

제 2 차 년도
최종 보고서

BSPN 00243-753-7

북극 연구개발을 위한 기초조사 연구(II)

A Preliminary Study on the Arctic(II)

1994. 9

연 구 기 관
한국해양연구소

과 학 기 술 처

제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 “북극 연구개발을 위한 기초조사 연구 (II)” 과제의 최종
보고서로 제출합니다.

1994. 9.

주관연구기관명 : 한국해양연구소

총괄연구책임자 : 최 문 영

연 구 원 : 김예동, 이방용

원영인, 이종익

이철우, 남상헌

요 약 문

I. 제 목

북극 연구개발을 위한 기초조사 연구 (II)

II. 연구 개발의 목적 및 중요성

우리나라는 북극 베링해에서의 어업에 일찌기 참여하였고, 앞으로 시베리아의 자원 개발에 참여할 계획을 갖고 있으나, 북극 지역의 자연 환경 특성에 관한 연구는 전무한 형편이다. 따라서 이 지역에 대한 정치 경제적 이익과 과학적 조사 활동에 대한 주장을 할 수 없을 뿐만 아니라 북극 연구 및 이용 체제로 부터 소외되어 불이익이 초래되는 실정이다.

북극 지역에서의 활동 보장과 이익을 추구하기 위해서는 무엇보다 우리가 수행하여야 하는 것은, 현재 우리가 남극 지역에서 과학 연구 활동을 수행하고 있는 것과 같은 실질적인 과학 연구 수행과 이에 대한 지속적인 투자가 선행되어야만 한다.

본격적으로 북극 연구에 참여하기 위해서는 우선 기존의 북극에 대한 연구를 수행하였고 개발 활동을 통한 경험이 풍부한 북극권 국가들의 현황을 파악하는 것이 바람직 할 것이다. 이와 병행하여 이들 국가와의 공동 연구 및 자체 연구를 통해 우리의 연구 체제 정립과 수준 향상을 꾀하

고 이를 전세계적으로 인정받아야 할 것이다. 최근 전세계적으로 제기되고 있는 환경 보호와 관련한 제반 문제에 동참하며, 또한 최근에 조직되어 활발한 활동을 보이고 있는 국제북극과학위원회(IASC) 및 Northern Forum에 가입하여 북극권에 대한 우리의 활동을 위한 장치를 마련해야 할 것이다.

이러한 점에서 본 연구 사업의 중요성 및 당위성이 있다고 할 수 있으며, 앞으로 다가올 북극 지역 개발 참여에 필요한 기득권 확보에 매우 필수적인 과제라 할 수 있다.

III. 연구 개발의 내용 및 범위

- 북극의 자연 환경 파악
- 북극 지역의 고생대 이후의 지구조 발달사 파악
- 북극해 퇴적물의 조성 및 퇴적과정 분석
- 북극 고층 대기 연구 동향 파악
- 북극 연구 체제 파악 및 진출 방안 모색

IV. 연구 개발 결과 및 활용에 대한 건의

북극은 오랜동안 탐험가와 과학자에게 환상의 지역으로 존재하여 북극

에 대한 수 많은 탐험이 시도되었다. 하지만 약 100년 전 까지만 해도 북극의 중심부에 대해서는 거의 알려진 바가 없었고, 단지 수 많은 섬들이 산재하는 천해 환경이라고만 추측되었다. 1893년에 극지용 배인 Fram을 이용한 Nansen의 역사적인 항해를 통해서 북극의 중앙 분지가 매우 깊다는 사실이 밝혀졌다.

러시아는 1917년 이래로 국가 정책으로 북극해에 대한 조사를 수행하여 왔다. 현재에는 몇 곳의 과학 기관에서 북극해 및 인근 해양에 대한 연구를 전담하고 있는 실정이다.

미국은 1951년 부터 북극에 대해 체계적으로 조사하기 시작하였다. 연구는 연중 계속되었으며 이는 대부분 Drifting Ice Islands에서 수행되었다. 북빙으로 부터 유래되어 평평한 모양을 갖는 얼음 덩어리인 Drifting Ice Islands는 대부분 Ellesmere 섬의 북측 연안에서 기원한다. 연구 분야로는 해양학 및 지구물리학 뿐만 아니라 기후학 등을 들수 있다.

지난 30년 동안 캐나다, 유럽 및 미국의 단체들이 공동으로 참여하여 수행한 국제 공동 연구가 수 차례 있었다. 1974년에 그 동안의 북극해의 해양 지질학 및 해양학적 특성에 관한 연구 결과가 - 얼음 분포, 수리특성, 동식물, 지질 - 종합 정리되었지만, 아직도 북극에 대한 여러 의문점이 미해결 상태로 남아있다. 북극해의 고해양학, 얼음의 역사, 과거 대기 순환 양태 등은 주된 논쟁 거리 중의 하나이며, 지각의 구조 및 진화 등은 현재 가장 활발히 연구되고 있는 주제이다.

퇴적물의 기원이나 이동 및 분산 양상 등은 충분히 이해되지 못하고 있으며, 현생 북극 생물상의 기원 및 연령 등에 대해서는 여러가지 설명

이 제기되고 있다. 일부 기후학자들에 따르면 북극은 남극에서 3,800만 년전에 처음으로 빙하가 형성되기 시작한 것과는 달리 Pleistocene에 들어서 비로서 얼음에 의해 덮히기 시작되었다고 한다. 북극해에 분포하는 퇴적물은 가장 오래된 것이 4.5 ~ 5 백만년 전으로, 그 이전에 대한 사건은 전적으로 추측에 의존할 뿐이다.

본 과제에서는 이러한 여러 문제들에 대한 현황을 종합 정리하였다. 여러 분야에서 현재 수행되고 있고, 과거에 수행된 중요한 연구를 종합한다는 사실은 북극 연구를 시작하기 위한 가장 좋은 출발점이 될 수 있을 것이다. 연구 분야가 매우 다양하고 여러 나라의 수 많은 연구자들에 의해 독립적으로 수행되었기 때문에 모든 분야를 동등하게 취급할 수 없었음은 물론 특정 분야에 대한 연구는 포함되지 못하였다. 본 연구 결과가 북극 연구의 현황 파악에 기초 자료로 사용될 수 있을 것이며, 앞으로의 북극 또는 아북극 지역을 연구하고자 하는 연구자들에게 참고 자료로 활용되었으면 한다.

SUMMARY

I. Title

A Preliminary Study on the Arctic (II)

II. Significance and Objectives of the Study

Although we have exploited the Bering Sea as a fishing ground for the past decades and planned to participate in the development of natural resources in the Siberia, we still have poor knowledge about the environmental characteristics of the Arctic Circle. Our scanty studies on the Arctic Ocean and its surrounding land mean that we are in an unfavorable situation in insisting our investigation rights and economic interests in this region. If we remain an inactive nation in the research on the Arctic environments, we may lose significant, economic and scientific interests which this unique geographic territory provides. Therefore, there should be much investment in the Arctic science program including reviews on the existing studies by Arctic nations, planning co-works with the advanced nations and establishment of task-forces developing/organizing our research

activities. In addition, we should try to get an international recognition for our achievements through playing an active role in the environmental protection on regional and/or global scale and related issues. This goal can be effectively achieved by joining IASC and Northern Forum.

III. Scope of the Study

- Understanding of Natural Environment of the Arctic
- Understanding of geotectonic history since the Paleozoic
- Sediment Composition and Sedimentary Processes of the Arctic Sea
- Upper Atmospheric Physics in the Arctic
- International Arctic Science Committee and Northern Forum

IV. Results and Suggestions for Application

The Arctic region has long been held a fascination for explorers and scientists of many countries. Despite the numerous voyages of exploration, the nature of the central Arctic was unknown only 100 years ago. It was believed to be a shallow sea dotted with islands. During Nansen's historic voyage on the polar ship Fram, which

commenced in 1893, the great depth of the central basin was discovered.

In Russia, investigation of the Arctic Ocean became national policy after 1917. Today research at several scientific institutions there is devoted primarily to the study of the North Polar Ocean and seas.

The systematic exploration of the Arctic by the United States commenced in 1951. Research has been conducted year-round from drifting ice islands, which are tabular fragments of glacier ice that break away from ice shelves. Most frequently, ice islands originate off the northern coast of Ellesmere Island. These research platforms are occupied as weather stations, as well as oceanographic and geophysical studies. Several international projects, conducted by Canadian, European, and U.S. groups, have been underway during the last three decades. Although much new data have accumulated in 1974, in various fields of polar research - including present-day ice cover, hydrography, fauna, flora, and geology - many questions remain to be answered. The paleoceanograph, ice cover history, and the past atmospheric circulation patterns are open to controversy, as are the structure and evolution of the crust beneath the Arctic Ocean. Furthermore, the origin and mode of dispersal of sediments are not fully understood, nor is there a consensus concerning the origin and age of the modern Arctic biota. According to some climatologists, unipolar glaciation existed until Pleistocene, when the Arctic Ocean

became ice covered; the Antarctic ice sheet developed initially approximately 38 Ma. The sedimentary record of the Arctic basin is documented only for the last 4.5-5 My; its history prior to this time will remain open to speculation until sedimentary cores spanning the Cenozoic and possibly the Mesozoic are recovered.

In this report, the current status of these problems is synthesized. Because of the wide topical range and the multi-authored nature of the Arctic study, it was not possible to insure precise balance; moreover, certain subjects could not be covered because of the physical limitations of a single report. However, it is hoped that this report will provide an insight into the current status of Arctic research, and that it will also serve as a reference for investigators studying the polar and subpolar sea.

목 차

표 차례	19
그림 차례	21
제 1 장 북극의 자연 환경	27
제 1 절 북극의 기상 및 얼음	29
1. 북극해와 얼음	29
2. 북극 지역의 에너지 수지	31
3. 북극의 대기 순환	35
4. 현재의 기후 특성	38
5. 북극 지역에서의 과학 연구	45
참고문헌	47
제 2 절 북극해의 지형 특성 및 수심	51
1. 서론	51
2. 연구 역사 및 배경	55
가. 초창기 탐험	55
나. 2차 대전 이후의 탐험	56
다. 북극해에 관한 지도 및 해도	63
3. 대륙 주변부의 지형 특성	66
4. 분지 및 심해 평원의 지형 특성	72
5. 해저 산맥의 지형 특성	73
참고문헌	75

제 2 장 북극의 과학 연구 -----	81
제 1 절 북극의 지체 구조 -----	83
1. 서론 -----	83
2. 지질 자료 -----	86
3. 지구조 발달사 -----	86
4. 결론 -----	103
참고문헌 -----	105
제 2 절 북극해 퇴적물 조성과 퇴적 과정 -----	111
1. 서론 -----	111
2. 중앙 북극해에서의 퇴적물 분포 및 일반적 성질 -----	113
3. 플라이오-플라이스토세 시기의 중앙 북극해에서의 퇴적작용 -----	115
4. 대륙주변부와 분지 퇴적물의 광물 -----	117
5. 중앙 북극해에서의 암층서 -----	122
6. 고지자기 시간 층서 -----	127
7. 북극해 퇴적물 내의 탄산염 -----	130
참고문헌 -----	138
제 3 절 북극에서의 고층대기물리 연구 -----	143
1. 서론 -----	143
2. 목적 -----	146
3. 관측 장비 -----	149

제 4 절 북극해의 석유 자원 -----	159
1. 서론 -----	159
2. 미국 -----	160
3. 캐나다 -----	161
4. 노르웨이와 러시아 -----	162
제 3 장 국제 북극 과학 위원회 -----	165
1. 국제 북극 과학 위원회의 구성 -----	167
2. 임원 -----	168
3. 실무 그룹 -----	168
부록 1. Northern Forum 북극 탐사 여행 참가 보고서 -----	173
부록 2. 일본 북해도 대학 저온 과학 연구소 관련 자료 -----	191

CONTENTS

List of Tables -----	19
List of Figures -----	21
Chapter 1 Natural Environments of the Arctic -----	27
Section 1 Climate and Ice of the Arctic -----	29
1. Arctic Ocean and Ice -----	29
2. Energy Budget in the Arctic Region -----	31
3. Climatic Circulation in the Arctic -----	35
4. Present Climatic Characteristics -----	38
5. Scientific Researches in the Arctic -----	45
References -----	47
Section 2 Physiography and Bathymetry of the Arctic Ocean	
Seafloor -----	51
1. Introduction -----	51
2. Historical Background -----	55
a. Early Explorations -----	55
b. Postwar Explorations -----	56
c. Maps and Charts of the Arctic Ocean -----	63
3. Continental Margins -----	66
4. Basins and Abyssal Plains -----	72
5. Submarine Ridges -----	73

References	-----	75
Chapter 2	Scientific Researches of the Arctic	----- 81
Section 1	Tectonic History of the Arctic Region	----- 83
1.	Introduction	----- 83
2.	Geological Data	----- 86
3.	Tectonic History	----- 86
4.	Conclusion	----- 103
References	-----	105
Section 2	Sediment Composition and Sedimentary Processes	
	in the Arctic Ocean	----- 111
1.	Introduction	----- 111
2.	General Nature and Distribution of Central Arctic	
	Sediments	----- 113
3.	Depositional Processes in Plio-Pleistocene Central	
	Arctic Sediments	----- 115
4.	Mineralogy of the Continental Margin and Basin Sediments	-- 117
5.	Central Arctic Ocean Lithostratigraphy	----- 122
6.	Paleomagnetic Geochronology	----- 127
7.	Carbonate in Arctic Sediments	----- 130
References	-----	138

Section 3	Upper Atmospheric Physics in the Arctic	-----	143
1.	Introduction	-----	143
2.	Purposes	-----	146
3.	Equipments for Observation	-----	149
Section 4.	Hydrocarbon in the Arctic Ocean	-----	159
1.	Introduction	-----	159
2.	U.S.A.	-----	160
3.	Canada	-----	161
4.	Norway and Russia	-----	162
Chapter 3	International Arctic Science Committee	-----	165
1.	Organisation of IASC	-----	167
2.	Members	-----	168
3.	Working Groups	-----	168
Appendix 1.	Report for the Arctic Expedition Organized		
	by Northern Forum	-----	173
Appendix 2.	Related Information for Low-Temperature Sciences Lab. of		
	the Hokkaido University	-----	191

List of Tables

Chapter 2

Section 2.

- Table 1. Clay mineral abundances in the $< 2 \mu\text{m}$ fraction
of the Central Arctic deep-sea sediments. ----- 119
- Table 2. Clay mineralogy of some major Arctic rivers ----- 120
- Table 3. Stratigraphic variations of the percentages of clay
minerals in the $< 2 \mu\text{m}$ fraction of core FL-441,
collected from the Alpha Ridge, Arctic Ocean. ----- 123
- Table 4. Number frequencies of heavy minerals (2-4) from litho-
graphic unit J of central Arctic Ocean sediment cores,
Beaufort Sea sediments and North Alaskan Rivers. ----- 124
- Table 5. Heavy mineral frequencies from correlated sandy
lutite horizons in three Alpha Ridge sediment cores ----- 125

Table 6. Ratio of dolomite to calcite in Arctic sediment core-top samples based on X-ray diffraction with available gasometric analysis of carbonate reported as weight percent CaCO_3 plus $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ----- 132

Table 7. Weight percent of carbonate minerals based on gasometric and XRD analysis of the sediment in two cores from the Alpha Ridge ----- 133

List of Figures

Chapter 1.

Section 1.

- Fig. 1. The average and extreme seasonal limits of Arctic
sea ice extent for ice concentrations $\geq \frac{1}{8}$ ----- 30
- Fig. 2. The Arctic Ocean and research facilities
in the Arctic area ----- 32
- Fig. 3. Schematic energy budget for the polar cap 70-90° N ----- 34
- Fig. 4. The mean MSL pressure distribution(hPa) and cyclone
tracks in (a) January, (b) April, (c) July, (d) October ----- 36
- Fig. 5. Mean monthly (Jan. & July) temperatures in the Arctic ----- 40
- Fig. 6. Mean annual precipitation (mm), adjusted for bias ----- 44

Section 2.

Fig. 1. Overview map of Arctic Ocean -----	52
Fig. 2. Generalized bathymetric map of the Alpha Ridge -----	53
Fig. 3. U.S. nuclear submarine tracks in the Arctic Ocean 1958-1962 -----	60
Fig. 4. Plot of Canadian bathymetric and gravity stations established on the Arctic Ocean and adjoining interisland waters as of 1985 -----	62
Fig. 5. Defense Research Board of Canada bathymetric chart (1956) of the Arctic Ocean -----	64
Fig. 6. Bathymetric map of the Amerasia Basin -----	67
Fig. 7. Bathymetric map of the Eurasia Basin compiled from Perry et al.'s 1985 chart -----	68
Fig. 8. CESAR 83 and LOREX 79 bathymetric maps -----	69
Fig. 9. Echograms of the U.S. nuclear submarine -----	74

Chapter 2.

Section 1.

Fig. 1. Main geological structures of the Arctic	87
Fig. 2. The 460 my reconstruction	88
Fig. 3. The 400 my reconstruction	90
Fig. 4. The 340 my reconstruction	91
Fig. 5. The 280 my reconstruction	92
Fig. 6. The 235 my reconstruction	94
Fig. 7. The 190 my reconstruction	95
Fig. 8. The 150 my reconstruction	96
Fig. 9. The 130 my reconstruction	98
Fig. 10. The 110 my reconstruction	99
Fig. 11. The 80 my reconstruction	101

Fig. 12. The 65 my reconstruction	-----	102
-----------------------------------	-------	-----

Section 2.

Fig. 1. Map of the Arctic Ocean showing important core and sampling locations	-----	112
--	-------	-----

Fig. 2. Four sediment-size types in central Arctic Ocean sediment	-----	114
--	-------	-----

Fig. 3. Inferred major transport trajectories and depositional sites of clay-size particles in the marginal seas of Alaska	-----	121
--	-------	-----

Fig. 4. Lithographic units A3 to M in ridge and ridge flank sediments from the central Arctic Ocean	-----	128
--	-------	-----

Fig. 5. Effect of demagnetization at 150 Oe on the paleomagnetic inclinations from core FL-270	-----	129
---	-------	-----

Fig. 6. The paleomagnetic inclinations in three cores with nearly complete stratigraphic records back to lithostratigraphic unit C or A	-----	131
---	-------	-----

Fig. 7. Microphotograph of sectioned grain mounts(>62 μm)	-----	134
Fig. 8. Cumulative weight percent of sand and gravel compared to cumulative weight percent carbonate (CO_3) in the less than 62 μm and greater than 62 μm fractions for core T3-67-9	-----	135
Fig. 9. CaCO_3 records from Chukchi Rise core FL-203	-----	136
Fig. 10. Core-to-core correlations within unit M (0-390,000 yr B.P.) using detailed (1 cm) and precise CaCO_3 analysis	-----	137

Section 3.

Fig. 1. Sketches showing the main features of the magnetosphere	---	144
Fig. 2. Typical profiles of ionospheric density at mid-latitude with the various layers designated	-----	145
Fig. 3. The incoherent scatter radar looks at backscatter from individual electrons and ions	-----	150
Fig. 4. (a) Multiple-beam interference in a Fabry-Perot interferometer and (b) the Gaussian distribution of a		

thermally brodened and Doppler-shifted emission line -----	152
Fig. 5. LIDAR(Light Detecting and Ranging) measure density -----	154
Fig. 6. An example of all-sky imaging photometer -----	155
Fig. 7. Schematic diagram of a spectrophotometer -----	157

제 1 장

북극의 자연 환경

(Natural Environments
of the Arctic)

제 1 절 기상 및 얼음

1. 북극해와 얼음

북극지역(north polar region)의 기후는 연중 존재하는 북극의 덩어리 얼음(pack ice)에 의해서 지배되고 있다. 이러한 덩어리 얼음은 매우 넓은 지역에 걸쳐 북극해(Arctic Ocean)의 해수와 대기를 격리시키는 요인이 되고 있다. 최근에는 이러한 장기간에 걸쳐 안정하게 해수를 덮고 있는 얼음에 대해 여러 각도에서의 기후학적 연구가 수행되고 있다 (Barry, 1989).

북극해와 그 주위의 바다는 약 14백만 평방 km의 면적을 갖고 있으며, 늦 겨울철까지 거의 모두 얼음으로 덮여 있다. 여름철(9월경) 동안에는 해빙(sea ice)의 확장 면적이 최소가 되어, 약 8백만 평방 km로 축소된다(Fig. 1). 대부분의 주변 육지는 낮은 지형을 갖고 있어 중위도와의 공기 교환을 돕는 형태이나, 그린랜드의 빙붕(ice sheet), 얼음으로 덮인 엘스미어(Ellesmere)와 액슬 하이버그(Axel Heiberg) 군도의 산맥, 북동 시베리아와 알라스카 지역은 예외이다. 북극의 중앙지역으로 유입되는 저기압계와 온난한 해수의 중요한 입구는 노르웨이-바렌츠 해(Norwegian-Barents Sea) 영역이다.

덩어리 얼음은 얼음 이동의 연변화와 얼음의 성장과 감소의 복잡한 연

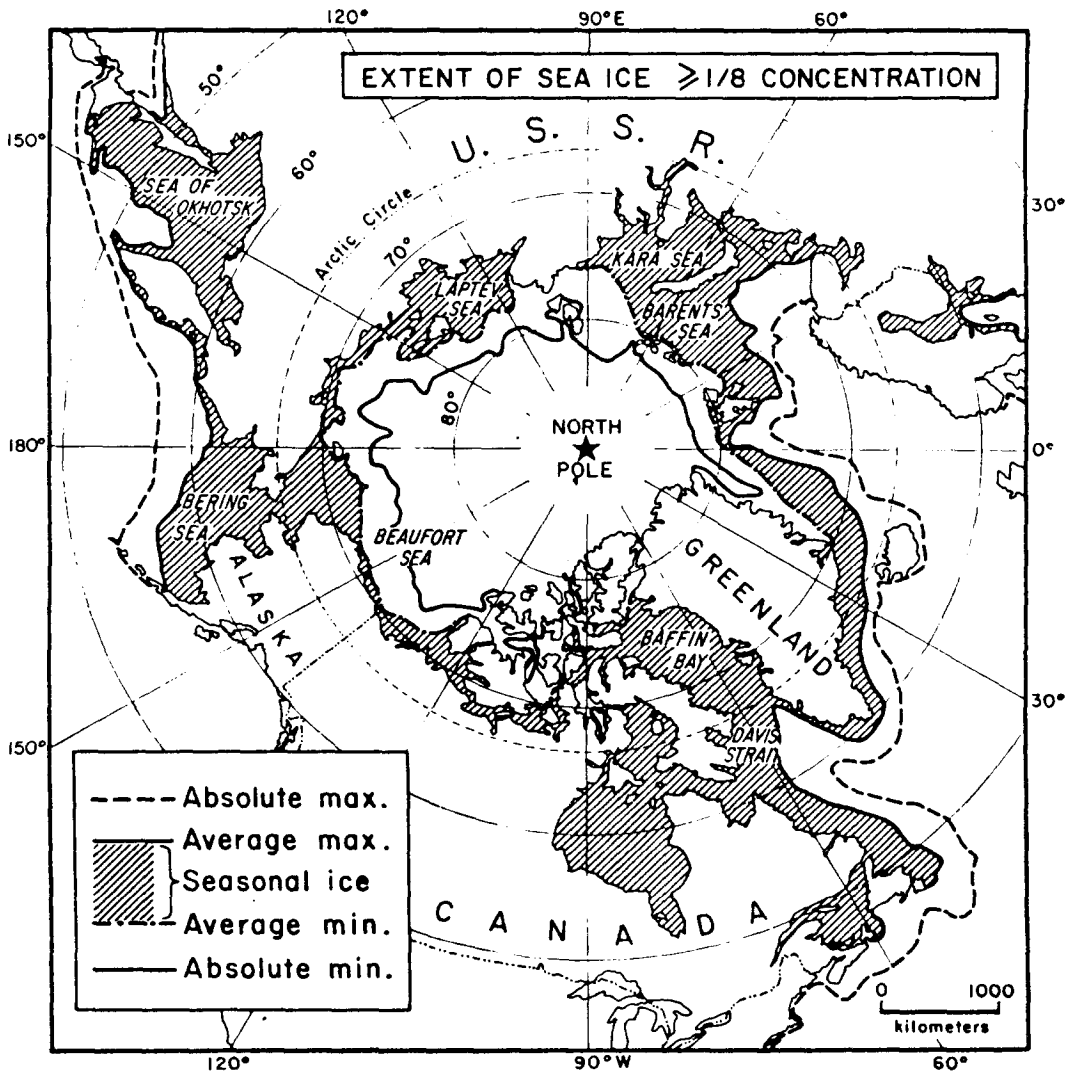


Fig. 1. The average and extreme seasonal limits of Arctic sea ice extent for ice concentrations $\geq 1/8$. (After *Atlas of the Polar Regions*, Central Intelligence Agency, 1978).

변화 에 의해 야기되는 두께의 영향으로 유년빙과 노년빙(young and old floes)의 혼합형태를 하고 있다. 얼음이 성장하는 계절의 전 기간동안에는 열역학적 과정에 의해 초년빙(first-year ice)은 약 2m의 두께로 성장한다(Koerner, 1973). 북극 분지(Arctic Basin)에서는 일년내내 평균 1.1m의 얼음이 성장하는데, 이중에서 약 0.7m의 얼음이 삭마작용(ablation)에 의해서 없어지고 약 0.5m의 얼음은 외부로 유출됨에 따라 균형을 이루고 있다. 북극해의 약 75%의 얼음이 북극으로부터 교환되며 그것의 대부분의 열교환은 그린랜드 동부의 프램해협(Fram Strait)에 의해 조절되고 있다(Aagaard and Greisman, 1975). Wadhams(1983)의 최근 측정에 의하면, 얼음 영역의 면적은 연간 0.9~1.3백만 평방 km의 변동폭을 갖고 있다.

한편, 대기의 평균적인 흐름은 해수면 순환과 얼음의 표류에 영향을 끼치는데, 얼음의 표류에 가장 중요한 요소는 뷰포트해(Beaufort Sea)의 고기압성 순환과 1984년 Colony와 Thorndike에 의한 관측자료의 종합적인 분석을 통해 언급된 극횡단 조류(Transpolar Drift Stream; TPDS)로 이해되고 있다(Barry, 1989). 평균 이동 속도는 2km/day이고, 얼음의 평균 일 순환기간은 약 5년(TPDS에서는 약 3년)이다(Thorndike, 1986). 얼음의 주요 출구는 그린랜드와 스발바드(Svalbard) 사이의 프램해협을 통해서 동부 그린랜드를 향한다(Fig. 2).

2. 북극지역의 에너지 수지

대기의 순환은 기본적으로 저위도의 열원 지역으로부터 극의 열 소멸

Research facilities

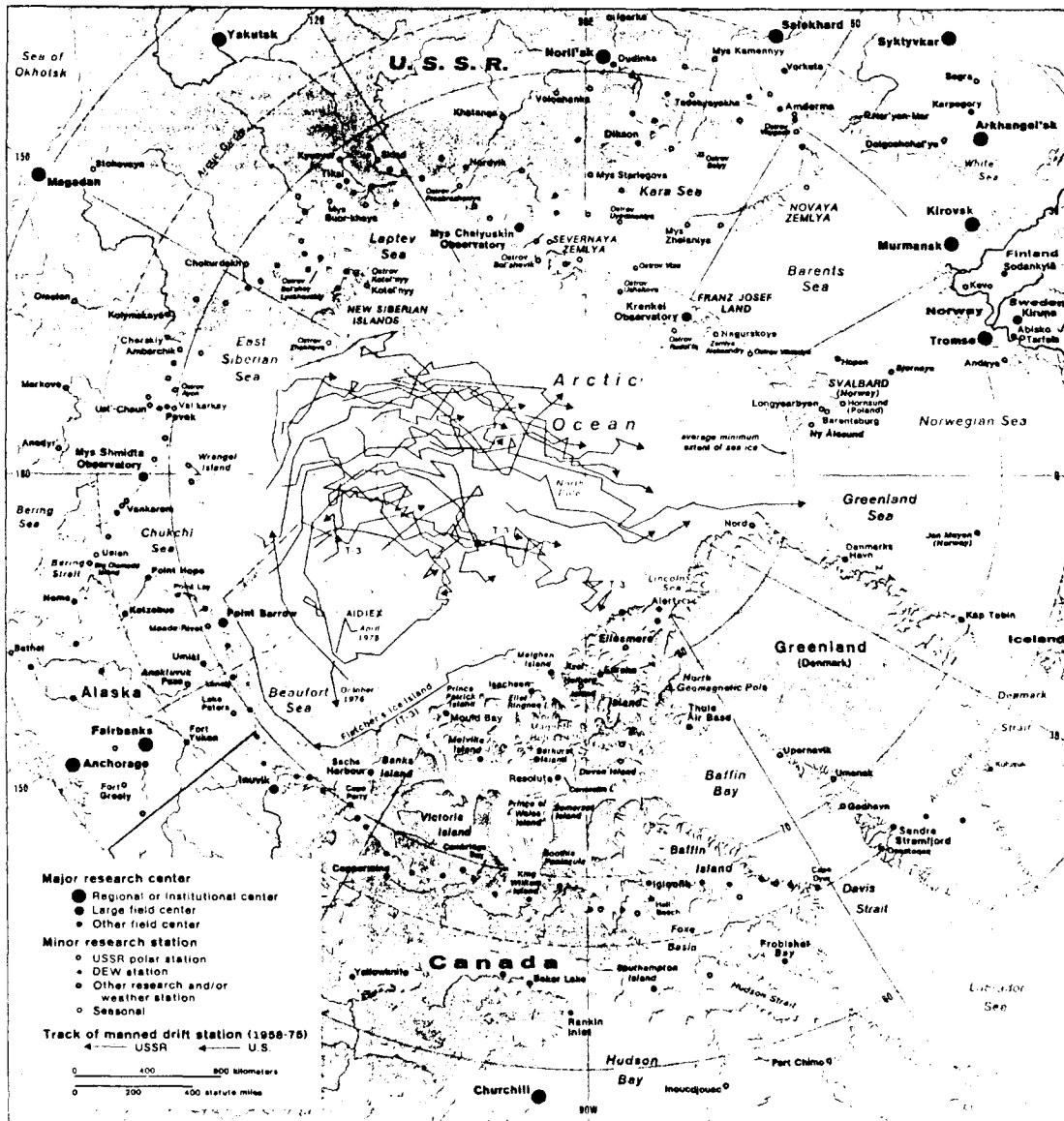


Fig. 2. The Arctic Ocean and research facilities in the Arctic area. (After *Atlas of the Polar Regions*, Central Intelligence Agency, 1978).

지역 사이에서 극향 경도에 의해 발생한다. 지구 대기의 연중 에너지 수지를 살펴보면, 북극의 대기는 남극의 대기와 함께 순 복사 에너지(net radiative energy)의 결손을 나타낸다. 지표면의 순 복사량은 일년 전체에 걸쳐 오히려 거의 영(零)에 가깝다고 할 수 있을 정도이다. Nakamura와 Oort(1988)는 북극지역에 대한 지표-대기간의 에너지 수지에 중요하게 작용하는 요소들에 대해 다음과 같이 요약하였다(Fig. 3). 행성 알베도(planetary albedo)는 평균 64%이며, 순 입사 태양 복사 에너지는 79 W/m^2 , 방출 장파 복사 에너지는 -179 W/m^2 이다. 따라서 대기 상하에서의 순 복사 에너지의 수지는 -100 W/m^2 가 되므로, 복사량의 결손에 의한 70° N 이북의 극지역 대기는 12월, 1월과 2월에 하루 1.3°C 정도로 냉각 현상이 발생하고, 6월, 7월과 8월의 기간에는 하루 0.1°C 만큼 감소한다. 극지역의 복사 에너지의 결손은 주로 저위도 대기의 에너지가 극쪽으로 수평 전달되면서 메워지게 되며, 겨울철에는 얼음으로 덮인 해면으로부터 대기로 전달되는 열속(heat flux)에 의해 보충된다. 여름철에는 바다와 얼음쪽으로의 열속이 전달된다. 극지역 대기에는 수증기 함량이 적으므로 현열(sensible heat)이 에너지 전달에 일차적인 역할을 담당한다. 그러나, 지표로부터 대기로 전달되는 잠열(latent heat)이 보다 큰 역할을 하며, 특히 여름철에는 대기로 전달되는 전체 에너지의 약 20%가 잠열에 의한다.

북반구 고위도 지방에서 이차적으로 중요한 해양의 열 전달 구조는 아직 자세하게 밝혀진바 없으나, 프랩해협이 열 교환의 약 90%를 조절하며 지배적인 역할을 하는 듯 하다(Barry, 1989).

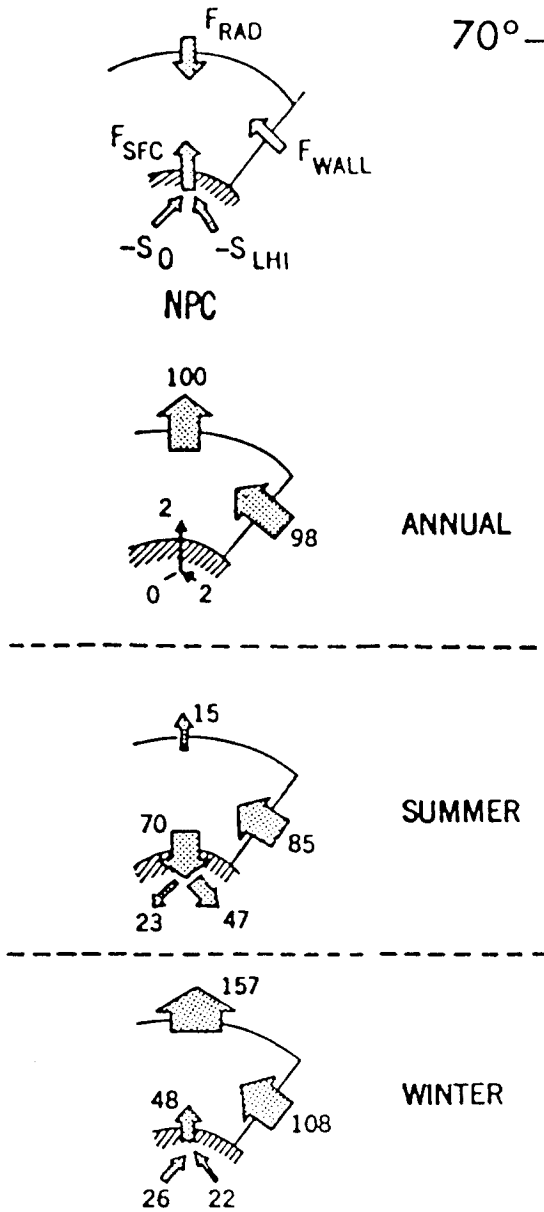


Fig. 3. Schematic energy budget for the polar cap $70^{\circ} - 90^{\circ}$ N, surface to 25hPa for annual mean, June-July-August, and December-January-February. (from Nakamura and Oort, 1988). Units: Wm^{-2} . F_{RAD} = net incoming solar radiation; F_{WALL} = poleward energy transport across 70° N; F_{SFC} = net upward energy flux at the surface; S_{O} = storage of sensible heat in the ocean(72% of the area); S_{LHI} = storage of latent heat in snow and ice.

3. 북극의 대기순환

고위도 지방의 대류권의 증층과 상층, 즉 약 3km와 10km 사이에서의 대기 순환은 주극 저기압성 와류(circumpolar cyclonic vortex)에 의해 지배된다(Barry and Hare, 1974). 냉핵(cold-cored) 저기압 지역 주변의 일반적인 편서풍은 적도로부터 극쪽으로 기울기를 갖는 대규모의 온도경도와 지구 자전에 의해 발생한다. 심지어 해수면 고도에서도, 저기압 중심들은 고기압에 비해 2:1 이상의 발생 빈도를 갖게 된다. 이것은 지속적인 극 고기압의 전형적인 개념과는 반대의 현상이다.

북극지역의 평균 해수면 기압 배치와 저기압의 흐름을 보면 Fig. 4a~4d와 같다. Fig. 4b에서 보면, 극 고기압은 3월과 6월 사이와 9월에만 1016hPa 이상의 값을 갖고 캐나다 북극 군도(Canadian Arctic Archipelago)의 서쪽에 그 중심이 존재한다(Gorshkov, 1983). 부이 관측 자료에 의하면, 1979년부터 1982년 사이에 연 평균 기압 배치는 북포트해 상공에 고기압이 위치하는데, 겨울철에 북포트와 동부 시베리아해를 가로지르며 알래스카와 시베리아 사이에서 고기압의 기압능이 지배적으로 나타난다(Fig. 4a). 한 겨울철 동안에는 고기압의 중심이 75~85° N, 100° W~170° E 에 위치하면서 일년 중 40~50%의 기간 동안 평균 월별 지면 기압장을 지배한다(Barry, 1989). 여름철에는 평균 기압 경도가 약 해져서 일반적으로 불확실해진다(Fig. 4c).

약 20년 동안(1958-1977)의 1월, 4월, 7월, 그리고 10월에 대한 북극지역의 종관 기압 배치를 분석해 보면, 위도 5° 와 경도 10° 규모의 박스내에 월당 한 개의 저기압이 존재함을 알 수 있다(Whittaker and Horn,

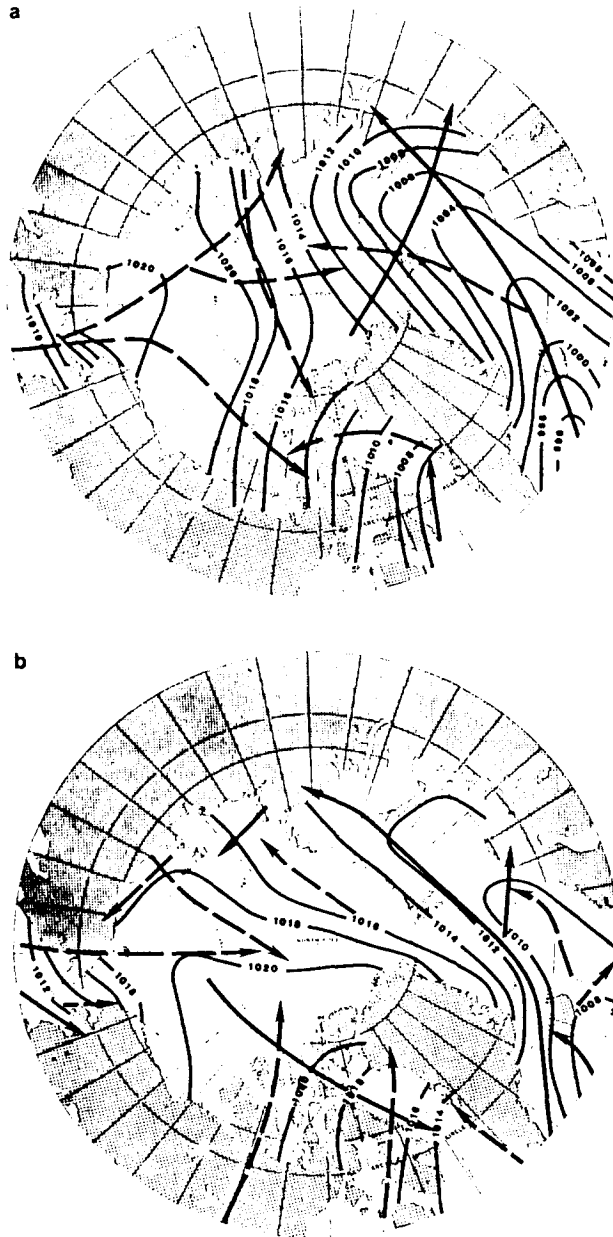


Fig. 4. The mean MSL pressure distribution(hPa) and cyclone tracks in (a) January, (b) April, (c) July, (d) October. Primary (solid arrows) and secondary (dashed arrows) cyclone tracks are indicated. (After Gorshkov, 1983).

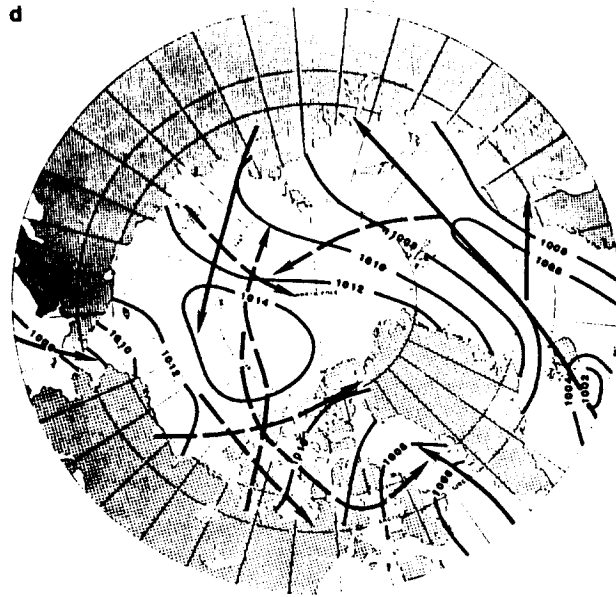
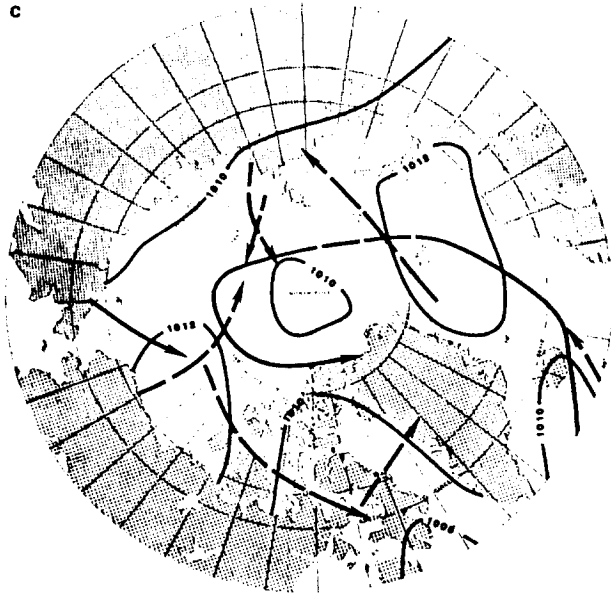


Fig. 4. continued.

1984). 그러나 저기압들은 한 번 이상 같은 박스내에 존재하지 않음도 알아내었다. 저기압계는 남서그린랜드로부터 종종 활기를 띠어 노르웨이해(Norwegian Sea)로 이동하며, 겨울철에 북 태평양에서는 때로 베링해협(Bering Strait)을 거쳐 북극 분지(Arctic Basin)로 이동해 간다. Reed(Barry, 1989)는 미국 해군의 기상 연구에 의한 '북극 예보 안내'에서 전형적인 북극의 차가운 저기압은 여름철보다는 겨울철에 훨씬 적은 양의 강수와 구름을 갖고 있다고 분석하였다.

4. 현재의 기후 특성

북극해의 기후학적 특성은 태양 복사의 연 주기에 의해 일차적으로 형성되며, 또한 일년 내내 존재하는 바다 얼음에 의해서도 영향을 받는다. 극 겨울철 동안에 지면의 복사 냉각은 지면의 기온 역전현상을 지속적으로 형성하는데, 이는 지면과 역전 기저부(inversion base) 사이에 전형적으로 10℃의 온도차를 갖는 등온층에 의해 갇혀져 있다. 역전 기저부는 0.5~1.5km 사이의 고도에 위치한다. 음향 레이다 관측에 의하면, 행성 경계층내의 기계적인 혼합현상은 100m와 400m 사이의 고도에까지 확대된다. 역전의 세기는 상당히 변화가 심하여, 풍속10~12m/s 이상의 바람과 중위도로부터의 저기압계와 관련되는 온난한 중층운의 복사적 효과에 의해 약해진다. 그러나 전선계(frontal systems)는 종종 역전층 위로 이동하며, 지면의 기온은 기단(air mass)의 변화에 의해서 보다는 관련된 장파 복사 에너지와 운량에 의해 보다 영향을 많이 받는다.

얼음을 통한 열의 전달은 시베리아와 남극의 고원지대에서 기록되는

것과 같은 극도의 저온 현상의 발생을 제한하기도 한다. 한 겨울철에 일 평균 기온은 $-30^{\circ}\text{C} \sim -35^{\circ}\text{C}$ 이며, 시간별 기록값의 약 5% 만이 -40°C 이하로 1월에 기록된다(Fig. 5a, 5b). 일별 태양 복사량은 운량이 매우 적고, 눈 덮인 지면의 알베도가 매우 높은(0.8~0.9) 봄철에 급격히 증가한다. 봄철의 4월경에는 대기 중에 수증기 함량이 매우 낮아 지면으로부터 방출되는 장파 복사 에너지의 대기 흡수도 줄어든다. 겨울철과 한 여름철에는 기온의 일별 변화폭이 특징적으로 작지만, 4월에 최대에 달한다. 이러한 경우를 소위 일별 기온의 변화폭을 갖는 계절 변화의 “프랩” 형이라고 하는데, 이는 흡수 태양 복사 에너지의 커다란 일별 변화에 일차적으로 기인되며, 지면과 대기 사이의 요란(turbulent) 열속에 의해 야기되는 감쇠현상과도 관련된다(Ohmura, 1984).

북극 지역에서의 온도변화 양상은 매우 급박하다. 겨울철 동부 시베리아, 그린랜드와 캐나다 북극 연안의 두 육지 지역과 북극해오의 사이 지역의 평균 기온은 영하 30°C 로서, 두 육지 지역에서는 최저 기온이 나타난다. 여름철에는 기온분포 양상이 변하여 극점을 포함한 북극해 전체의 온도가 약 0°C 까지 상승하며, 주변 내륙지방에서는 보다 온난하다. 북극 해안지역에서의 연중 기온은 낮게 그리고 상당히 균일하게 분포되어 있는데, 1월에는 영하 20°C 에서 영하 30°C , 7월에는 4°C 와 8°C 사이의 기온을 유지하는데 이는 북극권내 해양의 지리학적 균형 효과 때문이기도 하다.

북극해 상공의 운량은 5월에 상당히 증가하는데(Barry, 1989), 주로 증가된 대규모의 이류현상에 의한다. 운량의 정도는 입사하는 태양 복사 에너지의 계절적인 증가와는 상당히 반대로 작용한다. 대기외에서의

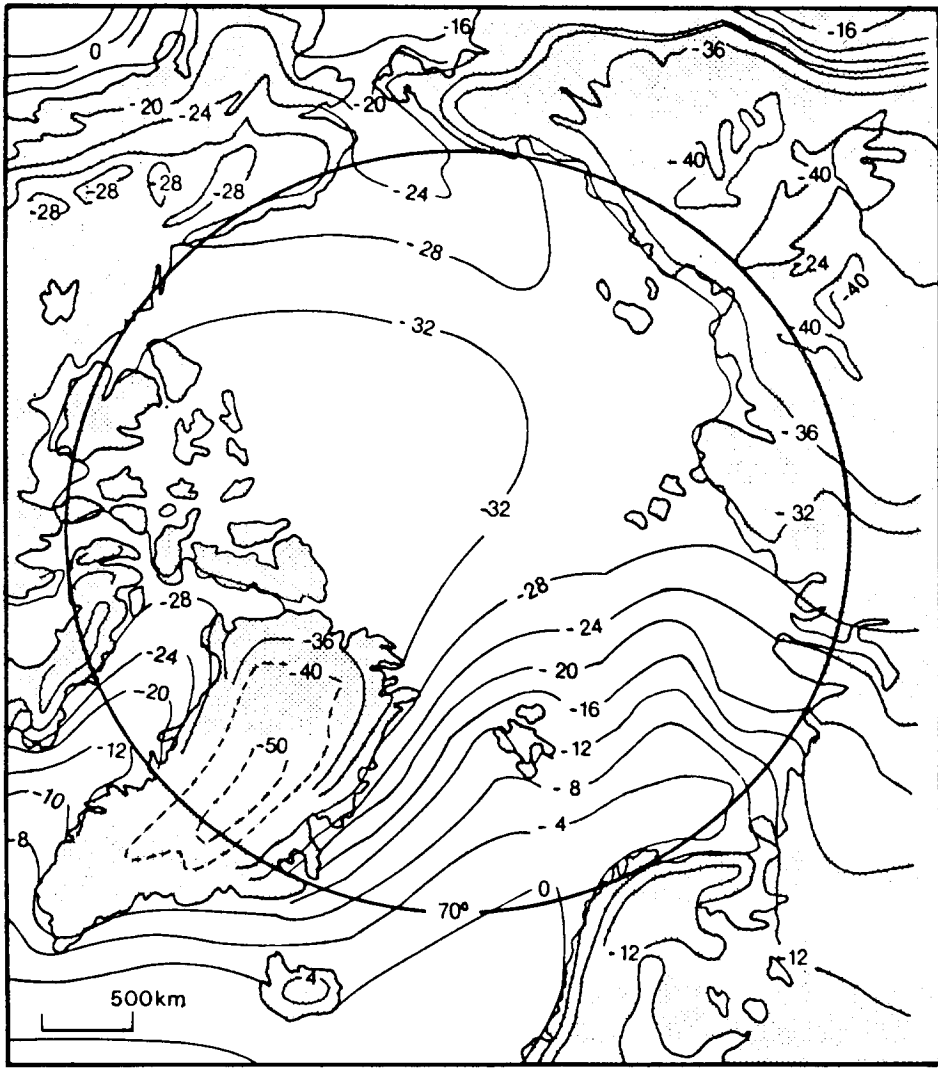


Fig. 5a. Mean monthly January temperatures in the Arctic. (from Sugden, 1982).



Fig. 5b. Mean monthly July temperatures in the Arctic. (from Sugden, 1982).

값의 극히 일부분인 맑은 날의 전천 태양 복사량은 북극점(90° N)에서 5월부터 8월까지, 지면에서 실제 흡수되는 양이 근본적으로 극점에서보다 더 작은 70° N에서와 거의 같다. 이러한 잠재적인 복사량의 위도적인 구배가 나타나지 않는 것은 하루의 길이가 갖는 효과가 태양의 고도 요인을 보상하기 때문이다. 북극점에서는 지면에서 흡수되는 계산된 태양 복사량이 대기외의 복사량의 일부분으로서 5월부터 8월까지 사실상 일정하게 나타난다.

일상적인 관측 자료에 의하면, 7월부터 8월까지의 기간 동안에는 운량이 평균 70~80% 정도이나, 1977년부터 1979년의 여름철 동안에 Robinson, Kukla와 Serreze(1986)의 위성자료 분석에 의하면, 6월에 북극 상공은 맑고 이전 자료보다 두껍지 않은 층운이 가끔 나타난다. 80° N 이북의 북극 중앙부에서는 6월과 8월 중순 사이에 두껍고 층이 많은 구름이 평균 36% 발생되며, 얇은 구름은 평균 10%, 보다 얇은 구름은 평균 10%, 그리고 맑은 날은 평균 16% 정도이다. 여름철에 자주 나타나는 구름의 형태는 층적운과 층운이지만, 운저는 보통 역전층 밑에 놓이고 구름은 얇게 나타나는 것이 특징이다. 뷰포트해 상공에서는 평균 250~300m의 두께를 가진 단층의 층운이 나타나며, 100m와 700m 사이 중의 하층과 400m와 700m의 상층에서는 두 개의 층을 가진 구름이 존재함을 관찰할 수 있다(Tsay and Jayaweera, 1984)

북극지역에서의 강수량은 겨울철 동안에는 적은 것이 특징이다. 일년 중 2월에 대기 중의 가강수량(precipitable water content)은 겨울철에 낮은 온도때문에 평균 2mm 이하이며, 8월에는 10~12mm 정도이다. 이는 겨울철에 절대습도와 포화 혼합비에 대한 제한적 현상때문이며, 또한

저기압의 활동에 의한 습기의 이류가 상대적으로 덜 발생하기 때문이다 (Barry, 1989). 보통 강수는 7월과 8월 사이에는 비의 형태로 내리는데, 북극해 연안을 따라 위치하는 관측기지에서 연중 관측된 전체 값의 40~50%의 강수량이 기록되며 북극해 상공에서도 20~25% 정도의 강수량이 있는 것으로 알려져 있다(Barry, 1989). 그러나, 강수량계 등의 기기를 사용한 겨울철에 내리는 눈의 측정값은 적어도 60% 정도 낮게 기록되며 여름철에도 약 10% 정도 낮게 기록되는 것으로 알려져 있다, 북극해의 중앙지역에서의 연 강수량은 약 200mm 이고, 증발량은 70mm 정도이다. 전 북극해 지역에서는 220mm 내지는 360mm 정도이며, 캐나다 북극 군도의 서부지역이 가장 건조한 것으로 나타난다(Fig. 6). 북극의 중앙부에서는 가을철에 약 20cm의 적설이 관측되는데, 이는 2월에 약 30cm 까지 서서히 쌓이고 5월 초에 40cm 까지 쌓인 지면 위에 새롭게 내리는 신적설을 의미한다.

바람은 극지역에서 저온현상과 함께 체감 추위를 강화시키고 극지 환경을 가혹하게 만드는 특히 중요한 요소이다. 수목이 적고 전반적으로 바다와 육지의 얼음 표면이 미끄러워 바람은 지표면에서의 마찰의 영향을 크게 받지 않는다. 지표 위의 기온 역전층의 존재로 지표에서의 바람은 매우 중요하다. 빙원이 해안 쪽으로 경사진 남극대륙과 그린랜드에서는 밀도가 크고 찬 역전층이 중력의 영향으로 경사면을 따라 하강하여 활강풍(katabatic wind)을 형성한다. 이러한 활강풍은 전향력의 영향으로 북반구에서는 오른 쪽으로 불어 내려오는데, 다만 지면으로부터 고도 100m 이내의 층에서만 영향을 받는다. 활강풍은 특히 얼음이 덮인 지표에서 공기가 가장 효과적으로 냉각될 수 있는 겨울철에 잘 발달한다.

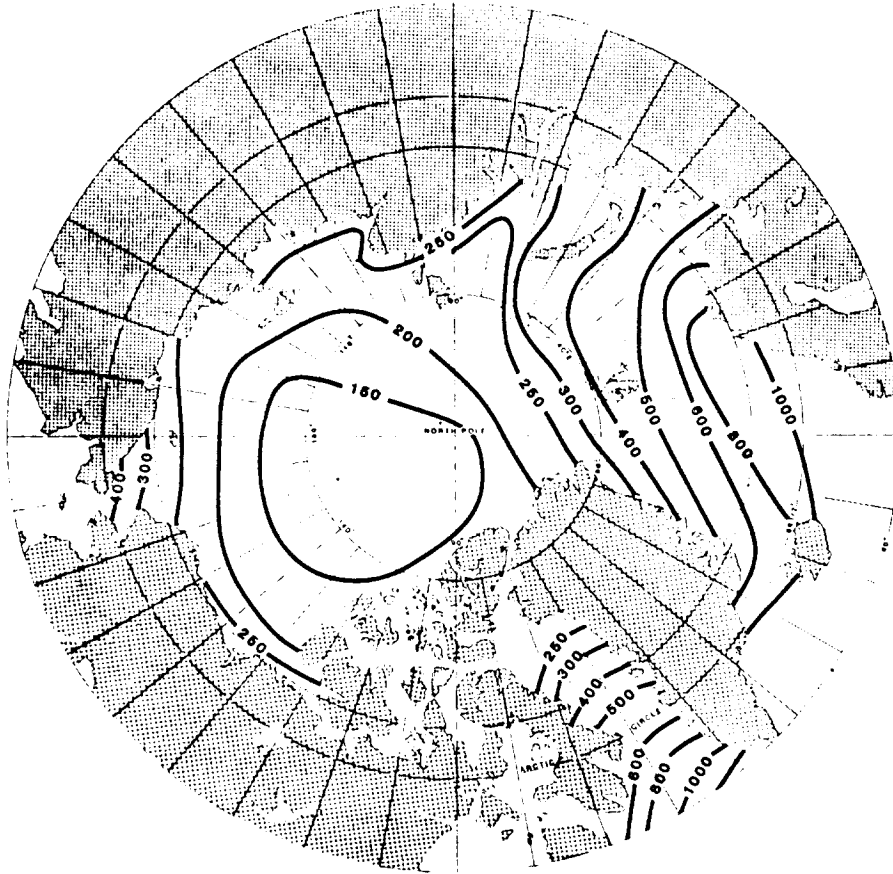


Fig. 6. Mean annual precipitation (mm), adjusted for bias. (After Gorshkov, 1983).

한편, 1월달에 평균 풍속은 6m/s 이며, 이는 저기압의 발생이 잦고 지면 역전현상이 덜 지속적이고 강하지 않은 지역보다는 큰값이다. 따라서 바렌츠해(Barents Sea)의 경우에는, 12월과 2월 사이에 풍속이 11m/s 가 넘는 때가 약 40%인데, 이는 극점에서의 10%와 비교되는 발생률이다. 보통 새로 내리는 눈은 풍속 2~3m/s의 바람에 의해 날리기 시작하며, 5~8m/s 이상의 바람에서는 지면에 쌓인 눈이 불려 올려진다.

5. 북극지역에서의 과학 연구

북극지역에서의 과학 연구는 대부분이 경제적인 활동을 직접적으로 뒷받침하기 위해서나 장차 경제적인 이득의 가능성과 군사적인 목적에 대한 기초 자료의 확보를 위해 수행되고 있다. 북극지역에서의 수 많은 과학적 탐사 노력은 극심한 기상현상과 극지 자체가 갖는 특수한 지구물리학적 현상을 파악하는 것과 관련되어 있다. 기후와 관련된 연구 프로젝트는 전 지구적인 열적 균형상태 및 대기와 해양의 순환에 있어서의 북극지역의 역할에 대한 심도깊은 연구가 포함되어 있다(C.I.A., 1978). 이외에도 영구빙결층(permafrost), 얼음의 표류, 극한지 공학, 그리고 극지에서 인간 생활에 대한 적응 능력 등 다양한 연구가 수행되고 있다.

북극지역에서의 수 많은 연구 프로젝트는 국제간의 협동 체제로서 수행되면서, 국제지구물리관측년(1957/58) 이후부터 보다 활발해진 중요한 탐험과 탐사를 통해 획득된 여러 의미있는 자료를 바탕으로 하고 있다. 특히 북극지역은 미국, 러시아, 캐나다, 그린랜드, 노르웨이 등 북극권 연안 국가들 사이에 이해관계가 첨예하게 대립되어 있는 곳이기 때문에, 이

에 대한 영토관할권은 물론 수행하고 있는 과학적 연구 또는 과학외적 사안에 대해 막대한 투자를 아끼지 않고 있다.

미국의 중요한 북극의 과학적 연구는 주로 기상현상의 이해와 자료 획득을 중심으로 한 지구물리, 고층대기물리 및 자원탐사에 대해 이루어지고 있으며, 이의 효과적인 수행을 위해 알래스카 지역에 상주 관측소의 운영과 수시로 탐사팀을 파견하여 자료를 확보하고 있다. 러시아, 캐나다, 그리고 노르웨이 등의 국가도 자국은 물론 극지역에 관측소를 운영하면서, 북극지역의 자연환경과 자원 등을 연구하고 있다(Fig. 2).

참고문헌

Aagaard, K. and P. Greisman, 1975. Towards new mass and heat budgets for the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.*, **80**, pp.3821-3827.

Central Intelligence Agency, 1978. *Atlas of the Polar Regions*.

Barry, R.G., 1989. The present climate of the Arctic Ocean and possible past and future states: *The Arctic Seas: Climatology, Oceanography, Geology, and Biology*. edited by Herman, Y., pp.1-46, Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Barry, R.G. and F.K. Hare, 1974. Arctic climate: *Arctic and Alpine Environments*. edited by Ives, J.D. and R.G. Barry, pp.17-54, Methuen, London.

Gorshkov, S.G., editor-in-chief, 1983. *World Ocean Atlas, vol. 3, Arctic Ocean*. Pergamon Press, Oxford, 184 plates.

Koerner, R.M., 1973. The mass balance of the sea ice of the Arctic Ocean. *J. Glaciol.*, **12**(65), pp.173-185.

Nakamura, N. and A.H. Oort, 1988. Atmospheric heat budgets of the

- polar regions. *J. Geophys. Res.*, **93**(D8), pp.9510-9524.
- Ohmura, A., 1984. On the cause of "Fram" type seasonal change in diurnal amplitude of air temperature in polar regions. *J. Climatol.*, **4**, pp.325-338.
- Robinson, D.A., G.J. Kukla and M. Serreze, 1986. Arctic summer cloudiness. *Six Conf Atmospheric Radiation Proc* (Williamsburg, Va.). Atmospheric Meteorological Society, Boston, Mass., pp.176-179.
- Sugden, D.E., 1982. *Arctic and Antarctic*. Barnes & Noble Books, New Jersey, p.472.
- Thorndike, A.S., 1986. Kinematics of sea ice: *The Geophysics of Sea Ice*. edited by Untersteiner, N., pp.489-549, Plenum Press, New York.
- Tsay, S.-C. and K. Jayaweera, 1984. Physical characteristics of Arctic stratus clouds. *J. Climate Appl. Met.*, **23**, pp.584-596.
- Wadhams, P., 1983. Sea ice thickness distribution in Fram Strait. *Nature*, **305**, pp.108-111.
- Whittaker, L.M. and L.H. Horn, 1984. Northern hemisphere

extratropical cyclone activity for four mid-season months. *J. Climatol.*, 4, pp.297-310.

제 2 절 북극해의 지형 특성 및 수심

1. 서론

북극해는 심해 분지, 해저 산맥, 대륙붕 및 해저 대지 등으로 구성된다 (Fig. 1). 유럽 및 시베리아 대륙붕은 매우 넓게 발달하며, 베렌츠, 타라, 랍테프, 동시베리아 및 추크치해 등의 5개 주요한 대륙주변해가 위치한다. 비교적 규모가 작은 뷰포트 및 링컨해는 북미 대륙과 그린랜드에 접하는 좁은 대륙붕 상에 위치한다. 해저 대지로는 그린랜드 및 스발바드 대륙붕 끝에 위치한 모리스 제섬 및 예막 대지와 추크치 대륙붕에 위치하여 추크치 보더랜드를 이루는 추크치 캡, 알리스 대지 등이 있다. 북극점을 가로질러 발달하는 로모노소프 해령은 북극 분지를 유라시아 및 아메라시아 분지로 양분한다.

가. 유라시아 분지

유라시아 분지는(Fig. 2) 로모노소프 해령과 랍테프, 카라, 베렌츠 및 북그린랜드 대륙붕에 의해 둘러 쌓여 있다. 분지는 다시 현재 활성인 난센-각켈 해령에 의해 난센 및 프람 분지로 나뉘며 그린랜드 해와 연결된다. 로모노소프 해령은 약 6,000만년전에 베렌츠 및 카라 대륙붕으로 부

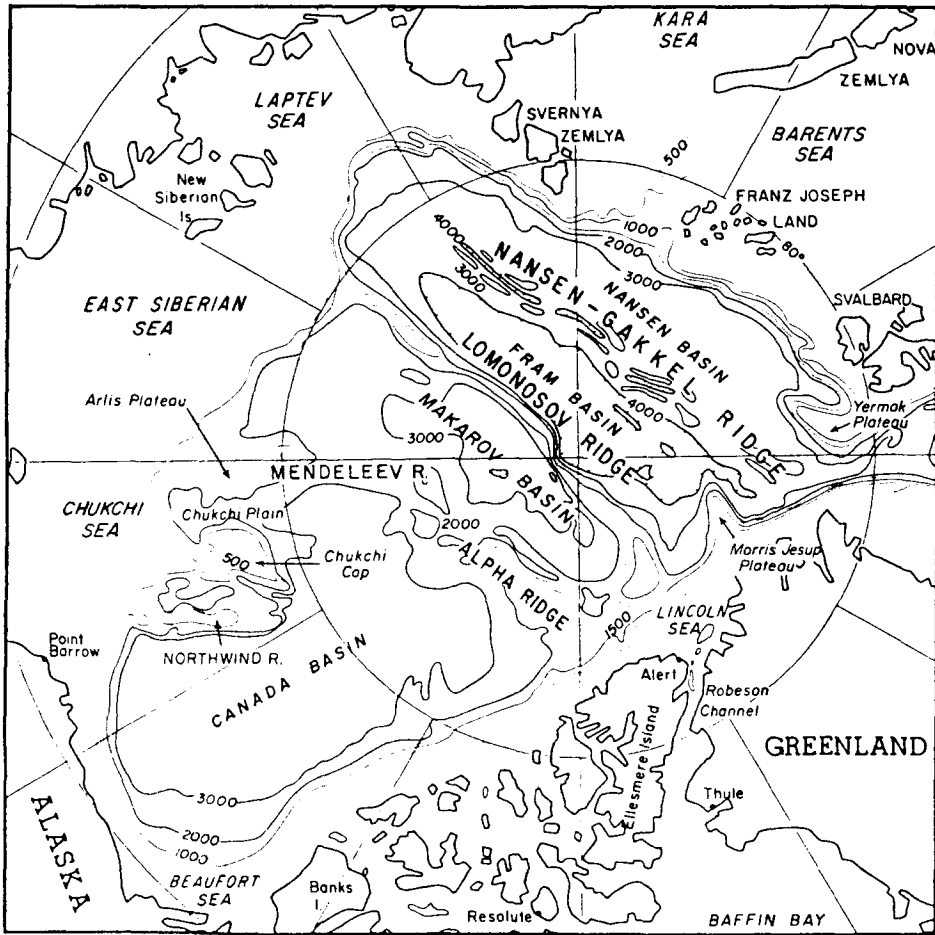


Fig. 1. Overview map of Arctic Ocean. The Lomonosov Ridge divides the Arctic Ocean Basin into Eurasia and Amerasia basins.

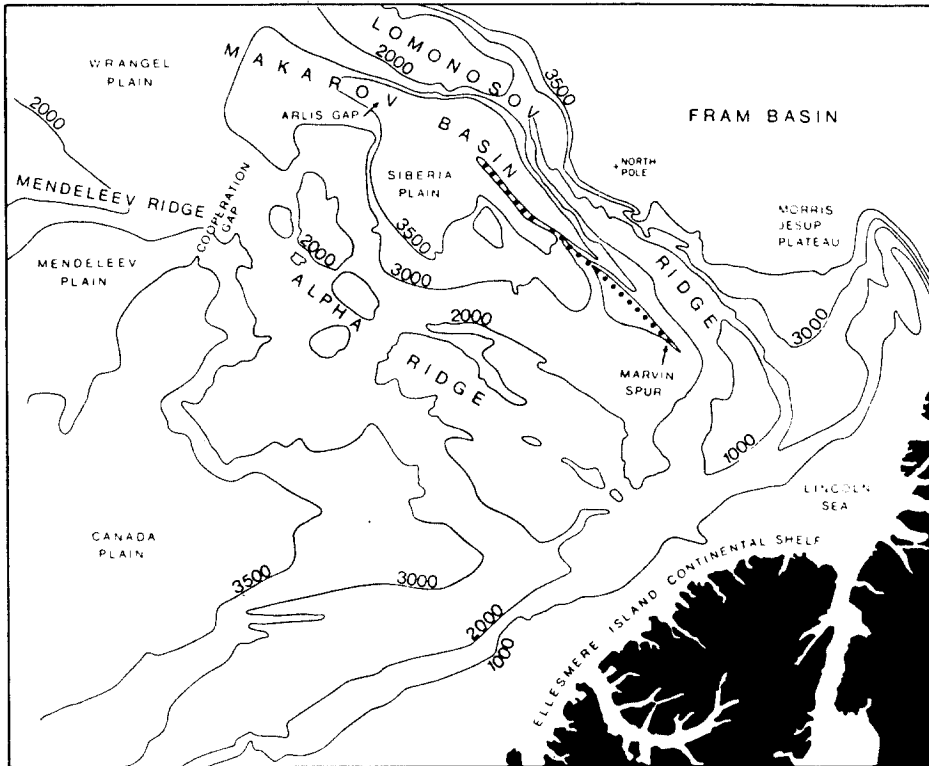


Fig. 2. Generalized bathymetric map of the Alpha Ridge. Dotted line shows location of Marvin Spur.

터 분리되어 유라시아 분지를 형성시킨 난센-각텔 해령의 해저 확장에 따라 현재의 위치로 이동된 것으로 여겨진다 (Weber & Sweenet, 1985).

나. 아메라시아 분지

아메라시아 분지는(Fig. 1) 로모노소프 해저 산맥과 캐나다 및 알라스카 대륙붕, 츠크치 보더랜드, 동시베리아 대륙붕에 의해 경계지워진다. 분지는 다시 알파 및 멘델레프 해저 산맥에 의해 캐나다 분지 및 마카로프 분지로 나뉘며, 캐나다 분지의 가장 깊은 곳은 수심이 3,800 m에 달하며 매우 평탄한 생해평원 지형을 갖는다(Fig. 2). 츠크치 켈과 멘델레프 해저산맥 사이에는 규모가 비교적 작고 최대 수심이 2,900 m에 이르는 멘델레프 심해 평원이 발달한다.

로모노소프 해저 산맥과 알파-멘델레프 해저산맥 사이에는 마카로프 분지가 발달한다. 분지는 동시베리아 대륙붕 쪽으로는 500 km 이상의 너비를 갖으나, 엘스미어 섬 쪽으로는 매우 좁아지는 썩기 모양의 형태를 보인다. 분지 내에는 랭겔 및 시베리아 심해저 평원이 발달한다.

좁게 발달하는 마빈 해저 지맥은(Fig. 2에 점선으로 표시) 시베리아 분지 쪽으로 3,000 m 수심을 따라 120 km 정도 존재하며, 엘스미어 섬 쪽으로는 최소한 400 km 정도 연장된다.

알파-멘델레프 해저 산맥은 북극해에서 가장 큰 해저산맥으로 알프스보다 그 규모가 크다. 로모노소프 해저산맥에 비교하면 깊이는 비슷하지만, 약간 더 연장되며 폭이 더 넓고, 복잡한 지형을 갖는다.

2. 연구 역사 및 배경

가. 초창기 탐험

중세 이후 19세기 말 까지 지리학자들은 북극점은 육지나 수 많은 섬들로 둘러 쌓여 있다고 믿었다. 이러한 생각은 1893년 부터 1896년 까지 난센의 탐사선인 Fram 호가 신시베리아섬으로 부터 스발바드까지 떠내려간 사실이 알려진 후 잘못된 것으로 판명되었다(Nansen, 1897). Fram 호가 떠 내려간 지역의 수심이 3,000 m 이상인 것으로 알려져 이후 많은 지질학자들은 북극해가 하나의 깊은 해분이라고 생각케 되었다.

20세기 초에 이루어진 피어리의 북극점 탐험을 지원하던 볼 바레트는 엘스미어 북측 연안에서 수 많은 음파 탐사를 수행하여 대륙붕의 모습을 밝혔다. 1913~1918년 동안 이루어진 캐나다 북극 탐험대의 일원인 Storkerson은 1918년 뷰포트해에서 음파 탐사를 수행하였다(Stefansson, 1921).

Wilkins경은 1927년에 알래스카에서 비행기로 이륙하여 베링해 북측 1,300 km 떨어진 곳에 착륙하여 폭발물 실험을 수행하였다. 이를 통해 해저면이 5,440 m 깊이에 있다는 것을 밝혔다(Wilkins, 1928). 이 수치는 후에 잘못된 것으로 판명되었지만, 약 20여년간 북극해가 하나의 깊은 해분이라는 사실을 지시하는 증거로 사용되었다. 1937년에 North Pole 1이라는 소련 연구 기지가 9개월 동안 북극점으로 부터 동그린랜드 까지 떠 내려가며 수행한 38번의 음향 수심 탐사를 통해서도 하나의 분지설이 입증되었다(Papanin, 1946). 이후 1937~1940년 동안 소련 쇄빙선 Sedov가

Fram 호의 경로를 따라 유라시아 분지 내에서 떠내려가며 수행한 음향 탐사를 통해서도 하나의 분지설이 지지되었다(Armstrong, 1958).

1941년 4월에 소련 북극 연구소는 스키 장치가 구비된 비행기를 이용하여 랭글 및 멘델레프 심해 평원 지역에서 음향 탐사, 수온 및 염분 관측, 해수 및 퇴적물 채취 등의 탐사를 수행하였다. 3회의 성공적인 비행이 이루어졌고, 이를 통해 3개 기지가 설치되었다. 한 기지에서 4-5일간 머무르며 수행한 탐사를 통해, 수심이 2,427, 1,856 및 3,370 m로 측정되었다. 이는 과거 Wilkins 경에 의해 얻어진 수심 자료가 정확한 것인지 아닌지를 판별할 자료로는 적합치 못하였다(Treshnikov, 1966). 이러한 소련의 비행기를 이용한 탐사는 배를 이용한 탐사에 비해 탐사 및 기지에 대한 위치 선정과 지원, 비용 절감 등의 여러가지 면에서 유리하여 매우 성공적이었다.

나. 2차대전 이후의 탐험

1) 소련의 활동

전쟁으로 중단되었던 북극 과학 탐사 활동은 1948년 북극 연구소에 의해 수행된 북극해에 대한 체계적인 탐사 계획인 High-Latitude Air Expeditions(HLAE)로 재개되었다. 여러 대의 비행기를 이용하여 봄철 기간의 6주 동안 유빙 위에서 조사할 수 있도록 연구팀을 수송하였다(Armstrong, 1958).

1948, 1949, 1950년 HLAE 동안에는 비교적 단기간, 즉 몇 시간에서 몇일 간 북극해에 위치하는 87개 지점에서 과학자들이 탐사를 수행하였다

(Somov, 1955). 그 결과 해저 지형에 대한 기초 자료가 수집되었고, 대서양 수층의 분포 규모 및 범위 등이 밝혀졌다. 북극 분지는 과거에 생각되었던 평탄한 심해 평원이 아니라 분지, 해저산맥, 대지 등으로 구성된 매우 복잡한 구조를 갖고 있음이 밝혀졌다. 가장 중요한 발견으로는 1948년 4월 17일 85° 26'N, 145° E에서 1,290 m라는 비교적 얇은 수심이 관측된 사실이었다. 이후 계속된 음향 탐사로 대규모 해저 산맥이 해저로 부터 3,000 m 이상 솟아있으며 엘스미어섬으로 부터 신시베리아섬 까지 1,800 km 연장되어 있음이 파악되었다.

이는 18세기 러시아 과학자인 로모노소프를 기리기 위하여 로모노소프 해저산맥으로(Lomonosov Ridge)로 명명되었다. 봄 기간 동안에 수행된 HLAE는 이후 NORTH-series로 변경되어 현재 까지 매년 수행되어 오고 있다.

1950년대에 들어 소련은 NORTH POLE-series 탐사를 시작하였다 (Gordienko and Laktinov, 1960; Treshnikov, 1960). North-series와는 달리 NP에서는 탐사 기지가 그린란드 해류에 밀려 대서양으로 이동되어 그 존재 가치가 없어질 때 까지 수년 동안 탐사가 수행되었다.

소련에 의해 수집된 수심 자료는 국제지구물리의 해 동안에 획득된 285회의 음향 탐사 기록을 제외하고는 비밀로 분류되어 과학자들이 연구에 이용하지 못하였다(Somov, 1955).

2) 미국의 활동

미국은 1951년 4월에 뷰포트해에 대한 2회의 비행기 탐사를 수행하며 북극해 탐험에 뛰어들게 되었다(Cray et al., 1952). 워싱턴은 1953년에

23개 기지에서 수행된 해양학적 관측으로 부터 북극 해저에 엘스미어섬으로 부터 신시베리아섬 까지 연장되는 해저 산맥이 존재하며, 수심은 2,300 m를 넘지 않는다고 결론지었다. 미국인들은 소련의 North- 및 NORTH-POLE 탐사에 대해 아무것도 몰랐기 때문에 이미 소련에 의해 존재가 밝혀진 로모노소프 해저 산맥을 최초로 발견하였다고 생각하였다.

1952년 부터는 비행기를 이용하여 단기간 수행하였던 탐사 활동을 유빙섬(drifting ice island)에서 연중 머무르며 장기간 지속하는 형태로 변경하였다. 이러한 유빙섬의 대표적인 것으로는 Fletcher 유빙섬 T-3이 있으며, 이는 1952년 부터 1974년 까지 연구 기지로 이용되었다(Hunkins and Tiemann, 1977). 이외에도 Alpha(1957/1958), Chalie(1959), Arlis II(1961-1965) 등이 있으며, 이중 T-3와 Alpha 기지는 국제지구물리의 해 기간 동안 미국 기지로 사용되었다.

Alpha 유빙섬은 이동 경로가 로모노소프 해저산맥과 비교적 일치하였기 때문에 상세한 지형 자료 수집에 유용하였으며, 이외에도 일반해양학, 지구물리학, 대기과학, 빙하학 연구도 수행되었다(Hunkins, 1960a, b, c, d; Hunkins et al., 1962).

1960년대에 들어 미국인들은 비행기를 이용한 탐사를 재개하였다. 해군연구소(Office of Naval Research, ONR)와 위스콘신 대학의 지구물리 및 극지연구센터의 지원으로 북알라스카 연안과 유빙섬 기지를 전진 기지로 삼고 탐사를 수행하였다. 항공기로는 세스나 180을 이용하였고, 뷰포크해, 쉘크치해 대륙붕, 캐나다 분지 등의 얼음 위에 착륙하여 측심 및 중력 탐사를 수행하였다. 이러한 활동은 1969년 까지 봄철마다 800개 이상의 지점에서 계속되었다(Wold, 1973).

1957년 이래로 미해군은 북극해에서 원자력 잠수함을 운행하였다. Nautilus(1957, 1958), Skate(1958, 1959, 1962), Sargo(1960), Seadragon (1960, 1962) 등에 의해 측심 자료가 수집되었고 분석되었다(Fig. 3).

다른 수심 자료가 부족하였기 때문에 원자력 잠수함에 의해 획득된 자료가 수심도 작성에 주요한 역할을 하였다. 그러나 당시의 잠수함 위치를 결정하는 방법이 매우 부정확하였기 때문에(Beal, 1983), 심한 경우에는 수평적으로 70 km 정도의 오차가 발생하였다. 하지만 이러한 자료조차도 지도 제작자들이 이용할 수 없도록 분류되었다(Weber, 1983).

1951년의 쇄빙선 Burton Island와 1957년의 쇄빙선 Staten Island 및 Northwind 등은 뷰포트해 깊숙히 들어가 수심을 관측하였다(Fisher et al., 1958). 이후 1972년 부터 1978년 까지 미국지질조사소에 의한 탐사와 1973년 알라스카 지구물리회사에 의한 탐사가 같은 지역에 대해 수행되었다(Greenberg et al., 1981). 이러한 자료와 서경 141° 이동 지역에 대한 캐나다의 자료를 종합하여 1981년에 Greenberg, Hart 및 Grantz는 알라스카 이북의 뷰포트해 대륙붕, 대륙사면, 대륙대에 대한 1:5,000,000 수심도를 발간하였다.

ONR에 의한 수심 관측 활동은 우선 1979년 부터 1983년 까지 FRAM I - IV 계획을 들 수 있다. 이 동안에는 봄철에 국한하여 4회 수심을 관측하였다(Kristofferson, 1982a, b; Manley et al., 1982). 이후 1983-84 기간에는 MIZEX(marginal Ice Zone Experiment)가 수행되어 Fram 해협에 대한 수심 관측이 이루어졌다.

3, 캐나다의 활동

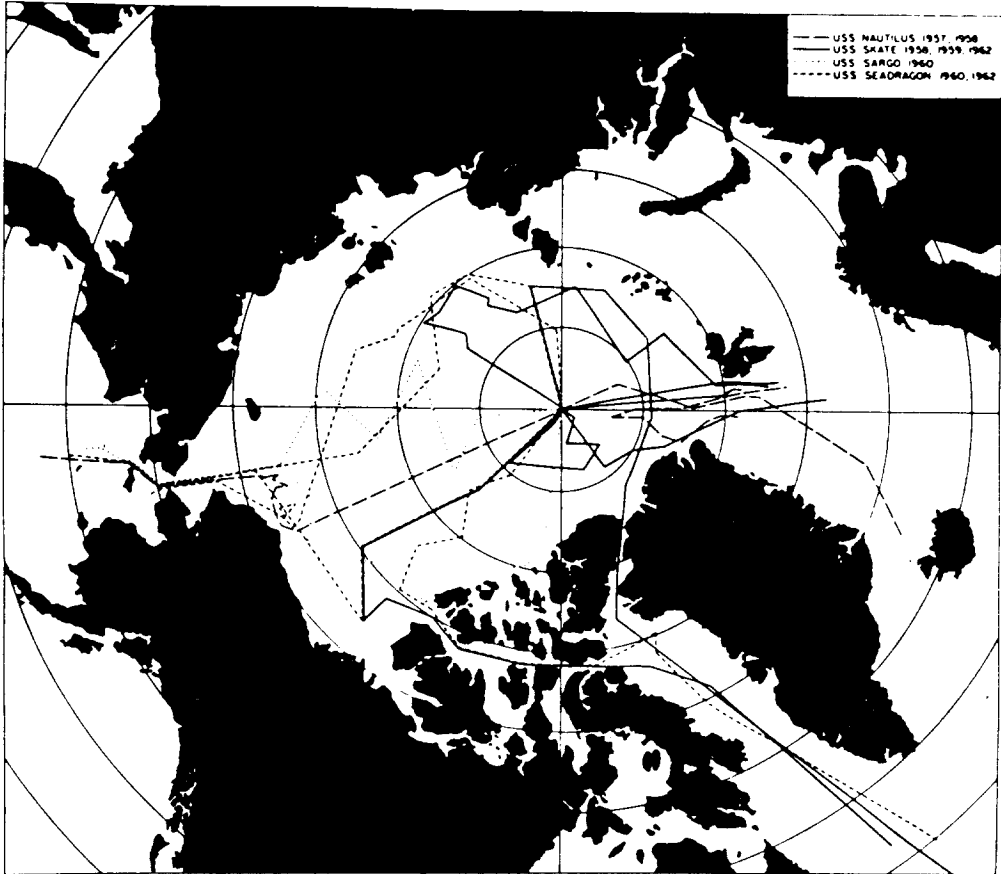


Fig. 3. U.S. nuclear submarine tracks in the Arctic Ocean 1958-1962.

캐나다는 1958년에 Polar Continental Shelf Project가 탄생한 이후 북극해에 대한 조직적인 탐사를 수행하였다. 이는 캐나다 동력자원부에 의해 관리되었으며, 1960년대에는 수로국이 참여하여 북극 대륙붕에 대한 지도를 제작하였다. PCSP는 NORTH POLE EXPEDITION(1967, 1969), LOREX 79, CESAR 83 등의 다른 북극 탐사 활동도 지원하였다. NPE 탐사는 비교적 소규모로 수행되어 극점 부근에 대한 측심과 링컨해와 북극점 사이 지역에 측심 및 중력 기기 설치 작업을 수행하였다.

여러 분야가 참여한 LOREX 79(Lomonosov Ridge Experiment)는 로모노소프 해령의 특성 및 기원을 규명하고자 대규모로 수행되었다(Weber, 1979). 270회 헬기 착륙 지점에서와 총연장 800 km에 달하는 측심이 이루어졌다.

LOREX와 유사한 규모와 목적을 갖고 수행된 CESAR 83(Canadian Expedition to study the Alpha Ridge)에서는 엘스미어섬의 대륙붕과 알파 해저산맥 지역에 대해 1,300번 정도의 측심을 수행하였다.

1984년 PCSP는 Ward Hunt Ice Shelf로 부터 떨어져 나온 얼음섬에 약 35 평방미터의 면적을 갖는 영구 캠프를 설치하였다(Jeffries, 1985). 1985년에는 캠프가 Nansen Sound 부근으로 이동되었을 때 이를 전진 기지로 삼아 77개의 수심 및 중력 기지를 대륙붕 상에 설치하였다. 이와 병행하여 굴절과 탐사도 수행하였다(Asudeh et al., 1985)(Fig. 4).

4) 노르웨이, 영국 및 스웨덴의 활동

지난 1970~80년대의 20년 동안 노르웨이의 어선들에 의해 수집된 북극해 일대에 대한 수심 자료는 노르웨이 극지연구소의 크리스토퍼슨에 의

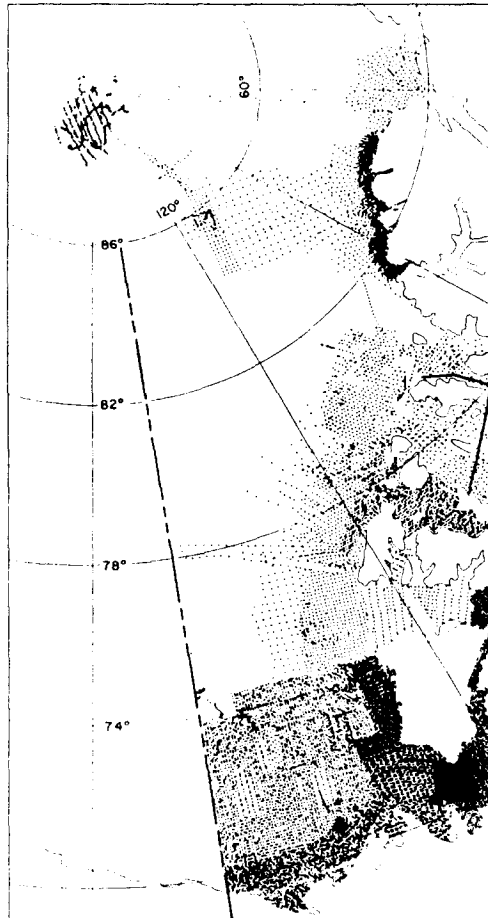


Fig. 4. Plot of Canadian bathymetric and gravity stations established on the Arctic Ocean and adjoining interisland waters as of 1985.

해 종합되었다. 이는 1985년 Peny와 그의 동료들에 의해 발간된 북극해 수심도에 포함되어 있다.

1975년과 1976년에 영국의 원자력 잠수함 Sovereign에 의해 수집된 수심 자료는 1979년 GEBCO 지도에 종합되었다.

1980년에 북동 항로를 통해 Nordenskjold 까지 최초로 항해하였던 스웨덴 해군의 쇠빙선 Ymer는 프랭 해협과 베렌즈해에서 해양학 및 지구물리학 연구를, 에 맥 대지에서는 측심 작업을 수행하였다.

다. 북극해에 관한 지도 및 해도

1) 최초의 소련 지도(1954)

로모노소프 해저 산맥의 존재를 최초로 밝힌 북극 해저에 관한 지도. 1954년 이전에 소련이 수행한 북극 탐사를 모르던 세계 여러 국가들에게 큰 충격을 줌.

2) DRB 해도(1956), Fig. 5.

캐나다에 의해 발간된 수심도. 소련 지도를 기초로 제작. 알파-멘델레프 해저산맥을 최초로 포함한 지도로 한 동안 소련 이외의 국가에서 가장 우수한 지도로 평가됨.

3) 2번째 소련 지도(1960)

캐나다 분지, 알파-멘델레프 해저산맥, 마카로프 분지 등이 상세히 포함되었으나, 난센-각켈 해저산맥은 미포함.

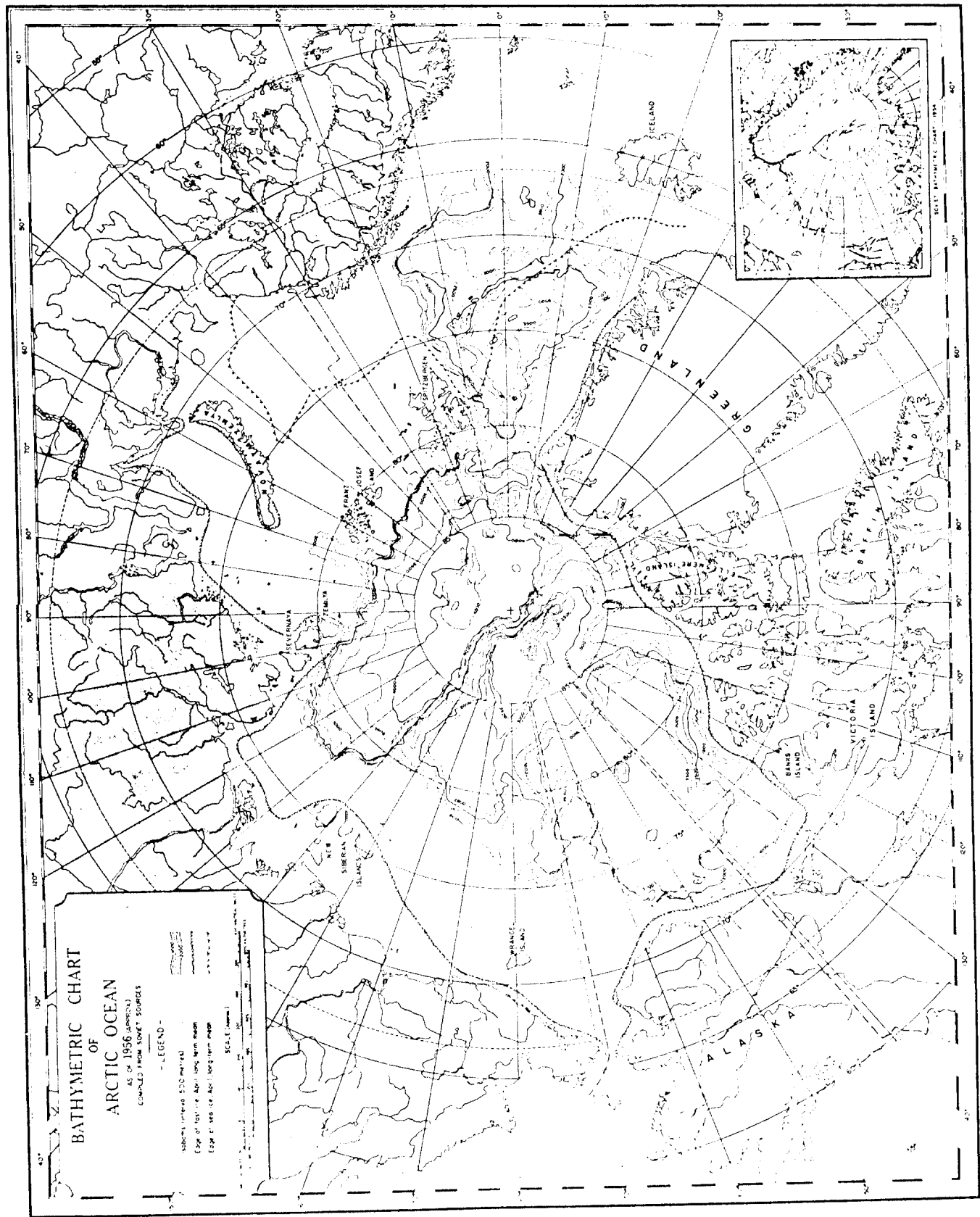


Fig. 5. Defense Research Board of Canada bathymetric chart (1956) of the Arctic Ocean.

4) Heezen과 Ewing에 의한 지도(1961)

지진의 진앙 위치를 결정하는 방법과 소련 자료를 재분석하여 유라시아 분지에 대해 제작성한 지도. 유라시아 분지를 가로지르는 중앙 해령이 포함됨.

5) Ostenso의 지도(1961)

이용 가능한 모든 자료를 종합하여 만든 새로운 지도로, 200, 500, 1000, 2000, 3000, 3800, 4000, 5000 m 등심선이 표현됨. 축적은 1 : 18,000,000

6) 캐나다 수심도(1967)

캐나다 수로국에 의해 발간된 두장의 수심도. 서경 0 - 90 와 90 - 180 지역 중 72 이북의 지역을 표현. 6가지 색으로 수심 표현. 축적은 1 : 2,000,000.

7) GEBCO 지도(1968)

캐나다 수심도(1967)을 기초로 프랑스 국립지리연구소가 만든 수심도. 축적은 1 : 3,000,000. 육지도 1,000 m 간격으로 색으로 표현됨.

8) The British Admiralty North Polar Chart (1969)

리치에 의해 종합되어 영국수로국에서 1 : 7,500,000 축적으로 발간.

9) Heezen과 Tharp의 지도(1975)

미국 지리학회 발간. 1 : 5,000,000 축적. 18가지 색으로 해저 8,000 m 부터 지상 5,000 m 까지 표현. Beal(1969)의 자료를 주로 이용. 정확한 자료가 없었지만 추측에 의해 해저면을 10 m 간격으로 상세히 표현.

10) Sobczak의 북극 수심도(1978)

축적 1 : 7,500,000. 500 m 간격. 250,000회 측심 자료를 종합. EMR의 Earth Physics Branch가 발간.

11) GEBCO 지도(1979)

캐나다 수로국이 발간. 64 이북 지역 표현. 축적은 1 : 6,000,000. 조사선, 잠수함, 유빙섬 기지의 이동 경로 등이 포함되어 해도의 신뢰도를 높임.

12) Perry 등에 의한 북극해 수심도(1985), Fig. 6, Fig. 7

미해군 연구실이 1 : 4704475 축적으로 발간. 1984년 까지의 모든 가능한 자료를 종합.

13) CESAR 수심도(1986), Fig. 8a, b, c

1983년의 CESAR 탐사시 1,300 지점에서 실시된 측심 자료와 미국, 캐나다 등의 기존 자료를 종합하여 작성한 100 m 등심선 지도.

3. 대륙 주변부의 지형 특성

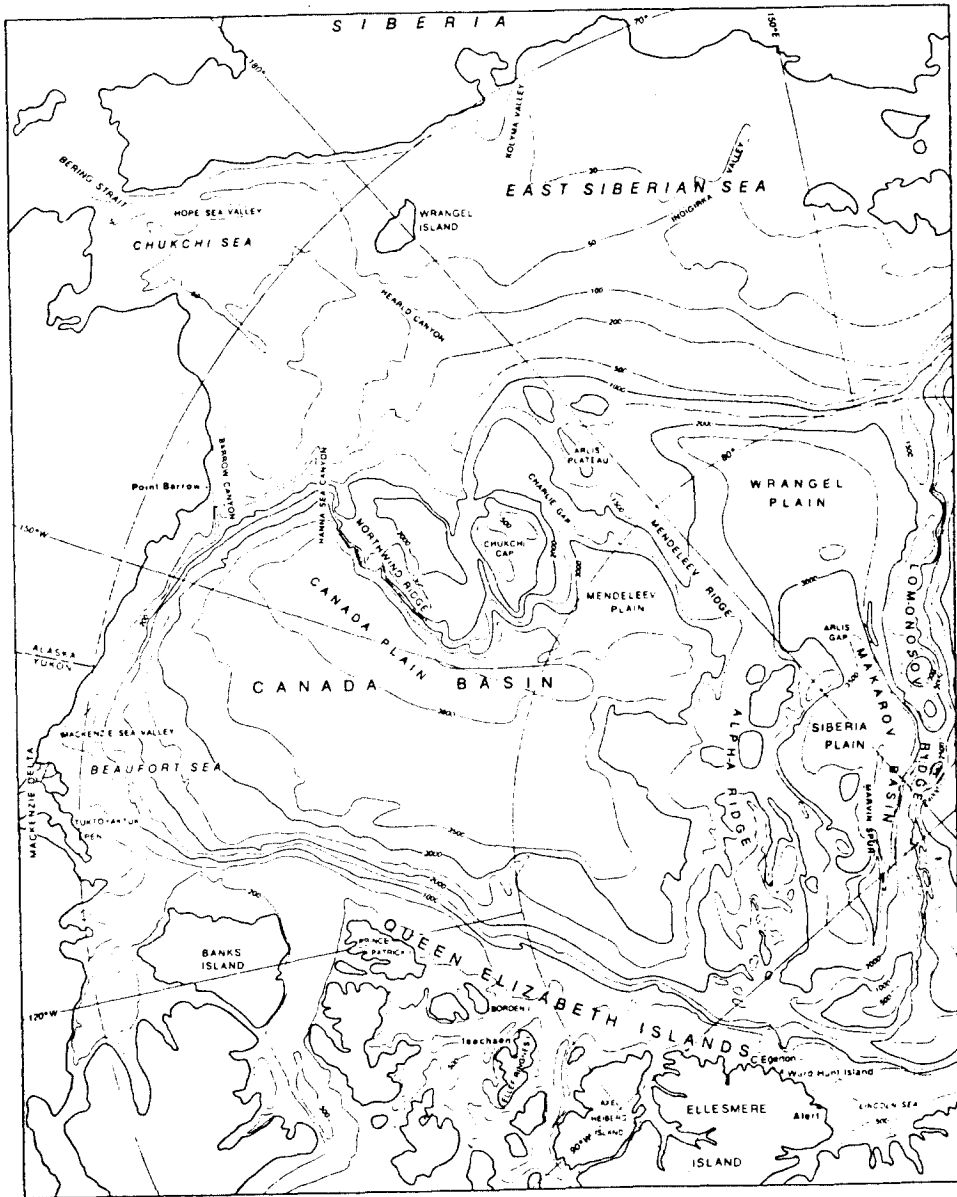


Fig. 6. Bathymetric map of the Amerasia Basin.

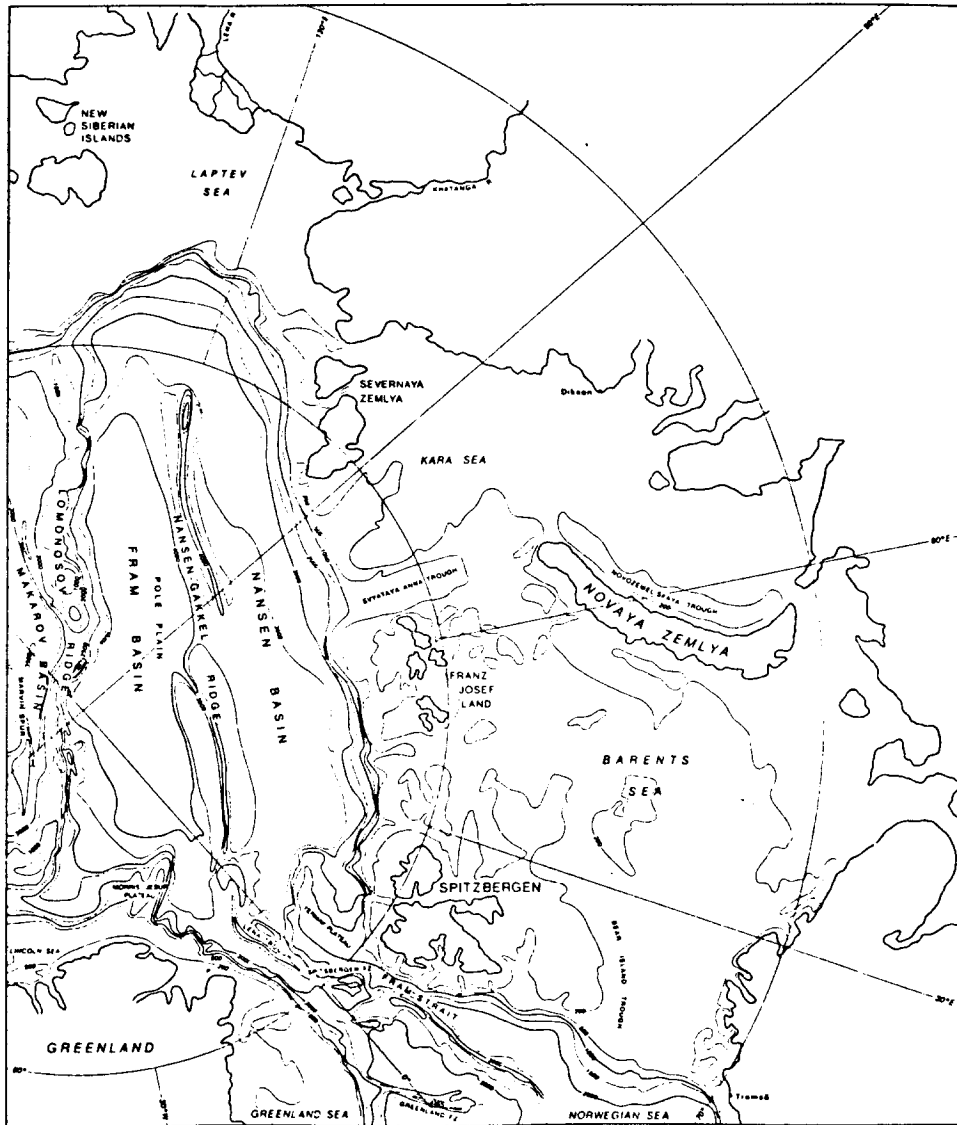


Fig. 7. Bathymetric map of the Eurasia Basin compiled from Perry et al.'s 1985 chart.

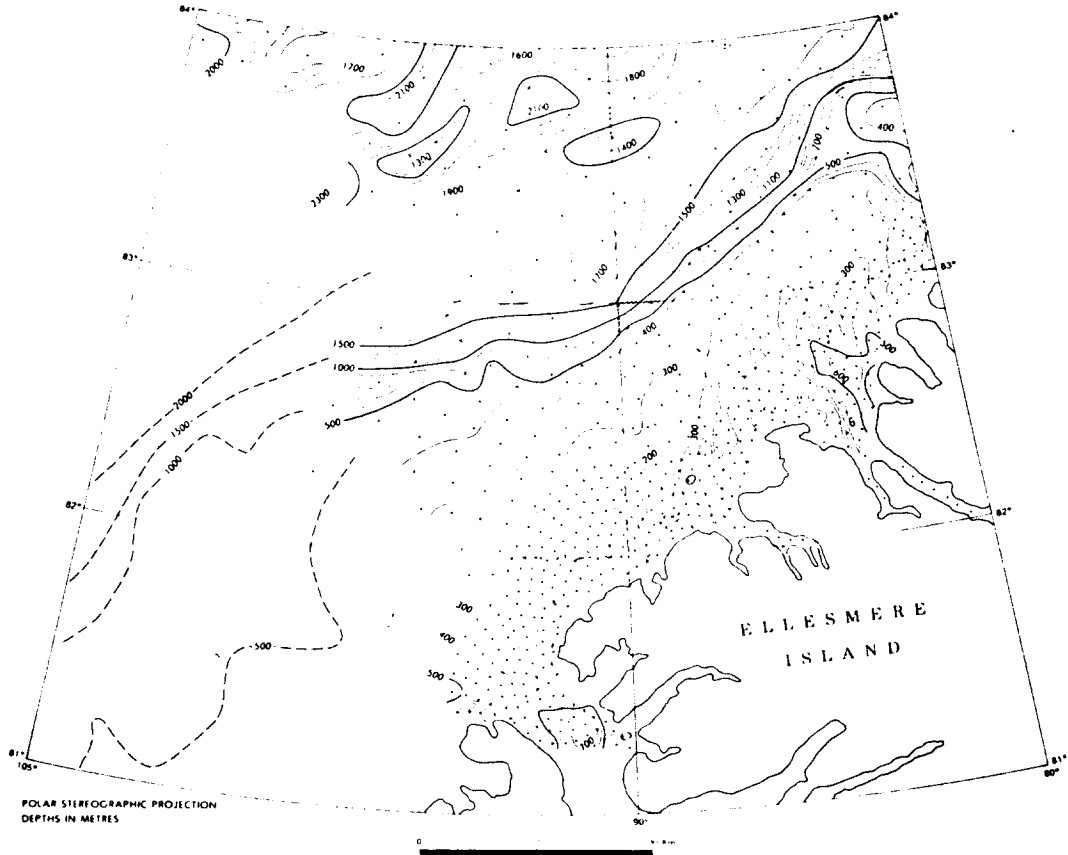
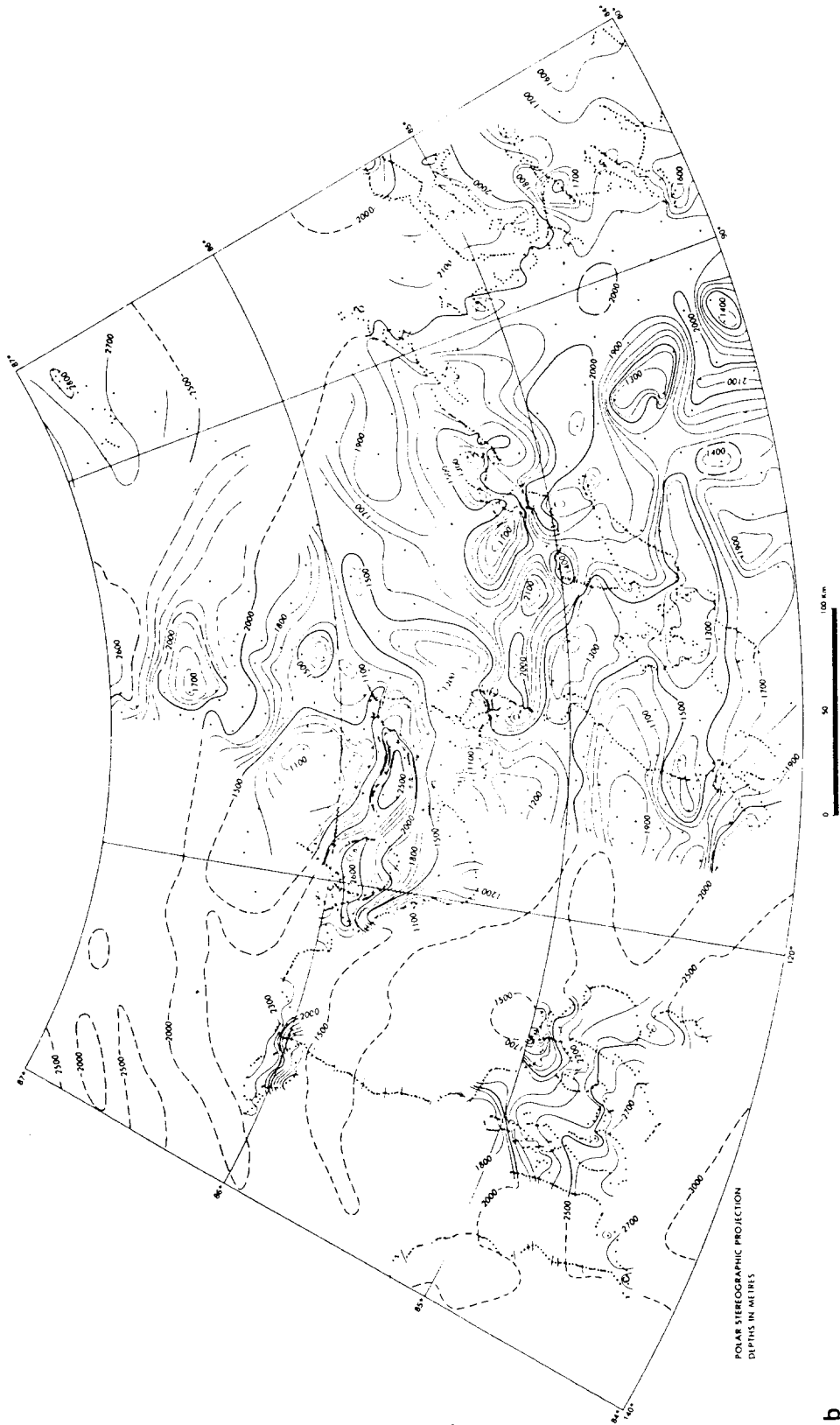
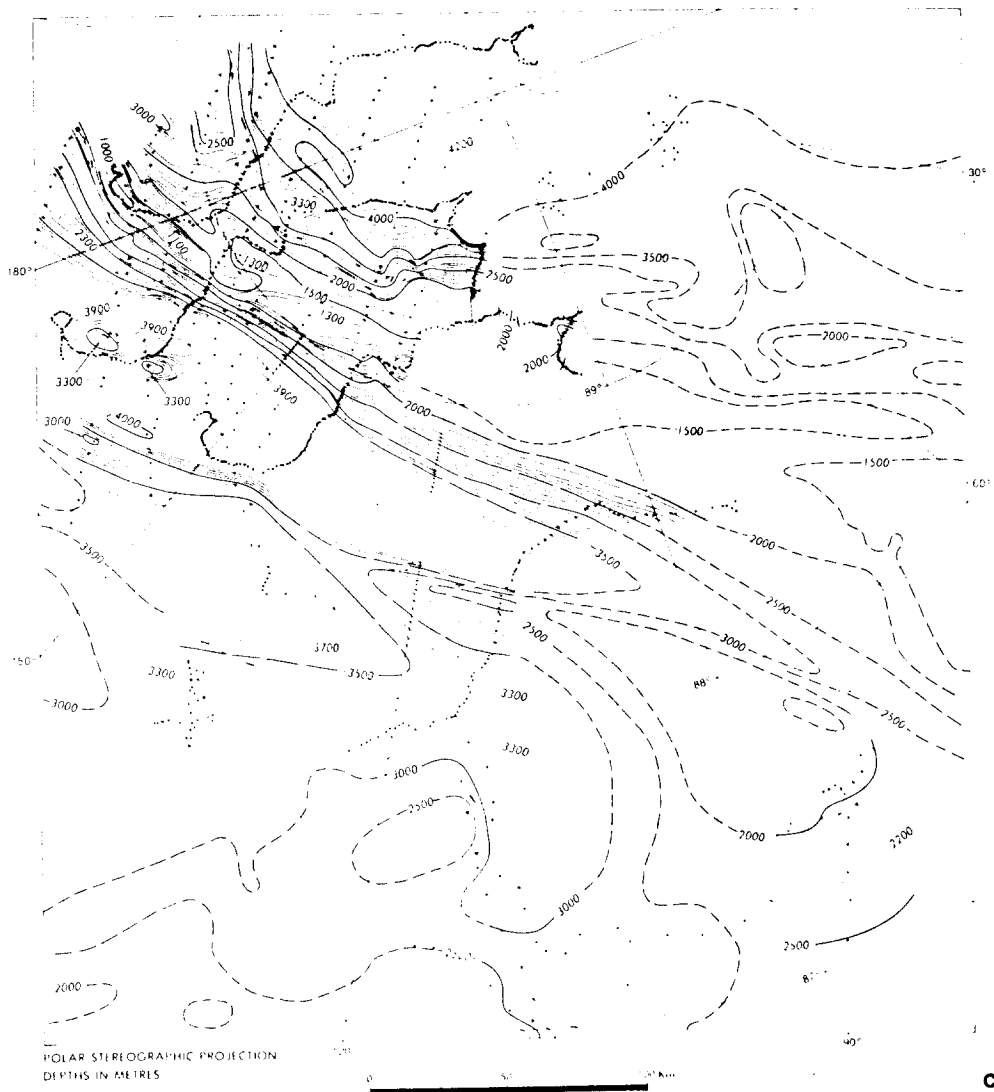


Fig. 8. CESAR 83 and LOREX 79 bathymetric maps.





C

가. 대륙붕, 대륙사면, 대륙대

북극해의 약 2/3는 대륙붕으로 이루어져 있다. 시베리아 및 유럽의 대륙붕은 폭이 가장 넓고 수심은 얕다(Figs. 6 & 7). 그 반면 그린랜드와 북미 대륙붕은 폭이 비교적 좁으며 수심이 깊다(Fig. 6).

나. 대륙 주변부의 해저 대지

- Morris Jesup Plateau: 그린랜드 북측 연안으로 부터 프랩 분지 방향으로 240 km 연장됨 (Fig. 7)

- Yermak Plateau: 스피츠베르겐으로 부터 바다쪽으로 발달(Fig. 7).

- Chukchi Borderland: Northwind Ridge, Chukchi Cap, Arlis Plateau로 구성되며, 600 km * 600 km의 면적을 갖음(Fig. 6).

4. 분지 및 심해평원의 지형 특성

가. 유라시아 분지 (Fig. 7)

난센-각켈 해저산맥을 경계로 북쪽의 프랩 분지와 남쪽의 난센 분지로 나뉜다. 난센 분지에는 베렌츠 심해 평원이, 프랩 분지에는 Pole 심해 평원이 발달함.

나. 아메라시아 분지 (Fig. 6)

알파-멘델레프 해저산맥을 경계로 마카로프 분지와 캐나다 분지로 나뉜다. 마카로프 분지의 썩기 형태이며, 랭겔 및 시베리아 심해 평원으로 구성됨. 캐나다 분지는 캐나다, 추크치, 멘델레프 심해 평원으로 구성됨.

5. 해저 산맥

가. 중앙해령

◦ 난센-각켈 해령 (Fig. 7) : 북미 판과 유라시아 판의 경계로 대서양 중앙해령의 연장. 길이 1,500 km

나. 무지진 해저 산맥

◦ 1,700 km 길이의 로모노소프 해저산맥과(Fig. 7) 알파-멘델레프 해저 산맥 복합체가(Figs. 5, 8 & 9) 있다.

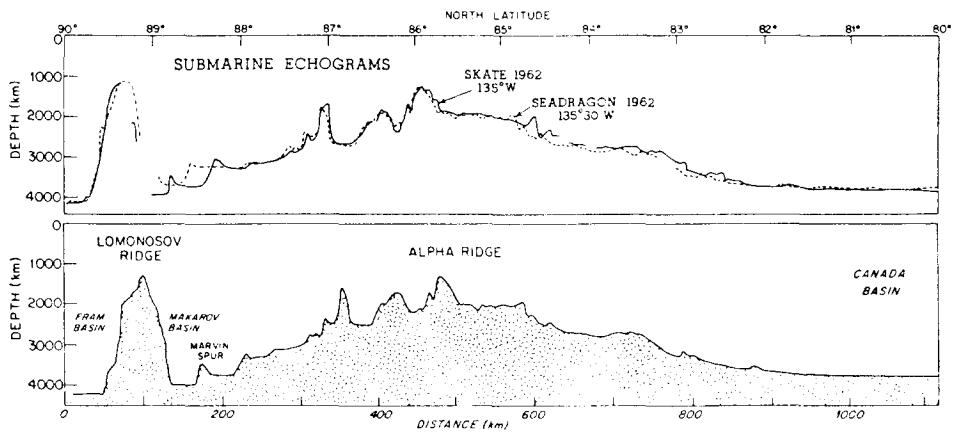


Fig. 9. Top: Echograms of the U.S. nuclear submarine Skate and Seadragon that sailed from the North Pole along the 135 W meridian in 1962. Bottom: Depth profile compiled from the Skate echogram corrected vertically and horizontally.

참고문헌

- Armstrong, T. 1958. The Russians in the Arctic. Aspects of Soviet Exploration and Exploitation of the Far North, 1937-57. Methuen, London. 182p.
- Beal, M.A. 1983. Letters to the editor. *Arctic* 36: pp.372-373.
- Committee on Polar Research. 1970. Geology and solid-earth geophysics of the polar regions. In: Polar Research - A Survey. Washington, D.C.: U.S. National Academy of Sciences.
- Crary, A.P., R.D. Cotel, and J. Oliver. 1952. Geophysical studies in the Beaufort Sea, 1951. *Trans. Am. Geophys. Union* 33: pp.211-216.
- Fisher, R.L., A.J. Carsola, and G. Shumway. 1958. Deep-sea bathymetry north of Point Barrow. *Deep-Sea Res.* 5: pp.1-6.
- Gordienko, P.A., and A.F. Laktinov. 1960. Principal results of the latest oceanographic research in the Arctic Basin. Akad. Nauk. SSSR., *Isvestiya, Geographical Series* 5: pp.22-23.
- Green ber, J., P.E. Hart, and A. Grantz. 1981. Bathymetric map of the Continental Shelf, Slope and Rise of the Beaufort Sea North of

- Alaska. Miscellaneous Investigations Series, U.S. Geological Survey, 5p and map.
- Hunkins, K., 1960a. Seismic Studies of the Arctic Ocean Floor. Air Force Cambridge Research Laboratory, AF 19(604)-2030, 15p.
- Hunkins, K. 1960b. Geophysica and Oceanographic Research in the Arctic Ocean. Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University. Final Report AF 19 (604)-2030, ASTIA 253807.
- Hunkins, K. 1960c. Results of Depth Soundings Taken from Drifting Station Charlie in the Arctic Ocean. Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University.
- Hunkins, K. 1960d. Results of Depth Soundings Taken at Drifting Station Bravo (T-3) in the Arctics Ocean. Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia Universtiy.
- Hunkins, K., and W. Tiemann. 1977. Geophysical Data Summary for Fletcher's Ice Island (T-3) May 1962-Oct. 1974. Office of Naval Res., Tch. Report No. Cu-1-77, Washington, D.C.
- Hunkins, K., T. Herron, H. Kutschale, and G. Peter. 1962. Geophysical

- studies of the Chukchi Cap, Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.* 67: pp.235-247.
- Jeffries, M.O. 1985. Ice shelf studies off Northern Ellesmere Island, Spring 1983. *Arctic* 38: pp.147-177.
- Kristofferson, Y. 1982a. U.S. Ice Drift Station FRAM-IV: Report on Norwegian Field Program. Norstk Polar Institutt, Rapportserie No. 11, Oslo, 60p.
- Kristofferson, Y. 1982b. The Nansen Ridge, Arctic Ocean. Some geophysical observations of the rift valley at slow spreading rate. *Tectonophysics* 89: pp.161-172.
- Manley, T.O., L.A. Codispoti, K. Hunkins, H.R. Jackson, E.P. Jones, V.Lee, S. Moore, J. Morison, T.T. Pachard, and P. Wadhams. 1982. The FRAMIII Expedition. *EOS* 63: p.35.
- Nansen, F. 1987. Farthest North. Archibald Constable & Co., London, vol. 1, 510p. and vol. 2, 671p.
- Papanin, I. 1946. Life on an Icefloe. Translated from the Russian by Fanny Smitham. Hutchinson & Co., London, 240p.

Perry, R.K., H.S. Fleming, J.R. Weber, Y. Kristoffersen, J.K. Hall, A. Grantz, and G.L. Johnson. 1985. Bathymetry of the Arctic Ocean.

Bathymetric chart, 1.49m by 1.06m, scale 1: 4 704 075. Naval Research Laboratory, Washington, D.C.

Somov, M.M. 1955. Observational data of the scientific research drifting station of 1950-1951. vol. I, sec. 4, Moroskoy Transport, Leningrad. (Translated by D. Kraus. American Meterological Society, Boston ASTIA Document No. AD 117135, 59p.)

Stefansson, V. 1921. The Friendly Arctic. New York, Macmillan, 784p.

Treshnikov, A.F. 1960. The Arctic discloses its secrets. Priroda 2: pp.25-32. (Translated from the Russian by E.R. Hope. Defense Research Board Translation T357 R. Aug. 1961, 12p.)

Treshnikov, A.F. 1966. At the Poles of the Earth. Sovetskaya Rossiya Publishing House, Moscow. (Translated from the Russian. Secretary of State Translation Bureau No. 123842, 30p.)

Weber, J.R. 1979. The Lomonosov Ridge Experiment. LOREX 79. *EOS* 60: pp.715-721.

Weber, J.R. 1983. Maps of the Arctic Basin seafloor: A history of bathymetry and its interpretation. *Arctic* 36: pp.121-142.

Weber, J.R., and J.F. Sweeney, 1985. Reinterpretation of morphology and crustal structure in the Central Arctic Ocean Basin. *J. Geophys. Res.* 90: pp.663-677.

Wilkins, G.H. 1928. Flying the Arctic. G.P. Putnam Sons, New York, 222p.

Wold, R.J. 1973. Gravity Surveys of the Arctic Ocean Basin. Dept. of Geological Sciences, Milwaukee, 222p.

제 2 장
북극의 과학연구
(Scientific Researches
of the Arctic)

제 1 절 북극의 지체 구조

1. 서론

북극 지역에 대한 지구조 발달사에 관한 연구는 여러차례 수행되었으나, 현재 까지 명확하게 규명되지 못한 상태이다. 지난 50년간 연구를 종합해 보면 북극의 지구조사는 두개의 상반된 개념에 의해 설명될 수 있다. 하나는 고정론자의 관점에서 제기된 학설로 Hyperborean Platform이 단층을 따라 갈라지며 침강하여 북극 분지를 형성하였다는 내용이다(Shatsky, 1935). 또 다른 하나의 학설은 운동론자에 의해 제안된 것으로 독일의 Wegener에서 부터 유래되었다(Koppen and Wegener, 1924). 이는 북아메리카 대륙이 유라시아로 부터 떨어져 나가며 북극 분지가 형성되었다는 학설로 Du Toit(1937)에 의해 지지되었다.

아직도 일부 지질학자는 북극 분지가 대륙 지각의 침강에 의해 생성되었다는 학설을 지지하고 있으나(Pushcharovsky, 1960, 1976; Udintsev, 1984; Pogrebitsky et al., 1984), 판구조론에 기초한 이론이 여러 현상을 가장 잘 설명하고 있는 것으로 생각된다(Heezen and Ewing, 1961; Karasik, 1968; Churkin, 1973; Ostenso and Wold, 1973; Tailleir, 1973). 1970~80 년대에 들어 북극 분지의 해저 지형이나, 구조, 자기 기록 등에 관한 수 많은 자료가 획득되었고, 이에 따라 판구조론에 따른 북극해 발

달사가 규명되었다.

북극 분지의 판구조론적인 복원에 기초된 자료로는 북미 및 유라시아 대륙의 상대적인 위치에 관한 자료를 들 수 있다. 이에 따르면 데본기 부터 백악기 중엽 까지 두 대륙은 유라메리카 또는 로라시아로 불리는 하나의 대륙으로 합쳐져 있었다. 이러한 사실은 북대서양 해저에서 밝혀진 자기 기록과 양대륙이 과거에 하나의 대륙으로 붙어 있었던 것 처럼 잘 맞춘다는 점에 의해서도 잘 입증된다. 지질학자들에 따르면 유라시아 분지는 대략 6,000 만년 전에 형성되기 시작되었다(Karasik et al., 1983; Savostin et al., 1983; Srivastava, 1985).

과거 유라시아 대륙주변부를 이루던 로모노소프 해저 산맥은 해저 확장에 의해 분리 이동되어 제3기 이전에 현재의 위치에 도달하였던 거승로 생각된다. 캐나다 분지는 그 형성 시기에 대해 여러 의견이 제시되고 있으나, 캐나다 분지에서 획득된 자기 기록의 해석에 의하면 125~155 Ma 전에 해저 확장에 의해 형성되었다고 생각되었다(Vogt et al., 1982, 1984). 그러나, 이후 Sweeney(1985), Jackson 등(1986)의 연구에 의하면 주라기 말에서 초기 백악기 동안에(113~144 Ma) 형성되었다고 여겨진다. 그 이후 백악기 말에(80~118 Ma) 새로이 해저 확장이 시작되어 해양 지각이 형성되었다.

알파-멘델레프 해저 산맥의 형성에 관해서도 여러 이론이 제기되었다. 1977년 Hall은 해저 산맥을 과거에 활동하였던 중앙 해령의 잔유물로 해석하였다. 이후 1983년 CESAR 탐사 동안 수행된 굴절파 탐사를 통해 알파 산맥 하부에 최대 40 km 두께의 지각이 존재함이 발견되어 잔유물 이론은 폐기되었다(Jackson and Johnson, 1984; Jackson et al., 1986).

1986년 Jackson 등은 3중 교차점(Triple Junction) 가까이에 존재하였던 Hot Spot 이론을 제안하였다.

동북극 지역에 분포하는 알래스카, 추코트카, 노보시비로스크 제도 등을 이루는 여러 대륙 지괴의 위치를 재구성하는데는 크게 두가지 관점이 존재한다. 첫째로는, 알래스카와 추코트카가 북미 대륙에 대해 일정한 위치를 유지하였거나 또는 틴티나 단층을 따라 남동쪽으로 부터 이동하였다는 것이다(Churkin and Trexler, 1981; Jones, 1980). 둘째로는 추코트카, 알래스카 등이 캐나다의 북극 도서 지역으로 부터 분리 이동되어 캐나다 분지가 형성되었다는 것이다(Heron et al., 1974; Fujita, 1978; Freeland and Dietz, 1978; Burke, 1984; Nonenshain, 1984). 이 두가지 이론 중 후자가 비교적 여러 가지 지질학적 현상을 보다 정확히 설명할 수 있다고 여겨진다. 따라서 본 보고에서는 후자에 대하여 상세히 알아보려고 한다. 총 11 장의 지도를 통하여 고생대 오르도비스기 말 부터 후기 백악기 까지(65~460 Ma) 북극 지역이 판구조론적으로 어떻게 변화하였는지 살펴볼 것이다.

북극의 지구조 발달에 중요한 영향을 미친 대륙으로는 동부 유럽, 북미, 시베리아, Arctida 등을 들 수 있다. 동유럽과 북미 대륙은 약 4억년 전에 충돌하여 유라메리카를 형성하였다. Arctida는 데본기 말에 유라메리카와 합쳐졌고, 고생대 말에는 시베리아와 다시 합쳐졌다. 고생대 말에 판게아 대륙의 북부에는 로라시아가 형성되었다. 중생대의 대륙 이동 동안에는 Arctida가 여러 지괴로 분리되었으며, 후에 다른 대륙과 합쳐져 현재 북극 분지 대륙 주변부를 이루고 있다.

2. 지질 자료

북위 60° 이북의 북극 지역에 분포하는 주요한 지구조 복합체는 Fig. 1에 도시되어 있다. 이는 크게 다음의 세가지 구조로 구성된다. 첫째로는 중생대 말 이후 신생대 동안 생성된 비교적 젊은 해양 분지를 들 수 있다. 둘째로는 넓은 대륙붕과 육상의 저지대로 고생대 말 이후 지괴 침강에 의해 형성된 퇴적 분지가 분포하는 지역이다. 세번째로는 고기의 순상지로 이루어진 대륙 지괴로 Precambrian 말 또는 고생대 Platform과 습곡대로 피복되어 있다.

노르웨이 - 그린란드 및 유라시아 분지의 해양 지각은 지난 5,500 만년 동안 Mohns, Kinppovich, Gakkel Ridges에서 발생한 해저 확장에 의해 생성되었다.

3. 지구조 발달사

가. 460 Ma (Fig. 2)

주로 고지자기 자료에 의하면 동유럽, 시베리아, 북미, Arctida의 4개 대륙이 적도 부근에 분포하였다. 유럽과 북미 사이에는 Iapetus Ocean이 존재하였고, 동유럽과 시베리아 및 카작스탄 사이에는 우랄해가 존재하였다. Arctida는 길이 4,000 km, 너비 2,000 km에 달하는 독립적인 대륙이었으며, 시베리아 및 북미와는 비교적 좁은 해협에 의해 분리되었다.

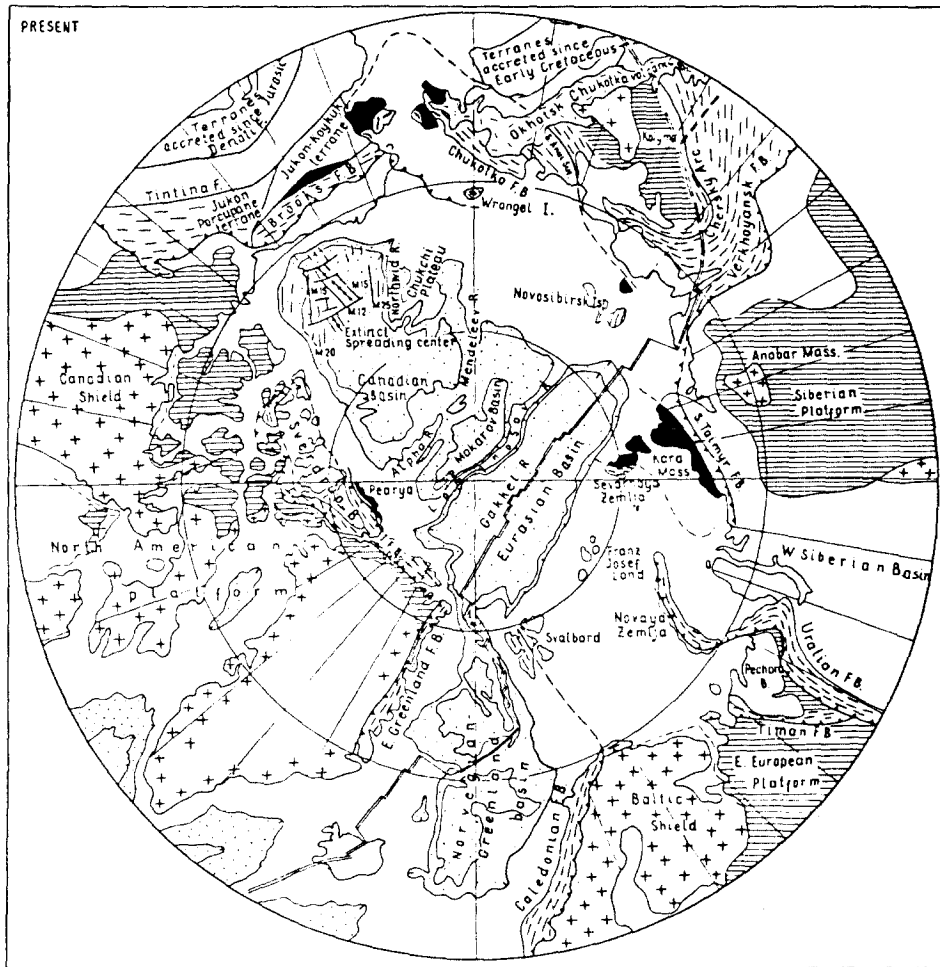


Fig. 1. Main geological structures of the Arctic.

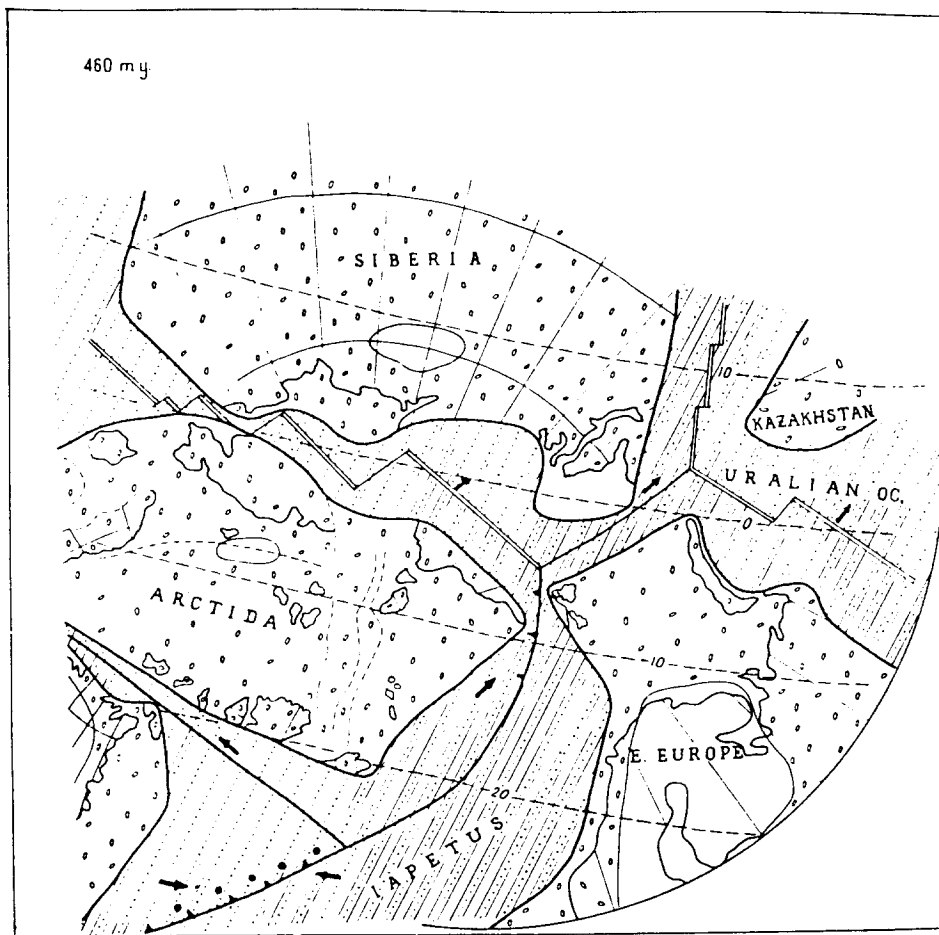


Fig. 2. The 460 my reconstruction.

나. 400 Ma (Fig. 3)

데본기에 접어들며 북미가 동유럽과 충돌하여 Iapetus Ocean이 소멸되었다. 그 결과 광범위한 지역에 Caledonides 조산대 즉, Old Red 대륙이 형성되었다. 우랄해는 더욱 확장되어 최대 2,500 - 3,000 km의 폭을 갖게 되었고, 이는 판탈라사와 고테티스해를 연결하는 해협으로 존재하였다. 북극 대륙은 오르도비스기 동안에 열대 지역에 위치하였으나, Old Red 퇴적층으로 볼 때 남반구의 건조 기후대에도 위치하였던 것으로 생각된다.

다. 340 Ma (Fig. 4)

석탄기에 들어서 Arctida는 유라메리카와 충돌하였고 이는 주라기까지 일부 지역에서 지속되었다. Brooks Ridge에서 그린랜드 북부까지 펼쳐 있던 Inmuitial 습곡대는 더욱 확장되어 Severnaya Zemlya의 Caledonian 구조에까지 이르렀다. 우랄해는 상당히 축소되었고, 고생대 말의 판게아 대륙의 윤곽이 점차 형성되기 시작하였다. 이 시기 동안에는 북극 대륙이 북반구의 저위도 지방에 위치하였다.

라. 280 Ma (Fig. 5)

석탄기 말 - 퍼미안 초에 초대륙 판게아가 형성되었다. 시베리아와 동유럽 사이에는 충돌이 발생하여 트러스트 및 Nappe가 발생하였다. 북

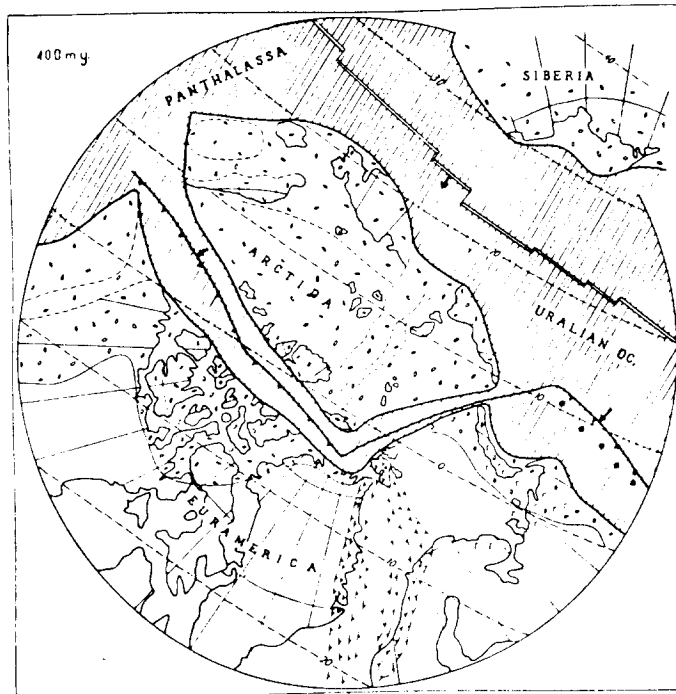


Fig. 3. The 400 my reconstruction

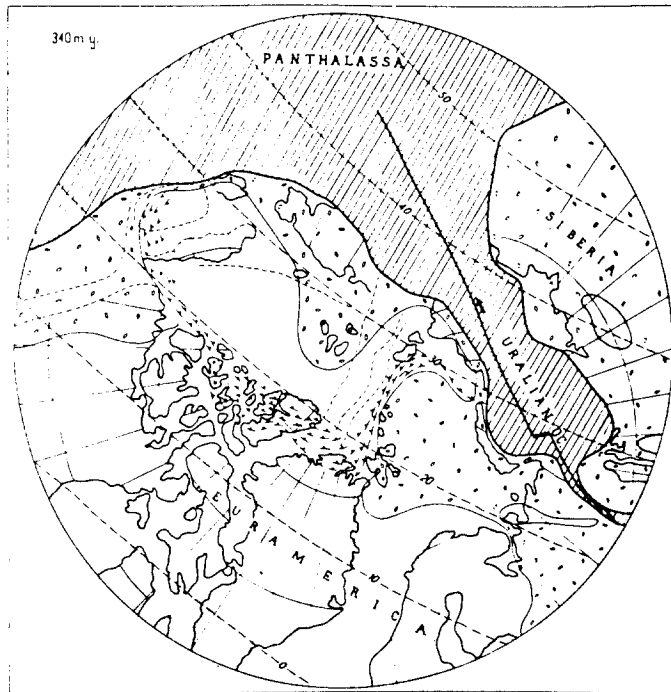


Fig. 4. The 340 my reconstruction

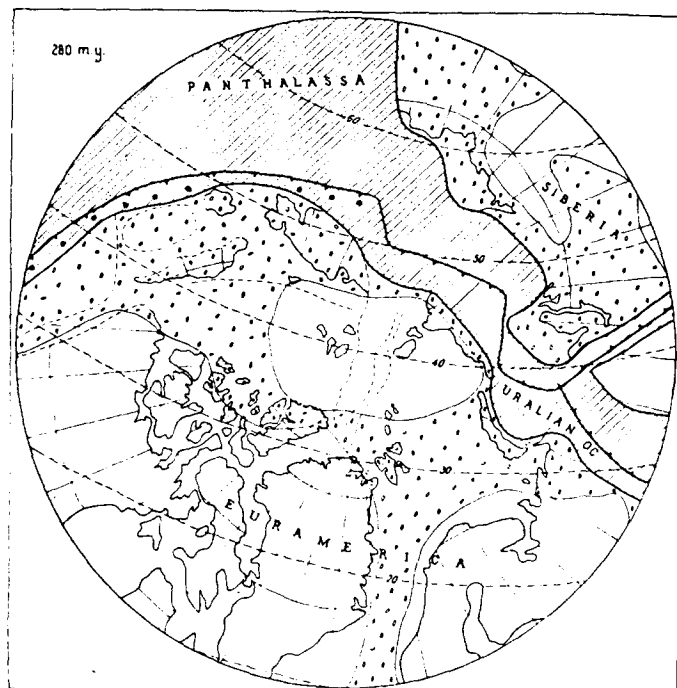


Fig. 5 . The 280 my reconstruction

극 대륙은 계속 북으로 이동하여 시베리아가 최초로 북극권에 도달하였다.

마. 235 Ma (Fig. 6)

모든 대륙이 합쳐져 로라시아를 형성하였고, 우랄 습곡대가 삼첩기 초기에 완료되었다. 대륙 북측 연변부에서 섭입 작용이 일어나 호상 열도가 발달하였다. 판탈라사의 해양 지각이 이 지역에서 대부분 섭입되었다. 시베리아에서는 extension에 따른 trapp 화산 작용이 활발히 일어났으며, 그 결과 서시베리아 분지가 형성되었다.

바. 190 Ma (Fig. 7)

삼첩기와 유사하게 주라기 초에도 South Anui 해양 분지가 존재하였으며, 대륙 주변부는 천해로 뒤덮혔다. 이 분지는 화산 열도에 의해 태평양과 분리되었으며, 이는 시베리아 동부에 분포하는 주라기 calcalkaline 화산암체로 확인된다. 그린랜드와 스칸디나비아 사이에 분지가 새로이 형성되었으며, 서시베리아 분지가 급속히 침강하기 시작하였다.

사. 150 Ma (Fig. 8)

중기 주라기에는 판게아의 분열로 인해 큰 변화가 초래되었다. 캐나다 분지가 열리기 시작하였으며, 노르웨이-그린랜드 분지와 북해 지역에

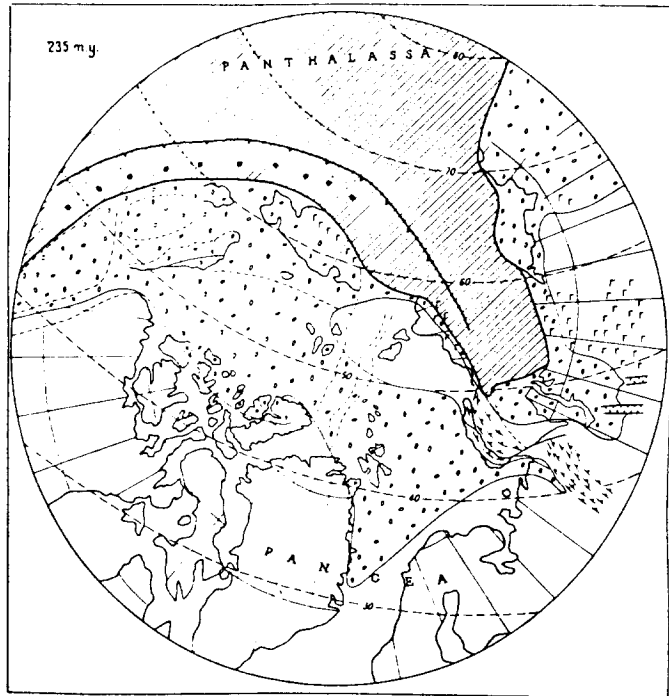


Fig. 6 . The 235 my reconstruction

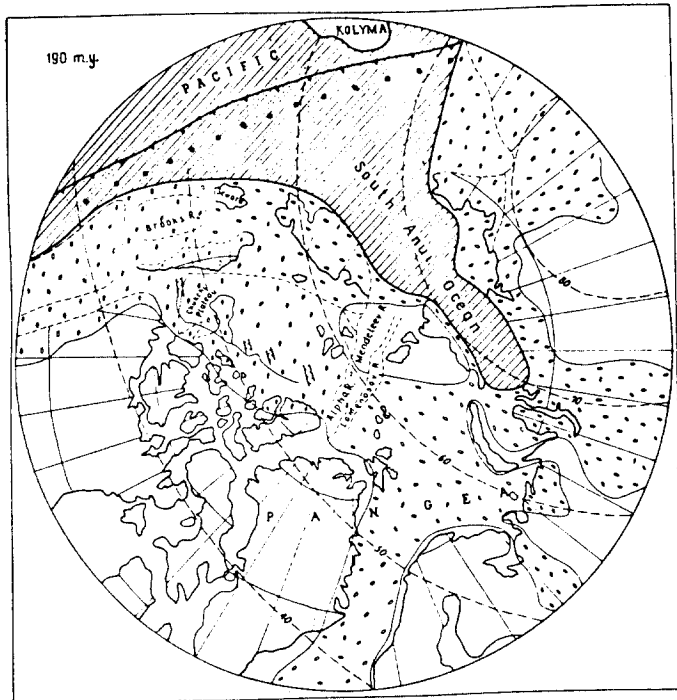


Fig. 7. The 190 my reconstruction

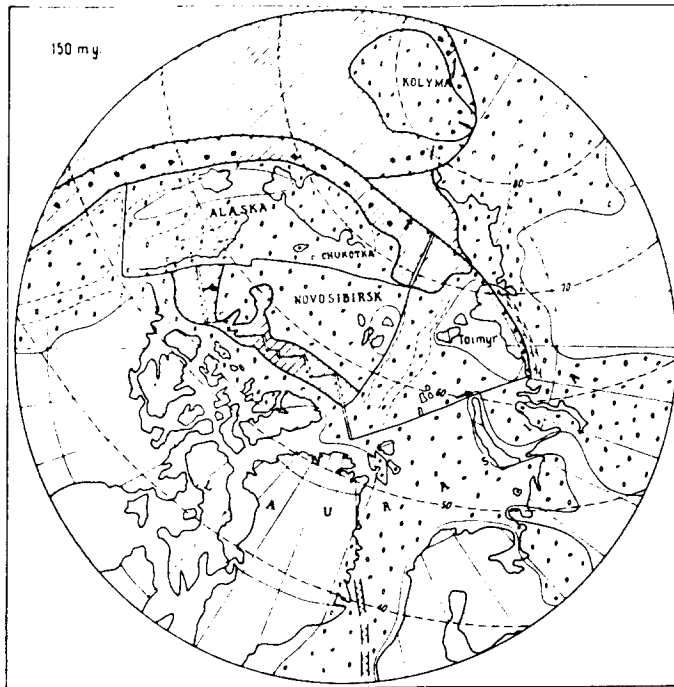


Fig. 8. The 150 my reconstruction

rift와 graben이 발달하기 시작하였다. 대서양과 태평양을 연결하는 천해 통로가 북극 대륙을 가로질러 형성되었다. 캐나다 분지가 열리며 Arctida는 북미로 부터 북쪽 시베리아 방향으로 이동하였다. 그 결과 South Anui 해분이 작아지기 시작하였으며 Arctida 북측에 섭입 작용이 발생하였다. Arctida는 북미와 분리되며 Chukotka/Alaska, Novosibirsk, Kara block의 3 조각으로 분리되었다. 주라기 동안 Kolyma는 Kula 판과 함께 시베리아 쪽으로 이동하여 Udk-Murgl arc와 충돌하였다. 이후 upthrust된 Kolyma는 시베리아 쪽으로 더욱 이동하여 Kimmeridgian 시기에 시베리아와 충돌하였다.

아. 130 Ma (Fig. 9)

백악기 초기에는 캐나다 분지가 두번째로 열렸으며, 그 영향으로 Arctida가 북미와 비교해 볼 때 북극점 주위를 반시계 방향으로 거의 1회 전 하였다. Arctida는 알라스카와 추코트카의 두 판으로 분리되었다. South Anui 해분은 소멸되었으며, 캐나다 분지가 열림에 따라 퇴적 분지가 형성되었다.

자. 110 Ma (Fig. 10)

초기 백악기의 중반에는 캐나다 분지가 최대로 확장되어 길이 2,500 km, 폭 1,200 km에 달했다. 이 시기에 북극 지역에서는 주요한 extension이 일어나 수 많은 현무암이 분출하였다. 그린랜드가 북미와

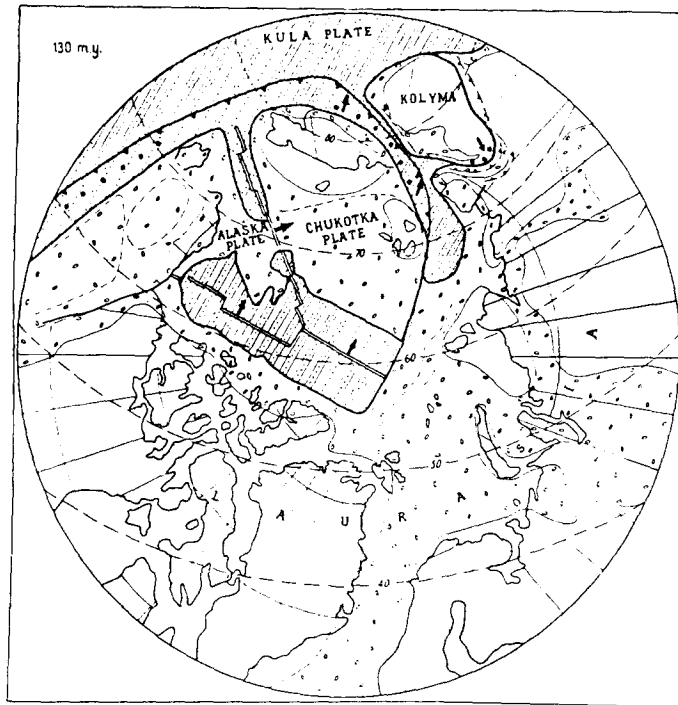


Fig. 9. The 130 my reconstruction

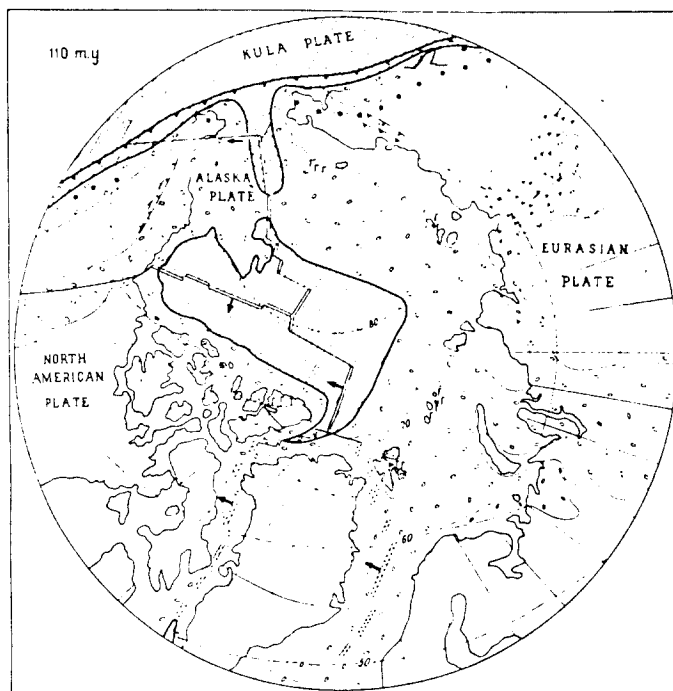


Fig. 10. The 110 my reconstruction

분리되었고, 래브라도 해 및 배핀만에 해양 지각이 일부 형성되었다.

Aptian 시기에는 South Anui 해분이 완전히 소멸되어, South Anui 습곡대가 형성되었다. Verkhoyansk 습곡대도 절정기를 맞았다. 시베리아 쪽으로 Nappe가 이동하였으며, Verkhoyansk foredeep이 형성되었다.

Chukota와 Kolyma는 시베리아와 충돌하여 유라시아 주변부에 안데안형의 새로운 섭입 지역을 야기하였다. 이는 오호츠크 - 추코트카 화산대로 특징지워진다.

차. 80 Ma (Fig. 11)

백악기 말기는 북극 분지가 압축 단계에 접어 들었던 시기이다. 전 지역에 걸쳐 광범위하게 판이 충돌하게 되었다. 유라시아와 캐나다 분지 사이에서는 해양 지각이 소멸되어 분지의 크기가 점차 축소되기 시작하였다. 그 결과 섭입 지역과 화산 열도가 발달하였다. 알파 - 멘델레프 해저 산맥이 calcalkaline 화산 작용에 의해 생성되었으며, 배호상 확장 작용으로 마카로프 분지가 형성되었다. 추코트카와 알라스카를 연결하는 해협이 거의 소멸되었다. 쿨라 판은 유라시아와 북미 대륙 하부로 섭입되어, 유라시아 대륙주변부가 증대되었고 남쪽의 태평양 방향으로 전진하였다.

카. 65 Ma (Fig. 12)

이전과 전반적으로 비슷하였으나, 유라시아와 북미 대륙이 그린랜드와

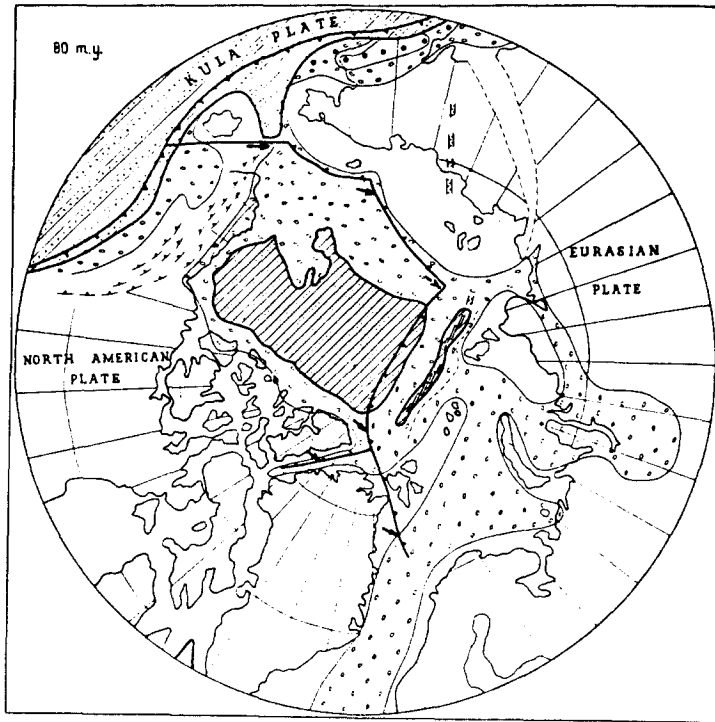


Fig. 11. The 80 my reconstruction

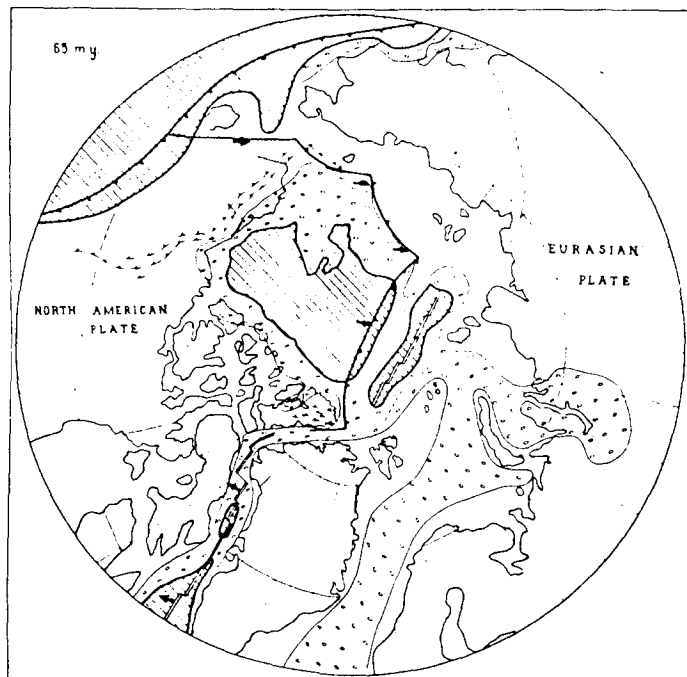


Fig. 12. The 65 my reconstruction

알래스카 사이에서 수렴되었다. 그 결과 캐나다 분지의 해양 지각이 1,500 만년 동안 300 km 소멸되었다. 그린랜드와 북미 사이에서는 판이 분리되어 래브라도 및 배핀 해에 해양 지각이 생성되었다.

4. 결론

북극 지역은 동유럽, 북미, 시베리아, Arctida의 4개 대륙이 서로 복합적으로 작용하며 발달되어 왔다. 고생대 초에는 4개 대륙이 서로 분리되었으나, 고생대 말에는 서로 합쳐져 판게아의 일부인 로라시아를 형성하였다. 로라시아 대륙의 북극에 해당되는 부분은 데본기 - 석탄기 이래로 고태평양 측, 판탈라사에 접하며 비활동성 대륙 주변부를 형성하였기 때문에 매우 두꺼운 퇴적층이 집적되었다. 그 결과 북극 지역은 석유 및 가스가 풍부할 것으로 생각된다. 중생대에는 북미와 유라시아가 분리 이동되어 이전 까지와는 다른 지역에서 수렴되는 현상이 초래되었다. 주라기 말 - 백악기 초에 캐나다 분지가 열리며 South Anui 해분이 소멸되었으나 Verkhoyansk 및 South Anui 습곡대가 형성되었다. 백악기 말에 들어서면 북대서양 및 래브라도 분지가 열리며 캐나다 분지의 지각이 일부 소멸되고 북극 동부 지역에서 습곡대가 형성되었다. 이와 동시에 Arctida가 여러 조각으로 분리되었고, 각 조각들은 북극 지역의 해분을 형성하는데 작용하였다.

오르도비스기 이후 북극 대륙은 비교적 서로 가까운 위치에 분포하였다. 한때는 수렴되었고 다른 한때는 분리되기도 하였다. 초기 고생대에는 적도 지역에 위치하였으나, 고생대 - 초기 중생대에는 점차 북쪽으로

이동하여 주라기에 극 지방에 도달하였다.

참고문헌

- Aagaard, K. and P. Greisman, 1975. Towards new mass and heat budgets for the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.*, **80**, pp.3821-3827.
- Burke, K. 1984. Plate tectonic history of Arctic. In: Proceedings of the 27th International Geological Congress. Coll. 04, Geology of the Arctic, Moscow, pp.159-167.
- Churkin, M., Jr. 1973. Geologic concepts of Arctic Ocean Basin. In: M.G. Pithcher (ed.), Arctic Geology. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla., pp.485-499.
- Churkin, M., Jr., and J.H. Trexler, Jr. 1981. Continental plates and accreted oceanic terranes in the Arctic. In: A.E.M. Nairn, M. Churkin, Jr., and F.C. Stehli (eds.), The Ocean Basins and Margins, vol. 5, The Arctic Ocean. Plenum Press, New York and London, pp.1-20.
- Du Toit, A.L. 1937. Our Wandering Continents. Hafner Publish. Co., 366p.
- Freeland, G.L., and R.S. Dietz. 1937. Rotation history of Alaskan

- tectonic blocks. *Tectonophysics* 18: pp.379-389.
- Fujita, K. 1978. Pre-Cenozoic tectonic evolution of north-east Siberia. *J. Geology* 86: pp.159-172.
- Heezen, B.C., and M. Ewing. 1961. The mid-ocean ridge and its extension through the Arctic Basin. In: G.O. Raash (ed.), *Geology of the Arctic*. University of Toronto Press, pp622-642.
- Heron, E., J.E. Dewey, and W.C. Pitman. 1974. Plate tectonic model for the Arctic. *Geology*, 2(8): pp.377-380.
- Jackson, H.R., D.A. Forsyth, and G.L. Johnson. 1986. Oceanic affinities of the Alpha Ridge
- Jackson, H.R., and G.L. Jhonson. 1984. Structure and history of the Amerasian Basin. In: *Proceedings of the 27th International Geological Congress*. Coll. 04, *Geology of the Arctic*, Moscow, pp.105-118,
- Jones, P.B. 1980. Evidence from Canada and Alaska on plate tectonic evolution of the Arctic Ocean Basin. *Nature* 5,762: pp.377-380.
- Karasik, A.M. 1968. Magnetic lineation of the Gakkel Ridge and the

origin of the Eurasian subbasin in the Arctic Ocean. Geophysical Methods of Exploration in the Arctic, no. 5. NIIGA, Leningrad, pp.8-25. (In Russian.)

Karasik, A.M., L.A. Savostin, and L.P. Zonenshain. 1983. Motion parameters for lithosphere plates in Eurasian Basin of the Arctic Ocean. Doklady Akad. Nauk USSR 273(5):1191-1196. (In Russian.)

Koppen, W.P., and A. Wegener. 1924. Die Klimate der Geologisch Vorzeit. Gebrueder Borntraegger, 255pp.

Ostenso, N.A., and R.J. Wold. 1973. Aeromagnetic evidence for origin of Arctic Ocean Basin. In: M.G. Pitcher (ed.), Arctic Geology. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla., pp.506-516.

Pogrebitsky, Yu.M., A.N. Vishersky, S.A. Gubin, G.I. Kavardin, E.A. Korago, M.K. Kos'ko, M.I. Mitroshin, A.I. Trukhalev, and N.K. Shanurenko. 1984. Endogenic differentiation of matter in the geodynamic system of Arctic Ocean. In: Proceedings of the 27th International Geological Congress. Coll. 04, Geology of the Arctic, Moscow, pp.11-26.

- Pushcharovsky, Yu.M. 1960. Some general problems of the tectonics of the Arctic. *Izvestiya Akad. Nauk, Ser. Geol.* 9:15-28. (In Russian.)
- Pushcharovsky, Yu.M. 1976. Tectonics of the Arctic Ocean. *Geotectonics* 2:3-14. (In Russian.)
- Savostin, L. A., A.M. Karasik, and L.P. Zonenshain. 1983. The history of opening of the Eurasian basin in the Arctic. *Doklady Akad. Nauk USSR* 275(5):1156-1161. (In Russian.)
- Shatsky, N.S. 1935. On tectonics of the Arctic. In: *Proceedings of the 1st Geological Conference, Glavesvmorput, vol. 1 Moscow-Leningrad*, pp.149-169. (In Russian.)
- Srivastava, S.P. 1985. Evolution of the Eurasian Basin and its implication to the motion of Greenland along Nares Strait. *Tectonophysics* 114: pp.29-53.
- Sweeney, J.F. 1985. Comments about the age of the Canada Basin. *Tectonophysics* 114: pp.1-10.
- Tailleur, I.L. 1973. Probable rift origin of Canada Basin, Arctic Ocean. In: M.G. Pitcher (ed.), *Arctic Geology*, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla., pp.526-535.

- Udintsev, G.B. 1984. Norwegian-Greenland Basin: Rifting and oceanization. In: Proceedings of the 27th International Geological Congress. Coll. 04, Geology of the Arctic, Moscow, pp.51-58.
- Vogt, P.R., P.T. Taylor, L.C. Kovacs, and G.L. Johnson. 1982. The Canada Basin: Aeromagnetic constraints on structure and evolution. *Tectonophysics* 89: pp.295-336.
- Vogt, P.R., J. Kovacs, R.K. Perry, and P.T. Taylor. 1984. Amerasian Basin in the Arctic: Magnetic lineation and its identification. In: Proceedings of the 27th International Geological Conference. Coll. 04, Geology of the Arctic, Moscow, pp.128-135.
- Zonenshain, L.P. 1984. Tectonics of innercontinental foldbelts. In: Proceedings of the 27th International Geological Conference. Sect. 07, Tectonics, Moscow, pp.48-59.

제 2 절 북극해 퇴적물 조성과 퇴적 과정

1. 서론

중앙북극해에서의 퇴적학적 연구는 주로 로모노소프 리지와 플레처 심해평원의 서부 및 캐나다 분지에 국한되어 있다. 최근에 해빙위에 세워진 임시기지에서 알파 및 로모노소프 리지의 퇴적물이 채취되었다. 북극해 동부에서의 코어나 그랩시료 채취는 거의 이루어 지지 않은 상태이다 (Fig. 1). 이와같이 연구 시료가 부족한 이유는 부분적으로 북극해에서의 심해굴착에 따른 보급상의 문제에 기인한다.

중앙북극해 서부의 암층서는 대체로 큰 변화가 없는 것처럼 보이나, 플라이오-플레이스토세에 걸친 자세한 시간층서가 알려져 있지 않아 일반화 되기는 어렵다. 시간층서의 확립이 퇴적사 및 전지구적 기후변화와 관련된 퇴적작용해석에 필수적이거나, 이 문제는 가까운 장래에 해결될 것 같지 않다. 일반적으로 북극해에서는 얼음에 의한 퇴적물 운반작용이 중요하다고 알려져 있으나, 이 작용의 상대적 중요성이나 퇴적물의 기원 등이 자세히 알려져 있지 않다. 캐나다 심해평원의 저탁류 퇴적물의 기원지도 보다 자세하게 조사될 필요가 있다. 한편, 북극해 퇴적물의 지화학에 대해서는 대체로 알려져 있지 않다.

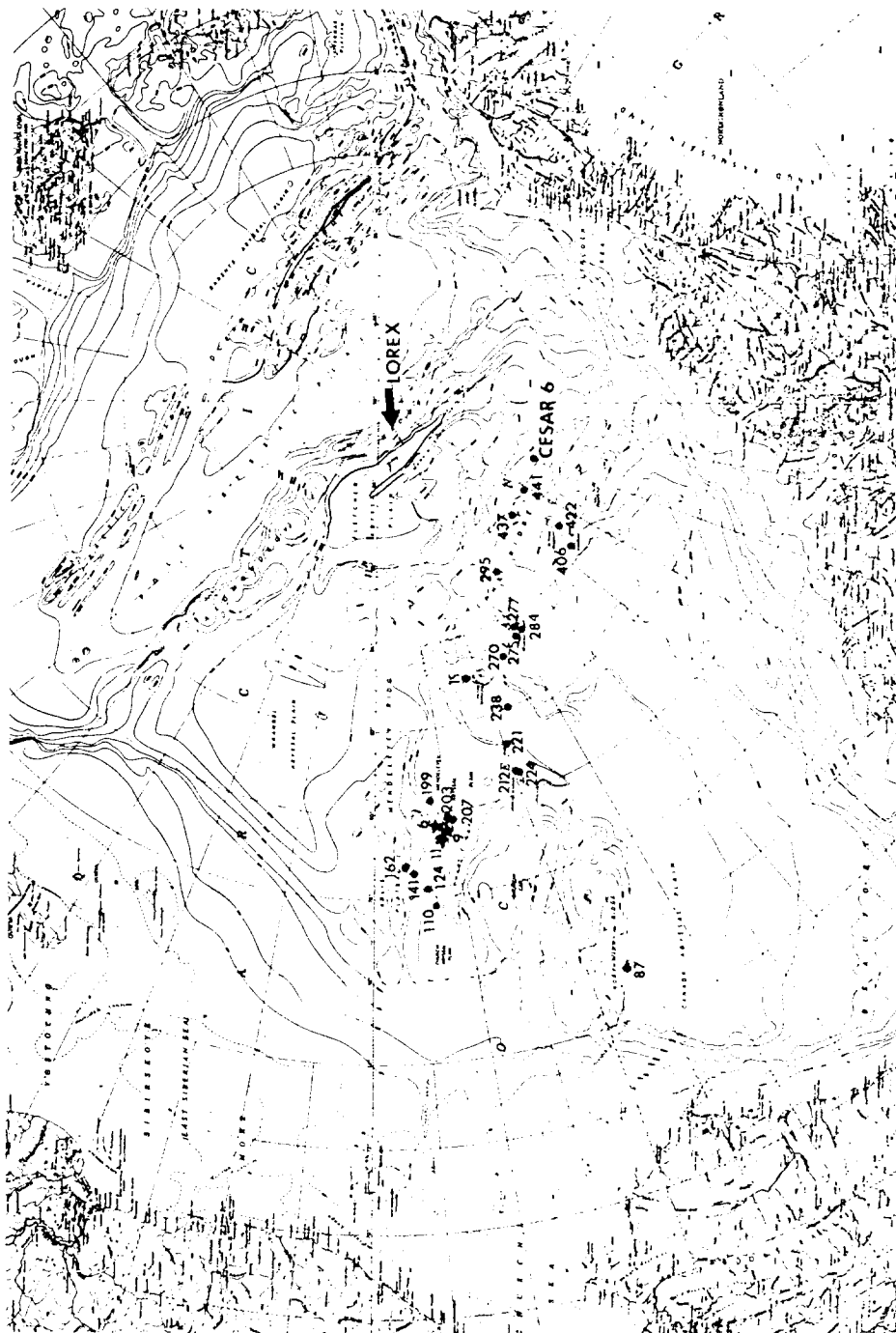


Fig. 1. Map of the Arctic Ocean showing important core and sampling locations.

2. 중앙 북극해에서의 퇴적물 분포 및 일반적 성질

북극해 퇴적물은 리지에서 심해 평원으로 가면서 급격히 두께가 감소한다. 캐나다 문지에서는 2~3 km이고, 로모소노프 리지의 양측 분지에서는 약 1 km에 이르나, 리지에서는 0.1~0.5 km 이하에 불과하다. 수심이 1000~2500 m인 알파리지내의 곡부에서는 300~1200 m의 퇴적물이 쌓여 있으나 정부에는 퇴적물이 매우 적다. 북극해에서 가장 오래된 퇴적물은 백악기에 형성된 것으로 알려져 있고 이들 퇴적물내의 규질 연니는 조성과 외양에서 4기 규질퇴적물과 다르다. 북극해저표면에는 잔자갈이 깔려 있는데, 이들은 리지에서 심해평원으로 가면서 줄어 든다. 모든 북극 표층퇴적물은 사질 및 니질 퇴적물로 대개 역들을 포함하고 있다. Clark 등 (1980)은 이들 세립질 퇴적물을 쿨터카운터로 분석하여 4가지 타입의 퇴적물로 나누었다 (Fig. 2). 타입 I은 분급이 안된 점토 및 실트로 적은 양의 모래를 포함한다. 타입 II는 35.6%의 세립질을 포함하며 bimodal 하다. 타입 III은 모래가 거의 없는 세립질 퇴적물을 가르킨다. 타입 IV는 모래의 양이 많은 조립질 실트퇴적물이다. 이들의 중간적인 퇴적물들은 빙하나 저탁류에 의한 것으로 생각되고 있다. 타입 I, II는 리지에 국한되어 분포하며, 타입 III, IV는 리지와 심해평원 양쪽에서 잘 나타난다. 심해평원의 타입 III, IV퇴적물에는 리지의 타입 III, IV퇴적물보다 점토질이 많다. 중앙 북극해 퇴적물은 다른 대양 퇴적물과 달리, 점토질 가운데 Kaolinite와 Chlorite가 10~30%를 차지하며, 조립질 가운데 돌로마이트와 방해석이 많다. 또 점토질 내에는 illite가 85%까지 이르기기도 한다. 실트 및 모래의 대부분은 석영, 사장석이다. 드레지한 조립질 시

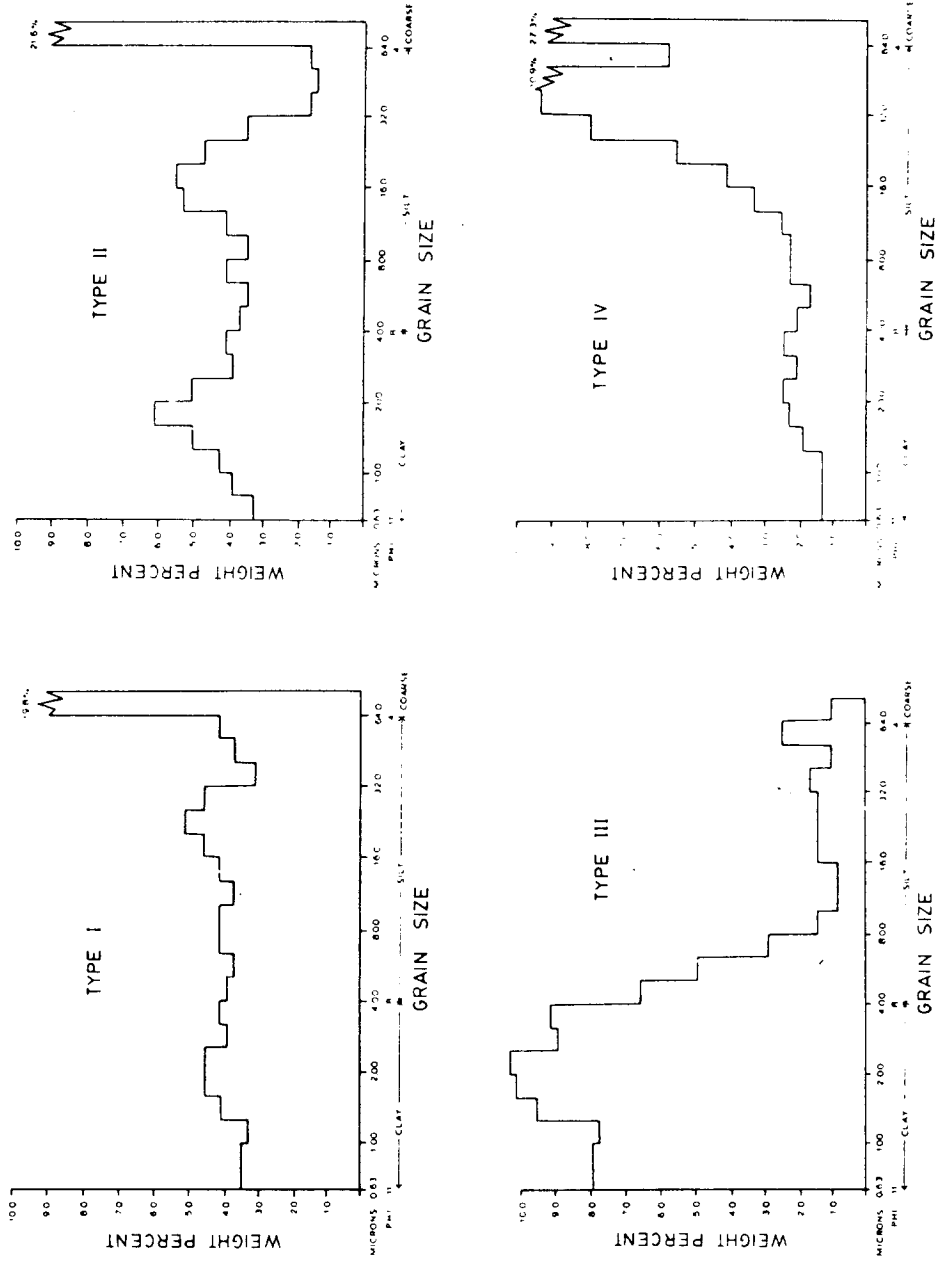


Fig. 2. Four sediment-size types in central Arctic Ocean sediment based on Coulter counter analysis of the silt and clay fractions.

료에는 석회암, 사암 및 쳐트 암편들이 다량 포함된 것으로 보아 (변성암과 화성암은 15%에 불과) 주요 공급지는 퇴적암 지대로 생각되고 있다.

중양북극해 퇴적물 가운데 생물 기원의 것은 6% 미만이고 대부분 1~2%이하이다. 그러나 플라이오-플라이스토세 퇴적물 내의 유공충의 양은 변화가 커서, 고기후의 주요 변화를 반영하고 있는 것으로 생각되고 있다. 이들 유공충은 거의 Globigerina와 Globorotalia이다. 유기질 탄소의 질량은 2% 미만으로 다른 대양 퇴적물에서보다 낮다.

3. 플라이오-플라이스토세 중양 북극해에서의 퇴적과정

가. Ice Rafting

플라이오-플라이스토세 퇴적물은 얼은 갈색에서 회색의 세립퇴적물로 8mm이상의 입자들을 포함하고 있어 얼음 운반작용을 암시한다. 이와 같은 특징은 ridge 퇴적물에서 두드러 진다. 석영입자 표면특성에 따르면 빙하기원으로 보인다 (Clark et al., 1980; Margolis & Herman, 1980). 최근에는 저탁류 퇴적층이 없는 ridge나 심해평원 퇴적물의 세립실트의 대부분이 얼음에 의해 운반된 것으로 생각되고 있다 (Clark and Hanson, 1983). 이들은 빙하기원의 얼음보다는 해빙에 의해 운반되었던 것으로 여겨진다. 북극해 대부분을 덮고 있는 해빙과 국부적인 빙하때문에 생물생산성이 낮고 빙하퇴적물의 유입이 적어 전체적인 퇴적률이 낮았다. 게다가 해류가 약하고 (Galt, 1967), 심해평원을 제외하면 저탁류가 없으므로 (Campbell & Clark, 1977) 퇴적물 유입이 적어 해빙에 의한 퇴적작

용이 중요하게 되었다. 따라서 해빙퇴적물은 전체 퇴적물의 60~80%나 된다 (Campbell & Clark, 1977; Goldstein, 1983). 빙하기원 퇴적물은 오늘날 매우 드물고, 중앙북극해 동측에 있는 섬에서 기원한 빙하퇴적물들은 북대서양으로 유입되므로 중앙북극해에는 거의 영향을 미치지 않는다. 그러나 빙하가 가장 발달한 시기에는 북부캐나다와 그린랜드로부터 중앙북극해로의 빙하퇴적물 유입이 있었다.

나. 저탁류

부마층으로 구성된 저탁류 퇴적층은 캐나다 심해평원에서만 인지되어 왔으나 (Elicson et al., 1964; Campbell & Clark, 1977), 북극해의 그외 분지에서도 상당한 양의 저탁류 층이 형성되었을 것으로 생각되고 있다 (Clark, 1969; Vilks et al., 1977; Goldstein, 1983). Campbell과 Clark(1977)에 따르면, 캐나다 심해평원 남동부에서 채취한 코어 퇴적물의 68%가 저탁류층이나, 북서부에서는 저탁류층이 6.5%밖에 되지 않았다. 이 저탁류퇴적물을 형성한 저탁류는 제방이 잘 발달하지 않은 얇고 (<5 m) 넓은 (>5 km) 해저하도를 따라 대륙사면 아래로 흐른 것으로 여겨진다 (Hunkins 1968; Goldstein, 1983). Barrow Canyon과 같은 해저 협곡도 저탁류의 통로 역할을 하였다. 저탁류 퇴적층내의 처트, 석회암편, 변성기원의 석영으로 이루어 이들 퇴적물은 Queen Elizabeth Islands에서 기원한 것으로 여겨진다 (Campbell & Clark, 1977). 저탁류 퇴적물의 평균입도는 조립실트에서 중립사 정도이다. 한 저탁류층의 두께는 1 mm에서 15 cm이상까지 다양하며 이들은 얼음 운반퇴적물과 교호하고 있다.

표층에서의 평균퇴적률은 83 mm/1000 yr이고, 하부층의 퇴적률은 25-30 cm/1000 yr로 4기 초기의 퇴적률이 현재보다 3.3-3.6배 가량 높았음을 알 수 있다 (Campbell & Clark, 1977; Clark, 1981).

다. 조류운반 퇴적물

북극해 퇴적물 가운데, 저탁류가 아닌 조류에 의한 퇴적물 운반의 직접적 증거는 발견되지 않고 있으며, 해저면의 사진에는 생물교란 흔적이 잘 보존되어 있다 (Kitchell et al., 1978). 조류관측기록이 매우 드물어, 저층류의 속도에 대한 일반화는 어렵지만 대개 심해평원에서는 1.5~2.6 cm/sec에 이르는 것으로 알려져 있다. 국지적으로 로모소노프 리지와 같은 곳에서는 조류속도가 12 cm/sec에 이르기도 하나, 세립질 점착성 퇴적물을 교란시키기에는 약한것으로 알려져 있다.

라. 바람에 의한 퇴적물 운반

바람에 의한 퇴적물은 북극해 퇴적물의 1~10%에 이를 것으로 추정되나, 심해평원 등에서는 저탁류 퇴적층때문에 거의 무시할 수 있을 정도이다.

4. 대륙주변부와 분지 퇴적물의 광물

가. 점토 광물

점토광물들은 북극해 주변의 퇴적물 기원지의 광물 조성을 반영한다. 일라이트가 많으며 클로라이트와 캐올리라이트가 그 다음으로 흔하다. 부피팽창하는 점토광물이나 혼합층 점토광물은 적은 양이나마 다양하게 분포한다 (Table 1).

1) 북베링해, 추키 및 시베리아해

서부 북극해 주변의 광물조성은 주변의 강으로부터의 유입을 잘 반영하고 있다 (Table 2). 알래스카 서부로 유입되는 점토광물은 베링해협을 거쳐 추키해 중앙부에 집적되는 것으로 보고되었다 (Naidu & Mowatt, 1983).

2) Beaufort Sea

Beaufort Sea 연안에서는 강에서 유입된 점토광물의 이동경로가 밝혀졌으나 외대륙붕에서는 아직 보고되지 않았다. 이것은 해빙과 조류의 영향때문인 것으로 생각된다 (Barnes et al., 1984). 캐올리나이트가 10~15%, 클로라이트가 10~20%를 차지하며, 캐올리나이트/클로라이트 비는 0.5이상으로 높은 편이다. 이들 광물들은 Colville, Mcakenzie, Canning 강에서 유래한 것이다 (Fig. 3).

3) 중앙 북극해

점토광물 조성은 비교적 균일하나 부피 팽창하는 광물의 양에 따라 약간의 변화가 있다 (Table 1). 스멕타이트와 같은 부피팽창 광물들은 보

Table 1. Clay mineral abundances in the <2 um fraction of the Central Arctic deep-sea sediments.

<i>Sample Number</i>	<i>Latitude North</i>	<i>Longitude West</i>	<i>Water Depth (m)</i>	<i>Expandable Minerals</i>	<i>Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Chlorite</i>
T3-1	74°19'	141°51'	3,637	11	62	12	15
T3-2	74°35'	142°35'	3,650	7	57	13	23
T3-3	75°18'	146°57'	3,795	14	57	11	18
T3-4	75°24'	146°57'	3,792	13	56	13	18
T3-5	75°18'	146°37'	3,761	14	57	13	16
T3-6	75°60'	151°20'	3,827	8	62	12	18
T3-7	75°45'	151°14'	3,830	15	55	13	17
T3-8	75°49'	153°36'	3,833	12	52	20	16
T3-9	75°25'	156°4'	2,860	6	58	14	22
T3-10	75°12'	156°35'	1,705	3	65	16	16
T3-11	75°12'	156°52'	1,160	6	64	11	19
T3-12	75°45'	156°42'	3,835	5	62	16	17
BSS-51	72°51'	156°11'	2,477	7	64	11	18
BSS-54	72°1'	145°4'	3,458	4	59	16	21
BSS-97	71°52'	152°41'	1,500	11	55	11	23
BSS-92	71°20'	150°3'	1,600	5	60	10	25
BSS-91	71°20'	150°0'	1,800	5	60	10	25
GLA7122	71°9'	148°0'	1,006	20	53	9	18
GLA7158	71°15'	149°3'	1,011	18	50	11	21
GLA7185	71°23'	150°34'	1,053	25	49	10	16
GLA7157	71°20'	149°7'	1,829	12	55	11	22
GLA7120	71°14'	147°23'	2,000	10	64	6	20
GLA7186	71°30'	150°31'	2,150	19	48	10	23
FL441	85°03'	121°13'	2,431	1	51	24	24
FL264	82°34'	158°1'	3,820	6	58	14	22
GLA775	72°56'	146°36'	3,593	9	56	17	18
GLA776	72°46'	146°22'	3,566	10	56	21	23
GLA777	72°54'	142°5'	3,566	9	56	16	19
GLA7184	71°17'	150°24'	1,000	12	52	14	22

Note: Abundances are expressed as weighted peak area percents.

Table 2. Clay mineralogy of some major Arctic rivers

<i>Fluvial or Deltaic Sediment</i>	<i>No. of Samples Analyzed</i>	<i>Expandable Minerals</i>	<i>Illite</i>	<i>Chlorite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Kaolinite/ Chlorite Ratios</i>
Kobuk River	2	4	66	27	3	0.1
Noatak River	2	trace	66	34	0	<0.1
Yukon River	6	21	41	26	12	0.5
Kolyma River	1	5	59	27	9	0.3
Kolyma-Indigirka Delta	5	3	71	21	5	0.2
Colville River	20	26	46	19	9	0.5
Kuparuk River	10	16	47	22	15	0.7
Sagavanirktok River	10	10	58	20	12	0.6
Canning River	6	0	82	15	3	0.2
Mackenzie Delta	33	5	64	19	12	0.6
Mackenzie River	7	6	66	15	13	0.9

Note: The deltaic sediments are associated with the marine facies of river deltas and were collected off the river mouths. The fluvial samples were from the estuarine-channel bed load (Naidu and Mowatt, 1974, 1983; Naidu, Creager, and Mowatt, 1982; Naidu et al., 1975, 1982; Silverberg, 1972).

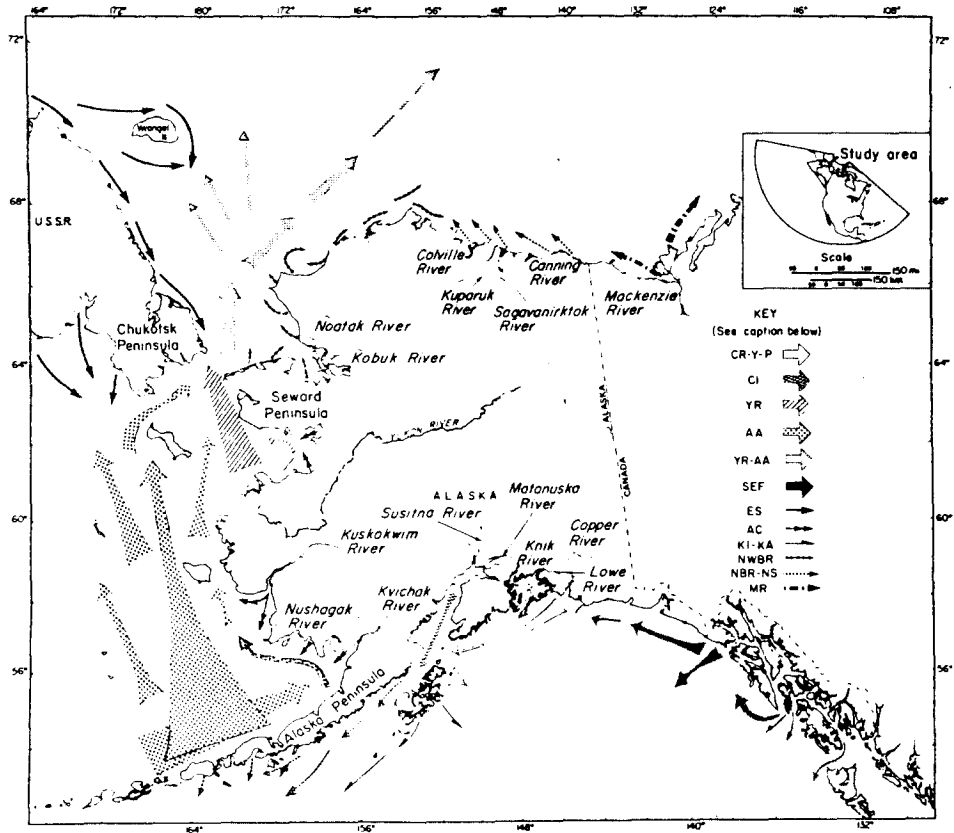


Fig. 3. Inferred major transport trajectories and depositional sites of clay-size particles in the marginal seas of Alaska.

통 화산재로부터 기원하는 바, 스멕타이트의 양이 많은 층은 북극해로의 화산재 유입이 있었음을 가리킨다. 이러한 층이 드물기 때문에 하성이나 빙하기원 퇴적물이 재동된 것으로 보기는 어렵다 (Table 3). 미량이나마 제올라이트가 분포하는 것도 화산재 기원을 뒷받침한다. 제올라이트는 규질 생물 파편이 수층을 통과하면서 변질되어 형성될 수도 있다. 제올라이트가 화산기원이라면 북극해로 이들을 공급한 기원지가 밝혀져야 한다.

나. 중광물과 모래의 기원지

Lisitzin (1972)에 따르면, 북극해에서의 중광물 분포는 다소 불규칙한 패턴을 보이며, Epidote-Amphibole과 Ore-Epidote-Pyroxene 그룹이 우세하다. 양으로 보면 전체 모래가운데 평균 1.45%를 차지한다 (Zaudere, 1982; Table 4). 한편 주상시료 분석결과, 캐나다 북부에서 기원한 중광물은 지난 2.5 m.y. 동안 거의 변화가 없었던 것으로 보인다 (Table 5).

5. 중앙북극해에서의 암층서

Herman (1970)은 북극해 퇴적물을 세개의 기후단위로 나누었다. 현세층 (Unit I)은 지난 0.9 m.y. 동안 퇴적된 것으로 어둡고 밝은 박층이 교호하고 있다. Unit II는 0.9~2.5 m.y. 사이에 형성된 것으로 철 및 망간산화물과 유공층이 아주 적다. 조립질 물질이 간혹 협재한다. 가장 오래된 Unit III은 2.5~4.5 m.y. 사이에 형성된 것으로 철 및 망간 산화물이

Table 3. Stratigraphic variations of the percentages of clay minerals in the < 2 μ m fraction of core FL-441, collected from the Alpha Ridge, Arctic Ocean.

Lithostratigraphic Units ^a	Core Section	Expandable Minerals ^b	Illite	Kaolinite	Chlorite	Kaolinite/ Chlorite Ratio	Illite/ Exp.Min. Ratio
	1	1	51	24	24	1.0	51
	2	12	40	27	21	1.3	3
	3	10	37	33	20	1.7	4
M	4	4	60	17	19	0.9	15
	5	8	55	18	19	1.0	9
	6	13	54	17	17	1.0	4
	7	7	44	24	25	1.0	6
	8	9	52	21	18	1.2	6
L	9	8	46	27	19	1.4	6
K ₁	10	6	56	17	21	0.8	9
K	11	5	53	22	20	1.1	11
K ₂	12	7	50	22	23	1.0	7
	13	3	56	23	18	1.3	19
J	14	3	74	11	12	0.9	11
	15	7	58	16	19	0.8	8
I ₁	16	4	61	15	20	0.8	15
I ₂	17	4	59	17	20	0.9	15
	18	11	54	19	16	1.2	5
	19	7	53	19	21	0.9	8
H	20	7	49	23	21	1.1	7
	21	5	57	18	20	0.9	11
	22	5	61	13	21	0.6	12
G	23	5	58	17	20	0.9	12
	24	5	57	18	20	0.9	11
	25	12	52	13	21	0.7	5
	26	12	54	17	19	0.9	4
F	27	27	40	19	15	1.3	2
	28	5	60	15	20	0.8	12
E	29	4	62	13	21	0.6	16
	30	6	62	13	19	0.7	10
D	31	10	58	12	20	0.6	6
	32	8	55	15	22	0.7	7
C	33	10	51	18	21	0.9	5
	34	9	59	11	21	0.5	7
B	35	7	62	12	18	0.7	9
A	36	7	64	13	16	0.8	9

Table 4. Number frequencies of heavy minerals (2-4) from lithographic unit J of central Arctic Ocean sediment cores, Beaufort Sea sediments and North Alaskan Rivers.

Sample	Opaque	Clino- pyroxene	Ortho- pyroxene	Altered Pyroxene	Amphibole	Epidote Group
Core FL-212 (112-114 cm)	11.7	30.1	.07	NC	45.7	9.3
Core FL-284 (67-68 cm)	19.8	18.3	—	NC	44.3	13.7
Core FL-406	2.0	21.1	—	NC	61.8	2.2
Central Arctic Sediments ^b n = 43	NC	17.3 ±9.7	0.7 ±1.1	NC	27.5 ±11.9	13.5 ±10.0
Beaufort Sea n = 42	17.0 ±6.5	28.5 ±16.1	2.8 ±3.2	NC	10.0 ±9.5	6.6 ±5.7
Colville River n = 3	50.3 ±21.5	44.3 ±5.4	6.8 ±4.7	17.0 ±11.6	4.2 ±1.0	1.8 ±2.7
Canning River n = 2	56.0 ±5.6	3.9 ±0.4	0.7 ±0.9	26.7 ±23.0	0.5 ±0.4	2.2 ±1.8
Kuparuk River n = 2	67.4 ±11.6	18.5 ±0.7	4.6 ±2.2	32.7 ±12.6	3.6 ±1.0	7.8 ±3.0
Sagavanirktok River n = 1	69.8	4.3	2.4	9.1	1.4	3.3

NC = not counted

^aIncludes apatite, spinel, staurolite, kyanite, andalusite, monazite, and chloritoid.

^bAverage ($\pm 1\sigma$) of all sandy lutite in all three of the above cores.

^cIncludes iron-stained aggregates and altered opaque minerals.

Tour- maline	Zircon	Garnet	Chlorite Group	Sphene	Rutile	Other ^a	Unknown	Total Count Nonopaque
0.7	0.7	12.5	—	—	—	—	—	130
1.5	1.5	16.8	3.8	—	—	—	—	131
0.3	—	12.7	1.9	—	—	—	—	361
7.5	5.6	16.6	8.7	Tr	—	1.0	—	36—
±6.4	±5.5	±8.5	4.7			±1.8		383
1.0	1.0	6.2	3.3	0.4	0.1	11.1	32.1 ^c	300—
±1.0	±1.5	±10.6	±0.4	±1.1	±0.2	±15.3	±12.3	600
1.0	0.6	8.2	3.3	0.3	0.2	8.0	6.5	180—
±0.1	±0.6	±9.7	±2.9	±0.3	±0.3	±4.8	±0.6	318
1.4	0.1	0.1	36.1	0.1	—	18.1	2.0	131—
±0.4	±0.1	±0.1	±42.7	±0.1		±4.1	±2.0	531
18.0	2.0	3.7	8.3	0.6	1.0	4.8	2.5	233—
±2.3	±2.2	±3.9	±0.1	±0.4	±1.0	±3.1	±0.1	374
7.7	19.7	12.0	25.5	—	3.4	5.8	4.8	208

Table 5. Heavy mineral frequencies from correlated sandy lutite horizons in three Alpha Ridge sediment cores.

Core	Litho- stratigraphic Unit	Amphibole	Clino- pyroxene	Garnet	Epidote Group	Chlorite Group	Tour- maline
FL-212	M	36	22	16	10	3	4
FL-284	M	41	9	13	15	17	4
FL-406	M	8	13	38	20	5	1
FL-212	L	39	33	5	12	4	trace
FL-284	L	30	26	15	10	7	1
FL-406	L	18	22	18	28	8	0
FL-212	J ^a	26	30	17	7	11	4
FL-284	J ^a	28	13	16	13	19	9
FL-406	J ^a	18	15	25	22	7	1
FL-212	J ^b	44	30	12	9	0	1
FL-284	J ^b	44	15	18	13	8	2
FL-496	J ^b	50	23	13	2	11	2
FL-212	I	18	41	7	7	7	11
FL-284	I	11	3	26	5	5	26
FL-406	I	12	17	30	2	12	14
FL-212	H	24	28	11	13	7	8
FL-284	H	25	17	12	12	9	13
FL-406	H	18	17	23	11	6	11
FL-212	F	25	5	20	15	12	14
FL-284	F	24	13	22	15	12	8
FL-406	F	23	14	21	12	6	7
FL-212	C	22	7	22	5	10	5
FL-284	C	39	11	8	13	17	1
FL-406	C	39	8	11	13	12	4

^aWhite layer in lithostratigraphic unit J.

^bPink layer in lithostratigraphic unit J.

Table 5. continued.

<i>Kyanite</i>	<i>Monazite</i>	<i>Zircon</i>	<i>Rutile</i>	<i>Sphene</i>	<i>Xeno- time</i>	<i>Ortho- amphibole</i>	<i>Ortho- pyroxene</i>	<i>Other</i>
0	3	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	10	2	1	trace	3	0	0	0
0	4	trace	trace	trace	trace	1	1	trace
0	4	1	0	2	1	1	1	0
0	1	0	0	0	1	1	1	1
0	2	2	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0
0	8	1	1	trace	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3	2	1	0	1	0	2	0
0	5	16	3	0	0	0	0	0
2	5	6	6	0	0	0	0	0
1	3	2	trace	1	0	0	trace	1
2	1	4	trace	2	trace	1	trace	trace
3	2	1	1	1	0	2	2	trace
trace	1	3	0	0	0	1	1	2
0	7	0	1	0	1	0	1	0
1	2	9	9	0	0	1	0	0
4	7	8	1	1	0	0	1	5
trace	7	1	1	trace	trace	0	0	0
1	7	2	2	1	1	0	0	0

풍부하고 유공층이 적은 것이 특징이다.

현재, ridge에서 채취한 3~5 m 이상의 코어로부터 사질퇴적물의 양, 생물교란 정도, 경계의 특징, 마이크로 망간단괴의 양, 유공층의 양, 엽층의 두께, 고지자기 변동, 조립물질의 양, 색깔 등을 바탕으로 13개의 암층서 단위가 북극해 퇴적층에서 구분되고 있다 (Clark et al., 1980; Fig. 4). 사질이 많은 층은 뚜렷이 구분되는데 C, F, H, J, L로 명명되었다. A-F 층 사이에 두 번의 상향조립화 경향을 볼 수 있고, G-H사이에서도 상향조립화 경향을 볼 수 있다. 각각의 상향조립층들의 하부는 낮은 퇴적률을 지시하는 생물교란이 심하나 (A, D), 점차 생물 교란이 줄어들고 망간 철 산화물도 줄어들다가(B, E) 상부에서는 조립물질이 우세해 진다 (C, F). 이와같은 경향은 빙하/간빙기 동안의 빙하에 의한 퇴적작용을 시사한다. 최상부의 I-M 층 사이에서도 유사한 상향 조립화 경향들을 볼 수 있다 (I-J, K-L, middle M-upper M). 따라서 A-M사이에서 적어도 6번의 상향조립화 경향이 관찰된다. 이상의 암층서는 북극해 리지 부근에서 확립된 것으로 이 구분이 심해평원까지 연장될 지 또는 서로 대비 될 수 있을 지는 앞으로의 연구과제로 남아 있다(Goldstein, 1983).

6. 고지자기 시간층서

북극해에서의 고지자기 자료는 빙하퇴적물에 의한 노이즈와 이제까지의 시료 처리 상태로 보아 (60%의 시료만이 탈자화상태까지 처리됨) 그 해석에 주의를 요한다 (Fig. 5). 이와같은 문제점 들은 북극해 지자기자료 처리가 그 밖의 대양에서와 달라야 함을 의미한다 (Jones, 1987). 최근에

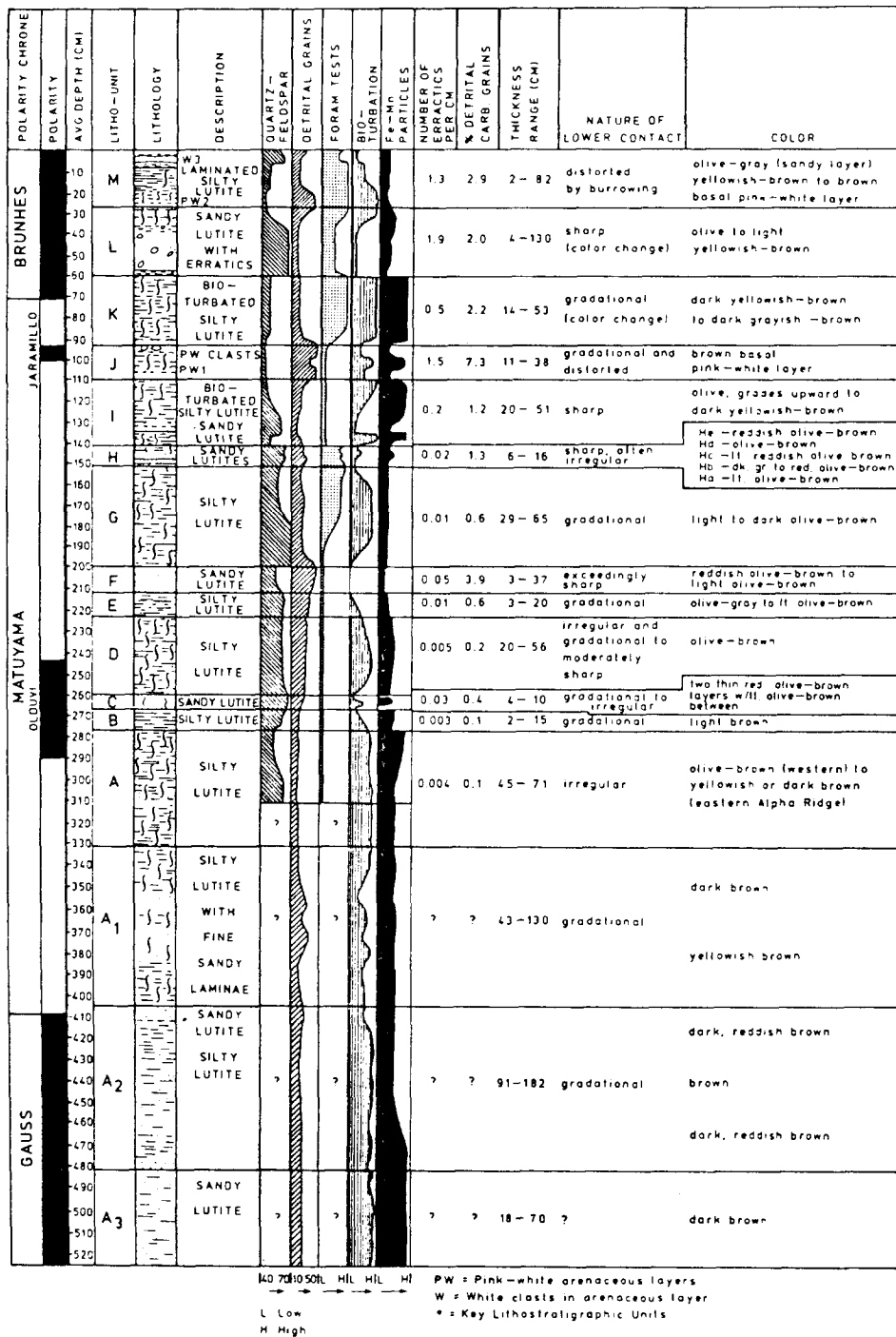


Fig. 4. Lithographic units A3 to M in ridge and ridge flank sediments from the central Arctic Ocean.

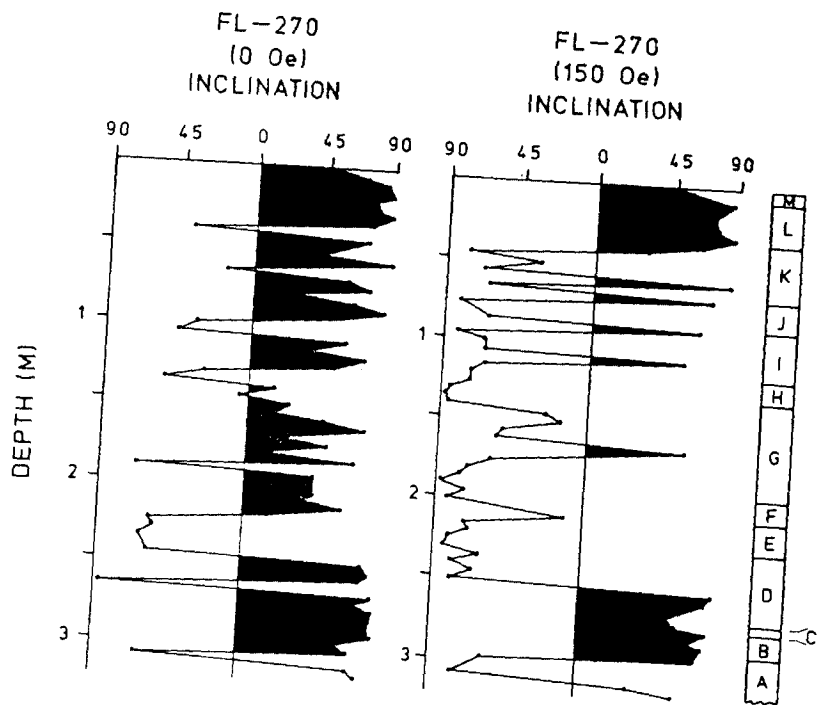


Fig. 5. Effect of demagnetization at 150 Oe on the paleomagnetic inclinations from core FL-270.

다양한 강도로 탈자화시켜서 암층서단위와 자기시간층서를 대비시켜가고 있다 (Fig. 6).

7. 북극해 퇴적물 내의 탄산염

다른 대양에서와 달리, 북극해에서의 주요 탄산염은 돌로마이트이다 (Darby, 1971, 1975). 이것은 낮은 생물활동을 반영한다. Tables 6 & 7에서 보듯이 탄산염은 심해편원과 리지 양쪽에서 볼 수 있으며, 시간적으로 현생 퇴적물과 플라이스토세에 걸쳐 나타난다. 이 기간 중에 탄산염은 퇴적물 중량비로 평균 14%를 차지하고 있었다. 마그네슘 함량이 높은 탄산염 (High-Mg Calcite)는 드물고, 아라고나이트는 거의 존재하지 않는다. 대부분의 탄산염 암편들은 모가 졌다 (Fig. 7). 이것은 큰 입자들의 존재와 함께 얼음에 의한 운반을 시사한다. 탄산염과 빙하기원의 모래입자량 사이의 밀접한 상관관계로 미루어 북극해내의 탄산염들은 대부분 빙하기원의 유빙을 통해 운반되었음을 알 수 있다 (Fig. 8). 한편 플라이오-플라이스토세 퇴적물 가운데 7-8회의 탄산염 극대값을 볼 수 있는데 이들은 북극의 여러 심해평원에서 채취한 코어로부터 잘 나타나며, 코어 사이에서도 잘 대비된다 (Darby, 1971, 1975; Figs. 9 & 10). 이와같은 특징들은 앞으로 암층서단위를 정하는데 이용될 것으로 여겨진다.

FL-275

(150 Oe)

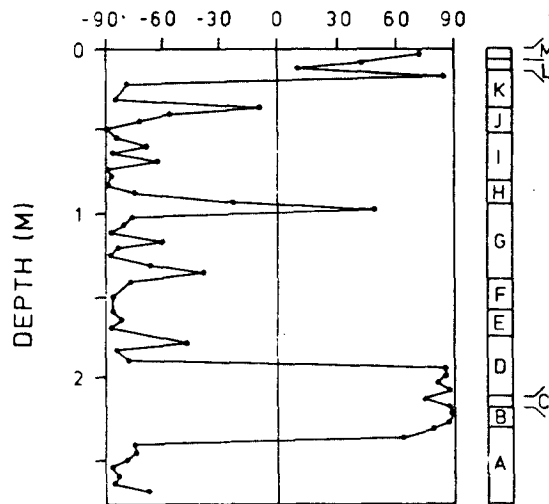


Fig. 6. The paleomagnetic inclinations in three cores with nearly complete stratigraphic records back to lithostratigraphic unit C or A.

Table 6. Ratio of dolomite to calcite in Arctic sediment core-top samples based on X-ray diffraction with available gasometric analysis of carbonate reported as weight percent CaCO_3 plus $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Core Number	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Dolomite/ Calcite	% Carbonate
FL-1	82°31'	156°29'	3,747	1.3	
FL-4	82°39'	157°15'	3,738	∞	
FL-16	82°01'	158°55'	2,247	0.6	14
FL-17	82°59'	159°07'	2,215	1.0	26
FL-19	83°03'	162°49'	3,417	0.6	29
FL-21	83°03'	163°31'	3,494	2.3	25
FL-23	83°02'	163°00'	3,748	1.0	11
FL-24	82°23'	162°07'	3,743	1.0	11
FL-25	82°27'	160°37'	3,750	2.0	12
FL-32	80°58'	136°13'	3,698	1.0	11
FL-33	80°55'	136°48'	3,679	∞	
FL-34	80°48'	136°55'	3,675	9.0	14
FL-35	80°46'	136°49'	3,683	∞	
FL-36	80°38'	137°24'	3,683	∞	
FL-37	80°41'	137°14'	3,680	0	11
FL-39	80°22'	136°47'	3,680	9.0	12
FL-40	80°26'	136°22'	3,668	6.1	13
FL-57	76°38'	138°19'	3,616	∞	17
FL-60	70°09'	141°47'	3,702	∞	
FL-61	76°08'	142°09'	3,707	∞	
FL-68	75°29'	140°24'	3,684	13.3	
FL-69	75°35'	140°30'	3,690	∞	
FL-92	77°38'	174°44'	2,078	2.3	
FL-93	77°48'	175°25'	1,567	∞	14
FL-94	77°53'	175°52'	1,611	0.7	
FL-99	77°43'	174°51'	1,931	4.6	
FL-104	77°37'	173°46'	1,848	3.0	9
FL-106	77°38'	173°44'	1,856	∞	
FL-107	77°30'	173°43'	1,873	0	8
FL-116	78°05'	174°49'	1,570	4.0	
FL-122	78°08'	174°23'	1,837	1.4	
FL-125	78°15'	175°23'	1,288	1.5	
FL-126	78°22'	175°53'	1,181	1.9	
FL-129	78°34'	175°56'	1,453	1.0	
FL-138	78°37'	176°24'	1,360	1.0	
FL-143	78°34'	175°44'	1,519	1.0	
FL-149	78°34'	176°08'	1,422	3.8	
FL-165	78°48'	176°08'	1,490	1.6	
FL-167	78°40'	175°58'	1,672	∞	
FL-171	78°41'	175°54'	1,678	∞	
FL-179	78°52'	176°41'	1,645	4.0	
FL-199	80°12'	172°48'	2,988	4.0	
FL-204	79°44'	170°57'	3,157	0.8	
FL-207	79°42'	170°10'	3,262	1.0	
FL-217	80°36'	157°59'	3,713	2.3	
FL-218	80°41'	158°22'	3,654	2.1	
FL-221	80°33'	159°39'	3,638	1.6	
FL-224	80°28'	158°49'	3,467	0.5	
Average ^a				3.2	
Standard deviation				4.5	

^aExcluding ∞ values.

Table 7. Weight percent of carbonate minerals based on gasometric and XRD analysis of the sediment in two cores from the Alpha Ridge

Core Number	Depth (cm)	% Dolomite (2.88 Å)	% Low Mg-Calcite (3.03 Å)	% High Mg-Calcite (2.98 Å)
T3 67-9	0	5.0	4.4	0
	10	18.0	15.3	0
	15	5.8	4.9	0
	20	14.7	15.9	0
	35	1.6	1.7	0
	40	7.0	10.5	0
	42	6.3	9.8	0
	55	0	8.2	0
	75	12.6	0	6.5
	90	5.2	5.7	0
	110	8.2	4.4	0
	115	2.7	5.7	0
	120	10.8	4.3	0
	125	16.1	0	0
	185	1.2	0.5	0.8
	205	23.1	0	0
	225	18.1	0	0
230	11.4	0	0	
295	0.8	0.6	0.9	
T3 67-11	15	7.5	15.1	0
	17	5.6	15.6	0
	20	0.4	8.4	0
	25	0	0.7	0
	35	0	0.3	0
	42	18.4	0	0
	62	0.8	0	0
	67	0.4	9.6	0
	90	46.2	1.6	0
	135	9.2	8.4	0
	137	1.5	15.0	0
	140	0.4	3.9	0
	141	2.0	2.2	0
	148	15.8	4.0	0
	150	19.3	0.1	0.1
	167	25.8	0.6	0
	170	6.2	0.1	0
	173	3.1	0	0.5
195	16.6	0	0	
197	10.7	0.1	0	
200	10.8	0	0	
202	2.3	0	0	

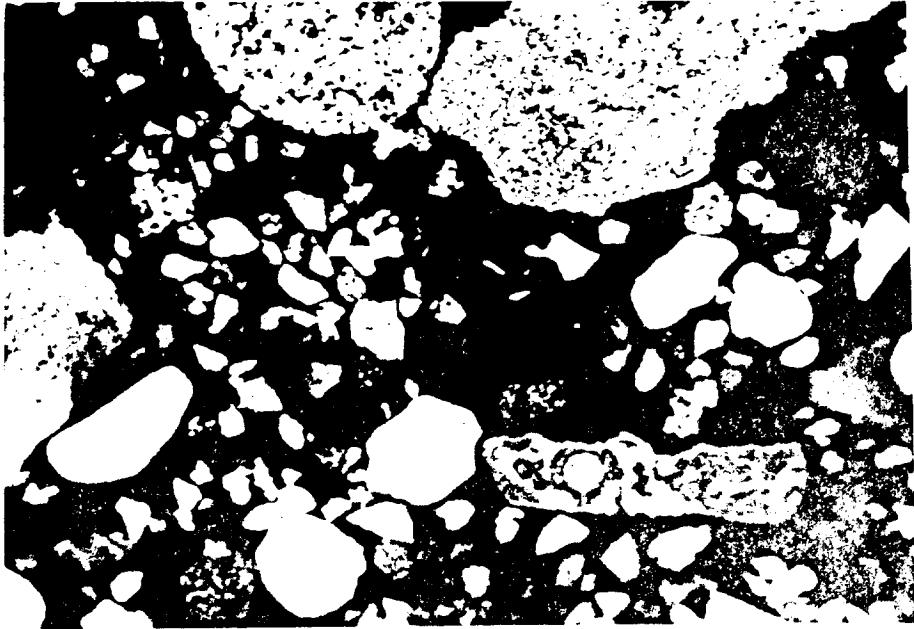


Fig. 7. Microphotograph of sectioned grain mounts(>62 um).

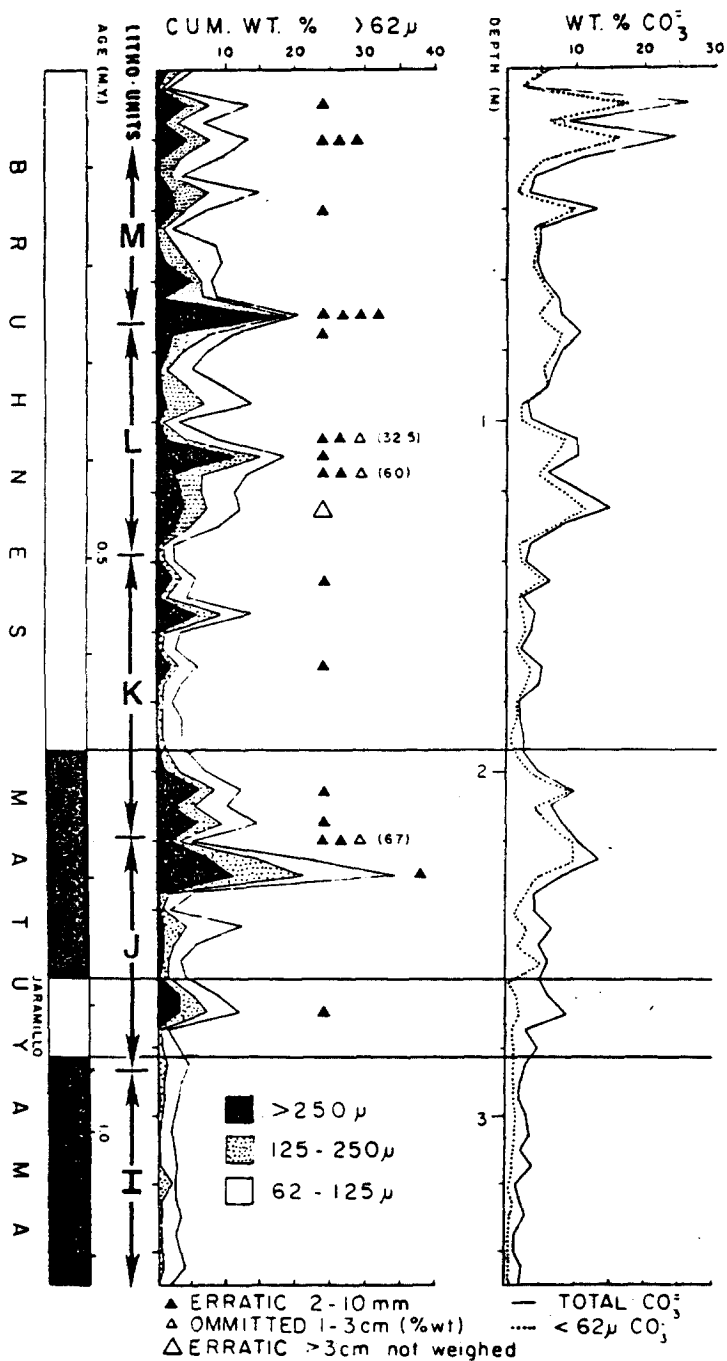


Fig. 8. Cumulative weight percent of sand and gravel compared to cumulative weight percent carbonate (CO_3) in the less than 62 μ and greater than 62 μ fractions for core T3-67-9.

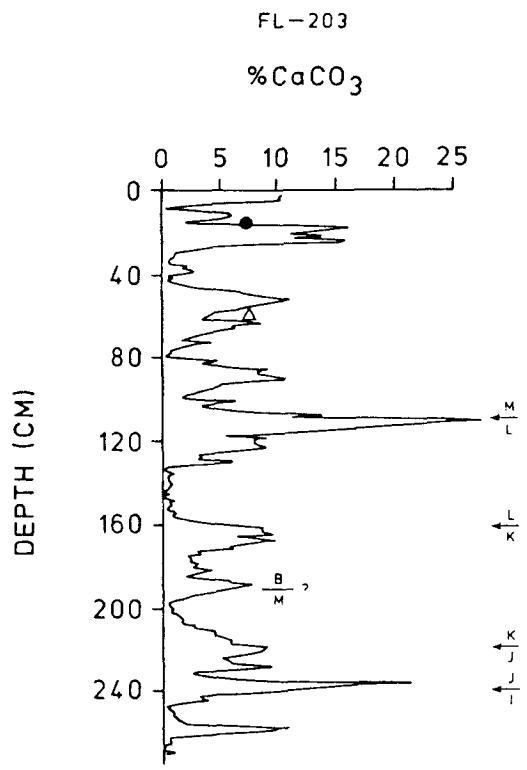


Fig. 9. CaCO₃ records from Chukchi Rise core FL-203.

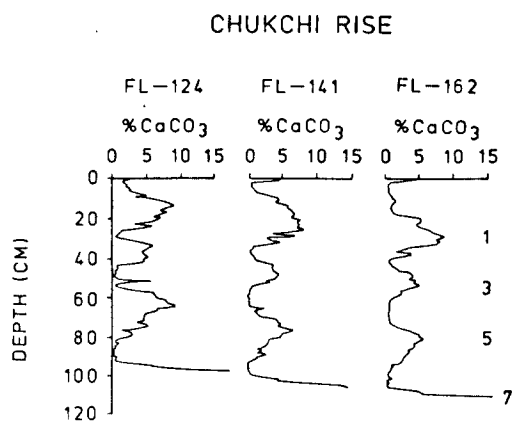


Fig. 10. Core-to-core correlations within unit M (0 - 390,000 yr B.P.) using detailed (1 cm) and precise CaCO₃ analysis.

참고문헌

- Campbell, J.S. and Clark, K.D., 1977. Pleistocene turbidites of the Canada Abyssal Plain of the Arctic Ocean. *J. Sed. Petrol.*, 47: pp.657-670.
- Clark, D.L., 1969. Paleoecology and sedimentation in part of the Arctic Basin. *Arctic* 22: pp.233-245.
- Clark, D.L., 1981. Iceberg and glacial-marine sediment of central Arctic Ocean. *AAPG Bull.* 65: p.911.
- Clark, D.L. and A. Hanson, 1983. Central Arctic Ocean sediment texture: A key to ice transport mechanism. In: B.F. Molnia, (ed.), *Glacial-Marine Sedimentation*, Plenum Publishing Corporation, New York, pp.301-310.
- Clark, D.L., R.R. Whitman, K.A. Morgan, and S.D. Mackey, 1980. Stratigraphy and glacial-marine sediments of the Ameriasian Basin, central Arctic Ocean. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper* 181, 57p.
- Darby, D.A. 1971. Carbonate cycles and clay mineralogy of Arctic Ocean sediment cores. Technical Report 8, Arctic Ocean Sediments.

Univ. of Wisconsin, Madison, 117p.

Darby, D.A., 1975. An evaluation of Arctic Ocean paleomagnetic stratigraphy. In: R.M. Fisher, M. Fuller, V.A. Schmidt, and P.J. Wasilewski (eds.), Proceedings of the Takesi Nagata Conference. Univ. of Pittsburgh, pp.230-244.

Ericson, D.B., M. Ewing, and G. Wollin, 1964. Sediment cores from the Arctic and sub-Arctic sea. *Science* 144: 1, 183-1, 192.

Galt, J.A. 1967. Current Measurements in the Canada Basin of the Arctic Ocean, Summer 1965. Technical Report 184, Univ. of Washington, 17p.

Goldstein, R.H., 1983. Stratigraphy and sedimentology of ice-rafted and turbidite sediment, Canada Basin, Arctic Ocean. In: B.F. Molnia (ed.), Glacial-Marine Sedimentation, Plenum Publishing Corp., New York, pp.367-400.

Herman, Y. 1970. Arctic paleo-oceanography in late Cenozoic time. *Science* 169: pp.474-477.

Hunkins, K. 1968. Geomorphic provinces of the Arctic Ocean. In:

- Arctice Drifting Stations. Arctic Institute of North America, Washing, pp. 365-376.
- Jones, G.A., 1987. The Central Arctic Ocean sediment record: Current progress in moving from a litho- to chronostratigraphy. *Polar Res.* 5: pp.309-311.
- Kitchell, J.A., J.F. Kitchell, D.L. Clark, and L. Dangear. 1978. Deep-sea foraging behavior: Its bathymetric potential in the fossil record. *Science* 200: pp.1289-1291.
- Margolis, S.V., and Y. Herman, 1980. Northern hemisphere sea-ice and glacial development in the late Cenozoic. *Nature*, 286(5,769): pp.145-149.
- Naidu, A.S. and T.C. Mowatt, 1983. Sources and dispersal patterns of clay mineral in surface sediments from the continental-shelf area off Alaska. *GSA Bull.*, 94: pp.841-854.
- Vilks, G., J.M. Hall and D.J.W. Piper, 1977. The natural remanent magnetization of sediment cores from the Beaufort Sea. *Canadian J. Earth Sci.*, 14: pp.2007-2012.

Zauderer, K. 1982. Analysis of Heavy Minerals in Arenaceous Lutites from the Northern Canada Basin, Arctic Ocean. Unpublished masters thesis, Old Dominion Univ., Norfolk, 83p.

제 3 절 북극에서의 고층대기물리 연구

1. 서론

지구의 고층대기 특히 열권과 이온층은 주기적으로 혹은 비주기적으로 끊임없는 변화를 하고있다. 이러한 변화는 전자기적 방사선이나 자기권으로 부터의 입자 강하등 직,간접적인 태양 에너지의 유입에 의해 발생하고 있다. 태양으로 부터 유입되는 에너지 중 강한 에너지 파장대의 빛은 대부분 흡수되어 열권의 일, 계절 그리고 태양 주기 변화 등과 관련한 열권의 특징적인 변화 양상을 일으킨다. 더욱 더 변화가 심한 에너지는 주로 태양풍 플라즈마로 부터 유입이 되는데 유입된 에너지는 지구의 자기권을 자극시키고 지구 자기장의 변화를 일으키기도 한다. 이러한 모든 과정들은 고층대기에 매우 복잡한 전기장이나 전류 등을 발생시키며 결과적으로 고층대기의 이온화 경향, 전기 전도도, 역학 및 열역학적 특성 그리고 구성 입자들의 변화를 초래한다. 태양풍은 태양 활동 주기에 따라 약 10,000~1,500만 메가와트의 전력을 자기권에 공급한다. 따라서 자기권은 일종의 거대한 발전기와도 같다고 할 수 있다 (Fig. 1).

태양으로 부터 오는 자외선 복사는 60 km 고도 이상의 고층대기 일부를 이온화시켜 이온권 플라즈마를 생성하는데 이온권은 이온 농도에 따라 몇개의 층으로 나뉜다 (Fig. 2). 가장 플라즈마가 농집된 지역을 F 층이

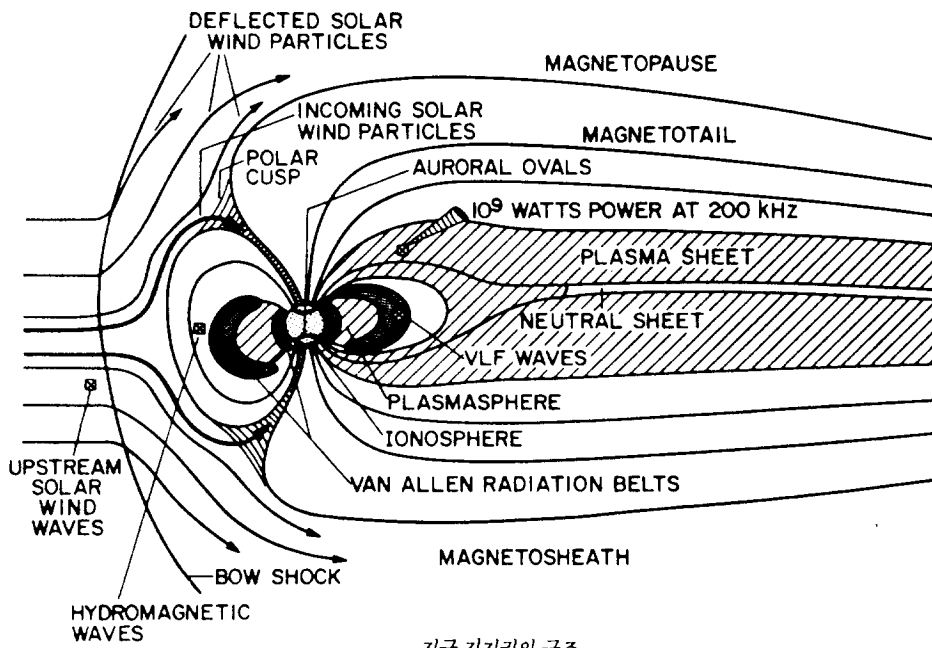


Fig. 1. Sketches showing the main features of the magnetosphere.

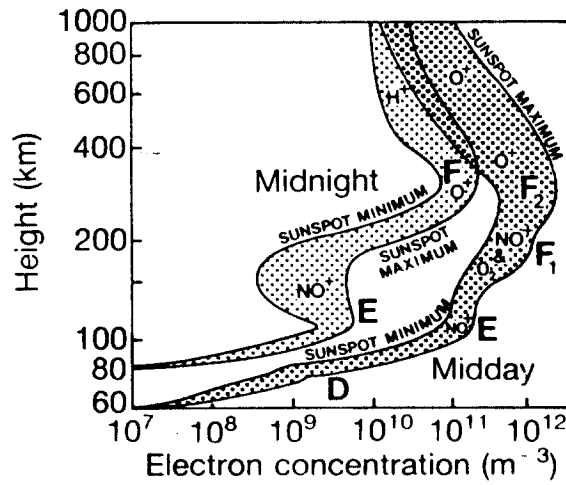


Fig. 2. Typical profiles of ionospheric density at mid-latitude with the various layers designated.

라하며 이 층은 다시 F1, F2 두개의 층으로 나뉜다. F1 층은 약 150~200 km 의 고도에 위치하며 주된 이온으로는 NO^+ , O_2^+ 등이 있다. 200 km 이상의 고도에 위치하는 F2 층은 주로 산소 원자 이온으로 구성되지만 이 고도에서도 플라즈마는 대기의 일부분을 형성하고 있을 뿐이다.

F 층 밑에는 E 층이 존재하며 산소, 질소 분자 등의 이온이 주 성분을 이루고 있으며 약 105 km 에서 peak를 이룬다. 가장 밑부분에 존재하는 이온권을 D층이라 하며, 이곳에서는 $\text{H}+(\text{H}_2\text{O})_n$ 이나 $\text{H}_3\text{O}+(\text{H}_2\text{O})_n$ 등의 cluster 이온들이 플라즈마의 주성분을 이룬다. 이온권 플라즈마는 일반적으로 입사되는 태양에너지, 이온과 전자의 화학반응, 그리고 이온화 과정의 수평, 수직 운반과정 등에 그 농도가 결정되는데 극 지방에서는 상황이 훨씬 더 복잡해진다.

특히, 극지방에서는 지구자기장의 형태에 기인하여 태양에너지가 쉽게 열권이나 이온층으로 유입되며 유입된 입자는 열권의 입자들과 충돌하며 에너지를 전달하게 되는데 이러한 과정에서 일어나는 현상중의 하나가 오로라 현상이다. 현재 지구는 오로라와 관련된 자기장에서의 파(wave)와 입자간의 상호작용으로 10 MW의 에너지를 방출하는 것으로 알려져 있다. 이온권과 자기권의 복잡한 관계는 아직도 충분히 이해되지 않고 있으며 이러한 연유로 고층대기물리연구는 주로 극지방에서 진행되어 왔다.

2. 목적

국제지구물리의 해 (International Geophysical Year, 1957/58) 이후 고층대기물리 및 우주연구는 보다 체계적으로 진행되었다. 당시에는 행간

물질의 성질이나 자기권에 대해서는 전혀 알려진 바가 없고 따라서 극지방의 열권 및 이온권 탐사가 연구의 주된 대상이었다. 국제지구물리의 해 기간동안 세계의 과학자들은 새로운 관측기기를 개발하고 효과적 관측을 위한 국제협력에 주력하였다. 특히 인공위성의 도입은 극지방 열권 및 이온권에 대한 직접관측과 지공간 전체에 대한 탐사를 가능하게 하였다. 당시의 과학적인 관심사는 주로 이온권의 일변화와 남, 북극 이온권의 차이, 그리고 지리적 남극과 지자기적 남극의 차이로 야기되는 결과에 대한 의문점 해결에 있었다.

고층대기물리를 연구하는 이유는 여러가지 있지만 그중 우선되는 이유는 고층대기의 물리, 화학적 변화가 인공위성과 우주비행선의 항해에 직, 간접적인 영향을 주게 된다는 데에 있다. 특히, 고층대기 열권 및 이온권 입자의 밀도 변화는 인공위성과의 마찰계수를 변화시키며 이것은 인공위성의 수명과도 직접적으로 관련이 되므로, 인공위성의 궤도와 속도를 결정하는데에는 우선적으로 고층대기의 물리, 화학적 특성을 고려하여야 한다.

또한, 고층대기 열권이나 그 이상의 고도에서는 지자기 폭풍이라하여 지구자기장이 심하게 교란을 일으킬 때가 있는데 이 현상은 종종 전 세계적인 통신장애를 수반하기도 한다. 이러한 현상은 특히 태양활동이 활발한 시기에 자주 일어나는데 고층대기연구를 통해 미리 예측, 대비를 할 수가 있다. 이외에도 다가오는 우주시대에 대비하여 다른 행성계를 연구하는데에 앞서 지구의 고층대기 혹은 근우주 환경이 우선적으로 이해되어야 할 것이다. 이러한 취지아래 지난 약 20여년간의 연구는 극상공 초고층대기의 물리, 화학적 현상을 이해하는데 많은 진전을 가져 왔다.

현재 진행되고 있는 고층대기 연구분야를 살펴보면 대략 다음과 같이 두가지 분야로 구분할 수 있다.

가. 태양풍과 지공간의 상호작용

극지방 관측에서 가장 중요한 요소는 극지상공의 전기장 분포이다. 극전기장은 지구대기와 태양풍 상호간의 에너지 흐름을 이해하는데 필수적이며, 이러한 관측은 극상공 총 전위(Total Electrical Potential)입자의 흐름패턴의 정보를 제공하게 된다.

나. Polar Cap 오로라와 극이온층

고층대기에서 발생하는 오로라는 그곳의 물리, 화학적 특성을 내포하고 있다. 행성자기장 (Interplanetary Magnetic Field)이 남쪽으로 향하면 오로라 현상이 적지만, 북쪽으로 향할 경우 오로라 현상이 빈번하게 관측된다. 이 둘 사이의 자세한 상관관계가 아직도 명확히 규명되지 않고 있고 앞으로 해결해 나갈 분야이다.

오로라와 관련하여 연구되어야 할 또 다른 분야는 자기 substorm과 관련하여 발생하는 극상공에서의 여러 현상들에 대한 이해이다. Substorm 이란, 자기권 깊숙한 곳에 간직되었던 자기에너지가 일순간에 방출되는 현상으로 이러한 자기 substorm과 관련된 현상들은 태양풍과 지공간 사이의 상호교류작용을 이해하는데 근본이 되고있다.

극지방에서의 연구 중 특히 흥미를 끄는 것은 이온들의 수직운동을 들

수 있다. 무거운 이온들이 이온층을 벗어나 자기권 플라즈마의 기본 성분이 되는 과정은 아직도 많은 의문점을 내포하고 있다.

3. 관측장비

고층대기 관측장비는 직접 관측 장비와 간접 관측 혹은 원격 탐사 장비의 두가지로 나뉜다. 직접 관측 장비는 그 뜻대로 탐사하려는 대상과 직접적인 접촉을 통해 관측을 수행하며 Rocket 이나 인공위성 등이 이 범주에 속한다. 물론 인공위성은 원격탐사 장비로도 많이 사용되고 있다. 이 두가지 관측장비는 직접적인 관측으로 가장 정확한 Data를 얻을 수 있는 장점을 갖고 있는 반면, 사용기간의 한계와 상대적인 비싼 비용으로 지속적으로 오랜 관측을 하는 데에는 적합하지 못한 단점이 있다. 이에 반하여, 원격 탐사에 의한 간접 관측 장비는 직접 관측 장비인 Rocket이나 인공위성 보다는 그 Data의 정밀도는 떨어지지만 장비를 운영하는 데 드는 비용이 상대적으로 적어 한 곳에서 지속적으로 오랜 관측을 하는 데 용이하다. 따라서 간접 관측 장비는 오랜 기간의 관측을 필요로 하는 곳에서 많이 사용되고 있으며 다음과 같은 기기들이 주로 사용되고 있다.

가. Incoherent Scatter Radar

고층대기물리 및 태양행성계 연구에 쓰이는 가장 성능이 우수한 관측 기기의 하나로 플라즈마의 밀도변화에 따라 레이더 신호의 산란정도를 측

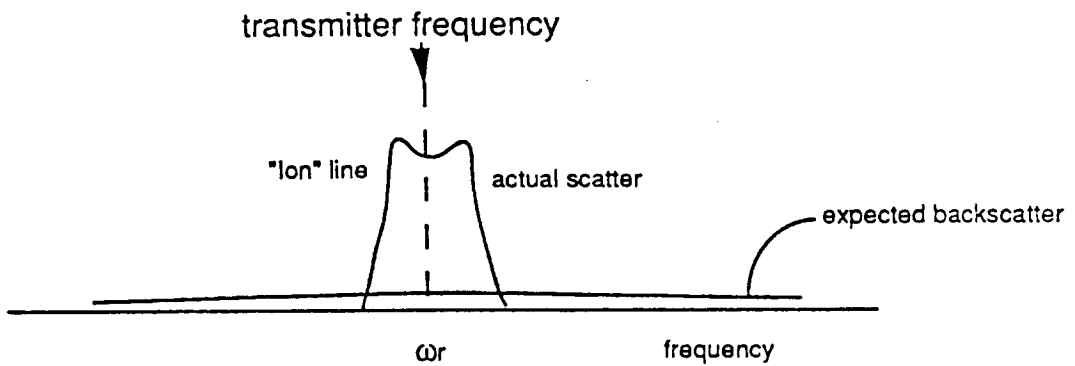


Fig. 3. The incoherent scatter radar looks at backscatter from individual electrons and ions. The double humped appearance to the backscattered signal is due to the existence of preferential frequencies (ion acoustic frequencies) in a plasma.

정하여 전자밀도, 온도, 이온온도, 전자이온 속도 및 이온층의 전도율 등 다양한 물리 요소들을 추출한다.

나. Fabry-Perot Interferometer

열권의 역학, 열역학 성질을 규명하는데 가장 많이 쓰이고 있는 관측 기구로 열권으로부터 오는 대기방사선을 고분해능의 간섭장치를 거쳐 도플러 효과를 이용, 열권의 온도와 바람 자료를 추출한다.

다. Rayleigh-Sodium Lidar (Light Detecting and Ranging)

레이저 빛을 이용하여 중간권 상부 및 열권하부 (85~105 km) 입자운동의 수직성분과 온도를 구할 수 있으며, 앞으로 중력과 연구에도 많이 응용될 것으로 보인다.

라. Imaging All-Sky System

주로 Airglow와 오로라 연구에 많이 사용되는 기기로 최근 CCD (Charged Coupled Device) 검출기를 이용하여 그 성능과 응용 분야가 더욱 향상되고 있다.

마. Spectrometer

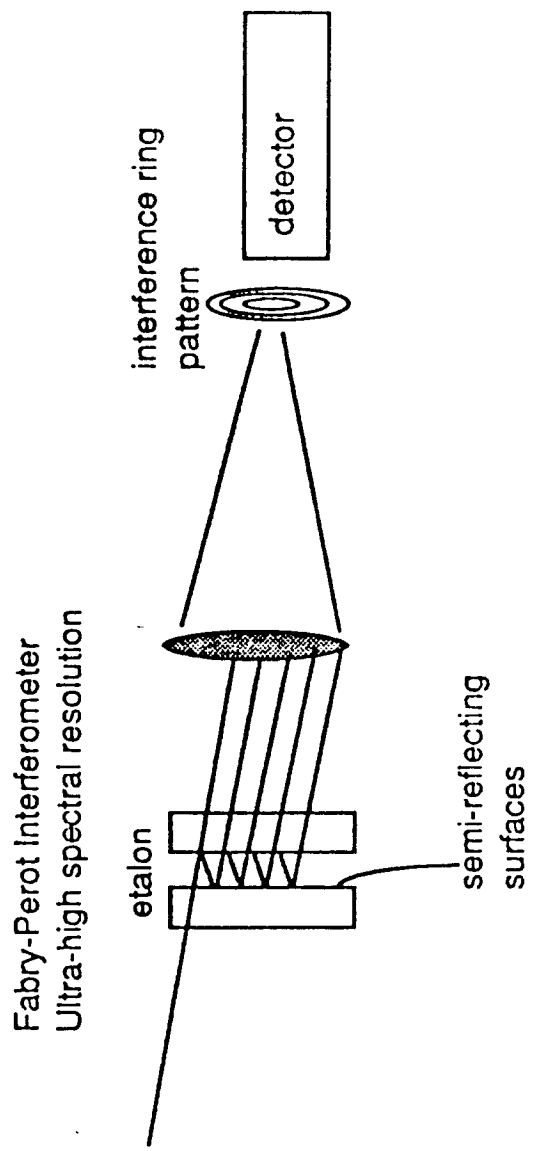


Fig. 4a. Multiple-beam interference in a Fabry-Perot interferometer

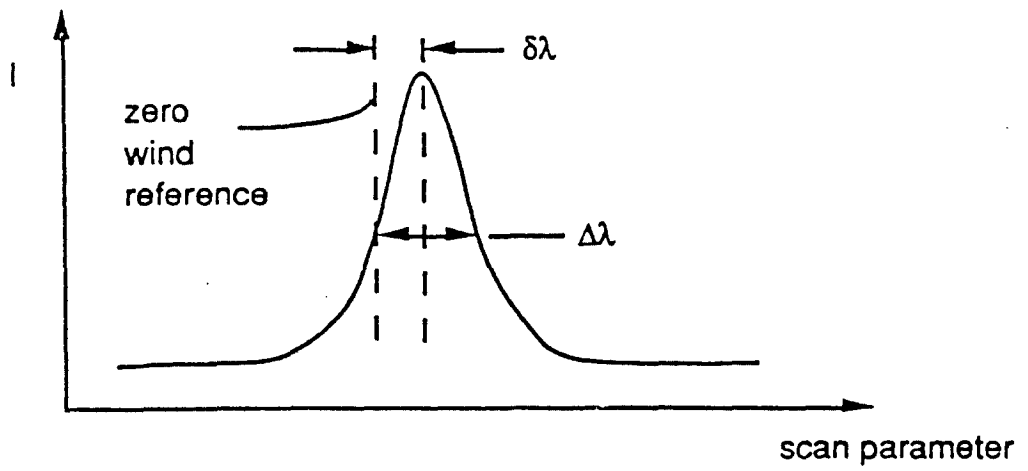


Fig. 4b. The Gaussian distribution of a thermally broadened and Doppler-shifted emission line.

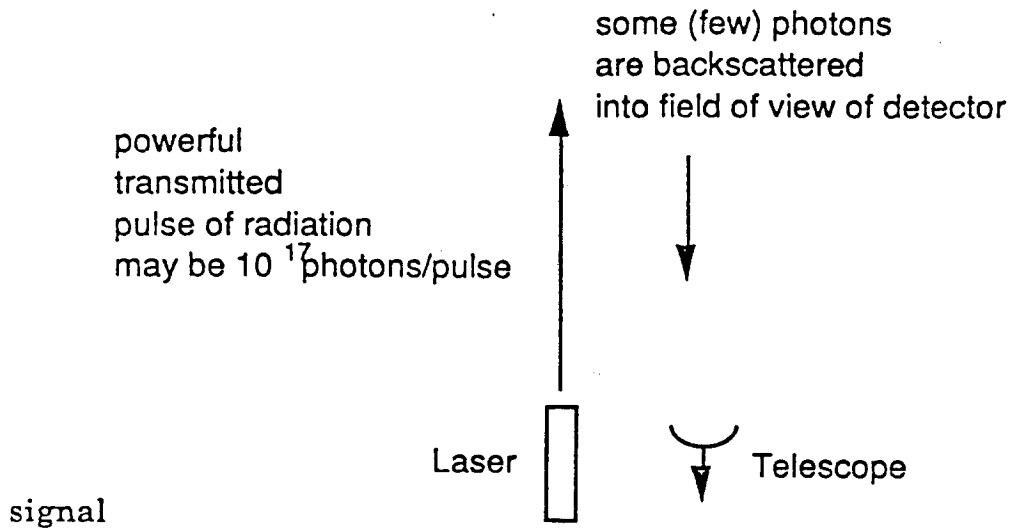


Fig. 5. LIDAR (Light Detecting and Ranging) measure density by observing their backscattered light which may be either resonantly scattered (eg. Sodium Lidar) or scattered from molecules (stratosphere and mesosphere) or aerosols (troposphere). The performance factor for a LIDAR is the product of the size of the receiving telescope aperture and the power of the transmitted signal.

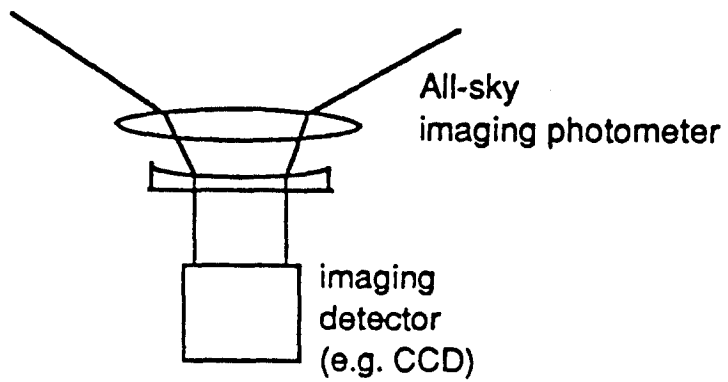


Fig. 6. An example of all-sky imaging photometer

Spectrometer는 고층대기 관측에서 가장 오래 전부터 사용되고 있는 관측기기로 Airglow 나 오로라 빛을 파장별로 분해, 관측하여 열권의 물리, 화학적 성질을 이해하는 데 사용되고 있다.

바. Ionosonde

이온층 연구에 가장 오랜동안 사용되어온 기기로 전자 및 이온밀도를 측정할 수 있다. radio wave frequency가 plasma frequency 보다 크면 투과하고 적으면 반사하는 성질을 이용하여 파가 반사되어 온 시간으로부터 고도에 따른 전자밀도를 측정한다.

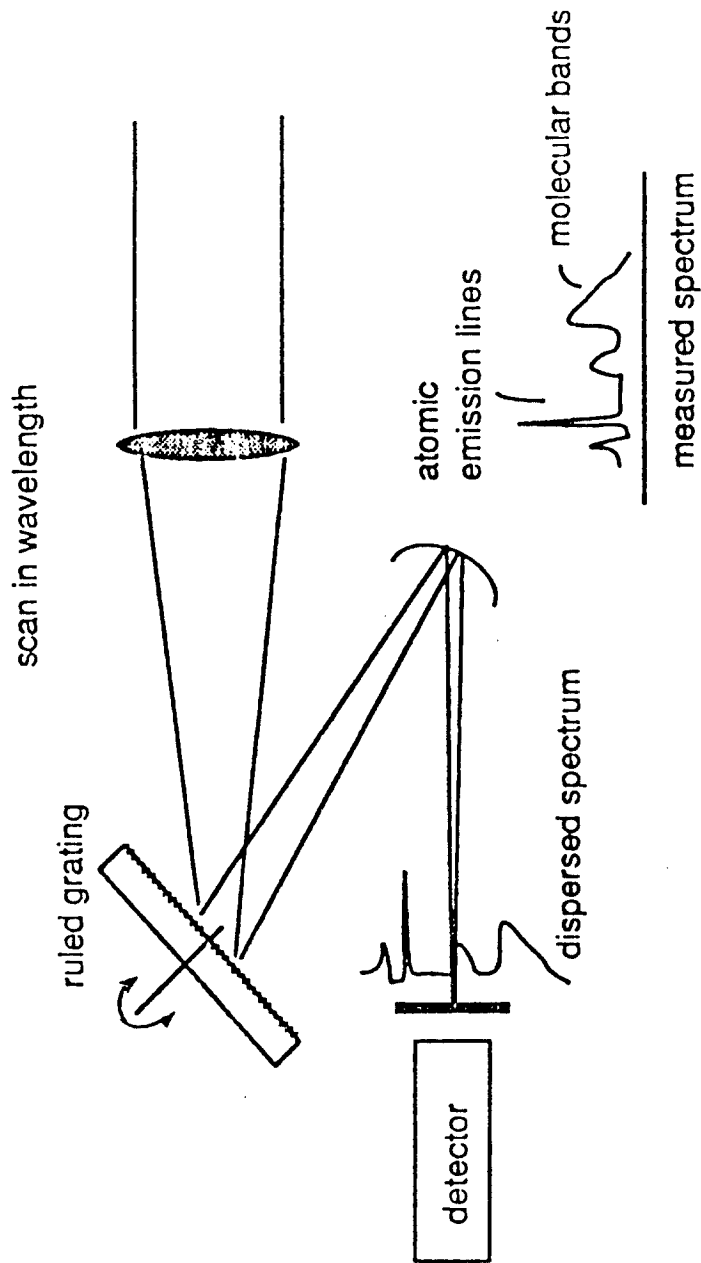


Fig. 7. Schematic diagram of a spectrophotometer. It provides detailed information about the composition and thermodynamics, as well as the upper atmospheric region where most of the auroral energy is deposited.

제 4 절 북극해의 석유자원

1. 서론

20세기 산업발전의 근간을 이루어온 석유자원은 개발비용, 기술, 안정성 및 수송비등의 모든 여건이 불리한 북극해에서도 자본의 논리와 국가의 논리라는 두개의 개발 배경을 의해 미국, 러시아등의 북극해 제국에 의해 꾸준히 개발되어 오고 있다. 자본의 논리는 현시점에서 채산성이 맞으면 물론이나 바로 이익이 얻어지질 않더라도 장래에 투자한 자금이상의 이익이 예상되면 그곳이 북극해라도 투자한다는 것을 그 배경으로 하고 있다. 한편 국가의 논리는 북극해에서의 자원개발과 더불어 국가주권을 명확히 하고자하는 국가이익의 측면을 배경으로 하고 있다. 예를들어 북극권국가로서 지금까지 이 지역에 대한 일관적인 정책을 추진해 온 캐나다는 북극권에서의 본격적인 자원개발과 더불어 국가의 주권을 명확히 하고자한다. 반면 미국은 알래스카유전으로 부터 미국동부로의 석유수송의 최단거리를 확보하기 위해 캐나다 북극해제도를 경유하는 북서항로를 공해로 주장하고 있다. 또 유럽에서의 노르웨이와 러시아 (구소련)는 Barentz 해에 대한 국경문제로 인해 이 해역에서 석유개발의 우위를 점하고자 개발에 박차를 가하고 있다.

북극해가 탐험의 대상에서 자원탐사 활동의 대상이 된것은 두말의 여지 없이 해저에 분포하는 막대한 양의 석유 및 천연가스 때문이다. 북극해에서의 석유 및 천연가스 개발은 단연 알래스카 유전으로 대표되는 미국이라 할 수 있으나, 기타 북극권에 주권을 행사하고 있는 여러국가에서

도 꾸준한 탐사를 수행하고 있다. 본 절에서는 북극해를 중심으로 석유 및 천연자원 개발현황을 살펴보고, 북극권제국의 자원개발 배경을 추적해 보고자 한다.

2. 미국

미국의 북극해 유전개발은 1968년 알래스카 북극해 연안의 North Slope 지역의 Prudhoe Bay에서의 해저유전의 발견이 그 계기가 되었다. 이후의 탐사결과를 포함한 Prudhoe Bay 유전의 가용매장량은 약 100억 배럴에 달하는 세계 최대급이다. 이 양은 1988년 일본이 일년간 수입한 원유 (12억 배럴)의 8배에 해당하는 양이다. Prudhoe Bay 유전의 원유생산은 발견후 9년뒤인 1977년에 시작되어 현재까지도 미국의 최대유전의 자리를 지키고 있다. Prudhoe Bay 유전의 개발이 계기가 되어 North Slope 지역에서 대규모의 유전 및 천연가스의 발견가능성이 높아지자 미국의 석유회사들은 일제히 북극해로 눈을 돌리게 되었다. 또 1973년과 1979년 두차례에 걸친 "Oil Shock"로 인해 안정적인 에너지 자원의 확보를 원하는 국가의 요청으로 인해 알래스카 북극해 연안에서의 석유탐사는 정력적으로 수행되게 되었다. 그 결과 Prudhoe Bay에 인접한 지역에서 계속적으로 유망한 유전이 발견되고 있다. 이러한 탐사의 결과로 알래스카의 석유 및 천연가스의 매장량은 미국 전영토의 약 40%를 차지하는 것으로 추정된다.

미국의 북극해 유전개발은 연안에서 보다 멀리 떨어진 대양으로 확대되어 가고 있는데, 대표적인 지역으로는 알래스카와 캐나다가 인접한

Beaufort Sea, 러시아와 국경을 접하고 있는 Bering Sea, 그리고 Chukchi Sea 등이다. 이러한 북극해 대양에서의 해저유전 탐사는 연안 및 내륙지역에서의 그것보다 비용, 기술, 수송비등의 모든면에서 비교할 수 없을 정도로 불리한 여건하에서 수행되고 있다. 그럼에도 불구하고 이들지역에 대한 탐사 및 개발이 계속적으로 이루어지고 있는 이유는 자본의 논리 이외에 북서항로를 확보하고자 하는 국가의 논리가 크게 작용하고 있음은 물론이다.

3. 캐나다

Prudhoe Bay 유전의 발견은 North Slope에 인접한 캐나다의 북극해 연안지역, 그리고 캐나다의 북극해 제도 등지에서 석유탐사를 수행하는 계기가 되었다. 캐나다 최대의 하천인 Mackenzie강이 북극해와 만나는 Mackenzie Delta와 그 북부에 넓게 위치하는 Beaufort Sea 그리고 북위 750에서 780에 이르는 북극해제도 일대도 석유 및 천연가스가 다량 매장되어 있는 것으로 추정되어 왔다. 그러나 험한 자연조건, 탐사개발비용, 수송의 문제등으로 인해 개발이 이루어지지 않았다. 이것이 Prudhoe Bay 유전의 발견이 동기가 되어 연방정부는 북극권에서의 적극적인 에너지 자원의 개발을 실시하게 되었고, 캐나다의 석유회사는 정부로부터 자금 지원을 받으면서 정력적인 탐사를 시작했다. 두번의 Oil Shock 또한 캐나다 석유회사의 투자의욕을 고취하는 계기가 되었으며 석유탐사는 1980년대 전반에 그 peak를 이루었다.

그러나 1985년 이후석유가격의 급락으로 인해 탐사개발이 대폭 줄어들

들게 되었다. 1989년 까지 Mackenzie Delta 및 Beaufort Sea에서 48개의 유망한 석유 및 천연가스 공이 발견되었지만 시험적인 생산을 제외하면 상업적인 생산은 전무한 실정이다. 석유가격의 하락과 더불어 최근에는 원주민과의 토지 사용에 따른 보상문제, 개발에 따른 환경보전의 문제등이 겹쳐 본격적인 생산을 늦추는 원인이 되고 있다. 그러나 캐나다의 석유회사들은 미래의 생산개시를 대비하면서 이들 지역에 대한 탐사활동을 계속하고 있다. 또 이미 탐사개발된 유전을 특별관리하고, 1년간 생산량이 미국의 Prudhoe Bay 유전의 1일 생산량의 1/5에 불과한 석유를 꾸준히 생산하고 있다.

이는 물론 지하자원의 회수를 계산하고 미래를 위해 투자하는 자본의 논리 뿐만아니라 자국의 기업이 진출해 있기 때문에 그 지역에 대한 주권을 행사하고자 하는 국가의 논리 때문이다. 특히 북극해 제도를 포함한 지역은 자국의 영토권을 주장하는 캐나다와 공해설정을 주장하는 미국과의 사이에서 국제법 상으로도 결론이 나지 않은 지역이다. 그 이유는 미국으로서는 이 해역이 장래 예상되는 알래스카, North Slope 해역의 유전으로 부터 미국동부로의 석유수송을 위한 극히 중요한 항로 (북서항로)를 포함한 지역이기 때문이다. 캐나다도 이로인해 가능한한 이 지역에 진출해 캐나다의 주장을 국제적으로 공인 시키고자 하고 있다.

4. 노르웨이와 러시아 (구소련)

유럽에서는 노르웨이, 러시아의 북극해 지역에 넓게 분포하는 Barentz Sea가 석유 및 천연가스의 매장지역으로 주목을 받고 있다. 국가재정의

상당부분을 북해유전 개발에 투자하고 있는 노르웨이는 북해유전이 90년대 초반에 끊어 질것으로 보여 북극해 유전개발을 서두르고 있다. 한편 외화획득의 70%를 석유 및 천연가스에서 얻는 러시아도 서시베리아의 내륙부에서의 탐사개발이 줄어들며 따라 Barentz Sea 및 Svalbard 제도 주변의 해저유전 개발에 의해 외화획득 수단을 확보하고자 하고 있다. 이 때문에 러시아는 서방의 기술을 도입해 이 해역에서의 적극적인 탐사를 실시하고 있다. 그러나 러시아와 노르웨이는 Barentz Sea의 국경문제로 10년 이상 분쟁중에 있다. 노르웨이에서는 Barentz Sea와 그 주변의 석유 매장량을 1000억 배럴로 추정하고 있는데 그 반정도는 러시아가 주장하는 러시아 영토내에 존재하고 있다. 양국에서는 이 해역을 "비합의지역"으로 부르고 있는데, Barentz Sea에서도 석유는 이 비합의지역에 집중되어 있다고 생각되고 있다. 석유강국 노르웨이에 있어서도 외화획득의 대부분을 석유자원에 의존하는 러시아에 있어서도 북극해의 석유자원 개발은 국가의 장래를 좌우하는 중요한 과제임을 알 수 있다.

현재까지 노르웨이는 Barentz Sea에서 상업생산성이 높은 유전을 발견하고 있지는 못하다. 그럼에도 불구하고 재정이 그리 풍부하다고는 할 수 없는 노르웨이가 Barentz Sea의 석유탐사에 막대한 재정을 투자하고 있는 배경에는 러시아와 분쟁중인 이 해역에서 자국의 주권을 주장하고자 하는 국가의지가 작용하고 있기 때문이다.

제 3 장

국제 북극 과학 위원회

(International Arctic Science
Committee; IASC)

1. 국제 북극 과학 위원회의 구성

국제 북극 과학 위원회는 1991년에 창립되어 1994년 현재 15개 국가로 구성되어 있다. 위원회는 매년 정기적으로 회의를 갖으며, 1991년에는 오슬로, 1992년에는 레이카비크, 1993년에는 스웨덴의 아비스크, 1994년에는 서그린랜드의 일루리사크에서 모임이 개최되었다. 각 국가는 대부분 학술원이나 북극 연구를 대표하는 유사한 국가 기관이 국가별 회원으로 가입되어 있다.

국제 북극 과학 위원회는 북극에 대한 과학 연구에 우선권을 두고 있으며, 이는 다음과 같은 사항으로 구성된다.

1. 전지구계와 관련된 북극에서의 현상
 - 빙하의 mass balance
 - 육상 생태계
2. 전지구적 변화가 북극 지역과 그 주변에 미치는 영향
 - 지역적으로 누적된 영향
 - 인류
 - 자외선 증가의 영향
3. 북극에서의 자연 현상
 - 해양/연안/하천계
 - 육상 생태계의 파괴 및 복원
4. 자원 이용 / 생태계의 구조 및 기능

2. 임원 (1994년 현재)

- 회장 : Prof. M. Magnusson (아이슬란드)
- 부회장 : Prof. B. Bolin (스웨덴)
 - Prof. I.S. Gramberg (러시아)
 - Prof. D. Futterer (독일)
 - Dr. O.R. Young (U.S.A.)
- 실행비서 : Mr. O. Rogne (노르웨이)
- 지역위원회 의장 : Prof. A. Karlquist (스웨덴)

3. 실무 그룹 (Working Group)

가. WG on Global Changes in the Arctic

- 의장 : Prof. G. Weller (캐나다)
 - 1992년에 레이카비크에서 심포지움 개최.
 - 국제 북극 과학 위원회의 전지구적 변화 계획 사무실이 핀랜드의 Rovaniemi에 설치됨.

나. WG for Geophysical Compilation and Mapping

다. WG on Arctic Glaciology

- 1994년 9월 폴란드에서 북극 빙하의 mass balance에 대한 workshop 개최

라. WG for Marine Geology

마. ISIRA - the International Science Initiative in the Russian Arctic

- 북극 육상 생태계의 파괴 및 복원
- 랍케프해의 Geosystem

부 록

(APPENDICES)

부록 1. Northern Forum 북극 탐사 여행 참가 보고서

1. 여행개요

- 참가자: 한국해양연구소 극지연구센터 책임연구원 김예동
- 탐사 기간: 1994년 5월 11 - 18일
- 대상국: 미국, 러시아, 핀란드, 스웨덴, 노르웨이, 아이슬랜드, 그린
랜드(덴마크), 캐나다 등 북극권 8개국 15개 도시.
- 참여인원: 공식 방문단은 승무원 포함 81명(미국 54, 러시아 14, 중
국 5, 일본 4, 노르웨이 2, 한국1, 영국1)으로 구성. 단,
앵커리지 주지사 Mr. Walter Hickel은 마지막 숙박지인
캐나다 Whitehorse 에서 합류하였으며, 대신 주지사 부
인 Ms. Ermalee Hickel 이 탐사기간 동안 동행 하였음.
참여인원의 직업별 분포를 보면, Northern Forum 소속
5, 금융,사업가 15, 승무원 포함 항공관련 종사자 16, 보
도진 16, 행정관료 14, 연구기관 4, 기타 통역, 관광사업
관련 11명 등이다.
- 교통수단: 미국 알래스카주에 위치한 Reeve Aleutian Airway 소속
B727-100 기종 1대를 전세 임대 하였음.

2. 활동 내용(1994. 5. 9~5. 20)

- 5. 9 : 오전 9:30 앵커리지 공항 도착, 총영사관 김옥주 영사가 공항에 마중나옴, 앵커리지 알라스카 박물관 방문.
- 5.10 : Northern Forum 사무실 방문 북극 항공 전문가 Pedersen 박사 면담,
동사무실 상주 일본 호카이도 대표 Mr. Satoru Murai 면담,
동사무실 상주 러시아 사하공화국 대표 Mr. Yury S. Petrov 면담,
앵커리지 총영사관 방문 김영식 총영사 면담,
- 5.11 : 앵커리지 공항에서 간단한 기념식후 12:00 출발,
항공기는 13:50 알라스카 북서부의 에스키모 마을인 Kotzebue 도착후 박물관 방문 및 민속 공연 관람후 출발,
날짜변경선 통과.
- 5.12 : 14:20 (현지시간) 러시아의 Chukotka 자치구 Anadyr 도착 (인구 3,000명), 입국수속후 헬기편으로 시내도착, 기자회견과 저녁식사후 출발.
Anadyr는 베링해에 연한 항구도시로 항구는 동결상태임.
17:00 (현지시간) 러시아 Sakha 공화국 북극해 항구도시 Tiksi 도착 (인구 9,000명). Sakha 공화국 대통령 Mr.

Mikhail Y. Nikolayev 주최 만찬후 호텔에서 숙박.

- 5.13 : Tiksi의 항만 시설 관람. 아직 바다는 동결 상태이며 6월초 Murmansk 에서 쇄빙선이 도착 항로 개척후 8월 말까지 항구개방.

연 20만톤의 화물을 처리할수 있는 상당한 규모의 항구도시로 주로 시베리아 내륙에서 벌목된 나무를 Lena 강을 통해 이곳으로 운반, 하계기간 동안 선박편으로 일본, 한국등지로 보냄.

도시는 광활한 툰드라 지역에 위치하며 건물은 콘크리트 고상식, 동계기간에는 섭씨 -40도 까지 내려가며 하계에는 영상 28도 까지도 기온이 상승한다고 함.

현지 중등학교 방문후 출발.

16:30 (현지시간) 러시아 Naryan-Mar 도착. 도시는 Nenets 자치구의 수도이며 15세기 부터 러시아인에 의해 개척되기 시작한 오랜 역사를 갖고 있음. 전통적으로 유럽지역에 목재를 공급하는 벌목 산업이 주였으나 최근에는 Barent해의 유전 개발과 함께 석유산업이 발달해 있음. 박물관 관람후 시장 주최 만찬과 민속공연 관람. Naryan-Mar는 동부 시베리아와는 달리 백계 러시아인이 지배적임.

- 5.14 : 08:00 Naryan-Mar 출발 러시아 Murmansk 에 도착, 출국수속후 13:00 핀란드 북부 Lapland의 수도 Rovaniemi 에

도착.

버스편으로 Convention Hall 로 이동 오찬과 민속 무용관람 후 Arctic Center 방문.

Rovaniemi는 Arctic Circle 에 위치한 핀란드 북부지역의 행정, 교육, 관광도시로 인구는 34,000명임. 특히 Lapland 대학이 위치하고 있으며, 북극연구 중심지로 육성 하기위해 Arctic Center를 설치 하였음. Northern Forum의 정기총회가 94년 9월중 Rovaniemi에서 개최될 예정임.

17:00 스웨덴 북부의 Kiruna 에 도착. 스웨덴 Lap 족 마을과 우주연구 센타를 방문. Kiruna는 세계 최대 규모의 철광상 지역이며 그외에 우주연구와 관광도시로 인구는 약 20,000여명임.

주변의 호수는 아직 얼어있는 상태이며, 공항시설이 비교적 잘 갖추어져 있음을 볼수있음.

19:30 노르웨이 Bodo 도착. 공항에서 환영 파티후 호텔에 도착.

- 5.15 : Bodo 시내를 돌아봄. Bodo는 북해에 연한 항구도시로 잘 발달된 항만시설과 대규모 공군기지가 위치하고 있으며 인구는 약 38,000명임.

12:00 Bodo 시 Aviation Center 개관식에 참석. 노르웨이 국왕이 참석 하였음. Aviation Center는 대규모의 항공 박물관으로 각종 항공기 및 기타 항공시설이 잘 전시되어 있음. 당

일 출발 예정이었으나 항공기 수리 부품이 도착되지 않은 관계로 출발이 연기되었음.

○ 5.16 : 07:00 Bodo 출발

09:30 아이슬랜드의 수도 Reykjavik 에 도착. 시내에서 30km 떨어진 지열 공급시설을 관람. 13개 시추공에서 분출된 수증기를 배관을 통해 Reykjavik로 수송 도시 전체의 난방을 해결하고 있음. 아이슬랜드의 총인구는 약 250만명이며 이중 절반이 Reykjavik에 몰려 있음. 산업은 주로 어업과 약간의 농업이며 풍부한 수력발전을 이용한 알미늄 제련 공업이 발달되어 있음. 17:00 출발

16:30 그린랜드의 Sondrestrom에 도착. Sondrestrom은 150km 에 걸쳐 발달된 피요르드 내만의 층적층 위에 위치한 인구 350명의 공항 시설임. 활주로 시설은 매우 넓고 잘 관리되어 있으며, 주변에 빙하는 보이지 않고 바다는 얼어 있는 상태임. 원래 미군에 의해 군사시설로 개발 운영 되었으나 현재는 덴마크 정부로 관리권이 완전히 넘겨진 상태임. 현재 Copenhagen 과 Reykjavik로 부터 SAS, Iceland Air가 취항중이며 그린랜드 내에서는 Greenland Air 로 이동 가능함. 현재 그린랜드 빙하에서 실시중인 그린랜드 빙하 시추 연구와 기타 고층대기물리 연구등이 Sondrestrom을 중심으로 수행되고 있음. 저녁식사후 캐나다로 출발.

18:30 캐나다 북동부 Baffin 섬에 위치한 Iqaluit 에 도착 임

국 소속. Iqaluit는 인구 3,600명인 조그만 도시로 60%가 에스키모 원주민이며 Baffin 지역 항공교통의 중심지임. 캐나다의 북서지역(NWT)은 1997년 2개의 주로 분리될 예정이며 이에 이곳 Iqaluit에 주 수도를 유치하려고 노력하고 있음.

18:00 캐나다의 Churchill 에 도착 숙박.

- 5.17 : Churchill은 매니토바주 허드슨만에 위치한 곡물 수송항으로 인구는 1,000명 정도임. 방문당시 바다는 동결 상태이며 부두는 시간당 60,000 부셀의 곡물을 선적할수 있는 시설을 갖추고 있음. 주 수출 대상지역은 브라질, 남아공화국 등임. 교통편은 Winnipeg에서 매일 캐나다 항공편으로 연결되고 있음.

특히 인근에 북극연구센터가 위치하여 북극연구를 위한 실험 시설과 관련 교육 프로그램이 제공되고 있음. 이곳은 1950년대부터 1989년 까지 과학연구용 로켓의 발사기지로도 사용된 바 있음.

10:30 Churchill 출발 12:00 캐나다 Yellowknife 도착

Yellowknife 주의회 방문후 캐나다 북극 위원회 심포지움에 참석.

이 도시는 캐나다 북서지역(NWT)의 수도로 인구는 30,000명인 행정 도시임. 고층건물들을 볼수 있으며 도시내에 빙하 지형이 다수 노출되어 있음.

16:00 Yellowknife 출발 18:00 캐나다의 Whitehorse 도착

공항에서 알래스카 주지사가 합류 하여 호텔에 투숙.

Whitehorse 는 캐나다 Yukon 주의 수도로 19,000명이 살고 있음. 일찌기 Yukon 강을 통한 교통수송의 중심지로 발달 하였으며 현재는 항공 교통의 중심지이며 알래스카 고속도로가 지나가고 있음.

관광 산업도 잘 발달되어 있으며 특히 야생보호 구역이 지정되어 있어 방문객이 많은 편임.

- 5.18 : 12:00 Whitehorse 출발 14:00 Anchorage 귀환. 공항에서 간단한 기념식후 해산. 김옥주 영사가 공항에 마중나옴. 총영사관 주최로 교민 몇분과 북극 관련 간담회를 가짐.

- 5.19 : 04:00 Anchorage 출발 5.20 07:00 서울 도착.

3. 관련정보

가. Northern Forum

Northern Forum 은 북극권 지역의 경제, 과학, 문화적 발전을 위하여 1991년 11월 8일 결성된 비정부간 국제기구로, 북반구 국가 자치구 지도자들의 협의기구이며, 1993년 12월 U.N.에 비정부간 기구(N.G.O)로 정식 가입하였다. Northern Forum은 동지역 지도자, 사업가, 대학들 간의 직접 대화 창구를 마련해 줄수 있다는데 큰 의의가 있다.

현재 미국 알래스카 주지사를 위원장으로 총 8개국(미국, 러시아, 중국, 일본, 몽고, 노르웨이, 핀란드, 캐나다) 18개 자치구 지도자가 정회원(Level I)으로 가입되어 있으며, 한국은 국가 자격으로 준회원(Level II)으로 되어 있다. 일본의 경우는 호카이도, 중국은 흑룡강성이 가입되어 있으며, 우리나라는 외무부의 권유로 경기도가 내무부 승인을 전제로 가입 의사를 표명하고 있으나, 내무부는 지자체 실시 이후로 늦추는 것이 바람직 하다는 입장을 표명하고 있다. 1994년 현재 가입국을 보면 다음과 같다.

(구 성 원)	(소 속)
Walter Hickel (Chair)	State of Alaska (U.S.)
Sigbjorn Eriksen (Vice Chair)	Northern Norway (Norway)
Mikhail Y. Nikolayev (Vice Chair)	Sakha Republic (Russia)
Damdinjaviiin Batsukh	Dornod Province (Mongolia)
Alexander S. Beylyakov	St. Petersburg Oblast (Russia)
Vladimir A. Biryukov	Kamchatka Oblast (Russia)
Arnt Froseth	S. Trondelag (Norway)
Viktor I. Ishaev	Khabarovsk Krai (Russia)
Vyacheslav I. Khudyaev	Komi Republic (Russia)
Yuri Komarovskiy	Nenet Autonomous Okrug(Russia)
Evgeny Krasnoyarov	Sakhalin Oblast (Russia)
Victor G. Mikhailov	Magadan Oblast (Russia)
Alexander V. Nazarov	Chukotka Autonomous Okrug

	(Russia)
Asko Oinas	Lapalnd Region (Finland)
John Ostashek	Yukon Territory (Canada)
Qi Hui Shao	Heilongjiang Province (China)
Nikolai M. Volkov	Jewish Autonomous Oblast (Russia)
Takahiro Yokomichi	Hokkaido Prefecture (Japan)
Republic of Korea	(Membership Level II)

Northern Forum은 상설 사무국을 앵커리지에 갖고 있으며, 일본, 중국, 노르웨이, 러시아 사하공화국 등은 각각 대표 1명씩을 사무국에 상주시키고 있다. 현재 Northern Forum에 의해 추진되고 있는 사업을 보면 다음과 같다.

- 1) Environmental Monitoring
- 2) Wildlife Management
- 3) Northern Sea Route
- 4) Capital Formation in the North
- 5) Human Ecology
- 6) Environmental Health and Emergency Response
- 7) East West & Circumpolar Air Route
- 8) Management of Marine Resources

나. 북극해 해운항로의 개발

북극해 항로는 러시아의 북극해 연안을 따라 대서양과 태평양을 연결하는 해상 수송로이다. 보통 서쪽의 무르만스크에서 Barent, Kara, Laptev, East Siberia, Chukchi해를 거쳐 동쪽의 베링해까지를 의미한다. 북극해 항로는 약 3,000 해리에 걸쳐 가장 해빙이 약한 해역을 따라 놓여 있으며 최저 수심은 Leptev해에서 8 m에 불과하다. 그러나 루트에 따라 통상적인 최저 수심은 20 m 내외이다.

전세계 공업생산의 80%는 북위 30도 이북지역에서 생산되고 있으며, 모든 중요한 공업지역은 북극에서 6000 km 내에 위치하고 있기 때문에 북극해를 통한 국제간의 물자 수송이 경제성이 있을것으로 전망된다. 향후 동루트에 대한 경제성과 기술적 가능성만 구체적으로 확인된다면, 스웨즈, 파나마 운하를 통하지 않는 새로운 수송로로 개발될수 있을 것이다.

현재 러시아는 새로운 시장경제 체제의 도입과 함께 천연자원이 풍부한 북부 내륙지역의 개발에 힘쓰고 있으므로, 이를 위해서는 북극해 항로의 개발과 관련 항구의 개발이 가장 중요한 역할을 하게될것이다. 동지역은 엄청난 석유, 광물자원, 목재 및 농산물을 생산하고 있으나, 현재는 자본과 도로, 항만등 기간시설의 미비로 시장성이 없다. 따라서 북극해 항로의 대외적 개방을 통한 무역과 투자를 촉진함으로써, 동지역의 개발을 도모하고 있다.

러시아는 1937년 부터 북극해 연안 지역의 물자공급을 위해 동 항로를 이용하고 있으나, 1987년 이전까지는 러시아의 군사 안보적 측면에서 개방이 금지 되었다. 그러나 1987년 당시 고르바췌프 수상이 북극항로에 대한 개방을 언급함으로써 국제 수송로로서의 개발 가능성이 제시되었다.

이에 따라 1991년 7월 북극해 항로 위원회가 Chukotka주 Pevek시에 설치되어, 동항로 사용에 따른 허가철차 및 기타 규제조항이 만들어졌다. 과거 러시아 국영회사였던 무르만스크 해운회사와 극동해운회사는 동항로 운항 경험과 수많은 보유 선박을 토대로 상업화에 노력하고 있다. 서방측 회사로는 1993년 핀란드 Masa Yard, Neste Shipping 과 무르만스크 해운이 합작한 북극 해운 서비스사가 설립되어, 러시아 Arkhangelsk 시에서 극동 시베리아 지역으로 디젤유를 수송하고 있다.

한편 1990년 6월 노르웨이 오슬로에 위치한 난센 연구소는 북극해 연구계획을 수립, 향후 5년간 북극해 지역의 항해, 환경, 정치, 경제, 법제도 등에 대한 종합적인 연구를 수행중이다. 난센연구소의 국제 북극해 항로 연구 계획은 러시아 세인트 피터스버그 소재 Central Marine Research & Design Institute 와 일본 동경 소재 Ship & Ocean Foundation 등이 후원하고 있다.

미국은 1992년 10월 알래스카주와 무르만스크 해운회사 간에 북극해 항로 개발에 관한 협약이 체결되었다. 미육군 공병단은 2년간 북극해 항로개발을 위한 선단의 구성, 환경, 물동량 추정등 기술적인 검토를 위해 연방정부로 부터 60만불을 지원 받아 연구중에 있다. Northern Forum 에서는 14명의 주지사가 1991년 11월 8일 북극해 항로 개발을 지원하기 위한 협정에 서명한바 있다.

시베리아 북극해 북동 해운항로의 개발은 극동지역에서 유럽으로 가는 수송 기간을 1/3 정도 단축시킬수 있을것으로 전망되며, 또한 시베리아 자원 개발에 따른 이지역 물동량의 증대가 전망됨에 따라 가까운 시일내에 상업적 이용이 가능할것으로 판단되므로 국내 해운업계에서도 이에 대

비한 사전준비가 요망된다. 또한 상기 항로의 개발은 추후 세계 조선업계에 미치는 영향 또한 클것으로 전망되므로, 이지역 운항을 위한 내빙유조선, 컨테이너선 수요 증가에 대비한 사전조사 또한 요망된다.

다. 러시아 사하공화국

동부 시베리아에 자리잡은 사하공화국(옛이름: 야쿠티아)은 면적이 300만 평방 킬로미터에, 러시아의 20%를 차지하는 방대한 규모의 자치구로서, 국토의 40%가 북극권(북위 66도 33분 이북)에 놓여있다. 1월의 평균기온은 -40도, 7월은 +30도로 극심한 기온차를 보인다. 평균 강수량은 무척 적어 연간 150~200 mm 에 지나지 않는다. 총인구는 110만명으로 이중 16만명이 레나강변에 위치한 수도 야쿠츠크시에 거주하고 있다.

야쿠츠크시에는 야쿠츠크 과학센터와 메디칼센터등 2개의 연구소와 학생수 5,000명인 야쿠츠크 국립대학이 있다. 최근에는 도시내의 건축열기가 대단해 러시아 북부지역의 교통과 상업의 중심지로 탈바꿈하고 있다.

사하 공화국의 80%는 타이가라고 부르는 시베리아 원시림으로 덮여 있으며, 벌목과 목재운송의 중심지는 렌스크(Lensk)시이다. 또한 600~1,000 m 에 달하는 영구동결토의 하부에는 세계에서 가장 매장량이 풍부한 석유, 천연가스, 광물과 보석이 매장되어 있다. 러시아 다이아몬드의 99%와 세계 다이아몬드 생산량의 25%가 사하공화국의 미르니(Mirny) 시에서 생산되고 있다. 이밖에도 금, 주석, 석탄이 매우 풍부하며 철, 구리, 석고, 무연탄, 유연탄, 수은등이 산출된다. 현재 사하공화국은 자원생산량의 10%를 국외 시장에 직접 팔수 있는 권리를 갖고 있으므로, 이

를 이용해 벌어들인 외화를 생산시설의 확대와 공공시설에 투자하고 있다. 사하공화국은 농업생산도 풍부해 밀, 보리, 귀리, 감자, 야채등을 생산하고, 육우, 닭, 순록등을 기르고 있으며, 특히 러시아 고급모피 생산량의 20%를 점유하고 있다. 기타 식품가공, 공기계 생산, 조선, 목재가공업도 발달되어 있다.

영구 동결층 때문에 이지역의 도로와 철도의 건설에는 많은 어려움이 따르므로, 교통수단은 주로 겨울철의 얼음위나 항공, 선박에 의존하고 있다. 사하공화국은 농업과 광산지대를 연결하는 자체적인 철도를 갖고 있으나 아직 미비한 실정이며, 대부분의 물자는 북극해 연안의 항만도시 틱시(Tiksi)를 통해 유입, 레나강을 따라 야쿠츠크나 다른 내륙지역으로 운반된다. 항공로는 모스크바, 이르쿠츠크, 마가단 으로 연결되어 있으며 최근에는 국제공항으로 허가받음에 따라 많은 국제항공사들이 취항을 희망하고 있다.

사하공화국은 방대한 천연자원과 비교적 안정된 정치, 법제도 등으로 투자가치가 매우 높은것으로 평가되며 동지역의 장기적인 경제발전은 북극해 해운 및 항공 수송로의 개발에 투자를 증대함으로써 가속화 될것으로 전망된다.

라. 과학연구를 통한 북극진출

Northern Forum 에서 추진되는 사업계획들을 보면 과학관련 분야가 많이 포함되어 있으며, 이는 과학을 통한 초기협력이 추후에 동지역의 경제적 결속으로 발전될 가능성이 크다. 향후 북극권 지역에서의 자원개

발이 가속화 될것으로 전망되는바, 우리나라와 같이 북극해에 직접 면해 있지 않은 국가는 Northern Forum과 같은 국제기구에 적극 참여 함으로써 북극지역 개발에 참여할수 있는 길을 마련해야 할 것이다. 특히 극동지역에서 북극해를 통해 유럽으로 가는 해운 항로의 개설과 외국에서 시베리아 내륙지역으로의 항공기 직항로 개설등은 가까운 시일내에 이루어질 것으로 전망되므로 이에 대비한 조사와 사전준비가 요망된다.

특히 해양연구소는 경기도에 위치하고 있으므로, 1995년 지자체 실시 이후 경기도가 Northern Forum에 정식 가입할수 있도록 적극적인 권유와 협조가 요망된다. 이를 통해 경기도는 정식회원으로서 Northern Forum에 참여하며, 해양연구소는 경기도를 도와 활동에 필요한 과학분야의 실제업무를 담당할수 있을 것이다.

북극연구를 위해서 진출 가능한 지역과 방법을 보면, 알래스카 Fairbanks 지구물리 연구소, 핀란드 Rovaniemi 북극연구 센터와 공동연구 추진, 캐나다 Churchill의 북극연구 시설 활용, 그린란드 Sondrestrom 등에 실험실 설치등이 가능할 것으로 사료된다. 러시아 시베리아 지역은 교통, 수송, 도로, 통신시설 등의 미비로 상주시설을 설치 운영하기는 적합하지 않으므로, 필요시 하계기간 작은 규모의 연구팀을 파견하는 것이 보다 바람직하다.

마. 북극 동서 항공노선

지금으로부터 66년전 미국의 Carl Ben Eielson 과 호주의 Hubert Wilkins 경이 알래스카에서 스피츠베르겐섬까지 최초로 북극해 비행에 성

공한 이후 북극해 통과 항공로는 별로 이용되지 못하였다. 북극상공을 통과한 최초의 여객기는 한국전쟁 중 노르웨이에서 의료진을 수송하기 위해 알라스카를 거쳐 동경에 도착한 전세기 DC-6B 였다. 그후 여러 항공사들이 경쟁적으로 북극항로를 이용하였으며, 북극지역 상공을 통과하는 실제 항공 루트는 국제정세의 변화에 따라 다소 변화해 오고 있다. 그러나 아직까지 아시아에서 북미 대륙으로 최단코스는 역시 북극을 통과하는 항로이다.

최근에는 구소련의 몰락과 러시아 개방주의의 여파로 시베리아의 개발이 예상되고 있으며, 이에 따라 북극지역의 항공수송 요구도 급격히 증가될 것이다. 현재는 대부분의 러시아 공항의 비행관제시설, 통신시설들이 서방의 항공기 기준에 맞지 않으므로써 직항로 개설이 이루어지지 않고 있으며, 외국과의 정기노선 개설등에는 많은 투자와 노력이 요구되고 있다. 그러나 시베리아 개발을 위해서는 외국과의 직항로 개설이 필수적인 만큼 미국 자본과 기술이 공항시설 현대화에 투자되고 있다. 미국은 현재 러시아를 통과하는 항공로의 개방으로 효율도가 감소된 앵커리지 공항을 시베리아로 들어가는 동서 항공로의 관문으로 유치하려 노력중이며, 중국은 향후 하얼빈을 서방과 시베리아 연결의 항공 관문으로 삼으려는 계획이다. 이는 향후 우리나라 영종도 신공항의 국제적 역할과도 연관된 문제이므로 동항공로에 대한 사전 조사연구가 요망된다.

북극권 지역 도시들을 연결하는 환북극권 항공로선의 개발은 동지역의 발전에 매우 중요한 역할을 하게 될 것이며, 당장은 관광산업에 지대한 영향을 미칠 것으로 기대된다.

4. 제언

남극대륙 및 남빙양은 일찍부터 국제적 합의가 이루어져, 정치적으로 남극조약, 과학연구는 국제 남극과학 위원회에 의해 관리되고 있다. 그러나 북극해는 남극과는 달리 대부분이 영유권 및 관할권 수역이기 때문에 북극권 국가 8개국의 직접적인 이익이 관련되어 있으며, 따라서 최근까지 특별한 관련 국제기구가 없었다. 그러나 냉전시대의 종말과 함께 북극권의 개방이 이루어지면서 북극권 지역 국가간의 국제기구 구성이 필요해졌다. 따라서 북극권 국가들간의 협의가 이루어져, 1991년 북극 환경보호 전략이 채택되었다.

또한 북극의 기초 및 응용과학 연구를 위한 비정부간 기구로 국제 북극과학 위원회가 1990년에 설립되었다. 그러나 이와같은 북극기구는 남극관련 기구보다 가입면에서 훨씬 폐쇄적이므로, 우리나라와 같이 북극지역에 연고권이 전혀없는 국가는 가입이 어려운 실정이다. 그러나 국제 북극과학위는 정치기구가 아닌 비정부간 과학기구를 표방하고 있으므로, 연구활동과 실적이 있는 경우 가입이 가능하다. 다만 북극지역이 거의 영토권, 주권, 및 관할권 지역이기 때문에 독자적인 연구활동이 어려운 실정이며, 따라서 관련 국가들과의 공동연구를 통해 우선적으로 북극진출로의 확보와, 동연구결과를 토대로 북극과학위원회에 가입을 추진하는 것이 바람직하다. 또한 북극연구는 그것이 갖는 지구환경 변화연구의 중요성 때문에, 향후 예상되는 본격적인 그린라운드에 대비한 사전 정보를 제공하는데도 기여할것으로 전망된다.

Northern Forum은 정치기구 보다는 순수 경제협력기구의 성격이 강

하며 가입에 제한이 없으므로, 이러한 기구에 적극 참여하는것이 바람직하다. 이러한 노력은 향후 우리나라를 북극이해 당사국으로 인정받는데 결정적인 도움을 줄 것이다. 북극은 무한한 경제적 잠재력을 갖고 있는 지역으로, 머지않아 본격적인 개발이 실시될 예정인바, 동지역으로의 적극적인 진출은 국익에 큰 영향을 미치리라 여겨진다. 대부분이 주권지역인 북극으로의 진출을 위해서는, 정치성을 배제한 북극과학위원회 같은 과학기구나 Northern Forum 같은 경제협력기구를 통한 접근방식이 현실적으로 바람직하다고 사료된다.

부록 2. 일본 북해도대학 저온과학 연구소 관련 자료

1. 연혁

일본 북해도대학 저온과학 연구소는 1942년에 설립되어 당시에는 물리학, 응용물리학, 기상학, 해양학, 생물학, 의학부문이 설치 되었다. 그후 동상학, 융설과학 부문 등이 증설되어, 현재는 12개 연구부문과 기술, 행정부를 포함 총 75명의 직원으로 구성되어 있다.

2. 조직

- 1) 연구부문 - 물리학부문 (Physics)
 - 응용물리학부문 (Applied Physics)
 - 기상학부문 (Meteorology)
 - 해양학부문 (Oceanography)
 - 설해과학부문 (Snow Damage Science)
 - 동상학부문 (Frost Heaving)
 - 융설과학부문 (Snow Hydrology)
 - 설빙기후물리학부문(Cryosphere Climate Physics)
 - 식물동해과학부문 (Frost Injury in Plants)
 - 동물학부문 (Zoology)

생리학부 (Physiology)

생화학부 (Biochemistry)

2) 부속유빙연구시설 (Sea Ice Research Laboratory)

3) 기술부 (기기개발, 관측해석)

4) 사무부 (저온기관실, 도서계, 연구협력실)

3. 직원

교수 13	조교수 7
강사 4	조수 19
사무관 19	기술관 13
대학원생 42	

4. 주요시설(총 36실; 652 m²)

일반저온실- 소저온실 (0- -40 ℃)	22실(182 m ²)
중저온실 (0- -20 ℃)	2실 (61 m ²)
준비실 (0- -20 ℃)	2실 (94 m ²)
전실 (0- -20 ℃)	3실 (30 m ²)
대형저온실 (0- -30 ℃)	1실 (86 m ²)
저온풍동실 (0- -30 ℃)	2실 (157 m ²)
극저온실 (-60, -80 ℃)	2실 (18 m ²)
정밀저온실	2실 (24 m ²)

눈사태 관측실

동상 관측실

용설 관측실

5. 주요장비

화상처리장치, 현미경 간섭계, 극저온 질량분석장치, 초고진공 반사 전자회절장치, 편광해석장치, X선 회절장치, 만능재료시험기, 저온 풍동장치용 풍속제어장치, 초음파 유속계, 냉동현미경, 고분해능 핵자기공명장치, 현미경박편제작기, 고감도 이온분석기, 초저온시료용 전자현미경, 종합 기상 관측시스템, 고감도 시차 주시열량계, 동상 시험장치, 전기탐사장치, 세포막 초미유동 관측장치, 수문기상 관측시스템, 방사선 감시시스템, 기상위성 수신장치, 자동추적장치, 유빙관측용 레이다, 기상관측용 레이다, 유빙 레이다 신호처리기, 초음파 파고계, 초소형 초음파 풍속 온도계, 적외선방식 탄산가스 수증기변동 시스템, CTD 시스템 등.

6. 주요연구분야

- 눈의 결정, 적설, 해빙 등 한냉지역의 기초연구와, 눈사태, 취설, 동토 등 적설 한냉지역에서의 특유한 재해방지를 위한 응용연구를 수행.

- 동식물의 한냉 적응 메카니즘 연구, 그린랜드와 남극 빙상연구, 대기와 해양의 상호작용, 한냉권 환경이나 설빙권의 변동, 우주공간의 설빙연구 수행중.
- 연구지역 : 주로 북극권 한냉지역과 오호츠크해 등이 주대상이며 남극의 유빙, 영구빙결토, 시베리아 동토층 에서의 연구가 활발히 진행되고 있음.

가. 물리학부문

얼음의 원자구조에 대한 실험이 주요 연구대상임. 예를들면 눈과 얼음의 형태 및 결정성장; 얼음결정의 표면 용융과 거칠어짐; 극지 시추얼음의 물리적 특성; 태양계에서 H₂O, CO, CO₂, CH₄ 등 혼합개스의 동결연구 등.

나. 응용물리학부문

적설과 눈의 특성 파악을 위한 마이크로웨이브 탐사; 영구동토층과 대규모 지표얼음을 이용한 고기후연구; 공극수의 동결특성; 다결정 얼음의 파괴작용; 해빙의 결정구조와 성장연구 등.

다. 기상학부문

얼음과 눈의 구조, 기체, 전기적 특성등 물리적 성질; 빙하, 빙봉, 우주

빙하와 연관된 얼음과 암석의 혼합물의 물리적 특성; 풍설, 눈사태, 눈의 다져짐 현상과 연관된 눈의 용융 현상과 상변화 연구 등.

라. 해양학부문

남극해와 오호츠크해에서의 대기; 해빙, 해양의 상호작용; 오호츠크해에서의 해류순환; 폴리냐의 생성 메카니즘; 해빙연변부에서의 선형 불안정성 연구 등.

마. 설해과학부문

산사태 발생 메카니즘(적설내 연약층, 눈사태 예보, 눈사태 예방용 조립 연구등); 빙하 크기 변화, 빙하유동 특성; 제4기 빙하작용; 얼음의 성질을 이용한 고기후 추정연구 빙하와 빙붕의 유동현상 연구 등.

사. 동상학 부문

동결파괴력; 토양동결시 열과 수분 전달; 동결토의 기계적 열적 특성; 동결토 내부에서의 물의 이동; 극지역의 동결토 탐사 연구 등.

아. 용설과학부문

눈 수문학; 경계면 기상학; 용설수 배수; 용설수 배수 분지의 열균형

연구 등.

자. 설빙기후물리학부문

기후 시스템 연구; 눈구름 내에서 눈의 생성과정과 구조역학; 기후변화에서의 해양의 역할; 빙하, 눈과 해빙이 기후에 미치는 영향 연구 등.

차. 식물 동해과학부문

식물 동해시 생화학적, 분자 생물학적 연구; 온도에 따른 분자반응의 현미경적 연구; 개체군의 한냉적응 진화에 관한 생태학적 연구 등.

카. 동물학부문

한냉 동물및 곤충의 생태, 생지리학적 연구; 육상 무척추 동물의 내한성 생리학적 연구 등.

타. 생리학부문

고등식물의 저온환경에 적응을 위한 분자구조와 기능연구; 동결상태에서 단백질 안정성 연구; 온도변화에 따른 미생물 변화와 분자 변화; 동결시 분자구조의 적응 연구.

파. 생화학 연구부문

저온에 따른 곤충의 방어 메카니즘; 곤충의 지질운송을 위한 분자 역학.

하. 부속 유빙연구시설

해빙 레이더를 이용한 유빙의 분포와 이동연구; 해안 공학; 해빙 연안 지역에서 대기, 해빙, 해수의 상호작용; 대기, 해수 경계면 관측; 연안 해빙 하부에서의 해양 경계층에서 생기는 와류 측정연구 등.