

남극에서의 과학연구 역사와
대기과학 분야에 관한 현황분석

Report on the Atmospheric Research in Antarctica
and the History of the Antarctic Scientific Expedition

1994. 3

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소 소장 귀하

본 보고서를 '남극에서의 과학연구 역사와 대기과학 분야에 관한 현황 분석' 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1994년 3월

연구책임자 : 이방용

요 약 문

I. 제 목

남극에서의 과학연구 역사와 대기분야 연구에 관한 현황분석

II. 연구 목적 및 중요성

남극대륙은 이미 미지의 땅도, 접근 불가능한 성역도 아니다. 인류 역사의 장구한 세월 동안, 오직 탐험가들의 모험심과 과학자들의 호기심의 대상일 뿐이었던 신비의 백색대륙이 인간에게 처음으로 발견된 것은 1820년 경이었다. 그러나 남극대륙에 대한 모험적, 과학적 측면과 더불어 전략적, 경제적 측면의 가치가 국제적으로 점증함에 따라 20세기 초까지도 지구상의 신비에 싸인 고립된 동토의 대륙으로서 남아있던 남극대륙과 그 주변해양은 국제 지구물리의 해(International Geophysical Year: 1957-58)를 계기로 활발한 과학적 조사와 연구활동의 대상지역이 된 것이다.

국제 지구물리의 해는 영국의 과학자 Sydney Chapman에 의해 제안된 것으로서, 전 세계 기후에 대한 남극 빙하의 영향, 대기와 해양의 역학에 대한 빙하의 영향, 남극 오로라의 범위와 성격, 남극 고원에서의 이온

충 실험 연구 등을 중점 수행 목적으로 설정되었다. 이 프로그램에는 미국, 뉴질랜드, 영국, 러시아, 호주, 일본, 벨기에, 아르헨티나, 프랑스, 노르웨이, 남아프리카, 칠레 등 20여 개국이 참여하여 기상학, 지질학, 지구물리학, 빙하학, 해양학, 고층대기 물리학, 생물학, 의학 등의 분야에 대해 획기적인 발전의 계기가 되었으며 오늘날 남극과학의 원류를 이루게 되었다.

남극대륙 대부분의 지역은 두꺼운 얼음으로 덮여 있으며, 주변의 기압 패턴과 지형적 특색으로 바람이 강하고, 지구상에서 가장 기온이 낮고 건조한 자연환경과 더불어 하나의 독특한 기후군을 형성하고 있다. 따라서 이러한 독특한 남극대륙의 자연현상, 특히 기상현상과 기후는 많은 기상학자들이나 기후학자들에게 뿐만 아니라 지구 환경학자나 극 지역에 흥미를 갖고 있는 자연과학자들에게 관심의 대상이 되고 있다.

특히 남극의 기후는 남극해 해수, 바다얼음의 분포, 대륙의 대빙원 등 주로 세가지 요인에 의해 영향을 받고 있다. 그리고 아주 낮은 기온, 강한 바람, 블리저드 등의 혼합성 기후로 묘사되어 북극 지역에서보다도 더 심하고, 지속기간이 긴 추운 겨울과 짧고 추운 여름이라는 특징을 보이고 있기 때문에 전 지구적인 환경변화 연구에 중요한 천연의 실험장으로서 인식되고 있다.

이에 본 연구에서는 남극대륙 및 주변 지역에 대한 탐험과 과학적 연구의 역사와 자연환경 연구분야 중 대기과학 분야에 관한 여러가지 연구 현황에 대해 개략적이거나 포괄적으로 분석, 정리해 보고자 한다. 그럼으로써 각국에 대한 남극연구의 과거, 현재와 미래에 대해 이해하고 이를 우리나라의 남극연구에 대한 방향 설정과 아울러 남극연구의 중요성 인식

의 공감대 형성 및 지구 환경변화 연구를 위한 기초자료로써 활용코자 함에 그 목적이 있다.

또한 남극에 대한 과학적 탐험과 연구 역사 및 특히 남극 지역에서의 대기과학 분야 연구의 현황을 분석, 이해함으로써 우리나라 남극연구에 유용한 기초 자료를 확보하는데 있으며, 장차 이와 같은 연구를 수행하기 위한 기본적인 자료의 수집과 분석을 통한 현상에 대한 정확한 이해 증진과 이와 관련된 앞으로의 연구에 미력의 도움을 주고자 하는데 그 의의가 있다.

III. 연구 내용 및 범위

[연구 내용]

- 자료수집과 분석 :

- 세계적인 남극 탐험과 과학연구의 역사적 내용 파악
- 남극에서의 연구와 관련한 국제적 프로그램 분석과 이해

- 남극의 자연환경 특징 :

- 남극대륙과 주변 해양에 의한 자연환경 형성 현황 분석
- 남극에서의 기상현상을 비롯한 대기과학 분야 연구현황 파악
- 남극의 독특한 기후환경 이해 및 북극의 기후환경과의
특정적 비교

- 남극의 기후학적 연구의 미래

[연구 범위]

- 현재까지 국내·외의 남극탐험의 역사와 과학연구에 대한 다각적인 자료수집과 이의 체계적 정리 수행
- 남극탐험과 연구에 대한 역사를 대기과학 분야에 초점을 맞추어 남극의 자연환경 구성에서의 기상현상의 역할과 전 지구적인 환경 변화에 대한 남극의 자연환경이 미치는 영향 분석
- 파악된 내용의 집약적이며 함축적인 체계화로 향후 관련연구에 대해 기초적인 배경을 제시한다.

IV. 연구 결과 및 제언

이 연구의 목적은 남극탐험과 과학적 연구의 역사에 대한 고찰을 통해 관련분야에 대한 이해를 도모하며 과거와 현재의 남극연구의 국제적 현황 파악과 우리 나라의 남극 과학연구에 대한 활성화 및 관심의 고양과 아울러 전문지식 확보에 있다. 남극탐험과 연구의 역사를 되돌아 봄으로써 보다 나은 미래를 설계할 수 있고, 향후 연구에 대한 지침으로서 활용이 가능하다고 본다.

따라서 새로운 이론이나 수치모델의 개발, 또는 독특한 기술을 습득하는 의미보다는 장차 남극이나 극 지역에서 과학적인 연구 특히, 오존층 연구나 이와 관련된 대기순환에 대한 본격적인 남극 대기과학 분야의 연구를 수행하는데 있어서 기초적인 자료의 제시와 남극연구의 역사와 현황

을 파악함으로써, 향후 연구 방향의 설정으로 보다 실질적인 연구수행을 위한 참고 연구로서의 성격을 갖고 있다.

이에 이 연구에서는 남극탐험에 대한 역사를 살펴보고 남극권의 자연환경적 특징과 대기과학 분야에 대한 연구 현황을 파악하였으며, 이러한 내용을 참고하려는 모든 이들에게 미흡하나마 참고 자료로서 활용될 것을 기대한다. 특히, 대기과학 분야 연구에 대한 개념 정립으로, 남극에서의 중요한 기상현상과 이에 따른 자연환경의 변화 및 전 지구적인 자연환경 변화 연구에 대한 기초 자료로서 활용 가능하며, 아울러 환경보존 연구에 대한 세계적인 노력에 보탬이 되었으면 한다.

SUMMARY

I. Title

Report on the Atmospheric Research in Antarctica
and the History of the Antarctic Scientific Expedition

II. Significance and Objectives of the Study

Antarctica is both a continent and an ocean. The continent comprising almost 10% of the land surface of the globe, is inextricably linked to the vast extent of the Southern Ocean surrounding it. The remoteness of Antarctica from centers of civilization and the severity of its nature accounted for the inaccessibility of this continent for a long time. Explorers and scientists recognised its value as early as the eighteen century, although any sustained degree of major international interest in the area is largely a twentieth-century phenomena.

Antarctica is the coldest continent on earth. It consists of a huge ice cap which surrounds the South Pole. The ice rests on

a continental land mass and may reach a thickness of over 2,700m. Occasionally, rocky peaks project through the ice to provide a solid surface on which lichens may grow. Elsewhere, the ice cap is a frozen, lifeless desert.

Throughout the ages Man's curiosity, sometimes reinforced by religious zeal or commercial ambition, has led him to probe the unknown regions of the world. Such ventures tended to be inspired by adventures; only when they had reported the discovery of new lands and peoples did governments take an interest. It is therefore scarcely surprising that the vast, barren and inhospitable Antarctic continent remained largely unexplored until the first years of this century.

Until 1954, when plans were made for an International Geophysical Year(IGY) in 1957/58, facilities for scientists remained primitive indeed. Meteorology was confined to surface observations, geologists went into the field with nothing more than a hammer and a notebook, and biologists were provided with alcohol, formalin and some bottles. They could do little more than collect and observe. The IGY provided a much-needed boost to Antarctic science.

Although, prior to the IGY, useful work had been done in the Antarctic by individual expeditions or nations, or by their combined effort in specific areas, much had to await more wide-

spread cooperation.

International Geophysical Year(IGY) was proposed by Sydney Chapman from Imperial College, London, as the tempo of activity began to increase, in Maryland on the evening of 5 April 1950. Since IGY was adopted, much has been studied on Antarctic climate, glacier and its physical effect on environments, appearance and behaviour of the aurora australis, the functioning of the upper atmosphere, and other significant phenomena.

This study describes the early explorations, the history of scientific activities, characteristics of the natural environments, and, especially, research on the atmospheric sciences around the Antarctic. Therefore, we can understand the past and present, and forecast the future of the Antarctic and its environments through this proceeding.

III. Scope of the Study

- Understanding the early Antarctic explorations
and the history of the scientific research
- The activities of the Antarctic expedition and research
- Natural environments around Antarctica and its distinction
- Climate characteristics of the Antarctic

IV. Results and Further Suggestions of the Study

The purpose of this study is to understand the activities of scientific researches including explorations around the Antarctic from the past to the present, and to get general ideas for the more effective research on the characteristics and system of the Antarctic. Therefore, this not has the meaning of development of the new idea or any numerical model, but presents a referencial information on the activities and situations of the past and the present about the Antarctic. So, I hope that this study can be useful data to one who wants to know general contents related to the Antarctic sciences and its history .

CONTENTS

List of Figures -----	15
I. Introduction -----	17
II. Discovery of the Antarctic -----	21
1. Beginning and development of the Antarctic -----	21
2. Discovery of the Antarctic -----	24
III. The History of Antarctic Exploration and Research ---	45
1. Scientific survey in the Antarctic -----	45
2. International cooperation for the study -----	50
3. Early scientific study on Antarctica -----	55
IV. Climate investigation in the Antarctic -----	59
1. Natural environments of the Antarctic -----	59
2. Climate study of the Antarctic -----	72
3. Characteristics of the Antarctic -----	84
V. The future of the Antarctic climatology -----	103
References -----	108

목 차

그림 차례	15
I. 서론	17
II. 남극대륙의 발견	21
1. 남극대륙의 생성 기원과 발달	21
2. 남극대륙의 발견	24
III. 남극권의 과학 탐사	45
1. 과학적 탐사의 시도	45
2. 남극연구의 국제협력	50
3. 남극에서의 초기 과학 연구	55
IV. 남극에서의 기후연구	59
1. 남극의 자연환경	59
2. 남극의 기후연구	72
3. 남극의 기후특징	84
V. 남극의 기후학적 미래	103
참고문헌	108

List of Figures

Fig. 1. Tight fit reconstruction of Gondwana at 200Ma.	--	28
Fig. 2. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 160Ma.	-----	29
Fig. 3. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 130Ma.	-----	30
Fig. 4. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 120Ma.	-----	31
Fig. 5. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 110Ma.	-----	32
Fig. 6. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 100Ma.	-----	33
Fig. 7. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 90Ma.	-----	34
Fig. 8. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 80Ma.	-----	35
Fig. 9. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 70Ma.	-----	36
Fig. 10. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 60Ma.	-----	37

Fig.11. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 50Ma. -----	38
Fig.12. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 40Ma. -----	39
Fig.13. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 30Ma. -----	40
Fig.14. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 20Ma. -----	41
Fig.15. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 10Ma. -----	42
Fig.16. Present-day map of the Southern Ocean. -----	43

I. 서론

모든 시대를 통해서, 때때로 종교적인 열정이나 상업적인 야망으로부터 시작되는 인간의 호기심은 그들 스스로를 미지의 세계에 대한 탐구로 몰아 넣기도 한다. 그러한 모험은 탐험가들에 의한 정신적인 영감으로부터 비롯되어, 인간에게 새로운 환경을 주고 새로운 역사를 이룩할 수 있는 기회를 제공한다. 비록 거대하고 황량한 환경을 갖고 있긴 하지만, 남극과 같은 신대륙의 발견은 인간에게 또다른 모험심을 야기시킬 수 있는 동기가 되기도 한다.

남극대륙에 대한 인간의 관심의 역사는 일련의 삼화적인 사건으로 볼 수 있다. 토착민도 없고 문명의 주요 중심지로부터 멀리 떨어져 있었기 때문에, 남극대륙에 대한 인간의 관심은 과거 200년이 훨씬 넘는 기간 동안 오로지 순간적일 수 밖에 없었다(Walton, 1987). 남극대륙과 그 주변 환경에 대해 과학적으로 활발하게 탐사와 연구활동이 이루어진 것은 국제 지구물리의 해(IGY; International Geophysical Year, 1957/58)가 계기가 되었다. 이는 남극에 대한 기상학, 지질학, 지구물리학, 빙하학, 해양학, 고층대기 물리학, 생물학, 의학 등의 분야에 대해 획기적인 발전의 계기가 되었으며, 오늘날 남극과학의 원류를 이루었다.

남극대륙은 자연과학적 연구의 종합체로서, 이와 같은 기초과학 분야는 물론 지구상에서 가장 춥고 건조한 지역이며 육지의 대부분이 두꺼운

얼음으로 덮여있기 때문에 이와 관련한 금속, 전자, 토목, 건설 등 공학적 연구의 대상이 되고 있다. 이러한 각 분야의 연구가 남극에 대한 이해라는 점에서 수렴될 때, 남극연구는 각 학문 분야간의 이해를 넓히고 새로운 과학적 발전을 위한 돌파구로써 활용될 수 있을 것이다.

지구 육지 표면적의 약 10분의 1을 차지하고 있는 남극대륙은 연구를 위해 설치된 몇몇 과학기지를 제외하고는 사실상 대부분이 인간의 손길이 닿지 않은 처녀지로서 남아 있다. 국제 지구물리의 해 이후 불과 40여 년 전부터 본격화된 남극대륙과 주변 지역에 대한 환경조사 및 각종 자원 탐사에 의해 점차 그 신비가 벗겨지기 시작하였다.

남극에 대해 세계의 많은 국가가 관심을 쏟고 있는 이유는 대체로 대륙자체 및 그 주변 해역이 지닌 과학적인 중요성과 막대한 부존자원 때문이다. 남극에서는 지구상 여타 지역과는 달리 맑은 대기를 갖고 있고 지리적으로나 지자기적으로 극이라는 좋은 조건을 갖고 있기 때문에 태양과 지구의 상호작용에 의한 대기현상을 뚜렷이 관찰할 수 있으며, 만년빙으로 축적된 남극의 빙봉은 지구의 생성 및 환경 변화와 관련된 중요한 연구자료를 제공하고 있다. 따라서 남극은 많은 과학자들에 의해 지구 환경 변화의 신비를 알려줄 수 있는 “냉동 타임캡슐(frozen time capsule)”로 지칭되며 대륙 그 자체가 거대한 과학실험장의 역할을 하고 있다.

한편 자원적 측면에서도 남극은 중요성이 있다. 남극의 자원은 수산자원, 지하자원, 수자원 등으로 구분할 수 있다. 남극대륙을 둘러싸고 있는 남극해의 수산자원은 빙어, 대구, 크릴, 오징어 등으로 대별되며 이미 상업적으로 어획되고 있다. 내륙과 대륙봉에 부존되어 있는

지하자원은 석탄, 철, 구리, 금, 은, 우라늄 등의 광석으로 발견되었으며, 이외에 대륙붕의 석유와 천연가스가 남극에서 가장 먼저 개발이 가능한 지하자원으로 평가되고 있고 이에 대한 많은 조사가 이루어지고 있다. 남극대륙과 연안을 덮고 있는 두꺼운 얼음층은 지구담수의 약 70%에 해당하는 엄청난 수자원을 제공하고 있으나, 이것 또한 아직은 개발 단계가 아닌 것으로 분석되고 있다.

이처럼 남극의 자원은 막대한 부존량으로 인해 일찌기 남극에 진출한 선진 각국의 지대한 관심의 대상이 되어 왔지만, 반면 개발에 대한 환경 보호 문제와 경제성이나 기술력, 운송 등 제반 문제점과 침해하게 대립되어 있는 각국의 이해관계 때문에 아직 개발활동은 거의 없다.

이 보고서에서는 지구상에서 인류에 의해 가장 늦게 발견되고 여러 탐험가와 과학자에 의해 현재까지도 탐사와 연구대상으로 남아있는 남극대륙에 대해서 먼저 그 생성 기원에 대하여 간단히 살펴 보고, 탐험의 역사와 남극대륙과 그 주변에 대한 환경의 특징을 알아보았다. 이와 아울러 남극의 기후학적 조사에 대한 과정과 환경의 특징을 살펴본다.

Ⅱ. 남극대륙의 발견

1. 남극대륙의 생성 기원과 발달

먼저 인류가 발견한 마지막 대륙인 남극대륙에 대한 탐험적 고찰에 앞서 남극대륙과 그 주변 환경에 대한 생성 기원과 발달에 대하여 기존 연구자료를 참고로 간략하게 언급하고자 한다.

오늘날 남극대륙과 그 주변 해양의 분포 모습이 갖추어 것은 남극반도와 남미대륙이 분리된 약 2천 5백만년 전이었지만, 이보다 훨씬 앞서 약 2억 2천만년 전에 북반구에는 유라시아(Laurasia), 남반구에는 곤드와나(Gondwana)로 구성된 판게아(Pangaea)라고 하는, 지구 육지의 대부분을 차지하고 있던 초대륙(supercontinent)이 두 조각으로 분리된 것이 시발점이었다(Elliot, 1985).

곤드와나란, 1885년 런던 출신 오스트리아 지질학자 Eduard Suess가 처음으로 남미, 아프리카, 인도, 호주 및 남극대륙이 지질학적 역사와 고대 생물들에 있어 뚜렷한 유사성을 가지고 있다고 주장하는데서 비롯되었다. Suess는 현재는 멀리 떨어져 있는 이 대륙들이 과거에는 하나의 매우 커다란 대륙의 부분들이었다고 주장하고, 이 대륙을 인도의 곤드와

나 지역의 지질학적 형성을 본따 곤드와나랜드라고 이름짓게 된 것이다 (남극 방문 편람, 1991). 1912년경 독일의 기상학자인 Alfred L. Wegener는 대륙 표류의 더욱 진보적인 이론을 발표하였는데, 그 이론이 바로 곤드와나랜드가 초대륙인 판게아의 남쪽 일부분에 속하였고, 약 1억 8천만년에서 2억년 전 사이에는 남반구에 위치한 곤드와나랜드가 분리되면서, 계속된 대륙의 분열로 현재의 남미, 아프리카, 인도, 호주, 및 남극 등의 대륙이 형성되었다는 것이다(Lawver *et al.*, 1992)(Fig. 1~16). 이 때 남극대륙은 곤드와나랜드의 중앙부에 위치하고 있었다.

이후 남극대륙은 열적으로 지구상에서 고립되었으며, 대륙 주변의 순환 해류가 형성되었고, 대륙 빙하가 형성되기 시작하였다(박병권 등, 1989). 현재 얼음으로 덮인 남극대륙은 곤드와나랜드 지층 전반에 걸쳐 흔히 발견되는 동식물 화석들을 통하여 동 시대의 생물집단과 기후 환경을 서로 비교할 때, 옛날에는 수목과 관목, 그리고 온난기후의 동물들이 생활하였던 지역이라는 것이 일반적인 사실로 받아들여지고 있다. 그러나 대륙의 분열과 표류로 인하여 현재의 남반구 극지역으로 이동하게 되었기 때문에 열적인 고립과 남극 순환 해류의 생성으로 한랭한 기후를 갖게 되었고 자연적으로 대륙들 사이에 생물의 이동이 불가능해졌으므로, 이같은 원인에 의해 과거의 수목과 동물들이 도태할 수 밖에 없었을 것이라는 것이 지배적인 논리이다.

남극대륙은 지질 및 지구조에 따라 크게 동 남극과 서 남극의 두 개의 지역으로 구분되며, 여기에 남극횡단산맥 및 스코티아해가 별도로 분류될 만한 특징을 갖게 된다.

동 남극은 대서양과 인도양에 접해 있는데, 전형적인 순상지이며 화

성암과 변성암 기반 위에 퇴적암과 화산암 층이 놓여 있다. 변성암은 그라놀라이트와 엠피블라이트상으로 심한 변성 상태를 보여 주며 절대 연령 측정결과 15억~45억년의 연대를 갖고 있다.

반면, 태평양과 접해 있는 서 남극은 몇개의 작은 판(microplate)으로 구성되어 있으며, 대부분이 광역적 변형 및 변성작용을 받은 중생대 이후의 암석들로 이루어져 있고, 관입 및 분출암이 많고 오늘날까지 화산활동이 계속되는 지역이다. 특히 남극반도는 대부분 중생대 퇴적암 및 화산암과 중생대 말기부터 신생대에 이르는 관입암으로 구성되어 있다(박병권 등, 1988). 서 남극은 빙하에 눌러 대부분 해수면 이하 1km 정도에 존재하며, 동 남극은 거의 해수면상에 존재하나 국부적으로 4km 정도의 기복을 보여 준다.

남극횡단산맥은 선캠브리아 후기 및 하부 고생대 퇴적암으로 구성되며, 하부의 기반암과 상부의 곤드와나 층으로 구분된다. 기반암은 변형과 변성된 원생대 및 고생대의 퇴적암과 화산암으로 구성되며, 곤드와나 층은 데본기-트라이아스기의 beacon 거층군과 주라기의 ferrar 관입암 층으로 구성된다. 횡단산맥은 제 3기초에 융기되어 현재의 모습을 이루었다.

스코티아해 일대는 고생대 말부터 트라이아스기까지 그리고 주라기 중기부터 신생대 중기까지 태평양에 면한 곤드와나랜드의 활동성 연변부에 위치하였다. 따라서 이 지역에는 태평양판의 침강 작용과 연관된 중생대, 신생대 초에 분출한 칼크 알칼리성 화산암이 광범위하게 분포한다. 또한 침강 작용과 연관된 배호상 분지가 남미대륙 남단 및 웨델해 지역에 발달되어 있다. 신생대 중기 이후에는 태평양판의 침강이 끝남과 동시

에 활발한 지각 확장 작용이 일어나 드레이크해협, 브랜스필드해협 등이 열리고, 이에 수반된 알칼리성 화산암이 다량 분출하였다. 최근에는 이 지역에서의 지구물리 탐사 및 시추등에 의한 연구가 활발한데, 이는 남극대륙의 신생대 지각운동 및 퇴적학 연구에 결정적인 역할을 할 수 있을 뿐만 아니라 이 지역 퇴적분지에 석유부존 가능성이 높기 때문이다 (박병권 등, 1989).

2. 남극대륙의 발견

인간의 남극대륙에 관한 관심의 역사는 18세기 말인 1773년 영국의 James Cook 선장이 최초로 남극권을 통과함으로써 시작되었다. 여기에는 메카도르와 같은 지리학자들에 의한, 북반구 육지의 질량과 균형을 이루게 하기 위하여 생겨난 'Terra Australis'라는 거대한 대륙이 남반구에 있을 것이라는 발상이 이 시대의 세계지도 남쪽에 반영됨에 따라, 그러한 대륙과 대륙에 존재할 인간, 그리고 자원에 대해 관심을 갖게 된 것이 동기가 되었다. 이듬해인 1774년 1월 Cook 선장이 이끄는 'Resolution' 호는 기록적으로 남위 71도까지 도달하였으나, 끝내 남극대륙의 존재는 확인하지 못하였다.

실제 Cook 선장의 항해 이전에도 유럽제국들의 무역과 식민지 정책의 일환으로 남극대륙의 자원탐사는 수행되었다. 18세기 중반 프랑스의 Charles de Brosses와 영국의 Alexander Dalrymple은 남극대륙을 아

시아대륙보다 더 크고 많은 원주민과 자원이 풍부한 지역으로 소개하였으나, 사실은 빙산과 그 주변의 황량한 섬들 밖에는 볼 수 없었다. 이러한 소개를 믿은 프랑스의 Yves-Joseph de Kerguelen Tremarec는 1772년에 남극 항해를 하였으나, 충분한 조사는 수행하지 못하고 귀국하였다.

영국은 Dalrymple의 소개와 주장으로 탐험대를 파견하였는데, 이 때의 탐험대 대장인 Cook는 남극대륙은 풍요롭고 온화하며 살기좋은 대륙이라고 보고하였지만, 1772년에 세계 일주 항해 도중 유빙을 헤치고 남위 71도 10분의 지역까지 진출하였으나 남극대륙 자체는 결코 보지 못하였다고 주장하였다. 이후 Cook 선장의 보고서에 남극해의 고래와 물개에 대한 자세한 소개로 인하여 고래와 물개잡이 선단의 남극해 항해의 계기가 마련되었으나, 이들의 철저한 비밀 유지와 과학자들의 동행이 이루어지지 않았기 때문에 남반구의 해도와 남극대륙에 대한 지식은 극히 제한적이었다. 1779년 Cook 선장의 사망 이후에도 거의 반세기 동안 조직적인 탐사는 이루어지지 않았으나, 남극 지역에서의 고래와 물개 사냥은 대대적으로 이루어졌다(Walton, 1987).

남극대륙의 발견은 영국, 러시아 그리고 미국 등 세나라가 서로 먼저 발견하였다고 주장하고 있다. 영국인 Edward Bransfield는 1820년 2월에 남극반도를 보았다고 믿고 있으며, 러시아의 Thaddeus von Bellingshausen은 황제 Alexander I세가 무역의 확장을 위한 거점 확보의 일환으로서 보낸 항해 도중 1820년 1월 또는 2월에 남극반도를 보았다고는 하지만, 그 자신도 남극대륙은 결코 보지 못했다고 하였다. 한편 미국인 Nathaniel Palmer도 1820년 11월에 남극대륙을 보았다고는 하지만, 이러한 주장들은 당시 항해 일지에 기록된 배의 위치로써 역

사적인 평가를 내리는 것이 좋을 듯하다. 그러나 누가 최초의 남극대륙 발견자이나 하는 문제보다도 의미있는 것은, 1821년 초에 물개잡이 선박인 'Huron' 호의 선장인 John Davis의 남극반도 상륙이라는 사실이다. 당시 Davis의 항해 일지의 기록이 사실이라면, 그는 최초로 남극대륙에 상륙한 사람이었다.

이후 19세기 초엽에는 Bellingshausen, Wilkes, Dumont d'Urville 과 James Clark Ross 등에 의해 가장 의미있는 항해가 이루어졌는바, 이들의 항해는 모두 과학적인 것이었으며, 또한 과학적으로도 매우 중요한 의미를 갖고 있다.

Bellingshausen은 Cook의 남반구 탐험지역을 확장하여, 'Vostok' 호와 'Mirny' 호의 두 선박을 이용하여 두 계절동안 남극대륙의 주변을 항해하였다. 이로써 그는 Peter I 섬과 Alexander 섬을 발견하였고, 남위 69도 53분까지 두꺼운 바다얼음을 헤치며 남하하여 남조지아(South Georgia), 남샌드위치(South Sandwich) 및 남셰틀랜드(South Shetland) 군도의 해도를 작성하였다. Charles Wilkes는 'Vincennes' 호라는 선박을 이용하여 미국의 탐험대를 이끌고 약 2,400km에 달하는 남극대륙의 연안을 조사하였지만, 반면 미국 해군의 반발과 항해 자금의 미지원으로 많은 과학적 자료가 사장되는 결과를 낳았다.

같은 시기에 프랑스의 Jules Sebastien Cesar Dumont d'Urville이 이끄는 탐험대도 'Astrolabe' 호와 'Zélée' 호를 이용하여 남극대륙의 일부를 발견하고 프랑스의 영토로 선언함과 동시에 그의 아내의 이름을 따서 'Adélie Land'라고 명명하였다. 그의 과학적 자료는 1842년과 1851년 사이에 전 32권에 달하는 책으로 발간되어, 그의 명성은 물론 그

의 항해까지도 상당한 업적으로 기록되었다. 그의 자연사적 수집품들은 수 천점에 이르렀으며, 대부분이 당시에는 과학계에 잘 알려지지 않은 신종들이었다. 또한 Gauss가 계산한 남위 66도, 동경 146도에 위치한다는 자기 남극점(South Magnetic Pole)에 도달한 후, 이 지점이 육지로부터 수 백마일 떨어진 바다에 위치하고 있다는 사실에 크게 놀라기도 하였다. 이것은 Wilkes도 동감하는 사실이었다.

영국의 Ross는 북극해에서의 18년간의 경험과 숙련된 대원들로 구성된 탐험대로써 가장 준비가 잘 된 성공적인 탐험을 하였다. 그는 탐험선박인 'Erebus' 호와 'Terror' 호에 구리판으로 이중 보강을 하고 해군에서 강조한 지구 자기 측정에 중점을 두고 항해하였다. 그는 Wilkes와 Dumont d'Urville이 도달한 자기 남극점보다 더 동쪽 방향으로 향하여 결국 남위 77도 지점에까지 도달한 후, 남극횡단산맥을 발견하였으며 Ross 빙봉을 형성하는 거대한 빙벽을 발견하였다. 또한 후에 그의 선박들의 이름을 붙인 두 개의 화산을 발견하기도 하고 수 많은 식물 표본을 채집하여 남반구 식물학의 발전에 지대한 업적을 남겼다.

이같은 19세기의 탐험가들과 과학자들에 의한 남극권 탐험의 업적은 20세기 초 남극에 대한 과학적 연구계획 수립에 중요한 기초 자료로서 활용되었으며, 그들의 선구적인 항해와 수준높은 과학적 보고서는 인류의 과학발전에 주요한 이정표가 되었다.

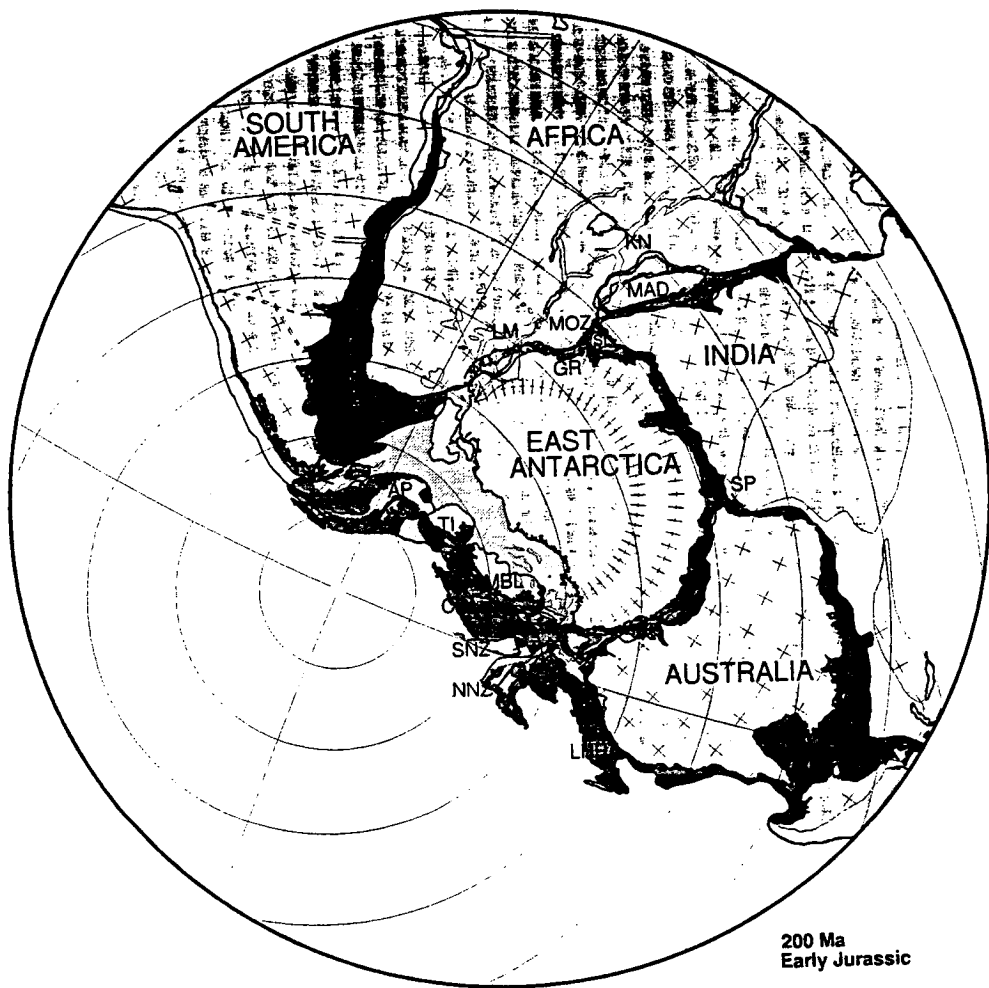


Fig. 1. Tight fit reconstruction of Gondwana at 200Ma. Continents are indicated with coastlines and 2000m isobaths. Tick marks a 5° grid based on the present-day latitude and longitude for the continental fragments. Ap, Antarctic Peninsula; CP, Campbell Plateau; CR, Chatham Rise; KN, Kenya; LHR, Lord Howe Rise; LM, Lebombo Monocline; MAD, Madagascar; MBL, Marie Byrd Land; MOZ, Mozambique; NNZ, north New Zealand; SL, Sri Lanka; SNZ, south New Zealand; SP, Shillong Plateau; TI, Thurston Island. (Fig. 1~16. from Lawver *et al.*, 1992).

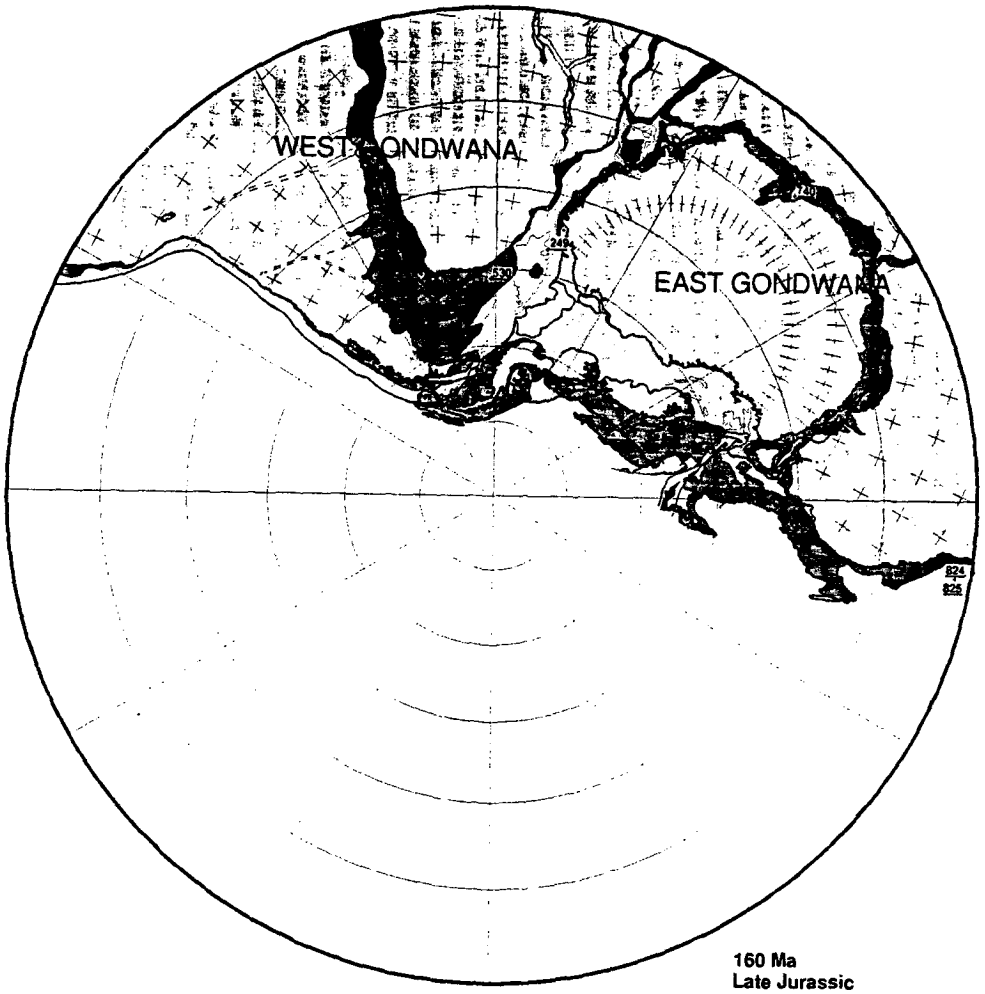


Fig. 2. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 160Ma. Initial seafloor spreading produced a shallow seaway that may have extended to the north of Madagascar and was discontinuous to the Rocas Verdes Basin of southern South America.



130 Ma
Early Cretaceous

Fig. 3. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 130Ma. Initial rifting had begun between Australia and greater India. MB, Mozambique Basin; RVB, Rocas Verdes Basin; SB, Somali Basin.

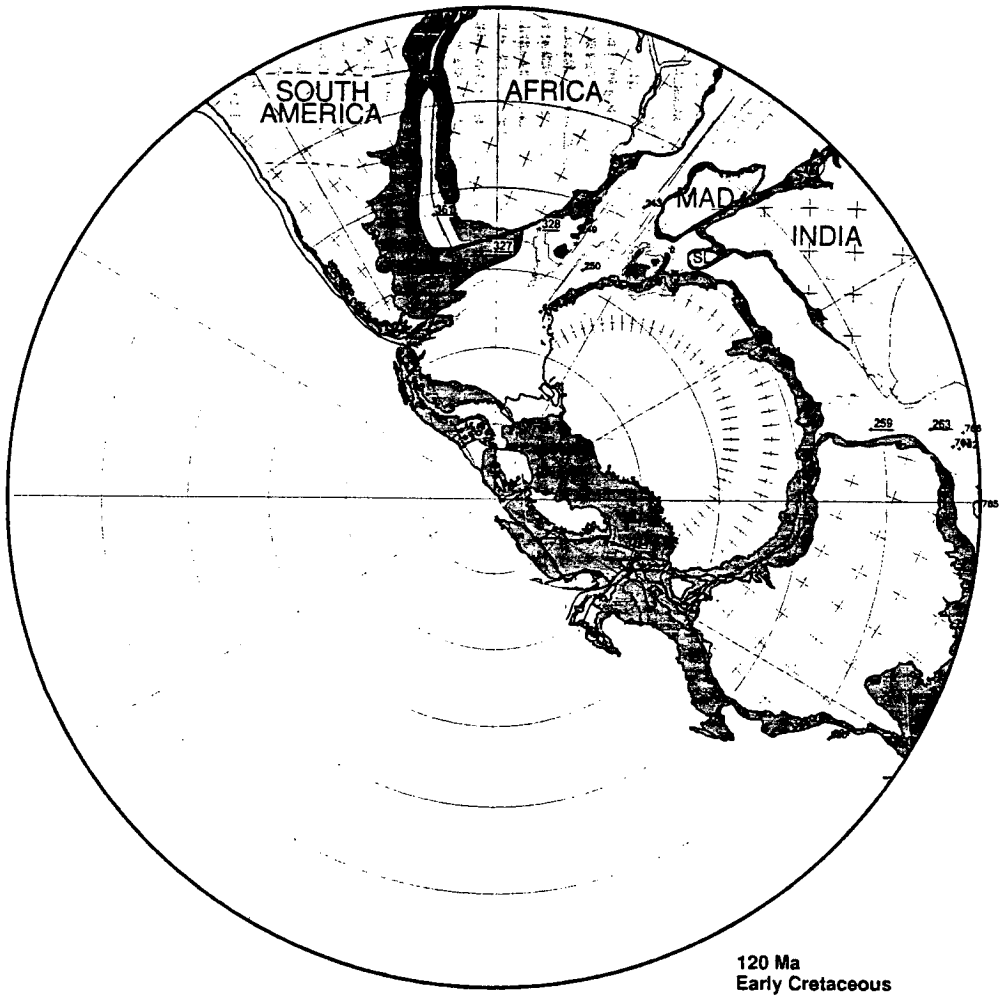
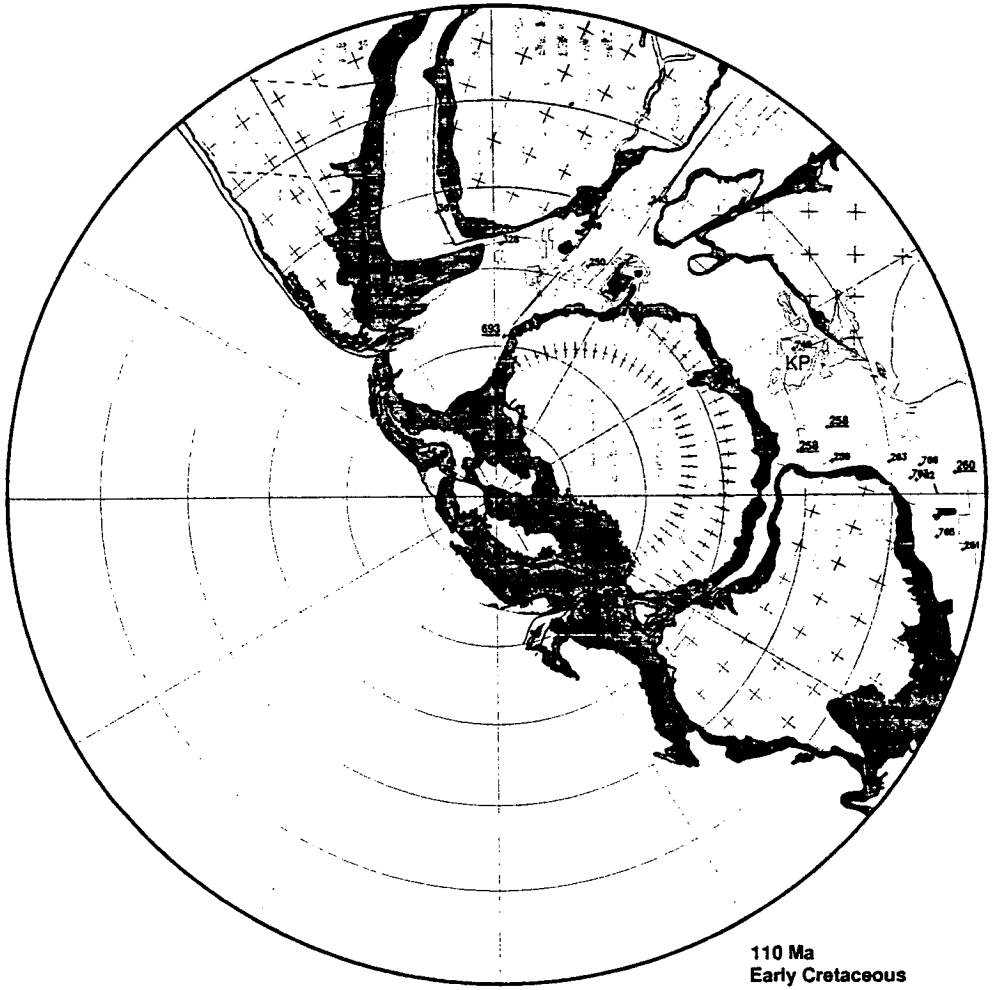


Fig. 4. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 120Ma. Opening of deepwater seaways in South Atlantic and in Indian Ocean. MAD, Madagascar; SL, Sri Lanka.



110 Ma
Early Cretaceous

Fig. 5. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 110Ma. India, Sri Lanka, and Madagascar clear East Antarctica and possible circulation of deep water into Weddell Sea region from south of India. KP, Kerguelen Plateau.

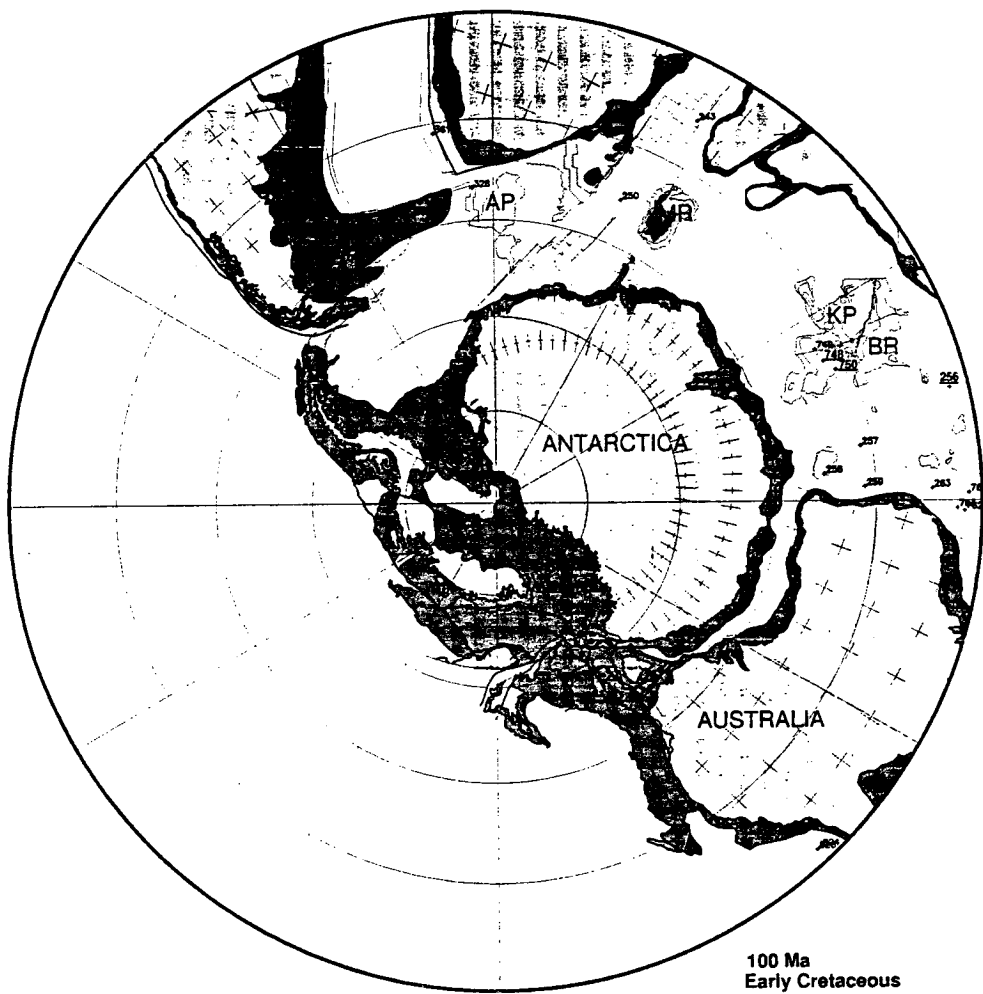


Fig. 6. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 100Ma. Falkland Plateau clears South Africa and circulation into South Atlantic. Madagascar Rise and East Antarctica rifted. AP, Agulhas Plateau; BR, Broken Ridge; MR, Madagascar Ridge; KP, Kerguelen Plateau.

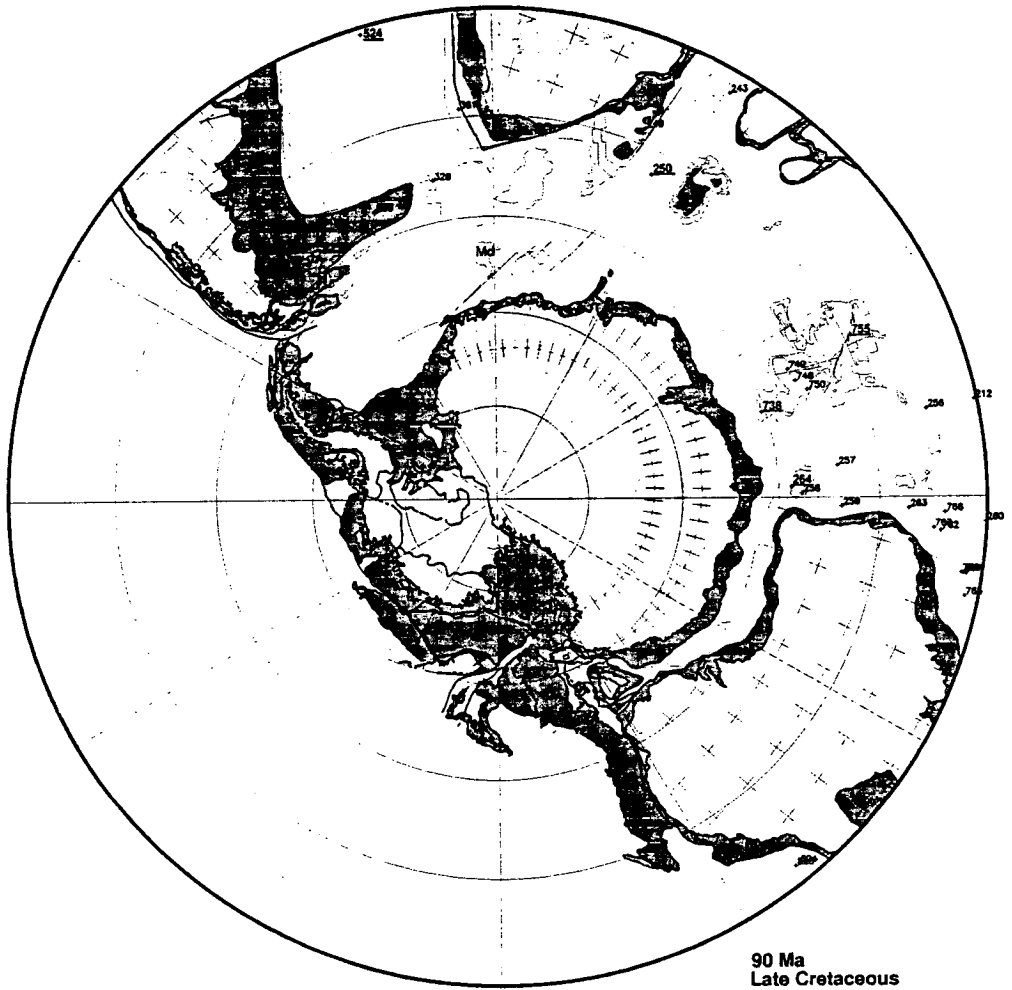


Fig. 7. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 90Ma. Initiation of slow seafloor spreading south of Australia. Final closure of the Rocas Verdes Basin in southern South America. South Atlantic finally open to deepwater circulation in the Angola Basin. Md, Maud Rise.

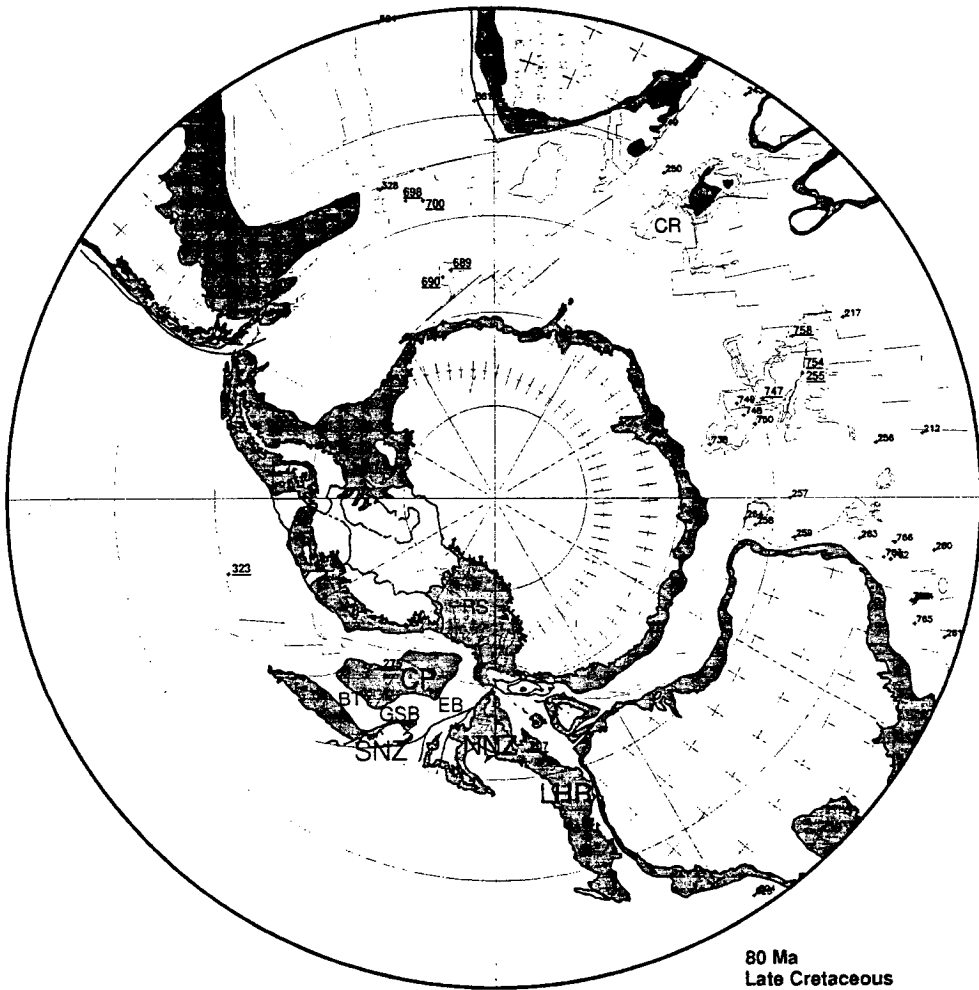


Fig. 8. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 80Ma. Rifting of Campbell Plateau from Marie Byrd Land with the extension of the Pacific-Antarctic spreading center to the west. Rifting in the Tasman Sea between Lord Howe Rise and eastern Australia. BT, Bounty Trough; CP, Campbell Plateau; CR, Conrad Rise; EB, Emerald Basin; GSB, Great South Basin; LHR, Lord Howe Rise, NNZ, north New Zealand; RS, Ross Sea Embayment; SNZ, south New Zealand.

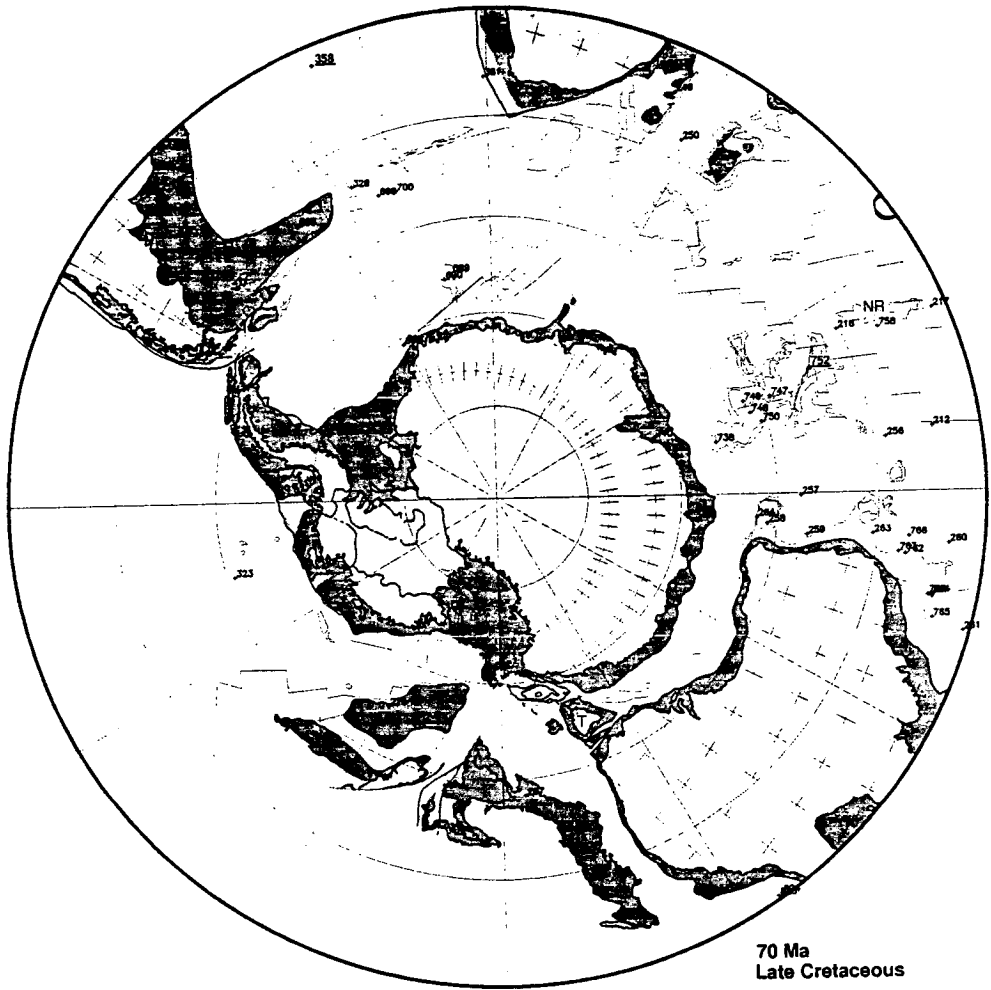


Fig. 9. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 70Ma.
 NR, Ninety Degree East Ridge; T, Tasmania.

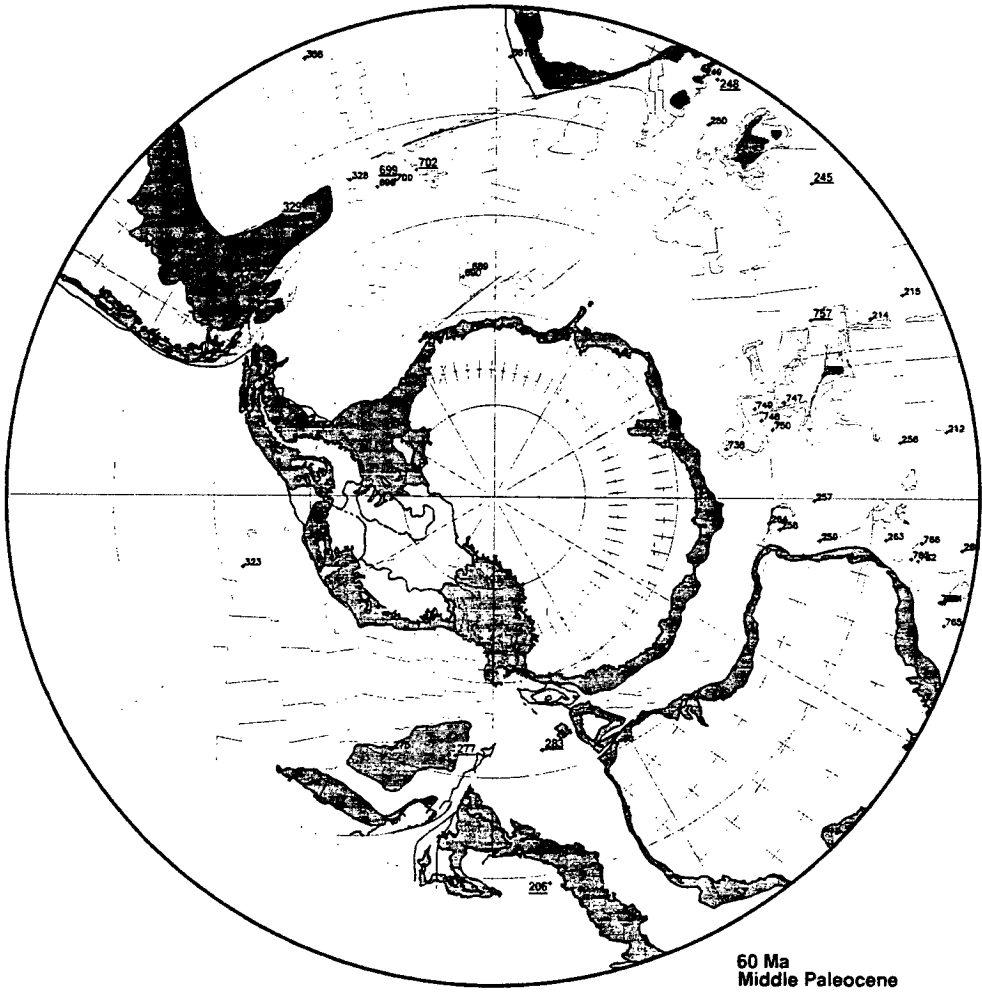


Fig. 10. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 60Ma.

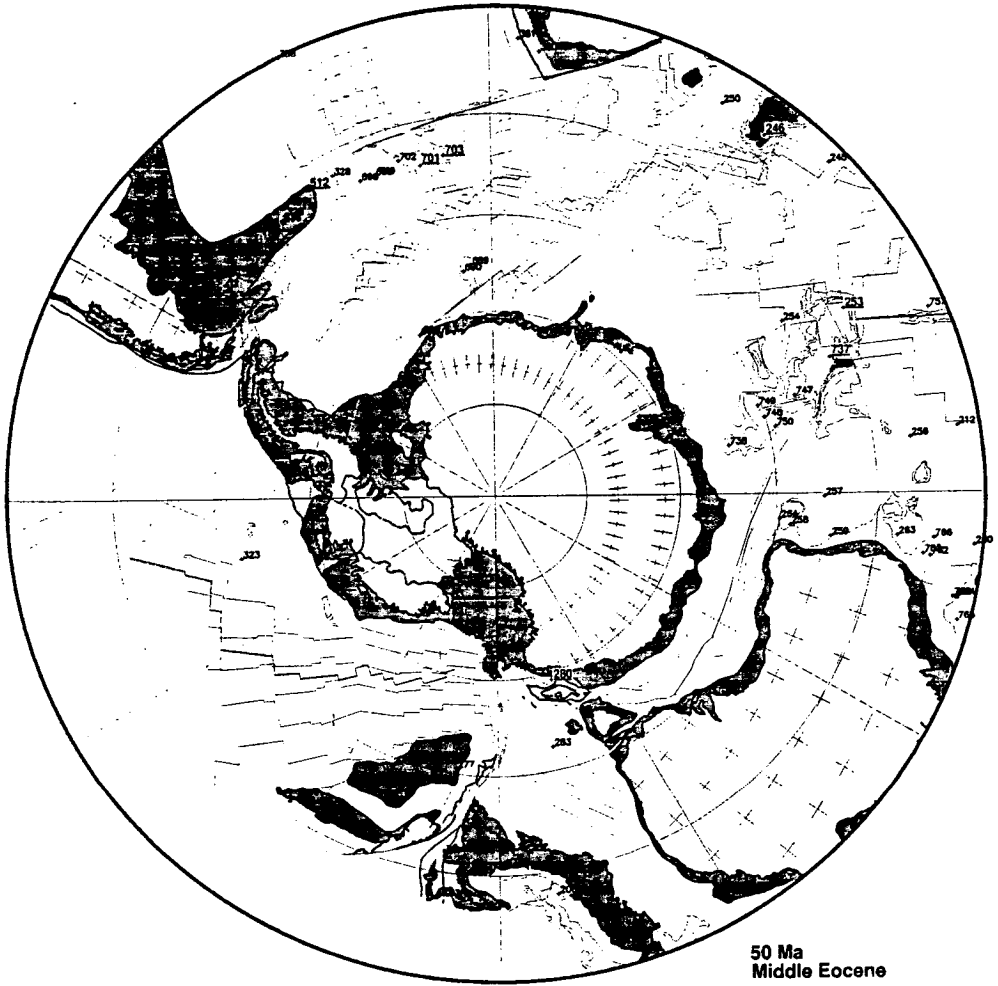


Fig. 11. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 50Ma.

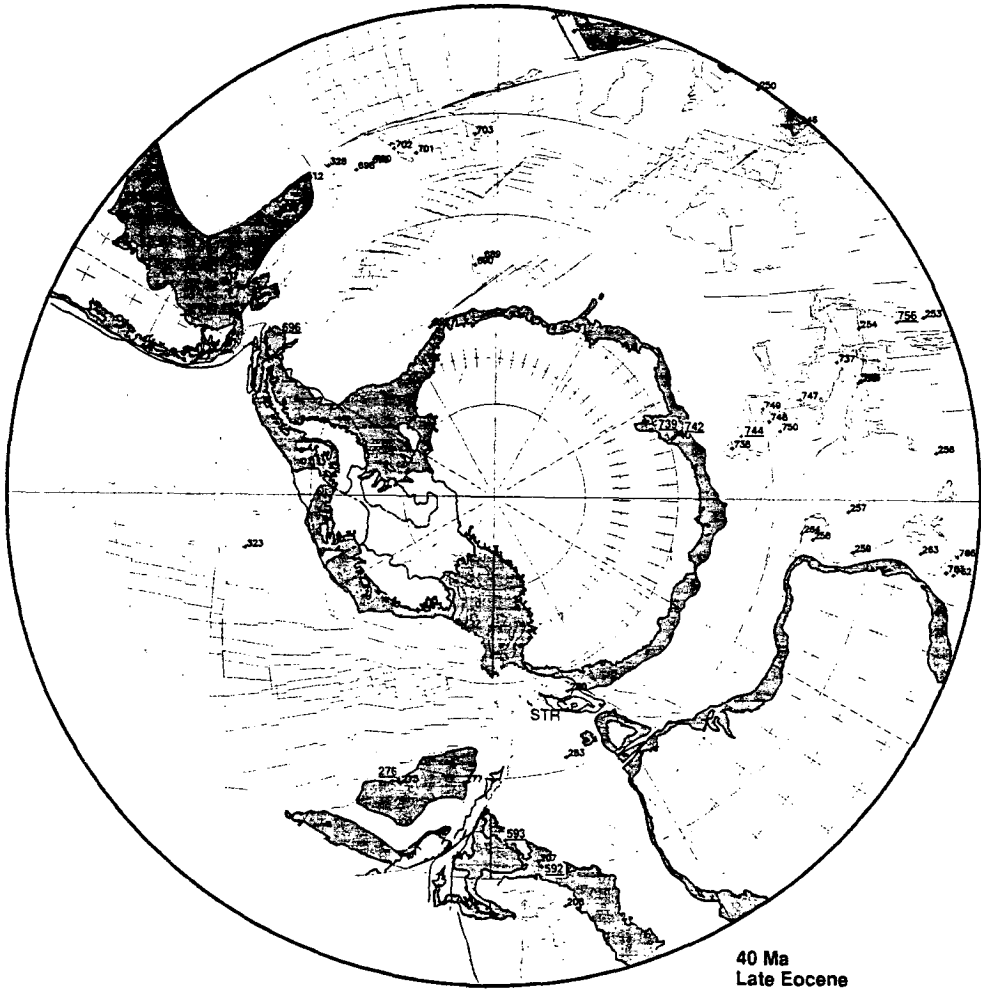


Fig. 12. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 40Ma.
STR, South Tasman Ridge.

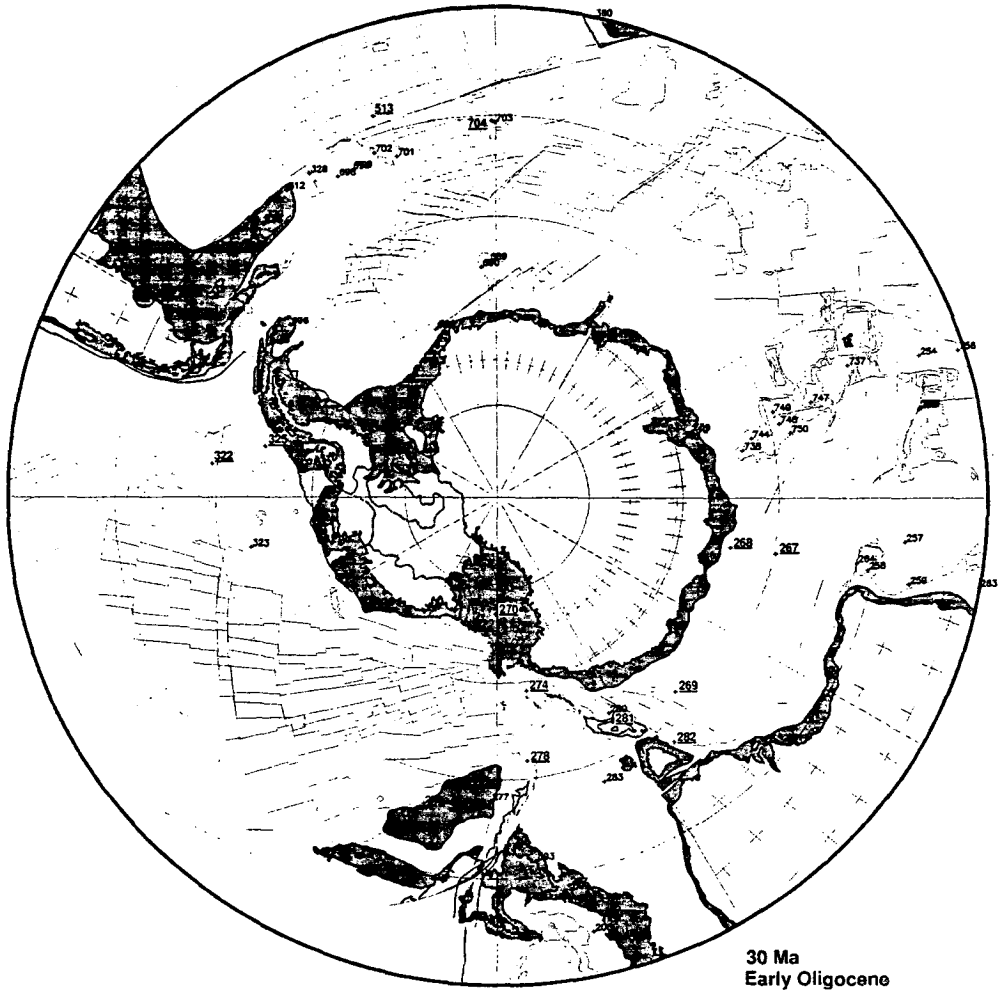
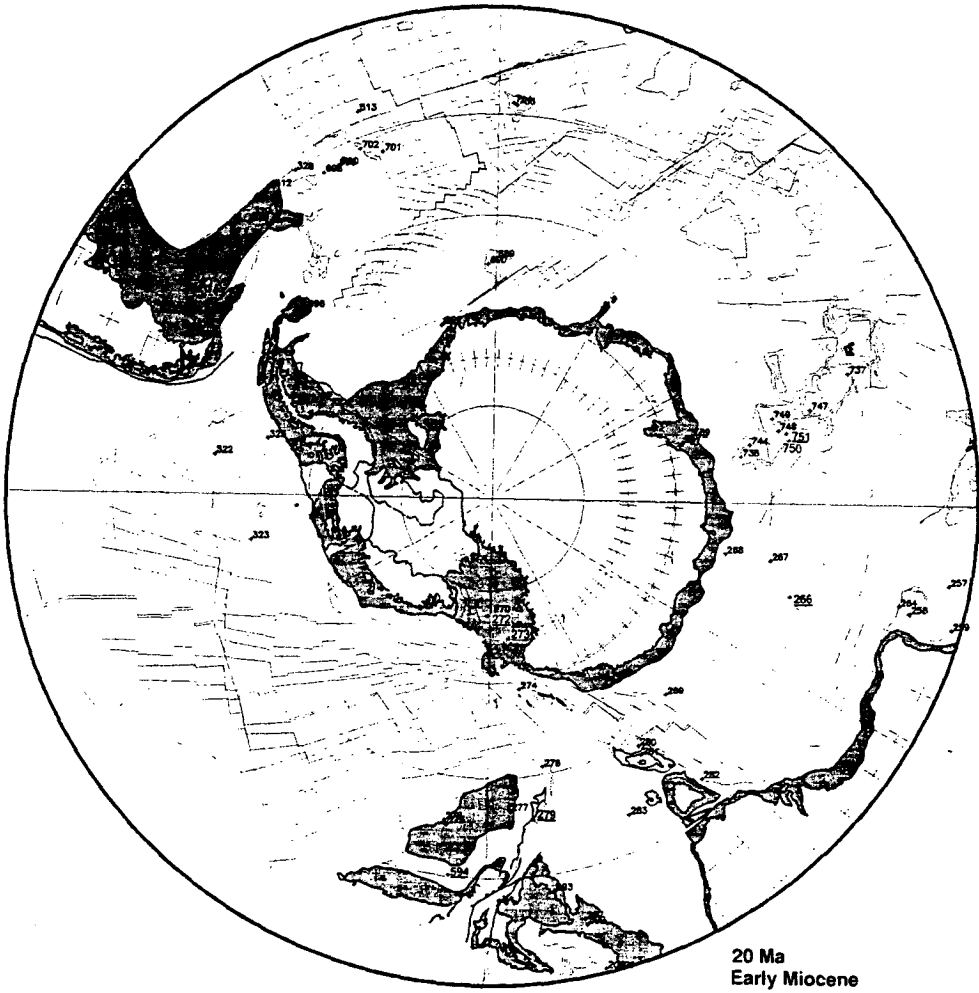


Fig. 13. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 30Ma.



20 Ma
Early Miocene

Fig. 14. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 20Ma.

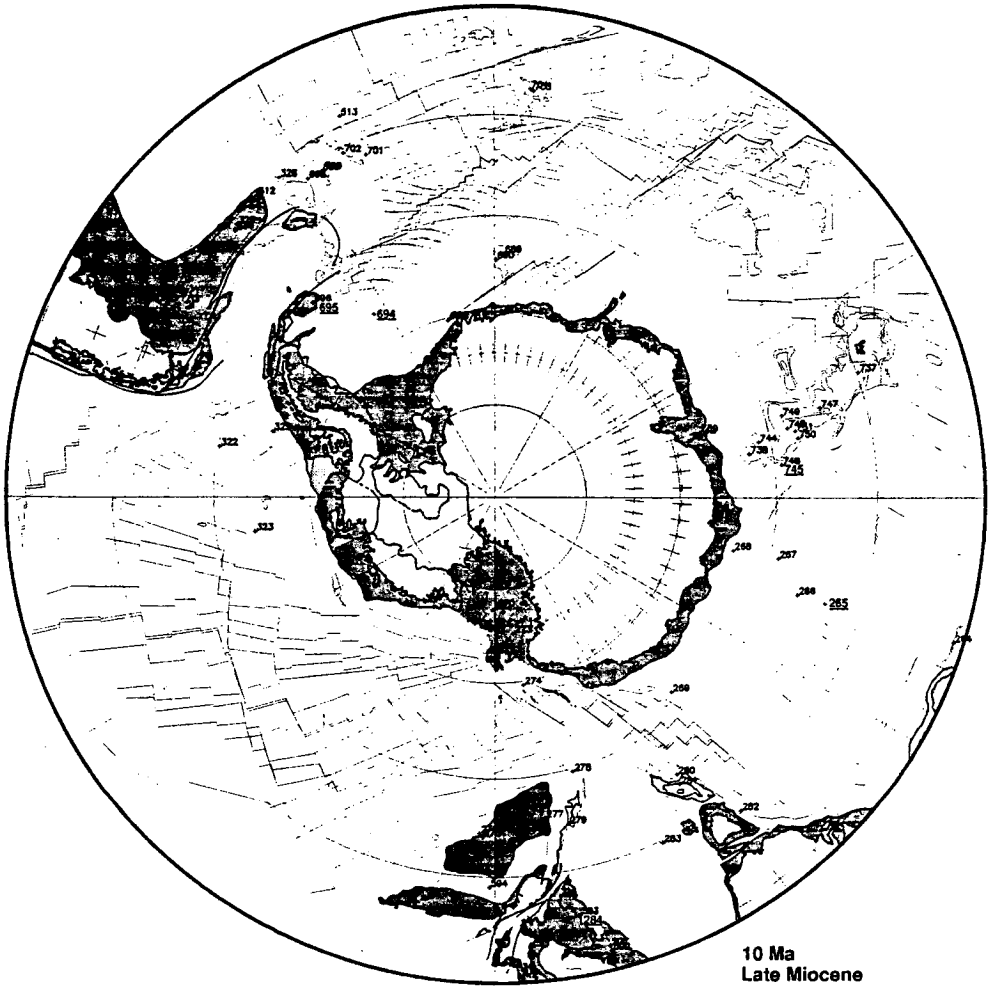


Fig. 15. Paleogeographic reconstruction of southern Gondwana at 10Ma.

Ⅲ. 남극권의 과학적 탐사

1. 과학적 탐사의 시도

남극대륙을 포함한 남극권에 대한 국제적인 관심은 여러 각도의 과학적 지식이 증가함에 따라 가히 폭발적으로 확대되었다. 특히 1895년과 1915년 사이에 고조된 이러한 남극에 대한 관심은, 많은 희생에도 불구하고 당시의 많은 탐험가와 과학자들의 용기와 헌신적인 노력으로 여러 종류의 과학적인 자료의 확보와 남극연구와 과학적 발전에 중요한 많은 책이 출간되는데 커다란 공헌을 하였다.

1892/93년의 Dundee Whaling Expedition과 1894/95년의 H.J. Bull이 이끄는 탐험에서 많은 과학적인 관측과 자료가 수집되기도 하였지만, 최초의 중요한 탐험은 1897년에 Adrien de Gerlache de Gomery에 의해 수행되었다. 그는 벨기에 정부로부터 지원을 받아 'Belgica'라고 명명된 작은 노르웨이의 물개잡이 선박을 이용하여 남극해를 항해하였다. 그 배에는 부대장인 노르웨이의 Roald Amundsen과 의사로서의 미국인 Federick Cook, 폴란드 기상학자인 Henryk Arctowski와 루마니아의 박물학자인 Emil Racovitza가 동행하였다. 탐험대장인

Gerlache는 해군장교이면서도 과학에 관심이 많았고, 짧은 기간이었지만 남극반도의 서쪽 해안에 여러 번 상륙한 경험도 가지고 있었다. 그래도 극지에서의 월동경험은 부족하였기 때문에, 3월부터 이후 347일 동안 벨링스하우젠해에서 배가 얼음에 갇히게 됨으로써, 남극에서 처음으로 월동생활을 경험하게 되었다. 이러한 남극에서의 긴 겨울철 동안 한 명의 사망자와 두 명의 정신이상자가 발생하였으며, 그리고 여러 명이 무기력증과 우울증으로 시달리게 되었는데, 의사인 Cook가 대원들의 사기 진작에 큰 역할을 담당하였다.

Gerlache 일행이 벨링스하우젠해에 얼어붙어 있었을 때, 노르웨이 출신의 Carsten Borchgrevink가 이끄는 또 다른 탐험대가 로스해를 향해 영국을 출발하였다. Borchgrevink는 3년전에 상륙한 적이 있는 어대어곶(Cape Adare)에서 월동하기로 결심하고, 세 명의 과학자-동물학자인 Nicolai Hanson과 조수 Hugh Evans, 물리학자인 Louis Bernacchi와 의사인 Herlof Klovstad-와 함께 'Southern Cross'호를 이용하여 항해하였다. 그러나 이들은 어대어곶에서 더이상 내륙으로 들어갈 수 없게 되자, 다음해 여름철에 로스 빙봉을 따라 남쪽으로 항해하였다. Borchgrevink와 두 명의 대원은 남극탐험 역사상 최초로 개썰매를 이용하여 남위 78도 50분의 내륙까지 진출하였다. 당시 선장인 Colbeck에 의해 만들어진 로스해의 해도는 후에 그 지역 방문자들에게 매우 유용한 자료로서 활용케 되었으며, 이 기간동안에 영국남극탐험대(British Antarctic Expedition)의 대장인 Borchgrevink와 그의 일행은 남극대륙의 내륙에서 월동한 최초의 탐험대로 기록되었다.

앞서 말한바와 같이, 19세기 말부터 20세기 초까지의 남극에 대한 각

국의 지대한 관심은, 1901년에의 제 6차 국제 남극 지리학 회의로써 보다 활발하게 진행된 것 같다. 당시에 영국 왕립 지리학회 회장인, Clements Markham 경은 남극에서의 보다 활발한 국제협력을 역설하였으며, 이것은 1901년 독일, 스웨덴과 영국의 탐험에 반영되었다. 1901년 7월 Markham은 장차 남극대륙 탐험에 이용될 7개의 경로를 찾아내었으며, 각 탐험대는 서로 다른 경로를 이용하여 탐험할 것을 제시하였다.

이러한 탐험들 속에서 남극대륙은 미흡하나마 점차 본연의 모습을 드러내게 되었다. 독일의 지리학 교수 Erich von Drygalski와 다섯 명의 과학자는 극지 항해에 맞도록 건조된 선박 'Gauss'호를 이용하여 처음으로 남극해의 인도양 영역을 탐사하였으며, 얼음속에 갇히게 된 겨울철에는 자기와 천문관측을 통해 매우 가치있는 자료를 획득하였다. 봄철에는 썰매를 이용하여 해안을 탐사하였으며 'Gaussberg'라는 사화산을 발견하기도 하였다. 이때 Drygalski는 기구를 이용하여 고도 450m까지 올라가 분화구의 안을 조사하기도 하였는데, 이 기술은 R.F. Scott의 탐사에서 사용되었다.

지질학자인 Otto Nordenskjöld와 탐사선 'Antarctic'호의 선장인 C.A. Larsen이 이끄는 스웨덴 탐험대는 웨델해로 들어가 남극반도의 동쪽 연안을 탐사하였다. 영국의 세번째 탐험대를 지휘한 Scott와 그의 일행은 McMurdo Sound의 해빙위에 정박한 선박 'Discovery'호에서 월동하면서 세밀한 과학적 연구계획을 바탕으로 많은 성과를 거두었으며 지리학적인 탐사도 빼 놓지 않았다. 이들의 탐사와 같은 시기에 스코틀랜드의 W.S. Bruce는 남오크니군도를, 프랑스의 J.B. Charcot는 남극반도의 서쪽 연안을 탐사하여 측량과 빙하학, 지질학 및 생물학적 관찰

을 포함한 과학적 탐사와 해도 작성에 주력하였다.

Mawson, David와 Priestley가 참여한 Ernest Shackleton의 탐험대는 모두 남극지질과 빙하에 대한 위대한 업적을 이룩하였으며, 남빅토리아랜드 지역의 지형도 및 지질도 작성에 커다란 공헌을 하였다. 특히 Priestley는 Scott의 2차 탐험과 같은 Terra Nova 지역에 대한 탐사를 수행하여, 비록 새롭고 중요한 지리학적 발견은 없었지만, 생물학, 기상학, 지질학과 빙하학에 대한 훌륭한 연구를 수행하였다. 같은 시기에 노르웨이의 Amundsen 탐사대는 Dronning Maud 산맥의 연장선을 발견하고 고원으로 새로운 경로를 개발하였으나, 의미있는 과학적 연구는 수행하지 않았다. 이러한 두 탐험은 인류 최초로 남극점(South Pole)에 도달하는 쾌거를 이루었으나, Amundsen이 Scott보다 33일 먼저 극점에 도달하고 안전하게 기지로 돌아온 반면 Scott의 극점 탐험대 모두는 돌아오는 길에 사망하였다.

Shackleton의 2차 탐험대는 웨델해로부터 로스해까지의 대륙 횡단을 목적에 두고 탐사를 시도하였으나, 이용한 선박 'Endurance'호가 얼음과 부딪혀 침몰하는 바람에 원래의 뜻은 이루지 못하였지만 남조지아섬을 횡단하는데는 성공하였다. 이 탐사는 배의 침몰과 대원의 구조, 그리고 섬의 횡단 성공의 과정에서 극지 탐험의 역사상 가장 훌륭하게 지도력이 발휘된 것중의 하나로 기록되고 있다.

남극탐험의 역사 속에서 역시 빼어 놓을 수 없는 사람이 Douglas Mawson이다. 그가 속한 호주의 남극탐험대는 전적으로 과학적인 목적하에 탐사를 수행하였으며 많은 업적을 남겼다. 지형과 지질 및 생물학적 탐사와 특히 세계에서 가장 바람이 강한 곳 중의 하나인 데니스곶

(Cape Denison)에 기지를 설치하고 중요한 기상자료를 수집하였다.

이외에도 1911년에 Wilhelm Filchner에 의해 이끌려진 독일의 탐험대는 남극이 대륙인지의 여부를 밝히는 목적을 갖고 탐사에 임했는데, 가혹한 기후와 환경때문에 설치한 기지를 잃고 선박 'Deutschland'호가 웨델해에 9개월 동안 얼음에 갇히는 연유로 오늘날의 쾰크너(Filchner) 빙봉으로 불리는 지역에 대해서만 과학연구와 탐사를 수행하였다. 또한 1911년에 일본의 Nobu Shirase가 지휘하는 탐사대가 'Kainan Maru'호를 이용하여 고래만(Bay of Whales)에 도착하여 Amundsen의 탐사대와 만났으나, 남극점 탐험은 포기하고 단지 일 개월 동안의 257km에 달하는 내륙지역 썰매 탐사만 마치고 귀국하였다. 선박 'Quest'호를 이용한 영국의 Shackleton은 그의 마지막 남극탐험에서 남극대륙의 해안선을 따른 3,200km의 지도를 작성하고 웨델해 지역에서의 기상현상과 지질학적 조사를 수행하는 계획을 세웠으나, 남조지아섬에서의 심장병으로 인한 사망으로 인해 원래의 뜻은 이루지 못하고 약간의 과학적 연구만을 수행하였다.

두 차례의 세계 대전 사이에 남극에 대한 탐사는 새로운 경향을 보여, 대부분이 개인적인 지원을 받는 탐사였지만, 한편으로는 여러 국가에 의해 남극의 영토소유권이 제기되고 남극대륙에 대해 보다 비상한 관심을 쏟게 되는 국면을 맞이하게 되었다. 이러한 상황은 보다 체계적이며 전격적인 남극대륙 탐사를 수행하는 동기가 되었다. 1928년 미국의 Byrd 제독은 그의 첫번째 탐사에서 최초로 비행기를 이용한 남극점 횡단 비행에 성공하였고 약 384,000 평방 km에 해당하는 영역을 비행하며 1,600장이 넘는 항공 사진을 촬영함과 아울러 록펠러(Rockefeller)와

포드(Ford) 산맥을 발견하였다. 이 탐사를 통해 남극 지역에서도 비행기가 장거리를 비행할 수 있으며 빙하 위에 착륙하여 인원과 보급품을 수송할 수 있음이 입증되었다. 이외에도 영국의 Hubert Wilkins 경이 1928년에 비행기를 이용하여 남극반도에 대한 귀중한 항공 사진을 촬영하였으며, 1935년 미국의 Lincoln Ellsworth와 Herbert Hollick-Kenyon이 남극반도로부터 로스 빙봉까지 대륙 횡단 비행을 성공시켰고, 독일의 1938/39년 탐사대는 비행기를 이용하여 3주 동안에 약 350,000 평방 km에 달하는 지역을 항공 촬영하였다.

2. 남극연구의 국제협력

독일의 해군 중령이며 북극 탐험가인 Karl Weyprecht는 1875년에 양극 지역에서의 기상학 분야를 비롯한 자기 현상, 오로라 현상과 빙하에 대해 자세하고도, 동시에 관찰하고자 하는 국제협력 방안을 처음으로 제창한바 있다. 이것이 계기가 되어 1882년-1883년이 국제 극 연구의 해(International Polar Year)로 지정되고, 10여 개국이 북극 기지와 세계의 남반구 기지를 설치하였다. 이러한 연구의 결과는 많은 어려움에도 불구하고 매우 유용하였으며, 양극에서의 기상, 자기, 오로라 및 빙하에 대한 국제 공동연구의 수행과 특히 자기 연구의 자료는 전 지구 자기장에 대해 새로운 시각을 제공하였다.

제 1차 극 연구의 해는 태양의 흑점이 최소인 주기와 일치하였으며,

다시 1927년에는 독일의 극지 과학자인 Johannes Georgi에 의해 1932년-1933년을 제 2차 극 연구의 해로 하자는 제안이 있었는데, 이는 제 1차 극 연구의 해의 50년 후로 마침 태양활동이 가장 약한 시기와 일치한다. 이 기간 동안에는 보다 많은 국가가 관심을 보여 44개국이 참여하였다. 많은 연구계획과 국제적인 학술 단체의 참여로 보다 조직적인 연구가 이루어졌는데, 특히 기상, 자기, 오로라의 연구가 강조되었으며, 동시 관측을 위한 '국제일(International Days)'이 선포되고 오로라 촬영 카메라, 라디오존데, 자력계 등 새로운 측정기기가 선보였다. 당시에 채택된 관측 항목들은 후에 극지 관측의 기본적인 틀을 제공하며 차기 국제 극지연구가 보다 효과적으로 이루어지도록 하는데 큰 영향을 미쳤다. 당시의 수집 자료 중 많은 중요한 것들이 제 2차 세계대전으로 인하여 소실되었지만, 1951년에 최종 목록이 출간되었다.

제 2차 극 연구의 해 이후, Chapman과 Lloyd Berkner를 중심으로 한 1950년 이온권 위원회(Commission on the Ionosphere) 회의에서 새로운 '극 연구의 해'의 지정에 관한 제안이 나왔고, 이는 곧 국제 과학연맹 회의(ICSU: International Council of Scientific Unions)에 상정되었다. 당시 이 연맹은 13개 국제 전문 과학기구와 45개 국가의 학술원 대표로 구성되어 있었으며, 비 정부단체로서 운영되고 있었다.

이러한 이온권 위원회의 제안은 1951년 국제 과학연맹 회의의 집행 위원회에서 수락되었으며, 또한 연구계획의 수립과 다수의 국가가 참여할 수 있도록 하는 특별 위원회인, 국제 지구물리 특별 위원회(CSAGI: Comité Spéciale de l'Année Géophysique Internationale)를 설립하였다. 한편, 기상학자와 자기학자들은 극 지역에만 한정된 연구가

되어서는 안된다고 역설하였고, 이 주장은 곧 Chapman에 의해 ‘국제 지구물리의 해(IGY: International Geophysical Year)’라는 새로운 명칭의 제안이 탄생되도록 하였다. 이로써 1954년 5월과 10월에 걸쳐 20개국 이상이 참가하기로 동의하였고, 이 때부터 남극이 특별한 관심의 대상이 되었으며, 국제 지구물리 특별 위원회에서는 남극이 지구물리학적으로 매우 중요하며 많은 연구분야를 가지고 있으므로 국제 지구물리의 해의 기간(1957/58) 동안에 집중적인 연구 대상으로 남극을 선정하였다고 보고서에 기술하였다.

남극에 대한 국제 지구물리 특별 위원회의 첫번째 회의가 1955년 7월 프랑스 파리에서 개최되었는데, 이 회의에서는 오늘날의 연구 기지들의 위치가 결정되었고 과학 연구 및 보급업무에 대한 협력 체제가 논의되었다. 또한 국제 지구물리의 해에는 비 정치적인 순수 과학 연구에 관해 수행되어야 한다는 분위기 속에서, 당시의 미국과 소련의 협력 정신을 바탕으로 비 정치적인 목적하에, 미국은 지리적인 남극점(Geographical South Pole)에, 소련은 지자기적인 남극점(Geomagnetic South Pole)에 각각 기지를 세우기로 임무를 맡았다. 영국, 아르헨티나, 그리고 칠레는 각국의 영토권 분쟁 지역인 웨델해와 남극반도에 기지를 세우기로 합의하였으며, 모든 남극 자료를 취합하기 위해 7개국의 전문가로 구성된 남극기상센터가 Little America라는 미국 기지에 설립되었다. 동년 9월에 개최된 2차 국제 지구물리 특별 위원회 회의에서는 생물학과 의학이 연구 분야로서 첨가되었고, 국제 지구물리의 해가 시작되기 직전인 1957년의 3차 회의에서는 각 연구 분야들에 대한 자료의 검토와 국제 지구물리의 해 이후의 활동에 대한 계획이 수립되어 1957년 후반에 출판

된 국제 지구물리의 해 연감의 첫째호를 시작으로 1967년의 48호까지 자료집 및 과학논문이 체계적으로 발간되었다.

국제 지구물리의 해에 기후와 빙하학 분야에서는 전 세계 기후에 대한 남극 빙하의 영향, 대기와 해양의 역학에 대한 빙하의 영향, 남극 오로라의 변위와 성격, 남극 고원에서의 이온층 실험 연구 등을 중점 수행 목적으로 설정하여 연구에 매진하였으며, 얼음 지역에 기지를 세우게 됨으로써 부수적인 극지 공학 및 설영 분야에도 커다란 발전을 가져오는 계기가 되었다.

국제 지구물리의 해의 연구 기간 동안에, 당시의 영국, 미국 및 소련의 지진파 탐사 횡단으로 동 남극대륙(또는 Greater Antarctica)과 서 남극대륙(또는 Lesser Antarctica)이 구분되었고, 눈과 얼음의 상세한 연구와 각국의 기상현상 조사로 남극의 해안과 내륙에서의 기상현상에 대한 특성이 규명되기 시작하였다. 특히 소련은 획득한 지진파 단면 자료로부터 내륙의 빙하 하부 구조를 밝혔으며, 해안의 지도 작성에도 큰 도움을 주었다.

관측범위와 경비면으로 볼 때, 미국은 남극에서 가장 큰 규모를 갖고 있었으며 국제 지구물리의 해에 모든 연구 분야에 상당한 공헌은 물론, 생물학 및 인체 생리학 분야에 대해서도 많은 연구를 수행하여 다른 국가와 더불어 후일 국제 지구물리의 해가 남극조약으로 발전하는데 중요한 역할을 수행하였다. 더욱이 당시의 미국과 소련간의 정치적인 냉전 분위기임에도 불구하고 탈 정치적인 순수한 과학자들의 합의하에 계획적으로 추진되어 큰 성과를 얻었으며, 이전의 탐사에 비해 본격적인 국제 남극 탐사의 계기가 마련되었다는 데에 더 큰 의미가 있다고 할 것이다.

한편, 국제 지구물리의 해의 성공적인 수행이 계기가 되어 1957년 미국의 제의로 국제 과학연맹 회의는 남극 연구 과학위원회(SCAR: Scientific Committee on Antarctic Research)를 설립하였다. 이는 국제 지구물리의 해 계획 이후 가장 적합한 협력기구로서, 창설 당시에는 남극권에서 활약하는 각국의 대표 1명과 국제 과학연맹 회의의 대표단, 그리고 세계기상기구 등 국제 과학기구의 대표단들로 구성되어 국제적인 남극관련 연구활동을 주도, 조정, 장려하며 서로의 연구활동 계획과 상호협력 사업 등을 논의하였다. 남극 연구 과학위원회는 현재 8개의 상설실무 그룹과 7개의 전문가 그룹으로 구성되어 있으며, 영국 캠브리지의 스코트 극지연구소에 사무국을 설치하고, 남극에 관한 모든 과학자료의 제공처로서의 역할도 수행하고 있다.

이러한 남극권에서의 과학활동과 자료의 교환 등 국제적인 협력은 급기야 미국을 비롯한 12개의 남극연구 국가들이 중심이 되어 남극대륙을 과학적인 목적으로만 이용하자는 내용을 골자로 하는 남극조약(Antarctic Treaty)을 1961년 6월에 발효시키게 된다. 이 조약은 남극에서의 과학활동의 자유와 자료의 교환을 보장하고, 핵폭발 실험과 방사능 물질의 폐기를 절대 금하며, 군사활동을 금지하고 모든 설치물을 국제적인 감시하에 둘 것을 규정하고 있다.

다시 말해, 전문과 14개의 조문으로 구성되어 있는 남극조약은 남극대륙의 평화적 이용과 남극탐사의 자유 보장을 주 목적으로 명시하는 것 이외에 남위 60도 이남으로 규정한 남극 지역에 대한 국가적 경쟁, 특히 군사적 경쟁을 억제하고 영유권에 관한 문제해결을 유예함으로써 남극대륙이 '국제적 불화의 무대 또는 대상'이 되는 것을 막고 있다.

참고로 남극조약에는 1961년 발효된 이래 현재까지 12개 원초 서명국 이외에 27개 국가가 추가로 서명하였는데, 조약운영의 실질적인 권한은 12개 원초 서명국과 ‘과학기지 설치 또는 과학탐사대 파견과 같은 실질적 남극 과학활동을 수행하고 있는’ 서명국에게만 부여된다. 이들 국가는 ‘남극조약협의당사국(ATCP: Antarctic Treaty Consultative Party)’으로 지칭되며 이들 국가만이 조약규정에 의해 2년마다 개최되는 정기 회의에 참가, 투표권을 행사할 수 있게된다.

우리나라는 1986년 11월에 남극조약에 가입한 후, 1988년 2월 남극 세종 과학기지를 설치하고 대한민국 남극 과학연구단을 파견한 성과를 인정받아 1989년 10월에 협의당사국의 지위를 획득한바 있다. 또한 1987년 12월에는 남극 연구 과학위원회의 준회원국으로 가입하고 1990년 7월에 정회원국이 되어 보다 체계적이며 적극적인 남극관련 제반 사항에 대해 의무와 권한을 갖게 되었다. 이에 우리나라는 1987년 8월에 남극 연구 과학위원회에 대한 국내 기구로서 한국 남극 과학위원회(KONCAR: Korean National Committee on Antarctic Research)를 설립하고, 우리나라의 남극 과학 탐사활동에 관한 기본방침의 자문과 남극 연구 과학위원회의 한국 대표 선출 등의 기능을 수행하고 있다.

3. 남극에서의 초기 과학 연구

국제 지구물리의 해를 기점으로 남극권에서의 과학적인 탐사와 연구는

여러 분야에 걸쳐 두드러진 발전을 하였다. 기상학, 지구물리학, 지질학, 생물학, 지진학, 해양학, 고층대기 물리학, 빙하학, 극지의학 및 공학 등 남극 지역에 적용시킬 수 있는 모든 분야에 걸쳐 연구가 진행되었고 이후 많은 자료와 과학적인 논문이 발간되었다.

남극에서의 최초의 지구물리 연구는 1700년 영국의 Edmund Halley에 의한 지자기 연구로서, 남위 52도에서 지자기 복각 측정을 들 수 있다. 이후 영국의 탐험대나 Bellingshausen, Dumont d'Urville, Wilkes 및 Ross 등도 지자기 관측을 최우선 목표로 하여 남극의 지자기 자료를 수집하였으며, 특히 Ross는 방위각, 복각 및 지자기 세기 등 세 가지 자기 성분을 3년간의 항해동안 측정하여 자료를 수집하였고, Edward Sabine은 이를 정리하여 왕립학회 학술회보에 발표하였다.

한편, 장엄한 남극 오로라에 대해서도 자세한 관찰 기록이 있다. Cook 선장은 남극 오로라의 모양과 변화 등에 대한 세밀한 기록을 남겼으며, 19세기의 물리학자들에 의해 오로라 사진과 자기 기록의 필요성이 대두되었다. 그러나 초창기에는 미약한 촬영 기술과 필름의 문제로 인하여 과학적인 자료가 될만한 사진을 얻지 못했으나, 1956년부터 실시된 all-sky 카메라의 개발과 관측망의 설치로 남극 오로라 연구에 큰 진전이 이루어졌다. 고층대기의 물리적인 현상을 이해하기 위해서 여러 물리학적 연구가 시도되었으며, 이 과정에서 특정한 형태의 오로라가 무선 전파에 커다란 영향을 미친다는 것을 알아내었다.

초창기의 많은 연구와 실험 및 수집된 자기자료로부터 남극대기의 독특한 특성이 알려졌고, 이는 후에 대기물리와 지자기 연구의 필수 분야가 되었다. 이처럼 물리학과 대기과학은 국제 지구물리의 해의 주된

연구 분야였으며 오늘날 남극과학의 원류를 이루고 있다.

빙하학은 얼음의 질량 균형, 물리적 특성, 과거의 기후와 대기의 재구성 등을 연구하는 학문인바, 오늘날 남극에서의 빙하학 연구는 공해에 관한 빙하학 연구와 기후나 온도변화에 관한 산소 동위원소 연구 등이 포함되고 있다. 빙하에 대한 남극권에서의 최초의 과학적 관찰은 빙하의 위치와 영향을 비교한 Moseley에 의해 수행되었다. 그러나 국제 지구물리의 해 이전의 탐사에서는 주로 제한된 지역의 빙하에 대하여 기술되었고 몇 차례의 정량적인 측정이 시도되었으나, 사실상 내륙 빙하에 대해 알려진 것은 거의 없었다.

국제 지구물리의 해에서 빙하에 대한 주된 문제는 빙하의 용적을 계산하기 위한 빙하의 두께 측정, 질량 균형을 계산하기 위한 빙하의 증가와 손실량 측정, 기후변화를 규명하기 위한 빙하 시추, 그리고 지표 근처에서의 미기상학 등이었다. 이에 미국과 소련에 의한 내륙탐사와 남극횡단 탐사에서 빙하의 두께와 기반암 지형에 대한 새로운 자료가 제시되었으며, 이러한 자료를 바탕으로 남극대륙 전체에 대한 눈의 집적률, 빙하의 이동 방향, 질량과 열 균형 등에 대한 분포도가 작성되었다(박병권, 김예동, 1991).

IV. 남극에서의 기후연구

1. 남극의 자연환경

가. 남극대륙의 지형

남극대륙은 한반도의 약 60배의 면적을 갖고 있으며, 미국과 멕시코 또는 중국과 인도를 합친 것과 같은 약 1,350만 평방 km에 이르는 지구 상에서 다섯번째의 크기를 가진 대륙이다. 그리고 표면의 약 98%가 평균 두께 2,160m의 얼음으로 덮여 있다.

남극의 지질연구는 벨기에 탐험대에 속한 Arctowski로부터 시작되었다고 알려져 있지만, 실제로는 여러 중요한 지질학적 발견들이 19세기 초에 이미 이루어져 있었다. James Eights는 1830년에 남쉐틀랜드군도에서 나무화석을 수집하였지만 지질학계에 잘 알려지지 않았다. Wilkes 탐험대의 Dana와 Foster는 1829년 남쉐틀랜드군도를 탐사하여 중요한 암석을 채취하였고, 또 'Challenger' 호 탐사 동안에는 남극해의 심해저에서 대륙 암석의 표본이 채취되었다. 1893년 C. A. Larsen이 세이무어(Seymour)섬에서 발견한 화석과 1894년 어대어곶에서 Borch-

grevink가 채취한 화강암에 의해 처음으로 대륙의 존재가 확인되었다.

남극대륙은 로스해와 웨델해, 그리고 로스빙봉과 쉘크너빙봉을 양끝으로 하는 남극횡단산맥(Transantarctic Mountains)을 중심으로 동 남극대륙(East Antarctica)과 서 남극대륙(West Antarctica)으로 구분되며, 동 남극대륙이 서 남극대륙에 비해 더 넓고 높으며 얼음이 더 두껍게 덮여있다. 여름에는 남극대륙 전체의 약 2%인 26~27만 평방 km 정도의 지면이 노출된다(Elliot, 1975).

동 남극대륙 중심부를 이루는 고원지대는 약 350만 평방 km 넓이의 고도 3,000m 지역과 약 3만 평방 km 넓이의 고도 4,000m의 지역으로 구분할 수 있는데, 이 지역 모두는 얼음으로 덮여있다(Oxman, 1978).

서 남극대륙은 동 남극대륙의 약 ¼ 의 크기로서 남극횡단산맥으로부터 남극반도(Antarctic Peninsula) 끝까지를 일컬으며 마리 버드 랜드의 산악지대와 남극반도로 2개의 구조적 형태로 이루어져 있다(Campbell and Claridge, 1987).

서 남극대륙의 기타 지역과 남극반도에서는 거의 모든 산들이 뾰족한 것이 특징이며, 그 산정들은 보통 2,000m 내지 3,000m의 고도로 분포되어 있다. 그 중에서 남극대륙 최고의 단일봉인 빈슨 매시프(5,140m ; 남위 78.6도, 서경 85.4도)는 서 남극대륙의 엘스워스 산맥에 위치하고 있다.

서 남극대륙의 중심부인 마리 버드 랜드는 고도 1,500m 정도로서 동 남극대륙에 비해 낮으며 얼음 두께가 2,000 ~ 3,000m에 달하므로 지반의 대부분은 해면 아래에 있다.

남극반도는 길이가 약 1,287km로서, 동쪽에 웨델해와 서쪽에 벨링스

하우젠해와 연해 있으며, 해안이 험하여 상륙할 만한 곳이 거의 없는 것이 특징이다. 남극반도 내륙은 산이 많고 일부 산들은 고도 2,000m 내지 3,050m에 달한다. 그리고 해안선을 형성하는 대부분의 험하고 가파른 산 정상과 절벽을 제외하면 거의가 육중한 빙하로 덮여 있다.

만약 남극대륙을 덮고있는 얼음을 모두 제거하고 지각균형 보정에 의해 육지가 융기되었다고 가정하면, 현재 해면 아래인 동 남극대륙은 거대한 육지로 변모할 것이다. 반면, 마리 버드 랜드, 엘스워스 랜드, 그리고 남극반도로 구성되는 서 남극대륙은 수많은 도서들과 깊은 해협, 그리고 해저 분지로 변모될 것이다. 그렇게 되면 동 남극과 서 남극대륙에 대한 각각의 지질학적 특색은 분명히 구분될 것이며, 연구의 방향도 다르게 될 것이다.

나. 남극해(Antarctic Ocean)

1) 남극해의 구성과 물리적 특성

남극해는 대서양, 인도양, 그리고 태평양의 남부로 구성되어 있다. 남극해 해수의 전체 부피는 약 137.6백만 입방 km이다. 남극해의 남쪽은 남극대륙의 연안에 의해 뚜렷하게 구분되지만, 북쪽은 두드러진 지형적 경계가 없다. 다만 위도적으로 남위 40도의 아열대 수렴대(Subtropical Convergence)나 또는 남위 50도~60도의 남극 수렴대(Antarctic Convergence)까지를 북쪽 경계로 하는 것이 통례로 되어있다. 이 영역은 대략 세계 전 해양면적의 22%에 해당하는 75·백만 평방

km(Kort, 1962), 또는 38 백만 평방 km의 면적을 갖고 있다(Alfred-Wegener Institute, 1985).

남극해는 대서양(서경 60도~동경 20도), 인도양(동경 20도~동경 170도), 그리고 태평양(동경 170도~서경 60도)의 남부 해수로 구성되며 남극대륙을 둘러싸고 있다.

해수 표층의 온도는 일반적으로, 남극대륙 연안으로부터 남극수렴대까지는 동계에 1~2 °C, 하계에 3~5 °C의 분포를 보이고 있다. 남극수렴대 영역에서는 차가운 남극해류와 보다 온난한 아남극 해류가 만나 해수의 혼합이 이루어진다(Deacon, 1984). 따라서 이 영역에서의 해수온도를 측정하기란 그리 쉽지가 않다.

참고로 남극 세종기지가 위치한 킹조지섬의 마리안 소만에서 CTD를 사용하여 측정한 표층 수온과 염분 자료를 살펴보면, 동계에는 수온과 염분이 각각 -1.80°C와 33.50~34.00% 정도로 비교적 시간에 따른 변화가 적었음에 반해, 용설수가 유입하는 하계에는 수온과 염분이 각각 0.10~2.10°C와 27.62~34.04%로 일별 변화가 모두 크게 나타난다(KORDI, 1990). 마리안 소만의 하계 표층 수온의 큰 일 변화는 기온 변화에 특히 많은 영향을 받고 있으며 풍계에 의한 영향도 적지 않은 것으로 분석되고 있다.

2) 남극해 해수의 분류와 물리적 특성

남극해 해수는 기본적으로 3가지 - 남극 표면수(Antarctic Surface Water: AASW), 주극 심층수(Circumpolar Deep Water: CDW), 그리고

남극 저층수(Antarctic Bottom Water: AABW) -로 분류된다(Alfred-Wegener Institute 1985). 남극 동계 동안에 남극 표면수는 깊이 약 250m까지 거의 균질수(homogeneous water)로 되어 있다. 염분은 34.0 ~ 34.5 ‰의 범위로 변하고, 온도는 남극발산대(Antarctic Divergence)에서 거의 빙점에 이르며 극전선에서는 약 2 °C까지 증가한다(Tchernia, 1980).

반면 남극 하계동안에 남극 표면수의 혼합층(두께 30 ~ 80m)에서는 남쪽의 얼음과 접하고 있는 곳에서 -1.8 °C, 그리고 극전선 영역에서는 6 °C까지 수온이 올라가지만, 반면 염분은 각각의 위치에서 33.6 ‰과 34.2 ‰까지 내려간다(Gordon and Molinelli, 1982). 동계 동안에 해수는 혼합층 밑의 층에 있게 된다.

주극 심층수는 남극해 전 부피의 약 58%를 차지하고 있으며, 평균 약 2,000m의 두께를 갖고 있다. 또한 깊이 500 ~ 1,200m 사이에서 온도가 최대이나, 용존 산소는 최소이고 750 ~ 1,500m 사이에서 최대의 염분이 나타난다(Gordon and Molinelli, 1982). 남극 발산대에서의 주극 심층수는 수면하 깊이 150m에서 100m까지 상승한다(Tchernia, 1980).

남극 저층수는 바다 근처에서 최저의 온도와 최대의 용존산소를 보이는 것이 특징이며, 평균 약 1,100m의 두께를 갖는 층이다. 특히 웨델해는 낮은 염분을, 로스해는 높은 염분을 남극 저층수에 제공해 주는 주요 원천으로서 작용한다. 웨델해에서는 전 남극 저층수의 약 71.6%를 공급하는 반면, 로스해에서는 약 6.6%만을 공급한다(Carmack, 1977).

3) 남극해의 해저 분지

남극해 해저에는 세계의 커다란 해저 분지(Ocean Basin) - 웨델 분지(Weddell Basin), 남 인도양 분지(South Indian Basin), 그리고 남 동 태평양 분지(South-east Pacific Basin) -가 형성되어 있다. 그것들은 각각 남극반도, Kerguelen 고원, 그리고 뉴질랜드 남부 해저에 발달한 대양저 중앙해령(Mid-Ocean Ridge)의 남쪽지맥에 의해 구분되고 있다(Gordon *et al.*, 1978).

일반적으로 남극해의 분지는 강이나 하천의 부재로 말미암아 육상으로부터의 육상기원 퇴적물 공급이 지구상의 다른 지역보다도 상대적으로 적다. 따라서 남극해 분지의 퇴적층은 비교적 박층이며 해저면은 빙식작용으로 인해 매우 불규칙하고 날카로운 모습을 보이는 것이 특징이다.

또한 세종기지가 위치한 킹조지섬이나 남극반도 주변의 해안가에는 수많은 피요르드가 발달해 있는데, 이들은 거의가 U자형 단면을 보이는 것이 특징이며 아직도 육상으로부터의 퇴적물을 활발히 공급받고 있다. 이들 퇴적물의 운반 기작은 대부분이 용해수나 빙하로부터 떨어져 나온 부빙에 의존한다.

다. 얼음

남극대륙의 특징은 1% 정도의 얼음으로부터 노출된 지역보다는 대륙 표면을 두껍게 덮고 있는 평균 두께 2,160m의 얼음일 것이다. 이러한 남극의 얼음은 많은 연구과제를 제공해 준다. 특히, 얼음 자체의 물리

적 특성, 과거의 기후와 대기의 재구성, 기후나 온도변화, 그리고 빙하의 증가와 손실량 측정을 통한 질량 균형 등을 밝히기 위한 전문적인 빙하학 연구에 훌륭한 대상이다.

남극 탐험의 초기에는 모두 빙산이나 빙봉에 대하여 정성적으로 기술하였다. 빙하에 대한 최초의 과학적 관찰은 'Challenger' 호를 타고 케르구엘렌(Kerguelen)섬과 허드(Heard)섬에 있는 빙하의 위치와 영향을 비교한 Moseley에 의해 이루어졌다. 그러나 지질학적 관찰이 우선이었으므로 빙하연구도 지질학자에 의해 이루어졌지만, 남극에 대한 최초의 빙하학자로 불릴만한 Arctowski에 의해 남극반도 서해안에 대한 빙하연구가 심도있게 수행되었다.

국제 지구물리의 해 이전의 탐사에서는 주로 제한된 지역의 빙하와 얼음에 대하여 기술되었고 단지 몇 차례의 정량적인 측정이 시도되었지만, 사실상 내륙 빙하에 대해 알려진 것은 최근이었다. 더욱이 최근 들어 기후학자, 해양학자, 빙하학자, 그리고 환경학자 등의 관심있는 과학자들간에 거세게 거론되고 있는, 지구온난화와 세계 해수면의 상승변화에 대한 문제의 대부분을 남극대륙의 얼음과 바다얼음의 변화상태와 이동의 계속적인 관측 및 연구로써 파악하고, 나아가 지구환경 보존을 목적으로 하는 일련의 연구 대상이 남극의 얼음이기 때문에 이에 대한 이해는 그만큼 중요하다.

우리는 바다에서 여러가지 형태의 부빙(floating ice)을 만나게 되는데, 이것은 바다 표면의 결빙으로 생긴 바다얼음이 대부분이다. 근래에 와서 인공위성의 지속적인 관찰을 통하여, 남극의 바다얼음의 시공적 분포는 보다 구체적으로 세밀하게 조사되고 있다.

이외에 다른 형태로는 강얼음과 육지얼음이 있다. 강얼음은 조류에 따라 움직이므로 보통 일시적으로 항해를 방해하여 항구나 강어귀에서 만나게 된다.

대개의 빙산을 이루는 육지얼음과 바다얼음은 항상 항해에 영향을 주며 해상수송에 위험을 초래한다. 바다얼음은 또한 해상의 공기와 에너지 교환과정에 영향을 끼친다. 바다얼음이 바다를 덮는 범위는 매년 중요시되며, 해역의 안정과 세계적으로 넓은 지역의 기후에 중대한 영향을 주고 있다(WMO, 1983).

바다가 얼음에 의해 덮여있을 때는 바다와 대기 사이에 이루어지는 질량, 열, 그리고 운동량 등의 전달이 감소된다. 또한 바다얼음은 해수에 전달되는 태양 복사에너지를 차단하는 역할뿐만 아니라 일사량을 감소시키기도 한다. 이러한 바다얼음의 역할로 인하여 해양 식물상에 의한 광합성 작용이 영향을 받고 있으며 대개의 식물 성장활동이 제제를 받게 된다. 더욱이 바다얼음은 남극대륙을 덮고 있는 얼음과 더불어 대기순환계에 영향을 끼쳐 남극대륙을 더 차갑고 건조하게 만드는 원인이 되기도 한다.

남극 바다얼음의 범위는 계절에 따라 크게 변한다. 바다얼음이 남극해를 덮는 평균 확장범위는 최소일 때는 2월~3월 사이이며, 최대일 때는 9월에 나타난다. 그 확장 범위는 계절에 따라 변하여, 여름에 약 3백만 평방 km로부터 겨울에 19백만 평방 km까지 일정치가 않다(Zwally *et al.*, 1979). 이에 따라 바다얼음의 두께도 변하는데, 초겨울에 남위 60도~65도 사이의 지역에서 약 0.3m 정도, 늦봄부터 초여름의 기간 동안 남위 75도 이남의 지역에서는 2~3m 정도 변한다(Budd, 1981a).

계절에 따라 바다얼음으로 덮히는 지역의 최대와 최소 면적의 차이는 약 1.5백만 평방 km로 남극대륙의 면적보다 더 크다. 얼음의 면적이나 그 변화는 생물학, 기상학, 해양학적인 면에서 매우 중요하다.

바다가 얼음으로 덮히면 바다와 대기 사이에 입자, 열 및 운동량의 전달이 감소하게 된다. 바다얼음은 단열재의 역할뿐만 아니라 수피에 도달하는 햇빛의 양을 감소시키는 역할도 한다. 이는 해양 식물군의 광합성에 영향을 미치며, 따라서 식물의 전체 양을 조절하기도 한다. 바다 얼음이 만들어질 때 조류의 세포들은 세척작용이나 얼음 결정의 형성에 의하여 서로 모인다. 적어도 초기에는 인접 해역보다 조류가 많아져서 얼음이 대개 갈색으로 물들게 된다. 이러한 바다얼음과 연관된 식물군에 대해서는 거의 알려져있지 않지만 남극해의 연간 1차 생산량에 큰 영향을 미칠 수 있다(Walton, 1987).

바다얼음의 성장은 7개월동안 이루어지는데, 3월과 8월사이에 월평균 성장률은 약 3백만 평방 km이며, 5월과 6월사이에 최대의 성장률(3.4백만 평방 km)을 보인다. 8월부터 10월말까지 확장범위에 약간의 변화가 있으며, 11월부터 1월사이에는 그 범위가 축소된다. 12월에는 최대축소를(월 6.4백만 평방 km)로 축소된다.

특히 남극 덩어리얼음(pack ice) 가장자리의 동서변화는 남극대륙의 해안형태 구성에 영향을 주며, 국지적인 대기-해양간의 순환과도 아주 밀접한 관계가 있다. 남극대륙의 고기압권으로부터 북쪽으로 불어나가는 풍계(wind system)로 인하여 남극권에서 형성된 덩어리얼음도 보다 온난한 북쪽으로 표류하여 녹게 된다(Gordon and Taylor, 1975b).

남극 하계동안에 덩어리얼음들의 확장 영역은 남극점을 중심으로 불

때, 비대칭 형태를 이루는 남극대륙에 대해 부분적으로 보상형태를 이루어(Rayner and Howarth, 1979), 남극반도쪽의 웨델해와 태평양쪽의 로스해에서 가장 커다란 계절변화를 보이게 된다. 일반적으로 연변화는 덩어리얼음의 이동이 심한 지역에서 보다 크게 나타난다. 남극의 덩어리얼음의 확장에 대한 계절변화가 가장 적은 곳은 덩어리얼음의 이동이 흔치 않은 동경 80도~150도의 벨링스하우젠해와 아문젠해 해역이다.

바다얼음 가장자리 위치의 변화는 위도적인 온도 경도를 증가시키며 이에 따라 대기순환에 지대한 영향을 끼치게 된다. 바다얼음이 녹을 때는 해수온도를 냉각시키게 될 것이고, 이러한 과정은 남극해의 온도구분과 남반구 기후계에 깊은 영향을 줄 수 있다. 대기와 대양 사이의 에너지나 질량의 전이는 바다얼음에 의해 감소되므로 남극대륙 상공에서 순환하는 공기는 유빙이 없는 곳보다 더욱 차갑고 건조하다. 다른 여러가지 요인이 있지만 주로 바람에 의해 바다얼음의 범위가 다양하게 변화된다. 바다얼음때문에 상부의 기온이 낮아지므로 바다얼음이 녹아 해수를 냉각시킴으로써 남극해의 온도분포에 큰 영향을 미치고, 이 때문에 남반구 기후에 영향을 줄 수도 있다. 그러나 얼음의 성장, 변형, 그리고 붕괴에 대한 진행과정이 모두 상호작용에 의하기 때문에 기후와 바다얼음간의 관계는 아주 복잡하여 아직 완전히 규명되지 못한 부분이 많다.

눈이 지속적으로 덮여 있으면 지면에 입사한 태양 복사에너지의 약 90%가 우주공간으로 반사되어 나간다. 그러나 결국 표면의 눈은 초여름이 되어 0℃ 이상으로 기온이 상승하면 녹기 시작하여 표면의 웅덩이에 물이 피기 시작한다.

이러한 웅덩이는 약 90%의 입사 태양 복사에너지를 흡수한다. 따라서 웅덩이는 주위의 얼음이나 눈을 녹여 급격히 커진다. 결국 웅덩이에는 '바다얼음 구멍'이라고 불리워지는, 부빙의 표면에서 바닥까지 관통하는 구멍이 뚫리게 된다. 이같은 느린 붕괴과정을 통해 바다얼음은 붕괴되며, 떨어져 나온 얼음은 북극해나 남극해 등에서 보다 따뜻한 해역으로 표류되어 가면서 따뜻한 기온과 해수온도에 의해 붕괴가 가속된다.

바다얼음은 그 움직임에 따라 2개의 주요 유형으로 분류된다. 한 유형은 바다얼음이 바람의 운동과 해류의 힘에 의해 계속적으로 움직이는 덩어리얼음이고, 다른 하나는 움직이지 않고 해안이나 섬에 위치한 단단한 얼음이다.

덩어리얼음에 작용하는 바람의 힘은 부빙을 바람이 불어가는 방향으로 움직이도록 한다. 지구 자전에 의한 전향력에 의해 부빙은 남반구에서는 왼쪽으로, 북반구에서는 지표면 풍향의 오른쪽으로 약 30° 정도 비껴 움직인다. 지상풍은 그 각도만큼 비껴 불지만, 지균풍에서 부빙의 바람만에 의한 움직임은 등압선과 평행하다는 것을 고려할 수 있다.

바다얼음의 움직임이 바람에 의한 것인지, 조류에 의한 것인지를 구분하기란 매우 어렵다. 두가지 모두 합성운동은 항상 두 벡터의 합으로 나타난다. 그러나 어떤 경우든 바람의 힘이 우세한데, 특히 연해 지역에서 우세하다.

압력을 받기 쉬운 곳에 있는 얼음은 표면이 변형된다. 새로 생긴 얼음과 유년얼음의 경우, 얼음조각이 부근의 다른 얼음조각에 포개져서 하나의 커다란 얼음 덩어리를 형성하게 된다. 두꺼운 얼음의 경우, 압

력을 야기시키는 힘의 집중 형태에 따라 얼음붕과 빙구를 형성하게 된다. 얼음조각이 보통 얼음높이 위로 쌓아 올려져서 얼음붕과 빙구를 형성하는 과정동안 다수의 큰 얼음은 얼음붕이나 빙구에 있는 얼음의 하층을 받는다. 얼음붕 부분이 갖는 흘수선은 그것의 꼭대기 높이의 3 내지 5배이며, 이러한 변형은 배의 항해에 주요한 장애가 된다. 새로 형성된 얼음붕은 오랜 풍상을 겪거나 굳어진 얼음붕보다 항해에 큰 어려움을 주지는 않는다.

라. 빙산

빙산은 빙봉 또는 빙하로부터 떨어져 나온 커다란 무거운 부빙이다. 빙산이 물에 뜬 높이에 비교하여 빙산의 물밑 깊이는 빙산의 모양에 따라 크게 다르다. 빙산관측 기록은 바다얼음의 범위에 관한 기록보다는 흔하다.

부유하는 빙봉으로부터 떨어져 나온 남극 빙산의 침수 질량은 일반적으로 그린랜드의 빙하로부터 나온 것의 침수 질량보다 작다. 전형적인 남극 평판빙산(Antarctic tabular berg)은 최고 10~20m의 오래된 눈으로 이루어져 있으며 그것의 전체 질량의 1이 수면위에 나와 있고 5가 수면아래에 있으며, 북극빙산(Arctic berg)의 경우에는 적은 양의 눈을 포함하고 대부분 얼음으로 이루어져 있기 때문에, 비율은 대체로 1 : 8 정도이다.

빙산은 대개 깨지거나 녹거나 파의 침식 등 세가지의 다른 방법에 의하여 크기가 작게된다. 깨어져 조각난 빙산은 다시 스스로 평형상태를

갖도록 전복 등의 과정을 거쳐 떠다니게 된다. 관측하기가 어려운 거대한 물밑의 침수부는 빙산이 갖는 전형적인 특징이다. 빙산이 차가운 물에서 녹는 위치는 주로 수면선이지만 온난한 물에서는 주로 떨어져 깨어지거나 하부에서 녹는다.

남극대륙 해안선의 약 45%는 부유하는 빙붕에 의해 점유되고 있다. 빙붕의 면적은 약 1.54백만 평방 km(남극대륙 전체 면적의 약 11%)로서 (Jacobs *et al.*, 1979b), 가장 큰 것은 로스 빙붕(0.53백만 평방 km)과 필크너-론(Filchner-Ronne) 빙붕(0.47백만 평방 km)이다. 해양에서 로스 빙붕과 필크너-론 빙붕은 제각기 1,100m/a 과 1,500m/a 정도까지 이동한다(MacAyeal, 1984; Robin *et al.*, 1983). 이러한 이동에 대해 남극대륙 내륙의 빙하지대로부터 약 1,600입방 km/a의 비율로 빙산이 떨어져 나와 그 평형을 이루도록 한다(Jacobs *et al.*, 1979b). 이동 거리가 가장 우세한 탁상형 빙산들은 약 350m까지 흘러내리며, 이것들의 평균 수명은 4년 정도이다(Radok *et al.*, 1975).

개개의 빙하의 흐름에는 차이가 있다. 흘러내리는 같은 빙하내에서도 일반적으로 앞쪽과 뒷쪽은 가운데 부분보다도 훨씬 흐름이 빨라서, 얼음 각층마다 유동률의 차이가 생긴다. 이러한 차이는 빙하내부에 응력을 주어, 결국에는 거대한 틈새 또는 많은 크레바쓰를 만들어낸다.

틈새의 크기는 수 m로부터 30m가 넘는 것까지 있으며, 대부분 깨지기 쉬운 표면부분에서 생겨난다. 깊이 30m에 있는 얼음은 받는 압력이 너무 커서 플라스틱처럼 변형되거나 갈라지지는 않는다.

크레바쓰들은 기반암의 기울기의 갑작스런 변화로 인하여 얼음이 흘러내리는 방향과 교차하는 형태로 형성되어 결국은 빙하의 흐름 속도를 가

속시키게 된다.

한편 빙산의 표류 경로를 추적함으로써 해류의 방향을 알 수 있기 때문에 19세기부터 남극권을 항해하는 선박들은 빙산등에 대해 기록을 남겼다. 최근에는 위성사진으로 거대한 빙산을 많이 탐지하고 있다.

2. 남극의 기후연구

가. 관측 및 연구 역사

남극의 기후를 직접 관측하기 시작한 것은 200년 정도로 매우 짧은 역사를 갖고 있다. 최초로 남극 주변 해양의 기상 상태를 기록한 사람은 James Cook 선장이었다. 이 기록이 러시아의 Bellingshausen에 의해 확인되기까지는 약 45년이 걸렸다. 이후 1839년까지 남극해의 물개잡이 선박들에 의해 기후 자료가 획득되기도 하였으나, 대부분 기상 현상을 기술한데 불과하였고 신빙성이 낮았다. 따라서 남극권에서의 정량적이고 체계적으로 기상 현상을 최초로 관측한 사람은 James Clark Ross로 평가하고 있다. Ross는 남반구에서의 평균 해수면 기압이 북반구에 비해 상당히 낮다는 것을 분석해 내었으나, 그 원인이 강한 편서풍 때문이라는 것이 알려지기 전까지는 기상학 분야에서 큰 문제점으로 남아 있었다.

19세기에 접어들면서, 영국의 Southern Cross 탐사대는 빅토리아랜드의 어대어곶에 월동 기지를 세우고, 기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 구름, 강수량, 일조량 등 다항목의 관측을 1899년 2월부터 1900년 1월까지 수행하였다. 이는 남극 기상학 연구에 혁신적인 발전을 이룩하는 계기가 되었으며, 당시의 획득 자료는 남극에서 내륙탐사시에 탐사대가 직면할 수 있는 기상현상에 관한 지침을 최초로 제시하게 되었다. 1897년부터 1917년 사이에 총 17개의 탐사대가 남극을 탐험하였는데, 그 중 14개 탐사대가 일년 이상을 남극에서 보냈고 10개 탐사대는 남위 60도 이남에 월동 기지를 설치하였다. 이러한 탐사기간 동안에 상세하며 체계적인 기상 관측이 수행되었다(박병권, 김예동, 1991).

영국의 국립탐사대는 1910년에서 1913년에 걸쳐 남극 최초로 수소를 채운 기구에 기상 관측기기를 실어 연직 온도분포를 조사하기도 하였다. 스코틀랜드의 남극 탐사대는 1903년에 남오크니군도의 로우리(Laurie) 섬에 기지를 세워 남극의 기상현상에 대해 중요한 연구를 수행하였는데, 1904년 아르헨티나가 이 기지를 인수하여 오늘날까지 지속적인 관측을 수행해오고 있다. 이는 비록 북반구의 관측자료와 비교할 때 짧은 기간의 기록이지만, 남극 지역에서는 가장 오랜 기간의 자료로 평가되고 있으며 기상 연구에도 매우 중요한 가치가 있다.

그 후 1930년대에 Byrd 제독의 탐사로 극 대기의 연직 구조에 대한 많은 새로운 자료가 획득되었다. 초기에는 온도계를 장치한 연을 사용하였고, 후에 항공기와 자이로를 사용하여 자료를 얻었다. 대개 연으로는 고도 1~2km, 항공기로는 11km까지의 온도자료를 획득하였으며, 풍속의 연직 구조를 알아내기 위하여 매일 수소를 채운 기구를 띄운 후

theodolite로써 추적하는 방법을 사용하기도 하였다. 이 자료는 남극 상공 대류권의 온도 및 역학에 관한 최초의 계절적 자료이며, 특히 남극의 겨울철에 기온역전 현상이 발생함을 밝히는 중요한 자료이다.

남극의 기상현상에 대한 본격적인 연구가 시작된 것은 역시 국제 지구 물리의 해(1957/58)가 계기가 되었다. 이 기간 동안 기상학과 기후학은 중요한 연구분야의 하나로 설정되었고, 남극은 기후연구에 가장 중요한 연구지역으로서 인식되었다. 그 결과 지상관측이 모든 기지에서 수행되었고 많은 고층대기 관측도 기구등을 이용하여 수행되었다. 1958년에 국제적인 남극 기상 센터가 미국 기지인 Little America 기지에 설립되어 연구 및 자료 수집에 많은 진전이 있었다. 더우기 남 아프리카 공화국은 모든 남극의 기상자료를 이용해 일일 일기도와 격자망 자료를 작성하였으며, 이를 통하여 최초로 전 남극 지역의 기상 환경에 대한 상세한 설명을 하게 되었고 그 후 계속된 연구에도 중요한 기초 자료로서 활용케 하였다. 1959년에는 호주 멜버른에 국제 남극 분석 센터가 설립됨으로써 1960년대의 기상자료 분석과 연구계획의 수행이 가능케 되었고, 1968년부터는 세계기상기구에 의해 남극 기지들은 세계 기상 관측망의 일환으로서 운영되고 있다.

국제 지구물리의 해 동안에 과학적인 탐사를 위하여 인공위성이 최초로 사용되었다. 그 후 전 지구의 기상 탐사에 대해 인공위성 사용이 필수가 되었으며, 획득된 위성 사진으로부터 대기의 순환과 바다얼음의 변화 및 기후변화에 대한 정보를 얻게 되었다. 또한 이를 이용하여 온도나 미량 가스의 농도등 대기의 중요한 전 지구적 자료를 얻을 수 있게 되었고, 통신 위성을 통해서 기상정보를 전송하여 광범위한 예보에 이용

하게 되었다.

한편 인공위성 관측을 통해서 얻을 수 없는 국지적인 현상의 자료를 얻기 위해서는 정밀한 지상 관측장비의 개발이 필수적이었다. 따라서 지상 관측의 효율성과 정확도를 높이기 위해 극지용의 정밀한 측기나 무인 자동 기상관측 기기가 개발되었으며, 이는 남극에서 광범위한 지역에 대한 기상 관측자료를 획득하는데 커다란 역할을 수행하였다. 1980년 이래 20여 개의 무인 관측소가 설치되었으며, 무인 자동 기상관측 기기로부터의 자료 수집은 극궤도 위성체계를 사용하고 있다.

남극 지역에서의 초기 지상 기상관측은 중요한 대형 기지에서 한 시간 또는 세 시간마다 이루어졌고, 하루에 한번내지는 세번에 걸친 고층대기 현상을 관측하였다. 그러나 오늘날까지도 일년내내 남극 기지에서 양질의 자료를 얻는다는 것은 고달프고 힘든 일이 아닐 수 없다. 따라서 현대 과학기술의 도움이 필요하게 되었고, 원시적인 관측 기기는 점차 개선되어 오늘날과 같은 자동 관측장비 시스템을 갖춘 무인 관측소나 인공위성을 이용한 원격탐사 방법이 개발된 것이다.

한편, 국제 지구물리의 해의 활발한 과학활동의 일환으로서 세워진 주요 기지의 하나인 남극점의 아문젠-스코트기지(해수면 고도 2,835m에 위치)의 기상 관측소는, 인간활동에 의한 국지 기후변화를 모니터링하는 NOAA의 네개의 기본적인 기지 중의 하나로서 운영되고 있다. 여기에서는 1977년 이래 체계적인 관측 계획을 작성하여 이산화탄소, 성층권 오존전량, 지표 오존량, 태양 복사, 대기 혼탁도, 대기 에어로졸, 그리고 기온, 눈 온도, 습도, 기압, 바람 등과 같은 기상 요소에 대해 지속적인 관측을 수행하고 있다(Peterson and Szwarc, 1977).

최근에는 부이(drifting buoys: "DRIBUs")와 같은 또 다른 측기를 개발하여 기상학자나 빙하학자들을 중심으로 남극해의 해수를 관찰하고, 거대한 바다얼음과 특정한 빙산 등에 부이를 설치하여 그 특성을 연구하기도 한다(Tchernia, 1974; Ackley, 1979b; Vinje, 1980). 이러한 수 백개의 부이로부터 측정된 기압과 온도 자료는 인공위성을 통하여 전송되며 아울러 위치까지도 결정되어 기지가 없는 곳에 대한 자료로서 매우 유용하게 사용된다.

실제로, 제 1차 전 지구 대기연구 프로그램(FGGE: First Global GARP Experiment, GARP: Global Atmospheric Research Program)의 일환으로서 계획된 부류 부이(drifting buoy)의 실험은 기상학적으로 매우 성공적이었으며, 국제적인 큰 프로젝트였다. 이 계획은 1978년 12월부터 1979년 11월까지의 12개월 동안 추진되었으며, 남반구 고위도 지역에서 주로, 1) 일 종관 관측과 고층대기 관측의 형태로서 세계기상기구의 한 조직이며 모든 국제 기상 서비스에 기여하고자 하는 세계기후감시(World Weather Watch)의 운영과, 2) 극 궤도 위성과 연구 위성의 운영, 3) 일반 항공기를 이용한 고도별 바람 자료의 자동 산출, 4) 해양학적 연구 실험, 5) 남극해 부류 부이 등에 대하여 체계적인 운영을 수행하였다.

한편, 보다 새로운 기상현상의 관측 장비로서 최근에 개발된 음파 탐지기(acoustic sounders)를 예로 들 수 있는데, 남극 고원지대에서의 매우 안정한 경계층(boundary-layer)을 보다 세밀하게 탐사하기 위해 남극점에 이 기기를 설치하여 대기 하층의 수 백 m까지 나타나는 기온 역전현상을 연구하기도 하였다(Neff *et al.*, 1976, 1977, 1978).

나. 일반적 특징

남극대륙 주변의 바다얼음이 기상학적으로 중요함에도 불구하고, 1970년대 초에 이르러서야 비로소 인공위성을 이용하여 시간적, 공간적 바다얼음의 변화 자료를 얻을 수 있었다. 초기에는 위성이 가시광선이 나 적외선으로만 상을 기록하였으므로 두꺼운 구름에 가린 바다얼음 지역은 관찰할 수 없었다. 1972년 12월에 전기 감지식 초단파 복사계(ESMR)를 장치한 Nimbus-5 위성이 발사됨으로써 어두운 곳이나 구름이 낀 곳에서도 수평적으로 지표의 복사에너지를 탐지할 수 있게 되었다. 1978년에는 합성 구경레이다(SAR)를 장치한 SEASAT 위성이 발사되었다. 자체 신호를 보내어 지면으로부터 그 반사 신호를 받기 때문에 활성 시스템이라고 부르는 SAR는 구름을 뚫고서 또한 야간에도 바다얼음의 모습을 볼 수 있게 되었다. 이처럼 남극 탐사 초기에는 해양과 대기의 상호작용에 관한 연구 항목으로서 바다얼음과 기후문제가 다루어졌다.

남극의 기후는 확실히 지구상의 어느 지역보다도 가장 극단적인 면이 있으며, 가장 혹독하다. 남극대륙은 평균 2,160m의 두터운 얼음으로 덮여 있으며, 지구상에서 가장 춥고 강한 바람이 불며 특히 내륙의 고원 지대는 연중 강수량이 극히 적기 때문에 사하라 사막과 더불어 세계에서 가장 커다란 건조지대로 분류되고 있다. 이에 대해 호주의 극지 탐험가인 Mawson은 데니슨곶에서 일년 내내 계속되는 강한 눈보라만을 관찰하였다. 몇 시간 동안 멈추기도 하지만 수 주 이상 폭풍이 계속되기도 한다. 1912년의 기록에는 연평균 풍속이 22m/s이고 최대 89m/s 이상에 달한다고 되어 있다.

또한, 남극대륙은 지구 전체의 에너지 평형에 중요한 역할을 담당하고 있기 때문에, 그곳의 기후적 영향은 여타 지역에 대해 상당히 크게 작용한다. 한편 지리적 반대편에 위치한 북극 지역과는 열손실 지역으로서의 기본적인 열역학적 기능을 같이 하고 있지만 많은 차이점을 드러내고 있다. 이같은 차이점은 곧 기후에도 영향을 끼치고 있는 것이 사실이다.

가장 분명한 차이점은 해륙의 분포에서 나타난다. 북극 지역은 대륙으로 둘러싸인 해저 분지로 구성되어 있으나, 남극대륙은 남극해의 바다로 둘러싸인 극을 중심으로 하는 대륙인 것이다. 더욱이 그 남극해의 남위 40도~60도 해역에는 거의 육지가 없기 때문에, 순환을 완화시킬만한 대륙으로 둘러싸인 북극 지역과는 반대로 남극해의 거친 편서풍류의 해류 순환을 발달시킨다.

또 하나의 기본적인 차이점은 지구-태양간의 거리가 가장 가까울 때가 남반구의 여름이란 것이다. 이 사실은 북반구의 한여름 기간 동안에 북극 지역에 입사하는 태양 복사열보다도 남반구 여름일 때 남극대륙에 약 7%의 더 많은 태양 복사열이 입사하는 결과를 야기시킨다.

더불어 남극대륙은 북극 지역과는 달리 산업사회와 원거리에 위치하고 있기 때문에 대기중에 입사하는 태양 복사열을 반사, 흡수, 또는 산란시킬만한 오염 물질이나 먼지를 거의 포함하고 있지 않다. 더욱이 내륙 지방이 높은 고원지대로 이루어져 있기 때문에 입사 태양 복사열을 소산시키는 공기 질량은 그만큼 적어져 약 30% 미만에 그친다.

그럼에도 불구하고 남반구의 기온이 북극 지역보다 장기적인 평균기온이 약 1.6℃ 낮은 것은 그린랜드와 노르웨이 주변의 북극 유역을 향해

결프 해류의 온난한 해수가 유입되는 반면, 남극해쪽으로는 중위도로부터의 온난한 편서풍류가 유입되지 못하며, 또한 남반구 중위도의 강한 편서풍이 적도로부터의 대기순환에 의한 열수송을 차단하기 때문에 북극 지역보다는 남극대륙에 전체적으로 적은 양의 열이 수송되는 것에 기인한다.

이러한 기본적인 현상을 근간으로 하여 현재의 남극의 기후를 살펴 보면, 주로 3가지 - 남극해의 해수, 바다얼음 분포의 영향, 그리고 남극대륙의 대빙원 -의 커다란 인자들에 의해 영향을 받고 있다(Bonner and Walton, 1985).

남극해에는 두 개의 중요한 해류가 존재한다. 하나는 남극대륙을 둘러싸는 단단한 얼음을 따라서 대략 남위 65도 이남에서 극동풍의 영향으로 반시계 방향으로 이루어지는 편동풍류이며, 다른 하나는 그 북쪽의 남극 수렴대를 따라 시계 방향으로 이루어지는 편서풍류가 있다.

이러한 두 개의 해류들은 지상풍(surface wind)의 영향을 받아 0.5m/s의 속도로 이동하고 있다. 남극 수렴대는 남극해 상층수가 밑으로 침강하여 보다 온난한 아남극해 표면수와 혼합되는 구역으로서, 실제 표층수온과 염분의 양상이 두드러지게 나타난다.

남극대륙은 기온이 매우 낮고, 바람이 강하며 대부분의 지역이 매우 건조하다. 더욱이 남극대륙은 북극 지역보다 훨씬 춥다. 전기한 바와 같이 이것은 남반구의 고위도 지방과 북반구 고위도 지방의 육지와 해양의 분포가 다르기 때문이다. 이러한 해류 분포의 차이는 남반구 기후계에 상당한 영향을 끼치고 있으나 아직 기후와 이의 복잡한 장·단기적 변화에 대해서는 이해가 부족한 실정이다.

더구나 남극권에서의 기상관측소가 적고 지형적인 영향때문에 복잡한 기상풍계의 변화를 비롯한 기타 다양한 기상 현상의 관측값이 지역적인 관측소의 그룹별로 다르게 나타나거나 편향적인 결과를 보일 때도 있다. 그럼에도 불구하고 다양한 기상요소의 변화에 대한 특성값들은 남극대륙 자체의 기후는 물론 전 지구적인 기후를 연구하는데 없어서는 안될 중요한 인자로서 다루어지고 있다.

남극 빙원이 품고 있는 물의 양은 지구 전 해양이 갖고 있는 물의 양의 약 2%에 해당한다. 남극의 빙모가 증가하지도 감소하지도 않는 평형상태에 있다면, 강수량의 유입과 유출이 같아야만 한다. 그러나 실제 남극에서의 강수량 측정은, 특히 서 남극 지역에서 지속적으로 지표면으로부터 바람에 의해 불리어 진 눈보라때문에 상당한 어려움을 겪고 있다. 눈더미나 다른 측정계기, 또는 건물 등과 같은 장애물은 쉽게 눈보라에 파묻히게 된다. 반면, 평탄한 지면위에 내리는 모든 순수한 강수는 강풍에 불려 날아가 버릴수도 있다.

그러나 강설량은 눈에 포함되어 있는 산소 동위원소 비율의 차, 또는 핵폭탄 실험의 결과나 자연적으로 대기 중에 존재하는 방사성 동위원소들의 눈속에서의 붕괴 측정 등과 같은 여러가지 방법으로 측정되어 왔다 (Campbell and Claridge, 1987).

동 남극대륙의 대부분 지역에서 나타나는 강수 패턴의 가장 중요한 특징은 사하라나 고비 사막 등과 같은 세계에서 가장 건조한 지역의 양상과 비슷하다는 것이다. 남극대륙 내륙지방의 대부분이 사막과 같고, 이러한 건조한 특징은 극도로 한랭한 기후에 의해 더욱 강조되며, 실제 물은 땅에 모두가 얼음 상태이고 이 지역에서 액체성 물은 전혀 존재하지 않는

것으로 알려져 있다(Campbell and Claridge, 1987).

다년간의 관측자료에 의하면 동 남극대륙 고원지대에서 1년 강수량은 15mm 이하이며, 남극대륙 해안지역에서는 200mm 정도로 나타난다(Streten, 1977). 그러나 일부자료에 의하면 대륙 연안과 남극반도 북단에서는 각각 600mm와 400mm 정도의 강수량과 그 이상의 강수량을 기록한 때도 있었다.

다. 남극의 기후군 분류

남극의 현재의 기후로 볼 때, 과거 5억년 전에 적도 부근에 위치하였다거나 그 이후 식생이 풍부한 온대 기후대에 위치하였다면 잘 이해되지 않을 것이다. 남극은 전기한 바와 같이 곤드와나랜드의 한 부분이였다가 분리되면서, 적도에서 극지역까지의 모든 기후가 나타난 대륙이다. 남극대륙은 2억 8천만년 전에 처음으로 남극점에 도달하였고, 그 후 두꺼운 얼음으로 덮였으며 페름 석탄기에 빙하기의 절정을 이루었다. 그 이후 적도로 이동하였다가 다시 극지역으로 이동하여 약 1억년 전에 남극점 근처에 도달하였으나, 남극해로 둘러싸인 고립된 대륙이 된 것은 겨우 3천만년 전이었으며 그 후 현재의 기후로 점차 변화되었다.

지구의 고기후가 어떻게였는지에 대해서도 잘 밝혀지지 않았지만, 남극대륙의 기후가 어떻게 변화하였는지는 더욱 불확실하며, 과거의 기온, 풍속, 강수 및 대기압 등의 변화에 관한 믿을만한 자료도 불충분하다. 컴퓨터 모형을 통한 고기후 문제를 해석하려고 하였으나, 대륙과 산맥의 위치 등에 대한 적합한 경계조건의 설정이 불가능하므로 아직 명확한 결

론을 얻지는 못한 상황이다. 그러나 간접적인 자료를 이용하여 고기후를 추론하는 방법이 연구중에 있다. 화석의 분포와 퇴적층에 대한 지구화학적 연구등이 가장 유용한 단서를 제공해줄 수 있다. 두 가지 모두 기온이나 강우에 대한 정보를 제공해주나, 대륙의 이동, 극점의 이동, 지자기 역전 등을 해석할 때 더욱 유용한 방법이 된다. 모든 고기후학 연구에서의 초점은 발견된 증거의 정확한 연대를 규명하는 것이다.

남극의 기후군은 세 구역 - 남극내륙 고원지대(interior Antarctic plateau), 경사가 심한 산악지대(Antarctic slope), 그리고 남극 해안지대(Antarctic coast) -으로 분류(Weyant, 1966)하기도 하며, 이외에 남극반도 서안지역과 부근 도서들을 포함한 해양지역(maritime Antarctic)을 추가(Holdgate, 1970; 1977)하여 분류하기도 한다.

대부분이 동 남극대륙에 속하는 남극내륙 고원지대는 바람이 그다지 강하지 않고 강수량이 적으나, 기온이 매우 낮은 것이 특징이다. 또한 남극내의 다른 지역에 비해 더 많은 일사량을 받으며, 대개 하늘이 맑은 것도 한 특징이다.

이 지역의 기후 구분은 연평균 기온, 풍속, 그리고 체감인자 등을 기준으로 하여 네 구역으로 다시 분류할 수 있다(Dalrymple, 1966).

동 남극대륙보다 일반적으로 고도가 낮은 서 남극대륙은 동 남극대륙 중심지역보다도 주극 저기압성 폭풍의 영향을 훨씬 많이 받고 있어 바람이 강하고 눈보라 현상도 잦으며 강수량도 많은 것이 특징이다.

산악지대의 기후는 저기압 활동에 의해 강화되는 강한 활강풍(katabatic wind)과 잦은 블리저드(blizzard) 현상으로 인하여 대체로 험악하다. 이 지역은 차가운 활강풍 지역에 해당하며, 경사면이 아주

급한 동 남극대륙 해안가 주변지역에서 독특한 기후를 형성하고 있다.

빙봉을 포함한 동 남극대륙 해안지대는 남극내륙 고원지대에서의 기단보다 훨씬 고도가 낮은 기단으로부터 수분을 공급받는 곳이다. 해안지대의 기단이 품고 있는 수분은 양이 많을 뿐만 아니라 강수내에 포함되어 있는 염분의 성분도 해수의 성분과 아주 근사하다.

더욱이 이 지역의 기후는 지형과 아주 밀접한 관계가 있다. 따라서 내륙 고원지대로부터 불어나오는 강한 활강풍이 특징적이며, 이 바람과 함께 내륙 고원지대를 덮고 있는 많은 양의 눈이 불리어져 심한 눈보라 현상을 야기시키는데, 이때 날리는 눈의 화학적 성분의 조성은 내륙 고원지대에서의 눈과 같다.

남극 해안지대는 대개 고도가 낮고 극권보다는 저위도에 위치하기 때문에 내륙지역보다는 상당히 온난하여 거의 해수 온도만큼 기온이 상승한다. 그러나 남극해의 서쪽으로부터 동쪽으로 이동하는 저기압성 폭풍계로 인하여 강수량이 많고 바람이 강한 것이 특징이다.

남극반도 주변 해양지역의 기후는 남극대륙 내부로부터 불어나오는 바람보다는 오히려 남극대륙 주위를 이동하는 주극 저기압성 폭풍에 의해 지배를 받고 있다. 더욱이 낮시간이 길어 태양복사에너지도 많이 받고 있으며, 해양과 접하고 있어 기온도 높게 나타난다. 강설량도 남극의 여타 지역보다 훨씬 많다. 그리고 기온도 때때로 진눈깨비나 비를 내리게 할 만큼 높아 하계기간 동안에는 영상의 기온이 자주 나타난다.

이외에 남극반도에 위치하고 있는 많은 산악지대와 인근 도서들은 북서쪽으로부터 유입되는 비교적 온난하고 습윤한 기단을 차단하기 때문에, 이 지역이 남극대륙의 다른 지역보다 훨씬 강수량이 많은 편이다. 남

극반도 서안쪽에 위치한 몇몇 관측기지에서는 1,000mm 이상의 연평균 강수량을 기록한 때도 있었다(Schwerdtfeger, 1970). 이때의 강수 형태는, 특히 하계기간 동안에 비나 진눈깨비가 함께 내리기도 하며, 대부분의 강설은 주로 5월부터 10월까지의 기간에 집중된다.

3. 남극의 기후 특징

가. 강수

남극대륙 중앙지역이 건조한 것은 대기순환의 결과로서 나타난다. Weyant(1966)에 의하면, 남극 상공에서의 많은 강수성 물은 남반구의 해양으로부터 상승한 것이다. 그리고 그것의 대부분이 대류권 상층에서 극쪽으로 전달된다. 그러나 이동 기간내에 포함되어 있던 많은 양의 수분이 남극대륙에 도착하기전에 낙하하기 때문에 내륙 지역에서의 강수량이 적다.

남극권 지역에서의 강수 측정기기를 사용한 강수량의 정확한 측정은 강한 바람과 저온현상 때문에 상당한 어려움이 뒤따른다. 더욱이 기온이 비교적 온난한 대륙 해안지역이나 남극반도 북단 인근의 남쉐틀랜드 군도에서의 하계기간 동안에 나타나는 액체성 강수를 제외하면, 남극대륙의 고원지역에서는 거의 일 년 내내 고체성 강수가 대부분을 차지하나

그 양은 많지가 않다. 이러한 고체성 강수의 대부분은 작고 침상형의 투명한, 다양한 크기의 빙정 형태를 띤다(Rumney, 1970).

남극의 차고 건조한 공기는 지면으로 습기를 제공하는 양이 매우 적으며, 그것의 대부분은 눈이나 미세한 빙정의 형태, 또는 드물지만 매우 입자가 작은 얼음으로 된 안개정도이다. 비는 여름철 동안 대륙의 해안 지역, 또는 주변 섬에서 관찰되고 있지만, 많은 양은 아니며 지역도 그다지 넓지 않다. 눈은 때때로 크고 부드럽고 젖은 송이의 형태를 띠며, 특히 여름철에는 어느정도 무겁고 원형의 우박처럼 생긴 형태로도 떨어진다. 그러나 눈의 대부분은 미세하고 가벼우며 건조하다.

일반적으로 극 지방에서는 서리(rime), 우빙(glaze)과 흰 서리(hoarfrost) 형태의 고체성 강수 또는 부착물이 많이 형성된다. 온난하고 습한 해양의 기단이 내륙의 빙봉이나 거대한 얼음지대로 이동하면, 하층은 냉각될 것이고 결국에는 지표의 경계층에서는 빠르게 포화된다. 그러한 조건하에서는 과냉각된 물방울이 형성되고 시정이 악화되며 안개가 발달한다. 어떤 물방울은 불가피하게 차가운 눈이나 얼음 표면과 접촉하여 우유빛의 입자성 부착물이 되는데, 이러한 과정을 부착(accretion)이라 부르며, 그 부착물을 서리라 한다. 어떤 물방울은 과냉각의 정도가 크고 느린 부착현상과 급속한 잠열의 소모로, 서리보다는 더 밀하고 딱딱하며 맑고 매끈한 얼음으로 덮인 듯한 우빙이 된다. 한편, 어떤 이유에서든지 이동하는 공기나 물체의 온도가 빙점 이하로 내려가게 되면, 직접적인 부착물(물방울이 기체상태에서 고체상태로 직접 상변화함)이 생성되는데, 이것을 흰 서리라 하며 서리보다는 덜 밀하고 새털같이 부드러운 감촉을 느끼게 한다(Huschke, 1970).

남극의 고원지대에서 관측된 빙정의 크기와 형태를 보면, 대부분이 각주형 프리즘의 형태로서 장축의 크기는 500~1000 μm 이고 직경은 길이의 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{4}$ 정도이다(Kuhn, 1977).

따라서 남위 50도 이남의 남극 지역에서는 미세하고 가벼운 눈송이나 빙정의 형태로써 강한 바람에 날리는 강수현상때문에, 경험적으로 강수의 측정이 용이하지 않을뿐만 아니라 한계성이 있다고 볼 수 있다. 이에 주기적인 적설량의 측정은 잦은 강풍에 의해 설사이 없이 변화하는 적설 형태로 인해 상당히 어렵게 된다.

나. 구름

남극대륙의 해안지역을 포함하는 남위 60도~65도 영역은 남반구에서 가장 활발한 저기압대로 둘러싸여 있으므로 지구상에서 가장 구름이 많이 끼는 지역의 하나로 인식되고 있다.

남극권내에서의 구름은 매우 어렵게, 특히 주관적으로 관측되고 있지만, 1월(여름)과 7월(겨울)의 평균 운량을 대략적으로 나타낼 수 있는데, 일반적으로 해양에서의 평균 운량값은 크고 내륙으로 갈수록 점차 그 값이 작아진다. 동 남극대륙 지역에서보다는 서 남극대륙 지역에서 더 크게 나타나며, 특히 겨울에 동 남극대륙 고원지대에서 최소 평균 운량값의 중심이 나타난다. 1월에 평균 운량은 내륙 고원지역에서는 50~60%, 해안가에서는 약 80%이며, 7월에 내륙에서는 20~50%이고 해안가에서는 약 70%로 나타난다(van Loon, 1972).

대부분의 구름은 다양한 층운(stratus)의 형태로 관찰되지만, 여름철

에는 간혹 층적운(stratocumulus)이 나타나며 얼음으로 덮이지 않은 해양 위에서는 적운(cumulus)도 볼 수 있다(Rumney, 1970).

다. 기온과 역전층

아남극 지역의 대부분 군도에서는 일반적으로 평균 일교차가 작다. 여름에 2~3℃이며 겨울에는 1℃이거나 더 작다. 반면 남극대륙에서는 봄(10월경)과 여름에는 현저한 변화가 있으나(해안가: 2~6℃, 내륙: 7~10℃), 겨울에는 1℃ 정도로 뚜렷한 차이가 없다. 이것은 아남극 지역이나 남극반도 지역에서 거의 일 년 내내 존재하는 상당한 운량이 태양 복사의 입사를 차단하는 역할을 하게 되므로 일중 변화가 작게 나타난다. 기온의 극값은 저위도에 위치한 일부 아남극 지역에서 최고 20℃가 넘는 곳이 있으며, 최저기온도 이와 마찬가지로 그다지 낮지 않아 -10℃정도로 나타난다.

그러나 남극대륙의 해안지역에서는 여름에 최고 9℃부터 겨울에 최저 -30~-40℃의 기온 분포를 보이며, 로스해와 웨델해 내륙쪽 고위도지역에서는 이보다 훨씬 낮은 기온(엘스워스 10월 -56.7℃)이 기록되기도 한다. 남극대륙에서 관측된 최저기온은 1983년 7월 동남극의 소련 보스토크(남위 78도 27분, 동경 106도 52분, 고도 3,488m)기지에서 기록한 -89.6℃ 이었다(Bonner and Walton, 1985; ANARE, 1988).

남극반도와 그 주변 섬들의 온난한 지역에서의 다년간의 관측자료에 의하면, 연평균 기온은 -5℃ 정도이며, 그 이남 지역과 남극대륙 해안지역에서는 연평균 기온이 -10~-20℃로 나타난다. 그러나 해안지역을

벗어나 내륙으로 들어가면 기온이 급하강하여 연평균 기온이 -40°C 에서 동 남극대륙의 고원지대에서의 -50°C 이하로까지 떨어진다.

하계기간의 최고기온도 해안에 위치한 지역에서는 0°C 미만이며, 남극점이나 보스토크 기지와 같은 내륙지방에서는 -30°C 정도로서 상당히 춥다. 특히 해양성 기후와 대륙성 기후 영향에 대한 차이가 크다.

남극대륙에서의 저온 현상은 내륙의 높은 고도와 주변 해양의 열원으로부터의 거리가 멀기 때문이다. 높은 고도와 빙원때문에 여름 동안에 받는 대부분의 태양 복사열을 재복사시키며, 겨울에는 거의 태양 복사열을 받을 수 없어 오히려 복사열을 빼앗기기 때문에 지표 냉각만 가중된다. 따라서 지표의 온도가 대기의 온도보다 훨씬 낮게 된다.

남극 여름철에 태양 복사열을 받을 수 있는 기간 동안에는 지표 근처의 기온의 주기적인 일변화는 아주 크다. 이와는 반대로 지상 수 백 m 상공에서의 기온의 변화는 1°C 보다도 작다. 따라서 기온 역전의 세기에 대한 일변화는 지표 온도 자체의 일변화와 거의 같아지게 된다.

기온의 일변화는 주로 주기적인 요소(태양 복사량의 변화)와 비 주기적인 요소(한, 난기류의 이류와 관련된 변화)의 영향을 받는다. 극 겨울철 동안에 태양 복사가 없는 고위도 지방에서는 주기적인 요소에 의한 기온변화는 작고, 비 주기적인 요소에 의해 영향을 받는다. 겨울철에 남극에서는 대륙과 주변의 해양사이에 기온 대비가 심하므로 열 손실이 강하게 나타나게 되어, 저기압의 효과가 활발해지고 자오면 열 교환과정이 강화된다. 기온의 변화가 최대인 지역은 대기순환이 가장 크게 나타나는 지역과 일치된다.

로스해와 웨델해 지역에서 대륙쪽으로 저기압의 영향이 크게 전달되는

데, 이때 대륙쪽으로 온난한 바다 공기가 전달되어 안정한 내륙의 저온 지역을 혼란시킨다. 서 남극대륙의 해안 지역에서 기온의 최대 일변화가 기록되어, 남극반도 지역에서는 6~7℃의 변화가 있으며 동 남극의 해안에서는 보통 3~5℃의 변화가 있다. 남극 고원지대에서의 겨울철 동안에 평균 일변화 값은 약 5℃이다. 남극의 어느 지역에서든 봄철 기온의 일변화는 작아지며, 여름철에는 연중 최소의 변화를 보인다. 여름철(12월~1월)에 최소값은 1.0~1.5℃로서 겨울철보다 2배 내지 3배 작다.

이같은 일변화의 증가와 감소는 대기순환의 변화와 밀접한 관계를 갖는데, 일변화의 증가는 가을철에 시작해서 겨울철에 최대가 되며, 특히 서 남극대륙에서는 동 남극대륙에서보다 2배 이상 더 크다. 봄철과 여름철에는 저기압의 효과가 약화되어, 주로 주기적인 요소에 의해 결정적인 영향을 받게 된다.

극 지역(주로 남극 고원지대)에서 지표면으로부터의 장파와 단파 복사에 의해 지표 역전층(surface inversion)이 형성되며, 이는 또한 운량과 약한 바람 등의 조건에 의해 형성되거나 지속된다. 강한 바람에 의한 난류가 짧은 시간 동안 역전현상을 와해시킬 수 있지만, 풍속이 10m/s 이하로 약해지면 곧바로 재 형성되며, 구름도 거의 없어져 맑은 날씨가 이어진다. 따라서 지표 역전층의 고도와 강도를 결정짓는 지배적인 요소는 풍속이다. 약한 풍속은 지표 역전층을 보다 깊고 강도있게 만든다(Schwerdtfeger, 1984).

지표 역전층의 세기와 깊이는 서 남극대륙에서보다 동 남극대륙에서 더 강하고 깊으며, 고도가 높고 추운 내륙 중심지역에서 더 강하고 깊

다. 또한 여름 기간보다는 일조량이 적고 일조시간이 짧거나 없는 겨울 기간 동안이 더 강하고 깊다. 관측자료에 의하면, 동 남극대륙에서의 역전층의 세기(기온차, °C)가 서 남극대륙에서보다 약 2배로 나타나며, 깊이(고도, m)는 약 1.7배로 분석되고 있다.

이같은 역전현상은 비교적 온난한, 구름을 포함하는 해양 대기의 이동으로 깨질 수 있으며, 역전층은 지표에서의 강풍에 의한 공기의 혼합에 의해 영향받기도 한다. 혼합의 대부분은 지상의 sastrugi와 같은 불규칙한 지표면에 의해 생기는 난류의 영향으로 발생되고, 수직 혼합은 겨울철 지표 온도의 변화를 일으키며 고원지역에서는 보기 드물게 역전현상이 완전히 없어질 때도 있다.

라. 기압과 바람

남극대륙과 이를 둘러싸고 있는 해양의 기후는 간단한 대기순환계에 의해 지배되고 있다. 아주 강한 편서풍이 나타나는 중위도 지역으로부터 대륙 연변부까지는 갈수록 기압이 하강하며, 차가운 대륙과 비교적 온난한 해양사이에 존재하는 커다란 기온경도가 강한 바람과 함께 동쪽 또는 남동쪽으로 이동하는 저기압들을 끊임없이 생성해 낸다. 이 저기압들의 이동 경로는 남위 60도~65도 사이에 중심을 둔 극 지역에서의 지속적인 저압대 형성과 아주 잘 일치되며, 이들의 평균적 위치는 바다 얼음의 확장 범위에 의해 영향을 받고 있는 것으로 알려져 있다(Walton, 1987). 또한 이 저기압들은 차가운 극기단과 중위도로부터 유입되는 온난하고 다습한 중위도 기단과의 자오면 교환이 이루어지게 하는 구조적

역할을 제공하여 많은 습기를 남극 지역으로 이동시킨다.

이러한 강하고 반복적으로 발달되는 불균형 현상으로 극전선이 형성되는데, 이것은 매우 차이가 심한 남-북간의 온도경도에 의해 심화되며 계절에 따라 위도상으로 위치가 변한다(Rumney, 1970).

특히 남극대륙 해안을 따라 반영구적으로 형성되어 있는 3개의 저기압들-웨델해, 로스해, 그리고 벨링스하우젠해에 위치-중 남쉐틀랜드군도 부근 좌우측의 웨델해와 벨링스하우젠해의 해상에 위치한 저기압들이 기타 짧은 주기로 발달, 소멸하는 이동성 저기압들과 함께 남쉐틀랜드군도와 남극반도 지역에 상당한 기후적인 영향을 끼치고 있다.

남극반도의 서쪽에 위치한 남쉐틀랜드군도는 킹조지섬(King George Island), 넬슨섬(Nelson Island), 로버트섬(Robert Island), 그리니치섬(Greenwich Island), 그리고 리빙스턴섬(Livingston Island)을 비롯한 20여 개의 섬들로 구성되어 있다.

남극반도를 중심으로 양쪽 지역의 바람, 기온, 그리고 얼음의 양태 사이에는 현저한 대조를 보이고 있다. 이러한 대조의 주요 원인은 남극반도내의 남위 64도~68도 사이에 위치한 고도 1,400에서 2,000m의 가파른 산과 남위 68도 이남에 2,000m가 넘는 봉우리가 존재하기 때문이다(Schwerdtfeger, 1984). 따라서 이 지역에는 산악지대와 평행하게 부는 차가운 저층풍, 이른바 장벽풍(barrier wind)이 나타난다(Schwerdtfeger, 1974; Kozo, 1980).

이러한 장벽풍은 산맥과 연관된 강한 지표면의 역전에 의한 바람이다. 남극에는 남극횡단산맥과 남극반도라는 두 종류의 지형적 장벽이 있는데, 주변에는 모두 얼음으로 덮인 즉, 로스와 윙크너 빙봉을 갖고 있어 남위

65도 이남에서는 바람이 빙봉에서 동쪽으로 불며 영구적인 기온의 역전 현상이 나타난다. 산맥의 동쪽 사면은 바람에 대한 장벽의 역할을 하여 역전된 찬 공기가 모인다. 그 결과 지역적으로 기압의 경도가 산맥 쪽으로 작용하여 남쪽으로의 공기 이동이 발생한다. 남극횡단산맥의 동편은 장벽풍으로 인해 서편에 비해 매우 혹독한 기후가 형성된다. 웨델해의 얼음에 의해서도 기후를 혹독하게 만들며, 장벽풍의 풍속은 보통 20m/s가 넘는 강풍이다. 따라서 이러한 장벽풍은 강한 저기압계가 웨델해의 중앙에 위치할 때마다 남극반도의 동측 해안을 따라 북쪽으로 불거나, 로스빙봉에 깊은 기압골이 놓여졌을 때 남극횡단산맥의 동측면을 따라 부는 강풍으로서 일컬어지고 있다(Schwerdtfeger, 1984).

남쉐틀랜드군도의 남쪽에는 남극반도와 평행하게 놓인 브랜스필드해협이 있으며, 북쪽에는 남미대륙 사이의 드레이크해협이 가로 놓여 있다. 즉, 브랜스필드해협은 남극반도의 북동측과 남쉐틀랜드군도사이에 놓인 해양으로서, 남극해협(Antarctic Sound)을 통해 웨델해의 서측 해안을 따라 부는 강하고 차가운 장벽풍의 영향을 직접적으로 받지 않지만, 남극해협은 남극반도의 끝과 산악지대인 조인빌섬(Joinville Island)사이의 20~30km 폭을 가진 좁은 해협으로서 급작스러운 큰바람(gale)과 거친 파도로 유명한 곳이다.

한편, 브랜스필드해협에서는 장벽풍의 영향을 직접 받지 않는 대신에 풍속에 비례하는 전향력과 약한 기압경도력의 불균형 때문에 남극해협의 북쪽 출구로부터 점차 왼쪽으로 편향되어 나타나는 관성류의 현상이 자주 관찰되고 있다. 이러한 관성류는 풍속 20m/s 정도로서 아주 강한 바람이며, 이 지역에서는 하층 제트류라 일컫고 있다.

우리나라 남극 세종기지에서 대개 3월부터 12월까지 주로 남-동 계절풍에서 나타나는 블리저드 현상도 이러한 관성류와 끝이 깊은 이동성 저기압의 영향을 받아 킹조지섬 내륙의 빙하지대로부터 강한 바람에 의해 불리어 진 눈보라 현상으로 설명할 수 있을 것이다(Lee, B.Y. *et al.*, 1990).

남극 지역에서는 강한 바람으로 인하여 지표면의 눈이 이동하는 눈날림 현상이 발생한다. 눈 입자의 농도와 눈날림으로 운반되는 현상의 높이는 눈의 양, 풍속 및 난류의 정도에 의해 영향을 받는다. 이동되는 눈의 양은 풍속의 4 제곱에 비례하며, 풍속이 커지면 급격히 그 양이 증가한다. 눈날림 현상에는 drifting snow와 blowing snow가 있다. Drifting snow란 현상의 높이가 2m 미만으로서 입자가 매우 작은 눈의 날림 현상이며 풍속 5m/s 이상의 바람에 의해 유지된다. Blowing snow는 풍속 20m/s 이상의 바람에 의해 높이 2m 내지 100m까지 현상의 연직 두께가 나타나며 수평 시정도 10m 미만으로 악화된다. 이러한 경우를 이른바 블리저드라 일컬으며, 그 세기는 불어 날리는 눈의 농도, 입자의 크기, 날리는 눈의 수송량 등에 좌우된다.

세종기지에서의 블리저드는 주로 남위 65도 부근에서 자주 관찰되는, 중위도 편서풍과 남극반도 영역에까지 영향을 미치는 극동풍 사이에, 저기압골에 의한 영향때문에 발생하는 것으로 분석된다. 이때에 킹조지섬을 비롯한 남쉐틀랜드군도 일대는 남극반도 북서쪽 끝부분의 빙설지역으로부터 보다 저위도쪽으로 이동되는 얼음으로 둘러싸이는 것을 관찰할 수 있다(Kyle and Schwerdtfeger, 1974; Colvill, 1977).

이러한 바람은 남극 지역에서 자주 나타나는 지면풍(surface wind)

에 속하지만, 이 외에도 지면풍의 속하는 역전풍(inversion wind)과 활강풍(katabatic wind)을 예로 들 수 있다.

남극 고원지대의 어느 곳에서든지 얼음 또는 눈표면의 지형적 특성과 같은 방향으로부터 지속적으로 지면풍이 불고 있다. 이것을 또한 소위 역전풍이라고 부르는데, 경사면 지역의 강한 복사 냉각으로 경사가 비교적 덜한 내륙지역으로부터 발생된다. 이 역전풍은 기온 역전현상의 세기, 역전층 위에서의 풍속, 표면 저항, 전향력 및 중력에 의해 영향을 받고 있으며, 역전의 세기가 강할수록, 경사가 급할수록 풍속이 강해진다. 역전풍의 또다른 특징은 방향의 지속성(directional constancy; magnitude of the resultant wind divided by the mean wind speed)이 크다는 것이다.

역전풍의 형성과 유지에 요구되는 근본은 경사면에 놓인 찬 기단에 작용하는 중력이다. 이것은 차가운 지표면 공기가 중력에 의해 지표 경사면을 따라 움직이는 즉, 해안가의 절벽이나 산맥의 기저부에서 발생하는 활강풍에게도 역시 작용한다. 주로 동 남극대륙의 해안가의 경사가 급한 곳에서 발생하는 극단적인 역전풍의 한 형태이나 그 구조에 대해서는 아직 잘 이해되지 않고 있다. 그러나 절벽의 끝에서 지면 경사의 증가로 중력에 의해 가속된 바람은 속도가 증가하며 낙하 방향과 같은 풍향을 갖게 된다.

활강풍은 보통의 경우, 풍향은 일정하되 풍속은 변화가 심하며 약한 바람이나 혹은 무풍과 강풍이 반복된다. 이는 찬 공기의 공급 근원지로부터 냉각의 소요 시간때문에 일정하게 공기가 공급되지 않아 불연속적으로 나타나기 때문이다. 어떤 경우에는 수 일 또는 수 주일 동안 계

속되기도 하는데, 이는 동 남극대륙의 제한된 지역에서만 나타나고 아주 바람이 강한 것이 특징이다.

활강풍이 지속되려면, 충분히 넓고 경사면을 갖는 배수지역으로부터의 지속적인 찬 공기의 유입이 필요하다. 대부분의 남극 내륙지역에서의 지면풍은 해안쪽으로 발산된다. 따라서 활강풍은 예외적으로 수 일 또는 수 주일 동안 지속되는 경우가 있게 된다.

남극 지역에서의와 같이 바람이 강하고 기온이 낮은 곳에서는 기온과 풍속의 영향만이 아닌 혹독한 기후에서의 또다른 인자가 인체에 영향을 끼친다. 주로 풍속과 기온으로 결정되는 냉각효과로서, 인체의 열 손실을 가중시키는 체감추위(windchill)가 그것이다. 이러한 연구는 1939년과 1940년 사이에 미국의 Little America 기지에서 일련의 경험적인 사실로부터, Siple과 Passel(1945)에 의해 체계화된 것으로서 강하고 차가운 바람에 노출된 인체의 열 손실률 또는 공기의 상대적인 냉각력에 대해 유도된 경험적 표현이다.

이것은 풍속 v (m/s)과 온도 T ($^{\circ}$ C)의 함수로서, 인체의 열 손실률(H)은 kcal/m²/hour의 단위로 표현된다. 즉, 다음과 같이 표현되는데,

$$H = (10\sqrt{v} + 10.45 - v)(33 - T) \text{ (kcal/m}^2\text{/hour)}$$

여기서 33($^{\circ}$ C)은 보통의 건조한 피부 온도를 의미한다. 이로부터 만약 참고적 풍속을 1.8m/s로 가정하면, 우리가 흔히 얘기하는 체감온도(windchill temperature) T_w 를 얻을 수 있다(Falconer, 1968; Dare, 1981).

$$T_w = (1/22)(10\sqrt{v} + 10.45 - v)(T - 33) + 33 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

여기서 상수 10.45의 의미는 관측적인 정확성의 견지에서 볼 때는 매우 허구적인 가정이나, T와 v에 대한 T_w 의 종속성은 쉽게 표현될 수 있으므로, 위 식은 바람이 강하고 추운 겨울철이나 극 지역에서 인간이 느낄 수 있는 실제의 체감추위 예보에 광범위하게 사용되는 표현으로서의 가치를 인정받고 있다.

마. 남극의 대기순환

남극에서의 대기순환은 주극 저기압(circumpolar low-pressure) 또는 주극 와동(circumpolar vortex), 주극 난류(circumpolar eddy)와 지상 고기압으로 구성된다.

저기압은 고위도의 찬 기단과 저위도의 온난한 기단과의 상호작용에 의해 발생한다. 한편 저위도의 온난한 지역에서 이류과정에 의해 가장 큰 기온대비가 나타나는데, 이 지역에서의 기온대비가 저기압성 난류의 에너지로 변형된다.

따라서 주극 저기압 지역에서는 끊임없이 강한 저기압의 활동이 유지되는데, 보통 남극반도 양쪽에 위치한 웨델해와 벨링스하우젠해, 동 남극대륙 연안에 위치한 로스해와 프리츠만 등 네 곳에서 가장 강하게 나타나고 있다. 이들의 평균적 위치는 바다얼음의 확장 범위에 따라 다르다(Rumney, 1970).

주극 저기압대는 차가운 극기단과 중위도로부터 유입되는 온난하고 다

습한 중위도 기단과의 자오면(남-북) 교환이 이루어지게 하여 많은 습기를 남극 지역으로 이동시키지만, 내륙 깊숙히 파고들지는 못한다.

서 남극대륙의 대류권에서는 온난한 공기의 이류와 상승이 강하고, 동 남극대륙에서는 찬 공기의 이류와 공기의 하강 운동이 강하게 나타난다. 하강 운동은 대부분 고도가 높은 빙하지대 위에서 일어나며, 지상에서의 발산이 강하게 일어나는 지역의 중심과 위치가 같다. 이러한 이유때문에 주극 저기압대의 연직 구조가 다르게 나타난다.

공기의 밀도가 큰 하층에서의 하강 운동은 남극대륙에서의 대류권 순환의 형성에 커다란 영향을 끼치고 있다. 이와 같은 주극 저기압대와 대륙에의 고기압의 상호작용으로 인하여 남극대륙내에서와 그 주변 지역에서의 공기 순환이 이루어지며, 특히 로스해에서의 난류는 강한 상승력으로 성층권까지 잘 발달되는 특성을 보이고 있다.

일반적으로 남극에서의 공기의 이동은 여러 가지의 지리학적 환경에 의해서도 영향을 받고 있다. 그것은 거대한 얼음으로 덮인 지역이며, 대부분이 해수면보다 훨씬 높은 고도를 갖고 있고 주변이 온난한 해양으로 둘러싸여 전향력의 영향을 받고 있기 때문이다. 그러므로 남극대륙의 내륙지역에서는 대체로 경사면이 급한 해안을 따라 형성되는 바람보다는 풍속이 약하다. 동 남극대륙의 높이 약 3km 상공에는 반 영구적인 고기압 순환이 존재하는데, 이로 인해 지속적인 하강 기류가 형성되며 해안쪽으로 반 시계방향의 발산이 일어나게 하는 중요한 역할을 하고 있다.

해안을 따라 주로 동풍계가 형성되며, 이는 연안류의 흐름방향에 부분적으로 영향을 끼치는데, 반대로 빙산의 움직임으로부터 그 효과를 알

수도 있다. 북극해에서는 잘 알려지지 않은, 남극해에서의 탁상형 빙산은 위부분이 편평하고 각진 모서리를 갖고 있으며 길이가 어떤 것은 약 30km가 넘는데, 이것은 빙붕으로부터 떨어져 나와 북쪽을 향해 매우 천천히 움직인다. 결국 중위도 남쪽 상공에 존재하는 강한 서풍에 의해 동쪽으로 흐르는 주극 해류의 영향을 받아, 남극해 영역에 들어선 빙산은 동쪽으로 이동하게 된다.

기온이 매우 낮은 내륙의 얼음 지역 상공의 공기는 보통 온도가 30℃ 이상인 대륙 주변의 중위도 해양 위에 공기보다 훨씬 차갑고 상대적으로 밀도가 매우 크다. 따라서 기압 평형을 유지하기 위한 정상적인 공기의 흐름이 바다쪽으로 향하는데, 고원지대로부터 중력의 영향을 받아 속도가 증가하며 바다얼음과 해양을 지나면서 강풍이 된다. 이때 높은 고원지대에서 해양쪽으로 내려오면서 증가되는 압력에 따른 약간의 기온 상승 효과는 거의 무시할만 하다(Rumney, 1970)

한편 어느 위치의 모든 관측기지에서 지면풍이 관측되고 있는데, 해양으로 향하는 바람의 주풍향은 주로 바람이 불어가는 방향의 왼쪽으로 작용하는 전향력의 영향으로 동쪽이나 남동쪽이 되며, 이것은 남반구에서 고기압의 자연스러운 공기 이동이다. 남극 지역에서 가파른 기압경도의 반복적인 발달은 대륙의 주변과 둘러싼 해양사이에서만 일어나며, 이것은 주로 남극의 고기압이 온도가 매우 낮으면서도 얇기 때문이다. 사실 남극대륙 내륙의 높이는 대부분이 1,800m 이상이므로 북쪽으로 향하는 특징을 가진 차고, 맑으며, 건조한 고기압성의 모든 기단은 그 높이 위에 놓이게 된다.

극 지방의 성층권에는 연중 두 가지 형태의 순환이 존재한다. 여름

철에는 오존층에 의해 계속적으로 자외선이 흡수되므로 온도가 상승하고 동쪽에서의 약한 대기순환이 발생한다. 나머지 기간 동안에는 태양 복사가 없거나 그 양이 매우 적은 기간이므로 이러한 현상이 발생하지 않아 극쪽으로 갈수록 차가워지기때문에, 결국에는 서쪽에서의 순환이 발생되고 성층권에서의 주극 와류는 강화된다.

양극 지방이 모두 이러한 기본 유형을 따르지만, 현저한 차이점도 나타난다. 북극의 소용돌이는 남극에 비해 약하고 불안정하며 저위도로부터 온난한 공기가 유입하여 종종 파괴되는 경향이 있다. Startwarm이라 불리는 북극의 이러한 현상은 겨울철에 발생하고, 북반구의 굴곡이 심한 지형과 복사를에 의해 야기된 큰 규모의 대기혼란과 관련이 있는 것 같다. 성층권의 겨울은 startwarm에서 끝난다. 남극에서는 겨울철의 startwarm에 대해 거의 알려져 있지 않지만, 성층권의 와동은 안정적이고 강하여 저위도의 성층권과 효과적으로 분리된다. 온도는 겨울철 동안 계속 하강하며, 여름철이 시작되면 갑자기 따뜻해진다.

잠시 남극과 북극의 양극 지역에 대한 간단한 특징을 살펴보면, 남극과 북극의 기후는 근본적인 차이가 있는데, 이유는 지표와 지형적 특징이 다르기 때문이다. 즉, 남극 지역은 해양으로 둘러싸인 얼음으로 뒤덮인 대륙인 반면, 북극 지역은 대륙으로 둘러싸인 얼음으로 구성된 해양으로서 남극과 북극의 해륙 분포가 다르다.

먼저 대기의 순환적 차이를 보면, 북반구의 극 주위에는 남반구에서 일년내내 반영구적으로 존재하는 주극 저기압계와 바람장이 없다. 남반구에서는 중위도와 아남극 위도의 하층 대륙권에서 짧은 봄과 가을철 동안에 최대로 발달하는 편서풍을 관찰할 수 있으나 북반구에는 대륙에

의해 강한 순환이 완화되므로 거의 무시된다. 남반구 여름철에도 북반구 겨울철에서처럼 강한 상층 대류권에서의 주극 편서풍이 존재하며, 그 세기는 북반구에서보다 강하다.

낮은 온도에서는 공기 중의 습윤함량이 적어질 수 밖에 없으므로, 남극의 고원지대 상공의 차가운 공기는 수증기를 많이 포함하고 있지 못하다. 이와 비교하여 북반구의 고위도로 향하는 습기의 수송은 지형에 의해 별다른 제약을 받지 않고 있다. 하층 대류권에서의 습윤함량이 극쪽으로 갈수록 감소하는 것은 남반구에서 훨씬 더 크게 나타난다. 남극 고원지대 상공의 공기 중 습윤함량이 적으므로 복사 수지와 온도에 영향을 끼치는 온량을 감소시키기도 한다.

한편, 성층권의 오존층이 중요한 역할을 하는 15km 이상의 고층대기에서의 봄철 승온현상은 극점 상공에서 더욱 두드러지게 나타난다. 이에 태양 복사에 의해 기온이 상승하는 봄철 이전의 성층권에서의 극 와동(polar vortex)은 안정하고 지속적이지만, 이후에 저위도로부터 공기의 이동이 생겨 와동이 깨지면 순환패턴이 급하게 변한다. 이러한 극 와동의 변화는 성층권의 오존 농도변화와 밀접한 관련이 있다고 분석되고 있다.

겨울철에 성층권의 오존량은 태양 복사의 부재와 와동에 의한 저위도로부터의 오존이 풍부한 공기의 유입이 차단되므로 안정적 수준을 유지하게 된다. 그러나 봄철이 되어 안정하고 강한 극 와동이 깨지고 태양 복사열의 영향으로 인한 오존 파괴입자의 활동으로 오존파괴가 가속되는데, 이것이 남극 성층권에서 봄철에 오존홀이 생기는 원인이다.

그렇지만, 꼭 남극 봄철에 성층권의 오존량이 급격히 감소하여 오존

홀이 생기는 것은 아니며, 반대로 대기순환과 관련하여 남반구 고위도 상공의 기온이 특이하게 승온현상을 일으켜 오존홀이 발달하지 않은 경우도 있다.

연구 역사를 돌이켜 보면, 1952년 2월 23일에 베를린 상공의 15hPa (고도 약 28km) 높이의 온도가 2일 동안에 42K나 상승되는 것이 관측되었다. 기온의 상승역은 점차 내려가서 2주일 뒤에 200hPa(약 12km)에서 소멸하였다. 이렇게 큰 돌연적 승온현상은 다음에 1957년 국제 지구물리의 해 기간 동안 겨울철에 미국 상공에서 일어났는데, 이때의 관측으로부터 그 원인이 “역학적인 불안정 때문에 성층권의 순환이 제대로 유지되지 못하였다.”는 것임이 밝혀졌다. 관측에 의하면 승온현상은 극지역을 포함하는 고위도에서 일어났고, 저위도에서는 반대로 온도가 근소하나마 내려갔는데, 승온현상은 상부 성층권에서 시작되어 중·하부로 하강해 온다. 또한 처음에 서풍이었던 순환이 승온과 더불어 동풍으로 변하는 것을 볼 수 있었다.

성층권에서는 여름철의 고위도에서 겨울철의 고위도로 향해서 온도가 하강한다. 그러한 이유때문에 겨울철의 반구에서 온도는 저위도에서 고위도로 갈수록 하강한다. 이 온도차에 의한 힘에 의해서 공기가 남북으로 운동하려고 하면 전향력이 작용하여 북반구에서는 오른쪽으로, 남반구에서는 왼쪽으로 운동이 편향된다. 이 결과로 어느 반구에서든 겨울철의 공기 운동은 서풍이 된다. 이러한 이유로 일어나는 바람을 ‘온도풍’이라고 부르는데, 남반구에서의 서풍은 저온영역을 오른쪽에 두고 불게 된다.

겨울철에 고위도에서 강한 ‘행성파동’이 대류권에서 성층권으로 전파

되어 가면서 서풍의 에너지를 빼앗아 그것을 감속시키고 있다는 것이 밝혀졌다. 다시 어떤 고도에 가까이 가면 파동의 에너지를 흡수하여 동풍이 가속되어, 결국 바람은 동풍이 된다. 그리고 이 고도보다 위에서는 파동이 전파되지 않음과 동시에 다시 밑으로부터 파동이 계속해서 전파되어 오면 동풍이 극도로 강해진다. '온도풍'의 원리에 의하면, 동풍의 존재는 보통과는 반대로 고위도의 온도가 저위도에서보다 높다는 것을 의미한다. 따라서 고위도의 온도가 이상적으로 상승하게 된다.

그 후의 관측에 의하면, 이 겨울철의 성층권에 특이한 승온현상은 작은 규모의 것은 가끔 일어나고 있는데, 극 지역까지 포함한 대규모적인 현상은 몇 년에 한 번 정도밖에 일어나지 않고, 특히 남반구에서 그러한 큰 돌연적 승온현상이 관측된 일은 없었다. 그런데, 그러한 큰 돌연적 승온현상이 1988년의 남반구 봄철에 오존홀이 일어난 9월에서 10월에 발생하였다. 따라서 안정한 극 와동이 무너져서 남극 상공의 기온이 상승함과 더불어 중·저위도 상공의 풍부한 오존을 포함한 공기가 극쪽으로 흘러 들어서 그 해에는 남극 상공의 오존홀이 발달하지 않았다(島崎達夫, 1989).

V. 남극의 기후학적 미래

남극은 기후학적으로 주로 얼음과 눈의 존재로써 특징지어진다. 남극대륙 연안 지역과 남극해에서의 미미한 온도변화는 얼음의 양적 변화와 관계가 깊게 나타난다. 수 백년의 어떤 제한된 시기 동안에 예상할 수 있는 주요 변화란 것은, 만약 남극대륙을 덮고 있는 빙봉의 비교적 커다란 부분이 불안정해져서 생길 수 있는 그러한 변화로 생각된다.

해수면의 상승은 지구 온난화의 당연한 귀결이며, 현재 세계적으로 가장 광범하게 인식되고 있는 사항 중에 하나이지만, 이로 인해 발생할 수도 있는 홍수는 오늘날 세계 해안가에 접하여 살며 일하고 있는 수 백만의 사람들에게는 이미 친숙해진 문제이다. 수 세기에 걸쳐 공학자들은 범람하는 물로부터 저지대의 연안을 보호하려고 온갖 기술과 노력을 기울이고 있지만, 많은 연구자들이 예측하듯이, 실제로 지표면의 온도가 상승하여 해수면의 수위가 올라가게 되면 연안지역을 범람으로부터 막는다는 것은 훨씬 어렵고 긴박한 문제가 될 것이다.

과학자들은 지구 해수면이 상승하는데는 두 가지의 원인이 있다고 본다. 첫째는, 대기 중에 온실기체가 축적되어 결국에는 지표면의 온도가 상승하게 되고, 이에 따라 남극대륙의 빙봉을 비롯한 극 지방 주변의 얼음이 보다 빠르게 녹을 것이며 아울러 방류된 물은 평균 해수면을 상승시킬 것이다. 둘째는, 대기의 온도가 상승함에 따라 해양에서 그 열을 흡

수하여 물을 팽창시켜 해수면이 상승할 것이라는 견해다.

지구의 역사를 통해 살펴 보면, 기후와 마찬가지로 해수면도 변화하고 있다. 마지막 빙하기인 18,000년 전의 평균 해수면은 현재 보다 낮은 100~150m이었다. 약 100,000년 전에는 지구 평균온도가 오늘날보다 더 따뜻한 1~2℃ 이었으며, 빙하도 감소하여 해수면은 5~7m 더 높았다. 심지어 과거 6,000년 동안에, 어떤 지역에서의 해수면은 수 m씩 변한 때도 있었다(Silver and DeFries, 1990).

실제 지구 온난화에 의해 남극을 덮고 있는 얼음이 모두 녹아 버린다면, 지구상 해수면의 수위가 약 60m 상승하리라는 것이 전문가들의 의견인만큼, 남극 얼음의 양적 변화에 대한 관심은 지구의 온난화 현상과 더불어 매우 크다. 예상되는 지구 온난화는 해수의 온도 상승에 의한 팽창, 알프스등 고지대의 빙하의 녹음, 남극과 북극 지역의 빙하의 해빙 및 바다속으로의 유입을 일으키게 되어 현재의 해수면 상승률을 가속시킬 것으로 예상된다. 지난 세기 동안 지구의 해수면은 매 년 1.43 ± 0.14 mm/년의 속도로 상승하였다(Barnet, 1990).

지구 온난화에 의해 일어날 해수면 상승의 정도는 2025년까지 10~20cm, 2100년까지 50~200cm로 추정된다. 2100년의 해수면 상승 예상치 중 25~80cm는 온도에 의한 해수의 팽창에 의해, 10~30cm는 그린란드와 알프스 등 빙하의 해빙에 의해, 0~100cm는 극 지역의 빙하의 해빙에 의한 것으로 예상된다. 그러나 강설량의 증가로 인한 극 지역의 빙하량 증가가 다른 원인에 의해 야기될 수면 상승분을 상쇄시킬 수 있다는 것과 빙하의 녹는 물에 의해 빙하가 더욱 쉽게 쪼개져 바다에 유입되므로써 극 지역의 빙하에 의한 해수면 상승의 예상치가 2m정도 될 수도 있다는 가능성

등은 배제될 수 없다(Titus, 1989).

다음 수 세기에 걸쳐 서 남극대륙쪽의 빙하에 의해 해수면이 약 6m 이상 높아질 수 있다. 빙하학자들은 빙하가 녹는데 300~500년의 세월이 소요될 것으로 계산하고 있다. 그러나 지구 온난화에 의해 로스와 윌크너-론 빙봉을 얇게 만들어 해빙현상을 되돌이킬 수 없게 만들 가능성이 높다고도 예상하고 있다. 아 물론 현재도 해수면은 상승하고 있고, 과학자들은 금세기동안에 약 0.15m 내지는 그 이상 상승할 것이라고 예측하고 있다.

또한, 과거 십년 동안에 만들어진 예측에 의하면, 지구 대기 중의 이산화탄소의 배증효과(effective doubling of carbon dioxide)에 의해 2050년에는 대기 온도가 3~5°C 상승함에 따라 지구 평균 해수면이 약 0.5~1.5m 상승할 것이라고 한다. 반대로, 현재의 예측은 그 개념이 바뀌었는데, 지구 온난화에 의한 온도의 상승으로 따듯해진 공기가 더 많은 수증기를 대기에 전달함에 따라 더 많은 강설을 야기시키며 오히려 해양으로 유출되는 물을 잡아 두는 역할을 하여 극 지방의 빙봉을 증가시킬 수 있다는 새로운 계산에 근거하여 해수면이 약 $\frac{1}{3}$ m 낮아진다는 것이다. 과학자들은 이러한 연구에 둘러싸인 수 많은 불확실성의 해결을 위해 도전하고 있지만 어려운 문제가 많다.

남극은 대기과학을 비롯한 자연과학 연구를 위한 지구상의 유일한 실험장이라고 말할 수 있다. 그러나, 현재까지 수 십년에 걸쳐 관측망을 확장시키고 내륙과 남극해에서의 기상 예보와 기본 연구를 위한 충분한 자료의 확보를 통해 남극의 기후변화가 전 지구적으로 어떻게 영향을 미치고 있으며, 영향을 미칠 것인가에 대한 연구는 가혹한 환경과 부족한

관측소때문에 아직까지도 여타 지역에 비해 미미한 실정이다.

앞으로도 남극에서 기후문제와 관련된 중요한 연구과제는 산재해 있다. 남극의 얼음 질량의 균형이 시간에 따라 어떻게 변할 것이며, 이에 따른 영향이 지구 기후의 변화와 해수면의 수위 변동에 어떻게 나타날 것인가? 연속된 환경 기록에 의해 어떤 주요한 기후변화의 징후를 나타낼 것인가? 이외에도 빙하탐사를 통한 남극의 고기후와 나아가 지구의 고기후에 대한 연구, 남극의 기압패턴의 변화와 기온변화에 관한 연구, 지구 대기의 온실기체에 의한 온난화 효과가 남극에서 어떻게 나타날 것인가에 대한 연구, 남극 성층권에서의 오존량 변동과 대기순환과의 관계, 오존파괴 입자와 오존홀 발달에 대한 연구, 오존량 감소에 의한 지상 생태계와 기후계의 변화 등에 대한 많은 연구가 수행되고 있지만 아직까지 만족할만한 명쾌한 해답을 얻지 못한채 미래의 연구를 기다리고 있는 상황이다

더욱이 남극에서 중요하면서도 미해결의 문제로서 미래의 연구를 기다리고 있는 것이, 앞서서도 언급하였지만 남극 얼음의 질량 수지에 관한 것이다. 구름이 많은 저기압대의 남쪽으로는 평균 기압이 상승하여 동풍과 그에 따른 연안류가 발생하며, 연안 지역에서는 맑은 날씨가 지속된다. 여름철에는 주변 바다의 영향으로 온도가 비교적 높지만, 겨울철에는 바다얼음이 형성되어 저위도 지역의 실제 연안이 확장되며 이에 따라 알베도가 증가한다. 따라서 온도는 매우 낮아지며, 얼음은 더욱 확장되고 온도를 더욱 낮춘다. 일년간 얼음의 성장과 소멸은 연간 기후에 매우 커다란 영향을 주는 요인이며, 북극에서보다는 남극에서 훨씬 큰 영향을 받게 된다.

한편, 남극에서 실제로 강설량이 얼마만큼 되는지 파악하기란 매우 어려운 문제이다. 일반적인 측기를 사용한 비나 눈의 정확한 측정은 중·저위도 지방에서도 쉽지 않은데, 기온이 낮고 강한 바람이 부는 가혹한 환경을 가진 남극에서는 더욱 어려운 문제이다. 그러나 오랜 기간 동안 안정적으로 유지되어온 대륙의 빙봉을 비롯한 전체 얼음과 관련있는 문제이기 때문에 중요하다. 설척을 이용한 직접적인 관측과 얼음 시추 자료로부터 매년 집적된 층을 분석하여 연간 적설량을 알 수 있다. 고원지대에서는 강설량이 매우 적어 사실상 사막에 해당된다. 그러나 짧은 기간 동안에 얼음의 양이 크게 변화하지 않는 것으로 보아 매년 눈이 쌓이고 녹는 양은 균형을 이루고 있는 듯 하지만, 매년 2×10^{15} 톤 정도의 얼음이 손실되고 있는 것으로 볼 때, 적설량과 손실량에 대해서는 아직 정확한 판단이 없으므로 균형을 이루고 있다고 확신할 수도 없는 형편이다. 최근의 연구 결과에 의하면, 지난 20년 동안 약 30%의 얼음이 증가하였다고 발표하고 있지만, 이것이 사실이고 또 앞으로 계속된다면 지구상에는 심각한 결과가 초래될 것으로 판단된다.

아 물론 우리나라의 남극에 관한 제반연구와 아울러 기후 특성에 관한 연구는 아직 초기단계이지만, 남극의 대기환경에 대한 정확한 관측 자료의 지속적인 확보를 통해 남극의 해양과 대기간의 상호작용과, 대기의 기온이나 순환의 변화에 따른 얼음과 해수면의 변화, 성층권의 오존량 변동에 따른 지상 생태계 및 대기순환계의 변화 등 구체적인 환경의 파악과 현상의 물리적인 특성 및 이론에 대한 정립이 나름대로 필요하다 하겠다.

참고문헌

- 남극 방문 편람, 1991. 한국해양연구소, p.74.
- 박병권, 장순근, 김예동, 1988. 남극지질 및 지구물리 연구를 위한 중기 계획 수립. 한국과학기술원 해양연구소, BSPE00123-175-7, p.119.
- 박병권, 김예동, 김정우, 최문영, 1989. 남극지질 및 지체구조에 관한 연구. 한국과학기술원 해양연구소, BSPE00123-211-5, p.84.
- 박병권, 김예동, 1991. 남극 과학. 서울 컴퓨터 프레스, p.245.
- 島崎達夫, 1989. 地球の守護神: 成層圏 오존. 일본 도쿄대학 출판회,
- Ackley, S.F., 1979b. A review of sea-ice weather relationships in the southern hemisphere, and: Sea-ice atmosphere interactions in the Weddell Sea using drifting buoys. Proceedings of the Canberra Symposium on Sea Level, Ice, and Climatic Change, IAHS Publ. Nr., 131, pp.127-159 and 177-191.
- Alfred-Wegener Institute, 1985. *The Southern Ocean: A survey of oceanographic and marine meteorological research work*, Reports on Polar Research No. 26, p.117.
- ANARE, 1988. A low temperature record. *ANARE News 14*. Antarctic Division Department of the Arts, Sport, the Environment, Tourism and Territories, Tasmania, Australia.

- Barnet, T.P., 1990. *Recent changes in sea-level: A summary*, Sea-level change, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
- Bonner, W.N. and D.W.H. Walton, 1985. *Key environments Antarctica*. Pergamon Press, Cambridge, p.381.
- Budd, W.F., 1981a. The role of Antarctica in Southern Hemisphere weather and climate. *Antarctica: Weather and Climate*. Compiled by N.W. Young, p 20., *Roy. Met. Soc.*, Australian Branch, University of Melbourne.
- Campbell, I.B. and G.G.C. Claridge, 1987. Development in soil science 16 - *Antarctica: soils, weathering processes and environment*. Elsevier, Amsterdam, p.368.
- Carmack, E.C., 1977. Water characteristics of the Southern Ocean south of the Polar Front. In : *A Voyage of Discovery*, M.V. Angel ed., *Deep-Sea Res.*, Suppl. to vol. 24, pp.15-41.
- Colvill, A.J., 1977. Movement of Antarctic ice fronts measured from satellite imagery. *Polar Record*, 18(115), pp.390-394.
- Dalrymple, P.C., 1966. A physical climatology of the Antarctic plateau. In: M.J. Rubin(editor), *Studies in Antarctic meteorology*. *Am. Geophys.*, Union Antarct. Res. Ser., 9, pp.195-231.
- Dare, P.M., 1981. A study of the severity of the midwestern winters of 1977 and 1978 using heating degree days deter-

- mined from both measured and windchill temperatures. *B.A.M.S.*, 62(7), pp.974-982.
- Deacon, G., 1984. *The Antarctic circumpolar ocean*. Cambridge University Press, Cambridge, p.180.
- Elliot, D.H., 1975. Tectonics of Antarctica: A review. *Am. J. Sci.* 275A, pp.45-106.
- Elliot, D.H., 1985. Physical geography-Geological evolution, in *Key Environments Antarctica*, edited by Bonner, W.N. and D.W.H. Walton, pp.39-61, British Antarctic Survey, Pergamon Press, Cambridge.
- Falconer, R., 1968. Windchill, a useful wintertime weather variable. *Weatherwise*, 21(6), pp.227-229, 255.
- Gordon, A.L. and H.W. Taylor, 1975b. Seasonal change of Antarctic sea-ice cover. *Science*, 187, pp.346-347.
- Gordon, A.L., E. Molinelli and T. Baker, 1978. Large-scale relative dynamic topography of the Southern Ocean. *J. Geophys. Res.*, 83, pp.3023-3032.
- Gordon, A.L. and E. Molinelli, 1982. *Southern Ocean Atlas: Thermohaline and chemical distributions*. Columbia University Press, New York.
- Holdgate, M.W., 1970. Vegetation. In: M.W. Holdgate ed., *Antarctic Ecology*, Academic Press, London. vol. 2, pp. 729-732.

- Holdgate, M.W., 1977. Terrestrial ecosystems in the Antarctica. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, B279, pp.5-25.
- Huschke, R.E., 1970. *Glossary of meteorology*. A.M.S., Boston, p.638.
- Jacobs, S.S., A.L. Gordon and A.F. Amos, 1979b. Effect of glacial ice melting on the Antarctic surface water. *Nature*, 277, pp.469-471.
- KORDI, 1990. Report on the Overwintering of the First Korea Antarctic Research Program. Korea Ocean Research and Development Institute Rep., BSPE 00160-279-7, p.313.
- Kort, V.G., 1962. The Antarctic Ocean. *Scientific American*, 207, pp.113-121.
- Kozo, T.L., 1980. Mountain barrier baroclinity effects on surface winds along the Alaskan Arctic Coast. *Geophys. Res. Lett.*, 7(5), pp.377-380.
- Kuhn, M., 1977. Precipitation of whisker crystals at surface temperatures below -60°C on the East-antarctic Plateau. Collection of Contributions at CPM Sessions Joint IAGA/IAMAP Assembly, Seattle, Washington, 1977, pp.60-66.
- Kyle, T.H. and W. Schwerdtfeger, 1974. Synoptic scale wind effects on the ice cover in the western Weddell Sea. *A. J. U. S.*, 9(5), pp.212-213.

- Lawver, L.A., L.M. Gahagan and M.F. Coffin, 1992. The development of paleoseaways around Antarctica, in *The Antarctic Paleoenvironment: A perspective on Global Change*, edited by Kennett, J.P. and D.A. Warnke, pp.7-30, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Lee, B.Y., D.H. Kim and Y. Kim, 1990. A study on the climate characteristics over King Sejong Station, Antarctica(1988~1989). *Korean J. Polar Res.*, vol. 1, No. 1, pp.47-57.
- MacAyeal, D.R., 1984. Thermohaline circulation below the Ross Ice Shelf: A consequence of tidally induced vertical mixing and basal melting. *J. Geophys. Res.*, 89(C1), pp.597-606.
- Neff, W.D. and F.F. Hall, 1976a. Acoustic sounder measurements of the South Pole boundary-layer. *A.M.S.*, 17th Conference on Radar Meteorology, pp.297-302.
- Neff, W.D. and F.F. Hall, 1976b. Acoustic echo sounding of the atmospheric boundary-layer at the South Pole. *A.J.U.S.*, 11(3), pp.143-144.
- Neff, W.D., H.E. Ramm and F.F. Hall, 1977. Acoustic sounder operations at South Pole Station. *A.J.U.S.*, 12(4), pp.167-168.
- Neff, W.D. and F.F. Hall, 1978. Acoustic remote sensing of the planetary boundary-layer at the South Pole. *A.M.S.*, Preprint volume, Fourth Symposium on met. obs. and instrumentation,

- April 1978, pp.357-361.
- Oxman, B.H., 1978. The Antarctic Regime: An introduction, "Univ. of Miami Law Review", 33, No. 2, p.286.
- Peterson, J.T. and V.S. Szwarc, 1977. Geophysical monitoring for climatic change at the South Pole. *A.J.U.S.*, 12(4), pp.159-160.
- Radok, U., N. Streten and G. Weller, 1975. Atmosphere and Ice. *Oceanus*, 18, pp.17-27.
- Rayner, J.N. and D.A. Howarth, 1979. Antarctic sea-ice: 1972~75. *Geogr. Rev.*, 69, pp.202-223.
- Robin, G. de, C.S. Doake, H. Kohnen, R.D. Crabtree, S.R. Jordan and D. Möller, 1983. Regime of the Filchner-Ronne Ice Shelves, Antarctica. *Nature*, 302, pp.582-586.
- Rumney, G.R., 1970. *Climatology and the world's climates*. The Macmillan Company, London, p.656.
- Schwerdtfeger, W., 1970. *The Climate of the Antarctica*. In: S. Orvig ed., *Climate of the Polar Regions*. World Survey of Climatology, vol. 14, Elsevier, Amsterdam, pp.213-355.
- Schwerdtfeger, W., 1974. *Mountain barrier effect on the flow of stable air north of the Brooks Range*. In: *Climate of the Arctic Proceedings of the 24th Alaska Science Conference, 1973*, (G. Weller and S.A. Bowling, ed.), pp.204-208.

- Schwerdtfeger, W., 1984. Developments in Atmospheric Science, 15: *Weather and Climate of the Antarctic*. Elsevier, Amsterdam, pp.261.
- Silver, C.S. and R.S. DeFries, 1990. *One earth, one future*. National Academy Press, Washington, D.C., p.196.
- Siple, P.A. and C.F. Passel, 1945. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Poc. Am. Phil. Soc.*, 89, pp.177-199.
- Streten, N.A., 1977. Seasonal climatic variability over the Southern Oceans. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.*, B25, pp. 1-19.
- Tchernia, P., 1974. Etude de la dérive antarctique est-ouest au moyen d'icebergs suivis par le satellite Eole. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 278, pp.667-670.
- Tchernia, P., 1980. *Descriptive regional oceanography*. Pergamon Press, London.
- Titus, J.G., 1989. *The causes and effects of sea level rise*. The challenge of global warming, Island Press, Washington, D.C.
- van Loon, H., J.J. Taljaard, T. Sasamori, J. London, D.V. Hoyt, K. Labitzke and C.W. Newton, 1972. Meteorology of the Southern Hemisphere. In: *Meteorological Monographs 13*, No. 35, C.W. Newton(ed.), p.263, A.M.S., Boston.

- Vinje, T.E., 1980. Some satellite-tracked iceberg drifts in the Antarctic. *Annals of Glaciology*, 1, pp.83-87.
- Walton, D.W.H., 1987. *Antarctic Science*. Cambridge University Press, Cambridge, p.280.
- Weyant, W.S., 1966. The Antarctic Climate. In: J.C.F. Tedrow (ed.), Antarctic soils and soil forming processes. *Am. Geophys.*, Union Antarct. Res. Ser., 8, pp.47-59.
- WMO, 1983. Guide to Meteorological Instruments and Method of Observation: Fifth ed.(WMO-No. 8), p.503.
- Zwally, H.J., C. Parkinson, F. Carsey, P. Gloersen, W.J. Campbell and R.O. Ramseier, 1979. Seasonal variation of total Antarctic sea-ice area, 1973~75. *Antarctic J. of the U.S.*, 14(5), pp.102-103.