

-

(Coupling of climate system components
and physical, chemical and biological
processes at the interface in the Arctic)



제 출 문

미래창조과학부장관 귀하

이 보고서를 "북극 기후 구성 요소 간 물리, 화학, 생물학적 과정 결합" 과제의 보고서로 제출합니다.

2016년 4월 12일

주관연구기관명:극지연구소

주관연구책임자:박상종

연 구 원 : 강정호

" : 박기태

" : 유재일

" : 윤영준

" : 이방용

" : 진광호

" : 차원석

" : 최태진

" : 한영철

" : 황희진

협동연구기관명:

협동연구책임자:

보고서 요약서

과제고유번호	2013K1A3A1A25 038619	해 당 단 계 연 구 기 간	20130401 -20160331	단 계 구 분	(1단계)/ (1단 계)	
연구사업명	중 사업명	국가간협력기반조성사업				
	세부사업명	한-이탈리아 협력기반조성				
연구과제명	대 과 제 명					
	세부과제명	북극 기후 구성 요소 간 물리, 화학, 생물학적 과정 결합				
연구책임자	박상종	해당단계 참 여 연구원수	총: 10 명 내부: 7 명 외부: 3 명	해당단계 연 구 비	정부:3,000천원 기업: 천원 계: 3,000천원	
		총연구기간 참 여 연구원수	총: 10 명 내부: 7 명 외부: 3 명		총연구비	정부:3,000천원 기업: 천원 계:3,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	극지연구소 극지기후변화연구부			참여기업명		
국제공동연구	상대국명: 이탈리아			상대국 연구기관명: CNR		
위 탁 연 구	연구기관명:			연구책임자:		
요약				보고서 면수		
한국과 이태리의 극지연구 전문 기관 간의 극지기후변화에 대한 장기 공동 연구 수행을 위해 총 3회의 워크숍 및 비공식 미팅을 통해 공동 연구 방향, 수행체계 구축 후 이를 기반으로 남극 49과 북극을 대상으로 연구제안서가 작성되었다. 이 제안서는 이태리의 국가남극연구프로그램, 극지연구소의 주요사업 등에 활용될 예정이다.						
매년 양 기관 공동 워크숍 개최: 3 회 북극 기반 한-이태리 공동 연구 현황 평가 남북극 기반 공동 연구 계획서 작성						
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	한 - 이 태 리 공 동 연 구 , 북 극 , 남 극 , 기 후 시 스템 , 기 후 변 화				
	영 어	Korea-Italy collaborative research, The Arctic, The Antarctic, Climate system components, climate change				

요 약 문

I. 제 목

북극 기후 구성 요소 간 물리, 화학, 생물학적 과정 결합

II. 연구개발의 필요성 및 목적

북극의 변화는 피드백과정을 통해 우리나라뿐만 아니라 전지구 기후에 영향을 미침

- 미래 기후변화에 대응하기 위해서는 북극의 변화 과정에 대한 보다 나은 이해가 필요함
- 북극의 변화는 시공간에 따라 다르기 때문에 국간 간 공동 연구가 필수적임
- 북극을 포함한 극지 기후변화 연구를 위해 한-이태리 협력은 중요한 역할을 하며, 이를 위해 현재 북극에서 진행 중인 공동 연구에 대한 자체 평가를 수행하고 이를 바탕으로 공동 연구 방향, 추진체계 및 공동 연구 제안서를 작성하고자 함

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 성공적인 공동연구 틀 구축을 위한 정기 워크숍 및 비정기 미팅 개최
- 북극 기반의 한-이태리 기후변화 공동 연구 과정 자체 평가
- 자체 평가에 근거한 장기 공동 연구 계획서 작성

IV. 연구개발결과

- 세 차례 공동 워크숍 개최(한국: 1회, 이태리: 2회)
- 2015년 이태리 남극연구 프로그램에 공동 연구 제안서 제출
- 남북극 중점 연구 분야 설정 및 워킹 패키지 구축

V. 연구개발결과의 활용계획

- 북극에서의 공동 연구 주제 및 지역 확대
- 남극 장보고과학기지 기반 공동 연구 수행

SUMMARY

I. Title

Coupling of climate system components and physical, chemical and biological processes at the interface in the Arctic

II. Objectives and Significance of the Study

- Change at the Arctic influences other regions through its feedback mechanisms
- Better understanding of the changes at the Arctic is required for future climate change
- The magnitude of change at the Arctic is different with regions, which requires international collaborative researches
- Enhancement of collaborative research between Korea and Italy, which operates stations at polar regions for long-term collaboration is required to better understand climate change at the Antarctic as well as at the Arctic

III. Contents and the Scope of the study

- Workshop and meeting to establish future collaborative research
- Evaluation of on-going study at the Arctic
- Writing two research proposals

IV. Results

- Three times of workshops (One in Korea and two in Italy)
- Establishment of research area and implementation plan
- Writing two Research proposal based on polar regions

V. Future application of the study

- Enhancement and extension of collaborative research at the Arctic
- Collaborative studies based on Korean Antarctic Jang Bogo Station

CONTENTS

Chapter 1. Introduction to research development
Chapter 2. Reviews on current technologies
Chapter 3. Methods and results
Chapter 4. Research achievements and contribution to other fields
Chapter 5. Application plan for research products
Chapter 6. Foreign scientific informations obtained by research development
Chapter 7. Research facility and equipment
Chapter 8. References
Appendix. Replies to comments



목 차

- 제1장 연구개발과제의 개요
- 제2장 국내외 기술개발 현황
- 제3장 연구개발수행 내용 및 결과
- 제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도
- 제5장 연구개발결과의 활용계획
- 제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보
- 제7장 연구시설 및 장비
- 제8장 참고문헌
- 별첨. 평가의견 수정 대비표





제1장 연구개발과제의 개요

우리나라를 포함한 북반구 중위도는 북극 진동을 통해 겨울철 북극의 영향을 직접적으로 받고 있다. 북극의 기후변화는 예상보다 빠른 속도로 진행되고 있지만, 다양한 지표 조건을 갖는 넓은 면적 그리고 북극 온난화의 정도가 공간적으로 변화가 크기 때문에 북극에서의 기후변화를 비용 대비 효율적으로 이해하기 위해서는 기존에 설치되었거나 향후 설치될 각국의 장비를 공동으로 활용해야 한다. 미래의 북극 기후변화 예측을 위해서는 북극의 주요 지역에서의 기후 요소 간의 상호작용에 대한 이해가 필요하다. 특히, 온난화에 따른 북극 동토층에서의 이산화탄소 및 메탄 흡수 또는 방출에 대한 과정 이해는 미래 전지구 기후변화 예측에 매우 중요한 역할을 한다. 교육과학기술부 “거대과학기술개발” 사업인 “북극권 동토층 환경변화 관측 거점 확보 및 관측기술 개발”의 일환으로 우리나라의 북극 다산기지 주변에 위치한 이태리의 30m의 고층 타워에 에디 공분산 방법을 이용하여 이산화탄소 및 메탄 플럭스 측정 연구가 진행 중이다. 동토층에서의 온실 가스 교환 과정을 더 잘 이해하고, 기후변화 연구의 범위 확대를 위해서는 이미 연구 경험 및 그에 맞는 인프라를 확보한 국외 연구기관과의 공동 연구가 매우 효율적이다. 이태리는 우리나라의 북극 다산기지 주변에 위치한 자국 기지를 기반으로 한 연구 역사가 길며, 또한 인적 자원 및 연구 인프라가 뛰어나 이 지역에서의 종합적인 기후변화 연구를 위해서는 양쪽 인프라 및 인적 자원을 활용한 공동 연구가 필요하다. 극지연구소는 다산기지에서의 연구와 비교를 위해 그린란드 노르드 지역에 관측소를 구축 중에 있다. 노르드 관측지는 이 사업을 통해 이태리 연구자들과 잠재적인 공동 연구 지역으로 논의되고 있다. 북극권에서의 협력 연구는 스발바르 니알슨과 그린란드 노르드에서 진행 중이거나 진행될 예정이다 (그림 1).

한편, 극지연구소는 남극 테라노바베이에 제 2기지인 장보고과학기지를 2014년부터 운영 중이며, 장보고과학기지 주변에는 이태리가 운영하는 마리오 주켈리 하계기지가, 내륙에는 Dome-C 가 운영되고 있다. 북극기후뿐만 아니라 동시에 남극기후연구도 수행되어야 하기 때문에 서로 가까운 곳에 위치에서 남북극 기지를 운영 중인 두 국가 기관간의 공동연구 수행은 큰 시너지 효과를 낼 수 있다. 남극에서의 협력 연구는 우리나라의 남극세종과학기지, 남극장보고과학기지 그리고 이태리의 마리오 주켈리 기지와 이태리-프랑스 공동 기지인 콘코르디아 기지에서 이루어질 예정이다 (그림 2)

이 과제에서는 극지에서의 기후변화 연구를 위해 극지연구 전문 기관인 우리나라의 극지연구소와 이태리의 CNR(Consiglio Nazionale delle Ricerche)의 ISAC(Institute of Atmospheric Sciences and Climate) 중심으로 한 한-이태리 극지 연구 전문 기관 간의 장기 공동연구 기반을 마련하는 데 있다. 이를 위해 3차년도에 걸쳐 매년 공식적인 한-이태리 공동 워크숍을 교차 개최하여 극지에서의 연구 방향 설정하고 연구 수행을 위한 추진체계 구축하여, 공동연구를 기반으로 하는 극지 연구 제안서 작성이 수행되었다. 작성된 연구 제안서는 이태리의 국가 남극연구 프로그램(National Antarctic Research Program), 극지연구소의 주요 사업 등에 활용될 예정이다.

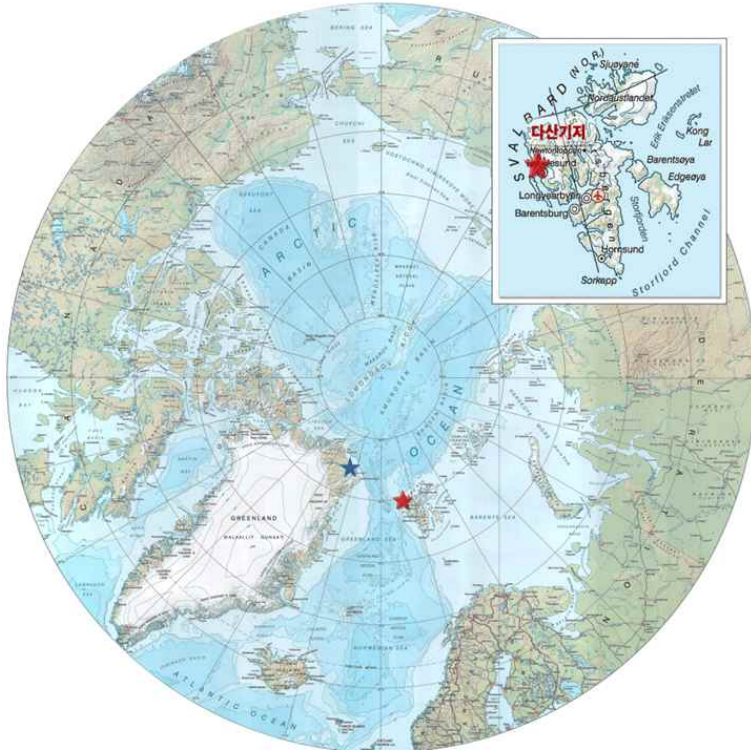


그림 1. 북극의 연구지역: 붉은 색 별은 다산기지가 위치한 스발바드의 니알슨, 파란 색 별은 그린란드 노르드



그림 2. 남극의 연구지역: 붉은 색 별은 남극반도의 세종기지 및 남극대륙의 장보고기지, 노란 색 별은 이탈리아의 마리오주첼리 기지, 파란 색 별은 이탈리아-프랑스의 콘코르디아기지

제2장 국내외 기술개발 현황

○ 북극 스발바르 종합관측망 구축사업

유럽의 고위도 북극 지역에서는 국제 공동 연구의 일환으로 SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System, 그림 3) 사업이 진행되고 있다. SIOS 사업의 목표는 스발바르 지역을 중심으로 다국적 다학제 협력 연구수행을 위한 인프라 기반구축과 환북극 모니터링 연구거점을 마련하는 것이다. 노르웨이 연구위원회가 주관하고 있으며, 28개국 국가(유럽과 아시아)가 참여하는 기반시설을 활용하는 국제공동 프로젝트이다. SIOS의 목표 달성을 위해 스발바르와 그 주위에 지구물리학, 화학, 수리학 및 생물학 프로세스에 모니터링 플랫폼을 설치하고 4가지 실행방침을 정하고 있다. SIOS에서 진행하는 연구분야는 6개 분야이며, 이 중 환경 변화 및 육상생태계의 내용은 다음과 같다.

- 북극 영구 동토층이 탄소와 질소 사이클에 어떤 영향을 미치는 지와 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등의 지구온난화 가스에 대한 연구, 주요 빙하학, 결빙된 영구동토층을 이용한 기후 보관소, 스발바르의 영구동토층과 눈과 연관된 지질학적 재해, 해안지역의 역학과 기후변화에 대한 반응 등에 관한 연구를 진행 중이다.

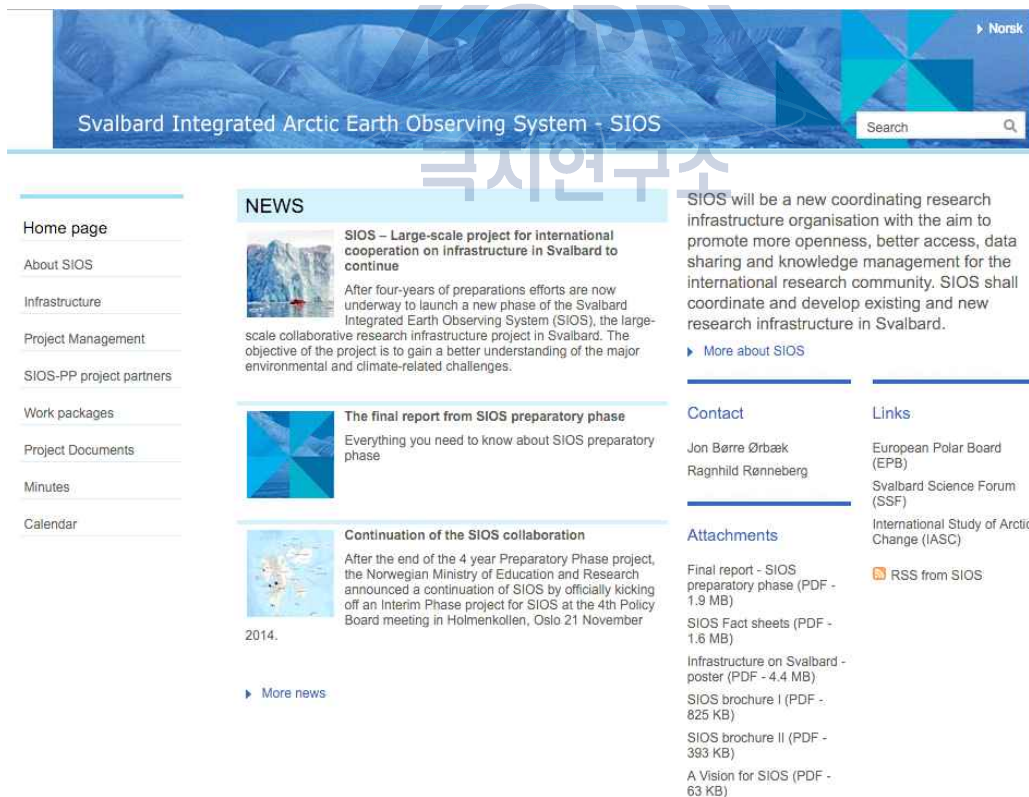


그림 3 한-이탈리아 협력 사업 수행 지역의 국제 공동 연구 사업인 SIOS 홈페이지
(<http://www.sios-svalbard.org>)

○ 다국적 다학제 공동 북극 동토층 연구 현황

대표적인 연구 프로그램인 PAGE21 (Changing Permafrost in the Arctic and its Global Effects in the 21st Century, 그림 4)는 노르웨이, 독일, 덴마크 등 11개국이 참가하는 국제 공동 연구 프로그램으로 현장 연구와 지속적인 모니터링, 급격한 기후변화와 북극권 동토층 탄소 순환 영향 연구, 지구 규모 모델에 사용될 수 있는 동토 자료 DB 구성, 모델의 정확도 향상 그리고 예측모델의 향상으로 동토 변화 시나리오 제공을 그 목적으로 하고 있다. 우리나라는 극지연구소의 동토층 연구사업 (CAPEC)에서 PAGE21과 LoU를 체결하고 참여하고 있다.

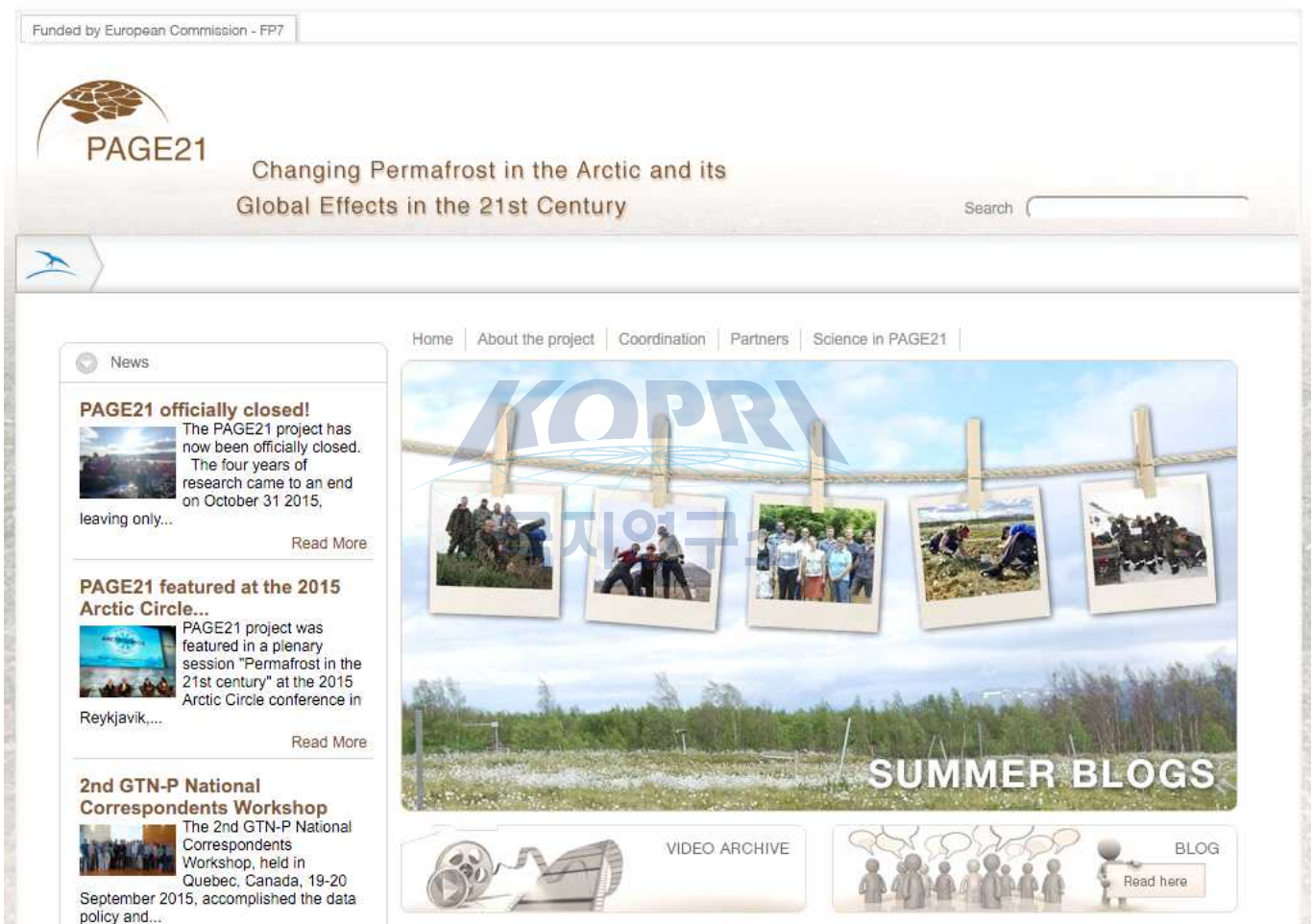


그림 4 PAGE21의 홈페이지(<http://www.page21.eu>)

○ 남극과학연구위원회 (Scientific Committee on Antarctic Research, SCAR)

SCAR는 국제학술연합(International Council of Scientific Unions, ICSU)의 산하기관으로 남극지역에서 수준 높은 국제과학연구를 수행하고자 1958년 2월에 설립되었다 (그림 5). SCAR는 지구과학, 생명과학, 자연과학/물리학의 총 세계의 과학 그룹으로 이루어져 있으며, 총 6개의 과학 연구 프로그램을 운영 중이다. 6개의 과학 연구 프로그램 중 남극 기후변화와 관련 프로그램은 AntClim21로 남극 기후변동 정량화, 남극 지역에 대한 기후모델 검증, 2100까지 남극 기후 예측 그리고 물리환경의 변화가 남극환경과 생물권에 미치는 영향의 네 분야 주제로 연구가 진행되고 있다.

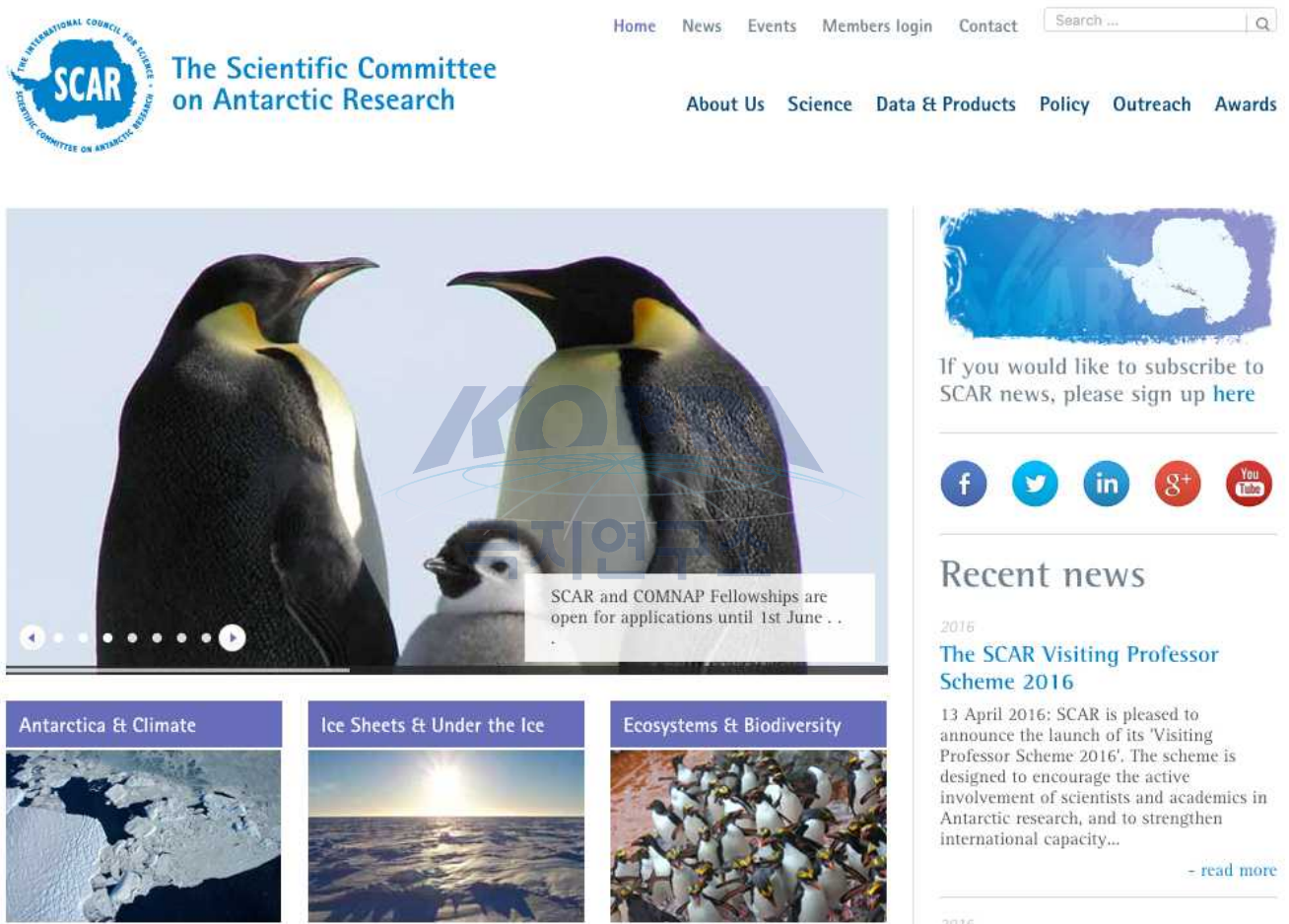


그림 5 SCAR 홈페이지 (<http://www.scar.org>)

○ 이탈리아의 북극 연구

이태리는 우리나라의 다산기지가 위치한 스발바르 니알스 과학촌에서 자국 기지를 기반으로 지난 10년 이상 다양한 분야의 연구를 수행중이다. 특히 2010년에는 32 m 높이의 고층 타워를 관측 기반의 대기 경계층 연구를 집중적으로 수행하고 있다 (그림 6). 이 관측 타워에는 현재 극지연구소의 연구장비도 함께 운영 중인데 한-이탈리아 협력 사업의 가장 중요한 연구 플랫폼의 역할을 하고 있다.



Climate Change Tower Integrated Project

A platform to investigate processes at the surface and in the low troposphere

Supported by:

Search



Ministero degli Affari Esteri

Home

Project
Research
Participants
Facilities
Collaborations
Multimedia
Documents
Links
Contacts
Data

Real-time meteo data
(Wed Apr 20 08:40:00 CEST 2016)

Height [m]	2	33
T [°C]	-9.6	-9.3
P [mbar]	1006	-
RH [%]	82	84
WS [m/sec]	3.7	5.9
WD [°]	310	321

Wind Chill Factor: -15.4 °C

Meteorological extremes

Max T [°C]	15.0 (Wed Jul 3 15:50:00 CEST 2013)
Min T [°C]	-26.9 (Tue Feb 22 14:25:00 CET 2011)
Max WS [m/sec]	25.0 (Sun Feb 15 16:12:00 CET 2015)

Home

Home

The ideal position (Northern limit of the West Spitsbergen Current) and the large international cooperation, make Ny-Ålesund a key area to establish a monitoring network in the Arctic region. CNR Station in Ny-Ålesund and the Arctic Strategic Project offer the opportunity to develop the potentialities of the Italian research and increase through a multidisciplinary approach the know-how of the complex processes and interactions connecting the different components of the climatic system (atmosphere, cryosphere, lithosphere, biosphere, hydrosphere). This provides an important contribution to improve their parameterization in climatic models. Over the last 10 years, the Station Dirigibile Italia has contributed to the activity of European projects (ARTIST, NICE, ENVINET, ARCFAC, MIRACLE) and national projects (PNRA and PRIN), to the construction of the Marine Lab and to monitoring activities concerning the physics of the upper and lower atmosphere. Presently, along with the construction of the Amundsen-Nobile Climate Change Tower, which represents a flagship action for atmospheric physics, the CNR is also developing a project named E-mooring: Sensors Network for Shallow Oceanography, in the context of the flagship action for the Kongsfjord system.



At the Italian station Dirigibile Italia, a large set of instruments were installed to investigate physical and chemical properties of atmosphere as well as the exchange fluxes of mass, the radiation and chemical substances at the atmosphere-land interface. Final aim is to create a scientific platform able to complement research activities provided by other international research groups and obtain a comprehensive data set useful to determine all components of the energy budget at the surface, their temporal variations, and role played by different processes involving air, snow, ice and land (permafrost and vegetation). Key element of such platform is the new Amundsen-Nobile Climate Change Tower (CCT), that, with an height of 32 m and large possibility to host and operate many instruments, permits to deeply investigate energy budget in the surface layer, PBL dynamics and exchange fluxes (heat, momentum, chemicals) at the atmosphere-land interface. The multidisciplinary approach will enable us to obtain a closure of the energy budget at the surface and connect in a better way the most part of processes involved in.

그림 6 한-이탈리아 협력 사업 파트너인 이태리 CNR에서 북극 스발바르 니알슨에서 운영 중인 기후변화 연구 플랫폼 (<http://http://www.isac.cnr.it/~radioclim/CCTower/>)

극지연구소

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 공동 워크숍

1. 1차 워크숍

가. 아젠다: 대기 및 눈/얼음 화학 그리고 에어로졸 연구를 위한 극지연구소와 이태리 연구 그룹 간의 현재 그리고 미래의 협력

나. 내용

기 간	2013. 12. 03 - 12. 05	
장 소	이태리 볼로냐 <i>ISAC - Area della Ricerca</i>	
참석자	최태진, 한영철, 유재일 (이상 극지연구소)	Vito Vitale (CNR-ISAC Bologna), Angelo Viola (CNR-ISAC, Roma), Mauro Mazzola (CNR-ISAC, Bologna), Angelo Lupi (CNR-ISAC, Bologna), Francesco Tampieri (CNR-ISAC, Bologna), Roberto Udisti (UNIV. Florence, CHEM. DEPT.), Rita Traversi (UNIV. Florence, CHEM. DEPT).

다. 결과

연 구 내 용	연 구 결 과
공동 및 융복합 연구 주제 선정	<p>- 제 1회 한-이태리 워크숍 및 상대기관 방문을 통한 연구 주제 논의</p> <ul style="list-style-type: none"> • 제 1회 한-이태리 워크숍: 2013년 12월 10일-12일 (최태진, 유재일, 한영철 이태리 볼로냐 CNR 방문) • 연구 협의: 2013년 4월 8일-10일 (최태진 이태리 볼로냐 CNR 방문) <p>(1) 스발바드에서의 연구 강화</p> <p>(가) 지표 탄소 수지 연구의 다각화: 탄소 성분별 측정 및 통합을 통한 자료 공유 및 분석 논의</p> <p>(나) 지역 대표 플릭스 확보를 위한 공동 연구 계획: 한국, 이태리, 노르웨이, 독일 연구진들간의 니울슨에서의 공동 연구 합의</p>

(다) 영상 촬영을 통한 지표/식생 변화 감시 강화

(2) 그린란드로의 연구 발전

(가) 스발바드와 그린란드 사이의 프람 해협으로의 대서양 난류 통과

(나) 프람 해협을 사이에 둔 그린란드와 니올슨 연계하는 북극권 기후 연구 프로그램 확대

(다) 극지연구소: 2014년 관측지 선정 및 관측장비 설치 예정

(라) CNR: 극지연구소에 의한 현장 환경 및 기상 환경 정보에 기반한 현장 조사 및 관측 장비 운영



(3) 남극 연구로의 확대

: 2014년부터 운영되는 남극장보고기지에서의 초기 단계 연구 프로그램 공동 개발

(가) Baseline Surface Radiation Network(BSRN) 구축을 이태리/프랑스 공동 기지의 Dome-C 기지와 연계(연안의 장보고기지과 내륙의 Dome-C는 비슷한 위도). 기후변화 핵심 요소 공동관측

(나) 30 m 고층 타워를 활용한 대기경계층 연구: 기존에 운영 중인 스발바드(이태리), Dome-C(이태리)에서 결과와 비교를 위한 장보고기지에서의 안정대기경계층 과정 연구 수행

	<p>니올슨(북극) Dome-C(남극 내륙) 장보고(남극 연안)</p>
북극 공동 연구 1차 자체 평가	<p>- 평가: 현재의 기본적인 관측 시스템 관리 정책 유지하되 양 기관 인력의 효율적인 활용 및 방문 시기 조절 필요</p> <p>(1) 인력 활용</p> <p>(가) 관리 인력 부족에 따른 다산기지 플렉스 시스템 관리에 CNR 연구진 참여 필요</p> <p>(나) 측기 교정을 위해 1년에 2회 KOPRI-CNR 동시 방문. CNR 인력을 활용하여 KOPRI 방문을 줄이고자 함.</p> <p>(다) 장비 교정을 위한 인수인계 수행</p> <p>(2) 방문 시기</p> <p>(가) 현재의 방문 시기 논의: 5월과 9월</p> <p><u>5월의 장점</u></p> <p>Growing season 시작 전 준비</p> <p>Snowmobile 이용한 이동의 편의성</p> <p><u>5월의 단점</u></p> <p>추운 날씨로 인한 야외 활동의 제약</p> <p>땅이 눈으로 덮여 있고 얼어 토양 관련 작업 제약</p> <p>활주로 해빙으로 입출입 제약</p> <p><u>9월의 장점</u></p> <p>Growing season 연속 관측</p> <p>월동 대비 준비 가능</p> <p><u>9월의 단점</u></p> <p>날씨에 따른 시간적 제약</p> <p>(나) 북극권 타 프로그램과 연계되어 현재의 2회/년 를 유지하되 필요시 추가 방문은 사전에 협의</p> <p>(3) 자료 처리 방안 논의</p> <p>(가) 양 기관 자료 처리 소프트웨어 사용에 따른 결과의 차이 발생. 지속적인 논의를 통한 원인 파악 규명</p> <p>(나) 대표적인 플렉스 산출 방법</p> <p>(다) 지역 대표 플렉스 산출을 위한 추가 정보 필요</p> <p>(라) 플렉스 Footprint 영역 DEM 구축</p>

	(마) 그림자 또는 눈이 녹는 시기 플렉스 Footprint내의 지표면 불균질성 확인 방안 필요 (바) WebCAM 설치 제기 (사) 관측자료에 의한 심층 분석 부족
--	--

2. 제 2 차 워크숍

가. 아젠다: 2014년 북극 활동 평가 및 북극 연구 지역 확대 그리고 남극에서의 협력

나. 내용

기 간	2015. 02. 24 - 02. 26	
장 소	대한민국 인천 극지연구소	
참석자	최태진, 윤영준, 김성중, 박기태 등 (이상 극지연구소)	Vito Vitale (CNR-ISAC Bologna), Angelo Viola (CNR-ISAC, Roma), Mauro Mazzola (CNR-ISAC, Bologna),

다. 결과

연 구 내 용	연 구 결 과
<p>양 기관 연구 지원 역량 평가</p> <p>· 연구수행을 위한 참여 인력, 인프라, 로지스틱스 문서화</p>	<p>- 참여 예정 인력 파악:</p> <ul style="list-style-type: none"> · ISAC-CNR: Vitale, Mazzola, Lupi, Lanconelli, Petkov, Viola, Tampieri, Drofa, Cairo, Snels, Ravegnani, Bortoli · UNI-Firenze: Udisti, Traversi, Becagli, Frosini · IIA-CNR: Salvatori, Esposito, Montagnoli, salzano · KOPRI: 최태진, 윤영준, 이방용, 박상중 등 · 광주과학기술원, 포항공대 연구자 등 <p>- 공동 연구 활용 가능 인프라:</p> <p>(1) 북극</p> <p>(가) 니알슨 다산기지 및 이태리 기지: 현재 진행 중인 공동 연구의 장기 지속</p> <p>(나) 그린란드 노르드: 2015년 KOPRI에서 관측 시작. ISAC-CNR와 공동 연구로의 확장을 통해 니알슨 지역 연구와 연계</p> <p>(2) 남극</p> <ul style="list-style-type: none"> · 서남극권 내륙, 연안, 해양 및 남극반도를 잇는 다양한 기후 지역에서의 공동연구 수행 <p>(가) 남극대륙 연안: 2014년 운영을 시작한 남극장보고과학기지 (월동기지)와 1986년부터 운영해온 이태리 마리오 주켈리기지</p>

	<p>(하계기지)를 활용한 빅토리아랜드 테라 노바 지역 연구 심화</p> <p>(나) 남극대륙 내륙: 내륙에 위치한 이태리 콘코르디아기지(월동기지)와 비슷한 위도의 남극장보고과학기지를 활용한 내륙과 연안 지역 기후 과정 비교 평가</p> <p>(다) 남극반도: 고위도의 대륙(남위 74도)에서의 기후과정 비교를 위해 저위도의 남극세종과학기지(남위 62도) 활용</p> <p>(라) 남빙양: 쉐빙연구선 아라온을 활용한 서남극지역 남빙양에서의 집중 관측</p> <p>(3) 로지스틱스:</p> <p>(가) 북극: 니알슨으로의 방문, 화물 수송 등은 현재와 같이 진행. 그린란드의 경우 2015년 극지연구소에서 우선 방문 및 루트 개척 후 이를 활용하여 이태리와 공동으로 연구활동을 수행하기 위한 로지스틱스 체계를 구축하기로 함.</p> <p>(나) 남극: 장보고기지 운영이 1년에 지나지 않아 당분간은 기지를 기반으로 하는 연구에 집중. 이 경우 양 국가의 쉐빙연구선과 항공기를 이용한 입출입만으로 연구원의 방문 및 철수는 가능하기에 현상 유지. 단, 하계기장 장보고기지과 이태리 마리오 주켈리기지 방문자가 증가하는 추세이므로 필수인원 선발 및 물품의 사전 발송 등을 통해 이동을 위한 인프라 이용은 최소화할 필요가 있음</p> <p>이태리-프랑스 공동 운영 Dome-C 기지 연구 활동의 경우 장보고기지 기반 연구 안정화 후 추진기로 함.</p>
연구 주제에 따른 추진 체계 구축	<p>- 공동연구 인프라에 적용할 네 개 분야 Work program(WP) 선정 및 역할 분담</p> <p>(1) WP1: 지표 복사, 복사에 대한 에어로솔/구름 역할</p> <ul style="list-style-type: none"> · 이태리 RU1 담당: 복사, 알베도, 지상기반 원격탐사 · 한국 RU1 담당: 미정 <p>(2) WP2: 에어로솔의 물리, 화학, 광학적 특성</p> <ul style="list-style-type: none"> · 이태리 RU2 담당: 에어로솔 화학적 특성 · 한국 RU2 담당: 에어로솔 물리, 광학적 특성 <p>(3) WP3: 극지대기경계층</p> <ul style="list-style-type: none"> · 이태리 RU3 담당: 경계층 역학 및 난류 · 한국 RU3 담당: 지표 플럭스 및 프로파일 관측 <p>(4) WP4: 온실가스 및 미량 기체</p> <ul style="list-style-type: none"> · 이태리 RU4 담당: 미정 · 한국 RU4 담당: 온실가스 및 미량 기체 측정

북극 공동 연구 2차 자체 평가	<p>- 평가: 고품질 자료 획득을 위한 측기의 정기적인 교정 방식 제고 필요.</p> <p>(1) 인력 활용</p> <p>(가) 측기 교정을 위해 1년에 2회 KOPRI와 ISAC-CNR 동시 방문. 정기적인 측기 교정을 위한 단순 KOPRI의 방문을 줄이고 연구에 집중하기 위해 ISAC-CNR 인력 활용하여 KOPRI 장비 교정을 위한 협약서 작성 중</p> <p>(나) 장비 교정을 위한 인수인계 실시(2014년 9월) 및 추가 인수인계 추진 예정</p> <p>(다) 한-이태리 연구 장비뿐만 아니라 독일 등 유사 연구 장비들을 모두 아우르는 교정 센터 설치 필요 제기. 교정 소모품(가스 등)에 대한 공동 구매로 물품 발송 효율 향상 및 자원 낭비(유효기간 지난 가스 등) 방지 필요</p> <p>(라) 인력 교류 논의: 현장 활동 연구인력 확대 및 기술 교류가 필요하다고 상호 동의함에 따라 이를 위해 이태리 전문 연구자의 단기 방문 논의. 2015년 10월경 극지연구소로 유치 예정</p> <p>(2) 자료 처리 방안 논의</p> <p>(가) 관측자료에 의한 심층 분석 논의 부족. 자료 처리 계획 수립 및 주기적인 자료 분석 결과 상호 논의 필요</p> <p>(나) 현장 활동 수행 시점 및 워크숍 등 2회의 직접적인 대면 분석과 비정기적인 서신 교신 필요</p>
-------------------	---

3. 제 3 차 워크숍

가. 아젠다: 2015년 북극 활동 평가 및 북극 연구 지역 확대 그리고 남극에서의 협력

나. 내용

기 간	2015. 11. 03/05	
장 소	이태리 로마 CNR	
참석자	최태진, 윤영준, 강정호 (이상 극지연구소)	Vito Vitale (CNR-ISAC Bologna) Angelo Viola (CNR-ISAC, Roma) Mauro Mazzola (CNR-ISAC, Bologna) Armando Pelliccioni (CNR-ISAC, Rome)

다. 결과

주 제	내 용
북극 니알슨 지역에서 협력 강화	(1) 2015년 니알슨에서의 에어로졸, 이산화탄소 및 대기 경계층 과정 연구에 대한 양 기관의 현장 활동 리뷰 (2) 극지연구소의 니알슨에서의 도플러 윈드 라이다와 마이크로웨이브 라디오미터 및 이태리의 소다를 이용한 새로운 연구 활동에 대한 정보 공유 및 의견 교환 (3) 연구장비 설치를 위한 추가 미팅 계획 수립 (4) 극지연구소의 POPs 분석을 통한 대기-눈 상호작용 연구 소개 및 CCT에서의 측정 가능성에 대한 논의 (5) 니알슨에서 연구 장비의 표준 교정에 대한 논의
그린란드 노르드에서의 연구 확장	(1) 2015년 그린란드 노르드에서의 극지연구소 연구 시작 (2) 현장 및 연구활동 공유 (3) 2016년 계획 소개 (4) 향후 공동 연구 방향 논의: 북대서양 난류가 북극으로 유입되는 입구인 프뎀 해협을 사이에 둔 니알슨과 노르드에서의 동시 연구를 통한 북극 온난화의 공간 변동 및 그 반응에 대한 이해 연구를 위해 양 기관 공동연구에 공감
남극 테라노바베이에서의 협력	(1) 2015-16년 남극장보고과학기지에서의 연구 활동 소개 및 예비 결과 공유 (2) 한-이태리 공동 연구의 이태리 PNRA에 신청 일정 논의 (3) 양 기관의 YOPP (year of polar prediction)의 적극적 참가 (4) 남극장보고기지의 국제 네트워크(BSRN/GAW Global station) 거점 등록 준비 (5) 2016/16년 남극하계 기간 남극장보고과학기지에서 이태리의 썬포토미터 설치 및 시험 운영 (6) 테라노바베이 고유의 대기과정인 활강풍과 대기 안정 경계층 그리고 폴리냐와의 상호 작용 연구에 대한 심층 논의
인력교류	(1) 이태리 연구자의 극지연구소 단기 파견 (2) 2016년 중 3주 (3) 공동연구지역인 니알슨에서 측정된 온실기체 플럭스 자료 분석 및 해석

제 2 절 공동 연구 방향

북극과 남극에서 공동 연구 주제는 양 기관의 현재 및 가까운 미래 확보될 연구지역 인프라와 연구 참여 가능 인력을 토대로 결정되었다. 또한 이 연구 분야들은 극지 기후변화 이해 및 예측에 필요한 모델의 개선에도 중요하다.

1. 북극

북극에서는 일부 연구 분야에서 양 기관 간의 공동 연구가 본 사업 이전 단계에서부터 시작되었다. 본 사업을 통해 보다 구체적인 연구 방향이 도출되었으며, 주된 연구 분야는 아래와 같다.

- 가. 지표 복사
- 나. 지표 에너지 수지와 대기경계층 과정
- 다. 온실기체의 거동
- 라. 에어로솔의 화학 및 물리적 성질
- 마. 에어로졸/구름/복사 상호작용
- 바. 동토-대기 상호작용



2. 남극

남극의 경우, 월동기지인 남극장보고과학기지를 주 연구지역으로 하며, 세계기상기구의 지구대기감시(Global Atmosphere Watch) 프로그램의 지구급 관측소(Global station)에 등재 및 운영을 기본 방향으로 하였다. 또한 이 지역 고유의 물리 과정인 연안 지역에서의 활강풍과 폴리나와의 상호작용에 대한 집중 실험을 통해 이 지역의 대기 과정 이해 및 오랜 극야 기간을 포함하여 장기간 지속되는 대기 안정 대기층 연구가 주된 연구 분야로 선정되었으며, 그 밖에 오존홀 등 연구 분야는 요약하면 아래와 같다.

- 가. 대기경계층 역학
- 나. 성층권 오존과 지표 복사(자외선, 적달 및 산란일사, 적외선)
- 다. 에어로솔의 물리 화학적 성질
- 라. 남극대륙 연안(장보고기지)와 내륙(콘코르디아)의 대기과정 비교: 복사와 구름
- 마. 온실기체 거동 특성

3. 연구 인프라

북극 스발바르 니알슨의 경우, 32 m의 워키텍 타워가 대기경계층, 지표 복사 및 에너지 수지, 동토-대기 상호작용을 위한 플랫폼(그림 9)으로 활용되는 한편, Zeppelin station과 Gruvebadet Lab 이 에어로솔 연구를 위한 사용된다. 남극장보고기지의 경우 니알슨 연구 플랫폼과 유사한 30 m 워키텍 타워, 대기구성물질관측동 등이 유사 연구를 위한 플랫폼(그림 10과 11)으로 활용된다. 한편, 남극장보고과학기지는 남극의 태평양권 유일의 GAW 지구급 관측소로 운영될 예정이다 (그림 12).

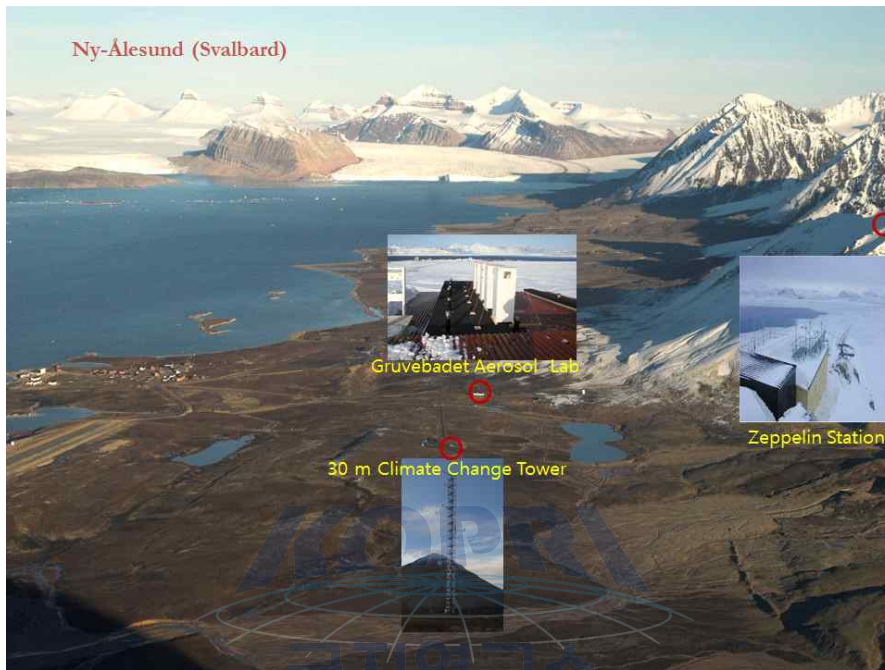


그림 9. 북극 니알슨의 연구 플랫폼



그림 10. 남극장보고과학기지 연구 플랫폼



그림 11. 남극장보고과학기지 연구 플랫폼. 대기구성물질관측동 및 워킵 타워 포함

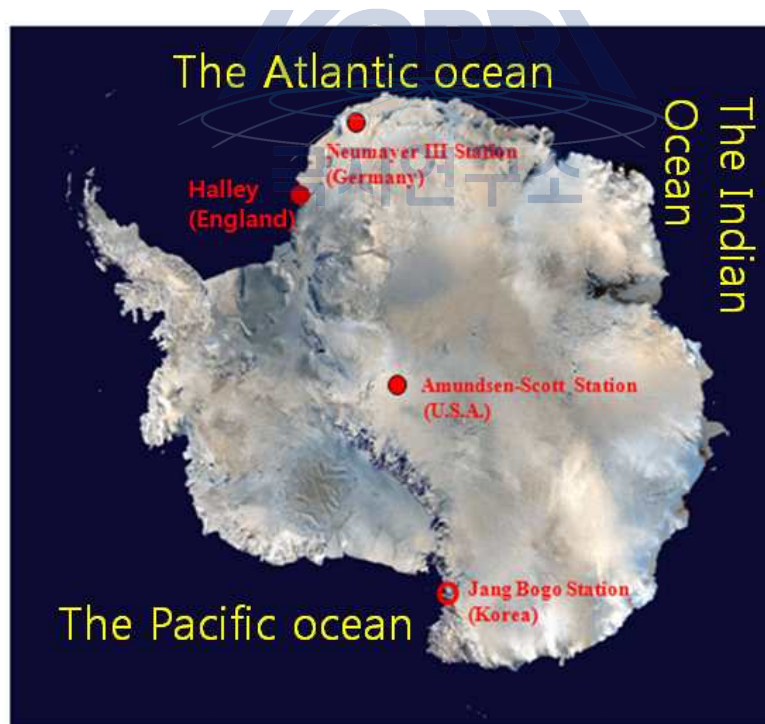


그림 12. 남극대륙에 위치한 GAW 지구급 관측소. 남극장보고기지는 태평양에 위치

제 3 절 공동 연구 추진 체계 구축

선정된 공동 연구 분야의 성공적인 수행을 위해서는 관측의 지원과 수행, 연구자의 공동 참여 및 자원 공유 그리고 여러 공동 연구 지역에서의 활동을 통합하고 조정하는 것이 필요하다. 북극 니알슨 지역에서는 이태리 측의 연구 인프라를 주로 활용하기 때문에 이태리 측은 전문 인력 제공을 통해 고품질의 자료를 생산하고 관측이 연속되도록 지원한다. 그리고 대기경계층역학과 난류 과정에 대한 연구를 수행하며, 에어로졸/구름/복사 과정에 대한 이해를 위해 복사 전달 모델을 함께 사용한다. 반면, 남극의 경우 주 연구지역이 우리나라의 장보고과학기지이기 때문에 연구 지원은 극지연구소가 수행한다.

1. 양국 참여 기관 및 연구자

가. 이태리:

ISAC-CNR (Vitale, Mazzola, Lupi, Lanconelli, Petkov, Viola, Tampieri, Drofa, Cairo, Snels, Ravegnani, Bortoli)

UNI-Firenze (Udisti, Traversi, Becagli, Frosini)

IIA-CNR (Salvatori, Esposito, Montagnoli, Salzano)

나. 한국:

극지연구소 (최태진, 윤영준, 이태식, 이방용, 박상중, 홍상범, 박기태 등)

광주과학기술원(박기홍 등)

2. 연구 분야(Work program) 및 각국의 역할

주된 연구 방향 선정에 따른 네 분야의 Work program(WP)으로 구체화 되었다. WP는 아래와 같이 요약된다.

WP1 - 에어로졸, 구름 및 지표 특성이 지표 복사에 미치는 영향에 대한 연구

WP1의 목표는 자외선, 가시광선, 적외선 영역의 복사를 연중 관측하여 고품질의 자료를 생산하는 것이다. 특히, 장보고기지의 경우 이를 통해 Baseline Surface Radiation Network(BSRN)에 참여한다. 복사 관측과 동시에 solar- 및 moon-photometers, 그리고 skyradiometers를 이용한 지상에서의 원격 탐사 그리고 구름의 양과 종류 및 지표 반사도도 측정한다.

WP2 - 발원 분석을 포함한 에어로솔의 물리, 화학 및 광학적 특성 이해

WP2의 목표는 에어로솔을 크기에 따라 나누는 샘플 시스템을 이용한 연중 관측을 통해 에어로솔의 크기에 따른 화학적 그리고 광학적 특성을 밝히는 것이다. 이는 대기 중 중요한 에어로솔의 성분의 양을 평가하며, 발원의 강도와 수송 과정의 계절 변동을 알 수 있다. 중금속, 원소 및 유기 탄소 그리고 1차, 2차 기원 이온들이 극지 환경에 미치는 영향에 대한 정보를 얻을 수 있다.

WP3 - 복잡 지형에서의 극지 대기경계층 역학, 난류 과정 및 플럭스

WP3의 목표는 높은 타워를 이용하여 복잡한 지형에서 환경과 대기 안정도가 다른 시기를 포함하는 모든 기간에 대해 대기 경계층 내에서 대기 안정도, 난류 과정, 기초적인 대기 파라미터들의 연직 분포에 대한 완전한 정보를 수집, 분석하여 수치 모델의 모수화를 개선함에 있다.

WP4 - 대기구성물질(미량 및 반응 가스 중심) 측정

WP4의 목표는 기후변화 원인 물질인 온실기체와 대기화학 및 기후변화에 중요한 반응가스를 극지역에서 장기 연속하는데 있다. 이 자료들은 다른 지역 자료, 모델, 위성자료들과 함께 전지구 순환과 수지를 평가하는 데 이용된다.

이태리(ITA)와 한국(KOR)의 연구 그룹은 6개의 연구 유니트(RU, Research Unit)를 구성하여 WP 를 협력해서 수행한다.

- 가. ITA-RU1 - 지표 복사, 알베도 그리고 지상 기반 원격탐사
- 나. ITA-RU2 - 에어로졸의 화학적 특성 및 발원 추정
- 다. ITA-RU3 - 대기경계층 역학과 난류
- 라. KOR-RU1 - 블랙카본의 물리 및 광학적 특성
- 마. KOR-RU2 - 경계층 프로파일 관측
- 바. KOR-RU3 - 미량 및 반응 가스 농도

네 개의 WP는 향후 더 다양하고 넓은 지역을 대상으로 한 협력 연구로 나아갈 수 있으며, 그 분야는 아래와 같이 요약된다.

- 가. 로스해와 아문젠 해에서의 해빙 분포, 해빙 가장자리의 특징과 관련 과정

- 나. 고체 강수에 대한 원격 탐사
- 다. 극성층권 구름과 오존홀 관련 여러 과정들
- 라. 지역 기후모델링



제 4 절 공동 연구 제안서

1. 북극 지역 제안서 작성

가. 공동 연구 지역: 다산기지 및 이태리기지가 위치한 스발라드 니알슨 및 그린란드 노르드

나. 주요 연구 주제의 예

- (1) 종관규모에서 국지규모까지의 대기 역학과 대기 경계층 내 난류 과정
- (2) 식생-동토 상관성 및 눈과의 상호작용, 표면에서의 에너지 수지 및 이산화탄소 플럭스 변동
- (3) 에어로솔의 물리, 화학, 광학적 특성

SYNTHESIS

The polar regions have great scientific importance in terms of global energy, carbon and hydrology cycle: they are integral components of the Earth system, intimately linked to the global climate system. Through connections involving ocean, atmosphere, biosphere, lithosphere and cryosphere, polar regions respond to, amplify, and drive changes elsewhere in the Earth system, so that understanding their role on global climate system is essential. Indeed the changes observed over the past ten years in the Arctic have far out-paced the most pessimistic of model predictions included in the 5th IPCC report of 2013.

Predicting future conditions of the Arctic system requires scientific knowledge of its present status as well as a process-based understanding of the mechanisms of change. The permanent presence of sea ice, ice sheets, snow, continuous permafrost and huge inventories of carbon in the soil of the Arctic are unique features of the polar regions that amplify the impact of global climate change on the regional climate system. Radiation regime at high latitudes is another element largely increasing sensitivity of the system to the climatic forcing. These peculiarities of the Arctic system, lead to strong and inextricable interrelationships between physical, chemical, and biological components, to an increased role of feedback processes and to an overall complexity of the System.

The present proposal aims to explore, with a multidisciplinary approach, the complex dimension of the system at the boundaries of the different components, where interactions are stronger, e.g. at the air-snow-land interface, and in the first layer of ocean, atmosphere and geosphere. Field activities will be performed at Ny Alesund, where several Italian platforms (e.g. the CCT) and historical records of climatic and environmental key parameters are available.

Besides, in the same site, an ongoing cooperation with Korean colleagues will allow us to reach the aim in a cost-effective way.

OBJECTIVES

Scientific objectives of the project are to (i)widen understanding of complex processes that involve components of the arctic system - atmosphere, ocean, cryosphere, biosphere, geosphere, (ii)improve their parameterization in climate models at regional scale, increasing predictability of future scenarios, (iii)extend observing capability promoting technological innovation in measuring instruments/platforms, (iv)promote outreach and educational activities.

Starting from legacy of activities undertaken by the proposing Institutes since 2008, and also sustained in the period 2013-2015 by MAECI and MSIP, overarching goals are to consolidate bilateral cooperation and results achieved so far (including scientific infrastructures) and make another important step towards an Italian high-level scientific presence in the Arctic. The proposed program will contribute Italian participation to International Initiatives as ECRA (European Climate Research Alliance) and SIOS (Svalbard Integrated Earth Science Observing System). Cooperation with KOPRI will be very significant to implement the available scientific infrastructure (CCT, Gruvebadet Lab), increase number of observed key parameters, develop technological innovation. Integration of different instrumentations, measurement techniques and scientific competences will contribute to improve comprehension of interrelate physical chemical processes from the surface to the free atmosphere. Observational, modelling and technological joint activities will permit to gather new aims and strengthen the cooperation, sustained yet by framework as well as specific formal agreements.

In particular joint research activities will focus on studies of (1) atmospheric dynamics from the synoptic to the local scales and turbulent processes in the ABL; (2) vegetation-permafrost relationships and their interactions with snow, energy budget and carbon fluxes at the surface; (3) aerosols as vulnerable climatic factor; (4) closure aerosol studies.

METHODOLOGY

General as well as specific objectives, will be pursued by:

(i) measuring a large number of important climate parameters throughout the whole year, integrating and optimizing scientific and technological resources, and improving the already available Italian and Korean infrastructures;

(ii) carrying out, on the basis of experimental observations, modeling studies aimed at improving the parameterization in climate regional models of complex processes and interactions within the Arctic system;

(iii) promoting technological activities aiming at developing integrate observing platforms (a)for the Kongsfjord observation and (b)in-situ observation of the ABL.

Activities will benefit of the large legacy of the project 2013-2015 and will be always carry out with a long-term perspective, so to easily become part of monitoring activities planned by European Research Infrastructures such as SIOS, ICOS, ACTRISINTERACT and coordination initiatives such SAON (*Sustaining Arctic Observing networks*);

Italian groups manages three relevant observing platforms: the Amundsen Nobile Climate change Tower (CCT)the Gruvebadet Lab, a mooring system in the inner part of the Fjord. The means of such platforms, measurements of radiation and energy budget, surface albedo, turbulent fluxes of heat and moisture (on land), dynamic structure of the ABL, vegetation, snow spatial distribution, permafrost and active layer monitoring, gas fluxes at the snow/soil/air interface, aerosol chemical, size and optical characteristics, sedimentation, heat and mass fluxes in the air-sea-ice interfaces will be provided. Mesoscale meteorological modelling will also be performed for selected case studies.

Korean party will continue measurements of carbon dioxide and methane turbulent fluxes, and perform turbulent statistics at the CCT. They also will measure aerosol characteristics on field campaign basis at the Zeppelin station and at Gruvebadet Lab, and manage measurements aiming to investigate greenhouse gas emissions and/or uptake through biological responses to Arctic warming and greenhouse gas emissions from methane hydrates, released from thawing permafrost.

Cooperative use of relevant internal/external funds as well as funds arising from MAECI and MSIP, will allow to develop synergies and carry out researches in a real cost-effective way. Sharing of personnel and coordination of field activities will allow to enlarge both instrumental setup and measurement periods. Data acquisition will be improved by remote control of instrumentation. Logistical, technological and scientific activities will be discussed through workshops and telematic meetings, in order to define overall strategy and detailed field plans.

An agreement on the use of data will be provided, to support the Data Management based on the IADC (Italian Arctic Data Center) infrastructure to allow data analysis, discovery visualization and access. Common analysis will be performed by using electronic communication (e-mail, ftp, web page) but mainly by direct *in-situ* interactions of Italian and Korean researchers. Workshops organized one's per year in Italy and Korea will allow deep discussion of results, identify lines for further analysis and new joint activities, define outlines of common publications.

Actual plan from Italian party include (in a *legacy* perspective): (a) develop SUV (surface unmanned vehicles) platforms as integrated observing system to improve observation of coupling processes at the air/sea/ice interface and extend measurements in the Kongsfjord (b) fully develop integration of atmospheric, surface fluxes, active layer and vegetation/land measurements to improve observation of coupling processes at the air/snow/land (in particular make a closure of surface energy budget); (c) improve and enlarge aerosol measurements along the air-column up to 1500-2000 m, with tethered balloon system by developing specific payloads for aerosol-clouds interactions and radiation fluxes studies.

RESOURCES

Italian RU will include about 20 expert researchers with background in atmospheric, marine, biology and glaciology sciences. They will devote on average 2-3 months/year to the project. Korean RU will include 6 expert researchers with background of atmospheric science, devoting on average 2 months/year to the project. Italian party will contribute with resources coming from CNR, proposing Institutes, European projects (ENVRPLUS) and national programmes (ARCA). CCT-IP web page (cfr. coordinator CV) supplies information on available instruments. Cooperation in this project will allow a significant improvement.

EXPECTED RESULTS

The broad data set acquired through above multidisciplinary activity and common analysis work performed by Italian and Korean research groups will allow

- (i) assess our knowledge on several processes in which partition and seasonal behaviour of the energy (radiation, heat), as well as the coupling with surface, play a key role (e.g. snow melting);
- (ii) characterize the synoptic-local weather interactions and the dynamics of the arctic ABL, testing current parameterisations surface-atmospheric exchange processes;
- (iii) evaluate if the site at a high Arctic is a sink or source for radiative forcing through measurements of CH₄ flux as well as CO₂. For CO₂ this will be achieved both at atmospheric and vegetation level.
- (iv) characterize aerosol particles and vertical stratification, identify sources, assess seasonal relevance of local inputs with respect long-range transport, perform closure experiments;
- (v) understand relationship between snow, vegetation, permafrost, landscape and related emissions, providing assessment of climate change impacts on active layer and vegetation ecosystem.
- (vi) assess interactions between the upper ocean and the sea ice and atmosphere as a mass and heat flux across interfaces as well as some major climate relevant chemicals as CO₂.

Outstanding technological results are expected from activities devoted to extend measurements in the fjord as well as in the ABL. Development and testing of SUV and atmospheric payload for marine buoys will profit of the expertise acquired by Italian party in Antarctica.

Italian and Korean researchers exchanges will be provided by each party with aim to deepen respective expertise and share knowledge on polar research. Each party will support scientist/year study journey, to gather a basis for joint analysis of scientific results and provide common publications. The cooperation will be extended in a bi-polar viewpoint, transferring scientific expertise gathered in Arctic to Antarctica.

COLLABORATIONS

KOPRI and CNR collaboration in Ny Alesund started around 2010 and was formalized in February 2012 through a Letter of Understanding, including specific program for joint field and research activities. Support received by MAECI and MSIP, and framework created by the Significant Research Project included in the 2013-2015 Bilateral Agreement, able us to improve ongoing cooperation and leave a strong legacy. On the field the largest legacy is the installed instrumentation at the CCT: the eddy covariance system consisting of a closed-path CO₂/CH₄ analyzer (a wave-scanned cavity ring-down spectrometer), an open-path CH₄ analyzer and an open path CO₂/ H₂O analyzer, allows accurate measurement of CO₂ and CH₄ fluxes. While, the agreement signed in February 2015 by ISAC and KOPRI to assure in a long-term perspective maintenance of these measurements represents a legacy from the formal point of view. During spring summer 2015, KOPRI has been sampling arctic aerosols using a Hi-Volume sampler at Gruebadet observatory and measure size-distribution with a nano-SMPA system in conjunction with the normal-SMPS(10-300nm) operated by Italian parties. Plans for strong cooperation in Antarctica have been also developed and a joint proposal have been submitted to a PNRA call and is under evaluation now. Italian and Korean parties will work together to exploit joint activities and disseminate any relevant result. A web page will be realized and links on institutional web sites of both parties as well as link on the CCT-IP web page will help to increase its visibility. Documentation material will be produced with the aim to reach general audience and mainly young people. Ideas from Italian side for a summer student camp at Dirigibile Italia as well as the analogous initiative promoted by KOPRI (Pole-to-Pole program) since 2005 will offer an important dissemination and outreach instrument. During annual meeting status of exploitation and dissemination initiatives will be revised.

2. 남극 지역 제안서 작성

가. 공동 연구 지역: 남극장보고과학기지(월동기지)와 이태리기지(하계기지)가 위치한 동남극 테라노바 베이 연안 및 인접 내륙 지역

나. 주요 연구 주제의 예

- (1) 연간 지표 복사 수지, 알베도 변동 정량화 및 구름이 복사 수지에 미치는 영향 평가
- (2) 복잡 지형인 남극대륙 연안에서의 안정 대기 경계층의 특징 평가
- (3) 대기 경계층 및 표층 대기과정 모수화 개선
- (4) 남극과 북극의 대기 경계층 과정 비교
- (5) 대기 컬럼 내의 대기 에어로졸, 얇은 구름, 수증기 및 오존 감시
- (6) 계절 및 크기에 따른 에어로솔의 화학적 구성성분 결정
- (7) 남극대륙 주변 해양 및 대륙으로부터의 기단의 침입 규명 및 대기 순환과의 연계 규명
- (8) 위성 기반 생물 기원 생성 연구를 통한 해빙 면적 변동 이해
- (9) 오염 물질의 장거리 수송 평가

Title

Surface-atmosphere mass and energy exchange in coastal Antarctic: towards the implementation of a GAW (Global Atmospheric Watch) global station in the Ross Sea

Abstract

The current vision of global climatic changes stresses on the interlinked action of many factors, often more evident at regional scales. Polar Regions are among the areas most sensitive to perturbations of the climate: through connections involving ocean, atmosphere, biosphere, lithosphere and cryosphere, they respond to, amplify, and drive changes elsewhere in the Earth system, so that understanding their role is essential. Peculiar characteristics of Polar Regions contribute to modify the energy and radiation budget, and the characteristics of the polar atmospheric boundary layer, increasing relevance at regional level of coupling processes between components of the climate system, especially in the coastal region. In particular the long polar night, the persistency of stable atmospheric condition, the permanent sea-ice and snow coverage, the cloudiness variability, the local and mesoscale circulation interaction, teleconnections, affect the status and variability (at different time scales) of components of the regional climate system, and is the main reason of “polar amplification” of climate change. Predicting future conditions of the Polar Regions (Arctic and Antarctica) requires scientific

knowledge of its present status as well as a process-based understanding of the mechanisms of change. The parameterization of physical processes in regional and global hydrodynamical numerical models of the atmosphere is not yet enough accurate for a correct representation of all components of the climatic system and of their connections, the knowledge of which is needed to determine the role of Polar Regions in the global climate. As an example, more extended and integrated dataset are required to improve the parameterization of the ABL, based on the Monin Obukov theory for complex orography areas such as the polar coastal regions, whose topography are steep.

The general scope of this project is to improve the understanding of the surface-atmosphere mass and energy exchanges at an Antarctic coastal site in the Ross Sea through continuous and accurate measurements of the atmospheric parameters, and verification and development of multiscale modelling, and through these activities, to address some of the relevant questions included in the roadmap for Antarctic and Southern Ocean science for the next two decades and beyond. Measurements will be carried out year-round at the new Korean “Jang Bogo Antarctic Research Station (overwintering station)”, located at the coast of Terra Nova Bay, in the vicinity of the Italian Mario Zucchelli Station (summer station). Measurement and analysis of radiation components, atmospheric constituents and energy fluxes, meteorological and micrometeorological parameters, will be implemented jointly by Korea Polar Research Institute (KOPRI), CNR and UNIFI, in a way similar to the collaboration already active in the Arctic region at Ny-Aesund (Svalbard). This will able us to perform comparisons and develop the whole project in a bi-polar perspective. An important legacy of the proposed activity, will be the implementation of GAW (Global Atmospheric Watch) Global station, the first in the area of Ross Sea in the Pacific sector of Antarctica. Such implementation will be very useful to close a gap in the global climate observation system (GCOS) and contribute to these WMO programs providing scientific data and information on radiation regime, vertical structure and chemical composition of the atmosphere.

Rationale

Among the six priorities listed by the 1st SCAR Antarctic and Southern Ocean Science Horizon Scan Retreat, the definition of “the Global reach of the Antarctic atmosphere and Southern Ocean” is one of the most challenging. It poses several questions to be hopefully answered, most of which are connected to the impact of climate change at high southern latitudes on

lower latitudes and how coupling and feedbacks between atmosphere and surface can be better represented in weather and climate models.

With these hints in mind, this project, through a large bilateral cooperation with KOPRI (or CNR) and thanks to the opportunities offered by the new Jang Bogo Station, aims to reduce in a cost-effective way the uncertainties in the knowledge of the processes that affect the momentum, heat and mass exchanges between the surface and the atmosphere and improve their parameterization into atmospheric models.

The proposal will be very important to start and develop, in the key area of atmospheric physics, the desired and necessary cooperation with the Korean Polar Programme (or CNR Program), to sustain the objectives included in the Framework agreement signed on November 2010 by CNR-KOPRI, and to reinforce in a bi-polar perspective the cooperation between the two countries at high latitudes.

Research design

Terra Nova Bay (TNB) is one of the confluence zones of the katabatic winds in Antarctica. Moreover, in this the area, atmospheric processes are subject to influence of the sea and sea ice conditions (polynia) due to such strong katabatic wind events. Program of National Research Antarctica (PNRA) by Italy has developed since 1985 a large research activity in the whole Victoria Land Area, but without a permanent station with great limitations for atmospheric research during winter. Opening of the new permanent Korean Jang Bogo Station (JBS), located inshore of TNB, just 10 km away from the Italian Mario Zucchelli Station (MZS), offers the great opportunity to overcome these limitations and deepen the knowledge of these phenomena, as well as of the effects they have on atmospheric condition and their seasonal and inter-annual variability.

In order to answer to the cited key questions, the project will move along three research lines: (1) atmospheric boundary layer (ABL) dynamics and surface-atmosphere interaction; (2) radiative and cloudiness regimes; (3) processes determining atmospheric composition (aerosol and trace gases).

The following year-round measurements will be performed:

1) Mean and turbulent meteorological parameters at different levels within the ABL, to define the vertical profile of the thermodynamic structure of the ABL and the turbulent exchange

rates. 3-D Sonic anemometer and fast response hygrometers will be used to obtain energy and mass fluxes. Conventional thermo-hygrometers and anemometers will provide profiles of mean atmospheric quantities. Routine radiosonde launches will permit to characterize thermo-dynamic structure of the atmospheric layers within and above the ABL. Intensive observation activities during austral summer will include measurements of vertical profiles of wind field and thermal structure of the ABL by a Doppler SODAR, conceived and realized by CNR-ISAC. RU 2 and RU 4 will work in strict contact on this topic.

2) Components of the radiative balance in order to define the radiative regime of the atmosphere and surface, including cloud cover, and measurements of the multispectral radiation by mean of a sun/sky radiometer for the determination of the columnar content of aerosols, gases (water vapour, ozone) and cirrus clouds, that are important for the radiation budget. Columnar ozone will be also measured by a Brewer ozone spectrometer, supported by a ceilometer for cloud height. Measurement of vertical profile of ozone concentration will be added by ozone sonde on austral spring. High quality standards will be assured following the BSRN guidelines. Equipments will be provided by Italian and Korean groups, but activity will be mainly developed by RU 1.

3) Sampling and chemical analysis of size-segregated atmospheric aerosol through single cut-off (PM10) and multi-stage (4-stage) inertial impactors. Different devices (low, medium and high volume) will be used at different (from daily to weekly) time resolution in order to achieve the best compromise between technique sensitivity and possibility to detect phenomena. Particular attention will be devoted to the primary and secondary marine compounds, crustal input markers, tropospheric/stratospheric origin species and tracers of anthropogenic sources. Concentrations of CO₂ and CH₄, will be measured continuously by a cavity ring down spectrometer (CRDS), calibrated using WMO class standard gases regularly and automatically at the site. Aerosol optical and physical properties will be also measured continuously. Here RU 3 and RU 5-flux will work in strict contact.

As complementary measurements, two DSLR cameras will be used to characterize temporal change of states of land surface, sea and sky, and snow precipitation and accumulation will be available by means of rain gauge and snow height direct measurement. Collected data will be used to verify existing theoretical schemes of turbulent processes in the ABL, with special care to the surface layer and help in the research of new theoretical

approaches to correctly describe the above-mentioned atmospheric processes. They will be also useful to verify the performances of the actual hydrodynamical numerical models in the extreme conditions of Antarctica. Improvements arising from new theoretical hypotheses about ABL processes as well as from assessment of physical processes at the surface, in the snow layer and in the frozen/melted ground, will be tested and investigated including new information in parameterization schemes of a hydrodynamical numerical atmospheric model.

The actual proposal is inspired by the collaboration already existing between Italy and Korea on the Arctic region, where ISAC and KOPRI are providing since fall 2011 similar measurements in the Kongsfjorden area (Svalbard) based at the Amundsen-Nobile Climate Change Tower (<http://www.isac.cnr.it/~radiclim/CCTower/>). The analysis of the Arctic data and the results obtained will be used to test the procedures and to improve the currents parameterizations in meteorological models, to be subsequently adopted in the Terra Nova Bay area.

Objectives

With the overarching goals indicated in above sections in mind, specific goals of the project will be:

- Assess over the whole year surface radiation budget and albedo, as well as local coverage and direct forcing effects of clouds.
- Assess features of stable Antarctic ABL in a coastal area with complex orography. Estimate mean and turbulent energy and mass fluxes at the surface, considering snow, sea ice and cloud cover conditions.
- Verify ABL and surface layer parameterization schemes in hydrodynamical numerical models (using CNR- ISAC chain). Develop new parameterizations and new formulations in such a way they have general application.
- Perform comparison between results obtained in Arctic and Antarctic coastal regions.
- Monitoring atmospheric columnar content of aerosol, thin clouds, water vapour and ozone.
- Determine year-round aerosol chemical composition as function of season and size class.
- Identify rapid or long-term intrusions of air masses from surrounding ocean, continental regions and stratosphere, and connect with atmospheric circulation.
- Study satellite-derived biogenic production to achieve a better knowledge of timing and temporal evolution of phytoplankton bloom, and relationships with sea ice extent/coverage and atmospheric markers (MSA).
- Assess source-receptor relationships, long range/local transport contributions and residence

time to obtain maps of source regions.

Methodologies

The general approach will see a continuous combination of experimental and multiscale modelling work. Data acquired through the huge amount of field activities will be inputs for models and parameterization schemes, but also will offer the possibility to verify model outputs and improvements. For each of the above listed specific goals, suitable methodologies, instruments and techniques will be applied, based on consolidated experience of the research groups participating this proposal. Below some example: Long and Ackerman (2000) and Durr and Philipona (2004) schemes will be used to determine cloud cover and direct forcing from radiation measurements; Classical sun-radiometric analysis (Mazzola, et al., 2012, Tomasi 2007) will provide information on columnar content of aerosol, trace gases, thin clouds. The most recent theoretical advances (Zilitinkevich et al., 2013) will be used to analyse mean and turbulence data to individuate the main circulation characteristics, the features of the turbulent changes and the critical aspects of current ABL parameterisations. Isocratic and gradient Ion Chromatographs, thermo-optical analyser, ICP-AES and ICP-MS Spectrometry, will be used to extract all information from aerosol sampling. Positive Matrix Factorization statistical tools and HYSPLIT and FLEXPART Lagrangian back trajectories models will be apply to perform a source apportionment analysis and enlighten correlations with meteorological and environmental parameters.

Instruments available and/or to be acquired

From Italian side: CIMEL 318 sun/sky radiometer, Nephelometer, Mini-sodar system, Low volume aerosol sampler (4x), Medium volume aerosol sampler, 4-stage impactor, laboratory facilities and Instrumentation for chemical analysis, numerical models and computer cluster for modelling computations. From Korean side: 3-D sonic anemometer (2x), Krypton hygrometer (2x), Ceilometer, Autosonde station, Pyranometer, Pyrgeometer, Total UV meter, UV-A meter, UV-B meter, Brewer ozone spectrometer, Aethalometer, CRDS gas analyzer, standard meteorological instrumentation.

To be acquired (mainly to implement a BSRN style radiation facility): Sun tracker, Pyrheliometer, Pyranometer, Datalogger.

Polar infrastructures

The instrumentation will be installed at the Jang Bogo Station. The station started operations on February 2014 and hence one year of activities has been already completed. The infrastructures/facilities provided by KOPRI at JBS include:

A 10 m mast used for turbulence measurements installed 150 m north of the station main building.

A 30 m walk-up tower for radiation, meteorological and micrometeorological measurements positioned about 1 km north from the station.

A air chemistry observatory for aerosol and gases, near the walk-up tower.

Meteorological and micrometeorological measurements will be made at the 10 m mast and 30 m walk-up tower, radiation measurements will be made at the top of the tower and aerosol and gases measurements will be made at air chemistry observatory near the tower, which are ~ 1 km away from the station, in order to avoid contamination from the station itself and related activities, in particular for aerosol and gas measurements (그림 13).



그림 13 남극장보고과학기지 내의 연구용 플랫폼의 분포

The facilities available from Italy include:

from the University of Florence (Italy):

(i) analytical chemistry laboratories equipped with a broad range of instrumentation including several Ion Chromatographs (isocratic and gradient), ICP-AES and high- resolution ICP-MS Spectrometry, EC and OC thermo-optical analyser. The laboratories are provided with laminar flow hoods for a clean handling and treatment of aerosol samples.

(ii) Cold room (-25 °C) for safe storage of frozen samples.

(iii) Micro-wave oven for acidic digestion of aerosol samples devoted to the analysis of metals.

from CNR-ISAC in Bologna (Italy): (i) computer cluster for model simulations; (ii) platform for testing and calibration of radiometric instrumentation; (iii) workshop and electronic laboratory.

KOPRI will provide the use of offices, laboratories, and consumables, electrical power, and data connection on site. The KOPRI RUs will provide the logistic support during the installation of the instruments and personnel for their maintenance during the Austral winter. KOPRI will also contribute to cover all logistic- and operative costs.

International collaborations

The scientific team has numerous international collaborations.

In the field of ABL dynamic with Alfred Wegener Institute (M. Maturilli, C. Ritter), FMI (S. Zilitinkevich).

In the field of radiation/photometry with UVA-GOA (V. Cachorro, C. Toledano), PMOD/WRC (J. Grobner, N. Kouremeti, S. Nieky, C. Wehrli), NOAA (R.S Stone, J. Michalsky), AWI (M.Maturilli), NIPR (M. Shiobara), NASA (B. Holben), NILU (K. Stebel).

In the field of atmospheric composition with LGGE (M. Legrande), FMI (A. Virkkula), Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences (T. Zielinski), ITM (J. Hanson, J. Stroem).

All these collaborations will be very useful in order to achieve better results, provide higher significance to our analysis and modelling work, allow comparison with data set collected in other sites both in Antarctica and Arctic, perform modelling experiments with different numerical models.

Education and outreach programme

A website for the project will be created in order to collect and disseminate all information and status of the project progress and present the preliminary analysis to public and scientific community. The web site will be available in Italian and English. Education activities will be focused on training of young scientists during triennial and master thesis, proposed to support data analysis. Through these activities, they will be introduced to the experimental work as well

as to data analysis and interpretation. Outreach activities will be developed organizing and participating to seminars where performed activities and results will be presented to students and general public. Outreach activities in the CNR research area of Bologna (<http://divulgarea.bo.cnr.it/>) will be very useful to provide contacts and promote us at public and private local institutions.



제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연구개발의 최종목표

○ 극지기후변화 연구를 위한 한-이태리 장기 공동연구 기반 마련

2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

구 분	연구개발목표	내 용
1차년도	극지에서의 장기 공동 연구 방향 설정	가. 상호 방문 및 연구협의 (1) 제 1차 한-이태리 워크숍/연구협의 수행 나. 연구 주제 설정 (1) 니울른에서의 연구 활동 강화 (2) 그린란드 노르드로의 연구 발전 (3) 남극장보고과학기지에서의 공동연구 확대 (4) 북극 공동 연구 1차 자체 평가 완료
2차년도	공동연구 추진체계 구축	가. 연구 주제에 따른 추진 체계 구축 나. 양 기관 연구 지원 역량 평가 (1) 연구수행을 위한 참여 인력, 인프라, 로지스틱스 문서화 다. 북극 공동 연구 2차 자체 평가
3차년도	극지기후변화 연구를 위한 한-이태리 공동 연구 제안서 작성	가. 북극 기반 공동연구 종합평가 및 개선 방향 제시 나. EU, 이태리 또는 한국 정부 제출용 북극 및 남극 기후변화 연구를 위한 장기 공동 연구 제안서 작성

3. 계획대비 달성도

구 분	세부연구목표	달성내용	달 성 도(%)
1차년도	극지에서의 장기 공동 연구 방향 설정	중점 연구 분야 및 연구 지역 확정	100
2차년도	공동연구 추진체계 구축	각 기관 고유의 강점에 기반에 3개의 Work program 확정	100
3차년도	극지기후변화 연구를 위한 한-이태리 공동 연구 제안서 작성	북극 및 남극 기반 연구제안서 작성	100



제5장 연구개발결과의 활용계획

1. 연구 제안서에 기반한 한-이태리 연구 협력 강화

가. 서북극권 지역의 스발바드에서의 공동연구 강화/그린란드 노르드 지역으로 공동연구 확대

- (1) 여름철 급격한 북극 해빙 감소 지역인 북극해 카라-바렌츠 해 주변에 위치하면서 북대서양 해류가 도달하는 입구인 프뮴 해협을 사이에 두며, 북극점으로부터 위도 약 10도 떨어진 곳에 위치한 두 지역에서의 연구를 통한 북극 온난화의 지역에 따른 변동 및 그 반응 평가 활용
- (2) 동토 변화의 지표 에너지 수지 및 대기경계층 과정에 미치는 영향 평가를 통한 극지 대기 경계층 과정 수치 모델 개선에 활용
- (3) 남극장보고과학기지의 국제선도기지 구축 공동 추진
- (4) 장보고기지의 세계기상기구의 지구대기감시(Global Atmosphere Watch, GAW) 프로그램의 지구급 관측소(Global station) 운영의 단계별 협력 강화
- (5) 기관 고유의 강점에 기반한 관측 분야별 최첨단 장비 구축 및 운영
- (6) 북극 스발바드 니알슨 관측지에서의 대기경계층과정 연구와 동일한 연구 추진으로 양극에서의 대기경계층 과정 비교 및 극지 기반 수치 모델 개선에 활용

2. 국제공동연구의 확대

가. 한-이태리 연구 협력 사업을 통해 획득한 국제공동연구추진 방식을 활용한 극지 기반 타 국가와의 협력 활용.

나. 첫 단계로서 캐나다에서의 한-캐나다 공동연구 추진

다. 두 번째 단계로서 한-러시아 공동연구 추진

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 북극연구 우선순위

: 제3차 북극연구기획회의(ICARP III)2016년 네 개의 주제 하 향후 10년 북극과학연구 우선순위 제시 (ICARP III, 2016)

- 가. The Role of the Arctic in the Global system
- 나. Observing and Predicting Future Climate Dynamics and Ecosystem Responses
- 다. Understanding the Vulnerability and Resilience of Arctic Environments and Societies and Supporting Sustainable Development
- 라. Overarching Messages

2. 남극연구 우선순위

: 남극연구과학위원회 SCAR(Scientific Committee on Antarctic Research)는 향후 20년 그리고 그 이후 남극연구와 관련하여 남극과학자들이 가장 궁금해 하는 수백 개의 과학적 질문을 정리하여 우선적으로 수행되어야 할 여섯 연구 분야에 대해 발표(Kennicutt II *et al.*, 2014, Kennicutt II *et al.*, 2015)

- 가. Antarctic atmosphere and global connections
- 나. Southern Ocean and sea ice in a warming world
- 다. ice sheet and sea level
- 라. the dynamic Earth
- 마. life on the precipice,
- 바. near-Earth space and beyond, and
- 사. human presence in Antarctica

이 협력 사업과 관련된 주제인 “Antarctic atmosphere and global connections”의 구체적인 연구 분야는 다음과 같이 정리되었다 (그림 14).

Table II. Antarctic and Southern Ocean Science Horizon Scan questions in clusters ‘Antarctic atmosphere and global connections’ and ‘Southern Ocean and sea ice in a warming world’.

Antarctic atmosphere and global connections		Southern Ocean and sea ice in a warming world	
1.	How is climate change and variability in the high southern latitudes connected to lower latitudes including the tropical ocean and monsoon systems?	12.	Will changes in the Southern Ocean result in feedbacks that accelerate or slow the pace of climate change?
2.	How do Antarctic processes affect mid-latitude weather and extreme events?	13.	Why are the properties and volume of Antarctic Bottom Water changing, and what are the consequences for global ocean circulation and climate?
3.	How have teleconnections, feedbacks, and thresholds in decadal and longer term climate variability affected ice sheet response since the Last Glacial Maximum, and how can this inform future climate projections?	14.	How does Southern Ocean circulation, including exchange with lower latitudes, respond to climate forcing?
4.	What drives change in the strength and position of westerly winds, and what are their effects on ocean circulation, carbon uptake and global teleconnections?	15.	What processes and feedbacks drive changes in the mass, properties and distribution of Antarctic sea ice?
5.	How did the climate and atmospheric composition vary prior to the oldest ice records?	16.	How do changes in iceberg numbers and size distribution affect Antarctica and the Southern Ocean?
6.	What controls regional patterns of atmospheric and oceanic warming and cooling in the Antarctic and Southern Ocean? <i>(Cross-cuts ‘Southern Ocean’)</i>	17.	How has Antarctic sea ice extent and volume varied over decadal to millennial timescales?
7.	How can coupling and feedbacks between the atmosphere and the surface (land ice, sea ice and ocean) be better represented in weather and climate models? <i>(Cross-cuts ‘Southern Ocean’ and ‘Antarctic ice sheet’)</i>	18.	How will changes in ocean surface waves influence Antarctic sea ice and floating glacial ice?
8.	Does past amplified warming of Antarctica provide insight into the effects of future warming on climate and ice sheets? <i>(Cross-cuts ‘Antarctic ice sheet’)</i>	19.	How do changes in sea ice extent, seasonality and properties affect Antarctic atmospheric and oceanic circulation? <i>(Cross-cuts ‘Antarctic atmosphere’)</i>
9.	Are there CO ₂ equivalent thresholds that foretell collapse of all or part of the Antarctic ice sheet? <i>(Cross-cuts ‘Antarctic ice sheet’)</i>	20.	How do extreme events affect the Antarctic cryosphere and Southern Ocean? <i>(Cross-cuts ‘Antarctic ice sheet’)</i>
10.	Will there be release of greenhouse gases stored in Antarctic and Southern Ocean clathrates, sediments, soils and permafrost as climate changes? <i>(Cross-cuts ‘Dynamic Earth’)</i>	21.	How did the Antarctic cryosphere and the Southern Ocean contribute to glacial/inter-glacial cycles? <i>(Cross-cuts ‘Antarctic ice sheet’)</i>
11.	Is the recovery of the ozone hole proceeding as expected and how will its recovery affect regional and global atmospheric circulation, climate and ecosystems? <i>(Cross-cuts ‘Antarctic life’ and ‘Human’)</i>	22.	How will climate change affect the physical and biological uptake of CO ₂ by the Southern Ocean? <i>(Cross-cuts ‘Antarctic life’)</i>
		23.	How will changes in freshwater inputs affect ocean circulation and ecosystem processes? <i>(Cross-cuts ‘Antarctic life’)</i>

그림 14 “남극대기와 지구와의 연계” 및 “온난화 시기 남빙양과 해빙” 과 관련된 과학적 질문들

제7장 연구시설 · 장비 현황

해당사항 없음



제8장 참고문헌

- Dürr, B., and R. Philipona (2004), Automatic cloud amount detection by surface longwave downward radiation measurements, *J. Geophys. Res.*, 109, D05201, doi:10.1029/2003JD004182.
- International Conference on Arctic Research Planning (ICARP) (2016). Report from the 3rd International Conference on Arctic Research Planning ICARP III. International Conference on Arctic Research Planning (ICARP)
- Long, C.N. and T.P. Ackerman (2000), Identification of clear skies from broadband pyranometer measurements and calculation of downwelling shortwave cloud effects, *J. Geophys. Res.*, 105 , pp. 15609–15626 <http://dx.doi.org/10.1029/2000JD900077>
- Kennicutt, M. C., S. L. Chown, J.J. Cassano, D. Liggett, R. Massom, L.S. Peck, S.R. Rintoul, J.W. V. Storey, D.G. Vaughan, T.J. Wilson and W.J. Sutherland (2014), Six priorities for Antarctic science, *Nature*, vol 512
- Kennicutt, II, M.C., S.L. Chown, J.J. Cassano, D. Liggett, L.S. Peck, R. Massom, S.R. Rintoul, J. Storey, D.G. Vaughan, T.J. Wilson, I. Allison, J. Ayton, R. Badhe, J. Baeseman, P.J. Barrett, R.E. Bell, N. Bertler, S. Bo, A. Brandt, D. Bromwich, S.C. Cary, M.S. Clark, P. Convey, E.S. Costa, D. Cowan, R. Deconto, R. Dunbar, C. Elfring, C. Escutia, J. Francis, H.A. Fricker, M. Fukuchi, N. Gilbert, J. Gutt, C. Havermans, D. Hik, G. Hosie, C. Jones, Y.D. Kim, Y. Le Maho, S.H. Lee, M. Leppe, G. Leitchenkov, X. Li, V. Lipenkov, K. Lochte, J. López-Martínez, C. Lüdecke, W. Lyons, S. Marensi, H. Miller, P. Morozova, T. Naish, S. Nayak, R. Ravindra, J. Retamales, C.A. Ricci, M. Rogan-Finnemore, Y. Ropert-Coudert, A.A. Samah, L. Sanson, T. Scambos, I.R. Schloss, K. Shiraishi, M.J. Siegert, J.C. Simões, B. Storey, M.D. Sparrow, D.H. Wall, J.C. Walsh, G. Wilson, J.G. Winther, J.C. Xavier, H. Yang and W.J. Sutherland (2015). A roadmap for Antarctic and Southern Ocean science for the next two decades and beyond. *Antarctic Science*, 27, pp 3–18. doi:10.1017/S0954102014000674.
- Tomasi, C., V. Vitale, A. Lupi, C. Di Carmine, M. Campanelli, A. Herber, R. Treffeisen, R.S. Stone,

E. Andrews, S. Sharma, V. Radionov, W. von Hoyningen-Huene, K. Stebel, G.H. Hansen, C.L. Myhre, C. Wehrli, V. Aaltonen, H. Lihavainen, A. Virkkula, R. Hillamo, J. Ström, C. Toledano, V. Cachorro, P. Ortiz, A. de Frutos, S. Blindheim, M. Frioud, M. Gausa, T. Zielinski, T. Petelski, T. Yamanouchi (2007), Aerosols in polar regions: a historical overview based on optical depth and in situ observations, *J. Geophys. Res.*, 112, p. D16205
<http://dx.doi.org/10.1029/2007JD008432>

Zilitinkevich S, Elperin T, Kleeorin N, Rogachevskii I, Esau I (2013), A hierarchy of energy- and flux-budget (efb) turbulence closure models for stably-stratified geophysical flows. *Boundary-Layer Meteorol*, 146:341-373



별첨. 평가의견 수정 대비표

평가의견	답변 및 수정사항
<p>[종합적 내용]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 최근의 기후변화와 관련한 북극연구의 중요성을 고려시 북극 기반 한-이태리 공동연구는 시의성이 대단히 높은 것으로 판단되며 이를 위한 연구 주제들이 적절히 포함된 것으로 보임. 특히 한국과 이태리의 극지연구 전문 기관 간의 미래 장기 공동 연구 수행을 위한 예비연구 단계로 공동 연구 방향, 수행체계 구축 및 향후 추진될 연구제안서가 작성 완료되어 국가남극연구프로그램, 극지연구소 등의 미래 국가 극지자원 탐사 및 환경, 주요사업에 참여할 교두보가 잘 구축되었음. • 극지기후변화 연구를 위한 한-이태리 공동연구제안서를 작성하는 등 국제공동연구의 기반을 구축하는데 많은 도움이 되는 과제이며 향후 기후변화 분야 및 극지분야 연구에서 준거자료로 활용될 수 있음 	<p>해당없음</p>
<p>[수정·보완사항]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 본 과제의 제목인 “북극기후구성 물리, 화학, 생물학적 과정 결합”이지만 연구결과물 및 연구논문에 따르면 이에 대한 세부적이며 구체적인 내용이 언급되어 있지 않은 바 개별 학문별 주요성과에 대한 결과가 보완되어야 함. 	<p>수정 보완사항에 대한 의견은 이미 이 과제의 제안서 제출 시에도 지적된 사항임. 한-이태리 사업은 극지연구소에서 이미 수행 중인 미래부 사업 “환북극 동토층 환경변화 관측시스템 원천기술 개발 및 변화 추이 연구”를 근간으로 하며, 주제별 연구는 이 미래부 사업에서 주로 수행하고 한-이태리 사업은 협력 강화를 주된 목적으로 함을 제안서에서도 밝혔음. 참고로, 한-이태리 사업은 한국과 이태리 양 기관에서 동시에 제안하는 사업이기 때문에 과제의 제목은 이태리 측에서 정한 바를 그대로 따른 것임. 연구 결과에 대해서는 미래부 과제 보고서를 통해 제시될 예정임.</p>