

BSPE14320-054-4

남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적인  
운영방안 수립을 위한 정책 연구

A Planning and preliminary studies for advanced  
and stable operation on unmanned monitoring in the  
Antarctica



2015. 08

한국해양과학기술원  
부설 극지연구소

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

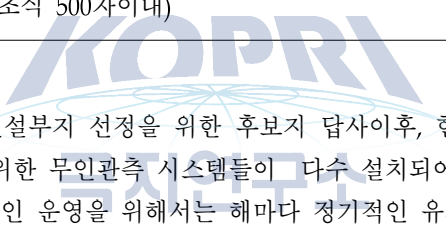


2015. 08. 31

연구책임자 : 홍종국

참여연구원 : 강승구, 권현정, 김수관,  
김영균, 김영환, 김지훈,  
김진석, 김형준, 박상범,  
박용철, 백종민, 서나리,  
양윤석, 우주선, 유인성,  
유현재, 윤숙영, 이상현,  
이원상, 이임교, 이종익,  
이춘기, 진영근, 최문영,  
최연진

## 보고서 초록

과제관리번호	PE14320	해당단계 연구기간	2014. 09. 01 ~ 2015. 08. 31	단계 구분	총단계
연구사업명	중 사업명				
	세부사업명				
연구과제명	중 과 제 명	창의연구사업 (연구정책지원과제)			
	세부(단위)과제명	남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책연구			
연구책임자	홍 종 국	해당단계 참여연구원수	총 : 25 명 내부 : 11 명 외부 : 14 명	해당단계 연구비	정부: 353,900 천원 기업:            천원 계: 353,900 천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 극지지구시스템연구부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자이내)				보고서 면수	109
					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2010년 남극 제2기지 건설부지 선정을 위한 후보지 답사이후, 현재의 장보고 기지 인근에는 지질·지구물리 현상 관측을 위한 무인관측 시스템들이 다수 설치되어 있음</li> <li>• 이들 시스템들의 안정적인 운영을 위해서는 해마다 정기적인 유지보수 작업이 필요함</li> <li>• 인간이 접근하기 어려운 지역에 대한 관측을 위하여 무인 항공기의 활동도가 점점 커지고 있음</li> <li>• 이러한 요구사항에 대하여 장보고 기지 인근에 설치되어 있는 무인관측시스템의 안정적인 운영을 위하여 유지보수를 지원하고, 무인 관측시스템에 필요한 장비를 개발하고자 하였음</li> <li>• 무인 관측시스템으로는 지진계, AMIGOS 종합 관측장비, GPS 장비, 해저면 지진계 등이 장보고 기지 인근에 설치되어 있으며, 이들의 전원공급을 위하여 배터리를 장착하였으며 보조적으로 태양 전지판을 설치하였음</li> <li>• 관측자료의 실시간 모니터링을 위한 자료송수신 시스템을 설계하여, 현재 시험운영하고 있음</li> <li>• 지질 시료의 분석을 위하여 불활성 동위원소 질량분석기 설치를 지원하였으며 현재 안정적으로 가동되고 있음</li> <li>• 무인측지를 위하여 GPS, 레이더 스캐너가 장착된 멀티콥터에 제작하였으며 테스트 결과 신뢰도있는 자료를 획득하였음. 그러나 극지에서의 안정적인 운영을 위해서는 현장테스트가 필수적이므로 과제 종료후에도 테스트를 수행할 예정임</li> </ul>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	장보고 기지, 무인 관측시스템, 불활성 동위원소 질량분석기, 안정적 운영, 멀티콥터			
	영 어	Jang Bogo station, Unmanned observing system, Sustainable operation, Multi-copter			

[남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책 연구]



## I. 제 목

남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 필요성

- 장보고과학기지가 위치해 있는 테라노바 만 인근에는 빠르게 이동하고 있는 빙하(예, 데이비드 빙하, 연간 약 600m 이동) 및 빙설(예, 드라이갈스키 빙설) 등이 존재하여 해수면 상승과 매우 밀접한 관계를 갖는 빙권 시스템 변화를 종합적으로 연구할 수 있는 지역임
- 2014년에 준공된 남극 장보고과학기지는 남극 내륙진출의 교두보로써 극지과학연구에 있어 진일보한 연구 가능성을 제공하였지만 새로운 극한 환경에 적응이 필요로 함
- 극지연구소에서는 장보고 기지 주변에 남극의 빙권 환경 변화와 지각활동을 관측할 수 있는 지구물리 관측망을 설치 운영하고 있으나 매년 데이터 회수와 배터리 교체가 요구
- 종합적으로 빙권 변화를 진단하기 위해서는 관측망 설치 지역 확대가 요구되나 이를 위해서는 매년 접근이 힘든 지역에서의 무인 관측망의 장기 운영 기술을 확보하는 시급
- 후발주자로서 이전에 수행된 연구와의 차별화를 위해서는 선진화된 관측 기술과 탐사 장비를 활용하여 보다 넓은 지역을 더욱 세밀하게 관측하기 위한 전략 필요
- 현재 장보고기지 주변에 종합 지구물리 관측망을 설치 운영하고 있으나 복합적으로 빙권 변화를 진단하기 위해서는 현재의 관측 영역을 빙하 상류 지역까지 확장 필요
- 빙하 상류 지역의 경우 접근성이 떨어지는 만큼 무인 관측망의 장기 운영 기술을 확보하여야만 연속적인 자료를 안정적으로 획득

### 2. 연구 목표

- 남극 무인관측 장비의 안정적인 장기 운영 방안 수립
- 첨단 연구장비를 활용한 남극 탐사 선진화
- 연구 지역 확장 및 선진화 관측/탐사 전략 수립

### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

#### 1. 무인 지구물리 관측망

- 기존에 설치되어 있는 무인 지구물리 관측망의 현황을 파악하고 유지보수에 필요한 활동 수행
- 장보고 기지 인근에 설치된 지진관측소의 현황, 종합모니터링 시스템 AMIGOS장비의 설치 및 운영현황을 파악하였음
- 2015/16 남극 하계 탐사 시즌에 수행하여야 할 활동에 대한 고찰

#### 2. 불활성기체 동위원소 분석

- 일본 동경대에 설치되어있던 불활성기체 동위원소 분석시스템을 2015년 5월 극지연구소로 이전하면서 연구실을 새롭게 구축
- 분석장비를 이전하기 위한 고려사항과 실험실에서의 배치계획을 수립
- 정상가동을 위한 장비 설치 및 보완작업 수행

#### 3. 무인 측지 시스템 개발

- 무인 측지 시스템을 위하여 멀티콥터에 라이다를 장착한 시스템으로 선정
- 사용가능한 멀티콥터의 종류를 분석하고 라이다 시스템을 장착
- 2014/15년도 남극 하계탐사 기간에 멀티콥터를 운용할 때 문제점이 몇 가지 발견함. 이를 보완하기 위한 방안에 대한 고찰
- 극지방에서의 지구자기장의 편각(declination) 효과가 커서 멀티콥터의 자세와 방향을 안정화가 어려움, 이러한 편각효과로 조종사의 조작과 상관없이 비행체가 원형궤도를 그리며 움직이는데 효과가 심할 경우 조작이 거의 작용하지 않아서 추락할 가능성이 있어 유의해야 함
- 단일밴드 GPS 무인 모니터링 시스템을 개발하기 위하여, GPS 측위 기법에 대한 고찰을 수행하고 저비용 단일밴드 측위 기법을 고안
- 태양전지와 리튬이온배터리를 혼용하여 이용하여 연중 유지시키고 부피를 최소화 하여 바람이 강한 극지역에서 효율적인 운송과 설치 및 내구성 향상 시킴. 관측된 자료는 RTKLIB 소프트웨어를 이용하여 다양한 후처리 기법 사용 가능

#### 4. 해저면 지진계 설치 및 운용

- 해빙과 고염분의 0도이하의 저온의 해수가 존재하는 남극 바다에서 해저면 지진계를 안정적으로 운영하기 위해서는 안정적으로 전력 공급을 해줄 수 있는 배터리와 소비전력이 낮은 센서와 기록계, 외부 충격에서 장비를 보호할 수 있는 케이스가 필수적임
- 해저면 지진계의 구성에 대하여 고찰하고 각각의 특성에 대하여 기술함
- 2014/15 남극하계연구기간 동안 기존에 설치된 OBS를 회수하고, 이의 배터리를 교체

한 후, 다시 투하함

- OBS에 기록된 자료를 확보하여 일부 자료에 대한 분석을 수행

#### IV. 연구개발결과

##### 1. 무인 지구물리 관측망

- 2010/11, 2011/12, 2014/15 3번의 남극 하계탐사로 장보고기지 주변의 무인 지구물리 관측시스템 구축을 위해 펠번 화산 및 장보고기지 주변에 KP 01~07까지 설치
- 총 13개의 지진관측소가 남극에 설치되어있음. 종합모니터링 시스템 AMIGOS장비는 드리이갈스키 빙설에 2개, 데이비드 빙하에 인접한 난센 빙봉에 1개, 장보고기지 근처에 1개, 캄벨 빙하에 1개로 총 5개가 설치
- 설치된 장비는 2015/16 남극 하계 탐사 시즌에 배터리 교체 및 유지 보수와 더불어 데이터 회수도 탐사 기간 동안 진행되었음

##### 2. 불활성기체 동위원소 분석

- 일본 동경대에 설치되어있던 불활성기체 동위원소 분석시스템은, 20년 이상 사용하던 오래된 장비들이기에 한국까지 안전하게 옮기기 위한 사전작업과 극지연구소에 도착한 이후는 효율적인 실험실 Lay-out을 구성하고 장비를 새롭게 조립하는데 시간이 많이 소요
- 극지연구소에서 정상 가동되기 위하여 많은 부품을 구입하고 장착하고, 신설 라인 구축 과정을 과제에서 지원
- 향후, 이 장비는 남극에서 채취한 우주 먼지와 화산가스를 분석할 예정임

##### 3. 무인 측지 시스템 개발

- 본 연구에서는 레이저를 이용하여 사물의 위치나 모양을 스캐닝하는 라이다를 멀티콥터에 장착할 수 있는 시스템을 개발
- 2014/15년도 남극 하계탐사 기간에 운용할 때 발견한 GPS 위치 좌표의 정확도 향상을 위하여 기준국을 운영하는 RTK(Real Time Kinetic)기법을 적용 필요
- 빙하의 이동 속도, 빙상의 두께 변화, 빙저호의 수위 변화 등을 관측하기 위하여 단일 밴드 GPS 무인 모니터링 시스템을 개발

##### 4. 해저면 지진계 설치 및 운용

- 해저면 지진관측을 위하여 극지환경에 적합한 KUM사의 LOBSTER 시스템을 이용하여 관측을 함으로서 희소성 있는 자료를 획득
- 극지연구소에서는 2014/15 남극 하계 탐사시에 전 시즌에 설치한 해저면 지진계

KPOBS01을 회수하여 1년치 데이터를 확보하고 배터리를 교체한 이후 로스 빙봉에 재 설치

- 이들 해저면 지진계는 2015/16 남극 하계 탐사시 회수 예정

#### V. 연구개발결과의 활용계획

- 장보고 기지 주변의 무인관측망을 지속적으로 운영할 수 있는 데 기여함으로써, 기지 주변의 지각구조, 지진, 빙권의 활동에 대한 종합적인 연구결과 도출
- 장보고 기지 관측망의 안정적인 운영을 통하여 고품질 지구물리 자료 획득
- 안정적인 전원 공급과 실시간 자료 수집 방안을 도출하여 관측망 설치 가능 영역을 접근이 힘든 빙하 상부 지역까지 확대시킬 수 있을 것으로 기대
- 실시간 자료 수집 시스템 구축의 기틀을 마련하여 신속한 연구결과 생산 가능
- 무인 탐사 기술을 활용하여 위험 지역을 미리 조사함으로써 인적 물적 손실의 최소화 하고 새로운 관측결과 확보
- 선진화된 관측 기술을 이용하여 효율적인 남극 내 미답지 탐사를 가능케 하여 잠재 자원을 확보하기 위한 전략 수립





# 목 차

제 1 장 서론 .....	15
제 2 장 국외 기술개발 현황 .....	19
제 1 절 장보고기지 주변의 무인 지구물리 관측망 .....	21
제 2 절 무인 측지 시스템 개발 .....	24
제 3 절 남극 해저면 지진계 설치 운용 .....	26
제 3 장 연구개발 내용 .....	29
제 1 절 장보고기지 주변의 무인 지구물리 관측망 .....	31
제 2 절 불활성기체 동위원소 분석 .....	49
제 3 절 무인 측지 시스템 개발 .....	68
제 4 절 남극 해저면 지진계 설치 운용 .....	88
제 4 장 연구개발 결과 .....	97
제 1 절 장보고기지 주변의 무인 지구물리 관측망 .....	99
제 2 절 불활성기체 동위원소 분석 .....	99
제 3 절 무인 측지 시스템 개발 .....	100
제 4 절 남극 해저면 지진계 설치 운용 .....	100
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....	103
제 6 장 참고문헌 .....	107

## 그림 목 차

그림 2.1	POLENET에서 운영중인 GPS와 지진관측망 위치도	21
그림 2.2a	지진관측소의 위치도	22
그림 2.2b	관측한 빙하지진	22
그림 2.3	미국에서 남극반도 지역의 빙하와 빙봉에 설치한 AMIGOS의 위치도	22
그림 2.4	AMIGOS 구성 및 남극 설치 지점	23
그림 2.5a	남극 생물탐사에 사용된 옥토포터	24
그림 2.5b	남극 지형 정보	24
그림 2.6	남극탐사에 이용한 영국 무인항공기	24
그림 2.7	남극 무인탐사에 이용한 일본 무인항공기	25
그림 2.8a	독일 북극유빙 탐사	25
그림 2.8b	독일 멀티콥터	25
그림 2.9	아마존이 개발중인 무인배송시스템 멀티콥터	25
그림 2.10	OBS 장비	26
그림 2.11	콜로라도 남부지역에 설치된 OBS data	27
그림 3.1.1	현재 남극 장보고 기지 주변에 설치되어 있는 지구물리 관측소 현황	32
그림 3.1.2	Nanometrics사의 Taurus 지진기록계	33
그림 3.1.3	Nanometrics사의 Trillium Compact 지진계 센서	34
그림 3.1.4	Trillium 지진계 센서의 자체 노이즈 특성	34
그림 3.1.5	지진계 센서 설치 단면도	34
그림 3.1.6	점대점 방식 무선 데이터 통신망	44
그림 3.1.7	무선 자료 송신에 사용된 bullet type 본체 모습	45
그림 3.1.8	Yagi 안테나 부분: N-type 커넥터로 Bullet 장비와 직접 연결 가능	45
그림 3.1.9	Windows OS에서의 수동 IP 설정화면	46
그림 3.1.10	무선 자료 송수신을 위한 내부 지정 ip address 설정 화면	47
그림 3.1.11	무선 자료 송수신 보안 설정 화면	47
그림 3.1.12	무선자료 송수신을 위한 안테나 연결 전 화면	48
그림 3.1.13	무선자료 송수신을 위한 안테나 연결 후 화면	48
그림 3.2.1	노블가스 질량 분광기	49
그림 3.2.2	동경대학교에서의 Mass 반출	50
그림 3.2.3	동경대학교에서의 연구 장비 반출	50
그림 3.2.4	연구 장비의 하차	51
그림 3.2.5	연구 장비 보호케이스 해체	51
그림 3.2.6	연구 장비의 제조립	51
그림 3.2.7	연구 장비가 조립 완료된 모습	51
그림 3.2.8	극지연구소 제 1연구동 Lay-out	52
그림 3.2.9	기존 동경대학교의 실험실 Lay-out	53

그림 3.2.10	극지연구소 불활성 가스 동위원소 분석실 전체 Lay-out	54
그림 3.2.11	실험실 배수를 위한 펌프 설비	55
그림 3.2.12	냉각장치의 급배수 모습	55
그림 3.2.13	레이저, 용광로의 급배수	55
그림 3.2.14	실험실의 교환대	56
그림 3.2.15	교환대의 배전 연결도	57
그림 3.2.16	Nd-YAG CW 레이저를 우주입자에 조사하는 모습	59
그림 3.2.17	Ta 용광로	60
그림 3.2.18	분쇄기	60
그림 3.2.19	불활성 기체의 추출, 정제 대략도	61
그림 3.2.20	벨트형 로터리 펌프	62
그림 3.2.21	터보 펌프	62
그림 3.2.22	이온 펌프	62
그림 3.2.23	Magnetic Sector	63
그림 3.2.24	검출기부분의 모식도와 실제 사진	64
그림 3.2.25	Daly-multiplier의 모식도	64
그림 3.2.26	냉각트랩에서의 노블가스 추출 온도	66
그림 3.2.27	노블가스의 질량 스캔모습	67
그림 3.3.1	로터형태에 따른 멀티콥터의 종류	69
그림 3.3.2	브러쉬리스 모터의 원리	69
그림 3.3.3	멀티콥터의 비행원리	70
그림 3.3.4a	메인컨트롤러 및 관성항법장치	72
그림 3.3.4b	GPS 모듈	72
그림 3.3.4c	카본 프레임	73
그림 3.3.4d	프로펠러	73
그림 3.3.4e	브러쉬리스 모터	73
그림 3.3.4f	리튬 폴리머 배터리	74
그림 3.3.4g	조종기	74
그림 3.3.5a	항공촬영을 위한 DSLR 카메라의 장착 모습	75
그림 3.3.5b	DSLR 카메라의 컨트롤 어댑터와 A/V digital out 연결	75
그림 3.3.5c	DSLR 카메라를 이용한 항공촬영의 예	76
그림 3.3.6a	멀티콥터 라이다 시스템	77
그림 3.3.6b	레이저 스캐너, 관성항법장치 및 카메라	78
그림 3.3.6c	GPS 안테나 및 배터리	78
그림 3.3.6d	GPS 수신기 및 미니 PC	78
그림 3.3.6e	야외 현장용 모니터 및 모니터용 배터리	79
그림 3.3.7a	관성항법장치 가속도 성분의 관측 예시	79
그림 3.3.7b	관성항법장치 자기장 성분의 관측 예시	80
그림 3.3.7c	관성항법장치의 Kalman filter 프로세싱에 의한 자세 성분 출력 예시	80
그림 3.3.7d	레이저 스캐너 관측 예시	81
그림 3.3.8	Toilet bowl 효과의 교정 방법	82

그림 3.3.9a	단일밴드 GPS 수신기 Ublox LEA-M8T	84
그림 3.3.9b	단일밴드 GPS 시스템의 컨트롤 보드 TS-7400-V2	85
그림 3.3.9c	컴팩트 고효율 태양전지 모듈	85
그림 3.3.10a	원시자료 출력을 위한 환경 설정	86
그림 3.3.10b	DGPS 측위 시험 결과	87
그림 3.4.1	해저면 지진계 LOBSTER 시스템	88
그림 3.4.2a	Acoustic Releaser	89
그림 3.4.2b	Deck Unit	89
그림 3.4.3	해저면 지진계용 센서와 주파수 응답곡선	90
그림 3.4.4	기록계 세팅용 프로그램인 SendCom3	91
그림 3.4.5	Acoustic release 신호를 받고 해수면에 떠오른 KPOBS01	93
그림 3.4.6	KPOBS01 로그시트	93
그림 3.4.7	KPOBS02 로그시트	93
그림 3.4.8	해저면 지진계 관측소 KPDR01과 KPDR02의 위치	94
그림 3.4.9	KPD01 로그시트	94
그림 3.4.10	KPDR02 로그시트	94
그림 3.4.11	KPOBS01에서 획득한 하이드로폰 자료의 스펙트로그램	95
그림 3.4.12	트레머 신호와 스펙트로그램	96



## 표 목 차

표 3.3.1 멀티콥터 부품 내역 .....	71
표 3.4.1 LOBSTER 시스템의 전력소모량과 배터리 종류별 작동 기간 .....	79
표 3.4.2 2013/14 남극 하계 탐사에 설치했던 OBS의 위치 .....	79





[남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책 연구]

## 제1장 서론







남극(南極) 대륙은 지구의 최남단에 위치하고 있으며 면적은 약 1,3500만 km<sup>2</sup> 에 이른다. 이는 아시아, 아프리카 북아메리카, 남아메리카에 이어 5번째로 큰 대륙이다. 남극 표면은 98%가 얼음으로 덮여 있는데 평균적으로 얼음의 두께는 2.1km 이다. 얼음이 없는 지역은 드라이밸리(Dry valleys)라 부른다. 우리나라는 1978년부터 남극 지역에 진출하기 시작하였고 1986년에는 세계에서 33번째로 남극조약에 가입했다.

최근 전지구적으로 지구온난화와 같은 환경변화로 인해 국제사회에서 극지역 환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 세계 각국이 참여한 2007-2008 International Polar Year(IPY)에서 얻어진 수많은 과학적 성과들은 지구시스템에서의 남극의 중요성과 현재 인류가 확보한 기후 변화에 대한 지식의 한계를 극복하기 위하여 IPY 이후(post IPY)의 지속적인 기후변화 연구의 필요성을 강조하고 있다.

극지역은 문명권과의 지리적 이격과 매우 혹독한 환경으로 인하여 남극 대륙의 지각운동, 지진발생도, 그리고 빙붕의 진화에 관한 지식이 극히 제한적이다. 빙상과 빙하의 안정도 변화는 주변 환경 즉 수권, 빙권 및 지각권 등에 급격한 변화를 가져와 예상치 못한 지각활동을 유발하여 더 큰 변화를 가져올 수 있으므로 빙상의 안정도와 남극 대륙의 진화 예측을 위해 지체구조 및 지자기 변화 모니터링 연구가 필요하다. 장보고기지 인근에는 에비에이터 빙하(Aviator Glacier), 캠벨 빙하(Campbell Glacier), 프리스틀리 빙하(Priestley Glacier), 난센 빙상(Nansen Ice Shelf), 드라이갈스키 빙설(Drygalski Ice Tongue) 등과 같은 다양한 종류의 빙권 요소들이 잘 발달하고 있다. 데이비드 빙하는 연간 약 600m로 빠르게 이동하고 있고 및 드라이갈스키 빙설 등은 해수면 상승과 매우 밀접한 관계를 갖고 빙권 시스템변화를 종합적으로 연구할 수 있는 지역이다. 한편 건설지 북쪽 약 30km 거리에 위치한 멜번(Melbourne) 화산은 남극에 있는 몇 개 안되는 노출된 활화산 중 하나이다. 멜번 화산의 위치와 화산활동은 로스해(Ross Sea)의 단층활동 및 남극 종단산맥의 응기와 관련이 있다. 그러나 이 지역에서의 독특한 지진활동과 물리적 구조에 대한 연구는 아직까지 완전하지 못하므로, 멜번 화산의 화산활동으로 인해 발생하는 미세지진활동을 지진계, 음향계, 촬영장치, GPS 시스템(Global Positioning System)등의 장비를 이용하여 관측하고자 한다. 남극 대륙의 넓은 지역을 단일 국가만의 관측망을 이용하여 연구하기는 현실적으로 불가능하기 때문에 현재 남극 대륙에서 운용되고 있는 국제 지구물리관측망(The Polar Earth Observing Network, POLENET)과 연계된 국제 공동연구가 필요하다.

1988년도 남극에 세종과학기지가 건설된 후로 작년인 2014년에 남극 장보고과학기지가 준공되면서 기지가 위치해 있는 로스해 테라노바만(Terra Nova Bay)의 경우 우리나라가 계획한 지구시스템에서의 남극의 역할 규명과 남극 태평양권에서의 기후변화 연구를 위한 이상적인 연구 기반을 제공할 것으로 기대된다. 한편 로스해는 심층수 형성과 전 지구 기후변화의 결과 가장 빠르게 염분농도가 낮아지는 해역으로 기후변화 연구에 중요한 연구 지점의 하나이다. 상주기지로 계획된 장보고 기지의 활용을 통한 연구프로그램 운영은 이 지역의 급속한 기후 변화를 이해하는 데 크게 기여할 것이다. 또한 로스해에서 기지를 운영하고 있는 국가들과 기지를 포함한 연구 기반을 공동 활용하여 다국적이며 다학제적인 연구수행이 가능해질 것으로 기대되며, 특히 Mario Zucchelli 하계 연구 기지를 운영하고 있는 이탈리아 및 Gondwana 하계 캠프를 운영하는 독일과 기지 지원과 운영의 긴밀한 공조체제 구축이 가능하여 각국의 남극활동에 있어서 안전성과 효율성이 증가될 것으로 기대한다.

본 연구에서는 이전에 수행된 연구보다 선진화된 관측기술과 탐사장비를 활용하여 보다 넓은 지역을 세밀하게 관측하기 위한 전략을 세우고 미래 기후변화에 따른 대규모 자연재해 대응책 마련과 함께 경제적인 성과로 잠재 자원을 확보하고자 한다. 최종적으로 남극 무인관측 장비의 안정적인 장기 운영 방안을 수립하고 첨단 연구장비를 활용하여 연구지역 확장 및 남극 탐사 선진화를 목표로 하고 있다.

[남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책 연구]

## 제2장 국외 기술개발 현황





## 제1절 장보고기지 주변의 무인 지구물리 관측망

- 무인 지구물리 관측망은 최근에 안정적인 전원공급이 가능한 배터리와 저전력의 센서, 기록계 등이 개발되기 시작하면서 극지역에서의 활용도가 높아지고 있음
- 특히, 지진계, GPS등의 센서들이 경량화되었으며, 플래시메모리를 이용한 저용 기록계 등의 개발이 극지에서 연중 관측이 가능한 관측시스템을 구축할 수 있는 계기가 되었음
- POLENET 프로그램에서는 남극 전역에 지진 관측망과 GPS 관측망 설치하여 장기 모니터링을 수행하고 있음 (그림 2.1)

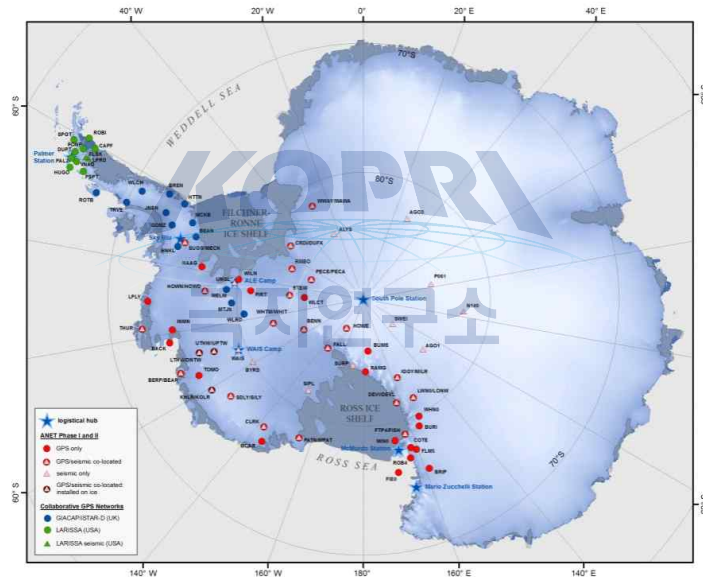


그림 2.1 POLENET에서 운영중인 GPS와 지진관측망 위치도

- 이탈리아와 뉴질랜드는 2003년에서 2004년까지 데이비드 빙하 부근에 지진 관측소와 GPS 관측소를 설치 운영 (그림 2.2)

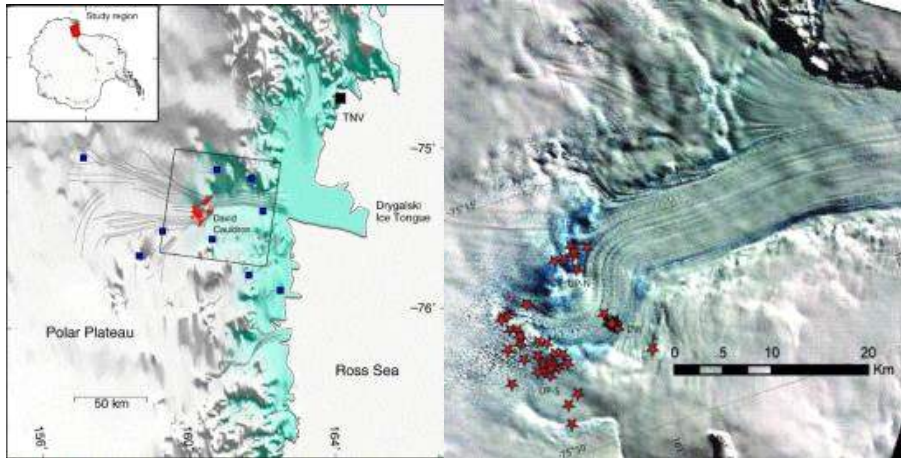


그림 2.2a 지진관측소의 위치도      그림 2.2b 관측한 빙하지진

- 남극 쇼와기지인근에 지진관측소와 인프라사운드 관측소를 설치 및 운영 (일본)
- 미국은 종합 지구물리/기상 관측 시스템인 AMIGOS를 개발 남극 빙하지역에 설치 운영, LiDAR 관측 장비를 이용하여 맥머도(McMurdo) 드라이벨리, Royal Society and Convoy Ranges, 화이트섬(White Island), 로스섬(Ross Island) 지역의 고해상도 LiDAR 디지털 고도모델과 저해상도 음영기록 지도를 작성함

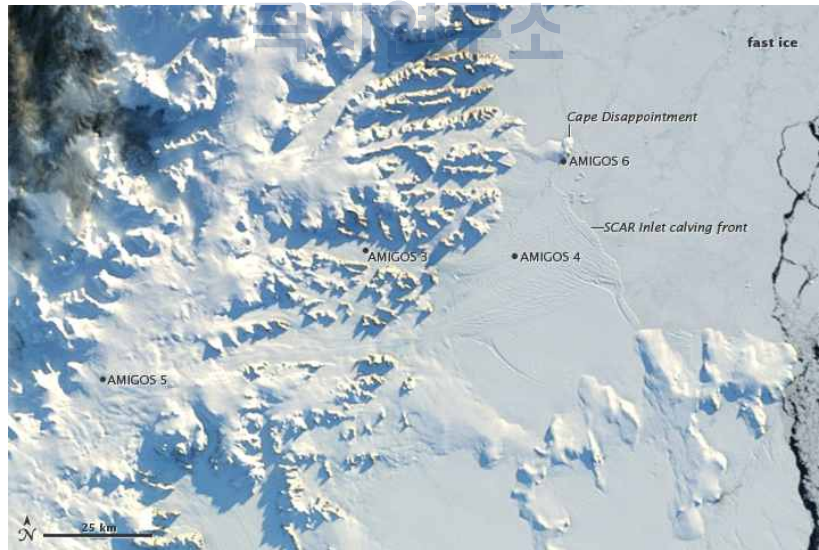


그림 2.3 미국에서 남극반도 지역의 빙하와 빙붕에 설치한 AMIGOS의 위치도

- 남극 유니온(Union) 빙하에 설치된 Amigos에서 라디오 통신망 구축, 자료를 모아 인공위성을 통하여 자료 송신 (미국)

- 호주는 2001년 초부터 데이비스 기지(Davis Station)에서 LiDAR 관측 장비를 이용하여 중층대기변화에 대해 연구하고 있음
- 영국 BAS에서는 크레바스 위험 지역에 항공기를 이용하여 미사일 형태의 GPS 관측장비인 ADIOS 개발, 2012년부터 설치 운영 중
- 남극 AMIGOS 설치 및 운용 (미국)

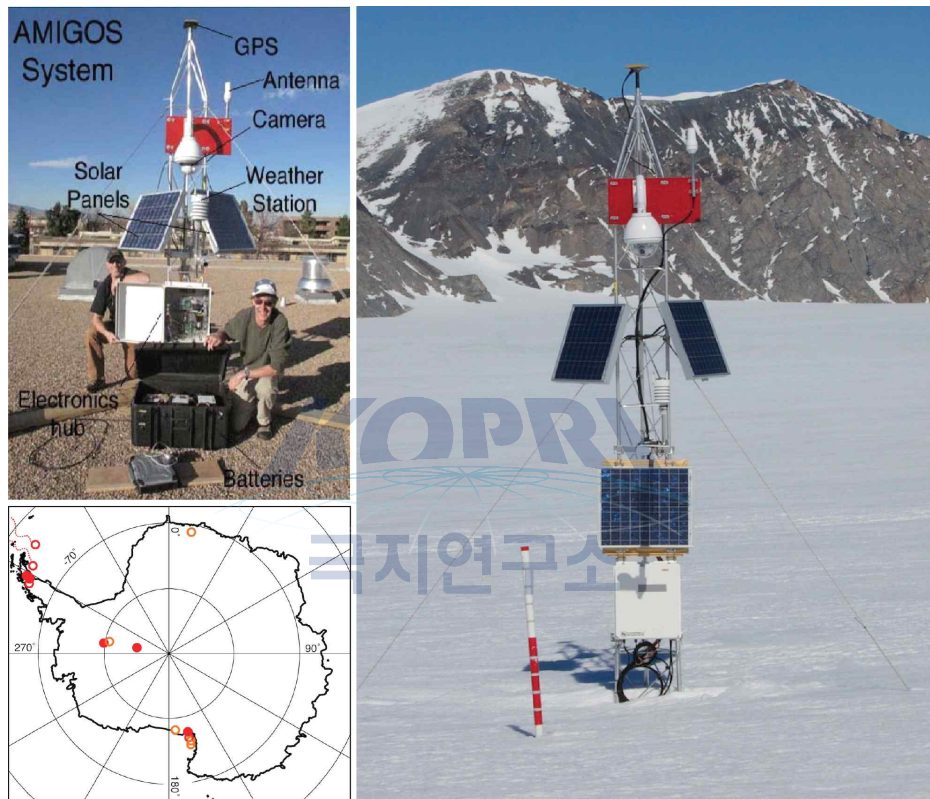


그림 2.4 AMIGOS 구성 및 남극 설치 지점

## 제2절 무인 측지 시스템 개발

- 21세기 들어 무인기의 기술개발이 활발하게 되면서, 민간용으로도 활용가능한 무인기가 양산되기 시작하였음
- 현재 전 세계적으로 약 100개 이상의 무인기 개발 프로그램이 다양한 목적으로 활발히 진행되고 있음
- 극지 관측을 위하여 무인기에 관측장비를 장착하여 탐사를 수행하는 경우가 점차 증가하고 있으며, 이에 대한 기술개발을 위하여 각국이 경쟁하고 있음
- 무인헬기를 이용하여 생물 연구 및 지형 탐사 수행 (호주, 그림 2.5)

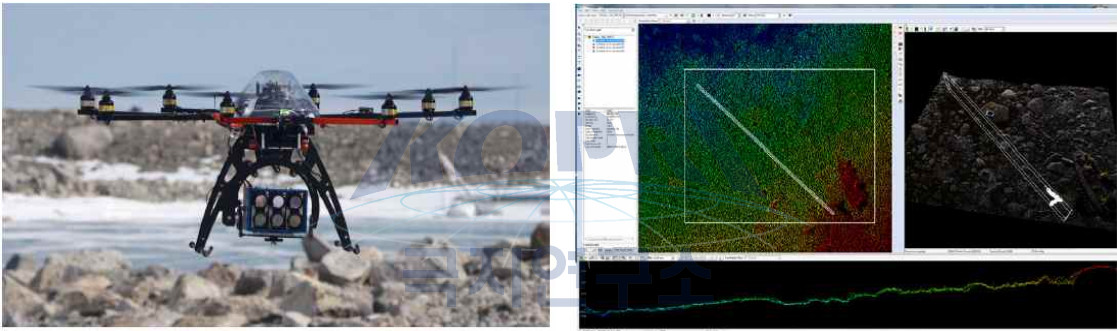


그림 2.5a 남극 생물탐사에 사용된 옥토크터    그림 2.5b 남극 지형 정보

- 무인 항공기를 이용하여 남극 빙권과 대기의 열교환 측정 (영국, 그림 2.6)



그림 2.6 남극탐사에 이용한 영국 무인항공기



- 무인 탐사 차량을 이용하여 위험지역 탐색, 암석 및 운석 탐사 수행 (미국)
- 남극 킹조지섬(King George Island)에서 무인항공기를 이용한 지자기 탐사 (일본, 그림 2.7)



그림 2.7 남극 무인탐사에 이용한 일본 무인항공기

- 북극 유빙이동 추적연구 수행 (독일, 그림 2.8)



그림 2.8a 독일 북극유빙 탐사



그림 2.8b 독일 멀티콥터

- 아마존(Amazon)에서 멀티콥터를 이용한 무인배송시스템 개발중



그림 2.9 아마존이 개발중인 무인배송시스템 멀티콥터

### 제3절 남극 해저면 지진계 설치 운용

- 해저에서 발생하는 지진을 기록하거나, 인공지진을 이용한 심부 지체구조 연구를 위하여 해저면에 지진센서를 설치한 이후, 원하는 시기에 부양시켜 기록된 자료를 분석하고 있음
- 극지에는 지진관측소가 거의 없고, 빙하, 빙상 등의 붕괴를 관측하기 위하여 해저면 지진계를 설치하여 운용하는 것이 매우 유용하게 활용됨
- 미국 지질연구 Ocean Bottom Seismometer(OBS) 기기

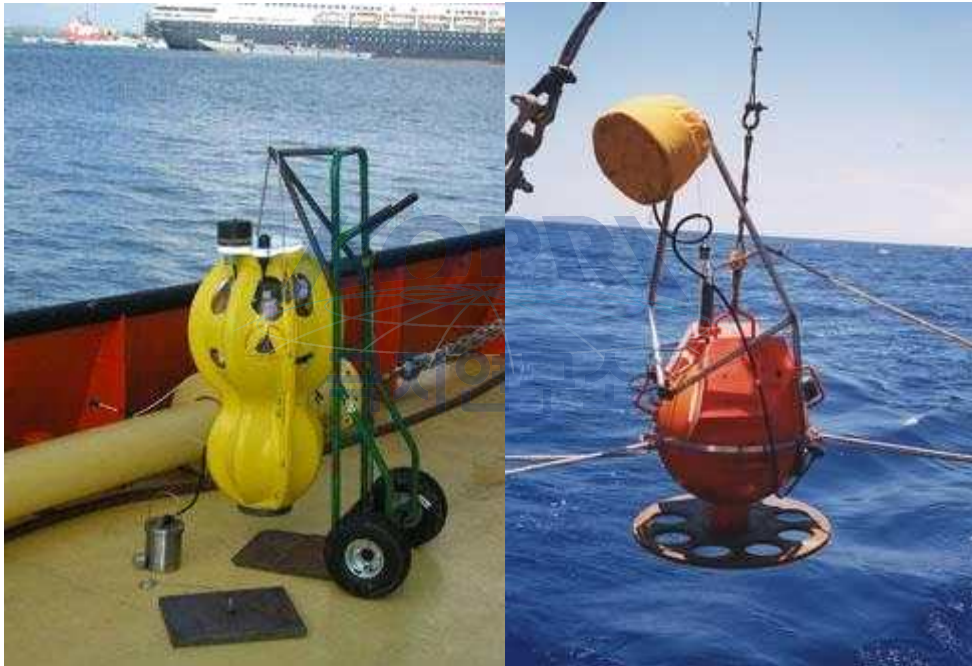


그림 2.10 OBS 장비

- 캘리포니아(California) 북부지역에 2번에 나누어서 총 8대 OBS 설치 - RV WECOMA 9406A 연구항해
- 알래스카 알류산 열도(Aleutian Islands)에 7개 OBS deploy, 51개 OBS recovery - R/V Alpha Helix HX-179 연구항해
- 캘리포니아 LA지역에 9개 OBS 설치 - LARSE 연구항해

- 남극 서로스해 지역에 OBS 장비 40대 설치 (미국 6개, 이태리 7개, 독일 17개) - 1994년도 ACRUP 연구항해
- 콜로라도(Colorado) 남부지역 OBS탐사 - R/V Cape Hatteras Cruise CH 18-95 연구항해

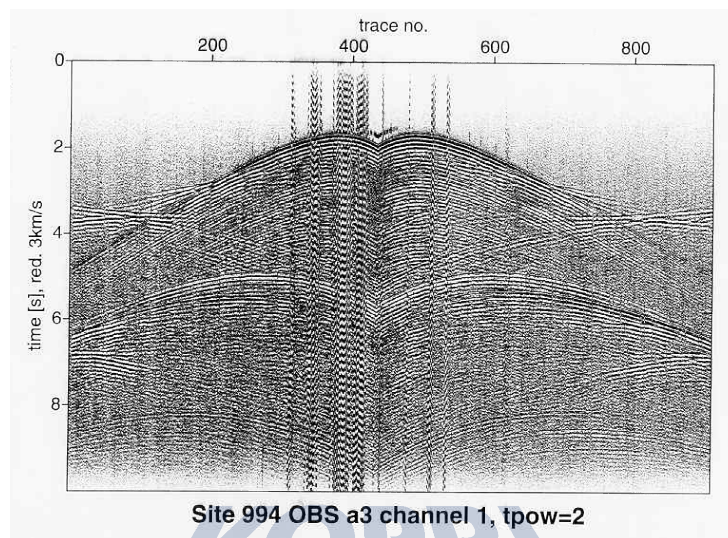


그림 2.11 콜로라도 남부지역에 설치된 OBS data

극지연구소



[남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책 연구]

## 제3장 연구개발 내용





## 제1절 장보고기지 주변의 무인 지구물리 관측망

### 1. 현황 및 개요

극지연구소 지구시스템 연구부에서는 연구과제 “장보고 과학기지 주변 빙권과 지각권의 상호작용 규명 : 데이비드 빙하 종합 관측망 구축 및 빙하 진화 연구” (과제책임자 : 이원상)를 통해 장보고 기지 주변의 남극 빙권 환경 변화와 지각활동을 관측할 수 있는 지구물리 관측망을 설치하고, 운영하고 있다. 장보고기지와 근접한 멜버른 화산 주변 지진관측망(KPSN: Korea Polar Seismic Network)과 데이비드 빙하 주변에 설치된 지진 관측망(KDG: Kopri David Glacier)은 2011년에 구축된 이후로 매년 남극 하계 현장조사 기간에 자료를 회수하고 각 관측소의 배터리 교체 및 오작동 되는 장비를 교체 및 수리하는 등, 관측소 유지/보수를 수행하고 있고, 관측된 연속 지진 자료들을 분석하여 지각활동, 빙하 거동 분석, 멜번 화산의 화산활동 등의 연구에 활용되고 있다. 2014/15 남극 하계 탐사시즌에 관측소 1곳이 유실된 것을 확인하였고(KP06), 추가로 1곳을 새로 설치(KP07)하여 현재 총 13곳의 관측소가 운영 중이다. 또한 데이비드 빙하 상부 와 드라이갈스키 빙설에 설치된 종합 모니터링 시스템 AMIGOS와 GPS 관측장치의 데이터를 통해 빙하의 이동속도를 꾸준히 관측하고 인공위성 고도계 자료와 연계하여 빙하의 두께 변화 탐지 기술을 개발 하고자 한다. 2014/15 남극 하계 탐사시즌에는 데이비드 빙하에 인접한 난센 빙붕과 장보고기지에 인접한 캠벨 빙하에 AMIGOS 관측소를 추가로 설치하여 관측망의 범위를 넓혔으며, 데이비드 빙하에 설치되어 있던 GPS 관측장치를 빙하 상부의 빙저호 예상지로 이동 설치하여 좀 더 정밀한 고도변화 및 속도 변화를 측정하고자 한다.

이 외에 접근이 힘든 크레바스 지역 등의 미답지를 탐사하기 위한 시도 중의 하나로 무인 비행기를 활용한 촬영을 시도 하였지만 극 지역 자기장의 영향으로 저위도 지역에서 오는 다른 움직임을 보임에 따라 이를 보완할 수 있는 대안을 마련해야 할 것으로 보인다. 또한, 빙하의 이동 및 변화를 좀 더 정밀하게 관측하고 시각화하기 위해 미국의 E.I.S.(Extreme Ice Survey)팀에서 사용하는 시간지연(Time-lapse) 카메라를 데이비드 빙하에 설치하였고, 2015/16 남극하계 탐사 시즌에 1년간의 촬영 데이터를 회수할 예정이다.

이처럼 좀 더 정밀하고 넓은 범위에서의 자료 획득을 위해 관측소가 추가로 구축되어야 하지만 이에 앞서 기존의 관측망이 안정적으로 운영될 수 있는 체계가 뒷받침 되어야 한다. 따라서 기존에 운영되고 있는 관측망의 현황을 체계적으로 정리하고 추가로 설치할 관측소에 대한 개선방안을 기술하고자 한다.

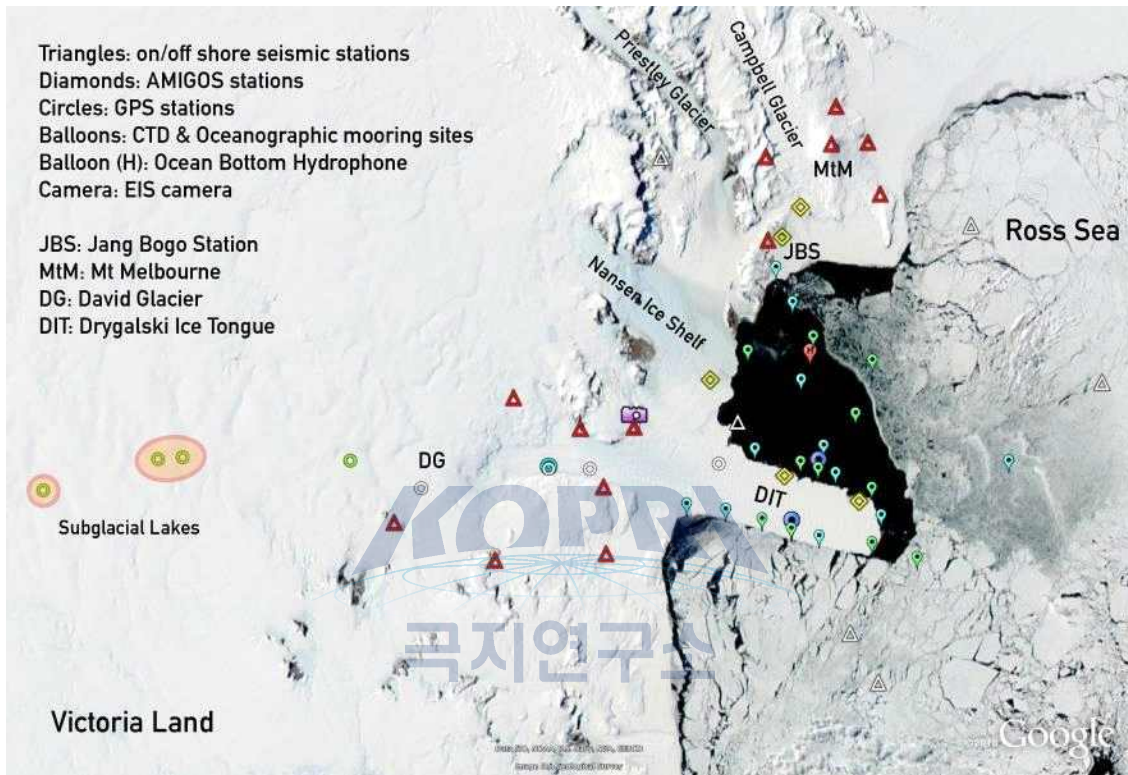


그림 3.1.1 현재 남극 장보고 기지 주변에 설치되어 있는 지구물리 관측소 현황: 삼각형은 지진관측망, 다이아몬드는 AMIGOS 시스템, 원은 GPS 관측망을 나타낸다.

#### 가. 멜번 화산 및 장보고기지 주변 지진 관측망(KPSN@TNB)

장보고 기지 건설 예정지인 테라노바만은 로스해 rifting에 기원한 남극 횡단 산맥(Transantarctic Mountains)의 가장자리에 위치한 멜번 화산과 캠벨 빙하, 그리고 프리스틀리 빙하가 있는 지역이다. 캠벨 빙하는 대륙에서 해안쪽으로 이동하면서 캠벨 빙설을 형성하고 있으며, 프리스틀리 빙하는 해안쪽으로 이동하면서 난센 빙봉과 합류된다. 이러한 움직임은 빙하 방향의 기하학적 변화와 지각 표층, 빙하의 마찰이 원인으로 빙하기원 지진을 유발할 것으로 예상된다. 그리고 멜번 화산은 현재 활동이 계속되고 있는 활화산으로 마그마류(Magma chamber)의 이동에 의



해서 발생할 수 있는 화산기원 지진이 발생할 수 있을 것으로 예상된다. 장보고 기지 건설단은 포괄적인 환경평가를 위한 현장조사를 2011년 1월 22일부터 2월 24일까지 수행하였고, 이기간 동안 빙하지진의 발생 위치에 따른 빙하 움직임의 역학적 분석과 멜번 화산의 화산 활동을 감시하기 위한 목적으로 4대의 지진계를 설치하였다.

극저온 지진계를 설치·운영하기 위한 전원 공급장치와 지진계 보호 상자는 2010년 10월에 아라온에 선적을 마쳐야 했기 때문에 POLENET에서 사용하고 규격에 맞추는 것에는 시간적인 한계가 있었다. 때문에 남극 세종기지와 장보고 기지에 AWS (Automatic Weather Station) 등 많은 관측장비를 설치한 경험이 있는 NeoSea Tech에 의뢰를 하여 제작하였다. 지진 관측 장비는 Nanometrics사에 개발한 Taurus 지진기록계와 휴대에 편리한 Trillium Compact 지진 센서를 사용하였다. Taurus는 750mw의 저전력 지진 기록계로 24-bit 해상도와 정확한 GPS 기능이 내장되어있다. 작동 가능 온도는 Compact Flash memory를 사용할 경우  $-20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ 에서 가능하며 무게는 1.8Kg으로 휴대성이 높다 (그림 3.1.2). Trillium Compact는  $750 \text{ V*s/m} \pm 0.5\%$ 의 sensitivity, 관측 진동 주기 120초에서 100 Hz까지 일정한 관측율, 그리고 160mW 이하의 저전력 센서로 다른 휴대용 지진계 센서에 비교해서 작고, 가벼운 특성이 있다(그림 3.1.3과 3.1.4).



그림 3.1.2 Nanometrics사의 Taurus 지진기록계.

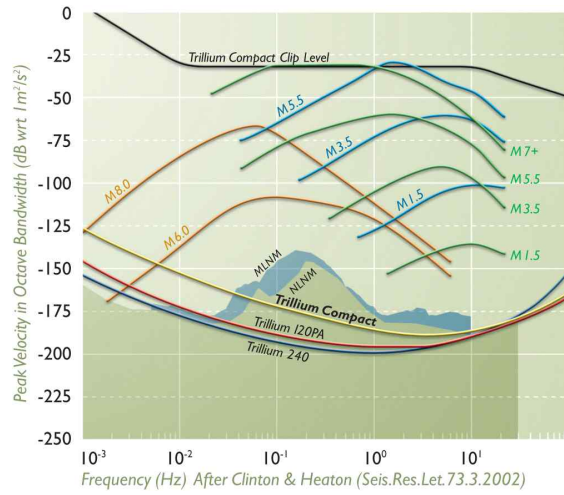


그림 3.1.4 Trillium 지진계 센서의 자체 노이즈 특성.

그림 3.1.3 Nanometrics사의 Trillium Compact 지진계 센서. 직경 90mm, 높이 128mm 크기로 휴대성이 높음.

지진계 센서가 설치된 지역은 실제로 표면은 단단한 암석이나 동토층으로 되어 있기 때문에 지진계 센서를 설치할 때 수평을 정확히 맞추는 작업에 어려움이 있었다. 지진계 센서의 수평과 보온을 위해서 바닥에는 철판으로 고정을 하고 센서는 고정판과 함께 PVC관과 투명 플라스틱, 그리고 그 안쪽을 유리섬유 (glass wool) 로 단열을 하였다 (그림 3.1.5).

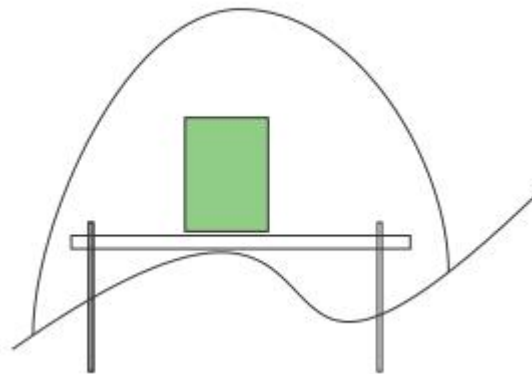



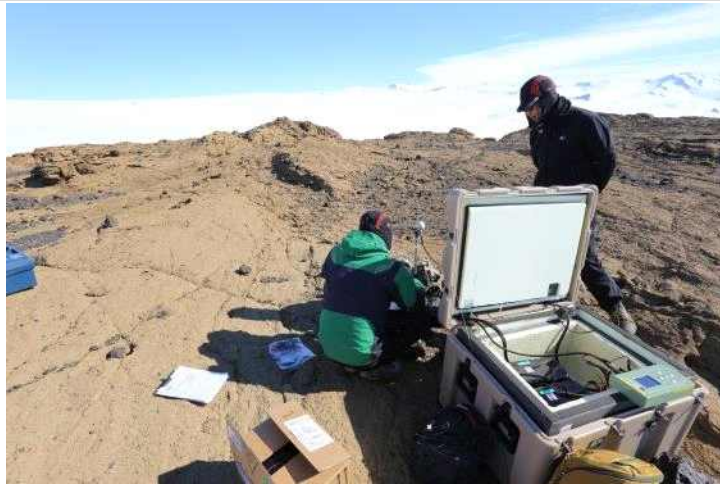
그림 3.1.5 지진계 센서 설치 단면도

기존에 설치되어 있던 KP06 사이트의 경우 2014/15 하계시즌에 배터리 교체 및

데이터 회수를 위해 방문하였을 당시 기록계 박스가 유실되어 지진계 센서만 남아있는 것을 발견 하였는데 강풍으로 인해 절벽 아래로 떨어진 것으로 추정된다. KP 관측망의 경우 주로 멜번 화산 주변의 고산암벽지대에 설치되어 있기 때문에 낮은 기온과 강풍에 노출될 수밖에 없다. 때문에 장기간 안정적으로 관측소를 운영하기 위해 장비 유실 또는 파손 예방에 좀 더 주의를 기울일 필요가 있어 보인다.

KP01	
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2010/2011 남극 하계탐사 시즌 설치</li> <li>- 위도 : S 74° 29.195', 경도 : E 165° 17.383'</li> <li>- 설치 장비               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 센서 : Trillium-compact(Nanometrics, S/N : 753)</li> <li>· 기록계 : Centaur(Nanometrics, S/N : 156)</li> <li>· 전원 : 리튬-염화티오닐 배터리 8개 (Tadiran, 18V, 190Ah)</li> </ul> </li> </ul>	

KP02



- 2010/2011 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 74° 13.932', 경도 : E 164° 44.002'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-compact(Nanometrics, S/N : 269)
  - 기록계 : Taurus(Nanometrics, S/N : 2269)
  - 전원 : 리튬-염화티오닐 배터리 6개 (Tadiran, 18V, 190Ah)

KP03



- 2010/2011 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 74° 23.692', 경도 : E 163° 58.25'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-compact(Nanometrics, S/N : 2132)
  - 기록계 : Centaur(Nanometrics, S/N : 154)
  - 전원 : 리튬-염화티오닐 배터리 8개 (Tadiran, 18V, 190Ah)

KP04



- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 74° 36.87', 경도 : E 164° 12.808'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-compact(Nanometrics, S/N : 268)
  - 기록계 : Taurus(Nanometrics, S/N : 2937)
  - 전원 : 리튬-염화티오닐 배터리 8개 (Tadiran, 18V, 190Ah)

KP05



- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 74° 20.97', 경도 : E 164° 41.42'(멜번화산 정상 부근)
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-240(Nanometrics)
  - 기록계 : Q330 & B44(Kinometrics, S/N : 4048, 13403)
  - 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) & 리튬-염화티오닐 배터리 (Tadiran, 18V, 190Ah)

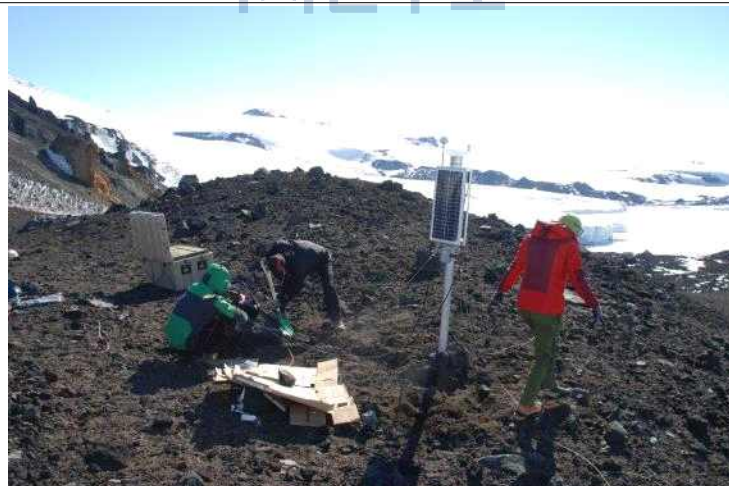
KP06



- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 74° 24.38', 경도 : E 162° 48'
- Trillium-Compact 센서와 Centaur 기록계를 설치하여 운영 중 기록계와 배터리가 담긴 단열 박스가 유실된 것을 2014/15 남극 하계탐사 시즌에 발견하여 설치되어 있던 센서만 회수하였음.



극지연구소 KP07



- 2014/2015 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 74° 19.963', 경도 : E 165° 7.09'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-Compact(Nanometrics, S/N : 2124)
  - 기록계 : Centaur(Nanometrics, S/N : 149)
  - 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) & 리튬-염화티오닐 배터리(Tadiran, 18V, 190Ah)

#### 나. 데이비드 빙하 주변 지진 관측망

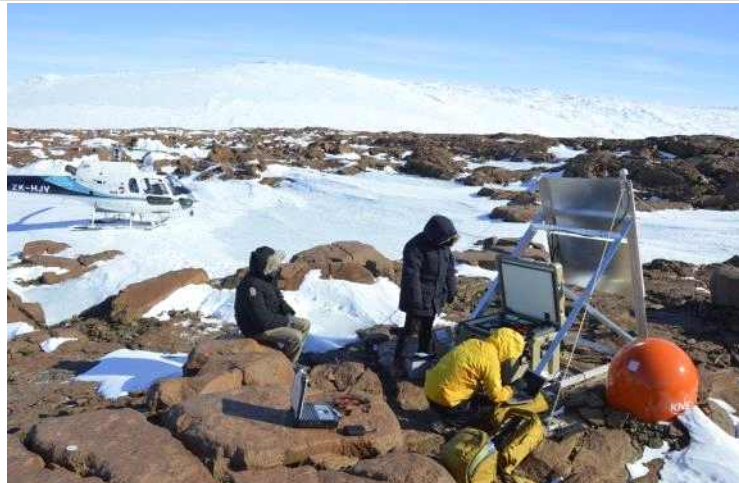
2011-2013년 까지 수행된 “장보고 과학기지 주변 빙권과 지각권의 상호작용 규명: 데이비드 빙하 종합 관측망 구축 및 빙하 진화” 연구 기간 동안 장보고기지 부근 광역 지질/지체 구조 연구, 빙하의 거동 분석 등을 연구하기 위해 장보고기지 및 데이비드 빙하 부근 7개 지점에 지진관측 시스템을 설치하여 서남극지역의 지진 관측망을 구축하였다 (그림 3.1.1). 데이비드 빙하 관측망은 데이비드 빙하의 거동 및 빙진의 발생 메커니즘을 연구하기 위해 설계되었으며, 이를 위해 빙하 주변 7곳의 암반 지역에 지진관측 시스템을 설치하였다. 관측망의 지진관측 시스템은 IRIS/PASSCAL의 극지역 지진관측 시스템 디자인을 토대로 설계되었으며, 지진장비 및 부대장비 구매, 설계, 제작 시 PASSCAL 연구진의 기술지원을 받아 지진관측 시스템 설치준비 작업을 수행하였다.

데이비드 빙하 지진관측망의 시스템 구성은 아래와 같다.

- 지진계 센서 : Nanometrics Trillium 240 broadband seismometer
- 지진기록계 : Quantera Q330과 Baler 44 package (Industrial grade 8GB USB memory × 2)
- 파워시스템 : A & 타워 타입 태양광 시스템, SunXtender 충전용 배터리, 리튬 보조 배터리, IRIS/PASSCAL 전력관리모듈박스 □
- 인클로저 : IRIS/ PASSCAL 디자인 DAS 인클로저, IRIS/PASSCAL 디자인 센서 볼트

2011년 남극하계탐사 기간 동안 총 7개 관측소로 구성된 데이비드 빙하 지진관측망 구축작업을 완료하였으며, 2012년과 2013년 남극하계탐사 동안에는 지진관측소 현장을 방문하여 자료를 획득하고, 시스템의 유지/보수 작업을 수행하였다.

KDG01



- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 75° 7.94', 경도 : E 161° 7.74'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-240(Nanometrics, S/N : 792)
  - 기록계 : Q330 & B44 (Kinometrics, S/N : 4050, 13428)
  - 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) & 리튬-염화티오닐 배터리 (Tadiran, 18V, 190Ah)

KDG02



- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 75° 23.96', 경도 : E 162° 11.475'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-240(Nanometrics,)
  - 기록계 : Q330 & B44 (Kinometrics, S/N : 4494, 17068)
  - 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) & 리튬-염화티오닐 배터리 (Tadiran, 18V, 190Ah)

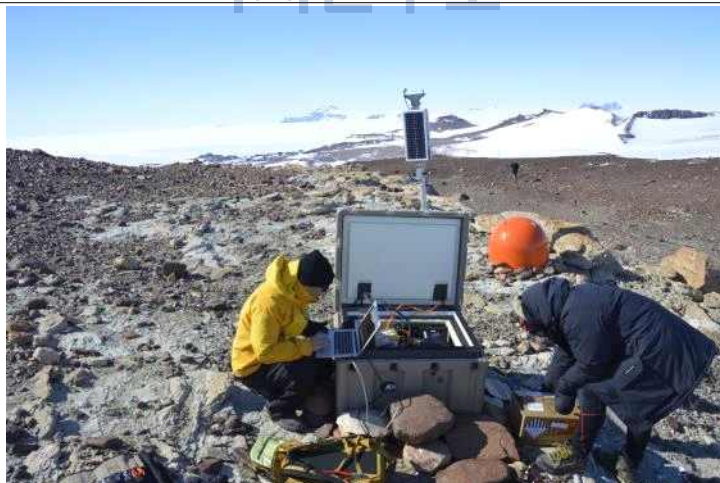


KDG03



- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 75° 36.014', 경도 : E 162° 13.794'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-240(Nanometrics, S/N : 791)
  - 기록계 : Q330 & B44 (Kinometrics, S/N : 4055, 13395)
  - 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) & 리튬-염화티오닐 배터리 (Tadiran, 18V, 190Ah)

KDG04



- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 75° 29.893', 경도 : E 159° 41.309'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-240(Nanometrics)
  - 기록계 : Q330 & B44 (Kinometrics, S/N : 4539, 13426)
  - 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) & 리튬-염화티오닐 배터리 (Tadiran, 18V, 190Ah)

KDG05




- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 75° 13.45', 경도 : E 161° 54.631'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-240(Nanometrics, S/N : 727)
  - 기록계 : Q330 & B44 (Kinometrics, S/N : 4491, 17064)
  - 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) & 리튬-염화티오닐 배터리 (Tadiran, 18V, 190Ah)

KDG06



- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치
- 위도 : S 75° 37.089', 경도 : E 160° 53.365'
- 설치 장비
  - 센서 : Trillium-240(Nanometrics, S/N : 780)
  - 기록계 : Q330 & B44 (Kinometrics, S/N : 4492, 17065)
  - 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) & 리튬-염화티오닐 배터리 (Tadiran, 18V, 190Ah)

KDG07	
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2011/2012 남극 하계탐사 시즌 설치</li> <li>- 위도 : S 75° 13.15', 경도 : E 162° 32.685'</li> <li>- 설치 장비               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 센서 : Trillium-240(Nanometrics, S/N : 781)</li> <li>· 기록계 : Q330 &amp; B44(Kinometrics, S/N : 4542, 17066)</li> <li>· 전원 : AGM배터리(Sunxtender, 12V, 104Ah) &amp; 리튬-염화티오닐 배터리 (Tadiran, 18V, 190Ah)</li> </ul> </li> </ul>	

## 2. 실시간 모니터링을 위한 무선 데이터 통신망 구축

남극 장보고 과학기지를 기반으로 대륙내의 데이비드 빙하 및 멜번 화산 주변에 구축되어 있는 지구물리 관측망이 효율적으로 운영되기 위해서는 실시간으로 데이터를 주고받을 수 있는 무선 통신망 구축이 필요하다. 남극이라는 지리적, 기후적인 특성 때문에 1년 단위로 관측소에 직접 방문하여 데이터를 획득하고 있지만 방문하는 시기의 기후조건이 좋지 않다면 그마저도 쉽지 않은 경우가 많다. 운영되는 관측소에 무선 데이터 통신망 구축이 가능하다면 실시간으로 데이터를 획득할 뿐만 아니라 모니터링이 가능하고 관측소에 방문하기 전에 미리 정보를 획득하여 유지보수가 효율적으로 이루어 질 수 있다.

관측소와의 무선통신을 위해서는 장보고 기지에서 설치 운영되고 있는 위성통신 데이터망을 기반으로 해야 한다. 라디오 주파수를 활용하여 무선통신을 할 수 있는 장비와 별도의 안테나를 관측소와 장보고 기지 양쪽에 모두 설치하면 점대점(Point to Point) 방식으로 쌍방향 통신이 가능하다. 우리가 사용한 장비의 통신 가능한

최대 직선거리는 이론적으로 50km이지만 관측소와 장보고 기지간의 거리가 가깝지 않고 중간 지형 또한 통신상의 장애물이 될 수 가 있어 통신 가능한 최소 직선거리를 확보하는 것이 쉽지 않다. 관측소와 장보고 기지간의 원활한 통신을 위해서는 높은 지형을 활용하여 라우터 역할을 해줄 수 있는 송수신타워를 설치할 것을 고려해야 할 것으로 보인다.

#### 가. 개요

남극 장보고 과학기지를 기반으로 데이비드 빙하 및 멜번 화산 주변에 구축되어 있는 지구물리 관측망에서 획득되는 자료들을 직접 방문하여 회수하지 않고 실시간으로 획득할 수 있는 장거리 무선 데이터 통신망 구축을 목표로 한다. 각 관측 스테이션 간 데이터 통신망이 구축 된다면 남극 동계 기간에도 데이터 획득이 가능하며, 장기적으로는 각 스테이션에 사용 되는 1회용 리튬배터리를 재충전하여 사용 가능한 리튬 배터리로 교체하여 관측망의 유지 보수를 위해 매년 하계 탐사 기간에 모든 관측망에 직접 방문해야 하는 작업을 생략할 수 있다.

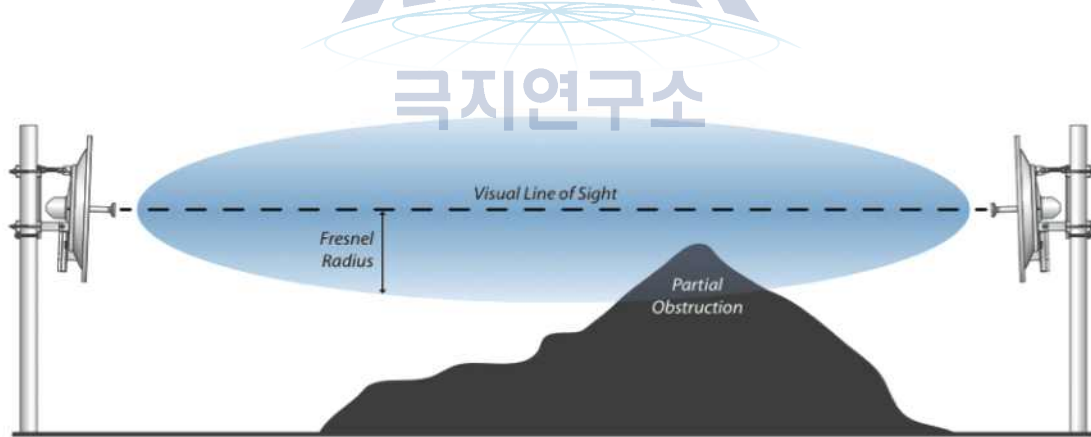


그림 3.1.6 점대점 방식 무선 데이터 통신망

#### 나. 장비

(가) Bullet M2-Ti (UBNT 사)

- CPU : Atheros MIPS 24KC, 400MHZ
- 사용 가능 온도 : - 40℃ ~ 80℃

- 허용 전압 : DC 12 ~ 24 V
- 최대 사용 전력 : 7 Watts

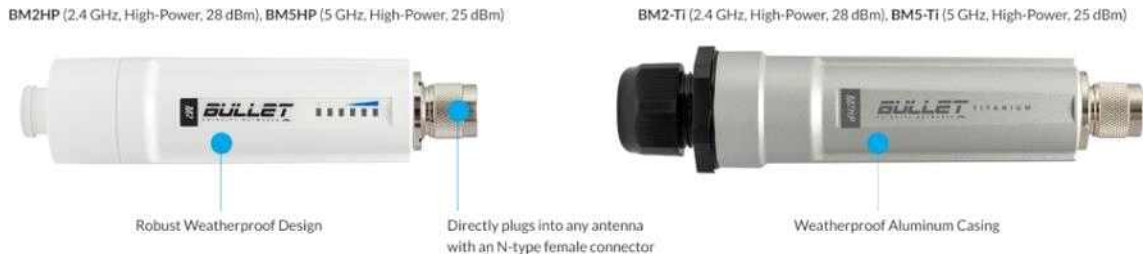


그림 3.1.7 무선 자료 송신에 사용된 bullet type 본체 모습

(나) Yagi Wifi Antenna (2.4Ghz, 15dBi)



그림 3.1.8 Yagi 안테나 부분: N-type 커넥터로 Bullet 장비와 직접 연결 가능

다. Indoor test

(1) IP 설정

Bullet M2 장비를 연결하기 전 네트워크 설정을 위해 UBNT 사에서 제공하는 air OS로 연결한다. air OS로 접속하기 위해서는 접속하는 장비의 IP를 수동으로 지정하고(192.168.1.XX) 웹 브라우저를 통해 정해진 IP 주소(192.168.1.20)를 입력 후 연결 할 수 있다.

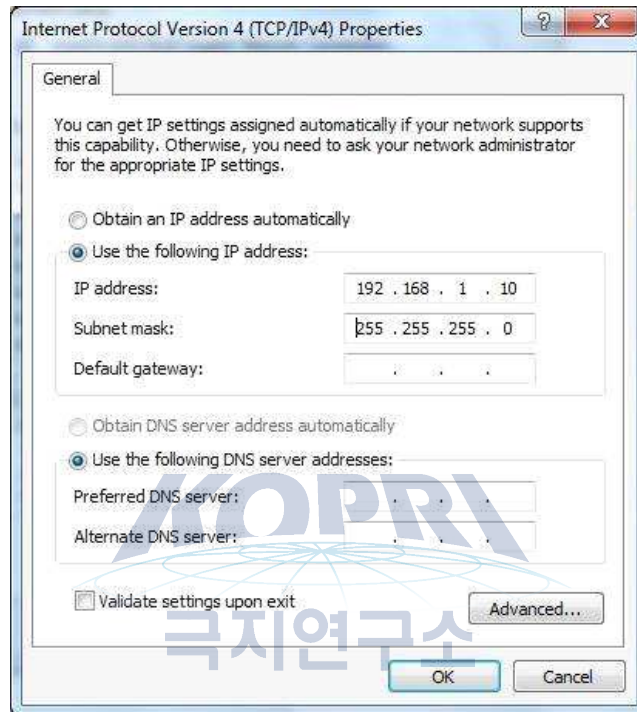


그림 3.1.9 Windows OS에서의 수동 IP 설정화면

## (2) 내부 설정

웹 브라우저를 통해 air OS에 접속하면 Bullet 장비의 내부 설정을 해줄 수 있다. 점대점 방식으로 데이터 통신 시에는 네트워크 모드(Network Mode)를 호스트(Host)가 되는 쪽을 브릿지(Bridge), 관측소에 설치할 쪽의 Bullet 장비를 Station으로 지정해준다.

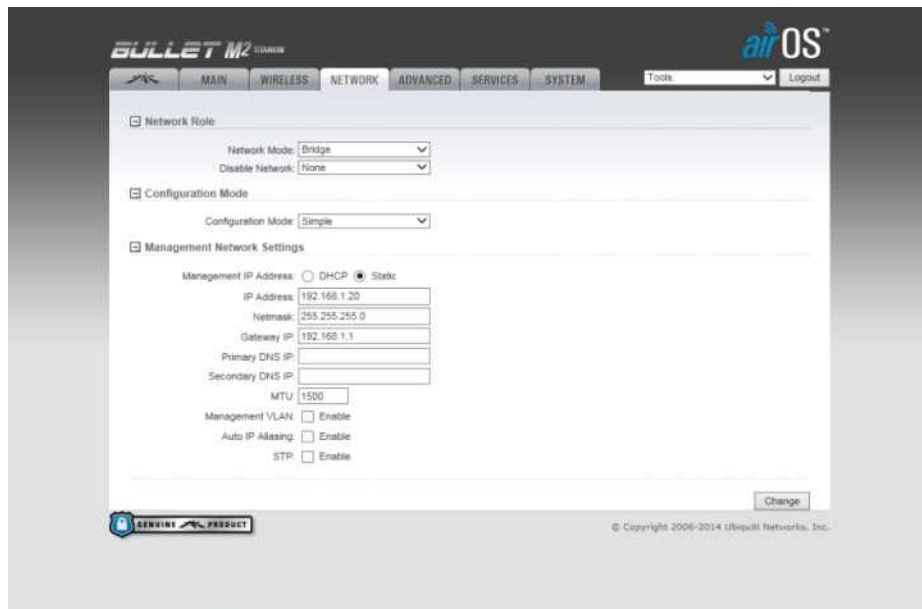


그림 3.1.10 무선 자료 송수신을 위한 내부 지정 ip address 설정 화면



그림 3.1.11 무선 자료 송수신 보안 설정 화면

### (3) 안테나 연결

Yagi 안테나와 Bullet 장비는 연결부가 N-type 커넥터로 되어있어 쉽게 연결할 수 있다. 안테나 연결 후에 air OS 메인 화면에서 신호 감도를 확인 할 수 있다. 안테나를 연결하면 송신부(Tx)와 수신부(Rx)의 신호가 동일하게 나오는 것을 확

인 할 수 있다.



그림 3.1.12 무선자료 송수신을 위한 안테나 연결 전 화면

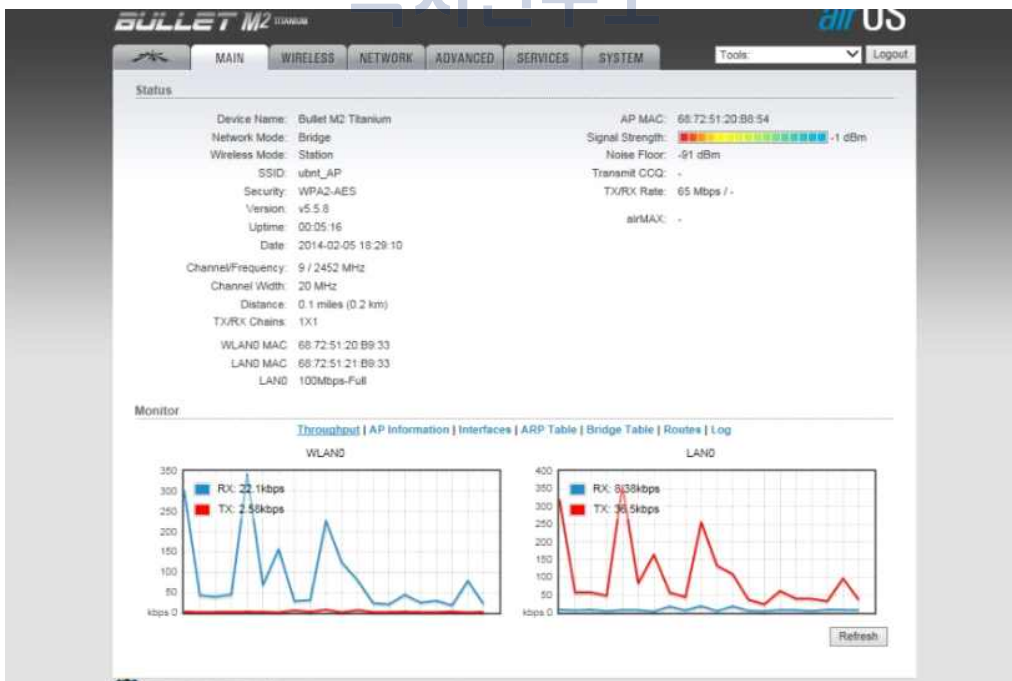


그림 3.1.13 무선자료 송수신을 위한 안테나 연결 후 화면: 안테나 연결 후 신호 감도 변화 확인



## 제2절 불활성기체 동위원소 분석

### 1. 불활성기체 동위원소 질량분석실 설치

극지연구소는 2015년 5월 일본 동경대학교에서 사용하던 노블가스 질량 분광기(Noble gas mass spectrometer)를 기증받아 이전, 설치하였다. 해당 장비는 하야부사(Hayabusa)와 같은 우주 물질을 비롯하여 화산가스, 온천수 같은 지질분야 샘플의 불활성기체 분석에 활용되어왔다. 장비의 기본은 VG5400 모델이지만 K. Nagao 교수가 20여 년간 운용하며 미량원소 분석에 특화되게 개조, 발전시켰다. 장비는 진공설비가 다수 장착된 가스추출, 가스정제, 분리, 질량분석 4파트로 구성되어 있으며 이들 장비를 조절해주는 전자장비들로 되어 있다.

본 절에서는 해당 장비들이 극지연구소로 이전 설치되는 과정을 설명하고 장비의 원리를 서술하며 앞으로 극지연구소에서 활용가능 분야에 대하여 소개하고자 한다.



그림 3.2.1 노블가스 질량 분광기

### 2. 질량 분광기 이전

가. 연구 장비 이전

일본의 물류회사인 Nippon Express에 의하여 2015년 4월 15일 동경대학교 Geo-chemical Center에 있던 설비들을 회사 창고로 1차 이전하였다. 물류창고로의 이송에는 특수 크레인, 지게차 각 1기와, 무진동차 2기가 사용되었으며 충격을 최소화하기 위하여 바닥에 매트를 깔고 진행하였다. 창고에서는 충격에 취약한 연구 장비들에 대해선 특수 포장이, 중량화물들에 대해선 분해 작업이 진행 되었다. Mass와 Purification Line이 분리되고 부속품별로 구분하여 포장이 완료되기 까지 한 달 가량의 시간이 소요되었다.



그림 3.2.2 동경대학교에서의 Mass 반출



그림 3.2.3 동경대학교에서의 연구 장비 반출

2015년 5월 21일 인천공항을 거쳐 극지연구소로 장비들이 이송되었다. 장비들이 진동에 취약한 것을 고려하여 항공화물로 처리하였으며 2대의 무진동차를 이용하였다. Mass의 본체를 옮기기 전에 공간유지(Maintenance space)를 측정하고 사전에 위치를 표시하여 차후에 발생할지 모를 기기의 수리를 대비하였다. 실험 장비의 전자부분(electronic part)들은 본체와 거리를 최단으로 위치해 우측과 좌측 양사이드에 밀착시켜두었다. 노블가스 질량 분광기는 마그넷이 600kg가량으로 정밀하게 조립하기 위해서는 그림 3.2.6과 같은 형태의 실내에서 사용가능한 특수 크레인이 동원되었는데 해당 크레인을 이용하여 마그넷을 들어 올리고 하부의 베어링이 떨어지지 않도록 조립, 탈착시켰다.



그림 3.2.4 연구 장비의 하차



그림 3.2.5 연구 장비 보호케이스 해체



그림 3.2.6 연구 장비의 재조립



그림 3.2.7 연구 장비가 조립 완료된 모습

#### 나. 극지연구소 실험실 구성

불활성가스 질량분석 장비를 위한 실험실은 제 1연구동 2116호에 마련되었다. 기존에 대륙탐사장비 보관실로 사용되던 곳이었지만 이곳의 물품은 지원동 2층으로 옮겨졌다. 또한 2117호에 있던 주사전자현미경(SEM)을 2115호(산소동위원소분석실)로 이전하여 290cm가량의 공간을 추가 확보하여 분석장비의 최소 설치 공간(500cm) 이상을 확보해 주었다.

The location of Noble gas Lab

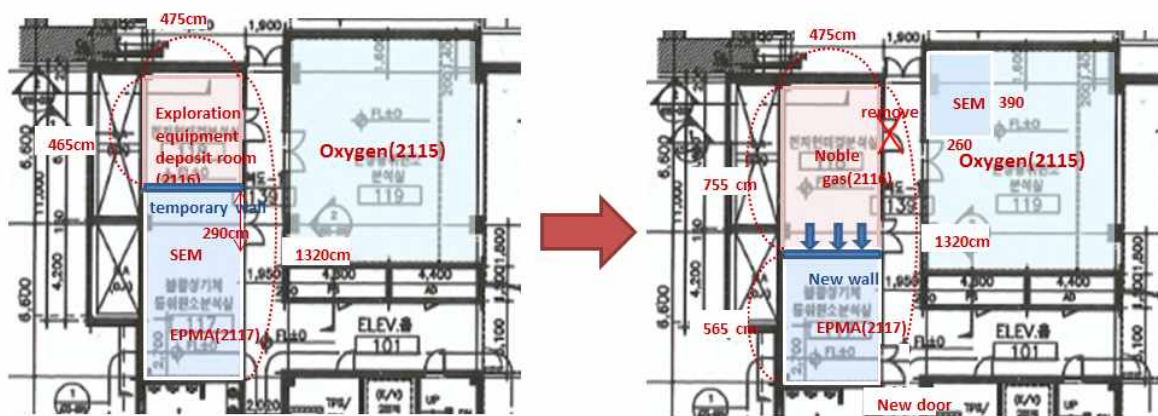
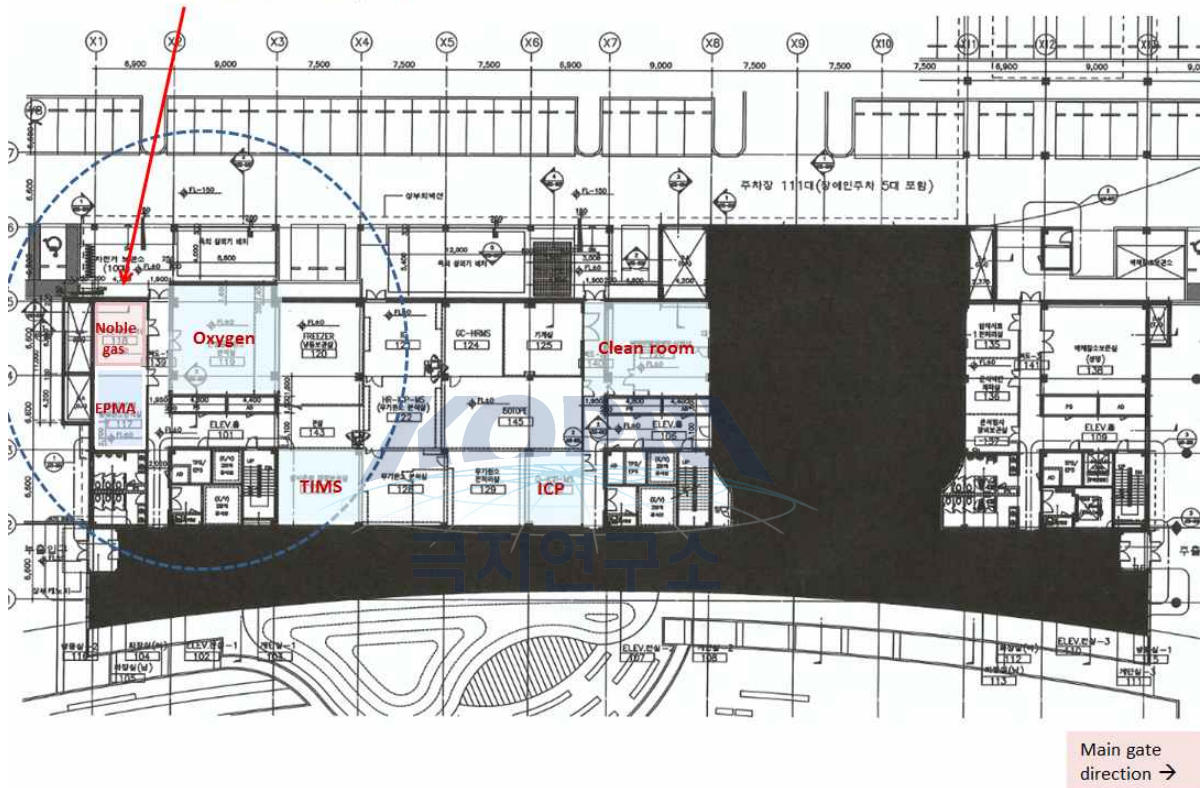


그림 3.2.8 극지연구소 제 1연구동 Lay-out (불활성가스 분석 장비로 인한 Lay-out의 변동)

## (1) 실험실 Lay-out

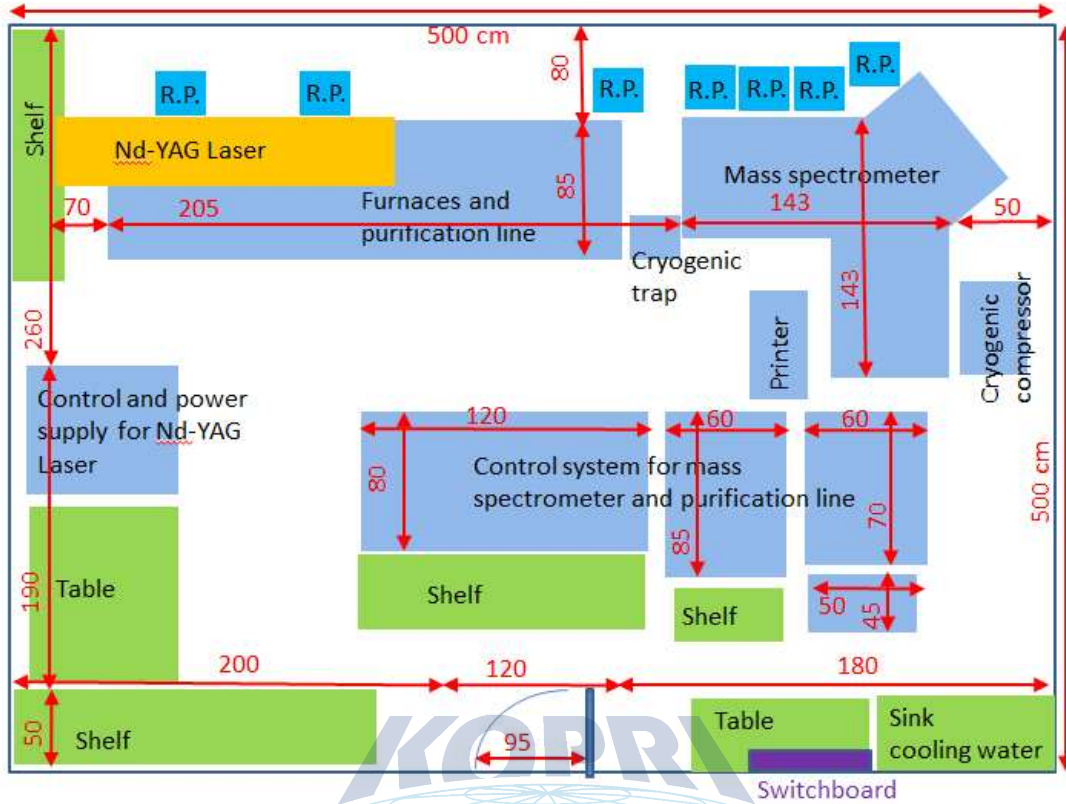


그림 3.2.9 기존 동경대학교의 실험실 Lay-out (500cm \* 500cm)

실험실의 내부 면적은 755cm \* 480cm로 일본 동경대학교에서 사용하던 500cm \* 500cm 보다는 소폭 늘어났다. 동경대학교의 Lay-out은 설비가 들어갈 수 있는 최소의 Size로 이를 확장하여 755cm \* 480cm에 맞춰 다시 배치하였다. 예비 부품들이 다량으로 함께 들어 왔기에 내부에 80cm\* 60cm \* 180cm 서랍장 5기를 아래 벽면에 설치하여 효율적으로 보관할 수 있도록 하였다. 우측 벽면에는 실험 후 필라멘트 등의 세정(Wash) 및 조립에 사용할 실험 Table(75cm \* 150cm \* 80cm) 2기와 실험용 개수대를 설치하였다.

실험실이 건물 외벽과 붙어 있는 점을 고려하여 온풍기 기능이 함께 있는 에어컨을 설치하여 분석 중 온도에 의한 영향을 차단하고 겨울철 설비 이상을 방지하고자 하였다.

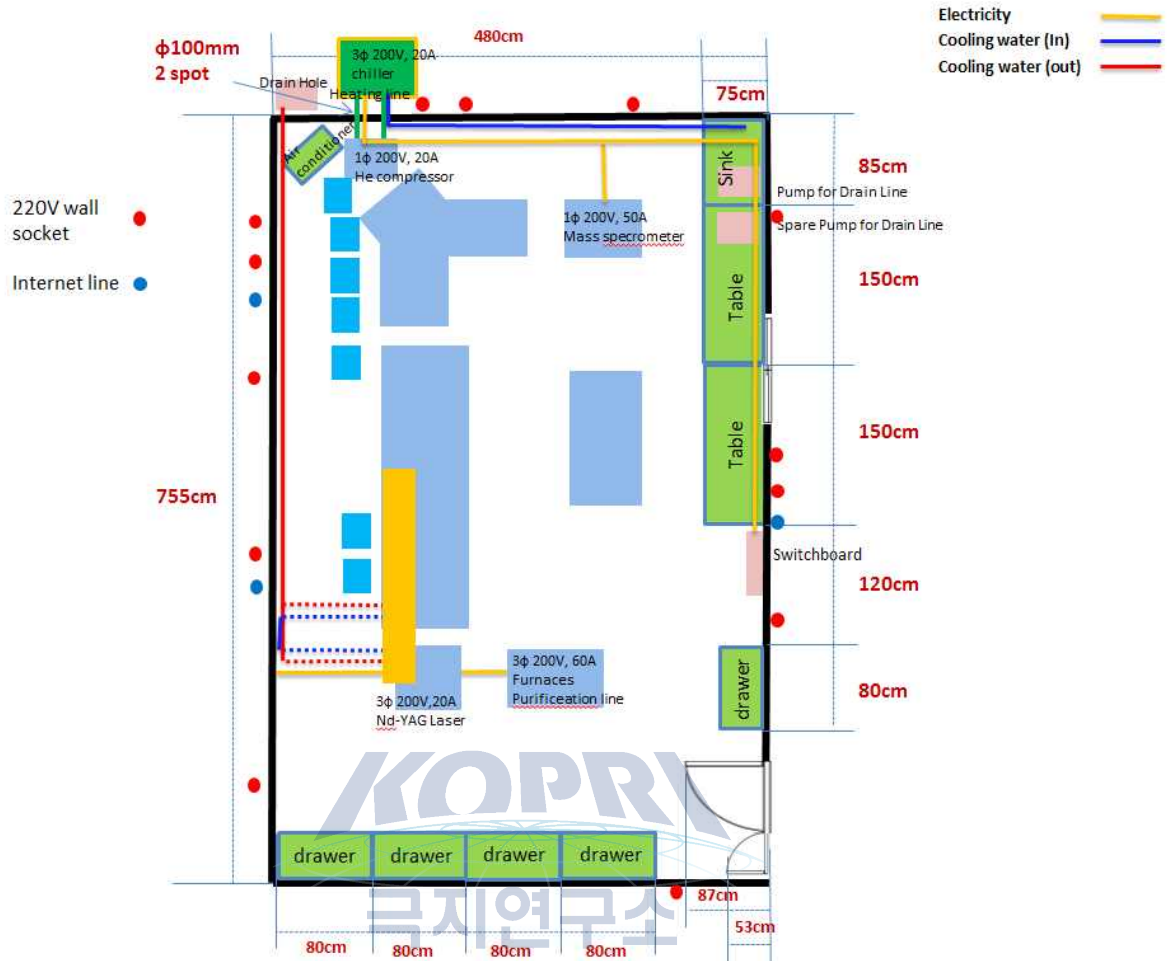


그림 3.2.10 극지연구소 불활성 가스 동위원소 분석실 전체 Lay-out (755cm \* 480cm)

(2) 급배수

불활성기체 동위원소 분석실에는 총3개의 장비에 급수가 필요했다. 하지만 해당 실험실 지하에는 전기 발전실이 위치하고 있어서 하부로 급배수 라인은 만들 수 없는 제약조건이 발생하였다. 이에 상부 덕트 라인을 활용하여 급수라인을 만들어 주었으며 배수는 펌프(Pump) 2기를 교차 설치하여 천장의 배수라인으로 밀어 올리도록 설계하였다. 이렇게 설계된 기본 급배수 라인은 실험실 우측 모서리에 위치한 싱크 설비까지 끌어왔고 이곳에서 3기의 장비에 분배되도록 하였다. 헬륨 압축기(He compressor)와 연결된 냉각장치(Chiller)에는 냉각수의 증발을 대비하여 건물 외부까지 급수가 연결되었으며 Nd-YAG 레이저(Laser)와 용광로(Furnaces)에는 고온작업시 사용할 냉각 라인이 연결되었다. 건물 외부로 연결된 급수 라인에 대해서는 겨울철의 동파를 대비하여 열선을 설치하였다.



그림 3.2.11 실험실 배수를 위한 펌프 설비



그림 3.2.12 냉각장치의 급배수 모습



그림 3.2.13 레이저, 용광로의 급배수

### (3) 전기 설비

불활성기체 동위원소 분석 실험실에는 총 4종류의 전기가 공급 되었다. 기본적으로 일본에서 사용하던 장비들은 1Phase 100V, 1Phase 200V, 3Phase 200V가 사용이 되었다. 이를 위해서 한국에서 사용되는 3Phase 380V를 3Phase 200V로 바꿔주는 대형변압기가 전기실에 설치가 되었고 실험실의 교환대(Switchboard)에 연결이 되었다. 1Phase 200V는 3Phase에서 두선만 결선하여 사용토록 하였다. 단, 1Phase 100V에 연결되는 설비들은 한국의 1Phase 220V를 100V로 변환해

주는 AVR을 별도로 3기 구매하여 연결되었다. 교환대는 150A 용량으로 제작되었는데 3Phase 200V가 75A, 1 Phase 200V가 75A로 사용된다. 상세 연결도는 아래 그림과 같다.



그림 3.2.14 실험실의 교환대



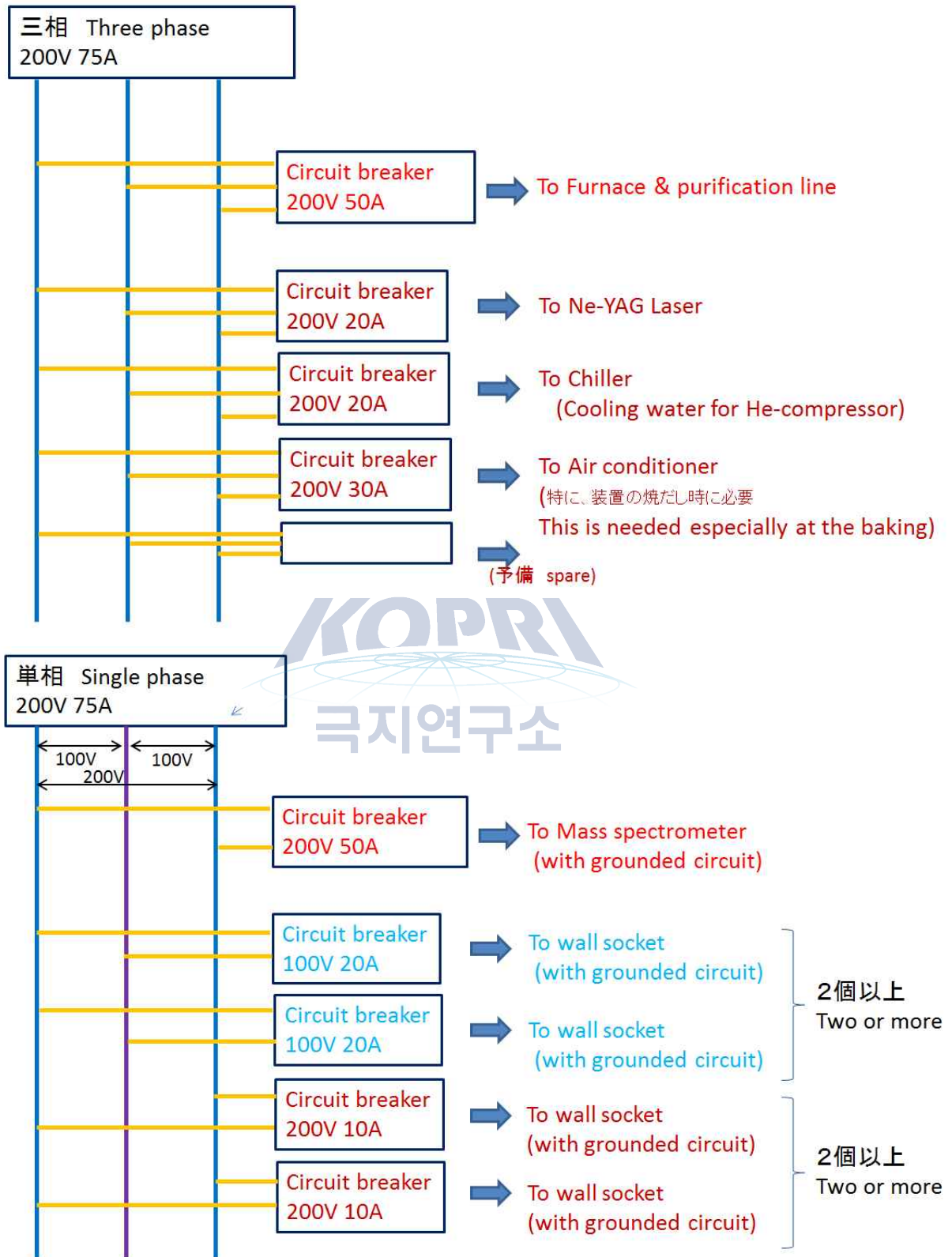


그림 3.2.15 교환대의 배전 연결도

### 3. 노블가스 질량 분광기

**Noble Gas Isotopes**

Element	Isotope
He	<sup>3</sup> He <sup>4</sup> He
Ne	<sup>20</sup> Ne <sup>21</sup> Ne <sup>22</sup> Ne
Ar	<sup>36</sup> Ar ( <sup>37</sup> Ar) <sup>38</sup> Ar ( <sup>39</sup> Ar) <sup>40</sup> Ar
Kr	<sup>78</sup> Kr <sup>80</sup> Kr ( <sup>81</sup> Kr) <sup>82</sup> Kr <sup>83</sup> Kr <sup>84</sup> Kr <sup>86</sup> Kr
Xe	<sup>124</sup> Xe <sup>126</sup> Xe <sup>128</sup> Xe <sup>129</sup> Xe <sup>130</sup> Xe <sup>131</sup> Xe <sup>132</sup> Xe <sup>134</sup> Xe <sup>136</sup> Xe

노블가스란 원소 주기율표 18족에 속하는 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr), 라돈(Rn)을 말한다. 원자의 최외각전자가 모두 채워져 있기 때문에 화학적으로 대단히 안정하여 자연환경에서는 반응에 관여하지 않기 때문에 불활성기체라고도 한다. 라돈 이외의 기타 원소는 동위원소를 가지며 이 동위원소비를 활용하여 운석, 암석광물의 절대연령 측정을 하거나 기원의 해석에 이용되고 있다.

극지연구소에 설치된 불활성기체 동위원소 분석장비는 23개의 안정 동위원소 (Stable isotopes)를 측정 가능하도록 특별히 디자인된 장치이다. 기본적으로 sector-type의 단일 초점조절(single focusing)장비와 가스추출, 정제 설비로 이루어지지만 Nd-YAG CW 레이저를 장착하여 ug단위의 매우 작은 샘플도 측정이 가능하도록 개조되었다. 3개의 이온 탐지기(페러데이 컵: Faraday Cup, Daly-Multiplier, 이온 계산기: Ion Counting)를 사용하여 매우 넓은 범위에서 동위원소비의 측정이 가능하다. 샘플 측정에 필요한 노블가스의 양은 <sup>4</sup>He의 경우는 10<sup>7</sup> cm<sup>3</sup> STP 수준에 불과할 정도로 매우 적은 것이 특징이다.

#### 가. 노블가스 질량 분광기 시스템

장비는 크게 샘플에서 가스를 추출하고 정제하는 정제(purification) part와 질

량에 따라 분별하고 측정하는 질량 분광 파트로 구분된다. 두 파트 모두 다양한 진공펌프를 통하여 고진공 상태를 유지하고 있다. 이는 다른 가스 성분에 의하여 발생하는 분석 과정의 오염을 방지하고 이온의 진행경로에 산란이 발생해 감도(Sensitivity)가 떨어지는 것을 막기 위함이다. 펌프의 종류는 로터리(Rotary) 펌프, 터보(Turbo) 펌프, 이온(Ion) 펌프등이 사용되며 주기적이 관리가 필수적이다.

레이저등의 장비에 의하여 추출된 불활성 가스는 정제 라인을 거치면서 원하는 노블가스 성분만 남게 된다. 이 가스가 질량 분광기에 주입되면 고온의 필라멘트에 의하여 이온화 되고 6000V 전압차에 의하여 가속되어 탈출관(flight tube)로 들어가게 된다. 탈출관을 지난 후 자석을 통과하며 질량 분별이 발생하고 탐지기(Detector)에 동위원소 별로 측정이 된다.

#### (1) Nd-YAG CW 레이저

불활성기체 분석장비에는 다양한 형태의 샘플이 분석 되는데 그중에서 매우 작은 사이즈의 운석과 지질 시료는 레이저를 샘플에 조사하여 노블가스를 추출하게 된다. 파장이 1064nm인 Nd-YAG CW 레이저가 장착되어 있어 ug단위의 매우 작은 우주 입자(particle)에서도 노블가스의 추출이 가능하다. 또한 운석 내부의 특정 부분만 집중적으로 분석할 때도 유용하게 활용되고 있다.

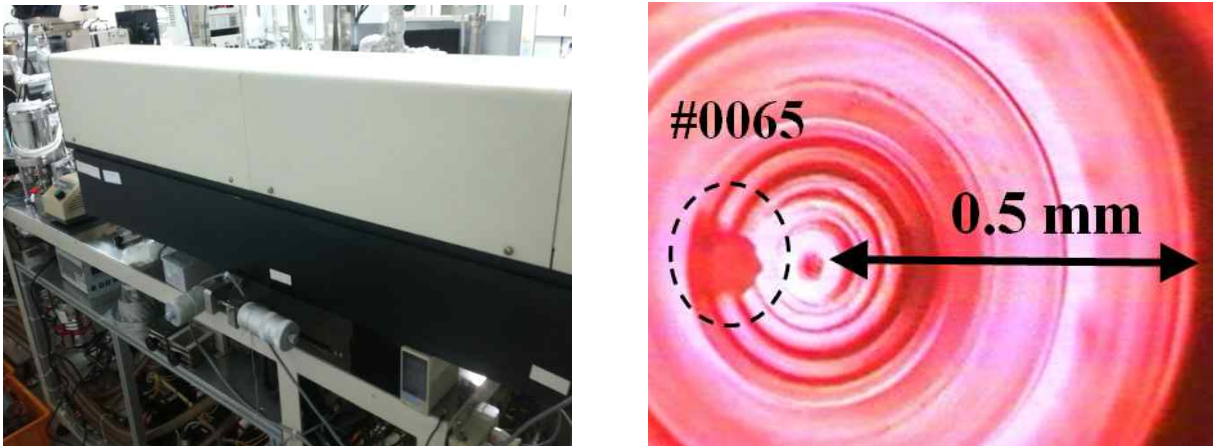


그림 3.2.16 Nd-YAG CW 레이저를 우주 입자에 조사하는 모습

#### (2) Ta 용광로

고체 시료를 가열함으로 불활성 가스를 추출하는 방법이 있는데 이때 탄탈륨(Ta) 용광로를 이용한다. 판형태의 Ta 히터에 전류를 흘려서 발열시키는 원리이며 열화를 방지하기 위하여 히터 주변은 진공펌프가 가동되고 있고 외벽에는 냉각수가

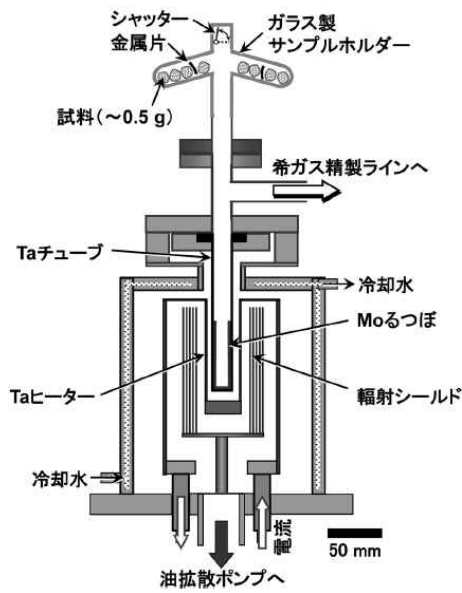


그림 3.2.17 Ta 용광로

(3) 분쇄기

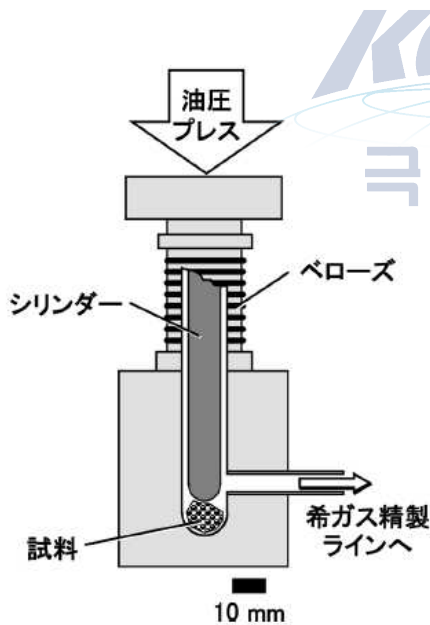


그림 3.2.18 분쇄기

(4) 진공 펌프

불활성기체의 추출, 정제 라인의 대략적인 모습은 위의 그림 3.2.19와 같은데 각 라인마다 진공상태를 유지하기 위한 펌프들이 연결되어 있다. 라인 내부에서는

흐르도록 설계되어 있다. 보통 300A정도의 전류를 흘리면 내부가 약 1800~ 1900℃까지 상승하게 된다. 샘플의 사용량은 0.5g 내외이고 직경은 10mm인데 알루미늄 호일에 감싸서 용광로 내부 도가니에 떨어뜨려 준다. 도가니는 주로 몰리브덴을 사용하고 있는데 이는 암석과 광물을 구성하는 규산염이 녹으면서 탄탈륨과 반응하기 때문에 이를 막기 위함이다. 시료가 녹으면 알루미늄(Al)과 가벼운 원소는 증발하여 사라지게 된다. 용융과정을 확인하기 위하여 용광로 상단에는 자석으로 개폐가 가능한 셔터가 마련되어 있다.

고체 시료를 과쇄함으로 불활성 가스를 추출하는 방법이 있는데 이때 분쇄기(Crusher)를 이용하게 된다. 외쪽 사진은 가장 간단한 형태의 분쇄기로 내부에 고체 시료를 넣고 진공상태를 유지한 상태에서 유압프레스로 시료를 과쇄하는 장치이다. 이러한 형태 이외에도 피스톤을 외부 전자석의 자기장을 이용해 상하로 운동시켜 과쇄하는 타입도 존재한다.

이러한 방법은 한번에 다량의 불활성가스를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 레이저를 이용하면 수백번 진행해야 하는 작업을 다량을 시료를 이용하여 한 번에 마무리 할 수 있는 것이 특징이다.

금속 밸브들로 구역이 나누어지고 피라니 게이지(Pirani Gauge)를 통해 진공도가 실시간으로 측정되어진다. 장비의 후면부에 위치한 벨트(Belt)형의 로터리 펌프 4기가(Mass 쪽에 추가 1기) 각 구역마다 연결되어 1차로 초기 진공상태를 확보시켜 주면 이와 연결된 터보 펌프 4기가 2차로 고진공을 만들어 주게 된다. 이온 펌프는 정제라인 쪽에 2기와 Mass에 1기가 추가로 연결되어 남아있는 공기분자를 흡착하여 초고진공 상태를 유지시켜 준다.

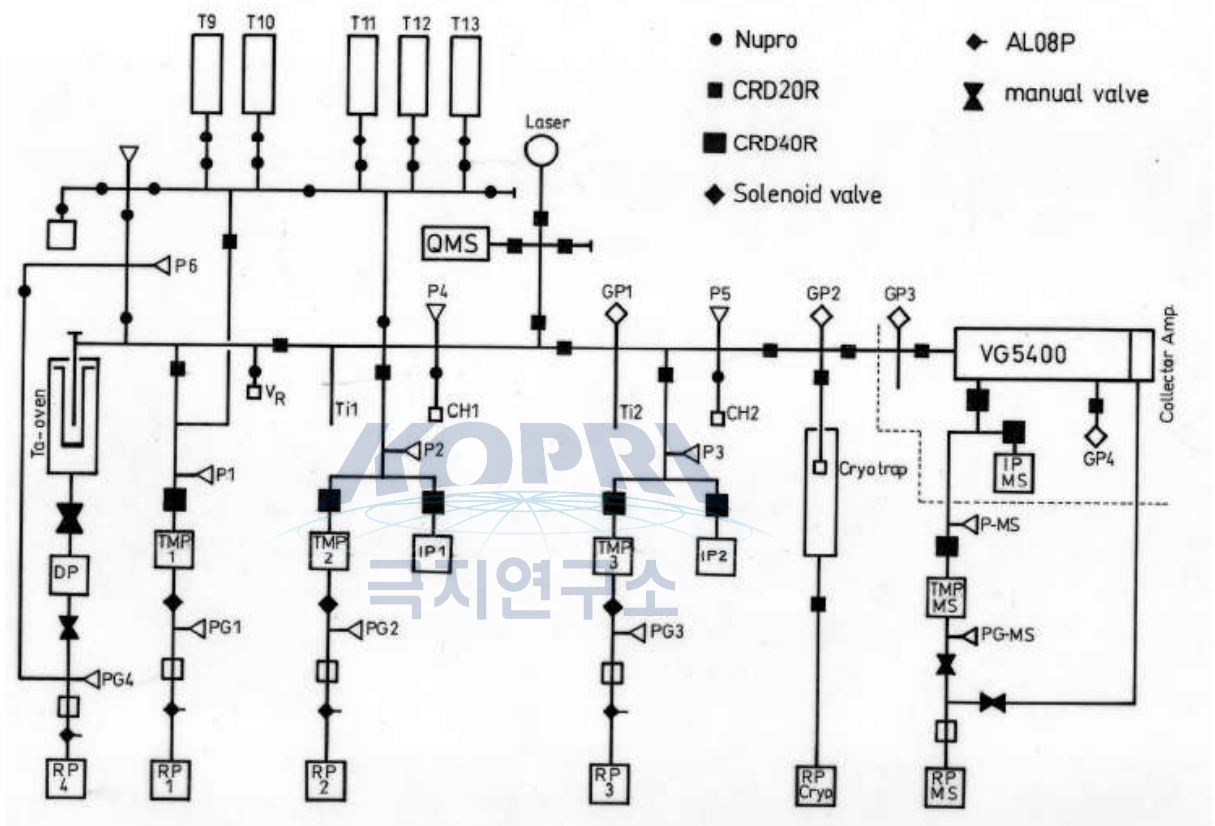


그림 3.2.19 불활성 기체의 추출, 정제 대략도

벨트 타입의 로터리 펌프는 소음이 작은 장점이 존재하지만 주기적으로 벨브를 교환해주어야만 한다. 교체주기는 6개월에서 12개월 사이로 벨트가 마모로 인하여 움직임이 변하고 소음이 증가하면 교체해준다. 터보 펌프는 8개월에 1회 정도 내부 윤활 오일을 교환해 주어야 하며 오일의 색깔 변화로 교환 시기를 정확하게 측정할 수 있다.



그림 3.2.20 벨트형 로터리 펌프



그림 3.2.21 터보 펌프



그림 3.2.22 이온 펌프

## (5) Magnetic Sector

정제(Purification) 라인을 거쳐 공급원(Source)부분으로 들어온 가스들은 필라멘트에 의하여 이온화되고 운동에너지를 받아 초고진공 상태인 탈출관을 통해 자기 영역에 진입하게 된다. 이때 전하를 띤 이온들은 자기장속에서 로렌츠의 힘을 받게 된다. 로렌츠의 힘은 자기장세기(B)가 클수록, 전하량(q)이 클수록 물체의 속도(V)이 클수록 커지게 된다. 즉  $BqV$ 로 표현이 되는데 이 힘은 원 운동하는 구심력으로 표현이 된다. 즉,  $mv^2/r$ 과 같다고 볼 수 있으며 이 식을 반지름 r로 정리를 하면 반지름은 질량이 크거나 속력이 크면 커지게 된다. 즉, 질량이 작은 것은 작은 r을 가지게 되며 큰 것은 큰 반경을 그리며 휘어지게 되는 것이다. 이 원리에 의하여 질량이 다른 동위원소들 중에서 가벼운 것이 안쪽으로 휘어져 들어오고 무거운 것은 바깥쪽으로 들어오게 된다.

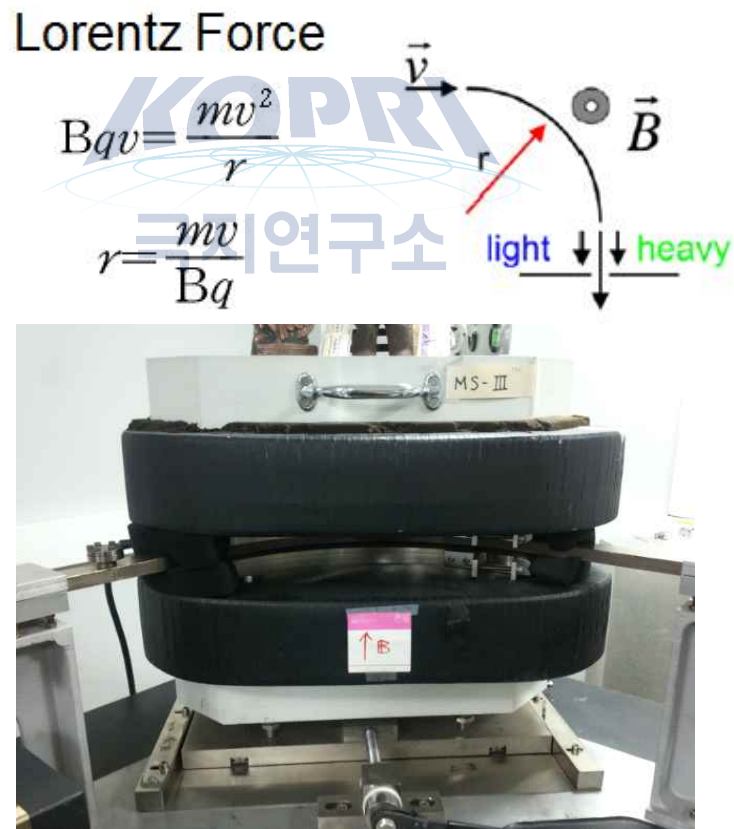


그림 3.2.23 Magnetic Sector

## (6) 탐지기

modified-VG5400에는 패러데이 컵, Delay-multiplier, 이온 계산기 3종류의 이온검출기가 장착되어 있다. 수집 구멍(Collect slit)을 통과한 이온빔은 신호(signal)의 세기에 따라 사용하게 되는 탐지기가 결정되고 해당 이온검출기로 진입하게 된다.

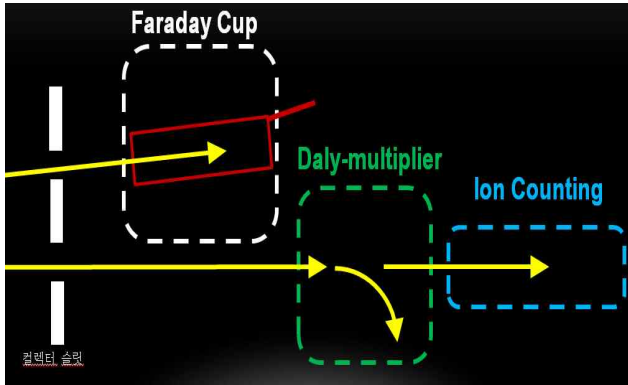


그림 3.2.24 탐지기 부분의 모식도와 실제 사진

패러데이 컵은 가장 흔하게 사용하는 이온 검출기로 컵 내부에 진입한 이온이 컵의 내벽에서 충돌하면서 작은 역류(Current)가 발생하는데 그 전기(electric) 역류를 정밀하게 측정함으로써 해서 이온의 수를 확인하는 장치이다. Delay-multiplier는 슬릿을 통과한 이온이 Daly Knob를 치게 되면서 나온 전자가 형광(scintillator)판에 부딪치게 된다. 이때 발생하는 광전자가 multiplier에 들어가 2차 이온을 다량으로 만들면서 신호가 증폭 된다.

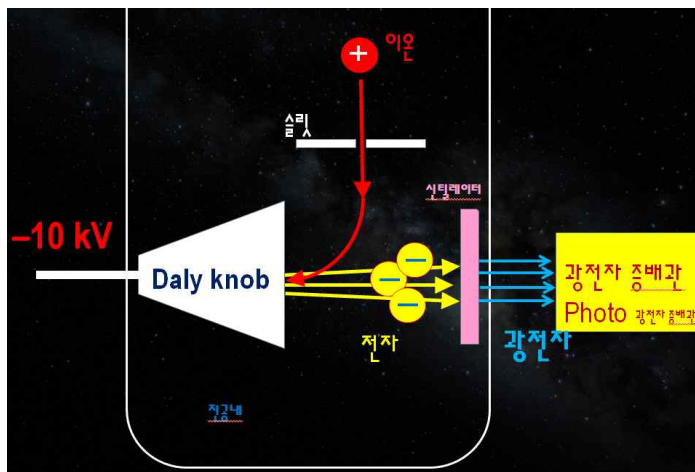


그림 3.2.25 Delay-multiplier의 모식도

#### 나. 분석 순서 (Analytical procedures)



전암(whole rock), 광물, 박편(Thin section), 우주 입자, 가스, 물 등 다양한 형태의 샘플들이 노블가스 분석에 사용이 된다. 그래서 시료의 양은 ug에서 g단위 까지 다양하다.

만약 유기물이 있는 시료를 분석해야 한다면 필수적으로 전처리에 신경을 써주어야 한다. 유기물은 기기의 진공상태에 매우 안 좋게 작용할 수 있다. 또한 할로겐 원소가 기기 안으로 들어가는 경우가 생기면 다시 제거하기가 매우 어렵기 때문에 할로겐 원소가 포함된 물질은 전처리에 사용해서는 안 된다.

시료를 준비하고 분석하는 단계는 크게 다음과 같이 나눌 수 있다. (1) 진공 내에서 샘플을 예열(preheating)하기, (2) 샘플에서 노블가스 추출하기, (3) 노블가스 정제하기, (4) 노블가스 종류별로 분리하기, (5) 동위원소 측정하기

#### (1) 진공 내에서 샘플을 예열 하기

시료의 전처리는 대개 대기압 조건에서 이루어진다. 하지만 대기 중에 존재하는 노블가스의 농도가 높기 때문에 이러한 과정은 오염을 일으킬 수 있다. 시료에 발생한 오염을 제거하기 위하여 100~200°C 가량의 온도에서 진공을 잡고 하루 보관하도록 한다. 또한 용광로도 1800~1900°C로 반복적으로 온도를 올려 금속 부품에 남아있는 가스 성분을 모두 제거 하도록 한다.

#### (2) 샘플에서 노블가스 추출하기

노블가스를 분석하기 위해서는 샘플내에서 가스를 추출해야 하는데 이러한 노블 가스는 생성 기원에 따라서 위치하고 있는 곳이 다양하다. (광물: minerals, 이물질: inclusion, 광물경계: mineral boundaries) 때문에 생성 기원별로 추출하는 방법을 달리하여야 한다. 이러한 방법은 앞서 추출장비를 다루면서 설명하였던 3가지 방법(예열, 분쇄, 레이저 절개)이 존재하고 있다.

예열 방법은 고체 시료를 녹는점(Melting point) 이상으로 가열하거나 단계별로 온도를 조금씩 올려가며 가스성분이 빠져나오도록 하는 것이다. 광물별로 녹아서 빠져나오는 온도가 다르기 때문에 광물별로 분석결과를 구별해 내기에 매우 유용하다.

분쇄 방법은 암석 샘플을 진공에서 기계적으로 파쇄하는 것이다. 이러한 방법은 광물경계나 이물질에 있는 노블가스를 매우 빠르게 추출하는 장점이 있다. 주로 맨틀에서 유래된 노블가스가 이물질에 남아있기 때문에 해당 광물을 분석하는데 사용

되고 있다.

레이저 절개은 주로 매우 작은 입자샘플(~ug)이나 시료의 작은 부분(< 100um)을 분석하고자 할 때 사용할 수 있다. 이 방법으로 분석하기 위해서는 필히 높은 감도와 낮은 블랭크 레벨(blank level)을 확보해야만 한다.

### (3) 노블가스 정제하기

추출된 가스는 노블가스 이외에도 다양한 종류가 혼재되어 존재하게 된다. 때문에 분석을 위해서는 필요 없는 가스는 정제를 해주어야 한다. 티타늄(Ti)과 지르코늄(Zr) 판을 800℃까지 가열하면 불필요한 가스들이 판 표면에 흡착되는 방식으로 노블가스가 아닌 원소들을 제거해 준다. 이러한 정제 과정은 세정 라인에 설치된 ionization gauge를 통하여 확인 할 수 있는데  $2 \times 10^{-7}$  Torr까지는 진공도가 떨어 져야 분석이 가능한 블랭크 레벨에 도달하게 된다.

### (4) 노블가스 종류별로 분류하기

노블가스만 정제하였다고 하더라도 동시에 측정을 하면 압력이 높아져 감도가 매우 낮아지게 된다. 또한 원소에 따라서는 이온간에 간섭(interfering)이 발생할 가능성도 있다. 때문에 활성탄(activated charcoal)과 냉각 트랩(cooled trap)을 이용하여 분리를 시켜주게 된다. 온도에 따라서 냉각 트랩에서 분리되는 그래프는 그림 3.2.26과 같다.

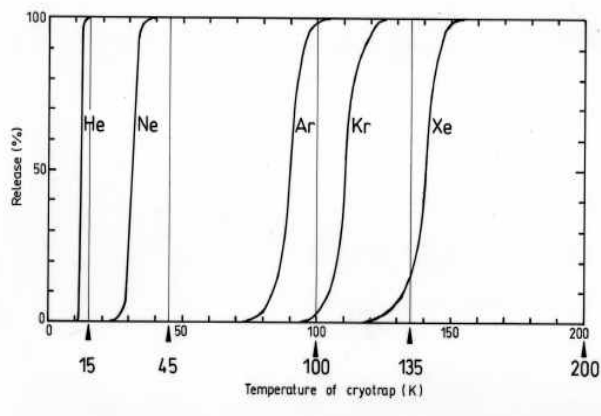


그림 3.2.26 냉각트랩에서의 노블가스 추출 온도

## (5) 노블가스 종류별로 분류하기

정제되고 분리된 노블가스가 질량 분광기에 들어오게 되면 피크(peak scanning)와 피크 크기(peak height)의 측정이 진행된다. 이러한 측정은 Unix에 기반을 둔 제어 프로그램으로 이루어지게 되는데 자기장의 강도를 단계적으로 점프하여 분석에 필요한 베이스가 피크의 정상에 있도록 유지하고 자료를 측정한다.

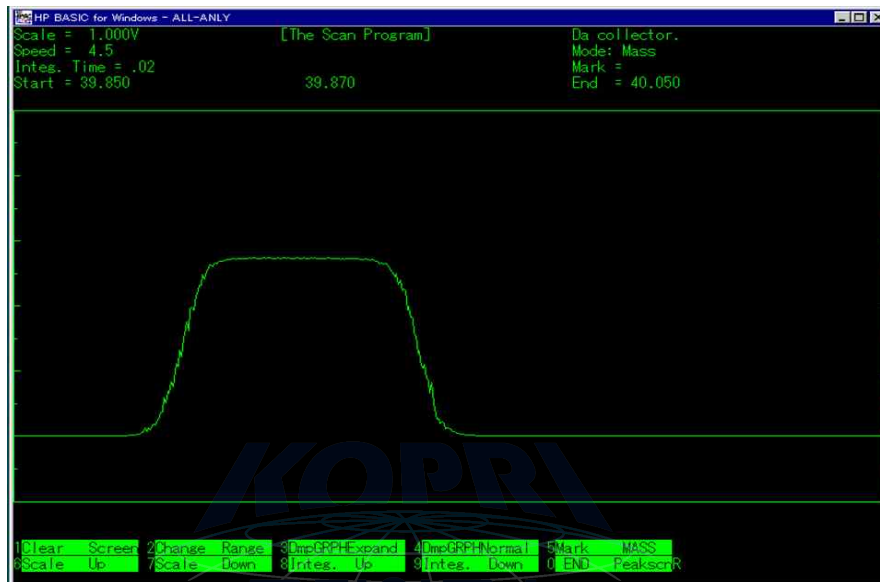


그림 3.2.27 노블가스의 질량 스캔모습

## 제3절 무인 측지 시스템 개발

### 1. 멀티콥터 라이다 시스템

#### 가. 멀티콥터 개요

멀티로터 혹은 멀티콥터는 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)의 일종으로 주로 1개의 로터를 가지는 헬리콥터와 달리 2개 이상의 로터를 가지는 항공기이다. 멀티콥터는 주로 로터의 피치(pitch)가 고정되어있으며 각 로터의 상대적인 회전 속도로 움직임을 컨트롤한다. 다른 형태의 항공기에 비하여 제작과 컨트롤이 쉽기 때문에 로터의 수에 따라 쿼드콥터(quadcopter), 헥사콥터(hexacopter), 옥토크콥터(octocopter)의 형태로 무선 조종 항공기에 다양하게 사용되고 있다.

기존 무선조종 헬리콥터에 비하여 구조가 단순하여 부품이 적고, 나무, 알루미늄, 카본 파이프 등으로 프레임이 구성되어 있으며, 자율 안정성 및 자율 비행성이 뛰어나서 초보자도 쉽게 조종이 가능하다는 장점이 있다. 최근 드론(drone)이라는 이름으로 그 수요가 급격히 증가하고 있고, 군사용, 기상관측용, 항공지도 제작용, 항공 촬영, 농약 살포 등 다양한 분야에서 그 활용성이 증가하고 있다.

#### 나. 멀티콥터의 종류

회전체가 회전하면 회전체를 고정하는 몸체는 반작용에 의해 회전방향의 반대로 돌아가려는 성질(역토크)이 생기는데 이를 상쇄하기 위해서 역피치와 정피치를 혼용하여 멀티콥터를 제작한다. 로터의 수와 정피치 및 역피치를 혼용하는 형태에 따라 매우 다양한 형태의 멀티콥터가 존재할 수 있다. 멀티콥터의 대중화에 가장 기여를 많이 한 4개의 로터를 가지는 쿼드콥터가 멀티콥터의 대표적인 예라 할 수 있다. 쿼드 콥터는 초보자들이 취미로 많이 사용하며 보통 액션캠과 같은 가벼운 탑재체를 이용하여 항공촬영을 수행할 수 있다. DSLR 카메라 등 전문적인 항공촬영을 위해서는 탑재체의 허용중량이 수 kg 이상이어야 하므로 주로 헥사콥터 혹은 옥토크콥터와 같이 로터의 수가 많은 멀티콥터가 사용되고 있다.

일반 모터에는 회전운동을 생성시키기 위하여 축에 접촉하여 회전에 따라 전류의 극성을 바꾸어주는 브러쉬(brush)라는 장치가 내장되어 있다. 이 브러쉬는 모터 축에 기계적으로 접촉되어 있기 때문에 모터의 회전속도를 제약하고 고속회전에서 모터의 수명을 단축시키는 작용을 한다. 최근 브러쉬가 필요없는 브러쉬리스(brushless) 모터 기술이 발전함에 따라 저가 모터의 고속회전이 가능하게 되었다. 브러쉬리스 모터의 비약적인 발전으로 인하여 수십 kg에 달하는 탑재체를 이동시킬 수 있는 멀티콥터가 제작됨으로써, 군사용, 정밀 관측용으로 그 용도가 확장되고 있으며, 향후 농약 살포나 택배 등에도 활용될 것으로 예상된다.

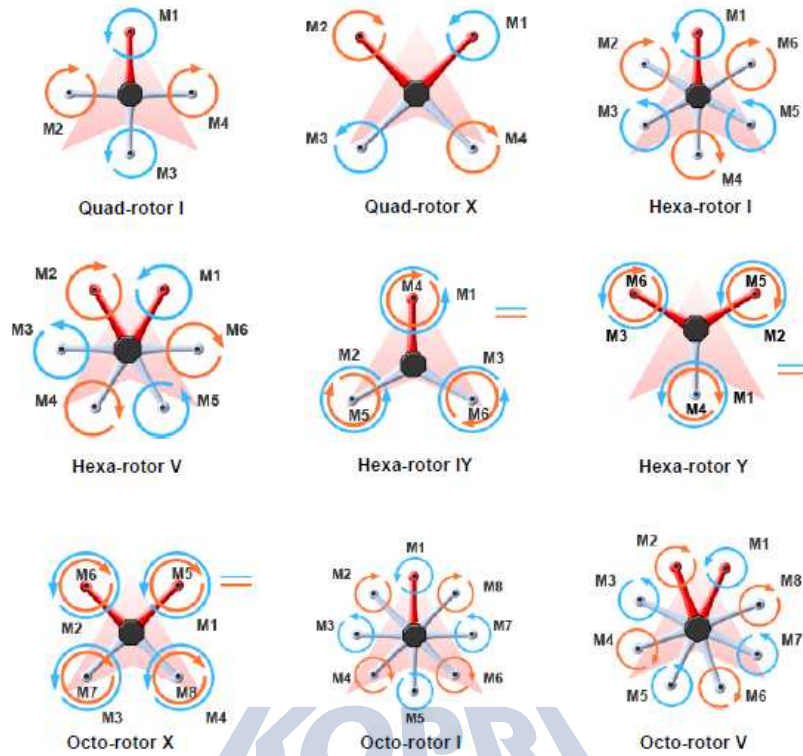


그림 3.3.1 로터형태에 따른 멀티콥터의 종류

극지연구소

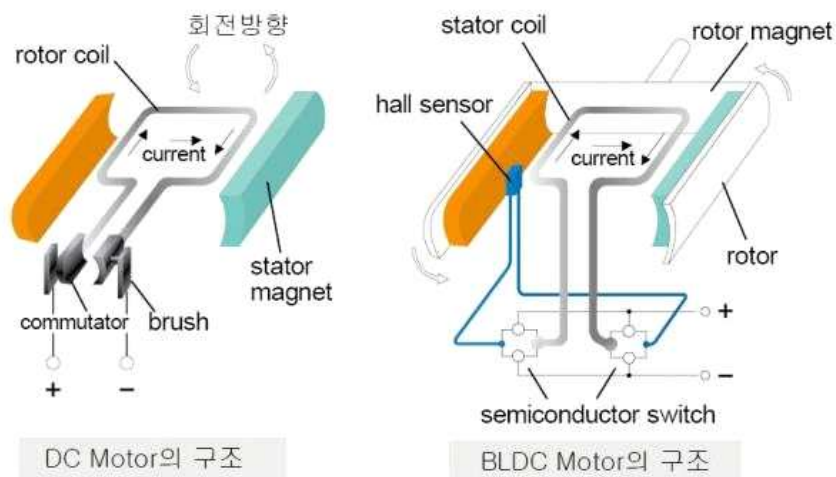


그림 3.3.2 브러쉬리스 모터의 원리

### 다. 비행 기본 원리

기체의 앞(진행방향)과 나란하며 기체의 무게 중심을 지나는 축에 대한 기체의

회전을 롤(roll)이라 하고, 이 축과 수직인 축에 대한 기체의 회전을 피치(pitch)라고 한다. 즉, 기체가 전후좌우로 기울어지도록 자세를 제어하기 위해서는 높이고자 하는 쪽 로터의 출력을 높이면 된다. 예를 들어, 후방 로터의 출력을 상대적으로 강하게 할 경우 피치가 커져서 기체가 전방으로 기울어지게 되며 그와 함께 앞으로 나가게 된다. 기체를 세로로 관통하는 축에 대한 기체의 회전을 요(yaw)라 하며, 이는 회전 방향이 반대인 두 쌍의 로터 출력을 다르게 함으로써 기체의 회전토크가 완전히 상쇄되지 않도록 함으로써 조종할 수 있다. 만약 네 개의 로터가 정확히 같은 출력을 낸다면, 기체의 세로축을 중심으로 한 돌림힘의 합력은 0이 되어 기체는 평형을 유지한다. 하지만 회전 방향이 서로 반대인 두 쌍의 로터 출력이 같지 않도록 하면 세로축을 중심으로 한 돌림힘이 발행하여 출력이 강한 로터의 회전방향으로 기체가 회전한다.

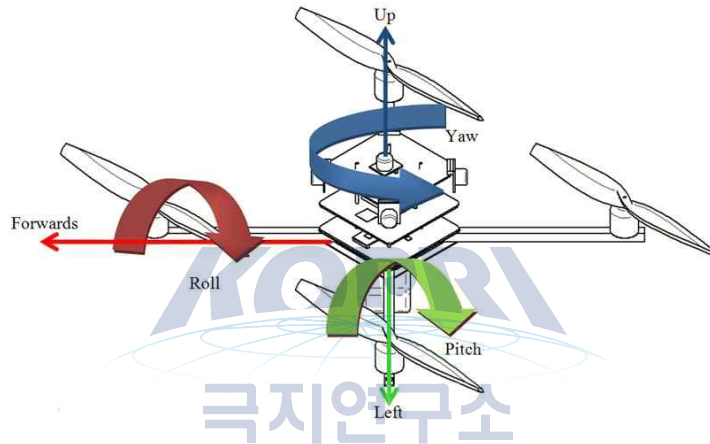


그림 3.3.3 멀티콥터의 비행원리

#### 라. 멀티콥터의 구성요소

멀티콥터는 메인 컨트롤러, 관성항법 장치, GPS, 모터, 로터(프로펠러), 프레임, 배터리, 조종기 등으로 구성된다. 메인보드는 조종기와의 무선통신을 통해 조종 신호를 수신하고 각 모터의 회전수를 적절히 조정함으로써 멀티콥터의 움직임을 컨트롤한다. 관성항법 장치는 멀티콥터의 롤, 피치, 요를 측정하여 멀티콥터의 자세를 메인 컨트롤러에 알려줌으로써 안정적인 자세를 유지시키는 역할을 한다. 주로 자이로 센서, 가속도계, 자기장 센서 등으로 구성된다. GPS는 멀티콥터의 위치를 트래킹하여 조종자에게 알려주는 역할을 하며 호버링(이동하지 않고 한 지점에 멈춰 있는 기능)을 쉽게 하는데 중요한 역할을 한다. 모터는 주로 브러쉬리스 모터가 사용되며 ESC(electronic speed control)라고 불리는 변속기와 함께 사용된다. 로터 즉 프로펠러는 정피치와 역피치 로터가 혼용되는데 이는 돌림힘을 상쇄시키기 위하여 모터들이 다른 방향으로 회전하기 때문이다. 프레임은 모든 부품을 지탱해주는 것으로서 중량이 가볍고 튼튼한 소재가 사용되며, 주로 FRP, 알루미늄, 카본 재질

의 파이프나 판재가 사용되고 있다. 멀티콥터의 비약적인 발전에는 배터리 성능 향상에 따른 배터리 중량의 감소가 일조를 하였다. 주로 에너지 밀도는 높고 중량이 가벼운 리튬 계열 배터리가 사용된다. 조종기는 메인컨트롤러와 연결되어 멀티콥터의 비행을 제어하고 짐벌 및 카메라 등 탑재체의 기능도 함께 제어하기도 한다. 비행 요소인 롤, 피치, 요에 대응되는 조종기 스틱이 있으며 쓰로틀(Throttle)이라는 스틱은 멀티콥터의 출력을 조정하여 수직방향 움직임을 조정한다.

#### 마. 멀티콥터 제작

자체 제작한 멀티콥터는 25mm 카본 파이프에 기반한 프레임을 기본으로 하고 DJI 사의 A2 컨트롤러를 탑재하였다. 400kV BLDC 모터와 50A 변속기, 16인치 우드 프로펠러를 채용하여 약 10kg의 중량을 이륙시킬 수 있는 출력을 가지며, 자체 중량을 제외한 탑재체의 중량은 약 2 kg이다. 약 20분간 비행이 가능하며, 비행 가능 범위는 조종기로부터 약 1 km 이내이다. 멀티콥터의 제작에 사용된 부품 내역은 다음과 같다.

부품명	모델명	세부내역
컨트롤러	DJI A2	컨트롤러, IMU, GPS&compass로 구성됨
프레임	ART carbon-25	25mm 구경의 카본파이프로 구성
모터	Tiger MN4014 BL	400kV
변속기	Hobbywing XRoter	50A
프로펠러	XOAR	16인치 7피치
조종기	Futaba	14SG 14-채널
배터리	MAX R/C Power	10000mAH 30C

표 3.3.1 멀티콥터 부품 내역

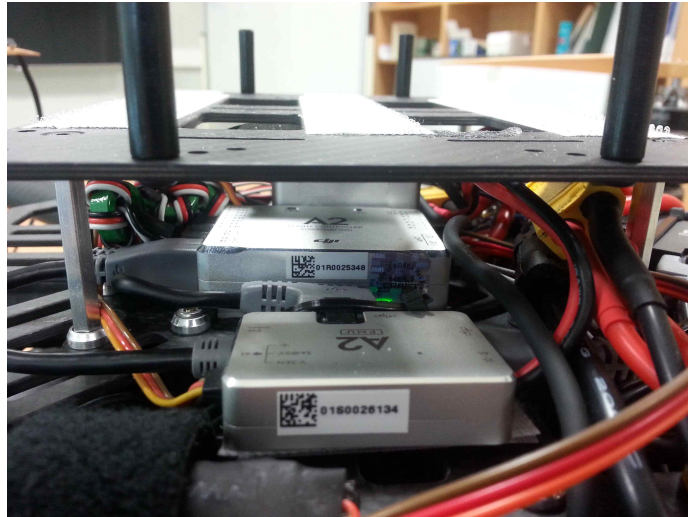


그림 3.3.4a 메인컨트롤러 및 관측항법장치



그림 3.3.4b GPS 모듈





그림 3.3.4c 카본 프레임



그림 3.3.4d 프로펠러



그림 3.3.4e 브러시리스 모터

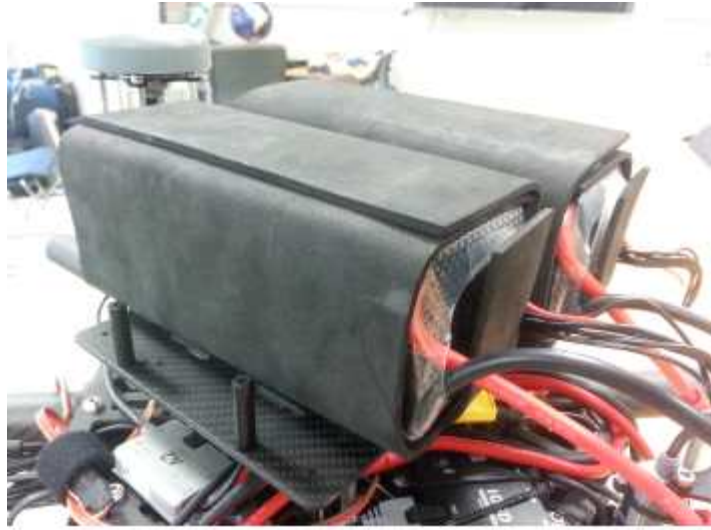


그림 3.3.4f 리튬 폴리머 배터리



그림 3.3.4g 조종기

#### 바. 멀티콥터를 이용한 항공 촬영

항공 촬영은 멀티콥터에 장착된 카메라(DSLR, 액션캠 등)를 원격 조작하여 수행된다. 멀티콥터의 진동 및 자세 변화에 의한 영상 왜곡을 방지하기 위하여 자이로에 의해 자세를 항상 일정하게 유지시켜 주는 짐벌(Gimbal)을 설치한 후 카메라를 장착하게 된다. 일반적으로 DSLR 카메라에는 컨트롤 어댑터와 A/V digital out 단자가 있다. 카메라 컨트롤 어댑터는 A2 컨트롤러에 연결하여 조종기에 있는 셔터를 이용하여 촬영을 할 수 있으며, A/V digital out 단자로 출력되는 영상신호는 5.8Ghz 비디오 링크를 통하여 지상의 모니터로 전송되어 실시간으로 카메라 화면을 보면서 촬영을 수행할 수 있다. 고프로 등 액션캠의 경우 컨트롤어댑터는 사용

할 수 없으나 비디오 링크를 통해 영상은 전송 가능하여 동영상 촬영이나 타임랩스 촬영에 주로 이용된다.



그림 3.3.5a 항공촬영을 위한 DSLR 카메라의 장착 모습

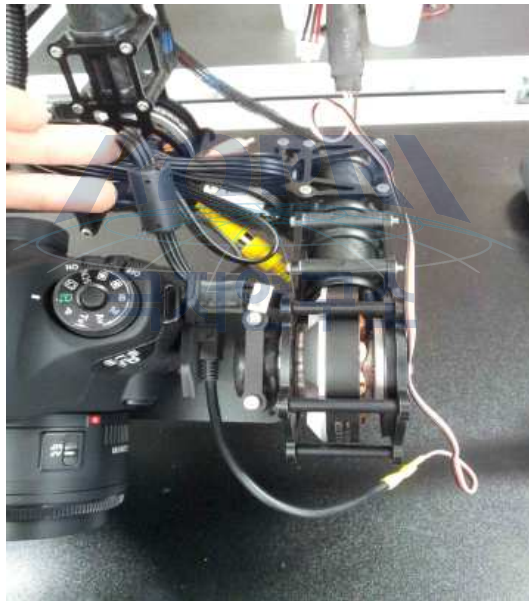


그림 3.3.5b DSLR 카메라의 컨트롤 어댑터와 A/V digital out 연결



그림 3.3.5c DSLR 카메라를 이용한 항공촬영의 예

#### 사. 멀티콥터용 라이다(LIDAR) 시스템 개발

라이다(LIDAR, Light Detection And Ranging) 시스템은 레이저를 이용하여 사물의 위치나 모양을 스캐닝하는 기술이다. 항공 라이다 시스템은 매우 고가의 장비로 구입과 운영에 많은 비용이 소요된다. 지상 라이다의 경우 주변 사물의 형태를 매우 정밀하게 스캐닝할 수는 있으나 빙상과 같이 매우 평평한 지역에서는 표면의 굴곡 등을 멀리까지 관측하기가 어렵다. 최근 들어 멀티콥터에 장착 가능한 라이다 시스템이 일부 개발되고 있으나 여전히 매우 고가에 판매되고 있다. 이러한 제약을 극복하기 위하여 이 연구에서는 경량 및 저가의 레이저 스캐너를 이용하여 멀티콥터에 장착할 수 있는 라이다 시스템을 개발하였다. 라이다는 레이저가 목표물에 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 거리를 계산하게 된다. 따라서 지형 기록을 관측하기 위해서는 멀티콥터의 정확한 위치, 레이저 스캐너의 정확한 자세를 알아야 정확한 관측 결과를 얻을 수 있다. 이를 위하여 레이저 스캐너뿐만 아니라 관성항법장치 및 GPS 자료가 필요하다. 멀티콥터에는 관성항법 장치와 GPS가 기본적으로 장착되어 있으나 라이다 시스템에 사용하기에는 그 정확도가 떨어지기 때문에 레이저 스캐너와 함께 관성항법 장치와 GPS를 추가적으로 설치하였다. 또한 각 장치의 컨트롤과 자료 저장을 위한 미니 PC와 라이다 시스템을 위한 배터리를 추가하였다. 라이다 시스템에 사용된 장치들은 다음 표와 같다.

장치명	모델명	성능
레이저 스캐너	Hokuyo UTM-30LX 	905nm Laser Class 1 Power consumption: <8W Detection Range: 0.1-30m (max. 60m) Accuracy: 30mm (0.1-10m) Resolution: 1mm Repeated accuracy: <10mm (0.1-10mm), <30mm (10-30m) Scan Angle: 270° Angular Resolution: 0.25° (360° /1440) Scan Speed: 25ms (Motor speed: 2400rpm) Interface: USB 2.0
관성 항법 장치	Microstrain 3DM-GX4-25 	Integrated sensors: Triaxial accelerometer, triaxial gyroscope, triaxial magnetometer, temperature sensors, pressure altimeter Inertial Measurement Unit(IMU) outputs: acceleration, angular rate, magnetic field, ambient pressure, deltaTheta, deltaVelocity Computed outputs (Adaptive Kalman Filter, AKF): filter status, GPS timestamp, attitude estimates, bias compensated angular rate, pressure altitude, gravity-free linear acceleration, attitude uncertainties, gyroscope and accelerometer bias, scale factors and uncertainties, gravity and magnetic models.
GPS 모듈	Ublox LEA-6T	Raw pseudo-range data output Hybrid GPS/SBAS engine (WAAS, EGNOS, MSAS)



그림 3.3.6a 멀티콥터 라이다 시스템



그림 3.3.6b 레이저 스캐너(오른쪽), 관성항법장치(중앙 아래) 및 카메라(왼쪽)



그림 3.3.6c GPS 안테나 및 배터리

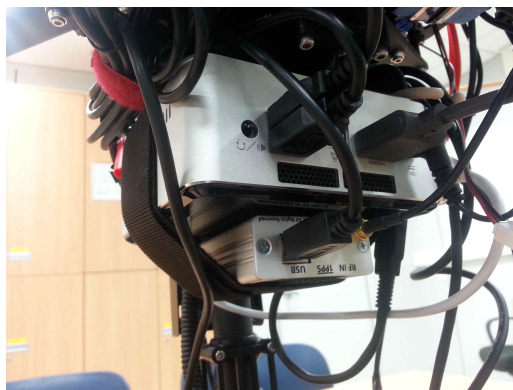


그림 3.3.6d GPS 수신기(아래) 및 미니 PC (위)

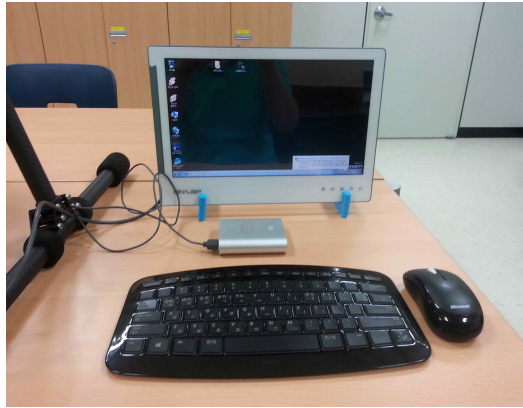


그림 3.3.6e 야외 현장용 모니터 및 모니터용 배터리

각 장치들은 USB 포트를 통하여 미니컴퓨터(intel nuc)에 연결되어 전용 소프트웨어에 의해서 구동된다. 레이저 스캐너는 40Hz의 스캔 속도로 자료를 저장하며 관성항법장치는 50 Hz 혹은 100Hz의 주파수로 가속도, 자이로, 자기장 자료를 출력하여 Kalman filter를 통하여 롤, 피치, 돌림힘 등 레이저 스캐너 센서의 자세 정보를 제공한다. GPS 모듈은 GPS 원시자료를 저장하며, 지상의 기준국 자료와의 후처리 DGPS 프로세싱을 통해 수 cm 이내의 오차로 멀티콥터의 위치를 파악할 수 있다.

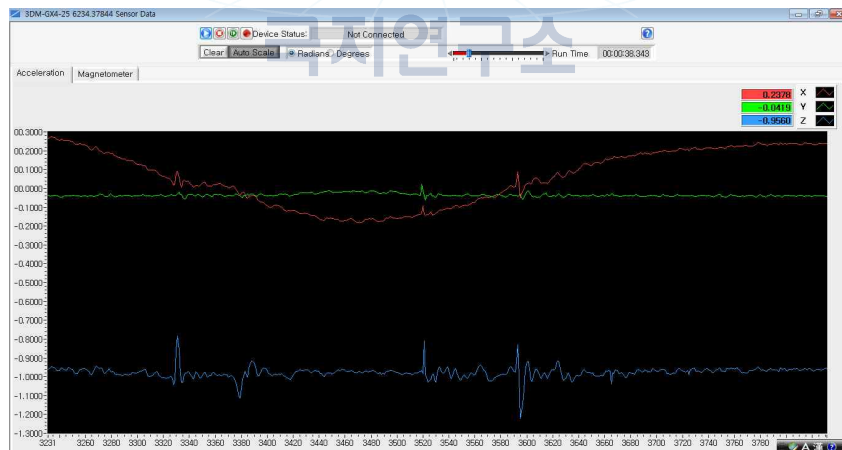


그림 3.3.7a 관성항법장치 가속도 성분의 관측 예시

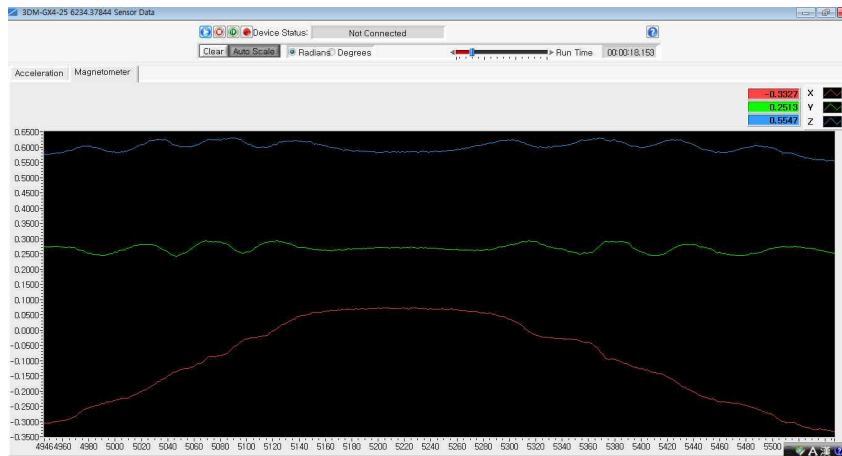


그림 3.3.7b 관성항법장치 자기장 성분의 관측 예시

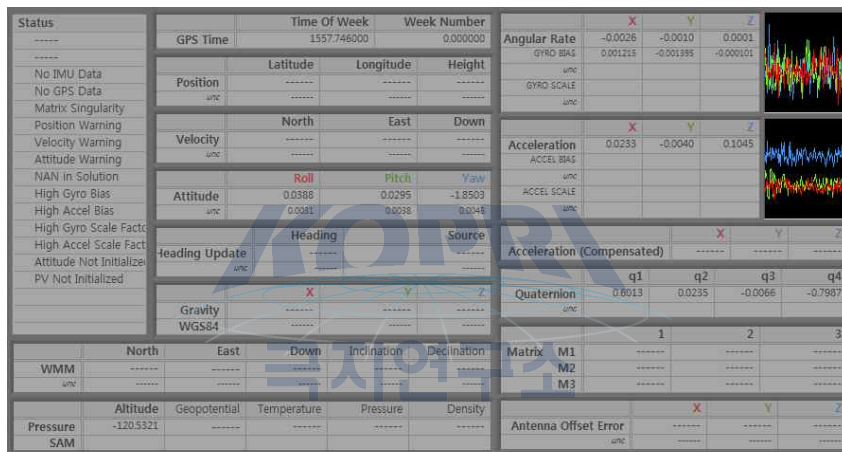


그림 3.3.7c 관성항법장치의 Kalman filter 프로세싱에 의한 자세 성분 출력 예시



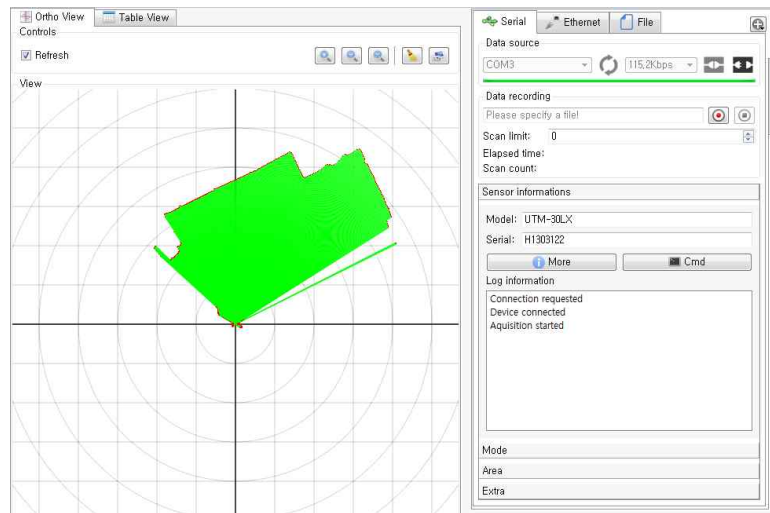


그림 3.3.7d 레이저 스캐너 관측 예시

#### 아. 남극지역에서 멀티콥터 운용의 문제점

남극에서 멀티콥터나 무인항공기를 운용하는 경우 유의하여야 할 점이 몇 가지 있다. 첫째, GPS 위치 좌표의 정확도가 떨어지는 경우가 종종 있다. GPS 위성들에 의한 신호는 전 지구적으로 거의 균일하기 때문에 GPS 자체만으로는 정확도 역시 거의 균일하다. 하지만 최근 많이 사용되는 정밀 내비게이션용 GPS 수신기들의 경우 GPS 증대(augmentation) 시스템을 이용하는 경우가 많다. GPS 증대란 GPS 신호 처리 시 외부 정보를 함께 이용하여 정확도를 향상시키는 방법이다. 대표적으로 SBAS(Satellite Based Augmentation System)는 육상 기지국에서 수신한 GPS 위성신호나 기타 환경 변수들을 추가적인 인공위성을 통해 방송함으로써 추가적인 정보를 수신한 GPS 수신기들은 wide-area DGPS 기법 등을 통하여 정확도를 크게 향상시킬 수가 있다. 예를 들면, 단일 밴드 수신기의 경우 SBAS를 사용하지 않을 경우 수m 내지 수십 m의 오차가 발생하지만 SBAS를 함께 사용하는 경우 1m 이내의 정확도를 얻을 수 있다. 따라서 많은 나라에서 SBAS 시스템을 운영하고 있으며 대표적으로 미국의 WAAS, 유럽의 EGNOS, 일본의 MSAS 등이 운영되고 있다. 하지만 이러한 SBAS 시스템은 각자의 나라에 적합하도록 정지궤도 위성을 이용하기 때문에 남극 지역에서는 이러한 SBAS 시스템의 신호를 수신할 수 없다. SBAS 기능이 있는 GPS 모듈을 사용하더라도 남극에서는 SBAS 시스템 신호를 수신할 수 없기 때문에 기본적인 GPS 오차 즉, 수m 이상의 오차를 수반하여 정확한 호버링이나 자율주행이 어려울 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 지상 기준국을 운영하는 RTK(Real Time Kinetic) 기법을 적용하여야 하는데 RTK GPS를 장착한 멀티콥터는 극소수에 불과하다.

둘째, 남극에서는 지구 자기장의 편각(declination) 효과를 간과할 수 없다. 멀티콥터의 GPS 비행 모드인 경우 관성 항법 장치와 GPS 신호의 통합처리를 통하여

보다 안정적인 비행 컨트롤을 수행한다. 이때, 자기장 센서에 의한 자료가 멀티콥터의 자세와 방향을 안정화하는데 이용된다. 대부분의 중위도 지역에서는 자기장의 편각이 10도 미만이어서 편각의 효과를 고려하지 않고 컨트롤러의 자료처리 알고리즘이 설계되어 있다. 하지만 극지역으로 갈수록 편각이 매우 커지는 경우가 생긴다. 예를 들면 남극 장보고 기지의 편각은 140도에 가까워 자기장 센서에서 탐지하는 북쪽과 GPS에서 탐지하는 북쪽은 매우 큰 차이가 존재한다. 이러한 차이는 멀티콥터의 비행에 중대한 영향을 미치는데 이러한 효과를 변기(Toilet Bowl) 효과라고 부른다. 자기장 센서가 잘못 장착되었거나 극지역처럼 편각이 매우 큰 지역에서는 조종사의 조작과 상관없이 비행체가 원형의 궤도를 그리며 움직이는 현상을 나타낸다. 심한 경우 조종사의 조작이 거의 작용하지 않기 때문에 비행체의 추락으로 이어지므로 매우 유의하여야 한다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로는 자기장 센서를 편각방향으로 수정하는 것이다. 편각방향으로 자기장 센서를 설치하였음에도 불구하고 변기효과가 나타날 때는, 비행체가 시계방향으로 회전할 경우 자기장 센서를 서쪽으로, 비행체가 반시계 방향으로 회전할 경우 자기장 센서를 동쪽으로 회전시켜 변기효과가 없어질 때까지 교정하여야 한다.

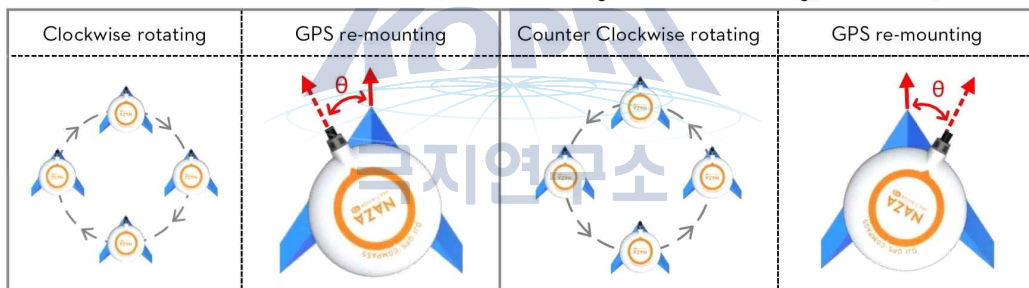


그림 3.3.8 Toilet bowl 효과의 교정 방법

## 2. 단일밴드 GPS 무인 모니터링 시스템 개발

### 가. GPS 측위 기법

GPS 위성에서는 L1 (1575.42 MHz)과 L2 (1227.60 MHz) 주파수 밴드를 가지는 반송파가 생성된다. 이러한 2개의 주파수는 전리층 굴절과 같은 주요 오차요인을 제거하기 위한 중요한 요소로 작용한다. 의사 거리는 위 2개의 기본적인 반송파 상에서 변조된 2개의 PRN(Pseudo-random noise) 코드를 이용하여 측정되는 위성에서 수신기까지의 신호 이동시간을 통해 유도된다. 이중 첫 번째 PRN 코드는 표준 위치측정 서비스용으로 선정된 C/A코드로서 약 300m 정도의 유효 파장을 가지고 있다. C/A코드는 현재 L1 반송파에서만 제공된다. 두 번째 PRN 코드는 약 30m의 유효파장을 가지는 P 코드로 L1, L2 밴드 모두에서 제공된다.

실시간으로 수신기에 전달되는 방송 항법 메시지를 사용하는 경우 GPS의 절대 정확도는 3 -4 m이다. 측정 정확도를 높이는 방법에는 크게 두가지가 있다. 첫째, 코드를 사용하는 대신 반송파의 위상을 이용하는 것이고 두 번째로는 측정된 의사거리의 차이를 이용하는 것이다. 두 번째 방법은 상대 측위(relative positioning) 혹은 차분 측위(differential GPS, DGPS) 라고 부른다. 반송파 위상 자료가 사용되면 보통 정밀 차분 측위(precise differential GPS, PDGPS)라 불린다. 차분의 효과를 이해하기 위해서는 GPS의 주된 오차 요인을 살펴 볼 필요가 있다. 주된 오차요인은 위성궤도, 위성시계, 전리층, 대류권, 다중 경로, 수신기 시계와 안테나 위상 중심 등이다. DGPS 이론의 기본 가정은 두 측점에서 수신기와 위성 간의 경로가 비슷할 경우 오차들도 비슷하다는 것이다. 예를 들면, 두 측점 사이의 거리가 50km보다 작으면 대기권의 상태가 비슷할 것이므로 비슷한 오차를 가질 것이라는 것이다. 실제 수신기와 위성사이의 거리는 20,000km이상이므로 이러한 가정은 대부분 성립한다.

DGPS의 첫 번째 과정은 단일 차분(single difference)을 수행하는 것이다. 즉, 한 위성으로부터 두 수신기까지의 의사거리를 차분하는 것이다. 이 과정에서 위성궤도, 위성 시계, 전리층 및 대류권에 의한 오차가 감소 혹은 제거된다. 두 번째 과정은 두 위성으로 부터의 단일 차분들의 차분을 수행하는 것으로 이중 차분(double difference) 과정에서는 전리층 및 대류권 효과가 더 제거되며 수신기 시계 오차도 제거된다. 이와 같은 이중 차분을 수행하면 두 측점 사이의 상대적인 위치가 결정된다. 절대 위치를 결정하기 위해서는 두 측점 중 한 측점의 위치는 알려져 있어야 하며 위치가 알려진 측점을 기준점(base station)이라 하고 위치를 결정해야하는 측점을 로버(rover)라고 한다. 단일 기준점을 사용할 수도 있으나 많은 수의 GPS네트워크를 기준점으로 사용하는 경우 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있다.

#### 나. 저비용 단일밴드 GPS 측위 기법

빙하의 이동 속도, 빙상의 두께 변화, 빙저호의 수위 변화 등을 관측하기 위하여 빙하지역에 GPS를 설치하는 연구가 지속적으로 늘고 있다. 일반적으로 정밀한 관측을 위하여 측위용 듀얼밴드 GPS 수신기 및 안테나를 사용하는데 고비용과 고전력으로 인하여 많은 수의 GPS 모니터링을 수행하기가 어렵다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 저비용의 단일밴드 GPS 수신기를 측위용 듀얼밴드 GPS 기준국으로부터 약 20 km 이하의 거리에 설치하여 기준국과의 DGPS 기법을 통하여 수 cm 이내의 정확도를 확보할 수 있다. 안테나 역시 측위용의 경우 micro-strip 혹은 choke ring 안테나 등이 사용되는데 수백~수천만원의 고가인데 비하여 정밀 내비게이션용 안테나를 사용하면 비용을 크게 절감할 수 있다.

#### 다. 단일밴드 GPS 시스템 제작

GPS 수신기는 비용과 성능을 고려하여 ublox사의 LEA-M8T 모듈을 사용하였다. 이 모듈은 원시자료 수신기능(RXM-RAW)을 가지고 있어 후처리를 통하여 DGPS 프로세싱이 가능하다. GPS 안테나는 tallysman사에서 제작된 TW3400 (professional-grade)을 사용하였으며 이 안테나는 GPS L1밴드를 수신하며 Dual feed 형식으로 제작되어 다중 경로와 제거에 효과적이다([www.tallysman.com](http://www.tallysman.com)).

GPS 수신기를 컨트롤하는 싱글보드 컴퓨터로는 약 1W의 전력소모량을 가지는 초저전력 보드(TS-7400-V2, Technologic Systems)를 채택하였다. 대기상태로 진입할 경우 10mW 이하의 매우 적은 전력을 소모하므로 태양전지로 부터의 전력 공급이 없어지는 겨울철에 대기상태로 유지함으로써 다년간의 장기간 운영이 가능하다.

GPS 시스템의 전력은 태양전지와 리튬이온배터리의 혼용을 통하여 연중 유지가 가능한 시스템으로 설계하였다. 태양전지 모듈은 직육면체 형태로 4방향에 각각 15W 태양전지가 장착되어 총 60W의 용량을 가지는 콤팩트 고효율 모듈로 설계하였다. 이러한 형태는 백야 현상이 나타나는 극지역에서 매우 효율적인 것으로 알려져 있다. 일반적으로 남쪽을 향해 설치하는 태양전지보다 약 2배의 효율을 가지므로 120W의 태양전지를 남쪽방향으로 설치하는 것과 같다. 반면 부피를 최소화할 수 있어 이동여건이 열악하고 바람이 강한 극지역에서 매우 효율적인 운송/설치 및 내구성 향상이 가능할 것으로 예상된다.



그림 3.3.9a 단일밴드 GPS 수신기  
Ublox LEA-M8T



그림 3.3.9b 단일밴드 GPS 시스템의 컨트롤 보드 TS-7400-V2 (www.embeddedarm.com)



그림 3.3.9c 콤팩트 고효율 태양전지 모듈

#### 라. DGPS 측위 시험

GPS 성능 시험을 위하여 극지연구소 인근에서 약 100m의 기선으로 두 GPS 수신기로 약 1시간동안 GPS 원시자료를 수신하였다. 원시자료를 수신하기 위해서는 LEA-M8T모듈에서 RXM-RAW와 RXM-SFRB 메시지를 출력하도록 설정하여야 하는데 LEA-M8T 모듈의 설정을 위해서는 ublox사의 u-center 8.1 소프트웨어를 사용한다. Configure-Messages 윈도우에서 위의 두 메시지 항목에서

USB 포트를 활성화시키면 컨트롤 보드로 자료를 전송할 수 있다.

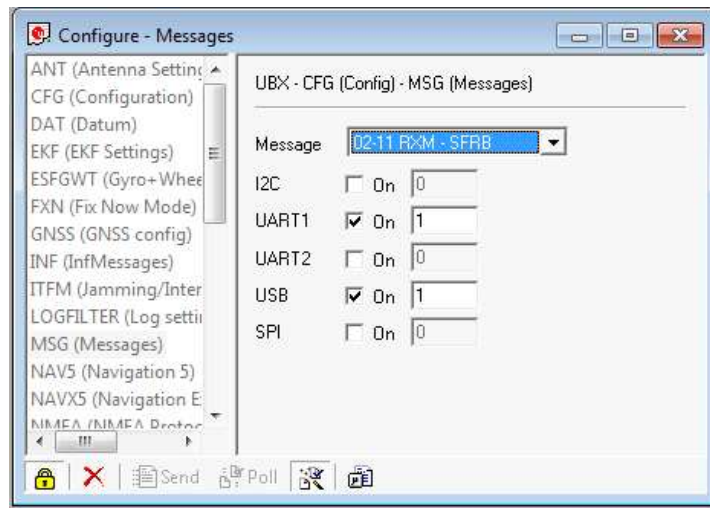


그림 3.3.10a 원시자료 출력을 위한 환경 설정

관측자료는 RTKLIB 소프트웨어를 이용하여 처리하였다. RTKLIB는 표준 및 정밀 GNSS 측위를 위한 오픈 소스 프로그램 패키지로 프로그램 라이브러리와 여러 가지 애플리케이션을 제공한다. 이 프로그램 패키지는 단일(single), 차분(DGPS), 동적(kinematic), 정적(static), 정밀 단독(precise point, PPP) 측위 등 다양한 실시간 및 후처리 기법을 제공하며, RINEX 포맷을 비롯한 다양한 GPS 기준 포맷을 지원하며 여러 수신기 제작사의 수신 메시지를 입력 및 처리 가능하다. 시험 관측 결과 수평방향으로 약 2cm, 수직방향으로는 약 5cm의 바이어스를 나타내며, 바이어스를 제외한 분산은 수평방향으로 약 3cm 범위, 수직방향으로는 약 5cm 정도이다.

단일밴드 GPS 모니터링 시스템의 적용 가능 분야 중 하나는 빙저호의 수량 변화를 관측하는 것이다. 예를 들면, 데이비드 빙하 상류의 빙저호는 중심 지역에서 연간 약 1m의 수위 변화가 존재한다. 이 빙저호는 약 10km의 반경을 가지고 있으므로 5km당 약 0.5m/yr(0.14cm/day)의 수위 변화를 가진다고 볼 수 있다. 따라서 약 40일 이상의 수위변화는 GPS 수직성분의 분산을 초과하므로 연간 수위 변화 혹은 다년간 수위 변화를 관측할 수 있을 것으로 예상된다.

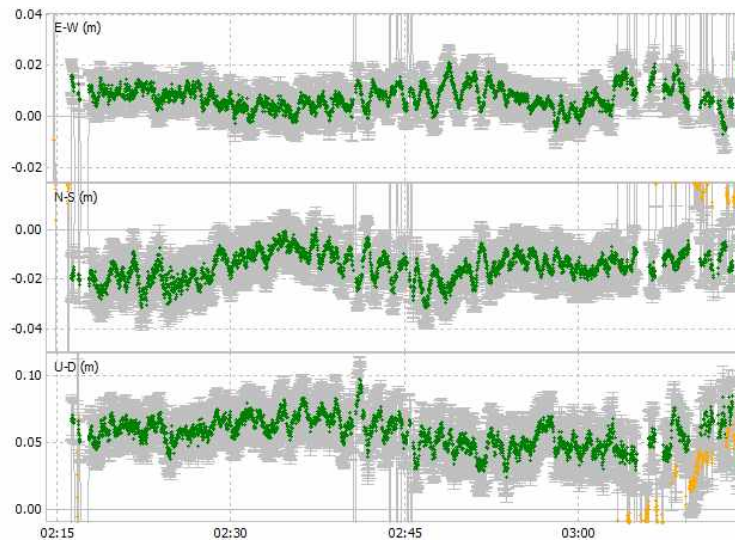


그림 3.3.10b DGPS 측위 시험 결과



## 제4절 남극 해저면 지진계 설치 운용

극지연구소에서는 남극 장보고 기지 주변에 해저면 지진계를 설치하여 운용하고 있다. 해저면 지진계는 육상지진 관측망으로는 정확한 위치 결정이 힘든 해저 지각 활동으로부터 발생한 신호를 기록할 수 있는 장비로 이를 이용하여 해저 지각 경계 부의 정확한 위치와 하부 구조를 밝히는 연구가 수행되고 있다. 그러나 남극이나 북극 같은 극한지에서는 해저면 지진계의 활용이 제한적 이었는데 이는 해빙 등으로 인하여 상시 접근이 힘든 지역에서 고가의 장비를 안정적으로 회수할 수 있는 기술 확보가 어려운 것이 첫 번째 원인으로 꼽힌다. 극지연구소에서는 이에 장기간의 운용에 적합한 해저면 지진계를 독일 KUM사로부터 확보하여 남극에서 안정적인 설치와 회수를 통하여 자료를 획득해오고 있다.

### 1. 해저면 지진계 제원

독일 KUM 사에서 개발한 해저면 지진계인 LOBSTER 시스템(그림3.4.1)은 Longterm Ocean Bottom Seismometer for Tsunami and Earthquake Research 의 약자로서 혹한 환경에서 안정적으로 자료 회수가 가능하도록 디자인 되어 있다. 본 시스템의 제원은 시스템, Acoustic release, 지진계 센서, 기록계와 배터리 격납용 압력 실린더, 해저면 고정용 앵커, 회수시 위치 파악을 도와주는 깃발, 라디오비컨, 플래셔로 구성되어 있다.

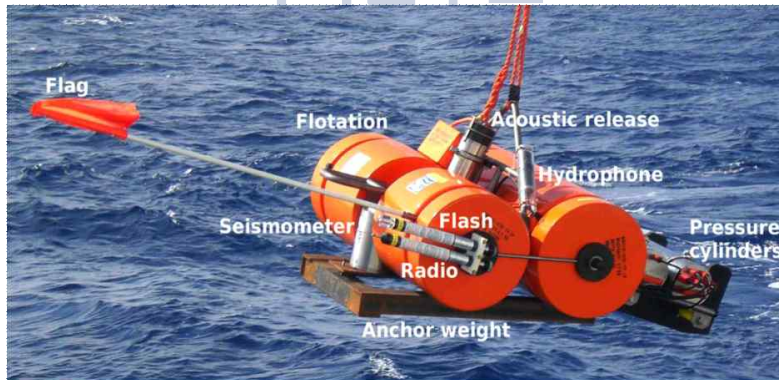


그림 3.4.1 해저면 지진계 LOBSTER 시스템

#### 가. Acoustic release

해저에 설치된 장비를 회수하기 위해서는 음파를 이용한 해저면에 고정된 앵커로부터 이탈시킬 수 있는 장비가 필요하다. 본 해저면 지진계에 이용된 음파원격 이탈기는 독일 KUM 사에서 개발한 KUMQuat K/MT 562(그림 3.4.2a)로 해저 6000 m 까지 견딜 수 있는 티타늄 튜브케이스로 제작되어 있으며 -5℃ ~ 40℃의



온도에서 안정적으로 작동하고  $-20^{\circ}\text{C}$ 까지 버틸 수 있다. 본 장비는 총 12개의 알칼라인 C-cells 배터리로 24개월 동안 100번의 release를 수행할 수 있고 3000번의 ping을 보낼 수 있다. 본 장비는 배에서 Deck Unit(그림 3.4.2b)을 이용하여 보내는 음파 신호를 받아 연결 후크를 열게 되는데 만약의 경우를 대비하여 자동으로 연결후크를 여는 작업을 수행하는 백업 타이머가 내장되어 있다.



#### 나. 센서

해저면의 미세한 진동을 관측하기 위해서 KUM사에서 제작한 해저 6000m 까지 견딜 수 있는 티타늄 압력 튜브에 Guralp사의 광대역 지진 센서인 CMG-40T가 내장된 센서를 사용한다(그림 3.4.3). 본 센서는 육상 지진계와 다르게 설치자가 센서의 수평을 맞출 수 없기 때문에 수평을 맞춰줄 수 있는 gimbal이 내장되어 있다. 센서의 소비전력은 180 mW이하이고 주파수 응답은 그림 3.4.3과 같다. 40Hz 까지 관측할 수 있는 Hightech사의 하이드로폰이 달려 있어 지각의 진동과 음파를 동시에 관측할 수 있다.

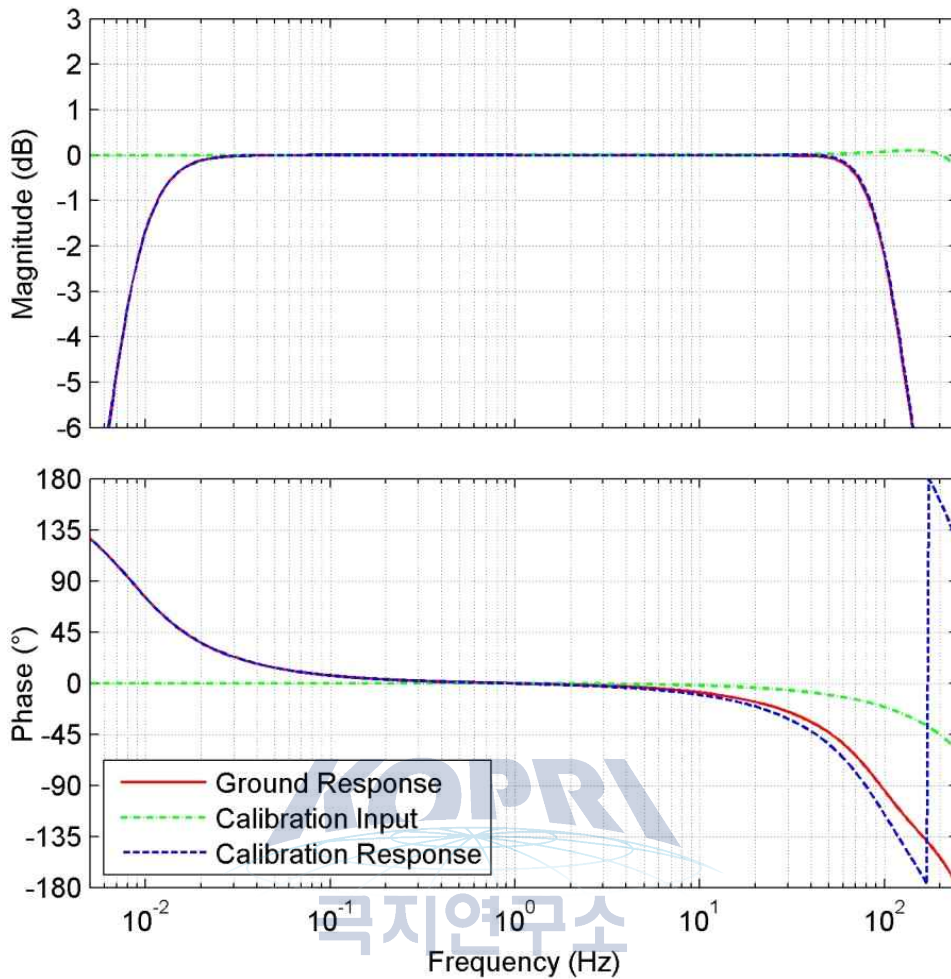


그림 3.4.3 해저면 지진계용 센서(상) / 주파수 응답곡선(하)

다. 기록계와 배터리 격납용 압력 튜브

기록계와 배터리를 수중환경으로부터 안전하게 보호하기 위해서 본 해저면 지진계에서는 티타늄 압력 튜브를 사용하고 있다. 본 압력튜브는 해저 6000 m 까지 안전하게 견딜 수 있으며 뚜껑과 본체의 연결부위에는 실리콘 O-ring을 이용하여 물이 침투하는 것을 막아준다. 기록계용 튜브에는 뚜껑을 열지 않고도 기록계의 세팅이 가능하도록 데이터 양방향 전송 커넥터가 설치되어 있다.

라. 기록계

SEND 사의 Geolon-MCS Marine Compact Seismocorder 기록계로 3개의 3 성분 지진계 채널과 1개의 하이드로폰 채널을 24bit 디지털로 기록할 수 있다. 장기간 해저 설치 운용에 적합하게 전력 사용은 0.65 W 이하이며, 오차범위가 2 msec/day인 Crystal oscillator precision 시계가 내장되어있다. 기록 시간은 투입

할 때와 회수 후에 GPS를 이용한 캘리브레이션을 통해 오차를 줄일 수 있다. 랩탑에 설치된 SENDCOM 프로그램을 이용해서 세팅이 가능하다.(그림 3.4.4)

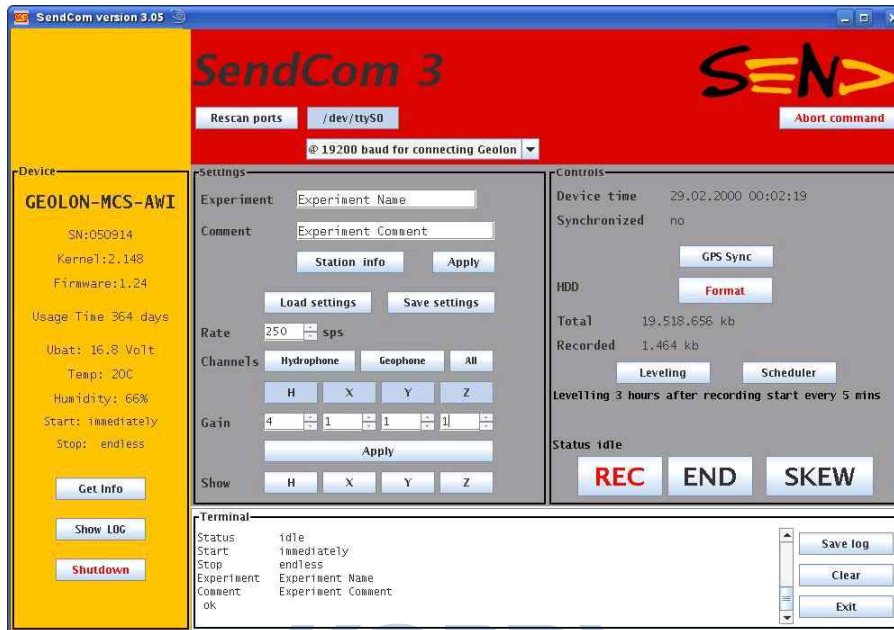


그림 3.4.4 기록계 세팅용 프로그램인 SendCom3. 채널별 Gain, Sample Rate, GPS sync등의 작업을 수행할 수 있다

마. 소모 전력과 배터리

LOBSTER 시스템은 18V 알칼라인 전지팩과 10.8V 리튬 전지팩을 이용할 수 있다. 기록계와 지진계 센서의 소모 전력은 샘플링 주파수에 따라서 달라질 뿐 아니라 배터리 종류에 따라서도 달라진다. 리튬 전지를 사용하여 50Hz 샘플링으로 기록할 경우 소모전력은 0.62W 이고 알칼라인 전지를 이용하여 1000Hz 샘플링 주파수로 기록할 경우에는 배터리 소모량은 0.72W 까지 올라간다. 표 3.4.1은 배터리 팩 구성에 따라서 LOBSTER 시스템이 동작할 수 있는 기간을 표기하였다. 알칼라인 배터리의 경우에는 LOBSTER 시스템 안에 최대 228개의 셀을 넣을 수 있는데 이는 132일 동안 작동할 수 있는 양이다. 남극의 경우 상시 접근이 어렵기 때문에 1년간 안정적으로 작동할 수 있도록 리튬 배터리 팩을 사용한다.

Actual power consumption MCS and CMG 40T (Li/50Hz)				0,62 W		
Actual power consumption MCS and CMG 40T (Alkali/500Hz)				0,65 W		
Actual power consumption MCS and CMG 40T (Alkali/1000Hz)				0,72 W		
Capacity Alkaline KUM-calcs.	9,0 Wh					
Capacity Lithium KUM-calcs.	37,7 Wh					
				<b>Time of operation*</b>		
	Cells	Capacity		<b>days</b>	<b>month</b>	<b>dummy</b>
Alkaline 48 (500sps - 650mW)**	48	432 Wh		<b>28</b>	0,9	48
Alkaline 48	48	432 Wh		<b>28</b>	0,9	sum 180
Alkaline 48+48**	96	864 Wh		<b>55</b>	1,8	
Alkaline 48+48+36	132	1188 Wh		<b>76</b>	2,5	48+48
Alkaline 48+48+48+36	180	1620 Wh		<b>104</b>	3,4	48
Alkaline 48+48+48+48+36	228	2052 Wh		<b>132</b>	4,3	
Lithium 48+48 (50sps - 620mW)**	96	3619 Wh		<b>243</b>	8,0	
Lithium 48+48+36	132	4976 Wh		<b>334</b>	11,0	48+48
Lithium 48+48+48	144	5429 Wh		<b>365</b>	12,0	48+36
Lithium 48+48+48+36	180	6786 Wh		<b>456</b>	15,0	48
Lithium 48+48+48+48	192	7238 Wh		<b>486</b>	16,0	36
Lithium 48+48+48+48+36	228	8596 Wh		<b>578</b>	19,0	

표 3.4.1 LOBSTER 시스템의 전력소모량과 배터리 종류별 작동 기간

## 2. 설치 및 회수

극지연구소에서는 2014/15 남극 하계 탐사에서 아라온을 이용하여 로스해에 설치된 해저면 지진계를 회수하여 자료를 획득한 후 로스해에 재설치하였다. 표 3.4.2는 2013/14 남극탐사시에 설치하였던 해저면 지진계의 위치이다. 2014년 12월 14일 현지시각 7시에 KPOBS02 위치에 가서 Deck Unit을 이용하여 release 신호를 전달하였다. 그러나 음파원격 이탈기로부터 해제 성공 신호는 수신되지 않았다. 현지시각 9시에 음원 발생 장치를 최대한 깊게 넣어서 신호를 전달하였을 시에는 응답은 보내왔으나 앵커로부터 분리된 이후에 보내는 신호는 나오지 않았다. 오후 2시에 다시 시도를 하였으나 해저면 지진계는 앵커로부터 분리되지 않아 회수가 되지 않았다. 본 장비는 UTC로 2016년 3월 2일 11:00에 음파원격 이탈기의 백업 타이머에 의해 release가 해제됨으로 이 시기의 재확인이 필요하다. 2014년 12월 14일 현지시각 16시에는 KPOBS01 설치위치에 도착하였다. 현장에 해빙이 있었으나 아라온을 이용하여서 해빙을 걷어내는 작업을 수 시간동안 수행한 이후에 당일 21시에 Deck Unit을 이용하여 release 신호를 보내었고 5분후에 해수면에 떠올랐다(그림 3.4.5). 그림 3.4.6과 그림 3.4.7은 KPOBS01과 KPOBS02의 로그 시트이다.

station	latitude	longitude	depth [m]	skew [μs]
KPOBS01	74° 59.797' S	168° 2.110' E	371	303
KPOBS02	75° 49.01' S	165° 15.09' E	880	—

표 3.4.2 2013/14 남극 하계 탐사에 설치했던 OBS의 위치



그림 3.4.5 2014년 12월 14일 현지시각 21시에 음파원격 이탈 신호를 받고 해수면에 떠오른 KPOBS01

LUDDER STATION-PROFICIAL

Project: KPOBS01

Date UTC: 09.02.2014 (all times GMT)

Recorder SN: 312-173

Release SN: 507256

Deployment Date UTC: 09.02.2014

Deployment Time UTC: 23:19:34

Deployment Location: 18° 51' 21" N, 142° 31' 11" W

Operator: Arne, Subjungsung

Recovery Date UTC: 10.12.2014

Recovery Time UTC: 09:57

Recovery Location: 18° 51' 21" N, 142° 31' 11" W

Recovery Operator: Arne, Subjungsung

Recovery Date UTC: 10.12.2014

Recovery Time UTC: 09:57

Recovery Location: 18° 51' 21" N, 142° 31' 11" W

Recovery Operator: Arne, Subjungsung

그림 3.4.6 KPOBS01 로그시트

LUDDER STATION-PROFICIAL

Project: KPOBS02

Date UTC: 09.02.2014 (all times GMT)

Recorder SN: 312-173

Release SN: 507256

Deployment Date UTC: 09.02.2014

Deployment Time UTC: 23:19:34

Deployment Location: 18° 51' 21" N, 142° 31' 11" W

Operator: Arne, Subjungsung

Recovery Date UTC: 10.12.2014

Recovery Time UTC: 09:57

Recovery Location: 18° 51' 21" N, 142° 31' 11" W

Recovery Operator: Arne, Subjungsung

Recovery Date UTC: 10.12.2014

Recovery Time UTC: 09:57

Recovery Location: 18° 51' 21" N, 142° 31' 11" W

Recovery Operator: Arne, Subjungsung

그림 3.4.7 KPOBS02 로그시트

2014/15 남극 하계 시즌에 회수한 KPOBS01과 독일 AWI로부터 임대한 해저면 지진계는 미국과의 공동연구를 로스 빙봉 앞에 설치하였고 각각의 관측소 이름은 KPDR01과 KPDR02이다(그림 3.4.8). 미국에서는 로스빙봉의 미세한 움직임과 이에 영향을 미치는 요인을 밝히기 위해 빙봉위에 광대역 지진계 array를 설치하였

고 극지연구소에서는 해저 지각의 움직임과 로스 빙붕에 의해 생성된 음파 관측을 목적으로 해저면 지진계를 설치하였다. 본 해저면 지진계는 1년 동안 안정적으로 동작할 수 있도록 리튬셀 132개의 배터리팩을 각각 구성되어 있다. 음파원격 이탈기의 백업 타이머는 KPDR01은 UTC기준 2017년 2월 10일 00시에, KPDR02는 같은날 05시에 release 되도록 세팅을 하였다. 그림 3.4.9와 그림 3.4.10은 각각의 로그 시트이다.

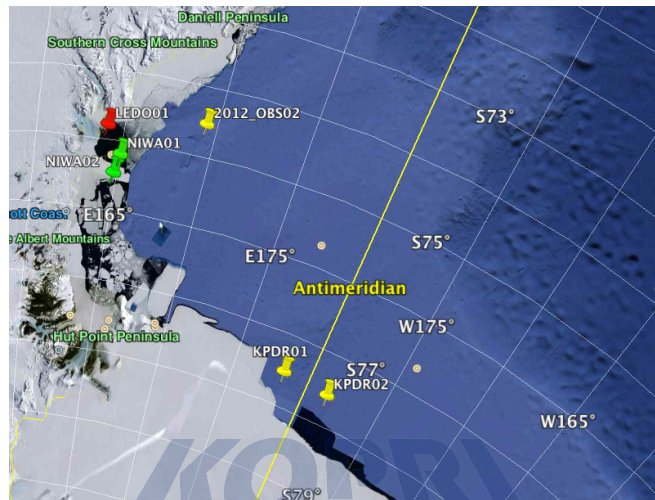


그림 3.4.8 2014/15 남극 하계 탐사에 설치한 해저면 지진계 관측소 KPDR01과 KPDR02의 위치

LOBSTER STATION-PROTOCOL v1.2

Cruise: 265-200 14-15 Project: 1615 2014-15  
 Profile: Station: KPDR01  
 Date UTC: 27/12/2014 Date local: 27/12/2014

Recorder tube: 48 of 17 at 10.0 Volts 48 of 17 at 10.0 Volts MCS SN: 1912-173  
 two dry packs inserted  sealing area checked  all screws fixed   
 Battery tube: 48 of 17 at 11.0 Volts 48 of 17 at 11.0 Volts  
 two dry packs inserted  sealing area checked  all screws fixed

requires anchor type: 1 Operator: J. G. S. L.

Recorder MCS SN: 1912-173 Firmware: 1.32  
 Usage Time: 3877.305s Format (V/N)  capacity total: 31.368h Up: 107V  
 ADC QC: H  V  W  channels: 48 rate: 100 Hz T: 19C  
 gain: H  V  W  remarks: 14.405s H: 66%  
 signals show: H  V  W

bowling status: 14.405s after recording: then every 14.405s time (hh:mm:ss) 23:15:30  
 GPS-Sync: GPS signal okay  GPS date (at min yyyy) 23 12 2014 time (hh:mm:ss) 23:15:30  
 Start Date: 27 12 2014 time (GPS) 23:15:30 External?   
 Stop Date: 28 12 2014 time (GPS) 00:00:00 end-on?

RECORDING STARTED  CHECKED (capacity)  OPERATOR: J. G. S. L.

Release SN: 1912-173 User1: 507210 User2: 507233 DISABLED   
 Release: 27 12 2014 UTC time: 22:16 UTC RT date: 27 12 2014 UTC time: 20:00 UTC  
 Batt 1: 9.89V Batt 2: 9.84V Operator: J. G. S. L.

Prepare on Deck  
 Recorder SN: 1912-174 4-4 Reals  just 4  Flag: fixed   
 Recorder SN: 1912-174 fixed  inside?  outside?  all 6 conn.: fixed   
 Bat tube SN: 1912-174 fixed  all 6 conn.: Lactate 8021 spray  Counters spray   
 Flash SN: 1912-174 switched ON  tested  channel (A)  B  C  D   
 Flash SN: 1912-174 switched ON  tested  Hydr SN: 1912-174 fixed  Hydr SN: 1912-174 fixed   
 anchor type: 1 added weight: fasten with: N/A (max 5Nal)

Deployment  
 Operator: S. L. Date UTC: 27 12 2015 Time UTC: 16:34:18  
 local date: 27 12 2015 local time: 16:34:18  
 coordinates: lat 72° 41' 35.24" S long 156° 23' 16.00" W waterdepth: 741m

Recovery: First Release  
 Operator: local date: local time: local time: local time:  
 Recovery on surface: local date: local time: local time: local time:  
 Recovery on deck: local date: local time: local time: local time:  
 coordinates: lat: N/S long: E/W waterdepth:

Recorder: GPS okay  date: time:  
 done:  no errors  errors: recorded data:  
 downloaded to:

그림 3.4.9 KPD01 로그시트

LOBSTER STATION-PROTOCOL v1.2

Cruise: Project: 1615 2014-15  
 Profile: Station: KPDR02  
 Date UTC: 27/12/2014 Date local: 27/12/2014

Recorder tube: 48 of 17 at 10.0 Volts 48 of 17 at 10.0 Volts MCS SN: 0009-20  
 two dry packs inserted  sealing area checked  all screws fixed   
 Battery tube: 48 of 17 at 11.0 Volts 48 of 17 at 11.0 Volts  
 two dry packs inserted  sealing area checked  all screws fixed

requires anchor type: 1 Operator: J. G. S. L.

Recorder MCS SN: 0009-20 Firmware: 1.32  
 Usage Time: 1232.305s Format (V/N)  capacity total: 19.668h Up: 104V  
 ADC QC: H  V  W  channels: 48 rate: 100 Hz T: 20C  
 gain: H  V  W  remarks: 14.405s H: 77%  
 signals show: H  V  W

bowling status: 14.405s after recording: then every 14.405s time (hh:mm:ss) 23:00:50  
 GPS-Sync: GPS signal okay  GPS date (at min yyyy) 23 12 2014 time (hh:mm:ss) 23:00:50  
 Start Date: 27 12 2014 time (GPS) 23:00:50 External?   
 Stop Date: 28 12 2014 time (GPS) 00:00:00 end-on?

RECORDING STARTED  CHECKED (capacity)  OPERATOR: J. G. S. L.

Release SN: 0009-20 User1: 41735E User2: 417376 DISABLED   
 Release: 27 12 2014 UTC time: 00:07 UTC RT date: 27 12 2014 UTC time: 00:00 UTC  
 Batt 1: 9.89V Batt 2: 9.84V Operator: J. G. S. L.

Prepare on Deck  
 Recorder SN: 0009-20 4-4 Reals  just 4  Flag: fixed   
 Recorder SN: 0009-20 fixed  inside?  outside?  all 6 conn.: fixed   
 Bat tube SN: 0009-20 fixed  all 6 conn.: Lactate 8021 spray  Counters spray   
 Flash SN: 0009-20 switched ON  tested  channel (A)  B  C  D   
 Flash SN: 0009-20 switched ON  tested  Hydr SN: 0009-20 fixed  Hydr SN: 0009-20 fixed   
 anchor type: 1 added weight: fasten with: N/A (max 5Nal)

Deployment  
 Operator: S. L. Date UTC: 27 12 2015 Time UTC: 10:21:24  
 local date: 27 12 2015 local time: 10:21:24  
 coordinates: lat 72° 41' 35.24" S long 156° 23' 16.00" W waterdepth: 741m

Recovery: First Release  
 Operator: local date: local time: local time: local time:  
 Recovery on surface: local date: local time: local time: local time:  
 Recovery on deck: local date: local time: local time: local time:  
 coordinates: lat: N/S long: E/W waterdepth:

Recorder: GPS okay  date: time:  
 done:  no errors  errors: recorded data:  
 downloaded to:

그림 3.4.10 KPD02 로그시트

## 3. 해저면 지진계 획득자료

KPOBS01에서 3성분 광대역 지진계와 하이드로폰으로부터 317일 간의 자료를 획득하였다. 회수시 GPS와 시각 차이는  $303 \mu\text{s}$  이었으며 SendCom 프로그램을 이용하여 보정을 수행하였다. 획득한 수중음향 자료를 대상으로 기록된 신호의 주파수 특성을 파악하기 위하여 스펙트로그램을 만들어보았다. 그림 3.4.11은 317일 간의 수중음향 자료의 월별 스펙트로그램이다. 붉은 색으로 갈수록 에너지가 강한 것을 의미하는데 설치이후에는 가장 강한 잡음이 관측되었고 점점 갈수록 배경잡음의 세기가 줄어드는 것을 확인할 수 있는데 2월과 3월에는 로스해 지역에 배를 이용한 탐사가 수행되었던 시기이며 이 시기에 해빙이 많이 녹아 있었던 것에 기인한다. 스펙트로그램에서는 1년 내내 하모닉 트레머가 발생하는 것을 확인할 수 있는데 트레머 발생 빈도에 계절적인 특성은 찾기 힘들었는데 본 관측소 주변의 해저 화산에서 발생한 신호일 가능성을 염두에 두고 연구를 진행하고 있다. 그림 3.4.12는 2014년 5월 16일에 발생한 강한 트레머의 파형과 스펙트로그램이다. 이 트레머는 UTC 기준 15시 경, 현지시각으로는 다음날 새벽 4시경에 시작되었으며 약 13시간동안 지속되었다. 이 하모닉 신호의 원천(fundamental) 주파수는 1.5Hz 주변이다.

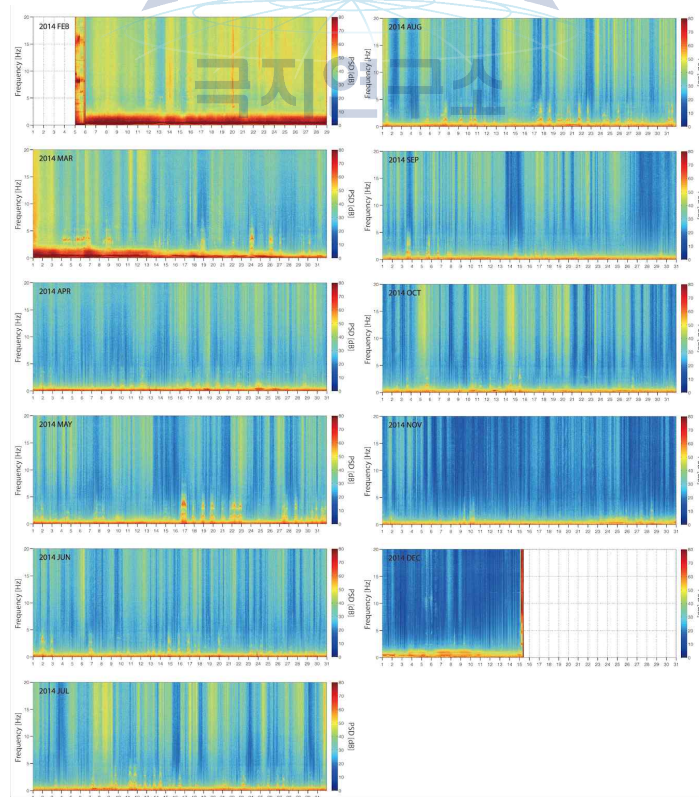


그림 3.4.11 KPOBS01에서 획득한 하이드로폰 자료의 스펙트로그램

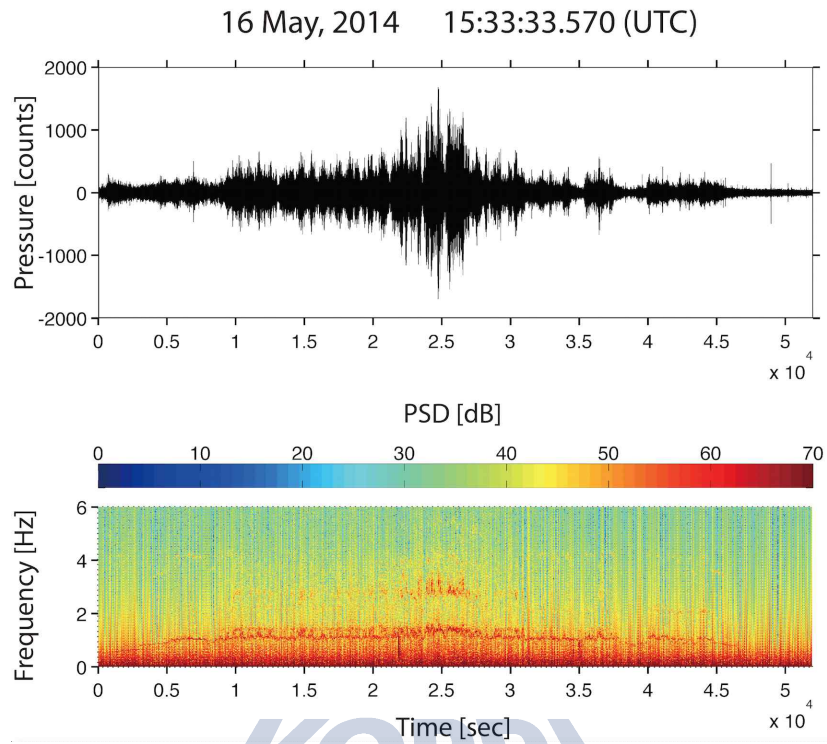
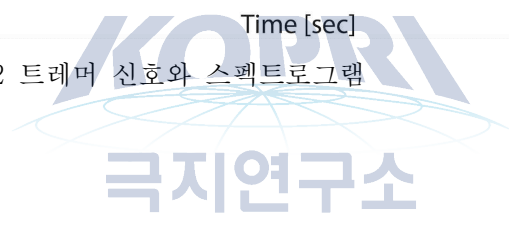


그림 3.4.12 트레머 신호와 스펙트로그램





[남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책 연구]

## 제4장 연구개발 결과





## 제1절 무인 지구물리 관측망

2010/11, 2011/12, 2014/15 3번의 남극 하계탐사로 장보고기지 주변의 무인 지구물리 관측시스템 구축을 위해 멜번 화산 및 장보고기지 주변에 KP 01~07까지 설치하였다. 그중 KP06의 관측소가 유실 되어 2014/15 탐사기간에 KP 07 관측소를 유치하였다. 데이비드 빙하 주변 지진 관측망은 KDG 01~KDG 07로 구성 되어있다. 총 13개의 지진관측소가 남극에 설치되어있다. 종합모니터링 시스템 AMIGOS장비는 드리어갈스키 빙설에 2개, 데이비드 빙하에 인접한 난센 빙봉에 1개, 장보고기지 근처에 1개, 캠벨 빙하에 1개로 총 5개가 설치되어있다. 또한 빙하의 이동 및 변화를 좀 더 정밀하게 관측하고 시각화하기 위해 Time-lapse 카메라를 데이비드 빙하에 설치하였다. 설치된 장비는 2015/16 남극 하계 탐사 시즌에 배터리 교체 및 유지 보수와 더불어 데이터 회수도 탐사 기간 동안 진행될 것이다.

## 제2절 불활성기체 동위원소 분석

2015년 5월 극지연구소로 불활성기체 동위원소 분석시스템이 이전되면서 연구실을 새롭게 구축하게 되었다. 20년 이상 사용하던 오래된 장비들이기에 한국까지 안전하게 옮기기 위한 사전작업이 매우 길었으며 극지연구소에 도착한 이후는 효율적인 실험실 Lay-out을 구성하고 장비를 새롭게 조립하는데 시간이 많이 소요되었다.

앞으로 본 장비를 활용하여 남극에서 채취한 우주 먼지와 화산가스를 분석할 예정이다. 지금까지 극지연구소가 분석하지 못했던 새로운 분야로 연구의 분야를 넓히는 좋은 기회가 될 것으로 보인다.

본 작성문을 통하여 당시 진행되었던 설치 과정의 일부를 소개하였으며 분석 장비의 원리를 간략히 정리하여 불활성기체 동위원소 분석시스템을 사용하는 연구원들을 위한 기록으로 남기고자 한다.

### 제3절 무인 측지 시스템 개발

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)의 일종의 멀티콥터를 이용하여 직접 탐사하기 어려운 지역을 항공 촬영과 라이다(LIDAR)시스템을 개발하였다. 멀티콥터는 각 로터의 상대 회전 속도를 이용하여 움직이는 방식이어서 로터의 수가 다양하게 제작되어있다. 연구에 필요한 멀티콥터는 액션캠과 배터리 추가 GPS장비 등이 탑재되어 중량이 증가하기 때문에 주로 헥사콥터 혹은 옥토콥터와 같은 멀티콥터가 사용되고 있다. 본 연구에서는 레이저를 이용하여 사물의 위치나 모양을 스캐닝하는 라이다를 멀티콥터에 장착할 수 있는 시스템을 개발하였다. 2014/15년도 남극 하계탐사 기간에 멀티콥터를 운용할 때 문제점이 몇 가지 발견하였다. 먼저 GPS 위치 좌표의 정확도가 떨어진다는 것이다. 이를 보완하기 위해 지상 기준국을 운영하는 RTK(Real Time Kinetic)기법을 적용하여야 하는데 RTS GPS장착한 멀티콥터는 극소수이다. 두 번째로 극지방에서의 지구자기장의 편각(declination) 효과가 커서 멀티콥터의 자세와 방향을 안정화가 어렵다. 이러한 편각효과로 조종사의 조작과 상관없이 비행체가 원형궤도를 그리며 움직이는데 효과가 심할 경우 조작이 거의 작용하지 않아서 추락할 가능성이 있어 유의해야 한다.

빙하의 이동 속도, 빙상의 두께 변화, 빙저호의 수위 변화 등을 관측하기 위해서 단일밴드 GPS 무인 모니터링 시스템을 개발하였다. 태양전지와 리튬이온배터리를 혼용하여 이용하여 연중 유지시키고 부피를 최소화 하여 바람이 강한 극지역에서 효율적인 운송과 설치 및 내구성 향상 시켰다. 관측된 자료는 RTKLIB 소프트웨어를 이용하여 다양한 후처리 기법을 사용할 수 있다.

### 제4절 해저면 지진계 설치 및 운용

극지연구소에서는 2014/15 남극 하계 탐사시에 전 시즌에 설치한 해저면 지진계 KPOBS01을 회수하여 1년치 데이터를 확보하고 배터리를 교체한 이후 로스 빙봉에 재설치하였다. 이는 2015/16 남극 하계 탐사시 회수할 예정이다. 해빙과 고염분의 0도이하의 저온의 해수가 존재하는 남극 바다에서 해저면 지진계를 안정적으로 운영하기 위해서는 안정적으로 전력 공급을 해줄 수 있는 배터리와 소비전력이 낮은 센서와 기록계, 외부 충격에서 장비를 보호할 수 있는 케이스가 필수적이다. 극지연구소에서는 상기의 조건을 만족하는 KUM사의 LOBSTER 시스템을 이용하여 관측을 함으로서 희소성 있는 자료를 획득하고 있다.

장보고 기지 주변에 지진관측소, GPS, AMIGOS 관측소를 설치 운영하고 있으나 1년 단위로 배터리 교체, 데이터 회수 작업이 요구됨. 향후 매년 접근하기 힘든 지역에서 희소성 있는 자료를 획득하기 위해서는 혹한 환경에서 안정적으로 장기간 전원을 공급할 수 있는 방법을 확보해야 한다.

1년 단위로 자료를 회수하는 현재의 시스템은 환경 변화를 관측하는 시점을 지연시키게 됨. AMIGOS의 경우 위성을 이용하여 실시간으로 자료를 수집하고 있으나 과도한 통신료 부담이 발생할 수 있는 단점이 있다.

후발주자로서 과거 연구와의 차별화를 위해서는 접근이 힘든 미답지를 탐사하는 것이 중요하나 안전사고의 발생 가능성이 높기 때문에 무인탐사기술의 접목이 반드시 필요하다.





[남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책 연구]

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획







- 연구사업의 수행 결과, 장보고 기지 주변에 설치된 무인관측망에 대한 전원을 안정적으로 공급할수 있었고, 실시간 자료 수집 시스템의 구축으로 기존에 설치된 관측망의 활용성을 높였음
- 무인 탐사 기술을 개발한 무인 탐사 장비는 위험 지역에 대한 무인관측활동을 가능하게 함으로써, 관측의 안전성을 도모하고 접근 가능 지역을 확대할 수 있고, 고비용의 극한지 관측 장비 운영을 효율적이며 경제적으로 수행할 수 있는 기반을 마련하였음
- 멀티콥터를 이용한 Lidar 장비와 같은 고해상도 첨단장비를 이용하여 광범위하고 더욱 차별화된 남극탐사를 수행할수 있게 됨으로써 극지연구에 대한 역량에 제고됨
- 불활성 기체의 동위원소 분석장비를 설치함으로써, 극지에서 채취되는 우주물질의 분석, 화산 주변의 가스 성분 분석이 가능함으로써, 남극지질 연구에 수월성을 확보
- 무인 탐사 기술을 활용하여 위험 지역을 미리 조사함으로써 인적 물적 손실의 최소화하고, 선진화된 관측 기술을 이용하여 효율적인 남극 내 미답지 탐사 수행
- 해저면 지진계의 안정적인 운용을 통하여 빙하, 빙설 등 장보고 기지 인근에 존재하는 빙권이 기후변화에 따라 변화하는 것을 관측할 수 있게 되었으며, 지진 등의 지각활동도 관측하여 빙권과 지권과의 상호작용 연구에 활용



[남극대륙 무인 관측 선진화 및 안정적 운영방안 수립을 위한 정책 연구]

## 제 6 장 참고문헌





Bahnhoff M., Brancolini G., Pellis G., Cooper A., Miller G., 1994, Ross Sea, Antarctica Study Cruise Report (ACRUP) –Seismic Project, U.S. Geological Survey

Bailey A, 2015, Arctic UAS research challenges boundaries of autonomous flight, UAS Magazine

Holbrook W. S., Wooding F. B., Peal K. R., Dolan J., Lizarralde D., Korenaga J., Cross V. A., Coleman D., Sheehan C., 1994, Aleutian Islands, Alaska Study Cruise Report ( R/V Alpha Helix HX-179), U.S. Geological Survey

Hutchinson D. R., Evans J., Gunther J., Hammond R., Hoehler T., Lizarralde D., O' Brien T. F., Pecher I., Rush J., Veitch A., Williams H., Blake Ridge, South Carolina Study Cruise Report (R/V Cape Hatteras Cruise CH 18-95), U.S. Geological Survey

Keisuke Nagao, Noble gas mass spectrometry and its application to geo- and cosmo-sciences

Scambos T., Behar A., Ross Ronald., Stroeve J., 2013, New Pathfinder Technology for Ice - Ocean System Moitoring, Arctic Observing Summit

Sumino H., 2015, History and Current Status of Noble Gas Mass Spectrometry to Develop New Ideas Based on Study of the Past, Mass Spectrometry Society

ten Brink U., Miller G., Foster D., Illucci R., 1994, Los Angeles, California Study Cruise Report (LARSE), U.S. Geological Survey

Trehu A., Lyle M., Lendl C., Chambers J., Cross V. A., Dolan J., Dubois D., Holt T., Michaelson D., Miller G., Peal K., Wendler B., Wooding F. B., Mendocino, Northern California Study Cruise Report (RV WECOMA 9406A), U.S. Geological Survey



## 주 의

1. 이 보고서는 극지연구소에서 수행한 창의연구사업의 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.