

BSPE16400-006-4

초저주파 관측망을 이용한 장보고 기지 주변 멜번 화산과  
빙하 지진 감시

Monitoring the activities of Mt. Melbourne and icequakes  
occurring in the vicinity of the Jang Bogo Science station  
using an infrasound array



한 국 해 양 과 학 기 술 원  
부 설 극 지 연 구 소

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 초저주파 관측망을 이용한 장보고 기지 주변 멜번 화산과 빙하 지진 감시 에 관한 연구”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 12. 12



연구 책임자 : 박 용 철

참 여 연 구 원 : 이 원 상

“ : 윤 속 영

“ : 김 진 석

“ : 이 지 연

“ : 박 시 원

## 보고서 초록

과제관리번호	PE14340 PE15340 PE16400	해당단계 연구기간	2014.10.12. - 2017.10.14	단계 구분	1단계/ 1단계
연구사업명	중 사업명	기본연구사업 (개인창의)			
	세부사업명	Seed형 선행과제			
연구과제명	중 과제명				
	세부(단위)과제명	초저주파 관측망을 이용한 장보고 기지 주변 멜번 화산과 빙하 지진 감시 Monitoring the activities of Mt. Melbourne and icequakes occurring in the vicinity of the Jang Bogo Science station using an infrasound array			
연구책임자	박용철	해당단계 참여연구원수	총 : 7명 내부 : 2명 외부 : 5명	해당단계 연구비	정부: 300,000 천원 기업: 천원 계: 300,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 지구시스템연구부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 : 일본	상대국연구기관명 : National Institute of Polar Research			
위탁연구	연구기관명 :	연구책임자 :			
요약					보고서 면수
<p><b>연구 목표</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초저주파 관측망(Infrasound array) 운영 기술 습득</li> <li>○ 장보고기지 주변에서 발생하는 초저주파 음원의 특성과 배경잡음 분석</li> <li>○ 장보고 기지에 최적의 영구 초저주파 관측망 구성과 설치 방법 연구 연구 내용 및 결과</li> <li>○ 장보고 기지에 설치할 infrasound 관측장비 확보 및 최상의 infrasound sensor 배열</li> </ul> <p><b>방법 내용 및 결과</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 장보고 기지에 infrasound sensor 3대로 구성된 관측망 시스템 구축</li> <li>○ 장보고 기지 광대역 지진관측소(JBG2)의 지진기록계와 연계하여 관측망 구성 비용 절감</li> <li>○ 장보고 기지 주변에서 발생하는 빙하 붕괴, 멜번화산 활동과 관련해서 발생하는 infrasound 신호를 관측하여 각 신호 관측</li> <li>○ 장보고 기지의 지진관측소 자료와 함께 장보고 기지내와 연구소에서 실시간 관측 화면 표출 스템 구축</li> </ul> <p><b>기대효과</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 육상 지진관측만으로는 규명하기 어려운 빙하기원 지진과 지각 단층에 의한 지진, 그리고 화산에 활동에 의한 지진에 대한 명확한 규명을 위한 infrasound 관측 기술 개발</li> <li>○ 빙하의 붕괴에 의해 발생하는 신호를 감시, 지진관측 자료와 함께 활용하여 빙하의 붕괴 지점과 발생 메카니즘 규명</li> <li>○ 장보고 기지 주변 Terra Nova Bay의 해빙과 관련된 파도에 의한 infrasound 진폭 변화와 신호 발생 여부 관측</li> <li>○ 멜번 화산 활동으로 인한 가스 분출로 형성되는 infrasound를 관측하여 멜번화산의 활동도 평가</li> </ul>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	초저주파 관측망, 멜번화산, 장보고 과학기지, 광대역 지진계, 빙하 운동			
	영어	Infrasound Network, Mt. Melbourne, Jang Bogo station, Broadband seismometer, Glacial movement			

# 요 약 문

## I. 제 목

초저주파 관측망을 이용한 장보고 기지 주변 infra sound 음원 특성 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 초저주파 관측망(Infrasound array) 운영 기술 습득
- 장보고기지 주변에서 발생하는 초저주파 음원의 특성과 배경잡음 분석
- 장보고 기지에 최적의 영구 초저주파 관측망 구성과 설치 방법 연구

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 장보고 기지에 설치할 infrasound 관측장비 확보 및 최상의 infrasound sensor 배열 방법 연구
- 장보고 기지에 영구 infrasound array 구성과 설치를 위한 임시 infrasound array 운영
- 장보고 기지 주변에서 발생하는 빙하 붕괴, 뿔뿔화산 활동과 관련해서 발생하는 infrasound 신호를 관측하여 각 신호 관측
- 장보고 기지의 지진관측망 (KPSN: Korea Polar Seismic Network) 지진자료와 연계하여 자료활용도 극대화

## IV. 연구개발결과

- 극저온에서 infrasound 신호를 관측할 수 있는 sensor housing 설계 및 제작
  - 장보고 기지 지진관측소를 이용한 지진 및 infrasound 관측망 개발
    - 장보고 기지 지진관측소의 실시간 관측상태 모니터링 시스템 개발 (192.168.34.8)
    - 장보고 기지 지진관측소에 infrasound 관측망을 연결하여 별도의 기록계와 인터넷 연결 없이 infrasound 신호 관측
    - 화산활동에 의한 가스 분출 및 마그마 활동에 대한 준 실시간 모니터링 시스템 구축
    - 난센 빙붕이 쪼개지면서 발생한 음원 관측
- Infrasound 자료와 연속 지진자료를 연계한 분석기술 개발

- infrasound 자료를 이용하여 관측된 신호와 지진파와의 상관관계 연구
  - 장보고기지와 뿔번화산, 그리고 난센 빙봉 주변에 설치된 지진관측망에서 관측된 연속지진자료와 연계하여 음파의 원인 규명 방법 연구

## V. 연구개발결과의 활용계획

- 장보고 기지에 영구 infrasound 운영을 위한 관측망 설치와 운영 기술 제공
- 관측된 신호의 원인이 지각지진, 빙하지진, 혹은 화산활동에 의해서 형성된 것인지를 명확하게 구별하는 방법을 개발하여 장보고 기지 주변의 지진위험도 및 화산활동도 평가를 위한 기초 자료로 사용
- 빙하 붕괴시 infrasound 발생여부와 빙하운동에 관련된 지구물리학적인 새로운 관측법을 개발에 활용



# S U M M A R Y

## I. Title

Monitoring the activities of Mt. Melbourne and icequakes occurring in the vicinity of the Jang Bogo Science station using an infrasound array

## II. Purpose and Necessity of R&D

- Obtaining the managerial techniques for a infrasound array network
- Analyzing the characteristics for infrasound source occurring around the Jang Bogo Science Station
- Studying the optimized array shape for the Jang Bogo Science Station

## III. Contents and Extent of R&D

- Securing the infrasound observing systems for the Jang Bogo Science Station and studying the optimized array shape of an infrasound array network
- Administering a temporal infrasound network prior to a permanent network
- Observing several infrasound sources generated by glacial collapse/ice ruptures in the vicinity of the Jang Bogo Science Station, the activities of Mt. Melbourne, etc
- Maximizing practical uses of the continuous seismic data observed on KPSN (Korea Polar Seismic Network) by combining with the infrasound network data

## IV. R&D Results

- Developing the infrasound observing systems for the extreme conditions in Antarctica
- Developing an infrasound array network using the seismic station at the Jang Bogo Science station
  - Developing a realtime monitoring system for the seismic and infrasound network at Jang Bogo Science station (192.168.34.8)

- Recording infrasound signals without a separate data acquisition system by connecting the infrasound sensors to the seismic data acquisition system installed at Jang Bogo Science Station
- Constructing the near realtime system at Jang Bogo Science Station for monitoring the activities of the eruptions of magma and gases from Mt. Melbourne
- Observing the infrasound signal from the break of Nansen Ice Shelf
- Developing analyzing methods using combined data set between infrasound data and continuous seismic data
- Studying the correlations between observed infrasound data and seismic data on KPSN
  - Developing the method for finding infrasound sources using complex data set on infrasound array network and seismic stations installed around Mt. Melbourne, Nansen Ice Shelf, and David Glacier as well.

## V. Application Plans of R&D Results

- Providing the techniques of installing and administering an infrasound array network to constructing a permanent infrasound array network at Jang Bogo Science Station
- Utilizing infrasound data as a criterion to determine unknown seismic events whether generated by earthquakes, icequakes, and/or volcanic activities
- Applying the infrasound data to develop new method for detecting the signal generated by glacial corruptions and glacial movements

# C O N T E N T S

## Chapter 1. Introduction

Verse 1. Research objectives

Verse 2. Background

1. Infrasound sources
2. Mt. Melbourne
3. Campbell Glacier
4. Nansen Glacier

Verse 3. Research purpose and scope

## Chapter 2. Current R&D Status in Korea and Other Nations

## Chapter 3. R&D Imp[lementation Contents and Results

Verse 1. Developing Observing equipments of infrasound  
for cold environment

Verse 2. Building High Capacity Data Saving System

Verse 3. Collaborating with the geophysics group  
at National Institute of Polar Research (NIPR), Japan

Verse. 4. Observing Infrasound signals

## Chapter 4. Degree of R&D Goal Achievement and Contribution

Verse 1. Degree of R&D Goal Achievement

Verse 2. Degree of Contribution to Outside and Institution

1. Developing the Observing Techniques  
for Extreme Conditions
2. Installing Infrasound Array Network  
at the Jang Bogo Station

## Chapter 5. Application Plans of R&D results

Verse 1. Expected Results

1. Technological Aspect
2. Economical and Industrial Aspect

Verse 2. Application Plans of R&D Results

## Chapter 6. Informations of Collected from Overseas

## Chapter 7. References

# 목 차

## 제 1 장 서론

### 제 1 절 연구개발 목표

### 제 2 절 연구개발 배경

1. 초저주파 음원
2. 멜번화산
3. 캠벨빙하
4. 난센빙붕

### 제 3 절 연구 목적 및 범위

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 극저온 infrasound 관측 장비 개발

### 제 2 절 대용량 자료저장 시스템 구축

### 제 3 절 일본 극지연구소(NIPR)과 공동 연구

### 제 4 절 초저주파 신호 관측

## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 제 1 절 연구개발 목표 달성도

### 제 2 절 기술발전에서의 대외기여도

1. 극저온 infrasound 관측 기술 개발
2. 장보고기지 infrasound 관측망 구축

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제 1 절 기대 성과

1. 기술적 측면
2. 경제·산업적 측면

### 제 2 절 연구 성과 활용 계획

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

## 제 7 장 참고문헌

# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구개발 목표

장보고기지 주변은 멜번화산과 캠벨, 프리슬리, 데이비드 빙하, 그리고 난센 빙봉이 위치하고 있고, 이들은 끊임없이 움직이면서 다양한 저주파의 노이즈를 만들고 있음. 본 연구는 초저주파 관측망(infrasound array network)을 극저온 지역에서 설치 운영하는 방법을 개발하여 장보고기지에 초저주파 관측망 구성과 설치를 목적으로 함

## 제 2 절 연구개발 배경

- Infrasound 관측기술은 대기중으로 이동(340 m/s @ 20°C)하는 수초~수십초의 주파수 특성을 가지는 공중음파를 관측하여 인공발파(핵실험 등) 구분, 화산활동 등 다양한 연구에 활용되고 있는 첨단 기술
- 장보고 기지 주변은 북으로는 멜번화산과 캠벨빙하, 서남방향으로는 프레슬리 빙하와 데이비드 빙하가 존재하는 매우 활발한 지체구조의 환경으로, 빙하 운동과 화산활동의 정확한 감시를 위해서 infrasound 관측이 반드시 필요
- 현재 설치되어 있는 지진관측망에 관측된 신호들 중에서 빙하의 붕괴와 화산활동에 의한 신호를 명확하게 구별하기 위해서는 infrasound 자료가 필수

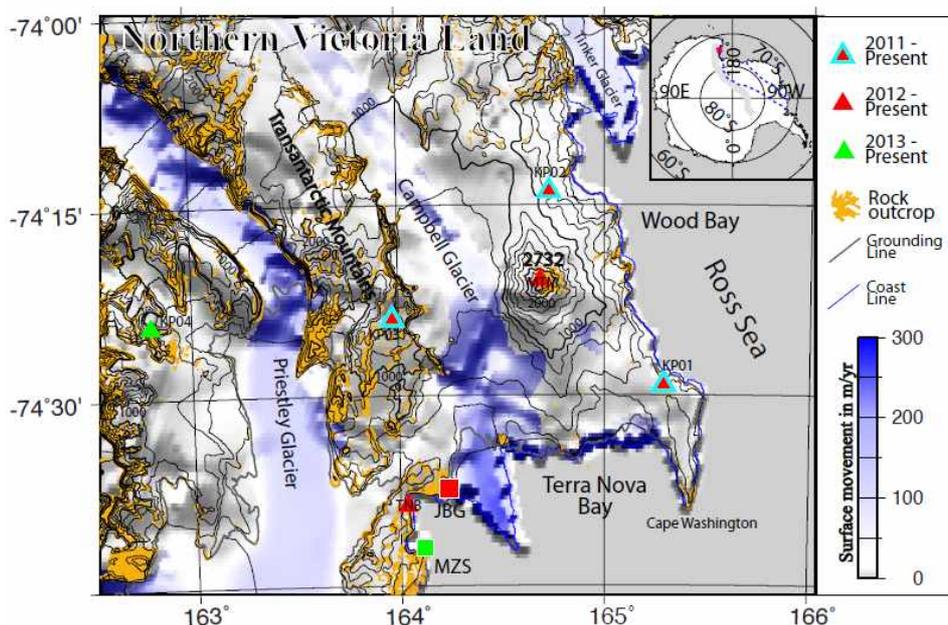


그림 11. 장보고 기지 주변의 지체구조도. 삼각형은 KPSN@TNB (Korea Polar Seismic Network at Terra Nova Bay) 지진관측망을 나타냄

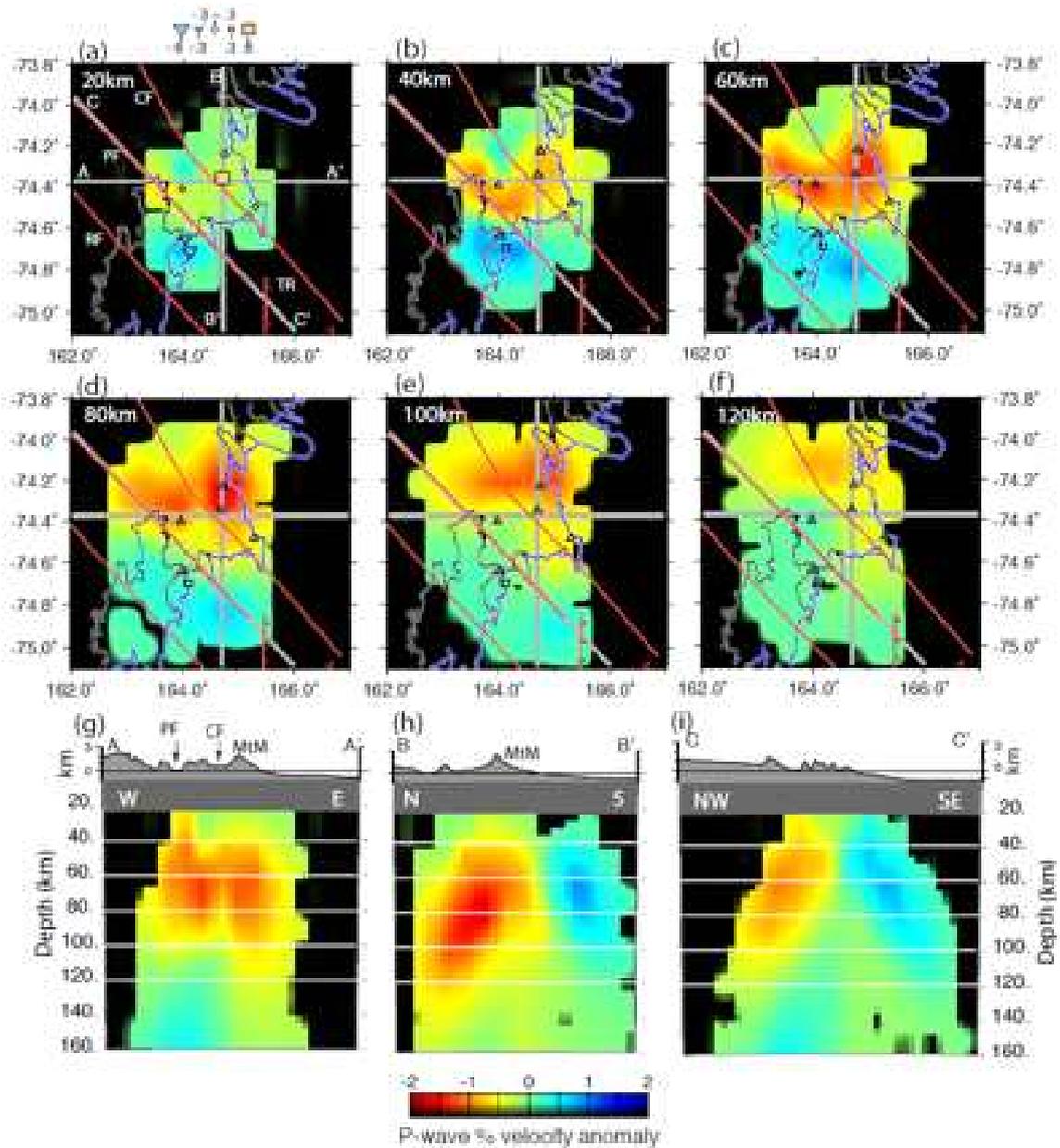


그림 2. 남극 멜번화산 지역의 3차원 맨틀 속도 구조 모델. 붉은 색에서 파란 색의 변화는 최대 -2% 느린 지역과 최대 +2% 빠른 지역을 각각 나타냄 [Park et al., 2015]

## 1. 초저주파 음원

- 초저주파(infrasound)는 주파수 대역이 0.001Hz에서 20Hz 대역의 음파를 가리키며, 초저주파 관측망은 infrasound 대역의 음원과 대기압의 변화를 감시할 수 있는 관측망을 나타냄
- 남극은 그림2와 같이 빙하 거동에 의한 음파, 오로라 발생으로 인한 대기압 변화, 운석이 낙하할때 발생하는 shock wave 등 다양한 음원이 존재하고 있음
- 장보고 기지 주변은 북으로는 멜번화산과 캠벨빙하, 서남방향으로는 프레슬리 빙하와

데이비드 빙하가 존재하는 매우 활발한 지체구조의 환경으로, 빙하 운동과 화산활동의 정확한 감시를 위해서 infrasound 관측이 반드시 필요

- 현재 설치되어 있는 지진관측망에 관측된 신호들 중에서 빙하의 붕괴와 화산활동에 의한 신호를 명확하게 구별하기 위해서는 infrasound 자료가 필수
- Infrasound 자료를 이용하여 장보고 기지 주변에서 발생하는 빙하기원 지진을 확실하게 구별할 수 있다면, 빙권과 암석권(지각 및 화산활동)의 관계를 정량적으로 예측할 수 있는 중요한 정보를 제공함으로써 급격한 지구환경변화 및 이에 따른 재앙 대책 수립에 도움이 될 것으로 기대

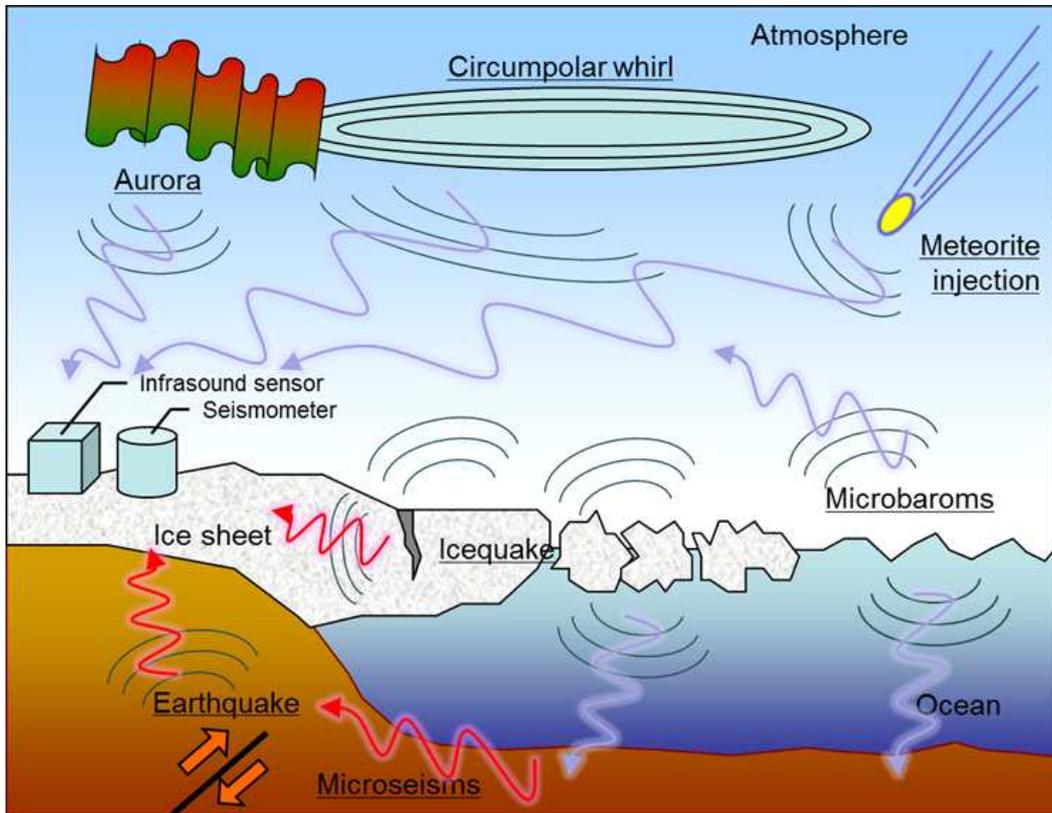


그림 3. 남극에서 발생할 수 있는 다양한 초저주파 음원들

## 2. 멜번화산

- 멜번화산은 북빅토리아랜드 지역의 남극중단산맥과 로스해 사이에서 발생한 막대한 열개 현상의 결과로 형성된 염기성 마그마운동(alkaline magmatic activity)으로 형성된 맥머도 화산군(McMurdo Volcanic Group)의 일부분임
- 이 화산운동은 약 50Ma전 로스해 분지(Ross Sea basin)의 확장과 함께 시작되었고, 고생대에 형성된 우향단층이 다시 활동한 약 30Ma전에 그 활동이 더욱 활발해짐 (Rocchi et al., 2003; Rossetti et al., 2000; Salvini et al., 1997; Storti et al., 2001)

- 멜번화산은 장보고과학기지에서 북쪽으로 겨우 30km 떨어진 곳에 위치하며 남북방향으로 고도가 높아지는 타원형 지형을 보임
- 주변 빙하와 얼음 절벽(ice cliff)의 화산재층(ash layers) 분석을 통하여 수천년 전에 화산분화가 있었고 (Nathan and Schulte, 1967), 또한 강설량과 화산재층의 깊이 분석을 통하여 1862년~1922년 사이에 가장 최근의 화산분화가 있었음 (Lyon, 1986)
- 메번산 정상에서 현재 지열 활동이 관측되었고 (Nathan and Schulte, 1967; Wörner and Viereck, 1989), 표면으로부터 25cm 깊이에서는 59°C의 온도가 관측되었음 (Keys et al., 1983)



그림 4. 멜번 화구 중앙부에서 분출하는 화산가스에 의해 형성된 얼음기둥 (2014년11월09일). 가운데 구멍의 지름은 약 2 m



그림 5 멜번 화구 북쪽사면의 화산가스 분출구(2014년12월14일). 기온의 영하 35도, 분출구 표면 온도는 영상 18도



그림 6. 2017년 1월 1일에 촬영된 멜번산위의 수증기 모습. 북쪽에서 시작된 차가운 공기가 멜번화산 정상부의 따뜻한 표면과 접촉하면서 형성된 수증기로 추정됨

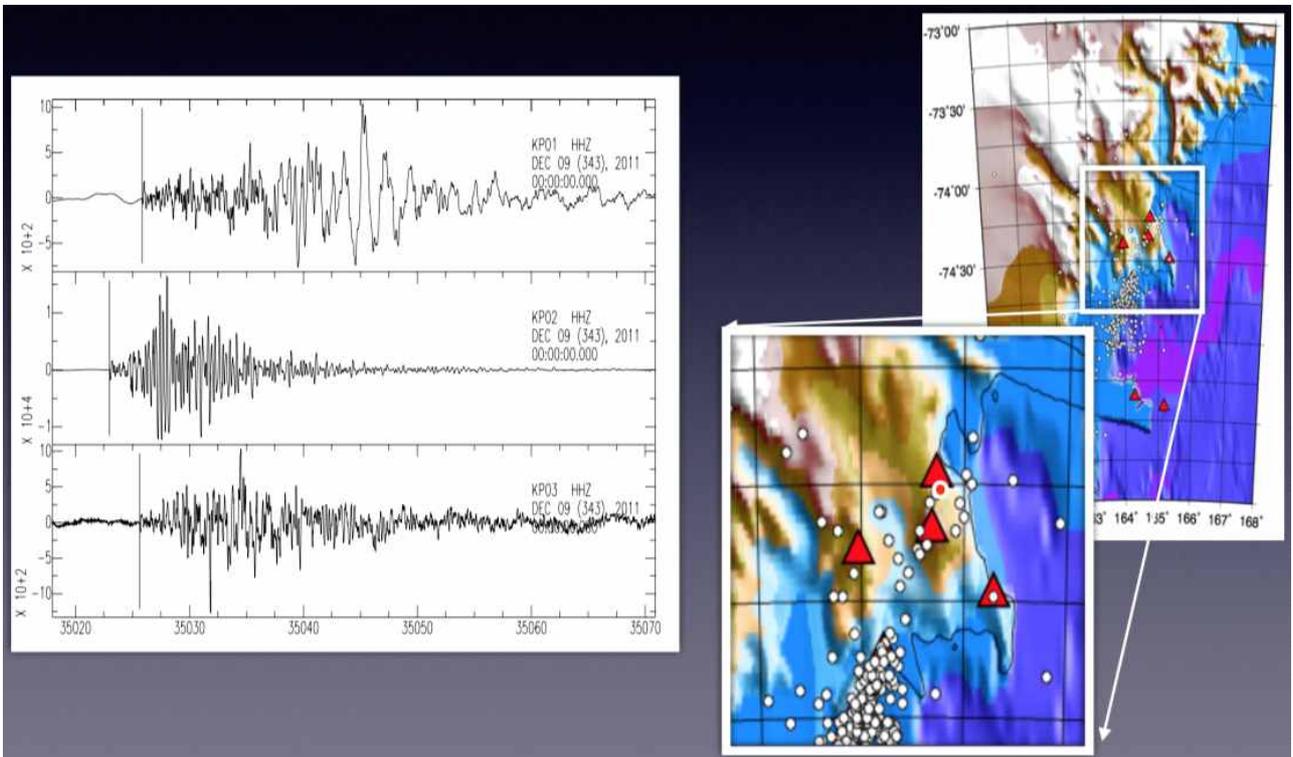


그림 7. 2011-13년동안 관측된 지진원 위치. 멜번화산 정상 부근에서 화산지진의 저주파 특성을 보이는 지진이 관측됨

### 3. 캠벨빙하

- 캠벨빙하는 DFR(the Deep Freeze Range)와 멜번화산사이에 약 110km 길이의 빙하 출구임
- 2012-13년동안 멜번화산 지진관측망에서 관측된 자료의 분석 결과로 캠벨빙하에서 다수의 지진이 관측됨

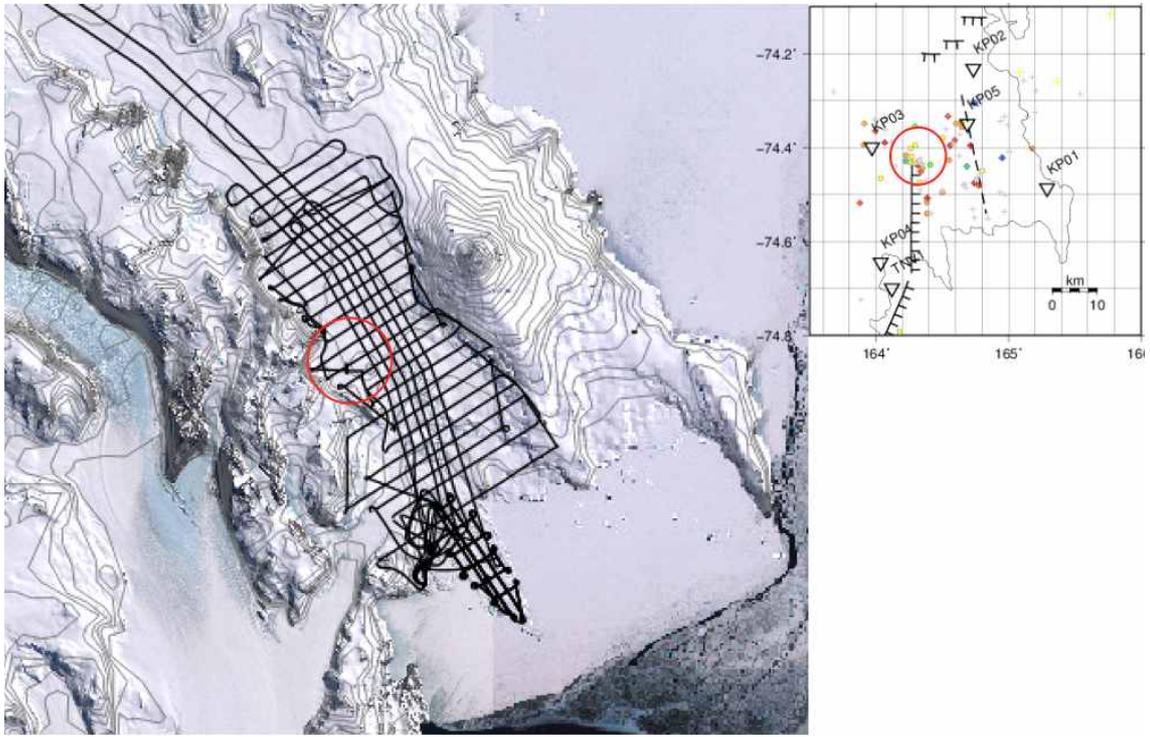


그림 8. 2012-13년 동안 관측된 미소지진의 진앙 위치(우)와 정빙 위성 사진(좌). 붉은 원은 캠벨빙하 부근에서 집중적으로 발생한 지진의 진앙 지역을 나타냄

#### 4. 난센빙봉

- 난센 빙봉은 북쪽에서 프리슬리 빙하(Priestley Glacier), 그리고 남쪽의 리브스 빙하(Reeves Glacier)에서 방출되는 빙하에 의해서 길이 ~48km 길이, 폭~10km 크기의 빙봉으로 드라이갈스키 빙설(Drygalski Ice Tongue)과 인접함
- 난센빙봉은 남-북방향으로 빙봉이 갈라지고 있는 것이 관측됨



그림 9. 2014년 1월에 관측된 난센빙봉의 갈라짐

- 이와같이 장보고 기지 주변에 위치한 빙봉과 화산은 초저주파 음원을 발생시킬 수 있음

### 제 3 절 연구 목적 및 범위

본 연구의 목적은 내륙 과학기지인 장보고 기지에 광대역 지진관측소 자료와 함께 운영될 최적의 초저주파 관측망을 구축하고, 설치된 관측망 운영과 자료분석을 위한 데이터 베이스 구축을 목표로 하고 있다. 이를 위해서 1차년도에서는 극저온에서 활용될 infrasound 관측 기술 개발과 대용량 자료 저장 시스템 구축, 2차년도에 실질적으로 장보고 기지에 임시 관측망을 구축하여 운영하였다. 마지막 3차년도에서는 2차년도에 설치된 관측망의 문제점 해결을 위한 관측 시스템 개량과 관측 신호의 음원을 분류 하였다.

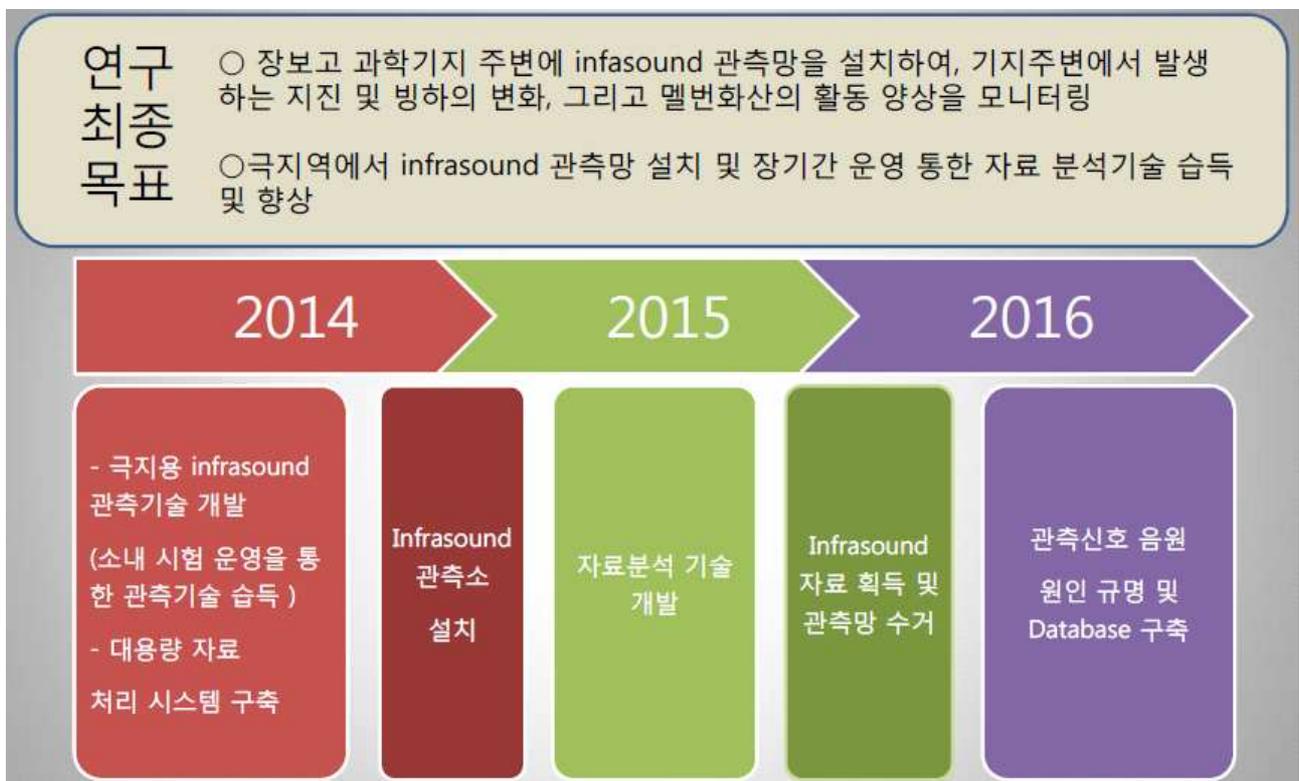


그림 10. 연차별 연구개발 로드맵

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

- 현재 infrasound 관측은 화산활동 모니터링과 포괄적 핵실험 금지 조약 (Comprehensive nuclear Test Ban Treaty: CTBT)에 의거한 지하 핵실험 감시 목적으로 주로 활용되고 있음
- 일본 쇼화기지에 2개의 array 관측소와 3개의 단일 관측소를 설치하고 운영하고 있음
- 인공 발파 신호 탐지를 위해서 남극 대륙에 2개의 infrasound 관측망이 있지만, 아직 까지 남극의 빙하 지진 관측을 위하여 사용된 경우는 없었음

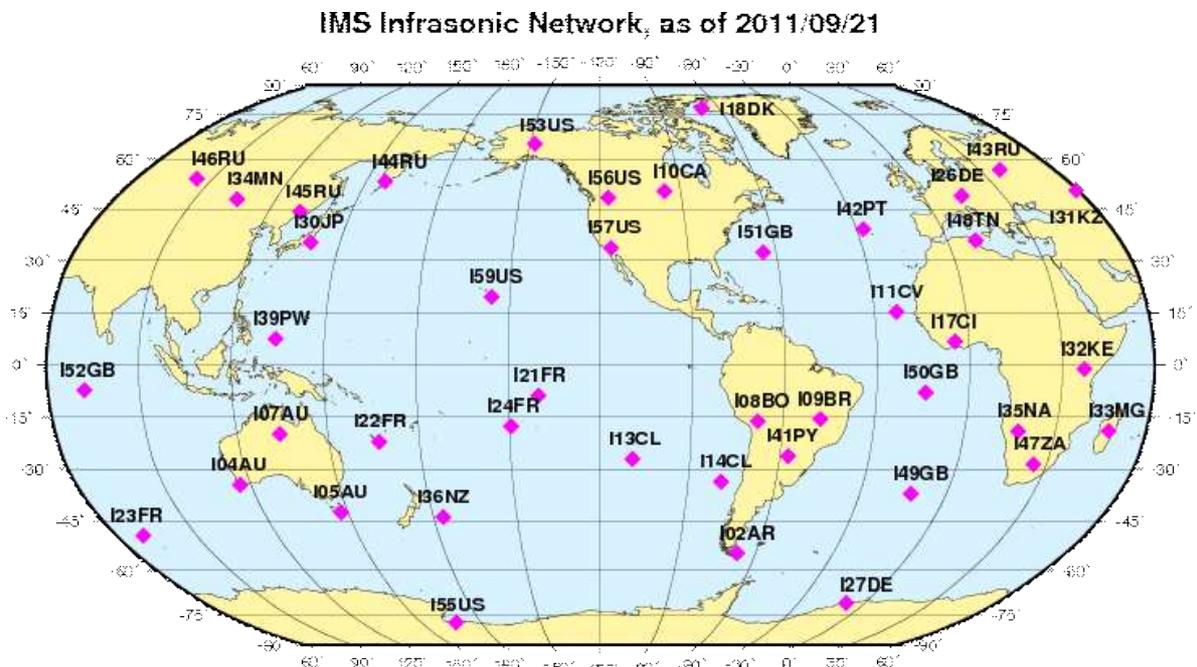


그림 11. 2011년 9월 21일까지 설치된 IMS(International Monitoring System) 관측망으로 운영 중인 infrasound 관측소 위치

- 지질자원연구원에서 북한의 핵실험과 인공 발파를 탐지하기 위해서 철원과 대전에 infrasound 관측망을 운영하고 있음
- 기상청에서 2010년 인공지진 감시를 위해 Infrasound 관측망 구축계획 수립, 설치 중
- 국방부 자체적으로 북한의 인공발파 및 미사일 발사 등의 실시간 모니터링을 위해 Infrasound 관측망 설치 및 관련 소프트웨어 개발



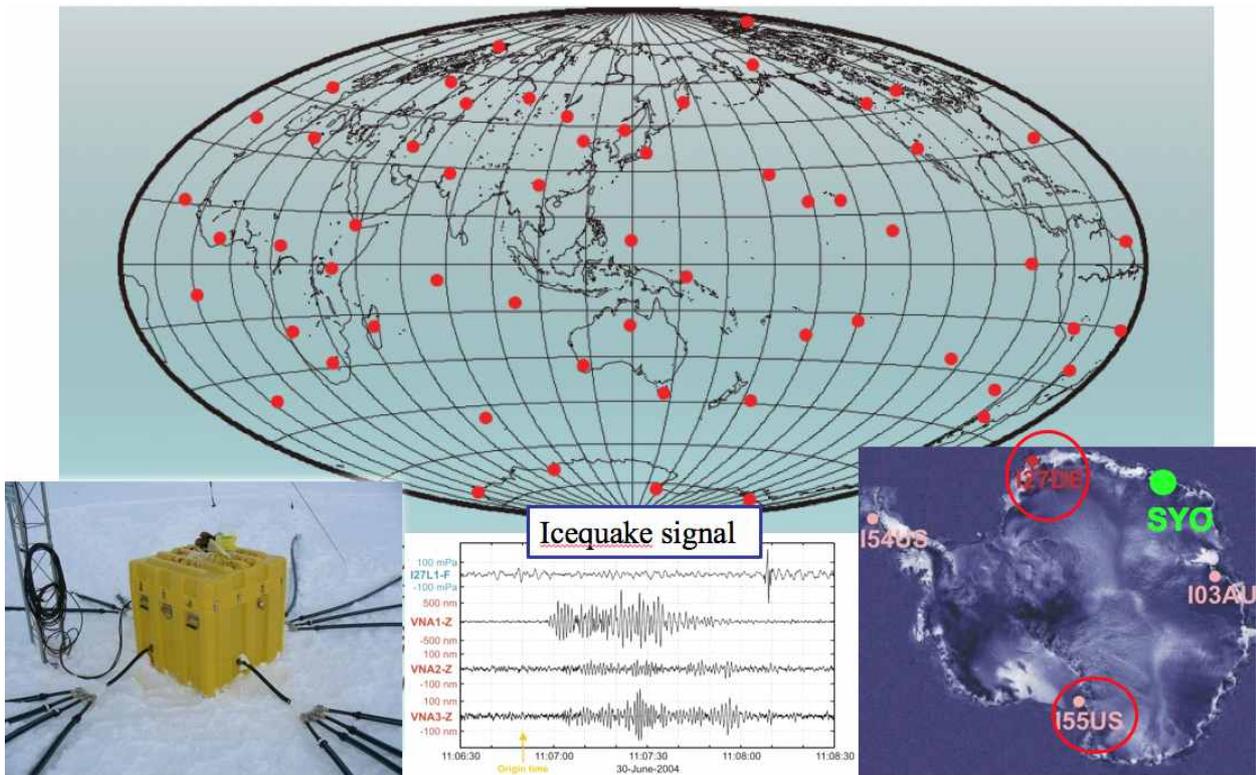
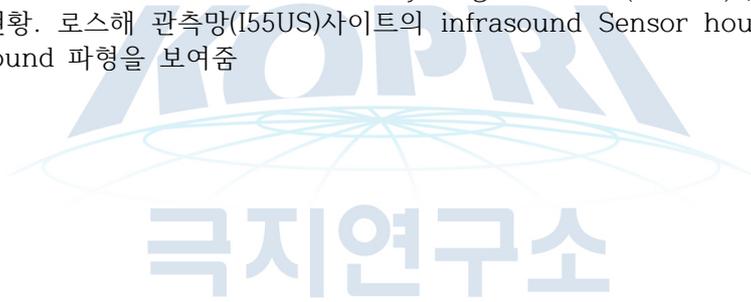


그림 14. Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization (CTBTO)에서 운영하고 있는 infrasound 관측망 현황. 로스해 관측망(I55US)사이트의 infrasound Sensor housing과 빙하지진에 의해서 형성된 infrasound 파형을 보여줌



## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 극저온 infrasound 관측 장비 개발

- 미국 Chaparral사의 model25 인프라 사운드 센서
  - 3대의 model25 센서를 장보고에서 운영되고 있는 지진계 Centaur 6채널 지진기록계에 연결을 위한 커넥터 개발
  - 채널4,5,6에 각각의 센서를 연결하여 기록되는 시그널 테스트

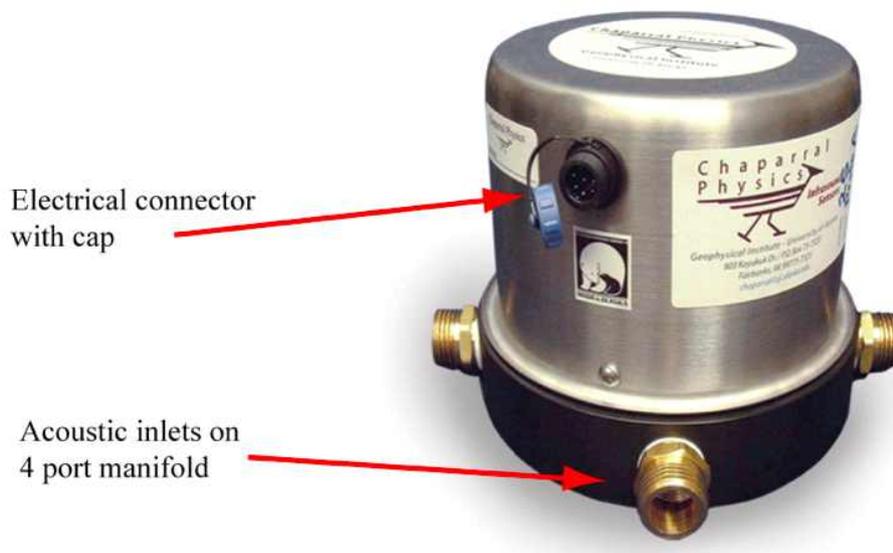


그림 15. 현재 CTBTO와 NIPR에서 사용중인 Chaparral 센서의 모습: 남극 설치 이전 극저온 테스트 지구시스템연구부에서 보유중인 냉동고에서 실시함

### Typical Frequency Response

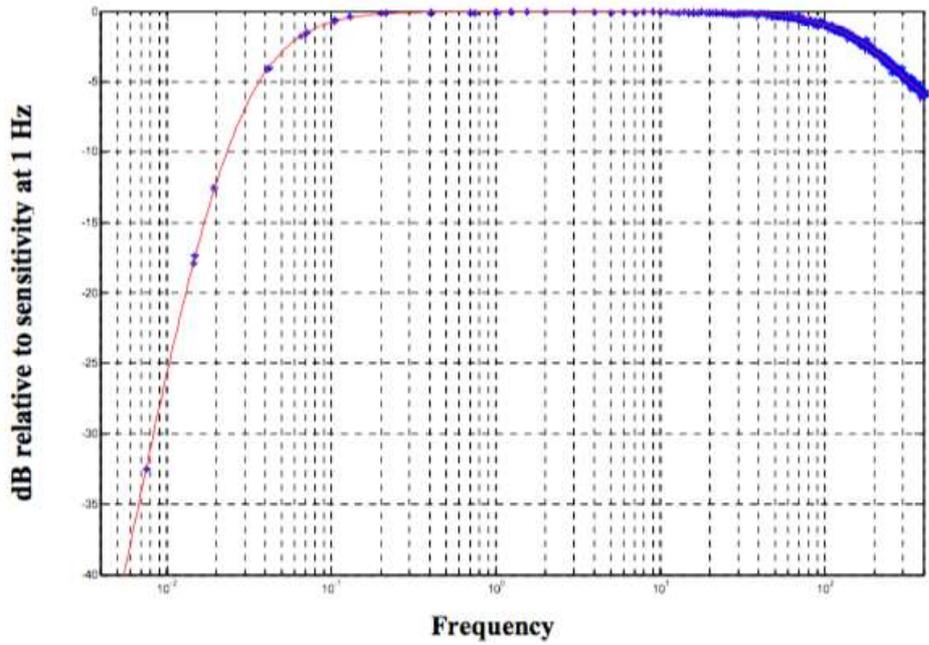


그림 16. 인프라스운드 model25 센서의 주파수별 응답 스펙트럼. 0.1-200Hz 사이에서 음원의 외곡없이 반응하는 것을 보여줌

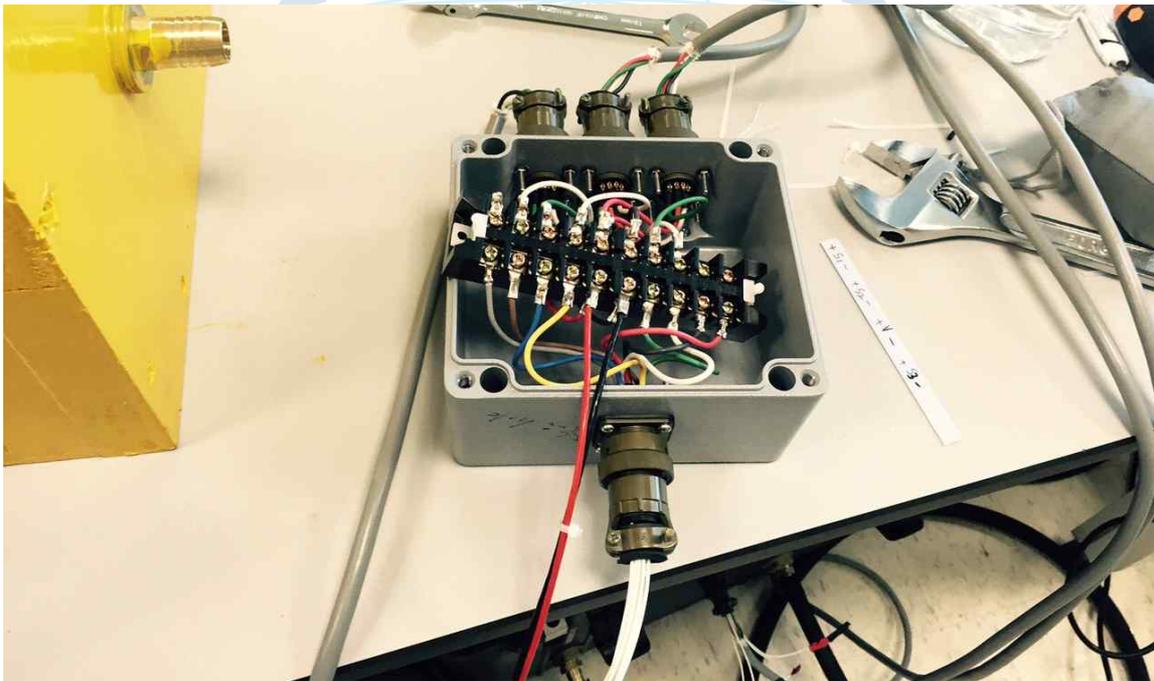


그림 17. Infrasound sensor 3개를 Centaur 지진기록계 Ch4~6로 연결해주는 병렬 커넥터.



그림 18. Infrasonic sensor와 지진기록계에 연결을 위한 센서 케이블과 커넥터



그림 19. 현재 장보고 기지에 설치되어 있는 지진기록계 모델. 왼쪽 커넥터는 지진계 센서(Trillium compact), 그리고 오른쪽 커넥터는 3개의 infrasonic 센서가 연결되어 있는 모습임.

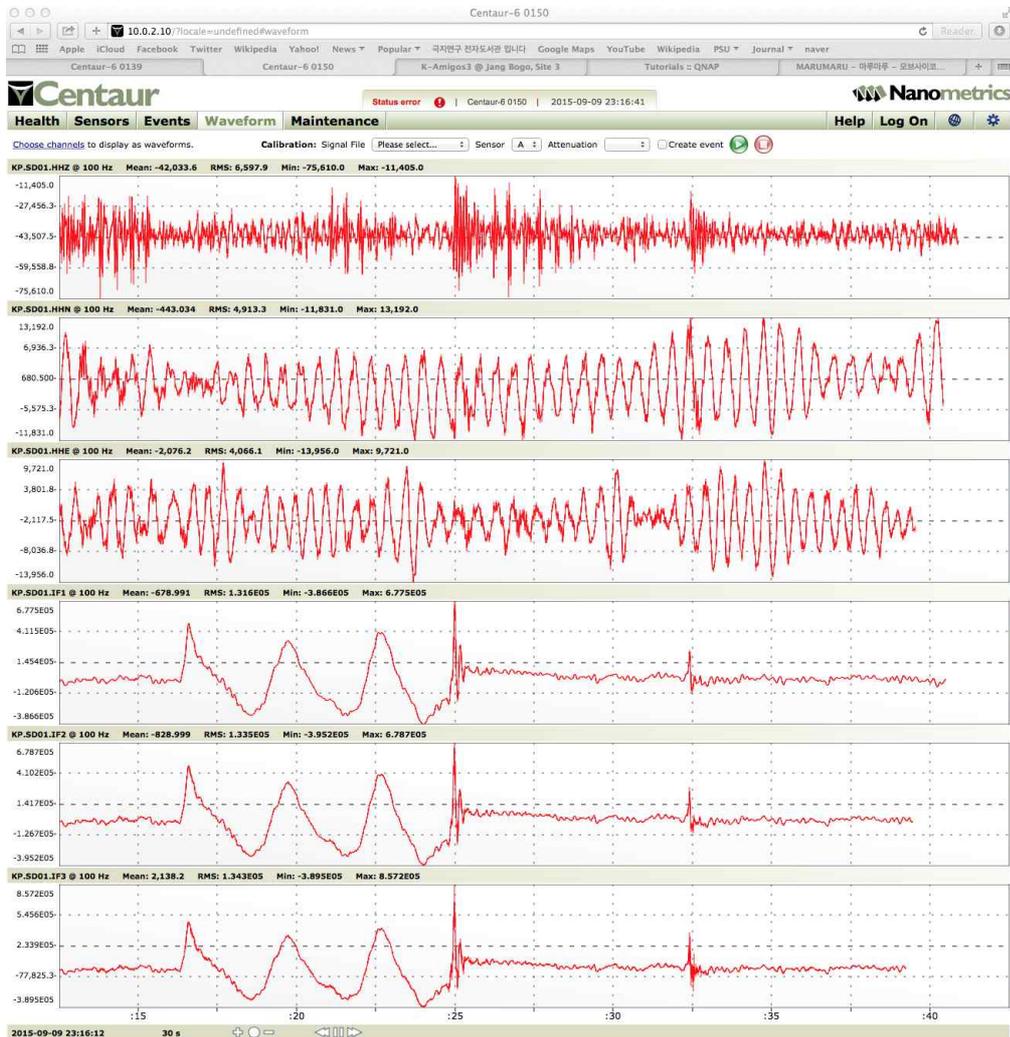


그림 20. 2015년 6월부터 10월까지 실시된 극지연구소 2419호에서 테스트중인 실시간 지진 및 infrasound 관측 시스템

- 장보고 기지 지진관측소를 이용한 지진 및 infrasound 관측망 설치
  - 장보고 기지 지진관측소의 실시간 관측상태 모니터링 시스템 개발 (192.168.34.8)
  - 장보고 기지 지진관측소에 infrasound 관측망을 연결하여 별도의 기록계와 인터넷 연결 없이 infrasound 신호 관측
  - 2015-16 남극 하계 현장 조사 기간중에 설치된 초기 인프라 사운드 보호 상자를 펠리칸 상자 형태로 개량하고 각각의 센서 입력 벨브에 직접 연결
  - 화산활동에 의한 가스 분출 및 마그마 활동에 대한 준 실시간 모니터링 시스템 구축



그림 21. 장보고 기지에서 700m 떨어진 지진관측소를 중심으로 100m의 반경으로 약 120도 간격으로 방사된 인프라 사운드 센서 설치 예정 장소 (붉은 원)

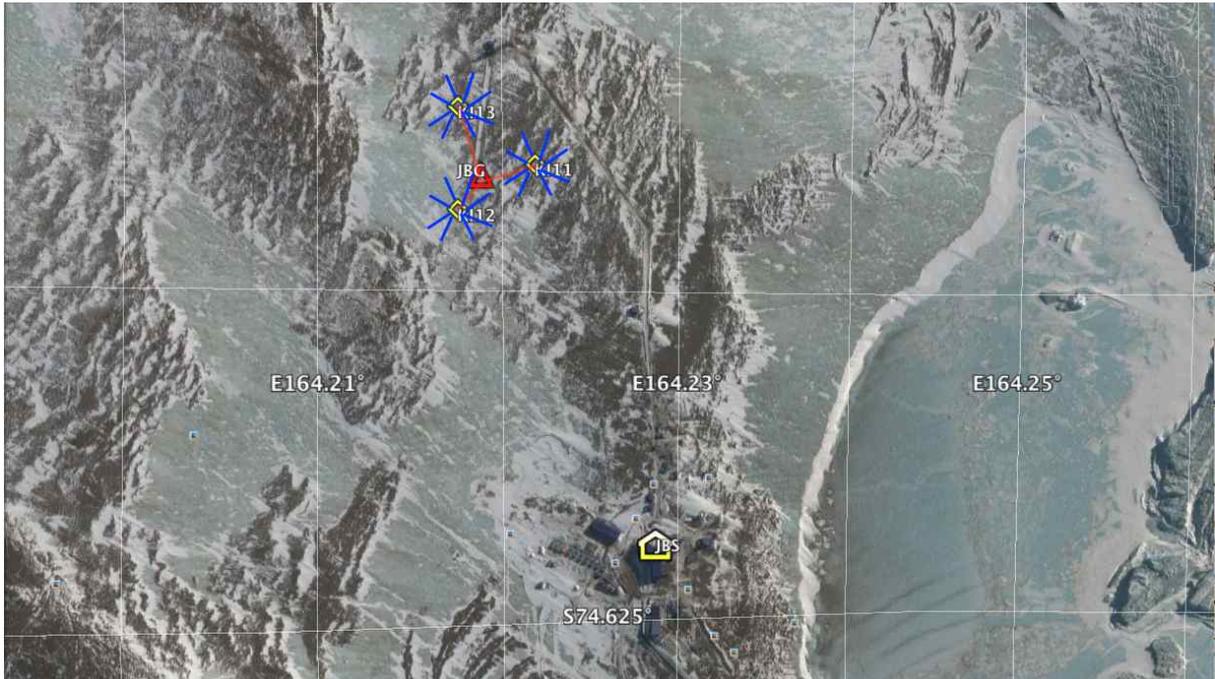


그림 22. 위성 사진(google earth)위에 표시된 인프라 사운드 관측망 위치(붉은 삼각형)와 장보고 기지

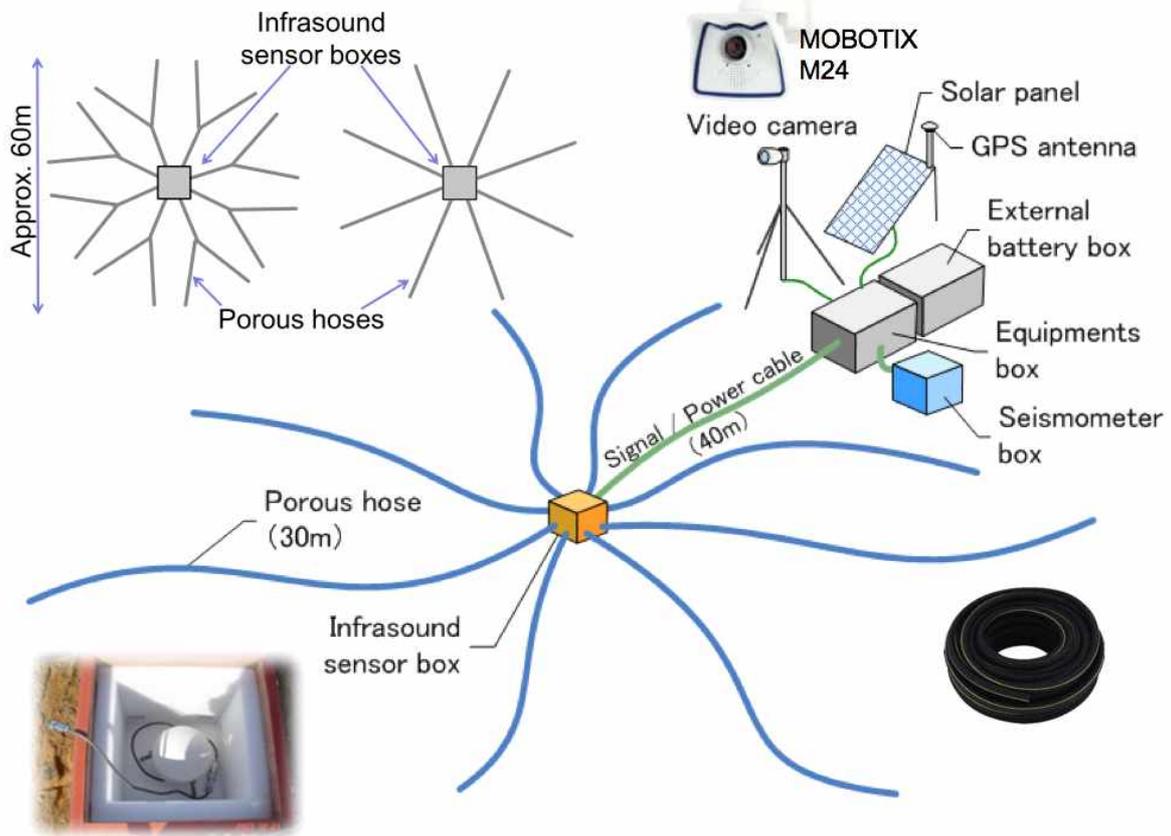


그림 23. 지진과 infrasound 종합관측망 설치를 위한 모식도. 30m길이의 다공호스(porous hoses)를 연결하여 직경 60m의 센서 감지 지역을 만들어 신호 관측의 시뮬도 향상

## 극지연구소

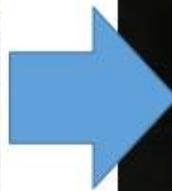


그림 24. 2015-16 남극 하계조사 기간중에 설치된 초기 인프라 사운드 보호 상자(v.1)와 입력 신호 강도를 높이기 위한 벨브 직접입력 방식으로 개량된 펠리칸 박스 형태의 보호 상자(v2)



그림 25. 지진기록계(Centaur 6ch)에 연결하기 위한 인프라 사운드 센서 병렬 상자

KOPRI

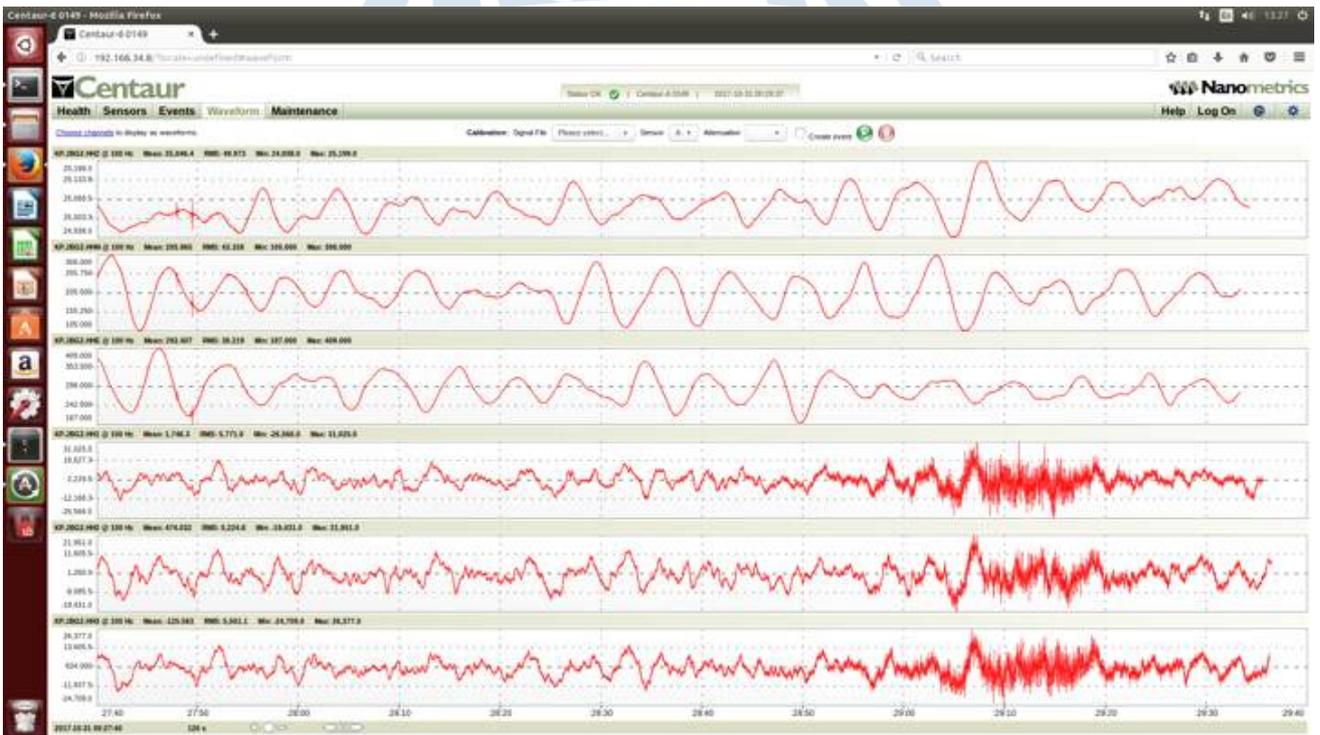


그림 26. 현재 장보고 기지에 설치된 지진관측소 실시간 표출 시스템 스크린 샷 (ip address: 192.168.34.8)

## 제 2 절 대용량 자료저장 시스템 구축

- 장보고 기지에 설치되어 있는 지진관측망과 인프라사운드 관측망 자료를 저장/분석하기 위한 데이터 서버 구축
- NAS 서버를 구축하여 지구물리팀원들이 자유롭게 지진 및 인프라사운드 관측망 자료를 다운로드 받을 수 있음 (MtM NAS system, 172.16.;112.96, ftp, samba server 지원)



그림 27. Infrasond 관측자료 저장/공유/분석을 위한 대용량 Disk Array



그림 28. 극지지구시스템 연구부내에 구축된 infrasound 자료 서버 메인 화면

### 제 3 절 일본 극지연구소(NIPR)과 공동 연구

- 장보고 기지내에 일본 NIPR과 협력하여 Praometer 관측소 설치
  - 장보고 기지 지구물리 관측동에 Parometer 센서 및 레코더 설치
  - 장보고 기지의 infrasound 관측 자료와 비교하여 관측 자료 질적 평가 지표로 활용 가능
  - 장보고 기지의 infrasound 관측망에서 관측할 수 없는 주기 0.1초 이하의 장주기 음원을 감시 할 수 있음



그림 29. 장보고 기지에 설치된 parometer sensor와 일체형으로 제작된 기록계

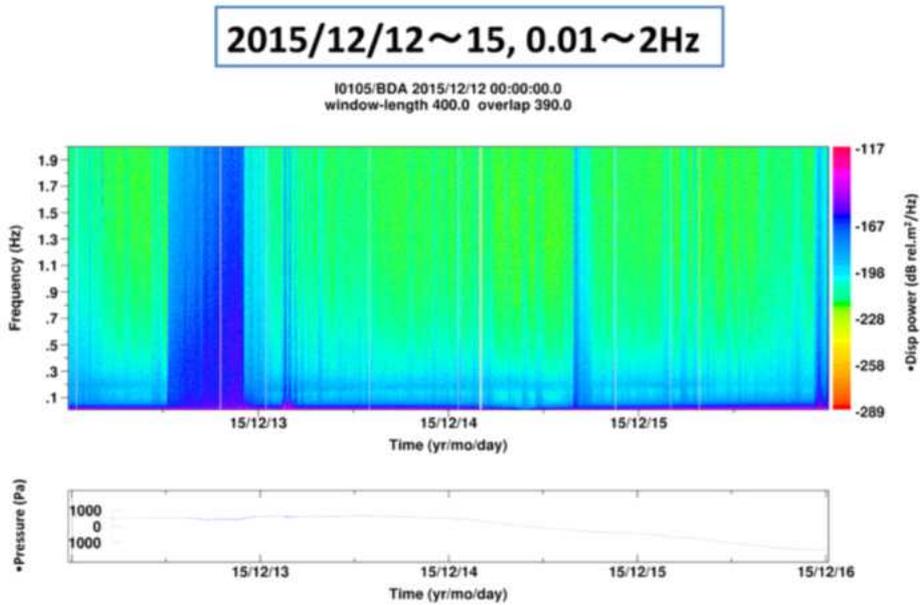
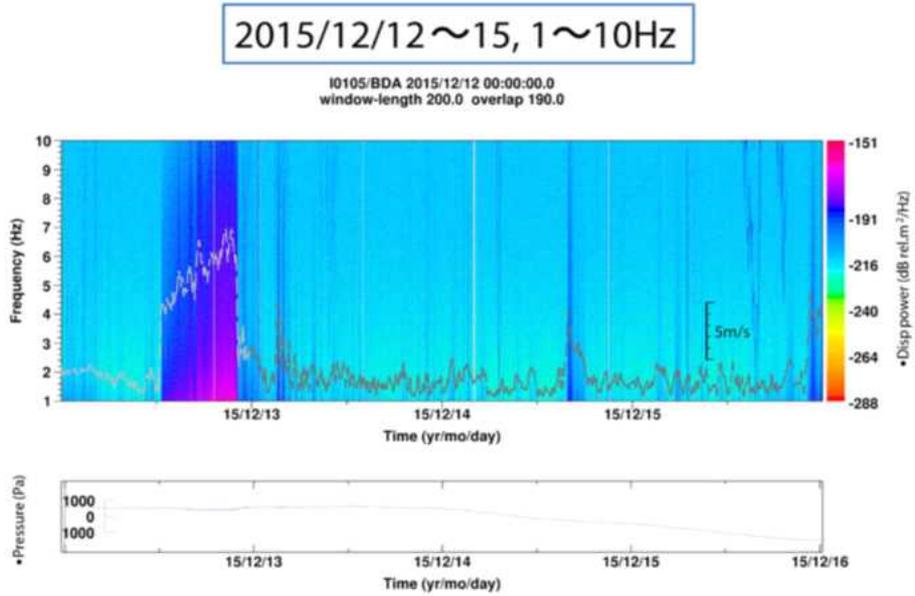


그림 30. 2015년 12월 12일부터 15일까지 4일간 관측된 초저주파 자료의 Power Spectral Density 결과. 상단 그림에서 회색 그래프는 같은 기간에 장보고 기지에서 관측된 풍속(m/s)을 나타냄 [Kanao et al., 2017]

## 제 4 절 초저주파 신호 관측

- 남극 하계 현장 조사 기간중 연구팀이 운영한 헬기에 의한 대기압 변화 감지
  - 관측된 자료의 음원 확인에 있어서 배제할 수 있는 헬기 기준 잡음 신호 확

인

- 헬기에 의한 대기압 변화와 지진관측 장비에서 관측되는 저주파 신호와의 연관성 연구를 위한 기초 자료 획득
- 난센 빙붕의 쪼개짐의 원인으로 사료되는 활강풍(katabatic wind) 감지
  - 아직까지 난센 빙붕 쪼개짐의 정확한 시간이 관측/확정 되지 않음
  - 난센 빙붕 쪼개짐 현상에 대한 주요원인 파악을 위한 기초 자료 획득
- Safair C-130의 착륙시 발생하는 충격파의 진동과 그 음파 감지
  - 남극 입출입을 위한 C-130 비행기에 의한 착륙 신호와 지구물리 관측
  - 충격파가 지층과 대기를 통과하면서 나타나는 특성 분석을 위한 자료 획득
- 현재까지는 원인이 불분명한 저주파 신호 감지
  - 빙하의 붕괴와 단층 발생시 나타나는 초저주파 신호로 사료되는 음파 획득
  - 앞으로 지진관측망과 GPS 자료와 연계한 명확한 음원을 구별하기 위한 기초 자료 획득



그림 31. 2014년 1월 하계연구 기간중에 촬영된 난센 빙붕의 갈라짐과 빙붕의 용융으로 빙붕위에 형성된 강의 모습

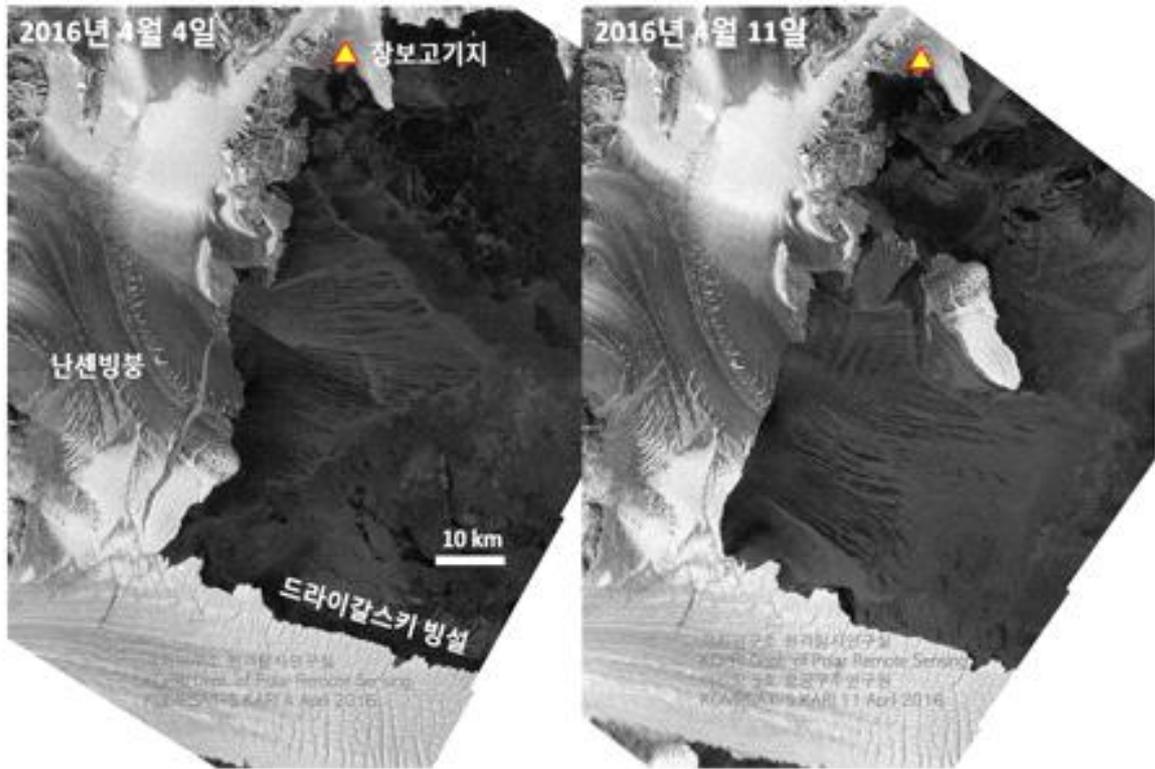


그림 32. 아리랑 5호에서 촬영된 난센 빙붕 쪼개짐과 쪼개진 빙붕의 이동 모습



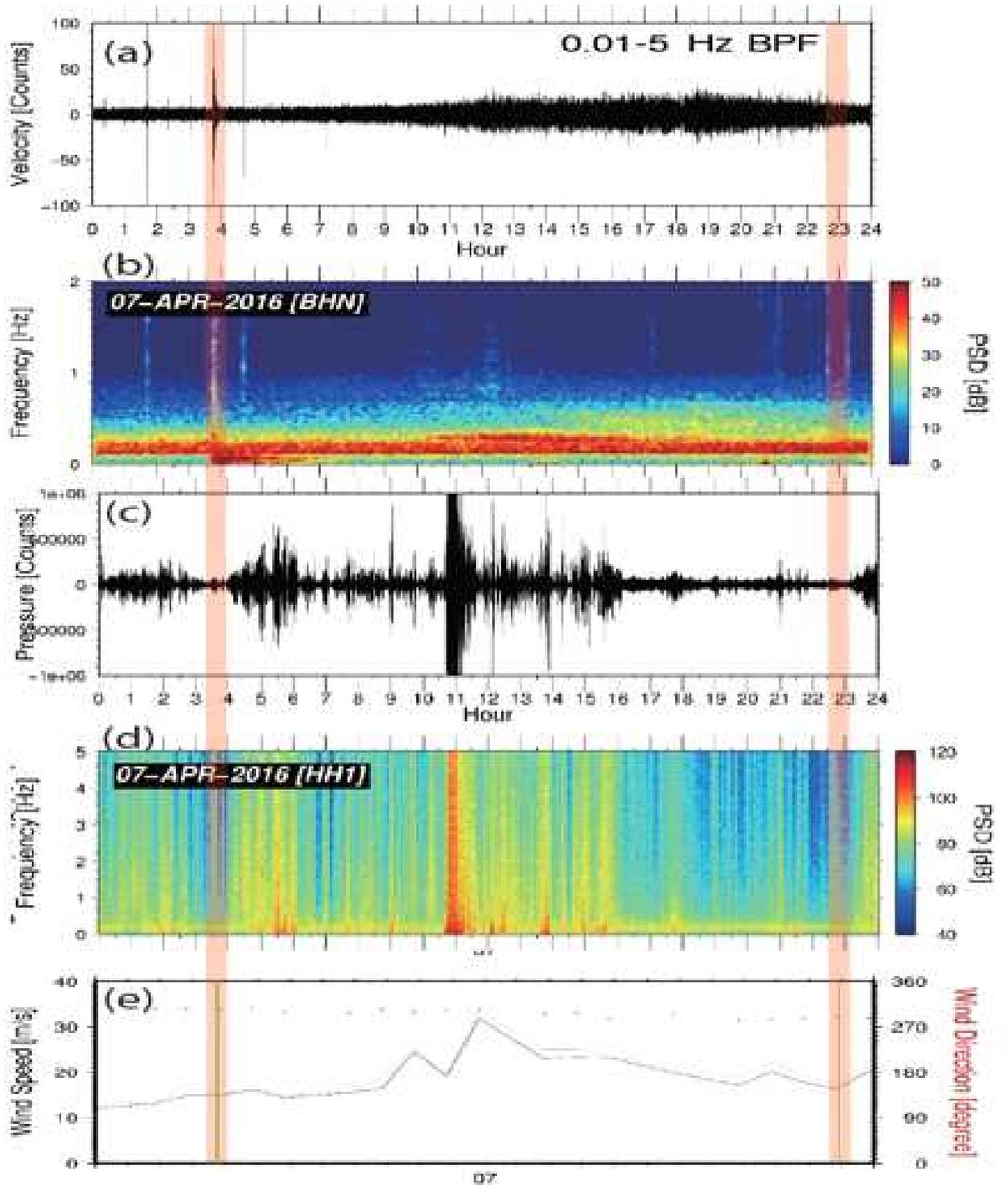


그림 33. 2016년 4월 8일 관측된 연속지진파형(a), infrasound 파형자료(c), 그리고 장보고 기지에서 관측된 바람속도 자료 (e). сал구색 바는 위성사진으로 추정되는 난센 빙봉의 쪼개짐 발생 시간대. (b)와 (d)는 각각 수직성분 연속 지진파형과 infrasound 파형에 대한 Power Spectrum Density를 보여줌

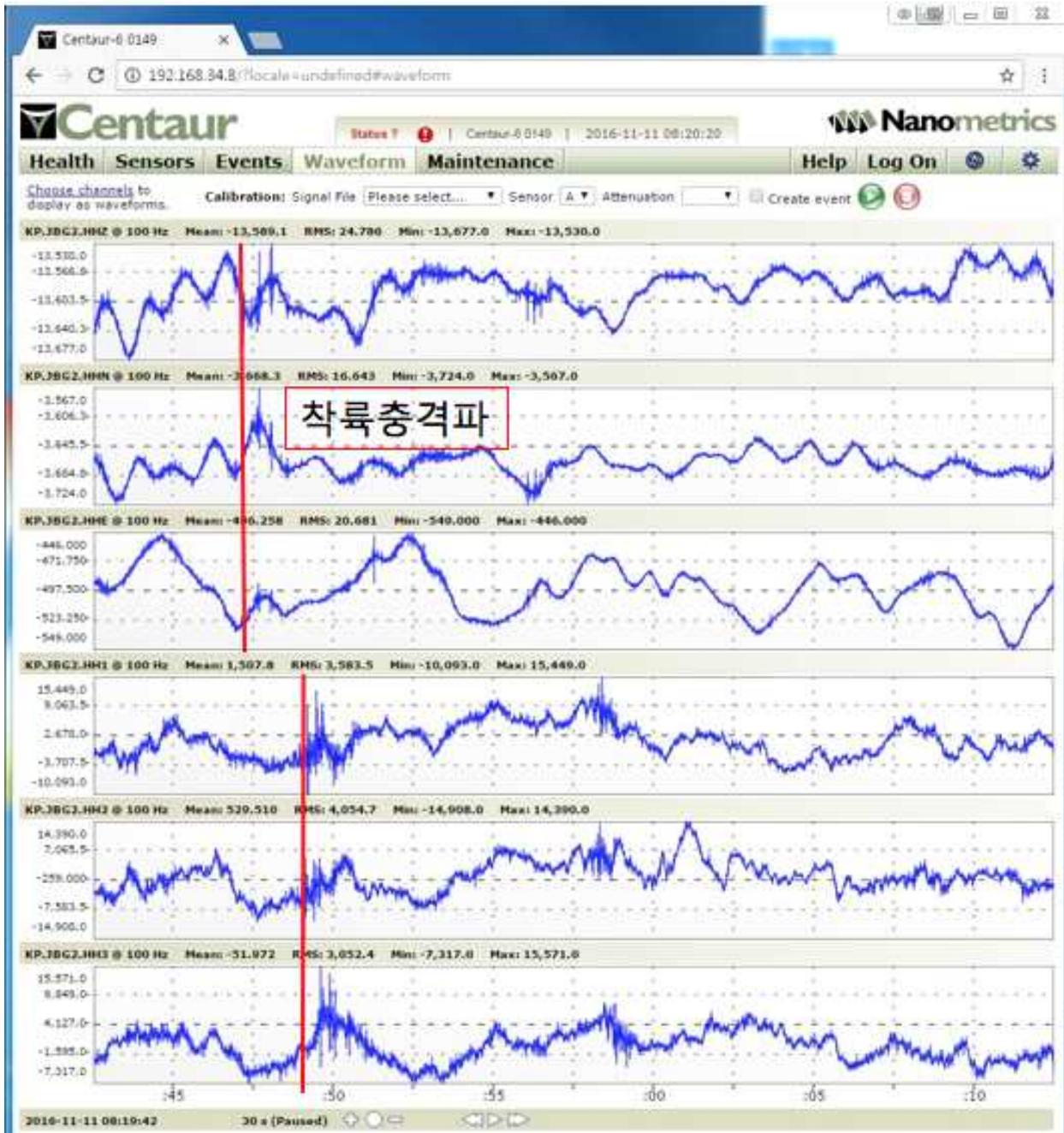
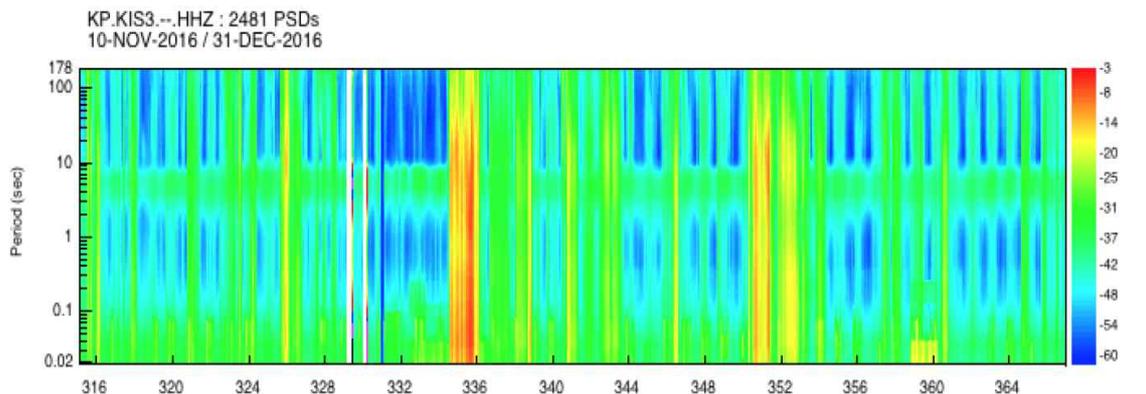
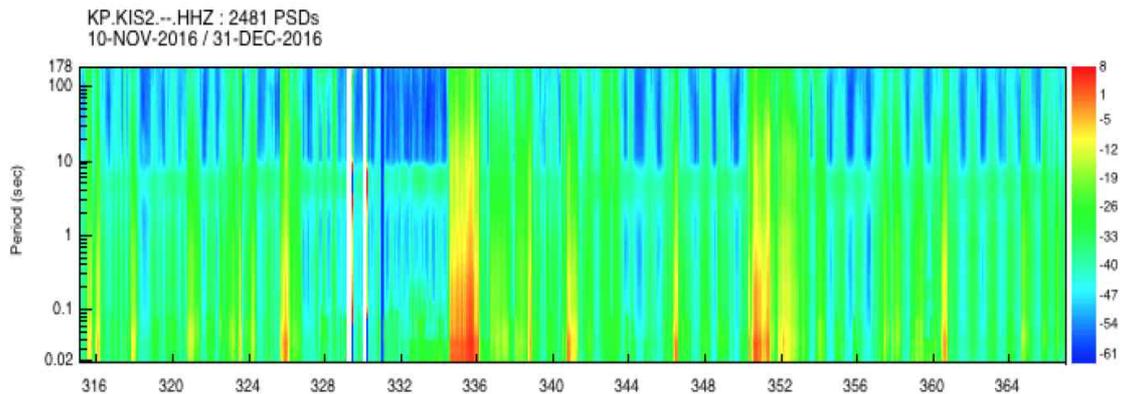
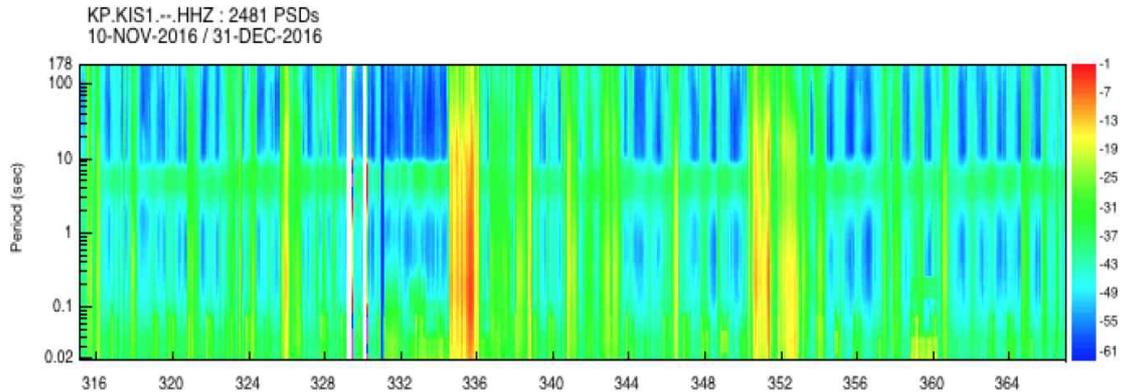
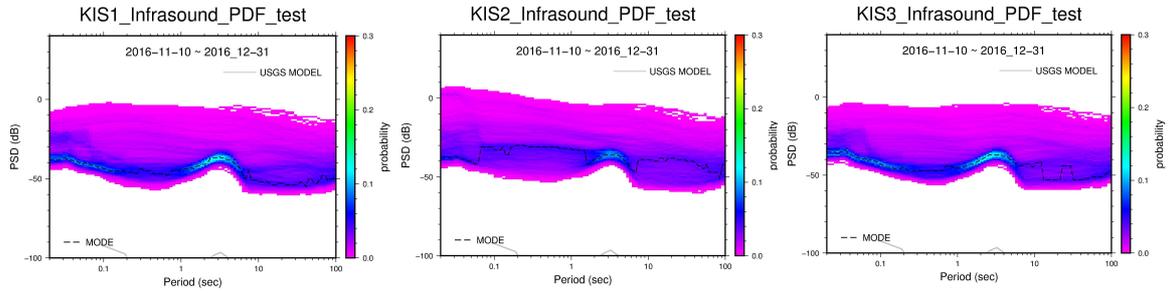


그림 34. Safair C-130 비행기의 빙봉활주로 착륙 충격파가 지진계(위쪽 3개 파형)와 infrasound 관측망(아래 3개 파형)에 관측된 자료

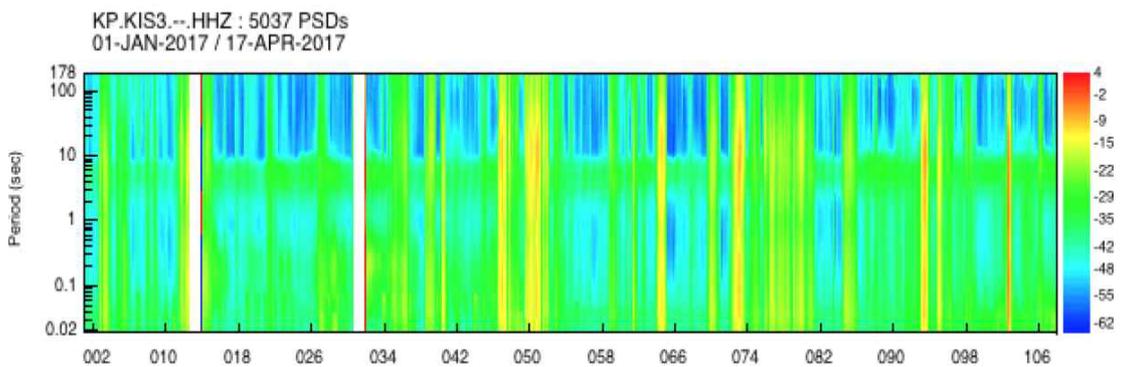
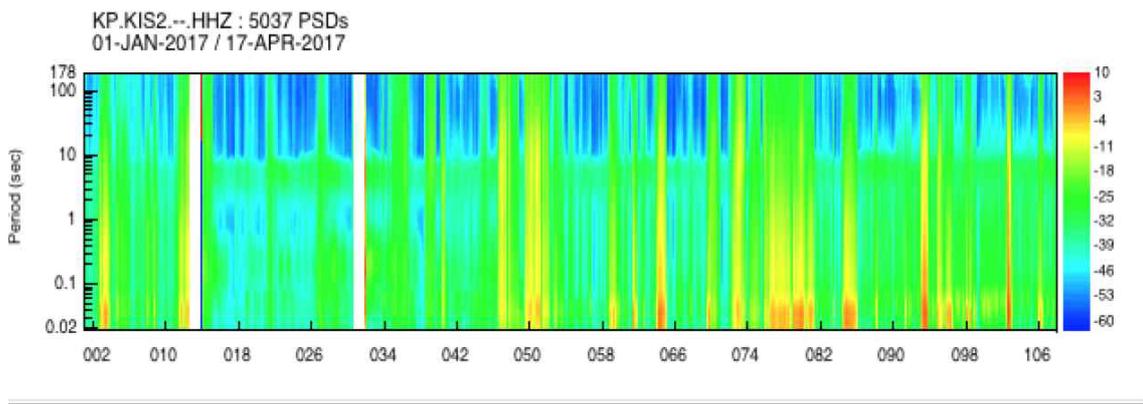
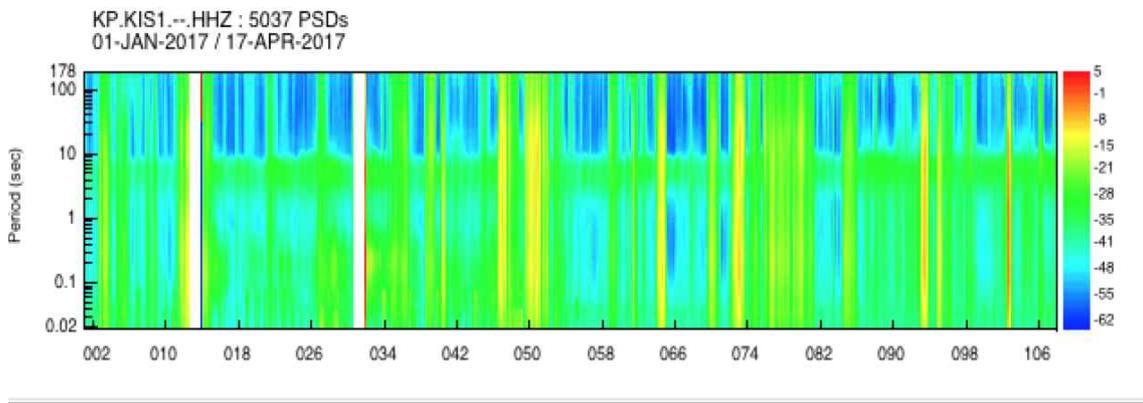
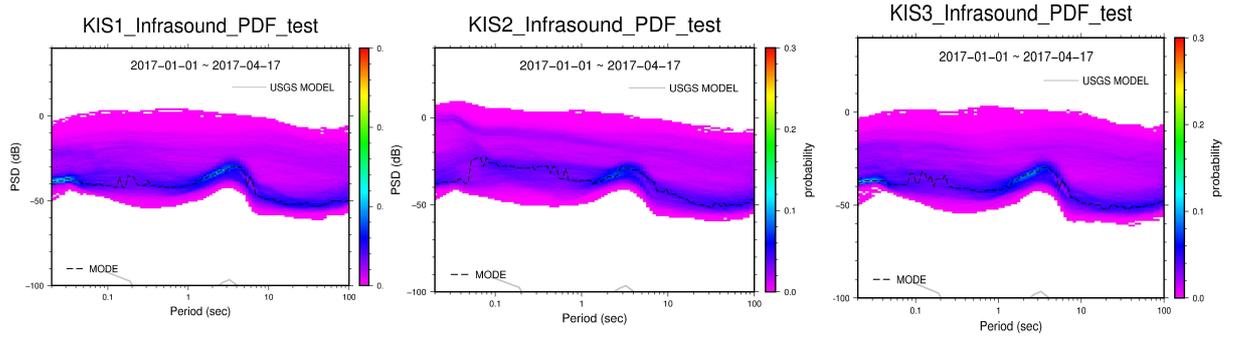


그림 35. infrasound 관측망에만 관측된 저주파 신호. 아직까지 음원에 관한 원인이 불명확함

- 2016년동안 관측된 초저주파 관측망 스펙트럼 결과



- 2017년동안 관측된 초저주파 관측망 스펙트럼 결과



## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 제 1 절 연구개발 목표 달성도

구분	년차별 달성내용		
	세부연구목표	연구내용	연차별 계획대비 연구실적 달성율(%)
1년차 (2014)	1. 극지역 infrasonic 관측 기술 개발	1-1. 극지역에서 장기간 빙하기원 지진/지각지진/화산활동 관측을 위한 장비의 성능 향상 및 기술 개발	100
	2. 대용량 자료처리 시스템 구축	2-1. 대용량의 infrasonic 관측 자료를 지진자료와 함께 고속으로 처리하기 위한 전산시스템 구축	100
2년차 (2015)	1. infrasonic 관측소 설치	1-1. 극지역에 적합한 최적의 관측 array 구성 방법 연구/개발	100
	2. 자료분석기술 개발	2-1. nfasound 자료를 이용한 지각지진과 빙하 지진 구별방법개발	100
3년차 (2016)	1. infrasonic 자료 획득 및 관측망 유지 및 보수	1-1. 1년간 관측한 연속 자료 획득 및 Database 구축	100
	2. 관측 신호의 음원 규명	2-1. 지진관측 자료와 연계하여 음원의 정확한 위치와 음원의 특성 분석	100

## 제 2 절 기술발전에서의 대외기여도

### 1. 극저온 infrasound 관측 기술 개발

- 남극에서 1년 이상의 기간동안 안정적으로 infrasound를 관측할 수 있는 센서 보호 하우징 개발
- 지진기록계에 연결하여 별도의 기록계와 전원연결 없이 infrasound 관측망을 구축하고 운영하는 기술 개발
- 지진기록계에 광대역 지진관측기술 및 infrasound 관측망을 구축할 수 있는 기술을 개발하여 지진/infrasound 종합 관측망 구축에 있어서 비용 절감과 장비의 간소화 및 자료 전송의 효율화를 높임
- 실시간 모니터링을 가능하게 하는 웹서버 기반의 인터페이스 구축



그림 40. 극저온에서 infrasound 관측을 위한 센서 보호 상자. 극저온 온도에서 수축/뒤틀림이 없는 합판사용

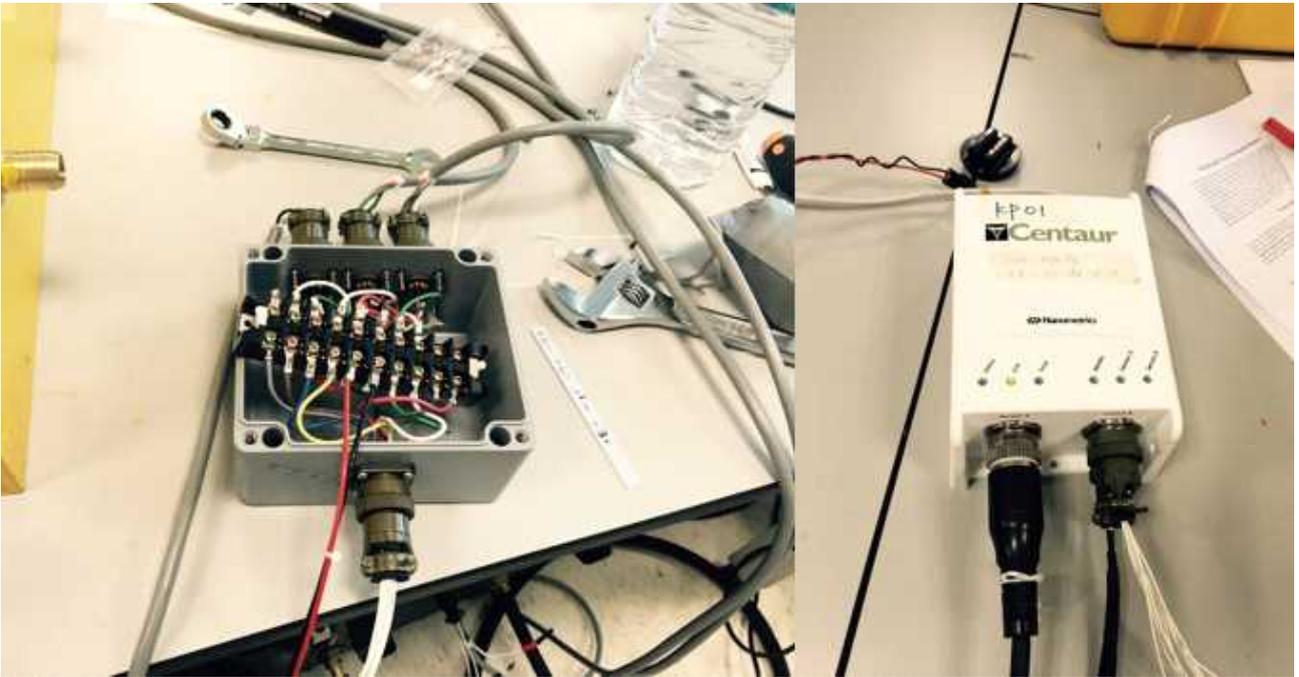


그림 41. 3개의 infrasound sensor를 병렬로 연결하여 지진기록계의 4-6ch의 하나의 port로 만들기 위한 병렬 병합 상자 개발. 기록계를 통합하여 비용 절감 및 장비 간소화

## 2. 장보고기지 infrasound 관측망 구축

- 기존에 설치되어 있는 장보고기지 지진관측소의 지진기록계를 활용하여 infrasound 관측망 구축
- 연속 지진파형과 infrasound 파형을 장보고 기지에서 실시간으로 화면으로 표출하는 시스템 구축
- 극지연구소에서도 관측시스템의 파형과 관측망의 장비 현황을 모니터링할 수 있음
- 일본 NIPR과 공동연구를 통하여 장보고 기지에 0.1hz 이하의 장주기 파형을 모니터링할 수 있는 parameter 관측소 설치
- 장보고 기지와 정반대편에 위치한 일본의 쇼화기지내에 NIPR에서 운영하고 있는 관측되는 infrasound 음파 자료와 비교하는 국제 공동연구 개발



그림 42. 2013년-14년 하계 남극탐사 기간중에 설치한 장보고 기지 지진관측소의 모습. 2014년 남극 하계 시즌 동안 장보고 기지 주변의 눈이 녹으면서 형성된 배수로에서 지진관측소로 유입된 물에 의하여 지진관측장비가 침수됨

극지연구소

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제 1 절 기대 성과

#### 1. 기술적 측면

- 극지역 적합한 infrasound 관측망 운영 기술 확보
- 지각활동과 빙권의 운동에 관한 역학적 분석을 위한 자료 제공
- 기존의 지진관측망 자료와 연계하여 관측된 신호의 원인 규명
- 장보고 기지에 지구물리 종합관측을 위한 기술 확보
- 해빙의 발생과 운동에 따른 대기압 변화의 지속적 모니터링을 통하여 장보고 Terra Nova만의 해빙 상태를 유추하는 기술 개발

#### 2. 경제·산업적 측면

- 장보고 기지에 인접한 멜번화산의 활동을 지속적으로 모니터링과 기후 온난화에 의한 대기압의 변화를 이해할 수 있는 계기를 마련할 수 있기 때문에 온난화에 의해 발생할 수 있는 대규모 자연재해에 대한 대응책 마련에 기여

### 제 2절 연구 성과 활용 계획

- 장보고 기지에 영구 infrasound 운영을 위한 관측망 설치와 운영 기술 제공
- 관측된 신호의 원인이 지각지진, 빙하지진, 혹은 화산활동에 의해서 형성된 것인지를 명확하게 구별하는 방법을 개발하여 장보고 기지 주변의 지진위험도 및 화산활동도 평가를 위한 기초 자료로 사용
- 빙하 붕괴시 infrasound 발생여부와 빙하운동에 관련된 지구물리학적인 새로운 관측법을 개발



# 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

## ○ infrasound 관측망 설치 및 운영 기술

- 남극 쇼화 기지에서 활발하게 infrasound 관측망을 운영하고 있는 일본 NIPR의 연구자들에게서 관측망 설치/운영 정보 수집
- 이를 위하여 2015년 3월 26 - 27일간 일본 NIPR에서 개최된 infrasound workshop에 참석하여 관측망 운영 계획과 공동연구방안 논의
- 일본 기상청의 infrasound 관측망 견학 및 설치 기술 도입

아레이 관측망과 취득 데이터의 특징について, 村山貴彦 (気象協会)  
 Array observation network and characteristics of the data T. Murayama (JWA)

昭和基地観測データの長期トレンドについて, 石原吉明 (JAXA)  
 Long term trend of infrasound data at Syowa Station Y. Ishihara (JAXA)

しらせ船上観測データの 특징について, 柿並義宏 (高知工科大学)  
 Preliminary results of infrasound observation on icebreaker "SHIRASE"  
 Y. Kakinami (Kochi Univ. of Tech.)

(休 憩) Tea break

- 1530- 第56次 JARE 夏隊報告 (計 60 分, 観測報告と現地の様子)  
 中元真美 (九大), 宮町宏樹 (鹿児島大)  
 Observation report by JARE-56 summer expedition  
 M. Nakamoto (Kyushu Univ.), H. Miyamachi (Kagoshima Univ.)  
 (質疑応答を含む)

- 1630- (話題提供 1) Topics 1  
 Infrasound and seismic study in Jang Bogo Station, West Antarctica  
 Yongcheol Park and Hyun-Jae Yoo(KOPRI)

- 1700- 意見交換 Discussion for infrasound instrumentations  
 韓国極地研との観測研究連携について  
 Cooperation & collaboration with KOPRI  
 (Korea Arctic and Antarctic Research Program; KAARP/Engineer meeting)

- 1730- (話題提供 2) Topics 2  
 波動伝搬による大気-海洋-雪氷-固体地球の相互作用. 松村 充 (極地研)  
 Modeling of multi-scale coupling between atmosphere and ocean  
 M. Matsumura (NIPR)

- 1800- 懇親会、於：5F リフレッシュコーナー  
 Small Party @ 5F refresh corner

(2nd day)

3月27日(金): 09:30~午前中 (5F会議室)

・研究状況の確認、予定、分担、Planning, Schedule, Shearing works

・57次の計画、準備、機材・隊員、Plan of JARE-57, expedition member

・データ処理、管理・公開、村山貴彦 (気象協会)、他  
 Data archiving, management, publication T. Murayama (JWA), others

・第9期計画 (58次以降) について 金尾政紀 (極地研)、他  
 Plan of after JARE-58 (6 years) M. Kanoo (NIPR)

・その他 Other issues including technical aspects

参加者: 山本真行 (高知工科大学)、村山貴彦 (日本気象協会)、柿並義宏 (高知工科大学)、  
 石原吉明 (JAXA)、宮町宏樹 (鹿児島大)、松島 健 (九大)、中元真美 (九大)、竹内由  
 香里 (森林総合研究所)、戸田 茂 (愛知教育大)、池原光介 (高知工科大学)、Won Saing Lee  
 (KOPRI)、Yongcheol Park (KOPRI)、Hyun-jae Yoo (KOPRI)、Jinseok Kim (KOPRI)、豊国源知  
 (東北大)、松村 充 (極地研)、金尾政紀 (極地研)、

그림 43. 일본 NIPR에서 개최된 infrasound workshop 일정 및 행사 순서 스캔본



그림 44. 일본 NIPR에 개최된 infrasound workshop 진행 모습



그림 45. 남극 쇼화 기지 주변에 설치되어 있는 지진계/infrasound 관측소



그림 46. 그림 34의 지진계/infrasound site와 연결되어 있는 infrasound sensor와 관측 자료의 질을 높이기 위하여 8방향으로 방사형태로 뻗어 있는 다공 호스 (porous hoses)

## 제 7 장 참고문헌

- Kanao, M., Park, Y., Murayama, T., Lee, W.S., Yamamoto, M.-y., Yoo, H.J., Ishihara, Y., Kim, J., Oi, T., Jung, J.H., 2017. Characteristic atmosphere and ocean interaction in the coastal and marine environment inferred from infrasound at Terra Nova Bay, Antarctica - observation and initial data. 201760.
- Keys, J.R., McIntosh, W.C., Kyle, P.R., 1983. Volcanic activity of Mount Melbourne, Northern Victoria Land. Antarctic J. US 18, 10-11.
- Lyon, G.L., 1986. Stable isotope stratigraphy of ice cores and the age of the last eruption at Mount Melbourne, Antarctica. N.Z. J. Geol. Geophys. 29, 135-138.
- Nathan, S., Schulte, F.J., 1967. Recent thermal and volcanic activity on Mount Melbourne, Northern Victoria Land, Antarctica. N.Z. J. Geol. Geophys. 10, 422-430.
- Park, Y., Yoo, H.J., Lee, W.S., Lee, C.-K., Lee, J., Park, H., Kim, J., Kim, Y., 2015. P-wave velocity structure beneath Mt. Melbourne in northern Victoria Land, Antarctica: Evidence of partial melting and volcanic magma sources. Earth and Planetary Science Letters 432, 293-299.
- Rossetti, F., Storti, F., Salvini, F., 2000. Cenozoic noncoaxial transtension along the western shoulder of the Ross Sea, Antarctica, and the emplacement of McMurdo dyke arrays. Terra Nova 12, 60-66.
- Rocchi, S., Storti, F., Di Vincenzo, G., Rossetti, F., 2003. Intraplate strike-slip tectonics as an alternative to mantle plume activity for the Cenozoic rift magmatism in the Ross Sea region, Antarctica. Geol. Soc. (Lond.) Spec. Publ. 210, 145-158.
- Salvini, F., Brancolini, G., Buseti, M., Storti, F., Mazzarini, F., Coren, F., 1997.

Ceno- zoic geodynamics of the Ross Sea region, Antarctica: crustal extension, intraplate strike-slip faulting, and tectonic inheritance. *J. Geophys. Res., Solid Earth* 102, 24669-24696.

Storti, F., Rossetti, F., Salvini, F., 2001. Structural architecture and displacement ac- commodation mechanisms at the termination of the Priestley Fault, Northern Victoria Land, Antarctica. *Tectonophysics* 341, 141-161.

Wörner, G., Viereck, L., 1989. Mount Melbourne. In: E., L.W., W., T.J. (Eds.), *Volca- noes of the Antarctic Plate and Southern Oceans*. AGU Antarctic Research Series, pp. 72-78.



## 뒷 면



### 주 의

1. 이 보고서는 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.