

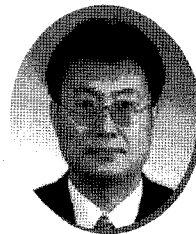
# 남극 제2 과학기지 (장보고) 건설 (Construction of the Jangbogo Antarctic Research Station)



김영석  
한국건설기술연구원  
지반연구실 수석연구원  
(kimys@kict.re.kr)



홍승서  
한국건설기술연구원  
지반연구실 전임연구원



배규진  
한국건설기술연구원  
선임본부장  
(gjbae@kict.re.kr)

## 1. 서론

한반도의 약 60배 (약 1,400만 km<sup>2</sup>)가 넘는 남극 대륙은 지구상에서 가장 춥고, 가장 바람이 세고, 그리고 가장 건조한 지역이라고 할 수 있다. 남극 빙하의 평균두께는 약 2,160 m이며, 4,000 m 이상도 있다. 또한, 지구상 담수의 70%를 차지하며, '마지막 자원의 보고'라 불릴 만큼 상당양의 석유와 광물 자원 등이 매장돼 있을 것으로 추정되는 곳이다. 새로운 공간으로의 진출 또는 자원개발이라는 관점에서 볼 때, 남극 대륙의 매력은 무궁무진하다 할 수 있다. 남극에 기지를 세우고 연구 활동을 해 나가면서 쌓은 경험과 연구 성과는 해저나 사막, 우주 등 아직 인류가 도전하지 않은 다양한 신평간으로 진출하는 데 큰 도움이 될 것이다. 이 때문에 선진국들은 극저온 지대, 최고도 지대 등 남극에서도 극한 환경에 속하는 곳에 자신들의 과학 기술력과 연구역량을 시험하기 위한 부단한 노력을 기울이는 중이다.

1988년 완공한 남극 세종 과학기지는 남위 62도인 남극 최북단 주변부 킹조지섬에 위치하고 있어, 극지 연구에 많은 제약이 있었다 (그림 1). 실제로 국내 극지연구는

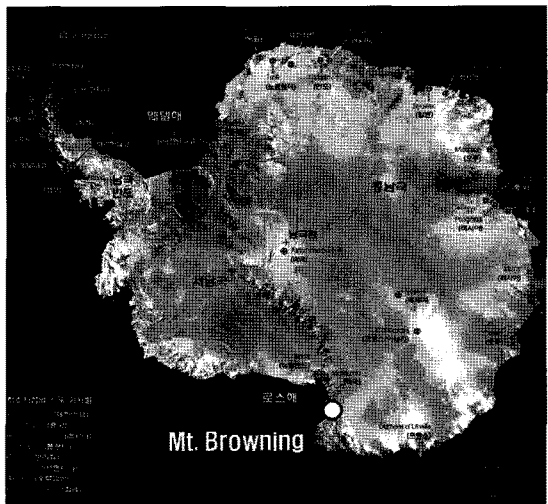


그림 1. 남극지도 및 기지 현황 (킹조지섬은 왼쪽 반도 끝부분에 위치)

## 남극 제2 과학기지 (장보고) 건설 (Construction of the Jangbogo Antarctic Research Station)

세종 과학기지를 중심으로 약 200 km 지역 내에서 집중될 수밖에 없었다. 남극 대륙의 크기를 생각할 때, 지금까지의 국내 남극연구는 매우 국지적이면서도 부분적이었다고 말할 수 있다. 반면, 대부분의 선진국들은 남극에 2개에서 5개까지의 기지를 건설하고 운영하면서 남극 대륙에서 다양한 연구를 수행하고 있다.

세종 과학기지의 지리적 편중에 따른 문제점 해결 및 국제 위상 제고를 위해 남극 대륙 내 새로운 기지를 건설하기로 결정하고, 최적의 건설후보지를 선정하기 위하여 2010년 1월과 2월에 걸쳐 남극 현장조사를 실시하였으며 그 결과, 세종 과학기지에 이은 대한민국 두 번째 남극기지 건설 장소는 그림 1과 같이 남극대륙 동남단 로스해 인접지역인 브라운링 산 (테라노바 베이) 부근으로 최종 선정되었다. 이로써 우리나라는 세계에서 아홉 번째로 남극에 두 개 이상의 연구기지를 보유한 국가가 될 전망이다.

본 기고에서는 남극 대륙에 건설된 외국의 주요기지를 소개하고, 남극 제2 과학기지 건설을 위한 현장조사 내용 및 기지 건설과정에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 주요 국가의 남극 대륙기지 소개

현재 (2010년 4월) 남극에는 29개 국가에서 총 75개 기지가 운영(상주 39개, 하계 36개)중이다. 이 중 20개국이

39개 상주기지를 운영 중이며 미국, 러시아, 영국, 프랑스, 호주, 중국, 아르헨티나, 칠레는 2개 이상의 남극 상주기지를 운영하고 있다.

또한, 최근에 독일, 영국, 체코, 인도, 중국이 남극 대륙에 새로운 기지를 건설했거나 건설 중이며, 벨로루시, 에스 토니아 및 말레이시아 등이 대륙기지 건설을 계획 중이다.

### 2.1 Amundsen-Scott South Pole 기지 (미국)

미국의 Amundsen-Scott 기지는 남위 89도에 위치하고 있으며, 남극점에서 가장 가까운 곳에 있는 상주기지이다 (그림 2). 남극의 한겨울인 7~8월에는 월평균 최저 기온이 -63.5 °C까지 떨어지는 곳으로, 남극 대륙에서도 가장 약 조건 가운데 건설되어 운영되고 있는 기지이다. Amundsen-Scott 기지는 약 3 km 두께의 빙상 (대륙빙하) 위에 건설 되었으며 설계면적이 7,400 m<sup>2</sup>에 이르는 한 개 동으로 이루어져 있다(그림 3). 돔 형태의 초창기 기지가 빙상의 흐름과 적설량에 의해 눈에 묻히는 단점을 극복하기 위하여 새로운 기지에서는 총 36개의 기둥이 동시에 움직여 기지를 상승시킬 수 있는 Jacking System이 적용되어 있다. 겨울에는 최대 75명, 여름에는 250명이 거주할 수 있다. 건설자재의 운송은 미국에서 쇄빙선을 이용해 남극 로스해에 있는 McMurdo 기지까지 운송하고 다시 항공기를 이용해 남극점까지 운송하였다.

표 1. 주요 국가의 남극 기지 운영현황 및 주요 보유장비

구분	기지 운영 현황	주요 보유 장비
미국	• 3개 상주기지	• 쇄빙선 2척, 공군, 해경이 항공기, 헬기, 선박 등 지원
러시아	• 5개 상주, 1개 하계기지, 4개 일시때쇄	• 쇄빙선 1척, 하계기간 중 헬기 운영
영국	• 2개 상주, 1개 하계기지	• 쇄빙선 2척, 비행기 5대(대형 1대)
독일	• 1개 상주, 3개 하계기지	• 쇄빙선 1척(65,000톤급 신규척 건조 예정), 비행기 2대
호주	• 3개 상주, 1개 하계기지	• 쇄빙선 1척, 하계기간 중 대형민항기 운영
프랑스	• 2개 상주 (1개 이태리와 공동 운영)	• 쇄빙선 1척, 하계기간 중 경비행기 및 헬기 운영
일본	• 1개 상주, 3개 하계기지	• 쇄빙선 1척, 해상자위대 운용, 하계기간 중 헬기 운영
중국	• 2개 상주, 1개 하계기지	• 쇄빙선 1척(10,000톤급 신규척 건조 예정), 하계기간 중 헬기 운영

### 2.2 Neumayer III 기지 (독일)

독일의 Neumayer III 기지는 남위 70도에 위치하고 있으며, 설계면적이 약 4,473 m<sup>2</sup>이다. 에너지 소모 감축을 위한 집약적 배치 및 동/하절기 숙소를 구분하여 설계되었다. 또한, 빙봉 위에

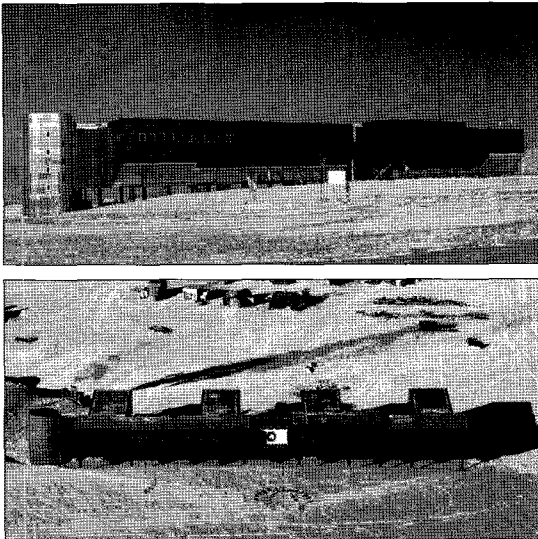


그림 2. Amundsen-Scott 기지 전경



그림 3. Amundsen-Scott 기지 건설과정

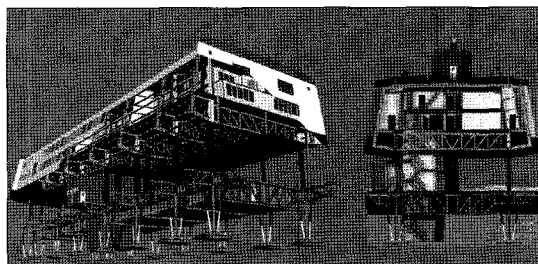


그림 4. Neumayer III 기지 설계 개념도

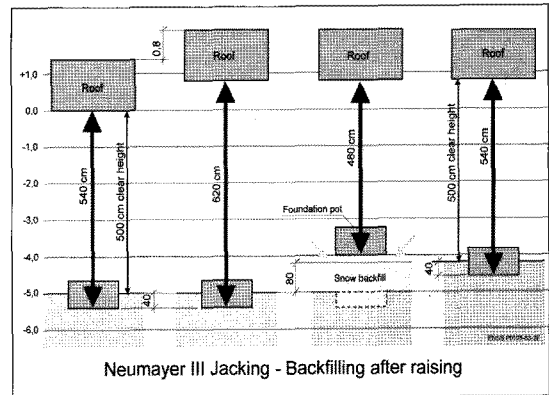
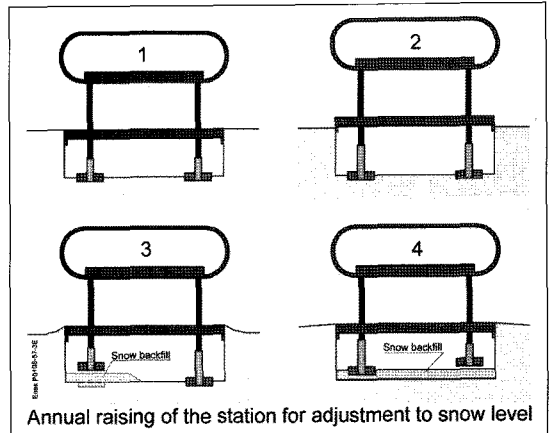


그림 5. 적설수준에 따른 상승장치 모식도

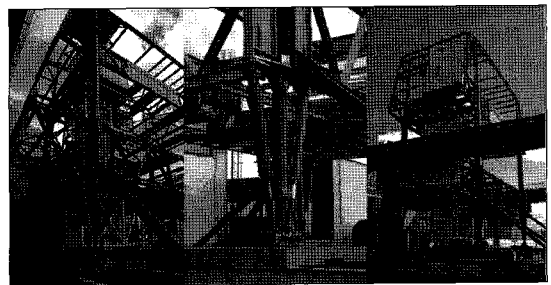


그림 6. Neumayer III 기지의 유압식 Jack 모습

계획된 기지로 지하공간을 효율적으로 활용할 수 있도록, 그림 4~6과 같이 강설 시 기지의 높이를 높일 수 있는 Jacking System이 적용된 기초로 설계되어 있다. Neumayer III 기지는 적설수준에 맞게 기지의 높이를 높일 뿐만 아니라 기초의 위치를 변화시켜 강설에 대하여 보다 근본적인 대책을 마련하고 있다고 할 수 있는데, 그

방법은 강설이 내리면 Jacking System을 이용하여 기지 전체의 높이를 높인 후 각 기초를 들어 올려 상부구조로부터 지반면까지의 거리를 다시 좁히는 방식을 활용하고 있다. 이러한 방법은 제한된 Jack-up 능력을 극대화하여 장기간 기지가 강설로 인한 피해를 입지 않을 수 있도록 설계된 것으로 판단된다. 겨울에는 9명이 지내며, 여

남극 제2 과학기지 (장보고) 건설  
(Construction of the Jangbogo Antarctic Research Station)

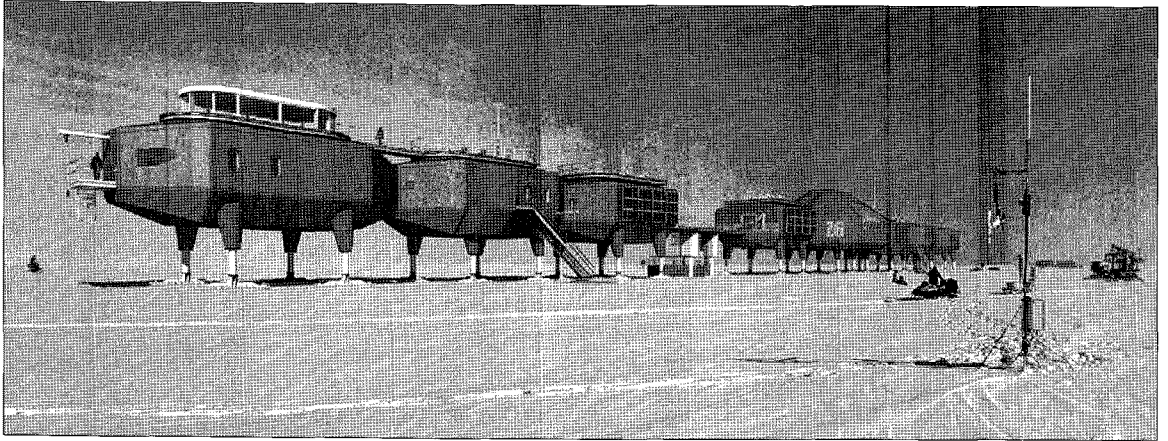
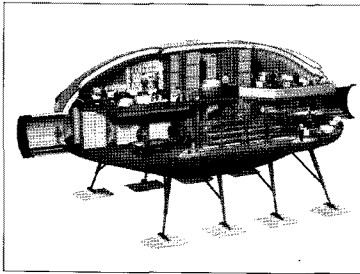
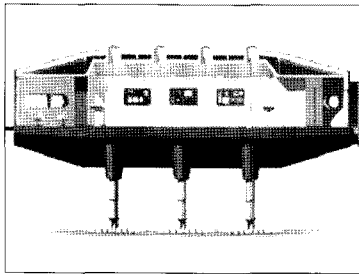


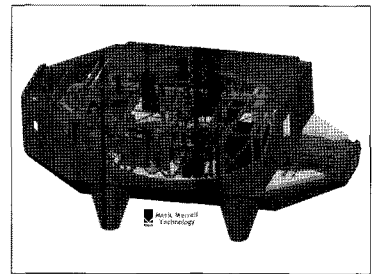
그림 7. Halley VI 기지 개념도



a) 중양모듈



b) 동계 숙소 모듈



c) 에너지 모듈

그림 8. 기능별 독립 모듈의 내부 개념도

름에는 최대 60명까지 수용이 가능하다.

### 2.3 Halley VI 기지 (영국)

영국의 Halley VI 기지는 남위 76도에 위치하고 있으며, 설계면적이 약 2,498 m<sup>2</sup>이다. 독일의 Neumayer III 기지와 비슷하게 빙봉 위에 계획된 기지로서 상부구조에서 기초까지 하나의 완벽한 모듈형식으로 계획되었다(그림 7, 8). 그림 9와 같이 강설에 대비하여 변위 대응형 지지시스템, 즉 상부 구조물을 들어 올릴 수 있는 Jacking System을 빙원 위에 얹어 놓는 형식인 스키발 구조 기초에 적용하였다. 또한, 각 모듈들을 연결할 수 있어 강풍에도 견딜 수 있도록 설계하였다. Halley VI 기지의 스키발 형태의 기초는 -50°C의 기온에서도 문제가 발생하도록 설계되었으며 빙하지반의 융기나 침하 시 발생하는 구조

물의 안정성을 감안해 모든 기초에는 유압 실린더에 의하여 상부구조물을 올리거나 내리는 방식이다. 겨울에는 16명이 지내며, 여름에는 최대 52명까지 수용이 가능하다. 남극에서의 시공 중 시행착오를 최소화하기 위하여 남아프리카 공화국(남극 대륙으로 가는 루트는 칠레, 뉴질랜드, 남아공, 오스트레일리아가 있음)에서 모듈을 제작하고 조립하여 검토하였다.

### 2.4 Princess Elizabeth 기지 (벨기에)

벨기에의 Princess Elizabeth 기지는 남위 71도에 위치하고 있으며, 설계면적은 700 m<sup>2</sup>이다. Princess Elisabeth 기지는 최소의 인력과 소형장비를 사용해 남극의 극한 작업환경에서 기초구조물의 시공을 수행하였다. 그림 10은 Princess Elisabeth 기지 건설작업 시 노

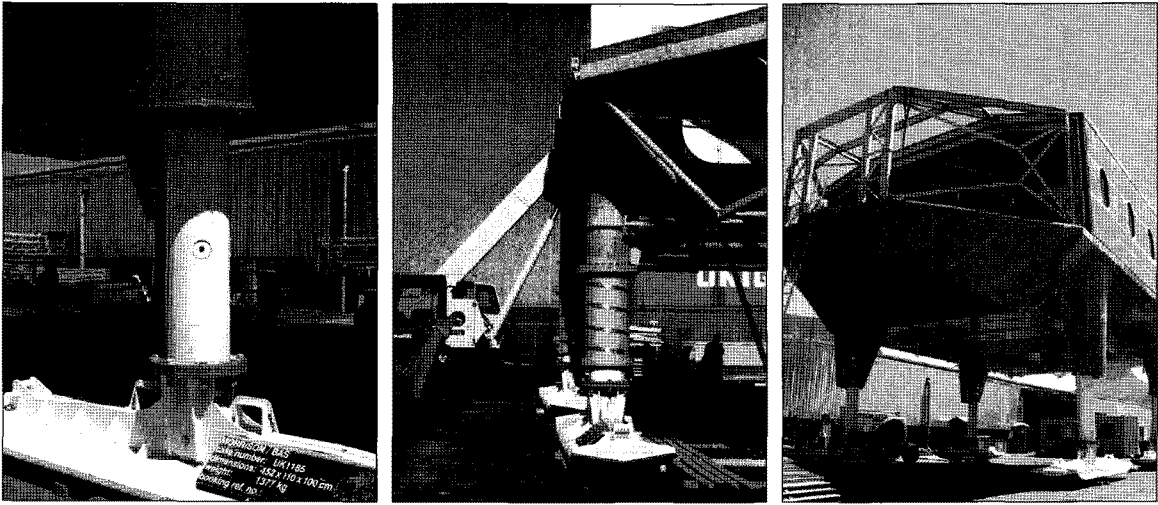


그림 9. Halley VI 기지의 스키발 형 기초



그림 10. Princess Elizabeth 기지의 기초 건설 모습

출지반에 대한 기지의 기초 작업 모습이다. 기초 형식은 남극에서의 시공성과 장비운반 문제 등을 감안하여 얇은 기초에 앵커로 보강하는 방법을 선택하였다. 또한 작업성 및 현지여건을 감안하여 국내에서 미리 제작하고 운반하며 현장에서는 조립하는 방식을 선택하였다. 현재는 하계기지이며, 최대 20명까지 수용이 가능하며, 신재생 에너지의 사용 비율을 극대화하기 위하여 태양광 발전기와 풍력발전기를 활용하고 있다(그림 11).

### 3.1 남극 현장 조사 결과

2009년 12월 한국 최초의 쇄빙연구선 '아라온호'가 인천항을 출항하여 남극으로 처녀항해를 하였다(그림 12, 아라온호의 배 이름은 '전 세계의 모든 바다를 누비라'라는 의미를 지니고 있다). 아라온의 첫 임무는 쇄빙능력시험과 남극대륙기지 건설을 위한 후보지 조사였으며, 2010년 3월 16일까지 총 88일 동안, 약 3만 3천 500 km의 여정을 무사히 마치고 인천항으로 다시 귀항하였다.

한국건설기술연구원에서는 남극대륙기지를 건설하기 위한 최적 후보지 선정 및 건설·환경 분야 조사를 담당하였으며, 이외에도 환경, 생태 등 다양한 분야 전문가들

## 3. 대한민국 제2 남극 과학기지

남극 제2 과학기지 (장보고) 건설  
(Construction of the Jangbogo Antarctic Research Station)

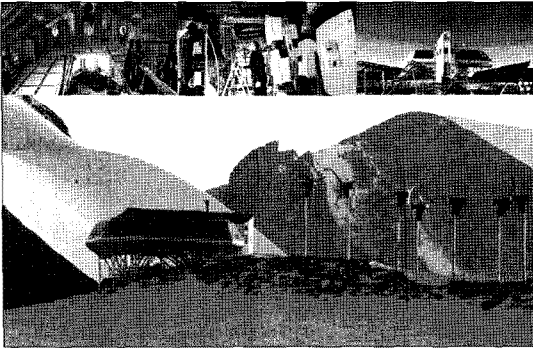


그림 11. Princess Elizabeth 기지 내부공사와 신재생에너지 설치 현황



그림 12. 쇄빙연구선 아라온호

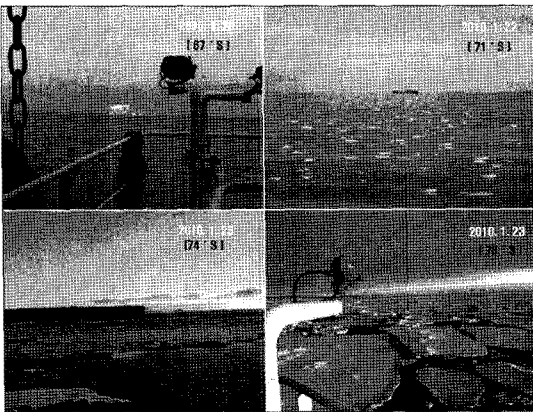


그림 13. 위도별 유빙 분포 모습

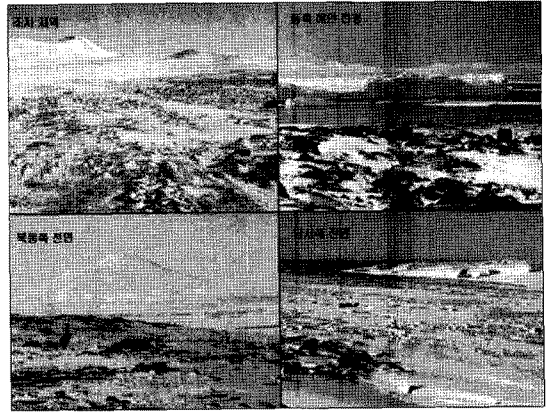


그림 14. 브라우닝 산 부근 조사 지역 전경

이 참석하여 남극 제2기지를 건설하기 위한 사전조사를 수행하였다. 구체적으로는 건설가능 후보지 조사, 건설자재 운송/보급 시나리오 및 육상 하역 루트 조사, 건설부지 환경 조사 및 지반 안정성 평가 및 현장 시료 채취 등이 실시되었다.

보통 남극이라고 하면 남위 60도 이상을 의미한다. 실제로 그림 13과 같이 남위 60도 이상인 남극권으로 갈수록 유빙의 분포가 증가함을 직접 눈으로 확인할 수 있었다. 브라우닝 산이 있는 테라노바 베이 지역에는 2010년 2월 5일에 도착하였으며, 기상악화로 2월 7일부터 11일까지 총 5일 동안 조사가 진행되었다. 브라우닝 산 부근 해안지역 (해발 고도 약 20 m)에서는 매우 평탄한 부지가 발견되었다(그림 14).

건설후보지로서의 브라우닝 산 부근지역의 건설 분야 조사결과 (남극 제2기지 건설지 선정을 위한 대국민 공청

회 요약집)를 요약하면 다음과 같다.

① 건설가능 후보지 조사

- 독일 기지 부근의 스쿠아 (남극의 도둑갈매기) 서식지를 피하면서, 건설부지 면적 확보 및 보급/하역의 용이성이 우수한 후보지를 선정함
- 건설 가능 후보지는 연구시설 부지 및 기타 공사용 가설부지 등의 면적확보가 충분히 가능할 것으로 판단됨
  - 개략 면적 (가용면적) : 약 22,000 m<sup>2</sup> (GPS 및 거리계를 이용한 간이계측)
- 건설 가능 후보지는 약 25 m 높이에 위치하고 있으며, 경사가 약 5 % 내외의 평탄한 지형으로 구성되어 있으며 최소의 지형훼손으로 기지건설을 할 수 있을 것으로 예상됨



그림 15. 브라우닝 산 부근의 지반

- 또한, 동 후보지에서 모든 건물을 원하는 위치 및 방향으로 건축할 수 있어 운영 시 기지관리를 용이하게 할 수 있음

## ② 건설지반 안정성

- 이 지역의 암석은 선캠브리아기(추정)의 호상 및 미그마티틱 편마암으로 구성되어 있어 지질학적으로는 매우 안정적임
- 편마암의 대체적인 주향은 NNW ~ SSE 방향으로 남북방향으로 발달함
- 북쪽의 산능선 쪽에서 기원하는 빙하 퇴적물(수 cm에서 수십 cm 크기)이 건설후보지의 많은 부분을 덮고 있으며 두께는 50 cm ~ 1 m 정도로 추정됨
- 암석내에 발달하는 주절리대는 호상편마암의 엽리 방향과 동일하게 10cm ~ 50cm 간격으로 발달하며, 이에 수직하게 부절리대가 50 cm ~ 1 m 정도의 간격으로 발달하여 지반구조의 안정성이 충분히 확보될 것으로 판단됨
- 주변 지각활동(화산, 빙하활동 등)에 의하여 타 지역에서 운반된 암석이 대량으로 발견되었음. 지반의 안정성 평가를 위하여 예상후보지에서 슈미트 해머 등을 이용한 정성적 평가를 실시하였으며, 그 결과 건설후보지 주변에는 주로 경암(국도해양부 표준품셈의 현장암판정기준)이 분포하고 있었음 (그림 15)

## ③ 빙하분포 및 유동성

- 후보지는 빙하로부터 완전히 노출되어 있음
- 후보지 동쪽으로 캄벨 아이스 텅이 바다로 길게 발달

- 되어있으며, 바다쪽으로 떨어져나가는 것으로 파악됨
- 후보지 북쪽으로 브라우닝 산을 넘어 빙하가 존재하나 후보지에는 영향이 없음

## ④ 점안 하역 등의 경제성

- 지난 10년 간의 해빙 자료를 검토해 볼 때 쇄빙선을 이용한 브라우닝 산 지역으로의 점안은 12월 중순 이후부터 2월 말까지 연중 70일 정도 가능할 것으로 판단됨
- 현 시점(조사시점)의 유빙상태 등을 고려할 때 최적의 점안방법(연안수송)은 “바지선을 이용한 직접하역”이 가능할 것으로 판단됨. 또한 후보지까지는 완만한 경사로 육상 운송로 확보에는 어려움이 없을 것으로 판단됨
- 하역부지의 확보는 충분히 가능할 것으로 판단됨
  - 하역부지 개략면적: 1,500m<sup>2</sup> 이상 확보 가능
  - 운송차량의 등판각도: 5% 미만의 완경사
  - 도로개설 작업의 용이성: 일부 임반이 노출되어 있으나, 전반적으로 파쇄된 풍화암이 분포하고 있어 도로개설 작업은 용이할 것으로 판단됨
  - 운송거리: 약 500m 미만

## ⑥ 비상계획

- 비상 시 인근 독일 곤드와나 하계 캠프로 대피가 용이함
- 동절기 해빙을 건너 7 km 떨어진 이탈리아 기지로의 대피도 가능함
- 하절기 응급 환자 발생 시 300 km (헬기로 2시간 반 소요) 떨어진 미국 McMurdo 기지로 후송 및 대형 항공기로 뉴질랜드로 후송 가능함
- 후보지에서 10 km 떨어진 브라우닝 패스에 현재 사용 중인 빙하 활주로 존재

## ⑦ 기타 고려사항

- 현지조사 시 해빙되어 담수역을 형성하고 있는 담수역은 총 3개로 확인되었음. 독일 곤드와나 하계 캠프 동측 바위 등 임반지역에 1개소 및 기지건설후

남극 제2 과학기지 (장보고) 건설  
(Construction of the Jangbogo Antarctic Research Station)



그림 16. 기지 건설지 지반조사 모습

보지 인근 1개소, 후보지 북측 약 1.2 km 이격된 지점에 1개소가 각 위치함

- 이 가운데 기지건설후보지 북측에 위치한 담수역은 그 크기가 110 m × 72 m로 중규모이며, 0.5 m의 평균수심(최대수심 0.75 m)으로 약 3,000여 톤의 수량을 보유하고 있는 것으로 추정됨
- 그 크기 및 상태를 고려한다면, 상수원으로 충분하지 않을 것으로 사료됨
- 해수를 사용할 경우 바다까지의 거리는 약 250 m이며, 양정은 약 25 m이며 상수 및 처리된 하수의 방출이 비교적 용이함

### 3.2 남극 제2 과학기지 건설 과정

남극에서의 현장 조사 결과, 세종 과학기지에 이은 대한민국 두 번째 남극기지 건설 장소가 남극대륙 동남단 로스해 인접지역인 브라우닝 산 부근(테라노바 베이)으로 최종 선정됐다(그림 16).

또한, 기지 명칭도 “장보고 과학기지”로 최종 결정되었다. 남극에 새로운 기지를 건설하기 위해서는 우선 국제사회의 동의를 얻어야 한다. 외교통상부는 ‘남극조약협의 당사국회의 (Antarctic Treaty Consultative Meeting, ATCM)’에 남극기지 건설의 향서(Information Paper, IP)를 지난 3월에 제출하였으며, 올

연말까지 ‘포괄적 환경영향평가서 (Comprehensive Environmental Evaluation, CEE)’ 초안을 작성하는 등 국제사회의 동의를 받기 위한 노력을 범정부적으로 추진할 예정이다.

또한, 장보고 과학기지 건설은 턴키방식으로 입찰 및 건설이 진행 될 예정이다. 극지의 기후특성, 공기단축 및 사업의 효율성 등을 고려하여 설계, 시공을 한 번에 처리할 수 있는 컨소시엄에 공사를 맡기는 턴키방식이 가장 유리하다고 판단하고 있기 때문이다. 현재의 계획으로는 2012년 공사를 착공하여 2014년에 완공될 예정이다.

새롭게 건설될 장보고 과학기지 규모는 여름에는 약 60명 정도의 연구 인력이, 겨울에는 약 15명의 월동대원이 활동할 수 있는 약 4,232 m<sup>2</sup> 규모가 될 예정이다. 브라우닝 산 부근 지역에서의 예상 공사 기간은 연 70일 정도에 불과하기 때문에 설계 단계에서부터 세밀하고 철저한 사전준비가 필요하다. 한국건설기술연구원에서는 이러한 남극상황을 최대한 반영한 ‘남극 제2 기지 친환경 건설기본계획서’를 마련하였다. 건설기본 계획 수립의 기본방향은 환경을 배려하는 지속가능한 기지를 건설함과 동시에 기지에서 생활할 대원들의 편의성과 안전성을 강조하였다.

또한, 세계적인 추세에 맞춰 풍력이나 태양열 등과 같은 신재생에너지 활용을 극대화 할 예정이다. 그림 17은 ‘남극 제2 기지 친환경 건설기본계획서’에서 마련한 제2 남극기지 조감도이다. 극지 기후 특성을 고려한 건물 배



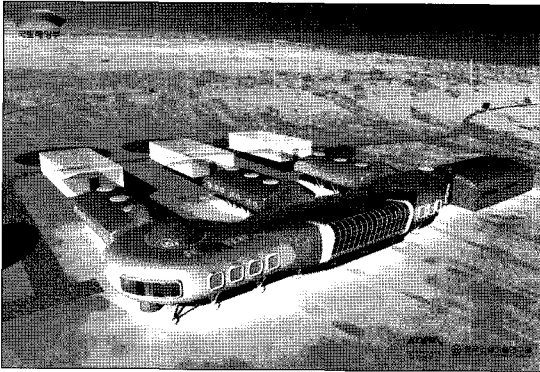


그림 17. 제2 남극기지 조감도 (설계시안)

치가 이루어져 있다. 즉, 중앙에 길게 생활지원동 (본관, 회의동)이 있으며, 후방부에 숙소동, 연구동 및 기계시설동이 있다.

또한, 남극의 혹독한 바람의 영향과 지반의 변형 (동상의 영향)을 최소화하기 위하여 지면과 구조물 사이를 충분히 띄울 수 있는 고상식 기초를 도입하고 있다. 올 하반기 턴키를 통하여 시공사가 선정되고 실시설계가 끝나면, 보다 구체적인 배치도 및 조감도가 나올 것이다. 또한, 기지 디자인도 한국적인 미를 강조한 형상이 될 것이다.

#### 4. 결론

2014년 남극 제2 과학기지인 “장보고 과학기지”가 건설되면 우리나라는 세계에서 아홉 번째로 남극에 두 개 이상의 연구기지를 보유한 국가가 될 것이다. 장보고 과학기지가 건설 될 브라우닝 산 부근은 해안과 내륙으로의 진출이 용이하여 연구 범위와 연구 대상이 다양하며, 근접지역에 해빙 및 빙원 활주로가 존재하여 비상 시 항공 운송을 통한 대치가 용이하다는 평가를 받고 있다.

또한, 주변에 기지가 있는 이탈리아 및 300 km 인근의 뉴질랜드, 미국에서 공동 연구를 제의하고 있는 등 국제 공동연구 참여를 통한 국제사회 기여와 우리나라의 극지 연구 수준을 높이는 측면에서도 유리할 것으로 전망된다.



그림 18. 제2 남극기지 건설후보지에서 필자

장보고 과학기지는 과학 활동뿐만 아니라 공학활동을 위해서도 적극 활용되어야 할 것이다. 향후 건설 될 남극 내륙기지 또는 빙상 위에서의 제3, 제4 기지 건설을 위한 기술 개발, 나이가, 달기지, 화성 기지 등 인류가 향후 개척해 나가야 할 새로운 신공간 개발을 위한 시험장으로 활용되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 김영석 (2010), 남극 대륙기지 건설을 위한 남극현장 조사, 한국토목섬유학회지 Vol.9, No.2, pp.9~12.
2. 극지연구소 (2010), 남극 제2기지 건설지 선정에 선정된 공청회 요약집, pp.13~19.
3. 한국건설기술연구원 (2010), 남극 제2기지의 건설후보지 적합성 평가 및 친환경 건설기본계획 구축, 국토해양부 연구보고서