바일 기지로 건설될 예정이다. 즉, 극한환경에 다양한 첨단연구가 가능한 실험실(Korea Coldest Lab)을 확보하여 선진국들과 대등한 연구를 수행하고자 하는 프로젝트다.

마치는 말

앞서 살펴본 바와 같이 K-루트 프로젝트는 남극 내륙에서 거대과학급 첨단연구(빙저호와 심부 빙하시추)와 극한환경에서 원격관측이 가능한 내륙기지를 확보하기 위한 안전한 길을 만드는 도전적인 사업이다. 지난 3~4년간 많은 시행착오와 위험 상황에 극복을 통해 경험 축적이 이루어져서 2~3년 내에는 남극점까지 우리의 길이 만들어질 것으로 확신한다. 이번 2020시즌에는 COVID-19 사태로 인해 루트 개척이 불가능하지만 지난 3~4년간의 시행착오를 돌아보는 숨 고르는 시간으로 삼고, 내년부터 다시 전열을 정비해서 도전에 나설 것이다.

빙저호 탐사는 2021시즌에 빙저호의 정확한 규모를 3차원적으로 복원하여 시추지점을 최종적으로 결정하는 탄성파탐사를 한 번 더 수행함과 동시에 3,000m급 열수 시추 시스템 개발에 착수한다. 현재 열수 시스템 가동을 위한 발전동력과 청정실험실, 카라반 등이 확보된 상태이며, 열수 시추기 본체는 영국남극조사소와 공동으로 제작할 예정이다. 예정대로 추진하면 2024~2025시즌에는 시추가 이루어질 수 있을 것으로 생각한다.

심부 빙하시추는 제3 내륙기지 건설과 함께 추진될 예정이다. 지금까지의 기술로도 3,000m급 빙하코어를 회수하는 데는 적어도 4~5년이 걸리기 때문이다. 따라서 최소 5년간 빙하시추를 안정적으로 수행하기 위해서는 인력과 장비 지원이 가능한 기지 확보가 필수적이다. 2021 시즌에 K-루트 탐사대가 1,500km 지점에 도달하는 시점부터 심부 빙하시추 후보지를 결정하기 위한 물리탐사가 동시에 수행될 예정이다. 물리탐사는 얼음층이 왜곡되지 않고 편평하게 쌓인 지점을 찾는 작업으로 개조한 SUV에 레이더(Ice Penetrating Rader, IPR)를 장착하여 50x50km 지역을 1km 간격으로 조사하게 된다. 이 탐사를 통해 직경 20cm 정도의 시추지점이 정해지면 그 위치가 내륙기지 건설 예정지가 될 것이다.

현재 첨단 내륙기지를 확보하고 안정적인 물자 보급을 위한 대형 프로젝트 성공을 위해 많은 연구기관이 협력하고 있다. 철도기술연구원은 K-루트 탐사대와 함께 효율적인 물류 수송을 위해 스마트 고단열 컨테이너를 제작하여 남극 현장에서 시험가동 중이고, 건설기술연구원은 친환경 고단열 내륙기지 건설을 위한 프랑스-이태리 기지 견학을 마치고 기지의 개념설계를 완성한 상태다. 천문우주 관측 분야에 지대한 관심을 두고 있는 천문연구원에서는 기획연구를 통해 관측 가능한 연구분야를 선정하였고, 2019시즌에 연구진이 남극에 파견되어 현장답사를 수행하였다. 앞으로 원격제어 분야, 친환경 에너지 확보 저장 분야, 로봇 활용 분야 등 첨단기술을 시험하고자 하는 많은 연구기관이 참여할 것으로 기대할 수 있다.

이처럼 2020년대는 대한민국이 남극에서 새로운 전기를 마련하고 선진국과 대등한 첨단 연구를 할 수 있는 새로운 도약의 10년이 될 것으로 확신한다. 이렇듯 많은 목표를 성공적으로 완수하기 위해서는 무엇보다도 미지의 세계에서 우리의 길을 만드는 K-루트 탐사대의 노력이 결실을 보아야 할 것이다. 남극대륙에서의 대한민국의 도전은 이미 시작되었다.

선진국과 같이 한국 고유의 남극루트인 K-루트를 개척하여 우리나라의 남극활동 위상을 확보하고, 남극연구 선진국과 어깨를 나란히 하는 계기를 마련하기 위해 오늘도 K-루트 탐사대는 앞으로 나아가고 있다.



참고문헌

1. 국내 문헌
 - 극지연구소, 남극대륙기리지 이야기, 2009.
 - 극지연구소, 대륙기지 활용 정책 기획연구 보고서, 2009.
 - 극지연구소, 극지정책자료 2014-1 남극조약협약당사국 회의, 2014.
 - 극지연구소, 남극대륙 육상루트 개발 및 제3 내륙기지 확보를 위한 기획연구 보고서, 2015.
 - 극지연구소, 남극 대륙 육상 탐사 지원을 위한 크레바스 탐사 연구보고서, 2015.
 - 극지연구소, 남극대륙 열수시추 기술 확보를 위한 기획 연구, 2017.
 - 극지연구소, 빙하코어를 활용한 남극 빅토리아랜드 고해상도 기후·환경 복원연구, 2019.
 - 극지연구소, 남극 내륙 진출 루트 개척과 심부빙하/빙저호 시추 및 활용기술 개발, 2020.
 - 극지연구소, 극지연구소 연보, 2018.
 - 극지연구소, 극지연구소 연보, 2019.
 - 전성준, 『미래를 여는 극지인 N023』, 서울:사람과산, 2018.
 - 전성준, 『몽골 알타이 산맥 참바가라브산 빙하코어를 이용한 중앙아시아 기후·환경변화의 지화학적 기초 연구』, 2014.
 - 해양수산부, 2019 북극 이슈 리포트, 2019.
 - 홍성민, 『빙하 거대한 과학의 나라』, 서울:봄나무, 2006.
 - 장순근, 『극지와 인간』, 극지연구소
2. 외국 문헌
 - BEAUMONT, Stefan, et al. The South Pole Route; a Necessity or a Scar on the Landscape?. 2004.
 - BLAISDELL, George L., et al. Development of a modern heavy-haul traverse for Antarctica. In: The Seventh International Offshore and Polar Engineering Conference. International Society of Offshore and Polar Engineers, 1997.
 - Christner, Brent C., et al. "A microbial ecosystem beneath the West Antarctic ice sheet." Nature 512.7514 (2014)
 - LAMBERT, Fabrice, et al. Dust-climate couplings over the past 800,000 years from the EPICA Dome C ice core. Nature, 2008, 452.7187
 - Tranter, Martyn. "Biogeochemistry: microbes eat rock under ice." Nature 512.7514 (2014)
3. 기타자료
 - <https://blog.naver.com/bkmfoundation/221971696559>
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_the_Amundsen_and_Scott_expeditions
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Research_stations_in_Antarctica
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Vostok_Station
 - https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%82%A8%EA%B7%B9%EC%9D%98_%EC%98%81%EC%9C%A0%EA%B6%8C_%EC%A3%BC%EC%9E%A5_%EB%AA%A9%EB%A1%9D
 - <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%82%A8%EA%B7%B9%EC%A1%B0%EC%95%BD>
 - <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3548884&cid=42346&categoryId=42346>
 - <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%82%A8%EA%B7%B9%EC%A1%B0%EC%95%BD>
 - <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3548884&cid=42346&categoryId=42346>
 - https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A0%9C4%EC%B0%A8_%EC%82%B0%EC%97%85%ED%98%81%EB%AA%85#제3차_산업_혁명
 - [https://en.wikipedia.org/wiki/Lake_Ellsworth_\(Antarctica\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lake_Ellsworth_(Antarctica))
 - <https://www.environments.aq/information-summaries/antarctic-subglacial-lakes/>
 - <https://www.livescience.com/49535-antarctica-wissard-life-photo-gallery.html>
 - http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Paleoclimatology_IceCores/
 - 극지연구소. 코리안루트 개척 국정과제 변경안(2020. 07.21.)