

남극 장보고과학기지 장기생태연구  
(JBG-LTER)

- 한 · 뉴 · 이태리 3국 공동 Platform 구축  
기획 연구

A Planning study on the Jang-Bogo Long-Term  
Ecological Research (JBG-LTER)

- Korea · New Zealand · Italy Joint platform  
construction



2017. 01. 31

한 국 해 양 과 학 기 술 원  
부 설 극 지 연 구 소





# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 남극 장보고과학기지 장기생태연구 - 한·뉴·이태리 국제공동 platform 구축 기획” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 01. 31



연구책임자 : 최한구  
참여연구원 : 김상희  
                  : 김지희  
                  : 양은진  
                  : 정호성  
                  : 김선미  
                  : 박경민  
                  : 소재은  
                  : 윤영준  
                  : 전미사



보고서 초록

과제관리번호	PE17230	해당단계 연구기간	2017.01.02.~01.31	단계 구분	1 / 1
연구사업명	중 사업명	창의연구사업			
	세부사업명	연구정책·지원과제			
연구과제명	중 과제명				
	세부(단위)과제명	남극 장보고과학기지 장기생태연구 - 한·뉴·이태리 국제공동 platform 구축 기획			
연구책임자	최 한 구	해당단계 참여연구원 수	총 : 10 명 내부 : 10 명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부: 5,000 천원 기업: 천원 계: 5,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 극지생명과학연구부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약				보고서 면수	60
<p>○ 남극대륙 장보고기지주변 육상 및 연안해양에서의 장기생태연구 개발을 위해 국제협력 및 국제동향을 분석을 수행 후 향후 3년간 진행할 연구의 목표와 내용을 설정하는 것을 목표로 기획연구를 수행함</p> <p>○ 장보고기지가 위치한 로스해 주변 연안에서 기지를 운영하고 있는 국가들과 관측 네트워크를 구성하고 관측자료의 표준화를 통해 연구 협력 및 자료의 공동활용으로 연구영역 확대 효과 창출</p> <p>○ 남극 대륙 연안지역의 육상과 해양생태계를 구성하고 있는 주요 생물군에 대한 조사와 생태계의 구조를 파악하고 기후변화 및 인위적 교란으로 인한 생태계 복원력 예측을 위한 연구 계획 수립</p> <p>○ 세부 목표 1. 한·뉴·이태리 3국 공동 관측 platform 구축 - 각 기지를 기반으로 한 지점별 관측 항목 설정 및 표준화된 관측방법 확정 - Open Database 공동 구축 및 자료의 공동해석, 활용 - 관측점의 환경차에 따른 기후변화 영향 패턴 비교 분석 및 방향성 예측</p> <p>○ 세부 목표 2. 육상 및 연안 해양생물 군집 구조 및 주요 개체군 변동 모델 개발 - 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 다양성 변동 조사 - 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 구조 파악 - 육상 및 연안 해양생물 개체군 변동 조사 및 변동 예측 모델 개발</p> <p>○ 세부 목표 3. 환경변화에 따른 연안해양생태 구성원들의 반응과 복원력 연구 - 환경변화 (담수 유입, 해양 산성화, 오염원 유입 등)에 따른 연안 생물종의 손실 산출 - 환경변화에 따른 연안해양생물의 생리생태적 변동 및 군집 동태 분석 - 환경 교란에 반응하는 연안해양생물의 탄성력 및 회복 능력의 시·공간적 패턴 분석 및 천이 모델 개발</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	남극대륙연안, 장기생태연구, 환경변화, 표준화, 군집구조			
	영 어	Antarctic Continent Coastal region, LTER, environmental change, standardization, community structure			



# 요 약 문

## I. 제 목

남극 장보고과학기지 장기생태연구 (JBG-LTER) - 한·뉴·이태리 3국 공동 Platform 구축 기획

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 남극 대륙의 고위도에서의 기후변화의 양상은 남극반도지역과 다르게 나타나고 있으며, 남극 대륙의 중간지역에 위치한 테라노바만 지역 연안의 기후변화 양상에 대한 자료 절실
- 기후변화에 의한 테라노바만 지역의 빙하의 확장과 축소에 따른 담수화에 의해 남극생물종의 손실, 자연적 외래생물의 유입 및 정착 등으로 인해 남극 생태계의 구성과 기능의 변화 가능성 높음
- 테라노바만 연안과 육상의 생물상 변화 관측을 위해 현 상태의 생물다양성, 분포 등의 기초자료 확보 필수
- 남극 대륙 첨단 연구 인프라로 구축 완료된 남극 장보고기지 기반 첫 남극 대륙 장기생태 연구 착수 필요
  - 남극 대륙 진출 후발주자로서 연구 주도권 확보를 위한 지속적인 양질의 연구 자료 획득 및 축적 필요

## III. 국내외 연구 개발 동향 분석

- 각국은 다양한 지표와 기준 및 방법에 따라 환경 관측과 생태계 관측을 진행하고 있으며, 공통되는 관측항목에 대한 자료 공유로 전지구 기후변화의 해석을 위한 자료로 활용되고 있음
- 환경과 연관된 생태계변화 연구는 국가별 상황에 따라 통합되거나 변형, 발전되고 있으나 장기적으로 지속되고, 산출 결과를 환경 보존 정책 수립 등에 활용하고 있음
- 남극지역에서의 장기생태계 연구는 각국의 기지를 기반으로 다학제적인 프로그램을 개발하여 지속적으로 진행하고 있으며 프로그램의 주기적인 개선을 통해 보완하고 있음

- 지난 40-50년간의 관측으로 남극연안지역의 기온상승에 따른 해빙의 감소와 그에 따른 생태계 변화의 뚜렷한 증거를 제시하고 있으며, 남극반도지역과 남극대륙지역의 기후변화 양상의 차이와 이를 유발하는 원인 규명에 대한 결과가 도출되고 있음
- 장기생태계 연구는 지역특성에 맞는 항목의 선정이 필요하지만 광역적인 해석을 위해 자료 공유를 위한 관측 방법 등의 표준화가 필수적인 것으로 보임. 특히 지역 특성상 하나의 국가프로그램으로 감당하기 어려운 남극 지역의 경우 연구 네트워크의 구성과 연구자원 및 자료 공유가 필수적이라 판단됨

#### IV. 연구 개발 내용 및 결과

본 연구는 남극 장보고과학기지를 기반으로 한 장기생태연구의 최종목표 설정과 이를 달성하기 위한 세부 연구 목표를 도출하기 위한 기획과제로 과제 수행결과 도출된 최종 목표와 세부 목표를 제시하면 다음과 같다.

- 최종 목표: 남극 장보고과학기지 기반 남극대륙 연안지역 장기 생태 관측 platform을 구축하여 남극 환경변화가 극지 생물에 미치는 영향과 복원력을 예측하고자 함
- 세부 목표 1. 한·뉴·이태리 3국 공동 관측 platform 구축
  - 각 관측점별 관측 항목 설정 및 표준화된 관측방법 확정
  - 연구 인력 교류 및 공동 현장 활동을 통한 현장 관측 표준화
  - Open Database 공동 구축 및 자료의 공동해석, 활용
  - 관측점의 환경차에 따른 기후변화 영향 패턴 비교 분석 및 방향성 예측
- 세부 목표 2. 육상 및 연안 해양생물 군집 구조 및 주요 개체군 변동 모델 개발
  - 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 다양성 변동 조사
  - 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 구조 파악
  - 육상 및 연안 해양생물 개체군 변동 조사 및 변동 예측 모델 개발
- 세부 목표 3. 환경변화에 따른 연안해양생태 구성원들의 반응과 복원력 연구
  - 환경변화 (담수 유입, 해양 산성화, 오염원 유입 등)에 따른 연안 생물종의 손실 산출
  - 환경변화에 따른 연안해양생물의 생리생태적 변동 및 군집 동태 분석

- 환경 교란에 반응하는 연안해양생물의 탄성력 및 회복 능력의 시·공간적 패턴 분석 및 천이 모델 개발
- 생물종 손실과 종 유입으로 인한 저서 생산성 손익 산출

#### V. 연구개발결과의 활용계획

- 이태리에 비해 30년 늦게 테라노바만 지역에 진출했지만 국제 공동 장기 관측점 구축 및 활성화로 테라노바만 지역 연안 연구 주도
- 대륙 연안 지역의 환경변화가 극지 생물에 미치는 영향과 복원력 예측에 활용
- 극지생물의 보호와 극지 환경 보전을 위한 국제적 생태연구에 기여함으로써 남극조약 준수 및 국제적 위상 제고
- 남극 생물의 다양성, 환경 반응, 진화 등에 대한 정보 축적을 통해 학문적, 산업적 활용을 위한 남극 생물 기초자료 제공





# 목 차

## 제 1 장 서 론

제1절 연구기획의 배경 및 목적

제2절 연구의 필요성

제3절 연구의 범위

## 제 2 장 국내외 연구개발 현황 및 동향 분석

제1절 국외 연구개발 현황

제2절 국내 연구개발 현황

제3절 장기생태연구 연구 동향 분석

1. 분석 방법

2. 연구 동향

3. 시사점 및 전망

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 도출된 연구과제의 목표

1. 연구과제의 최종 목표

2. 연구과제의 세부 목표

제2절 도출된 연구과제의 연구 내용 및 범위

제3절 도출된 연구과제의 추진 전략 및 체계

1. 추진 전략 및 체계

2. 국제 공동연구 추진 계획

3. 연구개발 사업 규모

4. 총 연구기간 로드맵

5. 인프라 활용 로드맵

## 제 4 장 연구개발의 활용 계획

## 제 5 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

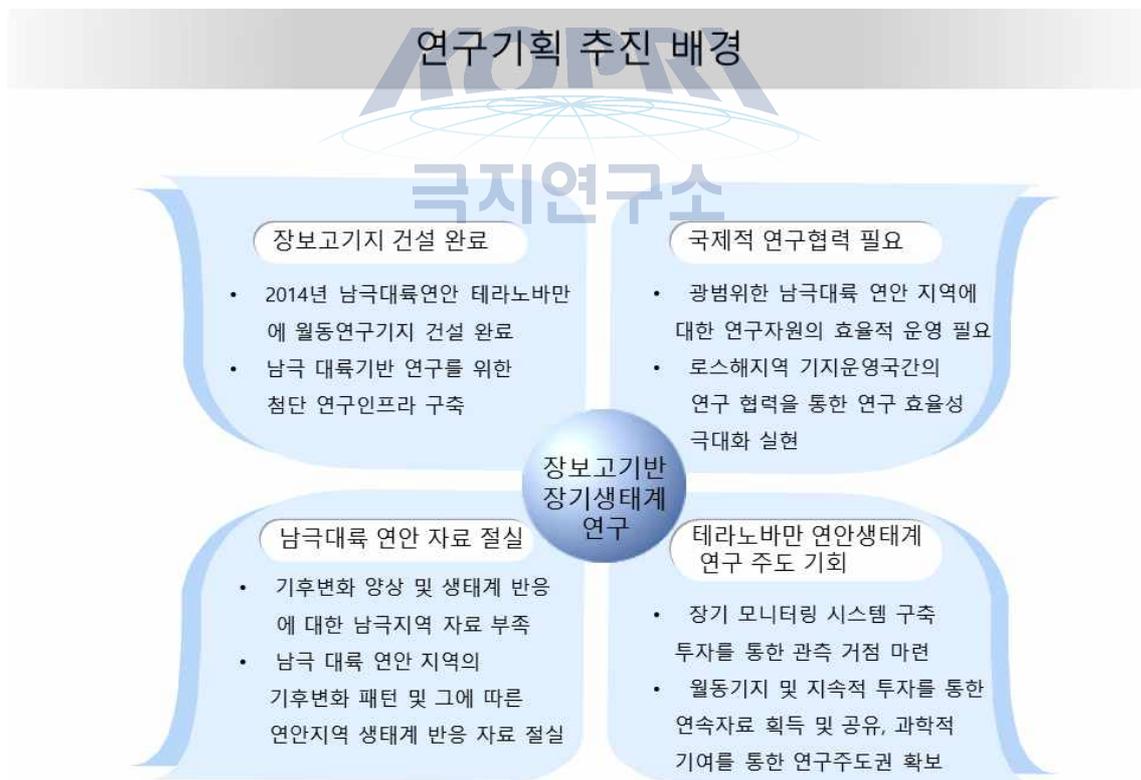
## 제 6 장 참고문헌



# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구기획의 배경 및 목적

본 연구기획 과제는 남극 대륙연안에 위치한 장보고과학기지를 기반으로 기후 변화의 양상과 그에 따라 궁극적인 영향을 수용하는 최종 반응자로서의 생태계의 구조가 해양성남극역과 현저히 다른 남극대륙연안지역을 대상으로 장기적인 생태계 관측 연구를 수행하기 위하여 적합한 연구 내용 발굴과 국제적인 협력 연구 전략을 수립하고자 함



## 제 2 절 연구의 필요성

- 극지연구소 '2030 연구부분 발전전략'에서 전략 목표로 '극지의 변화 원인 규명 및 대응' 핵심연구분야로 '극지 환경변화 원인과 영향 파악 및 예측', 주요 해결 과제로 '기후변화에 의한 남극생태계 변화 예측'이 설정된 바 있음
- 남위 60도 이남 지역은 인류가 공인하는 보존지역으로 이에 귀속된 남극 생태계의 보존과 관리를 위해서는 인간의 영향 뿐만 아니라 기후변화에 의한 남극생태계의 변화와 예측 기술을 개발할 필요 있음
- 남극의 기후변화와 생태계 변화는 전지구 기후변화와 연계하여 전세계인의 관심 대상이며, 극지에서의 기후변화 이벤트는 타 지역의 경우에 비해 매우 시사적이며 강력함
- 남극 생물의 다양성 및 생태계 변화 모니터링을 통한 환경 변화에 대한 생물권의 반응 연구는 전지구적 관심사임
- 남극 대륙의 고위도에서의 기후변화의 양상은 남극반도지역과 다르게 나타나고 있으며, 남극 대륙의 중간지역에 위치한 테라노바만 지역 연안의 기후변화 양상에 대한 자료 절실
- 기후변화에 의한 테라노바만 지역의 빙하의 확장과 축소에 따른 담수화에 의해 남극생물종의 손실, 자연적 외래생물의 유입 및 정착 등으로 인해 남극 생태계의 구성과 기능의 변화 가능성 높음
- 테라노바만 연안과 육상의 생물상 변화 관측을 위해 현 상태의 생물다양성, 분포 등의 기초자료 확보 필수
- 남극 대륙 첨단 연구 인프라로 구축완료된 남극 장보고기지 기반 첫 남극 대륙 장기생태 연구 착수 필요
- 남극 대륙 진출 후발주자로서 연구 주도권 확보를 위한 지속적인 양질의 연구 자료 획득 및 축적 필요

○ 연구소에서 수행 중 또는 수행예정인 타 연구와의 중복성 검토

구 분	기존 연구	제안 연구	차이점
제 목	남극반도 연안해양시스템 변화 2050 전망연구	남극 장보고과학기지 장기생태연구 (JBG-LTER) 프로그램	연구지역 및 대상 차이
키 워 드	급격한 온난화, 빙하후퇴, 해양산성화, 세종기지, 남극반도, 마리안소만, 연안해양시스템, 미래시나리오 모델링, 2050 전망	환경변화, 장보고기지, 테라노바만, 장기생태관측, 표준관측시스템 구축	남극 대륙연안의 장보고기지 기반, 국제 공동 표준관측시스템 구축
연 구 주 제	남극반도 빙권과 해양시스템 변화 추적 및 평가, 환경변화와 해양생태계 반응과정 모델화	장보고기지 기반 장기생태연구 거점 구축	시스템 전체가 아닌 생물군 중심의 변화 연구
연 구 대 상	연안생태계 전체	환경변화와 육상 및 저서 생물 변화	지역 및 주변환경 특성차이에 따른 생태 구조 차이
연 구 지 역	킹조지섬 및 남극반도	테라노바만	남극반도지역과 고위도 남극 대륙 연안지역

구 분	기존 연구	제안 연구	차이점
제 목	환경변화에 대한 킹조지섬 주요 육상생물의 생물반응 모델링 기술 개발	남극 장보고과학기지 장기생태연구 (JBG-LTER) 프로그램	연구지역 및 연구단계
키 워 드	환경변화, 육상생태계, 킹조지섬, 생물반응 모델링, 크리티컬존 관측	환경변화, 장보고기지, 테라노바만, 장기생태관측, 표준관측시스템 구축	남극 대륙연안의 장보고기지 기반, 국제 공동 표준관측시스템 구축
연 구 주 제	육상의 크리티컬존 관측을 통한 대기환경요소, 지질환경요소, 생물요소 등 생태계반응 종합 관측 및 생물반응 모델링 기술 개발	장보고기지 기반 장기생태연구 거점 구축	시스템 전체가 아닌 생물군 중심의 변화 연구
연 구 대 상	육상생태계	환경변화와 육상 및 저서 생물 변화	지역 및 주변환경 특성차이에 따른 생태 구조 차이
연 구 지 역	킹조지섬	테라노바만	장보고 기지 연안과 해빙 지역

구 분	기존 연구	제안 연구	차이점
제 목	남극해 해양보호구역의 생태계 구조 및 기능 연구 (2017. 6월 예정)	남극 장보고과학기지 장기생태연구 (JBG-LTER) 프로그램	기지 연안 중심의 국제공동관측점 구축을 통한 생태계 연구
키 워 드	환경변화, 로스해 해양보호구역, 생태계 구조, 크릴, 아델리펭귄 변동	환경변화, 장보고기지, 테라노바만, 장기생태관측, 표준관측시스템 구축	저서 생물 생태 중심의 국제공동표준관측시스템 구축
연 구 주 제	CCAMLR 해양보호구역 보존 정책에 부합하는 생물자원 중심의 생태계 연구	장보고기지 기반 장기생태연구 거점 구축	장기 관측점을 중심으로 한 육상 및 저서생태 연구
연 구 대 상	로스해 해양생태계	환경변화와 육상 및 저서 생물 변화	대상 생물군 차이
연 구 지 역	로스해 해양보호구역	테라노바만	로스해 빅토리아랜드 연안 폴리나형성지역 및 펭귄군서지 중심 vs. 테라노바만 연안의 정착빙 발달지역 중심



### 제 3 절 연구의 범위

- 한·뉴·이태리 3국 공동 관측 platform 구축
  - 각 관측점별 관측 항목 설정 및 표준화된 관측방법 확정
  - 연구 인력 교류 및 공동 현장 활동을 통한 현장 관측 표준화
  - Open Database 공동 구축 및 자료의 공동해석, 활용
  - 관측점의 환경차에 따른 기후변화 영향 패턴 비교 분석 및 방향성 예측
  
- 육상 및 연안 해양생물 군집 구조 및 주요 개체군 변동 모델 개발
  - 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 다양성 변동 조사
  - 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 구조 파악
  - 육상 및 연안 해양생물 개체군 변동 조사 및 변동 예측 모델 개발
  
- 환경변화에 따른 연안해양생태 구성원들의 반응과 복원력 연구
  - 환경변화 (담수 유입, 해양 산성화, 오염원 유입 등)에 따른 연안 생물종의 손실 산출
  - 환경변화에 따른 연안해양생물의 생리생태적 변동 및 군집 동태 분석
  - 환경 교란에 반응하는 연안해양생물의 탄성력 및 회복 능력의 시·공간적 패턴 분석 및 천이 모델 개발
  - 생물종 손실과 종 유입으로 인한 저서 생산성 손익 산출

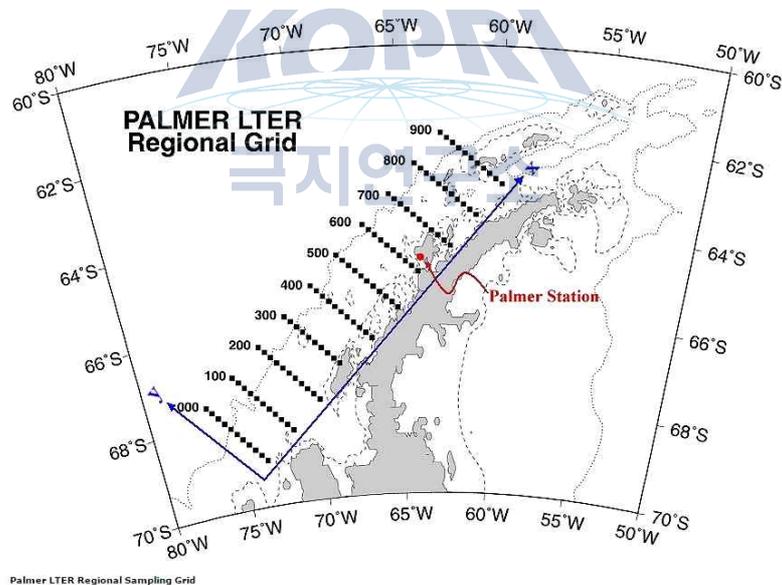
## 제 2 장 국내외 연구개발 현황 및 동향 분석

### 제 1 절 해외 연구개발 현황

#### 1. 남극 지역을 대상으로 한 연구개발 현황

##### ○ 미국의 남극 장기생태연구 프로그램

- 미국은 Palmer기지와 McMurdo기지를 기반으로 국제 장기생태계 연구프로그램 수행 중
- PAL-LTER은 1970년대에 시작되어 현재까지 진행중이며 온도 상승에 따른 해빙 축소와 아델리펭귄의 분포 변화 등 다양한 생태계 반응에 대한 우수한 관측 결과를 내놓고 있음



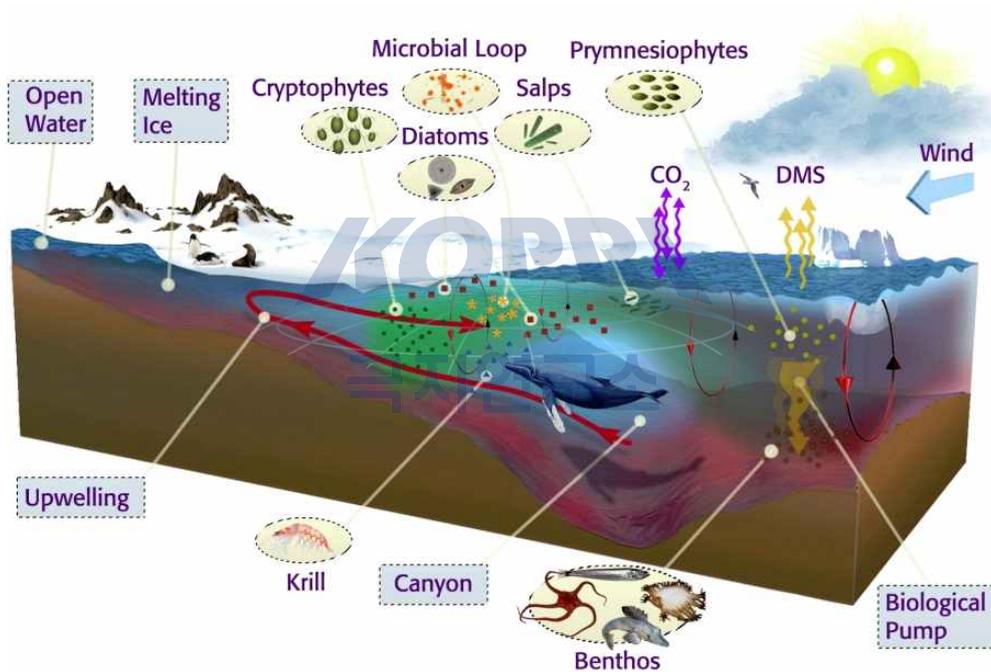
<PAL-LTER 연구대상지역>

- 현장조사를 위해 연구선, 고무보트 등을 이용하며 여기에 인공위성, 기상관측소 등 다양한 연구 플랫폼을 활용하여 다양한 현장 연구를 진행하고 있음
- Palmer LTER 프로그램은 1) 연내와 연간 변이의 생태학적 결과에 중점을 둔 물리적 강제력(태양복사, 대기, 해빙)에 대한 조사, 2) 2차 생산자(krill, salp)와 소비자(펭귄)의 생활사 매개변수의 조사, 3) 군집구조와 탄소 플럭스(미생물, 플랑크톤)를 중심으로한 생물학적 과정들에 대한 조사, 4) 환경변수와 관련된 생

태계 과정들과 연관된 물리/화학/생물학적 모델링을 포함

- Delicate connection - 남극 해양생태계의 변화

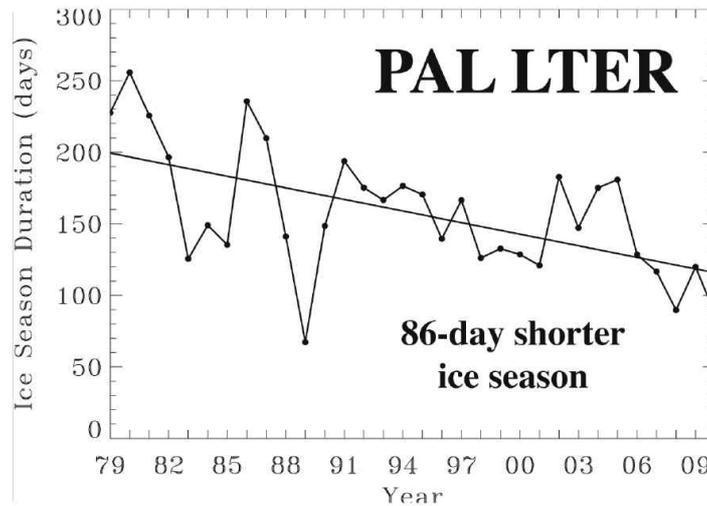
- 기후변화에 가장 민감한 남극반도 서쪽에서의 연구결과로 1970년대 이래 관측해온 남극해양먹이망을 새로운 형태의 섭식자와 미생물의 활동이 증가되어 더욱 복잡하게 발전시킴(아래 그림)
- 이 시스템은 upwelling에 의해 유지되는 높은 생산성과 거대한 크릴 개체군들에 의해 대형포식자(펭귄, 해표, 고래)가 유지되는 시스템이 특징이었으나 크릴 개체군들은 감소하고 있으며 2000년대 들어서면서 점액질의 salp가 자주 발견되고 있어 전형적 남극 먹이사슬이 새로운 시스템으로 전환되고 있는 것으로 보임



<Palmer LTER을 통해 관측하여 밝혀진 남극반도 서쪽의 해양 생태계 (figure by I. Heifetz, Rutgers Univ.)>

- 해빙변화와 해양환경변화 - Changes in Ice and Heat

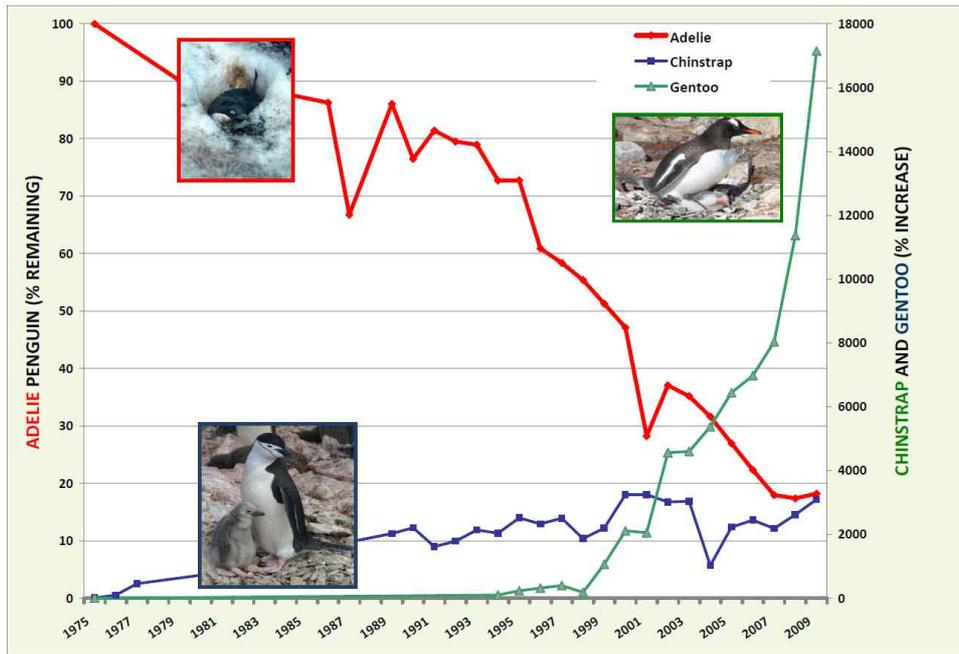
- 남극반도지역은 지구상에서 가장 빠르게 겨울 온난화가 진행되고 있어 남극반도의 빙하의 87%가 후퇴하였음
- Palmer LTER에서는 1970년대부터 위성을 통해 해빙의 변화를 관측해온 결과 그림 4와 같이 해빙기간이 3개월이나 단축되었음을 관측하였음. 과학자들은 Palmer LTER 지역에 열 전달 메커니즘을 규명하여 현재 상태와 미래에 측을 위한 연구를 수행중에 있음



<해빙이 유지되는 기간의 연간변화 (Sharon Stammerjohn University of Colorado, Boulder)>

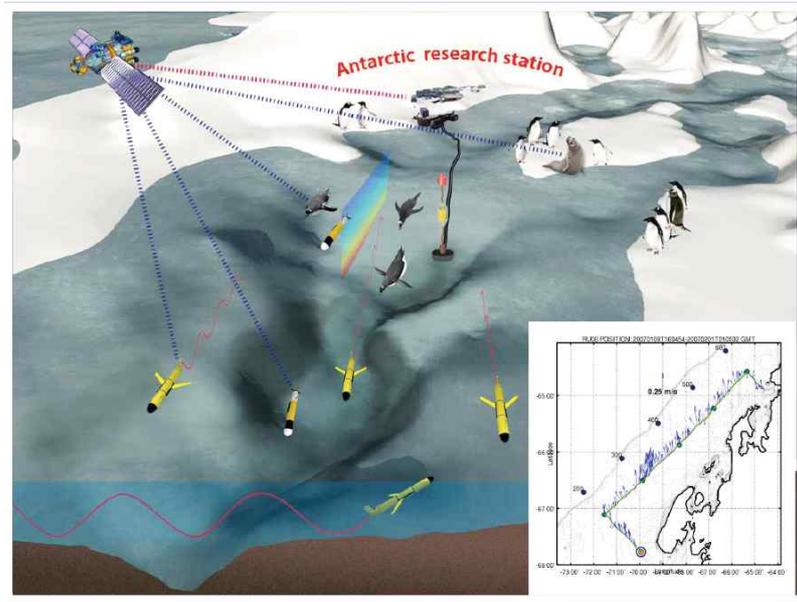
● 기후변화와 펭귄개체군 연구

- 지난 1974년 이래 남극반도 서쪽의 아델리펭귄 개체군의 85%가 감소함을 보고하여 지역적 기후변화의 초기 증거로서 해양생태계에 대한 부정적 영향을 보고하였음(아래 그림)
- 아델리펭귄은 섭식행동을 위해 해빙의 이용이 필수적인 종으로 해빙이 없는 먹이에 대한 접근이 감소하여 겨울철 생존이 어려워짐
- 해빙의 감소는 해수 증발을 증가시켜 구름과 강설이 증가되고 아델리펭귄의 번식기에 용설이 펭귄 알과 병아리의 생존에 영향을 미치게 되어 아델리펭귄 개체군이 급격히 감소함
- 아델리펭귄 개체군이 감소함에 따라 Palmer LTER의 펭귄연구가 젠투펭귄으로 옮겨가고 있는 실정임



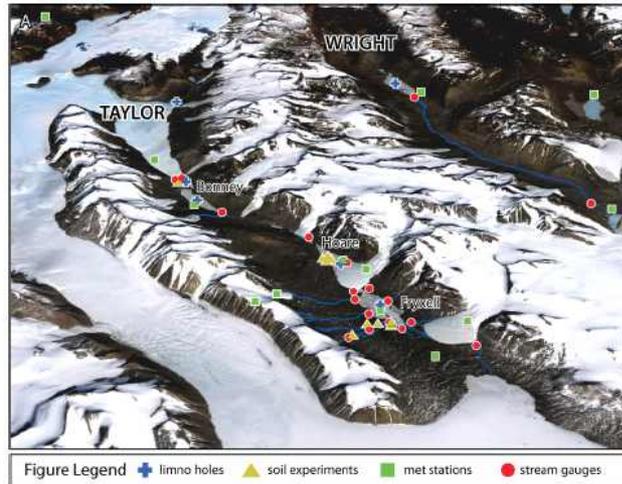
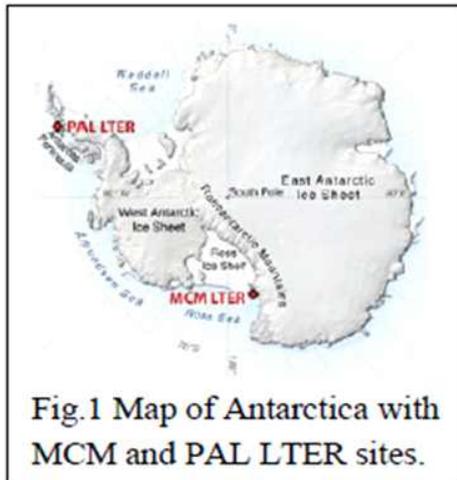
<1974 - 2010년까지의 연구지역에서의 펭귄 개체군 변화. 해빙 의존성인 아델리펭귄은 85%가 감소한 반면, ice intolerant species인 젠투펭귄과 턱끈펭귄은 증가하고 있음 (Graph: Bill Fraser, Polar Oceans Research Group, Sheridan, MT. Photographs Donna Fraser & Beth Simmons, Palmer LTER)>

- AUVs를 활용한 자연 개체군의 생태학적 동태연구
  - 해양 물리, 화학, 광학 및 음향 센서를 탑재한 AUV를 활용하여 미세한 플랑크톤에서부터 펭귄의 foraging ecology에 이르기까지 생태계 과정들에 대한 연구가 가능하게 됨
  - 2007년 이래 AUV의 일종인 Palmer gliders는 2,000 km에 달하는 지역을 mapping하였고, 2009년부터 영국과 공동으로 Palmer 기지에서 로테라기지에 이르는 지역을 조사하였음
  - glider에 의해 얻어진 자료는 펭귄을 통해 얻어진 위성-원격측정 자료와 함께 펭귄의 foraging이 이루어지는 깊이와 장소에 대한 고해상도의 map을 생산할 수 있게 되었음



<Autonomous gliders, 펭귄에 장착된 원격장비와 위성관측이 이루어진 Palmer기지 인근의 해협. 작은지도: 과머기지에서 로데라기지까지의 glider의 임무 (Oscar Schofield, Rutgers University)>

- McMurdo기지를 기반으로 한 McM-LTER은 McMurdo Dry Valley를 중심으로 진행되고 있음
- 연구지역은 남극 대륙 내에서 가장 큰 부동지역 (약 4800 km<sup>2</sup>)으로 다른 지역에 비하여 생물이 살아가기에 매우 척박한 지역으로 미생물, 지의류 등 일부 무척추동물만이 주로 서식하고 있는데 얼음으로 덮혀 있는 호수, 일시적으로 노출되는 하천과 토양 등으로 저온, 낮은 강수량과 낮은 염분 등이 주된 환경요인으로 알려져 있음



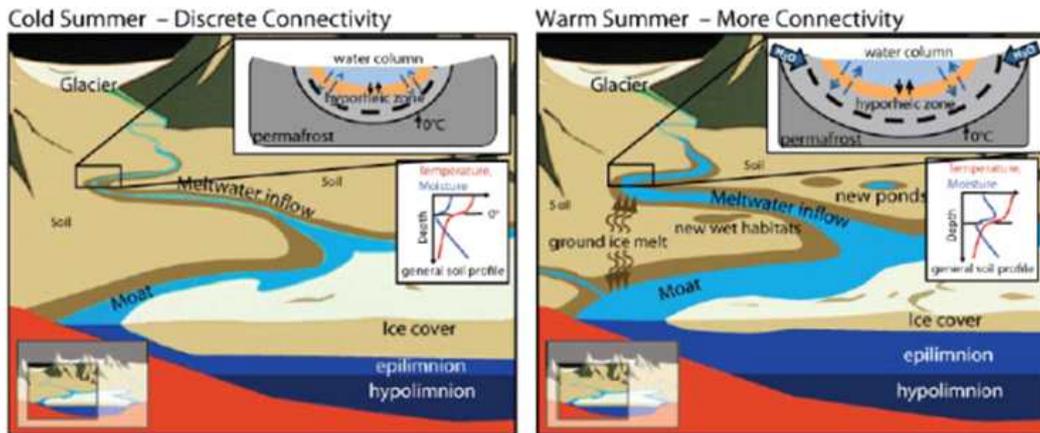
<MCM LTER 연구 정점들>

- 기상학, 빙하, 토양, 호소학(Limnology), 분자생물학(생물다양성), 생태계모델링 등의 연구가 진행되고 있으며 1992년에 최초 연구가 시작되어 현재 4차 연구(MCM-IV)가 진행 중임
- MCM-IV(2010~2016)의 주요 연구 주제
  - Pulse events (wind and melt)로 인한 수괴와 생물학적 요인 간의 상호작용
  - 여름동안 녹아내린 육지의 얼음으로 인한 생물서식지 조성과 생물다양성 변동
  - 육상에서 발생하는 생지화학적 과정 간의 연관성
  - 다양한 환경에서 발생하는 서식지 (wetted habitats)의 특성

<MCM4 주요 연구 목표 및 연구활동>

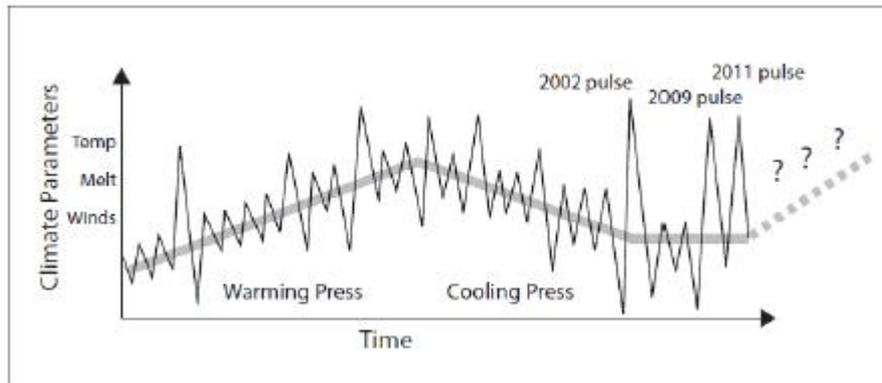
Hypothesis	MCM4 Activities
<b>H1. Pulse events (wind and melt) increase hydrological and biological connectivity across landscape units</b>	<p><u>Monitoring:</u> met stations; <i>in situ</i> stream, soil, aeolian particle counters, and lake sensors; glacier mass balance; glacial sediments/cryoconites; stream flow; lake level and lake ice variations; lake chemistry and biological activity; focused sampling along environmental gradients; time-series lake sediment traps; expansion to Miers and Garwood Valleys; aeolian traps ; soil active layer monitoring</p> <p><u>Experiments:</u> surface and subsurface soil wetting experiments; lakewater enrichment experiments; metagenomic analysis across landscapes</p> <p><u>Modeling:</u> valley scale mechanistic transport models that include both routing of meltwater from the glaciers through the streams to the lakes, formation of new wetland systems, and aeolian transport of sediment onto glaciers and lake ice during strong katabatic wind events</p>
<b>H2. Summer pulses of liquid water produce transient moist habitats with altered biological diversity and ecological complexity</b>	<p><u>Monitoring:</u> meteorological stations; <i>in situ</i> stream; soil and lake sensors; glacier mass balance; geochemistry/biology of cryoconite holes; soil active layer monitoring</p> <p><u>Experiments:</u> surface and subsurface soil wetting experiments; lakewater enrichment experiments; experiments to determine adaptive response of biota to climate driven hydrology; ongoing soil stoichiometry experiments; bacteria and invertebrate density in margin habitats; phylogeny/function via metagenomic analysis; production/respiration rates; landscape specific stoichiometry</p> <p><u>Modeling:</u> As described for H1</p>
<b>H3. Increased connectivity enhances rate, variance and the coupling of biogeochemical processes across the landscape.</b>	<p><u>Monitoring:</u> As in H1 with the addition of: C:N:P ratios and metagenomic analyses (phylogeny/function) measured on material collected over an annual cycle in the aeolian and lake traps and related to stoichiometry and phylogeny from potential source pools (e.g., wetted soils, stream mats, lake mats); expansion to Miers and Garwood Valleys; geochemistry/biology of cryoconite holes</p> <p><u>Experiments:</u> surface and subsurface soil wetting experiments; lakewater enrichment experiments; experiments to determine adaptive response of biota to climate driven hydrology; ongoing soil stoichiometry experiments; biomass of bacteria and invertebrates across landscape units, and rates of NPP and respiration under both dry and wet conditions and under experimentally modified soils</p> <p><u>Modeling:</u> As described for H1</p>
<b>H4. Emergence of wetted habitats varies with local geography and history of landscape development.</b>	<p><u>Monitoring:</u> Quickbird imagery; <i>in situ</i> sensors; telemetry to define locations of new wetland habitats; mapping, image analysis of buried ice and groundwater seeps</p> <p><u>Modeling:</u> As in H1 but refined to include permafrost melt</p>

- 추운 여름과 따뜻한 여름시기의 융빙으로 인한 생물서식지 조성과 생물다양성 변동으로 인한 드라이벨리의 생태계 변화 관측에 대한 연구결과 제공



< MCM LTER에서 제안한 드라이벨리의 추운 여름과 따뜻한 여름의 생태계 환경 변화 Scheme >

- 남극 대륙지역에서는 기온, 바람, 빙하의 용융이 지역 기후변화를 일으키는 인자로 인식되었으며, 꾸준히 온난화가 지속 또는 가속화되고 있는 남극반도지역과는 달리 성층권 오존감소로 인해 1986년부터 2000년까지의 관측에 따르면 맥머도 드라이벨리 지역은 기온 감소 경향을 보였음
- 향후 50년간의 오존홀 개선을 고려할 때 맥머도 드라이벨리에서도 온난화 가설이 가능하며 온난화로 인한 빙하용융에 따른 수계의 변화와 이에 따른 생태계 내에서의 영양염의 증가, 생물다양성과 생산성 증가를 견인할 수 있음
- 맥머도 드라이벨리의 장기생태계 관측의 결과는 이 지역에서의 하계기간 동안 빙하의 용융을 촉진시키거나 저지할 수 있는 기상 이벤트는 이 지역의 장기적 생태계 변화에 크게 영향을 미치는 요소로 작용할 수 있음을 보여줌
- 지난 십년간의 MCM LTER의 결과에 따르면 2002, 2008, 2011 여름의 기후 이벤트로 인해 빙하의 용융과 강한 바람을 일으켰으나, 여름 기온의 상승과는 상관관계가 없었으며 태양이 드라이벨리의 바로 위에 있는 시기인 여름중반의 오존홀의 유지와 관련이 있는 것으로 조사됨



<Revised conceptual diagram of presses and pulses>

- 드라이벨리 현 생태계의 구조와 미래의 생태계 구조 및 기능에 대해 물공급과 바람의 변동으로 해석할 수 있다는 가설을 설정하여 연구중에 있음
- MCM4의 주요 성과
  - New research on ecological connectivity-highlights
    - 1) Episodic periods of high hydrologic connectivity control spatial and temporal pattern of soil biota
    - 2) Metacommunity dynamics in the MDV can be simulated based on niche-based species-sorting and dispersal dynamics
    - 3) Daily pulses of microbial mat material are transported from streams to the lakes
    - 4) Increased streamflow following the end of the cooling trend has driven increases in biomass and distribution of stream microbial mat
    - 5) Distinct microbial communities occur in major components of the MDV landscape
    - 6) Loss of perennial ice-cover on the lakes could occur within the next 50 years
  - New proposed experiments
    - 1) Completion of the LakeICE experiments demonstrating microbial responses to inputs during periods of enhanced transport of water and sediment

- 2) Installation of the Pulse-Press soil wetting experiment
  - 3) Collection of samples of aeolian materials to inform design of sediment on ice experiment
- Enhancement of monitoring programs
    - 1) Integration of historical perspectives into understanding lake level change and species distributions of benthic diatoms
    - 2) Continuous telemetry of met station, stream gauge, and limnological stations using a hub and spoke approach
    - 3) Expansion of monitoring program to Miers and Garwood Valleys
    - 4) Implementation of aeolian samples collection in collaboration with New Zealand program
    - 5) Development of new continuous biological monitoring and sampling technology for lakes to potentially track wintertime processes
- 미국 장기 생태연구의 최근 논문 성과
- Carvalho et al. 2017. Defining the ecologically relevant mixed-layer depth for Antarctica's coastal seas. *Geophysical Research Letter*
  - Kim et al. 2016. A Decadal (2002~2014) Analysis for Dynamic Bacteria in Antarctic Coastal Ecosystem: Variability and Physical and Biogeochemical Forcings. *Frontiers in Marine Science*. 3(214)
  - Bowman et al. 2016. Microbial Community Dynamics in Two Polar Extremes: The Lakes of the McMurdo Dry Valleys and the West Antarctic Peninsula Marine Ecosystem. *BioScience*. 66(10):829-847.
  - Fountain et al. 2016. The Impact of a Large-Scale Climate Event on Antarctic Ecosystem Process. *BioScience*. 66(10):848-863.
  - Obryk et al. 2016. Responses of Antarctic Marine and Freshwater Ecosystems to Changing Ice Conditions. *BioScience*. 66(10):864-879.
  - Boyd et al. Biological responses to environmental heterogeneity under future ocean conditions. *Global Change Biology*. 22(8):2633-2650.
  - Mererdith et al. 2016. Changing distributions of sea ice melt and meteoric water west of the Antarctic Peninsula. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*.
  - Hobbs et al. 2016. A review of recent changes in Southern Ocean sea ice, their

drivers and forcings. Global and Planetary Change.

- Fountain et al. 2010. Snow in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. International Journal of Climatology. 30(5):633-642.
- Mikuchi et al. 2009. A Contemporary Microbially Maintained Subglacial Ferrus "Ocean". Science. 324(5925):397-400.
- Hodson et al. 2008. Glacial ecosystem. Ecological Monographs. 78(1): 41-67.
- Wall DH. 2007. Global Change tipping points: Above- and below-ground biotic interactions in a low diversity ecosystem. Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences. 362(1488):2291-2306.
- Barrett et al. 2007. Biogeochemical stoichiometry of Antarctic Dry Valley ecosystems. Journal of Geophysical Research. 112:G01010+12

○ 영국의 남극 장기생태연구 프로그램

- BioBAS의 여러 프로젝트 중 'Changing biodiversity'는 기후변화에 따라 종다양성이 어떻게 변할 것인지에 대한 연구를 연안을 중심으로 수행중이며, 종료시기가 2286년인 RaTS(Rothera Time Series)과제의 일환으로 향후 생태계가 어떻게 반응할 지에 대한 연구를 수행중
- 1997부터 해양과 육상환경에 대한 생물학적 long-term 모니터링 수행 중이며 남빙양에서 얻어진 가장 오래되고 연속적인 자료들을 수집하였다 자부함. 영국의 대학들과 협력하여 연구과제 지속적 발전 시키고 있음

○ 뉴질랜드의 남극 장기생태연구 프로그램

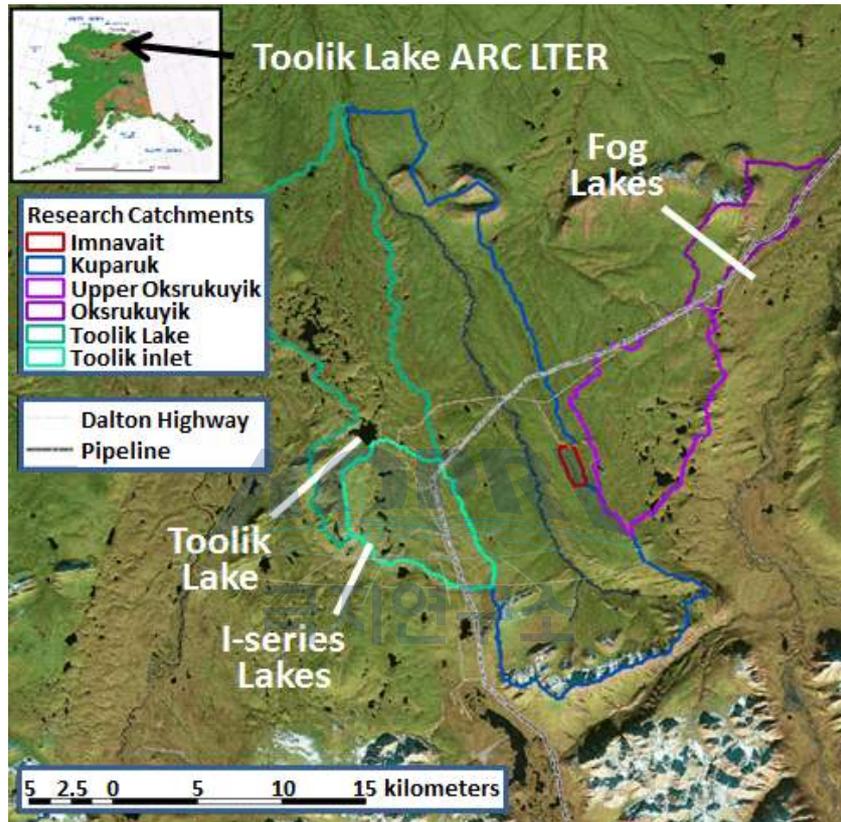
- NTERACT 프로그램을 통해 남극연안생태계에 대한 장기연구를 수행 중이며 연안 및 육상 생태계 연구 중심 networking을 위해 SCAR working group을 형성하여 국제 공동연구 프로그램인 ANTOS 프로그램 개발 중

○ 이태리의 남극 장기생태연구 프로그램

- 이태리는 테라노바만에 1986년 하계기지를 건설한 이래 지속적인 연안해양생태계 연구 수행 중
- 연체동물(조개류), 환형동물, 은어와 같은 특정 생물을 대상으로 한 장기 연구 수행한 바 있으며 본 연구팀이 최근 뉴질랜드와 공동연구로 기지 연안에 3국 공동 관측시스템 도입

## 2. 북극 지역을 대상으로 한 연구개발 현황

- 북극 장기생태계모니터링 연구는 알래스카 대학의 'Toolik Field Station'을 기반으로 Brooks Range, North Slope of Alaska에서 이루어지고 있음
- 미국 LTER networks의 26개 연구대상지역 중 하나로 육상생태계, 하천, 호수, 경관생태학 등을 대상으로 연구가 진행되고 있음



<ARC LTER 연구대상지역>

- 1975년에 처음으로 본 연구지역을 대상으로 연구가 진행되었으며 1987년부터 LTER network에 편입되어 현재까지 연구가 진행되고 있고 6~7년을 주기로 연속연구가 진행되고 있으며 현재 5번째 연구(ARC LTER V, 2011~2017)가 진행 중임
- 수계에 관한 연구는 1975년부터 Upper Kugaruk/Toolik lake 지역에서 시작하여 1996년까지 22년 동안 연구 하여 200편의 논문이 발표되었음
- 시내와 호수 생태계의 변화에 대한 단순한 장기 변화 연구로 부터 가장 중요한 결과를 얻을 수 있었음. 1975~1990년 사이 호수 수온이 2도 상승함에 따라 냉수성 어류인 송어의 성장과 생식에 영향을 미치고 호수생태계에 변화를 초래

하였음

- 육상 생태계에 관한 연구는 1970년대에 시작되었으며 특히 툰드라 생태계의 건설과 관련된 교란과 회복을 중점적으로 연구하였음
- ARC LTER의 시기별 주요 연구 주제
  - ARC-LTER I (1987~1992): 툰드라, 하천, 호수 생태계의 장기-단기 변화 연구
  - ARC-LTER II (1992~1998): 툰드라, 하천, 호수의 top-down control, bottom-up control 연구 및 장기 생태계 변동
  - ARC-LTER III (1998~2004): 북극생태계의 특징 (물리적, 생물학적 요인과 기후) 과 향후 전망
  - ARC-LTER IV (2004~2010): 생태계간의 연관성과 상호작용 연구
  - ARC-LTER V (2011~2017): 1) 육상 및 수중생태계의 현 상태와 서로간의 상관 관계 분석을 통한 기후변화 요인 파악, 2) 기후 변화로 인한 생태계 변동양상 파악 => 북극생태계 변화의 전반적 이해
  - ARC-LTER VI (2017~2023): 육상과 담수 생태계의 장기간 모니터링을 통해 기후변화에 따른 이들의 변동양상을 파악하고 군집들의 생지화학적 특성과 군집 간의 연동성을 파악하고자 함. 이를 위해 향후 6년간 모니터링을 진행하여 과거 연구결과와 비교하고 지구온난화가 북극생태계에 미치는 영향, 기후변화에 따라 육상동물 군집이 영향을 받는지, N-P fertilization이 육상생태계에 미치는 영향, 특정 시기에 질소 등의 유기물이 강으로 유입되는 양이 증가하는 것에 관한 연구 등의 다양한 소주제의 연구를 진행할 계획임
- 북극 장기생태연구의 논문 성과

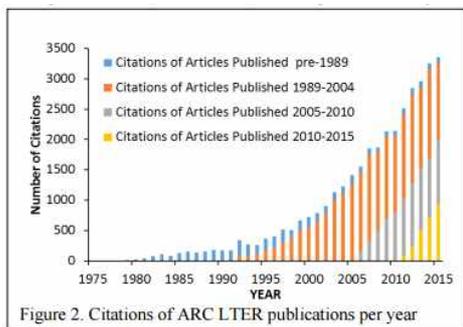


Table 1. Publications since:				
	1975	1989	2005	2010
# Journal Articles Publ.	579	490	266	147
# Articles in Web of Science	528	450	235	235
Sum of Citations	35,485	30,796	10,030	2,498
Citations per article	67.2	68.4	42.7	10.6
h-index of library	101	97	48	48
Books	7	5	4	3
Book Chapters	95	86	40	20
All Theses	116	87	48	29
PhD	35	26	17	8
MS/MA	66	46	19	10
BS	15	15	12	11

<ARC LTER 누적연구결과>

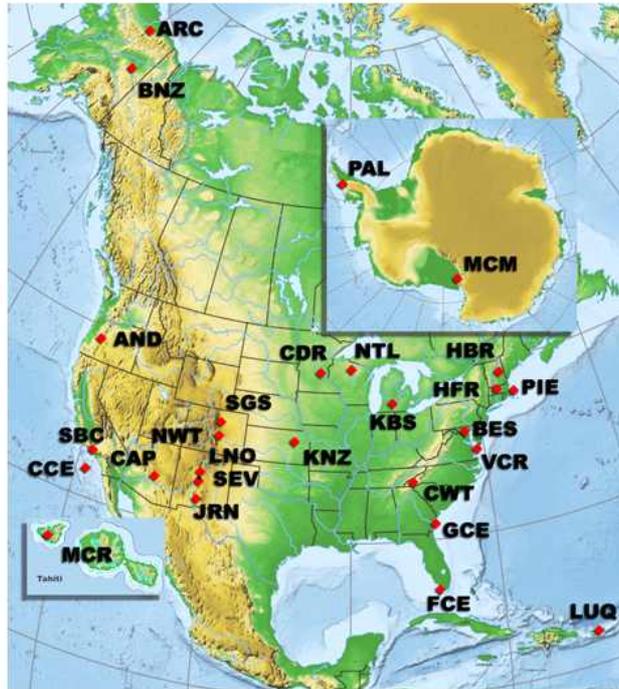
- 북극 장기생태연구의 최근 논문들

- Shaver et al. 2013. Pan Arctic modelling of net ecosystem exchange of CO<sub>2</sub>. Philosophical Transactions of the Royal Society B. 368:20120485
- Gough et al. 2012. Above-and belowground responses of arctic tundra ecosystems to altered soil nutrients and mammalian herbivory. Ecology. 93:1683-1694.
- Sistla et al. 2013. Long-term warming restructures Arctic tundra without changing net soil carbon storage. Nature. 497:615-618.
- Mack et al. 2011. Carbon loss from an unprecedented arctic tundra wildfire. Nature 475:440-443.
- Pearce et al. 2015. Recovery of arctic tundra from thermal erosion disturbance is constrained by nutrient accumulation: a modeling analysis. Ecological Applications. 25:1271-1289.
- Cory et al. 2013. Surface exposure to sunlight stimulates CO<sub>2</sub> release from permafrost soil carbon in the Arctic. PNAS. 110:3429-3434.
- Crump et al. 2012. Microbial diversity in arctic freshwaters is structured by inoculation of microbes from soils. International Society For Microbial Ecology Journal. 6:1629-1639.
- Kendrick and Huryn 2015. Discharge, legacy effects and nutrient availability as determinants of temporal patterns in biofilm metabolism and accrual in an arctic river. Freshwater Biology. 60:2323-2336.
- Daniels et al. 2015. Benthic community metabolism in deep and shallow arctic lakes during 13 years of whole-lake fertilization. Limnology and Oceanography. 60:1604-1618.
- Budy and Lueke 2014. Understanding how lake populations of arctic char are structured and function with special consideration of the potential effects of climate change: a multi-faceted approach. Oceanologia. 176:81-94.

3. 자국 영토를 대상으로 한 연구개발 현황

- 각국의 자국 영토 및 연안 지역을 대상으로 한 장기 환경관측 및 생태연구는 전 지구 기후변화와 연관된 환경변화와 그로 인한 생태계변화를 파악하기 위한 연구와 인위적 영향에 따른 지역별 환경변화와 그에 따른 생태계 반응 및 변화 조사를 통해 환경과 생태계에 미치는 인간활동의 악영향을 최소화하고 보존하기 위한 연구로 구분됨
- 미국의 장기생태연구

- 연방정부기관인 환경청, 해양대기청 (NOAA), 내무부 (FWS, USGS), 과학재단 (National Science Foundation)을 중심으로 다양하게 이루어지고 있는데 전국규모 현장조사, 광역규모현장조사, 지역규모 현장조사 등 세 가지로 구분하여 진행되고 있음
- 전국규모 현장조사
  - 미국 전역을 대상으로 동시에 실시하는 프로그램(Inventory Programs) 위성 관측/비행기관측을 주로 이용
  - 연안·해양의 경우 해양색도, 수온상승에 관한 모니터링(해양대기청 주도)
- 광역규모 현장조사
  - 서식처, 수계, 수질 혹은 생물체 등 다양한 주제에 대해 광역범위에서 주기적으로 실시하는 모니터링
  - 1984년부터 반년 주기로 해양대기청에서 실시하는 국가 상태 및 추세 프로그램(National Status and Trends Program)이 대표적임
- 지역규모 현장조사
  - 관심 사안에 대하여 소규모 지역에서 집중적으로 실시하는 조사로, 전국조사와 광역조사에서 밝혀진 관심 사안에 대한 원인, 현상, 결과, 변화예측 등에 관한 내용을 중점적으로 밝히고자 하는 조사 프로그램
  - 미국 과학 재단 주도로 실시되는 장기 생태 연구 프로그램(Long-Term Ecological Research)이 대표적이며, 조사 자료는 환경청 주도로 해양 대기청, 내무부, 농무부가 공동으로 기존 자료를 종합적으로 검토하여 발간한 ‘국가 연안 상태 보고서(National Coastal Condition Report)’에 잘 요약되어 있음
  - 미국 연안의 수질 및 기타 자원의 효율적인 보전과 이용을 목적으로 시작된 청정 수질 행동 계획(Clean Water Action Plan)의 일환으로 보고서를 발간하고 각 부처별 중점 현장 조사 프로그램의 요약 등을 수록



<미국 LTER 대상지역>

- 영국의 환경변화 네트워크(UK ECN, Environmental Change Network)
  - 생태 수문 연구센터(Centre for Ecology and Hydrology)가 주도하고, 관련 14개 기관들이 공동으로 참여하는 협동연구 조직체. 지구환경 변화 대응과 이에 의한 생태계변화 예측을 위해 1992년 최초로 설립이 추진
  - 영국 Defra(영국 환경 농수산 식품부)는 스코틀랜드 정부, 웨일즈 연합 정부와 영국령 북아일랜드 행정처의 도움을 받아 해양 모니터링의 자료를 통해 Charting Progress를 만들었음
  - 영국정부는 2002년 5월 자국의 해양 환경의 보전, 지속적인 발전, 그리고 여러 가지 해양 환경 위협을 줄이기 위한 정부 계획으로 ‘해양 보호책’을 발표하고 이러한 정책을 평가하고 뒷받침할 만한 과학적 근거로 자국 해양 지역에 대한 종합평가를 수행함
  - 해양지역 종합평가에는 charting progress를 적용하여 현재 관찰되고 있는 여러 가지 해양 환경의 정보와 경향을 나타내어 미래 정책 수립에 기반을 제공하게 됨
  - Charting progress를 적용한 해양지역의 평가보고서는 해양 환경에 대한 인간활동의 정도를 조절하는데 활용되었으며, 해양생물의 다양성 유지와 건강한 해양환경 보존을 위한 활동으로 이어짐

- Charting progress는 4단계로 구성됨

- 1단계에서는 각 분야별 조사가 이루어지는데, 해양 수질 환경(Marine Environment Quality -MEQ), 해양 변화와 기후((Marine Processes and Climate -MPC), 해양 생물의 서식지와 다양한 생물 종(Marine Habitats and Species-MHS), 해양어업과 수산업(Marine Fish and Fisheries-MFF)의 4가지 분야로 나누어 조사가 이뤄짐
- 2단계에서는 영국 해양을 생물 지리학적으로 8개 권역으로 나누어 각 지역을 조사하여 그 결과를 종합하여 보고서 작성
- 3단계에서는 종합적인 검토가 이루어지는데, 각 분야의 모든 전문가들에 의해 각각의 조사 분야와 종합지역평가를 검토 받음
- 4단계에서는 최종 보고서를 Charting Progress를 통해서 얻은 모든 조사 내용과 검토 내용을 간략하고 이해하게 쉽게 작성

<Charting progress 과정- 2단계>

Table 5.1: Main Issues for each region\*

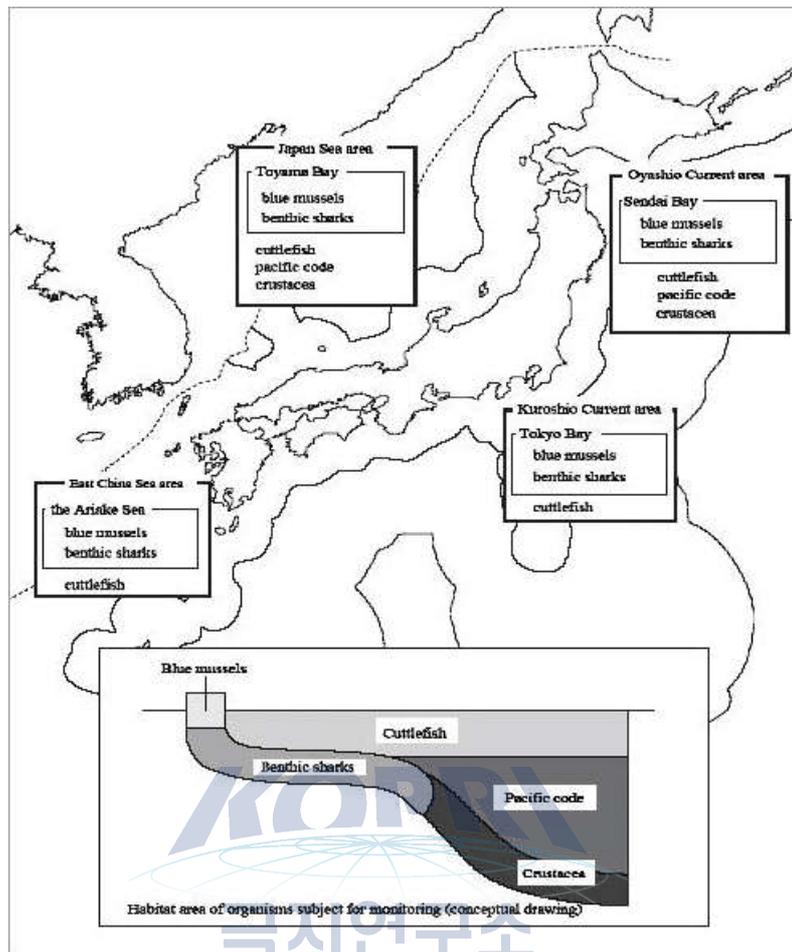
Region	1. North Sea	2. Southern North Sea	3. Eastern English Channel	4. Channel and Approaches	5. Irish Sea	6. Western Scotland	7. Scottish Continental	8. Scottish Offshore
Climate Impacts	■	■	■	■	■	■	■	■
Fisheries	■	■	■	■	■	■	■	■
Nutrients		Coastal ■	■	■	■			
Microbiological Contaminants				■	■			
Hazardous Substances		■		■	■			
All oil Industry	■	■	■	■	■			
Radioactivity				■	■			
Construction	■	■	■	■	■			
Dredging		■	■	■	■			
Sedimentary and Coastal Erosion	■	■	■	■	■			
Litter			■	■	■		■	

\* See also Map (Figure 5.2).

■ Considered important issue per region

○ 일본의 장기 생태계 연구

- 일본은 국가적 차원에서 ILTER에 아직은 가입하고 있지않지만 국내외적으로 110여 개에 달하는 장기생태연구 조사지역을 확보하는 등 장기생태연구에 관한 전 세계 그 어떤 나라들보다 많은 자료를 확보하고 또 많은 노력을 기울이고 있음
- 일본에서의 장기생태연구 체제의 근간은 1970년대 초반에 확립된 국제생물권 연구 프로그램(IBP; International Biosphere Program)으로, IBP는 이후 IGBP로 확대되었음
- 최근 지구환경생태와 미래 환경에 관한 기초연구를 위하여 생태학 등 자연과학과 사회학, 인류학 등 인문과학을 접목시킨 학제적 연구단과 종합지구환경연구소를 설립하고, '국가생태연구원'의 설립을 계획하고 있음
- 해양생태계조사와 관련하여 1972년부터 동해를 가로지르는 PM line에 대한 현장 관측을 일본기상청 주관으로 현재까지 약 30년 이상 1년에 4회에 걸쳐 실시하고 있음
- PM line에서의 기본 조사항목은 물리화학적인 요인(수온, 염분, 용존산소, pH, 인산염, 질산염, 아질산염, 엽록소 a), 식물플랑크톤(규조류의 세포수 및 종조성), 동물플랑크톤(습중량, 모악류의 종조성, 중요 동물플랑크톤의 조성, 요각류의 종조성 및 크기)임
- 특히 NAGIA(National Geography in Shore Area) 프로그램은 저서동물의 분포를 다양성 차원에서 접근하여, 표준화된 조사방법을 각각의 연구자가 엄격히 준수하게 하여 각 연안역의 저서동물을 비교-모니터링하는 프로그램임
- 또한 그림에서와 같이 아리아케해, 토야마만, 도쿄만, 센다이만 4개 해역 대상으로 3-5년 주기로 해양환경모니터링 조사 하고 있으며, 전국적 생물 조사보다는 오염 의심해역의 생체내 오염도 조사와 지표 생물종 체내 축적 오염물질 조사에 초점을 맞추고 있음



<일본의 해양생물 서식지 환경조사>

○ 중국의 생태계 연구 네트워크(CERN)

- 중국 생태계연구 네트워크(CERN)라는 조직을 자체적으로 구성해서 국가 주도로 고유한 기초생태계 연구를 추진하고 있음. CERN은 중국과학원(Chinese Academy of Science, CAS)과 세계은행(World Bank), 중국 정부에서 25백만달러(약 300억원)를 지원 받아 1988년에 설립되었음
- 중국과학원은 전체 100여 개에 달하는 야외 조사지소들 중에서 농경지, 산림, 초원, 호수, 연안 등 중국을 대표할 수 있는 생태계들을 중심으로 13개의 농업지소, 9개의 산림지소, 2개의 초원, 5개의 호수/연안, 3개의 사막, 1개의 습지생태계가 포함된 33개의 장기생태연구 대상지역을 선정하였음
- 한편, 각 대상지역들에서 수집된 자료의 관리와 연구원들의 교육을 위해서 5개의 교육센터(수문, 토양, 기후, 생물 및 수서생태계)와 1개의 통합센터(Synthesis Center)를 운영하고 있음

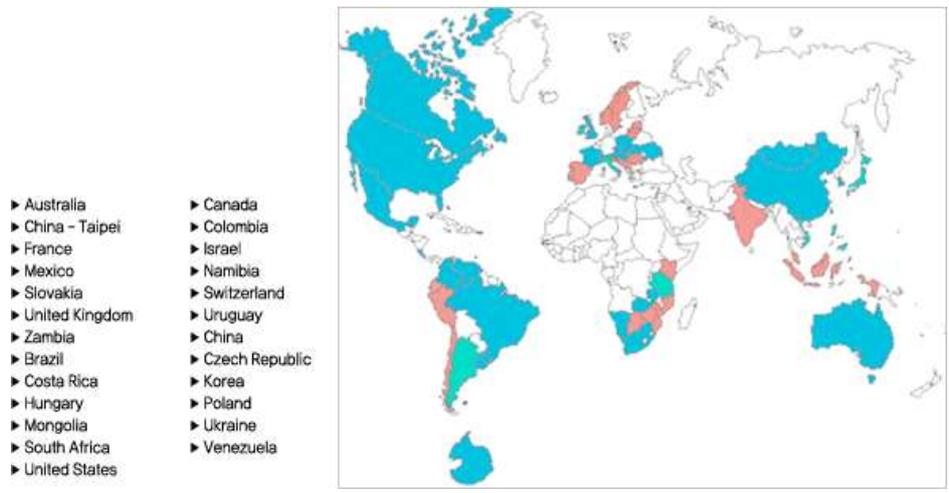
- 북경의 통합 생태연구센터는 야외조사지소에서 수집되어 오는 모든 생태자료를 슈퍼컴퓨터에 의하여 통합 관리-분석하고, 중국과학원 뿐 아니라 ILTER에도 제공하고 있음



<중국 생태계연구 네트워크의  
야외조사지도(출처:<http://www.cern.ac.cn>)>

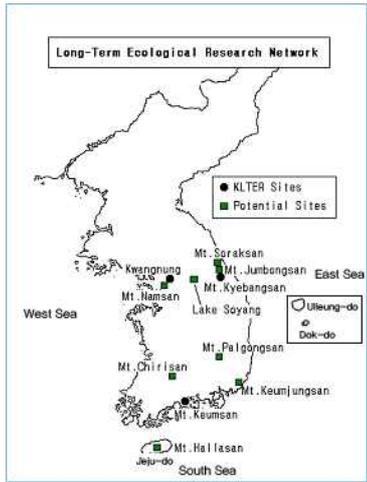
#### 4. 국제 장기생태연구(ILTER)

- 미국에서 성공적으로 수행된 LTER은 전 세계의 주목을 받았고, 1993년에는 25개국의 유사한 연구 프로그램들이 연대-참여하는 국제 장기 생태연구(ILTER) 네트워크를 구축하게 되었고 현재까지 5개 대륙 38개국이 활동 중임
- ILTER의 임무는 변화하는 사회적 요구에 따라 지구적 차원의 환경변화에 대한 이해를 돕기 위해 연구 거점을 근거로 한 장기생태연구를 수행하면서, 장기적으로 생산된 연구거점의 생태계정보를 체계화하는 방법을 개발하고 그 데이터를 관리보유하는 것임
- 특히 국제적 차원에서 요구되는 생태적-사회경제적인 문제해결에 부응하기 위해 각 국가의 연구거점을 중심으로 공동연구를 추진하고 있으며 생산된 데이터를 근거로 상호비교연구를 수행하고 있음
- 지구적 차원에서 진행되는 환경변화, 기후변화에 따른 생태계의 효용(Ecosystem Services)과 생태계구조와 기능의 변화, 그리고 그에 따른 사람들의 행태변화 간의 상호관계에 대한 ILTER의 연구가 수행되고 있음
- 이 국제 네트워크는 다음과 같은 목적을 가지고 추진되고 있음
  - 국가와 지역을 초월해 장기 생태계 변화를 이해하는 연구 활동의 격려와 지원
  - 각 연구 장소의 생태변화를 상호 비교-분석하고 관련 정보를 통합
  - 전공과 국적, 연구 장소 등을 초월한 참여자간 상호교류 촉진
  - 생태계 관찰정보와 실험 결과의 상호비교, 연구와 모니터링 자료의 통합-교류 촉진
  - 장기생태연구와 관련된 분야에 대한 교육 훈련
  - 효율적 생태계 관리를 위한 과학적 근거 확보
  - 지역 LTER 프로그램간 국제협력 촉진
  - LTER 프로그램이 없는 나라와 지역들에 대해 LTER이 시작될 수 있도록 지원



<ILTER 네트워크의 정식 가입 국가>

- 우리나라는 1997년에 LTER 위원회가 설립되었고, 경기도 광릉수목원, 강원도 계방산, 남해 금산을 공식적인 LTER 대상지역으로 선정하였음
- 이 외에 강원도 소양강, 백두대간 점봉산, 제주도 한라산 등 3개 지역이 추가 대상지역으로 제안되었고, 소백산맥의 지리산, 태백산맥의 설악산, 서울의 남산, DMZ 지역 등이 추가될 것으로 보이며, 이 밖에도 환경부가 지정하고 있는 생태계 보전지역(낙동강 하구, 지리산, 대암산, 창녕우포늪, 울산무제강 수달서식지 등)도 잠재적인 LTER 대상지역으로 고려되고 있음



<우리나라의 잠재적 ILTER 대상 지역>

## 제 2 절 국내 연구개발 현황

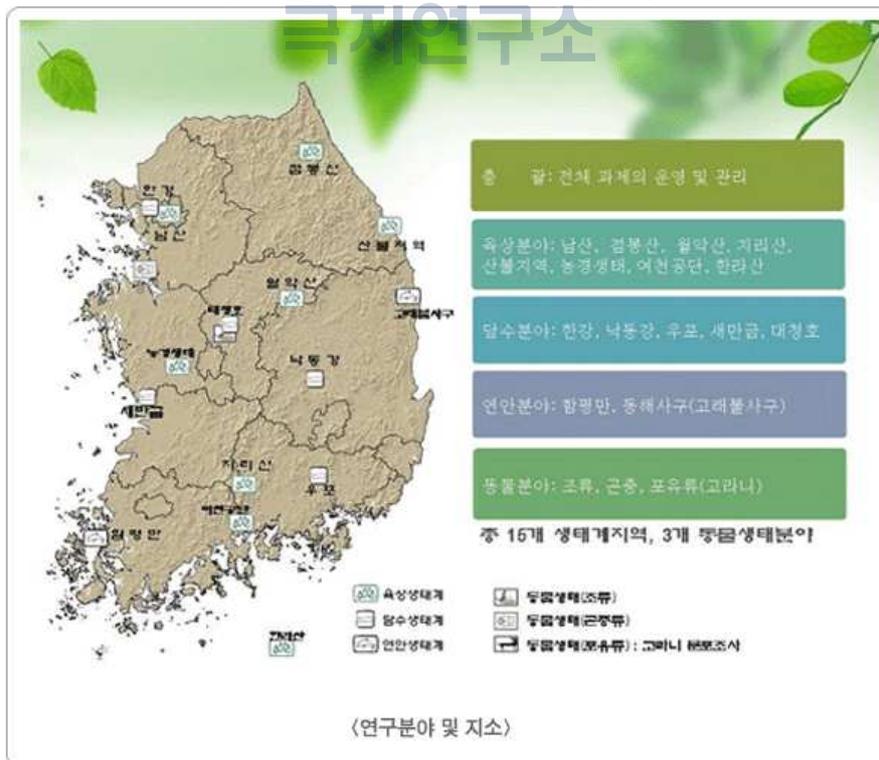
### ○ 남극 킹조지섬 장기 생태계 연구

- 1단계 연구(2014~2016)를 통해 킹조지섬의 생물다양성 및 생태계 구성요소에 대한 기초연구자료 확보, 생태계 변화 장기모니터링 셋업, 킹조지섬 서식 생물의 진화적 기원 규명, 생태계 연구 기반기술 개발 수행
- 주요 결과로 지형적 특성과 기후가 동시에 작용하여 형성하는 미기후는 선대류, 지의류, 무척추동물, 미생물 등 육상생태계를 구성하고 있는 생물분포를 결정하는데 중요한 작용을 함을 규명함. 미세지형이 선대류, 지의류를 포함한 생물분포에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Digital elevation model을 이용하여 고도, 경사, 사면 등의 기본정보 분석 수행하여 고해상도의 지형자료 및 식생분포를 분석하기 위하여 드론을 이용한 이미지 자료 확보
- 바톤반도 전역에 걸쳐 지표면 기온과 동토 활동층에 대한 연중 온도변화 관측을 수행하고 지온 데이터 분석결과 고도에 의한 영향을 크게 받으며 위치에 따라 활동층의 깊이가 서로 다를 것을 밝혀 토양에서 발생하는 유기물의 전환이나 각종 미생물의 활성 연구에 기초자료로 활용
- 바톤반도의 식생분포도를 완성하고 식생의 구조를 밝힘. 바톤반도의 식생은 주로 암석으로 지표면이 구성되어 있으며, 경사가 크고 토양형성이 빈약하여 수분이 적은 내륙부에는 *Usnea*, *Himantormia* 등이 주요 식생을 구성하고 있으며, 경사가 완만하여 토양형성이 비교적 잘 발달하여 수분보유가 많은 연안지역에는 선대류와 *Cladonia*, *Psoroma* 등 이끼 위에 주로 서식하는 지의류의 밀도가 높고 다양하게 발달하고 있음
- 장기모니터링을 위하여 지형, 온도, 식생분포, 미생물군집 등의 데이터를 바탕으로 서로 다른 특성을 가진 지점을 선정하여 장기모니터링 셋업하고 기온, 상대습도, 광량, 지온, 토양함수율 등의 기후자료를 연속관측하고, 매년 정기적으로 미생물군집의 변화 모니터링
- 식생밀도와 분포변화는 3-5년 간격으로 조사할 계획이며, 원격탐사 방법을 이용하여 생물반응 관측예정
- 미생물다양성 정보 분석을 위한 염기서열 전처리, 오류염기서열 구분, 클러스터링, 동정용 표준 염기서열 데이터베이스, 통계분석 등 전 단계에 걸쳐 정확성을

향상시킨 생물정보 처리기술 개발

○ 국가장기생태계연구사업(Korea-LTER)

- 환경부는 기후변화 및 환경오염에 따른 생태계의 구조와 기능의 변화현상을 지역별로 중장기적으로 조사연구하여 장기적인 환경변화에 대한 생태계 반응을 예측하고 대응할 목적으로 국가장기생태계연구 사업을 수행 중임
- 본 사업은 10년간 3단계(3년+3년+4년)로 추진되며 1단계 사업은 2004년 12월부터 2007년 3월까지 육상생태분야 5개, 담수생태분야 3개, 연안생태분야 1개 동물생태분야 동물 1종 등 10개 분야를 대상으로 기초 생태연구를 수행하고 장기모니터링 기반 및 향후 생태계의 변화 추이 파악을 위한 연구체제를 구축
- 2단계사업('07.04~'09.12)은 육상생태분야 8개, 담수생태분야 5개, 연안생태분야 2개 등 15개 생태계 지역 및 동물생태분야 등을 대상으로 장기모니터링, 기후변화에 따른 생태계 변화 양상 및 향후 생태계의 변화 추이 파악을 위한 연구 수행
- 3단계 사업이 완료되는 2013년에는 모니터링 결과를 축적하여 기후변화 및 환경오염과 생태계 변화와의 상관관계를 규명하고자 함. 2013년 최종보고서가 발간됨



<우리나라의 장기생태모니터링 지소 및 연구분야>

○ 정선 해양 관측

- 국립수산과학원은 1960년대 이래 현재까지 정기적으로 수행해 오고 있으며 최근에는 4계절 관측 진행. 수온, 염분, 수색, 투명도, 가상, DO, 영양염류(N, P, Si), Chl-a, 식물-동물플랑크톤 관측



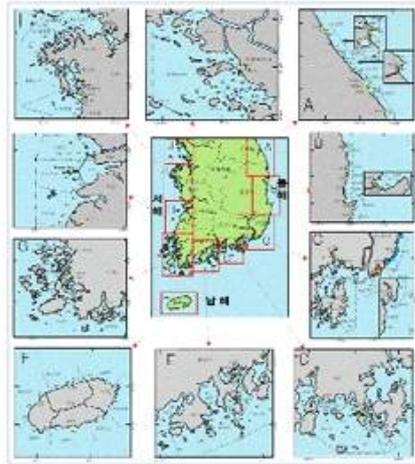
<우리나라 해양 관측 정선들>      <연안 정지 관측 대상지역>

○ 연안 정지 관측 조사 사업

- 1930년 이래 국립수산과학원이 지속적으로 수행하고 있으며, 조사항목으로는 수온, 염분을 포함한 약 10개의 항목 관측

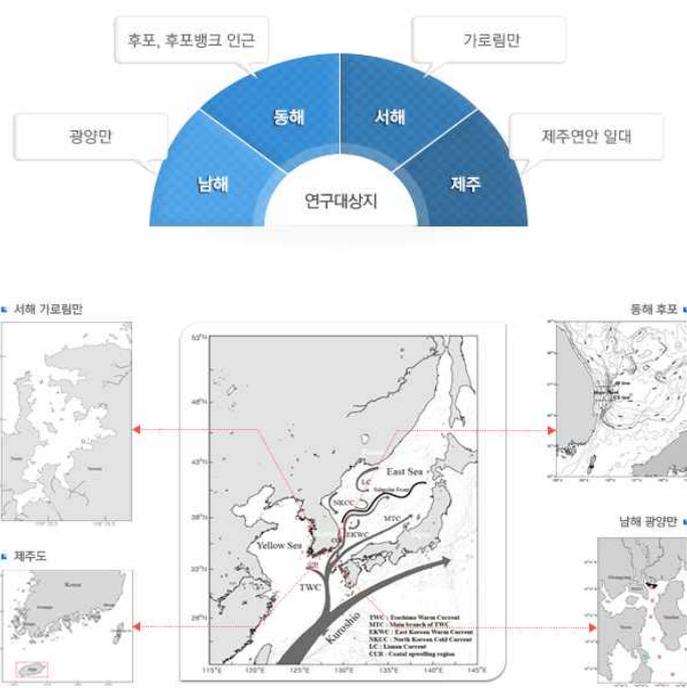
○ 국가해양환경 관측망

- 해양오염 모니터링을 목적으로 해수일반항목(수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(3), TP, DIP, SiO<sub>2</sub>, 유분, SS, 투명도), 해수 특정항목(Cu, Pb, Zn, Cd, Cr<sup>6+</sup>, 총수은, As, Cn, PCBs의 10개), 해양생물 일반항목(클로로필a, 식물·동물 플랑크톤), 해양생물 특정항목(Cu, Pb, Zn, Cd, Cr<sup>6+</sup>, 총수은, As, PCBs의 3개), 퇴적물 일반항목(입도, 강열감량, 황화물, COD), 퇴적물 특정항목(Cu, Pb, Zn, Cd, Cr<sup>6+</sup>, 총수은, As, PCBs의 3개)을 조사하고 있음



<국가해양환경 관측망 대상 지역>

- 장기해양생태계 연구: 환경변화와 생태계 반응
  - 해양수산부는 2011년부터 2021년까지 (10년간) 3년, 3년, 4년간 3단계로 나누어 400억원의 예산을 투입하여 기후변화 및 환경변화로 인한 해양생태계의 장기변동을 파악하고 그 영향을 이해하기 위한 광범위한 영역에 걸친 장기 해양생태조사, 연구, 모니터링 연구 수행
  - 최종 연구 목표는 전지구적 기후변화와 연안 해양생태계의 장기적인 변화를 파악하여 미래의 변화를 예측하여 국가적 차원의 대책을 수립하는 것임
  - 연구내용으로 해양물리화학적 환경 요인과 개체군 생리생태, 생물다양성 변동, 먹이망 변동 역학 등에 대한 모니터링, 물질순환 budget연구를 통해 먹이망 내에서의 물질 흐름 패턴과 생태계 내에서의 물질순환 과정 파악을 포함
  - 한반도 해양환경변화에 대응한 생태계의 물질순환 패턴 변화를 이해함으로써 해양생태계의 장기 변동성을 이해하고자 함



<장기해양생태연구 대상지역>

○ 국가 해양생태계 종합조사

- 해양관리공단은 우리나라 해양생태계의 장·단기 변동 특성을 체계적이고 종합적으로 파악하고 건강한 해양생태계 보전 전략 수립 및 시행과 해양공간관리에 활용할 수 있는 기초자료 제공 및 과학적인 정책지원을 위하여 사업 수행



<해양생태계 종합조사사업의 목표>

- 기본조사로는 우리나라를 서해·남해서부해역, 남해동부·동해·제주해역의 2개 권역으로 구분하고 2년 주기로 조사
- 핵심 공간 조사 지역으로 하구지역, 한류·난류 교차지역, 기후변화 취약지역, 우수 수중생태계 지역, 사회적 이슈 및 국민 인지도 높은 지역 등 모니터링 중요 지역을 선정하여 매년 조사 실시

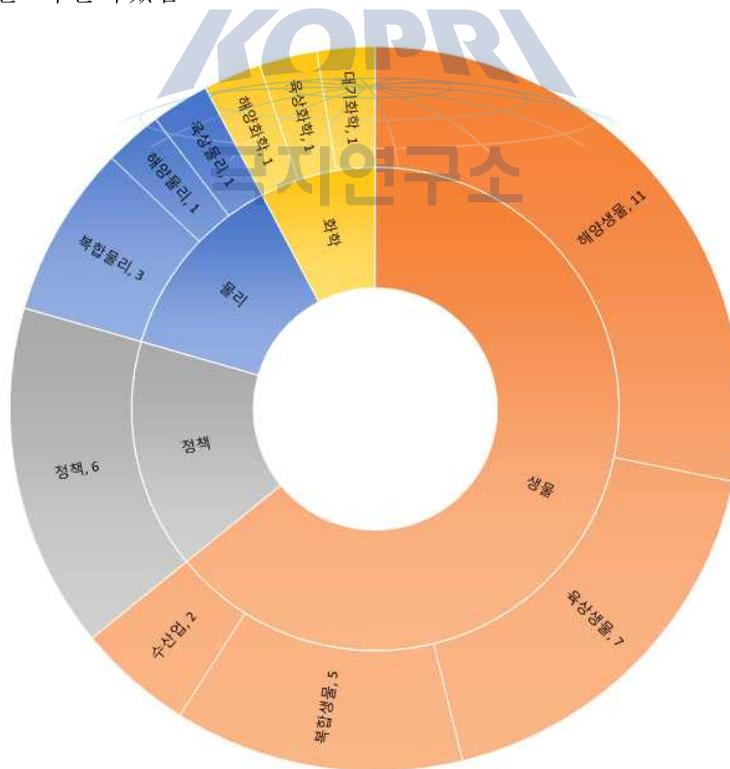
### 제 3 절 장기생태연구 동향 분석

#### 1. 분석 방법

앞서 기술한 항목을 통해 장기생태관련 학술논문 출판현황을 조사하였으며, 최근 5년간, 그리고 직접적으로 장기생태연구를 통해 출판된 학술지를 반영하였으며 해당 결과를 주제별, 국가별, 연도별, 학술지별, 연구기관별, 그리고 저자별로 구분하였다.

#### 2. 연구 동향

- 논문의 주제를 크게 생물, 화학, 물리 그리고 정책으로 구분하면 생물이 25편으로 전체의 64%를 차지해 가장 비중이 높았고 생물 범주 내에는 해양생물 관련 논문이 11편 출판되어 대부분을 차지하였으며, 육상생물이 7편, 정책연구가 6편 출판된 것을 확인하였음



<주제별 장기생태 관련논문 출판현황>

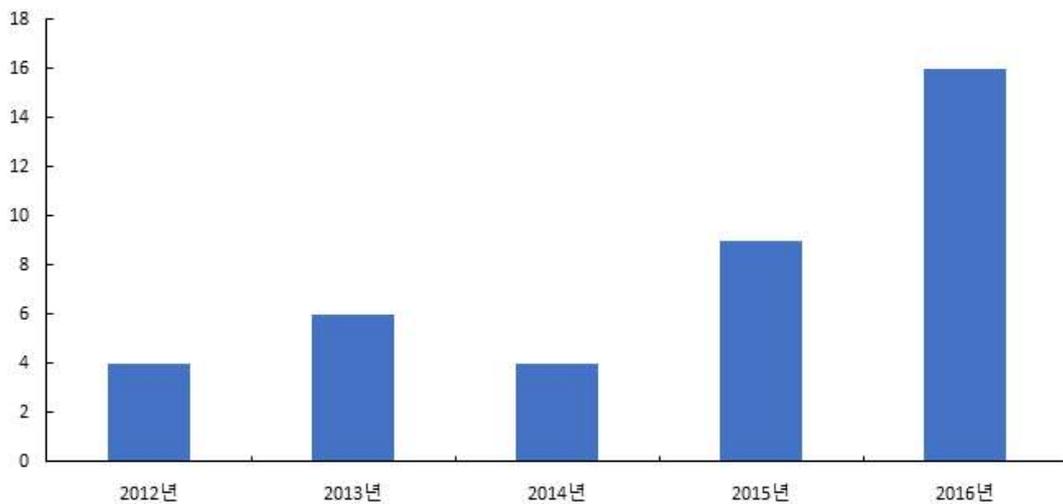
- 국가별로는 미국이 22편의 장기생태연구 관련 학술논문을 출판하여 전체의 56%를 차지하고 일본 3편, 캐나다, 프랑스, 독일이 각각 2건의 학술논문을 발표한

것으로 분석되었음

- 연도별로 구분하면 출판건수가 점차 증가하였는데 최근 5년을 기준으로 2012년에 4건의 학술논문이 출판되었고 2016년에 16건이 출판되어 이 기간 동안 400%가 증가한 것으로 확인되었음



<국가별 장기생태 관련논문 출판현황>



<최근 5년간 연도별 장기생태 관련논문 출판현황>

### 3. 시사점 및 전망

- 장기생태연구의 성격상 연구 수행과정에서 발견된 새로운 종에 대한 논문을 포함한 종 다양성관련 연구결과가 다수 있는 경우에도 키워드의 성격상 조사대상에서 누락되어 논문 출판 결과가 과소평가된 경향이 있음
- 각국은 다양한 지표와 기준 및 방법에 따라 환경 관측과 생태계 관측을 진행하고 있으며, 공통되는 관측항목에 대한 자료 공유로 전지구 기후변화의 해석을 위한 자료로 활용되고 있음
- 환경과 연관된 생태계변화 연구는 국가별 상황에 따라 통합되거나 변형, 발전되고 있으나 장기적으로 지속되고, 산출 결과를 환경 보존 정책 수립 등에 활용하고 있음
- 남극지역에서의 장기생태계 연구는 각국의 기지를 기반으로 다학제적인 프로그램을 개발하여 지속적으로 진행하고 있으며 프로그램의 주기적인 개선과 업데이트를 통해 보완하고 있음
- 장기생태계 연구는 지역특성에 맞는 항목의 선정이 필요하지만 광역적인 해석을 위한 자료 공유를 위한 관측 방법 등의 표준화가 필수적인 것으로 보임. 특히 지역특성상 하나의 국가프로그램으로 감당하기 어려운 남극 지역의 경우 연구 네트워크의 구성과 연구자원 및 자료 공유가 필수적이라 판단됨
- 최근 남극 대륙 테라노바만 연안에 월동 연구기지를 완공하고 국제적 연구 인프라를 확충한 우리 연구소의 연구 역량으로 볼 때, 30년 전부터 기지를 운영하고 있는 이태리의 연구를 단기간에 추월할 수 있을 것으로 판단되며, 지속적이고 집중적인 연구프로그램이 운영된다면 테라노바만 지역의 장기생태연구의 주도권을 확보할 수 있을 것으로 전망됨

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 도출된 연구과제의 목표

본 연구는 남극 장보고과학기지를 기반으로 한 장기생태연구의 최종목표 설정과 이를 달성하기 위한 세부 연구 목표를 도출하기 위한 기획과제로 과제 수행결과 도출된 결과는 다음과 같다.

#### 1. 연구과제의 최종 목표

남극 장보고과학기지 기반 남극대륙 연안지역 장기 생태 관측 platform을 구축하여 남극 환경변화가 극지 생물에 미치는 영향과 복원력을 예측하고자 함

#### 2. 연구과제의 세부 목표

- 세부 목표 1. 한·뉴·이태리 3국 공동 관측 platform 구축
  - 각 관측점별 관측 항목 설정 및 표준화된 관측방법 확정
  - 연구 인력 교류 및 공동 현장 활동을 통한 현장 관측 표준화
  - Open Database 공동 구축 및 자료의 공동해석, 활용
  - 관측점의 환경차에 따른 기후변화 영향 패턴 비교 분석 및 방향성 예측
- 세부 목표 2. 육상·연안 해양생물 군집 구조 및 주요 개체군 변동 모델 개발
  - 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 다양성 변동 조사
  - 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 구조 파악
  - 육상·연안 해양생물 개체군 변동 조사 및 변동 예측 모델 개발
- 세부 목표 3. 환경변화에 따른 연안해양생태 구성원들의 반응과 복원력 연구
  - 환경변화 (담수 유입, 해양 산성화, 오염원 유입 등)에 따른 연안 생물종의 손실 산출
  - 환경변화에 따른 연안해양생물의 생리생태적 변동 및 군집 동태 분석
  - 환경 교란에 반응하는 연안해양생물의 탄성력 및 회복 능력의 시·공간적 패턴 분석 및 천이 모델 개발
  - 생물종 손실과 종 유입으로 인한 저서 생산성 손익 산출

## 제 2 절 도출된 연구과제의 연구 내용 및 범위

### 1. 한·뉴·이태리 3국 공동 관측 platform 구축

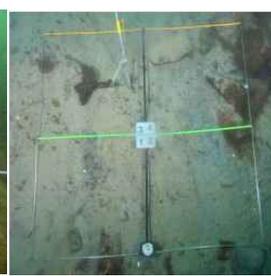
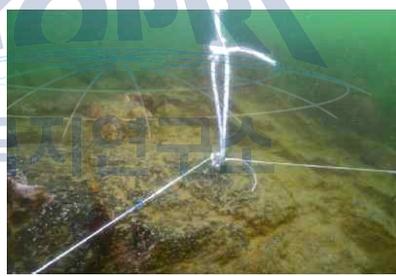
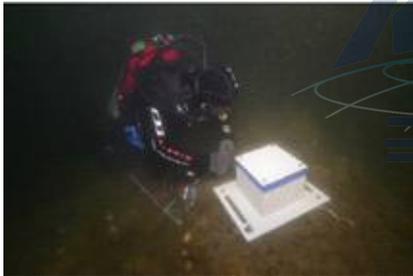
- 각 관측점별 관측 항목 설정 및 표준화된 관측방법 확정
  - 연안해양 환경 관측 및 생태계 조사 방법 표준화



<수온센서 및 염분측정시스템>

<Chl-a 측정을 위한 바이오로거>

- 저서생물 천이 및 군집구조 분석 방법 표준화

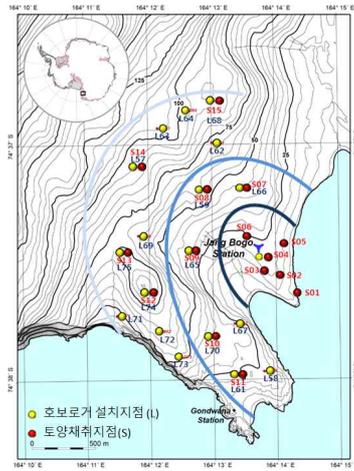


<표준화된 수중부착관 (ARMS)>

<Transect line 설치 및 생태 조사 방형구>

- 2015/2016년 장보고 기지를 연구 거점으로 삼고 기지 앞 연안 수심에 이태리연구팀이 개발한 ARMS(Artificial reefs matrix structure)와 뉴질랜드에서 보완, 제작한 YSI6600v2을 설치하였으며 이태리 기지, 뉴질랜드 기지와 동시에 3년 동안 포괄적이고 지속적인 로스해 연안 환경 조사를 수행할 예정임

- 육상 환경 관측: 기온, 상대습도, 지온, 토양습도, PAR 장기 관측 수행



<19개 장기관측점 및 15개 시료 채취 사이트>



<모니터링 지점 환경자료 모니터링 시스템>

○ 연구 인력 교류 및 공동 현장 활동을 통한 현장 관측 표준화

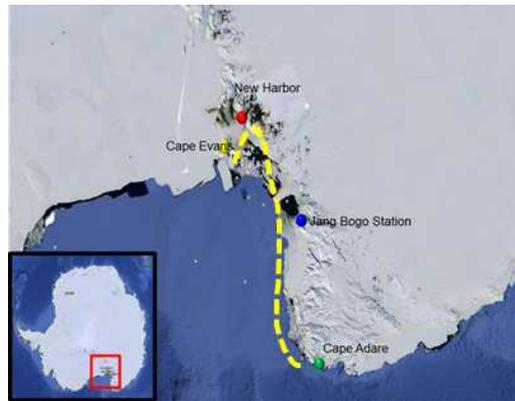


<장보고기지 연안 해빙에서 뉴질랜드 연구자 및 다이버와 공동 현장조사 수행>

○ Open Database 공동 구축 및 자료의 공동해석, 활용

- 우리나라, 뉴질랜드, 이태리가 공동 개발하고 있는 남극 연안 및 육상 관측 시스템의 Database에 자료 등록 및 공동 활용 예정

○ 관측점의 환경차에 따른 기후변화 영향 패턴 비교 분석 및 방향성 예측



<남극 대륙 로스해 연안의 장기  
관측점들>

## 2. 육상 및 연안 해양생물 군집 구조 및 주요 개체군 변동 모델 개발

- 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 다양성 변동 조사
- 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 구조 파악
  - 대상 해역에서 조간대부터 조하대까지 transect line을 설치하여 매 2-5m마다 방형구 내 해양생물을 카메라를 이용해 촬영
  - 촬영된 영상은 이미지 프로그램을 통해 대상 생물의 밀도와 피도를 측정하고, Primer program을 이용하여 집괴분석(cluster analysis)과 다차원배열분석(MDS analysis)을 수행
  - 다양한 생태 지수인 다양도 지수  $H'$  (Shannon and Weaver, 1949), 풍부도 지수  $R$  (Margalef, 1958), 우점도 지수  $D$  (Simpson, 1949) 및 균등도 지수  $J$  (Pielou, 1977)를 평가

$$H' = -\sum P_i \times \log P_i$$

$$R = \frac{S-1}{\ln(N)}$$

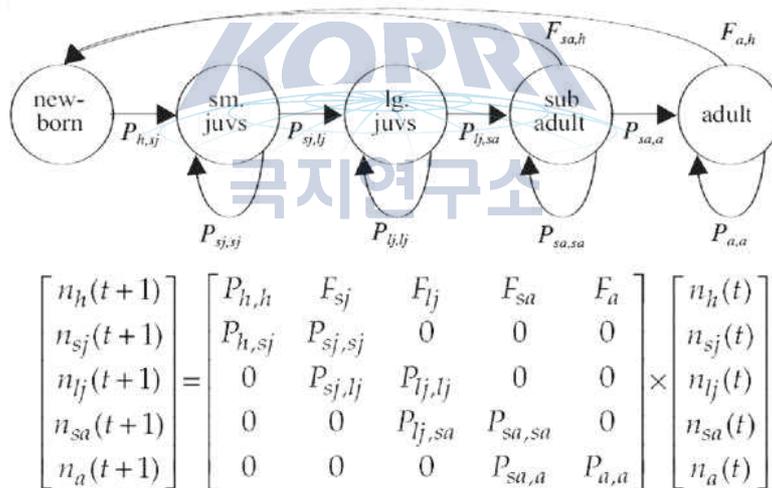
$$D = \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

$$J = \frac{H'}{\log S}$$

$S$  : 총 출현종수,  $P_i$  : 전체 개체수( $N$ )에서  $i$ 번째 종이 차지하는 비율( $n_i/N$ ),  
 $n_i$  :  $i$ 번째 종의 개체수,  $N$  : 총 개체수

○ 육상 및 연안 해양생물 개체군 변동 조사 및 변동 예측 모델 개발

- 개체군 성장 이론에서 예측 모델은 Leslie 행렬 모델을 기초로 함. Leslie 행렬 모델은 연령에 따른 생존율과 생식력을 통해 특정 시간 이 후의 개체군 크기를 예상할 수 있음. 또한, 생활사의 어느 단계가 가장 취약한지를 판별하여 보전 전략을 수립하는데 필요한 자료를 제공할 수 있음
- 개체군 변동 예측 모델 수립을 위한 대상 종에 따라 연령을 기반으로 하는 Leslie 행렬 모델과 생활사 단계 또는 크기를 기반으로 하는 Lefkovitch 행렬 모델 중 선택. 예를 들어, 아래 그림에서  $P$ 는 생활사 단계 또는 크기 범주로 이동하거나 생존하는 개체 수,  $F$ 는 생식세포 즉, 방출되는 유주자의 수. 각 범주의 개체수,  $P$ 와  $F$ 의 조합을 통해 다음 세대의 개체군 크기를 예측
- 행렬 모델의 민감도와 탄력성은 행렬 모델 계산 결과에서 나오는 고유값 (eigen-value)을 통해 검증하며 elasticity와 sensitivity test를 거쳐 행렬 모델을 수정 및 확정하게 됨

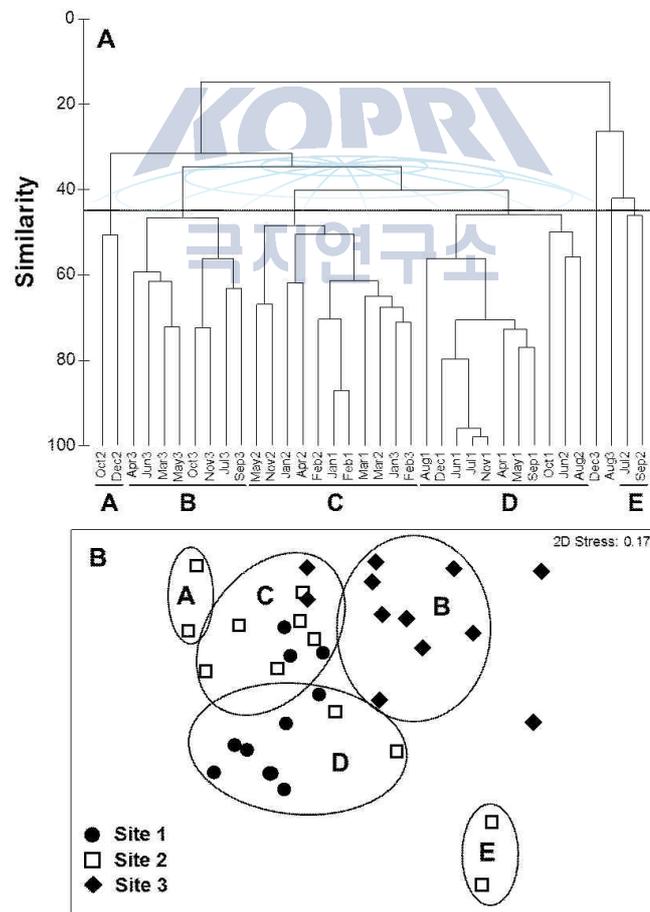


<감태 개체군 변동 예측 모델 수립을 위한 Lefkovitch 행렬 모델의 예>

3. 환경변화에 따른 연안해양생태 구성원들의 반응과 복원력 연구

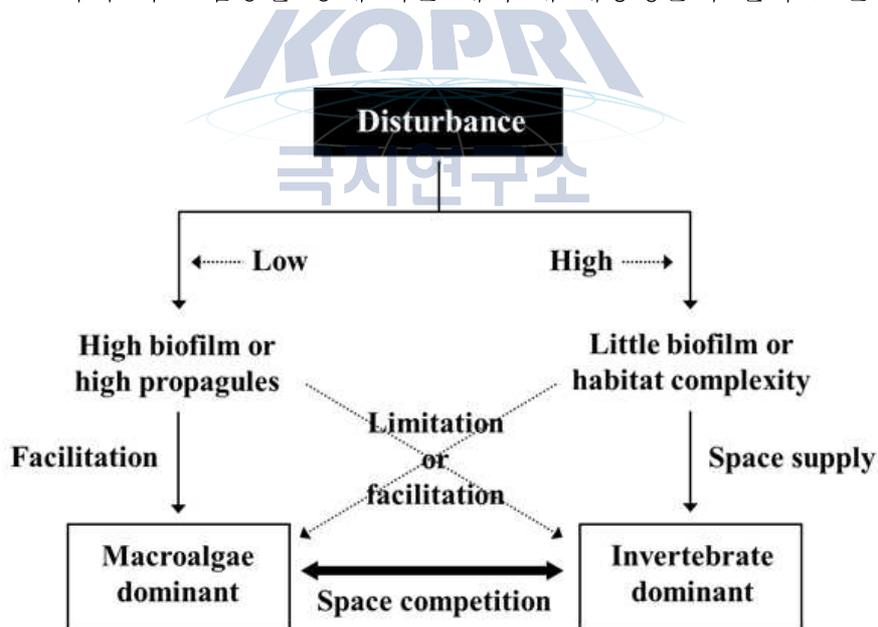
- 환경변화 (담수 유입, 해양 산성화, 오염원 유입 등)에 따른 연안 생물종의 손실 산출
  - 연안해양 생물다양성 자료 확보 및 환경변화와 연관된 분포 중 변화 조사
  - 생태계 구성요소로서의 중손실은 생태계 변화의 주요 요인으로 작용함(Hooper et al 2012)

- 생물종 손실과 종 유입으로 인한 저서 생산성 손익 산출
  - 1차 생산자의 구성종의 변동 시 종별 생산력 비교를 통한 생산성 손익 산출
- 환경변화에 따른 연안해양생물의 생리생태적 변동 및 군집 동태 분석
  - 해양생물 군집 구조가 인위적인 교란 현상을 접근할 수 있는 좋은 지표임을 감안하여 장보고기지 운영으로 인한 인위적 영향이 해양생물에 미치는 영향을 파악하기 위해서 기지와 밀접한 해역과 청정해역에 속한 조사해역에서 해양생물 군집 구조를 파악함
  - 이러한 자료를 토대로 집괴분석(cluster analysis)과 다차원배열분석(MDS analysis)을 수행하여, 군집 구조의 동태를 통한 오배수의 영향을 평가함
  - 또한 오배수가 주요 해양생물의 조직에 미치는 영향을 파악하기 위해서 조직 내 질소 함량 및 질소안정동위원소를 조사 수행



<오배수에 의한 해양생물 군집 구조의 변동 양상 분석 예>

- 환경 교란에 반응하는 연안해양생물의 탄성력 및 회복 능력의 시·공간적 패턴 분석 및 천이 모델 개발
  - 주요 교란현상이 발생하는 시기를 고려하여 설정. 조간대 생태계가 잘 발달되어 있는 정점에 각 실험군 별로 0.5 × 0.5 m 크기의 방형구를 각각 6개씩 설치하고 해양생물의 밀도와 피도를 측정 후 방형구 내의 모든 생물을 제거함
  - 제거된 생물은 60℃ 건조기에서 건조시킨 후 생체량과 크기를 측정하고, 같은 크기와 같은 개수의 방형구를 대조구로서 설치하여 모니터링 진행
  - 또한, 조위에 따른 교란 현상 후 탄성력 및 회복 양상을 파악하기 위해 조간대 조위에 따라 동일한 방법으로 인위적 교란실험 실시
  - 교란 현상에 대한 탄성력 및 회복 양상에 대한 분석은 동일한 실험구를 반복적으로 측정하는 반복측정분산분석(Repeated Measured ANOVA)을 통해 교란의 시·공간적 영향을 분석하며, 해양 생물의 회복 능력 평가
  - 기존에 제시된 천이 모델 - 촉진 모델, 억제 모델, 내성 모델, 무작위적 군집 형성 - 과의 비교 검증을 통해 이들 해역 내 해양생물의 천이 모델 제시

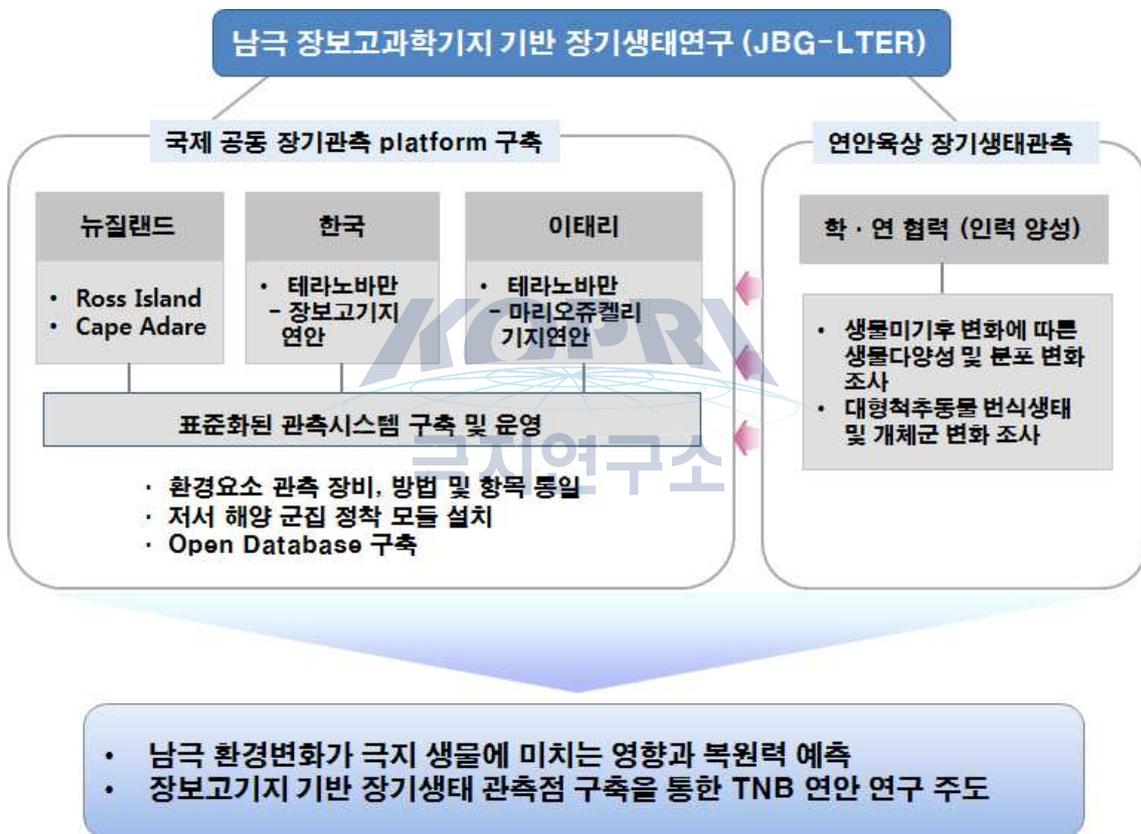


<교란 시기와 강도에 따른 연안생태계의 회복 양상에 대한 모식도>

### 제 3 절 도출된 연구과제의 추진 전략 및 체계

#### 1. 추진 전략 및 체계

- 국제공동연구 수행을 통한 연구 개발 방법의 표준화 및 효율화
- 국내 학연 협력을 통한 우수 연구 인력 양성
- 동남극 빅토리아랜드 연안 생태계 연구 네트워크 참여를 통한 장보고기지 기반 우수 연구성과 창출 및 TNB 연안 연구 주도



#### 2. 국제 공동연구 추진 계획

- 국제공동 연구 목표
  - 남극 로스해 연안에서 기지를 운영하고 있는 우리나라, 뉴질랜드, 이태리, 3국기 지 거점 표준시스템 구축으로 동남극 연안생태 장기관측 platform 마련
  - 뉴질랜드 University of Canterbury의 Ian Hawes 교수와 협력하여 연안해양 환경 변화 관측을 위한 해양 환경요인(수온, 염분도, pH, Chla) 및 호흡률 변화(광합성 챔버) 관측 시스템 구축을 완료하고 얻어진 결과를 공동 분석 및 해석하

여 남극대륙 연안지역의 환경 변화 양상 규명

- 뉴질랜드의 주요 남극연구기관인 NIWA의 Vonda Cummings박사와 공동으로 환경변화에 따른 저서생물 다양성 변화와 군집구조 변화 조사를 위한 표준화된 방법을 구축하고 각국에서 담당할 연구정점 조사 자료를 공유하여 지역간 비교 및 통합 해석
  - 이태리 Genoa University의 Stefano Schiaparelli박사는 저서생태계 연구 전문가로 지난 십여 년간 우리기지 인근에 위치한 이태리 기지 연안의 저서생태계의 구조와 생물다양성, 개체군 변동에 대한 연구를 수행해 오고 있어, 장보고기지 연안의 생태계 연구를 위한 비교자료 제공과 공동 분석에 참여할 계획임
- 상대국(기관) 연구범위 및 역할 분담, 인프라 활용 계획

구 분	뉴질랜드 (University of Canterbury)	뉴질랜드 (NIWA)	뉴질랜드 (Landcare Research)	이태리 (Genoa University)
연구범위	Ross Island, Cape Adare 연안 해양환경 조사 관측 및 정보 공유	Ross Island, Cape Adare 연안저서생태계 조사 및 자료 공유	육상 환경 관측 자료 및 특정 분류군에 대한 분류 정보 제공	테라노바만 지역 공동 관측 및 자료 공유
역 할	해양환경관측 장비 세팅 및 분석	저서생태계변화 조사	- 육상환경 관측 - 육상생물 다양성 조사	저서생태계변화 조사
인프라 제공 및 공동활용	- 남극기지 및 잠수장비 - 공동논문작성	- 남극기지 및 잠수장비 - 공동논문 작성	- 공동논문 작성	- 남극기지 및 관련 인프라 - 공동논문 작성
본과제와의 연관성	관측방법 표준화 및 정점자료 공유	관측방법 표준화 및 정점자료 공유	환경변화에 따른 생물다양성 변화 연구	관측방법 표준화 및 정점자료 공유

### 3. 연구개발 사업 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)		
	2017	2018	2019
2017~2019 (3년간)	500	600	600

### 4. 총 연구기간 로드맵

연도		1 차년도 2017	2 차년도 2018	3 차년도 2019
<b>최종 목표</b>		남극 장보고과학기지 기반 남극대륙 연안지역 장기 생태 관측 platform을 구축하여 남극 환경변화가 극지 생물에 미치는 영향과 복원력 예측		
세 부 연 구 목 표	한-뉴-이태리 3국 공동 관측 platform 구축	각 관측 항목 설정 및 관측 방법 표준화	Open database 공동 구축 및 자료의 공 동 해석, 활용	환경차에 따른 기후변화 패턴비교 및 방향성 예측
	육상 및 연안 해 양생물 군집 구 조 및 주요 개체 군 변동 모델 개 발	장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 다양성 변동 조사	장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 구조 파악	육상 및 연안생물 개체군 변동 조사 및 변동 예측 모델 개발 착수
	환경변화에 따른 연안해양생태 구 성원들의 반응과 복원력 연구		환경변화에 따른 연안해양생물의 생리생태적 변동 분석	환경변화와 관련된 생물종 손실 및 획득 분석  환경교란에 반응하는 연안해양 생물의 탄성력 및 회복능력의 시 공간적 패턴 분석을 위한 1차 실험 수행

## 5. 인프라 활용 로드맵

인프라명	연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
남극 장보고과학 기지	2017										5	15	10
	2018	31	28								5	15	10
	2019	31	28								5	15	10
쉐빙연구선 아라운	2017												
	2018												
	2019												

\* 활용 시기에 음영표시 및 활용일수 작성



## 제 4 장 연구개발의 활용 계획

### 1. 남극 장보고과학기지 장기생태연구 결과의 활용 계획

- 이태리에 비해 30년 늦게 테라노바만 지역에 진출했지만 국제 공동 장기 관측점 구축 및 활성화로 테라노바만 지역 연안 연구 주도
- 대륙 연안 지역의 환경변화가 극지 생물에 미치는 영향과 복원력 예측에 활용
- 극지생물의 보호와 극지 환경 보전을 위한 국제적 생태연구에 기여함으로써 남극조약 준수 및 국제적 위상 제고
- 남극 생물의 다양성, 환경 반응, 진화 등에 대한 정보 축적을 통해 학문적, 산업적 활용을 위한 남극 생물 기초자료 제공

### 2. 향후 연구 방향

- 정성적 목표

구분	년도	세부연구목표	연구내용
1차년도	2017	한·뉴·이태리 3국 공동관측 platform 구축	○ 각 관측점별 관측 항목 설정 및 표준화된 관측방법 확정 ○ 연구 인력 교류 및 공동 현장 활동을 통한 현장 관측 표준화
		육상·연안 해양생물 군집 구조 및 주요 개체군 변공 모델 개발	○ 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 다양성 조사 ○ 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 구조 파악
		환경변화에 따른 연안 해양생태 구성원들의 반응과 복원력 연구	○ 남극대륙 연안 지역의 생물종다양성 변화에 영향을 미칠 수 있는 주요 환경 요인 식별
2차년도	2018	한·뉴·이태리 3국 공동관측 platform을 활용한 장기관측	○ 환경데이터 연속 관측 ○ 관측점의 환경차에 따른 기후변화 영향 패턴 비교 분석
		육상·연안 해양생물 군집 구조 및 주요 개체군 변공 모델 개발	○ 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 다양성 변동 조사 ○ 장보고기지 인근 육상 및 연안생태계의 구조 파악
		환경변화에 따른 연안 해양생태 구성원들의 반응과 복원력 연구	○ 환경변화에 따른 연안해양 생물의 생리생태적 변동 분석 ○ 환경변화와 관련된 생물종 손실 및 획득 분석
3차년도	2019	한·뉴·이태리 3국 공동관측 platform을 활용한 장기관측	○ 환경데이터 연속 관측 ○ 관측점의 환경차에 따른 기후변화 영향 패턴 비교 분석 및 방향성 예측
		육상·연안 해양생물 군집 구조 및 주요 개체군 변공 모델 개발	○ 육상·연안 해양생물 개체군 변동 조사 ○ 개체군 변동 예측 모델 개발 착수
		환경변화에 따른 연안 해양생태 구성원들의 반응과 복원력 연구	○ 환경변화에 따른 연안해양 생물의 생리생태적 변동 분석 ○ 환경변화와 관련된 생물종 손실 및 획득 분석 ○ 환경교란에 대한 생물의 탄성력 및 회복 능력의 시공간적 패턴분석을 위한 1차 실험 수행

○ 정량적 목표

구분	국외논문		국내논문		특허출원		기술이전
	SCI* (주저자/공동)	기타	SCI (주저자/공동)	기타	국외	국내	
1차년도 (2017)	2 (1/1)	0 (0/0)		0 (0/0)			
2차년도 (2018)	2 (1/1)	2 (1/1)		1 (1/0)			
3차년도 (2019)	3 (1/1)	1 (1/0)		1 (1/0)			
합 계	7 (8/4)	3 (5/0)		2 (2/0)			

\* 주저자는 제1저자와 교신저자 포함, 공동저자는 제2저자만 포함



## 제 5 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

- 국내외 연구 현황 및 동향 분석에 기술



## 제 6 장 참고문헌

Antarctic Near-shore and Terrestrial Observation System 2015 ANTOS international workshop report (2016).

Hooper DU, Adair C, Cardinale BJ, Byrnes JEK, Hungate BA, Matulich KL, Gonzales A, Duffy JE, Gamfeldt L, and O'Connor MI. (2012) A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*. doi:10.1038/nature11118.

Lenihan HS (1992) Benthic marine pollution around McMurdo Station, Antarctica: a summary of findings. *Marine Pollution Bulletin* 25(9 - 12): 318 - 323. doi: 10.1016/0025-326x(92)90689-4.

MCMLTER-2013/14 Site Review Booklet.

Margalef, R. (1958) Information theory in ecology. *General Systematics*. 3: 36-71.

Pielou, E. C. (1975) *Ecological Diversity*. Wiley, New York.

Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press, Urbana. IL.

Simpson, E. H. (1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.

Stark JS, Kim SL, Oliver JS (2014) Anthropogenic Disturbance and Biodiversity of Marine Benthic Communities in Antarctica: A Regional Comparison. *PLoS ONE* 9(6): e98802. doi:10.1371/journal.pone.0098802

<http://directory.lternet.edu/dir.php>

<https://lternet.edu/>

<http://nsidc.org/>

<http://pal.lternet.edu>

<https://www.bas.ac.uk/>

<http://www.cern.ac.cn>

[https://www.kimst.re.kr/2012html/sub01\\_05\\_03\\_View.jsp?str\\_seq=155](https://www.kimst.re.kr/2012html/sub01_05_03_View.jsp?str_seq=155)

<http://www.me.go.kr/home/web/main.do>

<http://www.mcmlter.org>

<http://www.nifs.go.kr/>