

GOVP1200510092

BSPN 475-00-1579-7

북극 대기환경 및 광물자원 연구

Research on the Arctic Atmospheric
Environments and Mineral Resources

2003. 9.

한국해양연구원

과 학 기 술 부

제 출 문

과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 “북극 대기환경 및 광물자원 연구”과제의 1단계 최종보고서로 제출합니다.

2003. 9

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 김 예 동

참 여 연 구 원 : 이종익, 홍성민
원영인, 허순도
이방용, 윤호일
이재일, 이미정
정종균, 이강현
한송이, 최미송

보고서 초록

과제관리번호	M1-0104-00-0111	해당단계 연구기간	2001.7.11-2003.7.10	단계 구분	(1단계) / (총 2단계)
연구사업명	중 사업명	국가지정연구실사업			
	세부사업명				
연구과제명	중 과제명				
	세부(단위)과제명	북극 대기환경 및 광물자원 연구			
연구책임자	김 예 동	해당단계 참여연구원수	총 : 13명 내부 : 7명 외부 : 6명	해당단계 연구비	정부: 721,412천원 기업: 천원 계: 721,412천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양연구원 극지연구소		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :	상대국연구기관명 :			
위탁연구	연구기관명 :	연구책임자 :			
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)					보고서 면수
206					
<p>1. 빙하분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 극미량원소 분석을 위한 청정분석 기법 확립 - 인공빙하시료를 이용한 실험 바탕값 설정과 청정분석 기법의 신뢰성 확립 - 전지구적 미량원소 순환 배경연구를 위한 남반구 미량원소 지화학적 거동 규명 - 북극권에 유입되는 자연적 기원의 미량원소 발원지 규명을 위한 Sr 동위원소 예비 분석 - 북극권 대기에서 순환중인 수은의 대기화학적 거동 규명 - 북반구에서 미량원소들의 지화학적 거동에 미친 장기간의 인간활동 영향을 연구하기 위하여 티벳고원에서 빙하 시추 성공(시추깊이: 120 미터) <p>2. 고층대기분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적외선분광계 시스템의 자동, 원격운영 시스템 구축 - 캐나다, 스웨덴 및 노르웨이 북극 다산기지에 대기광관측 시스템구축 - 영국 남극연구소와 공동으로 남·북극 동시관측 및 비교연구수행 - 대기광관측을 통한 고층대기 온도의 정밀원격탐사 - 고층대기파동의 이차원적 구조파악 <p>3. 자원분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 청정실험실에서 희유금속광물 전처리 기법 개발 - ICP-MS를 이용한 알칼리암의 희토류원소 정량분석 시스템 구축 - 북극권 러시아 콜라반도의 카보나타이트-포스코라이트의 산출상태 규명 - 북극권 속리암체의 카보나타이트-포스코라이트에서 산출되는 운모류의 광물화학적 특성 규명 - 콜라반도의 속리, 코브도, 히비나, 살마고라 암체에서 산출되는 희유금속광물의 산출상태 분석 					
새 인 어 (각 5개 이상)	한 글	북극, 대기환경변화, 고층대기환경, 빙하분석, 희유금속광물, 광물자원			
	영 어	Arctic, atmospheric environmental change, upper atmosphere environment, glacier analysis, rare metal minerals, mineral resources			

여 백

요 약 문

I. 제 목

북극 대기환경 및 광물자원 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 최종목표

본 연구는 극지지역에서의 빙하, 고층대기, 자원지질 연구를 통해 지구환경변화 예측과 함께 극지자원개발에 참여기 위한 진출의 교두보 확보와 극지 진출국으로서의 국제적 위상을 세우려는데 궁극적인 목적이 있다.

- 북극권 빙하에서 수 백년 전 이후 인류 발전과 더불어 진행된 인위적인 중금속 대기오염 기록을 복원하고 남극 빙하에서 자연적 순환과정을 복원하여 독성 중금속 물질의 전지구적 대기순환 과정을 시간적·공간적으로 규명함으로써 최종적으로 대기오염을 유발하는 인위적 요인의 중요성을 평가할 수 있는 환경척도를 제시한다.
- 극지 고층대기의 환경변화를 관측, 이해함으로써 위성운영과 전파통신에 미치는 영향을 분석하고, 나아가 전지구적 환경변화경향과의 상관관계를 유추한다.
- 극지 자원 탐사 기술 개발 및 부존 자원량 평가를 위한 기반 지질 자료를 축적하며 희유금속광물 분석을 위한 첨단 지구화학 기술을 개발한다.

2. 1단계 목표

극지 국제공동연구 기반구축

<빙하분야>

- 북극권 빙하 국제공동연구 체제 구축
- 극지빙하 시료의 중금속 농도 분석

<고층대기분야>

- 북극권 캐나다 레솔루트 만과 스웨덴 키루나, 니알슨 다산기지에 고층대기 관측기기 설치
- 국제공동으로 남·북극에 정밀광학분광계 운영, 고층대기 온도 원격탐사

<자원분야>

- 극지자원 탐사를 위한 국제공동 시스템 구축 및 북극권 콜라반도 현장조사
- 최첨단 지구화학 분석실 설치

3. 연구개발 필요성

극지방은 환경변화에 매우 민감하여 지구환경에 대한 조기경보장치로 인식되고 있다. 또한 남극뿐 아니라 최근 북극의 경제적 활용과 자원에 대한 관심이 높아지면서 개발의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 극지연구를 통하여 지구환경변화를 예측함으로써 이에 대비한 국가 중장기 정책의 수립과 동시에 극지자원의 공동개발과 진출의 교두보를 확보하는 것이 중요하다.

○ 기술적 측면

- 극지연구는 극지에서만 연구 가능하거나 혹은 타 지역 연구에 비해 효율성이 큰 분야라는 점에서 특성이 있다. 따라서 극지연구를 위해서는 특수한 환경에 맞는 독특한 실험 방법과 특수한 분석기술의 개발이 요구된다.
- 극지 빙하연구를 위해서는 무기화합물 정밀 분석기술의 개발이 요구되는데, 빙하 시료에 함유된 중금속 농도는 극미량인 ppt (10^{-12} g/g) 수준으로서 청정실험 환경을 기반으로 오염제거 기술과 최첨단의 분석 기술을 필요로 하기 때문에 세계적으로 극히 제한된 연구실에서만 분석기술을 보유하고 있다.
- 극지 고층대기연구에 사용되는 첨단 광학기기를 이용한 원격탐사 기법은 최첨단 기술의 결집체로써, 연구에 사용되는 기기, 운영, 자료의 분석방법 등은 매우 핵심적인 기술이다.
- 북극지역에는 고품위 희유금속광상인 카보나타이트 복합체가 널리 분포하고 있으나 우리나라는 이에 대한 연구가 전무한 실정이다. 따라서 북극지역 카보나타이트 복합체 연구를 위해서는 우선 이를 구성하는 암석 및 고농도 희유금속광물의 정밀 분석기술개발이 요구된다.

○ 경제.산업적 측면

- 세계기후협약등 지구환경관련 국제규제에 대비하여 우리나라 중장기 환경정책수립을 위한 기반자료의 필요성이 제기되고 있다. 양극 지역의 극지환경연구를 통해 지구의 자연적인 환경변화와 인위적인 영향등을 비교 연구할 수 있다. 특히 지구상의 대부분 인구가 거주하고 산업활동의 70% 이상을 차지하는 북반구는 인간활동에 의한 대기환경의 변질을 심하게 받고 있다. 따라서 선진국들은 빙하 연구를 통해 시대별 대기환경 변화 과정을 복원하여 인위적 영향을 평가하기 위한 척도를 개발하고 있다.
- 극지 고층대기환경연구는 우주과학 관련 첨단 기기를 이용하여 오존층 변동, 고층대기 온도변화등을 원격탐사하게 될 것이다. 고층대기원격탐사 및 분석기술은 최첨단 기기 운영기술을 습득한다는 측면 외에도 천문학, 환경 오염감시, 로켓엔진 감시용, 로켓원격 탐지 등에 응용될 수 있다는 효과를 기대할 수 있다. 특히 극지에서 종종 발생하는 오로라는 고층대기의 온도와 밀도를 급격히 증가시켜 이곳을 비행하는 우주비행체(주로 인공위성)의 수명을 단축시키게 된다. 따라서 고층대기(우주환경)의 지속적인 관측, 연구분석이 이루어지면, 위성통신, 전파통신 등 관련 우주산업에 기반자료를 제공하게 될 것이다.- 극지 자원연구를 통해 21세기 극지 자원 개발시대에 대비한 진출의 교두보를 확보할 필요성이 있다. 남극의 광물자원 개발은 향후 47년간 금지되어 있으므로, 현재는 과학연구를 통한 기반 연구만이 수행 가능하다.
- 북극권 지역 중에서 러시아의 콜라반도, 우랄산맥 북부 및 그린랜드 지역에는 많은 알칼리암 복합체가 발달하고 이들은 거의 예외없이 고품위의 희유금속광상을 동반하고 있다. 이 알칼리암 복합체는 흔히 '카보나타이트 복합체'로도 불리는데, 희유금속광물의 방대한 자원량으로 인해 북극권 국가들을 중심으로 최근 활발한 연구와 개발이 추진되고 있다. 21세기는 고부가가치 희유금속광물(Nb, Ba, Sr, Ta, Th, U, Zr, REE등)의 수요량이 급격히 증가하고 세계 각국의 자원 확보 경쟁도 치열하게 진행될 것으로 예상되기 때문에 우리나라도 북극권에 분포하는 카보나타이트 복합체와 관련광화학작용에 대한 연구를 서둘러 실시해야 할 시점이다.
- 전세계 공업 생산의 80%는 북위 30°이북 지역에서 이루어지고 있으며, 모든 중요한 공업지역은 북극에서 6,000 km 이내에 위치하고 있다. 따라서 북극권 항로를 통한 물자 수송은 경제성이 있는 것으로 평가된다. 북극권 항로의 개발은 북극해

연안 시베리아 개발, 사회 간접시설의 건설, 쇠빙선의 수요증대등 북극연구에 따른 간접적인 파급효과가 클 것으로 평가된다.

○ 사회.문화적 측면

- 극지개발은 21세기중 가장 중요한 산업활동이 될 전망이다. 따라서 우리 나라는 기존의 남극 진출과 더불어 북극으로의 적극적인 진출이 요구되는 시점이다. 극지는 차세대에 남겨주는 인류의 유산으로서 자라나는 청소년에 꿈과 도전, 모험과 인내의 실험장이 될 것이다.
- 극지방은 지구환경변화가 특히 민감하게 나타나는 지역으로서 오존층 파괴 현상 등 향후 변화에 대한 조기경보 장치로 인식되고 있다. 특히 고층대기는 희박한 밀도로 인해 지표상의 변화가 증폭되어 나타나며 그림에서처럼 지상의 온난화와는 반대로 냉각화 현상이 분명하게 진행하고 있다. 이러한 자료는 현재 환경변화 추이와 미래의 기후변화를 예측 가능케 함으로써 이에 대한 대비와 사회적 충격을 줄일 수 있게 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 빙하분야

- 북극권 빙하시추를 위한 국제공동연구 체제를 구축
 - 한국(KORDI)과 러시아(AARI)의 북극권 빙하공동시추 협력체제 수립
 - 한국(KORDI)과 중국(CAREERI)의 티벳고원 빙하시추 협력체제 수립
 - 중국이 기 확보한 티벳고원 빙하시료를 이용하여 극지연구본부의 빙하분석 시스템 적절성 여부 시험
 - 냉동실험실과 청정실험실에서의 전 실험과정 테스트
 - ppt (10^{-12} g/g)수준의 극미량 중금속원소 분석을 위한 실험 바탕값 설정

2. 고층대기분야

- 캐나다 레슬루트 만과 스웨덴 키루나에 고층대기 분광계 설치, 운영

- 북극권 스발바드군도 니알슨 북극다산과학기지에 적외선분광계(FTIR) 설치

3. 자원분야

- 극지자원 탐사를 위한 국제 공동 시스템 구축
 - 한국(KORDI), 프랑스(Ecole des Mines), 러시아(Geological Institute)와의 북극권 카보나타이트 연구 협력체제 수립 및 제1차 현장 조사
- 최첨단 지구화학 분석실 설치
 - XRF, ICP-MS를 이용한 카보나타이트 및 희유금속광물 분석 시스템 완비
 - 10ppt (10^{-11} g/g)수준의 극미량원소 분석을 위한 청정실험실 설치 및 전처리 기술 개발

IV. 연구개발결과

1. 빙하분야

- 극미량원소 분석을 위한 청정분석 기법 확립
- 인공빙하시료를 이용한 실험 바탕값 설정과 청정분석 기법의 신뢰성 확립
- 전지구적 미량원소 순환 배경연구를 위한 남반구 미량원소 지화학적 거동 규명
- 북극권에 유입되는 자연적 기원의 미량원소 발원지 규명을 위한 스트론튬(Sr) 동위원소 예비 분석
- 북극권 대기에서 순환중인 수은의 대기화학적 거동 규명
- 북반구에서 미량원소들의 지화학적 거동에 미친 장기간의 인간활동 영향을 연구하기 위하여 티벳고원에서 빙하 시추 성공(시추깊이: 120 미터)

2. 고층대기분야

- 적외선분광계 시스템의 자동, 원격운영 시스템 구축
- 캐나다, 스웨덴 및 노르웨이 북극 다산기지에 대기광관측 시스템구축
- 영국 남극연구소와 공동으로 남·북극 동시관측 및 비교연구수행
- 대기광관측을 통한 고층대기 온도의 정밀원격탐사
- 고층대기파동의 이차원적 구조파악

3. 자원분야

- 청정실험실에서의 희유금속광물 전처리 기법 개발

- ICP-MS를 이용한 알칼리암의 희토류원소 정량분석 시스템 구축
- 북극권 러시아 콜라반도의 카보나타이트-포스코라이트의 산출상태 규명
- 북극권 속리암체의 카보나타이트-포스코라이트에서 산출되는 운모류의 광물화학적 특성 규명
- 콜라반도의 속리, 코브도, 히비나, 살마고라 암체에서 산출되는 희유금속광물의 산출상태 비교 분석

V. 연구개발결과의 활용계획

- 빙하연구는 북극연구의 본격적인 시작을 마련하는 계기가 되어, 북반구에서의 특징적인 환경오염 추이를 측정할 수 있으며, 이 자료는 기후협약등 지구환경 관련 국제규제에 대비한 우리나라의 환경정책에 기초자료로 활용될 수 있다.
- 고층대기(우주환경)의 지속적인 관측, 연구분석이 이루어지면, 위성통신, 전파통신 등 본격적인 우주산업시대에 대비한 기초자료를 제공할 것으로 기대가 된다.
- 대기광 측정 및 분석기술은 최첨단 기기 운영기술을 습득한다는 측면 외에도 천문학, 환경 오염감시, 로켓엔진 감시용, 로켓원격 탐지 등 타 우주과학 분야에 응용되는 효과를 기대할 수 있다. 또한 기기의 운영 및 관측기술은 향후 첨단 국산 기기 개발에도 적극 응용될 수 있을 것으로 예상된다.
- 북극권 국가 중에서 러시아는 20세기 말부터 자국내의 희유금속광물 탐사에 많은 관심을 보이고 있으나, 경제적인 문제로 여러 국가들과의 공동연구를 적극적으로 희망하고 있다. 러시아와의 공동 연구 시스템을 구축하여, 향후 예상되는 공동 개발시 기술적인 문제점을 해소하고, 합리적인 자원량 평가를 통해 개발 이익을 극대화하는 기반자료로 활용하고자 한다.
- 이러한 극지 연구결과를 종합하여, 매년 남극조약협약당사국회의(ATCM)에 환경관련 자료 제공과 국제남극과학위원회(SCAR)에 우리나라 연구실적으로 제시되며 2003년 목표로 추진중인 국제북극과학위원회(IASC)의 가입 근거로 활용한다.

S U M M A R Y

I. Title

Research on the Arctic atmospheric environments and mineral resources

II. Objective and Significance

- A proper assessment of environmental contamination by various trace metals from a full understanding of the past atmospheric cycles recorded in frozen archives of ice sheet

- The principal dynamic features of the lower thermosphere and upper mesosphere regions are the tides and gravity waves. Because of their role of providing momentum and energy to the upper atmosphere is so important, it is necessary to understand the characteristic of atmospheric waves and the sources of the excitation. For the continuous monitoring of the upper atmosphere, automation of instrument is required so as to perform continuous research work in remote, harsh environment such as in polar region.

- There are more than 20 ultramafic-alkaline-carbonatite complexes in Kola Peninsula, Russian Arctic, which contain high-grade rare metal deposits (pyrochlore, baddeleyite, zirconolite, perovskite et al.). Because of the economic importance of high-grade rare metals for high technology in 21 century as well as scientific interest, it is necessary to systematically investigate the origin and potential of resources of rare minerals in polar region. The advanced geochemical laboratories are required to perform the geochemical investigations for understanding the occurrence and origin of rare metals and associated carbonatite-phoscorite.

III. Contents and Scope

- Investigation of changing occurrences in trace metal concentrations in snow and ice deposits recovered in high- and low latitude
- Automatic control of upper atmospheric research instrument
 - : automation of FT-IR system for remote, unmanned operation
 - : remote-control via network
- Installation and operation of the instrumental systems
 - : SATI operation at Resolute, Canada
 - : FT-IR operation at Esrange, Sweden and Dasan, Norway
(in collaboration with British Antarctic Survey operating identical instruments at Rothera and Halley stations in Antarctica)
- Observation and analysis of airglow and atmospheric waves
- Investigation of occurrence and mineral paragenesis for rare metals in carbonatite and phoscorite
- Determination of geochemical properties for understanding of the origin of rare metals
- Installation and operation of the geochemical instruments with high accuracy and precision

IV. Results

- The reconstruction of the occurrence of trace metals from various ice cores indicates that mankind has become a key factor in changes of these cycles. Reliable time series of variations in trace metals in Antarctic ice provide data on past natural changes in the occurrence of these metals in Antarctica during the past climatic cycles.
- For the continuous monitoring of upper atmospheric environment, we have configured a FT-IR system fully automatic, unmanned control system. We have developed a program which calculates the solar depression angle, hence generating the observing

schedule for each night. The remote access via Internet is performed once or twice per week to check the proper operation of the instrument as well as to down-load the observed data.

- The lower thermospheric and upper mesospheric temperatures were obtained using a SATI instrument and FT-IR systems at Esrange, Sweden and Dasan station, Norway. From measurements taken during two nights in November, 2001 at Resolute, we have observed a dominant and coherent 4-hr oscillation in both the O₂ and OH airglow brightness and rotational temperatures. Because the amplitudes of the Hough modes for migrating tides vanish at the poles, the observed 4-hr oscillations at Resolute could be explained by zonally symmetric tides.

- The new geochemical laboratories and equipments (including clean preparation room, ICP-MS) are installed for the study of rare metals and associated carbonatites. For the precise determination of rare earth element concentrations in various rare meals and carbonatites, new techniques for sample preparations (close vessel acid digestion and alkali fusion methods) were developed.

- The mica compositions from the Sokli phoscorite-carbonatite complex have been determined for understanding magmatic process related to the evolution of the complex. Also Sr-Nd-Pb isotope compositions of the Kovdor ultramafic-alkaline-carbonatite complex were determined in order to clarify the mantle source compositions.

V. Applications

- The investigation of the occurrence of trace metals in well-dated snow and ice gives us an alternative way to assess changing geochemical cycles of these metals due to human activities.

- The schedule program to be used for this automation calculates the solar depression angle. The system is proven to be very effective for the long term monitoring of the upper atmosphere. The IR spectrum analysis will be applied to environmental pollution detection or astronomical research.

- The developed sample preparation methods for rare metals and carbonatites is very useful for the other types of various rocks that contain large amounts of rare earth elements. The installed ICP-MS is now widely used in geochemical research as well as marine chemistry, biochemistry and environmental science.
- The skill to identify rare minerals in the field as well as under microscope, and the technique for interpretation of mineral chemistry from this research are directly applicable to the Korean mineralogists who are studying rare metal deposits.

C O N T E N T S

Abstract	3
Summary (Korean)	5
Summary (English)	11
Contents (English)	15
Contents (Korean)	19
List of Figures	23
List of Tables	25
Chapter 1. Introduction	27
Section 1. Objective	29
Section 2. Necessity	31
1. Technical aspect	31
2. Economic aspect	32
3. Social aspect	35
Section 3. Scope and Methods	36
1. Glaciology	36
2. Upper atmospheric science	36
3. Mineral Resources	37
Section 4. Research strategy	38
1. Strategy	38
2. System	39
Chapter 2. State of Research	41
Section 1. Trend of technology	43
1. Developed country	43
2. Korea	44
Section 2. Current weakness	45
Section 3. Prospection	46
Chapter 3. Results of this study	49
Section 1. Glaciology	51
1. Global circulation of trace elements	51
2. Geochemistry for searching the source of aerosols in Arctic	61
Section 2. Upper atmospheric science	64
1. Introduction	64

2. Instruments	66
3. Automatization	72
4. Results and discussion	87
Section 3. Mineral Resources	92
1. Sr-Nd-Pb isotope compositions for Kovdor complex	92
2. Mica compositions of Sokli complex, Arctic	101
3. Determination of REEs using an ICP-MS	111
Chapter 4. Achievement and contribution	123
Section 1. Objective and scope	125
1. Final objective	125
2. Objective and scope for each step and research year	126
Section 2. Achievement	128
Section 3. Outcome	128
1. Research paper	129
2. Related paper	131
3. Proceedings	136
4. Award	142
5. Public contribution	142
Section 4. Technical contribution	143
1. Glaciology	143
2. Upper atmospheric science	143
3. Mineral Resources	144
Chapter 5. Application plan of results	145
Section 1. Examples of successful results	147
1. Glaciology	147
2. Upper atmospheric science	147
3. Mineral Resources	147
4. Other results	147
Section 2. Application plan	148
1. Glaciology	148
2. Upper atmospheric science	148
3. Mineral Resources	148
Chapter 6. Recent information of Science and Technology	149
Section 1. Glaciology	151

Section 2. Upper atmospheric science	152
Section 3. Mineral Resources	162
Chapter 7. References	171
Appendices	183
[Part 1] Document of application plan of results	187
[part 2] Summary of technology I	199
Summary of technology II	203

여 백

목 차

보고서초록	3
요약문(국문)	5
요약문(영문)	11
목차(영문)	15
목차(국문)	19
그림목차	23
표목차	25
제 1 장 연구개발과제의 개요	27
제 1 절 연구개발의 목적	29
제 2 절 연구의 필요성	31
1. 기술적 측면	31
2. 경제·산업적 측면	32
3. 사회·문화적 측면	35
제 3 절 연구 범위 및 개발 방법	36
1. 빙하 연구	36
2. 고층대기 연구	36
3. 자원 연구	37
제 4 절 연구개발 추진전략 및 체계	38
1. 연구개발 추진전략	38
2. 연구개발 추진체계	39
제 2 장 국내외 기술개발 현황	41
제 1 절 국내외 기술동향 및 수준	43
1. 선진국의 동향	43
2. 국내 연구현황	44
제 2 절 현 기술상태의 취약성	45
제 3 절 앞으로의 전망	46
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	49
제 1 절 빙하 분야	51
1. 미량원소들의 전지구적 지화학적 순환 규명	51
2. 북극권에서 순환되는 광물먼지 에어로졸의 기원 변화에 대한 지화학적 연구	61
제 2 절 고층대기 분야	64
1. 서 론	64

2. 관측기기	66
3. 자동화 설정	72
4. 결과 및 토의	87
제 3 절 자원 분야	92
1. 북극권 콜라반도 코브도 화성암 복합체의 Sr-Nd-Pb 동위원소 조성	92
2. 북극권 콜라반도 속리복합체의 카보나타이트와 포스코라이트에서 산출되는 운모류의 광물 조성	101
3. ICP-MS를 이용한 알칼리암의 희토류원소 정량분석	111
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	123
제 1 절 연구목표 및 연구내용	125
1. 최종목표	125
2. 단계별/연차별 연구목표	126
제 2 절 연구개발목표의 달성도	128
제 3 절 연구개발성과 현황	128
1. 연구결과논문	129
2. 관련 연구논문	131
3. 학술발표	136
4. NRL 해당기술 관련 수상실적	142
5. 공공기능수행실적	142
제 4 절 관련분야의 기술발전예의 기여도	143
1. 빙하분야	143
2. 고층대기분야	143
3. 자원분야	144
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	145
제 1 절 연구개발결과의 대표적 성공사례	147
1. 빙하분야	147
2. 고층대기분야	147
3. 자원분야	147
4. 기타 계획하지 않은 연구성과	147
제 2 절 활용계획	148
1. 빙하분야	148
2. 고층대기분야	148
3. 자원분야	148
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	149
제 1 절 빙하 분야	151

제 2 절	고층대기 분야	152
제 3 절	자원 분야	162
제 7 장	참 고 문 헌	171
특정연구개발사업 연구결과 활용계획서		183
[첨부1]	연구결과 활용계획서	187
[첨부2]	기술 요약서 I	199
	기술 요약서 II	203

여 백

그림 목 차

그림 1-1. 그린랜드 빙하에 기록된 산업혁명 이후 납 농도 변화	32
그림 1-2. 오로라에 의한 인공위성 궤도변화 모식도 I	33
그림 1-3. 오로라에 의한 인공위성 궤도변화 모식도 II	33
그림 1-4. 러시아 콜라반도 카보나타이트 복합체의 희유금속 광산	33
그림 1-5. 북극권 항로 개요도	34
그림 1-6. 인공위성을 이용한 고층대기(~60 km) 온도 관측자료	35
그림 1-7. 청정냉동실험실에서의 빙하시료 전처리 과정	36
그림 1-8. 남극세종기지에서 운영중인 고층대기 원격탐사용 적외선분광계	36
그림 1-9. 적외선분광계를 이용 원격탐사된 고층대기(90km) 온도	36
그림 1-10. 주사전자현미경	37
그림 1-11. X-선 회절분석기	37
그림 1-12. X-선 형광분석기	37
그림 1-13. 유도결합플라즈마질량분석기	37
그림 1-14. 북극권 연구개발 추진체계	39
그림 3-1. 대표적 분석 시료에서 나타나는 표층에서 중심부까지의 농도 변화	52
그림 3-2. 남극 보스톡빙하의 중수소 동위원소 변화와 납 농도 분포	54
그림 3-3. 남극 보스톡 빙하의 납 농도와 중수소 동위원소비의 관계	55
그림 3-4. 남극 보스톡빙하의 연대별 구리, 아연, 카드뮴의 농도 분포	56
그림 3-5. δD 변화에 따른 구리, 아연, 카드뮴의 농도와 플럭스변화	57
그림 3-6. 사하마 빙하에서 Enrichment factor 변화	59
그림 3-7. 사하마 빙하에서의 납안정동위원소 변화	60
그림 3-8. 그린랜드 빙하에서 분석한 Sr 농도와 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비, 그리고 $\delta^{18}\text{O}$ 의 변화	62
그림 3-9. 시료에서 분석한 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비와 $\delta^{18}\text{O}$ 의 관계	63
그림 3-10. 적외선분광계가 설치된 스웨덴북극 에스레인지기지 관측소	68
그림 3-11. 다산기지 옥상의 고층대기관측소	69
그림 3-12. 대기광분광계 모습	70
그림 3-13. SAIT로부터 관측되는 산소 및 수산기방출선의 시야각도 그림	70
그림 3-14. 대기광분광계가 설치된 캐나다북극 레조룻 관측소	71
그림 3-15. 적외선분광계 시스템과 컴퓨터로의 자료전송 구성도 (변경전)	72
그림 3-16. 레조룻의 산소분자 및 수산기대기광으로부터 관측된 온도	89
그림 3-17. 2001년 11월 23일 관측결과	90
그림 3-18. 북극권 콜라반도 데본기 알칼리암-카보나타이트복합체 분포도	92
그림 3-19. 코브도암체의 지질도	93
그림 3-20. 코브도암체의 Sr, Nd 동위원소 조성	97
그림 3-21. 코브도암체의 $\epsilon\text{Nd}(t)$ - $\epsilon\text{Sr}(t)$ 대비도	98

그림 3-22. 코브도암체의 Sr-Nd-Pb 동위원소 조성 대비도	99
그림 3-23. 속리암체의 지질도와 단면도	102
그림 3-24. 속리암체 운모류의 Mg-Al-Fe 조성변화	104
그림 3-25. 속리암체 운모류의 Al-Si-Fe 조성변화	104
그림 3-26. 속리암체 운모류의 Fe-Al 조성변화	105
그림 3-27. 속리암체 운모류의 (a) Na-K와 (b) Ba-Al 조성변화	106
그림 3-28. 속리암체 운모류의 F/(F+OH) 농도변화	107
그림 3-29. 분석시료의 운석에 표준화한 값	117
그림 3-30. Na ₂ O ₃ 용융법과 산용해법과의 분석결과 차이	118
그림 3-31. 외국기관과의 분석결과 비교	120
그림 6-1. 에스레인지기지의 로켓발사장과 거대풍선비양소, 지상광학관측소	153
그림 6-2. 스웨덴 Kiruna에 위치한 우주물리연구소(IRF)의 모습	155
그림 6-3. Cress에서 수행하는 VLBI용 전파망원경	159
그림 6-4. WINDII로 관측된 고층대기 남북방향 방향의 계절별 구조	160
그림 6-5. 우주환경의 대표적인 현상인 오로라의 모습	161
그림 6-6. 2001년 9월 북극권 핀란드 Sillinjarvi 카보나타이트암체 지질조사	162
그림 6-7. 세계 유일의 카보나타이트 활화산인 Oldoinyo Lengai Volcano	164
그림 6-8. 북극권 코라반도 코브도암체에서 산출되는 포스코라이트	165
그림 6-9. EPMA (Cameca SX50)	166
그림 6-10. SEM (Jeol 5900LV)	167
그림 6-11. LA-MC-ICPMS (Micromass IsoProbe)	167
그림 6-12. ICP-AES (Varian VISTA PRO)	168
그림 6-13. TEM (Hitachi H-7100)	168
그림 6-14. Field emission SEM (Philips XL-30)	169

표 목 차

표 3-1. 남극 보스톡 빙하에서 분석된 원소들의 농도	53
표 3-2. 볼리비아 사하마 빙하시료의 분석원소들의 농도	58
표 3-3. 그린랜드 빙하의 시료 연대, Sr 농도, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 및 $\delta^{18}\text{O}$ 의 변화	61
표 3-4. 적외선분광계(FT-IR) 시스템의 사양	68
표 3-5. 대기광분광계의 기기 파라미터	71
표 3-6. 2001년 11월 레조룻에서 관측된 4시간주기파동의 진폭과 위상	88
표 3-7. 북극권 콜라반도 코브도암체의 Sr 동위원소 조성	95
표 3-8. 북극권 콜라반도 코브도암체의 Nd 동위원소 조성	95
표 3-9. 북극권 콜라반도 코브도암체의 Pb 동위원소 조성	96
표 3-10. 속리암체 운모류의 화학조성	108
표 3-11. ICP-MS의 분석조건	112
표 3-12. 희토류원소의 검출한계	114
표 3-13. 희토류원소의 간섭상 및 보정식	116
표 3-14. 산용해법과 용융법을 이용한 분석결과 비교	119

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

- 제 1 절 연구개발의 목적
- 제 2 절 연구의 필요성
- 제 3 절 연구 범위 및 개발 방법
- 제 4 절 연구개발 추진전략 및 체계

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

- 남극, 북극점을 포함하는 극지방은 지구상의 유일한 비오염 지역으로서 전지구적 환경변화에 가장 민감하게 반응할 뿐만 아니라, 지구환경 자체에도 큰 영향을 미치고 있다. 전 지구적 환경변화 예측은 21세기 과학기술의 최대 관심사이며, 이를 연구하기 위해서는 지구 기후에 가장 커다란 영향을 미치고 있는 극지방에 대한 이해가 필수적이다.
- 남극지역에는 막대한 양의 대륙붕 석유자원과 석탄, 구리, 철, 우라늄 등 육상광물자원이 분포하고 있으며 21세기 중반부터 본격적인 개발이 가능할 것으로 기대되기 때문에, 남극광물 자원 분포에 대한 지속적인 자료확보가 매우 중요하다. 북부 시베리아를 포함한 북극권은 석유, 광물자원 뿐만 아니라 북극해 해운항로, 항공로의 개발등 경제적 잠재성이 크기 때문에 특히 우리나라와 같은 자원의 빈국은 장래 연료자원의 주요한 공급원인 북극권에 대한 적극적인 진출이 필요하다.
- 따라서 극지 환경, 자원 관련 연구 분야중 향후 5년내에 국제적인 경쟁력이 있을 것으로 판단되는 빙하, 고층대기환경 및 지질자원에 대한 집중적인 기술개발을 유도한다.
- 본 기술의 궁극적인 목표는 남극 및 북극 지역에서 각각 얻어진 빙하, 고층대기환경, 지질자원 자료를 상호 비교, 종합함으로써 지구환경변화 예측 및 추후 극지 자원개발에 참여키 위한 국제적 위상확립과 진출의 교두보를 확보하려는데 있다.
- 북극권 빙하에서 수 백년 전 이후 인류 발전과 더불어 진행된 인위적인 중금속 대기오염 기록을 복원하고 남극 빙하에서 자연적 순환과정을 복원하여 독성 중금속 물질의 전지구적 대기순환 과정을 시간적·공간적으로 규명함으로써 최종적으로 대기오염을 유발하는 인위적 요인의 중요성을 평가할 수 있는 환경척도를 제시한다.
- 극지 고층대기의 환경변화를 관측, 이해함으로써 위성운영과 전파통신에 미치는 영향을 분석하고, 나아가 전지구적 환경변화경향과의 상관관계를 유추한다.
- 극지 자원 탐사 기술 개발 및 부존 자원량 평가를 위한 기반 지질 자료를 축적하기 위

해 북극권 러시아 콜라반도의 희유금속광물을 함유한 알칼리화성암 복합체에 대한 야외지질조사를 실시하고, 희유금속광물 분석을 위한 첨단 지구화학 기술을 개발한다.

제 2 절 연구의 필요성

극지방은 환경변화에 매우 민감하여 지구환경에 대한 조기경보장치로 인식되고 있다. 또한 남극뿐 아니라 최근 북극의 경제적 활용과 자원에 대한 관심이 높아지면서 개발의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 극지연구를 통하여 지구환경변화를 예측함으로써 이에 대비한 국가 중장기 정책의 수립과 동시에 극지자원의 공동개발과 진출의 교두보를 확보하는 것이 중요하다.

1. 기술적 측면

- 극지연구는 극지에서만 연구 가능하거나 혹은 타 지역 연구에 비해 효율성이 큰 분야라는 점에서 특성이 있다. 따라서 극지연구를 위해서는 특수한 환경에 맞는 독특한 실험 방법과 특수한 분석기술의 개발이 요구된다.
- 극지 빙하연구를 위해서는 무기화합물 정밀 분석기술의 개발이 요구되는데, 빙하시료에 함유된 중금속 농도는 극미량인 ppt (10^{-12} g/g) 수준으로서 청정실험 환경을 기반으로 오염제거 기술과 최첨단의 분석 기술을 필요로 하기 때문에 세계적으로 극히 제한된 연구실에서만 분석기술을 보유하고 있다.
- 극지 고층대기연구에 사용되는 첨단 광학기기를 이용한 원격탐사 기법은 최첨단 기술의 결집체로써, 연구에 사용되는 기기, 운영, 자료의 분석방법 등은 매우 핵심적인 기술이다.
- 북극지역에는 고품위 희유금속광상인 카보나타이트 복합체가 널리 분포하고 있으나 우리나라는 이에 대한 연구가 전무한 실정이다. 따라서 북극지역 카보나타이트 복합체 연구를 위해서는 우선 이를 구성하는 암석 및 고농도 희유금속광물의 정밀분석기술개발이 요구된다.

2. 경제·산업적 측면

- 세계기후협약등 지구환경관련 국제규제에 대비하여 우리나라 중장기 환경정책수립을 위한 기반 자료의 필요성이 제기되고 있다. 양극 지역의 극지환경연구를 통해 지구의 자연적인 환경변화와 인위적인 영향등을 비교 연구할 수 있다. 특히 지구상의 대부분 인구가 거주하고 산업활동의 70% 이상을 차지하는 북반구는 인간활동에 의한 대기환경의 변질을 심하게 받고 있다. 따라서 선진국들은 빙하 연구를 통해 시대별 대기환경 변화 과정을 복원하여 인위적 영향을 평가하기 위한 척도를 개발하고 있다.

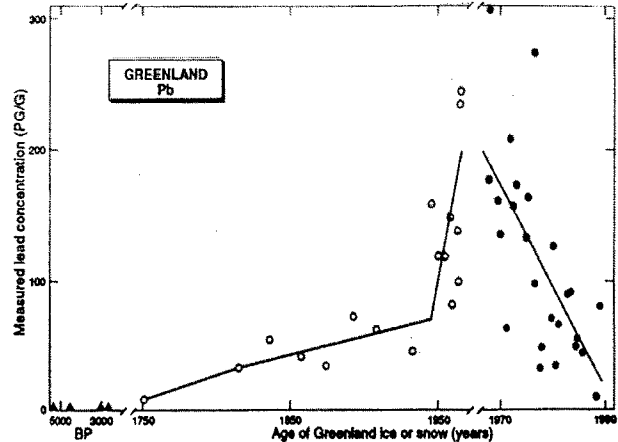


그림 1-1. 그린랜드 빙하에 기록된 산업혁명 이후 납 농도 변화. 유연휘발유 사용(1950-1960년대)과 무연휘발유 도입(1970년대 이후)으로 인한 급격한 납 농도 증감 양상을 잘 보여주고 있음

- 극지 고층대기환경연구는 우주과학 관련 첨단 기기를 이용하여 오존층 변동, 고층대기 온도변화등을 원격탐사하게 될 것이다. 고층대기원격탐사 및 분석기술은 최첨단 기기 운영기술을 습득한다는 측면 외에도 천문학, 환경 오염감시, 로켓엔진 감시용, 로켓원격 탐지 등에 응용될 수 있다는 효과를 기대할 수 있다. 특히 극지에서 종종 발생하는 오로라는 고층대기의 온도와 밀도를 급격히 증가시켜 이곳을 비행하는 우주비행체(주로 인공위성)의 수명을 단축시키게 된다. 따라서 고층대기(우주환경)의 지속적인 관측, 연구분석이 이루어지면, 위성통신, 전파통신 등 관련 우주산업에 기반 자료를 제공하게 될 것이다.

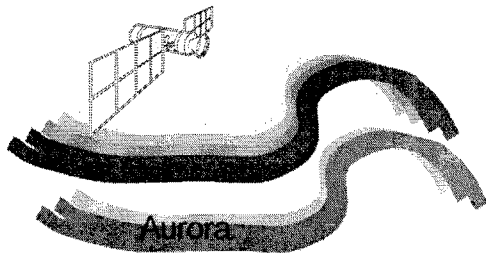


그림 1-2. 오로라에 의한 인공위성 궤도변화 모식도I. 오로라와 같은 현상이 발생하면 고층대기가 가열되어 밀도가 증가하며 증가된 대기입자로 인해 인공위성은 항해에 많은 저항을 받게 된다. 이로 인해 저궤도 극궤도 인공위성의 경우 궤도변이가 발생하기도 한다.

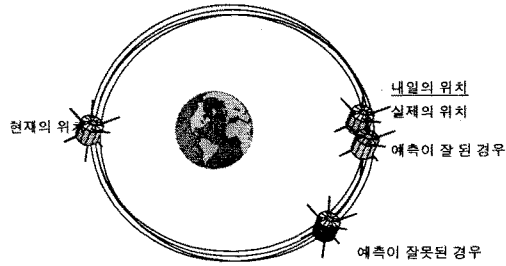


그림 1-3. 오로라에 의한 인공위성 궤도변화 모식도II. 인공위성이 급격한 궤도변이를 일으키면 추정위치의 예측에 오차가 발생하며 정도가 심한 경우 추적에 실패하여 인공위성을 잃을 수 있다.

극지 자원연구를 통해 21세기 극지자원 개발시대에 대비한 진출의 교두보를 확보할 필요성이 있다. 남극의 광물자원 개발은 향후 47년간 금지되어 있으므로, 현재는 과학연구를 통한 기반 연구만이 수행 가능하다.

북극권 지역 중에서 러시아의 콜라반도, 우랄산맥 북부 및 그린란드 지역에는 많은 알칼리암 복합체가 발달하고 이들은 거의 예외없이 고품위의 희유금속광상을 동반하고 있다. 이 알칼리암 복합체는 흔히 '카보나타이트 복합체'로도 불리는데, 희유금속광물의 방대한 자원량으로 인해 북극권 국가들을 중심으로 최근 활발한 연구와 개발이 추진되고 있다. 21세기는 고부가가치 희유금속광물(Nb, Ba, Sr, Ta, Th, U, Zr, REE등)의 수요량이 급격히 증가하고 세계 각국의 자원 확보 경쟁도 치열하게 진행될 것으로 예상되기 때문에 우리나라도 북극권에 분포하는 카보나타이트 복합체와 관련광화작용에 대한 연구를 서둘러 실시해야 할 시점이다.

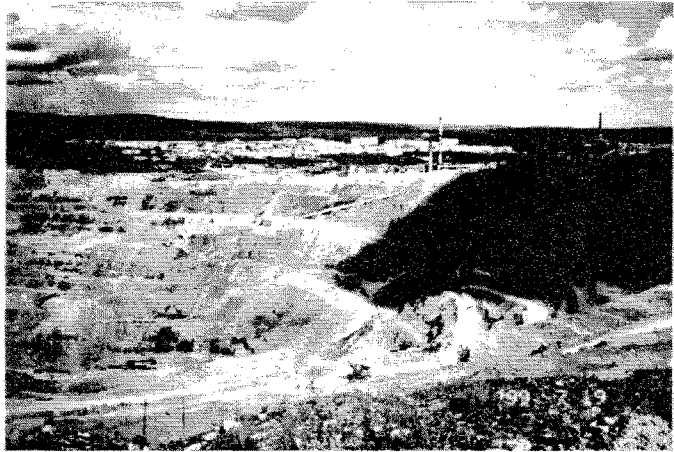


그림 1-4. 러시아 북극권 콜라반도 카보나타이트 복합체의 희유금속광물 광산 전경

전세계 공업 생산의 80%는 북위 30°이북 지역에서 이루어지고 있으며, 모든 중요한 공업지역은 북극에서 6,000 km 이내에 위치하고 있다. 따라서 북극권 항로를 통한

물자 수송은 경제성이 있는 것으로 평가된다. 북극권 항로의 개발은 북극해 연안 시베리아 개발, 사회 간접시설의 건설, 쇄빙선의 수요증대 등 북극연구에 따른 간접적인 파급효과가 클 것으로 평가된다.

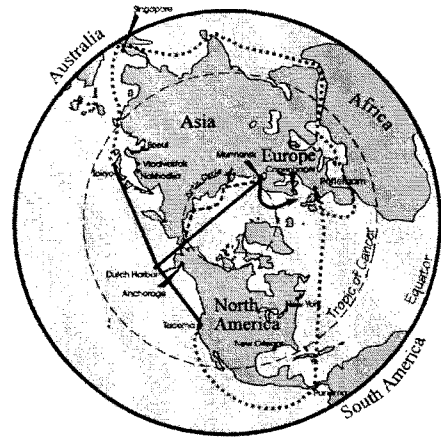


그림 1-5. 북극권 항로 개요도. 북극권 항로를 이용하는 경우 극동아시아에서 유럽으로 가는 항로의 40%가 단축된다.

3. 사회·문화적 측면

- 극지개발은 21세기중 가장 중요한 산업활동이 될 전망이다. 따라서 우리 나라는 기존의 남극 진출과 더불어 북극으로의 적극적인 진출이 요구되는 시점이다. 극지는 차세대에 남겨주는 인류의 유산으로서 자라나는 청소년에 꿈과 도전, 모험과 인내의 실험장이 될 것이다.

- 극지방은 지구환경변화가 특히 민감하게 나타나는 지역으로서 오존층 파괴 현상 등 향후 변화에 대한 조기경보 장치로 인식되고 있다. 특히 고층대기는 희박한 밀도로 인해 지표상의 변화가 증폭되어 나타나며 그림에서처럼 지상의 온난화와는 반대로 냉각화 현상이 분명하게 진행하고 있다. 이러한 자료는 현재 환경변화추이와 미래의 기후변화를 예측 가능케 함으로써 이에 대한 대비와 사회적 충격을 줄일 수 있게 한다.

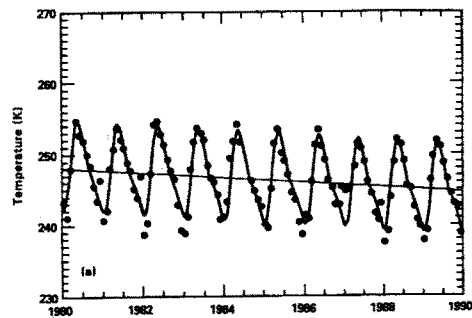


그림 6 인공위성을 이용한 고층대기 (~60 km) 온도 관측자료 (Aikin et al., 1991)

- 극지연구는 21세기 첨단 연구분야로 우리 나라의 과학 기술 수준을 높이는데 크게 기여할 수 있을 것이다.

제 3 절 연구 범위 및 개발방법

극지연구는 우선 현장 접근을 통한 관측과 자료의 획득이 선행되어야 하며, 획득된 자료를 특성에 맞는 특수 실험시설을 활용해 분석한다.

1. 빙하 연구

극지 빙하시료 획득을 위해 특히 중국과 국제공동연구를 추진하며, 중금속 분석을 위해서는 기설치된 청정냉동실험실, 냉동시료 보관실, 정밀분석장비(AA)를 이용 분석한다. 또한 산소동위원소 연구를 위해서는 동 실험실에서 전처리된 시료를 기초과학지원연구원에 의뢰 분석한다.

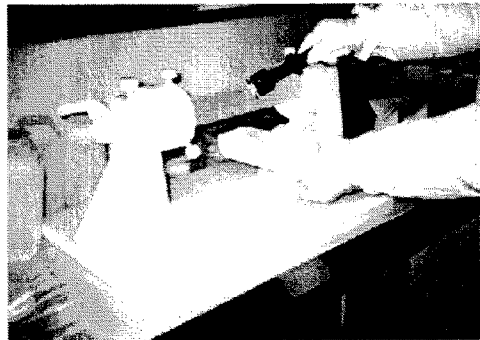


그림 1-7. 청정냉동실험실에서의 빙하시료 전처리 과정

2. 고층대기 연구

급격한 환경변화(온도변화)가 감지되는 고층대기의 정확한 관측을 위해 적외선분광계(FT-IR)를 이용한 원격탐사를 실시한다. 적외선분광계는 이미 남극세종기지에서 2년여간 운영한 경험이 있으며 이러한 성공적인 극한지에서의 운영경험을 토대로 북극 다산기지에 설치, 남극의 자료와 비교연구를 수행한다.

현재 동종의 기기를 운영하는 남극의 영국 Halley기지와 대칭점(conjugate point)이 되는 스웨덴의 키루나와 장차 노르웨이 북단의 스팔바드섬에도 설치할 계획을 가지고 있으며 인터넷을 통한 원격운영을 위해 현재 기기의 자동화 연구를 수행중에 있다. 또한, 캐나다의 지구·우주관측 연구소와의 공동연구로 다양한 고층대기관측자료(인공위

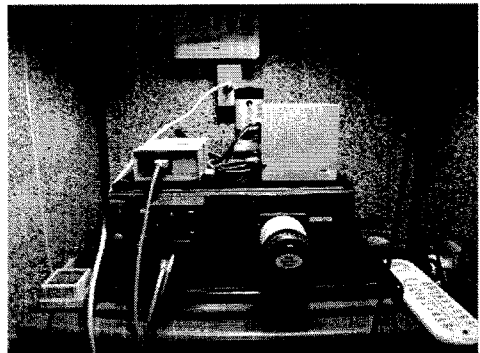


그림 1-8. 남극세종기지에서 운영중인 고층대기 원격탐사용 적외선분광계

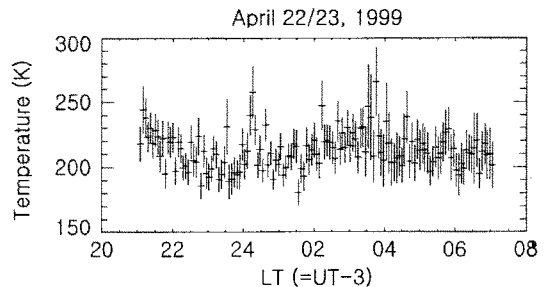


그림 1-9. 남극세종기지에서 적외선분광계를 이용, 원격탐사된 고층대기 (90km) 온도 (Won et al., 1999b)

성자료 포함)를 확보함과 동시에 캐나다 레슬루트 만 기지를 활용하여 장비를 설치, 운영한다. 또한, 미국 국립대기과학연구소(NCAR)의 고층대기이론모델을 도입, 운영하여 관측결과와 비교분석을 수행하며 고층대기환경의 변화요인과 남·북극의 차이, 그리고 지구환경변화영향에 대한 분석을 실시한다.

3. 자원 연구

남극 광물자원 조사를 위해 현재까지 축적된 기술을 북극권 지역 희유금속광물 조사에 활용하고, 북극권 조사를 위해서는 프랑스 및 러시아 등과 공동연구 협력 체계를 수립한다. 현재 보유 중인 X-선 형광분석기와 유도결합 플라즈마 질량분석기를 이용한 첨단 지구화학 분석실을 설치 운영하고, 특히 희유금속광물 분석능력을 첨단화한다.

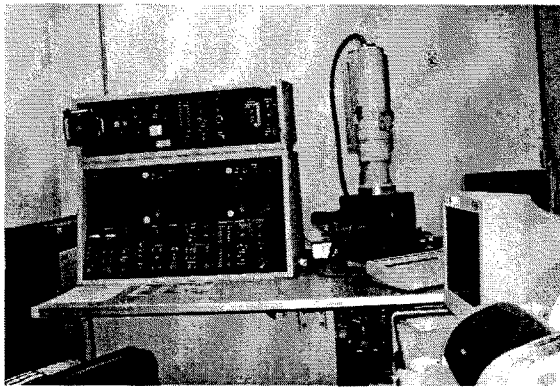


그림 1-10. 주사전자현미경(SEM, Philips SEM515)

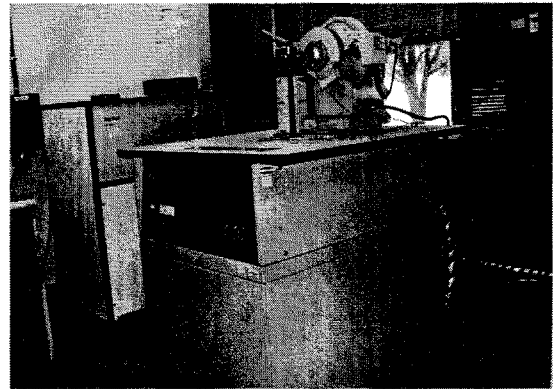


그림 1-11. X-선 회절분석기(XRD, Philips PW1830)



그림 1-12. X-선 형광분석기(XRF, Philips PW1480)

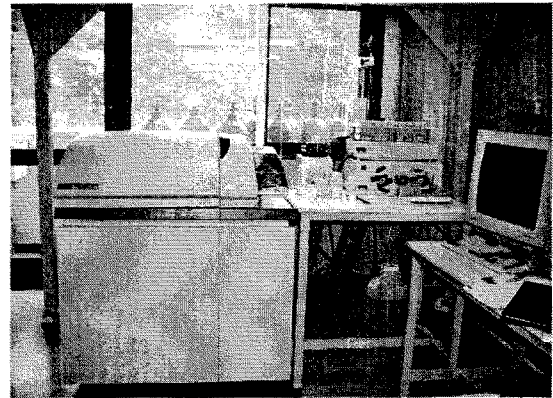


그림 1-13. 유도결합플라즈마질량분석기(ICP-MS, Perkin Elmer Elan 6100)

제 4 절 연구개발 추진전략 및 체계

1. 연구개발 추진전략

- 러시아 극지연구소 및 중국 빙하연구소와의 극지연구협력 약정서를 기초로 북극권과 티벳고원 빙하를 시추하여 시료를 공동 활용하며, 프랑스 빙하연구소와 협의된 기존의 공동연구를 통해 시료를 확보하여 설치된 첨단 기반시설을 이용하여 시료를 분석한다.
- 북극권 고층대기 연구를 위해 북유럽의 스웨덴 키루나(Kiruna), 노르웨이 스팔바드섬 니알슨 다산기지와 캐나다 북극지역에 고층대기 관측시설을 설치한다. 이를 위해 현재 NSF(미국과학재단)의 지원하에 북극기지(캐나다 Resolute Bay)를 운영하는 캐나다 요크대학의 지구우주연구소와 공동연구를 통해 관측장비의 원격운영시스템을 개발한다.
- 북극권 카보나이트 복합체에 함유된 희유금속광물 조사는 프랑스(생테띠엔 광산대학교) 및 러시아(생페테르부르크 광물학과, 콜라반도 지질연구소)와 공동으로 야외지질조사를 실시하고, 한국(XRF, ICP-MS), 프랑스(ICP-AES), 러시아(Wet and Noble Gas Analysis)와의 국제공동 분석시스템을 가동하여 분석자료를 획득한다.

2. 연구개발 추진체계

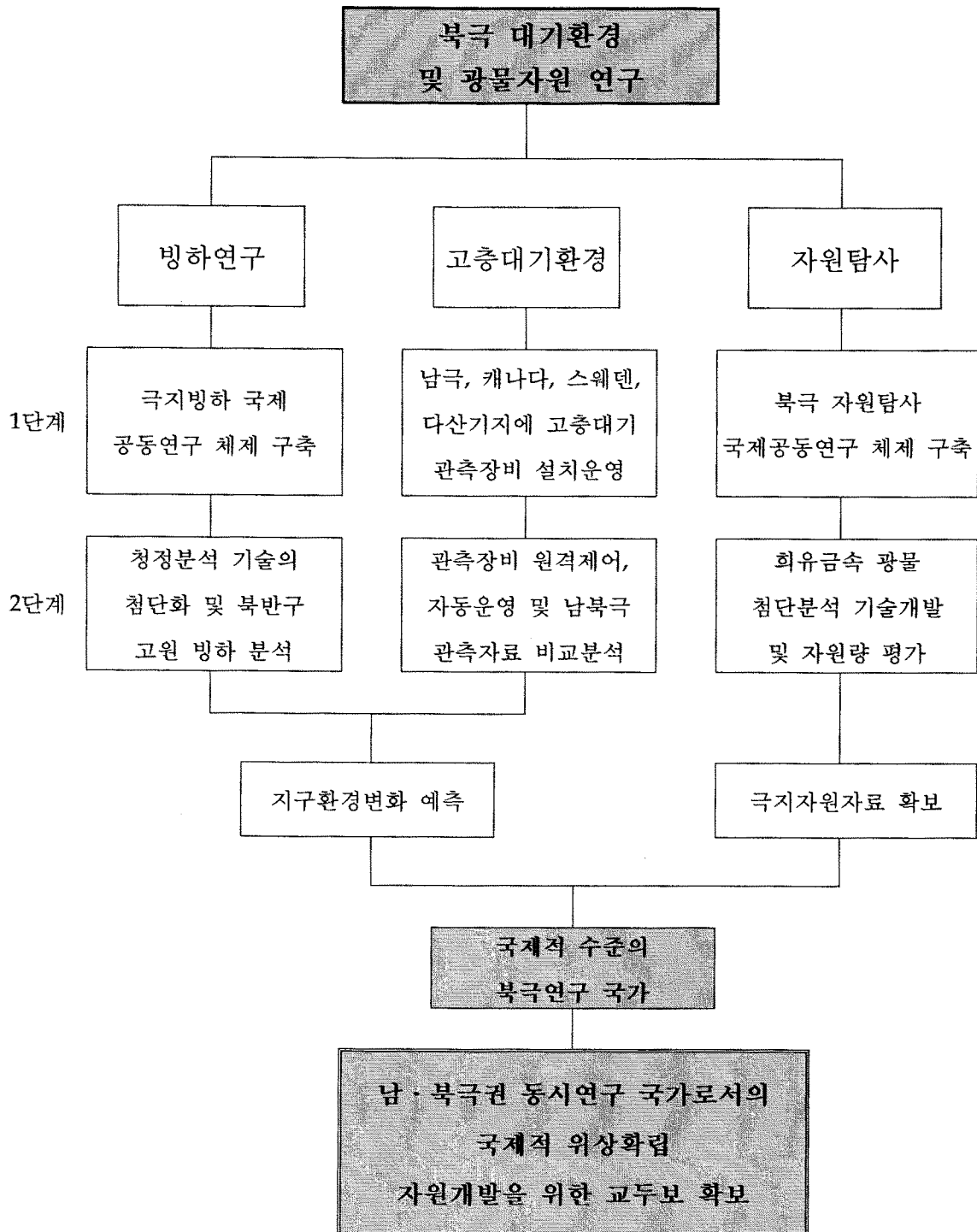


그림 1-14. 북극권 연구개발 추진체계

여 백

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 기술동향 및 수준

제 2 절 현 기술상태의 취약성

제 3 절 앞으로의 전망

여 백

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 기술동향 및 수준

1. 선진국의 동향

- 남극권은 1958년 남극조약 체결 이후 과학연구를 위한 무제한적인 접근이 허용된 이래 많은 연구가 수행되어 왔으며 현재 17개 국가가 남극대륙에 상주기지를 설치 운영하고 있다. 현재의 남극체계는 자원개발보다 환경보존에 초점이 맞추어져 운영되고 있으므로 국제적으로도 지구환경 관련 연구가 주를 이루고 있다.
- 북극권은 1980년 말까지 군사적 이유로 개방되지 않았다. 그후 90년대에 들어와 북극의 과학적 중요성과 경제적 잠재력이 알려지면서, 현재 미국, 독일, 일본, 영국등을 중심으로 연구투자가 봇물 터지듯 이루어지고 있다. 현재 북극권에 위치한 8개 나라 (캐나다, 덴마크, 핀란드, 아이스랜드, 노르웨이, 스웨덴, 미국, 러시아)와 북극권 연구를 활발히 수행중인 영국, 프랑스, 독일, 네델란드, 스위스, 이탈리아, 폴란드, 일본, 중국 등 17개국은 국제북극과학위원회(IASC)를 조직하고 다방면에 걸친 활발한 연구를 수행중에 있다.
- 극지 빙하 연구: 최근 북극 그린랜드 빙하 분석을 통해 1950년대 이후 1960년대 말까지 대기중 납의 농도가 자연농도의 200배 이상 증가하였다는 사실이 밝혀졌으며, 이는 유연휘발유의 사용으로 배출되는 납에 의한 대기 오염의 결과라는 점이 제기되었다. 이 연구는 1970년 미국의 'Clean Air Act' 법률을 제정하게 하였으며 이후 무연휘발유를 도입하게되는 결정적 역할을 하게 되었다. 이후 유럽 각국과 미국은 주로 그린랜드 빙하를 연구하여 괄목할 만한 연구 결과를 제시하고 있고, 일본의 극지연구소의 경우는 러시아와 캐나다 북극권에서 매년 빙하를 시추하여 환경변화를 모니터링하는 연구들을 수행하고 있다. 북극권의 빙하와 달리 남극 빙하는 중금속의 전지구적 순환과정을 연구하려는데 이용되고 있으며 기후변화와 화산분출 등과 같은 자연적 요소에 의한 교란작용을 규명할 수 있는 단서를 제공하고 있다.

- **극지 고층대기환경 연구:** 북극권에 위치한 8개 국가들을 중심으로 활발한 북극대기 국제공동연구가 수행되고 있는데, 대표적인 연구과제인 오로라는 우주환경연구와 관련하여 위성운영에 참고해야할 필수사항이 되고 있다. 남극에서의 연구 또한 우주환경연구가 주를 이루고 있으며 고층대기가 전파통신에 미치는 영향과 지구환경변화분석에 연구의 초점이 모아지고 있다. 최근에는 남·북극 비교연구를 통하여 전지구적 환경변화에 미치는 인위적인 요소(인류활동에 의한)와 자연적인 요소(태양에너지 변화)를 보다 분명히 이해하려는 프로그램을 추진하고 있다. 이를 위해 기존 남극기지에 대칭되는 북극(주로 노르웨이 북쪽과 아이슬란드)에 상설기지를 운영, 비교연구를 수행하고 있다. 레이더 및 광학기기, 그리고 기구를 이용한 첨단 기기개발이 연구와 병행되고 있다.
- **북극권 희유금속광물 연구:** 유럽의 영국(자연사박물관), 독일(Lagerstättenlehre 광물연구소), 프랑스(생테띠엔 광상대학교)는 러시아(생페테르부르크대학)와 1990년대 후반부터 국제공동연구(INTAS Project)를 통해 러시아의 콜라반도에 발달하는 희유금속광물의 보고인 카보나타이트 복합체에 대한 종합적인 연구를 실시하고 있으며, 향후 이 연구를 우랄산맥 북부 지역으로 확대해 나갈 예정이다. 러시아는 경제적인 어려움으로 인해 자국의 북극권 지역에 발달하는 카보나타이트 복합체 관련 희유금속광상 개발을 위해 많은 국가들과의 공동 연구를 원하고 있는 실정이다.

2. 국내 연구현황

- 우리나라는 1987년 이래 남극연구를 수행하여 지질, 대기, 생물, 해양등 기초과학 전반에 걸친 연구 경험이 있으나, 북극에서는 접근 자체가 어려운 관계로 연구 실적이 거의 없는 실정이다.
- 국내에서는 그 동안 빙하연구를 수행하기 위한 기반구축에 주력해 왔다. 이로서 현재 냉동실험실과 청정실험실, 그리고 첨단분석 장비를 보유하고 있으며 아직까지는 남극 빙하연구 프로그램 개발에 주력하고 있는 실정이다. 하지만 북반구 빙하연구를 위해 이미 러시아, 중국과 공동연구 프로그램을 개발하기 위한 협의를 진행하고 있다.
- 세종기지를 중심으로 한 남극에서의 고층대기환경연구는 고정밀도의 간섭계를 이

용한 고층대기온도 원격탐사로 유지되어 왔다. 최근에는 미국 미시간대학교 우주 물리연구소와 그린랜드의 북극기지자료를 공동분석한 경험이 있으며 (Won et al., 1999a), 현재 영국의 남극연구소(British Antarctic Survey)와 영국의 남극기지, 그리고 북극기지(Svalbard)를 이용한 남·북극 동시관측에 관한 협의가 진행중에 있다. 이러한 남·북극 비교연구는 우주환경 뿐 아니라 지구환경변화의 이해를 위해서 꼭 필요한 연구분야로 일본과 중국, 미국과 러시아도 추진하고 있는 사항이다.

- 한국해양연구원에서는 지난 10여년간 남극 남셰틀랜드군도에 대한 육상 지질조사를 꾸준히 수행하여왔다. 세종기지가 위치한 킹조지섬에 고품위 동광화대가 발달해 있음을 밝혀내었고, 깁스섬의 크롬광화대, 리빙스턴섬의 다금속광화대에 대한 연구가 진행 중에 있다. 그러나 우리나라는 북극권 금속광물에 대한 연구가 전무한 실정이며, 본 연구를 통해 프랑스, 러시아와 희유금속광물을 함유한 카보나타이트 복합체의 국제공동연구 프로그램을 체결하고 연구에 박차를 가하고 있다.

제 2 절 현 기술상태의 취약성

- 빙하시추는 대형장비와 막대한 수송능력, 기술인력과 많은 비용을 필요로 하는 이유로 일부 선진국에만 know-how를 보유하고 있다. 따라서 빙하시료는 기 채취된 시료를 국제공동연구를 통해 획득하는 것이 현재로서는 최선책이 될 것이다.
- 고층대기 환경연구분야는 국내의 연구인력 부족과 인식의 부족 등으로 연구수행에 어려움이 있으며, 특히 정밀 첨단장비의 개발 및 운영이 가장 시급한 분야임에도 예산부족으로 기기 및 분석기술의 개발이 거의 불가능한 상태이다.
- 남극 광물자원 연구는 지난 10여년간의 연구 성과와 분석 기술의 향상으로 인해 선진국과의 격차가 매우 좁혀졌으며, 향후 5년 후면 첨단 연구 수준을 보유할 것으로 예상된다. 북극권 광물 자원 연구는 시작 단계지만 희유금속광물 분석의 핵심기술인 유도결합 플라즈마질량분석기(ICP-MS : ppb 단위 희토류원소 분석)가 2001년 7월 도입되고 분석시스템이 완비되어 5년 내에 선진국 수준의 연구가 가능할 것으로 예상된다.

제 3 절 앞으로의 전망

- 현재 남극 빙하연구 프로그램이 추진 중에 있고, 러시아, 프랑스, 중국과 다양한 공동연구 프로그램이 추진 중에 있기 때문에 단기간에 북극과 남극 빙하 시료 획득과 동시에 공동연구를 위한 기반 구축이 가능하게 될 것이다.
- 고층대기 관측을 위한 기지설치 및 운영은 북극지역의 경우 일부 지역에서 허용되고 있다 (스웨덴의 Kiruna, 노르웨이 북쪽의 Svalbard섬). 캐나다와도 북극기지를 이용한 공동연구관측이 협의되고 있으며 안정적인 재원이 마련되면 공동연구를 통해 공동관측연구가 가능하며, 기존 세종기지에서의 남극관측을 포함하여 진일보한 고층대기 연구가 가능할 것이다. 이미 일부 선진국들은 고층대기환경의 피해에 대비하여 우주기상프로그램을 일반 기상예측처럼 일반화하고 있는 시점이며, 극지에서의 고층대기연구는 인공위성운영 및 전파통신과 관련하여 실질적인 자료응용과 함께 다가오는 우리나라 우주개발시대를 준비하는데 꼭 필요한 기반기술로 활용될 것이다.
- 극지 자원 탐사 기술은 혹한지에서 체계적인 조사가 수행될 수 있는 야외 조사 기술과 실험실에서의 첨단분석장비 운용 기술 수준에 따라 선진화가 판가름난다. 지난 10여년간 남극권에서 지속적인 야외조사를 수행해 왔기 때문에 북극권에서의 조사 기술을 개발하고 선진화시키는데는 별다른 어려움이 없을 것으로 예상된다. 본 연구실은 현재 X-선 형광분석기(XRF)와 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 통해 많은 첨단 지구화학 분석을 실시하고 있으며, 향후 도입될 예정인 Laser ablation system을 ICP-MS와 함께 가동하면 5년 이내에 최첨단 지구화학 분석기술을 보유하게 될 것이다.
- 연구를 통한 극지 진출은 향후 우리나라 영토권 확장의 의미와 개발 기득권 확보에 근거자료로 활용될 수 있기 때문에 우리 스스로의 독자적인 연구영역을 확보하는 것이 필요하다. 1단계 2년간 확보된 연구역량을 발휘하고, 지속적인 국제공동연구를 통해 기술수준을 향상시켜 독자적인 연구기반을 확충해 나갈 예정이다.
- 고층대기 원격탐사용 연구장비개발 및 분석기술은 아직 기술료와 무관하지만, 단순한 경제적인 면보다는 향후 우리나라 위성운영을 위한 필수적인 기술이라는 점에서 필히 개발되어야 한다.

- 현재 우리나라는 희유금속광물 전량을 수입(2001년 기준 약 3천억원 규모, 5년 후 1조원대에 달할 것으로 예상)에 의존하고 있으나, 국제공동연구 성과를 바탕으로 러시아와의 공동개발을 추진한다면 안정적으로 희유금속광물 자원을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

여 백

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 빙하 분야

제 2 절 고층대기 분야

제 3 절 자원 분야

여 백

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 빙하 분야

1. 미량원소들의 전지구적 지화학적 순환 규명

가. 남·북극 상호 교차연구

전지구적 미량원소들의 지화학적 거동에 미친 인간활동의 영향을 규명하기 위해서는 자연적 거동에 관한 배경 연구와 남반구 및 북반구의 교차연구가 병행하여 수행되어야 한다. 이를 위해 남극빙하와 저위도 볼리비아 산악빙하를 분석하여 미량원소들의 지화학적 순환 과정을 시계열로 복원하였다.

1) 남극빙하를 이용한 미량원소들의 자연적 순환과정 규명

남극에서 순환된 자연적 기원의 미량원소들의 지화학적 순환과정을 복원하기 위하여 남극의 러시아기지인 보스톡 기지에서 시추한 세계 최장의 빙하시료를 분석하였다. 보스톡 기지는 남위 78°28', 동경 106°48'에 위치하며, 러시아-프랑스-미국의 국제공동연구를 통해 3623미터 깊이의 빙하를 시추하였으며, 빙하시료는 과거 42만년 동안 기후변화를 비롯한 지구환경 변화에 관한 정보를 제공하고 있다. 본 연구에서는 한-프랑스 국제공동연구를 통해 20개의 빙하시료를 확보하였으며, 한국해양연구원 극지연구소에서 운영중인 냉동실험실과 청정실험실에서 빙하시료를 전처리한 후 납, 카드뮴, 구리, 아연 성분을 분석하였다. 남극 빙하에 함유된 미량원소들의 농도는 ppt (10^{12} g/g)내지 sub-ppt 수준으로 초극미량으로 존재하기 때문에 극지연구소에서 확보하고 있는 철저한 청정실험기법이 이용되었다. 분석한 시료들의 깊이와 연대, 그리고 미량원소와 주 원소들의 농도는 표 3-1에 표기하였다.

표 3-1에서 보면 분석시료의 깊이는 938미터에서 2751미터에 이르며, 연대는 65,000년 전부터 약 240,000년에 해당한다. 이 기간 동안 두 번의 빙하기와 3번의 간빙기를 포함하고 있는 기후변화 순환을 보이고 있으며, 해양퇴적물에서 나타나는 MIS (marine isotope stage) 2.2에서 7.5를 포함하고 있다. 분석한 시료들의 길이는 35-45 cm이며, 지름은 약 10 cm, 그리고 각 시료들의 연대는 약 30에서 50년에 달하고 있다. 냉동실험실에서 기계적 절삭에 의해 전처리된 빙하시료의 inner core에서 분석한 원소들의 농도가 시료 표면에 있는 오염물질의 영향을 받았는지를 확인하기 위하여 각 시료는 표면에서 inner core

에 이르는 각 층에서의 농도 변화에 대한 검정을 받았다. 그림 3-1은 분석한 시료에서 나타나는 대표적인 농도 변화의 경향을 보여주고 있다. 그림 3-1에서 보면, 분석 원소의 농도는 시료의 중앙부에서 일정한 농도 수준을 유지하고 있다. 이것은 외부의 오염물질이 내부까지 침투하지 않았으며, 따라서 inner core에서 분석한 농도는 얼음이 함유하고 있는 실제적인 농도를 나타낸다는 것을 의미한다. 이러한 검증과정은 분석 자료의 신뢰성을 검증하기 위하여 매우 중요한 단계이며, 본 연구에서 사용된 시료의 상태와 실험과정 및 분석의 정확성을 반증하고 있다. 그동안 남극 빙하시료에서 초극미량의 원소를 분석한 일부 연구가 있었으나, 대부분은 wall-retaining fluid가 없는 dry hole에서 시추한 빙하시료를 이용하였다(Boutron and Patterson, 1986). 하지만 장기간의 대기환경 변화를 복원하기 위해서는 심부 시추 빙하시료를 이용하여야 하며, 이는 결국 보스톡 시추빙하와 같이 wall-retaining fluid를 사용하여 시추한 빙하시료를 분석해야 한다. 지금까지 보스톡 빙하시료를 분석한 유일한 연구 결과는 Boutron et al. (1987, 1990) 등으로 극히 제한적이다. 더구나 이러한 연구결과들은 실험상의 문제점으로 대부분의 데이터들이 'upper limit'로서만 사용되었다. 본 연구에서 획득한 미량원소들 중에서 납의 분석농도는 세계에서 최초로 획득한 신뢰성 있는 데이터들이다.

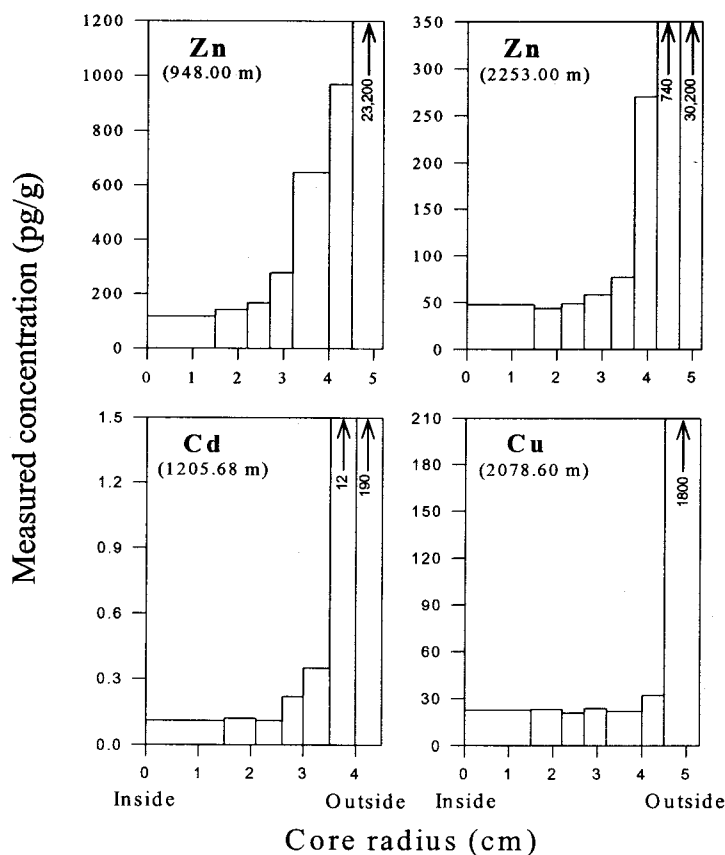


그림 3-1. 대표적 분석 시료에서 나타나는 표층에서 중심부까지의 농도 변화.

표 3-1. 남극 보스톡 빙하에서 분석된 시료의 깊이와 추정연대 및 분석 원소들의 농도.

Depth (m)	Estimated age (years BP)	Pb	Cd	Cu	Zn	Al	Na	SO42-
		(pg/g)				(ng/g)		
938.10	65,080	19.0	0.25	37.2	109	120	111	222
948.00	66,045	21.2	0.36	45.9	117	145	109	240
1050.00	75,066	1.1	0.22	5.0	9.6	11	68	156
1205.68	86,500	1.2	0.11	4.3	9.4	5.1	37	137
1354.00	97,148	1.0	0.18	4.8	10.7	6.6	65	184
1514.45	108,400	5.9	0.29	9.5	52.9	40	66	171
1652.00	118,500	1.2	0.12	2.5	5.3	4.1	16	123
1815.45	127,800	1.8	0.07	6.3	7.7	7.3	15	348
1879.78	131,200	0.45	0.02	1.6	3.6	1.6	19	122
1917.45	133,950	4.5	0.27	8.6	17.6	17	65	209
1999.00	142,500	21.3	0.62	33.3	126	139	105	358
2078.60	151,300	11.6	0.24	22.5	45.7	55	63	147
2199.40	165,150	15.6	0.37	30.7	66.7	77	71	234
2253.00	171,520	7.9	0.30	18.5	47.5	58	111	210
2378.40	187,770	11.2	0.34	19.9	54.6	59	94	224
2504.50	203,100	1.1	0.11	2.8	6.2	4.5	26	116
2534.00	206,630	2.3	0.16	6.0	9.9	6.9	58	198
2616.00	216,400	1.5	0.07	3.0	6.9	5.2	32	119
2682.40	226,250	2.2	0.12	6.1	12.4	8.8	67	162
2751.00	237,280	1.5	0.11	2.0	7.4	5.5	20	88

분석한 미량원소들 중에서 특히 납(Pb)의 지화학적 거동 변화에 대한 연구결과를 먼저 살펴보기로 한다. 그림 3-2에서 나타나는 바와 같이, 분석농도는 따뜻한 시기인 간빙기에 매우 낮은 농도를 보이고 있으며 최저농도는 약 0.5 pg/g이 관측되었다. 상대적으로 덜 추운 시기인 MIS 5.1, 5.5, 7.1, 7.3, 그리고 7.5의 시기에는 낮은 농도를 유지하고 있다. 반면에 추운 시기에는 농도가 증가하였고 빙하기의 정점에 이르는 시기(MIS 2.2와 6.6)에는 약 20 pg/g 수준으로 증가하였다. 전반적으로 기후변화와 밀접한 연관을 가지고 농도의 증감 경향이 뚜렷하게 나타나고 있고 이러한 경향은 그림 3-3의 a에서 잘 나타나고 있다. 즉 기온이 따뜻하고 덜 추운 시기(δD 가 -420과 470‰)에는 납의 농도가 낮으며, δD 가 -470‰ 이하인 아주 추운 시기에는 납의 농도가 급격하게 증가하는 경향이 있다.

남극으로 유입되는 납 성분의 자연적 배출원은 크게 지각의 광물먼지, 해수분무, 그리고 화산분출물의 3가지로 구분할 수 있다. 이들 자연적 기원들이 남극에서 기후변화에 따른 납의 대기플럭스에 미치는 영향을 알아보기 위하여 추적자 원소들을 이용하여 각 배출원에서 기원하는 납의 양을 추정하였다. 먼저 광물먼지에서 기원한 납은 Al 농도와 Wedepohl (1995)이 제시한 지각 평균 Pb/Al 비를 이용하여 계산하였고, 해수분무 기원은 해수의 평균 Pb/Na의 비(Capodaglio et al., 2001)를 이용하여 계산하였다. 그리고 화산 기원의 납의 양은 non-sea-salt SO_4^{2-} 의 10~15%가 화산에서 기원하고 있다는 추정(Boutron and Patterson, 1986)과 화산 분출물에서 측정한 Pb/S의 비를 이용하여 계산하였다

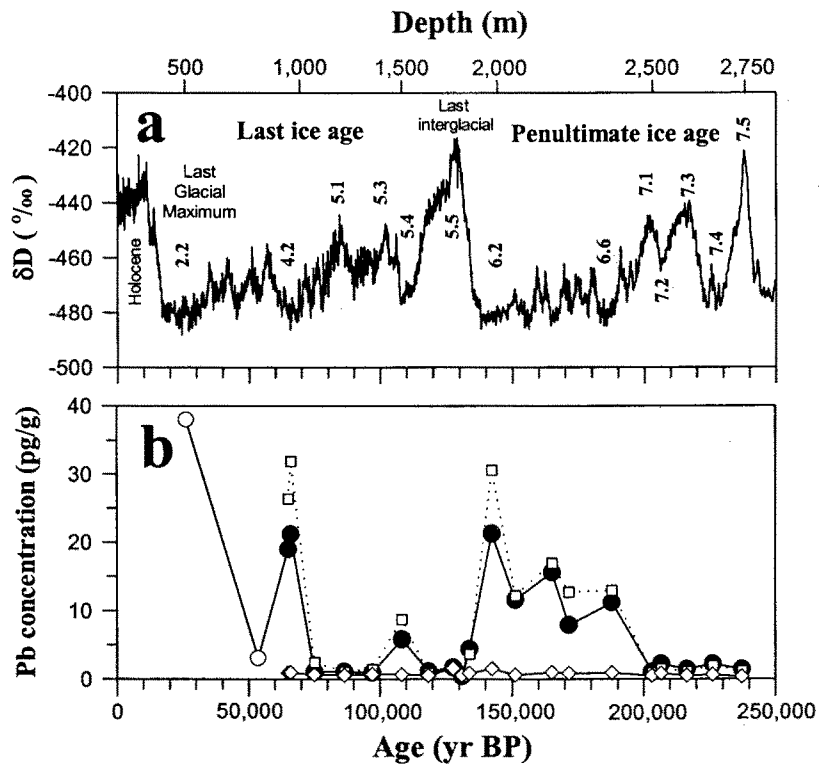


그림 3-2. 남극 보스톡빙하: (a) 깊이에 따른 중수소 동위원소 변화(Petit et al., 1999)와 MIS 번호 (Bassinot et al., 1994); (b) 깊이와 연대별 납 농도 분포(●). Boutron et al. (1987) 연구에서 분석한 농도(○)가 추가되었으며, 지각 광물먼지에서 기원한 납(□)과 화산기원 납(△)의 추정량이 표시되어 있음.

(Nriagu, 1989; Hinkley et al., 1999). 이렇게 각 배출원에서 기원한 납의 추정량은 그림 3-2에 표시하였고, 대부분의 자연적 기원의 납 에어로졸은 지각 광물먼지에서 기원하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 사실은 남극에서 순환되는 자연적 납 성분은 대부분이 화산 분출물에서 기원한다는 Matsumoto and Hinkley (2001)의 연구 결과와 배치되고 있으며, 본 연구를 통해 새롭게 밝혀진 사실이다. 대부분의 납 성분이 자연적으로는 지각 광물먼지에서 유래된다는 연구 결과는 그림 3-3에서 표시한 납과 알루미늄의 관계에서 잘 나타나고 있다. 그림 3-3에서 보면, 알루미늄의 양이 약 15 ng/g 이상으로 나타나는 추운 시기와 그 이하인 비교적 따뜻한 시기에서 상관관계를 나타내는 직선의 기울기가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 기후변화에 따른 대기 순환 변화에 의해 남극으로 유입되는 광물먼지의 크기가 변화하고, 따라서 추운 시기에 유입되는 광물먼지에는 납 성분의 'depletion'이 발생하기 때문인 것으로 추정된다. 남극으로 유입되는 대부분의 광물먼지 에어로졸은 남미 파타고니아(Patagonia)의 사막 지역에서 발원하는 것으로 밝혀졌고, 따라서 기후변화에 따른 납 농도의 변화는 파타고니아의 사막지역의 확장과 수축, 그리고 대기 순환의 변화와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

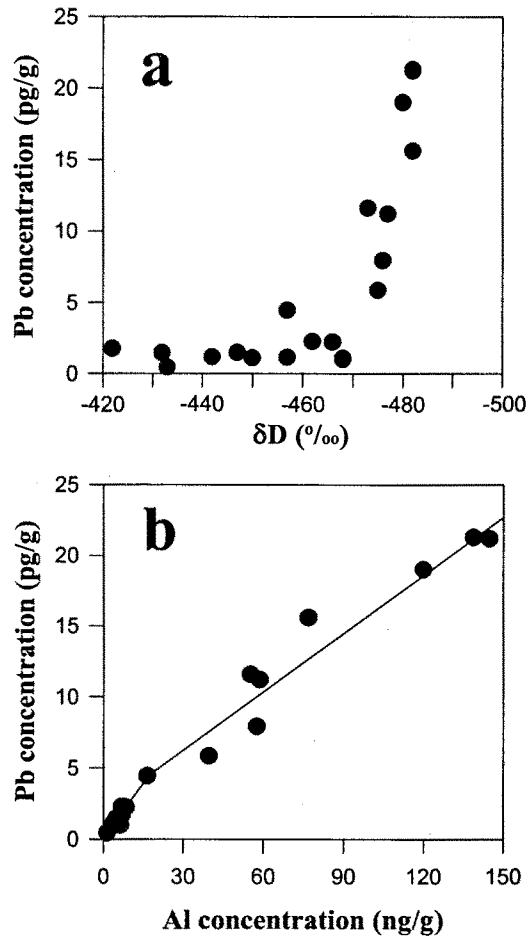


그림 3-3. 남극 보스톡 빙하: (a) 납 농도와 중수소 동위원소비의 관계; (b) 납과 알루미늄 농도의 상관관계로 알루미늄 농도가 15 ng/g 이상인 경우([Pb] = 0.138 [Al] + 2.267, $r^2 = 0.94$)와 15 ng/g 이하인 경우([Pb] = 0.265 [Al] - 0.054, $r^2 = 0.93$)에 기울기가 다르게 나타나고 있음.

상기에서 언급한 납 성분 외에 구리(Cu), 아연(Zn), 그리고 카드뮴(Cd)의 농도변화와 지각 광물면지 및 화산 기원의 추산 양을 그림 3-4에 표시하였다. 기후변화에 따른 농도변화 추세를 보면, 납과 유사하게 간빙기 및 빙하기 전반부에는 낮은 농도를 유지하다가 빙하기 후반부로 접어들면서 농도가 뚜렷이 증가하고 있고(MIS 6.2-6.6, 4.2), 빙하기 정점기(MIS 6.2)에 가장 높은 농도를 보이고 있다. 단지 카드뮴의 경우 MIS 4.2에는 구리와 아연과 달리 증가폭이 상대적으로 적게 나타나고 있다. 남극 보스톡 빙하에서 분석한 카드뮴의 농도는 미량원소들 중에서 가장 낮은 농도 수준을 보이고 있다. MIS 6.2 시기만 제외하고 대부분이 0.5 pg/g 이하의 농도 수준을 보이고 있으며, 최저농도와 최대농도의 차이가 약 5.5 정도로서 구리와 아연의 약 17에 비해 훨씬 낮게 나타나고 있다. 이것은 기후변화에 따른 농도변화의 경향이 서로 다르다는 것을 의미하며, 세 원소들의 자연적 기원이 서로 달라서 기후변화에 반응하는 정도와 속도의 차이를 나타낸다고 볼 수 있다.

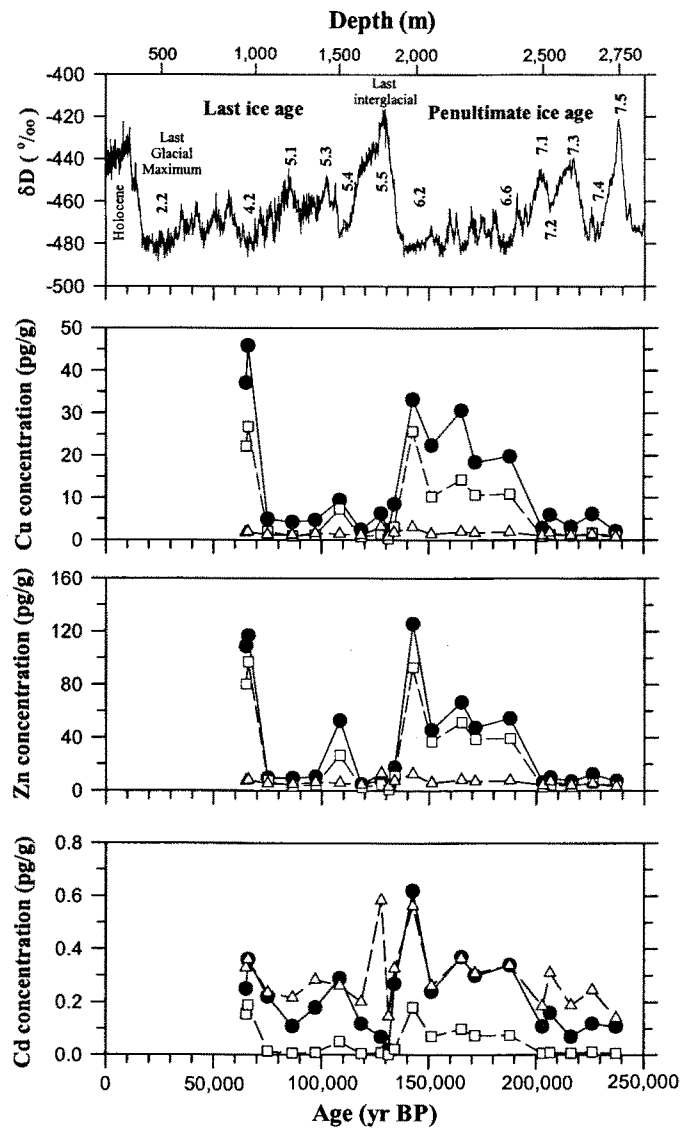


그림 3-4. 남극 보스톡빙하: 깊이에 따른 중수소 동위원소 변화(Petit et al., 1999)와 MIS 번호 (Bassinot et al., 1994)와 연대별 구리, 아연, 카드뮴의 농도 분포(●). 지각 광물면지에서 기원한 추산 양(□)과 화산기원 추산 양(△)이 같이 표시되어 있음.

각 성분들에 대해 자연적 배출원에서 기원한 양들을 납과 같은 방법으로 추산한 결과, 간빙기와 빙하기 전반부 동안 광물면지에서 기원한 양은 구리와 아연의 경우 약 30~50%에 이르고, 카드뮴의 경우는 10% 미만이다. 빙하기 후반부에는 구리와 아연의 60~80%에 달하는 반면에 카드뮴은 평균 ~25%만이 광물면지에서 기원하고 있다. 한편, 화산기원의 경우에는 간빙기와 빙하기 전반부에 구리와 아연 농도의 1/3과 ~50% 정도를 각각 차지하고 있고 빙하기 후반부에는 두 원소의 약 10% 미만을 차지한다. 반면에 카드뮴의 경우에는 전체 기간을 통해 화산분출물이 중요한 기원임을 알 수 있다. 기후변화에 따른 구리, 아연, 카드뮴의 농도와 플럭스 변화는 그림 3-5에 표시하였다. 구리와 아연의 변

화는 남과 유사하게 기후가 아주 추운 시기(δD 가 -470‰ 이하)에 급격하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 카드뮴의 경우에는 δD 가 감소하면서 농도가 서서히 증가하는 현상을 보이고 있다. 이것은 카드뮴이 기원하고 있는 자연적 배출원이 기후변화에 따라 서서히 반응하면서 카드뮴의 배출량이 증가한다는 것을 의미하거나 배출량의 변화는 작지만 대기 순환의 변화로 기후가 추워지면서 남극으로의 유입량이 서서히 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

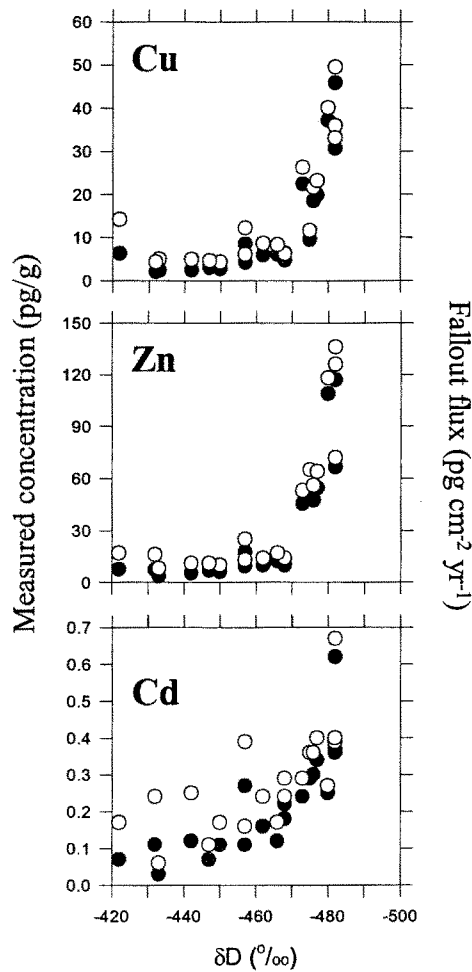


그림 3-5. δD 변화에 따른 구리, 아연, 카드뮴의 농도(●)와 플럭스(○) 변화.

2) 볼리비아 산악빙하를 이용한 저위도에서의 미량원소 순환 규명

전지구적 규모의 미량원소 순환과정을 이해하기 위하여 저위도에서 자연적·인위적 환경 요인들에 의해 발생하는 미량원소들의 지화학적 거동 변화에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 한-프랑스-미국의 국제공동연구를 통해 확보한 볼리비아 사하마(Sajama)에서 시추한 빙하시료를 분석하였다. 사하마 빙하시료는 남위 $18^{\circ}06'$, 서경 $68^{\circ}53'$ 에 위치하고

있는 휴화산 정상부 해발 6,542 미터에서 시추하였으며, 시추 깊이는 130미터이고 최하부의 연대는 약 25,000년에 해당한다(Thompson et al., 1998). 본 연구에서는 총 14개의 시료를 분석하였고 각 시료의 깊이와 연대, 그리고 분석원소들의 농도는 표 3-2에 표기하였다. 시료의 연대는 가장 최근의 빙하시기 22,000년 전부터 홀로세 및 20세기 후반의 연대까지 나타내고 있으며, 자연적 요인인 기후변화와 인간활동의 영향을 받는 시기를 전부 포함하고 있다.

표 3-2. 볼리비아 사하마 빙하시료의 깊이와 연대 및 분석원소들의 농도.

Depth (m)	Age	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Al	Fe
		(pg/g)				(ng/g)		
10.15-10.35	AD 1988	780	20.9	1493	1901	7.14	808	86
20.55-20.90	AD 1972	75	<3.01	<207	<208	0.17	14	15
30.15-30.50	AD 1954	292	5.68	1234	481	4.15	229	38
40.07-40.43	AD 1905	356	3.50	380	147	3.62	373	118
50.18-50.53	AD 1825	711	9.27	1225	575	13.6	1425	223
60.00-60.35*	AD 1700	57	4.29	205	58	5.16	540	165
70.27-70.45	AD 1410	643	5.49	<2282	3880	12.2	2004	355
80.70-81.05	AD 790	490	13.2	1438	1366	13.5	1930	368
90.70-91.05	2800 BP	3950	31.0	12,670	9203	61.5	21,630	5031
101.57-101.92	8400 BP	90	2.43	224	240	3.53	240	74
111.72-111.90	14,160 BP	46	0.61	172	92	1.87	189	37
120.61-120.81	19,200 BP	66	1.00	339	149	2.80	339	86
124.45-124.80	22,000 BP	30	0.74	266	90	2.46	205	63

분석원소들의 농도변화는 시료별로 1000배 이상의 농도변화를 보이고 있으며, 평균농도는 납(Pb) $584 \pm 1,048$ pg/g, 카드뮴(Cd) 7.8 ± 9.0 pg/g, 아연(Zn) $1,073 \pm 3,365$ pg/g, 구리(Cu) $1,415 \pm 2,581$ pg/g 이며 망간(Mn) 10.1 ± 16.1 ng/g, 알루미늄(Al) $2,302 \pm 5,846$ ng/g, 철(Fe) $489 \pm 1,194$ ng/g이다. 농도분포의 특성은 홀로세 후기 이후(2800 BP)의 농도가 지난 빙하기부터 홀로세 전기까지의 농도보다 높게 나타나고 있다. 이러한 현상은 홀로세 후기에 강설량이 감소하고 snow line이 후퇴하면서 사하마 빙하로 유입된 광물먼지 에어로졸의 양이 증가한 현상과 잘 일치하고 있다(Thompson et al., 1998). 따뜻한 시기인 홀로세 후기에 미량원소들의 농도가 증가하는 것은 남극과 반대되는 현상을 보

이는 것으로 저위도와 고위도에서 기후변화에 따른 미량원소들의 지화학적 순환이 서로 다르다는 것을 반영하고 있다.

사하마 빙하에서 나타나는 분석원소들의 농도는 광물먼지의 양과 밀접한 관계를 가지고 변화하기 때문에 광물먼지 기원에 대해 normalization하기 위하여 다음과 같은 식을 이용하여 EF (Enrichment factor)를 계산하였다.

$$EF = (\text{metal}/\text{Al})_{\text{ice}} / (\text{metal}/\text{Al})_{\text{crust}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 각각 평균 농도비는 Wedepohl (1995)가 제시한 비를 사용하였다. 계산된 EF의 값 변화는 그림 3-6에 표시하였다.

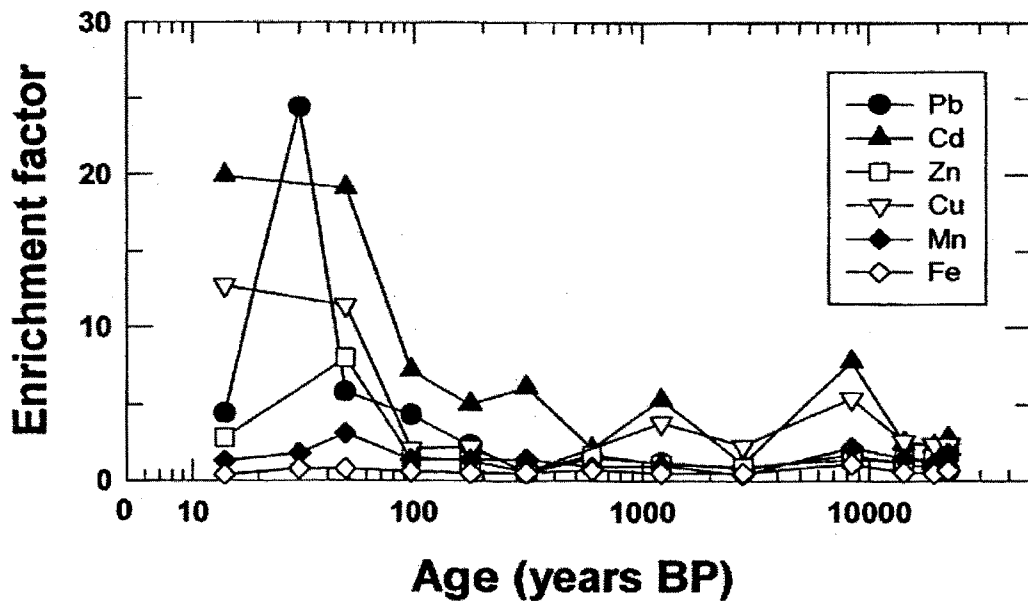


그림 3-6. 사하마 빙하에서 22,000 years BP부터 AD 1988까지의 Enrichment factor 변화.

그림 3-6에서 살펴보면, 망간과 철은 모든 시기 동안에 단위 값 1에 가깝고 이것은 대부분이 광물먼지에서 기원한다는 것을 의미한다. 납과 아연은 AD 1905까지는 단위 값에 가깝지만 이후에는 EF 값이 크게 증가하고 있다. 카드뮴과 구리의 경우에는 AD 1905까지 EF 값은 단위 값보다 높는데, 이것은 광물먼지 외에 다른 기원의 카드뮴과 구리가 유입되었다는 것을 나타낸다. AD 1905 이후에는 이 두 원소들의 EF 값은 납과 아연과 같이 크게 증가하고 있다. 사하마 지역과 같이 광물먼지 기원의 황산염과 나트륨의 농도가 높은 지역에서는 이들 원소들을 추적자 원소로 이용하여 화산과 해수분무에서 기원한 자연적 성분의 금속들의 양을 추산하기는 어렵다. 단지 홀로세 후기까지는 대부분이 자연적 기원임을 감안하면 20세기 들어서 EF값이 크게 증가하는 것은, 다른 대륙에서의 연구결과가 제시하는 바와 같이 금속생산과 채광, 유연회발유 사용 등과 같은 인간활동 증가에 의해

배출된 인위적 금속 오염물질의 영향을 받은 때문으로 추정된다.

상기 추정을 확인하기 위하여 납 안정동위원소를 분석하였다. 납 안정동위원소는 ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb 로 이루어져 있으며, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb 는 각기 ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th 들의 방사선 붕괴에 의해 만들어 진다. 납 안정동위원소의 성분비는 납 광물의 채광, 제련과 가공 과정을 거치는 동안 모암(Mother rock)의 성분비를 그대로 유지하기 때문에 납 성분의 기원 추적자로서 지화학적 연구에서 매우 유용하게 사용되고 있다. 분석한 시료에서의 납 안정동위원소는 한-호주 공동연구를 통해 호주 퍼스(Perth)에 위치한 Curtin대학교 응용물리학과 TIMS (Thermal Ionization Mass Spectrometer)를 이용해 분석하였다. 그림 3-7에 납 안정동위원소 성분비의 변화를 표시하였다. 납 안정동위원소에서 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 의 비는 20세기 이전까지는 비슷한 분포를 보이고 있다. 이것은 사하마 빙하에 함유된 납 성분의 기원이 같은 배출원에서 기원하였다는 것을 의미하며 광물면지에서 기원한 것으로 판단된다. 반면에 20세기에 들어서는 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 의 비가 증가하는 현상을 보이고 있다. 이에 대한 해석은 광물면지 이외의 기원을 갖는 납 성분이 유입되었고, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 비는 'less radiogenic'한 특성을 갖고 있기 때문이다. 다른 동위원소비를 갖는 납 성분 유입과 그에 따른 EF 값의 증가는 인위적 기원의 납 오염물질에 의한 현상을 반영하고 있다고 추정된다. 실질적으로 20세기 후반에는 남미에서 유연회발유 사용량이 증가하면서 대기에서의 납 함량이 크게 증가하였다.

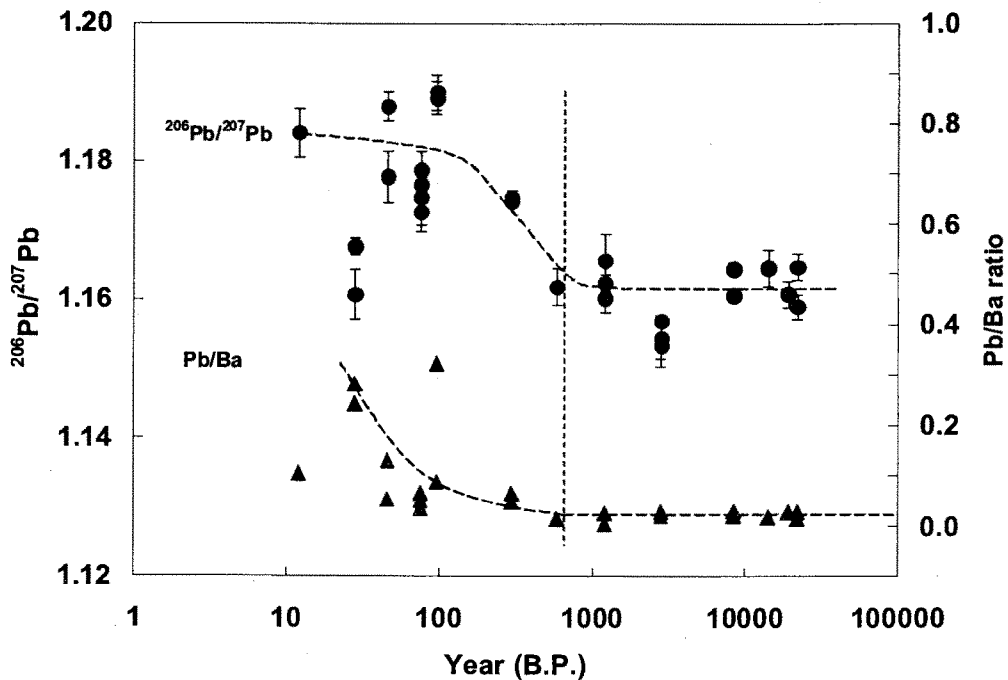


그림 3-7. 사하마 빙하에서의 납안정동위원소 변화.

2. 북극권에서 순환되는 광물먼지 에어로졸의 기원 변화에 대한 지화학적 연구

북극권 대기로 유입되고 있는 광물먼지(mineral dust) 에어로졸은 기후변화에 따라 발원지가 차이가 나며, 추운 시기에는 대부분이 동아시아(East Asia)의 사막지역에서 발원하는 것으로 알려져 있다. 이러한 발원지 추적 연구는 Sr과 Nd의 동위원소 분석을 통해 접근하고 있다. 최근의 Svensson et al. (2000) 연구에 따르면 그린랜드(Greenland) 빙하에서 분석한 Sr과 Nd의 동위원소 분석 결과는 44,000년 전 이후 한랭기와 빙하기 동안 그린랜드 빙하에 퇴적한 광물먼지는 동아시아에서 발원하였다고 밝혔다. 추운 시기에는 북극권으로 유입되는 광물먼지의 양이 증가하고 대기에서의 광물먼지는 미량원소들의 지화학적 순환에 영향을 미치기 때문에 기후변화와 같은 자연적 요인에 의한 광물먼지 유입량의 변화와 발원지에 대한 연구는 중요한 지화학적 연구 분야라고 할 수 있다. 지금까지 빙하기와 같이 추운 시기에서의 광물먼지 발원지 추적 연구가 주로 수행되었지만 오늘날과 같이 따뜻한 시기는 발원지의 변화가 예상되므로 방하기-간빙기로 이어지는 광물먼지 발원지에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 그린랜드 빙하에 함유된 Sr 동위원소를 분석하여 빙하기와 간빙기 동안 북극권으로 유입된 광물먼지의 발원지 변화에 대한 연구를 수행하였다. 한-프랑스-호주의 국제공동연구를 통해 그린랜드 Summit에서 시추한 빙하에서 총 12개 빙하시료를 분석하였다. 분석 시료의 깊이와 연대, 그리고 Sr의 농도 및 동위원소비는 표 3-3에 표기하였다. 시료의 연대는 지난 최대빙하기(Last Glacial Maximum)를 비롯하여 따뜻한 시기인 홀로세 전기(7300년 전)까지 포함하고 있다.

표 3-3. 그린랜드 빙하: 시료 깊이, 시료 연대, Sr 농도, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 및 $\delta^{18}\text{O}$ 의 변화

Depth (m)	Age (ky BP)	Sr (pg/g)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{18}\text{O}$
1230.4	7.3	89	0.7145	-33.96
1339.3	8.3	48	0.7153	-34.86
1394.3	8.8	36	0.7146	-34.36
1449.3	9.3	44	0.7140	-33.97
1614.3	11.4	105	0.7149	-35.93
1669.3	12.8	238	0.7123	-38.21
1735.3	14.2	127	0.7153	-35.99
1765.0	14.8	975	0.7145	-39.70
1834.3	16.9	1529	0.7124	-39.52
1894.2	18.9	947	0.7140	-40.73
1924.5	20.2	1301	0.7125	-40.75
1999.3	23.9	1271	0.7116	-40.80

그림 3-8에 24,000년 전 이후 기후변화에 따른 Sr의 농도와 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비의 변화를 도식화하였다. 이 그림에서는 기후변화의 proxy인 $\delta^{18}\text{O}$ 의 변화를 같이 표시하였다. 약 24,000년 전부터 14,000년 전까지 Sr의 농도는 ~950에서 1,550 pg/g으로 높은 농도 수준을 유지하고 있고, 이후 약 14,000년 전부터 급격하게 감소하고 7,300년 전까지 아주 낮은 농도 수준을 보이고 있다. 이러한 농도 변화는 이전에 연구된 Pb, Cu, Zn, Cd과 Al의 농도 변화와 매우 유사한 경향을 보이고 있다(Hong et al., 1996). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 LGM부터 홀로세에 이르는 전 기간에 걸쳐 ~0.712에서 ~0.715로 점차적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 추세는 기후가 따뜻해지면서 해수면이 상승하고, 따라서 radiogenic Sr이 낮은 광물먼지의 배출원이었던 조간대 면적이 줄어든 결과로 해석할 수 있다. 또 다른 해석으로는 대륙빙하가 후퇴하면서 노출된 지각에서 높은 radiogenic Sr을 갖고 있는 광물먼지의 유입량이 증가한 때문으로 볼 수 있다.

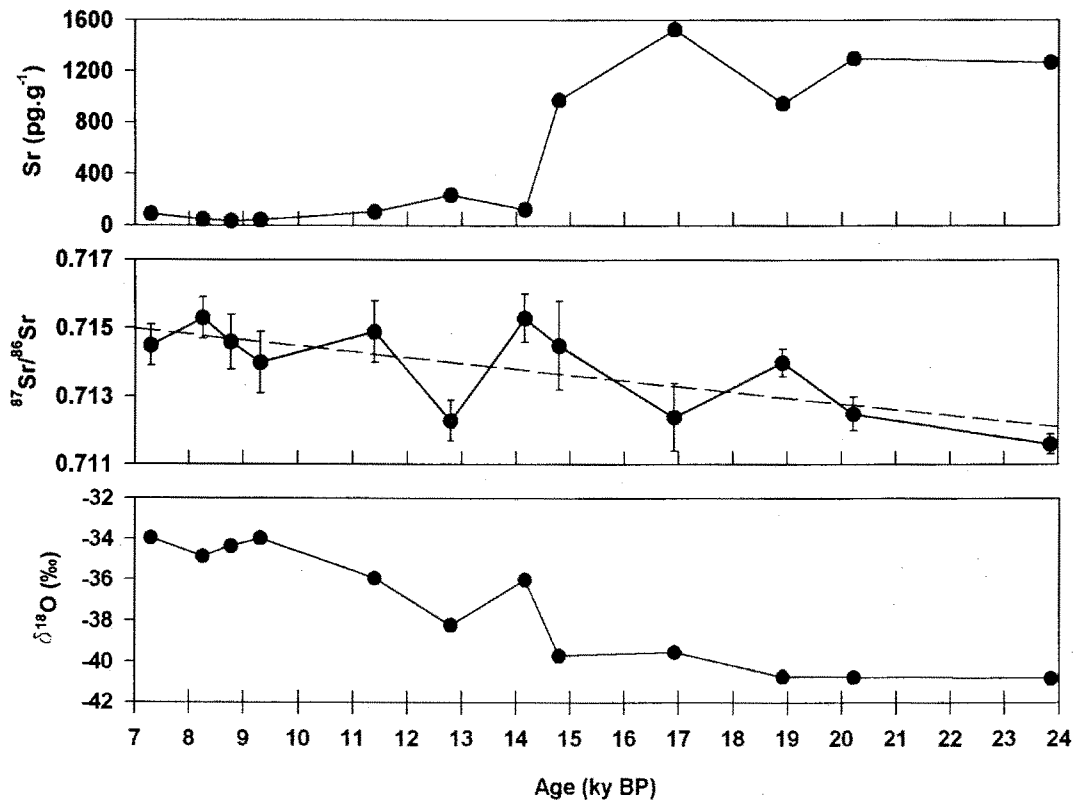


그림 3-8. 그린랜드 빙하: 시료에서 분석한 Sr 농도와 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비, 그리고 $\delta^{18}\text{O}$ 의 변화.

그림 3-9는 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비와 기후변화, 즉 기온의 proxy인 $\delta^{18}\text{O}$ 와의 상관관계를 보여 주고 있다. $\delta^{18}\text{O}$ 의 값이 높으면(~ -33에서 36‰) Sr의 농도가 상대적으로 낮고 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 상대적으로 높다. 반면에 $\delta^{18}\text{O}$ 의 값이 낮으면(~ -38에서 41‰) Sr의 농도는 대체로 높고 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 더 낮아진다. 이러한 관계는 광물먼지 에어로졸의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 기후변화와

밀접하게 연관되어 있고, 발원지의 면적 변화와 광물먼지 배출량 변화는 기후변화에 좌우된다는 것을 의미한다. 앞으로 고해상도로 기후변화에 따른 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 성분비 변화를 밝히는 연구가 진행된다면, 북극권으로 유입되는 광물먼지의 기원 변화와 이에 따른 미량원소들의 지화학적 거동 변화를 규명할 수 있을 것으로 기대된다.

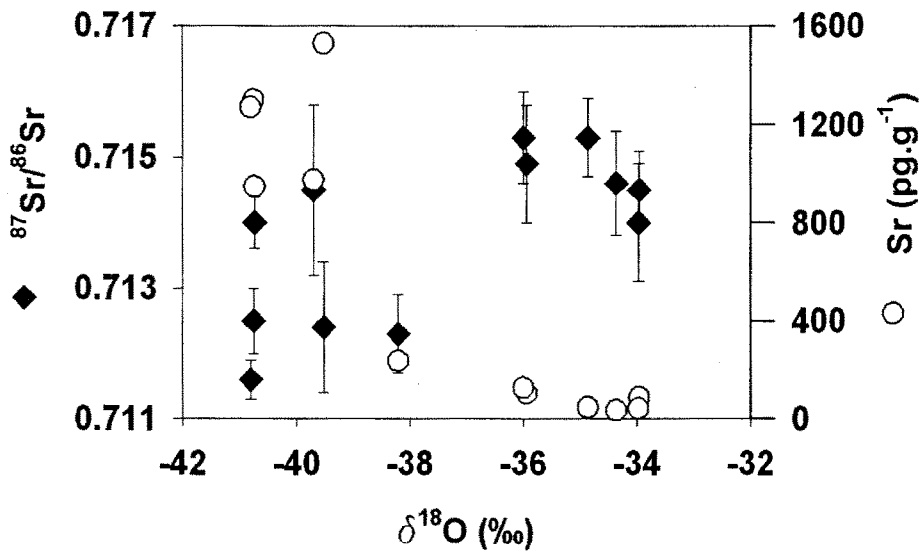


그림 3-9. 시료에서 분석한 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비와 $\delta^{18}\text{O}$ 의 관계.

제 2 절 고층대기 분야

1. 서론

열권 하부 및 중간권 상부는 하층대기에서 일어나는 중요과정들이 상층부와 공존하는 중요한 대기의 영역이다. 이곳은(열권하부 및 중간권 상부) 전지구적 규모의 혹은 적은 규모의 파(wave)들이 서로 겹쳐져 있으며, 또한 에너지와 운동량, 그리고 질량이 그 위와 아래로부터 전달되는 전이지역이기도 하다. 이러한 영역의 대기는 하층대기로부터 전달되는 반일주기(semidiurnal) 조석파(tide)와 중력파 (gravity wave)에 의해 많은 영향을 받기도 한다. 음파나 내중력파(internal gravity wave)가 이곳에서 주로 소멸되며, 교란와류(turbulent eddies)가 발생하기도 하여 많은 양의 에너지가 축적되기도 한다(Andrews et al., 1987). 80-150 km 사이에 위치하는 이 영역은 극히 최근까지도 알려진 것이 없는 대기의 영역으로 남아 있었는데, 그 이유는 먼저 이곳에 존재하는 복잡함과 더불어 직접적인 관측이 쉽지 않다는 사실에 기인한다. 이 영역의 복잡함과 변이성은 다양한 파들, 즉 조석파나 중력파, 그리고 행성파(planetary waves)가 서로 섞여있기 때문이며, 또한 태양에 의한 직접적인 가열원도 이런 복잡함을 더하고 있다. 또한, 이 지역은 기구를 이용한 직접적 관측을 하기에는 너무나 높은 고도에 위치해 있고 인공위성을 이용한 관측을 하기에는 다소 고도가 낮기 때문에 관측자료가 적을 수밖에 없으며, 따라서 보다 관측이 용이한 그 위의 지역(열권)이나 하층대기(대류권, 성층권)보다 상대적으로 학문적인 관심이 적었다.

중간권 상부 및 열권 하부의 가장 중요한 역학적 특징은 조석파에 있다. 대기중의 물분자나 성층권의 오존에 의한 태양에너지의 흡수로 시작되는 이러한 진동은 하부의 대류권이나 성층권에서 발달하여 위층으로 전달되며 고도에 따른 밀도의 감소로 인해 그 진폭이 기하급수적으로 커지게 된다. 상층으로 전달되는 파동은 무한히 진행하지 못하고 일정한 고도 (분자운동이 중요한 역할을 하는 중간권계면부근)에서 붕괴되며 상층대기에 운동량 및 에너지를 전달하는 역할을 한다. 태양에너지의 흡수함수가 하루주기이지만 반일주기의 조석파가 그 수직파장이 길기 때문에 보다 효과적으로 증폭되어 결국 중간권 상부와 열권 하부에서 가장 지배적인 진동을 이루게 된다. 반일주기 조석파가 보다 효과적으로 상층부로 전달되기 때문에 일주기 조석파보다 많은 관심의 대상으로 연구되어 왔다. 특히 Chapman 과 Lindzen(1970)의 연구 이후로 조석파에 대한 이론적 연구결과들이 상당히 진보하였으며, 특히 Forbes 와 Vial(1989)의 연구는 태양에 의한 반일주 조석파를 이해하는데 많은 공헌을 하였다. 이러한 이론적 모의실험들은 주로 80-100 km 사이의 전지구적규모(global scale)로 나타나는 조석파 연구를 수행하였으며, 여기에는 분자나 와류확산(eddy

diffusion), 뉴턴냉각, 배경대기에 의한 조성성분의 변화 등 고전적인 조석파 이론에서 다루지 않은 여러 물리과정들이 감안되었다.

지상으로부터의 열권 하부 및 중간권 상부의 관측은 주로 MF 레이더나 유성레이더, 라이더(Light Detecting and Ranging) 등의 원격탐사방법으로 제한되어 왔었다 (Mansoon and Meek, 1984; Gardner et al., 1989). 최근에는 수산기나 산소분자의 진동-회전 띠(vibration-rotation bands; Meinel bands)를 관측하는 방법으로 중간권 상층부를 연구하는 기법들이 개발되고 있다. 마이넬에 의해 처음 확인된 마이넬 띠는(Meinel, 1950) 수많은 과학자들에 의해 다양한 방법으로 관측되었으며, 그 빛의 방출고도는 대략 87 ± 3 km이며, 두께는 5~8 km 인 것으로 알려지고 있다(Baker and Stair, 1988). 이 지역에서는 회전완(rotational relaxation)되는 시간이 충분히 빠르기 때문에, 회전선(rotation line)의 분포는 빛을 방출하는 입자의 온도를 대표할 수 있게 된다. 따라서, 지상으로부터 관측된 수산기의 띠들은 빛이 방출되는 고도의 대기온도를 제공하는 것이다.

조석파와 중력파에 의해 유발된 O_2 와 OH 대기광의 광도, 온도변화는 이론적으로나 실험적으로 많은 연구의 주제가 되어왔다. (Sivjee et al., 1987; Viereck and Deehr, 1989; Walterscheid and Schubert, 1995). 그 동안의 관측결과를 보면 대기광 및 온도의 변화와 조석파 주기와 유사성을 보여주고 있으며, 특히 12, 8, 6시간 주기의 변화가 많이 관측되어 왔음을 알 수 있다 (Sivjee and Walterscheid, 1994; Walterscheid and Sivjee, 1996; Oznovich et al., 1997; Walterscheid and Sivjee, 2001; Won et al., 2001). 이론적인 결과에 근거하면, 파수(wave number)가 0이 아닌 조석파의 경우 고위도로 갈수록 진폭이 감소하여 극부근에서는 거의 진폭이 없는 것으로 예측되고 있다 (Longuet-Higgins, 1968). 이러한 이유로 고위도 지방에서 관측되는 파동의 대부분은 (극지역에서) 상당한 진폭을 갖는 위도대칭(zonally symmetric) 조석파로 간주되고 있다. 하지만, 아직 3-4 시간의 주기를 갖는 조석파에 대한 보고는 거의 없으며 있어도 아주 약한 진폭을 나타내는 결과만을 보여주고 있다 (Sivjee and Walterscheid, 1994, Walterscheid and Sivjee, 1996; Walterscheid and Sivjee, 2001). 본 연구에서는 극지방의 O_2 와 OH 대기광 관측으로부터 고층대기의 온도를 원격탐사하며 관측된 변화로부터 유추된 파동에 대해 논의하고 있다. 관측을 위해 적외선분광계(FT-IR)와 대기광분광계(SATI; Spectral Airglow Temperature Imager)를 사용하였으며, 이 기기는 서로 다른 고도에서 방출되는 O_2 와 OH 대기광을 정밀 관측하도록 고안되었다. 관측기기, 특히 첨단기술이 집약된 최근의 광학관측기들은 기기운영에 많은 노력과 기술, 요령이 요구되고 있다. 따라서, 관측이 수행되는 기간에는 (특히 관측시작시간) 전문가나 운영자가 옆에서 대기하며 수작업을 해야하는 경우가 대부분이다. 고층대기연구를 위해 구입했던 적외선분광계(FT-IR)의 운영도 예외는 아니며, 관측을 위해 지속적인 관측자의 대기가 어려워 기기를 자동운영화하는 방법을 선택할 수밖에 없었다. 전문운영자 없이 기기의 자동관측운영을 수행하려면 완벽한 자동수행프로그램을 만들어야

하며, 또한 운영이 원활히 이루어지는지 원격적으로 확인할 필요가 있다. 이러한 점들을 감안하여 무인 자동·원격 운영시스템을 구상하였으며 이를 위해 운영 프로그램의 변경 및 수정작업, 그리고 관측시스템구성의 변경이 이루어졌다. 자동화운영은 약 2개월 동안 테스트과정을 거쳐 안정적인 운영을 확인하였으며, 이후 적외선분광계는 남·북극 비교연구의 일환으로 스웨덴북극의 우주과학 기지인 에스레인지기지(67° 54' N, 21° 05' E, Esrange, Sweden)에 설치, 운영하고 있다. 2001년 남극하계기간동안 남극 Rothera기지(67° 34' S, 68° 08' S)에도 동종의 기기가 설치되었으며 이는 에스레인지 기지와 위도대칭점을 이루고 있어 남·북극 비교연구에 더할수 없이 좋은 조건을 갖추고 있다. 또한, 동종의 기기가 추가로 구비되어 노르웨이 북극 스발바드섬의 다산기지(78° 50' N, 11° 55' E)에 설치, 운영되고 있다.

2. 관측기기

가. 적외선분광계 (FT-IR)

본 연구에 사용된 적외선 분광계 시스템은 캐나다의 Bomem, Inc에서 구입되었으며, 작은 부피와 운송이 용이한 특징을 지니고 있다. 표 3-4에서 보는 바와 같이 시스템의 분광범위는 5000 cm^{-1} 에서 $10,000\text{ cm}^{-1}$ 를 포함한다. 이 영역에 포함되는 수산기 마이넬띠(OH Meinel bands)는 마이넬 띠중 $\Delta v=2$ 인 선, 즉 (4-2), (3-1) 띠들과 $\Delta v=3$ 인 (9-5), (8-5), (7-4), (6-3), (5-2), (4-1) 띠들을 포함하고 있다. Lowe(1991) 등에 의하면 P1(1), P1(2), 그리고 P1(3) 선은 수산기가 방출하는 (3-1), (4-2) 띠 중에서 대기성분에 의해 흡수되지 않는 가장 밝은 선이라고 알려져 있다. 분광계의 검지기(detector)는 열전기적 냉각방식의 InGaAs를 사용하고 있으며, 이 검지기는 $1\sim 1.65\ \mu\text{m}$ 에서 최대로 민감하게 반응한다. 본 연구를 위해 마이넬 띠인 수산기 (3-1) 띠 중 분해가 되는 세 회전선(rotational lines)을 이용하였다. (4-2)띠를 이용하지 않은 이유는 검지기의 반응이 (4-2)띠 영역에서 급격하게 변화하기 때문이다.

시스템은 5단계의 분광분해능(spectral resolution)을 선택할 수 있도록 고안되었는데, 분해능을 높일수록 관측시간이 길어져 시간적 해상도는 감소하게 되며 이 둘을 적절히 조화시킬 필요가 있다. 현재 관측에서는 충분한 분해능을 유지하면서 관측자료를 많이 얻기 하기 위해 분해능을 4 cm^{-1} 에 맞추었다. 이러한 분해능에서는 약 5초 간격으로 간섭자료(interferogram)가 나오며, 신호-대-잡음비(signal-to-noise ratio)를 높이기 위해 각각의 간섭자료를 더할 필요가 생긴다. 충분한 신호-대-잡음비를 유지하기 위해 본 연구에서는 약 50 개의 간섭자료를 더한 자료를 사용하고 있으며, 따라서 약 5분에 한 개의 자료가 저장되고 있다. 이러한 자료는 분석되는 최종 온도의 오차가 $\pm 7\text{ K}$ 정도를 유지할 만큼 충분

한 신호-대-잡음비를 갖게 된다. 50개가 더해진 간섭자료는 다시 코사인(cosine) 함수를 이용하여 어포다이제이션(apodization)을 시키는데, 이유는 푸리에 변환 시 양쪽 가장자리에 생기는 돌출부를 줄이기 위함이다. 감지기의 분광반응의 정도는 보정등(calibration lamp)을 사용하는데, 사용되는 보정등은 영국남극연구소에서 운영하는 적외선분광계를 보정한 램프를 사용하여 남북극 비교연구의 신빙성을 더 하였다.

관측된 스펙트럼에서 수산기의 회전온도 정보는 각각의 회전선(rotational lines)의 세기분포로부터 구해진다. 회전선들은 볼츠만 분포(Boltzmann distribution)를 갖는다고 가정되어지며(Sivjee 1992), 이러한 상태에서 회전선들의 세기는 다음과 같은 식으로 나타내 질 수 있다(Mies 1974):

$$I_{(J, \nu \rightarrow J', \nu')} = N_{\nu} A_{(J, \nu \rightarrow J', \nu')} \frac{2(2J+1)}{Q_{\nu}(T_{rot})} e^{-\frac{E_r}{kT_{rot}}} \quad (1)$$

여기서 J 는 윗 상태의 총 회전모멘텀(upper-state total angular momentum), I 는 J', ν' 상태에서 J'', ν'' 상태로 진동-회전전이시의 빛의 세기(intensity of the vibrational-rotational transition from the state J', ν' to the state J'', ν''), k 는 볼츠만 상수(Boltzmann constant), N_{ν} 는 위 진동상태의 입자수(total concentration of molecules in the upper vibrational state), $A(J', \nu' \rightarrow J'', \nu'')$ 는 진동-회전전이의 자발적 아인슈타인 발산계수(spontaneous Einstein emission coefficient for the vibrational-rotational transition), 그리고 Q_{ν} 는 다음과 같이 정의되는 분리함수(partition function)로 정의된다.

$$Q_{\nu}(T) = \sum (2J+1) e^{-\frac{E_r}{kT_{rot}}} \quad (2)$$

여기서 $E_r(J)$ 는 윗 상태의 에너지를 나타낸다. 어떤 상태에서의 에너지(energy of a state)는 주로 센티미터의 역수(reciprocal centimeters; cm^{-1})인 $F_{\nu}(J)$ 를 사용하며 $E_r(J) = F_{\nu}(J) \cdot 100hc$ 로 나타내어 진다. 여기서 h 는 플랑크 상수(Planck's constant), c 는 빛의 속도이다.

식 (1)은 다음과 같은 선형식으로 전환되며:

$$\ln \left[\frac{I_{(J, \nu \rightarrow J', \nu')}}{2(2J+1)A_{(J, \nu \rightarrow J', \nu')}} \right] = \ln \left[\frac{N_{\nu}}{Q_{\nu}(T_{rot})} \right] - \frac{F_{\nu}(J)100hc}{kT_{rot}} \quad (3)$$

식의 좌변과 $F_V(J)$ 의 경사로부터 온도를 추출하게 된다. 또한, 좌변과 $F_V(J)$ 의 교차점 (intercept)으로부터 방출되는 빛의 강도를 추출할 수 있다. 온도 및 빛의 세기추출에 관한 보다 자세한 내용은 Won et al. (1999)에 상세히 기술되어 있다.

표 3-4. 적외선분광계(FT-IR) 시스템의 사양

분해영역	5000 cm^{-1} to 10,000 cm^{-1} (detector response)
분해능	1, 2, 4, 8, 16 cm^{-1} (selectable)
감지기	0.5 mm diameter InGaAs detector module (TE-cooled operation)

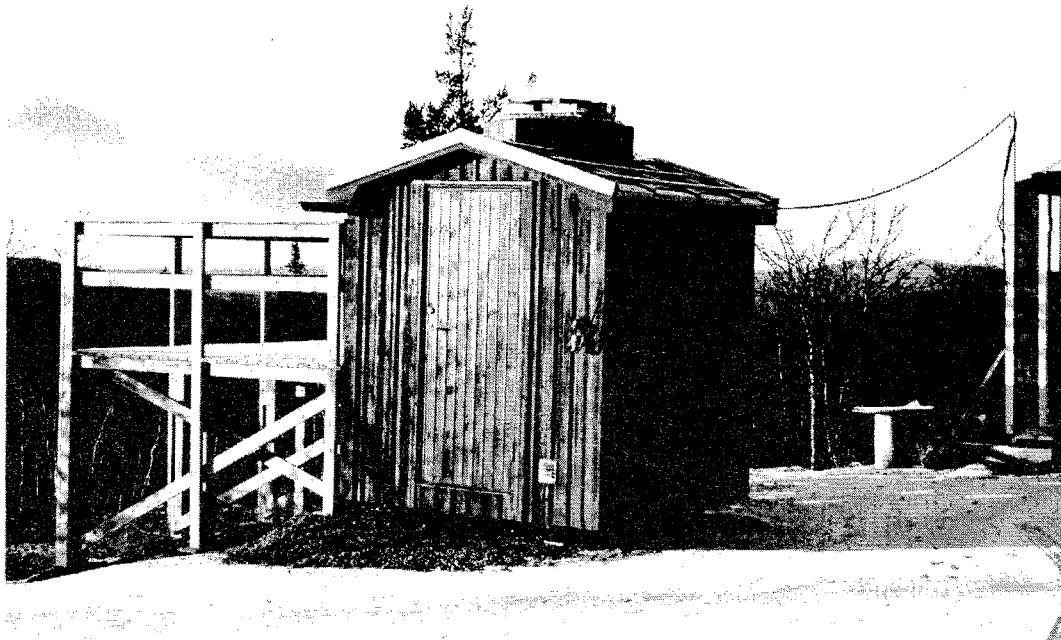


그림 3-10. 적외선분광계가 설치된 스웨덴북극 에스레인지기지

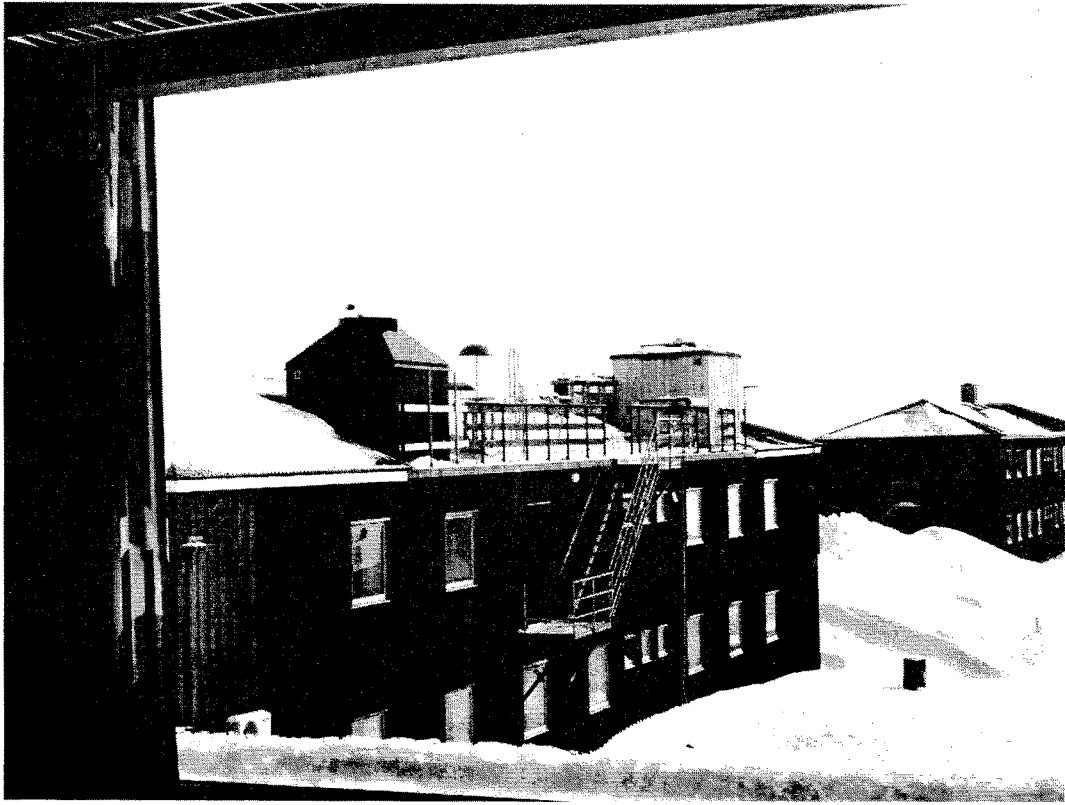


그림 3-11. 다산기지 옥상의 고층대기관측소

나. 대기광분광계 (SATI)

캐나다 요크대학의 지구우주연구소에서 개발한 첨단광학기기인 대기광분광계 (SATI; Spectral Airglow Temperature Imager)를 2001년 10월 캐나다북극 레조룻에 설치, 운영하고 있다. 캐나다 레조룻에는 미국 NSF(National Science Foundation)이 지원하고 SRI (Stanford Research Institute)가 운영하는 고층대기연구관측소(ECPO; Early Polar Cap Observatory)가 위치하고 있다. 이곳에는 미국국립대기과학연구소(NCAR; National Center for Atmospheric Research)가 운영하는 전천카메라(All-Sky Camera)와 페브리-페로 간섭계(Fayry-Perot interferometer), 캐나다 요크대학의 ERWIN(E Region Wind interferometer) 등의 고층대기관측용 광학기기가 운영돼 왔으며, 2001년 10월에는 해양연구원 극지연구본부의 대기광온도분광계(SATI)가 설치되었다. 레조룻은 극관(Polar Cap)내에 위치하고 있어 자기권 및 이온층의 직·간접적인 영향이 여타 지역보다 분명하게 나타날 수 있는 곳으로 고층대기연구에서는 매우 중요한 전략적인 장소라고 할 수 있으며, 최근에는 많은 연구와 설비투자가 계획되고 있는 곳이기도 하다. 기기는 관측소를 운영하는 SRI의 지원과 미국국립대기과학연구소와의 공동연구를 통해 운영되고 있다. 대기광분광계

의 관측영역은 중간권 상부 및 열권하부의 OH (836.8 nm, 약 87 km) 와 O₂ (867.7 nm, 약 93 km) 분자가 방출하는 근적외선 밤대기광을 관측한다. SATI는 광학부, 필터, CCD 카메라가 부착되어 있는 본체, 필터와 CCD 카메라를 제어하는 컨트롤러, 전체적인 기기를 운영하는 시스템 PC로 크게 구분할 수 있다. (그림 3-12). Conical mirror는 천장각으로부터 약 29° 환상에서 발산하는 빛을 모으며 (그림 3-13) 프레넬렌즈를 통과한 평행광은 간섭필터를 거쳐 CCD카메라에 모아지게 된다. 이렇게 모아진 빛은 입사광의 각도에 따라 등근모습의 간섭띠(interferogram)를 형성하게 된다. CCD카메라에 형성된 간섭띠의 방사상 분포는 분광선 정보를 가지게 되며 이를 적절히 분석하면 방출선의 회전온도(rotational temperature)와 광도밝기(emission intensity)를 추출해 낼 수 있다 (Wiens et al., 1997). SATI와 관련된 기기특성은 표 3-5에 보다 상세하게 제시하였다.

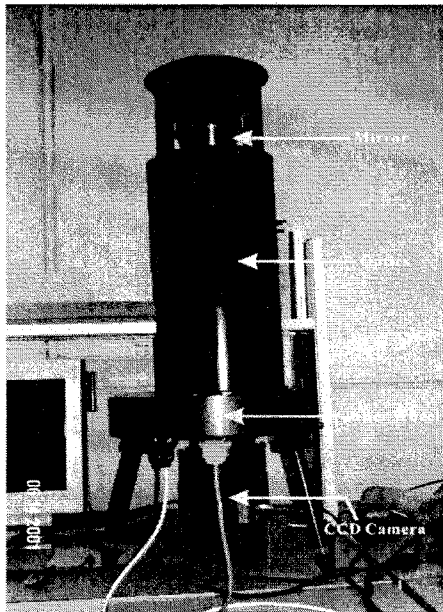


그림 3-12. 대기광분광계 모습

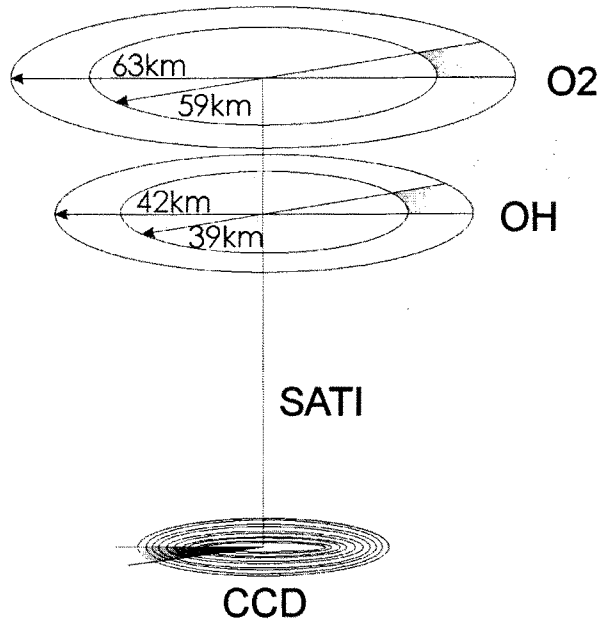


그림 3-13. SATI로부터 관측되는 산소 및 수 산기방출선의 시야각도를 타나낸 그림.

Resolute (74°N, 94°W)

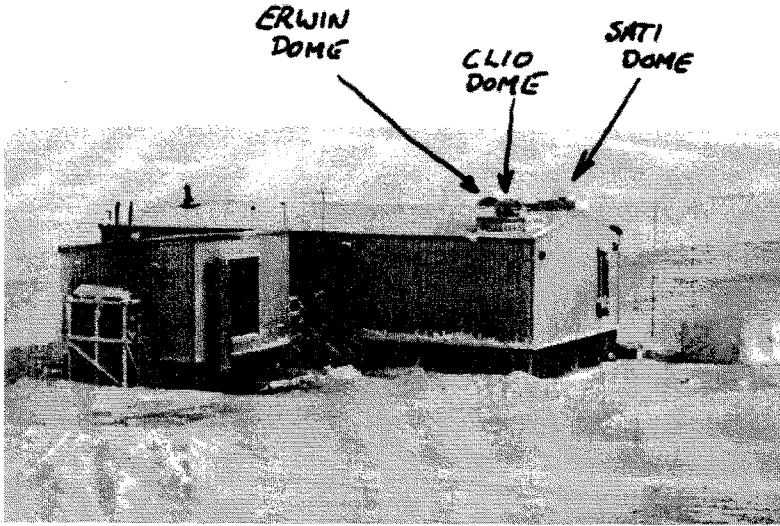


그림 3-14. 대기광분광계가 설치된 캐나다북극 레조룻 관측소

표 3-5. 대기광분광계의 기기 파라미터

방출선	O ₂	OH
필터 수직입사시 반치전폭 (FWHM; nm)	0.231	0.182
중앙 파장 (nm)	867.689	836.813
온도 해상도 (°K)	± 2	
온도정확도 (°K)	± 5	
방출량 해상도	± 2 %	
시간해상도 (minute)	2	
화각 (annular)		
내화각 (deg)	4.169	
외화각 (deg)	4.998	
CCD 종류	KAF260 512x512 (20m pixel)	
CCD 양자효율	0.29	0.34

3. 자동화 설정

가. 시스템 사양변경

본 연구에서는 적외선분광계의 자동화를 위한 시스템사양변경과 이와 관련한 운영 프로그램의 수정, 변경사항을 살펴보기로 한다. 기존에 사용되었던 시스템의 자료전송방식은 직렬방식이며, 자동화프로그램의 사용을 위해서는 자료전달방식을 병렬식으로 바꾸어야 한다. 이를 위해 시스템의 본체를 분해하여 직렬방식의 자료전송을 병렬방식으로 전환하였다. 시스템의 기본사양에서는 마더보드로부터 나오는 직렬방식이 두 번째의 보드를 통하면서 장거리 자료전송이 용이한 직렬로 바뀌게 된다. 제작사인 Bomem 회사와의 충분한 협의를 거쳐 시스템을 병렬자료전송이 되게 변경하였다. 아래 그림에서 마더보드와 병렬-직렬변환 카드는 기기내부에 위치해 있으며 (그림 3-15 참조), 본 작업을 위해 시스템을 분해, 두 번째 위치해 있는 병렬-직렬변환 카드를 거치지 않고 마더보드로부터 나오는 케이블을 출력케이블과 직접 연결하는 작업을 수행하였다. 이렇게 되면, 병렬방식의 자료가 컴퓨터로 전달된다. 한편, 컴퓨터내에 원래 장착되었던 DSP 96000 보드(직렬자료처리용 디지털 시그널 프로세서)는 병렬자료처리를 위해 SEQ-5100G DMA 카드로 대체하였다.

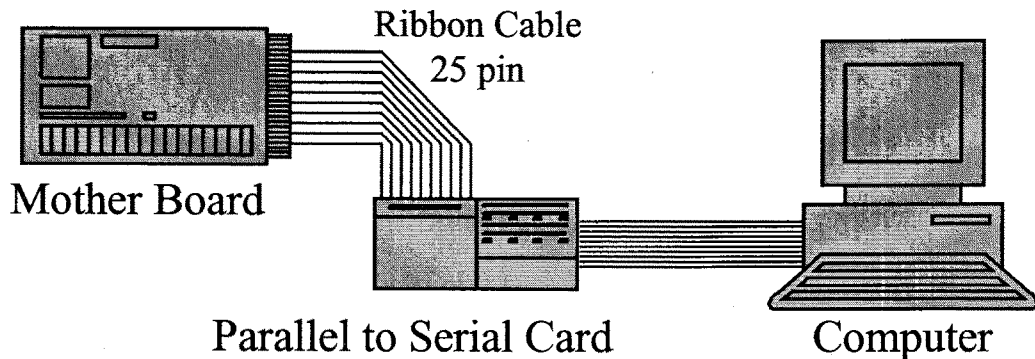


그림 3-15. 적외선분광계 시스템과 컴퓨터로의 자료전송 구성도 (사양변경전).

나. 운영프로그램 수정

기기의 자동화를 위해 위와 같이 병렬방식의 자료가 기기로부터 컴퓨터로 전송되며 운영프로그램 또한 새로이 수정되어야 한다. 이를 위해 도입한 새로운 프로그램의 수행은 다음과 같이 이루어진다.

RUN22B SCHEDKOR.EXP

RUN22B TMAIN SDA.DAT

첫번째 프로그램인 RUN22B SCHEDKOR.EXP는 관측스케줄을 작성하는 프로그램으로 매일 관측시간 전에 (매번 컴퓨터가 시동될 때) 컴퓨터의 시간을 읽어들이고 그날의 태양고도각을 계산한 후 관측가능한 시간을 계산하게 된다. 광학관측은 태양이 지평선아래로 충분히 내려간 후 (solar depression angle $\sim 4^\circ$ 이하) 가능하므로 태양고도각 계산이 스케줄파일작성의 핵심이 된다. 정확한 태양고도각을 계산하기 위해 관측장소의 위도, 경도, 고도 등 관련된 정보가 담겨져있는 INFO.SDA (Solar Depression Angle의 약자) 파일을 읽어들이며 INFO.SDA의 구성은 다음과 같다.

<Remark> :Up to 32-character field inserted into the FTS header
<Latitude > :Real = the latitude of measurements in degree (+=N)
<Longitude> :Real = longitude of measurements in degree (+=W)
<Elevation> :Real = metres above sea level
<Max IFG> :Maximum number of interferograms (scan-pairs) to be written before opening new file
<IFG Path> :Path for the interferogram data file
<FFT Path> :Path for transformed interferograms file, Not used, set to 0
<IFG> :Integer= number of interferograms (scan-pairs) to be co-added
<SDA> :Real= measurement are made when solar depression angle is lower than this number

RUN22B SCHEDKOR.EXP이 수행되면 SDA.DAT라는 운영스케줄파일이 생성된다. 이 파일에는 그날의 관측가능한 시간이 담겨지며 이를 근거로 관측이 수행된다. SDA.DAT 파일은 INFO.SDA의 내용을 포함하며, 아울러 계산된 관측가능한 시간의 정보가 담겨지게 된다. SDA.DAT 파일의 구성은 다음과 같다.

<Remark> :Up to 32-character field inserted into the FTS header
<Latitude > :Integer = the latitude of measurements in arc-seconds (+=N)
<Longitude> :Integer = longitude of measurements in arc-seconds (+=W)
<Elevation> :Integer = metres above sea level
<Time> :Flag (spare) to select time source, set to 0 = DOS time
<Max IFG> :Maximum number of interferograms (scan-pairs) written to file before opening new file

- <IFG Path> :Path for the interferogram data file
- <FFT Path> :Path for transformed interferograms file, Not used, set to 0
- <IFG Plot> :Flag (spare) to plot interferograms. Not used, set to 0 = No Plot
- <FFT Plot> :Flag (spare) to plot transformed interferograms, set to 0 = No Plot
- <Start time 1> <End time 1> <Number of added interferograms per write>
- <Start time 2> <End time 2> <Number of added interferograms per write>
- <Start time 3> <End time 3> <Number of added interferograms per write>

실제로 관측을 수행하는 프로그램은 RUN22B TMAIN를 통해 이루어진다. 이 프로그램은 영국의 남극연구소(British Antarti Survey)에서 운영중인 동종의 기기관측에 사용되고 있는 프로그램으로, SDA.DAT 처럼 관측시작시간과 마침시간이 주어지면 이 기간 동안 지속적으로 기기에서 보내주는 자료를 컴퓨터에 저장하는 역할을 한다. 관측시간 이외의 시간에는 대기상태로 있거나 혹은 프로그램종료가 되게 설정할 수 있다. 관측이 끝나게 되면 관측자료는 yddda0.ifg 라는 포맷의 이름으로 저장되는데 여기서 y=1 (2001년), ddd=day number, 그리고 a0는 그날그날 저장되는 자료의 순번(a0, b0, c0, ... a1, b1, c1,)을 의미한다. 파일이름의 extension인 ifg는 interferometer file 의 약자로 관측되는 자료는 눈으로 볼 수 없는 바이너리형태로 저장된다. 자료는 원하는 수(interferogram)만큼 하나의 파일에 저장할 수 있으며, 현재는 하룻밤 전체관측자료를 1개의 파일에 저장하게 세팅되어 있다 (파일명 예; 1300a0.ifg, 1301a0.ifg, etc).

다. 자동화운동을 위한 컴퓨터셋팅

본 기기의 운영프로그램은 기본적으로 도스모드에서 작동하게 되어 있다. 따라서 도스가 설치된 컴퓨터가 기기를 운영하게 된다. 하지만, 원격지에서 기기가 잘 작동하는지 체크하려면 인터넷을 통한 연결을 해야 한다. 이에 따라 도스컴퓨터를 리눅스서버와 네트워크화하여 도스컴퓨터에서 얻어지는 모든 자료를 리눅스서버에 저장하게 하는 방법을 개발하였다. 이렇게 되면 네트워크로 어느때나 리눅스서버에 접속하여 자료의 이상유무를 체크할 수 있게 된다. 또한, 도스컴퓨터는 시스템의 제약으로 최대 2GB의 하드디스크용량만을 사용할 수 있게 되어 있어 지속적인 관측결과를 저장하기에는 부족함이 있지만 리눅스컴퓨터와의 네트워크화를 통해 모든 관측자료를 리눅스서버에 저장함으로써 용량의 한계를 극복할 수 있는 또다른 장점이 있다. 도스컴퓨터와 리눅스와의 네트워크를 위해 필요한 조치를 자세히 살펴보고자 한다.

a. 네트워크를 위한 필요설치 내용 및 설정 (도스컴퓨터)

우선 포맷된 하드디스크에 MS-DOS 6.22버전을 설치한다. 도스는 최대 2GB 용량까지밖에 인식하지 못하므로 필요없이 용량이 큰 하드디스크를 사용하지 않는다. 도스시스템이 설치되면 MSCLIENT NETWORKING 프로그램을 설치한다. 이 프로그램은 인터넷상에서 다운 받을 수 있다 (DISK 1, 2로 이루어져 있음). 자세한 설치방법은 다음과 같다.

▶ MSCLIENT NETWORKING 설치 ◀

1. MSCLIENT NETWORKING DISK 1에서 "setup"을 실행한다.

A:\setup [ENTER]

2. MSCLIENT NETWORKING 프로그램이 설치될 디렉토리를 지정한다.

C:\NET [ENTER]

3. USER NAME 결정

User Name: FTS (에스레인지 및 다산기지컴퓨터의 예)

※ LINUX 계정 및 samba server user와 동일하게 설정한다.

4. 다음 세 가지 항목에 대한 설정을 실시한다.

- Change name
- Change Setup Option
- Change Networking Configuration

5. Change name

User name: FTS #LINUX 및 samba의 계정과 동일하게 설정#

Computer name: UPPER1 #DOS용 컴퓨터 이름#

Workgroup name: AERONOMY #samba의 workgroup과 동일#

Domain name: AIRGLOW #LINUX 컴퓨터의 HOST NAME#

[ENTER]

6. Change Setup Option

Change Repair Option: Use the Full Redirector

Change Startup Option: Run Network Client

Change Logon Validation: Do Net Logon to domain

Change Net Hot Key: N

※ Default 상태로 유지한다.

7. Change Networking Configuration

각 메뉴는 Tab Key로 이동하여 선택한다.

[상단 메뉴]

3Com EtherLink III #랜카드 종류#

NELink IPX Compatable Transport #연결 방식#

[하단 메뉴]

Change Settings

Remove

Add Adapter

Add Protocol

(1) 상단 메뉴의 3Com EtherLink III 선택한 후

(2) 하단으로 이동하여 Remove 선택 [Enter]

(3) Option:

Add driver for network adapter.

(4) Select adapter

Network adapter not shown on list below....

(5) 해당 드라이버 디스켓 삽입

(6) A:\NDIS2\DOS [Enter]

#북극기지 도스컴퓨터는 3Com FC EtherLink XL PCI 3C900B-TPO(PCI방식)와 3Com EtherLink III ISA 3C509B (ISA방식) 두가지 랜카드를 사용하였다.#

(7) 상단 메뉴의 NELink IPX Compatable Transport 선택

(8) 하단 메뉴에서 Remove 선택 [Enter]

(9) Microsoft TCP/IP 선택 [Enter]

(10) 상단 메뉴에서 Microsoft TCP/IP를 선택

(11) 하단 메뉴에서 Change Setting 선택 [Enter]

(12) 다음과 같이 해당 사항 입력 후 [Enter]

Disable Automatic Configuration = 1

IP Address 193 45 77 235 #에스레인지에

IP Subnet Mask 255 255 255 128 #에스레인지에

Default Gateway 0 = 193 45 77 254 #에스레인지에

(13) 랜카드 드라이버를 제거 후 Netclient disk 1 삽입

- (14) Netclient disk 2 (OEM disk) 삽입 [Enter]
- (15) 지시에 따라 disk1 삽입, [Enter]
- (16) 디스켓 제거 후 재부팅
- (17) 완료

8. 컴퓨터가 부팅 되면서 네트워크에 접속하기 위한 ID와 Password를 물어본다.

PASSWD: *yyyy*

리눅스 계정 및 삼사 서버의 사용자 패스워드와 일치하게 한다.

계정이름을 FTS로 했다면 C:\NET\FTS.PWL 이 생성된다.

만약 이 파일을 삭제하면 컴퓨터 부팅 시에 다시 패스워드를 설정한다

9. 다음 파일들은 도스 네트워크를 하기 위한 설정이 필요한 것들이다.

c:\autoexec.bat

c:\config.sys

c:\net\lmhosts

c:\net\system.ini

c:\net\protocol.ini

AUTOEXEC.BAT

C:\NET\net initialize

c:\dos\smartdrv.exe /x

@ECHO OFF

PROMPT \$p\$g

PATH C:\NET;C:\DOS

SET TEMP=C:\DOS

DOSKEY

C:\NET\netbind.com

C:\NET\umb.com

C:\NET\tcptsr.exe

C:\NET\tinyrfc.exe

C:\NET\nmtsr.exe

C:\NET\emsbfr.exe

C:\NET\net start

```
# 사용자가 수동으로 입력하는 부분 #  
c:\net\net logon fts yyyyyy [ID와 Password]  
c:\net\net use /persis:no  
c:\net\net use d: \\AIRGLOW\DATA  
# AIRGLOW 컴퓨터의 DATA 디렉토리를 D 드라이브로 설정 #
```

CONFIG.SYS

```
DEVICE=C:\DOS\SETVER.EXE  
DEVICE=C:\DOS\HIMEM.SYS  
DOS=HIGH  
FILES=30  
LASTDRIVE=Z  
device=C:\NET\ifshlp.sys
```

LMHOSTS

: samba server가 설치된 linux 컴퓨터의 IP 주소와 host 이름을 기입한다.
: 자동으로 설치되는 것이 아니므로 수동으로 파일을 열어 기입한다.

```
# Copyright (c) 1994 Microsoft Corp.
#
# This is a sample LMHOSTS file used by Microsoft TCP/IP
#
# This file contains the mappings of IP addresses to computer
# (NetBIOS) names. Each entry should be kept on an individual line.
# The IP address should be placed in the first column followed by the
# corresponding computername. The address and the LAN Manager      name
# should be separated by at least one space.
#
# Note that the utilities will only recognize a finite number of
# mappings. This current limit is 59 for Windows for Workgroups.
#
# Also, comments (like these) may be inserted on individual lines or
# following the machine name denoted by a '#' symbol.
#
# For example:
#      ip-address      hostname
#      149.124.10.4    server1          # main office server
#      182.102.93.122  joe3            # joe's database server
193.45.77.234 airglow      # 에스레인지기지의 경우)
```

SYSTEM.INI

```
[network]
sizeworkbuf=1498
filesharing=no
printsharing=no
autologon=NO #Default YES#
computername=UPPER1 #DOS computer name#
lanroot=C:\NET
username=FTS #linux 계정과 samba server user name과
#일치시켜 준다.#
workgroup=AERONOMY #samba server workgroup과 일치#
reconnect=no #Default YES#
dospophotkey=N
lmlogon=0
logondomain=AIRGLOW #samba server computer(linux)의 host name#
preferredredir=full
autostart=full
maxconnections=8

[network drivers] # LanCard에 따라 달라진다.#
netcard=ELNK3.DOS
transport=tcpdrv.dos,nemm.dos
devdir=C:\NET
LoadRMDrivers=yes

[Password Lists]
FTS=C:\NET\FTS.PWL
*Shares=C:\NET\Shares.PWL

[386enh] # LanCard에 따라 달라진다.#
TimerCriticalSection=5000
UniqueDosPSP=TRUE
PSPIncrement=2
```

PROTOCOL.INI

```
[network.setup] # LanCard에 따라 달라진다.#
version=0x3110
netcard=ELNK3,1,ELNK3,1
transport=tcpip,TCPIP
lana0=ELNK3,1,tcpip

[TCPIP]
NBSessions=6
DefaultGateway0=193 45 77 254      #에스레인지기지
SubNetMask0=255 255 255 128      #에스레인지기지
IPAddress0=193 45 77 235          #에스레인지기지
DisableDHCP=1      # Automatic Configuration에서 0에서 1로 바뀐 부분 #
DriverName=TCPIP$
BINDINGS=ELNK3
LANABASE=0

[protman]
DriverName=PROTMAN$
PRIORITY=MS$NDISHLP

[ELNK3]
DriverName=ELNK3$
IOADDRESS=0x300
MAXTRANSMITS=6

[MS$ELNK3] # LanCard에 따라 달라진다.#
DriverName=ELNK3$
IOADDRESS=0x300      #에스레인지컴퓨터
                      #Dasan기지 컴퓨터의 경우 0x 210
```

(3COM509 ISA방식)

b. 네트워크를 위한 필요설치 내용 및 설정 (리눅스컴퓨터)

RedHat 7.1을 기준으로 하며 리눅스설치중

Security: high, medium(default), no firewall중 no firewall 로 한다.

또한, CUSTOM으로 해서 FULL 로 설치한다 (sendmail 빼고)

▶ ftp와 telnet 설정 ◀

```
cd /etc/xinetd.d/
```

한 후 디렉토리 내의 telnet과 ftp 관련 데몬 파일에서 disable = yes를 disable=no로 바꾼다.

```
/etc/xinetd.d/telnet
```

```
# default: on
```

```
# description: The telnet server serves telnet sessions; it uses \
```

```
# unencrypted username/password pairs for authentication.
```

```
service telnet
```

```
{
```

```
    flags          = REUSE
```

```
    socket_type    = stream
```

```
    wait           = no
```

```
    user           = root
```

```
    server         = /usr/sbin/in.telnetd
```

```
    log_on_failure += USERID
```

```
    disable        = no
```

```
}
```

```
/etc/xinetd.d/wu-ftpd
```

```
# default: on
```

```
# description: The wu-ftpd FTP server serves FTP connections. It uses \
```

```
# normal, unencrypted usernames and passwords for authentication.
```

```
service ftp
```

```
{
```

```
    socket_type    = stream
```

```

wait                = no
user                = root
server              = /usr/sbin/in.ftpd
server_args         = -l -a
log_on_success      += DURATION USERID
log_on_failure      += USERID
nice                = 10
disable             = no
}

```

*: 다른 FTP데몬은 disable을 그냥 yes로 놔 두어야 한다.

▶ 리눅스 보안 관련 변경사항 ◀

```

/etc/hosts.allow
#
# hosts.allow This file describes the names of the hosts which are
#             allowed to use the local INET services, as decided
#             by the '/usr/sbin/tcpd' server.
#
in.telnetd: 210.98.53.191 210.98.53.195 168.188.99.179 168.188.99.185
in.ftpd: 210.98.53.191 210.98.53.195 168.188.99.179 168.188.99.185
#접속을 허용하는 컴퓨터의 IP주소를 삽입한다. 현재 해양연구원IP와 충남대학교 IP등 4개
#의 IP주소를 허용하고 있다.

```

```

/etc/hosts.deny
#
# hosts.deny This file describes the names of the hosts which are
#            *not* allowed to use the local INET services, as decided
#            by the '/usr/sbin/tcpd' server.
#
# The portmap line is redundant, but it is left to remind you that
# the new secure portmap uses hosts.deny and hosts.allow.In particular
# you should know that NFS uses portmap!
ALL: ALL

```

※ hosts.deny에서 ALL:ALL EXCEPT ip-address의 설정 방식은 작동되지 않는 경우가 있으므로 위와 같이 선택한다.

※ ftposts에서 설정하는 것은 위의 방법보다 낮은 단계 보안이다.

▶ 도스컴퓨터와의 하드디스크 공유를 위한 Samba Server 설정 ◀

Samba server의 가장 간단한 설치방법은 리눅스 설치 시 'custom' 옵션을 선택하여 전체 선택을 하여 설치하는 방법이 있다. 'workstation' 이나 'server' 등의 옵션은 samba가 완전하게 설치되지 않는다. 이 외 필요한 설정은 다음과 같다,

```
/etc/samba/smb.conf
# This is the main Samba configuration file. You should read the
.....
# NOTE: Whenever you modify this file you should run the command "testparm"
# to check that you have not many any basic syntactic errors.
#
#=====Global Settings=====
[global]
# workgroup = NT-Domain-Name or Workgroup-Name
  workgroup = aeronomy #DOS의 workgroup과 일치#
# server string is the equivalent of the NT Description field
  server string = Samba Server
# This option is important for security. It allows you to restrict
# connections to machines which are on your local network. The
# following example restricts access to two C class networks and
# the "loopback" interface. For more examples of the syntax see
# the smb.conf man page
  hosts allow = 193.45.77.235 #에스레인지도스컴퓨터
# if you want to automatically load your printer list rather
# than setting them up individually then you'll need this
  printcap name = /etc/printcap
  load printers = yes
# It should not be necessary to spell out the print system type unless
```


yours is non-standard. Currently supported print systems include:

.....

Do not enable this option unless you have read those documents

encrypt passwords = yes # ;를 제거하여 활성화 한다.#

smb passwd file = /etc/samba/smbpasswd # ;를 제거하여 활성화 한다.#

.....

#=====Share Definitions =====

[homes]

comment = Home Directories

browseable = no

writable = yes

.....

[data] #사용자가 코딩하여 삽입한다.#

comment = Dos

path = /data

read only = no

writable = yes

public = yes

A publicly accessible directory, but read only, except for people in

the "staff" group

.....

smb.conf 의 설정을 끝낸 후

[root@airglow /root]# *samba restart*

samba user 설정

: samba의 user는 linux 계정의 user와 dos에서의 user와 동일하게 한다.

[root@airglow /root]# *smbadduser linux_id:dos_id*

[root@airglow /root]# *smbadduser fts:fts* (에스레인지컴퓨터 예)

리눅스에 도스 공유 디렉토리 생성

[root@airglow]# *mkdir data*

[root@airglow]# *chmod o+x data*

```
[root@airglow ]# chown fts data
```

```
[root@airglow ]# chgrp fts data
```

Linux 부팅시 samba server 자동 실행설정

: /etc/rc.d/rc.local 의 맨 마지막 줄에 samba start 를 추가한다.

: rc.local 파일의 역할은 도스의 autoexec.bat와 비슷하다.

```
#!/bin/sh
```

```
#
```

```
# This script will be executed after all the other init scripts.
```

```
# You can put your own initialization stuff in here if you don't
```

```
# want to do the full Sys V style init stuff.
```

```
if [ -f /etc/redhat-release ]; then
```

```
    R=$(cat /etc/redhat-release)
```

```
    arch=$(uname -m)
```

```
    a="a"
```

```
    case "$arch" in
```

```
        _a*) a="an";;
```

```
        _i*) a="an";;
```

```
    esac
```

```
    NUMPROC=$(egrep -c "^cpu[0-9]+" /proc/stat)
```

```
    if [ "$NUMPROC" -gt "1" ]; then
```

```
        SMP="$NUMPROC-processor "
```

```
        if [ "$NUMPROC" = "8" -o "$NUMPROC" = "11" ]; then
```

```
            a="an"
```

```
        else
```

```
            a="a"
```

```
        fi
```

```
    fi
```

```
# This will overwrite /etc/issue at every boot. So, make any changes you
```

```
# want to make to /etc/issue here or you will lose them when you reboot
```

```

echo "" > /etc/issue
echo "$R" >> /etc/issue
echo "Kernel $(uname -r) on $a $SMP$(uname -m)" >> /etc/issue
cp -f /etc/issue /etc/issue.net
echo >> /etc/issue
fi
touch /var/lock/subsys/local
samba start

```

4. 결과 및 토의

적외선 분광계(FT-IR)를 이용한 중간권 상부 수산기(OH) 방출선의 관측은 남극 세종기지에서 수동적으로 2년간 수행되어 왔고 이후 기기운영요원 선발의 어려움에 따라 국내로 반입, 자동화작업을 수행하였다. 본 자동화작업은 영국 남극연구소의 Patrick Espy박사의 자문을 받았으며 자동화를 위하여 기기시스템사양의 일부를 변경하였다. 주된 변경사항은 자료전송방식을 직렬에서 병렬신호로 바꾼 것이며, 새로운 신호를 인식하고 자동화할 수 있는 운영프로그램을 영국남극연구소의 도움으로 설치, 테스트하였다. 또한, 매일 관측 시작 전 자동으로 태양의 고도각을 계산하여 관측시간을 결정하는 스케줄파일을 작성하는 프로그램을 개발하였다. 모든 자동화작업은 3개월간에 걸친 테스트기간을 거쳐 무인운영의 안정성을 확인하였으며, 남·북극 비교연구의 일환으로 스웨덴 북극의 에스테인지 기지(67° 54' N, 21° 05' E)로 옮겨 설치, 운영하고 있다. 또한, 북극연구의 일환으로 추가 기기가 구입되어 노르웨이북극 스팔바드섬의 다산기지(78° 50' N, 11° 55' E)에 동일한 설정으로 설치되어 운영되고 있다. 수시로 수행되는 원격접속을 통해 자료의 전송과 기기운영 이상이 체크되고 있으며 현재 무인자동운영은 성공적으로 이루어지고 있다.

대기광분광계(SATI)는 2001년 10월에 각기 캐나다 레조룻에 설치되어 시험 관측 및 성능 시험을 거쳐 정상적인 관측을 수행했다. 과거 관측과 비교해서 매우 많은 양의 관측 데이터를 생산했으며, 지속적인 고층대기 모니터링에 아주 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 관측 이미지에서 중력파로 추측되는 이미지 변화현상들이 관측되었다는 사실은 긍정적인 의미를 준다.

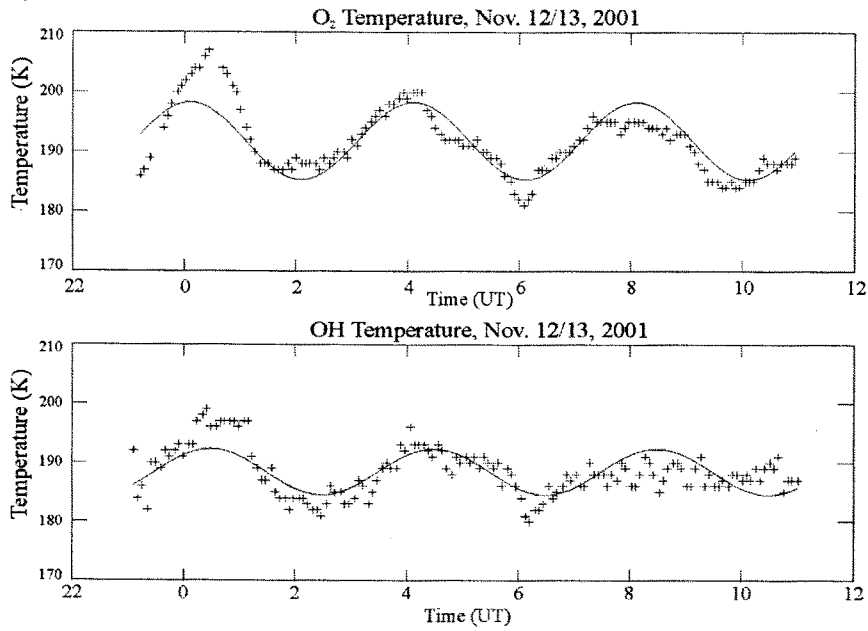
그림 3-16의 a)는 O₂ 와 OH 대기광의 밝기와 온도의 변화모습의 한 예를 나타내었다 (2001년 11월 12일 밤 캐나다 레조룻에서 관측). 같은 장소에 설치된 미국 국립대기과학연구소 전천카메라의 이미지 관측결과는 이 날밤의 날씨가 맑았음을 나타냈으며 특별한 오로라현상의 징후도 나타나지 않았다. 총 12시간 정도의 관측기간 중 3개 정도의 봉우리가 분명하게 나타난 것을 볼 수 있으며 이로부터 약 4시간정도 주기의 파동이 전파되었

음을 추론할 수 있다. Lomb-Scargle 분석을 통해서도 (그림 3-16b) 4시간주기의 파동이 분명하게 나타나고 있으며 평균값과 4시간 주기의 파동만을 포함한 근사곡선이 관측된 결과를 상당히 잘 근사하고 있다 (그림 3-16a). 이렇게 분명하고도 진폭이 커다랗게 나타나는 4시간 주기의 파동은 같은 달 23일(그림 3-17)에도 분명하게 나타나고 있으며 근사된 4시간 주기 파동의 진폭과 위상을 표 3-6에 나타내었다. 4시간 주기의 파동은 예시된 날 외에도 관측이 되고 있으며 아직 이렇게 분명한 4시간파동의 관측 및 그 원인이 보고된 바 없어 특이한 결과라고 볼 수 있다. 두 개의 각기 다른 고도 (O_2 : ~94 km, OH : ~87 km)에서 관측된 파동의 위상을 비교함으로써 파동의 수직성분을 구할 수 있었는데 11월 12일과 23일 관측된 파동의 수직파장은 각기 76 ± 22 km와 164 ± 76 km로 계산되었다. 파동은 하층에서 상층으로 전달된 것으로 파악되며 (위상기울기) 이는 일반적인 파동의 전달과정과도 부합된다. 한편 스웨덴 에스레인지 기지의 적외선분광계도 같은 날 관측이 이루어졌으며 역시 4시간 주기의 강한 파동이 관측되었다.

표 3-6. 2001년 11월 레조룻에서 관측된 4시간주기파동의 진폭과 위상

Date	O_2 Mean Temp (°K)	O_2 Wave Amp (°K)	O_2 Wave Phase (hr)	OH Mean Temp (°K)	OH Wave Amp (°K)	OH Wave Phase (hr)
11. 12	191.8	6.5 ± 0.3	0.11 ± 0.03	188.4	3.9 ± 0.3	0.48 ± 0.1
11. 23	188.2	4.6 ± 0.3	0.33 ± 0.1	187.1	3.4 ± 0.3	0.50 ± 0.1

a)



b)

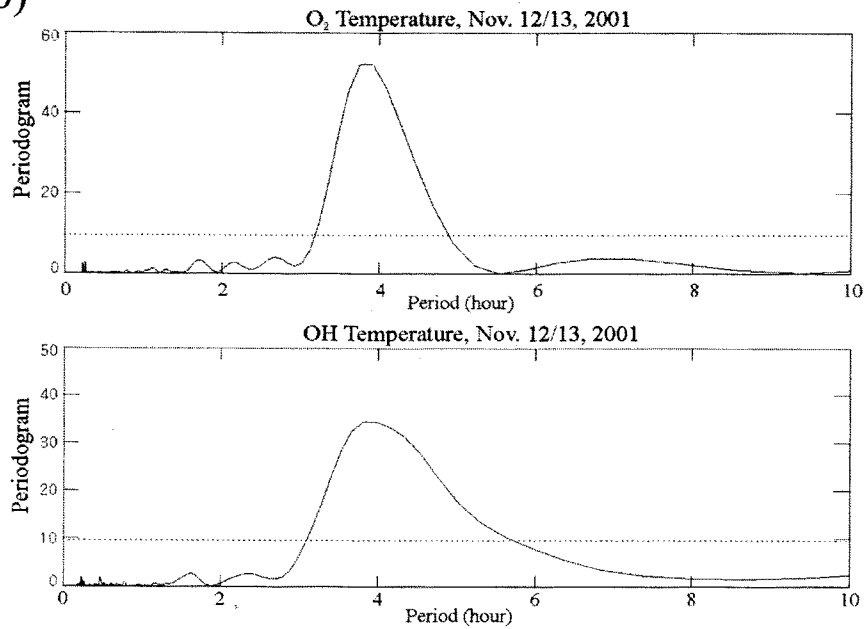
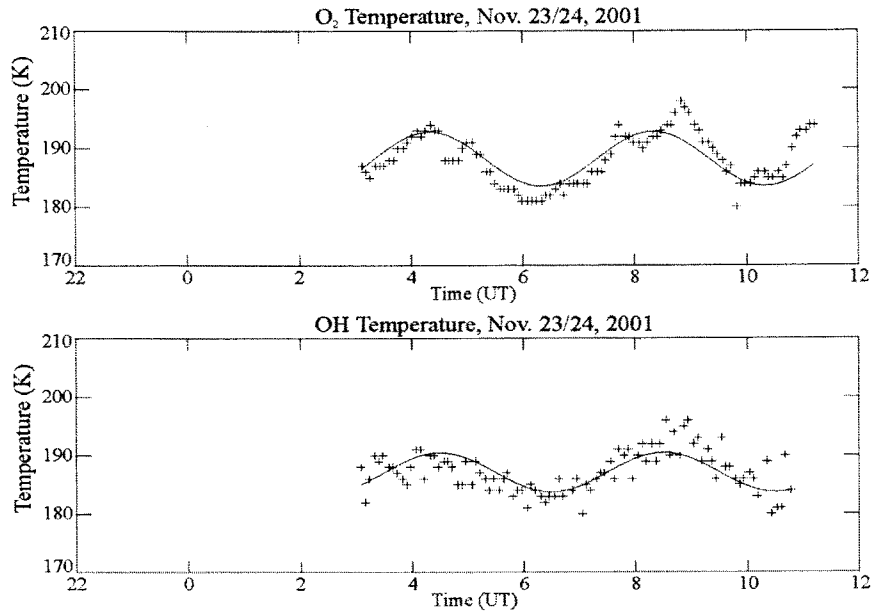


그림 3-16. a) 2001년 11월 12일 레조룻의 산소분자 및 수산기대기광으로부터 관측된 온도. 4시간 주기의 근사함수가 실선으로 나타나 있다. b) 롬-스카글(Lomb-Scargle) 방법으로 계산한 스펙트럼과 점선은 99.9% 신뢰도를 나타내는 점선.

a)



b)

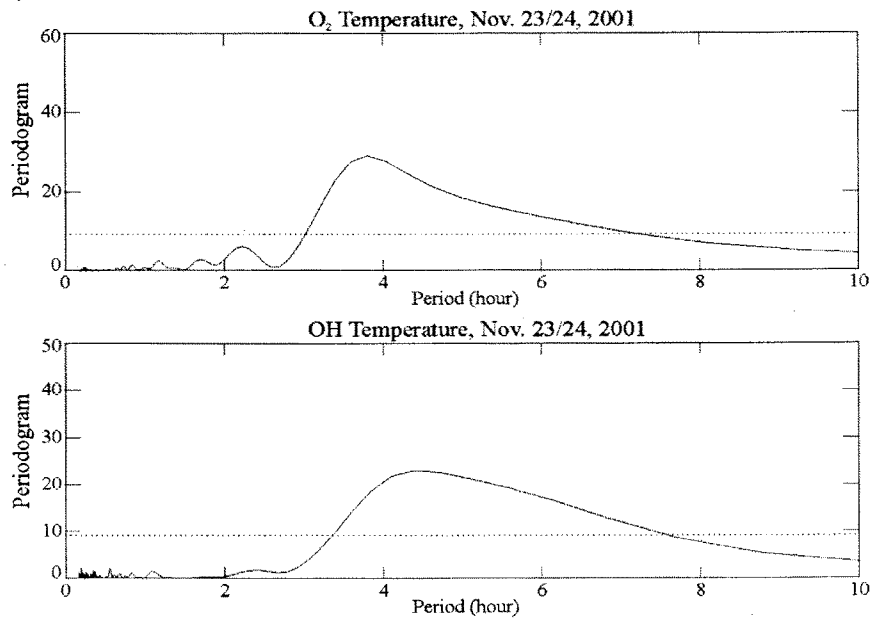


그림 3-17. 2001년 11월 23일 관측결과. 나머지는 그림 6과 동일.

최근 Walterscheid and Sivjee (2001)의 남극점 관측결과를 보면 4시간의 주기를 포함한 다양한 주기의 파동이 보고되었고 이러한 대기파동들은 위도대칭 조석파로 해석되었다. 태양을 따라 이주하는 조석파의 특성을 나타내는 Hough 유형의 진폭이 극점에서 소멸되는 점을 감안한다면 관측된 4시간주기파동을 가장 잘 설명해 주는 것은 역시 위도대칭조석파이다. 이 외에도 서로 다른 주기의 조석파의 비선형 상호작용도 관측된 4시간주기 파동의 한가지 원인이 될 수 있을 것이며 고위도에서 종종 발생하는 오로라도 또 다른 원인으로 작용할 수 있으리라 생각된다. 위도대칭조석파에 대한 원인은 아직도 불분명하며 여러 곳에서 관측된 자료가 혼치않아 보다 정확한 이해를 위해서는 많은 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

제 3 절 자원 분야

1. 북극권 콜라반도 코브도 화성암 복합체의 Sr-Nd-Pb 동위원소 조성

가. 코브도 초염기성암-카보나타이트 복합체의 개요

- 북극권 콜라반도에는 고생대 데본기에 형성된 약 20여개의 초염기성암-알칼리암-카보나타이트 복합체가 발달하는데 이들은 거의 예외없이 고품위의 희유금속광상을 동반한다. 이 암체들을 Kola Alkaline Province(KAP)라 부른다(그림 3-18).

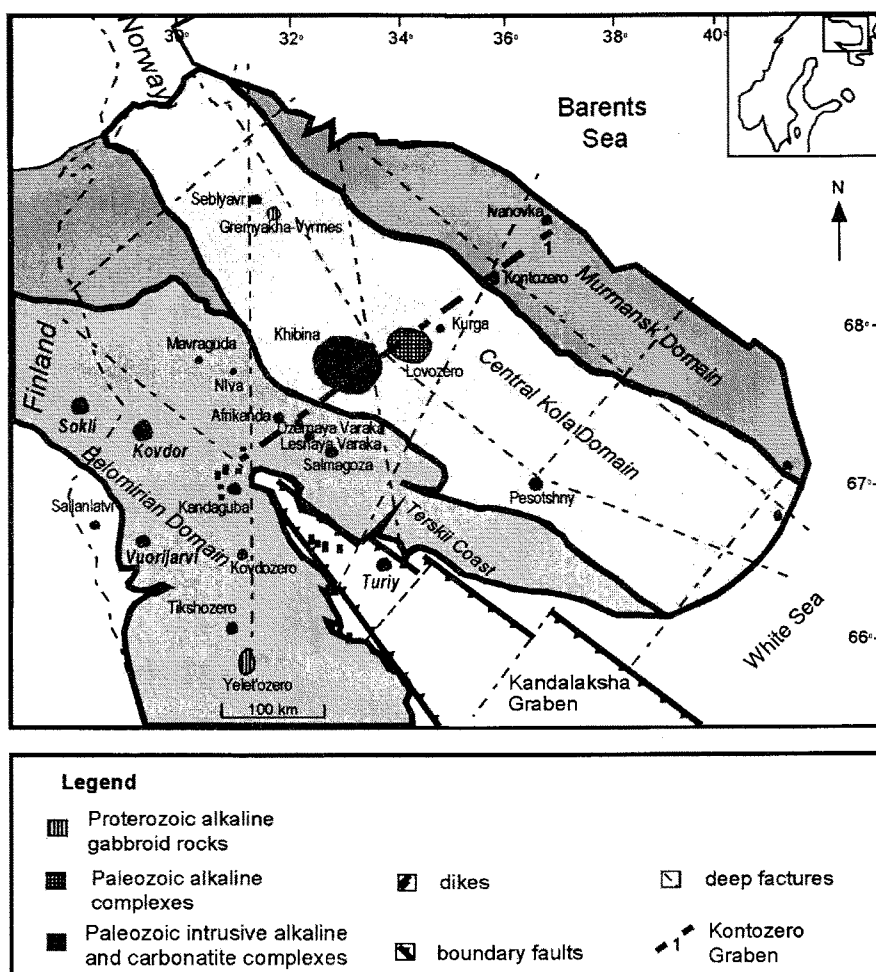


그림 3-18. 북극권 콜라반도 데본기알칼리암-카보나타이트복합체 분포도

- 현재 콜라반도에서 산출되는 대표적인 희유금속광물들의 러시아 내수시장 공급량은 다음과 같다 : 인회석(100%), phlogopite and vermiculite(80-90%), magnetite(12%),

copper(14%), nickel(43%), cobalt(40%), baddeleyite(100%), nepheline and ceramic concentrates(35%).

- 코브도(Kovdor) 암체는 KAP 중에서 야외에서 관찰 가능한 노두가 많고, 노천광상을 갖고 있을 뿐만 아니라 약 600여종의 신종 광물이 보고되어 지금까지 가장 많이 연구된 암체이다(Kogarko et al., 1995). 현재 코브도 암체의 인회석, 자철석, baddeleyite의 총 매장량은 약 4억2천만톤 정도로 추정되고, 매년 인회석(1백40만톤), 자철석(3백만톤), baddeleyite(6십만톤)을 생산하고 있다.

- 코브도 암체는 약 40 km²의 규모의 타원형 암체로 선캠브리아 시대의 기반암을 관입하고 있으며, 다양한 암상을 보여주는데, 초기에는 olivinite와 pyroxenite 등 초염기성암이 암체의 중심부에 관입해 있고, 이후 다양한 조성은 알칼리암의 관입이 있었으며, 최후기에는 희유금속광상을 동반한 카보나타이트와 포스코라이트가 이전의 암상들을 관입하고 있다(그림 3-19).

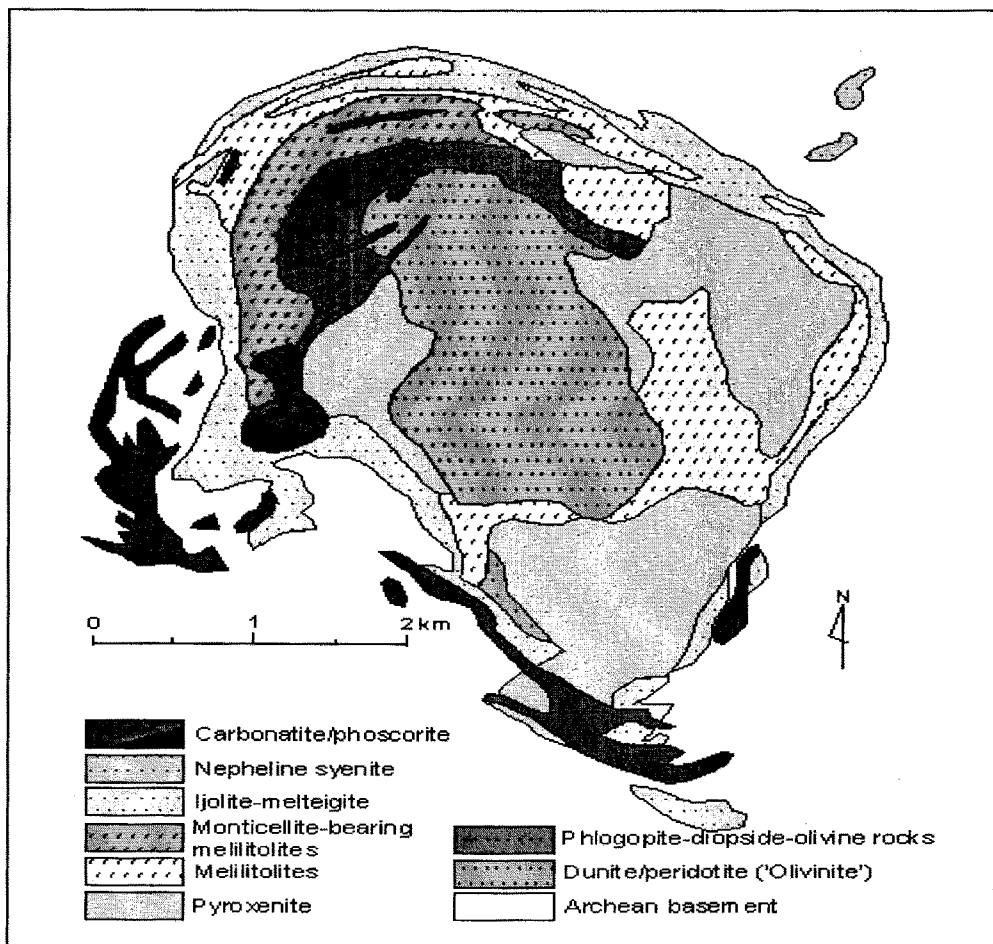


그림 3-19. 코브도암체의 지질도

- 이 암체의 형성 시기는 여러광물(baddeleyite, zircon, apatite, phlogopite, tetraferriphlogopite)에 대해 다양한 분석법(U-Pb, Th-Pb, Rb-Sr)을 이용해 절대연령을 측정한 결과 약 380 - 376 Ma에 형성된 것으로 밝혀졌다(Amelin and Zaitsev, 2002)

나. 실험 방법

- 코브도 암체를 형성시킨 마그마의 기원을 살펴보고자 암상별로 대표적인 시료를 선정하여 Sr-Nd-Pb 방사성 동위원소 조성을 분석하였다.
- Rb, Sr, Sm, Nd의 정량분석은 동위체 희석법으로 실시하였다. 시료(100-150 mg)는 테프론 용기에 넣고 HF-HClO₄의 혼합산으로 용해시킨 다음 양이온 교환 컬럼에서 Rb, Sr, Sm, Nd를 분리하였다. 총 실험과정에서의 Sr과 Nd의 바탕값은 각각 2.5×10^{-10} g과 5×10^{-11} g이다.
- Pb는 HBr을 이용하여 음이온 교환컬럼에서 분리하였다. 실험과정 중의 Pb 바탕값은 1×10^{-7} 으로 측정되었으며, 표준시료 NBS 981을 반복 측정해 얻어진 값으로 측정된 Pb 동위원소 조성을 보정하였다. NBS 981의 대푯값과 측정된 값의 차이는 1% 이하이다.
- 동위원소 조성은 중국 지질-지구물리연구소의 열이온화질량분석기(VG 354)를 이용하여 측정하였으며, 측정된 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr비와 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 비는 각각 ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr = 0.1194와 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.7219로 표준화 하였다.
- 반복 측정된 표준시료 NBS987의 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 값은 0.710208 ± 0.000009 (N=10)이고, La Jolla Nd의 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 값은 0.511826 ± 0.000008 (N=12)이다.
- 분석결과는 표 3-7, 표 3-8, 표 3-9로 나타내었다.

표 3-7. 북극권 콜라반도 코브도암체의 Sr 동위원소 조성

Sample No.	Rock type	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$	$\epsilon\text{Sr}(t)$
KV16	Du	0.6	14	0.1175	0.704632 ± 20	0.703996	-0.8
KV20	Du	24.2	613	0.1143	0.703838 ± 13	0.703220	-11.8
KV30	Px	14.5	990	0.0424	0.703847 ± 15	0.703618	-6.2
KV32	Px	45.9	511	0.2597	0.705075 ± 7	0.703670	-5.4
KV5	P2	0.3	972	0.0010	0.703246±16	0.703241	-11.5
KV7	P2	2.2	684	0.0091	0.703241 ± 7	0.703192	-12.2
KV1	C2	2.8	2618	0.0031	0.703426 ± 11	0.703409	-9.1
KV3	C2	38.3	2556	0.0433	0.703718 ± 11	0.703484	-8.1
KV14	P3	2.5	1058	0.0067	0.703503 ± 9	0.703467	-8.3
KV15	P3	34.9	678	0.1489	0.704268 ± 6	0.703462	-8.4
KV39	P3	3.6	851	0.0123	0.703681 ± 7	0.703614	-6.2
KV9	C3	1.0	4414	0.0006	0.703461 ± 9	0.703458	-8.5
KV18	C3	2.8	3181	0.0025	0.703415 ± 17	0.703401	-9.2
KV35	C3	7.1	9649	0.0021	0.703498 ± 14	0.703487	-8.0
KV37	C3	2.0	4541	0.0013	0.703551 ± 15	0.703544	-7.2
KV19	C4	21.2	4792	0.0128	0.703507 ± 9	0.703483	-8.7

표 3-8. 북극권 콜라반도 코브도암체의 Nd 동위원소 조성

Sample No.	Rock type	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}(t)$	$T_{\text{DM}}(\text{Ga})$
KV16	Du	nd	nd	nd	0.512348 ± 22		
KV20	Du	11.5	75.7	0.0915	0.512546 ± 7	3.3	0.8
KV30	Px	8.9	55.5	0.0974	0.512443 ± 10	1.0	0.9
KV32	Px	3.3	21.1	0.0947	0.512464 ± 12	1.6	0.9
KV5	P2	3.4	22.9	0.0889	0.512591 ± 11	4.3	0.7
KV7	P2	2.0	14.1	0.0879	0.512604 ± 9	4.6	0.7
KV1	C2	11.0	77.2	0.0860	0.512514 ± 5	3.0	0.8
KV3	C2	10.5	72.9	0.0873	0.512511 ± 13	2.8	0.8
KV14	P3	8.5	58.3	0.0884	0.512609 ± 7	4.7	0.7
KV15	P3	4.0	30.5	0.0782	0.512541 ± 6	3.9	0.7
KV39	P3	2.8	17.0	0.1009	0.512565 ± 7	3.2	0.8
KV9	C3	12.2	84.7	0.0873	0.512467 ± 7	2.0	0.8
KV18	C3	8.5	59.6	0.0865	0.512564 ± 9	3.9	0.7
KV35	C3	20.4	149.4	0.0825	0.512592 ± 10	4.6	0.7
KV37	C3	10.4	50.0	0.1260	0.512622 ± 13	3.1	0.9
KV19	C4	12.5	85.6	0.0886	0.512507 ± 4	2.7	0.8

표 3-9. 북극권 콜라반도 코브도암체의 Pb 동위원소 조성

Rock type		C2	C2	P2	C3	C3
Concentration	U (ppm)	0.04	0.03	0.24	0.12	0.01
	Th (ppm)	0.13	0.55	0.84	1.22	0.20
	Pb (ppm)	1.41	1.74	1.21	2.23	1.93
Measured ratio	206Pb/204Pb	18.754	18.481	19.138	18.674	18.668
	207Pb/204Pb	15.482	15.454	15.533	15.479	15.495
	208Pb/204Pb	38.373	38.765	38.859	38.971	38.261
u	238U/204Pb	1.81	1.03	12.58	3.41	0.33
k	232Th/204Pb	6.27	20.76	46.47	36.26	6.77
Initial ratio (at 380 Ma)	206Pb/204Pb	18.645	18.419	18.380	18.468	18.648
	207Pb/204Pb	15.476	15.451	15.492	15.468	15.494
	208Pb/204Pb	38.254	38.371	37.977	38.283	38.132

다. 연구 결과

- 두 개의 olivinite, 두개의 pyroxenite, 두개의 P2 phosdcorite, 두개의 C2 carbonatite, 세 개의 P3 phoscorite, 네 개의 C3 carbonatite, 한 개의 C4 carbonatite 등 총 16개의 시료를 대상으로 Rb-Sr과 Sm-Nd 동위원소 조성을 얻었다(그림 3-20).
- 측정된 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 의 변화폭은 0.70324-0.70507로 측정된 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 의 변화폭 (0.51246-0.51262)보다 크다. 관입연대 380Ma로 재계산한 Sr 초생치는 0.70319-0.70361로 결핍된 동위원소 조성을 보인다.
- 모든 시료에서 측정된 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 과 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 값은 정의 상관관계를 보이는데, 약 380-400 Ma의 등시선을 만들지만 이는 errorchron으로 생각된다.
- 반면 측정된 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 과 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 은 어떤 상관관계도 보여주지 않는다. 이는 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 의 변화폭이 너무 작기 때문인 것으로 생각된다.
- 측정된 Sr과 Nd 동위원소 조성을 초생치로 계산한 후 Nd-Sr 대비도에 도시하면 모든 값이 결핍된 맨틀 영역 조성을 나타냄을 알 수 있다(그림 3-21). 기존의 연구결과와 함께 비교하면 코브도 암체의 동위원소 조성의 변화폭이 비교적 큰 것으로 나타난다. 따라서 코브도 암체의 모든 암상이 폐쇄계를 유지하였던 마그마로부터 분화되었다고는 생각되지 않는다. 결과적으로 이런 특성은 코브도 암체의 각 암상들이 동위원소 적으로 불균질하였던 여러 개의 마그마로부터 유래하였던지, 아니면 두개 이상의 기원맨틀의 다양한 혼합에 의해 형성되었을 가능성을 지지한다.

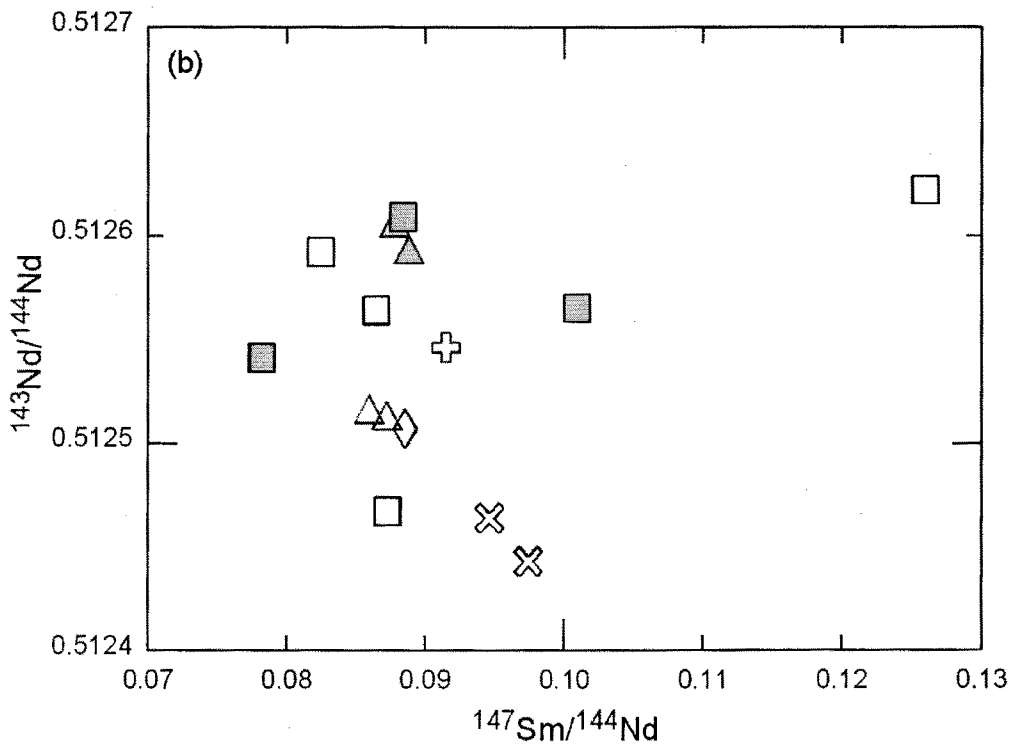
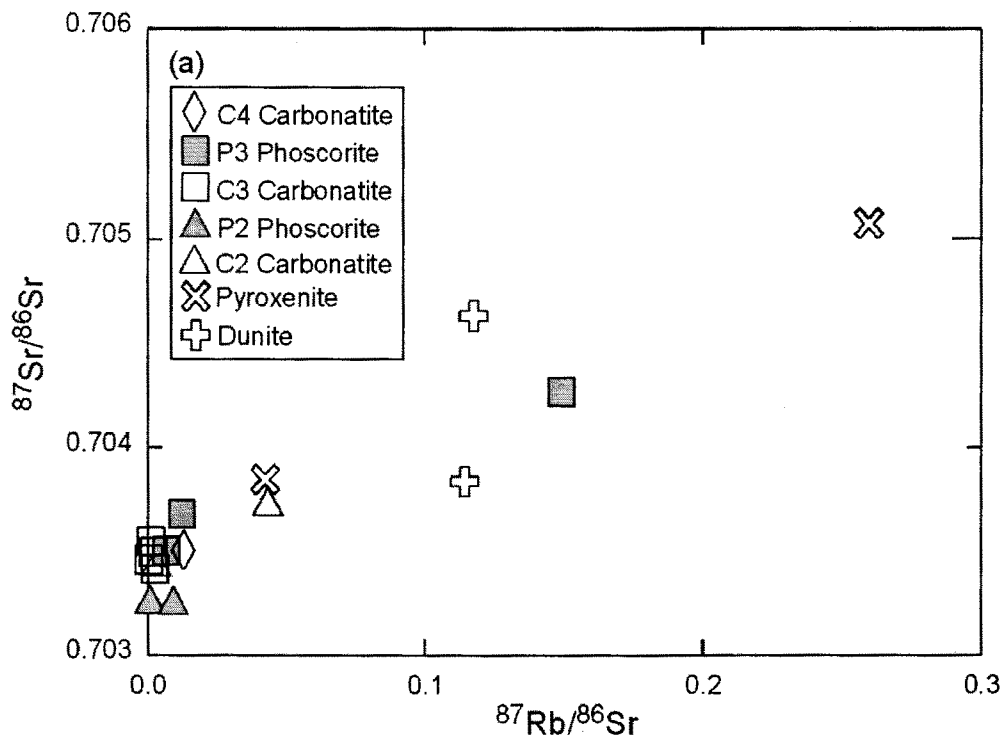


그림 3-20. 코브도암체의 Sr, Nd 동위원소 조성

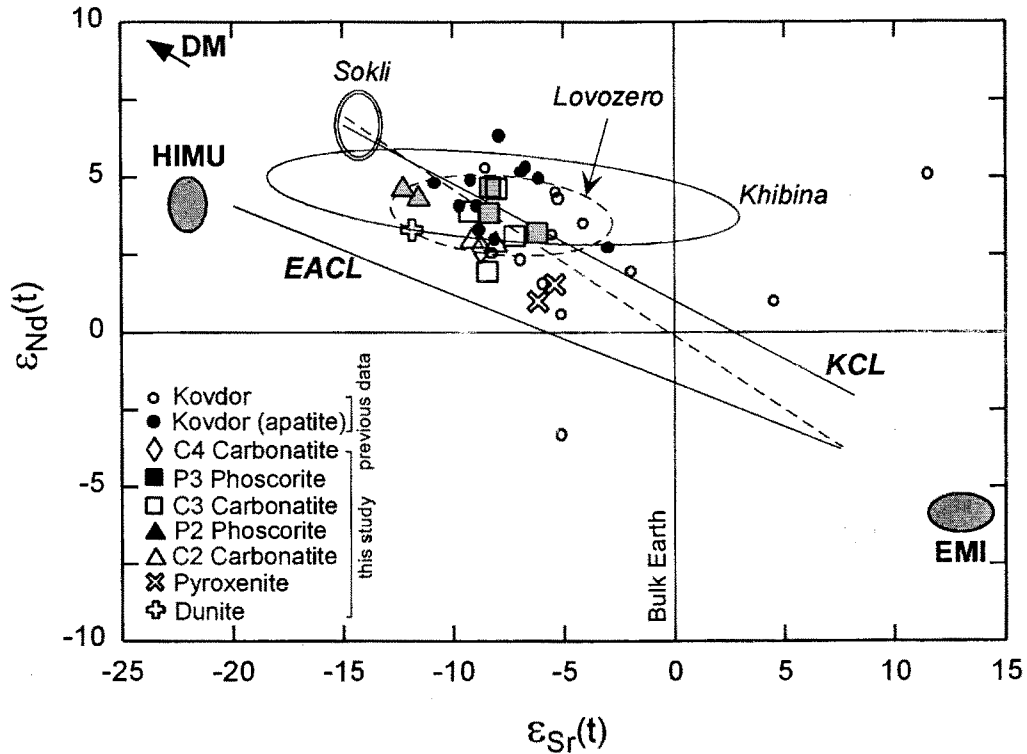


그림 3-21. 코브도암체의 $\epsilon_{Nd}(t)$ - $\epsilon_{Sr}(t)$ 대비도

- 또한 콜라반도의 다른 여러 암체(속리, 로보제로, 히바나 등)에서 측정된 Sr과 Nd의 초생치 역시 대부분 결핍된 기원맨틀로 부터 이들이 유래했다는 것을 지시한다. Sr과 Nd의 초생치들은 일반적으로 부의 상관관계를 보이며 선형으로 배열하는데, 이런 특징은 동아프리카의 카보나타이트에서 잘 나타난다. 동 아프리카 카보나타이트의 이런 특성을 East Africa Carbonatite Line(EACL) 이라고 부른다.
- Kramm(1993)은 콜라반도 카보나타이트들의 이런 특징에 주목하여 Kola Carbonatite Line(KCL)을 제안하였는데, KCL은 EACL에 비해 Sr 초생치가 같을 경우 Nd 초생치가 높은 특성을 보인다. Dunworth and Bell(2001)은 기존에 보고된 모든 자료를 종합하여 보다 새로운 KCL을 제시하였다. 본 연구에서 측정된 코브도암체의 Sr과 Nd의 초생치는 대체적으로 새로운 KCL 근처에 잘 점재된다.
- 이처럼 광역적인 자료를 이용하면 콜라반도 지역의 알칼리암-카보나타이트 복합체들을 형성시킨 기원맨틀의 조성 특성이 보다 뚜렷해진다. 그림에서와 같이 콜라반도 지역의 복합체들은 동아프리카의 카보나타이트들과는 달리 결핍된 기원 맨틀성분과 다소 부화된 기원 맨틀성분의 다양한 정도의 혼합에 의해 형성되었을 가능성이 제기된다. 속리암체의 동위원소 조성이 결핍된 기원맨틀 성분과 가장 유사했을 가능성이 매우 크다. 부화된 기원 맨틀성분의 경우는 EMI과는 다를 것으로 생각되는데, 아마도 변질 교대된 암석권 물질이

관여한 것으로 생각된다.

- Pb 동위원소 초생치는 Sr과 Nd 동위원소 초생치가 지시하지 못하는 보다 다양한 기원 맨틀 조성을 지시할 수 있다. 이는 특히 부환된 기원맨틀에서 Pb 동위원소 조성이 보다 다양하기 때문이다(그림 3-22). 이 그림에는 비교를 위해 동아프리카 카보나타이트, 철와 카보나타이트 그리고 연구대상인 코브도암체의 Sr, Nd, Pb 동위원소 초생치를 나타내었다.

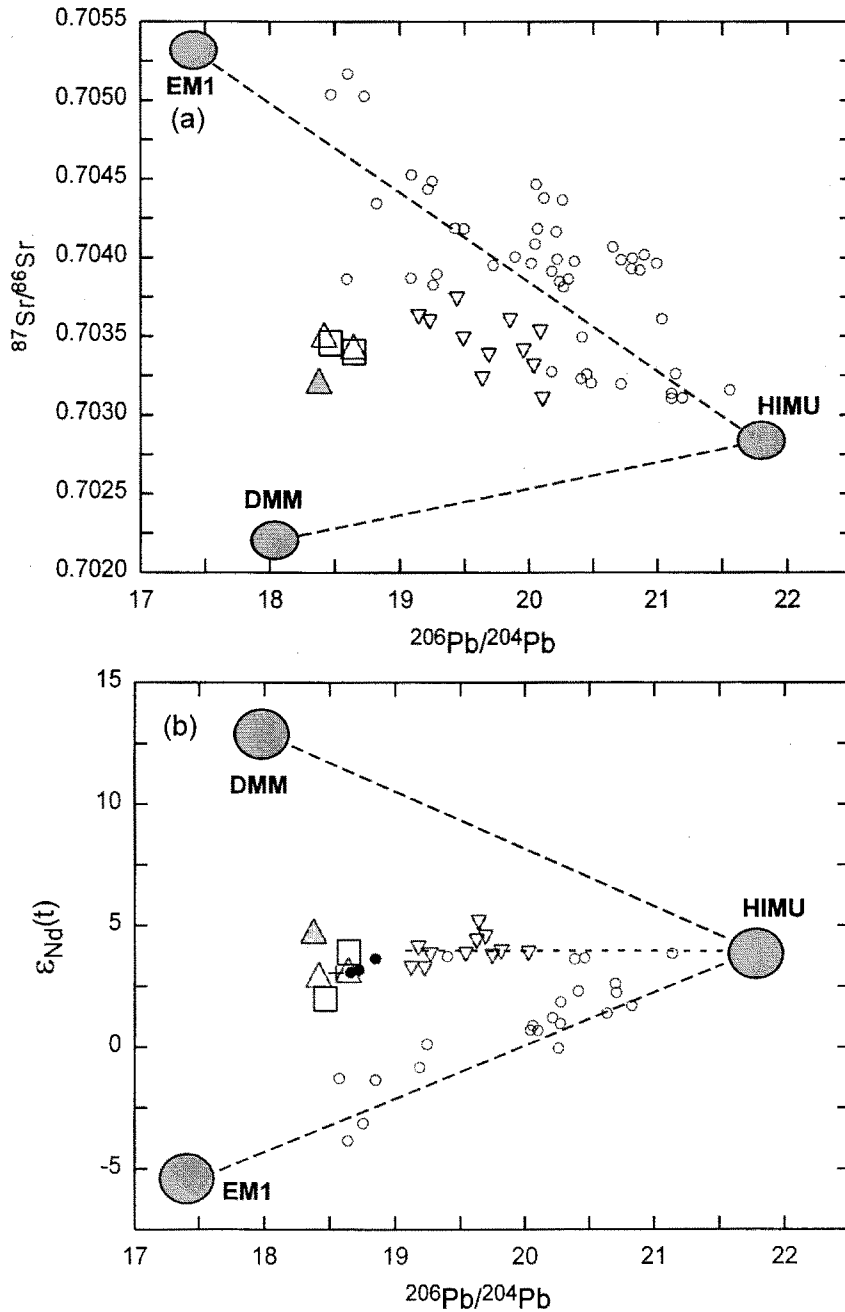


그림 3-22. 코브도암체의 Sr-Nd-Pb 동위원소 조성 대비도

- 세계적으로 연구가 많이 진행된 동아프리카 카보나타이트의 경우는 대체적으로 두개의 단성분의 혼합에 의해 형성되었음을 잘 나타낸다. 이 단성분 중 부화된 맨틀의 경우는 EMI인 것이 확실하고, 결핍된 맨틀의 경우는 HIMU일 가능성이 매우 크다. 동아프리카 카보나타이트의 Nd 동위원소 초생치의 경우 HIMU 기원맨틀의 값보다 큰 것을 찾아볼 수 없는데, 이로부터 동아프리카 카보나타이트의 형성에 DMM 성분은 거의 관여하지 않았다고 생각된다.
- 탄자니아 남부에 발달하는 철와 카보나타이트의 경우는 동아프리카 카보나타이트와 동위원소 조성이 매우 다른데, 이들은 HIMU와 또 하나의 기원맨틀 성분과의 혼합에 의해 형성되었을 가능성을 보여준다. 이 새로운 기원맨틀 조성은 DMM, EMI, HIMU 조성의 중간에 위치하고 있는데, Hauri et al.(1994)은 이 성분을 'FOZO' 으로 제안하고, 매우 원시적인 하부맨틀 조성을 대표한다고 하였다.
- 코브도 암체의 동위원소 조성도 철와 카보나타이트처럼 혼합관계를 잘 보여주지는 않지만 대체적으로 FOZO 성분과 매우 유사한 조성을 갖는다. 현재까지 KAP에는 Pb 동위원소 결과가 충분하지 않기 때문에 보다 진전된 논의가 불가능하지만 코브도암체의 형성에 FOZO와 유사한 깊은 맨틀성분이 관여했을 가능성은 매우 크다. 따라서 향후 보다 다양한 암체를 대상으로 체계적인 동위원소 조성 연구가 필요하다.

2. 북극권 콜라반도 속리복합체의 카보나타이트와 포스코라이트에서 산출되는 운모류의 광물 조성

가. 속리복합체의 개요

- 속리복합체는 콜라반도 알칼리암-카보나타이트 복합체 중 유일하게 핀란드 북부에 위치하는 암체로서 주로 초염기성암과 다양한 stage에서 형성된 phoscorite와 carbonatite로 구성되어있다.
- 속리암체 중의 대부분을 차지하는 phoscorite와 carbonatite는 경제적으로도 매우 중요한 위치를 차지하는데, 그 이유는 이 암석들이 콜라반도 지역에서 가장 높은 희유금속원소(Nb, Ta, Zr 등)를 함유하고 있기 때문이다.
- 하지만 속리암체에서 마그마 진화와 관련되어 희유금속광물의 농집 현상을 규명할 만한 광물학적 연구가 수행된 바 없다.
- 운모류(주로 phlogopite와 tetraferriphlogopite)는 속리복합체의 모든 암상에서 산출되고 그 조성변화 폭도 매우 크기때문에, 속리복합체의 모마그마의 진화과정과 이에 관련되어 희유금속광물을 농집시킨 메카니즘의 물리화학적 특성을 잘 지시해 줄 것으로 기대된다.
- 속리암체는 야외에서 노두 상태가 매우 불량하기 때문에 1967년항공 지구물리 탐사에 의해 그 존재가 밝혀졌다. 이후 niobium, apatite, iron 개발을 위한 드릴링이 많이 수행되어 지질도와 더불어 3차원적인 암상분포도도 만들어졌다(그림 3-23).
- 속리암체는 약 360 Ma(고생대 데본기)에 선캄브리아 시대의 기반암을 관입했고, 현재는 동심원적 조성 분대를 보이는 cone 형태의 암체를 이루고있다. 지표에서는 직경 6.4 km의 원형을 보이지만 지하로 갈수록 급경사로 암체의 크기가 작아진다. 암체는 크게 주변부의 metacarbonatite zone과 중심부의 magmatic core로 형성되어 있는데, 중심부 암체가 다양한 phoscorite와 carbonatite로 구성되어 있다.
- 조암광물의 조합에 따라 구분하면 최소 5단계의 phoscorite와 carbonatite로 구분할 수 있는데 초기의 세 단계 카보나타이트는 모두 방해석(calcite)을 함유한 calcite carbonatite로서 각각 C1 카보나타이트, C2 카보나타이트, C3 카보나타이트로 구분된다. 이에 동반되는 phoscorite는 각각 P1 phoscorite, P2 phoscorite, P3 phoscorite로 구분한다. 동반되는 phoscorite와 carbonatite를 모아 phoscorite-carbonatite complex(PCC)로 부른다. 후기 두 단계의 카보나타이트는 phoscorite를 동반하지 않고 dolomite를 함유하기 때문에 dolomite carbonatite로 구분하고 각각 D4 카보나타이트와 D5 카보나타이트로 부른다.

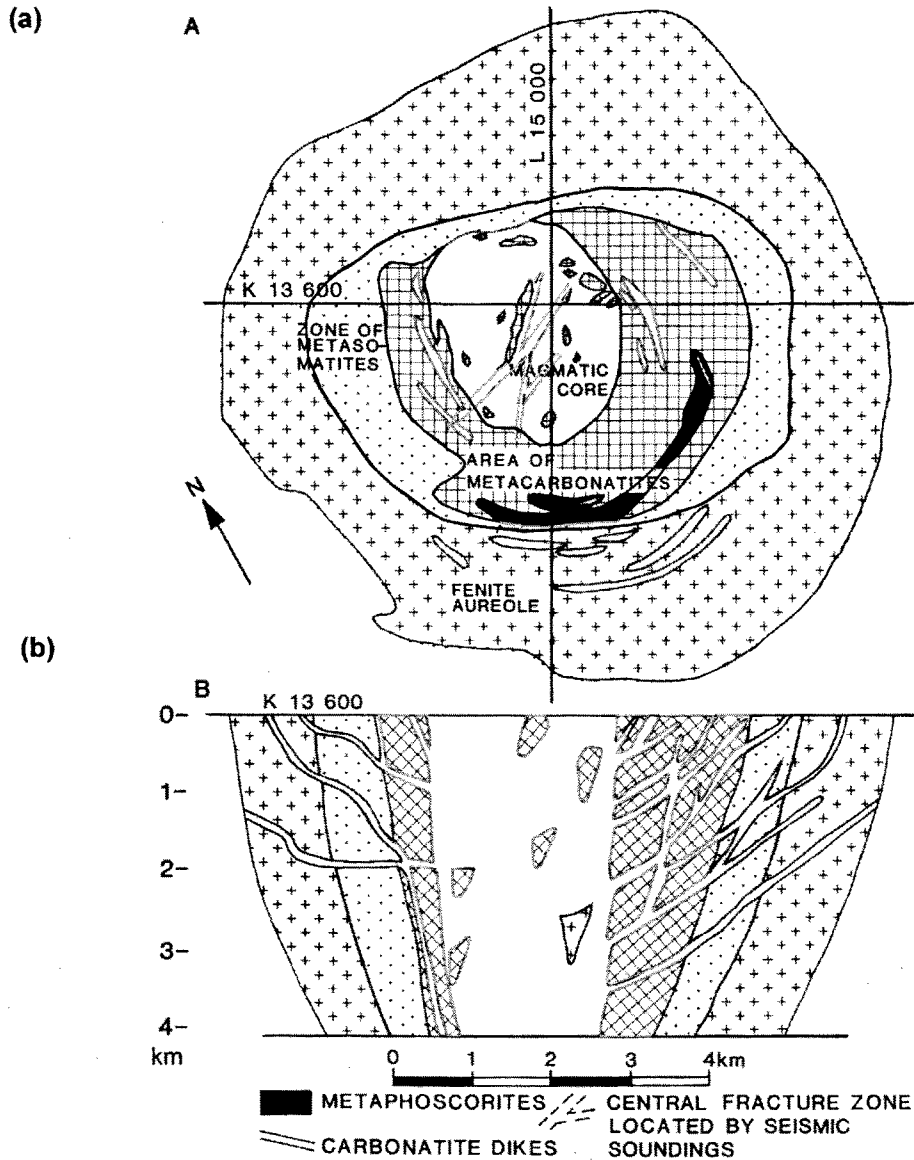


그림 3-23. 속리암체의 지질도와 단면도

- P1-P3 phoscorite와 C1-C3 carbonatite는 중립질 내지는 조립질 암석으로 주로 방해석, 인회석, 자철석, 감람석, 운모류로 구성되어 있다. 방해석의 함량 차이에 의해 쉽게 phoscorite와 carbonatite로 구분되지만, phoscorite의 경우가 일반적으로 자철석, 규산염광물 그리고 Nb-Zr 광물(baddeleyite, pyrochlore, zirconolite)의 함량이 높다.
- 감람석은 P1C1 그룹에서 주된 규산염광물로 산출되고, P2C2 그룹에서는 clinohumite로 교대된다. 운모류는 후기 PCC로 갈수록 우세해지는데, tetraferriphlogopite의 경우는 P1C1 그룹에서는 존재하지 않고, P2C2 그룹에서는 phlogopite의 주변부에 나타나며, P3C3 그룹

에서는 가장 주된 규산염광물로 산출된다.

-Nb-Zr 광물의 경우도 각 단계별로 특징적인 광물조합을 보인다. P1C1 그룹에서는 baddeleyite만 산출되고, P2C2 그룹에서 처음으로 pyrochlore가 나타나며, 이 광물의 함량은 P3C3 그룹에서 가장 많아진다. D5 카보나타이트에서는 Sr-Ba-LREE 탄산염광물과 황화광물이 산출된다.

나. 운모류의 산출상태

- 금운모(phlogopite)의 형태는 자형의 거정광물(최대 5 cm)에서부터 타형의 세립질 광물까지 매우 다양하다. 대부분의 광물은 성분차이에 의한 누대구조를 보인다.
- 초기의 P1C1 그룹과 P2C2 그룹에서 phlogopite는 일반적으로 자형이며, 약한 다색성을 보인다. 하지만 P2C2 그룹에서 산출되는 phlogopite의 rim에서는 오렌지색의 다색성을 보이는데 이는 tetrahedral site의 Al이 결핍된 운모로 변했기 때문이다.
- 후기 단계로 갈수록 tetraferriphlogopite 성분이 증가하며, P3C3 그룹 이후에서는 tetraferriphlogopite가 주된 운모로 산출된다.
- 일부 이차적인 tetraferriphlogopite가 P2C2 그룹에서 나타나는데, 이는 감람석의 가상(pseudomorph)으로 산출된다. 이런 이차적인 tetraferriphlogopite는 흔히 자철석을 동반하고, 일차 tetraferriphlogopite와는 화학조성 차이가 크기때문에 쉽게 구분된다.

다. 실험 방법

- 현미경 관찰에 의해 산출상태에 따른 분류를 한 후, 운모류의 화학조성을 전자현미분석기로 측정하였다.
- 전자현미분석(EPMA)은 프랑스 빠리VI 대학에서 CAMEBAX와 CAMECA SX50으로 실시하였다.
- 전자현미분석기의 작동 조건은 다음과 같다.
 - accelerating voltage : 15 kV
 - beam current : 10 nA
 - spot size : 10 μ m
 - counting time : 20 seconds
- 분석결과는 표 3-10로 나타내었다.

라. 연구 결과

- 속리암체의 phoscorite와 carbonatite에서의 거의 모든 운모류는 phlogopite-tetraferriphlogopite 계열의 화학조성을 보인다(그림 3-24). phlogopite의 Mg-number($Mg/(Mg+Fe^{2+})$)는 비교적 좁은 범위의 변화폭을 보이지만 P1C1 그룹에서 최후기의 D5 카보나타이트로 갈수록 감소한다. TiO_2 의 함량도 비교적 낮지만 후기 암상으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다.

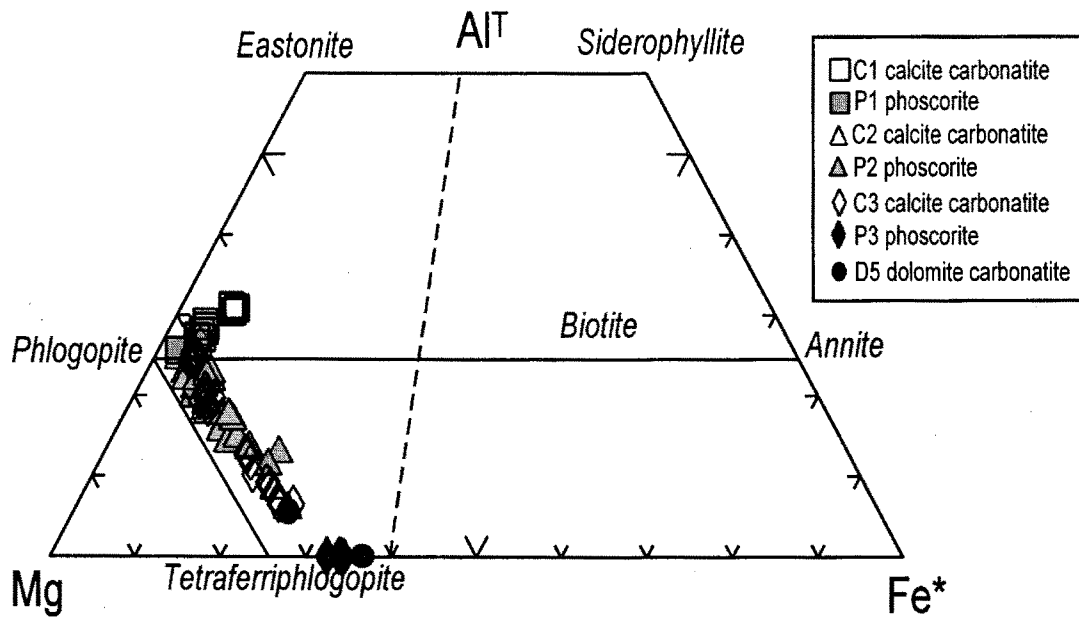


그림 3-24. 속리암체 운모류의 Mg-Al-Fe 조성변화

- phlogopite의 tetrahedral site의 조성변화를 보면 phlogopite-tetraferriphlogopite 계열의 모든 조성변화를 보임을 알 수 있다(그림 3-25).

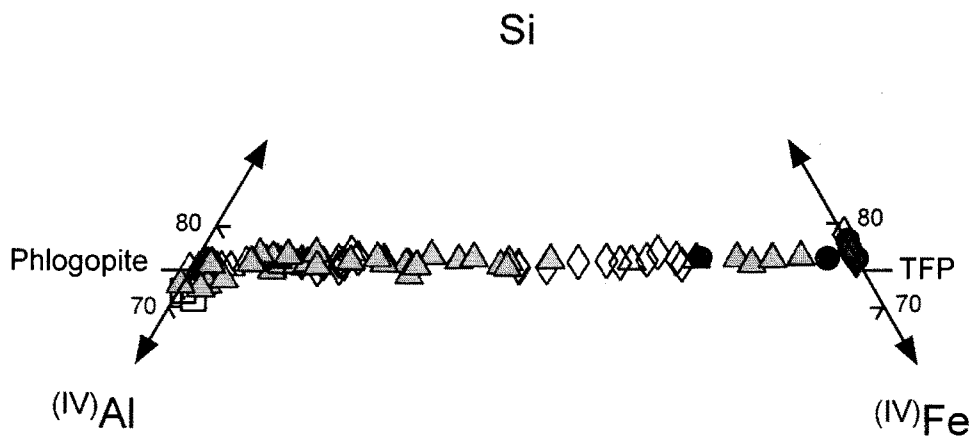


그림 3-25. 속리암체 운모류의 Al-Si-Fe 조성변화

즉 운모류의 조성변화에서 가장 큰 특징은 tetrahedral site의 Al과 Fe³⁺의 치환관계임을 알 수 있다. 또 일반적으로 초기 단계의 phoscorite와 carbonatite에서의 운모류는 같은 단계에서 기본적으로 동일한 조성을 보인다. 반면 후기단계로 갈수록 phoscorite의 phlogopite의 rim의 조성변화가 carbonatite의 phlogopite의 rim의 조성변화보다 훨씬 커짐을 알 수 있다.

- P3C3 그룹과 P2 phoscorite에서 때때로 phlogopite가 매우 큰 조성변화를 보인다(그림 3-26). 이 경우 하나의 광물에서 phlogopite에서 Al-deficient phlogopite까지의 큰 조성변화를 보이는데, 이는 tetraferriphlogopite가 마그마로부터 정출했음을 지시한다.

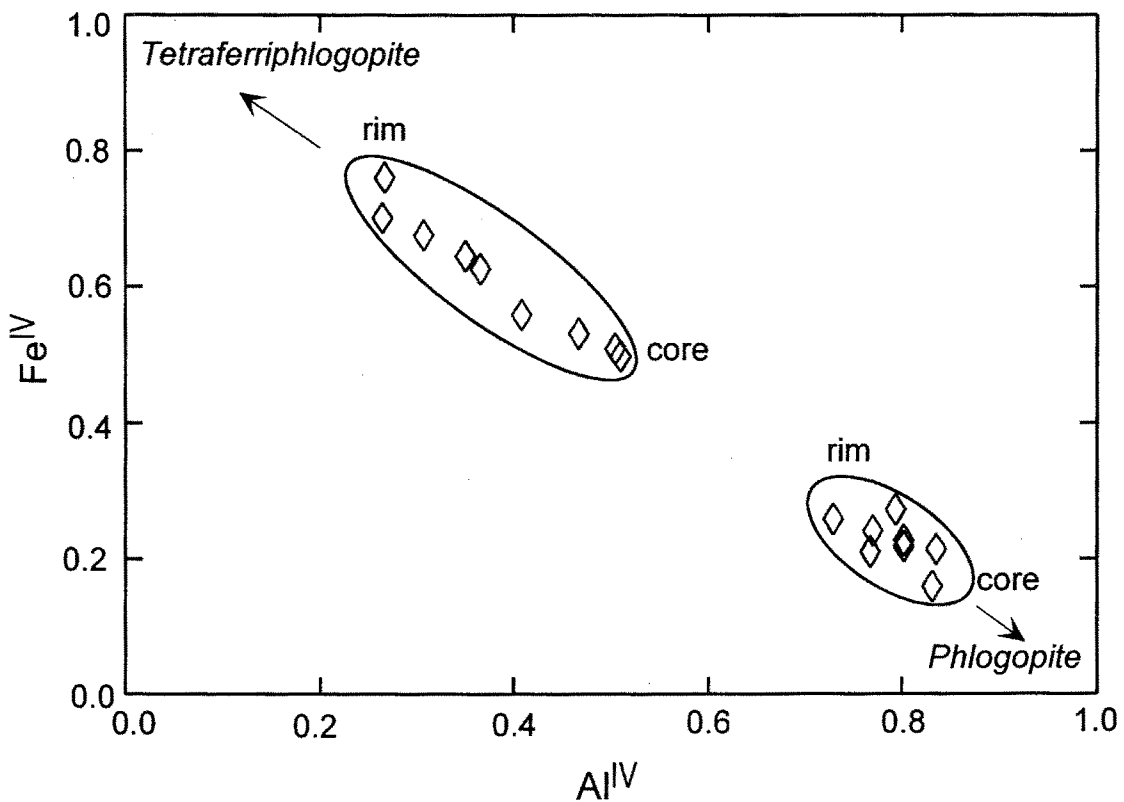


그림 3-26. 속리암체 운모류의 Fe-Al 조성변화

- 운모류에서 tetrahedral site의 변화 외에도 interlayer site의 조성변화도 비교적 크다(그림 3-27). C1 카보나타이트의 경우 interlayer site의 20-40%를 Na이 차지하고 있는 sodic phlogopite가 산출되고, P2C2 그룹에서는 이 site에 Na이 10-15% 정도를 점하고 있으며, C3와 D5 암상에서는 5%이하로 줄어든다. 또 운모류의 Ba과 Al의 상관관계를 살펴보면 P1C1 그룹에서 Ba 함량의 증가가 두드러짐을 알 수 있다. 따라서 Ba의 급격한 증가는 eastonite 치환에 동반됨을 알 수 있다.

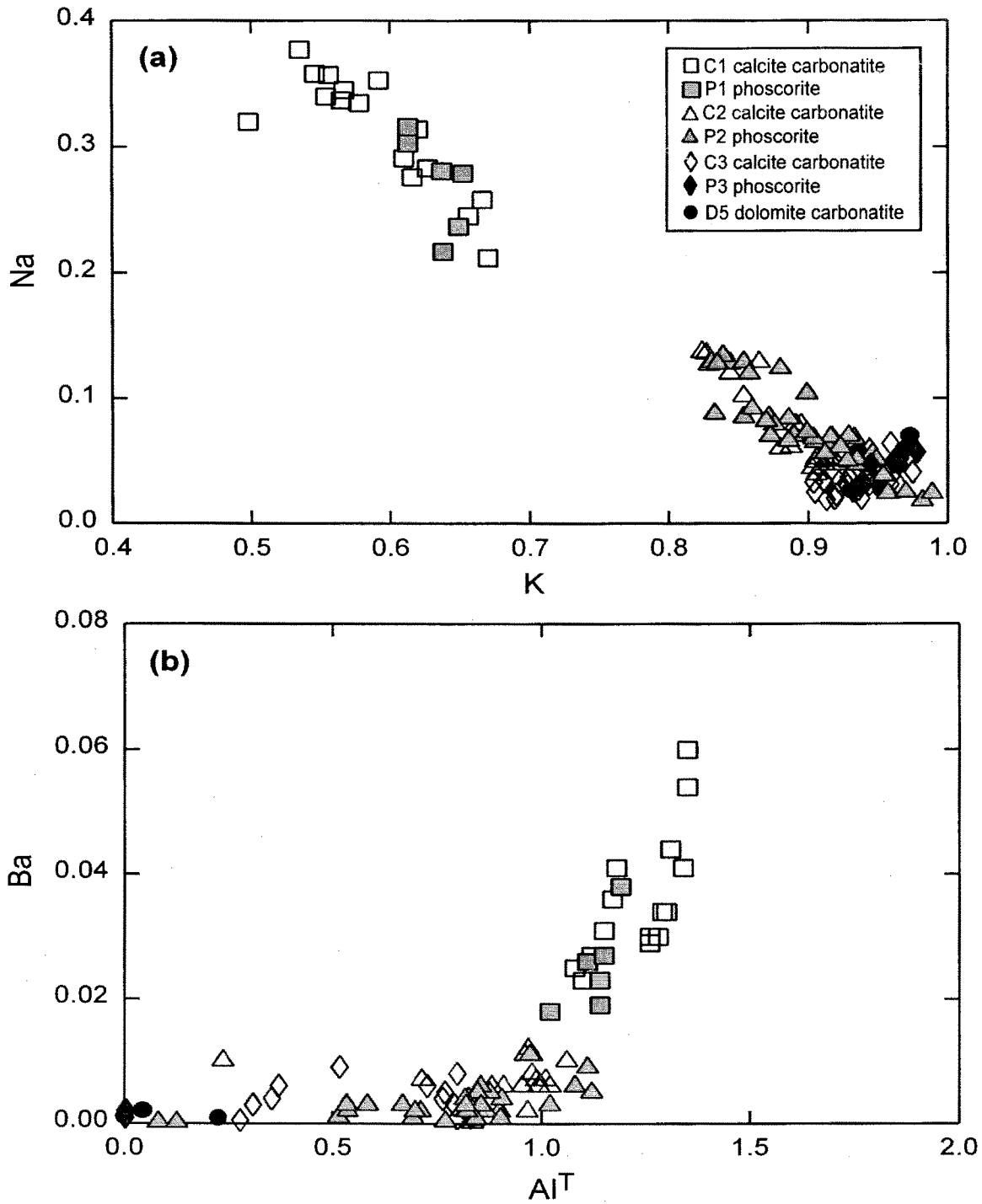


그림 3-27. 속리암체 운모류의 (a) Na-K와 (b) Ba-Al 조성변화

- 할로겐원소인 F의 경우 분산이 심하긴 하지만 초기단계에서 후기단계로 갈수록 운모류에의 농집정도가 증가함을 알 수 있다(그림 3-28).

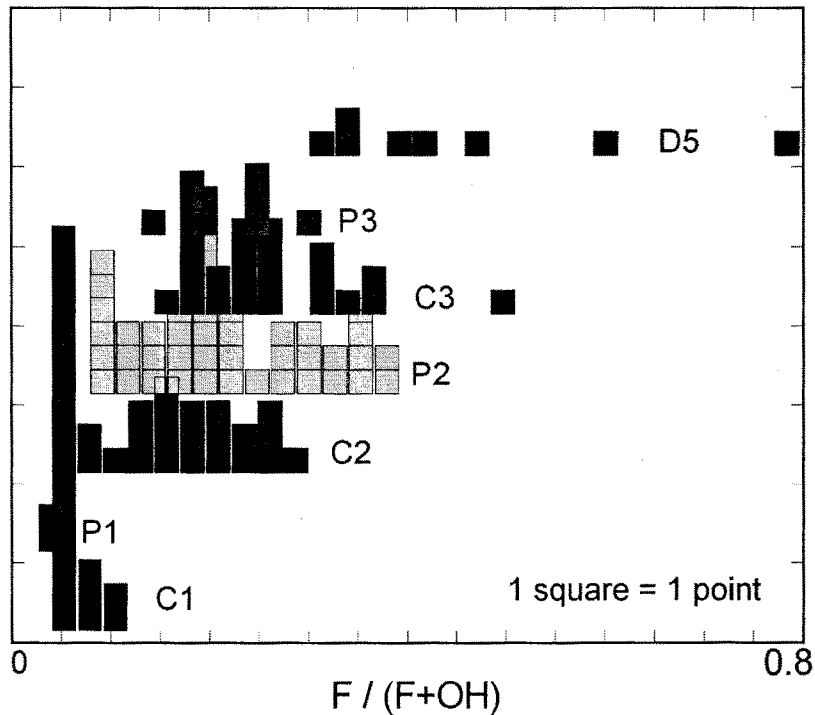


그림 3-28. 속리암체 운모류의 F/(F+OH) 농도변화

- 이 연구로부터 속리암체에서 마그마의 진화과정을 가장 잘 지시하고 있는 광물은 역시 운모류임을 알 수 있고, 운모류의 화학조성 변화와 함께 Nb, Zr을 함유한 희유금속광물의 산출상태도 크게 변함을 알 수 있다. P2C2와 P3C3 그룹, 즉 후기그룹으로 갈수록 동일단계의 phoscorite와 카보나타이트에서 phlogopite의 rim 조성변화가 점점 커짐을 알 수 있는데, 이는 양자를 형성시킨 잔류 마그마의 조성차이가 점점 커졌음을 지시한다.
- 결론적으로 카보나타이트-phoscorite 복합체에서 운모류의 화학조성 변화를 계통적으로 추적하면 동반되는 희유금속광물의 종류를 예상할 수 있기 때문에, 운모류의 조성 변화는 희유금속광물의 탐사지시자로 활용할 수 있다.

표 3-10. 속리암체 운모류의 화학조성

Sample	434R206		469R194		537R166		393R224	
Rock Type	C1		C2		C2		C3	
	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim
SiO ₂	39.66	39.72	42.26	41.92	42.92	41.12	42.26	41.27
Al ₂ O ₃	15.22	15.06	11.60	12.11	10.99	2.71	9.16	3.56
Cr ₂ O ₃	0.00	0.03	0.10	0.09	0.16	0.00	0.00	0.08
TiO ₂	0.42	0.28	0.16	0.22	0.09	0.06	0.11	0.06
MgO	24.92	24.85	26.97	26.41	27.49	25.46	27.04	25.73
FeO*	4.49	4.35	2.86	2.74	3.06	14.62	5.69	13.42
MnO	0.22	0.20	0.13	0.12	0.07	0.17	0.05	0.00
NiO	0.00	0.02	0.12	0.00	0.00	0.06	0.00	0.05
CaO	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.08	0.05	0.03
BaO	1.10	1.05	0.09	0.22	0.23	0.34	0.17	0.09
Na ₂ O	2.07	2.12	0.28	0.42	1.01	0.55	0.23	0.22
K ₂ O	6.98	6.75	10.05	10.06	9.20	9.45	10.39	9.89
F	0.37	0.20	0.78	0.64	0.89	0.56	0.99	0.76
Total	95.45	94.63	95.39	94.95	96.12	95.18	96.14	95.15
Si	2.800	2.810	2.990	2.980	3.010	3.040	3.010	3.030
Al ^{IV}	1.200	1.190	0.966	1.020	0.909	0.236	0.769	0.370
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.047	0.001	0.079	0.727	0.223	0.603
Al ^{VI}	0.060	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.022	0.015	0.008	0.012	0.005	0.003	0.006	0.003
Fe ³⁺	0.114	0.083	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	2.620	2.620	2.840	2.800	2.880	2.800	2.870	2.830
Fe ²⁺	0.151	0.175	0.122	0.153	0.101	0.176	0.116	0.163
Mn	0.013	0.012	0.008	0.007	0.004	0.011	0.003	0.006
Ca	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.006	0.004	0.006
Ba	0.030	0.029	0.002	0.006	0.006	0.010	0.005	0.006
Na	0.283	0.291	0.039	0.057	0.137	0.079	0.031	0.033
K	0.627	0.610	0.906	0.913	0.824	0.891	0.944	0.922
Al ^T	1.260	1.260	0.966	1.020	0.909	0.236	0.769	0.370
Fe ^{3+T}	0.114	0.083	0.047	0.011	0.079	0.727	0.223	0.603
Fe ^{**}	0.264	0.258	0.169	0.163	0.179	0.903	0.339	0.766
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.946	0.937	0.959	0.948	0.966	0.941	0.961	0.946

표 3-10. 속리암체 운모류의 화학조성(계속)

Sample	550R196		434R203		SS2		387R73	
Rock Type	D5		P1		P2		P2	
			core	rim	core	rim	core	rim
SiO ₂	40.33	40.62	40.78	41.33	41.88	41.95	42.13	41.60
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	14.39	13.73	10.74	8.14	10.70	7.87
Cr ₂ O ₃	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
TiO ₂	0.06	0.04	0.27	0.29	0.21	0.06	0.10	0.11
MgO	23.15	23.29	26.23	26.24	26.37	25.91	27.13	26.57
FeO*	17.99	18.75	2.59	2.99	5.04	7.76	3.02	7.72
MnO	0.13	0.05	0.07	0.05	0.13	0.14	0.04	0.08
NiO	0.05	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
CaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
BaO	0.14	0.05	1.39	0.71	0.08	0.03	0.03	0.12
Na ₂ O	0.47	0.39	2.06	2.05	0.62	0.74	0.18	0.44
K ₂ O	9.82	9.56	7.10	7.27	9.63	9.75	10.63	10.05
F	3.19	2.41	0.17	0.15	0.79	0.31	1.25	0.66
Total	95.36	95.25	95.12	94.81	95.53	94.79	95.23	95.28
Si	3.130	3.120	2.870	2.900	2.980	3.030	3.010	3.000
Al ^{IV}	0.000	0.000	1.130	1.100	0.900	0.693	0.902	0.668
Fe ³⁺	0.869	0.882	0.000	0.000	0.125	0.275	0.086	0.337
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.061	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.004	0.002	0.014	0.015	0.011	0.003	0.005	0.006
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.032	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	2.680	2.660	2.750	2.750	2.790	2.790	2.890	2.850
Fe ²⁺	0.299	0.322	0.120	0.142	0.175	0.194	0.095	0.128
Mn	0.009	0.003	0.004	0.003	0.008	0.008	0.003	0.005
Ca	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
Ba	0.004	0.001	0.038	0.019	0.002	0.001	0.001	0.003
Na	0.070	0.057	0.281	0.279	0.085	0.104	0.025	0.061
K	0.973	0.936	0.637	0.652	0.872	0.899	0.970	0.923
Al ^T	0.000	0.000	1.190	1.140	0.900	0.693	0.902	0.668
Fe ^{3+T}	0.869	0.882	0.032	0.034	0.125	0.275	0.086	0.337
Fe ^{**}	1.170	1.200	0.153	0.175	0.299	0.469	0.181	0.465
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.900	0.892	0.958	0.951	0.941	0.935	0.968	0.957

표 3-10. 속리암체 운모류의 화학조성(계속)

Sample	528R107		537R153A	393R164B	550R200		
	P2		P2	P3	P3		
	core	rim	core		core	rim	rim
SiO ₂	41.81	41.36	42.47	39.88	40.99	40.05	40.61
Al ₂ O ₃	10.82	5.97	10.79	0.06	2.58	0.02	13.86
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO ₂	0.11	0.00	0.07	0.06	0.04	0.01	0.27
MgO	26.71	24.68	27.28	23.57	25.30	23.26	26.15
FeO*	4.87	12.53	3.33	18.64	14.69	20.70	2.89
MnO	0.01	0.11	0.02	0.09	0.16	0.20	0.08
NiO	0.00	0.00	0.03	0.06	0.02	0.01	0.00
CaO	0.00	0.05	0.22	0.02	0.01	0.01	0.01
BaO	0.15	0.04	0.00	0.05	0.03	0.04	0.85
Na ₂ O	0.50	0.27	0.48	0.33	0.23	0.18	0.38
K ₂ O	10.13	10.23	9.80	9.77	9.91	9.85	10.14
F	1.33	1.38	1.35	1.10	1.66	1.31	1.83
Total	96.45	96.60	95.82	93.62	95.60	95.64	97.07
Si	2.970	3.020	3.010	3.070	3.040	3.040	2.880
Al ^{IV}	0.905	0.514	0.901	0.005	0.226	0.002	1.120
Fe ³⁺	0.127	0.462	0.089	0.923	0.730	0.959	0.000
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034
Ti	0.006	0.000	0.003	0.003	0.002	0.001	0.014
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.066
Mg	2.830	2.690	2.880	2.710	2.800	2.630	2.760
Fe ²⁺	0.162	0.304	0.108	0.278	0.183	0.354	0.105
Mn	0.001	0.007	0.001	0.006	0.010	0.013	0.005
Ca	0.000	0.004	0.017	0.001	0.001	0.001	0.001
Ba	0.004	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.024
Na	0.069	0.038	0.066	0.049	0.032	0.027	0.052
K	0.917	0.954	0.886	0.961	0.939	0.953	0.916
Al ^T	0.905	0.514	0.901	0.005	0.226	0.002	1.160
Fe ^{3+T}	0.127	0.462	0.089	0.923	0.730	0.959	0.066
Fe ^{**}	0.289	0.766	0.197	1.200	0.912	1.310	0.171
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.946	0.898	0.964	0.907	0.939	0.881	0.963

3. ICP-MS를 이용한 알칼리암의 희토류원소 정량분석

가. 서론

지구화학 분야에 있어서 희토류원소는 지각의 생성모델이나 맨틀의 진화에 대한 정보를 제공하기 때문에 아주 중요하다. 그러나 암석시료에 있어서 희토류원소의 함량은 수십ppb에서 수백ppm으로 아주 낮기 때문에 희토류원소 농도를 정확하게 분석하기는 쉽지 않다. 현재 희토류원소 분석을 위해 사용되는 분석기기로는 유도결합플라즈마 질량분석기(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: ICP-MS), 열이온화 질량분석기(Thermal Ionization Mass Spectrometer: TIMS; Nagasawa 1970; Kay and Gast 1973; Fujimaki 1986), 이차이온 질량분석기(Secondary Ion Mass Spectrometer:SIMS; Metson *et al.* 1984; MacRae and Metson 1985; Fahey *et al.* 1987; Shimizu and Richardson 1987), SHRIMP(Sensitive High Resolution Ion Microprobe; Mass *et al.* 1992; Hoskin 1998; Sano *et al.* 1999; Sano and Terada 2001; Sano *et al.* 2002) ,또는 INAA(Instrumental Neutron Activation Analysis; Potts *et al.* 1973; Murali *et al.* 1983; Heaman *et al.* 1990) 등이 사용되고 있다.

이들 분석기기 중에 ICP-MS는 다른 분석기기에 비하여 특별한 농집이나 분리과정 없이 많은 원소를 짧은 시간에 분석할 수 있어 지질시료의 미량원소나 희토류원소의 분석에 많이 이용되고 있다. 특히 ICP-MS는 검출한계가 낮고 정밀도가 좋아 적은 양의 시료로도 좋은 분석결과를 얻을 수 있다(Lichte *et al.* 1987; Jarvis 1988, Jarvis *et al.* 1992). 그러나 ICP-MS의 분석에 있어서도 여전히 암석시료를 용액화하여 수용액 상태로 시료를 분석해야하기 때문에 경희토류의 산화물이나 수산화물에 의한 중희토류에의 질량간섭은 정확한 희토류원소의 농도 측정에 어려움을 주고 있다(Vaughan and Horlick 1986; May and Wiedmeyer 1998; Aries *et al.* 2000). 최근에는 레이저를 이용하여 고체 시료를 직접 분석하는 기법(Bea *et al.* 1996; Gao *et al.* 2002)이 개발되어 시료 전처리 문제와 질량간섭에 따른 오차를 획기적으로 개선되었지만 아직 국내에선 이러한 분석기법이 활발하게 활용되고 있지 못하다.

이 연구의 목적은 한국해양연구원의 ICP-MS를 이용한 알칼리암의 희토류원소 분석에 있어서 시료의 전처리 방법과 희석비에 따른 분석결과의 차이, 산화물에 의한 질량간섭의 보정 방법을 살펴보고 다른 기관에서 분석된 결과와의 상호 비교를 통해 신뢰할 만한 분석방법을 개발하는 것이다.

나. 분석방법

분석기와 시약

분석에 사용된 ICP-MS는 한국해양연구원이 보유한 Elan 6100(Perkin Elmer Sciex)이며, 분석시의 기기작동 조건은 표 3-11과 같다. 분석기기의 최적조건을 구현하기 위해 10ppb Mg, Ba, Rh, Ce, Pb, U 최적화 용액을 사용하여 질량튜닝(Mass Turing), 운반가스압 조정, 이온렌즈 전압조정을 실시하였고, Ba^{2+}/Ba 비는 2%이하, CeO/Ce 비는 3%이하의 조건으로 플라즈마 세기와 운반가스압을 조정하였다. Elan 6100 ICP-MS에서는 넓은 농도 범위의 원소를 동시에 분석하기 위하여 2백만 카운트 보다 낮은 농도는 펄스 검출기를 사용하고 이보다 높은 농도는 아날로그 검출기를 사용하는 이중 검출기 장치를 사용하고 있다. 이중 검출기 사용에 따른 저농도와 고농도 표준용액 검정곡선의 오차 보정을 위하여 200ppb의 모든 희토류원소를 이용하여 이중 검출기 보정(Dual Detector Calibration)을 실시하였다. 내부표준물로는 10ppb의 Rh을 사용하였다.

검정곡선 작성을 위해 사용된 표준용액은 Inorganic Venture(미국)에서 제조한 100ppm 농도의 다금속 표준용액(CCS-1)을 사용하였다. 다금속 표준용액은 검정곡선 작성을 위해 1wt.% 질산을 이용하여 1ppb, 3ppb, 10ppb, 50ppb, 100ppb, 200ppb, 500ppb와 1000ppb의 여러 농도로 희석하였다. 희석과 시료 용해에 사용된 질산은 Supra pure급(65%, Merck사)을 사용하였으며, 실험에 사용된 물은 초순수 제조장치(미래에스티, 한국)를 이용하여 18.2M Ω -cm 이하의 초순수를 사용하였다. 암석시료의 전처리에는 Supra pure급 불산(48%, Merck사), Supra pure급 염산(30%, Merck사), 그리고 Acros Organics사(미국)의 탄산나트륨(Na_2CO_3)을 사용하였다.

표 3-11. ICP-MS의 분석조건

<i>Instrument operationg parameters</i>		<i>MS acquisition setting</i>	
Rf power	1300	Dwell time (msec)	20 to 50
Neblizer gas flow rate	0.96L/min	Number of sweeps	20
Auxiliary gas flow rate	1.2L/min	Number of replicates	3
Plasma gas flow rate	15L/min	Scan mode	Peak Hopping
Lens setting	AutoLens	MCA channels per peak	1
Neblizer type	Cross-flow	Detector	Dual
Interface cones	Nikel		

시료의 특성

분석에 사용된 암석 시료는 러시아 콜라반도(Kola Peninsula)의 코브도(Kovdor)광상에

서 산출되는 카보나타이트(carbonatite)와 포스코라이트(phoscorite) 이다. 카보나타이트는 탄산염광물의 모드 조성이 50% 이상인 화성암으로 초염기성 알칼리암과 성인적으로 밀접하게 관련되어 산출된다. 포스코라이트는 카보나타이트와 시공간적으로 밀접한 관련을 갖고 있으며 인회석, 자철석과 규산염광물로 이루어져 있다. 이들 암석에는 Ba, Nb, Sr, Ta, Th, U, Zr과 희토류원소들의 함량이 아주 높기 때문에 고품위의 희유금속광상을 동반한다(Lee *et al.* 1999; Balanganskay *et al.* 2000; Verhulst *et al.* 2000).

시료전처리

밀폐식 산 용해법

암석시료를 용해하기 위한 밀폐식 산 분해법을 시료처리 과정에 따라 기술하면 다음과 같다.

1. 아게이트 모르타르를 이용하여 암석시료를 200메쉬 이하의 고운 분말로 만든다.
2. 분말화된 시료는 건조기에 넣고 약 60°C에서 24시간 이상 건조한다.
3. 세척된 60ml 테프론 용기(Tefron bomb, Savillex, 미국)에 분말시료를 약 100mg 넣는다.
4. 염산(30%) 1ml를 넣고 잘 잠근 다음 가열판 위에서 약 150°C 정도에서 12시간 이상 가열한다.
5. 염산과의 반응이 끝난 시료는 뚜껑을 개방한 후 약 80°C 정도로 가열하면서 건조시킨다.
6. 불산(48%)과 질산(65%)을 각각 1ml씩 넣고 뚜껑을 잠근 다음 가열판 위에서 약 150°C 정도로 가열하면서 3일 정도 반응시킨다.
7. 뚜껑을 열고 가열판 위에서 완전히 건조시킨다.
8. 건조된 시료는 60ml LDPE 용기에 1 wt.% 질산용액을 이용하여 3번 이상 세척하여 옮겨 넣고 1 wt.% 질산으로 용액의 질량이 50g이 되도록 맞춘다.

탄산나트륨(Na_2CO_3) 용융

1. 세척된 탄소 도가니에 암석 분말 시료 약 100g과 탄산나트륨 분말 400mg을 넣고 잘 섞는다.
2. 시료가 든 탄소 도가니를 고온 가열로에 넣고 1050°C에서 약 30 분간 가열한다.
3. 가열이 끝난 시료에 65% 질산 용액 1ml를 넣고 가열판 위에서 200°C로 3시간 정도 가열하여 다시 한번 완전히 용해시키고 건조시킨다.
4. 용해된 시료는 1 wt.% 질산용액으로 120ml LDPE 용기에 넣고 용액의 질량을 100g으로 맞춘다.

다. 실험 결과

검출한계

ICP-MS의 검출한계는 시료분해시에 사용된 공시료 농도가 갖는 표준편차의 3배 값으로 표시한다. 시료전처리에 사용된 1wt.% 질산용액, 밀폐식 산분해법에 사용된 염산-불산-질산 용액과 탄산나트륨 용융법에 사용된 탄산나트륨과 질산에 대한 농도를 측정하고 표준편차의 3배 값으로 검출한계를 표시하였다(표 3-12). 이때 먼저 10ppb 표준 용액으로 검정 곡선을 구하고 공시료 농도를 측정하였으며, 희석배수를 곱하여 최종 농도와 검출한계를 구하였다. 희석에 사용되는 1wt.% 질산용액의 검출한계는 Ce을 제외하면 모두 1ppt 이하로서 아주 양호하다. 밀폐식 산분해법의 공시료 농도는 모두 1ppb 이하로서 암석 시료의 농도들이 모두 ppm 단위의 농도를 보이므로 분석시에 별다른 영양를 미치지 않는 것으로 보인다. 그러나 탄산나트륨 용융법의 공시료는 수ppb에서 수십 ppb의 검출한계를 보인다. 이는 탄산나트륨이 다른 산에 비하여 보다 많은 불순물을 함유하고 있기 때문으로 암석시료의 농도값에서 공시료값을 보정하였다.

표 3-12. 희토류원소의 검출한계

Element	Analytical mass	Solution (ng/l) with 1 wt.% HNO ₃	Sample Blank (µg/l)	
			Close vessel (x1000 dilution)	Na ₂ CO ₃ fusion (x2000 dilution)
La	139	0.53	0.21	18.50
Ce	140	1.10	0.70	29.34
Pr	141	0.81	0.23	3.20
Nd	146	0.35	0.42	5.28
Sm	147	0.51	0.30	2.04
Eu	151	0.88	0.33	0.72
Gd	157	0.85	0.34	2.48
Tb	159	0.29	0.30	0.60
Dy	161	0.46	0.23	1.76
Ho	165	0.63	0.16	0.94
Er	166	0.54	0.15	2.10
Tm	169	0.29	0.19	0.30
Yb	172	0.29	0.40	1.42
Lu	175	0.46	0.12	0.68

간섭 보정

ICP-MS 분석을 위한 암석 시료는 시료전처리 과정을 통해 용액화된 시료를 시료 주입장치를 통하여 분사하게 된다. 분사된 시료는 아르곤 플라즈마 상태에서 이온화 되므로 주된 매질인 물과 질산에 의한 산화물 또는 수산화물이 형성되어 질량 간섭을 일으키게 된다. 아르곤 플라즈마에서 생성되는 산화물과 수산화물의 종류와 생성비율에 대해서는 많은 연구자들에 의해 연구가 수행되었으며, 아직도 많은 연구가 진행되고 있다(Tan and Horlick 1986; Vaughan and Horlick 1986; Date *et al.* 1987; Shao and Horlick 1991; Evans and Giglio 1993; Reed *et al.* 1994; Minnich and Houk 1998; Lam *et al.* 1999; Hieftje *et al.* 1999; Becker and Dietze 1999; Houk 1999; Aries *et al.* 2000).

이들 연구자들에 의하면 아르곤 플라즈마에서 산화물 또는 수산화물이 형성되는 양은 플라즈마의 세기, 운반 가스의 유입량과 시료 주입장치의 상태(로드 코일과 샘플러와의 거리나 샘플콘이나 스키머콘의 구경)에 따라 결정된다. 분석시에 이들 조건들은 분석감도와도 밀접한 관련을 가지며, 분석감도가 좋으면서 동시에 산화물이나 수산화물이 가장 적게 형성되는 조건을 찾아야한다. 앞서 언급한 바와 같이 한국해양연구원의 ICP-MS 분석에서는 10ppb Ce 용액을 이용하여 CeO/Ce 비가 3% 이하로 되도록 플라즈마 세기와 아르곤 운반 가스압을 조정하여 분석을 수행하고 있다.

일반적인 암석시료에서는 아르곤 플라즈마에서 형성되는 산화물의 양이 3% 이하이면 이에 따른 질량간섭은 아주 미미하여 분석결과에 많은 영향을 주지는 않는다. 그러나 Ba와 희토류원소의 함량이 아주 높은 암석시료에서는 아르곤 플라즈마에서 형성된 산화물과 수산화물은 분석결과에 많은 영향을 준다. 특히 카보나타이트와 포스코라이트에는 Ba가 수백 ppm에서 수천 ppm 함유되어 있고, La, Ce, Pr, Nd 등의 경희토류원소도 수십 ppm에서 수백 ppm의 농도 범위를 보이고 있어 이들 원소에 의한 산화물과 수산화물은 농도가 수 ppm이하인 중희토류원소의 농도값에 영향을 미치게 된다.

표 3-13에서는 희토류원소의 농도에 영향을 미치는 산화물이나 수산화물의 종류와 이에 따른 보정식을 표시하였다. 표3-13에 제시된 산화물이나 수산화물 이외에도 희토류원소 분석에 영향을 줄 수 있는 산화물이나 수산화물은 매우 많다. 예를 들면, 질량번호 157번을 이용하여 Gd을 분석할 경우에 예상되는 산화물은 $^{139}\text{La}^{18}\text{O}$, $^{140}\text{Ce}^{17}\text{O}$ 와 $^{141}\text{Pr}^{16}\text{O}$ 가 있으며, 수산화물로는 $^{138}\text{La}^{18}\text{OH}$, $^{139}\text{La}^{17}\text{OH}$ 와 $^{140}\text{Ce}^{16}\text{OH}$ 가 있다. 그러나 질량번호 17과 18의 산소는 자연상태에서 존재하는 비가 16에 비해 아주 낮기 때문에($^{16}\text{O}=99.762\%$, $^{17}\text{O}=0.038\%$, $^{18}\text{O}=0.200\%$) 이들에 의해 형성되는 산화물과 수산화물은 무시할 수 있다. 또한 ^{138}La 와 ^{139}La 는 각각 자연계에 0.0902%와 99.9098%의 존재비를 보이므로 ^{138}La 에 의한 질량간섭도 아주 미미하다. 그러므로 ^{157}Gd 의 농도에 가장 큰 영향을 미치는 산화물과 수산화물은 $^{141}\text{Pr}^{16}\text{O}$ 와 $^{140}\text{Ce}^{16}\text{OH}$ 이다.

표 3-13의 계산에 따르면 측정된 농도에 비해 Gd과 Tm은 약 20%~30%의 농도가 감소하고, Tb와 Er은 10%~20% 정도 감소한 반면, Eu, Ho와 Yb는 보정에 따른 변화폭이 10%이하이다. 이러한 보정결과는 카보나타이트와 포스코라이트의 희토류원소 농도를 원시운석(Chondrite) 값으로 규격화하여 도시하였을 때 잘못된 패턴을 보이게 되므로 주의해야 한다. 즉, 그림3-29A의 보정하지 않은 농도값으로 규격화한 도표에서는 Gd의 이상치가 뚜렷이 나타나며, Tm에서도 약간의 이상치가 관찰되나, 질량간섭을 보정한 그림 3-29B에서는 Gd이나 Tm의 이상치가 거의 나타나지 않는다.

표 3-13. 희토류원소의 간섭상 및 보정식

Element	Mass	Interfernces	Correction equation
La	139		
Ce	140		
Pr	141		
Nd	146	^{130}BaO	$-0.000080*^{130}\text{Ba}$
Sm	147	$^{130}\text{BaOH}$	$-0.000005*^{130}\text{Ba}$
Eu	151	$^{135}\text{BaO}, ^{134}\text{BaOH}$	$-0.000754*^{135}\text{Ba}-0.000189*^{134}\text{Ba}$
Gd	157	$^{141}\text{PrO}, ^{140}\text{CeOH}$	$-0.02031*^{141}\text{Pr}-0.000515*^{140}\text{Ce}$
Tb	159	$^{143}\text{NdO}, ^{142}\text{CeOH}, ^{142}\text{NdOH}$	$-0.0133349*^{143}\text{Nd}-0.000144*^{142}\text{Ce}-0.000592*^{142}\text{Nd}$
Dy	161	$^{145}\text{NdO}, ^{144}\text{NdOH}$	$-0.009086*^{145}\text{Nd}-0.000373*^{144}\text{Nd}$
Ho	165	$^{149}\text{SmO}, ^{148}\text{NdOH}$	$-0.002118*^{149}\text{Sm}-0.00010*^{148}\text{Nd}$
Er	166	$^{150}\text{NdO}, ^{150}\text{SmO}, ^{149}\text{SmOH}$	$-0.00560*^{150}\text{Nd}-0.002118*^{149}\text{Sm}$
Tm	169	$^{153}\text{EuO}, ^{152}\text{SmOH}, ^{152}\text{GdOH}$	$-0.00067*^{153}\text{Eu}-0.00032*^{152}\text{Sm}-0.000032*^{152}\text{Gd}$
Yb	172	$^{156}\text{GdO}, ^{156}\text{DyO}, ^{155}\text{GdOH}$	$-0.001256*^{156}\text{Gd}-0.00001*^{156}\text{Dy}-0.000073*^{155}\text{Gd}$
Lu	175	$^{159}\text{TbO}, ^{158}\text{GdOH}, ^{158}\text{DyOH}$	$-0.01235*^{159}\text{Tb}-0.001159*^{158}\text{Gd}-0.00462*^{158}\text{Dy}$

용해방법과 희석비에 따른 결과 비교

산에 의한 암석 시료의 용해에는 화학적 친화성, 산화도, 유용성, 순도와 비용면에서 질산이 많이 사용된다. 특히 질산과 함께 불산을 사용함으로써 규산염광물의 용해에 탁월한 효과를 보여준다. 그러나 질산과 불산을 이용한 산분해법은 암석시료 중의 전이원소 분석에는 유용하지만 희토류원소의 분석에는 어려움이 있다. 이는 산분해법에 의한 암석시료 용해에는 난용성 광물의 완전한 분해가 힘들어 실제 원소 농도 보다 낮은 농도

값을 보일 수 있기 때문이다. 특히 대표적인 난용성 물질인 저어콘이나 모나자이트 등은 산분해법으로는 50% 이상 분해하기 힘들고, 이들 광물이 희토류 원소를 많이 포함하기 때문에 난용성 광물을 많이 함유한 암석시료는 산분해법으로 정확한 희토류원소의 농도

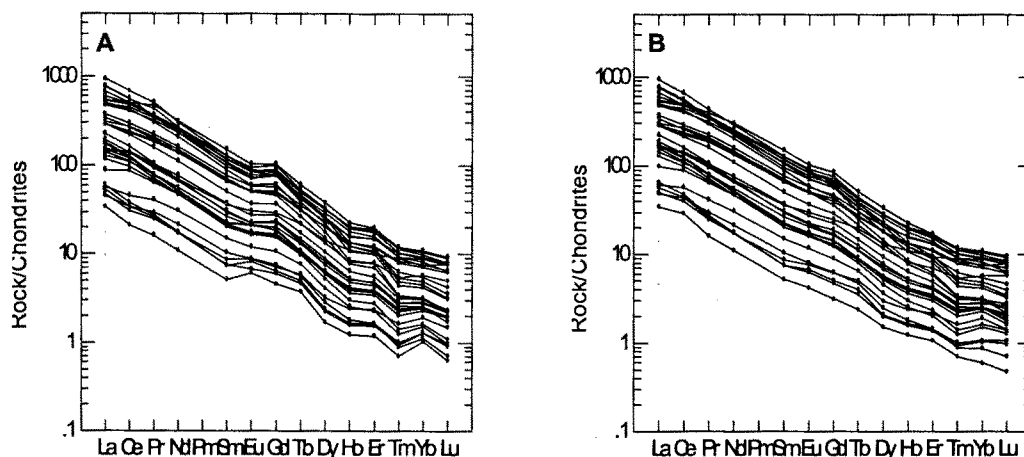


그림 3-29. 분석시료의 운석에 표준화한 값. (a) 간섭효과 보정전, (b) 간섭효과 보정후

를 알 수 없다. 밀폐된 용기를 이용하여 용기 내 압력을 높여줌으로서 용해도를 높이는 밀폐식 산분해법을 사용하여도 난용성광물의 용해도는 획기적으로 높아지지는 않는다.

난용성물질을 완전히 용해하기 위한 방법으로는 용융법이 널리 사용된다. 용융법은 암석시료와 용제(flux)를 함께 넣고 고온에서 가열하여 완전히 용융시키는 방법이다. 이때 사용되는 용제는 용융할 대상광물과 용융시킬 온도에 따라 달라진다. 가장 널리 사용되는 용제로는 Lithium borate(Cremer and Schlocker 1976; Sholkovitz 1990; Tang *et al.* 1992; Smirnova 2003)나 Lithium metaborate(Ingamells 1970; Burman *et al.* 1978; Walsh 1980; Thomson and Walsh 1989; Jarvis 1990; Chao and Sanzolone 1992; Panteeva *et al.* 2003)가 사용된다. 용융법과 산분해법을 서로 비교한 연구자들에 의하면 전이원소나 경 희토류원소는 두 방법에서 서로 잘 일치하는 결과를 보이지만 중희토류원소는 산분해법에 의한 분석결과가 낮은 농도를 보인다고 한다(Sholkoviz 1990; Smirnova 2003).

용융법은 산분해법에 비해 완전용해가 가능하다는 장점이 있는 반면, 비용이 많이 들고, 용매 내에 TDS(Total Dissolved Solids) 함량이 높아 시료 주입장치에 염을 형성하여 감도가 줄어들게 되고 이를 위해 희석을 많이 해야 하기 때문에 검출한계가 높아지는 단점이 있다. 또한 용제나 도가니로부터 형성되는 질량간섭이나 잔류효과 때문에 분석에 장애가 되기도 한다. 예를 들면 백금도가니를 사용할 경우 도가니로부터 나오는 Rh이나 Pd 때문에 내부표준물로 흔히 사용되는 Rh이나 Pd을 사용할 수 없고, 용제로부터 오는 고농도의 Li과 B의 잔류효과 때문에 그 ICP-MS에서는 더 이상 Li과 B을 분석하지 못하게 된다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 이번 연구에서는 흑연도가니와 탄산나트륨을 용제로 이용한 용융법을 시도하였다. 두 용해법에 따른 분석결과는 표 3-14와 같다.

분석결과에서는 용해 방법에 따른 뚜렷한 차이를 보이지 않았지만 산분해법으로 용해한 시료의 희석배수에 따라 분석결과가 영향을 받는 것을 알 수 있다. 이 연구에 사용된 카보나타이트와 포스코라이트 시료에는 Zr 농도가 수백에서 수천 ppm에 이르고 있어 저어콘을 포함하는 난용성광물이 많이 함유하고 있을 것으로 예상하였지만, 이들 시료에서 Zr을 함유한 광물은 바델리아이트(baddeleyite, ZrO_2)이고, 희토류원소는 카보나타이트와 포스코라이트의 주성분 광물인 탄산염광물(방해석과 돌로마이트)에서 유래된 것이다. 실제로 퇴적기원의 탄산염암 희토류원소의 총 함량은 200ppm 이하이지만, 카보나타이트는 500에서 10,000ppm의 총 희토류원소를 함유하는 것으로 알려져 있다(Eby 1975; Möller *et al.* 1980).

그림 3-30는 산분해법을 이용해 용해한 시료에 대하여 희석배수를 각각 1,000배, 5,000배 그리고 10,000배 희석하여 분석한 결과를 용융법에 의한 분석결과와 서로 비교한 것으로 여러 희석 배수 중 5,000배로 희석한 경우가 가장 잘 일치하고 있다. 이는 희석 배수가 작을 경우에는 TDS 함량이 높아 시료 주입부(특히 샘플콘이나 스키머콘)를 막음으로써 감도가 불안정하고 줄어들게 만들기 때문으로 생각된다. 일반적인 화성암 시료에서는 약 1,000배 정도의 희석으로 TDS에 의한 막힘을 방지하고 분석이 가능한 검출한계 농도를 유지할 수 있다. 그러나 카보나타이트에는 일반적인 규산염광물이 불산과 질산에 의해 규소 성분이 모두 휘발되어 제거된 반면 탄산염광물에서는 염산에 분해된 후에도 칼슘은 계속 잔류하고 있으므로 TDS가 훨씬 높다. 그러므로 약 5,000배 정도 희석한 경우가 보다 좋은 결과 값을 보이게 된다. 희석배수가 10,000배 정도인 경우에는 중희토류 원소의 측정 농도값이 아주 낮아 표준편차가 높아질 뿐만 아니라 경우에 따라 검출한계 이하의 농도를 보일 수도 있다.

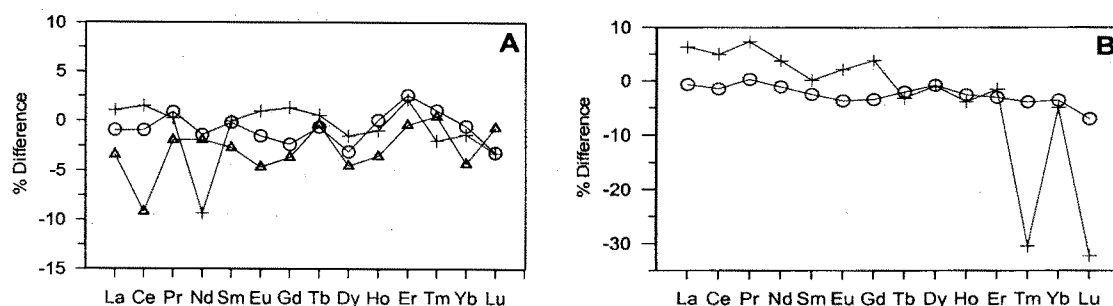


그림 3-30. Na_2O_3 용융법과 산용해법과의 분석결과 차이. +; 1,000배 희석, O; 5,000배 희석, Δ; 10,000배 희석.

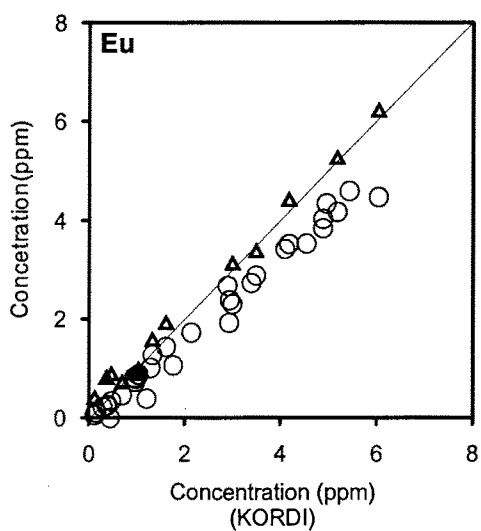
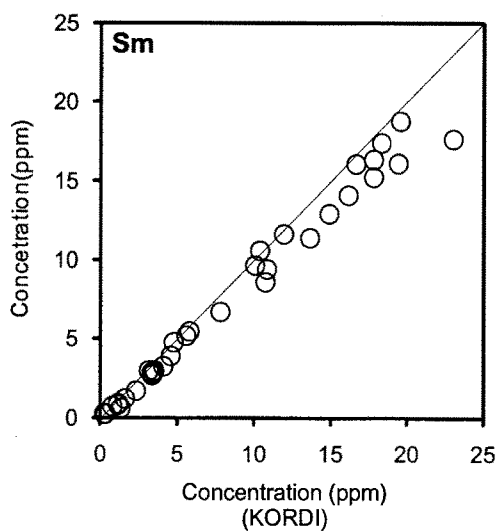
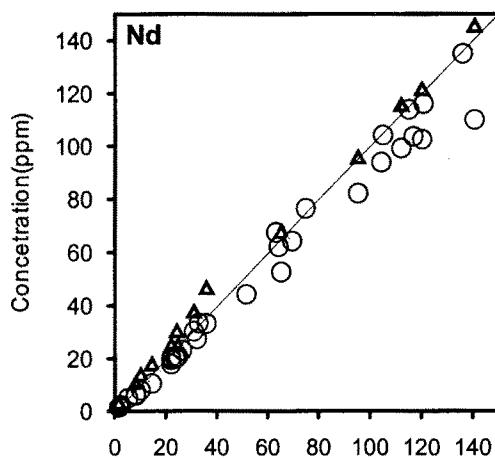
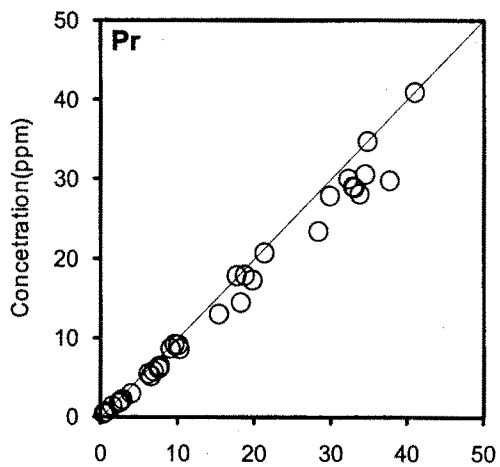
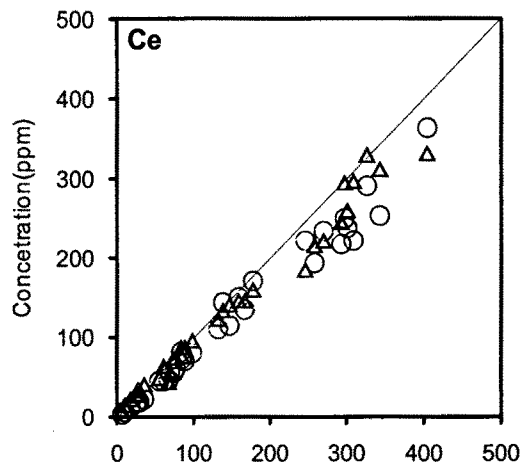
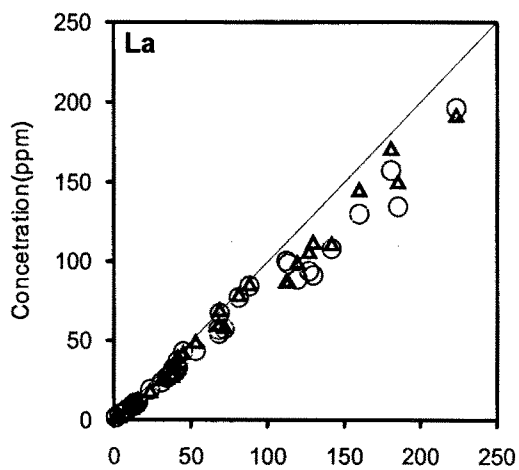
표3-14. 산용해법과 용융법을 이용한 분석결과 비교

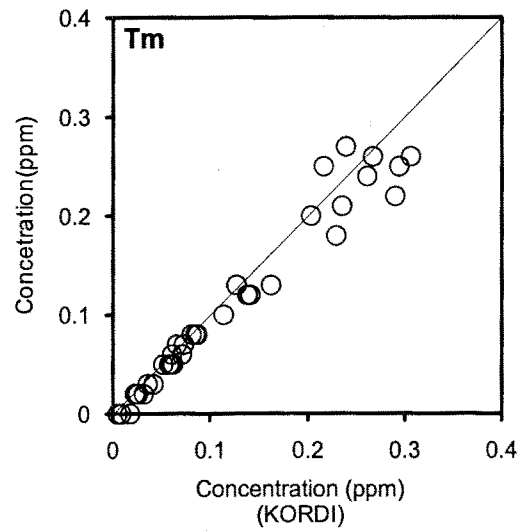
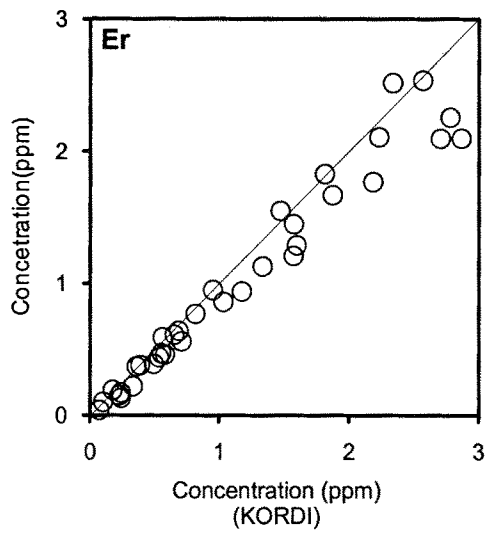
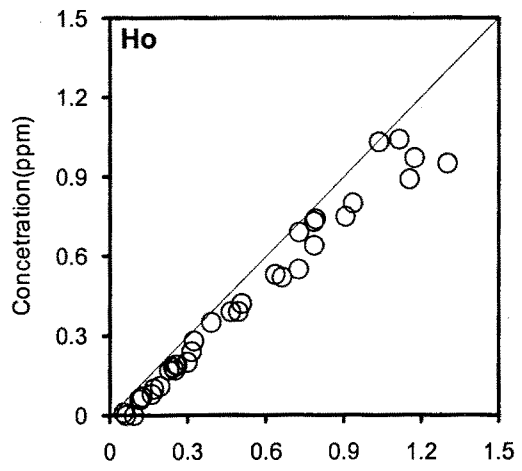
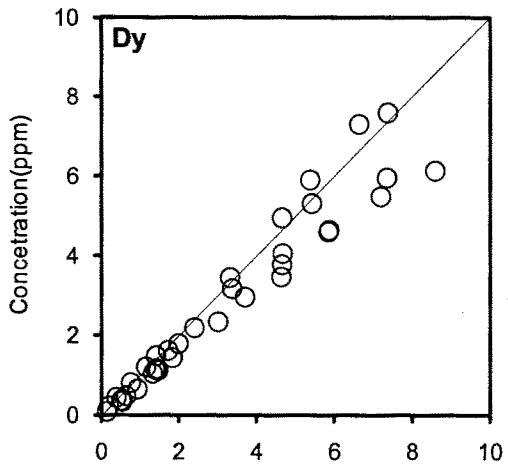
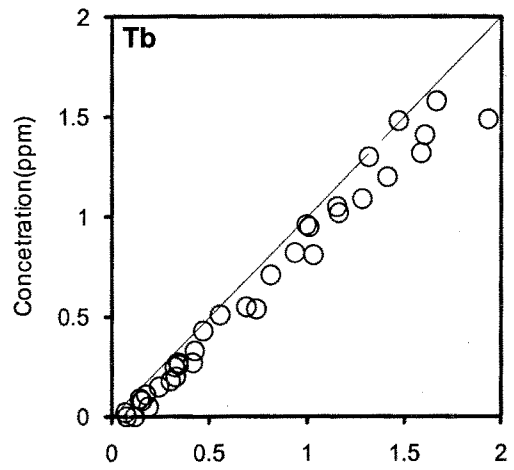
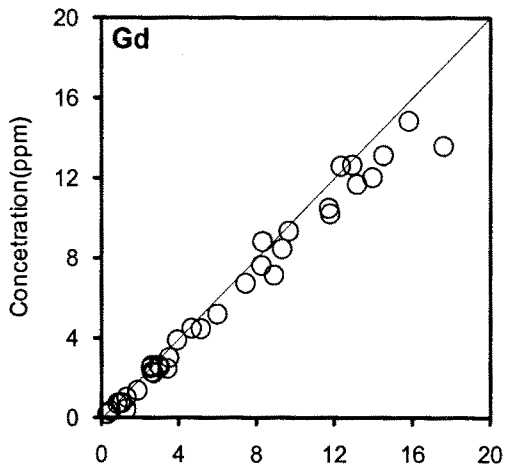
Sample No.	434R206			387R160			
	acid digestion			fusion	acid digestion		fusion
	Dilution	x1000	x5000		x10000	x1000	
La	296.93	291.12	283.90	293.83	121.76	113.76	114.54
Ce	701.38	684.69	627.81	691.13	266.90	250.58	254.33
Pr	86.03	86.60	84.17	85.84	31.89	29.79	29.70
Nd	303.07	329.41	327.66	334.17	116.22	110.80	112.03
Sm	53.26	53.19	51.86	53.28	18.29	17.81	18.27
Eu	14.99	14.62	14.16	14.85	5.41	5.10	5.30
Gd	52.04	50.16	49.49	51.37	18.03	16.77	17.37
Tb	5.32	5.25	5.26	5.29	1.82	1.84	1.88
Dy	22.53	22.17	21.84	22.87	7.79	7.80	7.86
Ho	2.87	2.90	2.79	2.90	1.00	1.01	1.04
Er	7.25	7.29	7.07	7.10	2.54	2.50	2.58
Tm	0.61	0.63	0.63	0.62	0.17	0.24	0.25
Yb	3.53	3.56	3.43	3.58	1.24	1.26	1.31
Lu	0.43	0.43	0.44	0.45	0.12	0.17	0.18

분석기기에 따른 결과 비교

이번 연구에서는 동일한 시료에 대하여 영국 자연사 박물관(Natural History Museum: NHM)의 ICP-MS(VG Elemental PlasmaQuad PQ3)와 프랑스 생테티엔 광산대학 지구화학과(SPIN, Ecole des Mines)의 ICP-OES(high resolution sequential spectrometer, Jobin-Yvon JY138)를 이용하여 분석을 실시하였다. 위 두 기관은 다년간 알칼리암에 관한 연구를 수행하면서 이들 암석에 대한 최고의 분석기술을 보유하고 있기 때문에 분석결과를 비교하기에 적합하다. NHM의 ICP-MS 분석에서는 모든 희토류원소 분석이 이루어진 반면 SPIN의 ICP-OES 분석에서는 스펙트럼의 간섭에 따른 검출한계 때문에 La, Ce, Nd와 Eu 만 분석되었다. 그림 3-31은 두 기관에서 분석된 결과를 한국해양연구원에서 분석된 결과와 비교한 것이다. 대부분의 희토류원소는 좋은 상관관계($R^2=0.95$ 이상)를 보이지만 Yb($R^2=0.91$)와 Lu($R^2=0.77$)의 상관관계는 비교적 낮다. 이는 Yb와 Lu의 농도가 매우 낮기 때문으로 생각된다. 또한 한국해양연구원의 ICP-MS로 분석된 경우가 고농도에서 조금씩 높은 농도를 보이는데 이는 암석시료의 용해정도의 차이 또는 분석시의 이중검출기 보정에 따른 문제 때문으로 생각된다. 전자의 경우 용융법으로 확인한 용해 정도에 따른 희토류원소의 농도 차이는 한국해양연구원에서 실시한 산용해법에선 없는 것으로 확인 되었다. 후자의 경우 한국해양연구원의 ICP-MS 분석시에는 이중검출기 보정을 실시하여 1ppb에서 1,000ppb 까지의 검정곡선이 직선을 이루게 보정이 되었으므로 검출기 차이에 따른 농도 변화로 생각되지는 않는다. 이 문제점은 앞으로 보

다 정밀한 분석과 TIMS나 INAA등 다른 분석기기를 이용한 비교분석을 통하여 원인을 규명해야 할 것으로 보인다.





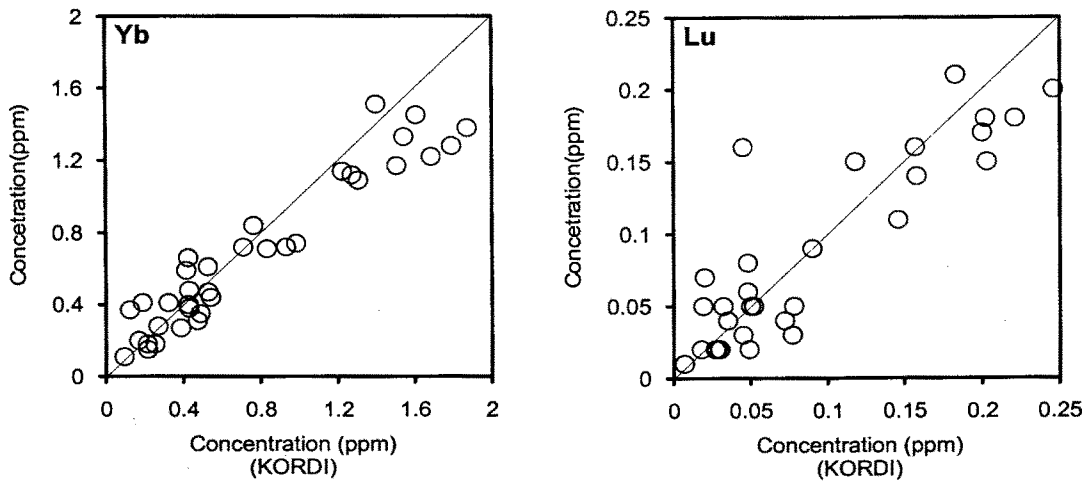


그림 3-31. 해양연구원 ICP-MS와 영국자연사박물관(NHM) ICP-MS, 프랑스 생테티엔 광산대학(SPIN) ICP-OES와의 분석 결과 비교. ○; 해양연구원과 NHM과의 비교, △; 해양연구원과 SPIN과의 비교.

라. 결론

ICP-MS를 이용한 희토류원소 분석은 낮은 검출한계와 빠른 속도면에서 아주 유용하다. 알칼리암의 산용해법과 용융법에 의한 공시료의 검출한계는 ppb 단위 이하로서 두 방법 모두 희토류원소 분석에 적합하다. 그러나 아르곤 플라즈마에서 생성되는 매질에 의한 산화물과 수산화물은 특히 Ba과 경희토류원소의 농도가 높은 알칼리암에서 중희토류원소의 분석결과에 많은 영향을 준다. 생성되는 산화물과 수산화물의 비를 통해 보정된 값은 측정값에 비해 Gd과 Tm의 농도는 20~30% 낮고, Tb와 Er은 10~20% 낮으며, Eu, Ho과 Yb는 10% 이내의 변화만 보인다. 산분해법과 용융법에 의한 분석결과 차이는 없으며, TDS와 검출한계를 고려할 때 약 5,000배 희석하여 분석한 경우가 가장 좋은 결과를 보인다. 한국해양연구원의 ICP-MS와 다른 기관에서 분석된 동일한 시료의 분석결과 비교에선 Yb와 Lu를 제외한 대부분의 희토류원소가 좋은 상관관계를 보인다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표 및 연구내용

제 2 절 연구개발목표의 달성도

제 3 절 연구개발성과 현황

제 4 절 관련분야의 기술발전예의 기여도

여 백

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표 및 연구내용

1. 최종목표

본 연구는 극지지역에서의 빙하, 고층대기, 자원지질 연구를 통해 지구환경변화 예측과 함께 극지자원개발에 참여키 위한 진출의 교두보 확보와 극지 진출국으로서의 국제적 위상을 세우려는데 궁극적인 목적이 있다.

- 북극권 빙하에서 수 백년 전 이후 인류 발전과 더불어 진행된 인위적인 중금속 대기오염 기록을 복원하고 남극 빙하에서 자연적 순환과정을 복원하여 독성 중금속 물질의 전지구적 대기순환 과정을 시간적·공간적으로 규명함으로써 최종적으로 대기오염을 유발하는 인위적 요인의 중요성을 평가할 수 있는 환경척도를 제시한다.
- 극지 고층대기의 환경변화를 관측, 이해함으로써 위성운영과 전파통신에 미치는 영향을 분석하고, 나아가 전지구적 환경변화경향과의 상관관계를 유추한다.
- 극지 자원 탐사 기술 개발 및 부존 자원량 평가를 위한 기반 지질 자료를 축적하며 희유중금속광물 분석을 위한 첨단 지구화학 기술을 개발한다.

2. 단계별/연차별 연구목표

가. 단계별 연구목표

구 분	연구개발 목표
1단계(2년후)	<p>극지 국제공동연구 기반구축</p> <p><빙하분야></p> <ul style="list-style-type: none"> - 북극권 빙하 국제공동연구 체제 구축 - 극지빙하 시료의 중금속 농도 분석 <p><고층대기분야></p> <ul style="list-style-type: none"> - 북극권 캐나다 레슬루트 만과 스웨덴 키루나, 니알슨 다산기지에 고층대기 관측기기 설치 - 국제공동으로 남·북극에 정밀광학분광계 운영, 고층대기 온도 원격탐사 <p><자원분야></p> <ul style="list-style-type: none"> - 극지자원 탐사를 위한 국제공동 시스템 구축 및 북극권 콜라반도 현장조사 - 최첨단 지구화학 분석실 설치
2단계(5년후)	<p>환경변화 예측과 자원량 파악</p> <p><빙하분야></p> <ul style="list-style-type: none"> - 북반구 고원지대의 빙하 시추 - 수 백년전 이후 북반구 대기의 중금속 농도변화 기록 복원 - 남극 빙하 시료에서 중금속 분석(장기간의 자연적 순환과정 규명) - 남·북반구의 시·공간적 중금속 순환과정 규명 및 인위적 오염사 복원 <p><고층대기분야></p> <ul style="list-style-type: none"> - 남, 북극 고층대기 동시관측 시스템 구축 - 이론모델을 이용한 고층대기환경 모의실험 - 극지 고층대기 관측자료를 이용한 지구환경변화 경향 예측 <p><자원분야></p> <ul style="list-style-type: none"> - 극지 희유금속광물 자원량 평가를 위한 지질 자료 축적 - 최첨단 지구화학 분석 기술 개발

나. 1단계 연차별 연구목표 및 연구내용

구분	연구목표	연구내용
1차년도 (2001년)	<ul style="list-style-type: none"> - 북반구 고원빙하 및 남극빙하의 국제공동연구 체제 구축 - 남북극 고층대기 환경변화 관측 - 극지 자원탐사를 위한 조사 기반 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 남극빙하의 중금속 1차 예비분석 - 캐나다 레솔루트 만과 스웨덴 키루나에 고층대기 분광계 설치, 운영 - 러시아 북부 콜라반도에서 채취된 카보나타이트 복합체 암석시료 확보 - 첨단 지구화학 분석실 설치 및 분석
2차년도 (2002년)	<ul style="list-style-type: none"> - 북반구 티벳고원 빙하시료 분석 - 남·북극 고층 대기 동시관측 시스템 구축 - 극지 자원탐사를 위한 조사기법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 북반구 티벳고원 빙하시료의 중금속 1차 예비 분석 - 남극 및 북극에 분광계 연속관측 시스템 구축을 통한 양극지역 고층대기 자료수집 - 러시아 북부 콜라반도 카보나타이트 복합체 1차 현장조사 - ICP-MS를 이용한 광물/전암 화학분석

제 2 절 연구개발목표의 달성도

번호	세부연구개발목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용
1	북극 고층대기 관측	- 2001년 캐나다 및 스웨덴 북극에 기기설치, 운영
2	남·북극 고층대기 동시관측 시스템구축	- 북극 니알슨 다신기지에 적외선분광계 추가설치, 운영. - 영국 남극2개 기지에 동종의 기기설치되어 남·북극 동시관측수행
3	북반구 고원빙하 및 남극빙하의 국제공동연구 체제 구축	- 중국 빙하연구소와 티벳고원 빙하 국제공동연구협력을 위한 MOU 교환 - 프랑스 빙하연구소와 국제공동연구 합의 및 남극빙하시료 공동 분석 수행
4	북반구 티벳고원 빙하시료 분석	- 중국 빙하연구소에서 보유하고 있는 티벳 빙하시료 예비분석 완료 - 한·중 공동으로 티벳고원 해발 6500미터에서 120미터 깊이의 빙하시추 성공(2002년 10월)
5	희유금속광물 탐사를 위한 국제공동연구 체제 구축 및 현장 지질조사	- 한-불-러 국제공동연구 체제 구축 - 한-불-러 북극권 카보나이트복합체 제1차(2001.9)와 제2차(2002.9) 현장지질조사 성공리 완수
6	희유금속광물 분석 기술 개발	- 첨단지구화학분석실 설치, 테스트완료 및 자료 양산 체제 구축 - 한국(XRF, ICP-MS), 프랑스(ICP-AES), 러시아(Wet and Noble Gas Analysis) 국제공동 분석시스템 가동 중

제 3 절 연구개발성과 현황

<총괄표>

구분	기술이전	기술료 수입		특허출원			특허등록			논문게재			학술발표		
	건수	건수	금액 (억원)	국내	국외	계	국내	국외	계	국내	국외	계	국내	국외	계
1차년도 (’01)										18	3	21	38	2	40
2차년도 (’02)										18	12	30	14	11	25
총계										36	15	51	52	13	65

1. 연구결과논문(21편)

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
북극권 카라해 세인트 안나 트러프의 후기 제4기 고환경 연구	이재일, 김예동, 윤호일	지질학회지	2003	2003 Vol. 39 No. 1 65-80	대한지질학회 (한국)	X
Meltwater discharge anomalies in marine isotope stage 3 from a sediment core in the south of Antarctic Polar Front, Drake Passage	Bae Sung Ho, Yoon Ho Il, Park Byong-Kwon, Kim Yeadong, Bahk Jang Jun. Seo Hyun Seok	Geosciences Journal	2003	2003 Vol. 7 No. 1 73-79	대한지질 과학협 회 (한국)	X
ICP-MS를 이용한 알칼리암의 희토류원소 정량분석	허순도, 이종익, 이미정, 김예동	Ocean and Polar Research	2003	2003 Vol. 25 No. 1 53-62	한국해양 연구원 (한국)	X
Occurrence and petrogenesis of phosphorite-carbonatite complexes in the Kola Alkaline Province, Arctic	Lee Mi Jung, Lee Jong Ik, Kim Yeadong	Ocean and Polar Research	2003	2003 vol. 25 No. 1 119-128	한국해양 연구원 (한국)	X
Phlogopite and tetraferriphlogopite from phosphorite and carbonatite associations in the Sokli massif, Northern Finland	Lee Mi Jung, Garcia, D., Moutte, J., Lee Jong Ik	Geosciences Journal	2003	2003 vol. 7 No. 1 9-20	대한지질 과학협 회 (한국)	X
대기 복사 모형에 의한 남극 세종기에서의 복사학적 특징	이규태, 이방용, 원영인, 지준범, 이원학, 김윤정	Ocean and Polar Research	2003	2003 Vol. 25 No. 1 9-20	한국해양 연구원 (한국)	X
Pb and Sr isotopes from an ice-core provides evidence for changing atmospheric conditions at the Sajama icecap, South America	Rosman, K.J.R., Hong Sungmin, Burton, G., Burn, L. Boutron, C.F. Ferrari, C.P. Thompson, L.G. Maurice-Bourgoin, Francou, B.	Journal de Physique	2003	2003 Vol. 107 1157-1160	프랑스물 리학회 (프랑스)	O
Strontium isotope measurements in Greenland ice from the Last Glacial Maximum to the early Holocene	Burton, G.R. Boutron, C.F. Hong Sungmin, Candelone, J.-P. Rosman, K.J.R.	Journal de Physique	2003	2003 Vol. 107 241-244	프랑스물 리학회 (프랑스)	O

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
Measurements of atmospheric waves in the upper mesosphere at mid latitude	Won, Y.-I., Lee, B. Y. Kim, J., Niciejewski, R. J. Kim, Y. H. Chung, J.-K.	Advances in Space Research	2002	2003 Vol. 32 849-853	Pergamo n (영국)	O
Polar cap observations of mesospheric and lower thermospheric 4-hour waves in temperature	Won Young-In, Wu, Q., Cho, Y.M., Shepherd, G.G. Killeen, T.L. Espy, P.J. Kim Yeadong, Solheim, B.	Geophysical Research Letters	2002	2003 Vol. 30 No. 7 1377-	America n Geophysica l Union (미국)	O
Carbonatites and phoscorites from the Sokli Complex, Finland, In : Wall, F. and Zaitsev, A.N. (eds.), PHOSCORITES AND CARBONATITES FROM MANTLE TO MINE: the key example of the Kola Peninsula	Lee Mi Jung, Garcia, D., Moutte, J., Wall, F., Williams, C.T.	Mineralogica l Society	2002	2003 accepted	Mineralog ical Society, (London, 영국)	O
Changes in the occurrence of heavy metals in the tropical atmosphere during the past 22,000 years as recorded in Bolivian ice core	Hong Sungmin, Park, J.K., Thompson, L.G., Boutron, C.F., Ferrari, C.P., Francou, B., Maurice-Bourgoin, L.	Journal de Physique	2002	2003 Vol. 107 633-636	프랑스물 리학회 (프랑스)	O
Changes in the natural lead, cadmium, zinc, and copper concentrations in the Vostok Antarctic ice over the last two glacial-interglacial cycles (240,000 years)	Hong Sungmun, Park, J.K., Boutron, C.F., Ferrari, C.P., Petit, J.R., Lipenkov, V.Y.	Journal de Physique	2002	2003 Vol. 107 629-632	프랑스물 리학회 (프랑스)	O
Glaciomarine sedimentation and its paleoclimatic implications on the Antarctic Peninsula shelf over the last 15000 years	Yoon Ho Il, Park Byong-Kwon, Kim Yeadong, Kang Cheon Yoon	Paleogeogra p h y , Palaeoclimat o l o g y , Palaeoecolog y	2002	2002 vol.185, 235-254	Elsevier (네덜란 드)	O

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
Natural and anthropogenic heavy metal deposition to the snow in King George Island, Antarctic Peninsula	Hong Sungmin, Lluberas, A., Lee Gangwoong, Park Jun Kun	Ocean and Polar Research	2002	2002 Vol. 24 No. 3 279-287	한국해양 연구원 (한국)	X
남쉐틀랜드 군도 마리안소만의 계절적인 수층 특성과 부유물질의 분산	유규철, 강천윤, 윤호일, 석동우, 오재경	지질학회지	2002	2002 vol 38 No. 4 573-593	대한지질 학회 (한국)	X
Search for gravity waves with a new all-sky camera system	Kim Yong Ha, Chung Jong-Kyun, Won Young-In, Lee Bang Yong	Ocean and Polar Research	2002	2002 Vol. 24 No. 3 263-266	한국해양 연구원 (한국)	X
Precipitation anomalies around King Sejong Station, Antarctica associated with El Nino/Southern Oscillation	Kwon Tae-Yong, Lee Bang Yong	Ocean and Polar Research	2002	2002 vol. 24 No. 1 19-31	한국해양 연구원 (한국)	X
Observations of OH(3,1) airglow emission using a Michelson interferometer at 62. S	Won Young-In, Cho Young-Min, Niciejewski, R.J. Kim Jhoon	Adv. Space Res.	2001	2001 vol. 27 Nos. 6-7 1165-170	Pergamo n(영국)	O
남극과 지구환경	김예동, 안인영 (편저)	해양과학총서	2001	2001. 11 139 p	한국해양 연구원	X
지구의 고층대기	원영인, 김용하	물리학과 첨 단기술	2001	2001.10 11-15	한국물리 학회 (한국)	X

2. 관련 연구논문(30편)

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
남극반도 남쉐틀랜드 대륙주변부의 가스수화물 BSR을 이용한 지열류량 변화	진영근, 남상현, 김예동, 김규중	Ocean and Polar Research	2003	2003 vol. 25 No. 2 accepted	한국해양 연구원 (한국)	X
지구환경 변화와 남극	장순근, 이방용, 정호성, 강성호	한국지구과학 회지	2003	2003 vol. 24 No. 3 216-233	한국지구 과학회 (한국)	X
남극 드레이크해협 피닉스해령 P3구역 축부 해저현무암: K-Ar 연대측정과 지구화학	이종익, 허순도, 이미정, 김규중, Nagao, K.	Ocean and Polar Research	2003	2003 Vol. 25 No. 1 107-118	한국해양 연구원 (한국)	X

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
Gas hydrate volume estimations on the South Shetland continental margin, Antarctic Peninsula	Jin Young Keun, Lee, M.W., Kim Yeadong, Nam Sang, Heon, Kim Kyu Jung	Antarctic Science	2002	2003 vol. 15 No. 2 accepted	Antarctic Science Ltd (영국)	O
Observations of gravity waves with OH Meinel bands and OI 557.7 nm using all-sky camera in Korean Peninsula	Chung J.-K., Kim Y. H., WonY.-I.	Advances in Space Research	2002	2003 Vol. 32, 825	Pergamo n (영국)	O
남극반도 부근 킹조지섬 세종기지 주위의 지질	장순근, 이종익, 최문영, 허순도	지질학회지	2003	2003 vol. 39 No. 3 271-286	대한지질 학회 (한국)	X
Distribution of Antarctic sea ice from satellite altimetry in the Weddell Sea: Preliminary Results	Kim Jeong Woo, Hong Sungmin, Hwang Young-In, Yoon Ho Il, Lee Bang Yong, Kim Yeadong	Ocean and Polar Research	2002	2002 Vol. 24 No. 3 255-261	한국해양 연구원 (한국)	X
Surface air temperature variations around the Antarctic Peninsula: Composition of the West and East sides of the Peninsula	Lee Bang Yong, Kwon Tae-Yong, Lee Jeong-Soon, Won Young-In	Ocean and Polar Research	2002	2002 Vol. 24 No. 3 267-278	한국해양 연구원 (한국)	X
The Lago Sofia conglomerate: Debris flow to hyperconcentrated flow deposits in a Cretaceous submarine channell, Southern Chile	Choe Moon Young, Sohn Young Kwan, Jo Hyung Rae, Kim Yeadong	Ocean and Polar Research	2002	2002 Vol. 24 No. 3 289-300	한국해양 연구원 (한국)	X
Origins and paleoceanographic significance of layered diaton ooze from Bransfield Strait in the northern Antarctic Peninsula around 2.5 kyrs BP	Yoon Ho Il, Kim Yeadong, Park Byong-Kwon, Kang Cheon Yun, Bae Sung-Ho, Yoo Kyu-Chul	Ocean and Polar Research	2002	2002 Vol. 24 No. 3 301-311	한국해양 연구원 (한국)	X
Thermal metamorphism of volcanic rocks on Barton Peninsula, King George Island, Antarctica	Kim Hyeoncheol Cho Moon-sup, Lee Jong Ik	Geosciences Journal	2002	2002 vol. 6 No. 4 303-317	대한지질 과학협 회 (한국)	X

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O/X)
Post-subduction margin structures along Boyd Strait, Antarctic Peninsula	Jin Young Keun, Larter, R.D., Kim Yeadong , Nam Sang, Heon, Kim Kyu Jung	Tectonophysics	2002	2002 346 187-200	Elsevier (네덜란드)	O
Seismic structures of the western Bransfield Strait, Antarctic Peninsula: rift propagation from northeast to southwest	Jin Young Keun, Kim Yeadong , Nam Sang, Heon, Kim Kyu Jung	Royal Society of New Zealand Society	2002	2002 35 499-506	The Royal Society of New Zealand (뉴질랜드)	O
Explanatory text of geological map of Barton and Weaver Peninsulas, King George Island, Antarctica (1:10,000)	Lee Jong Ik , Hur Soon Do, Yoo Chan Min, Yeo Jeong Pil, Kim Hyeoncheol, Hwang Jeong, Choe Moon Young, Nam Sang Heon, Kim Yeadong , Park Byong-Kwon, Zheng, X., Lopez-Martinez, J	한국해양연구원	2002	2002.1 30 p.	한국해양연구원 (한국)	X
Geomorphological map of Barton and Weaver Peninsulas, King George Island, Antarctica (1:10,000)	Lopez-Martinez, J., Serrano, E., Lee Jong Ik	한국해양연구원	2002	2002.1 1 p.	한국해양연구원 (한국)	X
남극 사우스셰틀랜드 해양퇴적물내 스멕타이트의 광물학적 특성과 기원	정기영, 윤호일	한국광물학회지	2002	2002 vol. 15 No. 1 22-32	한국광물학회 (한국)	X
Statistical analysis of NOAA?AVHRR high resolution weekly SSTin the East Sea : Regional variability and relationships with ENSO	권태영, 이방용 , 이정순	Ocean and Polar Research	2001	2001 vol. 23 No. 4 361-376	한국해양연구원 (한국)	X
남극반도 서대륙붕의 빙해양 퇴적물의 구조군집 특성과 고해양연구	신유나, 윤호일 , 김예동 , 강천윤	한국해양학회지 바다	2001	2001 제6권 제3호 152-163	한국해양학회 (한국)	X

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
서남극 벨링사우젠 해의 빙해양 퇴적작용	윤호일, 박병권,김부근, 김예동, 강천윤, 허순도, 유규철	지질학회지	2001	2001 제37권 제2호 217-234	대한지질 학회 (한국)	X
Origin of laminated diatom ooze in King George Basin sediments from Bransfield Strait, Antarctica	윤호일, 박병권,한명우, 김부근, 김예동, 강천윤	Geosciences Journal	2001	2001 vol.5 No. 3 225-231	대한지질 과학협 회 (한국)	X
The origin of clay minerals in soils of King George Island, SouthShetland Islands, West Antarctica, and its implications for the clay mineral compositions of marine sediments	Jeong Gi Young, Yoon Ho Il	Journal of Sedimentary Research	2001	2001 vol.71 No.5 833-842	SEPM (미국)	O
Volcaniclastic Sedimentation of the Sejong Formation (Late Paleocene-Eocene), Barton Peninsula, King George Island, Antarctica	Yoo Chan Min, Choe Moon Young, Jo Hyung Rae, Kim Yeadong, Kim Ki Hyun	Ocean and Polar Research	2001	2001 vol. 23 No. 2 97-107	한국해양 연구원 (한국)	X
Late Holocene stable isotope chronology and meltwater discharge event in Maxwell and Admiralty bays, King George Island, Antarctica	Khim Boo-Keun, Yoon Ho Il, Kim Yeadong, Shin Im Chul	Antarctic Science	2001	2001 vol. 13 No. 2 167-173	Antarctic Science Ltd (영국)	O
Variation of crustal structure due to the various tectonic stress applied in the northern Antarctic Peninsula and the Scotia Sea	Kim Yeadong, Jin Young Keun Kim Kyu Jung,	Proc. Int.l Seminar: Recent Interests on Antarctic Earth Sciences of Korea and Japan	2001	2001.10 1-21	한국해양 연구원 (한국)	X

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
Gravity and bathymetric study of the Antarctic-Phoenix Ridge and Hero Fracture Zone Intersection, Drake Passage (Antarctica)	Kim Kyu Jung, Lee Sang Mook, Jin Young Keun Nam sang Heon Kim Yeadong	Proc. Int.l Seminar: Recent Interests on Antarctic Earth Sciences of Korea and Japan	2001	2001.10 35-60	한국해양 연구원 (한국)	X
Depositional environment of the laminated diatom ooze in sediment core from Bransfield Strait, West Antarctica	Yoon Ho Il, Park Byong Kwon, Han Myung Woo, Khim Boo-Keun, Kang Cheon Yun	Proc. Int.l Seminar: Recent Interests on Antarctic Earth Sciences of Korea and Japan	2001	2001.10 61-74	한국해양 연구원 (한국)	X
Geochemistry of subvolcanic zoned granitic pluton in the Barton and Weaver peninsula, King George Island, Antarctica	Lee Jong Ik, Hur Soon Do, Choe Moon Young, Yoo Chan Min, Nagao Keisuke	Proc. Int.l Seminar: Recent Interests on Antarctic Earth Sciences of Korea and Japan	2001	2001.10 97-116	한국해양 연구원 (한국)	X
The Sejong Formation: Evidence of volcanic activity during late Paleocene to Eocene in the Barton Peninsula, King George Island	Yoo Chan Min, Choe Moon Young, Jo Hyung Rae, Kim Yeadong	Proc. Int.l Seminar: Recent Interests on Antarctic Earth Sciences of Korea and Japan	2001	2001.10 117-132	한국해양 연구원 (한국)	X

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
Drainage pattern and sedimentary characteristics of a giant submarine channel (the Largo Sofia Lens) in the Cretaceous Cerro Toro Formation, southern Chile	Shon Young Kwan, Choe Moon Young, Jo Hyung Rae, Kim Yeadong	Proc. Int.l Seminar: Recent Interests on Antarctic Earth Sciences of Korea and Japan	2001	2001.10 133-150	한국해양연구원 (한국)	X
Seasonal Pb changes in snow from winter to early summer 1998 in Livingston Island, Antarctica	Hong Sungmin	Proc. Int.l Seminar: Recent Interests on Antarctic Earth Sciences of Korea and Japan	2001	2001.10 151-168	한국해양연구원 (한국)	cX

3. 학술발표(65편)

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Occurrence and chemistry of pyrochlore and baddeleyite in the Sokli carbonatite complex, Kola Peninsula, Arctic	Lee Mi Jung, C.T. Williams, Lee Jong Ik, Kim Yeadong	한국암석학회 정기학술발표회, 한국지질자원연구원, 대전	2003. 5. 30-31
Paleozoic ultramafic-alkaline complexes and associated carbonatites in the Kola Alkaline Province	이미정	한국암석학회 지구조분과위원회 초청강연 한국기초과학지원연구원 대전	2003. 5. 29
Changes in the occurrence of heavy metals in the tropical atmosphere during the past 22,000 years as recorded in Bolivian ice core	Hong Sungmin, J.K. Park, L.G. Thopmson, C.F. Boutron, C.P. Ferrari, B. Francou, L.Maurice-Bourgoin	국제중금속학회 (프랑스)	2003. 5. 29.
Changes in the natural lead, cadmium, zinc, and copper concentrations in the Vostok Antarctic ice over the last two glacial-interglacial cycles (240,000 years)	Hong Sungmin, J.K. Park, C.F. Boutron, C.P. Ferrari, J.R. Petit, V.Y. Lipenkov	국제중금속학회 (프랑스)	2003. 5. 28.

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Strontium isotope measurements in Greenland ice from the Last Glacial Maximum to the early Holocene	G.R. Burton, C.F. Boutron, Hong Sungmin , J.-P. Candelone, K.J.R. Rosman	국제중금속학회 (프랑스)	2003. 5. 28.
Pb and Sr isotopes from an ice-core provides evidence for changing atmospheric conditions at the Sajama icecap, South America	K.J.R. Rosman, Hong Sungmin , G. Burton, L. Burn, C.F. Boutron, C.P. Ferrari, L. G. Thompson, L. Maurice-BourgoinB. Francou	국제중금속학회 (프랑스)	2003. 5. 27.
전천 카메라로 관측된 한반도 상공 중간권 파동, 한국기상학회 봄 학술대회	정종균 , 원영인 , 김용하, 이방용	한국기상학회 봄학술발표회 초록집, 부산 BEXCO, p. 620	2003. 4. 24-25
남극세종기지의 오존층 변화에 의한 지표 자외선복사 변환	이방용 , 조희구, 이윤곤, 원영인	한국기상학회 봄학술발표회 초록집, 부산 BEXCO, p. 516	2003. 4. 24-25
Observation of Atmospheric waves from Ground-Based Airglow Measurements	원영인 , 정종균 , 김예동, 이방용 , 김준	한국기상학회 봄학술발표회 초록집, 부산 BEXCO, p. 212	2003. 4. 24-25
남극과 지구과학	이종익	지구과학교육연구회 초청강연, 서울대학교	2003. 4. 12
Observations of the mesospheric and lower thermospheric 4-hour waves in temperature	Won, Y.-I. , Q. Wu, Y. M. Cho, G. G. Shepherd, T. L. Killeen, Kim, Y. , B. Solheim	EGS-AGU(지구물리학회)) 초록집, 니스, 프랑스, P. 117	2003. 4. 3-5
High latitude mesopause temperatures, winds and emission rates observed at Resolute Bay, Canada	G.G. Shepherd, Y.-M. Cho, Y-I. Won , Y. Bhattacharya, Y.-S. Lee	EGS-AGU(지구물리학회)) 초록집, 니스, 프랑스, P. 117	2003. 4. 3-5.
Atmospheric mercury concentrations from several observatory sites in the Another Hemisphere	세종대 김기현 교수	한국해양연구원 초청강연	2003. 3. 21.
Innovations in the technique of multiple collector ICP-MS for vary precise measurement of isotope ratios	Dr. J. Cantele	한국해양연구원 초청강연	2003. 2. 20

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
An introduction of glaciology study in China	Dr. <u>Xiao Cunde</u>	한국해양연구원 초청강연	2002. 11. 19.
남극, 북극 그리고 지구과학	<u>이종익</u>	서울대 지구과학교육과 초청강연	2002, 11. 8
남극 킹조지섬 바톤반도의 열수변질작용에 따른 미량원소의 질량변화	<u>허순도, 이종익,</u> <u>최문영</u>	2002년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 대구 경북대, p. 29.	2002. 10. 25-26
Observations of gravity waves with OH Meinel bands and OI 557.7 nm using all-sky camera in Korean Peninsula	<u>Chung, J.-K.,</u> <u>Kim, Y. H.</u> <u>Won, Y.-I.</u>	2002 COSPAR 학회 초록집, 휴스턴, 미국, P. 129.	2002. 10. 9-19
Measurements of atmospheric waves in the upper mesosphere at mid latitude	<u>Won, Y.-I.,</u> <u>Lee, B.Y.,</u> <u>Kim, J.,</u> <u>Niciejewski, R.J.</u>	2002 COSPAR 학회 초록집, 휴스턴, 미국, P. 130.	2002. 10. 9-19
Mesospheric Ozone density peak measured by Rocket-borne hotometer	<u>Kim, J.,</u> <u>Cho, H. G., Won,</u> <u>Y.-I.,</u> <u>Kim, Y.H.</u>	2002 COSPAR 학회 초록집, 휴스턴, 미국, P. 129.	2002. 10. 9-19
Kola alkaline complexes and associated mineralization	Prof. <u>E.</u> <u>Balaganskaya</u>	한국해양연구원 초청강연	2002. 10. 14
Report on 2nd geological survey in Kola Peninsula, Russian arctic	<u>이종익</u>	한국해양연구원 세미나	2002. 10. 14
Observations of atmospheric waves with OH Meinel bands and OI 557.7 nm using an all-sky camera in Korean Peninsula	<u>Kim, Y. H., Chung,</u> <u>J.-K.,</u> <u>Won, Y.-I.</u>	2차한중일우주기상워크 숍 초록집, 홋카이도, 일본, p. 13.	2002. 10. 2-4
Progress in Polar aeronomy	<u>Won, Y.-I.</u>	한이태리 극지워크숍, 한국해양연구원, p. 118.	2002. 10. 4
A comparison of northern and southern hemisphere temperature and dynamics	<u>Espy, P.,</u> <u>Won, Y.-I.,</u> <u>Hibbins, R.</u>	PSMOS 국제워크숍, Foz do Igua, 브라질, p. 4.	2002. 10. 4-8
Global biogeochemical cycling of chemical substance and the climate change	서울대 <u>김규범</u> 교수	한국해양연구원 초청강연	2002. 6. 26.
극지에서의 고층대기연구	<u>원영인</u>	고려대 지구환경학과 초청강연, 서울 고려대	2002. 6. 7
남극 킹조지섬 바톤-위버 반도의 반정을 함유한 화산암과 큐물레이트 조직의 심성암으로부터 추정되는 본원 마그마	<u>여정필, 이종익,</u> <u>허순도, 최변각</u>	한국암석학회-한국광물학 회 공동학술발표회 초록집전주 전북대, p. 37-39.	2002. 5. 24
Instrumentation for geochemical analysis: Comparing XRF-ICPAES-ICPMS	Prof. <u>J. Moutte</u>	한국해양연구원 초청강연	2002. 5. 22

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
광학기기를 이용한 고층대기연구	원영인	연세대 대기과학과 초청강연. 서울 연세대	2002. 5. 21
남극 킹조지섬 바톤반도의 열수변질작용	허순도	강원대 지질학과 초청강연	2002. 5. 16
Recent climatic warming in Antarctic Peninsula recorded in marine sediments and ecosystems	Yoon Ho Il	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 1.	2002. 5. 13-15
Spatial deformation of ice cliff and sea-ice formation observed around King Sejong Station in King George Island, Antarctica	Chung Hosung, Lee Bang Yong, Chang Soon-Keun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 2.	2002. 5. 13-15
Variations of surface air temperature in the Antarctic Peninsula	Kwon Tae-Yong Lee Bang Yong	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 3.	2002. 5. 13-15
Microwave remote sensing of sea ice distribution	Kim Jeong Woo, Hong Sungmin, Yoon Ho Il	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 4.	2002. 5. 13-15
Seasonal water column properties at Marian Cove, West Antarctica : Regional Warming	Yoo Kyu-Cheul, Yoon Ho Il, Kang Cheon Yun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 5.	2002. 5. 13-15
Gas hydrates and global climate. Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability	Jin Young Keun, Kim Yeadong, Nam Sang Heon	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 20.	2002. 5. 13-15
Two thousand years of change in the occurrence of heavy metals in pond sediments at Cheju Island, Korea	Hong Sungmin, Yoon Ho Il, Kang Cheong Yun, Park Jun Kun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 21.	2002. 5. 13-15
Implications for the paleoclimatic change from the geochemical data of the lake sediments in Antarctic Peninsula	Fang Aimin, Lee Jong Ik, Yoon Ho Il, Hur Soon Do	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 22-23.	2002. 5. 13-15
A role of Antarctic seep convection for the formation of monospecific diatom layer from Bransfield Strait, Northern Antarctic Peninsula	Yoon Ho Il, Park Byong-Kwon, Kim Yeadong, Kang Cheon Yun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 9-10.	2002. 5. 13-15

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Holocene paleoclimate change recorded in the lake sediments of King George Island, Antarctica	Khim Boo Keun, Yoon Ho Il, Park Byong-Kwon, Kang Cheon Yun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 14.	2002. 5. 13-15
Arctic opportunities in global change study	Kim Yeadong	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 17-18.	2002. 5. 13-15
2001년 사자자리 유성우의 전천카메라 관측	정종균, 김용하, 원영인, 임홍서, 천무영	한국우주과학회 학술발표회 초록집, 광주 전남대, p. 30.	2002. 5. 3-4
Observation of a persistent Leonid meteor trail with an all-sky camera at Mt. Bohyun	김용하, 정종균, 원영인, 임홍서, 천무영	한국천문학회 봄학술발표회 초록집, 세종대학교, p. 31.	2002. 4. 20
History of the large scale environmental changes as documented in polar ice sheet: climate and atmosphere	홍성민	부산대학교 초청강연	2002. 4. 11.
우리나라 북극 연구의 현재와 미래	김예동	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 2-5.	2002. 3. 15
카라해와 바렌즈해의 시추퇴적물 시료를 이용한 해양지질 연구 방향 모색	윤호일, 이재일	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 14-16.	2002. 3. 15
적외선 분광계(FT-IR)를 이용한 고층대기 연구	원영인, 김용하	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 27-29.	2002. 3. 15
북극권 대기환경 연구	이방용, 김준	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 30-33.	2002. 3. 15
빙하를 이용한 북반구 대기오염 변천사 규명	홍성민	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 34-36.	2002. 3. 15
북극권 광물자원 연구 : 북극 콜라반도에 분포하는 카보나타이트 복합체의 성인 및 희유금속 광물 연구	이미정	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 38-40.	2002. 3. 15
Observation of High-altitude atmosphere over Mt. Bohyun with a New All-sky camera system	김용하, 정종균, 원영인	한중일 우주환경워크샵, 한국천문연구원, 대전 p. 26.	2002. 1. 28-30

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Ice core research from the Rongbuk glacier at Mt. Qomolangma (Everset)	Prof. <u>H. Shugui</u>	한국해양연구원 초청강연	2001. 12. 27
- 러시아 북극 연구 현황 - 러시아 해양지질연구소의 대양지질연구 사업	Dr. <u>G. Cherkashov</u>	한국해양연구원 초청강연	2001. 11. 8
북극연구의 가능성	김예동	한국해양연구원 정기세미나, 안산 한국해양연구원	2001. 11. 6
북극권 카보나타이트 성인 연구와 자원 지질학적 의의	<u>이미정</u>	대전대 지질공학과 초청강연, 대전 대전대학교	2001. 11. 2
해저 화산 성인 연구와 지구화학	<u>이종익</u>	대전대 지질공학과 초청강연, 대전 대전대학교	2001. 11. 2
한반도 상공 중간권 상부의 증량과 측정	김용하, 정종균, 원영인, 이방용	한국우주과학회 추계학술발표회 초록집, 세종대학교, p. 37.	2001. 11. 2
남극 킹조지섬 바톤반도의 열수변질작용 시기와 지구화학	<u>허순도</u> , <u>이종익</u> , 최문영, 황정	2001년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 대구 경북대, p. 111.	2001. 10. 26-27
Mineralogical evolution in Ca-carbonatites and phoscorites and the transition to Mg-Fe-Mn-carbonatites at Sokli Complex, Kola Alkaline Province, Arctic Region	<u>Lee, Mi Jung</u> Garcia, D., Moutte, J., Wall, F., Williams, C.T., Woolley, A.R.	2001년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 대구 경북대, p. 121.	2001. 10. 26-27
남극 남쉐틀랜드군도 킹조지섬 바톤-위버반도 화산암류의 지구화학 및 지구연대학적 고찰	여정필, <u>이종익</u> , <u>허순도</u> , 최문영, 최번각	2001년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 대구 경북대, p. 124.	2001. 10. 26-27
- Mercury measurement in condensed and interstitial phase in clouds - Mercury speciation in seasonal snow cover: evidence of photoreduction processes	Prof. <u>C. Ferrari</u>	한국해양연구원 초청강연	2001. 10. 11
Niobium deposits in weathered carbonatite: an example at Sokli, northern Finland	Wall, F., Williams, C.T., Woolley, A.R., Garcia, D., Moutte, J., <u>Lee, Mi Jung</u> , Sonnet P.	EuroCarb Workshop (Abstracts), Oulun Yliopisto, Finland, p. 14.	2001. 9. 14-20

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Nb- and Zr-bearing minerals from Sokli, Finland	Williams, C.T., Garcia, D., Lee, Mi Jung, Moutte, J., Wall, F., Woolley, A.R.	EuroCarb Workshop (Abstracts), Oulun Yliopisto, Finland, p. 15.	2001. 9. 14-20
Kola phoscorites and carbonatites - an introduction and overview	Prof. A.N. Zaitsev	한국해양연구원 초청강연	2001. 7. 4

4. NRL 해당기술 관련 수상실적 (동과제 수행 기간중)

연도	수상명	수상내용
2001	2001년도 해양연구원 우수연구팀 표창	남극관련연구팀 연구책임자 수상
2002	2002년도 해양연구원 우수연구팀 표창	북극관련연구팀 연구책임자 수상
2003	과학기술훈장 도약장	북극연구 진흥 등 극지연구에 기여
2003	한국과학기술총연합회가 주는 우수논문상	극지역에 기록된 지구온난화 문제를 주제로 한 논문

5. 공공기능수행실적

가. 연구관련 국내외 홍보 자료 : 49건

- 1) 대한민국 다산 북극과학기지 개소의 연구 관련 보도 자료(중앙일보등 37건)
- 2) 북극권 연구관련 해양연구원 소식지(7건)
- 3) 청와대 홈페이지 자료(3건)
- 4) TV방영(2건)
 - 2003. 1. 8 : KBS 수요기획 신년특집 "북극"
 - 2003. 1. 19 : KBS 일요스페셜 "미래의땅-남극"

나. 워크샵, 세미나 개최 : 5회

- 1) 북극권 연구개발 워크샵 (2002. 3. 15, 한국해양연구원)
- 2) 제1차 한-이태리 극지연구 워크샵 (2002. 10. 4, 한국해양연구원)
- 3) 극지 자원 활용 기술개발 주제발표 및 토론회 (2002. 10. 23, 한국해양연구원)
- 4) 국제북극과학위원회 가입 제안서 (2002. 10, 한국북극과학위원회)
- 5) 한미 북극 연구관련 세미나 (2002. 11. 4, Arctic Research Office, NOAA, 미국)

제 4 절 관련분야의 기술발전예의 기여도

1. 빙하분야

가. 빙하연구를 위한 국제공동 연구시스템 구축

- 첨단 환경연구 분야인 빙하연구를 수행하기 위하여 다양한 국제공동 연구시스템 구축
- 자체 시료분석 능력을 기반으로 한-프랑스, 한-중국, 한-호주 등 빙하연구의 선도국들과 시료 공동분석 및 빙하시추를 위한 협조체제 마련
- 2002년 10월 한-중국과 공동으로 히말라야 빙하 시추 성공(깊이 120미터)

나. 지구환경변화의 지화학적 연구 기반 구축

- 초극미량 원소 분석을 위한 세계적 수준의 청정실험 기법 확립
- 다양한 환경시료 분석에 적용 가능
- 빙하시료 분석을 통한 지구환경변화 연구 능력 향상
- 선진 환경연구 분야에 참여 가능
- 장기간의 시·공간적 지구환경 복원 가능

2. 고층대기분야

가. 무인자동관측시스템 구축

- 극지와 같은 극한적 환경에서 무인 자동관측시스템을 구축하여 지속적인 관측을 가능케 함
- 2년여간 운영을 통해 자동관측시스템 안정성 검증

나. 남·북극 공동연구시스템 구축

- 캐나다 레조룻에 분광계 설치하여 미국 국립대기과학연구소와 캐나다요크대학과 3자 공동연구시스템 구축. 미국에서는 페브리-페로 간섭계와 인공위성을, 요크대학은 마이켈슨간섭계를 이용하여 해양연구원의 분광계와 더불어 극지고층대기특성연구를 종합적으로 수행할 수 있도록 공동연구계획수립
- 영국과 공동으로 동일한 기기를 남극(Rothera, Halley 기지)과 북극 (스웨덴 에스레인지 및 노르웨이 다산기지)에 설치하여 양극지방 비교연구의 기틀을 마련

3. 자원분야

가. 희유금속광물 국제공동 연구시스템 구축

- 국내 관련기술이 전무한 희유금속광물 연구를 위한 북극권 공동연구 시스템 구축
- 한-불-러 3국의 역할분담 및 연구체제 확립
- 제1차(2001년 9월), 제2차(2002년 9월) 북극권 러시아 콜라반도 희유금속광물 관련 알칼리화성암 복합체에 대한 야외조사 성공적 완수
- 희유금속광물의 야외 산출상태 규명 : 국내의 희유금속광물을 함유한 암체(예, 강원도 홍천 철광산)에 기술지원 및 응용 가능

나. 희유금속광물 성인 연구를 위한 첨단 지구화학분석실 설치

- 2001년 7월 첨단 유도결합플라즈마 질량분석기 도입(PerkinElmer Elan 6100)
- 2001년 9월 시료전처리를 위한 청정실험실 설치
- 2002년 3월 ICP-MS 분석 시스템 완비 및 테스트 완료
- 산 분해법을 이용한 희토류원소 분석 시스템 가동
- cathodoluminescence법을 이용한 희유금속광물 구조 분석 기술 개발
- 가압용기 용해법, 이온교환컴럼법 등 신 분석기술 개발 중

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구개발결과의 대표적 성공사례

제 2 절 활용계획

여 백

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구개발결과의 대표적 성공사례

1. 빙하분야

- 한-러, 한-중등 북극권 빙하시추를 위한 국제공동연구 체제를 성공적으로 구축하였고, 극미량 중금속원소 분석을 위한 극지연구본부의 빙하분석 시스템을 확충하고 테스트 완료함. 2002년 10월 한-중 공동으로 티벳고원 해발 6500미터에서 120미터 깊이의 빙하를 성공적으로 시추하였고, 시추한 빙하의 절개 및 선별작업 후 현재 시료 분석이 진행 중임. 한-독 국제공동연구 체제를 구축하여 북극 Severnaya Zemlya섬에서 시추한 빙하시료를 공동분석하기로 합의함.

2. 고층대기분야

- 영국남극연구소와의 공동연구로 남극2개기지 (로세라;Rothera, 헤일리; Halley)와 북극 2개기지 (스웨덴키루나; Kiruna, 노르웨이 스팔바드군도 니알슨 한국 다산기지)에 동종의 적외선분광계가 설치되어 남·북극 비교관측 연구가 수행되었다. 기기가 설치된 장소는 서로 대칭되는 위도에 위치하여 양극지방 비교연구에 있어 가장 이상적인 조건을 갖추고 있다. 이러한 성공사례는 극지연구를 수행하는 해양연구원 극지연구본부가 감사원 우수연구본부로 표창받는데 중요업적으로 기여를 하였다.

3. 자원분야

- 희유금속광물 탐사를 위한 한-불-러 공동연구체제를 구축하고, 북극권 카보나타이트 복합체에 대해 제1차(2001.9)와 제2차(2002.9) 현장지질 조사를 성공리 완수함
- 첨단 ICP-MS를 도입하고 청정 지구화학 분석실을 설치하여 테스트를 완료하고 자료양산 체제를 구축함. 현재 한국(XRF, ICP-MS), 프랑스(ICP-AES), 러시아(Wet and Noble Gas Analysis) 국제공동 분석시스템을 가동 중임

4. 기타 계획하지 않은 연구성과

- 연구기간 중 북극 다산기지를 개소하고, 북극과학위원회에 가입하여, 북극권 연구 국가로서의 위상을 재고하고, 극지 고기후환경 연구 분야, 극지 공학 분야등으로의 연구 분야 확대 및 활성화에 크게 기여함

제 2 절 활용계획

1. 빙하분야

- 빙하시료의 중금속농도 분석을 통한 북반구 기후변화 특성 파악 및 향후 예측 자료 제공
- 국내 환경연구에 적용될 수 있는 첨단기술 제공

2. 고층대기분야

- 극지에서서의 기기의 원격, 자동운영이 성공적으로 이루어짐.
- 습득된 기술은 향후 천문학이나 환경오염감시 등의 분야에 적극 활용 예정

3. 자원분야

- 희유금속광물 탐사 신기술 개발 및 분석 기술 첨단화
- 국내 희유금속광물 탐사 기술 제공

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 빙하 분야

제 2 절 고층대기 분야

제 3 절 자원 분야

여 백

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 빙하 분야

빙하연구는 막대한 예산과 인력 및 장비가 필요한 연구 분야이기 때문에 국제적 협력 과제로서 수행되고 있으며, 빙하시추 프로그램에는 다양한 국가와 연구기관, 그리고 전문가들이 참여하는 종합 환경연구 과제로 수행되고 있다. 이러한 국제적 환경에서 독자적인 연구를 수행하기 위해서는 우리만의 첨단 분석기술을 보유해야 하고, 이를 근간으로 국제적 공동연구 프로그램에 참여할 수 있다. 현재 우리나라가 보유하고 있는 빙하의 극미량원소 분석 기술은 세계적 수준으로서 이를 통해 국제공동연구를 활성화 할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 최근의 빙하연구는 고해상도로 지구환경을 복원하는 추세이며, 고가의 첨단 분석 장비와 기술(예: High-Resolution ICP-MS)을 응용해서 지금까지 연구하지 못했던 원소들을 분석하여 자료들을 생산하기 시작하고 있다. 따라서 세계적 연구 추세에 앞서가기 위해서는 고가 장비를 구비해야 하며, 여의치 않을 경우에는 타 연구기관들과의 연-연 또는 학-연 공동연구를 개발해야 할 것이다.

2002년 5월 프랑스 그르노블에서 열린 제12회 국제중금속 학회에 참석하여 다양한 환경연구 전문가들과 교류를 가졌다. 발표 논문들의 대부분은 독성 중금속들의 지화학적 거동에 미치는 인간활동의 영향을 규명하고자 하는 연구에 집중되어 있으며, 특히 환경 mapping을 작성하기 위하여 국제공동 프로그램이 활발하게 수행되고 있었다. 이중 빙하를 이용한 환경연구 분야는 극지방뿐만 아니라 저위도에 분포하는 빙하를 시추하여 고대기환경을 복원하는 연구 추세가 커지고 있었다. 이는 본 과제에서도 추진 중인 부분으로서 다른 국가들과의 공동연구 과제를 발굴할 가능성을 확인하는 기회였다.

제 2 절 고층대기 분야

1. Esragne 기지

소개

본 북극연구를 위해 적외선분광계를 설치한 곳의 하나인 에스레이지는 스웨덴 우주회사 (Swedish Space Corporation, SSC)의 분소로 주로 우주 활동과 관련한 사업 활동에 중점을 두고 있다. 스웨덴의 북쪽인 Kiruna (68 N, 21 E) 부근에 위치해 있으며, 일본, 독일 등 많은 우주개발 국가들이 이곳에 인공위성 추적 안테나를 설치하여 운영하고 있다. 또한 지역적 광활함으로 인해 고층대기 관측용 과학 로켓 발사장이 위치하고 있다. 주변의 불빛이 적고 오로라, 중간권 야광운, 성층권 구름 등의 다양한 고층대기 현상이 빈번히 발생하기 때문에 일본, 프랑스, 영국, 독일 등의 많은 나라에서 우주연구관련한 관측소를 설치, 운영하고 있다. 우리나라에서는 해양연구원이 2001년 적외선분광계를 설치, 운영함으로써 국내 최초의 관측소를 운영하게 되었다. 에스레이지에서는 이와 관련하여 전력선 및 네트워크 선, 그리고 부지를 제공하는 등의 질 높은 서비스를 제공하고 있다.

연구분야

에스레이지에서는 로켓과 성층권 풍선 발사 및 고층대기 관측소와 관련된 제반 시설 등을 제공하며 기타 연구에 관련된 지원 활동을 수행한다. 고층대기 지상 관측소의 경우 전력과 네트워크 등을 포함한 관측소 운영 및 관리 등에 대한 제반적 서비스를 제공하기 때문에 효율적 관측이 가능하다. 다음은 Esragne의 주된 활동 분야이다.

- 과학 로켓 발사
- 성층권 풍선 발사
- 고층 대기 지상 관측소 운영

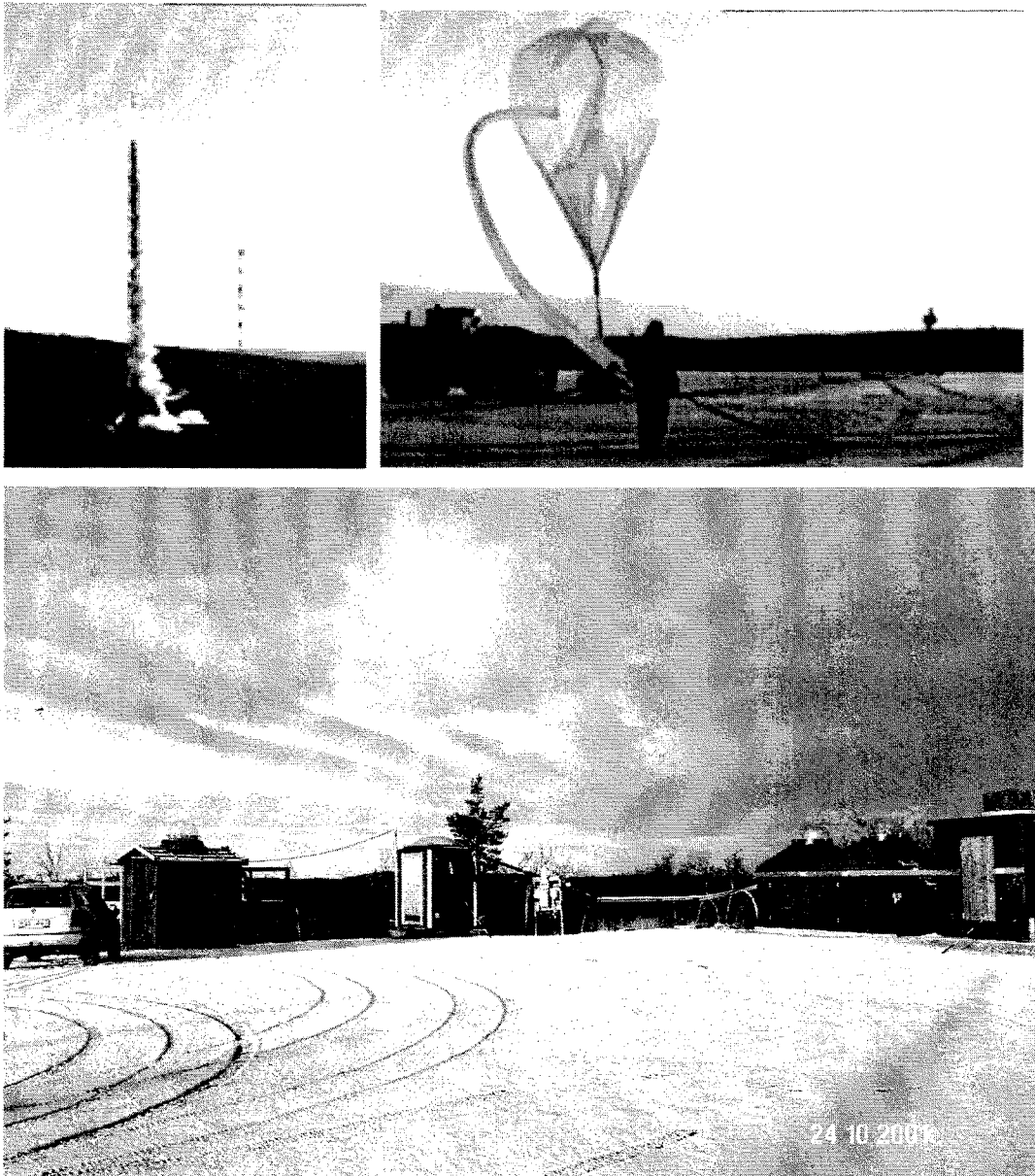


그림 6-1. 에스레인지기지의 로켓발사장과 거대풍선비양소, 그리고 지상광학관측소의 모습 (위쪽 좌측으로부터 시계방향으로)

에스레인지 과학 로켓 발사장에서는 그 동안 대기 관측용 과학 로켓을 수십 기 발사하여 이와 관련한 발사 기술 등에 많은 기술적 그리고 경험적 축적을 쌓아왔다. 과학 로켓이 관측한 자료는 지상 관측 정보와 보완하여 고층대기에 관한 입체적인 연구가 가능하게 된다.

풍선은 주로 성층권 관측용 풍선을 발사한다. 인공위성이나 지상의 관측이 원격 관측인 것에 비해 풍선의 경우 직접적으로 대기의 고도별 밀도 등을 측정할 수 있는 장점을 갖는다. 독일과 프랑스가 활발하게 수행하였으며, 특히 일본은 우주왕복선 시험 모델링을 위해 풍선을 이용

하기도 하였다.

고층대기 지상 관측소는 크게 광학 관측과 레이더 관측으로 이루어져 있다. 열권 및 중간권 관측을 위한 광학 분광계 및 간섭계 등이 한국, 일본, 영국에 의해 KEOPS (Kiruna ESRANGE Optical Platform System; ESRANGE 내에서 가장 높은 산에 위치) 무인 운영되고 있다. 또한 영국과 독일에서는 레이더와 라이더 (LIDAR) 등을 운영하여 고층대기의 수직 구조에 대한 연구를 수행하고 있다. 에스레인지에는 이에 관련한 관측소 설치 및 운영 등에 관한 서비스를 제공한다.

이 밖에도 잘 갖추어진 제반 시설과 고위도라는 특성 때문에 일본, 독일 등 많은 우주개발국에서 상당수의 인공위성 추적 안테나를 설치, 운영을 하고 있다.

제언

Kiruna에 위치한 ESRANGE는 고위도라는 특성과 넓은 부지 그리고 인근에 불빛이 거의 없기 때문에 고층대기 관측, 로켓 발사, 인공위성 운영 등 우주 활동과 관련한 많은 부분에서 큰 장점을 갖고 있다. 이와 같은 장점으로 인해 유럽과 일본 등에서 ESRANGE에 많은 시설을 갖추고 우주과학 연구 및 인공위성 운영을 하고 있다. ESRANGE는 축적된 시설 운영에 관한 경험을 통해 사용자들에게 많은 편의성을 제공한다. 이와 같은 환경으로 인해 각국의 연구팀에 의해 관측된 자료 활용한 공동 연구를 통해 보다 질 높은 연구 활동이 기대된다.

2. 스웨덴 우주물리 연구소

(Institutet för Rymdfysik, IRF; Swedish Institute of Space Physics)



그림 6-2. 스웨덴 Kiruna에 위치한 우주물리연구소(IRF)의 모습.

소개

적외선분광계를 운영하는 에스레인지 기지에서 가까운 키루나라는 도시에 위치한 스웨덴 우주물리연구소(IRF)는 1957년 지구물리 관측소로 출발하여, 현재 스웨덴의 Ume, Uppsala, 그리고 Lund 에도 부서를 둔 국립 우주 연구소로 발전하였다. IRF는 우주환경에 대한 장기적 관측 활동을 통해 얻어진 자료들을 통합하여 이를 순수 우주과학 연구에 활용하고 있으며, 유럽 및 일본과의 지상 및 인공위성 관측을 통한 공동 연구를 통해 우주과학 연구에 더 큰 발전을 꾀하고 있다. 이와 같은 우주과학연구 활동과 더불어 IRF는 지난 10년간 우주물리에 관련한 대학 교육과 우주기술 분야에 지속적으로 참여하고 있다. 특히 2000년부터는 Kiruna에 위치한 IRF의 본부에서 우주과학 및 우주기술 분야의 전문가들과 해당 전공 학생들과의 교류에 중점을 두어 대학원프로그램을 제공하고 있다. 이 밖에도 1986년 2월 22일 스웨덴의 첫 번째 인공위성인 Viking을 발사하여 스웨덴의 인공위성 계획에 성공적인 출발을 이루기도 하였다.

연구 분야

Kiruna, Ume, Uppsala, 그리고 Lund 각각에 위치한 IRF의 각 부서에서 우주 및 대기와 관련된 제반 연구들을 수행하고 있지만 IRF 본부가 위치한 스웨덴 북부의 Kiruna에서 가장 광범위하고 활발한 우주관측 및 연구 활동을 수행하고 있다. Kiruna에서 수행 중인 연구 분야는 크게 네가지

분야로 다음과 나눌 수 있다.

- 대기물리 (Atmospheric Physics)
- 태양 지구 물리 (Solar Terrestrial Physics)
- 태양계 물리학 및 천체 물리 (Solar System Physics and Astrophysics)
- 우주 기술 (Space Technology)

대기물리 연구는 주로 지구의 성층권, 중간권, 그리고 열권 하부에 대한 에너지 수지 및 동역학적 현상에 관한 연구가 수행 중에 있다. 특히 고층대기는 대류권에서 감지하기 어려운 지구 온난화 과정이 명확히 나타나기 때문에 전 세계적으로 관심이 집중되는 지역이다. 특히 중간권의 야광운 (mesospheric noctilucent cloud) 과 극지방 성층권 구름 (polar stratospheric cloud) 의 발생이 온난화와 관련된 것으로 보고되는 주요한 고층대기 현상들이다. 대류권 및 성층권에서 발생되어 고층대기로 전파되는 중력파 (gravity wave) 에 의한 에너지 및 운동량 전달은 지구 대기 전체에 대한 에너지 수지와 대기 동역학 현상에 대한 흥미로운 주제가 되고 있다. 특히 극지방에서는 오로라 폭풍과 연관되어 많은 연구 주제가 되고 있다. 이와 같은 현상들에 대한 관측은 여러 종류의 관측 기기를 통한 장기적인 지상 관측이 수행된다. IRF 자체적인 정상 관측이 수행되고 있으나 더불어서 일본이나 유럽 각국과의 국제 공동 연구가 활발히 이루고 지고 있는 상황이다.

태양 지구 물리는 태양 활동에 따른 지자기 활동과 그에 따른 지구 고층대기 반응에 대한 연구가 중심을 이루고 있다. 플라즈마로 이루어진 태양풍은 특히 지자기장이 수렴하는 고위도 지역에서 매우 중요한 우주 환경적 요소이다. 이에 대한 현상으로 우리에게 가장 잘 알려진 것이 오로라이다. 이 밖에도 강력한 태양 폭풍은 인공위성 운영과 지상의 전력선 등에 영향을 주는 등 우리 실생활과 밀접한 연관성을 갖는 것으로 보고되고 있다. Lund의 IRF에서는 태양 지구 물리에 관한 많은 연구가 중점적으로 수행되며, 특히 실시간 태양 및 지자기 활동 예보에 의한 우주 환경 모델을 개발하고 있다.

태양계 물리 및 천체 물리 분야에서는 주로 태양계내의 행성, 혜성, 유성 등에 대한 연구와 태양과 그들 천체들의 상호 작용에 대한 연구가 수행된다.

우주 기술 분야에서는 인공위성 자체 개발 기술과 과학 탑재체, 그리고 운영 소프트웨어 등에 관한 개발이 이루어지고 있다. 이와 더불어 우주환경이 인공위성에 미치는 영향에 대한 연구도 수행하고 있다.

제언

스웨덴 북부 극지방에 위치한 Kiruna 본부를 중심으로 IRF는 자체적인 고층 대기 및 우주 관측 활동과 더불어 많은 국가들과의 국제 공동 연구를 통해 상호 보완적인 발전을 이루고 있다. 태양 및 지자기 활동에 의한 직접적 영향을 받는 극지방의 특성상 Kiruna가 각국의 많은 우주

과학 연구자들에게 매우 흥미있는 관측 장소로 인식된다. 이에 독일, 일본, 영국 등의 국가에서 Kiruna에 우주과학 관측소를 운영하고 있으며 IRF를 중심으로 서로의 연구에 많은 질적인 향상을 도모하고 있다.

3. CRESS (Center for Research in Earth and Space Science), York University, Canada

소개

CRESS는 캐나다 토론토의 요트대학 순수응용과학부내에 구성된 연구단위로 요크대학내에서는 처음으로 (1965년) 설립된 연구센터이다. 이 연구센터는 요크대학 대학원의 지구우주연구 프로그램을 지원하는 것을 주 임무로 하고 있으며 CERSS의 교원은 주로 지구 및 대기과학과, 물리 및 천문학과, 화학과, 컴퓨터과학과, 그리고 수학 및 통계학과 등에서 일하고 있다. 주요 목표는 첫째, 지구 및 우주분야 테마연구의 장려와 촉진, 그리고 협력연구이며 두번째로 대학원 지구 및 우주과학프로그램을 활성화시키는 것을 들 수 있으며 마지막으로CRESS 수행내용의 활동의 입안시키는 것이다.

부속 실험실로 CSIL (CRESS Space Instrumentation Laboratory)을 두고 있으며 이곳에서 우주비행체의 디자인과 개발, 테스트가 수행되며 캐나다 국가우주프로그램을 지원하기도 한다. 실험실에서는 주로 광학방법을 이용한 원격탐사 기기의 개발이 주로 이루고 있으며 Clean Room Module, Lcea Work Rook Module, Dark Rook Module, Desig Module, 그리고 Assembly/Test Module 등 몇개의 구역으로 나뉘어져 각기 필요한 일을 수행할 수 있도록 공간을 제공한다.

연구분야

CRESS 내에서 다루고 있는 주 연구테마는 천문학 및 천체물리, 대기역학, 화학물리, 원격탐사, 그리고 우주환경연구 등이 있다.

- 천문학 및 천체물리분야

태양시스템의 이론과 관측, 은하의 적외선 및 전파관측, 일반상대성이론의테스트 등을 수행하고 있다. 특히 장거리간섭(VLBI; Very Long Baseline interferometry) 기술을 이용한 수퍼노바 (supernovae), 펄사 (pulsars), 일반 상대성의 테스트 및 기초 기준 등의 연구를 수행하고 있다. 또한 허블 우주망원경을 이용한 행성의 이미지 및 분광연구도 이곳에서 활발히 진행되고 있는 연구분야의 하나이다. 천문학에서 중요하게 다루어지는 분자들의 기초전이율 (fundamental transition probability) 에 대한 이론과 실험연구도 아울러 수행되고 있다.

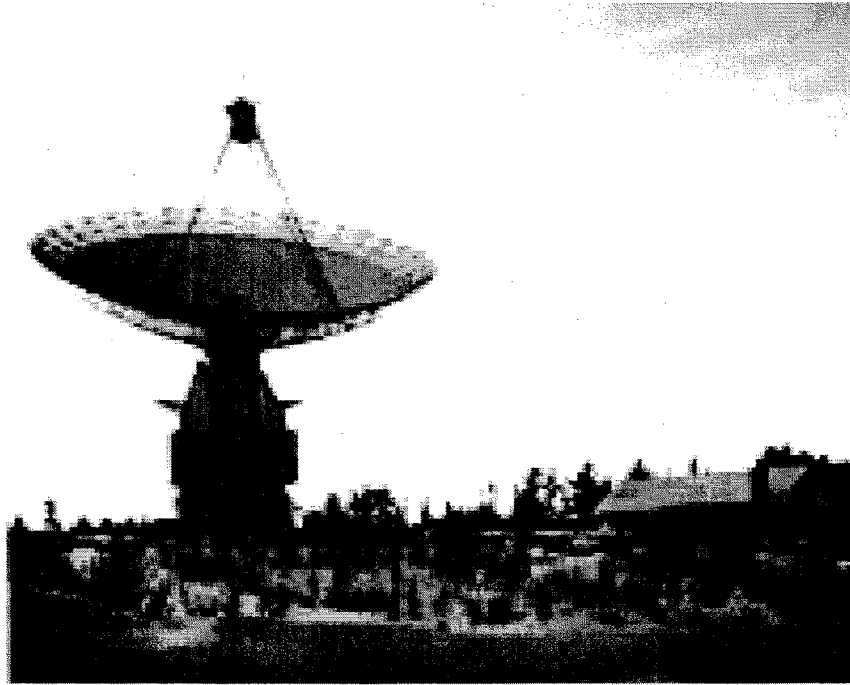


그림 6-3. Cress에서 수행하는 VLBI용 전파망원경

- 대기화학분야

대기화학분야에서는 인공위성을 이용한 실험연구에 관련되어 있는데 특히 스웨덴의 ODIN인공위성을 이용한 스웨덴, 핀란드, 프랑스와의 공동연구를 수행하고 있다. 이 인공위성에 OSIRIS라는 기기를 담당하여 자외선분광과 적외선 관측을 수행하고 있으며 북극권의 오존층에 대한연구를 수행한다. 또한 고층대기연구 인공위성은 UARS (Upper Atmosphere Research Satellite)의 관측기기의 하나인 WINDII라는 탑재체를 개발하여 성층권 대기광과 극중간권구름, 산소원자 및 산화질소 등 고층대기의 화학과 관련된여러가지 흥미로운 관측을 성공적으로 수행하였다. 이 외에도 대류권 및 성층권의 화학과정과 관련된 여러 기체들의 특성을 연구하고 있으며 이론모델을 개발하고 있다.

- 대기역학분야

대표적인 연구로는 라이더(LIDAR; Light Detecting and Ranging) 개발을 통한 대기중의 오존과 에어로졸, 온도와 중력파관측이 있으며 대부분의 연구를 캐나다 북극에서 수행하고 있다. 또한 중간권 대기층의 중력하의 전파와 붕괴과정에 따른 대기모델연구를 수행하기도 한다.

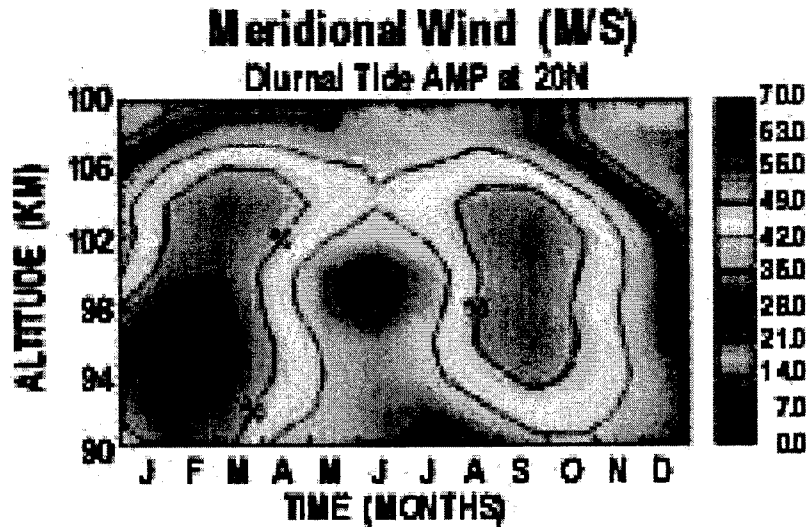


그림 6-4. WINDII로 관측된 고층대기 남북방향 방향의 계절별 구조

대기화학분야에서도 언급된 WINDII 자료를 이용하여 고층대기 (980-300 km) 의 바람을 정밀히 조사하며 조석파나 행성파와 같은 대기파동의 특성을 연구하고 있으며 전지구적인 산소원자의 분포에 미치는 바람의 영향분석은 중요한 연구결과의 하나이기도 하다. 현재 캐나다의 회사들과 연관하여 장간권 및 성층권의 바람을 관측할수 있는 기기를 개발하고 있기도 하다.

- 우주환경연구분야 (Space Environment)

우주환경분야는 우주비행체와 우주플라즈마환경과 관련된 이론적인 모델모사연구가 수행되고 있으며 특히 우주비행체의 고전압대전현상에 대한 진단과 방전현상에 대한 문제가 다루어지고 있다. 또한 우주분광학분야의 이론적, 실험적인 연구도 진행되고 있는데 특히 근우주환경에서의 중요기체들의 전이과정과 관련된 연구가 진행되고 있다. 이러한 기체들의 복사선을 지상과 우주에서 관측하여 우주환경의 물리적 특성을 유추하고 있으며 고층대기물리의 참조도감으로 사용할 수 있도록 연구를 진행하고 있다.

- 원격탐사 및 지리정보시스템분야 (Remote Sensing & Geographic Information System)

원격탐사연구는 지상에 흩어져 존재하는 혹은 방출되는 지자기분석을 통해 수집된 정보와 관련된 과학과 기술의 개발을 포함하여 태양광과 식생의 관련성, 호수, 지리정보시스템을 통한 정보의 모델링과 결합등의 연구를 수행하고 있다. 또한 SAR (Synthetic Aperture Radar)를 이용하여 파동의 특성을 보다 참신하고 효과적으로 추출하는 방법을 개발하고 있다.

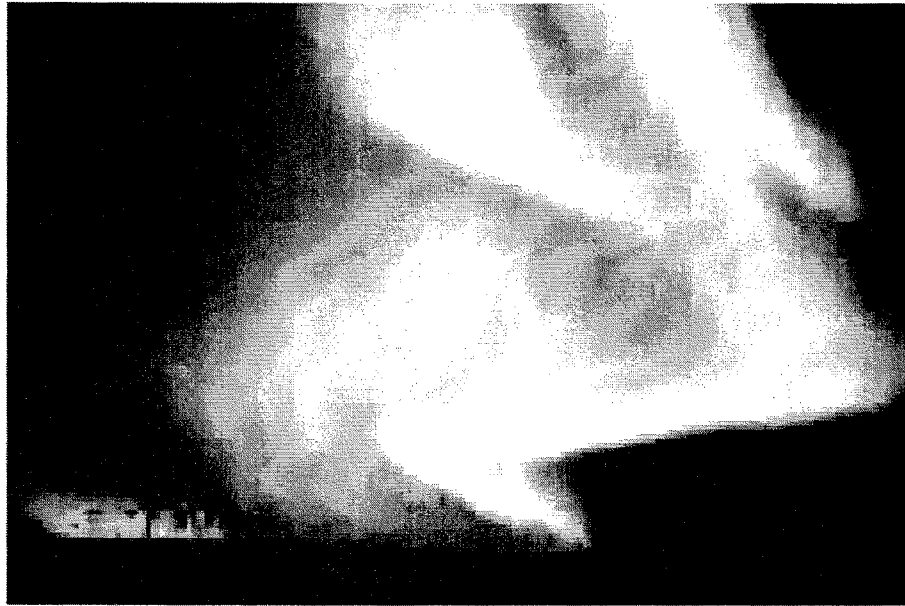


그림 6-5. 우주환경의 대표적인 현상인 오로라의 모습.

제언

요크대학의 CRESS와는 캐나다 레조룻의 분광계 설치, 운영건으로 관계를 시작하였으며 2002년에는 공동연구에 관한 간단한 협의를 가졌다. 또한 2003년 초에 CRESS의 센터장인 G. G. Shepherd 박사가 캐나다 NSERC(National Science and Engineering Research Council)에 제출한 연구과제에 공동으로 참여하는 것을 명시하였으며 최근 이 과제가 캐나다 과학재단에서 채택됨으로써 앞으로 본격적인 공동연구를 수행할 계획이다. CRESS에서는 이를 위해 새로 수리한 마에켈슨간섭계를 레조룻의 관측소에 설치하였으며 해양연구원의 대기광분광계도 안정적인 운영을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 2004년 7월에 개최되는 국제공간연구위원회(COSPAR; Committee on Space Resarch)에서 추가적인 모임을 가져 앞으로의 공동연구에 대한 진행과정에 대한 협의를 할 계획이다.

CRESS는 결코 큰 연구소가 아니지만 소규모의 연구센터를 통해서도 인공위성을 비롯한 첨단 우주연구가 가능함을 보여주는 우수한 연구실의 모범사례로 여겨진다. 규모가 큰 연구실이 어려운 국내 고층대기연구실의 상태에서 볼 때 현실성있는 대안방안으로 여겨진다.

제 3 절 자원 분야

1. 영국 자연사박물관 광물학과

(Department of Mineralogy, Natural History Museum, UK)

영국 자연사박물관 광물학과는 희유금속광물과 관련된 카보나타이트-포스코라이트 연구의 최첨단 기관으로 우리나라가 지속적으로 북극권 광물자원에 관심을 갖고 연구하기 위해서 참고하고 우선적으로 국제공동연구를 모색해야 하는 기관이다. 현재 전세계적으로 카보나타이트 연구를 가장 활발하게 진행하고 있는 팀은 'EUROCARB Working Group'이며 자연사박물관 광물학과에서 이 그룹을 실질적으로 관리하고 있다. 본 연구사업 중 1단계 1차년도 콜라반도에 대한 지질조사(2001년 9월)를 수행할 당시에도 우리 연구팀이 이 working group에 참여하여 함께 지질조사를 실시하였고, 그 당시 프랑스, 러시아 등과 국제공동연구를 체결할 수 있는 계기를 마련한 바 있다(그림 6-6).



그림 6-6. 2001년 9월 제1차 북극권 핀란드 Sillinjarvi 카보나타이트 암체 지질조사 장면

따라서 향후 희유금속광물 연구를 세계적 수준으로 향상시키기 위해 참고해야만 하는 기관으로 영국 자연사박물관 광물학과를 소개한다.

- 조직

자연사박물관 광물학과는 전세계로부터 수집한 진귀한 운석, 광물 등을 보관하고 있는 자체 박물관을 포함하여 아래와 같은 4분야로 구성되어 있으며 총 60명의 스태프(교수, 연구원, 분석기사, 대학원생)이 참여하고 있다.

- 1) 자원-환경광물학(Economic and Environmental Mineralogy)
- 2) 전자현미경 분석팀(Electron Microscopy and Mineral Analysis)
- 3) 구조광물학(Mineral Sciences and Systematics)
- 4) 암석학-운석학(Petrology and Meteoritics)

- 연구 내용

광물학과의 연구는 크게 지구의 물질, 역사 그리고 과정을 연구하는 팀과 지구환경을 연구하는 팀으로 대별되며, 주된 연구 주제를 요약하면 아래와 같다.

- 1) Earth Materials, History and Processes theme
 - Mineral Systematics
 - Petrology and Petrogenesis
 - Meteorites and Dust from Space
 - Mineralogy and Origin of Ore Deposits
 - Soils
- 2) Environmental Mineralogy
 - Environmental Mineralogy
 - Organisms and Metals

이 분야 중 희유금속광물과 카보나타이트 연구는 Petrology and Petrogenesis 분야에 집중적으로 연구하고 있으며, 이 분야에서는 아래와 같은 4개 분야 연구를 주로 수행한다.

- Petrology and Petrogenesis
- Extrusive carbonatites
 - Phoscorite and carbonatite
 - Mantle xenolith
 - Alkaline rocks and carbonatites of the World

화산성 카보나타이트(Extrusive carbonatite) 연구는 아프리카 탄자니아에 있는 세계 유일의 카보나타이트 활화산인 Oldoinyo Lengai 화산에 집중하고 있으며, 매년 조사를 통해 화산성인 연구뿐 만 아니라 화산 재난에 대비한 꾸준한 모니터링도 실시하고 있다.



그림 6-7. 세계 유일의 카보나이트 활화산인 Oldoinyo Lengai Volcano(아프리카 탄자니아)

포스코라이트-카보나이트(Phoscorite and carbonatite) 연구는 현재 동 연구사업에서도 수행하고 있는 북극권 러시아 콜라반도에 발달하는 암체를 대상으로 하고 있기 때문에 이 분야에 대한 한-영 국제공동연구를 추진할 필요성이 있다. 특히 이 지역은 전세계적으로 가장 많은 신종광물이 보고되고 있는 코브도 암체를 포함하여 약 20여개의 알칼리암-카보나이트 복합체가 발달하고 있으며, 그 중 몇 개의 암체는 현재까지 거의 연구가 안된 암체들도 있다. 콜라반도에 발달하는 Kola Alkaline Province는 동아프리카에 발달하는 많은 카보나이트들과는 달리 인회석-자철석-감람석-방해석으로 구성된 다량의 포스코라이트를 동반하는데, 이 암석은 카보나이트보다도 훨씬 많은 희유금속광물을 함유한다. 카보나이트에 50% 이상 함유된 방해석은 맨틀로부터 유래된 탄소(carbon)의 주된 운반자로서 이 탄소가 주기적으로 지표로 공급됨에 따라 지구환경변화에 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 카보나이트는 광물자원 확보 차원뿐 만아니라 온실효과와 관련된 지구환경변화를 이해하기 위한 연구를 위해서도 중요한 대상이다. 특히 이 광물학과에는 신종광물 감별을 위한 다양한 첨단기기를 보유하고 있기 때문에 분석기술 향상을 위해서도 공동연구가 절실하게 요구된다.



그림 6-8. 북극권 코라반도 코브도암체에서 산출되는 포스코라이트

맨틀 포획암(Mantle xenolith)은 지구 내부 구성물질을 이해하기 위한 필수적인 암석으로 운석과 함께 암석학 분야에서 매우 중요한 연구 대상이다. 이 분야에서는 이탈리아 베스비우스 화산, 솔로몬군도, 케이프 배르데 등에서 산출된 다양한 맨틀포획암을 대상으로 구성물질의 종류, 온도-압력 조건 등을 알기위해 다양한 분석기기를 동원하여 연구를 수행하고 있다.

알칼리암 연구(Alkaline rocks and carbonatites of the World)는 세계적으로 유명한 Alan Woolley 교수가 책임을 맡고 있으며, 전세계의 대표적인 알칼리암 시료를 보관하고 있다. 특히 Woolley 교수는 알칼리암과 카보나타이트 연구를 위해 기본적으로 필독해야 할 많은 textbook을 저술한 것으로도 매우 유명하다.

· 보유 기기

이 광물학과에는 광물 연구에 필수적인 대부분의 첨단 분석기기가 확보되어 있고, 모든 기기는 전문적으로 훈련된 기술인력에 의해 운영되고 있다. 광물학과가 보유하고 있는 대표적인 분석기기는 아래와 같다.

- Electron probe microanalysis(EPMA)
- Inductively coupled plasma spectrometry(ICP-AES)
- LA-MC-ICPMS
- Infrared spectroscopy(IR)
- X-ray diffraction by position-sensitive detector(XRD)
- Field emission scanning electron microscopy(SEM)
- Conventional scanning electron microscopy(SEM)
- Low vacuum scanning electron microscopy(SEM)
- Transmission electron microscopy(TEM)
- Confocal microscopy
- Cathodoluminescence



그림 6-9. EPMA (Cameca SX50)

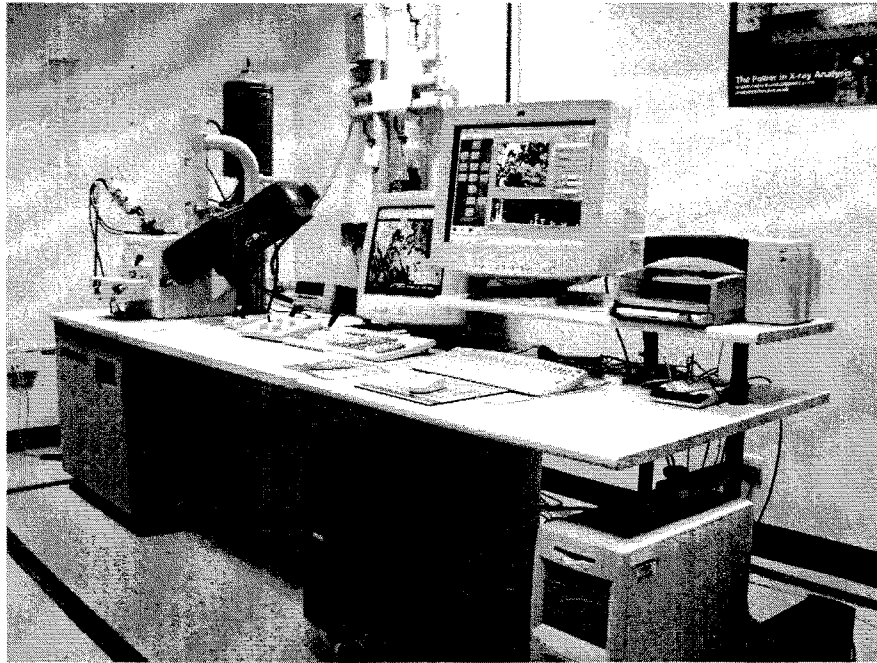


그림 6-10. SEM (Jeol 5900LV)

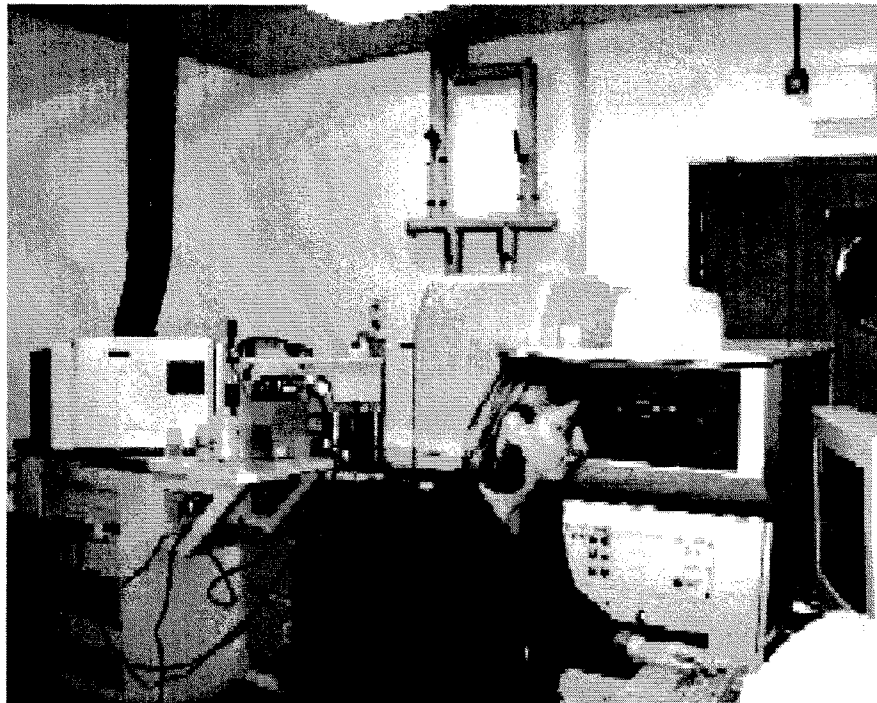


그림 6-11. LA-MC-ICPMS (Micromass IsoProbe)

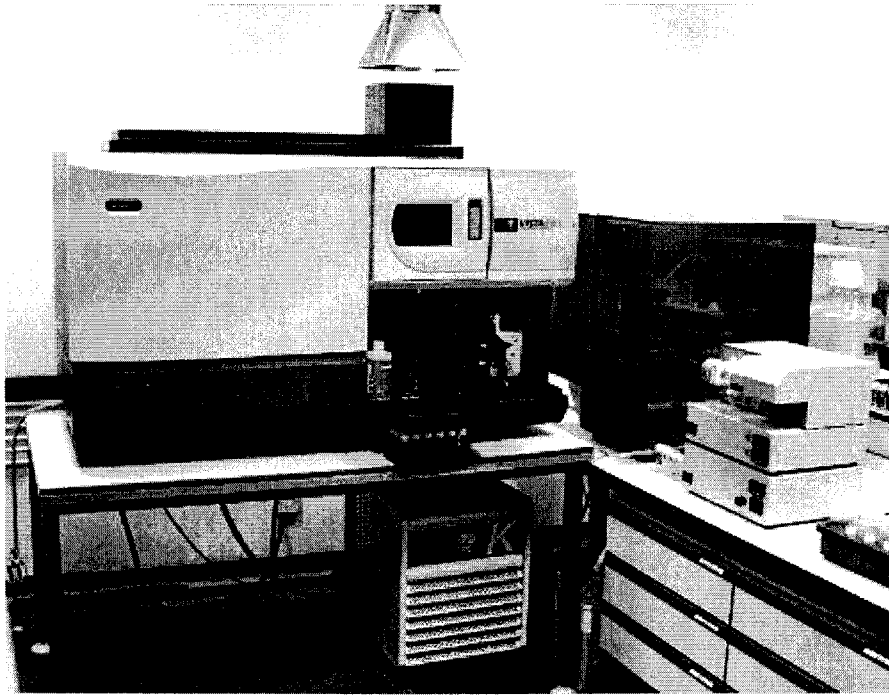


그림 6-12. ICP-AES (Varian VISTA PRO)

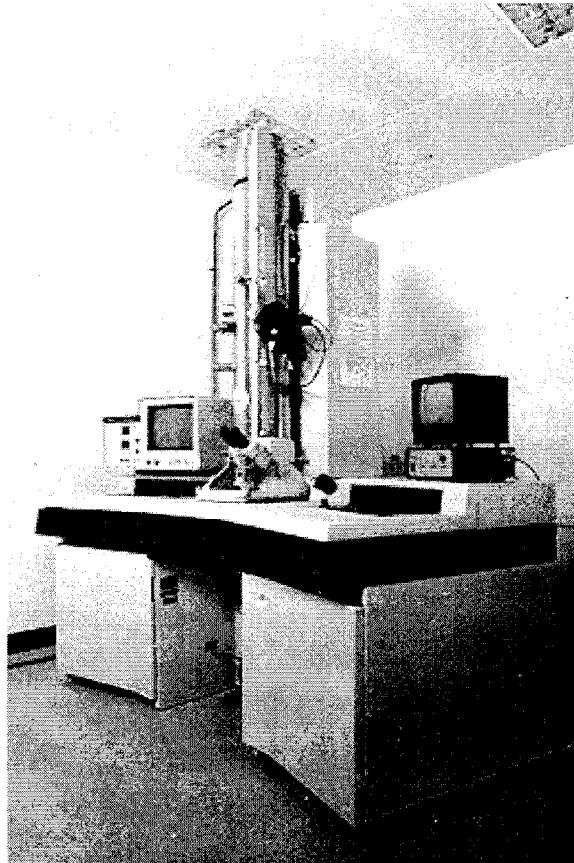


그림 6-13. TEM (Hitachi H-7100)

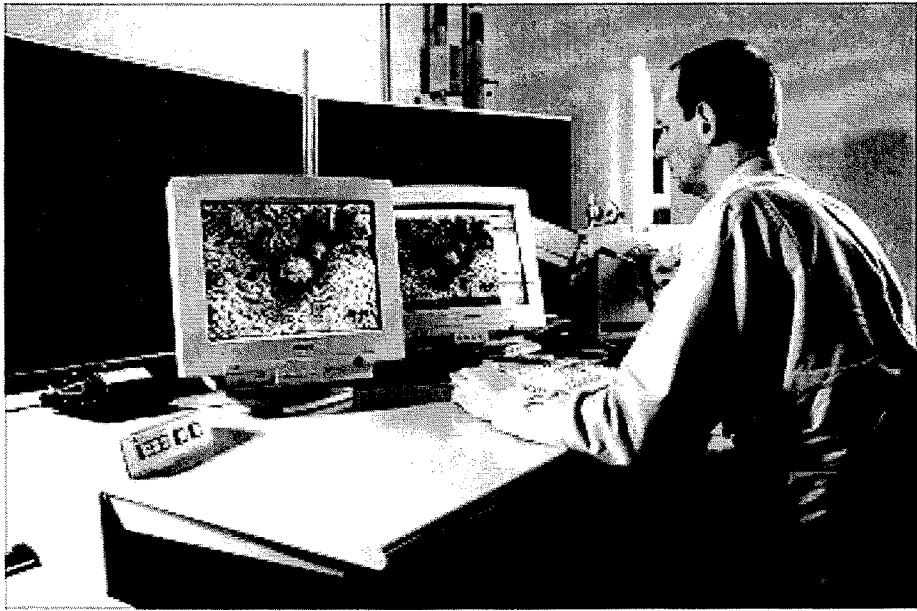


그림 6-14. Field emission SEM (Philips XL-30)

- 제 언

이상에서 살펴본 바와 같이 영국 자연사박물관 광물학과는 인력구성과 보유 장비 면에서 세계 최고 수준을 자랑한다. 희유금속광물 연구를 최근에 시작한 우리나라로서는 연구 선진화를 위해서도 필히 참고해야할 기관이다. 향후 2단계부터 희유금속광물의 성인을 본격적으로 연구하기 위해서는 영국을 방문하여 첨단 분석기술을 습득하고, 최신 분석기기를 이용한 광물분석에 전력을 기울여야 할 것으로 생각된다.

여 백

제 7 장 참 고 문 헌

여 백

제 7 장 참 고 문 헌

<빙하분야>

Bassinot, F.C., L.D. Labeyrie, E. Vincent, X. Quidelleur, N.J. Shackleton and Y. Lancelot. 1994. The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 126, 91-108.

Boutron, C.F. and C.C. Patterson. 1986. Lead concentration changes in Antarctic ice during the Wisconsin/Holocene transition, *Nature*, 323, 222-225.

Boutron, C.F., C.C. Patterson, V.N. Petrov and N.I. Barkov. 1987. Preliminary data on changes of lead concentrations in Antarctic ice from 155,000 to 26,000 years BP, *Atmos. Environ.*, 21, 1197-1202.

C.F. Boutron, C.C. Patterson and N.I. Barkov. 1990. The occurrence of zinc in Antarctic ancient ice and recent snow, *Earth Planet. Sci. Lett.* 101, 248-259.

Capodaglio, G., C. Barbante and P. Cescon. 2001. Trace metals in Antarctic seawater. In: Caroli, S., P. Cescon and D.W.H. Walton Eds., *Environmental Contamination in Antarctica: a Challenge to Analytical Chemistry*, Elsevier, pp 107-154.

Hinkley, T.K., P.J. Lamothe, S.A. Wilson, D.L. Finnegan and T.M. Gerlach. 1999. Metal emissions from Kilauea, and a suggested revision of the estimated worldwide metal output by quiescent degassing of volcanoes, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 170, 315-325.

Hong, S., J.P. Candelone, C. Turetta, C.F. Boutron. 1996. Changes in natural lead, copper, zinc and cadmium concentrations in central Greenland ice from 8250 to 149,100 years ago : their association with climatic changes and resultant variations of dominant source contribution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 143, 233-244.

Matsumoto, A and T.K. Hinkley. 2001. Trace metal suites in Antarctic pre-industrial ice are

consistent with emissions from quiescent degassing of volcanoes worldwide, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 186, 33-43.

Nriagu, J.O. 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals, *Nature*, 338, 47-49.

Petit, J.R., J. Jouzel, D. Raynaud, N.I. Barkov, J.M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delaygue, M. Delmotte, V.M. Kotlyakov, M. Legrand, V.Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Ppin, C. Ritz, E. Saltzman, M. Stievenard. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, *Nature*, 399, 429-436.

Svensson, A., P.E. Biscaye, F.E. Grousset. 2000. Characterization of late glacial continental dust in the Greenland Ice Core Project ice core. *J. Geophys. Res.*, 105, 4637-4656.

Thompson L.G., Davis M.E., Mosley-Thompson E., Sowers T.A., Henderson K.A., Zagorodnov V.S., Lin P.-N., Mikhalevko V.N., Campen R.K., Bolzan J.F., Cole-Dai J., Francou B. 1998. A 25,000-year tropical climate history from Bolivian ice core. *Science*, 282, 1858-186.

Wedepohl, K.H. 1995. The composition of the continental crust, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 1217-1232.

<고층대기분야>

Aikin, A. C. et al. 1991. Temperature trends in the lower mesosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 416-419.

Andrews, D. G., J. R. Holton, and C. B. Leovy. 1987. *Middle Atmosphere Dynamics* (San Diego : Academic Press), 489

Baker, D. J. and A. T. Stair, Jr. 1988. Rocket measurement of the attitude distributions of the hydroxyl airglow, *Physica Scripta*, 37, 611.

- Chapman, S., and R. S. Lindzen. 1970. *Atmospheric Tides* (Dordrecht : Reidel), 200.
- Forbes, J. M., and F. Vial. 1989. Monthly simulations of the solar semidiurnal tide in the mesosphere and lower thermosphere, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 51, 649.
- Longuet-Higgins, M. S. 1968. The eigenfunctions of Laplace's tidal equations over a sphere, *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 262, 511.
- Oznovich, and D. J. McEwen. 1997. Tidal oscillations of the Arctic upper mesosphere and lower thermosphere in winter, *J. Geophys. Res.*, 102, 4511.
- Sivjee, G. G., R. L. Walterscheid, J. H. Hecht, R. M. Hamwey, G. Schubert, and A. B. Christensen. 1987. Effects of Atmospheric Disturbances on Polar Mesopause Airglow OH Emissions, *J. Geophys. Res.*, 92, 7651.
- Sivjee, G. G., and R. L. Walterscheid. 1994. Six-hour zonally symmetric tidal oscillations of the winter mesopause over the South Pole Station, *Planet. Space Sci.*, 42, 447.
- Viereck, R. A., and C. S. Deehr. 1989. On the interaction between gravity waves and OH Meinel (6-2) and the O₂ Atmospheric (0-1) bands in the polar night airglow, *J. Geophys. Res.*, 94, 5397.
- Walterscheid, R. L. G. Schubert. 1995. Dynamical-chemical model of fluctuations in the OH airglow driven by migrating tides stationary tides, and planetary-waves, *J. Geophys. Res.*, 100, 17443.
- Walterscheid, R. L., and G. G. Sivjee. 1996. Very high frequency tides observed in the airglow over Eureka (80), *Geophys. Res. Lett.*, 23, 3651.
- Walterscheid, R. L., G. G. Sivjee. 2001. Zonally symmetric oscillations observed in the airglow from South Pole station, *J. Geophys. Res.*, 106, 3645.
- Wiens, R. H., A. Moise, S. Brown, S. Sargoytchev, R. N. Peterson, G. G. Shepherd, M. J. Lopez-Gonzalez, J. J. Lopez-Moreno, and R. Rodrigo. 1997. SATI: A spectral

airglow temperature imager, *Adv. Space Res.*, 19, 677.

Won, Y.-I., J.-K. Chung, B. Y. Lee, J. Kim, and J. B. Kim. 1999. An application of a Michelson interferometer to measurements of OH rotational temperatures., *J. K. Phys. Soc.*, 34, 344.

Won, Y.-I., Y. M. Cho, R. J. Niciejewski, and J. Kim. 2001. Observations of OH(3,1) Airglow emission using a michelson interferometer at 62°S, *Adv. Space Res.*, 25, 1165.

<자원분야>

Amelin, Y. and A.N., Zaitsev. 2002. Precise geochronology of phoscorites and carbonatites: The critical role of U-series disequilibrium in age interpretations, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66, 2399-2419.

Aries, S., M. Valladon, M. Polvé, and B. Dupré. 2000. A Routine method for oxide and hydroxide interference corrections in ICP-MS chemical; analysis of environmental and geological samples. *Geostand. Newsl.: J. Geostandards Geoanal.*, 2000, 19-31.

Balanganskay, E., A. Verhulst, H. Downes, R. Liferovich, D. Demaiffe, K., and Laajoki. 2000. Geochemistry, petrography and mineralogy of clinopyroxenite, phoscorites and carbonatites of the Seblyavr massif, Kola Alkaline Carbonatite Province, Russia. *Abstract of the 5th Svekalapko Workshop*, University of Oulu.

Bea, F., P. Montero, A. Stroh, and J. Baasner. 1996. Microanalysis of minerals by an Eximer UV-LA-ICP-MS system. *Chem. Geol.*, 133, 145-156.

Becker, J.S. and H.-J. Dietze. 1999. Long lived radionuclides: Ultratrace and precise isotope analysis by double-focusing sector field ICP-MS. *99 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (Pau)*, abstract volume, 55 p.

Burman O, C. Pontér, and K. Boströmet. 1978. Metaborate digestion procedure for Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry. *Anal. Chem.*, 50, 679-680.

- Chao, T.T. and R.F. Sanzolone. 1992. Decomposition techniques. *Geochem. Explor.*, 44, 65-106.
- Cremer, M., J. Schlocker. 1976. Lithium borate decomposition of rocks, minerals and ores. *Am. Mineral.*, 61, 318-321.
- Date, A.R., Y.Y. Cheung, and M.E. Stuart. 1987. The influence of polyatomic ion interferences in analysis by inductively coupled plasma-source mass spectrometry(ICP-MS). *Spectrochim. Acta*, 42B, 3-20.
- Dunworth, E. A. and K. Bell. 2001. The Turiy Massif, Kola Peninsula, Russia: isotopic and geochemical evidence for multi-source evolution. *J. Petrol.*, 42, 377-405.
- Eby, G.N. 1975. Abundance and distribution of the rare earth elements and yttrium in the rocks and minerals of the Oka carbonatite complexes, Quebec. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39, 597-620.
- Evans, E.H. and J.J. Giglio. 1993. Interferences in inductively coupled plasma-mass spectrometry: A reviews. *J. Anal. Atomic Spect.*, 8, 1-18.
- Fahey, A.J., J.N. Goswami, K.D. Mckeegan and E. Zinner. 1987. ²⁶Al, ²⁴⁴Pu, ⁵⁰Ti, REE and rare element abundances in hibonite grains from CM and CV meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 329-350.
- Fujimaki, H. 1986. Partition coefficients of Hf, Zr and REE between zircon, apatite, and liquid. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 94, 42-45.
- Gao, S., X. Liu, H. Yuan, B. Hattendorf, D. Günther, L. Chen, and S. Hu. 2002. Determination of forty two major and trace elements in USGS and NIST SRM glasses by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostand. Newsl. J. Geostandards Geoanal.*, 26, 181-195.
- Heaman, L.M., R. Bowins and J. Crocket. 1990. The chemical composition of igneous

- zircon suites: implications for geological tracer studies. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 1597-1607.
- Hieftje, G.M., S.J. Ray, J.P. Guzowski, A.M. Leach, and J.A.C. Broekaert. 1999. Driving forces for next generation plasma spectrometric instrumentation: Present needs, better knowledge and new technologies. *99 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (Pau)*, abstract volume, 55 p.
- Hoskin, P.W.O. 1998. Minor and trace element analysis of natural zircon($ZrSiO_4$) by SIMS and laser ablation ICP-MS: a consideration and comparison of two broadly competitive techniques. *J. Trace Microprobe Tech.*, 16, 301-326.
- Houk, R.S. 1999. New frontiers in instrumentation for ICP-MS. *99 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (Pau)*, abstract volume, 55 p.
- Ingamells, C.O. 1970. Lithium metaborate flux in silicate analysis. *Anal. Chim. Acta*, 52, 323-334.
- Jarvis, K.E. 1990. A critical evolution of two sample preparation techniques for low-level determination of some geologically incompatible elements by inductively coupled mass spectrometry. *Chem. Geol.* 83, 89-103.
- Jarvis, K.E. 1988. Inductively coupled plasma mass spectrometry: a new technique for the rapid or ultra-trace level determination of the rare-earth elements in geological materials. *Chem. Geol.*, 68, 31-39.
- Jarvis, K.E., A.L. Gray, and R.S. Houk. 1992. *Handbook of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. Blackie, Galsgow, 375 p.
- Kay, R.W. and P.W. Gast. 1973. The rare earth content and origin of alkali-rich basalts. *J. Geol.*, 81, 653-682.
- Kramm, U., 1993. Mantle components of carbonatites from the Kola Alkaline Province, Russia and Finland: a Nd-Sr study, *Eur. J. Mineral.* 5, 985-989.

- Lam, J.W.H., L. Yang, and J.W. McLaren. 1999. Application of ICP-MS to the production of environmental certified reference materials. *99 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (Pau)*, abstract volume, 51 p.
- Lee, M.J., J.I. Lee, and S.D. Hur. 1999. Nature of carbonatite complexes of the Kola-Karelia Province in Arctic Region: special emphasis on mineral potential. *Korean J. of Polar Res.*, 10, 143-154.
- Lichte, F.E., A.L. Meier, and J.G. Crock. 1987. Determination of the rare-earth elements in geological materials by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Chem.*, 1150-1157.
- MacRae, N.D. and J.B. Metson. 1985. In situ rare-earth element analysis of coexisting pyroxene and plagioclase by secondary ion mass spectrometry. *Chem. Geol.*, 53, 325-333.
- Mass, R., P.D. Kinny, I.S. Williams, D.O. Froude and W. Compston. 1992. The earth's oldest known crust: a geochronological and geochemical study of 3900-4200 Ma old detrital zircons from Mt. Narryer and Jack Hills, Western Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 1281-1300.
- May, T.W. and R.H. Wiedmeyer. 1998. A table of polyatomic interferences in ICP-MS. *Atomic Spectrosc.*, 19, 150-155.
- Metson, J.B., G.M. Bancroft, H.W. Nesbitt and R.G. Jonassen. 1984. Analysis for rare earth elements in accessory minerals by specimen isolated secondary ion mass spectrometry. *Nature*, 307, 347-349.
- Minnich M.G. and R.S. Houk. 1998. Comparison of cryogenic and membrane desolvation for attenuation of oxide, hydride and hydroxide ions and ions containing chlorine in inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J. Anal. Atomic Spectrom.*, 13, 167-174.

- Möller, P.G., S. Morteani, and F. Schley. 1980. Discussion of REE distribution patterns of carbonatites and alkaline rocks. *Lithos*, 13, 171-179.
- Murali, A.V., R. Parthasarathy, T.M. Mahadevan and M. Sankar Das. 1983. Trace element characteristics, REE patterns and partition coefficients of zircons from different geological environments- a case study on Indian zircons. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 2047-2052.
- Nagasawa, H. 1970. Rare earth concentrations in zircons and apatites and their host dacites and granites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 9, 359-364.
- Panteeva, S. V., D.P. Gladkochoub, T.V. Donskaya, V.V. Markova, and G.P. Sandimirova. 2003. Determination of 24 trace elements in felsic rocks by inductively coupled plasma mass spectrometry after lithium metaborate fusion. *Spectrochim. Acta B*, 58, 341-350.
- Potts, M.J., T.O. Early and A.G. Herman. 1973. Determination of rare earth element distribution patterns in rocks and minerals by neutron activation analysis. *Z. Anal. Chem.*, 263, 97-100.
- Reed, N.M., R.O. Cairns, R.C. Hutton, and Y. Takaku. 1994. Characterisation of polyatomic ion interferences in inductively coupled plasma-mass spectrometry using a high resolution mass spectrometer. *J. Anal. Atomic Spectrom.*, 9, 881-896.
- Sano, Y., K. Terada and T. Fukuoka. 2002. High mass resolution ion microprobe analysis of rare earth elements in silicate glass, apatite and zircon: lack of matrix dependency. *Chem. Geol.*, 184, 217-230.
- Sano, Y. and K. Terada. 2001. In situ ion microprobe UPb dating and REE abundances of a Carboniferous conodont. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 831-834.
- Sano, Y., K. Terada, Y. Nishio, H. Amakawa and Y. Nozaki. 1999. Ion microprobe analysis of rare earth element in oceanic basalt glass. *Anal. Sci.*, 15, 743-748.

- Shao, Y. and G. Horlick. 1991. Recognition of mass spectral interferences in inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Appl. Spectrosc.*, 45, 413-147.
- Shimizu, N. and S.H. Richardson. 1987. Trace element abundance patterns of garnet inclusions in peridotite-suite diamonds. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 755-758.
- Sholkoviz, E.R. 1990. Rare earth elements in marine sediments and geochemical standards. *Chem. Geol.*, 88, 333-347.
- Smirnova, E.V., I.N. Fedorova, G.P. Sandimirova, L.L. Petrov, N.G. Balbekina, and V.I. Lozhkin. 2003. Determination of rare earth elements in black shales by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochim. Acta B*, 58, 329-340.
- Sun, S.S. and W.F. McDonough. 1989. Magmatism in the ocean basins. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 42, 313-345.
- Tan, S.H. and G. Horlick. 1986. Background spectral features in inductively coupled plasam-mass spectrometry. *Appl. Spectrosc.*, 40, 1127-1137.
- Tang, Y.Q., K.E. Jarvis, and L.G. Williams. 1992. Determination of trace elements in 11 Chinese geological reference materials by ICP-MS. *Geostand. Newsl. J. Geostandards Geoanal.*, 16, 61-70.
- Thomson, M. and J.N. Walsh. 1989. *Handbook of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. Blackie, Glasgow, 316 p.
- Vaughan, M.A. and G. Horlick. 1986. Oxide, hydroxide, and doubly charged analyte species in inductively coupled plasma/mass spectrometry. *Appl. Spectrosc.*, 40, 434-445.
- Verhulst, A., E. Balaganskaya, Y. Kimarsky, and D. Demaiffe. 2000. Petrological and geochemical (trace elements and Sr-Nd isotopes) characteristics of the Paleozoic Kovdor ultramafic, alkaline and carbonatite intrusion (Kola Peninsula, NW Russia). *Lithos*, 51, 1-25.

Walsh, J.N. 1980. The simultaneous determination of the major, minor and trace constituents of silicate rocks using inductively coupled plasma spectrometry. *Spectochim. Acta B*, 35, 107-111.

특정연구개발사업 연구결과 활용계획서

[첨부1] 연구결과 활용계획서

[첨부2] 기술 요약서 I

기술 요약서 II

여 백

특정연구개발사업 연구결과 활용계획서

사업명	중사업명	국가지정연구실사업			
	세부사업명				
과제명		북극 대기환경 및 광물자원 연구			
연구기관		한국해양연구원	연구책임자	김 예 동	
총연구기간		2001년 7월 11일 ~ 2003년 7월 10일 (24 개월)			
총 연구비 (단위 : 천원)		정부출연금	민간부담금	합계	
		721,412천원		721,412천원	
기술분야		600(대형복합기술), 630(해양기술), 639(기타)			
참여기업					
공동연구기관					
위탁연구기관					
연구결과활용 (해당항목에(√) 표시)		1. 기업화 ()	2. 기술이전()	3. 후속연구추진(V)	4. 타사업에 활용()
		5. 선행 및 기초연구()	6. 기타목적활용(교육,연구)()	7. 활용중단(미활용)()	8. 기타()
<p>특정연구개발사업 처리규정 제 31조(연구개발결과의 보고) 제 2항에 의거 연구결과 활용계획서를 제출합니다.</p> <p>첨부 : 1. 연구결과 활용계획서 1부. 2. 기술요약서 1부</p> <p style="text-align: right;">2003년 9월 1일</p> <p style="text-align: right;">연구책임자 : 김 예 동 (인) 연구기관장 : 변 상 경 (직인)</p> <p>과학기술부장관 귀하</p>					

여 백

[첨부1]

연구결과 활용계획서

1. 연구목표 및 내용

본연구는 극지역에서의 빙하, 고층대기, 자원지질 연구를 통해 지구환경변화 예측과 함께 극지자원개발에 참여키 위한 진출의 교두보 확보와 극지 진출국으로서의 국제적 위상을 세우려는데 궁극적인 목적이 있다.

2. 연구수행결과 현황(연구종료시점까지)

가. 특허(실용신안) 등 자료목록

해당사항 없음.

나. 프로그램 등록목록

해당사항 없음.

다. 노하우 내역

해당사항 없음.

라. 발생품 및 시작품 내역

해당사항 없음.

마. 논문게재 및 발표 실적

○논문게재 실적

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
북극권 카라해 세인트 안나 트러프의 후기 제4기 고환경 연구	이재일, 김예동, 윤호일	지질학회지	2003	2003 Vol. 39 No. 1 65-80	대한지질 학회 (한국)	X
Meltwater discharge anomalies in marine isotope stage 3 from a sediment core in the south of Antarctic Polar Front, Drake Passage	Bae Sung Ho, Yoon Ho Il, Park Byong-Kwon, Kim Yeadong, Bahk Jang Jun. Seo Hyun Seok	Geosciences Journal	2003	2003 Vol. 7 No. 1 73-79	대한지질 과학협 회 (한국)	X
ICP-MS를 이용한 알칼리암의 희토류원소 정량분석	허순도, 이종익, 이미정, 김예동	Ocean and Polar Research	2003	2003 Vol. 25 No. 1 53-62	한국해양 연구원 (한국)	X
Occurrence and petrogenesis of phosphorite-carbonatite complexes in the Kola Alkaline Province, Arctic	Lee Mi Jung, Lee Jong Ik, Kim Yeadong	Ocean and Polar Research	2003	2003 vol. 25 No. 1 119-128	한국해양 연구원 (한국)	X
Phlogopite and tetraferriphlogopite from phosphorite and carbonatite associations in the Sokli massif, Northern Finland	Lee Mi Jung, Garcia, D., Moutte, J., Lee Jong Ik	Geosciences Journal	2003	2003 vol. 7 No. 1 9-20	대한지질 과학협 회 (한국)	X
대기 복사 모형에 의한 남극 세종기지에서의 복사학적 특징	이규태, 이방용, 원영인, 지준범, 이원학, 김운정	Ocean and Polar Research	2003	2003 Vol. 25 No. 1 9-20	한국해양 연구원 (한국)	X
Pb and Sr isotopes from an ice-core provides evidence for changing atmospheric conditions at the Sajama icecap, South America	Rosman, K.J.R., Hong Sungmin, Burton, G., Burn, L. Boutron, C.F. Ferrari, C.P. Thompson, L.G. Maurice-Bourgoin, L. Francou, B.	Journal de Physique	2003	2003 Vol. 107 1157-1160	프랑스물 리학회 (프랑스)	O
Strontium isotope measurements in Greenland ice from the Last Glacial Maximum to the early Holocene	Burton, G.R. Boutron, C.F. Hong Sungmin, Candelone, J.-P. Rosman, K.J.R.	Journal de Physique	2003	2003 Vol. 107 241-244	프랑스물 리학회 (프랑스)	O

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
Measurements of atmospheric waves in the upper mesosphere at mid latitude	Won, Y.-I., Lee, B. Y. Kim, J., Niciejewski, R. J. Kim, Y. H. Chung, J.-K.	Advances in Space Research	2002	2003 accepted	Pergamon (영국)	O
Polar cap observations of mesospheric and lower thermospheric 4-hour waves in temperature	Won Young-In, Wu, Q., Cho, Y.M., Shepherd, G.G. Killeen, T.L. Espy, P.J. Kim Yeadong, Solheim, B.	Geophysical Research Letters	2002	2003 Vol. 30 No. 7 1377-	American Geophysical Union (미국)	O
Carbonatites and phoscorites from the Sokli Complex, Finland, In : Wall, F. and Zaitsev, A.N. (eds.), PHOSCORITES AND CARBONATITES FROM MANTLE TO MINE: the key example of the Kola Peninsula	Lee Mi Jung, Garcia, D., Moutte, J., Wall, F., Williams, C.T.	Mineralogical Society	2002	2003 accepted	Mineralogical Society, (London, 영국)	O
Changes in the occurrence of heavy metals in the tropical atmosphere during the past 22,000 years as recorded in Bolivian ice core	Hong Sungmin, Park, J.K., Thompson, L.G., Boutron, C.F., Ferrari, C.P., Francou, B., Maurice-Bourgoin, L.	Journal de Physique	2002	2003 Vol. 107 633-636	프랑스물 리학회 (프랑스)	O
Changes in the natural lead, cadmium, zinc, and copper concentrations in the Vostok Antarctic ice over the last two glacial-interglacial cycles (240,000 years)	Hong Sungmun, Park, J.K., Boutron, C.F., Ferrari, C.P., Petit, J.R., Lipenkov, V.Y.	Journal de Physique	2002	2003 Vol. 107 629-632	프랑스물 리학회 (프랑스)	O
Glaciomarine sedimentation and its paleoclimatic implications on the Antarctic Peninsula shelf over the last 15000 years	Yoon Ho Il, Park Byong-Kwon, Kim Yeadong, Kang Cheon Yoon	Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	2002	2002 vol.185, 235-254	Elsevier (네덜란드)	O

논문 제목	저자	학술지명	제출일	발행 년도 권호	발행 기관 (국명)	SCI 여부 (O,X)
Natural and anthropogenic heavy metal deposition to the snow in King George Island, Antarctic Peninsula	Hong Sungmin, Lluberas, A., Lee Gangwoong Park Jun Kun	Ocean and Polar Research	2002	2002 Vol. 24 No. 3 279-287	한국해양 연구원 (한국)	X
남쉐틀랜드 군도 마리안소만의 계절적인 수층 특성과 부유물질의 분산	유규철, 강천윤, 윤호일, 석동우, 오재경	지질학회지	2002	2002 vol 38 No. 4 573-593	대한지질 학회 (한국)	X
Search for gravity waves with a new all-sky camera system	Kim Yong Ha, Chung Jong-Kyun, Won Young-In, Lee Bang Yong	Ocean and Polar Research	2002	2002 Vol. 24 No. 3 263-266	한국해양 연구원 (한국)	X
Precipitation anomalies around King Sejong Station, Antarctica associated with El Nino/Southern Oscillation	Kwon Tae-Yong, Lee Bang Yong	Ocean and Polar Research	2002	2002 vol. 24 No. 1 19-31	한국해양 연구원 (한국)	X
Observations of OH(3,1) airglow emission using a Michelson interferometer at 62. S	Won Young-In, Cho Young-Min, Niciejewski, R.J. Kim Jhoon	Adv. Space Res.	2001	2001 vol. 27 Nos. 6-7 1165-170	Pergamo n(영국)	O
남극과 지구환경	김예동, 안인영 (편저)	해양과학총서	2001	2001. 11 139 p	한국해양 연구원	X
지구의 고층대기	원영인, 김용하	물리학과 칩 단기술	2001	2001.10 11-15	한국물리 학회 (한국)	X
계 : 총 논문수 21건 (SCI 9건)						

○ 학술회의 발표 실적

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Occurrence and chemistry of pyrochlore and baddeleyite in the Sokli carbonatite complex, Kola Peninsula, Arctic	Lee Mi Jung, C.T. Williams, Lee Jong Ik, Kim Yeadong	한국암석학회 정기학술발표회, 한국지질자원연구원, 대전	2003. 5. 30-31
Paleozoic ultramafic-alkaline complexes and associated carbonatites in the Kola Alkaline Province	이미경	한국암석학회 지구조분과위원회 초청강연 한국기초과학지원연구원 대전	2003. 5. 29
Changes in the occurrence of heavy metals in the tropical atmosphere during the past 22,000 years as recorded in Bolivian ice core	Hong Sungmin, J.K. Park, L.G. Thompson, C.F. Boutron, C.P. Ferrari, B. Francou, L.Maurice-Bourgoin	국제중금속학회 (프랑스)	2003. 5. 29.
Changes in the natural lead, cadmium, zinc, and copper concentrations in the Vostok Antarctic ice over the last two glacial-interglacial cycles (240,000 years)	Hong Sungmin, J.K. Park, C.F. Boutron, C.P. Ferrari, J.R. Petit, V.Y. Lipenkov	국제중금속학회 (프랑스)	2003. 5. 28.
Strontium isotope measurements in Greenland ice from the Last Glacial Maximum to the early Holocene	G.R. Burton, C.F. Boutron, Hong Sungmin, J.-P. Candelone, K.J.R. Rosman	국제중금속학회 (프랑스)	2003. 5. 28.
Pb and Sr isotopes from an ice-core provides evidence for changing atmospheric conditions at the Sajama icecap, South America	K.J.R. Rosman, Hong Sungmin, G. Burton, L. Burn, C.F. Boutron, C.P. Ferrari, L. G. Thompson, L. Maurice-BourgoinB. Francou	국제중금속학회 (프랑스)	2003. 5. 27.
전천 카메라로 관측된 한반도 상공 중간권 파동, 한국기상학회 봄 학술대회	정종균, 원영인, 김용하, 이방용	한국기상학회 봄학술발표회 초록집, 부산 BEXCO, p. 620	2003. 4. 24-25
남극세종기지의 오존층 변화에 의한 지표 자외선복사 변환	이방용, 조희구, 이윤곤, 원영인	한국기상학회 봄학술발표회 초록집, 부산 BEXCO, p. 516	2003. 4. 24-25

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Observation of Atmospheric waves from Ground-Based Airglow Measurements	원영인, 정종균, 김예동, 이방용, 김준	한국기상학회 봄학술발표회 초록집, 부산 BEXCO, p. 212	2003. 4. 24-25
남극과 지구과학	이종익	지구과학교육연구회 초청강연, 서울대학교	2003. 4. 12
Observations of the mesospheric and lower thermospheric 4-hour waves in temperature	Won, Y.-I., Q. Wu, Y. M. Cho, G. G. Shepherd, T. L. Killeen, Kim, Y., B. Solheim	EGS-AGU(지구물리학회) 초록집, 니스, 프랑스, P. 117	2003. 4. 3-5
High latitude mesopause temperatures, winds and emission rates observed at Resolute Bay, Canada	G.G. Shepherd, Y.-M. Cho, Y.-I. Won, Y. Bhattacharya, Y.-S. Lee	EGS-AGU(지구물리학회) 초록집, 니스, 프랑스, P. 117	2003. 4. 3-5.
Atmospheric mercury concentrations from several observatory sites in the Another Hemisphere	세종대 김기현 교수	한국해양연구원 초청강연	2003. 3. 21.
Innovations in the technique of multiple collector ICP-MS for vary precise measurement of isotope ratios	Dr. J. Cantele	한국해양연구원 초청강연	2003. 2. 20
An introduction of glaciology study in China	Dr. Xiao Cunde	한국해양연구원 초청강연	2002. 11. 19.
남극, 북극 그리고 지구과학	이종익	서울대 지구과학교육과 초청강연	2002, 11. 8
남극 킹조지섬 바톤반도의 열수변질작용에 따른 미량원소의 질량변화	허순도, 이종익, 최문영	2002년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 대구 경북대, p. 29.	2002. 10. 25-26
Observations of gravity waves with OH Meinel bands and OI 557.7 nm using all-sky camera in Korean Peninsula	Chung, J.-K., Kim, Y. H. Won, Y.-I.	2002 COSPAR 학회 초록집, 휴스턴, 미국, P. 129.	2002. 10. 9-19
Measurements of atmospheric waves in the upper mesosphere at mid latitude	Won, Y.-I., Lee, B.Y., Kim, J., Niciejewski, R.J.	2002 COSPAR 학회 초록집, 휴스턴, 미국, P. 130.	2002. 10. 9-19
Mesospheric Ozone density peak measured by Rocket-borne hotometer	Kim, J., Cho, H. G., Won, Y.-I., Kim, Y.H.	2002 COSPAR 학회 초록집, 휴스턴, 미국, P. 129.	2002. 10. 9-19
Kola alkaline complexes and associated mineralization	Prof. E. Balaganskaya	한국해양연구원 초청강연	2002. 10. 14

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Report on 2nd geological survey in Kola Peninsula, Russian arctic	이종익	한국해양연구원 세미나	2002. 10. 14
Observations of atmosheric waves with OH Meinel bands and OI 557.7 nm using an all-sky camera in Korean Peninsula	Kim, Y. H., Chung, J.-K., Won, Y.-I.	2차한중일우주기상워크숍 초록집, 홋카이도, 일본, p. 13.	2002. 10. 2-4
Progress in Polar aeronomy	Won, Y.-I.	한이태리 극지워크숍, 한국해양연구원, p. 118.	2002. 10. 4
A comparison of northern and southern hemisphere temperature and dynamics	Espy, P., Won, Y.-I., Hibbins, R.	PSMOS 국제워크숍, Foz do Igua, 브라질, p. 4.	2002. 10. 4-8
Global biogeochemical cycling of chemical substance and the climate chahge	서울대 김규범 교수	한국해양연구원 초청강연	2002. 6. 26.
극지에서의 고층대기연구	원영인	고려대 지구환경학과 초청강연, 서울 고려대	2002. 6. 7
남극 킹조지섬 바톤-위버 반도의 반정을 함유한 화산암과 규물레이트 조직의 심성암으로부터 추정되는 본원 마그마	여정필, 이종익, 허순도, 최변각	한국암석학회-한국광물학회 공동학술발표회 초록집전주 전북대, p. 37-39.	2002. 5. 24
Instrumentation for geochemical analysis: Comparing XRF-ICPAES-ICPMS	Prof. J. Moutte	한국해양연구원 초청강연	2002. 5. 22
광학기기를 이용한 고층대기연구	원영인	연세대 대기과학과 초청강연. 서울 연세대	2002. 5. 21
남극 킹조지섬 바톤반도의 열수변질작용	허순도	강원대 지질학과 초청강연	2002. 5. 16
Recent climatic warming in Antarctic Peninsula recorded in marine sediments and ecosystems	Yoon Ho II	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 1.	2002. 5. 13-15
Spatial deformation of ice cliff and sea-ice formation observed around King Sejong Station in King George Island, Antarctica	Chung Hosung, Lee Bang Yong, Chang Soon-Keun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 2.	2002. 5. 13-15
Variations of surface air temperature in the Antarctic Peninsula	Kwon Tae-Yong Lee Bang Yong	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 3.	2002. 5. 13-15
Seasonal water column properties at Marian Cove, West Antarctica : Regional Warming	Yoo Kyu-Cheul, Yoon Ho II, Kang Cheon Yun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 5.	2002. 5. 13-15

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Gas hydrates and global climate. Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability	Jin Young Keun, Kim Yeadong, Nam Sang Heon	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 20.	2002. 5. 13-15
Two thousand years of change in the occurrence of heavy metals in pond sediments at Cheju Island, Korea	Hong Sungmin, Yoon Ho Il, Kang Cheong Yun, Park Jun Kun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 21.	2002. 5. 13-15
Implications for the paleoclimatic change from the geochemical data of the lake sediments in Antarctic Peninsula	Fang Aimin, Lee Jong Ik, Yoon Ho Il, Hur Soon Do	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 22-23.	2002. 5. 13-15
A role of Antarctic seep convection for the formation of monospecific diatom layer from Bransfield Strait, Northern Antarctic Peninsula	Yoon Ho Il, Park Byong-Kwon, Kim Yeadong, Kang Cheon Yun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 9-10.	2002. 5. 13-15
Holocene paleoclimate change recorded in the lake sediments of King George Island, Antarctica	Khim Boo Keun, Yoon Ho Il, Park Byong-Kwon, Kang Cheon Yun	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 14.	2002. 5. 13-15
Arctic opportunities in global change study	Kim Yeadong	Workshop on Antarctic Peninsula Climate Variability, 제주 제주대, p. 17-18.	2002. 5. 13-15
2001년 사자자리 유성우의 전천카메라 관측	정종균, 김용하, 원영인, 임홍서, 천무영	한국우주과학회 학술발표회 초록집, 광주 전남대, p. 30.	2002. 5. 3-4
Observation of a persistent Leonid meteor trail with an all-sky camera at Mt. Bohyun	김용하, 정종균, 원영인, 임홍서, 천무영	한국천문학회 봄학술발표회 초록집, 세종대학교, p. 31.	2002. 4. 20
History of the large scale environmental changes as documented in polar ice sheet: climate and atmosphere	홍성민	부산대학교 초청강연	2002. 4. 11.
우리나라 북극 연구의 현재와 미래	김예동	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 2-5.	2002. 3. 15
카라해와 바렌즈해의 시추퇴적물 시료를 이용한 해양지질 연구 방향 모색	윤호일, 이재일	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 14-16.	2002. 3. 15

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
적외선 분광계(FT-IR)를 이용한 고층대기 연구	원영인, 김용하	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 27-29.	2002. 3. 15
북극권 대기환경 연구	이방용, 김준	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 30-33.	2002. 3. 15
빙하를 이용한 북반구 대기오염 변천사 규명	홍성민	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 34-36.	2002. 3. 15
북극권 광물자원 연구 : 북극 콜라반도에 분포하는 카보나타이트 복합체의 성인 및 희유금속 광물 연구	이미정	북극권 연구 개발 Workshop 요약집, 안산 한국해양연구원, p. 38-40.	2002. 3. 15
Observation of High-altitude atmosphere over Mt. Bohyun with a New All-sky camera system	김용하, 정종균, 원영인	한중일 우주환경워크샵, 한국천문연구원, 대전 p. 26.	2002. 1. 28-30
Ice core research from the Rongbuk glacier at Mt. Qomolangma (Everset)	Prof. H. Shugui	한국해양연구원 초청강연	2001. 12. 27
- 러시아 북극 연구 현황 - 러시아 해양지질연구소의 대양지질연구 사업	Dr. G. Cherkashov	한국해양연구원 초청강연	2001. 11. 8
북극연구의 가능성	김예동	한국해양연구원 정기세미나, 안산 한국해양연구원	2001. 11. 6
북극권 카보나타이트 성인 연구와 자원 지질학적 의의	이미정	대전대 지질공학과 초청강연, 대전 대전대학교	2001. 11. 2
해저 화산 성인 연구와 지구화학	이종익	대전대 지질공학과 초청강연, 대전 대전대학교	2001. 11. 2
한반도 상공 중간권 상부의 중량파 측정	김용하, 정종균, 원영인, 이방용	한국우주과학회 추계학술발표회 초록집, 세종대학교, p. 37.	2001. 11. 2
남극 킹조지섬 바톤반도의 열수변질작용 시기와 지구화학	허순도, 이종익, 최문영, 황정	2001년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 대구 경북대, p. 111.	2001. 10. 26-27

학술발표제목	발표자	발표장소 (국명)	일시
Mineralogical evolution in Ca-carbonatites and phoscorites and the transition to Mg-Fe-Mn-carbonatites at Sokli Complex, Kola Alkaline Province, Arctic Region	Lee, Mi Jung Garcia, D., Moutte, J., Wall, F., Williams, C.T., Woolley, A.R.	2001년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 대구 경북대, p. 121.	2001. 10. 26-27
남극 남쉐틀랜드군도 킹조지섬 바튼-위버반도 화산암류의 지구화학 및 지구연대학적 고찰	여정필, 이중익, 허순도, 최문영, 최변각	2001년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 대구 경북대, p. 124.	2001. 10. 26-27
- Mercury measurement in condensed and interstitial phase in clouds - Mercury speciation in seasonal snow cover: evidence of photoreduction processes	Prof. C. Ferrari	한국해양연구원 초청강연	2001. 10. 11
Niobium deposits in weathered carbonatite: an example at Sokli, northern Finland	Wall, F., Williams, C.T., Woolley, A.R., Garcia, D., Moutte, J., Lee, Mi Jung, Sonnet P.	EuroCarb Workshop (Abstracts), Oulun Yliopisto, Finland, p. 14.	2001. 9. 14-20
Nb- and Zr-bearing minerals from Sokli, Finland	Williams, C.T., Garcia, D., Lee, Mi Jung, Moutte, J., Wall, F., Woolley, A.R.	EuroCarb Workshop (Abstracts), Oulun Yliopisto, Finland, p. 15.	2001. 9. 14-20
Kola phoscorites and carbonatites - an introduction and overview	Prof. A.N. Zaitsev	한국해양연구원 초청강연	2001. 7. 4
계 : 총 65건			

3. 연구성과

기술이전이나 기업화 완료 실적없음

4. 기술이전 및 연구결과 활용계획

가. 당해연도 활용계획

- 빙하연구는 북극연구의 본격적인 시작을 마련하는 계기가 되어, 북반구에서의 특징적인 환경오염 추이를 측정할 수 있는 기반기술로 활용할 수 있음.
- 고층대기(우주환경)의 지속적인 관측, 연구분석을 위한 남북극 동시관측 시시스템이 완비되어 첨단연구가 가능해짐.
- 북극권 희유금속광물 탐사를 위한 한-불-러 국제공동연구 시스템과 첨단지구화학 분석 시스템을 구축하여 고부가가치 희유금속광물의 정량적인 자원량 평가에 활용할 수 있음.

나. 활용방법

- 북극권 빙하 시료에 함유된 극미량 중금속 농도 ppt(10^{-12} g/g) 수준의 청정실험실을 개발 완료하고 기술 개발을 통해 세계적 수준(10^{-15} g/g)의 실험실을 구축할 예정임.
- 고층대기 관측을 위해 설치된 남북극 동시 분석시스템을 원격제어기술로 발전시켜 우리나라 실험실에서 실시간으로 자료를 수신할 수 있는 기술로 활용할 예정임.
- 첨단지구화학 분석 시스템을 이용하여 희유금속광물의 성인을 추적하고, 자원량을 정량적으로 평가하여, 안정적인 자원 확보를 위한 기반 정보로 활용할 수 있음.

다. 차년도이후 활용계획

- 북극권 빙하의 중금속 농도 분석자료는 기후협약등 지구환경 관련 국제규제에 대비한 우리나라의 환경정책에 기초자료로 활용될 수 있음.
- 고층대기의 원격분석시스템은 위성통신, 전파통신 등 본격적인 우주산업시대에 대비한 기초자료를 제공할 것으로 기대가 됨. 대기광 측정 및 분석기술은 최첨단 기기 운영기술을 습득한다는 측면 외에도 천문학, 환경 오염감시, 로켓엔진 감시용, 로켓 원격 탐지 등 타 우주과학 분야에 응용되는 효과를 기대할 수 있음. 또한 기기의 운영 및 관측기술은 향후 첨단 국산 기기개발에도 적극 응용될 수 있을 것으로 예상된다.
- 현재 약 3천억원대(5년후 약 1조원규모)의 희유금속광물을 전량 외국으로부터 수입하

고 있는 실정임. 희유금속광물영 안정적인 공급원 확보를 위해 국제공동연구를 지속적으로 추진하여야 함. 향후 예상되는 공동 개발시 기술적인 문제점을 해소하고, 합리적인 자원량 평가를 통해 개발 이익을 극대화하는 기반자료로 활용할 수 있음.

5. 기대효과

가. 기술적 측면

- 청정실험환경을 기반으로 하는 오염제어 기술과 최첨단의 분석 기술을 필요로 하는 빙하분석 기술을 확립하여 극미량의 무기화합물 분석 기술을 보유하는 세계적 연구실을 보유한다.
- 고층대기환경의 변화는 첨단 광학기기를 이용한 원격탐사로 감지할 수 있으므로 우주원격탐사를 위한 최첨단 기술을 보유한다.
- laser ablation법 등 최첨단 정밀 지구화학 분석 기술을 개발하여 극지 고부가가치 희유금속 광물의 분포와 자원량을 평가한다.

나. 경제·산업적 측면

- 산업혁명 이후 인간활동이 유발한 독성 중금속에 의한 대기오염의 시간적 추이와 원인 제공한 주 오염원을 규명함으로써 향후 주도적인 환경규제 정책 수립에 필요한 자료로서 활용 가능하다.
- 변화가 급격한 극지방 고층대기환경을 이해함으로써 인공위성운영, 특히 궤도변경과 관련한 운영대책을 수립하는데 필요한 자료를 제공한다.
- 북극권 희유금속광물에 대한 자원량 평가 및 개발의 기반 자료를 구축하여, 5년후 1조원대의 수입물량을 안정적이고 저렴한 가격에 확보할 수 있는 정보를 확보한다.
- 연구결과는 장차 북극권 석유등 지하자원 개발 참여와 북극항로 개발과 이에 따른 시베리아 사회 간접자본시설 건설 등에 대비한 교두보 역할을 하게된다.

6. 문제점 및 건의사항

내부, 외부 인건비가 매년 상승하고 있고, 첨단분석기술 확보를 위한 기각 운영비가 매년 증가하고 있기 때문에 연구비의 증액이 필수적임.

[첨부2]

기술 요약서 I

■ 기술의 명칭

빙하 시료에 함유된 중금속 농도를 ppt(10^{-12} g/g) 수준까지 측정할 수 있는 청정분석 기술

■ 기술을 도출한 과제현황

과제관리번호	M1-0104-00-0111			
과제명	북극 대기환경 및 광물자원 연구			
사업명	국가지정연구실 사업			
세부사업명				
연구기관	한국해양연구원	기관유형	출연(연)	
참여기관(기업)				
총연구기간	2001. 7. 11 - 2003. 7. 10			
총연구비	정부(721,412)천원	민간()천원	합계(21,412)천원	
연구책임자 1	성명	김 예 동	주민번호	
	근무기관 부서	한국해양연구원 극지연구소	E-mail	ydkim@kordi.re.kr
	직위/직급	책임연구원	전화번호	031-400-6410
연구책임자 2	성명	홍 성 민	주민번호	
	근무기관 부서	한국해양연구원 극지연구소	E-mail	smhong@kordi.re.kr
	직위/직급	책임연구원	전화번호	031-400-6432
실무연락책임자	성명	이 진 용	소속/부서	기획부 연구개발팀
	직위/직급	선임행정원	E-mail	jinlee@kordi.re.kr
	전화번호	031-400-6082	FAX	031-400-6069
	주소	(425-172) 경기도 안산시 상록구 사2동 1270 한국해양연구원 기획부 연구개발팀		

■ 기술의 주요내용

[기술의 개요]

빙하, 지하수, 온천수등에 함유된 극미량의 중금속농도를 측정하기 위한 시료의 농측기술, AA를 이용한 분석기술을 포함하며, 해양학, 대기과학, 지구화학, 지하수환경학 등 다양한 분야에 이용할 수 있음

<기술적 특징>

현재 빙하 시료에 함유된 중금속 농도를 ppt(10^{-12} g/g) 수준까지 측정할 수 있는 청정 분석 기술을 보유하고 있으며, 향후 10^{-15} g/g 수준까지 측정 가능한 기술개발에 주력하고 있음

[용도 · 이용분야]

유체의 극미량 농도분석을 통해 환경변화 추이를 연구하는 빙하학, 해양학, 대기과학, 지구화학, 지하수환경학 등 다양한 분야에 이용할 수 있음

■ 기술의 분류

[기술코드] 639 (3 Digit)

[기술분야] (1개만 선택(✓로 표시)하여 주십시오)

- 정보산업 기계설비 소재 정밀화학·공정 생명과학
 원자력 자원 에너지 항공·우주 해양
 교통 보건·의료 환경 기초·원천 기타

[기술의 활용유형] (1개만 선택(✓로 표시)하여 주십시오)

- 신제품개발 신공정개발 기존제품개선 기존공정개선
 기 타 (극미량 원소 분석 기술)

[기술의 용도] (복수 선택(✓로 표시)가능합니다)

- 기계설비 부품소자 원료재료 소프트웨어
 가공처리기술 자동화기술 불량률 감소 등 현장애로기술
 제품설계기술 공정설계기술 기 타 (극미량 원소 분석 기술)

■ 산업재산권 보유현황

해당사항 없음

■ 기술이전 조건

이전형태	V 유상 □무상	최저기술료	20,000천원
이전방식	□ 소유권이전 □ 전용실시권 □ 통상실시권 □ 협의결정 V 기타(분석기술 전수)		
이전 소요기간	1 년 개월	실용화예상시기	2005년도
기술이전시 선행요건	청정실험실 확보, 분석기기(AA) 확보		

■ 기술의 개발단계 및 수준

[기술의 완성도] (1개씩 선택(V로 표시)하여 주십시오)

	① 기초, 탐색연구단계 : 특정용도를 위해 필요한 신 지식을 얻거나 기술적 가능성을 탐색하는 단계
V	② 응용연구단계 : 기술적 가능성의 실증, 잠재적 실용화 가능성의 입증 등 실험실적 확인 단계
	③ 개발연구단계 : Prototype의 제작, Pilot Plant Test 등을 행하는 단계
	④ 기업화 준비단계 : 기업화에 필요한 양산화 기술 및 주변 기술까지도 확보하는 단계
	⑤ 상품화 완료단계

[기술의 수명주기] (1개씩 선택(V로 표시)하여 주십시오)

	① 기술개념 정립기 : 기술의 잠재적 가능성만 있는 단계
	② 기술실험기 : 기술개발에 성공했으나 아직 실용성, 경제성 등이 확실치 않은 단계
	③ 기술적용 시작기: 최초의 기술개발국에서만 활용되고 있는 단계
V	④ 기술적용 성장기: 기술개발국 및 일부 선진국에서 활용되고 있는단계
	⑤ 기술적용 성숙기: 선진국사이에서 활발한 기술이전이 일어나며, 기술의 표준화가 되어가는 단계
	⑥ 기술적용 쇠퇴기: 선진국에서 개도국으로 기술이전이 활발하게 일어나고, 선진국에서는 기술의 가치가 저하되나, 개도국에서는 아직 시장의 가치가 높은 기술

[기술발전 과정상의 기술수준] (1개씩 선택(V로 표시)하여 주십시오)

	① 외국기술의 모방단계 : 이미 외국에서 개발된 기술의 복제, reverse Eng.
V	② 외국기술의 소화·흡수단계 : 국내시장구조나 특성에 적합하게 적응시킴
	③ 외국기술의 개선·개량단계 : 성능이나 기능을 개선시킴
	④ 신기술의 혁신·발명단계 : 국내 최초로 개발

■ 본 기술과 관련하여 추가로 확보되었거나 개발중인 기술

해당사항 없음

기술 요약서 II

■ 기술의 명칭

ICP-MS를 이용한 다원소 동시분석 기술

■ 기술을 도출한 과제현황

과제관리번호	M1-0104-00-0111			
과제명	북극 대기환경 및 광물자원 연구			
사업명	국가지정연구실 사업			
세부사업명				
연구기관	한국해양연구원	기관유형	출연(연)	
참여기관(기업)				
총연구기간	2001. 7. 11 - 2003. 7. 10			
총연구비	정부(721,412)천원	민간()천원	합계(21,412)천원	
연구책임자 1	성명	김 예 동	주민번호	
	근무기관 부서	한국해양연구원 극지연구소	E-mail	ydkim@kordi.re.kr
	직위/직급	책임연구원	전화번호	031-400-6410
연구책임자 2	성명	이 종 익	주민번호	
	근무기관 부서	한국해양연구원 극지연구소	E-mail	jilee@kordi.re.kr
	직위/직급	책임연구원	전화번호	031-400-6413
실무연락책임자	성명	이 진 용	소속/부서	기획부 연구개발팀
	직위/직급	선임행정원	E-mail	jinlee@kordi.re.kr
	전화번호	031-400-6082	FAX	031-400-6069
	주소	(425-172) 경기도 안산시 상록구 사2동 1270 한국해양연구원 기획부 연구개발팀		

■ 기술의 주요내용

<p>[기술의 개요]</p> <p>유도결합플라즈마질량분석기(ICP-MS)를 이용한 다원소 동시분석기술로, 청정실험실에서 다양한 시료전처리 기술을 포함함.</p> <p><기술적 특징></p> <p>광물-암석시료, 토양, 해수, 지하수, 빙하 등 다양한 시료에 함유된 원소의 농도를 ppt 수준까지 분석가능. 가압용기 용해법, 이온교환컬럼법, laser ablation법 등 다양한 시료 전처리 기술을 포함함.</p> <p>[용도·이용분야]</p> <p>다양한 시료의 극미량 농도 원소분석을 통해 광물자원의 성인을 추적하고, 지구환경변화 연구를 수행하는 지질학(지구화학, 광물화학), 빙하학, 해양학, 대기과학, 지하수환경학 등 다양한 분야에 이용할 수 있음</p>

■ 기술의 분류

[기술코드] 639 (3 Digit)

[기술분야] (1개만 선택(✓로 표시)하여 주십시오)

- 정보산업 기계설비 소재 정밀화학·공정 생명과학
- 원자력 자원 에너지 항공·우주 해양
- 교통 보건·의료 환경 기초·원천 기타

[기술의 활용유형] (1개만 선택(✓로 표시)하여 주십시오)

- 신제품개발 신공정개발 기존제품개선 기존공정개선
- 기 타 (극미량, 다원소 동시 분석 기술)

[기술의 용도] (복수 선택(✓로 표시)가능합니다)

- 기계설비 부품소자 원료재료 소프트웨어
- 가공처리기술 자동화기술 불량률 감소 등 현장애로기술
- 제품설계기술 공정설계기술 기 타 (극미량, 다원소 동시 분석 기술)

■ 산업재산권 보유현황

해당사항 없음

■ 기술이전 조건

이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 유상 <input type="checkbox"/> 무상	최저기술료	20,000천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(분석기술 전수)		
이전 소요기간	1 년 개월	실용화예상시기	2005년도
기술이전시 선행요건	청정실험실, 시료전처리실 확보, 분석기기(ICP-MS) 확보		

■ 기술의 개발단계 및 수준

[기술의 완성도] (1개만 선택(✓로 표시)하여 주십시오)

	① 기초, 탐색연구단계 : 특정용도를 위해 필요한 신 지식을 얻거나 기술적 가능성을 탐색하는 단계
V	② 응용연구단계 : 기술적 가능성의 실증, 잠재적 실용화 가능성의 입증 등 실험실적 확인 단계
	③ 개발연구단계 : Prototype의 제작, Pilot Plant Test 등을 행하는 단계
	④ 기업화 준비단계 : 기업화에 필요한 양산화 기술 및 주변 기술까지도 확보하는 단계
	⑤ 상품화 완료단계

[기술의 수명주기] (1개만 선택(✓로 표시)하여 주십시오)

	① 기술개념 정립기 : 기술의 잠재적 가능성만 있는 단계
	② 기술실험기 : 기술개발에 성공했으나 아직 실용성, 경제성 등이 확실치 않은 단계
	③ 기술적용 시작기: 최초의 기술개발국에서만 활용되고 있는 단계
V	④ 기술적용 성장기: 기술개발국 및 일부 선진국에서 활용되고 있는단계
	⑤ 기술적용 성숙기: 선진국사이에서 활발한 기술이전이 일어나며, 기술의 표준화가 되어가는 단계
	⑥ 기술적용 쇠퇴기: 선진국에서 개도국으로 기술이전이 활발하게 일어나고, 선진국에서는 기술의 가치가 저하되나, 개도국에서는 아직 시장의 가치가 높은 기술

[기술발전 과정상의 기술수준] (1개만 선택(✓로 표시)하여 주십시오)

	① 외국기술의 모방단계 : 이미 외국에서 개발된 기술의 복제, reverse Eng.
V	② 외국기술의 소화·흡수단계 : 국내시장구조나 특성에 적합하게 적용시킴
	③ 외국기술의 개선·개량단계 : 성능이나 기능을 개선시킴
	④ 신기술의 혁신·발명단계 : 국내 최초로 개발

■ 본 기술과 관련하여 추가로 확보되었거나 개발중인 기술

해당사항 없음.