



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

서북극 척치해의 제4기 후기  
해양퇴적층에 대한 퇴적환경 연구

濟州大學校 大學院

地球海洋科學科

趙榮鎭

2014年 8月



# 서북극 척치해의 제4기 후기 해양퇴적층에 대한 퇴적환경 연구

指導教授 尹 錫 勳

趙 榮 鎭

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

2014年 8月

趙榮鎭의 理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_

委 員 \_\_\_\_\_

委 員 \_\_\_\_\_

濟州大學校 大學院

2014年 8月

# Depositional Environment of the Late Quaternary Sediments in the Chukchi Sea, West Arctic

Young Jin Joe  
(Supervised by professor Seok Hoon Yoon)

A thesis submitted in partial fulfillment of the  
requirement for the Degree of Master of Science

August, 2014

Department of Earth and Marine Sciences

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

List of Figures .....	iii
List of Tables .....	v
 ABSTRACT .....	 vi
 제1장 서 론 .....	 1
 제2장 북극해 지역개관 .....	 4
2.1 북극해 해저 지형 .....	4
2.2 북극해 지구조 및 발달사 .....	5
2.3 북극해 해양 순환 .....	7
2.4 빙해양 퇴적환경 .....	9
 제3장 연구 자료 및 방법 .....	 11
3.1 고해상 해저지층탐사 자료 .....	11
3.2 코어 자료 .....	13
 제4장 고해상 탄성파상 .....	 18
4.1 탄성파상 분류 .....	18
4.2 탄성파상 분포 .....	23
4.3 탄성파상 해석 .....	29
 제5장 퇴적상 .....	 32
5.1 코어 기재 .....	32
5.2 퇴적상 분류 및 해석 .....	55
 제6장 토 의 .....	 62
6.1 척치해 빙해양 퇴적작용 .....	62
6.2 척치해 빙해양 퇴적모델 .....	68

6.3 시베리아 빙상 .....	71
제7장 결 론 .....	73
참고 문헌 .....	75
부 록 .....	81
감사의 글 .....	100
요 약 .....	101

## List of Figures

Figure 1-1.	Geography and topography of the Arctic Ocean·····	1
Figure 2-1.	Major geologic features of the Arctic Basin·····	6
Figure 3-1.	Physiographic map showing locations of gravity cores and SBP trackline·····	12
Figure 4-1.	SBP profiles showing echo facies IA·····	20
Figure 4-2.	SBP profile showing echo facies IB·····	21
Figure 4-3.	SBP profiles showing echo facies IIB·····	22
Figure 4-4.	SBP profile showing echo facies IIC·····	23
Figure 4-5.	SBP profile showing echo facies IIIB·····	24
Figure 4-6.	Distribution of the echo facies·····	25
Figure 4-7.	SBP profiles showing distribution of the echo facies from the Chukchi continental shelf to Chukchi Spur·····	27
Figure 4-8.	SBP profiles showing distribution of the echo facies·····	28
Figure 5-1.	SBP profile at the coring site 01A·····	32
Figure 5-2.	Depth profile of core 01AGC ·····	33
Figure 5-3.	Parts of X-radiographs and thier line-drawings in the 01AGC·····	34
Figure 5-4.	SBP profile at the coring site 02·····	35
Figure 5-5.	Depth profile of core 02GC·····	37
Figure 5-6.	Parts of X-radiographs and thier line-drawings in the 02GC·····	38
Figure 5-7.	SBP profile at the coring site 03A·····	40
Figure 5-8.	Depth profile of core 03AGC·····	41
Figure 5-9.	Parts of X-radiographs and thier line-drawings in the 03AGC·····	44
Figure 5-10.	SBP profile at the coring site 16B·····	45
Figure 5-11.	Depth profile of core 16BGC·····	48

Figure 5-12.	Parts of X-radiographs and thier line-drawings in the 16BGC.....	49
Figure 5-13.	SBP profile at the coring site 18A.....	52
Figure 5-14.	Depth profile of core 18AGC.....	53
Figure 5-15.	Parts of X-radiographs and thier line-drawings in the 18AGC.....	54
Figure 6-1.	Correlation of gravity cores with glacial-interglacial cycles.....	67
Figure 6-2.	Glacio-marine depostional model.....	70
Figure 6-3.	Comparison of two ice extent models on the Northern Hemisphere during the LGM.....	72



## List of Tables

Table 1.	General information of gravity cores obtained during the 2011 ARAON ARCTIC EXPEDITION.....	14
Table 2.	Classification scheme of the echo facies.....	18
Table 3.	Echo facies in the study area.....	19
Table 4.	Sedimentary facies of the core sediments in the Chukchi Sea.....	56

## ABSTRACT

In the Arctic Ocean, sediments are deposited by various sedimentary processes including hemipelagic settling, mass-flow, meltwater plume, iceberg, and bottom current. Therefore, defining the origins and depositional processes of the sediments plays an important role in understanding the paleoenvironment closely associated with paleoclimate changes. In this study, high-resolution subbottom profile (SBP) and gravity core data are analyzed to understand origins and depositional processes of the Arctic sediments in the Chukchi Sea and East Siberian Sea.

Based on clarity and continuity of reflectors (echoes) and seafloor geometry, 5 echo facies are classified. Echo facies IA is characterized by continuous sharp bottom echoes and parallel to sub-parallel subbottom echoes. This echo facies is subdivided into IA-1 and IA-2 types depending on occurrence of iceberg scours. Echo facies IA-1 is generally attributed to hemipelagic settling with an influence of fine-grained turbidity current. It occurs in a great part of the Chukchi Borderland including the Chukchi Shelf, Chukchi Spur and the deep-sea floor. Echo facies IB includes acoustically prolonged and relatively flat bottom echo and fuzzy subbottom echo. This echo facies is restricted to the northern part of the Chukchi Spur, and interpreted to represent moraines planated by bottom current during the deglaciation. Echo facies IIB is characterized by overlapping hyperbolae with hummocky reflectors. This echo facies is further divided into IIB-1 and IIB-2 depending on occurrence of scoured reflectors by iceberg plowing. Type IIB occurs in the shallow part of the Chukchi Spur (200~300 m in water depth), central part of the Chukchi Plateau, and topographic high in the Kucherov

Terrace. Distribution of echo facies IIB indicates that grounding zone moraines were formed extensively along the base of the ice sheet (grounding ice) during the glacial retreat. Echo facies IIC shows tightly overlapping hyperbolic echoes with acoustically transparent subbottom echoes of lens or wedge shape. Major part of the steep slopes including the southeastern part of the Mendeleev Ridge are dominated by echo facies IIC, which is interpreted as mass-flow deposits or debrites. In the deep-sea floor, lateral change from IIC to IA-1 indicates that mass flow, debris flow and turbidity current are formed by influence of ice advance during the glacial stage. Echo facies IIB is characterized by acoustically transparent or partially prolonged subbottom echoes with a high relief (tens of meters). It mainly occurs in the northern part of the Chukchi Spur. This type echo is interpreted to be characteristic of the hard rock basement, and the high-relief echoes are interpreted as scour marks by floating iceberg during the deglaciation.

In the gravity core sediments, 5 sedimentary facies are classified on the basis of sedimentary structures on X-radiographs and grain texture. Couplets of thinly laminated mud (TLM) and homogeneous mud (HM) are generally indicative of fine-grained turbidity current. In the ice-proximal zone (grounding line), these sedimentary facies can result from subglacial meltwater stream during the deglaciation. On the other hand, bottom current and turbid meltwater plume give rise to irregular and indistinct lamination with bioturbation (ILM). The sedimentary facies ILM/TLM indicate a gradual change from deglaciation to interglacial stage in the Chukchi Spur. Structureless or disorganized (gravelly) mud (DM) consists of many ice rafted debris (IRDs) supported by fine-grained matrix. This sedimentary facies is interpreted to represent sediments settled from the basal debris zone under the

large and wide ice shelf during the deglaciation.

The depositional model integrated from the SBP and sediment core analyses indicates that the Chukchi Borderland was influenced by ice sheet (grounding ice) and ice shelf during the LGM, which is useful for further paleo-climate and paleo-oceanographic researches in the Chukchi Sea. The sedimentary facies suggested in this study will be also helpful to enhancement of convenience and accuracy for paleoenvironmental researches.

## 제1장 서론

북극해는 세계에서 가장 넓은 대륙과 대륙붕으로 둘러싸인 “지중해”이며(Fig. 1-1) 빙상의 영향에 민감하게 반응하는 해양으로서 세계의 다른 대양들과 환경적으로 큰 차이를 보인다(Stein, 2008). 이러한 특징으로 인해 북극해는 자체의 환경, 전 지구적인 시스템, 그리고 기후 변화에 큰 영향을 미치며 전 세계적인 기후변동과 관련하여 자연환경이 가장 급변하는 지역 중에 하나로 관심을 모으고 있다. 북극해에서는 고환경 변화를 해석하기 위하여 해저 퇴적물에 포함된 유

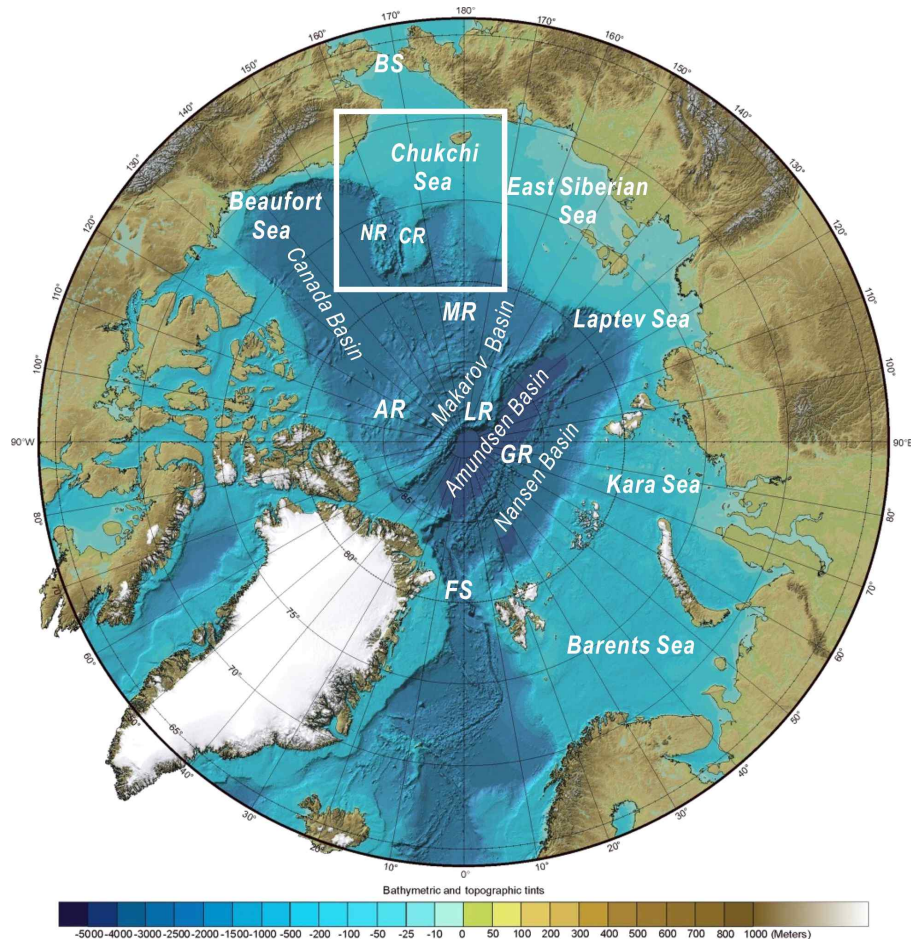


Fig. 1-1. Geography and topography of the Arctic Ocean (modified from <http://www.ibcao.org>). BS, Bering Strait; FS, Fram Strait; GR, Gakkel Ridge; LR, Lomonosov Ridge; AR, Alpha Ridge; MR, Mendeleev Ridge. Solid box indicates the study area.

공충, 규조류, 방산충, 패각편 등에 대한 산소 동위원소를 이용한 고수온 분석과 탄소 동위원소를 이용한 연대 분석, 화분 화석을 이용한 대륙의 기온 분석, 해저 퇴적물에 포함된 빙하수송 쇄설물(ice-rafted debris, IRD)의 조성 변화를 통한 IRD의 근원지 파악과 빙산(iceberg)과 해빙(sea ice)의 수송 경로(표층 해류) 연구, 유기질 미화석을 이용한 해빙의 분포 연구, 탄성과 탐사와 시추코어 퇴적물을 이용한 빙상의 규모에 대한 연구 등 다양한 고환경 지시자(proxy)분석 연구가 수행되고 있다(Hopkins, 1965; Alekseev, 1997; Bischof and Darby, 1997; Poore et al., 1999; 김소영과 남승일, 2011; Nissen et al., 2013). 특히, 북극해에서 대륙빙하(빙상), 빙붕, 그리고 해빙과 같은 빙하의 발달과 감소는 지구 알베도의 변화, 심층수의 형성과 순환, 그리고 대기 순환에 상당한 영향을 미치기 때문에(Aagaard et al., 1985; Nissen et al., 2013), 빙하기 또는 빙하 최대발달기(Glacial Maximum) 동안에 발달된 빙하의 규모를 밝히는 것은 고환경 또는 고기후의 변화를 이해하는데 매우 중요한 역할을 할 것이다.

빙하기 또는 지난 빙하 최대발달기(Last Glacial Maximum) 동안에 발달된 북극해 주변지역의 빙상 규모를 밝히기 위해서, 육상 환경의 노출(outcrop) 조사, 산소 동위원소를 이용한 고수온 분석, 고해상 천부지층 탄성과 탐사, 다중빔 음향측심 탐사 등을 통한 많은 연구들이 수행되었다(Grosswald and Hughes, 2002; Ehler and Gibbard, 2007; Jakobsson et al., 2010; Stein et al., 2010; Nissen et al., 2013). 기존의 연구결과들에 따르면 북극해에 분포하는 빙상의 근원지는 그린랜드에 위치하는 그린랜드 빙상(Greenland Ice Sheet, GIS), 캐나다 부근에 위치하는 로렌타이드 빙상(Laurentide Ice Sheet, LIS), 그리고 유라시아에 분포하는 유라시아 빙상(Eurasia Ice Sheet, EAIS)으로 구성된다. 그러나, 서북극에 위치하는 베링기아(Beringia) 지역에 대한 빙상의 존재 유무에는 이견이 존재한다. 특히, 베링기아 지역에서 빙상의 존재에 대해서는 LGM 시기에 빙상이 존재했다는 가설을 주장한 Grosswald and Hughes (2002)의 연구와 빙상이 존재하지 않았다는 Ehler and Gibbard (2007)의 연구가 서로 상반된 결과를 제시하고 있다. 이러한 연구 결과들이 보고된 이후, 최근 수 년간 서북극 베링기아 지역에 대한 연구들이 수행되고 있으며, 측면주사 소나 및 12-kHz 음향 측심자료를 이용한 Polyak et al. (2007)의 연구와 Nissen et al. (2013)의 연구결과로부터 척치해 주

변부를 포함한 베링기아 지역이 빙상 또는 빙붕이 영향을 받았던 것으로 추정되는 증거들이 보고되고 있다.

과거의 북극해에 대한 기후변화 양상을 규명하기 위해서 북극해에 집적되어 있는 퇴적층에 대한 지화학 및 고생물학적 기후변화 지시자(proxy)분석 연구가 진행되고 있다(Hopkins, 1965; Alekseev, 1997; Bischof and Darby, 1999; Poore et al., 1999; 김소영과 남승일, 2011). 기후변화 연구에 활용되는 주요 시료인 해양 퇴적물은 일반적으로 반원양성 및 질량류 퇴적과 함께, 용빙수류, 빙산, 해저류 등 다양한 운반매체를 통해 수송·퇴적되므로, 퇴적물에 대한 기후변화 연구에 있어서 퇴적물의 기원과 퇴적환경에 대한 정보가 기본적으로 구축되어야만 기후변화를 이해하는데 보다 정확한 해석을 가능하게 할 것이다.

이 연구는 현재까지도 빙상의 존재유무에 대하여 논란이 되고 있는 베링기아 지역(Fig. 1-1)을 연구 대상으로 하여 고해상도 천부지층 탐사자료(high resolution sub-bottom profiles)와 중력 코어 퇴적물 자료를 분석함으로써 제 4기 후기 동안의 빙해양 퇴적환경 변화를 해석하는데 목적을 두고 있다. 이를 위하여, 한국해양과학기술원부설 극지연구소(KOPRI)의 “2011년도 아라온 북극 탐사” 동안에 취득된 고해상도 천부지층 탐사자료로부터 각 퇴적환경을 지시하는 탄성파상을 분류하고 연구 대상지역의 탄성파상의 분포를 파악하여 광역적인 퇴적환경을 해석하였다. 또한, 척치해와 동시베리아해 주변지역에서 시추된 총 5개의 중력 코어 퇴적물의 조직 특성, IRD 함량, 퇴적구조 등을 분석하여 각 퇴적상을 분류하고 기후변화에 따른 퇴적상의 변화와 탄성파상의 분포 양상을 반영하여 연구 대상 지역에 대한 빙해양 퇴적 모델을 구축하고 고해양환경 변화 복원에 필요한 퇴적학적 지시자를 제시하였다.



## 제2장 북극해 지역개관

북극해는 유라시아와 북미대륙으로 둘러싸인 지중해로서 Bering Strait(BS)와 Fram Strait(FS)를 통해 태평양과 대서양에 제한적으로 연결되며(Fig. 1-1) 상당 부분의 해역이 영구적 혹은 계절적으로 해빙에 덮여있다. 계절적으로 심한 변화를 보이지만, 전 세계 하천 유출량의 10%를 차지하는 하천수가 유입되며, 주변 대륙은 대부분 영구동토대로 구성되어 있다(Stein, 2008). 북극해의 부피는 전 세계 해양의 1%( $13 \times 10^6 \text{ km}^3$ ) 이하를 차지하지만, 면적은 전 세계 해양의 2.6%( $9.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ )로 상대적으로 넓다(Jakobsson et al., 2003).

북극해의 해저는 로모노소프 해령(Lomonosov Ridge)을 경계로 하여 유라시아 분지(Eurasia Basin)와 아메라시아 분지(Amerasia Basin)로 구분된다. 유라시아 분지는 바렌츠해(Barents Sea), 카라해(Kara Sea), 랍테프해(Laptev Sea)의 대륙붕과 북부 그린랜드가 접하고 있다. 아메라시아 분지는 동시베리아해(East Siberian Sea), 보퍼트해(Beaufort Sea), 척치해(Chukchi Sea)의 대륙붕과 캐나다 북극해제도(Canadian Arctic Archipelago)가 접한다. 유라시아 분지는 가켈 해령(Gakkel Ridge)을 경계로 하여 아문젠 분지(Amundsen Basin)와 난센 분지(Nansen Basin)로 세분화되며 아메라시아 분지는 알파-멘델리프 해령(Alpha-Mendeleev Ridge complex)을 경계로 캐나다 분지(Canada Basin)와 마카로프 분지(Makarov Basin)로 구분된다(Fig. 1-1).

### 2.1 북극해 해저 지형

북극해 해저 지형은 크게 대륙붕, 대륙사면, 대륙대, 심해저 평원, 그리고 해령으로 구성된다. 캐나다 분지, 난센 분지, 그리고 아문젠 분지는 3,500~5,500 m 수심에 위치하는 심해저 평원에 해당하며, 나머지 분지는 해저 지형학적으로 대륙사면과 심해저 평원에 접하는 대륙대로 이루어져있다. 북극해에서 해저 지형의 분포는 대륙붕이  $5025 \times 10^3 \text{ km}^2$ (52.7%)로 가장 넓은 면적을 차지하며 해령은  $1506 \times 10^3 \text{ km}^2$ (15.8%), 심해저평원은  $1344 \times 10^3 \text{ km}^2$ (14.1%)의 면적을 갖는다.



(Jakobsson et al., 2003). 대륙붕은 평균 경사가 0~0.5°로 완만하며 대부분 빙상(ice sheet) 또는 빙산(iceberg)에 의해 형성될 수 있는 침식구조(furrows, flutes or lineations)와 등수심을 따라서 평행을 이루는 빙퇴석 구릉(morainic ridges)이 발달되어 있으며, 일부 해령과 대륙대에서도 유사한 구조들이 나타난다(Polyak et al., 2004, 2007; Svendsen et al., 2004; Jakobsson et al., 2008; Nissen et al., 2013). 대륙사면의 평균 경사는 1.5° 이상으로 비교적 급하며 특히, 해령 부근에서 심해저 평원과 접하고 있는 사면은 최대 5.5° 이상의 급한 경사면을 보이기도 한다. 대륙대와 심해저 평원은 평탄한 해저면을 이루고 있으며 두 해저 지형의 평균 경사는 심해저 평원(0~0.5°)에 비해 대륙대(0.5~1.5°)에서 비교적 급한 경사를 보인다. 가켈 해령, 알파-멘델리프 해령, 그리고 노스윈드 해령에서 심한 지형 기복을 이루며 크고 작은 돌출대가 많이 나타나는데 비해 다른 해령은 비교적 평탄한 해저면을 이루고 있다. 또한, 가켈 해령과 알파-멘델리프 해령의 평균 수심은 약 1,000~1,500 m로 다른 해령(300~1,000 m)에 비해 비교적 깊은 수심을 보인다.

## 2.2 북극해 지구조 및 발달사

북극해의 지구조 및 발달사는 북극해를 구성하는 아메라시아 분지와 유라시아 분지의 발달사로 구분할 수 있다. 아메라시아 분지의 형성과 지구조 발달과정은 Grantz and Hart (2012)의 연구로부터 크게 2단계로 요약할 수 있다.

### 1) 아메라시아 분지의 회전 열개(rotational rifting)

아메라시아 분지의 형성은 과거에 유라시아와 북미 대륙이 접해있던 로라시아 대륙의 열개로부터 시작되었다. 이러한 열개는 쥬라기 초기(약 195 Ma)에 시작하여 쥬라기 중기(160 Ma)까지 진행되었다. 열개는 로모노소프 해령(Fig. 1-1, 2-1)과 아메라시아 분지 간에 우수 주향 이동단층의 형태로 진행되었으며 맥켄지 하곡(Mackenzie River Valley)의 하부 지점을 회전 축(rotational pole)으로 하여 현재 아메라시아 분지와 북서 캐나다가 접하는 면을 따라서 반시계

방향으로 회전하며 확장되었다(Fig. 2-1). 확장이 진행되는 동안 확장 축을 따라서 얇은 해양-대륙지각의 전이구간(OCT, Ocean-Continent Transitional Crust)이 형성되었다. 이후 145.5~140 Ma 기간 동안 유라시아 대륙에 포함된 척치 연변지(Chukchi Borderland)는 현재의 척치 대륙붕 부근(약 북위 72°, 서

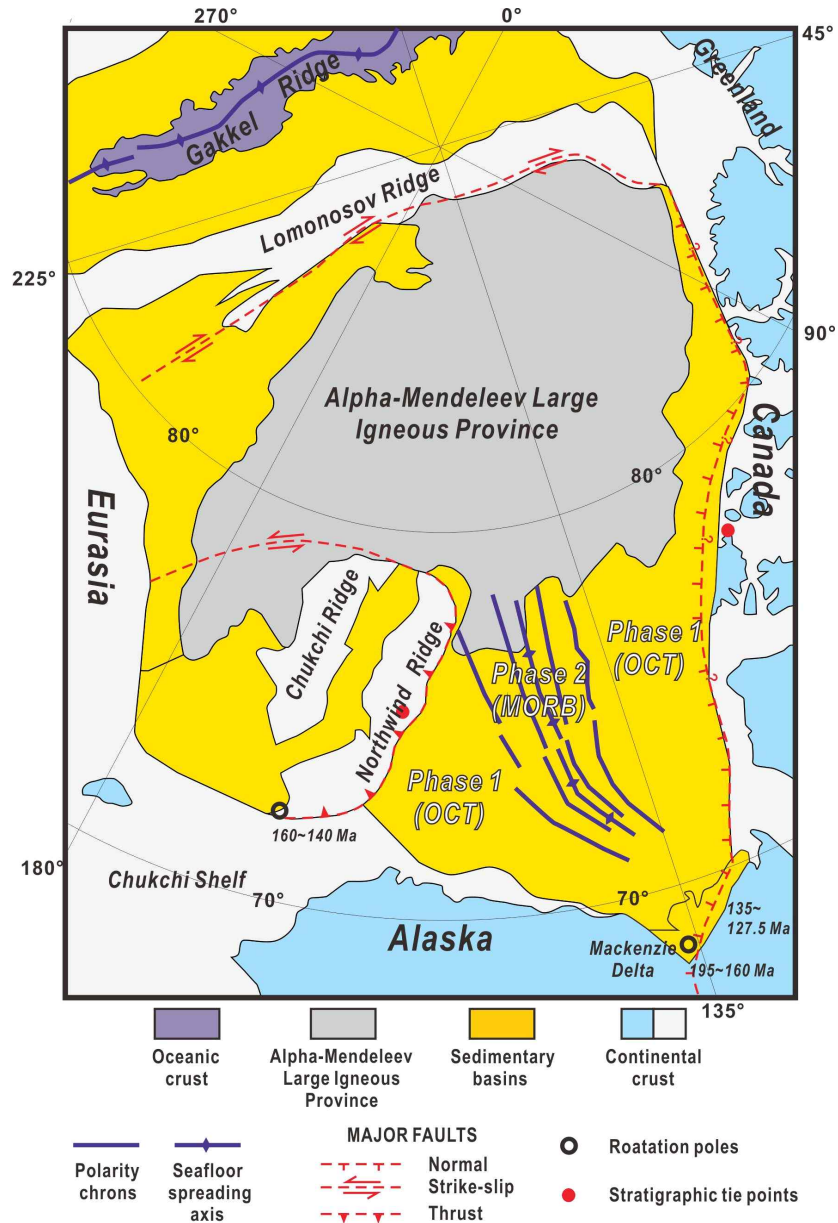


Fig. 2-1. Major geologic features of the Arctic Basin. Phase 1 spreading opened the Amerasia Basin in the period of 195 Ma and 160 Ma. Phase 2 opening occurred during the mid-Early Cretaceous (about 135~127.5 Ma). Modified from Grantz and Hart (2012).

경 165°; Fig. 2-1)을 회전 축으로 하여 시계방향의 회전 열개 및 해저 확장이 국지적으로 진행되어 북북동-남남서 방향으로 척치 해령이 발달되었다(Grantz et al., 2011b).

## 2) 아메라시아 분지의 확장 및 알파-멘델리프 해령의 발달

유라기 초-중기 동안 발생한 아메라시아 분지의 열 개 이후, 2차 해저확장은 백악기 초기(약 132~127.5 Ma)에 발생하였다. 이 당시 해저확장은 초기 열개와 유사한 지점(맥켄지 하곡 하부)에서 북쪽으로 향하는 중심축을 따라서 진행되었으며 기존에 형성된 OCT를 관입하며 중앙해령현무암(Mid-Ocean Ridge Basalt, MORB)이 형성되었다(Grantz et al., 2011a, 2011b). 현재 아메라시아 분지의 북부에는 심한 지형기복을 이루는 알파-멘델리프 해령이 존재하는데 이는 불규칙적인 중력장과 자기장의 특징에 근거하여 127.5 Ma에서 89~83.5 Ma 기간 동안 열점에 의해 형성된 대형화성암영역(Large Igneous Province)으로 해석된 바 있다(Grantz and Hart, 2012; Grantz et al., 2011b).

유라시아와 로모노소프 해령 사이에 존재하는 유라시아 분지는 가켈 해령의 확장에 의해 형성되었다. 가켈 해령은 약 58 Ma에 그린란드와 스발바르(Svalbard) 사이를 경유하여 북극해로 진입한 대서양 중앙 해령의 연장선으로서(Kristoffersen, 2000; Grantz and Hart, 2012) 약 56 Ma 이후부터 확장이 진행되어(Glebovsky et al., 2006) 유라시아 분지를 형성하였다. 따라서 유라시아 분지는 전반적으로 아메라시아 분지와 달리 중앙해령에서 형성되는 해양지각(MORB)으로 구성된다.

## 2.3 북극해 해양 순환

북극해의 해수는 북대서양과 태평양으로부터 유입된다. 특히, 북극해는 대부분 북대서양에서 유입되는 해수로 구성되며, 크게 상층수(upper waters), 중층수(Mid-depth waters), 그리고 심층수(Deep waters)로 구분된다. 상층수는 대략

200 m 수심까지를 말하며 상당량이 대서양에서 유입되고 일부는 태평양에서 유입된다. 중층수와 심층수는 수심 200 m 이하의 수층을 말하며, 수층을 이루는 해수는 주로 대서양 해수를 기원으로 한다.

북극해 상층수는 최상부에 위치하는 극혼합층(Polar Mixed Layer, PML)과 염분약층(halocline)으로 구분된다. PML은 대략 수심 50 m까지 분포하며 계절적인 빙결에 의해 염분도가 높은 해수(brine)를 형성하는 수층이며(Macdonald and Bowers, 1996) 염분약층(~200 m)은 태평양 해수를 포함한 따뜻한 대서양 해수가 북극해로 유입됨에 따라서 빙결된 해수와 접하면서 냉각되고 염분이 낮아져 형성된다(Jones, 2001). 북극해의 표층 순환은 일반적으로 아메라시아 분지에서 시계방향으로 순환하는 보퍼트 와류(Beaufort Gyre)와 FS(Fram Strait)를 경유하여 시베리아 대륙붕에서 대서양으로 빠져나가는 TPD(Transpolar Drift)로 구성된다. 북극해의 표층해류는 바람의 양상과 표층대기의 압력경도(AO, Arctic Oscillation)에 영향을 받는다. 북극해의 표층대기의 압력이 낮아지는 경우(+AO)에는 TPD가 강화되어 시베리아에서 북미까지 영향을 준다. 강화된 TPD는 보퍼트 와류에 존재하는 많은 빙하를 FS를 경유하여 북대서양으로 방출하고 그린란드 해역에 표층염분을 감소시켜 심층 순환(열염분 순환)을 대폭 약화시킨다. 표층대기의 압력이 강해지는 경우(-AO)에는 TPD가 러시아에 국한되고 보퍼트 와류는 규모가 확대되어 적치 대지를 포함한 캐나다 분지 전체에 영향을 준다(Proshutinsky and Johnson, 1997; Darby, 2001).

중층수는 약 200~1,000 m 이상의 수심에 분포하며 비교적 따뜻한(0.5~4°C) 고염의 수괴(water mass)로 구성된다(Schlosser et al., 1995; Macdonald and Bowers, 1996). 중층수는 대부분 대서양에서 기원하기 때문에 대서양층(Atlantic Layer, AL)으로 알려진다. 북대서양 해수는 북극해로 유입됨에 따라서 냉각되고 밀도가 높아져 PML 아래로 침강하게 된다. 북극해 대서양층의 해수는 FS를 경유하여 유입되는 지류(따뜻한 고염의 저밀도 해수)와 바렌츠해에서 유입되는 지류(비교적 차갑고 저염으로 이루어진 고밀도 해수)로부터 공급된다. 두 지류는 카라해 부근에서 합병되어 심해 분지의 사면과 해령을 따라서 반시계 방향으로 순환하며 바렌츠해에서 유입된 지류의 일부만이 로모노소프 해령을 가로질러 캐나다 분지로 이동하여 순환한다(Rudels et al., 1994; Jones, 2001). 이러한 대서양

층의 순환은 보다 깊은 심층수에 열을 공급하는 중요한 기작이다(Rudels et al., 1994).

대서양층(중층수) 아래의 수괴를 구성하는 심층수(>~1,500 m)는 북극해 해양의 약 60%의 부피를 차지하며 비교적 높은 염도를 갖는다. 이러한 심층수는 대서양층과 유사하게 각 분지에서 반시계 방향으로 순환하는 것으로 추정된다(Jones, 2001). 중앙 북극해 분지에 심층수의 뚜렷한 특징은 캐나다 분지의 심층수가 유라시아 분지의 심층수보다 더 따뜻하며 높은 염도를 보인다는 점이다(Schlosser et al., 1995; Stein, 2008). 이러한 심층수의 기원은 아직도 정확히 알려지지 않았다. 하지만, 이렇게 높은 염도는 대서양에서 기원하는 해수로부터 형성되었다고 하기에는 너무 높은 값을 보이며 대륙주변부에서 형성되는 고염수(brine)가 중요한 역할을 할 것으로 추정된다(Aagaard et al., 1995).

## 2.4 빙해양 퇴적환경

고위도 지역에 위치하는 북극해 퇴적물은 중·저위도 지역과는 달리 빙하의 영향을 받는 빙해양 환경에서 퇴적된다. 퇴적작용은 빙하기-간빙기 순환이 반복되는 동안 상당히 다른 양상을 보인다. 오늘날의 북극해는 간빙기에 해당하며 빙하기-간빙기의 순환은 크게 빙하전진기(glaciation), 빙하기(glacial stage), 빙하후퇴기(deglaciation), 그리고 간빙기(interglacial stage) 순으로 반복된다. 빙하가 전진하는 시기는 일반적으로 대륙 빙하(빙상)가 외해로 전진(확장)하고 표층해양에서 해빙(sea ice)이 발달된다. 따라서 내대륙붕에서는 빙상에 의한 침식(삭마)작용이 우세하게 나타나며 빙상의 전진에 따라서 많은 양의 퇴적물이 대륙붕단과 상부 대륙사면으로 공급되어 해저 사태(mass failure) 또는 암설류(debris flow)와 저탁류(turbidity current) 같은 퇴적물 중력류가 발생할 수 있다(윤석훈 외, 2002). 따라서 빙하기 동안 형성되는 퇴적물의 변화는 근해에서 모래(sand)와 실트(silt)로 구성된 기질에 원마도가 불량한 왕자갈(cobble)과 거력(boulder)이 산재하는 빙력토(glacial till)가 발달되며 외해로 가면서 빙-해양 퇴적물로 전이된다(Ingólfsson, 1985). 빙하 후퇴기는 빙하기에서 간빙기로 넘어가는 전이기간을 의

미한다. 이러한 시기는 빙하가 감소하는 시기로서 해빙, 빙붕, 그리고 빙상이 융빙되며 이에 따라서 다양한 퇴적작용을 야기한다. 빙상과 빙붕이 후퇴함에 따라 대륙붕 환경에서는 grounding zone(빙상의 기저와 해저면의 접지가 끝나는 전이 구간)에서 분급이 불량하며 상대적으로 조립한 퇴적물로 구성된 빙퇴석 또는 빙퇴석 해령을 형성하며(Polyak et al., 2001) 세립질 입자는 빙하말단에서 형성되는 용빙수류(meltwater plume)에 의해 외해로 수송된다(Hesse et al., 1997, 1999; 윤석훈 외, 2002). 또한 빙붕에서 떨어져 나온 빙산(carving iceberg)과 계절적인 감소와 증가를 반복하는 해빙은 표층해류를 따라서 비교적 조립한 퇴적물(IRD, Ice-rafted debris)을 외해로 수송하며 거대한 빙산의 경우에는 해저에 다양한 침식구조를 형성시킨다(Kellogg and Kellogg, 1988; Polyak et al., 2001, 2007; Jakobsson et al., 2008).

제 4기 후기 동안, 북극해는 중기-후기 플라이스토세(Middle-Late Pleistocene)와 후기 플라이스토세에서 현세(Holocene) 사이(약 20 ka)에 걸쳐 총 두 차례의 빙하 최대발달기(Glacial Maximum)가 존재하였다(Ehler and Gibbard, 2007; Nissen et al., 2013). Ehlers and Gibbard (2007)의 연구는 두 차례의 빙하 최대발달기 동안 북극해에 발달된 빙상의 범위를 복원하였으며 두 빙하 최대발달기 동안 빙상의 확장이 서부 유라시아(EAIS, Eurasia Ice Sheet), 그린란드(GIS, Greenland Ice Sheet)와 캐나다(LIS, Laurentide Ice Sheet)의 대륙주변부에서 종결되었고 시베리아와 척치해 주변부를 포함하는 베링기아(Beringia) 지역에서는 빙상이 거의 존재하지 않았던 것으로 제안하였다. 베링기아 지역에 관하여 빙상이 존재하지 않았다는 이러한 주장은 보다 이전 Grosswald and Hughes (2002)의 연구에서 제안한 LGM 시기의 “Maximum Reconstruction Version” 가설에 반하는 이견으로 현재까지 논란이 되고 있다. 그러나 최근 베링기아 지역에 수행된 2-kHz 수심측량기, 측면주사 소나 자료(12-kHz swath bathymetry and sidescan sonar data), SBP 자료(sub-bottom profiles), 그리고 코어 퇴적물 자료를 이용한 연구로부터 빙하 최대발달기 동안 베링기아 지역이 빙상 또는 빙붕의 영향을 받았던 것으로 추정되는 연구 결과들이 제시되고 있다(Jakobsson et al., 2010; Stein et al., 2010; Nissen et al., 2013).



## 제3장 연구 자료 및 방법

### 3.1 고해상도 천부지층탐사 자료

천부지층 연구를 위한 고해상도 천부탄성파탐사(high resolution subbottom profiling)는 고주파수 대역(2~12 kHz)을 사용하는 Chirp SBP(subbottom profiler)를 이용하여 수행되었다. Chirp SBP 탐사는 고주파수 대역에서 발생할 수 있는 각종 잡음들을 포함한 문제점들이 존재하지만(김영준 등, 2011), 단일 고주파수를 이용한 천부탄성파 단면에 비해 보다 좋은 해상도를 갖는 자료를 획득할 수 있다(Kuhn and Weber, 1993; Lee et al., 2002).

퇴적학적 관점에서 고해상도 천부탄성파탐사는 천부지층의 퇴적물 특성, 내부 구조, 층서 등을 광역적으로 연구하기 위한 유용한 수단이다(Damuth, 1975, 1980; Damuth and Hayes, 1977). 고해상도 천부탄성파 단면에서 반사면들은 천부지층을 구성하는 퇴적물의 밀도와 음파속도에 연유하며 퇴적물의 조직적 특성, 표층 지형(bottom topography)과 심층의 기하학적 구조(subbottom geometry)를 반영한다(Damuth, 1975, 1980; Damuth and Hayes, 1977; Lee et al., 2002). 또한 표층과 심층 반사면으로부터 획득된 정보는 일반적으로 제 4기 후기동안 형성된 퇴적물의 특성, 형태 및 퇴적작용을 이해하는데 중요한 기초자료로 이용될 수 있다(Damuth, 1975; Lee et al., 2002).

#### 3.1.1 Chirp SBP 자료 취득

Chirp 방식의 장비는 2~10 kHz의 음파대역을 동시에 내보내고 해저에서 반사된 음파 중 2~10 kHz의 음파대역만을 필터링해서 수신한다. 이러한 방식은 기존의 3.5 kHz의 음파를 이용하는 방식보다 음파의 투과깊이를 증가시키고 해상도를 향상시킨다. 고해상도 탄성파 탐사 장비는 장착하는 방식에 따라 선체 기저에 장착하는 마운트(mount) 형태와 윈치 등을 이용해 음파의 송·수신기를 선체의 후갑판 쪽에 매달아 끌고가는 견인(towing) 방식으로 구분된다. 견인 방식은 선체 후부에서 끌려감에 따라 파도의 영향을 많이 받기 때문에, 선체 기저에 장

착하는 마운트 방식이 선호되며 보다 양질의 탄성과 자료를 획득할 수 있다.

본 연구의 천부 탄성과 자료는 2011년도에 수행된 아라온 북극 탐사동안 획득되었다. 쇄빙연구선 아라온(R/V ARAON)의 고해상도 탄성과탐사 장비는 마운트 방식으로 “SBP120 Sub-bottom profiler”가 장착되어 있다. SBP120 장비는 2.5~7 kHz의 주파수 대역을 사용하며 획득된 자료는 TOPAS raw data로 기록되고 SEG-Y 형태로 저장할 수 있다. 본 연구에 사용된 천부탄성과 자료는 탐사기간 동안 탄성과탐사의 경로를 따라서 크게 척치해 외대륙붕-척치 대지-멘델리프 해령-동시베리아 외대륙붕-척치 돌출대-척치 외대륙붕 순으로 획득되었고(Fig. 3-1) TOPAS raw data를 이미지화하여 활용되었다.

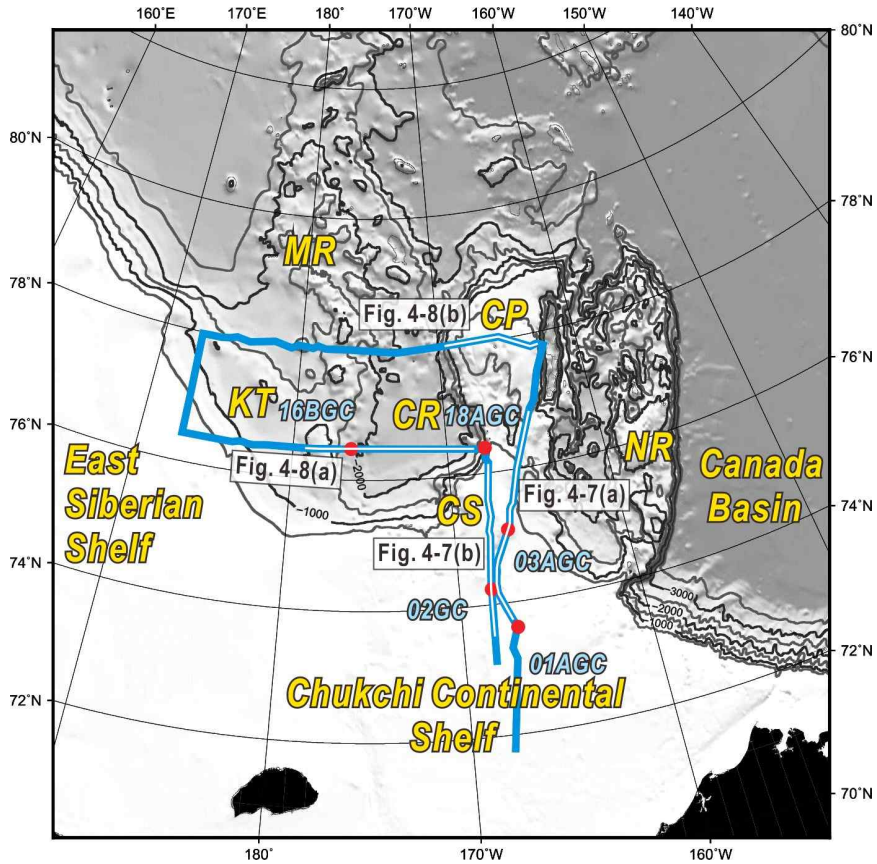


Fig. 3-1. Physiographic map showing locations of gravity cores (dots) and SBP trackline (solid line). AP, Arlis Plateau; CS, Chukchi Spur; CP, Chukchi Plateau; CR, Chukchi Perched Rise; KT, Kuchеров Terrace; MR, Mendeleev Ridge; NR, Northwind Ridge. Bathymetric contours in meters. White solid lines mark SBP profiles in Figs. 4-7 (a, b) and 4-8 (a, b).



### 3.1.2 탄성파상 분석

고해상도 천부탄성파 자료는 탄성파 단면에 나타나는 반사파의 음향학적 특성(echo character)을 구분하여 탄성파상을 분류한다. 탄성파상의 분류는 일반적으로 해저 표층(bottom)과 그 하부의 심층(sub-bottom)에서 나타나는 반사파의 특징들로 구분하며 반사파들의 명확성(clarity) 또는 반사강도, 측면연속성, 형태, 그리고 해저지형 등의 특징적인 차이를 기준으로 한다(Yoon et al., 1991). 따라서, 이러한 탄성파상을 분석하기 위해서는 반사면의 음향학적 특징과 형태를 기술하고 지리적인 분포를 확인한 후에 각 반사파 특징의 형성 작용에 관한 해석을 한다.

고해상도 탄성파상의 특징들은 1970년대 이후 여러 연구자에 의해(Damuth and Hayes, 1977; Damuth, 1980; Yoon et al., 1991; Lee et al., 2002) 발표되어 탄성파 자료의 체계적 분석에 이용되어 왔다. 이렇게 분류된 탄성파상은 연구지역 평면도에 그 분포범위를 도시하고, 기존의 퇴적학적 연구결과와 연구지역에서 획득된 코어 퇴적물의 시료분석을 통해 얻어진 결과와 비교함으로써, 이러한 고해상도 반사파 특성을 야기하는 퇴적층의 기원(퇴적 작용, 퇴적물 조직, 퇴적환경 등)을 해석한다.

## 3.2 코어자료

### 3.2.1 퇴적물 코어 취득

본 연구의 코어 시료는 2011년도 아라온 북극탐사 동안 시행된 중력 코어시추를 통해 획득되었다. 탐사기간 동안 총 10개 정점에서 중력 코어 퇴적물이 시추되었으며(Table 1) 코어 정점 이름은 고해상도 탄성파 탐사 경로를 따라 순차적으로 번호를 지정했으며 번호 뒤에 붙는 알파벳은 동일한 지점에서 두 번 이상 시추를 하는 경우 시추 순서에 따라 순차적으로 기재되었다.

아라온에 탑재된 중력 코어시추기(gravity corer)는 약 1~1.5 ton의 무게추와 약 12 cm 직경과 3 m 길이의 바렐(barrel)을 최대 3개까지 결합하여 최대 9 m 길이로 시추할 수 있도록 제작되었다. 코어시추는 바렐 내에 동일한 길이(3 m)의

Table 1. General information of gravity cores obtained during the 2011 ARAON ARCTIC EXPEDITION.

Date	Station	Location		Water depth (m)
		Latitude	Longitude	
02. 08. 2011	01A	73° 37.8939' N	166° 30.9838' W	111
	01B	73° 38.0560' N	166° 30.3982' W	111
03. 08. 2011	02	74° 17.9645' N	167° 39.0330' W	320
04. 08. 2011	03A	75° 06.4621' N	166° 20.3337' W	423
	03B	75° 07.0293' N	166° 20.3360' W	455
08. 15. 2011	16A	76° 24.1810' N	176° 01.7276' W	1815
	16B	76° 24.4804' N	175° 57.9817' W	1821
08. 16. 2011	18A	76° 17.3045' N	167° 09.6639' W	435
	18B	76° 17.2266' N	167° 05.9684' W	409

플라스틱 재질로 제작된 라이너를 넣어 해저 퇴적물이 라이너 내에 시추되도록 했으며, 코어 퇴적물이 빠져나가지 않도록 라이너 최하부에 코어 캐치(core catcher)가 장착된 상태에서 시추가 수행되었다. 시추가 완료된 퇴적물 시료는 1.5 m간격으로 절단하여 보관하고 선내 실험실로 반입하여 반으로 절개한 후에 절반은 저장용 코어(archive core)로 구분하여 냉장보관하고 나머지 절반은 실험용 코어(working core)로 실험 및 시료 채취(입도분석, 슬랩 샘플링 등)에 사용되었다. 본 연구는 10개 정점의 중력 코어 중에서 지형과 해저환경을 고려하여 01A(549 cm), 02(466 cm), 03A(248 cm), 16B(378 cm), 그리고 18A(205 cm) 정점에서 획득된 총 5개의 코어 퇴적물(Fig. 3-1)을 이용해 다음과 같은 분석을 실시하였다: 1) 입도분석 및 전단강도 측정, 2) 슬랩 견본을 이용한 X-선 이미지화를 통한 상세한 퇴적구조 기술, 3) X-선 이미지에 나타나는 IRD 함량 측정, 그리고 4) 퇴적상 분석.

### 3.2.2 전단강도 및 입도분석 측정

전단강도는 일반적으로 중력에 의한 압밀작용에 의해서 심도가 깊어짐에 따라 강해지며 퇴적물을 구성하는 입자의 성분, 공극률, 지질학적·지구조적 특징, 그리고 심도에 따라서 다양한 변화가 나타난다(Kenter and Schlager, 1989;

Bartetzko and Kopf, 2007). 비록 전단강도가 퇴적물의 압밀작용, 공극률의 변화, 퇴적물의 특성에 대해 완벽하게 대비되지는 않지만, 이러한 특징들을 가늠하는 척도로 활용될 수 있다.

전단강도를 포함한 입도분석은 각 코어별로 심도 10 cm 간격으로 실시하였다. 전단강도 측정은 미고화 퇴적물의 특징을 반영하여 최대 1 kPa까지 측정할 수 있는 전단강도기를 이용하였다.

입도분석을 실시하기 위해서 대략 5 g의 퇴적물 시료를 10 cm 간격으로 취하였으며 전처리 과정을 실시했다. 전처리 과정은 크게 두 가지 절차로 약 30%의 과산화수소를 이용한 유기물 제거와 염분 제거를 위한 증류수 처리가 이루어졌다. 전처리 과정이 모두 완료된 시료는 4 크기의 표준망체를 이용한 습식체질(wet sieving)을 통해 사질 퇴적물과 니질 퇴적물을 분리하였다. 이러한 시료 구분은 퇴적물을 구성하는 입도에 따라 입도분석 방식이 달라지기 때문이다. 사질 퇴적물은 최대 60 °C로 가열하여 건조시킨 후에 표준망체(standard sieve)를 이용하여 1 $\phi$  간격으로 건식체질(dry sieving)을 실시했으며 니질 퇴적물은 Micromeritics Sedigraph 5000D 분석기를 이용하여 입도를 분석하였다. 분석 결과는 Folk and Ward (1957)의 연구에서 제시한 방법에 근거하여 퇴적물 유형, 분급도(sorting), 그리고 평균값(mean value)을 도출하였다.

### 3.2.3 X-선 이미지화

X-선 이미지는 퇴적물에 대한 X-선의 투과율에 따라서 필름에 기록된다. 따라서 X-선 이미지에 나타나는 음영의 차는 퇴적물의 밀도와 공간적인 구조를 반영한다(Holyer et al., 1996). 이러한 이미지화는 퇴적물을 슬랩으로 채취하여 진행된다. 퇴적구조를 해석하기 위한 목적으로 많이 이용되고 고화된 퇴적물뿐만 아니라 미고화된 퇴적물의 퇴적구조를 분석하기 위한 유용한 자료이다(Bouma, 1964; Holyer et al., 1996).

X-선 이미지화를 수행하기 위해서 코어 퇴적물을 약 1 cm 두께의 슬랩으로 채취하였다. 퇴적물 코어 자체는 두께가 상당히 두꺼워 X-선 이미지화를 하기에 부적합하기 때문이다. 슬랩 채취는 아크릴 재질의 직사각형 박스에 퇴적물이 교란되지 않게 떠내는 방식으로 진행되었으며 30x8.5x1.5 cm 크기의 박스를 사용

했다. 채취 방식은 절개된 퇴적물 코어 표면에 아크릴 박스를 찍어 누른 후에 낚시줄 혹은 가는 기타줄 등을 이용하여 퇴적물을 분리시킨다. 분리된 슬랩 건본은 약 1 mm 두께에 동일한 넓이를 갖는 아크릴 판으로 덮고 밀봉한다. 본 연구에서는 이렇게 채취한 슬랩 건본을 한국해양연구원이 보유한 필립스사(Philips)의 MPD 1880(X-선 사진촬영기)를 이용하여 X-선 이미지를 획득했다.

### 3.2.4 IRD 함량

심해 퇴적물에서 빙하 수송의 영향을 파악하기 위한 기본적인 방법 중 하나는 입도의 분포 양상을 확인하는 것이다(Stein, 2008). 빙산과 해빙을 포함한 빙하에 의해 수송된 쇄설물(IRD, ice-rafted debris)은 주로 빙하기에서 간빙기로 넘어가는 시기에 퇴적되기 때문에 기후 변화를 예측하는데 있어 중요한 지시자(proxy)로 사용된다. IRD의 영향을 파악하기 위한 입자 크기의 구분 기준과 방법은 연구자마다 다소 차이가 있으나 일반적으로 모래 크기(>4 ) 이상의 입자의 분포 양상을 파악한다. Grobe (1987)의 연구는 IRD의 분포를 파악하는 방법으로서 단위 부피당 무게함량(%)을 비교하는 방법도 존재하지만, X-선 이미지에서 확인할 수 있는 IRD의 개수를 동정하는 방법이 상당히 정확하며 간단하다고 제안한 바 있다.

본 연구의 IRD 함량 측정은 X-선 이미지 상에 구분되는 약 1 mm 이상의 직경을 갖는 IRD를 1 cm 간격으로 개수를 동정했으며 심도에 따른 IRD 함량 변화는 격은 선 그래프로 제작하여 도식화된다.

### 3.2.5 퇴적상 분석

퇴적물 코어자료는 입도분석을 통한 퇴적물의 조직특성과 X-선 이미지에서 관찰되는 퇴적구조를 기술하여 퇴적상을 분류한다. 퇴적상을 분석하기 위해서는 X-선 이미지에 나타나는 생물교란 구조(bioturbation) 및 패각편, 엽리구조(lamination), 층리 또는 사층리 구조(bedding or cross-bedding), IRD 등을 line-drawing하여 확인하고 퇴적물의 조직 특성(색, 입도, 분급도, 등)과 전단강도 측정결과를 조합하여 기술(description)한다. 따라서, 퇴적상 분석은 이러한 퇴적구조와 퇴적물의 조직 특성이 심도에 따라서 어떻게 변하는지 파악하고 코어 시

추 정점의 고해상도 탄성파 자료와 비교하여 퇴적작용(기구)을 해석한다.

## 제4장 고해상 탄성파상

### 4.1 탄성파상 분류

고해상 탄성파상의 분류는 표층과 그 하부 심층에서 오는 반사파의 음향학적 특징에 따라서 분석되지만, 본 연구는 빙하의 영향을 받는 고위도 지역에 대한 퇴적환경 특성을 효과적으로 반영하기 위해 Table 2에서와 같은 분류방식을 적용하였다. 이러한 분류는 기본적으로 (1) 해저면의 지형(I, II, III)과 (2) 해저면 하부의 음향학적 및 형태학적 특성(A, B, C) 등 두 가지 요소를 조합하여 제안되었다. 새롭게 적용한 분류 기준에 따르면 이론적으로 총 9 종류의 탄성파상이 존재할 수 있으나, 실제적으로 이 연구의 대상지역에서는 총 5개의 탄성파상이 구분되었고 침식 흔적의 여부에 따라서 탄성파상-1과 탄성파상-2로 세분되었다 (Table 3): IA-1과 IA-2, IB, IIB-1과 IIB-2, IIC, 그리고 IIIB.

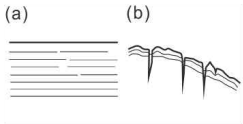
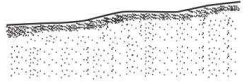
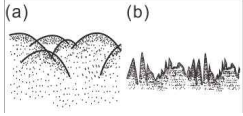


#### 4.1.1 탄성파상 IA

탄성파상 IA는 비교적 뚜렷하거나 약간 확산(semi-prolonged)되어 두껍게 나타나며 측면연속성이 양호한 해저표층 반사파와 그 하부 수 십 m에 걸쳐 나타나는 다수의 평행한 내부 반사파가 특징적으로 나타난다(Fig. 4-1a). 또한, 척치 대

Table 2. Classification scheme of the echo facies.

Type of seafloor topography		Type of subbottom echo characters	
I	Flat or smooth (widely undulating)	A	Several discrete and parallel reflectors (laterally continuous or discontinuous)
II	Hummocky, tightly undulating or overlapping-hyperbolic	B	Random or fuzzy without discrete reflectors
		C	Acoustically transparent (no reflectors) above a distinct basal boundary reflector; lens or wedge shaped sediment masses with abrupt or gradual lateral termination
III	Single or overlapping hyperbolic with highly-varying vertex elevations		

Table 3. Echo facies in the study area. References for interpretation cited in the text.

Echo facies	Code	Echo character	Interpretation	Occurr.
	IA	Flat or smooth undulating bottom echoes with discrete, parallel reflectors (a); dissected or scoured seafloor and subbottom echoes (b); laterally continuous or discontinuous	Composite deposits consisting of several units of hemipelagites intercalated with turbidites or muds from turbid meltwater plumes; eroded by iceberg scouring	Deep seafloor Chukchi continental shelf
	IB	Flat or smooth undulating bottom echoes with random or fuzzy subbottom reflectors	Glacial till	Northwest Chukchi Spur
	IIB	Hummocky, tight undulating or overlapping hyperbolae with random or fuzzy subbottom reflectors (a); highly dissected bottom echoes (b)	Glacial till; eroded by iceberg scouring or currents	Chukchi Plateau Upper continental slope (200~900 m)
	IIC	Hummocky, tight undulating or overlapping hyperbolae with no subbottom reflectors (acoustically transparent) distinct basal boundary; lens or wedge shaped sediment masses with abrupt or gradual later termination	Debrites	Kocherov Terrace (continental slop)
	IIIB	Single or overlapping hyperbolae with highly varying vertex elevations; random or fuzzy subbottom reflectors	Eroded hard rock basement	Chukchi Spur

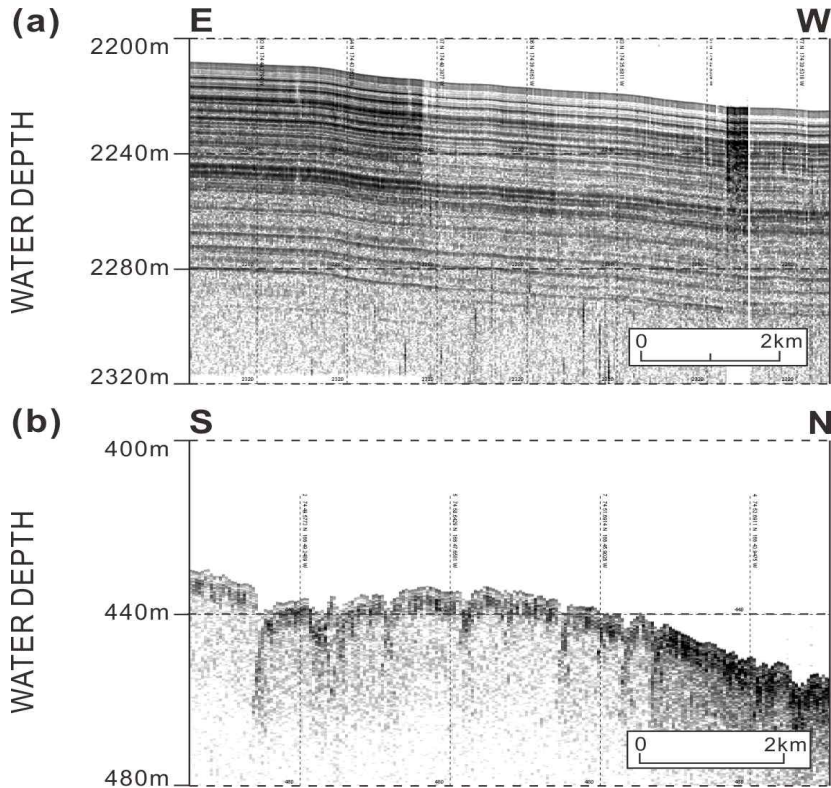


Fig. 4-1. SBP profiles showing echo facies IA. (a) Type IA-1 echo shows laterally continuous and parallel subbottom reflectors. (b) Type IA-2 echo is characterized by dissected or scoured reflectors by iceberg plowing. For locations, see Fig. 4-7.

륙붕 지역에서는 내부 반사파의 측면연속성이 다소 불량하여 불연속적으로 나타나기도 한다. 본 연구는 이러한 탄성파상 중에서 내부 반사파를 포함하여 해저 표면에 절단면 또는 침식 흔적이 나타나는 탄성파상을 IA-2로 비교적 매끈하며 침식 흔적이 없는 탄성파상을 IA-1으로 분류하였다(Fig. 4-1a, b). 탄성파상 IA-1은 심해저 환경을 이루는 CR(2,200 m)의 중심부와 멘델리프 해령 남동단에 위치한 완경사의 사면하부 단구(slope-foot terrace; 1,800 m)에서 우세하게 나타나며, 동시베리아 대륙붕에 접하는 Kucherov Terrace(약 1,200 m)와 척치 대륙붕을 포함한 대부분의 지역에서 국지적으로 발견된다.

#### 4.1.2 탄성파상 IB



탄성파상 IB는 확산되어 두껍게 나타나며 측면연속성이 양호한 해저표층 반사파가 특징적으로 나타난다. 표층 반사파는 대체로 매끈하고 평탄하며, 국부적으로 약간의 굴곡(undulating)을 보이기도 한다. 반면에, 심층 반사파의 음향특성은 반사면이 뚜렷하게 나타나지 않고 확산되어 나타나거나 무작위(random)로 나타난다(Fig. 4-2). 이러한 탄성파상은 주로 수심 약 400~450 m 이내에 위치하는 척치 돌출부의 북부에서 관찰된다.

#### 4.1.3 탄성파상 IIB

탄성파상 IIB는 전체적으로 확산되어 두껍게 나타나는 해저표층 반사파를 보이며 해저표면에 높이 수 m 이하의 쌍곡선 반사파나 낙타등 모양(hummocks)의 반사파가 겹쳐져 나타난다(Fig. 4-3a). 그러나, 본 연구에서 세분화한 IIB-2의 경우에는 일부 겹쳐진 쌍곡선 반사파가 나타나지만, 높이 수 m 이하의 작은 기복이나 소규모의 침식 흔적으로 추정되는 절단면들이 광범위하게 관찰된다(Fig. 4-3b). IIB-1 탄성파상은 척치 대륙붕, 척치 돌출대, 그리고 척치 대지와 같이 비교적 얕은 수심에 위치하는 해저면에 주로 발달되어 있다. 또한, Kuchero Terrace에 위치하는 고지대(800~1000 m)에서도 이러한 탄성파상이 존재한다. 그러나, 탄성파상 IIB-2는 IIB-1와 달리, 약 200~400 m 수심에 위치하는 척치 돌출대 일부 지역에 비교적 국한되어 나타난다.

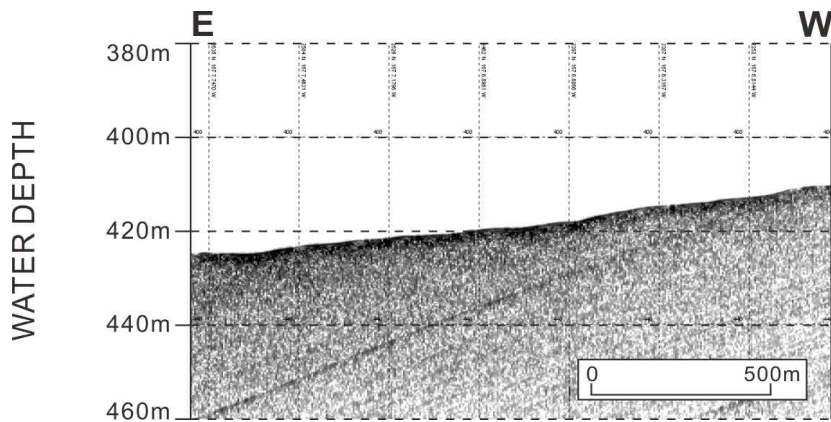


Fig. 4-2. SBP profile showing echo facies IB. Type IB echoe shows smoothly undulating bottom echoes with fuzzy sub-bottom reflectors. For location, see Fig. 4-8.

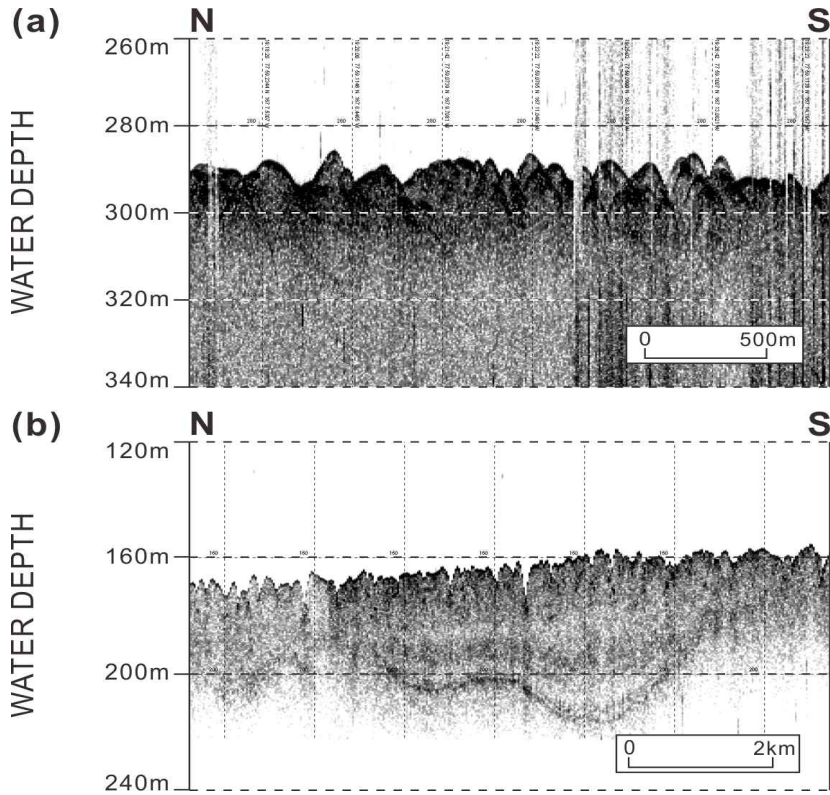


Fig. 4-3. SBP profiles showing echo facies IIB. (a) Type IIB-1 echo shows overlapping hummocks or hyperbolae with slightly varying vertex elevations. (b) Type IIB-2 echo is characterized by highly dissected bottom echoes. For locations, see Fig. 4-7.

#### 4.1.4 탄성파상 IIC

탄성파상 IIC는 내부 반사파가 없는 음향학적으로 투명한(transparent) 퇴적체의 특징을 반영한다(Fig. 4-4). 그러나 표층반사파는 명확도나 형태에 있어서 비교적 다양한 특성을 보이는데, 일반적으로 렌즈나 썩기 형태로 나타나며 내부에는 음향학적으로 투명한 반사파(Fig. 4-4)나 다소 확산된 특성의 반사파를 포함한다. 탄성파상 IIC는 주로 CR의 서쪽 대륙사면과 Kucherov terrace에서 북향하며 발달되어 있는 사면에서 우세하게 나타난다.

#### 4.1.5 탄성파상 IIIB

탄성파상 IIIB는 뚜렷하고 측면연속성이 매우 양호한 해저 표층 반사파의 특징

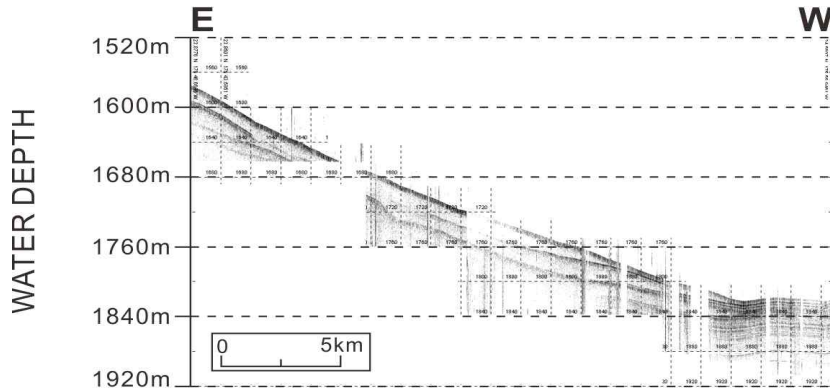


Fig. 4-4. SBP profile showing echo facies IIC. Type IIC echo shows lens or wedge-shaped echo characters. For location, see Fig. 4-8.

을 보이며, 해저면 아래의 내부 반사파는 없거나 부분적으로 반사 신호가 확산되어 나타난다(Fig. 4-5). 이러한 탄성파상이 나타나는 해저지형은 평탄하거나 약간 불규칙한 구간이 부분적으로 나타나며 지형 기복이 다양한(수~수 십 m) 여러 개의 쌍곡선 반사파가 불규칙적으로 중첩되어 복잡한 지형을 구성한다. 이러한 탄성파상은 척치 돌출대의 저지대와 접하는 척치 대지 남부에서 특징적으로 나타난다.

## 4.2 탄성파상 분포

### 4.2.1 척치 대륙붕과 척치 돌출부

척치 대륙붕과 척치 돌출부에는 탄성파상 IA-1과 IA-2, IB, IIB-1과 IIB-2, 그리고 IIIB가 복합적으로 분포한다.(Fig. 4-6). 평균적으로 0~0.5°의 완만한 경사에 비교적 평탄한 해저면을 이루고 있는 척치 대륙붕은 약 수심 50~60 m 구간에서 음향학적으로 중첩된 쌍곡선 반사파를 보이는 탄성파상 IIB-1 상부에 탄성파상 IA-1가 피복하여 나타난다. 수심 약 60 m에서 점차 깊어지면서 나타나는 탄성파상의 변화는 Fig. 4-7(a, b)에서처럼 두 측선에서 서로 다른 양상을 보인다. Fig. 4-6에 표시된 두 측선 중에서 좌측 측선은 약 100~380 m 수심까지 회절형 쌍곡선 반사파를 보이는 탄성파상 IIB가 우세하게 나타나며 국지적으로 해

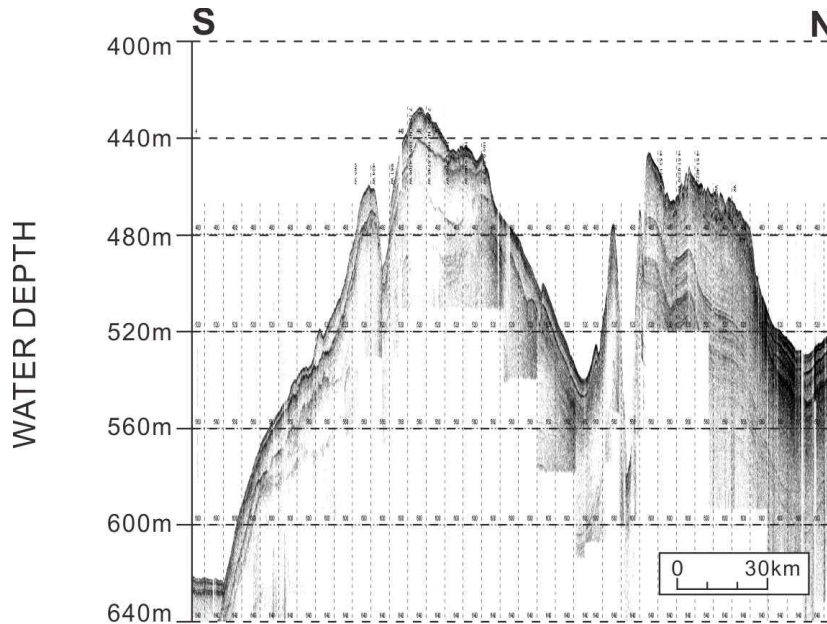


Fig. 4-5. SBP profile showing echo facies IIB in the southern part of the Chukchi Plateau.

저수로(수심 약 330 m)가 형성된 구간에서 탄성파상 IA-1가 발달되어 있다. 그러나 좌측 측선에서 분포하는 대부분의 탄성파상 IIB는 유빙의 침식 작용으로 인하여 형성된 것으로 추정되는 음향학적으로 절단된 반사파를 보이는 탄성파상 IIB-2가 광범위하게 발달되어 나타난다(Fig. 4-7b). 좌측 측선의 최북단에 위치하는 북부 척치 돌출대(수심 400~450 m)에서는 주로 약간의 굴곡을 보이며 음향학적으로 확산된 표층반사파를 보이는 탄성파상 IB가 분포하고 있다. 우측 측선의 해저면은 다소 완만하며 굴곡져 나타나는 좌측 측선의 해저면과 달리 비교적 복잡한 지형 기복이 발달되어 있다. 탄성파상의 분포 또한 다소 복잡적으로 나타나는데 수심 약 170~300 m 구간에서는 탄성파상 IIB-1이 광범위하게 발달되어 있으며 비교적 깊은 수심(수심 450~550 m)에서는 탄성파상 IA-1이 평탄하거나 부분적으로 굴곡져 나타난다. 우측 측선의 탄성파상의 분포는 유빙에 의해 형성된 침식 흔적을 보이는 IIB-2가 존재하지 않고 음향학적으로 중첩된 쌍곡선 반사파의 특성을 보이는 IIB-1이 광역적으로 분포하고 있다는 점과 일부 구간에서 유빙에 의해 침식된 것으로 추정되는 탄성파상 IA-2가 비교적 급한 경사를 보이는 일부 구간(수심 350~450 m)에 분포하고 있다는 점에서 좌측 측선의 탄성파상 분포와 차이를 보인다(Fig. 4-7a). 우측 측선에 확인되는 탄성파상 IA-1은 좌

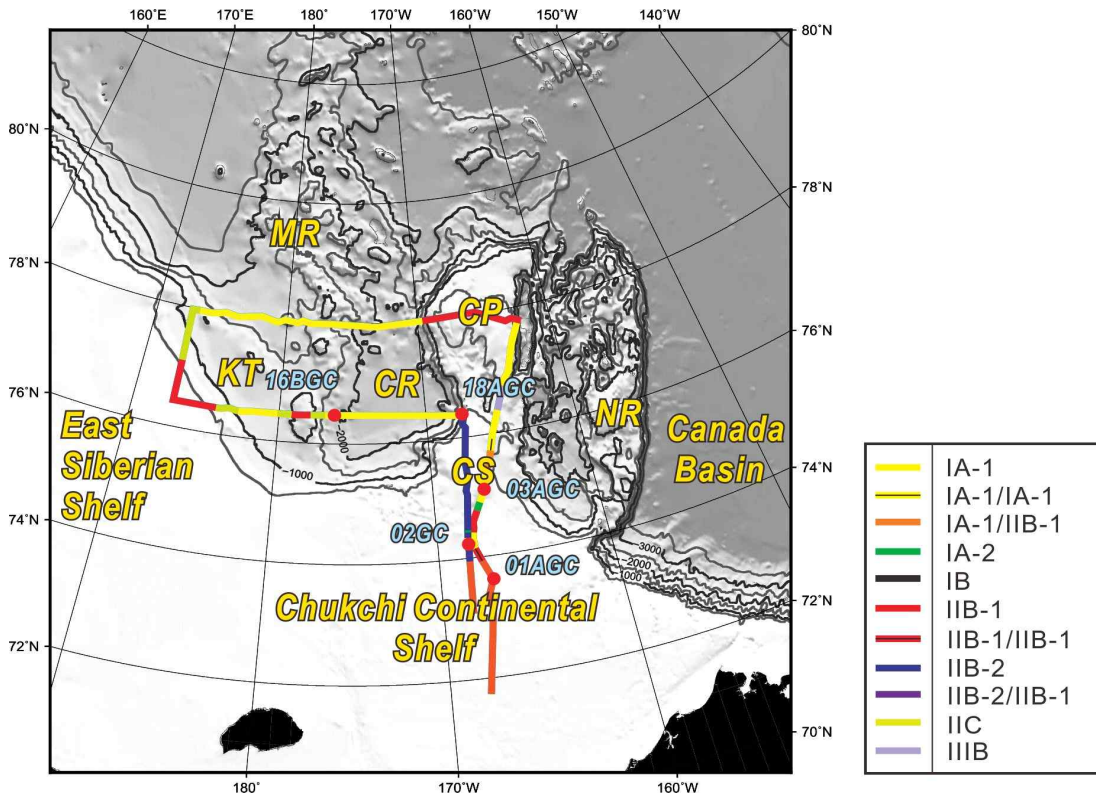


Fig. 4-6. Distribution of the echo facies. Refer to Table 3 for details of echo facies. Slashed facies codes denote 2-storey sedimentary sequences (upper/lower).

측 측선에서 설명한 해저수로와 동일한 위도(Fig. 4-6) 상에 유사하게 나타나며 수심 또한 거의 동일한 지점(수심 약 320 m)에서 발달되어 있으나 상대적으로 더 넓게 발달되어 있다(Fig. 4-7b). 또한, 우측 측선에서는 척치 돌출대의 일부 구간(수심 약 400~550 m)과 척치 대지(수심 약 450~600 m)의 남부에서 비교적 큰 기복을 보이는 탄성파상 IIIB가 국부적으로 발달되어 나타난다(Fig. 4-7a).

#### 4.2.2 척치 대지와 대륙대(Chukchi Perched Rise, CR)

척치 대지에 대한 탄성파 자료는 탐사 경로에 따라서 주로 척치 대지의 남부와 척치 캡(Chukchi Cap)이라 불리는 중심부(수심 250~600 m)에 국한되어 획득되었다(Fig. 4-6). 척치 대지의 남부는 국지적으로 기반암 또는 화산암체에서 주로 나타나는 탄성파상 IIIB가 발달되어 있다(Fig. 4-7a). 측선을 따라서 북북동 방향으로 이동하면 수심 약 2,700 m까지 깊어지는데 이 구간에서는 탄성파상



IA-1이 주로 분포하며, 이러한 탄성파상은 CR에서도 광역적으로 나타난다(Fig. 4-8a). 척치 대지 남부와 척치 캡 사이의 지역에 대한 탄성파 자료는 존재하지 않는다. 그러나, Polyak et al. (2001) 연구는 12-kHz 수심측량기와 측면주사 소나 자료(12-kHz swath bathymetry and sidescan sonar data)로부터 척치 대지의 수심 300~400 m에 위치하는 지역에서 다양한 크기와 방향성을 보이는 빙하 침식구조가 발달되어 있으며 척치 대지 남부의 최대 900 m 수심까지 다소 준평행하게 집중되어 나타나는 침식구조와 침식구조를 가로질러 발달된 빙퇴석 해령이 분포하고 있음을 보고한 바 있다. 이러한 침식구조가 주로 부유하는 빙산에 의해 침식되었다는 점과 빙봉 또는 ice rise에 의해 빙퇴석 해령이 형성되었다는 점에서 볼 때, 탄성파상 IB 또는 IIB-1, 2와 유사한 탄성파상이 분포할 것으로 추정된다. 약 북위 78°를 경유하여 나타나는 척치 캡의 탄성파상은 주로 쌍곡선 반사파가 중첩되어 나타나는 IIB-1이 분포하고 있으며 뚜렷한 침식 자국은 확인되지 않는다. 척치 캡의 해저면은 다소 굴곡져 나타나는데 주로 수심 250~300 m 구간에서는 음향학적으로 중첩된 쌍곡선 반사파로 구성된 IIB-1이 발달되어 있으며, 수심 300~500 m 구간에서는 비교적 넓은 폭을 갖는 낙타등 모양의 반사파와 중첩되어 나타나는 쌍곡선 반사파로 구성된 IIB-1 유형의 탄성파상이 발달되어 있다(Fig. 4-8b).

#### 4.2.3 동시베리아해 대륙사면과 Kucherov Terrace(남부 멘델리프 해령)

탐사 측선에서 확인되는 동시베리아 상부 대륙사면(수심 350~450 m)은 주로 IIB-1 유형의 탄성파상이 분포하고 있으며 수심 약 350 m 지점에서는 탄성파상 IIB-1가 비교적 집중되어 나타나기도 한다. 탐사 측선은 이러한 사면을 따라서 북편과 동편으로 연장되는데 두 측선 모두 수심 약 1,000 m 지점까지 내려가면 음향학적으로 투명한 내부반사파를 보이는 탄성파상 IIC가 주로 발달되어 있으며 부분적으로 탄성파상 IIC의 상부에 IA-1 유형의 탄성파상이 피복하고 있다. 두 측선에서 나타나는 탄성파상은 다소 차이를 보이는데 북편으로 향하는 측선에서는 탄성파상 IIC가 수심 1,200 m까지 계속해서 발달되며, 동편으로 향하는

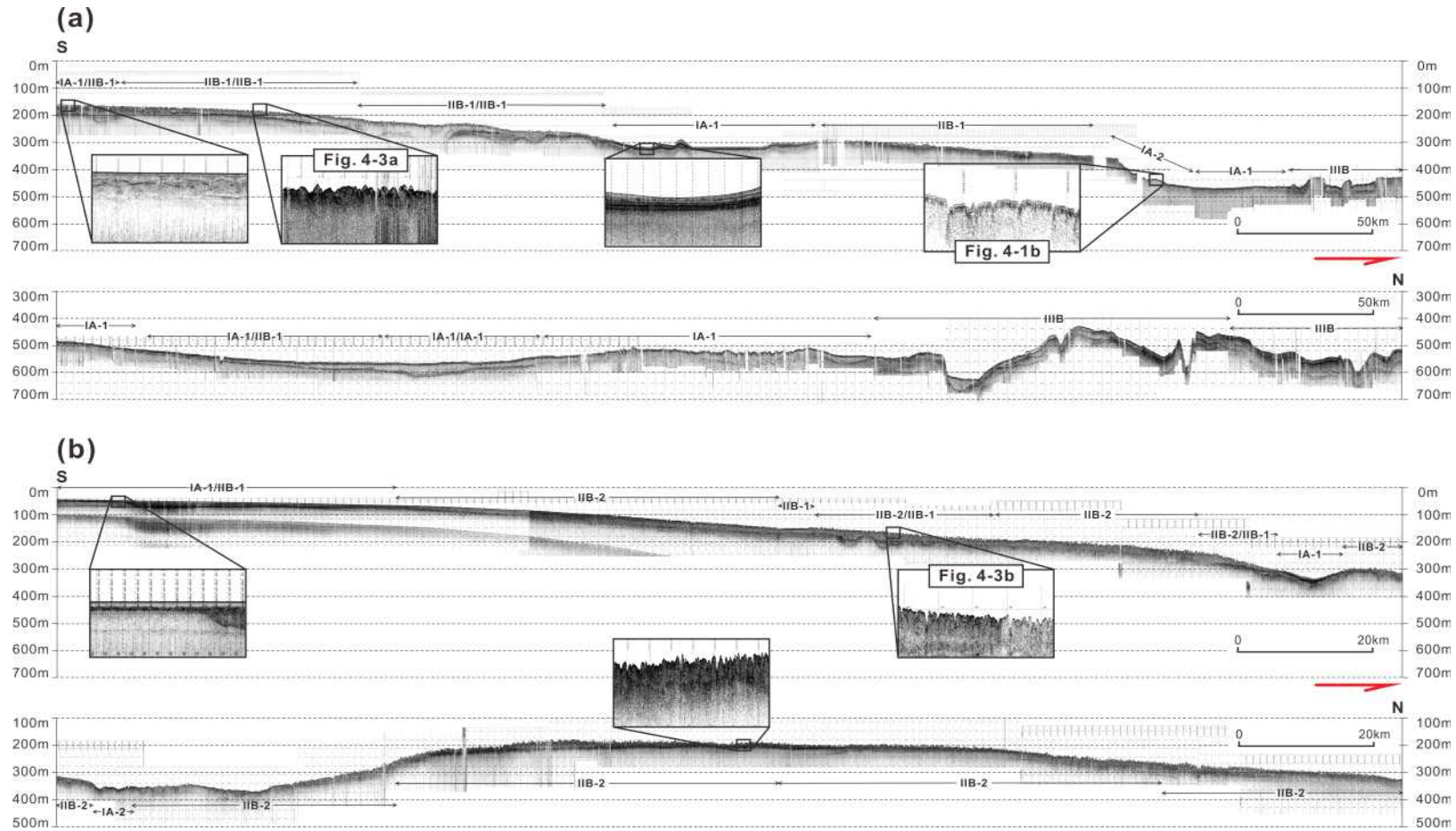


Fig. 4-7. SBP profiles showing distribution of the echo facies from the Chukchi continental shelf to Chukchi Spur. For locations, see Fig. 3-1.

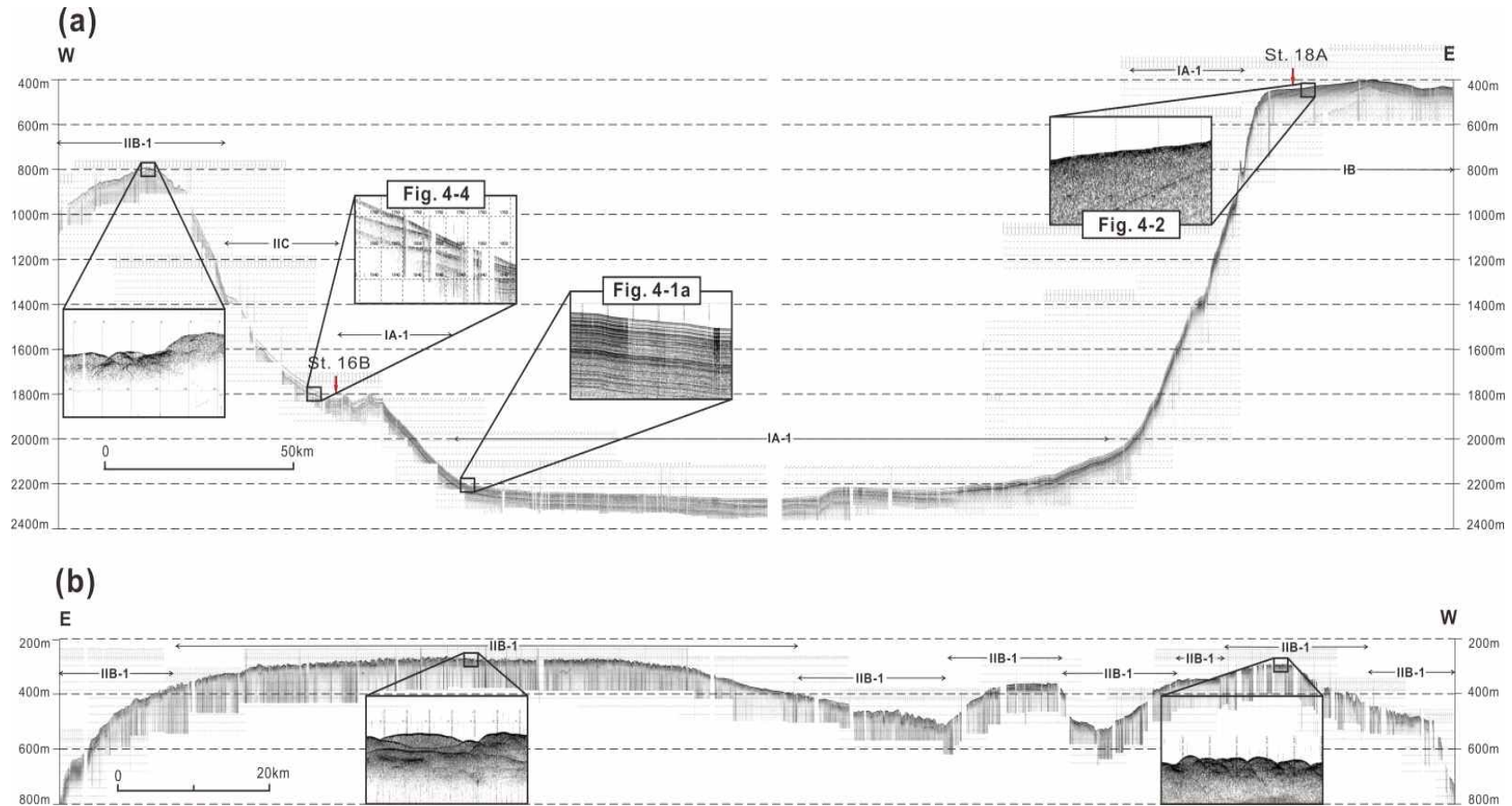


Fig. 4-8. SBP profiles showing distribution of the echo facies. For locations, see Fig 3-1.



측선에서는 수심 1,000 m 이하부터 IA-1 탄성파상이 분포한다. 동편으로 발달된 해저 지형은 약 서경 179° 지점(Fig. 4-6)에서부터 수심 800 m까지 높아지며, 수심 800~1,100 m 구간에서는 IIB-1 유형의 탄성파상이 주로 발달되어 있다. 이러한 고지대의 동편에 발달된 사면에서는 주로 탄성파상 IIC가 렌즈 또는 썩기 모양으로 발달되어 나타나며 약 수심 1,800 m 지점에서 CR까지 내려가면서 탄성파상 IA-1이 광역적으로 발달되어 나타난다(Fig. 4-8a).

### 4.3 탄성파상의 해석

#### 4.3.1 탄성파상 IA

서로 평행한 표층 및 내부 반사파는 퇴적물이 해저면을 따라 침전하면서 해저 지형을 피복(draping)하였음을 의미하며, 내부 반사면의 발달은 입도, 밀도, 굳기 등 물리적 특성이 서로 다른 퇴적층이 교호하고 있음을 반영한다. 일반적으로 이러한 탄성파상은 해저지형을 정합적으로 피복하는 (반)원양성 퇴적과 함께 간헐적인 저밀도 세립질 저탁류 또는 밀도류의 퇴적작용의 결과로 알려져 있다(Damuth, 1978; Yoon et al., 1991). 또한 IA-2 탄성파상에서 확인되는 절단면 또는 해저면의 심한 지형기복은 빙산과 같은 유빙의 침식 작용을 받은 것으로 해석된다.

#### 4.3.2 탄성파상 IB

심해저 환경에서는 대륙사면의 해저수로나 대륙대, 심해저평원 등에서 이와 같은 확산 반사파가 보고되고 있는데, 주로 저탁류나 해저류에 의해 표층에 모래와 자갈이 집적되는 퇴적체를 지시한다(Damuth and Hayes, 1977; Lee et al., 2002; Yoon et al., 1991). 특히 노르웨이해에서는 실트나 모래 층이 두껍고 자주 협재될 때 반사파의 확산 정도가 심해지는 것으로 해석된 바있다(Damuth, 1978). 탄성파상 IB는 척치 돌출대 북부에 국한되어 나타나는데 주로 빙하후퇴기 동안 집적된 빙퇴석층이 장기간에 걸쳐 지속적으로 해저류에 의해 평탄화된 것으로 해석된다.

### 4.3.3 탄성파상 IIB

외대륙붕 또는 적치 돌출대와 비교적 수심이 얇은 해저로 이루어진 적치 대지에 나타나는 탄성파상 IIB는 빙하기 동안에 이 지역까지 전진해 있었던 빙상의 기저에서 집적된 빙퇴석층을 지시하는 것으로 해석된다. Damuth (1978)는 노르웨이해에서 이와 유사한 탄성파상을 보고하였으며, 시추퇴적물을 분석하여 빙하에 의해 퇴적된 빙퇴석층으로 해석한 바 있다. 일반적으로 확산된 반사파는 해저 표면에 소규모 불규칙한 기복, 예를 들면 연흔이나 모래파와 같은 퇴적구조, 해류나 빙하에 의한 다양한 침식 흔적 등이 우세하게 분포하는 지역에서 흔히 나타나는데, 이들 불규칙한 기복들은 탄성파 탐사 시 음파를 산란시켜 매우 확산된 표층 반사파를 기록하는 주원인이 된다(Damuth, 1975; Damuth, 1978). 빙하의 영향을 받는 지역의 경우에는 이러한 조립질 퇴적물이 주로 빙하로부터 직접 퇴적된 빙퇴석이나 유빙으로부터 침전된 암설인 경우가 우세할 것이다. 또한 국부적으로 나타나는 탄성파상 IIB-2의 분포는 부유하는 빙산에 의한 침식 작용이 일부 지역에 영향을 주었던 것으로 추정된다.

### 4.3.4 탄성파상 IIC

탄성파상 IIC에서와 같이 내부 반사면이 없이 음향학적으로 투명하고 표면에 소규모의 불규칙한 돌출지형이 발달하는 경우는 일반적으로 암설류(debris flow)에 의해 집적된 퇴적층으로 해석된다(Damuth, 1980; Damuth and Embley, 1981; Lee et al., 2001). 탄성파의 투명성은 내부에 층리가 발달되지 않고 불규칙(random)하게 퇴적물이 분포하고 있음을 반영한다. 이는 암설류가 발달하는 동안 퇴적층이 전단변형(shear deformation)과 주변 해수와의 혼합으로 인하여 재동되어 내부 층리가 소멸된 결과이다(Lee et al., 2002; 윤석훈 외, 2002). 또한, 퇴적체의 표면에 나타나는 소규모 쌍곡선 형태의 표층반사파와 확산 반사파(diffused echo)는 암설류가 집적되는 동안 퇴적체의 표면에 발달하는 다양한 기복을 갖는 퇴적구조에 의한 것으로 추정된다(Yoon et al., 1991).

### 4.3.5 탄성파상 IIIB

최상부 해저면의 불규칙적으로 중첩되는 쌍곡선 반사파는 기복이 매우 심한

불규칙한 해저지형을 반영하는데, 대서양 중앙해령의 해저산, 단구대(fracture zone) 등 주로 화산암 기반의 불규칙한 해저나 침식이 활발하게 일어나는 대륙 사면의 해저협곡이나 대륙대 등에서 보고되고 있다(Damuth, 1978). 한편 단단한 기반암의 경우에는 일반적으로 탄성파상 IA에서와 같은 심층 반사면이 없으며 확산되지 않는 뚜렷한 표층 반사파만이 기록된다(Lee et al., 2002). 하지만, 기반암 표면에 소규모의 불규칙한 기복, 예를 들면 현무암질 화산암인 경우 불규칙한 다공질 특성, 로피구조(ropy structure)와 같은 용암의 흐름구조 등에 의한 기복들이 흔히 발견되며, 이들은 음파를 산란시켜 매우 확산된 표층 반사파를 기록하는 주원인이 될 수 있다(Damuth, 1980). 그러나 아직까지 척치해에서 화산체나 화산암의 존재가 보고된 사례가 없기 때문에, 탄성파상 IIIB는 일부 빙하나 대형 빙산에 의해 침식된 해저지형(기반암)을 반영하는 것으로 해석된다.

## 제5장 퇴적상

### 5.1 코어기재

#### 5.1.1 01AGC

정점 1A 코어 퇴적물은 북위 73°38', 서경 166°31' 지점의 수심 약 111 m의 대륙붕 지역에 총 549 cm로 획득되었으며, 이 지역은 탄성파상 IA-1이 우세하게 나타난다(Fig. 5-1).

01A 코어 퇴적물의 조직 특성과 퇴적구조는 전반적으로 뚜렷한 변화가 나타나지 않는다. 퇴적물은 전체적으로 grayish olive green(5GY 3/2)의 색상을 띤다. 코어 퇴적물의 평균 입도는 9~10 이며 주로 점토 함량(평균 80%)이 높은 니로 구성되며, 분급도는 1.2~1.6 $\phi$ 로 불량하다. 전단력은 0.2~1 kPa 이상 범위에서 약간의 변화를 보이지만, 상부에서 하부로 가면서 점진적으로 증가하는 양상을 보인다(Fig. 5-2). 01A 정점의 코어 퇴적물은 전 구간에 걸쳐 주목할 만한 1차 퇴적구조가 나타나지 않는다. 주로 생물에 의해 교란된 구조(bioturbation)가 주를 이루며 부분적으로 크고 작은 패각편(0.2~2 cm)이 나타나기도 한다(Fig. 5-3a). 생교란 구조의 차이는 상부에서 하부로 가면서 굴(burrow)의 크기는 점이적으로 감소하며 빈도는 다소 높아진다. 또한 약 90 cm 심도를 기준으로 하부로

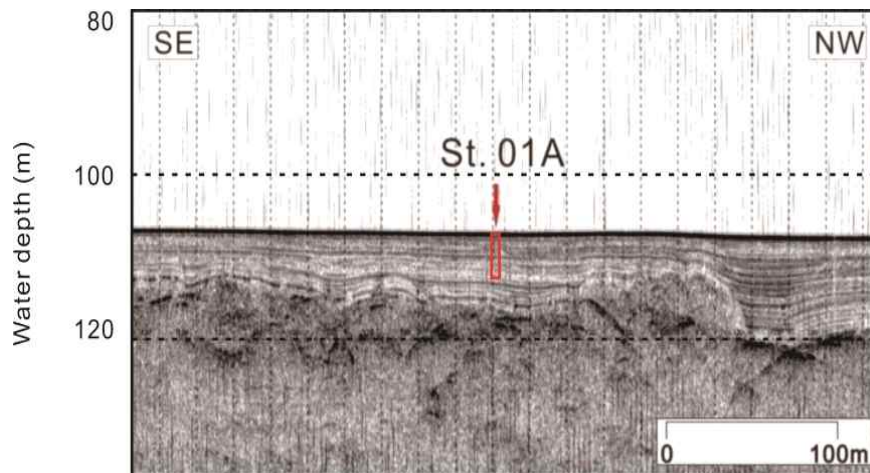


Fig. 5-1. SBP profile at the coring site 01A. Box shows approximative core depth. For core location, see Fig. 3-1.

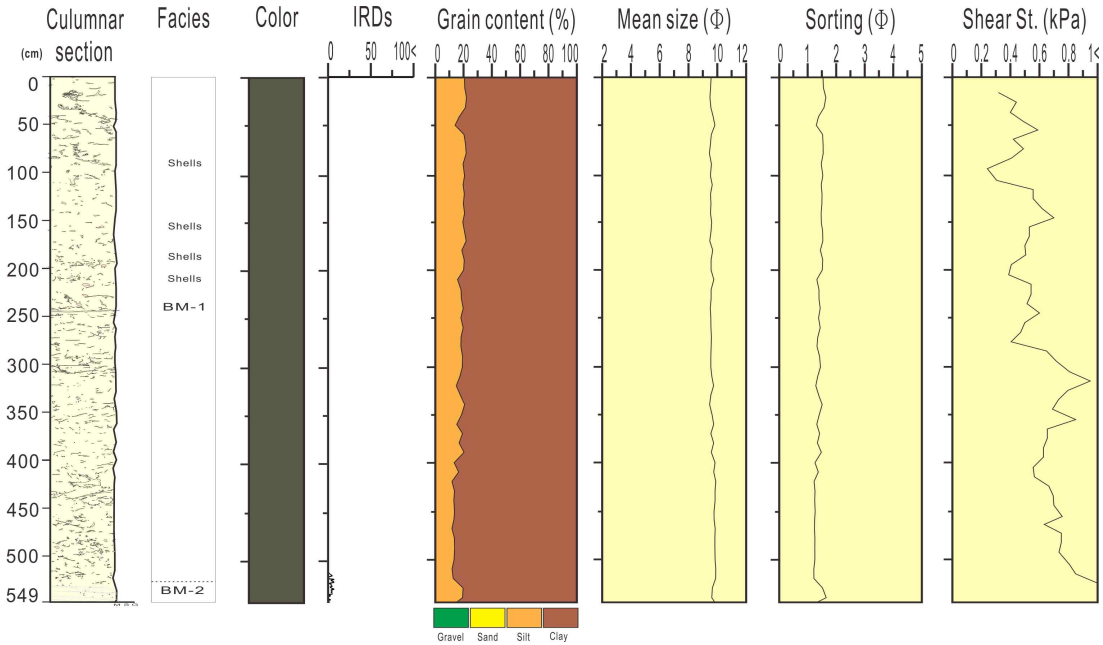


Fig. 5-2. Depth profile of core 01AGC showing columnar section, sediment color, IRD content, texture, and shear strength. BM-1, bioturbated mud; BM-2, bioturbated mud with IRDs.

가면서 이러한 생물교란 구조들은 X-선 사진 상에서 어두운 음영으로 띠는데 이는 생물교란 구조 또는 굴 내부에 퇴적물 성분이 황철석화(pyritized)된 것으로 예상된다. 최하부 약 520~540 cm 구간에서는 다소 희미하지만 물리적으로 변형(deform)된 보이는 층리가 나타나며 생물교란 구조는 상대적으로 적게 나타난다. 또한 이러한 구간에서는 세립질(1~3 mm)의 빙하수송 퇴적물(ice-rafted debris, IRD)이 평균적으로 1 cm 간격으로 3~5개 가량 무작위(random)로 분포한다(Fig. 5-3b).

### 5.1.2 02GC

정점 02 코어 퇴적물은 북위 74°18', 서경 167°39' 지점의 외대륙붕에 발달되어 있는 해저 수로 또는 해곡(수심 320 m)의 측벽에서 시추되었으며(Fig. 5-4) 총 466 cm가 획득되었다. 이 정점은 IA-1 탄성파 상이 분포하는 지역으로 01A 정점과 유사하며 탄성파상 IIB-2가 주변 지역에 광역적으로 분포하고 있다.

0~115 cm 구간은 전체적으로 dark greenish gray(5GY 4/1) 색상을 띤다. 평

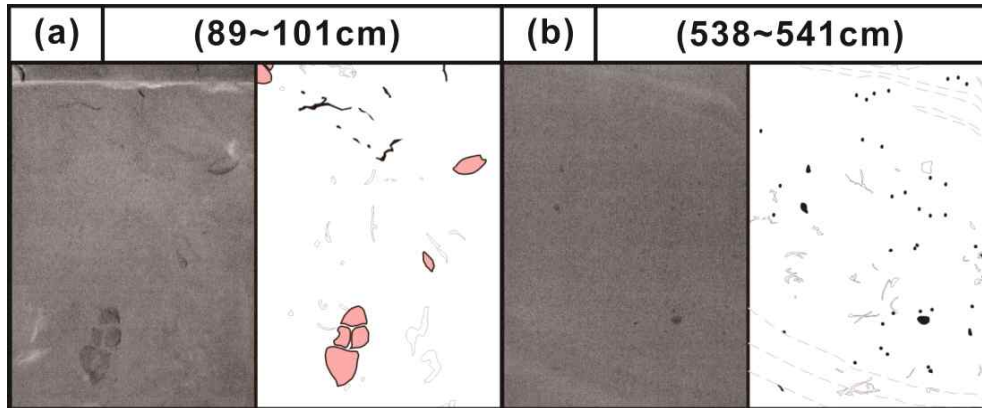


Fig. 5-3. Parts of X-radiographs and their line-drawings in the 01ACG. (a) Pyrite filaments with shells; (b) fine-grained IRDs.

균 입도는 9.1~9.4 이며 대부분 점토로 구성되어 있지만, 01A 정점의 퇴적물 보다 실트 함량이 비교적 높다. 분급은 1.3~2.1 $\phi$ 로 불량 또는 매우 불량하다. 특히, 20~40 cm 구간에서는 분급이 상대적으로 더 불량하게 나타난다(Fig. 5-5). 퇴적구조는 01A 코어 퇴적물과 유사하게 뚜렷한 1차 퇴적구조가 나타나지 않으며 생교란 구조가 우세하다. 생교란 구조의 특징적인 차이는 0~20 cm 구간에서 작은 굴들과 수직적으로 발달된 튜브에 의해 집중적으로 교란(Fig. 5-6a)되고 IRD의 분포는 평균적으로 1 cm 간격으로 0~1개 가량 나타난다. 20~100 cm 구간은 비교적 생교란 구조가 상부보다 미약하게 발달되며 다양한 크기의 굴들이 불규칙적으로 나타난다. 이 구간에서 IRD의 함량은 상부와 유사하지만, 약 66~71 cm 구간과 79~81 cm 구간에서는 1 cm 간격으로 평균 10~15개의 IRD가 집중되어 나타난다. 100~115 cm 구간에서는 다시 생물교란의 정도가 심해지며 대부분 사선방향으로 발달된 튜브(Fig. 5-6b)에 의해 교란되어 있다. 이 구간에서 생교란 구조의 빈도는 상부에서 하부로 가면서 감소하는 양상을 보인다. IRD의 개수는 대부분 2 mm 직경의 세립질 입자가 1 cm 간격으로 평균 2~5개 정도 분포하며 최대 8 mm의 직경을 갖는 조립질 입자가 나타나기도 한다.

115~140 cm 구간은 색상의 변화가 다음과 같은 순으로 나타난다: 115~120 cm: dark greenish gray(5GY 4/1); 120~127 cm: light olive gray(5Y 5/2); 127~131 cm: dark greenish gray(5GY 4/1); 131~140 cm: moderate olive brow(5Y 4/4). 이 구간의 평균 입도는 9.0~9.5 $\phi$ 이며 점토로 구성된다. 분급은

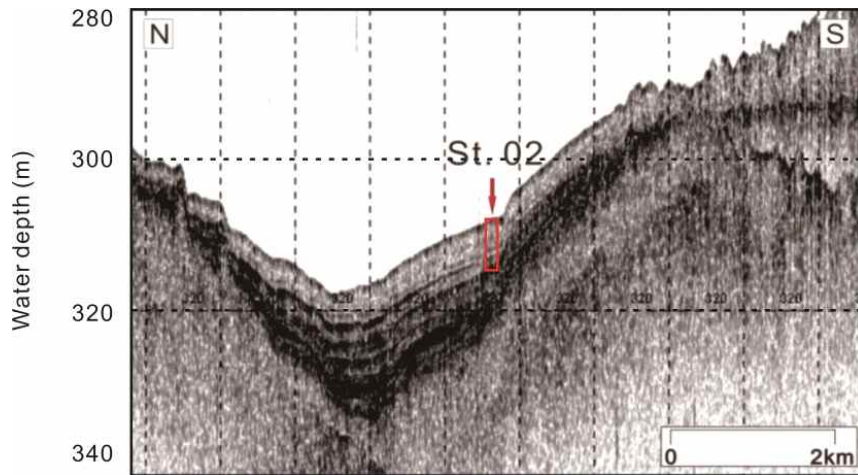


Fig. 5-4. SBP profile at the coring site 02. Box shows approximate core depth. For core location, see Fig. 3-1.

평균 1.7 로 불량한 편이다. 이 구간의 퇴적구조는 구분 가능한 희미한 층리가 주로 발달되어있으며 부분적으로 작은 굴에 의해 교란되어 있다. 115~118 cm 구간과 136~138 cm 구간에는 부분적으로 사층리가 발달(Fig. 5-6c)되어 있지만, 전체적으로 평탄하며 준-평행한 (박)층리가 형성되어 있다. IRD의 분포는 115~122 cm 구간에서 2 mm 직경의 세립질 입자가 1 cm 간격으로 5~9개가 분포하며 4~8 mm 직경의 보다 조립한 입자도 일부 나타난다. 이러한 IRD의 분포는 133 cm 심도까지 하부로 내려가면서 감소하는 경향을 보이고 133 cm 심도의 하부에서는 전혀 나타나지 않는다.

140~152 cm 구간은 light olive gray(5Y 5/2) 색상을 띤다. 평균 입도와 퇴적물 유형은 115~140 cm 구간과 유사하다. 분급은 1.3~1.7 $\phi$  불량한 분급을 보이며 하부로 가면서 비교적 분급이 양호해진다. 이 구간에서는 뚜렷한 층리가 발달되지 않으며 다소 수평적으로 발달된 굴에 의해 교란되어 나타난다. 140~145 cm 구간에는 세립질의 IRD가 1 cm 간격으로 평균 4개씩 분포한다. 143~144 cm 구간에는 IRD가 부분적으로 집중되어 나타나며 하부로 가면서 나타나지 않는다.

152~160 cm 구간의 색상은 상부에서 하부로 가면서 light olive brown(5Y 5/6)에서 dark greenish gray(5GY 4/1)로 점이적으로 변한다. 이 구간의 평균 입도는 9.0~9.7 $\phi$ 로 나타나며, 분급은 1.3~1.8 $\phi$ 로 불량한 편이다. 이 구간에는 뚜



릿한 IRD를 확인하기 어려우며 하부 경계면이 뚜렷한 실트질 켜와 니질 켜가 서로 교호하며 층을 이룬다. 니질 켜와 실트질 켜 사이에는 일부 생물에 의해 교란되어 있으며 층리들은 다소 굴곡져(wavy) 있고 준평행하게 발달되어 있다.

160~182 cm 구간은 dark greenish gray(5GY 4/1)의 색상을 띠며, 평균 입도는 9.0~9.1 이다. 분급도는 1.6~1.8 $\phi$ 로 불량한 분급을 보인다. 이 구간의 퇴적구조는 뚜렷한 층리가 발달되어 있지 않으며 대부분 생교란구조가 우세하게 나타난다. 생교란구조의 특징은 상부에서 다소 수평적으로 발달된 굴들이 나타나며 하부는 다소 두꺼운 굴에 의해 얼룩져(mottled) 나타나기도 한다. IRD의 분포 양상은 평균적으로 1 cm 간격으로 0~3개씩 분포하며 170~174 cm 구간에서는 평균 5~8개의 IRD가 부분적으로 집중되어 나타난다.

182~189 cm 구간은 grayish olive (10Y 4/2)의 색상을 보인다. 평균 입도는 10 cm 간격으로 입도 분석했기 때문에 확인할 수 없었다. 그러나, X-선 사진에서 나타나는 음영의 차를 비교해 볼 때, 상부에 나타나는 구간과 유사할 것으로 생각된다. 이 구간에서는 생교란구조에 의해 측면연속성이 불량한 희미한 박층리가 발달되어 있다. 이러한 층리는 평탄하고 준평행하며 층후가 다소 일정하다. 구간의 상부 경계면은 생물교란에 의해 다소 교란되어 있는데 반하여 하부 경계면은 비교적 선명하고 2 mm 크기의 IRD가 수평적으로 퇴적되어 있다.

189~200 cm 구간은 상부에서 하부로 가면서 moderate olive brown(5Y 4/4)에서 dark greenish gray(5GY 4/1)로 색상의 전이가 나타난다. 평균 입도는 8.4 $\phi$ 로 비교적 실트가 풍부한 니질 퇴적물로 구성되며, 분급은 1.9 $\phi$ 로 불량한 편이다. 이 구간은 두꺼운 실트질 층(약 3 cm)에 얇은 점토질 켜(0.3~0.5 cm)가 굴곡져 교호하며 뚜렷한 생교란구조와 IRD는 나타나지 않는다(Fig. 5-6d).

200~250 cm 구간은 grayish olive(10Y 4/2)의 색상을 띠며 평균 입도는 8.4~9.6 $\phi$ 로 이루어진다. 230 cm 심도를 기준으로 상부는 비교적 실트가 풍부한 니로 구성되며 하부는 실트 함량이 낮은 점토로 구성된다. 분급은 전체적으로 1.3~1.9 $\phi$ 로 불량하지만, 230 cm 심도를 기준으로 하부로 가면서 상대적으로 양호한 분급을 보인다. 이 구간의 퇴적구조는 전체적으로 생교란구조를 거의 확인할 수 없으며 층리들이 발달되어 있다. 층리의 특징은 230 cm 심도를 기준으로 다소 차이를 보인다. 200~230 cm 구간은 215 cm 심도를 기준으로 점선형으로 발달된



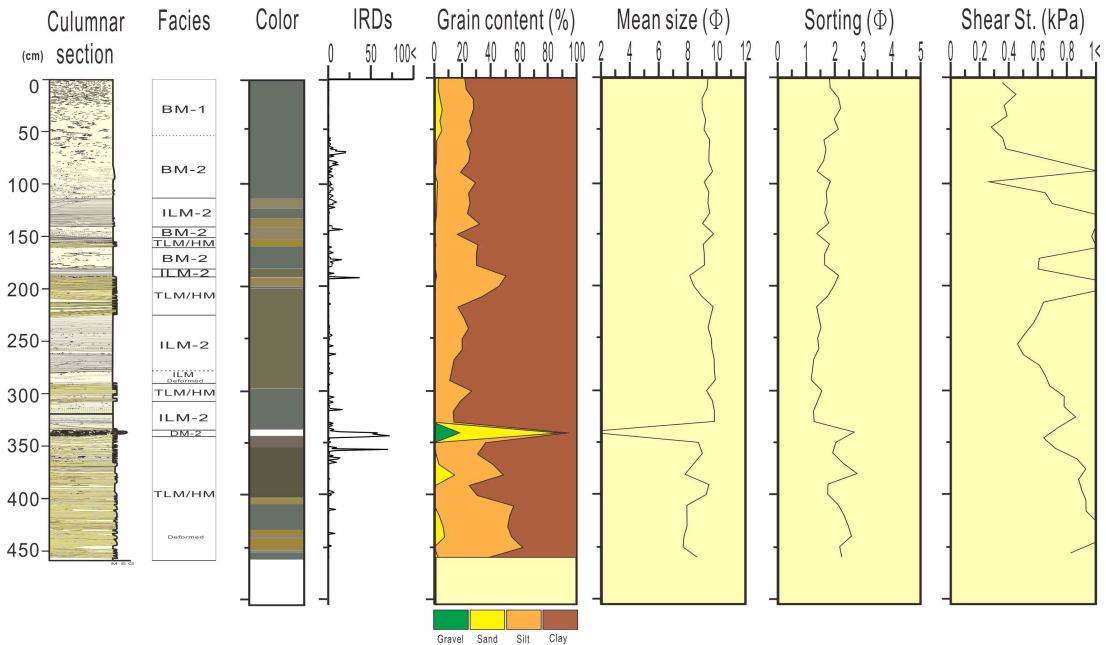


Fig. 5-5. Depth profile of core 02GC showing columnar section, sediment color, IRD content, texture, and shear strength. BM-1, bioturbated mud; BM-2, bioturbated mud with IRDs; ILM-2, indistinctly laminated (or layered) mud with IRDs; TLM/HM, couplet of thinly laminated mud and homogeneous mud; DM-2, disorganized mud (high IRD content).

박층리(tangential laminae)가 상·하로 대칭적으로 발달되어 있다. 이러한 층리는 하부로 내려가면서 층리의 좌우 층후가 일정하지 않고 한쪽 편이 얇아졌다가 215 cm 심도를 기준으로 다시 두꺼워지는 양상을 보인다. 230~250 cm 구간의 층리들은 희미한 (박)층리가 평행하게 발달되어 있고 층후는 비교적 일정하다. IRD의 분포양상은 230 cm 심도를 기준으로 상부는 4~6 mm 직경의 비교적 조립한 입자가 1~2개 가량 나타나며 하부에서는 2~4 mm 직경의 세립한 입자가 1 cm 간격으로 평균 1~3개 가량 분포하고 있다.

250~290 cm 구간은 전체적으로 grayish olive(10Y 4/2)의 색상으로 이루어져 있다. 평균입도와 분급도는 230~250 cm 구간과 유사하지만, 하부로 가면서 세립해지고 분급도 상대적으로 양호해진다. 이 구간의 퇴적구조와 IRD의 변화양상은 230~250 cm 구간과 유사하지만, 하부에 위치한 270~290 cm 구간은 미세단층에 의해 부분적으로 변형되어 있으며 특히, 282~290 cm 구간의 층리들이 매우 불연속적으로 나타난다.

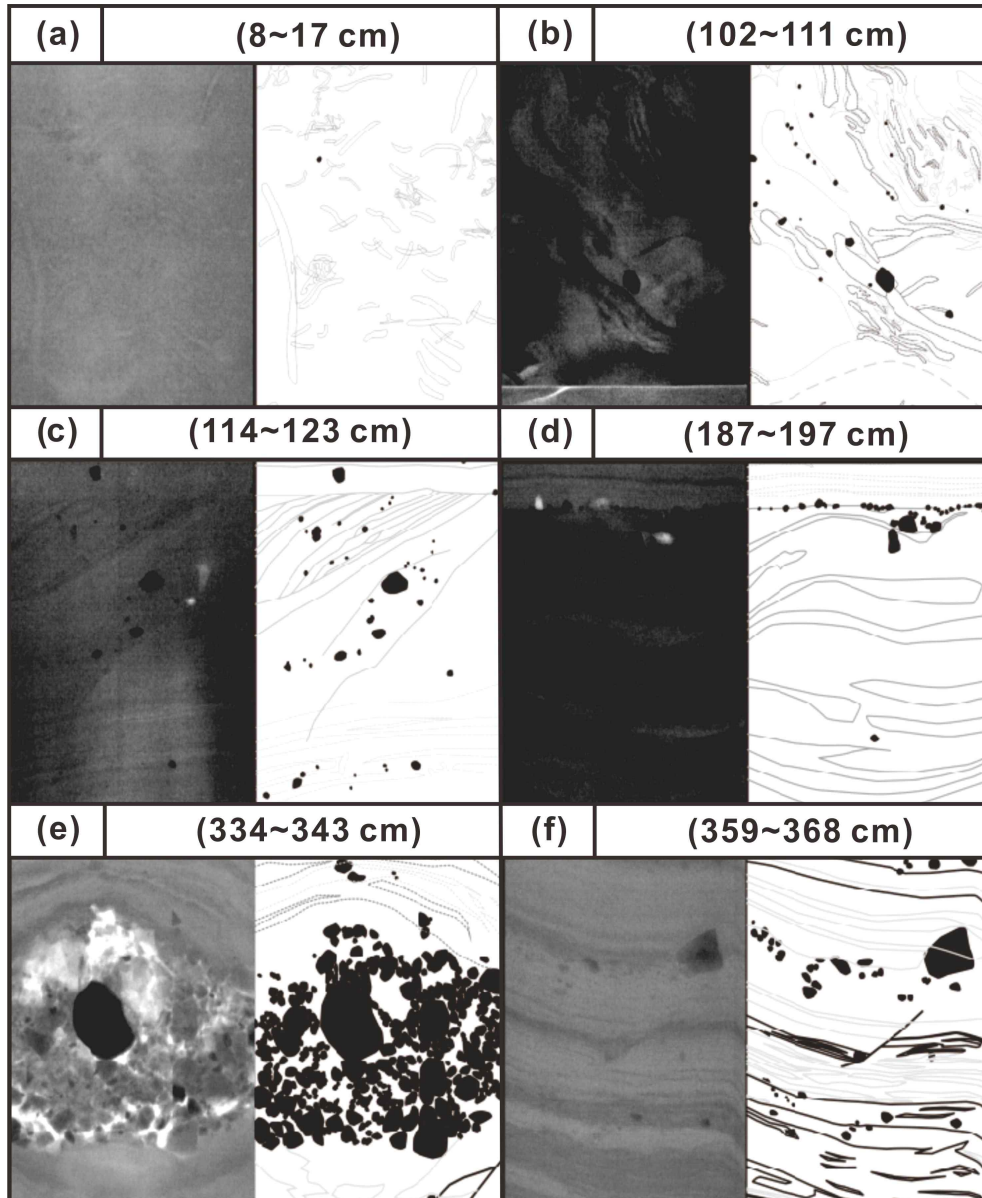


Fig. 5-6. Parts of X-radiographs and their line-drawings in the 02GC. (a) Bioturbated mud with vertical bio-tubes; (b) Intensively bioturbated mud; (c) indistinctly laminated mud; (d) wavy laminated silty mud layer; (e) disorganized gravelly muddy sand; (f) upward thinning laminated silt-rich mud with over-sized clast.

290~336 cm 구간은 dark greenish gray(5GY 4/1)의 색상을 띤다. 평균 입도는 9.3~9.9 로 나타나며 약 300 cm 심도까지 내려가면서 실트의 함량이 증가하고 그 하부로 가면서는 실트의 함량이 감소하는 양상을 보인다. 분급도는 1.1~

1.5 의 범위로 나타나며 실트의 함량에 영향을 받는다. 이 구간은 생교란구조가 거의 나타나지 않으며 층리가 발달되어 있다. 층리의 특징은 310 cm 심도를 기준으로 상부는 실트가 풍부한 층과 점토질 층이 서로 교호하며 나타난다. 실트가 풍부한 층의 층후는 상부로 가면서 얇아지는 양상을 보이며 일부 미세단층에 의해 교란되기도 한다. 그 하부는 다소 평행하며 층후의 변화가 불규칙적인 박층리가 형성되어 나타난다. IRD의 분포 양상은 310 cm 심도를 기준으로 상부에서 간헐적으로 3~4 mm 직경의 IRD가 1~2개씩 분포하며 하부는 2~3 mm 직경의 입자가 층리를 따라 부분적으로 나타난다.

336~342 cm 구간은 피상(disorganized)의 조립질 쇄설물이 약 6 cm 두께로 퇴적되어있다. 색상은 각각의 쇄설물의 색상이 반영되어 명확하게 구분하기 어렵다. 평균 입도는  $0.9\phi$ 이며 역니질사의 퇴적물 유형으로 구분된다. 이런 퇴적물은 약 18%의 자갈을 포함하며 70%에 달하는 모래 함량을 보인다. 분급도 또한  $2.6\phi$ 로 매우 불량한 분급을 보인다. 이 구간에서는 생물교란, 층리, 집이-역점이 층리와 같은 퇴적구조는 나타나지 않는다(Fig. 5-6e).

342~466 cm 구간은 다음과 같이 다양한 색상으로 구성된다: 342~356 cm: brownish gray(5YR 4/1); 356~402 cm: olive gray(5Y 3/2); 402~410 cm: moderate olive brown(5Y 4/4)-light olive brown(5Y 5/6); 411~430 cm: dark greenish gray(5GY 4/1); 430~453 cm: light olive brown(5Y 5/6)-grayish blue(5BP 5/2); 453~466 cm: dark greenish gray(5GY 4/1). 평균 입도는  $7.5\sim 8\phi$ 로 나타나며 대부분 니로 구성되어 있지만, 일부 세립사를 포함하며 실트가 30%에서 많은 경우 60% 이상을 차지하기도 한다. 분급은  $1\sim 2.7\phi$ 로 불량하거나 매우 불량한 편이다. 이 구간에서는 전반적으로 생교란구조가 발견되지 않으며 층리가 주로 발달되어 있다. 각 층리는 실트가 풍부한 층리와 점토가 풍부한 층리가 서로 교호하는 양상을 보인다. 실트가 풍부한 층리의 층후는 체계적으로 상부로 가면서 얇아진다(Fig. 5-6f). 342~353 cm 구간의 층리는 향사의 형태로 아래로 불룩하게 굴곡져 나타나며 하부로 가면서 굴곡이 사라진다. 또한 이러한 층리는 미세단층에 의해 부분적으로 변형되어 나타나고 변형도는 하부로 가면서 심해진다. IRD의 분포양상은 350~366 cm 구간과 393~396 cm 구간에서 1 cm 간격으로 5~10개의 입자가 분포하며 대부분 2 mm 크기의 세립질 입자이고 361

cm 심도에서 직경 2 cm 정도의 큰 입자가 나타나기도 한다(Fig. 5-6f). 또한 이러한 IRD는 대부분 실트가 풍부한 층 내에서 나타나는 경향을 보인다.

전단력 측정 결과는 전체적으로 0.2~1 kPa 이상으로 하부로 가면서 증가하는 변화를 보이지만, 약 95 cm 심도에서 0.26 kPa로 갑자기 낮아지는 변화를 보이고 125~195 cm 구간의 층리가 발달된 부분에서 1 kPa 이상의 비교적 높은 전단력이 측정된다(Fig. 5-5).

### 5.1.3 03AGC

정점 3A는 북위 75°06', 서경 166°20' 지점에 위치한다. 코어 정점은 IIIB의 탄성파 상으로 이루어져 있으며 주변부는 탄성파상 IA-1가 해저면을 피복하고 있다. 코어 퇴적물은 주변 지형에 비해 상대적으로 높은 언덕 지형에서 시추되었다(Fig. 5-7).

0~44 cm 구간은 크게 갈색과 회색 계열의 색상을 띤다. 25 cm를 기준으로 상부는 갈색 계열의 색상으로 구성되며(0~17 cm: moderate brown(5YR 3/4); 17~22 cm: grayish brown(5YR 3/2); 22~25cm: dark yellowish brown(10YR 4/2), 하부 구간은 dark greenish gray(5GY 4/1)의 색상을 띤 회색 계열로 구성된다. 이 구간의 평균 입도는 8.8~9.7 이며 대부분 점토로 구성된다. 그러나, 약 20 cm 심도 부근에서는 모래함량이 9% 가까이 포함되어 있으며, 약 35~44 cm 구간은 4.5%의 자갈과 5.5% 모래가 포함되어 있다(Fig. 5-8). 분급도는 1.4~

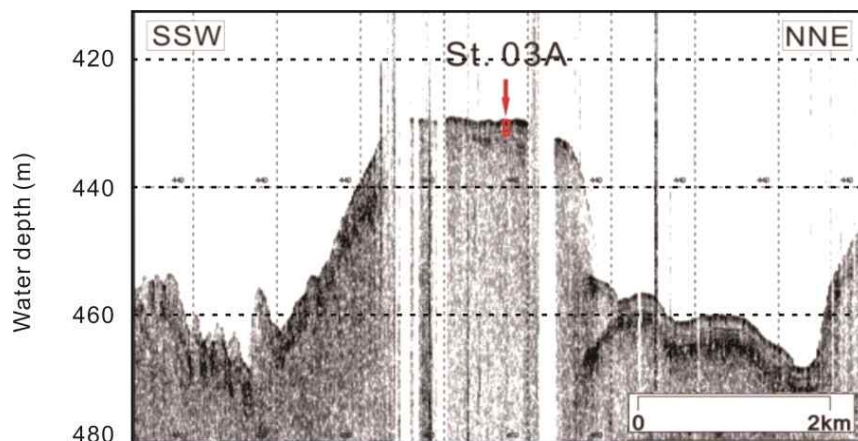


Fig. 5-7. SBP profile at the coring site 03A. Box shows approximative core depth. For core location, see Fig. 3-1.

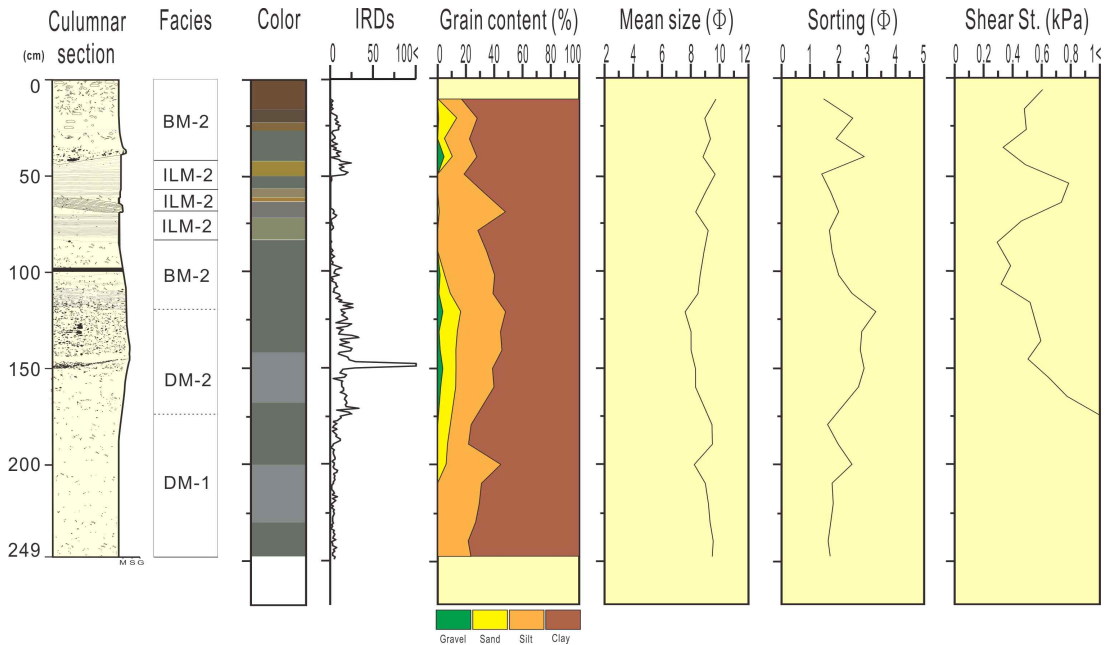


Fig. 5-8. Depth profile of core 03AGC showing columnar section, sediment color, IRD content, texture, and shear strength. BM-2, bioturbated mud with IRDs; ILM-2, indistinctly laminated (or layered) mud with IRDs; DM-1, disorganized mud (low IRD content); DM-2, disorganized mud (high IRD content).

2.9 로 불량 또는 매우 불량하며 모래와 자갈의 함량이 높은 구간에서 매우 불량한 분급을 보인다. 이 구간의 퇴적구조는 층리가 발달되지 않고 생교란구조가 나타나며 최하부는 비조화적(disconcordant)이며 선명한 하부경계면을 이룬다. 0 ~ 35 cm 구간에는 평균적으로 1 cm 간격으로 2 mm의 직경을 갖는 IRD가 2~5 개 가량 분포하며 부분적으로 10개 이상의 입자가 집중되기도 한다. 이러한 IRD의 분포 양상은 하부로 가면서 점점 증가하며 평균 1 cm 간격으로 10~20개 가량 분포하고 있으며 0.4~2 cm 정도의 직경을 갖는 조립한 IRD가 최하부에 나타난다(Fig. 5-9a). 특히, IRD가 많이 분포하는 35~44 cm 구간에서는 생교란구조가 눈에 띄게 감소한다.

44~61 cm 구간은 58 cm 심도를 기준으로 상부는 dark greenish gray(5GY 4/1)의 색상으로 나타나며 하부는 light olive gray(5Y 5/2)의 색상을 띤다. 평균 입도는 9.0~9.6 $\phi$ 로 대부분 점토로 구성된다. 분급도는 1.4~1.7 $\phi$ 로 불량한 편이다. 이 구간의 퇴적구조는 희미한 층리들이 발달되어 있고 뚜렷한 생교란구조나 IRD는 발견되지 않는다. 이 구간에 발달된 층리는 대부분 평행 또는 준평행하게



발달되며 불규칙적인 층후를 보인다.

61~66 cm 구간은 65 cm 심도를 기준으로 상부는 light olive brown(5Y 5/6)의 색상으로 구성되며 하부는 medium dark gray(N4)로 구성된다. 평균 입도는 10 cm 간격으로 실시된 입도분석 방식으로 인하여 확인할 수 없지만, X-선 사진의 음영을 비교해볼 때, 70 cm 심도의 입도와 유사할 것으로 생각된다. 70 cm 심도에 퇴적물은 실트함량이 40%가 넘는 니질 퇴적물로 구성되며 분급은 2로 불량하다. 이 구간의 퇴적구조는 약 64 cm 심도를 기준으로 하부는 사층리가 발달(Fig. 5-9b)되어 있으며 상부는 층리가 불분명하고 생교란 구조에 의해 변형되어 있다. IRD의 분포는 1 cm 간격으로 평균 3~5개가 분포하며, 사층리 구간의 경우에는 실트 함량이 높은 층리 내에 2~3 mm 직경의 IRD가 분포하고 있다(Fig. 5-9b).

66~83 cm 구간은 70 cm 심도를 기준으로 상부는 medium dark gray(N4)로 구성되며 하부는 dusky yellow green(5GY 5/2)로 구성된다. 평균 입도와 분급도는 위에서 언급하였듯이, 상부는 비교적 실트 함량이 높으며 하부로 가면서 점토 함량이 증가한다. 분급도는 1.6~2.0 $\phi$ 로 상부는 다소 불량하며 하부로 가면서 상대적으로 양호해진다. 이 구간의 퇴적구조는 희미한 경계를 보이는 박층리로 구성되어 있으며, 70 cm 심도에서는 다소 선명한 경계가 형성되어 있다. 또한, 상부 구간에 발달된 희미하며 박층리는 대부분 생교란구조에 의해 부분적으로 불연속적으로 나타난다(Fig. 5-9c). 하부에서는 생교란구조에 의한 변형은 다소 적지만, 층리들이 매우 얇아 뚜렷하게 구분하기는 힘들다. IRD의 분포양상은 70~72 cm 구간에서 2~3 mm의 세립질 입자가 1 cm 간격으로 3개 가량 분포하고 있으며, 79 cm 심도에서는 약 5 mm의 직경을 갖는 입자가 1개 나타난다.

83~140 cm 구간은 dark greenish gray(5GY 4/1)의 색상을 띤다. 평균 입도는 7.6~8.9 $\phi$ 로 니와 (역)사질니로 구성된다. 분급도는 1.7~3.2 $\phi$ 로 불량하거나 매우 불량한 분급을 보인다. 120 cm 심도까지 하부로 갈수록 입도는 조립해지고 분급은 상대적으로 불량해진다. 그 하부에서는 입도가 다시 세립해지고 입도의 변화에 따라 분급도 양호해진다. 퇴적구조는 83~90 cm 구간에서는 다소 수평적으로 발달된 튜브 내지 굴에 의해 교란되며 뚜렷한 층리는 발달되어 있지 않다. IRD는 2 mm 크기의 세립질 입자가 1 cm 간격으로 1~3개 가량 분포하며 최상부에

서는 직경 1 cm 가량의 비교적 조립한 입자가 1개 나타난다. 90~110 cm 구간은 희미한 경계를 보이는 층리가 발달되어 있다. 100 cm 심도를 기준으로 상부는 작은 굴에 의해 일부 교란되어 나타나며 하부로 갈수록 심하게 교란되어 나타난다(Fig. 5-9d). 110~140 cm 구간은 다소 비조화적인 하부 경계면이 존재한다. 이 구간의 퇴적구조는 최상부(110~115 cm) 구간에서 생교란구조에 의해 측면연속성이 불량한 층리가 발달되어 있으며 하부로 갈수록 점진적으로 층리가 불분명해진다(Fig. 5-9d). 90~110 cm 구간에서는 2 mm 직경의 세립질 입자가 1 cm 간격으로 평균 4~6개 정도 분포하며 93 cm 심도에서 최대 13개 까지 나타난다. 110~140 cm 구간에서는 130 cm 심도를 기준으로 IRD가 증가하는 양상을 보이는데 2~4 mm의 쇄설성 입자가 1 cm 간격으로 10~20개로 증가하며 2 cm 이상의 직경을 갖는 조립한 입자도 발견된다. 130 cm 심도를 기준으로 하부로 갈수록 2 mm 직경의 세립질 입자의 수는 감소한다. 반면, 상대적으로 조립한 입자(4~6 mm)의 수는 증가하며 최대 1 cm 직경을 갖는 입자도 일부 나타난다(Fig. 5-9e).

140~165 cm 구간은 medium bluish gray(5B 5/1)의 색상으로 구성된다. 평균 입도는 8.0~8.3 로 83~140 cm 구간보다는 상대적으로 세립하며 (역)사질니로 이루어진다. 분급도는 2.7~2.9 $\phi$ 로 매우 불량한 편이다. 이 구간의 퇴적구조는 뚜렷한 층리는 나타나지 않으며 생교란구조도 거의 나타나지 않고 IRD가 불규칙적으로 분포한다. 특히 144~146 cm 구간에선 2~4 mm의 직경을 갖는 입자들이 췌기형태로 집중되어 나타나기도 한다(Fig. 5-9f). IRD의 분포양상은 146 cm 심도를 기준으로 상·하부로 가면서 감소하는 양상을 보이는데, 상부의 경우에는 평균적으로 2 mm 직경의 세립질 입자가 1 cm 간격으로 20개 가량 나타나며 144~146 cm의 구간에는 최대 100개 까지도 측정된다. 146 cm 심도를 기준으로 하부는 평균적으로 2 mm 직경의 세립질 입자가 1 cm 간격으로 10개 내지 15개 가량 분포하고 있으며 4 mm 정도의 직경을 갖는 입자도 일부 나타난다.

165~200 cm 구간은 dark greenish gray(5GY 4/1)의 색상을 띤다. 평균 입도는 8.2~9.4 $\phi$ 이며 전체적으로 점토로 이루어져 있다. 이 구간의 퇴적구조는 상부와 하부에서 다소 흐릿하게 층리가 나타난다는 점을 제외하고 150~165 cm 구간과 유사하다. IRD의 분포양상은 165~173 cm 구간에서 2 mm 직경의 입자가 1

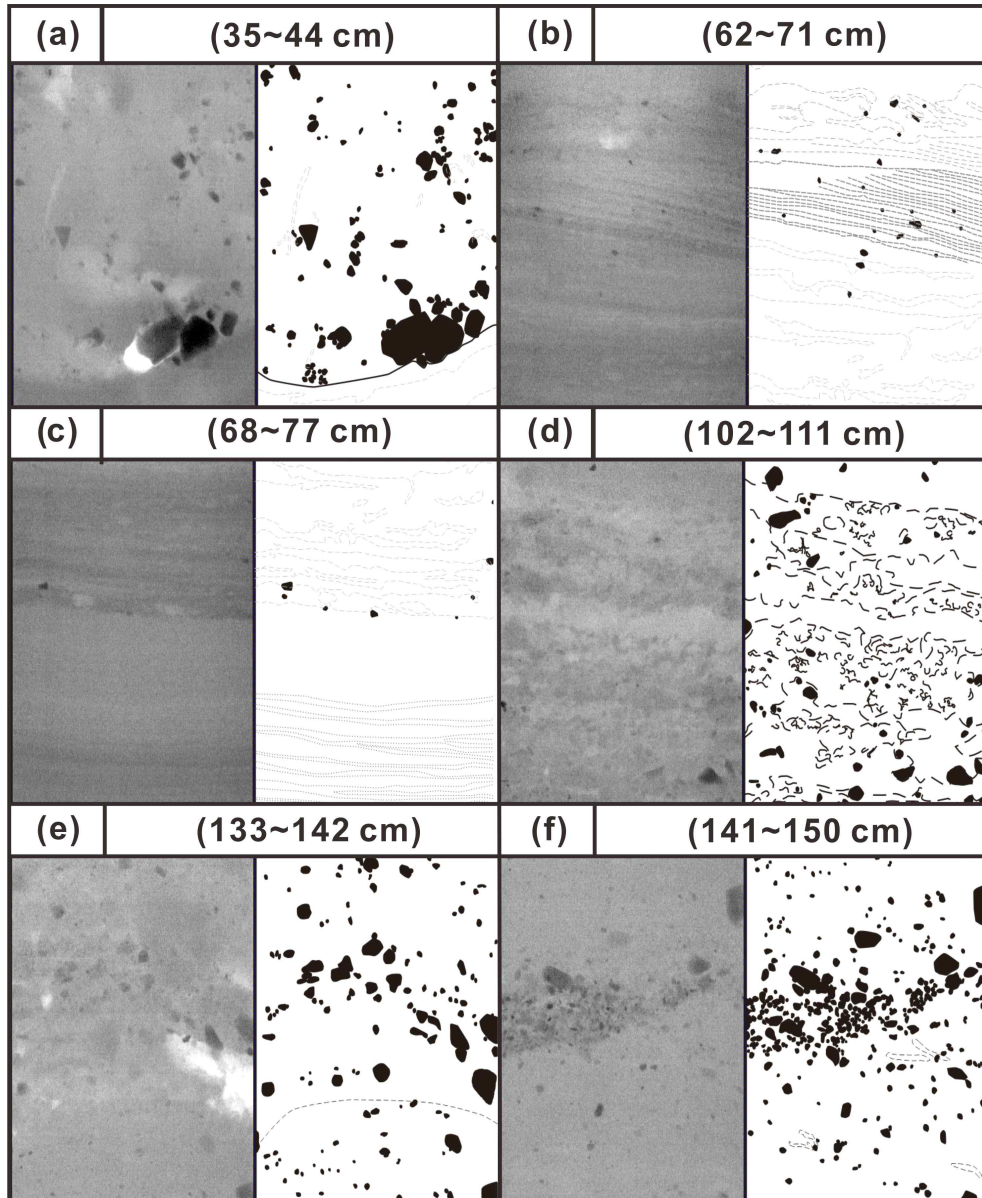


Fig. 5-9. Parts of X-radiographs and their line-drawings in the 03AGC. (a) Over-sized clasts with sharp lower boundary; (b) cross-laminated silty mud; (c) indistinctly laminated mud with slightly sharp middle boundary; (d) crudely layered and bioturbated sandy mud; (e) disorganized sandy mud with slightly discordant boundary; (f) wedge-shaped IRDs.

cm 간격으로 20개에서 10개 가량 나타나는데 하부로 갈수록 감소하는 변화양상을 보인다.

200~249 cm 구간은 230 cm 심도를 기준으로 상부는 다시 medium bluish



gray(5B 5/1)의 색상을 띠며 하부는 dark greenish gray(5GY 4/1)의 색상을 보인다. 육안으로 구분되는 퇴적물의 색상과는 달리, X-선 사진 상에는 뚜렷한 경계가 확인되지 않는다. 평균 입도는 9.0~9.4 로 하부로 갈수록 세립해지지만, 전반적으로 점토로 구성된다. 분급도는 1.6~1.8로 불량하며 입도변화에 따라서 하부로 갈수록 비교적 양호해지는 양상을 보인다. 퇴적 구조는 165~200 cm 구간과 거의 유사하나 IRD로 예상되는 세립질 입자(2 mm)의 수는 1 cm 간격으로 평균 2~4개 정도로 감소하는 양상을 보인다.

전단력은 0~35 cm 구간까지 0.33~0.61 kPa 범위로 하부로 가면서 감소하며 35 cm에서 55 cm 심도(0.78 kPa)까지 내려갈수록 다시 증가하는 양상을 보인다. 55~249 cm 구간에서의 전단력은 부분적으로 감소와 증가를 반복하지만, 전반적으로 하부로 가면서 증가하는 양상을 보인다(Fig. 5-8).

#### 5.1.4 16BGC

정점 16B는 북위 76°24', 서경 175°58' 지점의 수심 1821 m 심해저로 멘델리프 해령의 남동단 사면하부 단구(slope-foot terrace)에 위치한다. 이 지역의 탄성파상은 상부사면에서 IIC가 우세하며 CR(Chukchi perched rise)로 가면서 IA-1 유형의 탄성파상이 분포한다. 코어 퇴적물은 IA-1 유형의 탄성파상이 분포하는 지역에서 총 378 cm 길이로 획득되었다(Fig. 5-10).

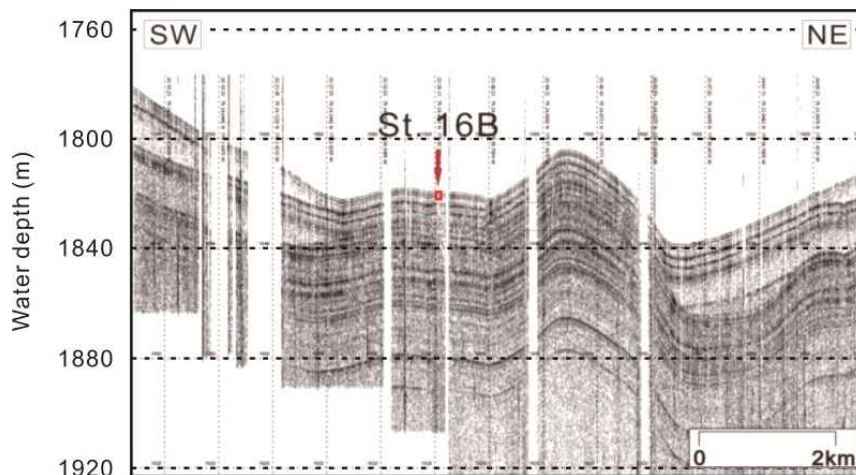


Fig. 5-10. SBP profile at the coring site 16B. Box shows approximative core depth. For core location, see Fig. 3-1.

0~5 cm 구간은 moderate brown(5YR 3/4)의 색상을 띤다. 평균 입도는 8.9로 측정되며 일부 모래가 포함(약 7%)되어 있지만, 전반적으로 점토로 구성된다. 분급은 2.2 $\phi$ 로 매우 불량하다. 퇴적 구조는 뚜렷한 층리가 없이 생교란구조가 우세하게 발달되어 있으며 하부 경계는 얼룩져(mottled)있으며 희미하다. IRD의 분포양상은 대부분 2~3 mm 직경의 세립질 입자가 분포하고 있으며 1 cm 간격으로 평균 30개 가량 나타난다(Fig 5-12a).

5~62 cm 구간은 light olive gray(5Y 5/2)의 색상으로 구성된다. 평균입도는 9.7~9.9 $\phi$ 이며 점토로 구성된다(Fig. 5-11). 분급은 1.0~1.3 $\phi$ 로 불량하지만, 0~5 cm 구간에 비하여 상당히 양호한 편이다. 퇴적구조는 전체적으로 생교란구조가 우세하며 부분적으로 희미한 층리들이 나타나기도 한다. 생교란구조의 특징은 상부(5~10 cm)에서 생교란구조에 의해 얼룩져 있으며 일부 얇은 굴이 수직적으로 발달되어 있다. 또한, 2~4 mm 크기의 패각편이 25~28 cm 구간에서 밀집되어 나타나며 IRD는 나타나지 않는다(Fig 5-12b).

62~74 cm 구간은 65 cm 심도를 기준으로 상부는 light olive gray(5Y 5/2)의 색상을 보이며 하부는 dark yellowish brown(10YR 4/2)의 색상을 띤다. 평균 입도는 7 $\phi$ 로 나타나며 모래 함량이 약 20% 이상인 사질니로 구성된다(Fig. 5-11). 이 구간의 퇴적구조는 뚜렷한 층리가 발달되어 있지 않고 작은 굴에 의해 미약하게 교란되어있다. IRD의 개수는 하부로 가면서 증가하는 양상을 보인다. IRD의 크기 변화는 약 62~67 cm 구간에서 2~5 mm 직경을 갖는 입자가 주로 분포하며 67~74 cm 구간에서 1~3 mm 직경의 입자가 우세하게 나타나며 일부 약 5~8 mm 직경의 입자도 나타난다. 평균적으로 2~4 mm의 입자가 1 cm 간격으로 평균 30~40개 가량 분포한다(Fig. 5-12c).

74~93 cm 구간은 대부분 dark yellowish brown(10YR 4/2)의 색상을 띄며 80~83 cm 구간에서 점진적으로 moderate yellowish brown(10YR 5/4)의 색상으로 변이를 보인다. 이 구간의 평균입도는 8.9~9.2 $\phi$ 로 측정되었다. 83 cm 심도를 기준으로 하부에서는 X-선 사진 상에 뚜렷한 음영 차를 보이고 음영이 어두운 구간에서는 실트가 비교적 많이 포함(약 6%)되어 있다. 분급은 1.7 $\phi$ 로 불량하다. 이 구간의 퇴적구조는 층리가 없이 생물활동에 의해 교란되어있다. 83 cm 심도를 기준으로 상부는 다양한 크기의 굴에 의해 교란되며 하부는 다소 수평적으로

발달된 튜브들에 의해 교란되어 나타난다. IRD의 분포는 이 구간 내에서 거의 나타나지 않는다. 그러나 91~93 cm 구간에서 2 mm 직경의 비교적 세립한 입자가 1 cm 간격으로 3~5개 정도 분포하며 5 mm 정도의 조립한 입자가 2개 가량 나타난다.

93~116 cm 구간은 100 cm 심도를 기준으로 상부는 moderate brown(5YR 3/4)의 색상을 띠며 하부는 grayish brown(5YR 3/2)의 색상을 보인다. 평균 입도는 8.9~9.7 로 하부로 가면서 모래 함량이 소량 증가하지만, 전반적으로 점토로 구성된다. 분급도는 1.5~2.3 $\phi$ 로 모래 함량에 따라 불량해지는 양상을 보인다. 이 구간의 퇴적구조는 층리가 발달되어 있지 않고, 다양한 크기와 형태를 갖는 굴에 의해 집중적으로 교란되어 있다. IRD의 분포 양상은 대부분 2 mm 직경의 세립질 입자로 나타나며 하부로 가면서 증가하는 양상을 보인다. 93~107 cm 구간까지는 평균적으로 1 cm 간격으로 2~13개의 입자가 분포하며, 그 하부로는 30~60개로 많은 양이 나타난다.

116~132 cm 구간은 123 cm 심도를 기준으로 상부는 grayish brown(5YR 3/2)의 색상으로 구성되며 하부는 light olive gray(5Y 5/2)의 색상을 띤다. 평균 입도는 9.8~9.9 $\phi$ 로 나타나며 점토로 구성된다. 분급도는 1.1~1.2 $\phi$  불량하나 다른 구간들에 비해 양호한 편이다. 이 구간의 퇴적구조는 최하부에서 다소 층리들이 희미하게 나타나지만, 전체적으로 다양한 크기의 굴에 의해 교란되어 나타나며 IRD는 확인되지 않는다.

132~252 cm 구간은 전체적으로 올리브 색상을 띠며 부분적으로 변화하는 양상을 보인다: 132~152 cm: light olive gray(5Y 5/2); 152~198 cm: grayish olive(10Y 4/2); 198~252 cm: olive gray(5Y 3/2)와 dusky yellow green(5GY 5/2)). 평균 입도는 전체적으로 9.6~9.9 $\phi$ 로 나타나며 점토로 구성된다. 분급도는 1.2~1.3 $\phi$ 로 불량한 편이다. 퇴적 구조는 주로 층리들이 발달되어 있으며 일부 생교란구조에 의해 변형되기도 한다. 이러한 층리는 색상의 변화와 함께 특징들이 다르게 나타난다. 132~152 cm 구간은 평탄하고 평행하게 형성된 층리들이 나타나며 일부 생물 활동에 의해 교란되어 있고 층후의 변화가 매우 불규칙적이다(층후 범위: 1~4 mm)(Fig. 5-12d). 152~205 cm 구간은 최상부(152~155 cm)에서 일부 경사진 층리가 나타나며 매우 얇은 박층리가 희미하게 형성되어 있다.

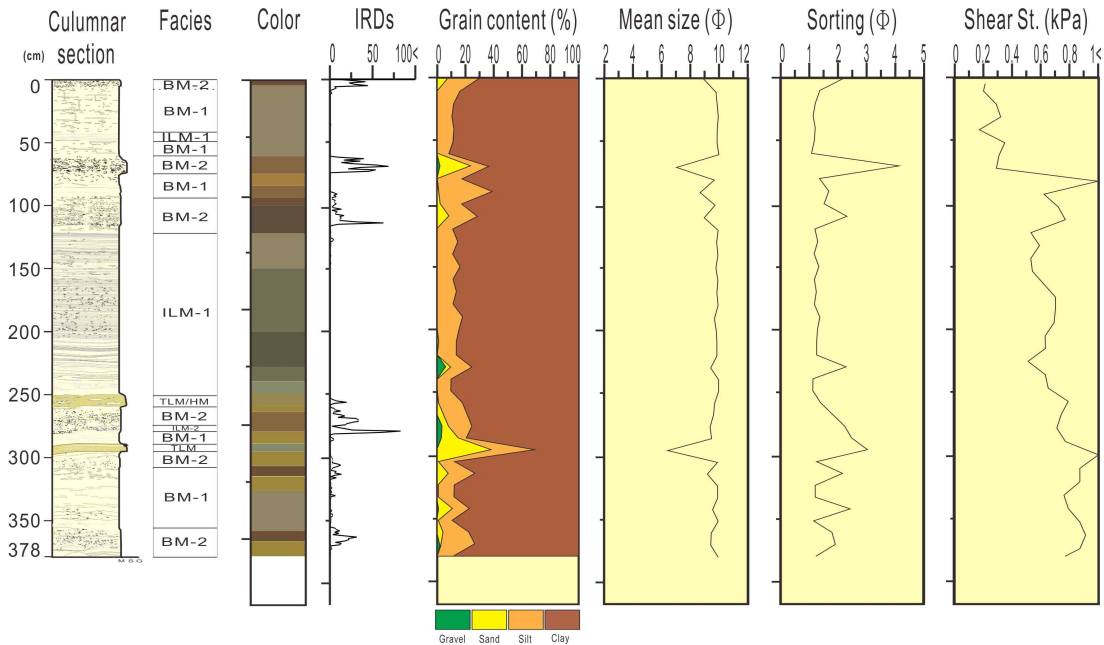


Fig. 5-11. Depth profile of core 16BGC showing columnar section, sediment color, IRD content, texture, and shear strength. BM-2, bioturbated mud with IRDs; ILM-1, indistinctly laminated (or layered) mud; TLM/HM, couplet of thinly laminated mud and homogeneous mud.

이러한 층리의 층후 혹은 층간의 간격은 불규칙적이며 작고 얇은 생교란구조가 X-선 사진 상에 어둡게 나타난다(Fig. 5-12e). 205~252 cm 구간의 층리들은 물리적으로 심하게 변형되어 나타나며 층리의 측면연속성이 불량하다. 또한, 층후 역시 매우 불규칙적이고 일부 미세단층에 의해 변형되기도 한다. 이 구간에서 IRD는 확인되지 않는다.

252~259 cm 구간은 moderate olive brown(5Y 4/4)의 색상을 보인다. 이 구간의 평균 입도는 입도 분석 방식에 따라 결과 값은 존재하지 않는다. 하지만, X-선 사진 상에서 비교적 어두운 음영을 보이는 것으로 보아 실트 함량이 다소 높은 것으로 생각된다. 이 구간의 퇴적구조는 미세단층에 의해 다소 교란되어 있지만 실트가 풍부한 층과 점토가 풍부한 층이 다소 구분되며 음양의 차이로 다소 상향 세립화하는 경향을 보인다(Fig. 5-12f).

259~275 cm 구간은 263 cm 심도를 기준으로 light olive brown(5Y 5/6)에서 dark yellowish brown(10YR 4/2)로 색상이 전이된다. 이 구간의 평균 입도는 9.6로 측정되며 점토로 구성된다. 분급도는 1.3~1.7 $\phi$ 로 불량한 편이며 하부로 갈

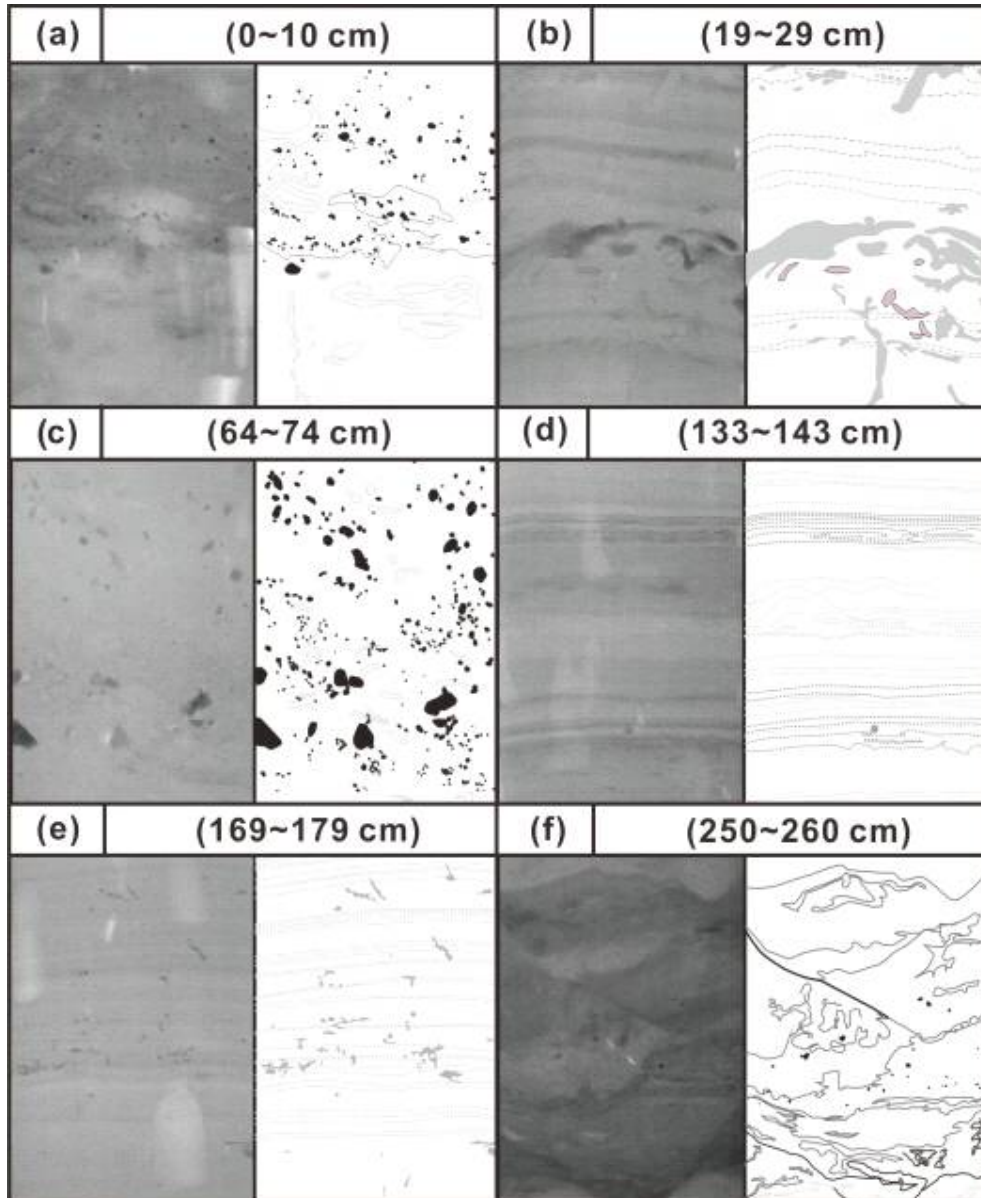


Fig. 5-12. Parts of X-radiographs and their line-drawings in the 16BGC. (a) Bioturbated mud with IRDs; (b) horizontal burrows and shell fragments; (c) lots of IRDs with some burrows; (d) indistinctly laminae with variable thickness; (e) indistinct laminae deformed by burrows; (f) strongly deformed couplets of silty mud layer and silt-depleted mud layer.

수록 더욱 불량해진다. 퇴적구조는 뚜렷한 층리가 나타나지 않으며 다양한 크기의 굴에 의해 집중적으로 교란되어있다. 267~269 cm 구간에서는 실트가 풍부한 퇴적물들이 생교란에 의해 변형되어 렌즈상으로 나타나기도 한다. 이 구간에서



IRD의 분포 양상은 전반적으로 하부로 갈수록 증가한다. 대부분 1~2 mm 직경의 세립질 입자로 구성되며 4~6 mm 직경의 큰 입자도 일부 나타난다. 268 cm 심도를 기준으로 상부는 2 mm 직경의 세립질 입자들이 1 cm 간격으로 평균 5~10개 정도 분포하며 하부는 20~30개 가량 분포하고 있다. 4~6 mm의 직경을 갖는 입자는 270~272cm 구간에서 4~5개 가량 분포한다.

275~290 cm 구간은 전체적으로 light olive brown(5Y 5/6)의 색상을 띤다. 평균 입도는 9.3 로 나타나며 (역)사질니의 퇴적물 유형으로 이루어진다. 분급은 2.2 $\phi$ 로 매우 불량한 편이다. 이러한 입도 분석결과는 280 cm 심도를 기준으로 측정되었으며 하부로 가면서 X-선상에 음영 차이로 볼 때, 자갈 내지 모래의 함량은 상당히 감소하고 대부분 점토질 퇴적물로 구성되는 것으로 생각된다. 이 구간의 퇴적구조는 281 cm 심도를 기준으로 상당히 다른 양상을 보인다. 이 심도의 상부 구간은 희미한 층리가 발달되며 생교란구조는 확인하기 어렵다. 층리의 특징은 층리 간에 서로 평행해 보이나 심하게 변형을 받은 것으로 생각되며, 부분적으로 사층리의 형태로 나타나기도 한다. 하부의 경우에는 뚜렷한 층리가 나타나지 않으며 다양한 크기의 굴에 의해 교란되어 나타난다. IRD의 분포양상 또한 281 cm 심도를 기준으로 하부에서는 나타나지 않으며 상부는 2 mm 직경의 입자가 275~278 cm 구간에서 1 cm 간격으로 평균 15개 가량 분포하며 278~280 cm 구간에서는 평균 60개 가량 존재한다.

290~297 cm 구간은 grayish olive(10Y 4/2)의 색상을 이룬다. 평균 입도는 6.3~9.4 $\phi$ 로 측정되며 전반적으로 사질니로 구성된다. 분급은 모래 함량이 증가함에 따라서 매우 불량해지며 분급도는 2.4~3.0 $\phi$ 이다. 이 구간의 퇴적구조는 구간의 상·하부 경계면이 뚜렷하며 모래 함량이 37%이상인 사질니층 내에 니질로 구성된 박층리 혹은 니질편들이 협재되어 나타나며 내부에는 뚜렷한 생교란구조나 IRD는 나타나지 않는다.

297~357 cm 구간은 327 cm 심도를 기준으로 상부는 갈색 계열로 구성되며 (297~306 cm: light olive brown(5Y 5/6); 306~315 cm: moderate brown(5YR 3/4); 315~327 cm: light olive brown(5Y 5/6)), 하부는 light olive gray(5Y 5/2)의 색상을 보인다. 색상은 점진적인 변화를 보인다. 평균 입도는 전체적으로 9.1~9.9 $\phi$ 로 측정되며 대부분 점토로 구성된다. 분급은 1.1~2.1 $\phi$ 이며 315 cm 심도

를 기준으로 하부에 비하여 상부가 더욱 불량하다. 이 구간의 퇴적구조는 뚜렷한 층리가 발달되어있지 않으며 다양한 크기와 형태를 갖는 골에 의해 교란되어 나타난다. 교란의 정도는 주로 moderate brown(5YR 3/4)의 색상을 보이는 306~315 cm 구간에서 매우 심한 교란도를 보이며 상·하부로 가면서 교란도가 감소한다. 특히 315 cm 심도를 기준으로 하부로 가면서 대부분의 생교란구조는 수평적으로 발달되어 나타난다. IRD의 분포 양상은 315 cm 심도를 기준으로 하부에는 거의 나타나지 않으며 상부는 2 mm 직경의 입자가 1 cm 간격으로 3개 내지 많게는 12개 까지 나타난다.

357~378 cm 구간은 365 cm 심도를 기준으로 상부에서 moderate brown(5YR 3/4)의 색상을 띠며 하부로 가면서 light olive brown(5Y 5/6)의 색상으로 점진적인 변화를 보인다. 이 구간의 평균입도는 9.4~9.8 로 측정되며 점토 내지 사질니로 구성된다. 사질니의 경우에는 대부분 점토로 구성되지만, 2 mm의 세립질 IRD들의 영향으로 퇴적물 유형에 영향을 준 것으로 생각된다. 분급은 1.2~1.9 $\phi$  로 불량한 편이며 IRD의 함량에 따라 분급이 달라지는 것으로 보인다. 이 구간의 퇴적 구조는 297~357 cm 구간과 유사하며 뚜렷한 층리는 발달되지 않고 대부분 다양한 크기와 형태를 갖는 생교란구조에 의해 교란되어 있다. 특히, moderate brown(5YR 3/4)의 색상을 띠는 상부 구간이 심하게 교란되어 있으며 하부로 갈수록 교란도가 감소하는 양상을 보인다. IRD의 분포 양상은 357~373 cm 구간에서 2 mm 직경의 세립질 입자가 1cm 간격으로 평균 10~20개 가량 분포하며 대략 2 cm의 직경을 갖는 조립질 입자도 일부 나타난다.

전단력의 변화는 0.22~1 kPa 이상으로 하부로 가면서 증가하는 양상을 보이나, 85 cm 심도와 295 cm 심도에서 1 kPa 이상의 높은 값이 나타난다(Fig. 5-11).

### 5.1.5 18AGC

정점 18A는 북위 76°17', 서경 167°10' 지점의 수심 435 m 해저로서 척치 대지(Chukchi Plateau)와 연결되는 척치 돌출대(Chukchi Spur)에 위치한다. 탄성과상의 분포는 주로 척치 돌출대의 서단에 접하는 CR(Chukchi Perched Rise)로 가면서 IA-1 유형이 우세해지며 척치 대륙붕 방향으로 가면서 IIB 탄성과상이

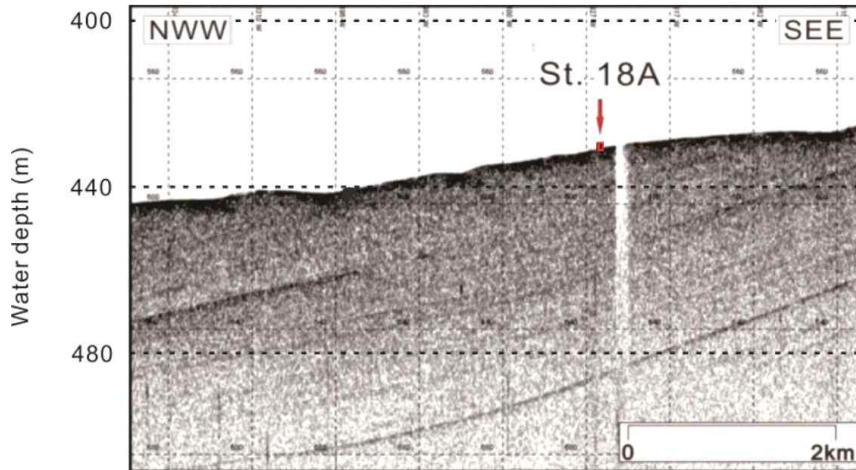


Fig. 5-13. SBP profile at the coring site 18A. Box shows approximative core depth. For core location, see Fig. 3-1.

주로 분포한다. 18A 정점의 코어는 탄성파상 IB가 분포하는 척치 돌출대에서 시추되었고 약 205 cm의 길이로 코어 퇴적물이 획득되었다(Fig. 5-13).

0~2 cm 구간은 moderate brown(5YR 3/4)의 색상으로 구성된다(Fig. 5-14). 이 구간의 평균 입도는 7.6 로 나타나며 (역)사질니로 구성된다. 이 구간에서 분급은 3.7 $\phi$ 로 매우 불량하다. 퇴적 구조는 층리가 없이 다양한 크기를 갖는 골에 의해 심하게 교란되어 있다. IRD의 분포는 2 mm 직경의 입자가 1 cm 간격으로 60개 가량 분포하며 4 mm 정도의 직경을 갖는 입자도 일부 나타난다.

2~39 cm 구간은 전체적으로 올리브 내지 회색 계열의 색상을 띤다. 2~37 cm 구간에서 28 cm 심도를 기준으로 상부는 grayish olive(10Y 4/2)의 색상이 주를 이루며 그 하부는 점진적으로 dusky yellow green(5GY 5/2)의 색상으로 전이된다. 최하부(37~39 cm) 구간은 medium gray(N5)의 색상을 띤다. 이 구간의 평균입도는 7.2~9.0 $\phi$ 로 나타나며 대부분 (역)사질니로 구성된다. 그러나 37~39 cm 구간은 입도 분석에 따라 수치적인 값은 확인할 수 없으나 X-선상에 자갈(pebble) 크기의 입자와 조립질 모래가 수평적으로 층을 이루고 있으며 분급이 상당히 불량한 것으로 보인다. 이 구간의 퇴적구조는 0~2 cm 구간과 구조적으로 유사하나 생물에 의한 교란도가 낮은 편이다. 다만, 14~16 cm 구간과 19 cm 심도 부근에서 moderate yellowish brown(10YR 5/4)의 색상을 띤 점토질 층리가 존재한다(Fig. 5-15a). 이러한 층리의 내부는 희미하게 박층리의 경계가 일



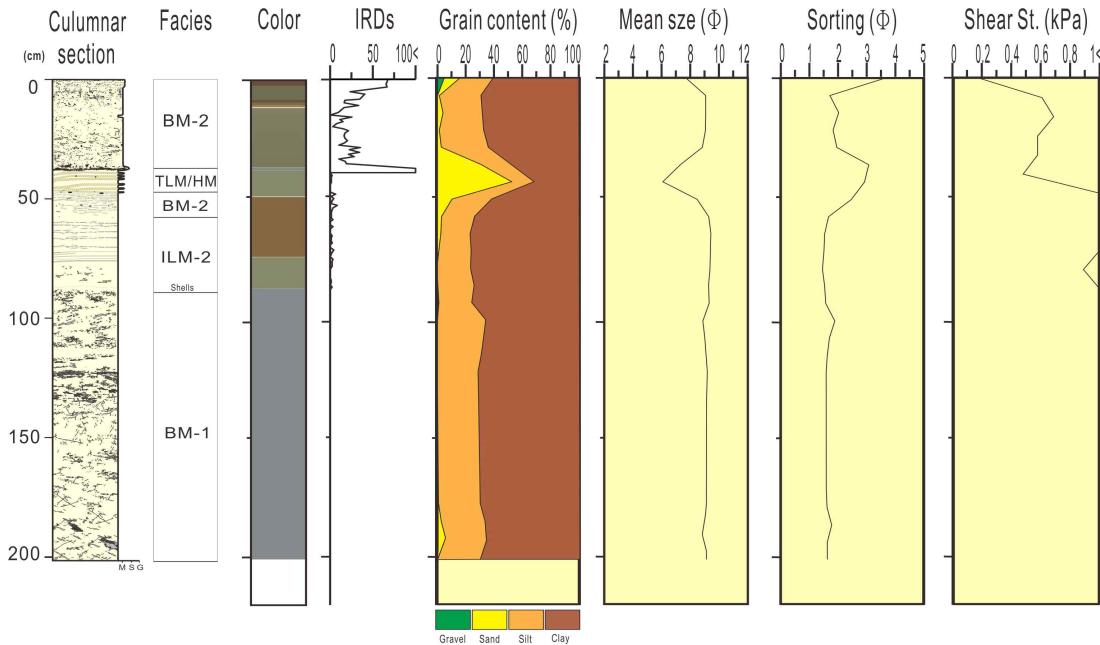


Fig. 5-14. Depth profile of core 18AGC showing columnar section, sediment color, IRD content, texture, and shear strength. BM-1, bioturbated mud; BM-2, bioturbated mud with IRDs; ILM-2, indistinctly laminated (or layered) mud with IRDs; TLM/HM, couplet of thinly laminated mud and homogeneous mud.

부 구분되며 생교란구조에 의해 교란된 것으로 보인다. IRD의 분포 양상은 2 mm 직경의 세립질 입자가 1 cm 간격으로 평균 20개 가량 분포하며 부분적으로 3~4 mm 직경의 비교적 조립한 입자도 나타난다. 특히, 37~39 cm 구간은 다양한 크기의 조립질 입자가 수평적으로 집중되어 나타나며 1 cm 간격으로 80~200 개 가량의 입자가 집중적으로 퇴적되어 있다(Fig. 5-15b).

39~48 cm 구간은 grayish olive(10Y 4/2)의 색상으로 구성된다. 평균입도는 6.0~7.2 로 나타나며 크게 니질사 구간과 사질니 구간으로 구분된다. 분급은 2.9 ~3.0 $\phi$ 로 매우 불량하다. 이 구간의 퇴적 구조는 전체적으로 뚜렷한 경계면을 보이며 상부경계면은 다소 작은 굴에 의해 교란된다. 박층리로 구성된 니질사 층과 사질니 층이 교호하며 나타난다. 이 구간의 층리는 수평적으로 나타나지 않으며 비교적 경사져있고 일부 니질사 층이 수렴하는 부분도 존재한다(Fig. 5-15b). IRD의 분포는 2 mm 직경의 세립질 입자는 존재하지 않으며 4 mm 이상의 직경을 갖는 입자가 2개 가량 분포한다.

48~87 cm 구간은 크게 두 가지 색상으로 구성된다: dark yellowish

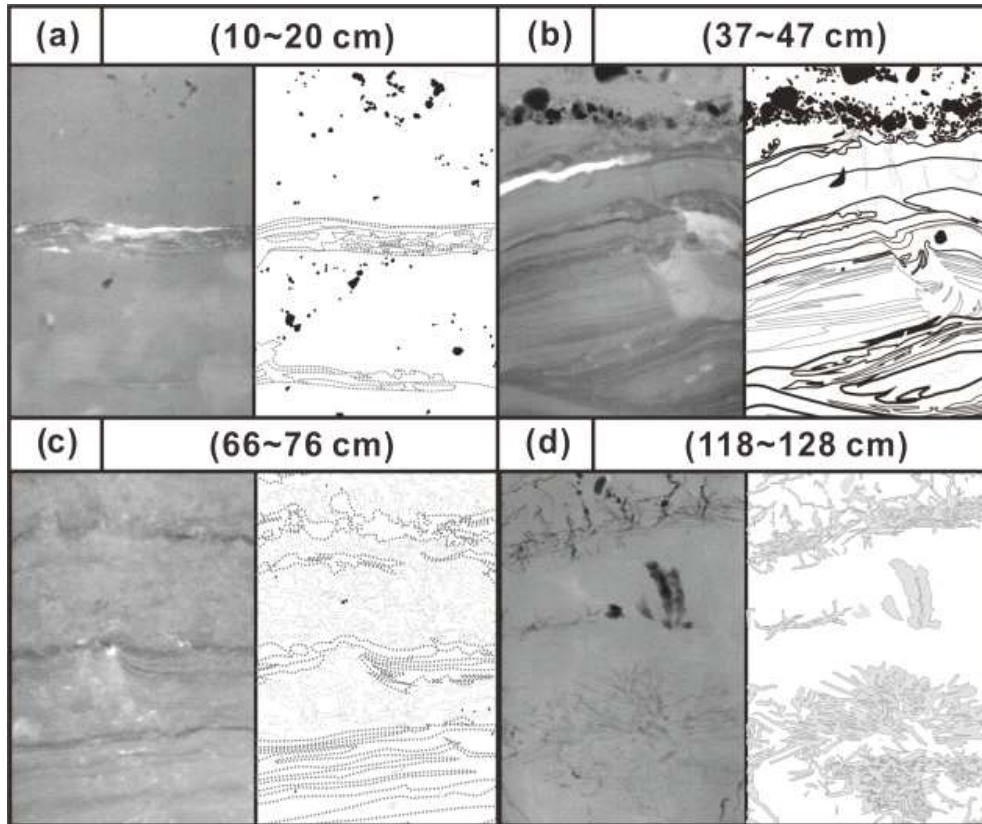


Fig. 5-15. Parts of X-radiographs and their line-drawings in the 18AGC. (a) Indistinctly laminated mud layer; (b) horizontally concentrated IRDs and couplets of muddy sand layer and mud; (c) laminae blurred by bioturbation; (d) dendritic structures of pyritized burrows.

brown(10YR 5/4)와 dusky yellow green(5GY 5/2). 색상의 변화 양상은 55 cm 심도를 기준으로 상부는 갈색 계열로 구성되며 하부는 dusky yellow green의 색상을 배경으로 dark yellowsh brown의 색상이 층리를 이룬다. 이 구간의 평균 입도는 8.4~9.3 이며 모래를 다소 포함한 점토로 구성된다. 87 cm 심도까지 내려갈수록 모래의 함량은 2~11%로 감소한다. 분급도는 이러한 입도변화에 따라 1.5~2.4 $\phi$ 로 하부로 갈수록 비교적 양호해진다. 퇴적구조는 전체적으로 생교란구조가 집중되어 나타난다. 뚜렷한 특징은 55 cm 심도를 기준으로 상부는 층리가 나타나지 않으며 하부 구간은 심한 생교란구조에 의한 변형에도 불구하고 수평적으로 발달된 층리를 확인할 수 있다. 보존된 층리는 희미한 경계를 보이며 층후와 층간의 간격도 불규칙적이다(Fig. 5-15c). 또한 이러한 층리는 78 cm 심도

를 기준으로 나타나지 않으며 작은 굴에 의해 교란되고 2~5 mm의 크기를 갖는 폐각편이 나타난다. IRD의 분포양상은 48~55 cm 구간에서 일부 2~5 mm 직경의 입자가 2~4개 가량 분포하며 하부로 갈수록 거의 나타나지 않는다.

87~205 cm 구간은 전체적으로 medium bluish gray(5B 5/1)의 색상으로 구성된다. 이 구간의 평균 입도는 8.8~9.3 로 측정된다. 이 구간의 퇴적물은 주로 점토로 구성되며 분급은 1.5~1.7 $\phi$ 로 불량한 편이다. 입도 분석 결과는 다소 사질니로 나타나는 구간이 존재하지만, 주로 황철석화된 부분에 의해 영향을 받은 것으로 생각된다. 이 구간의 퇴적구조는 층리가 없이 생물 활동에 의해 교란되어 있다. 다른 퇴적 구조와는 달리, 이러한 생교란구조는 X-선 사진 상에서 음영이 매우 어둡게 나타나며 황철석화된 것으로 생각된다. 생교란구조의 특징적인 형태는 수지상의 형태(Fig. 5-14d)로 생교란구조가 밀집되어 나타나는 경향을 보이며 하부로 가면서 곡선형의 형태로 아래로 경사져 나타나기도 한다. 이 구간에서 IRD는 확인되지 않는다.

전단력의 변화는 0~20 cm 구간까지 0.18~0.69 kPa로 증가하는 양상을 보이며 50 cm 심도까지 하부로 가면서 0.48 kPa의 값으로 낮아지는 경향을 보인다. 60 cm 심도에서 하부로 갈수록 1 kPa 이상의 전단력이 측정되었으며 100 cm 심도에서 0.89 kPa로 상대적으로 낮은 값이 측정되었다(Fig. 5-14).

## 5.2 퇴적상 분류 및 해석

각 코어에 대한 입도, IRD 함량, 그리고 X-선 사진에서 나타나는 퇴적구조를 기준으로 하여 본 연구 대상지역에서는 크게 5 종류의 퇴적상을 분류하였다 (Table 4): 균질 니(HM), 생교란 니(BM), 희미한 층리 니(ILM), 박층리 니/사(TLM), 그리고 비조직성 니(DM). 분류한 퇴적상은 퇴적구조와 퇴적물의 평균입도를 기반으로 명명하였으며, 주된 퇴적구조와 평균입도의 약자를 조합하여 코드(code)를 제안하였다. 또한, 극지역에서 퇴적물의 수송과 퇴적작용이 빙하의 영향을 받는다는 점을 반영하여 일부 퇴적상에는 IRD의 존재 여부에 따라 코드 뒤에 숫자를 첨하여, IRD가 존재하는 경우는 퇴적상-1로 명명하고 존재하지 않는 경

Table 4. Sedimentary facies of the core sediments in the Chukchi Sea.

Facies	Description	Depositional process
Bioturbated mud	Poorly sorted mud intensely disturbed by bioturbation; primary structure absent except for diffuse banding or layering; facies thickness variable; facies boundaries poorly defined and irregular	Hemipelagic sedimentation; contour current (Stanley and Maldonado, 1981; Chough and Hesse, 1985)
Bioturbated mud with IRDs	Very poorly sorted and bioturbated; coarse-grained angular clasts randomly scattered in fine matrix without internal organization	Hemipelagic sedimentation affected by floating ice (sea ice and/or iceberg)
Indistinctly-layered mud	Poorly sorted mud exhibiting indistinct and discontinuous layering and discontinuous trains of horizontally oriented coarse grains; thickness variable; bioturbation common; facies boundaries sharp or gradational	Contour current, tail of turbidity current (Stow and Holbrook, 1984; Yoon and Chough, 1993) or plumites (Hesse et al., 1997, 1999) Downslope bottom current with high sediment fallout rate (Yoon et al., 1991)
Thinly-laminated mud/homogeneous mud couplet	Mud couplet of a thin silt layer and the overlying clay layer; lower silt layer showing thin parallel to cross lamination, ranging in thickness from a few mm to more than a decimeters; lamination recognized by alternation of thin silt-rich and clay-rich mud laminae and occasionally normally graded by upward decrease in silt content; overlying homogeneous mud layer consisting of relatively well-sorted, clay-size particles, ranging in thickness less than 5 cm; common bioturbation especially in the upper homogeneous layer	Fine-grained turbidity current (Piper, 1978; Stow and Shanmugam, 1980; Chough, 1984; Hill, 1984) Subglacial meltwater stream (Yoon et al, 2001)
Disorganized mud	Very poorly sorted; ungraded and massive gravelly muddy sand; absence of bioturbation	Settling down from dumping or rapid melting iceberg and from ice shelf (Yoon et al., 2001)

우는 퇴적상-2로 명명하여 세분화하였다.

### 5.2.1 균질 니(homogeneous mud, HM)

균질 니는 퇴적물 내부에 생교란구조와 층리를 포함하여 1차 퇴적구조가 거의 관찰되지 않는다. X-선 사진 상에서도 이러한 퇴적상은 비교적 밝고 균질한 명암도를 보이며, 퇴적상 경계부는 점이적이거나 불분명하고 평균적으로 2 cm 이하의 두께로 얇게 나타난다(Fig. 5-6f, 5-15b). 특히, 균질 니 퇴적상은 사질 또는 실트질 박층리와 교호하며 쌍을 이루는 경우가 많으며 대부분 올리브 색상(5GY 4/1; 5Y 3/2; 5Y 4/4; 5YR 4/1; 10Y 4/2)을 띤다.

균질 니 퇴적상은 뜬짐으로 이동되던 세립의 입자들이 저에너지 조건에서 침전되어 형성된 것으로 보인다. 특히, 생물에 의해 교란된 구조가 전반적으로 나타나지 않는 것으로 보아 세립질 저탁류(fine-grained turbidity current)에 의해 고농도 상태로 이동되다가 급격히 퇴적된 것으로 해석된다(Piper, 1978; Stow and Shanmugam, 1980). 한편, 저탁류에 의한 것으로 해석되는 박층리 퇴적상의 협재 또는 이 퇴적상과의 교호 등은 이러한 해석을 강력히 뒷받침한다. 저탁류 퇴적층에서 균질 니는 저탁류의 속도가 약화되어 발생하는 와류(turbulence)가 소멸되는 단계에서 형성된다. 이 단계에서 저탁류의 꼬리부분에서 뜬짐으로 이동되던 세립질 퇴적물은 실트와 점토 박층리로 분급되지 않고 혼합된 상태에서 수직적으로 침전하게 되는데 이러한 경우, 점토는 일반적으로 점착력에 의한 뭉침현상(flocculation)이 발생한다. 이러한 현상은 점토의 침전속도를 강화하여 실트의 침전속도와 큰 차이를 보이지 않게 하여 실트와 점토가 함께 침전되어 균질한 니를 형성하게 된다.

### 5.2.2 생교란 니(bioturbated mud, BM)

생교란된 퇴적상은 부분적으로 희미한 층리가 인지되기도 하지만, 대부분 뚜렷한 1차 퇴적구조가 나타나지 않고 전반적으로 광범위한 생물교란 흔적을 포함하고 있다. 생물 활동에 의해 형성된 굴(burrow)의 크기와 방향성은 매우 다양하게 나타난다(Fig. 5-6a, b). 대부분의 코어 퇴적물에서 이러한 퇴적상을 보이는 퇴적물은 갈색(5Y 3/4; 5YR 3/2; 5Y 5/6; 10YR 5/4)과 올리브색 계열(5GY 3/2; 5GY 4/1; 5Y 5/2)의 색상으로만 구성되어 있는데 예외적으로 18A 정점의 코어 퇴적물의 경우에는 회색 계열(5B 5/1)로 이루어진 생교란 니 퇴적상이 존재한다. 구성 입자는 전반적으로 중간 내지 불량한 분급도를 보이는 점토 혹은 실트 크기

로 구성되어 있으나, 일부 구간에서는 IRD의 영향으로 모래 함량이 10%가 넘기도 한다. 이러한 이유에서 본 연구는 생교란 니(BM) 퇴적상을 IRD의 존재 여부에 따라서 BM-1과 BM-2로 구분하였다.

퇴적상 BM-1은 주로 올리브 색상을 띠며, 대륙붕에서 취득된 01A 정점 코어 퇴적물에서 가장 우세하게 나타난다. 또한, 이러한 퇴적상은 멘델리프 해령 사면 하부 단구(slope-foot terrace)에서 취득된 16B 정점의 코어 퇴적물에서 부분적으로 분포하고 있으며 18A 정점의 코어 퇴적물 하부 구간(약 심도 100~205 cm)에서 회색 계열의 색상으로 구성되어 있다. 퇴적상 BM-2는 대부분 갈색 계열의 색상으로 구성되며 일부 올리브 색상으로 나타나기도 한다. BM 퇴적상은 올리브색 계열의 퇴적상에 비하여 갈색 계열로 구성된 퇴적상에서 유독 생교란구조가 집중되어 나타나는 특징을 보인다.

퇴적상 BM은 일반적으로 수층이나 대기 중을 통하여 운반되거나 부유되어 있던 육성기원 퇴적물 또는 자생적 퇴적물이 수층을 통해 수직적으로 침전되어 쌓인 반원양성 퇴적이나 약한 해저류(bottom current)에 의해 형성된 것으로 해석된다(Stanley and Maldonado, 1981; Chough et al., 1984; Chough and Hesse, 1985). 퇴적상 BM-2에서 나타나는 비교적 많은 양의 사질 입자(IRDs)는 빙하기에서 간빙기로 전이됨에 따라 빙하의 용빙의 영향을 받은 것으로 해석된다(Lucci et al., 2002; Wang and Hesse, 1996). 이러한 퇴적작용은 일반적으로 저서생물의 활동이 활발한 저에너지 환경을 제안하며 생물의 활동에 의해 쉽게 교란되어 나타난다. 대부분의 퇴적상 BM은 빙하후퇴기 또는 간빙기에 주로 발달되어 나타나지만, 빙하전진기(glaciation) 동안 해빙의 발달로 인해 표층해류의 활동이 억제되고, 낮은 생물생산력(bioproductivity)과 덜 유동적인 수괴환경(less dynamic water column)에서도 형성될 수 있다(Wang and Hesse, 1996).

### 5.2.3 희미한 층리 니(indistinctly laminater or layered mud, ILM)

희미한 경계를 보이는 층리가 발달된 퇴적상은 층리는 발달되어 있지만, 경계가 다소 불분명하며 생물활동에 의해 일부 교란되기도 한다. 이러한 층리는 대부분 점토질 켄와 실트질 켄가 교호하여 이루어지는데, 층리의 두께나 층리간의 간격(수 mm~2 cm)의 변화는 일정하지 않다. 또한, 전반적으로 이 퇴적상에 나타



나는 층리는 대부분 평탄하고 준평행하게 발달되어 나타나는데(Fig. 5-9c, 5-12e) 일부 구간에서는 다소 굴곡져(wavy) 있거나 경사져 나타나기도 한다(Fig. 5-6c). 희미한 층리 니(ILM) 퇴적상은 척치 돌출부에 발달된 해저수로와 멘델리프 해령 남동단에 위치하는 사면하부 단구에서 취득된 코어에서 가장 우세하게 나타난다. 이 퇴적상이 발달된 퇴적물은 대부분 올리브 계열의 색상(5GY 4/1; 5GY 5/2; 5Y 3/2; 5Y 5/2; 10Y 4/2)을 띠며 갈색 계열(5Y 5/6; 10YR 4/2)의 색상을 보이는 구간도 일부 존재한다. ILM 퇴적상은 주로 실트와 점토를 이루어진 니로 구성되며 X-선 사진 상에서 IRD가 존재하는 퇴적상과 존재하지 않는 퇴적상이 구분되므로 BM 퇴적상과 동일한 방식으로 ILM-1과 ILM-2로 세분화하였다.

ILM-1과 ILM-2 퇴적상은 IRD 함량을 제외한 뚜렷한 차이는 나타나지 않는다. 그러나, IRD가 나타나지 않는 ILM-1 퇴적상은 멘델리프 해령 남동단의 사면하부 단구에 위치하는 16B 정점의 코어 퇴적물에서만 확인되며 비교적 얇은 수심에 위치하는 척치 연변지의 코어 퇴적물에서는 IRD가 존재하는 ILM-2 퇴적상만이 나타난다.

이러한 퇴적상에 발달된 불규칙적이고 불연속적인 층리와 생교란구조 등은 비교적 장기간 동안 지속적으로 작용하는 해저류(bottom current)의 영향 하에 형성된 퇴적층에서 일반적으로 나타나는 특징이다(Stow, 1979; Chough and Hesse, 1985; Stow and Holdrook, 1984; Yoon and Chough, 1993). 아울러 생물교란에도 불구하고 구분 가능한 층리의 보존과 비교적 작은 크기로 구성된 생교란구조로 보아 생교란 니 퇴적상에 비해 퇴적율이 상대적으로 높았던 것으로 추정된다. 해저류로부터의 급격한 퇴적은 수층의 세립질 퇴적물 농도가 높을 경우에 가능하며, 이는 장기간에 걸쳐 고농도의 세립질 퇴적물을 뜬짐으로 운반하는 저층 고탁도층(bottom nepheloid layer)과 관련될 수 있다. 또한, 극지역에서 이와 유사한 퇴적상은 빙하후퇴기 동안 용빙수의 영향으로 형성될 수 있다. 빙하가 후퇴함에 따라서 빙하말단에서는 혼탁한 용빙수류(turbid meltwater plume)가 형성될 수 있으며(윤석훈 외, 2002), 조립한 입자는 해저면을 따라서 이동하고 비교적 세립한 입자는 수층에 부유되어 용빙수류를 따라 외해로 수송된다. 이러한 용빙수류를 통해 부유되어 운반된 세립질 입자는 빙하말단으로부터 멀어지면서 침전되며



퇴적되어 반복적으로 발달되는 희미한 층리를 형성할 수 있다(Hesse et al., 1997, 1999).

#### 5.2.4 박층리 니/사(Thinly laminated mud, TLM)

박층리가 형성된 퇴적상에서는 수 mm 이하의 얇은 실트질(또는 사질) 켜와 점토질 켜로 분리되는 비교적 규칙적이고 선명한 평행 박층리 혹은 사층리가 관찰된다(Fig. 5-6f). 박층리 니/사 퇴적상은 희미한 (박)층리 니 퇴적상과는 달리 하부경계가 비교적 선명하며 침식면을 보이기도 하며, 일부 상부 경계면은 생교란구조에 의해 교란되어 나타나기도 한다(Fig. 5-15b). 이러한 퇴적상은 척치 대륙붕에서 획득된 코어 퇴적물을 제외한 모든 정점의 코어 퇴적물에서 발달되어 있으며 대부분 올리브 계열(5GY 4/1; 5Y 3/2; 10YR 4/2)의 색상을 띤다. 특히, 척치 돌출대의 해저 수로에서 획득된 02 정점의 코어 퇴적물에서 이러한 퇴적상이 가장 우세하게 발달되어 나타나는데 균질 니 퇴적상과 함께 교호하며 약 1 m의 두께로 두껍게 형성되어 있다. 척치 돌출부 북단에서 획득된 18A 정점의 퇴적물에서는 나머지 코어 퇴적물에서 나타나는 박층리 니/사 퇴적상과는 달리 모래 함량이 상당히 높은 사질 켜와 니질 켜가 교호하는 특징을 보인다.

얇고 규칙적이며 생물교란이 미약하며 뚜렷한 층리, 명확한 상 경계면 등은 일반적으로 세립질 퇴적물로 구성된 저탁류 퇴적층에서 일반적으로 보고되고 있는 특징들이다(Piper, 1978; Chough, 1984; Hill, 1984). 저탁류 퇴적층에서 (Bouma et al, 1962)로 분류되는 박층리 니 퇴적상은 저탁류와 해저면 사이의 와류경계층(turbulence boundary layer)에서 일어나는 ‘숫구침과 휩쓸림(burst and sweep)’ 현상에 의해 실트와 점토가 분리되어, 수 mm 이하 두께의 박층으로 교호하면서 퇴적되어 형성되는 것으로 알려져 있다(Hesse and Chough, 1980). 또한 빙하후퇴기 동안 기저빙하선(grounding line)에서 방출되는 저염분 고탁도의 빙하기저 용빙수류(subglacial meltwater stream)에 의해 모래와 점토가 교호하는 이러한 층리들이 형성되는 것으로 보고된 바 있다(윤호일 외, 2001).

#### 5.2.5 비조직성 니(disorganized mud, DM)

비조직성 니 퇴적상은 주로 기질지지(matrix-supported)의 자갈과 모래가 분산

되어 나타난다. 역은 대부분 결정질 암편으로서 입도는 수 mm에서 수 cm까지 다양하며, 원마도와 구형도는 불량한 편이다. 이러한 퇴적상에 대한 명칭은 본 연구의 분류 기준에 따라서 퇴적물 유형을 반영하여 역질니 또는 역사질니 등으로 구분을 해야 하지만, 자갈과 모래의 함량이 상황에 따라서 변화하기 때문이니로 구성된 기질지지를 이루는 점에서 비조직성 니로 제안하였다. 또한, 자갈과 같은 암편(IRDs)의 함량에 따라서 DM-1과 DM-2로 세분하였다. DM-1 퇴적상은 평균적으로 페블(4 mm) 보다 조립한 입자는 거의 드물며, 그레놀(2~4 mm) 크기의 입자가 평균적으로 1 cm 간격으로 1~10개 가량 분포하고 있다. DM-2 퇴적상은 페블(pebble) 이상의 조립한 입자도 부분적으로 분포하며 그레놀(granule) 크기의 입자들이 1 cm 간격으로 20~40개 정도로 비교적 많이 나타난다(Fig. 5-9e, f). 비조직성 니 퇴적상은 척치 대륙붕과 멘델리프 해령의 사면하부 단구에서 획득된 01A와 16B 정점의 코어 퇴적물에서는 발견되지 않는다. 주로 척치 돌출대 부근에서 획득된 코어 퇴적물에서 비조직성 니 퇴적상이 나타나는데 특히, IIIB 탄성파상을 이루는 03A 정점의 코어퇴적물에서 매우 우세하게 나타난다. 이들을 구성하는 색상은 결정질 암편의 색상에 영향을 받지만, 퇴적상을 구성하는 기질의 색상은 대부분 회색 계열(N5; 5B 5/1)이 우세하며 일부 올리브 계열(5GY 4/1)의 색상을 띠기도 한다.

비조직성 니 퇴적상은 일부 생물교란 구조가 나타나기는 하지만, 다른 퇴적상에 비해 현저히 드물게 나타난다. 일반적으로 빙하가 전진하는 시기에 빙하 기저에서 포획된 기반암의 암편 또는 퇴적물이 기저쇄설층(basal debris zone)을 형성하는데, DM 퇴적상에서 나타나는 결정질 암편 내지 역은 빙하가 후퇴하는 과정에서 빙붕 밑면의 기저쇄설층으로부터 서서히 공급되었던 것으로 해석된다(윤호일 외, 2001). 또한 이러한 퇴적상에서 생교란구조가 나타나지 않는다는 것은 생물 생산력이 거의 일어나지 않는 빙붕 아래의 환경임을 뒷받침한다. 또한 생교란구조가 거의 없고, 간헐적으로 나타나는 얇은 층후의 IRD 층은 유빙이 융빙되어 침전되거나 빙산의 기울어짐(tilting)과 흔들림(swaying)에 의해 많은 양의 빙하수송 입자가 급격하게 퇴적된 것으로 추정된다.

## 제6장 토 의

### 6.1 척치해 빙해양 퇴적작용

#### 6.1.1 빙하기저 퇴적

##### 1) DM-1과 DM-2(척치 돌출대)

퇴적상 DM-1과 DM-2는 타 퇴적상에 비해 원마도와 구형도가 불량한 역과 모래 함량이 높고 기질지지한 구조를 보이는 다이아믹톤이다. 역과 모래 함량이 상대적으로 낮은 DM-1 퇴적상은 수심 400 m 아래에 위치하는 03A 정점의 코어 퇴적물에서만 확인된다. DM-2 퇴적상은 대륙붕에서 획득된 01A 정점과 수심 1,800 m 이하의 심해환경에서 획득된 16B 정점의 코어 퇴적물을 제외한 모든 정점에서 나타난다(Fig. 5-15). 02 정점과 18A 정점 코어 퇴적물에서 나타나는 DM-2 퇴적상은 비교적 얇은 층후(1~6 cm)를 보이며 간헐적으로 나타나는데 비해 03A 정점의 코어 퇴적물에서는 퇴적상 DM-1과 연이어 발달되어 1 m 이상의 두꺼운 층후를 보인다. 03A 정점에서 나타나는 DM-2/DM-1 퇴적상은 빙하후퇴기(deglaciation)의 초기에 빙붕의 기저에 포획된 기반암이나 기존에 있던 퇴적물로 구성된 기저쇄설층(basal debris zone)으로부터 침전되어 퇴적된 것으로 해석된다(윤호일 외, 2001). IRD 함량이 하부(DM-1)에서 상부(DM-2)로 가면서 증가하고 다시 감소하는 변화양상, 생교란구조의 결여, 그리고 다른 정점에서 나타나는 퇴적상 DM-2에 비해 높은 전단력(Fig. 5-8)을 보이는 것은 빙붕 아래의 환경에서 산소 공급이 미약하며 비교적 느린 속도로 퇴적물이 침전되어 퇴적되었음을 지시한다. 02 정점 코어 퇴적물의 하부에서 확인되는 퇴적상 DM-2은 비교적 얇은 층후, 생교란구조의 결여, 그리고 낮은 전단력을 보이는 특징들은 간헐적이고 급격하게 이러한 퇴적상이 형성되었음을 지시하며, 빙하기저 용빙수류에 의해 형성될 수 있는 퇴적상 TLM/HM 사이에 협재되어 나타나는 것으로 보아 빙하 근접지역(ice proximal zone)에 발달될 수 있는 환경임을 의미한다. 또한 척치 돌출대의 수심 400~500 m 지점과 국부적으로 발달된 해저 수로에서 탄성과상 IIB 또는 IB가 나타나지 않고 탄성과상 IA-1이 분포하는 것은 이러한 환

경이 빙상과 같은 기저빙하가 존재하지 않거나 부분적으로 비교적 강한 해저류 등에 의해 제동되었음을 의미한다.

## 2) 회색질 BM-1(척치 돌출대)

척치 돌출대 북부에서 획득된 18A 정점의 코어 퇴적물에서는 간빙기 퇴적물로 해석되는 퇴적상 BM-1과 동일한 퇴적상을 보이지만, 형성시기는 상당히 다를 것으로 추정되는 퇴적상 BM-1이 코어 퇴적물 최하부에 나타난다. 대부분의 퇴적상 BM은 갈색 또는 올리브 색상으로 구성되는데 반하여, 18A 정점의 코어 퇴적물 최하부에 위치하는 퇴적상 BM-1은 회색질의 색상을 보인다. 색상에 영향을 주는 명확한 원인을 확인할 수 없지만, 탄성과 자료에서 나타나는 매우 얇은 퇴적층, 상부에 위치하는 퇴적상 ILM-2 사이에 확인되지 않는 뚜렷한 침식면, 그리고 다른 정점의 중력코어 퇴적물에서 나타나는 동일한 퇴적상에 비해 비교적 높은 전단력 등의 특징들로 볼 때, 18A 정점 코어 퇴적물의 최하부에 위치하는 이러한 퇴적상은 빙하전진기-빙하최대발달기 동안 발달된 해빙 또는 빙붕 아래의 환경에서 비교적 서서히 퇴적되어 형성된 것으로 추정된다.

### 6.1.2 빙하전면 및 반원양성 퇴적

#### 1) ILM-1과 ILM-2

퇴적상 ILM은 척치 대륙붕에서 획득된 01A 정점 코어 퇴적물을 제외한 모든 정점에서 나타난다. 그러나, IRD가 확인되지 않는 퇴적상 ILM-1은 심해 환경에서 획득된 16B 정점의 코어 퇴적물에서만 발견되며 타 정점에서 나타나는 퇴적상 ILM은 모두 IRD의 영향을 받은 퇴적상 ILM-2만이 존재한다. 퇴적상 ILM-1과 ILM-2는 전반적으로 실트를 포함한 니질로 구성된 1~2 mm의 얇은 층후, 불연속적이며 불규칙적인 층리, 그리고 생교란구조를 보이며(Fig. 5-9c, 5-12d), 이러한 퇴적상 상부에는 퇴적상 BM이 연이어 발달되어 나타난다. 또한, 척치 외 대륙붕 또는 척치 돌출대에서 획득된 02, 03A, 그리고 18A 정점의 코어 퇴적물에서는 비교적 두꺼운 층후(2~4 mm)를 보이는 ILM 유형의 퇴적상이 교호하며 나타나기도 한다(Fig. 5-9c, 5-15c). 퇴적상 ILM의 퇴적구조는 비교적 장기간 동안 지속적으로 작용하는 해저류(bottom current)의 영향 하에서 형성된 퇴적층의

대표적인 특징이며(Stow, 1979; Chough and Hesse, 1985; Stow and Holdrook, 1984; Yoon and Chough, 1993), 빙하 후퇴기가 다소 진행된 시기에 빙상 또는 빙붕의 용빙으로 인해 혼탁한 용빙수류(turbid meltwater plume)가 형성될 수 있는데(Hesse et al., 1997, 1999), 비교적 다양한 층후를 보이는 ILM 퇴적상들의 교호는 해저류를 포함한 용빙수의 영향을 받는 퇴적환경 하에서 형성된 것으로 해석된다. 또한, 퇴적상 ILM 상부에 연이어 발달되는 퇴적상 BM은 수층이나 대기 중을 통해 운반되거나 부유되어 있던 육성기원 퇴적물 또는 자생기원 퇴적물이 수층을 통해 수직적으로 침전되어 퇴적되는 만원양성 퇴적물로서(Stanley and Maldonado, 1981; Chough et al., 1984; Chough and Hesse, 1985; Yoon et al., 1991) 빙하후퇴기에서 간빙기로 전이되었음을 지시한다.

## 2) BM-1과 BM-2

뚜렷한 1차 퇴적구조가 나타나지 않고 생물활동에 의해 교란된 흔적만 확인되는 퇴적상 BM은 모든 정점의 코어 퇴적물의 최상부에 분포하고 있으며, 01A 정점의 코어 퇴적물을 제외한 나머지 코어 퇴적물에서는 대부분 IRD의 영향을 받은 퇴적상 BM-2가 퇴적상 ILM과 TLM 사이에 간헐적으로 협재되어 나타나기도 한다. IRD의 영향을 받은 퇴적상 BM-2의 특성과 이러한 퇴적상의 변화 양상은 빙하 후퇴기에서 간빙기로 전이됨에 따라 유빙에 영향을 받았음을 지시한다. IRD의 영향을 전혀 받지 않은 퇴적상 BM-1은 주로 척치 대륙붕에서 획득된 01A 정점의 코어 퇴적물에서 우세하게 나타나는데 한국해양기술원 부설 극지연구소에서 분석한 01A 코어 퇴적물의 연대는 퇴적물 심도 509 cm 지점에서 9354yr BP로 확인되었다. 따라서, 이러한 퇴적상은 빙상과 빙붕의 영향을 받지 않는 간빙기에 해당하는 현세에 퇴적되었음을 지시한다.

## 3) TLM/HM (척치 돌출대)

실트질 또는 사질 층리와 균질 니가 교호하는 퇴적상조합은 약 1,800 m 수심의 사면하부단구(16B)와 비교적 얇은 수심환경(약 수심 3~400 m)의 척치 돌출대에 국부적으로 발달된 해저수로(02 정점)와 척치 돌출대 북단(18A 정점)의 코어 퇴적물에서 나타난다. 척치 돌출대에 발달된 이러한 퇴적상 조합은 저탁류 또

는 빙하기저 용빙수류에 의해 형성될 수 있다(윤호일 외, 2001; 윤석훈 외, 2002). 02정점 코어퇴적물의 하부와 중부에 간헐적으로 협재되어 나타나는 이러한 퇴적상조합과 그 내부에 빙하수송 쇄설물(IRD)이 층을 이루거나 상대적으로 조립한 입자로 구성된 층리에 부분적으로 나타나는 IRD의 존재는 빙하후퇴기 동안 빙하가 용빙됨에 따라 빙하기저 쇄설층(basal debris zone)으로부터 쇄설물이 퇴적되었음을 지시한다. 16B 정점의 지형적 특징과는 달리, 비교적 완만한 해저지형에서 저탁류가 발생하는 경우는 빙하기 동안 빙상(기저빙하)이 외해로 전진하면서 상당량의 퇴적물이 공급되어야 발생할 수 있는데 02와 18A 정점의 코어퇴적물 내에는 빙하기에서 빙하후퇴기로 전이되는 시기를 지시할만한 뚜렷한 침식면이 확인되지 않는다. 따라서, 척치 돌출대에 나타나는 퇴적상조합 TLM/HM은 주로 빙하후퇴기동안 빙하전면에서 형성될 수 있는 빙하기저 용빙수류에 의한 퇴적작용을 받은 것으로 해석된다. 또한, 퇴적상 ILM 또는 BM과 협재하거나 그 하부에 나타나는 퇴적상조합 TLM/HM은 빙하후퇴기동안 형성되는 퇴적환경을 반영하는 것으로 볼 수 있다.

### 6.1.3 퇴적물 중력류 퇴적

#### 1) TLM과 HM(사면하부단구)

퇴적상 TLM은 퇴적상 ILM과 같이 척치 대륙붕을 제외한 모든 정점의 코어 퇴적물에서 나타나며 대부분 퇴적상 HM과 교호하는 양상을 보인다. 특히, 척치 외대륙붕 또는 척치 돌출대의 해저 수로에서 획득된 02 정점의 코어 퇴적물과 멘텔리프 해령 남부 사면하부 단구에서 획득된 16B 정점의 코어 퇴적물에서는 이러한 퇴적상이 비교적 두껍고(약 10~100 cm) 빈번하게 나타난다. 전반적으로 명확한 상 경계면, 규칙적이고 뚜렷한 층리, 그리고 생교란구조의 결여는 세립질 퇴적물로 구성된 저탁류 퇴적층에서 일반적으로 보고되는 특징들이다(Piper, 1978; Chough, 1984; Hill, 1984). 심해 환경에서는 주로 대륙붕단 또는 상부 대륙사면에 퇴적물이 집중될 때, 퇴적물이 불안정해지면서 해저 사태(mass flow) 또는 암설류(debris flow)를 야기하고 저탁류가 형성될 수 있는데, 극 지역에서는 주로 빙하기 동안 빙상이 전진함에 따라 많은 양의 퇴적물을 대륙붕단 또는 상부 대륙사면까지 공급하여 퇴적물의 불안정을 야기함으로써 이러한 저탁류를 받

생시킬 수 있다(윤석훈 외, 2002). 그러므로 수심 약 1,800 m에 위치하는 16B 정점의 코어 퇴적물에서 나타나는 퇴적상 TLM/HM은 빙하기에 발달되었던 퇴적 환경을 반영한다고 볼 수 있다.

#### 6.1.4 기후변화에 따른 중력시추코어 대비

01A 정점은 약 5 m 두께로 반원양성 퇴적체를 지시하는 퇴적상 BM이 두껍게 퇴적되어 나타난다. 약 5 m 지점에서 나타나는 연대분석결과는 9354yr BP로 간빙기 동안 상당한 퇴적물이 공급되었음을 지시하며 빙하후퇴기동안 형성된 퇴적층은 시추되지 않은 것으로 추정된다. 나머지 코어퇴적물 최상부에는 이와 같은 퇴적상 BM이 분포하고 있으며 대륙붕에서 외해로 가면서(02~18A) 이러한 퇴적상의 층후가 점차 얇아지는데 이는 퇴적물의 공급이 외해로 가면서 지속적으로 감소되었음을 의미한다.

심해저 환경(16B)을 제외한 척치 돌출대 코어퇴적물(02, 03A, 그리고 18A)에 나타나는 퇴적상 BM-2, ILM-2, 그리고 퇴적상조합 TLM/HM은 빙하후퇴기가 다소 진행되어 용빙이 상당히 많이 발생하는 시기로 추정된다. 특히, 상대적으로 대륙붕에 근접한 02 정점의 코어퇴적물에서는 퇴적상조합 TLM/HM이 상당히 두껍게 협재되어 나타나는데 이는 척치해 또는 동시베리아해에서 기원하는 빙하 근원지(ice source)와 가까운 지역에서 용빙수류나 빙하기저 용빙수류에 의해 비교적 많은 양의 퇴적물이 공급되었던 것으로 해석되며, 척치 돌출대 북단(18A)에서 비교적 얇은 층후를 보이는 퇴적상 ILM-2, BM-2, 그리고 퇴적상조합 TLM/HM은 빙하근원지로부터 멀어짐에 따라 퇴적물의 공급이 비교적 적었던 것으로 해석된다. 또한 빙하기저 용빙수류에 의해 형성될 수 있는 TLM/HM의 발달은 보다 북쪽에 위치하는 척치대지에 기저빙하가 ice rise의 형태로 형성되어 영향을 준 것으로 추정된다. 척치 돌출대 내에 다소 돌출된 지형에서 획득된 03A 정점에서는 퇴적상조합 TLM/HM이 발달되지 않고 DM-1과 DM-2가 두껍게 발달되어 있는데 이는 기저빙하의 영향이 없이 빙봉 하에 환경에서 점진적으로 용빙되어 퇴적되었음을 지시한다. 또한, 층리나 생교란구조없이 IRD함량이 낮은 퇴적상 DM-1에서 IRD함량이 높은 DM-2로 변화되는 것은 빙하후퇴기동안



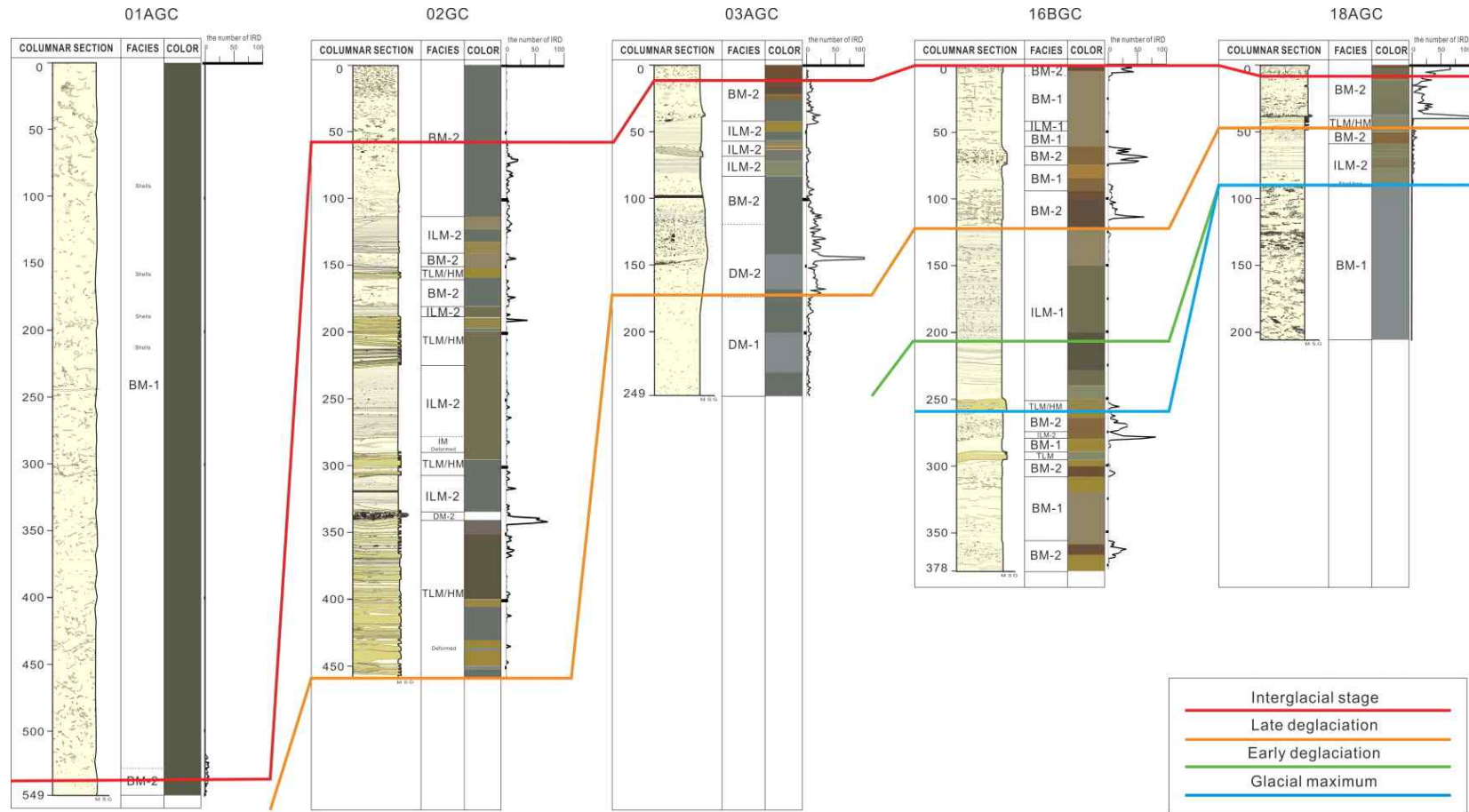


Fig. 6-1. Correlation of gravity cores with glacial-interglacial cycles.

빙하의 용빙이 점차 증가했던 것으로 해석된다. 18A 정점 최하부에서 IRD가 존재하지 않고, 급격히 증가하는 전단강도의 특징을 보이는 회색질의 퇴적상 BM-1은 빙하전진기(glaciation) 동안 해빙의 발달과 감소를 반복하면 형성된 퇴적상으로 해석되며 빙하기 동안에는 뚜렷한 퇴적작용이 발생하지 않았던 것으로 추정된다.

심해저에 위치하는 사면하부단구에서 획득된 16B 정점 코어는 척치 대륙붕이나 척치 돌출대의 환경과는 시기적으로 상당히 차이가 나는 것으로 추정된다. 심도 약 260 cm에서부터 나타나는 퇴적상조합 TLM/HM과 상부로 가면서 두껍게 발달된 퇴적상 ILM-1은 빙하기 동안 전진하는 빙상에 의해 해저 사태와 암설류로 인해 발달되는 저탁류와 지속적인 해저류에 의해 형성되었던 것으로 추정된다. 상부로 가면서 약 205 cm 심도에서는 퇴적상 ILM-1에서 생교란구조가 나타나기 시작하는데 이는 점진적으로 생물활동이 이루어질 수 있는 저에너지환경으로 전이됨을 의미한다. 또한, 심도 260 cm 하부에서 나타나는 퇴적상, BM-1, BM-2, 그리고 퇴적상조합 TLM/HM의 발달은 빙하기-간빙기 또는 아빙하기-아간빙기의 순환이 적어도 두 번 이상 이루어진 것으로 추정된다.

## 6.2 척치해 빙해양 퇴적모델

본 연구의 총 5개의 코어 퇴적물에 대한 분석결과는 다소 빙하기에 대한 정보가 부족하다. 그러나, 타 연구의 연구자료와 탄성파상의 분포에 근거하여 본 연구지역의 기후 변화에 따른 퇴적모델을 제안하였다. 이 모델은 척치 대륙붕에서 척치 대지를 기반으로 하며, 대륙사면과 16B 정점은 멘델리프 해령 남동단의 탄성파상과 지형을 기반으로 하였다. 척치 대지와 멘델리프 해령의 남동단에 위치한 대륙사면은 분명히 상당한 거리가 존재하지만, 퇴적학적으로 해저지형에 따른 퇴적환경은 큰 차이를 보이지 않을 것으로 판단하여 두 지역을 연결한 형태로 모델을 제작하였다(Fig. 6-2).

### 6.2.1 빙하기

척치해 주변지역은 빙하기 동안에 빙상 혹은 빙붕이 척치 돌출대까지 영향을 주었으며, 척치 대지 일부는 ice rise의 영향을 받았던 것으로 추정된다(Fig. 6-2a). 빙하가 전진함에 따라서, 일반적으로 내대륙봉은 침식작용이 우세하게 나타나며, 퇴적물의 변화는 근해의 빙력토(glacial till)에서 외해로 가면서 빙해양 퇴적물(glacial-marine sediment)로 전이된다. 이와 같은 특징은 척치 대륙봉의 내부와 척치 돌출대에서 국부적으로 발달되어 있는 탄성과상 IIB-1의 분포로부터 입증된다. 빙하기에 형성되는 빙력토는 Ingólfsson (1985)의 연구에서 과압밀된 단단한 모래와 실트로 구성된 기질에 원마도가 불량한 왕자갈(cobble)과 거력(boulder)이 산재하는 무성층화된 특징을 보이는 것으로 보고된 바 있으나, 본 연구지역에서 획득된 코어 퇴적물에서는 이러한 특징을 보이는 퇴적상이 확인되지 않는다. 빙하의 전진이 대륙봉단 또는 상부 대륙사면까지 진행되는 경우에는 많은 양의 퇴적물이 집중되어 해저 사태, 암설류, 저탁류 등의 퇴적물 중력류가 발생하는데(윤석훈 외, 2002), 멘델리프 해령 남동단에 위치하는 사면에서는 암설류와 저탁류 퇴적체를 지시하는 탄성과상 IIC와 IA-1이 분포하고 있으며 척치 돌출대에서 나타나는 급경사면 하부에도 이와 유사한 특징들이 발견된다. 척치 대륙봉과 돌출대에서 획득된 코어 퇴적물에서는 빙상의 존재를 입증할 뚜렷한 특징들을 확인할 수 없으나, 16B 정점의 코어 퇴적물에서 나타나는 퇴적상 ILM-1/TLM, 탄성과상 IA-1/IIC, 그리고 척치 대륙봉과 돌출대에서 분포하는 탄성과상 IA-1/IIB-1과 IIB-1은 척치해 주변지역과 동시베리아해 주변지역이 빙상과 빙붕의 영향을 받았음을 지시한다. 또한, 수심 약 400 m 이하에 위치하는 척치 돌출대 일부 지역(Fig. 4-7a)은 대부분 반원양성 퇴적체 또는 저탁류와 해저류의 영향을 받은 퇴적체를 지시하는 탄성과상 IA-1이 우세하게 발달되어 나타나며 그 하부에는 뚜렷한 내부 반사파가 확인되지 않는 것으로 보아 기저빙하가 척치 연변지를 완전히 덮고 있지는 않았던 것으로 추정된다.

## 6.2.2 빙하후퇴기

빙하 후퇴기는 빙하에서 간빙기로 넘어가는 전이기간으로 빙하가 감소하거나 후퇴하는 시기이다. 빙하 후퇴기에는 해빙, 빙붕과 빙상이 용빙되며 이에 따라서 빙하로부터 떨어져 나오는 빙산(carving iceberg)이 표층 해류를 따라 이동

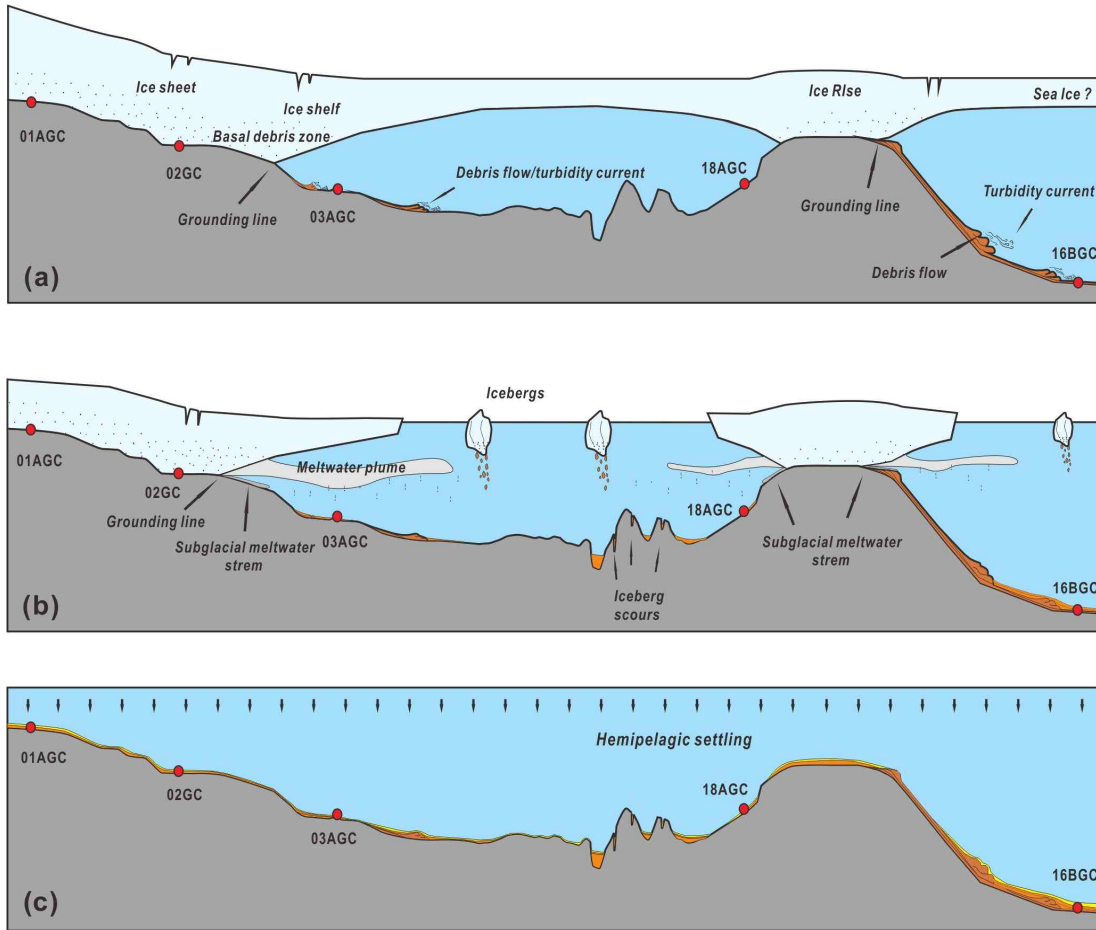


Fig. 6-2. Glacio-marine depositional model associated with glacial advance and retreat in the Chukchi Sea. (a) Glacial stage; (b) deglaciation; (c) interglacial stage. Circles indicate approximate gravity core sites.

한다. 따라서 극지역에서는 빙하 후퇴기 동안 빙하의 영향에 따라서 다양한 퇴적 작용을 야기할 수 있다. 척치 대륙붕에서 획득된 퇴적물 코어를 제외한 모든 정점의 코어 퇴적물은 전반적으로 빙하수송에 의해 퇴적된 IRD가 나타나는데(Fig. 5-15), 이는 멘델리프 해령 남동단에 위치하는 사면하부 단구뿐만 아니라 척치 대지와 척치 돌출대가 빙산의 영향을 받았음을 지시한다. 척치 돌출대 남부에서 획득된 03A 정점의 코어 퇴적물 최하부에 나타나는 퇴적상조합 DM-2/DM-1과 그 상부에 연이어 나타나는 퇴적상조합 TLM/ILM-2는 빙하후퇴기 초기에 빙붕 기저의 퇴적환경으로부터 빙붕 또는 빙하 말단의 용빙에 의해 형성되는 빙하기 저 용빙수류(subglacial meltwater stream)와 용빙수류(meltwater plume)에 영향을 받는 퇴적환경(Hesse et al., 1997, 1999; 윤호일 외, 2002)으로 전이되었음을

의미한다. 척치 외대륙붕 또는 척치 돌출대 남부에서 획득된 02 정점의 코어 퇴적물과 18A 정점의 코어 퇴적물에서 DM-2/DM-1과 같은 퇴적상조합은 확인되지 않지만, 용빙수류 또는 빙하기저 용빙수류에 의해 형성될 수 있는 퇴적상조합이 03A 정점의 코어 퇴적물과 유사하게 나타난다(Fig. 5-15). 척치 연변지의 수심 약 200 m 이내에 주로 분포하는 탄성과상 IIB-1과 IIB-2(Fig. 4-7)는 기저빙하가 척치 외대륙붕 또는 척치 돌출대 남부와 척치 대지 중부에 위치하는 고지대에까지 영향을 주었으며 기저빙하가 후퇴함에 따라서 빙산에 의한 침식작용으로 인해 절단면 또는 심한 지형기복을 보이는 해저지형을 형성했던 것으로 추정된다. 심해 환경에서 획득된 코어 퇴적물에 나타나는 퇴적상 ILM-1과 ILM-2은 빙하 후퇴기 동안 해저 사태나 암설류보다는 지속적으로 장기간 작용하는 해저류의 영향과 부유하는 빙산에 의해 침전되는 IRD의 영향을 받았던 것으로 추정된다.

### 6.2.3 간빙기

척치해 주변부는 오늘날의 기후 환경 또는 간빙기 동안에 빙상이나 빙붕의 영향을 받지 않았던 것으로 추정된다. 모든 정점의 코어 퇴적물 최상부에서 나타나는 퇴적상 BM-1 또는 BM-2는 척치해 주변부와 동시베리아해 주변부가 반원양성 퇴적 환경을 이루고 있음을 반영한다. 퇴적상 BM-1이 주를 이루는 척치 대륙붕 퇴적물과 달리, 척치 돌출대에서 획득된 코어 퇴적물(02, 03A, 그리고 18A)에서는 최상부에 IRD의 영향을 받은 BM-2가 나타나는데, 이러한 IRD의 영향은 로렌타이드 빙상 또는 타 지역의 빙상에서 떨어져 나온 빙산이 서북극해의 표층 해류를 구성하는 보퍼트 와류를 따라 이동하며 영향을 주었던 것으로 추정된다.

## 6.3 시베리아 빙상

동시베리아해와 척치해 주변부를 포함하는 베링기아 지역에 대하여 빙하기 또는 빙하 최대발달기 동안에 형성되는 빙상의 존재여부에는 현재까지도 논란이 되고 있다. Grosswald and Hughes (2002)의 연구에서 보고한 LGM 시기의 빙상

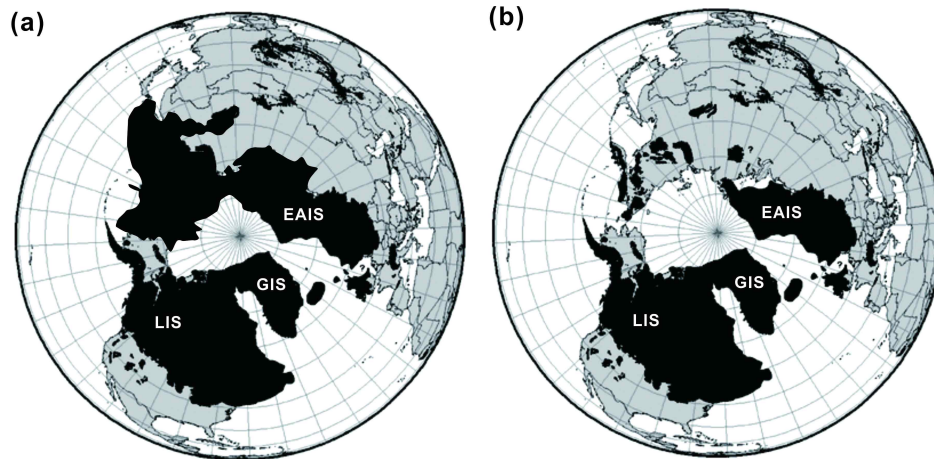


Fig. 6-3. Comparison of two ice extent models on the Northern Hemisphere during the LGM. (a) Model reconstructed in Grosswald and Hughes (2002); (b) model proposed in Ehlers and Gibbard (2007).

발달의 모델과 Ehler and Gibbard (2007)의 연구에서 제안한 빙상 발달의 모델은 서북극해 베링기아 지역에 대하여 상당한 이견을 보여주었다(Fig. 6-3). 그러나, 최근 보고되고 있는 척치 연변지와 동시베리아해 주변 지역에 대한 연구 결과 (Polyak et al., 2007; Nissen et al., 2013)들은 빙하기 또는 빙하 최대발달기 동안 베링기아 지역이 빙상 또는 빙붕과 같은 빙하의 영향을 받은 것으로 추정되고 있으며, 가장 최근에 보고된 Nissen et al. (2013)의 연구에서는 베링기아 지역에 빙상이 존재한다는 Grosswald and Hughes (2002)의 가설('Maximum Reconstruction Version')을 다시금 언급한 바 있다. 본 연구의 탄성과상 분석과 퇴적상 분석을 통하여 빙하기저면 빙퇴석층(grounding zone moraine)으로 해석되는 탄성과상 IIB-1 또는 IIB-2의 분포와 빙하기저 용빙수류(subglacial meltwater stream)와 용빙수류(meltwater plume)에 의해 형성될 수 있는 TLM과 ILM-1과 2의 퇴적상조합 또한 척치해와 동시베리아해 지역을 포함하는 본 연구 대상지역에 빙하기 동안 빙상 또는 빙붕의 영향을 받았음을 지시한다.



## 제7장 결 론

해저면의 지형과 그 내부의 특성을 조합하여 수행된 탄성과상 분석 결과와 분포 양상은 연구 지역별로 플라이스토세 말기 및 현세 기간에 형성된 퇴적층의 기원을 지시한다. 척치 대륙붕, 척치 대지, 그리고 척치 돌출부 일부 지역은 기저빙하(빙상)의 유동과정에서 퇴적된 빙퇴석층(IIB-1)이 광범위하게 분포한다(Fig. 4-7a, b; 4-8b). 척치 돌출부의 수심 약 2~300 m에 위치하는 해저면에서는 유빙 유동과 연관된 침식자국들이 발달되어 나타나며(IA-2, IIB-2), 수심 약 3~400 m에 위치하는 해저에는 반원양성 퇴적 및 간헐적인 저밀도 세립질 저탁류 또는 밀도류의 퇴적에 의해 집적된 퇴적층(IA-1)이 분포하고 있다(Fig. 4-7b). 기저빙하에 의해 집적된 퇴적층의 분포를 종합해보면, 연대는 명확치 않지만 기저빙하가 현재의 척치 돌출대 일부(2~300 m)까지 전진했었으며 척치 대지는 ice rise의 형태로 영향을 주었던 시기가 있었음을 유추할 수 있다. 아울러, 대륙붕에서 광범위하게 인지되는 빙퇴석층은 LGM 시기에 극동 시베리아 지역에도 빙상(ice sheet)이 분포하고 있었다는 Grosswald & Hughes (2002)의 가설('Maximum Reconstruction Version')을 지지한다. 맨틸리프 해령의 중심 지역에서는 불규칙한 지형기복을 반영하는 회절형의 곡선형 반사파(IIB-1)가 겹쳐 나타나며, 해령의 남동단에 위치하는 사면지역에서는 암설류 또는 질량류에 의해 퇴적된 투명한 반사상(IIC)을 보이는 퇴적체가 국지적으로 인지되며 협곡이나 수로는 거의 나타나지 않는다. 이러한 사면의 퇴적환경은 다양한 규모의 수로나 협곡이 발달하는 캐나다 분지(척치 대지의 동쪽)의 남부 사면의 퇴적환경과 매우 대조적인 특징이다. 척치 대지와 맨틸리프 해령 사이에 존재하는 Chukchi Perched Rise에서는 평행한 반사면이 해저면하 심층부까지 우세하게 나타나는데, 이는 반원양성 퇴적물의 조직 및 지화학적 변화를 반영하는 것으로 추정된다.

코어 퇴적물에 대한 입도분석, 전단력 측정, IRD 함량 측정, 그리고 X-선 사진의 퇴적구조 관찰로부터 각 지역별 퇴적상의 변화는 기후변화에 따른 고환경 변화를 지시한다. 주로 생교란 니와 희미한 (박)층리 니로 구성되는 심해저 환경(16B 정점 코어 퇴적물)은 주로 반원양성 퇴적을 반영한다. 간헐적으로 협재되어

나타나는 박층리 니와 빙하수송 쇄설물(IRD, ice-rafted debris)의 존재는 빙하기 동안 사면까지 전진하는 빙상의 영향으로 발생하는 해저 사태, 암설류, 저탁류 등의 퇴적작용이 존재했음을 지시하며, 빙하 후퇴기 동안에 표층해류를 따라 유동하는 용빙이 심해저에도 영향을 주었던 것으로 해석된다. 대륙과 인접한 척치 대륙붕과 일부 대륙주변부(척치 돌출대)에서 채취된 코어 퇴적물은 빙하기를 지시할 뚜렷한 퇴적상은 확인할 수 없었으나, 1 m 이상으로 두껍게 발달된 회색질의 기질지지한 비조직성 니는 당시에 빙붕 하에 환경이었음을 의미한다. 또한, 척치 돌출대 북부(18A 정점)에서 획득된 코어 퇴적물 최하부에서 IRD는 존재하지 않지만, 회색질에 전단력이 비교적 높은 BM-1 퇴적상 역시 빙하 후퇴기 초기에 계절적으로 영향을 주는 해빙 또는 빙붕 아래의 환경에서 형성되었던 것으로 추정된다. 척치 돌출대에서 획득된 코어 퇴적물 최하부에 나타나는 회색질 DM과 BM 퇴적상 상부에는 간헐적으로 협재하여 나타나는 박층리 니와 희미한 (박)층리 니가 나타나는데, 이는 빙하 후퇴기 동안에 빙하의 용빙이 활발해지면서 나타나는 퇴적환경임을 지시한다. 일반적으로 빙하기 동안에는 기저빙하가 전진하면서 해저면 또는 기반암의 암편 또는 해저 퇴적물을 포획하며 기저쇄설층(basal debris zone)을 형성하게 되는데, 이러한 퇴적상들의 협재는 빙붕 기저에 분포하는 기저쇄설층으로부터의 퇴적 환경과 빙하 말단부에서 발생할 수 있는 빙하기저 용빙수류(subglacial meltwater stream)와 용빙수류(meltwater plume)에 의한 퇴적 환경을 지시하는 퇴적상의 변화로써 빙하기 동안에 척치해 주변지역이 빙상과 빙붕의 영향을 받았음을 지시한다. 따라서, 각 코어 정점에서 나타나는 퇴적상 변화는 퇴적물 근원과의 거리, 빙하 근원지와의 거리, 해저 지형 등에 따라서 동일한 시기에도 상당히 다른 퇴적물을 가지며 다양한 퇴적작용을 야기할 수 있다.

탄성파상과 퇴적상 분석을 통한 연구 결과는 플라이스토세 말기 및 현세 동안에 서북극 척치해 주변지역의 고해양 환경 변화에 대한 빙해양 퇴적모델을 제시함으로써 향후 지구 기후계의 변동 양상을 가늠하는데 중요한 자료로 활용될 수 있다. 또한, 기후 변화에 따라서 나타나는 퇴적상의 변화는 퇴적학적 지시자(proxy)로서 고해양 환경 연구에 편의성과 정확성을 높이는데 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- 김소영과 남승일, 2011, 유기질 미화석을 이용한 서북극해 고해양환경 변화 연구에 대한 고찰. *대한지질학회지*, 47: 547-560.
- 김영준, 김원식, 신성렬, 김진호, 2011, Chirp SBP 자료 해상도 향상을 위한 전산 처리연구. *지구물리와 물리탐사*, 14: 289-297.
- 윤석훈, 윤호일, Howe, J., 2002, 남극 브랜스필드 해협 해저퇴적층의 고해상 탄성파상 분석. *대한지질학회지*, 38: 537-550.
- 윤호일, 박병권, 김부근, 김예동, 강천윤, 허순도, 유규철, 2001, 서남극 벨링사우젠 해의 빙해양 퇴적작용. *대한지질학회지*, 37: 217-234.
- Aagaard, K., Swift, J. H., Carmack, E. C., 1985, Thermohaline circulation in the Arctic Mediterranean seas. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 90. C3, 4833-4846.
- Alekseev, M. N., 1997, Paleogeography and geochronology in the Russian Eastern Arctic during the second half of the Quaternary. *Quaternary International*, 41: 11-15.
- Bartetzko, A., and Kopf, A.J., 2007, The relationship of undrained shear strength and porosity with depth in shallow (< 50 m) marine sediments. *Sedimentary Geology*, 196. 1: 235-249.
- Bischof, J.F. and Darby, D.A., 1997, Mid- to late Pleistocene Ice Drift in the Western Arctic Ocean: Evidence for a Difference Circulation in the Past. *Science*, 277. 5322: 74-78.
- Bouma, A.H., Kuenen, P.H., and Shepard, F.P., 1962, Sedimentology of some flysch deposits: a graphic approach to facies interpretation. Elsevier, Amsterdam, 168p..
- Bouma, A.H., 1964, Notes on X-ray interpretation of marine sediments. *Marine geology*, 2. 4: 278-309.
- Chough, S.K., 1984, Fine-grained turbidites and associated mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Back-arc Basin, East Sea (Sea of Japan). In: Stow, D.A.V., and Piper, D.J.W. (eds.), *Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and*

- Products. Geol. Soc. London Spec. Publ., 15: 185-196.
- Chough, S.K. and Hesse, R., 1985, Contourites from Eirik Ridge, south of Greenland. In: Hesse, R. (ed.), *Sedimentology of Siltstone and Mudstone*. *Sedimentary Geology*, 41: 185-199.
- Chough, S.K., Lee, G.H., Park, B.K. and Kim, S.W., 1984, Fine structures of turbidite and associated muds in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). *Journal of Sedimentary Research*, 54: 1212-1220.
- Damuth, J.E., 1975, Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18: 17-45.
- Damuth, J.E., 1978, Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. *Mar. Geol.*, 28: 1-36.
- Damuth, J.E., 1980, Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Mar. Geol.*, 38: 51-75.
- Damuth, J.E. and Embley, R.W., 1981, Mass-transport processes on Amazon Cone: western equatorial Atlantic. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 65: 629-643.
- Damuth, J.E. and Hayes, D.E., 1977, Echo character of the east Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Mar. Geol.*, 24: 73-95.
- Darby, D.A., Bischof, J.F., Cutter, G., Vernal, A., Hillaire-Marcel, C., Dwyer, G., McManus, J., Osterman, L., Polyak, L., Poore, R., 2001, New record shows pronounced changes in Arctic Ocean circulation and climate. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 82. 49: 601-607.
- Ehlers, J., and Gibbard, P. L., 2007, The extent and chronology of Cenozoic global glaciation. *Quaternary International*, 164, 6-20.
- Folk, R.L., and Ward, W.C., 1957, Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27. 1.
- Glebovsky, V.Y., Kaminsky, V.D., Minakov, A.N., Merkur'ev, S.A., Childers, V. A., Brozena, J.M., 2006, Formation of the Eurasia Basin in the Arctic Ocean as inferred from geohistorical analysis of the anomalous magnetic field. *Geotectonics*, 40. 4: 263-281.
- Grantz, A., and Hart, P.E., 2012, Petroleum prospectivity of the Canada Basin, Arctic Ocean. *Marine and Petroleum Geology*, 30. 1: 126-143.
- Grantz, A., Scott, R.A., Drachev, S.S., Moore, T.E., 2011a. Sedimentary successions

- of the Arctic Region (5864to 90N) that may be prospective for hydrocarbons. In: Spencer, A.M., Gautier, D., Stoupakova, A., Embry, A., Sorensen, K. (Eds.), 2011a. Arctic Petroleum Geology, vol. 35. Geological Society, London Memoirs, 17-37.
- Grantz, A., Hart, P.E., Childers, V.A., 2011b. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean. In: Spencer, A.M., Gautier, D., Stoupakova, A., Embry, A., Sorensen, K. (Eds.), 2011b. Arctic Petroleum Geology, vol. 35. Geological Society, London Memoirs, 771-799.
- Grobe, H., 1987, A simple method for the determination of ice-rafted debris in sediment cores. *Polarforschung*, 57. 3: 123-126.
- Grosswald, M. G., & Hughes, T. J., 2002, The Russian component of an Arctic ice sheet during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 21. 1: 121-146.
- Hesse, R. and Chough, S.K., 1980, The Northwest Atlantic Mid-Ocean Channel of the Labrador Sea: II. Deposition of parallel laminated levee-muds from the viscous sublayer of low density turbidity currents. *Sedimentology*, 27: 697-711.
- Hesse, R., Khodabakhsh, S., Klaucke, I., Ryan, W.B.F., 1997, Asymmetrical turbid surface-plume deposition near ice-outlets of the Pleistocene Laurentide ice sheet in the Labrador Sea. *Geo-Marine Letters*, 17. 3: 179-187.
- Hesse, R., Klaucke, I., Khodabakhsh, S., Piper, D., 1999, Continental slope sedimentation adjacent to an ice margin. III. The upper Labrador Slope. *Marine Geology*, 155. 3: 249-276.
- Holyer, R.J., Young, D.K., Sandidge, J.C., Briggs, K.B., 1996, Sediment density structure derived from textural analysis of cross-sectional X-radiographs. *Geo-Marine Letters*, 16. 3: 204-211.
- Hill, P.R., 1984, Sedimentary facies of the Nova Scotian upper and middle continental slope, offshore eastern Canada. *Sedimentology*, 31: 293-309.
- Hopkins, D.M., Macneil, F.S., Merklin, R.L., Petrov, O.M., 1965, Quaternary Correlations across Bering Strait Recent Soviet and American studies cast new light on the history of the Bering land bridge. *Science*, 147. 3663: 1107-1114.
- Ingólfsson, Ó., 1985, Late Weichselian glacial geology of the lower Borgarfjörður region, western Iceland: a preliminary report, *Arctic*, 38: 293-309.
- Jakobsson, M., Grantz, A., Kristoffersen, Y., Macnab, R., 2003, Physiographic provinces of the Arctic Ocean seafloor. *Geological Society of America Bulletin*, 115. 12: 1443-1455.

- Jakobsson, M., Macnab, R., Mayer, L., Anderson, R., Edwards, M., Hatzky, J., Schenke, H.W., and Johnson, P., 2008. An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses. *Geophysical Research Letters*, v.35, L07602, doi:10.1029/2008GL033520.
- Jakobsson, M., Nilsson, J., O'Regan, M., Backman, J., Löwemark, L., Dowdeswell, J.A., Mayer, L., Polyak, L., Colleoni, F., Anderson, L.G., Björk, G., Darby, D.A., Eriksson, B., Hanslik, D. Hell, L.G., Marcussen, C., Sellén, E., Wallin, Å., 2010, An Arctic Ocean ice shelf during MIS 6 constrained by new geophysical and geological data. *Quaternary Science Reviews*, 29. 25: 3505-3517.
- Jones, E.P., 2001, Circulation in the Arctic Ocean. *Polar Research*, 20. 2: 139-146.
- Kellogg, T.B., and Kellogg, D.E., 1988, Antarctic cryogenic sediments: biotic and inorganic facies of ice shelf and marine-based ice sheet environments. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 67. 1: 51-74.
- Kenter, J.A., and Schlager, W., 1989, A comparison of shear strength in calcareous and siliciclastic marine sediments. *Marine geology*, 88. 1: 145-152.
- Kristoffersen, Y., 2000, The Eurasia Basin: an update from a decade of geoscientific research. *Polarforschung*, 68: 11-18.
- Kuhn, G., and Weber, M.E., 1993, Acoustical characterization of sediments by *Parasound* and 3.5 kHz systems: Related sedimentary processes on the southeastern Weddell Sea continental slope, Antarctica. *Marine geology*, 11. 3: 201-217.
- Lee, S.H., S.K. Chough, G.G. Back and Y.B. Kim, 2002, Chirp (2-7 kHz) echo characters of the South Korea Plateau: styles of mass movement and sediment gravity flow, *Mar. Geol.*, 184: 227-247.
- Lucchi, R.G., Rebesco, M., Camerlenghi, A., Buseti, M., Tomadin, L., Villa, G., Persico, D., Morigi, C., Bonci, M.C., Giorgetti, G., 2002, Mid-late Pleistocene glacimarine sedimentary processes of a high-latitude, deep-sea sediment drift (Antarctic Peninsula Pacific margin). *Marine Geology*, 189. 3: 343-370.
- Macdonald, R.W., & Bewers, J.M., 1996, Contaminants in the arctic marine environment: priorities for protection. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 53. 3: 537-563.
- Niessen, F., Hong, J. K., Hegewald, A., Matthiessen, J., Stein, R., Kim, H., Kim, S., Jensen, L., Jokat, W., Nam, S.I., Kang, S. H., 2013, Repeated Pleistocene



- glaciation of the East Siberian continental margin. *Nature Geoscience*, 6. 10: 842-846.
- Piper, D.J.W., 1978, Turbidite muds and silts in deep-sea fans and abyssal plains. In: Stanley, D.J. and Kelling, G. (eds.), *Sedimentation in Submarine Fans, Canyons, and Trenches*. Dowden Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Penn., p.163-176.
- Polyak, L., Edwards, M.H., Coakley, B.J., and Jakobsson, M., 2001, Ice shelves in the Pleistocene Arctic Ocean inferred from glaciogenic deep-sea bedforms. *Nature*, 410. 6827: 453-457.
- Polyak, L., Curry, W. B., Darby, D. A., Bischof, J., Cronin, T. M., 2004, Contrasting glacial/interglacial regimes in the western Arctic Ocean as exemplified by a sedimentary record from the Mendeleev Ridge. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203. 1: 73-93.
- Polyak, L., Darby, D.A., Bischof, J.F., Jakobsson, M., 2007, Stratigraphic constraints on late Pleistocene glacial erosion and deglaciation of the Chukchi margin, Arctic Ocean. *Quaternary Research*, 67. 2: 234-245.
- Poore, R.Z., Osterman, L., Curry, W.B., Phillips, R.L., 1999, Late Pleistocene and Holocene meltwater events in the western Arctic Ocean. *Geology*, 27. 8: 759-762.
- Proshutinsky, A.Y., and Johnson, M.A., 1997, Two circulation regimes of the wind-driven Arctic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978-2012)*, 102. C6: 12493-12514.
- Rudels, B., Jones, E.P., Anderson, L.G., and Kattner, G., 1994, On the intermediate depth waters of the Arctic Ocean. *Geophysical Monograph Series*, 85, 33-46.
- Schlosser, P., Swift, J.H., Lewis, D., and Pfirman, S.L., 1995, The role of the large-scale Arctic Ocean circulation in the transport of contaminants. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 42. 6: 1341-1367.
- Stanley, D.J. and Maldonado, A., 1981, Depositional models for fine-grained sediment in the western Hellenic Trench, Eastern Mediterranean. *Sedimentology*, 28: 273-290.
- Stein, R., 2008, *Arctic Ocean Sediments: processes, proxies, and paleoenvironment*. *Developments in Marine Geology 2*, Elsevier, 592p.
- Stein, R., Matthiessen, J., Niessen, F., Krylov, A., Nam, S. I., Bazhenova, E., 2010, Towards a better (litho-) stratigraphy and reconstruction of Quaternary paleoenvironment in the Amerasian Basin (Arctic Ocean). *Polarforschung*, 79.

2: 97-121.

- Stow, D.A.V., 1979, Distinguishing between fine-grained turbidites and contourites on the Nova Scotian deep water margin. *Sedimentology*, 26: 371-387.
- Stow, D.A.V. and Holbrook, J.A., 1984, North Atlantic contourites: an overview. In: Stow D.A.V. and Piper, D.J.W. (eds.), *Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and Products*. Geological Society, London, Special Publications, 15: 245-256.
- Stow, D.A.V. and Shanmugam, G., 1980, Sequence of structures in fine-grained turbidites: Comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments. *Sedimentary Geology*, 25: 23-42.
- Svendsen, J.I., Alexanderson, H., Astakhov, V.I., Demidov, I., Dowdeswell, J.A., Funder, S., Gataullin, V., Henriksen, M., Hjort, C., Houmark-Nielsen, M., Hubberten, H.W., Ingólfsson, Ó., Jakobsson, M., Kjaer, K.H., Larsen, E., Lokrantz, H., Lunkka, J.P., Lyså, A., Mangerud, J., Matiouchkov, A., Murray, A., Möller, P., Niessen, F., Nikolskaya, O., Polyak, A., Saarnsto, M., Siegert, C., Siegert, M.J., Spielhagen, R.F., Stein, R., 2004, Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quaternary Science Reviews*, 23. 11: 1229-1271.
- Wang, D. and Hesse, R., 1996, Continental slope sedimentation adjacent to an ice-margin. II. Glaciomarine depositional facies on Labrador Slope and glacial cycles. *Marine Geology*, 135. 1: 65-96.
- Yoon, S.H. and Chough, S.K., 1993, Sedimentary characteristics of Late Pleistocene bottom-current deposits, Barents Sea slope off northern Norway. *Sed. Geol.*, 82: 33-45.
- Yoon, S.H., Chough, S.K., Thiede, J. and Werner, F., 1991. Late Pleistocene sedimentation on the Norwegian continental slope between 67°N and 71°N. *Marine Geology*, 99: 187-207.

## 부 록

1. 입도분석 결과
2. 중력코어 자료

## 부록 1. 입도분석 결과

TABLE. MAJOR TEXTURAL CLASS.		
G: gravel	gS: gravelly sand	(g)mS: slightly muddy
sG: sandy gravel	gmS: gravelly muddy sand	(g)M: slightly gravelly mud sand
msG: muddy sandy gravel	gM: gravelly mud	(g)sM: slightly gravelly sandy mud
mG: muddy gravel	(g)S: slightly gravelly sand	S: sand
mS: muddy sand	sM: sandy mud	
M: mud	Z: silt	

### 1) 01AGC 코어

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
0	01AGC-0	0	0	20.89	79.11	9.586	1.542	-0.729	0.803	C
10	01AGC-1	0	0	21.07	78.93	9.545	1.561	-0.7	0.8	C
20	01AGC-2	0	0	22.38	77.62	9.49	1.647	-0.718	0.82	C
30	01AGC-3	0	0	21.53	78.47	9.564	1.588	-0.755	0.808	C
40	01AGC-4	0	0	17.29	82.71	9.72	1.393	-0.749	0.809	C
50	01AGC-5	0	0	14.37	85.63	9.831	1.314	-0.783	0.844	C
60	01AGC-6	0	0	20.54	79.46	9.591	1.529	-0.72	0.797	C
70	01AGC-7	0	0	21.65	78.35	9.524	1.542	-0.657	0.777	C
80	01AGC-8	0	0	22.08	77.92	9.458	1.548	-0.585	0.778	C
90	01AGC-9	0	0	19.94	80.06	9.599	1.486	-0.679	0.787	C
100	01AGC-10	0	0	20.95	79.05	9.525	1.539	-0.644	0.799	C
110	01AGC-11	0	0	19.97	80.03	9.653	1.481	-0.759	0.782	C
120	01AGC-12	0	0	20.83	79.17	9.532	1.506	-0.622	0.78	C
130	01AGC-13	0	0	20.15	79.85	9.577	1.5	-0.672	0.787	C
140	01AGC-14	0	0	20.98	79.02	9.528	1.474	-0.614	0.731	C
150	01AGC-15	0	0	19.79	80.21	9.616	1.48	-0.712	0.781	C
160	01AGC-16	0	0	20.9	79.1	9.574	1.524	-0.716	0.771	C
170	01AGC-17	0	0	22.04	77.96	9.482	1.534	-0.612	0.752	C
180	01AGC-18	0	0	19.12	80.88	9.69	1.448	-0.79	0.777	C
190	01AGC-19	0	0	20.77	79.23	9.579	1.531	-0.701	0.792	C
200	01AGC-20	0	0	20.3	79.7	9.578	1.51	-0.665	0.802	C
210	01AGC-21	0	0	16.12	83.88	9.777	1.323	-0.769	0.756	C
220	01AGC-22	0	0	18.55	81.45	9.58	1.405	-0.574	0.758	C
230	01AGC-23	0	0	18.85	81.15	9.578	1.406	-0.577	0.741	C
240	01AGC-24	0	0	20.06	79.94	9.515	1.442	-0.535	0.736	C
250	01AGC-25	0	0	18.44	81.56	9.556	1.39	-0.517	0.734	C
260	01AGC-26	0	0	19.99	80.01	9.573	1.443	-0.62	0.74	C
270	01AGC-27	0	0	18.63	81.37	9.599	1.374	-0.577	0.715	C
280	01AGC-28	0	0	18.43	81.57	9.581	1.354	-0.535	0.706	C
290	01AGC-29	0	0	19.6	80.4	9.568	1.424	-0.591	0.726	C
300	01AGC-30	0	0	19.44	80.56	9.568	1.45	-0.594	0.766	C
310	01AGC-31	0	0	17.74	82.26	9.628	1.361	-0.588	0.727	C

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
320	01AGC-32	0	0	15.22	84.78	9.743	1.292	-0.676	0.739	C
330	01AGC-33	0	0	18.07	81.93	9.566	1.397	-0.543	0.773	C
340	01AGC-34	0	0	20.99	79.01	9.486	1.51	-0.555	0.778	C
350	01AGC-35	0	0	18.81	81.19	9.643	1.414	-0.682	0.75	C
360	01AGC-36	0	0	15.52	84.48	9.758	1.325	-0.716	0.782	C
370	01AGC-37	0	0	19.61	80.39	9.574	1.422	-0.596	0.749	C
380	01AGC-38	0	0	17.21	82.79	9.755	1.349	-0.779	0.735	C
390	01AGC-39	0	0	20.55	79.45	9.59	1.481	-0.673	0.759	C
400	01AGC-40	0	0	13.66	86.34	9.842	1.269	-0.773	0.804	C
410	01AGC-41	0	0	16.84	83.16	9.766	1.381	-0.788	0.805	C
420	01AGC-42	0	0	12.09	87.91	9.895	1.233	-0.78	0.886	C
430	01AGC-43	0	0	13.87	86.13	9.847	1.271	-0.776	0.84	C
440	01AGC-44	0	0	13.44	86.56	9.848	1.258	-0.77	0.818	C
450	01AGC-45	0	0	13.91	86.09	9.786	1.275	-0.698	0.798	C
460	01AGC-46	0	0	13.45	86.55	9.79	1.252	-0.68	0.793	C
470	01AGC-47	0	0	12.7	87.3	9.857	1.24	-0.76	0.827	C
480	01AGC-48	0	1.24	12.53	86.24	9.832	1.274	-0.761	0.826	C
490	01AGC-49	0	0	13.94	86.06	9.833	1.272	-0.767	0.808	C
500	01AGC-50	0	0	13.59	86.41	9.85	1.276	-0.777	0.856	C
510	01AGC-51	0	0	12.16	87.84	9.893	1.224	-0.774	0.856	C
520	01AGC-52	0	0	12.95	87.05	9.878	1.255	-0.785	0.866	C
530	01AGC-53	0	0	19.96	80.04	9.665	1.526	-0.804	0.82	C
540	01AGC-54	0	0	19.64	80.36	9.628	1.664	-0.845	0.993	C
545	01AGC-54.5	0	0	15.03	84.97	9.836	1.332	-0.801	0.91	C

2) 02GC 코어

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
0	02GC-0	0	2.88	18.59	78.54	9.406	1.808	-0.691	0.999	C
10	02GC-1	0	2.87	19.79	77.34	9.356	1.833	-0.697	0.956	C
20	02GC-2	0	4.49	22.91	72.6	8.998	2.123	-0.618	0.899	C
30	02GC-3	0	5.79	21.99	72.22	9.009	2.195	-0.652	0.945	C
40	02GC-4	0	3.97	20.7	75.33	9.244	1.969	-0.697	0.965	C
50	02GC-5	0	5.43	20.76	73.82	9.129	2.123	-0.67	1.004	C
60	02GC-6	0	1.71	20.95	77.33	9.535	1.612	-0.721	0.803	C
70	02GC-7	0	1.63	23.7	74.67	9.489	1.678	-0.759	0.766	C
80	02GC-8	0	1.59	22.82	75.59	9.469	1.607	-0.668	0.748	C
90	02GC-9	0	0.08	18.3	81.62	9.729	1.373	-0.781	0.714	C
100	02GC-10	0	2.33	26.8	70.87	9.153	1.835	-0.525	0.766	C
110	02GC-11	0.12	1.99	22.1	75.78	9.46	1.689	-0.714	0.806	(g)sM
120	02GC-12	0	1.94	23.23	74.82	9.392	1.724	-0.692	0.789	C
130	02GC-13	0	1.46	21.9	76.64	9.527	1.634	-0.75	0.79	C
140	02GC-14	0	0.79	31.3	67.9	9.027	1.781	-0.386	0.653	C
150	02GC-15	0	0	15.99	84.01	9.797	1.352	-0.791	0.812	C
160	02GC-16	0	1	29.82	69.18	9.075	1.805	-0.456	0.684	C
170	02GC-17	0	0.29	29.42	70.29	9.173	1.631	-0.369	0.65	C
180	02GC-18	0	0.5	29.36	70.14	9.164	1.637	-0.365	0.651	C
190	02GC-19	0	1.66	48.87	49.47	8.15	2.126	0.071	0.536	M
200	02GC-20	0	0.1	45.55	54.34	8.419	1.964	0.008	0.56	M
210	02GC-21	0	0.06	33.48	66.46	8.966	1.741	-0.27	0.639	M
220	02GC-22	0	0.05	16.72	83.22	9.769	1.355	-0.785	0.75	C
230	02GC-23	0	0.03	20.74	79.24	9.587	1.432	-0.656	0.693	C
240	02GC-24	0	0.11	23.64	76.25	9.441	1.508	-0.541	0.69	C
250	02GC-25	0	0.31	18.93	80.76	9.652	1.397	-0.703	0.705	C
260	02GC-26	0	0.12	19.26	80.62	9.694	1.438	-0.789	0.738	C
270	02GC-27	0	0.36	13.2	86.44	9.845	1.264	-0.779	0.766	C
280	02GC-28	0	0.04	12.22	87.74	9.864	1.204	-0.764	0.733	C
290	02GC-29	0	0.07	10.53	89.41	9.933	1.159	-0.766	0.876	C
300	02GC-30	0	0.19	25.97	73.84	9.336	1.54	-0.46	0.656	C
310	02GC-31	0	0.14	17.75	82.11	9.739	1.393	-0.787	0.763	C
320	02GC-32	0	0.21	12.67	87.12	9.873	1.246	-0.778	0.86	C
330	02GC-33	0	0.35	13.22	86.44	9.864	1.271	-0.786	0.886	C
339	02GC-33.9	17.93	69.42	5.56	7.09	0.944	2.681	-0.124	4.373	gmS
350	02GC-35	0	0.93	34.58	64.49	8.77	2.02	-0.364	0.686	M
360	02GC-36	0.36	1.01	28.77	69.85	9.033	1.911	-0.461	0.777	(g)sM
370	02GC-37	0	3.41	37.74	58.85	8.423	2.282	-0.325	0.636	M
380	02GC-38	0	14.4	33.97	51.62	7.815	2.775	-0.238	0.658	sM
390	02GC-39	0	0.92	23.37	75.71	9.485	1.752	-0.799	0.841	C
400	02GC-40	0	0.29	29.91	69.8	9.28	1.735	-0.617	0.678	C
410	02GC-41	0.01	0.31	55.16	44.53	7.968	2.118	0.269	0.517	M
420	02GC-42	0	3.64	49.05	47.32	7.972	2.311	0.073	0.567	M
430	02GC-43	0	6.34	45.1	48.56	7.973	2.454	-0.036	0.625	M



DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
440	02GC-44	0	7.45	46.88	45.67	7.762	2.57	0.011	0.6	M
450	02GC-45	0	0.21	61.85	37.93	7.701	2.167	0.44	0.512	M
460	02GC-46	0	2.73	34.41	62.86	8.644	2.231	-0.486	0.623	M

### 3) 03AGC 코어

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
10	03AGC-1	0	0	16.85	83.15	9.675	1.479	-0.683	0.975	C
20	03AGC-2	0.59	9.76	17.73	71.92	8.908	2.502	-0.609	1.231	(g)sM
30	03AGC-3	0	4.77	17.75	77.48	9.374	1.926	-0.667	1.099	C
40	03AGC-4	4.51	5.53	17.72	72.24	8.851	2.908	-0.659	1.541	(g)sM
50	03AGC-5	0	0	18.73	81.27	9.692	1.421	-0.756	0.761	C
60	03AGC-6	0	0	32.72	67.28	9.047	1.745	-0.363	0.648	C
70	03AGC-7	0	1.12	46.97	51.92	8.336	2.005	0.051	0.583	M
80	03AGC-8	0	0	28.49	71.51	9.212	1.691	-0.475	0.701	C
90	03AGC-9	0	0	34.82	65.18	8.908	1.789	-0.269	0.641	M
100	03AGC-10	1.53	3.26	35.56	59.66	8.642	2.05	-0.206	0.7	(g)sM
110	03AGC-11	0.08	8.69	30.35	60.89	8.471	2.476	-0.361	0.896	(g)sM
120	03AGC-12	3.64	12.71	31.78	51.86	7.602	3.296	-0.363	0.917	(g)sM
130	03AGC-13	0.94	13.04	30.57	55.46	8.012	2.825	-0.322	0.841	(g)sM
140	03AGC-14	1.72	11.18	32.64	54.46	8.041	2.77	-0.301	0.835	(g)sM
150	03AGC-15	3.63	9.34	25.75	61.28	8.312	2.91	-0.543	0.911	(g)sM
160	03AGC-16	2.18	10.68	27.01	60.13	8.347	2.713	-0.499	0.776	(g)sM
180	03AGC-18	0	0	23.68	76.32	9.471	1.634	-0.697	0.776	C
190	03AGC-19	0	6.92	14.89	78.19	9.55	1.989	-0.852	1.195	C
200	03AGC-20	0	6.02	38.74	55.23	8.23	2.475	-0.323	0.595	M
210	03AGC-21	0	0	31.06	68.94	9.015	1.789	-0.346	0.706	C
220	03AGC-22	0	0	29.55	70.45	9.235	1.834	-0.67	0.7	C
230	03AGC-23	0	0	26.9	73.1	9.342	1.742	-0.675	0.745	C
240	03AGC-24	0	0	21.66	78.34	9.562	1.641	-0.821	0.842	C
248	03AGC-24.8	0	0	23.61	76.39	9.499	1.719	-0.819	0.827	C

4) 16BGC 코어

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
0	16BGC-0	0	7.72	22.1	70.18	8.925	2.259	-0.523	1.006	C
10	16BGC-1	0	0.58	15.42	84	9.781	1.374	-0.778	0.828	C
20	16BGC-2	0	0.07	11.56	88.37	9.887	1.215	-0.771	0.805	C
30	16BGC-3	0	0	10.22	89.78	9.936	1.136	-0.755	0.85	C
40	16BGC-4	0	0	11.8	88.2	9.877	1.209	-0.76	0.801	C
50	16BGC-5	0	0.08	10.99	88.93	9.861	1.181	-0.71	0.783	C
60	16BGC-6	0	0	8.11	91.89	9.986	1.081	-0.752	0.856	C
70	16BGC-7	1.9	21.89	12.4	63.8	7.037	4.141	-0.714	0.861	(g)sM
80	16BGC-8	0	0.12	16.96	82.92	9.679	1.358	-0.655	0.756	C
90	16BGC-9	0.2	0.93	37.72	61.15	8.678	1.683	0.092	0.664	(g)sM
100	16BGC-10	0	2.17	14.9	82.93	9.729	1.514	-0.776	1.022	C
110	16BGC-11	0	8.34	19.87	71.8	8.963	2.326	-0.69	1.011	C
120	16BGC-12	0	0	10.68	89.32	9.93	1.195	-0.766	0.931	C
130	16BGC-13	0	0.42	13.93	85.64	9.83	1.295	-0.78	0.819	C
140	16BGC-14	0	0.05	10.65	89.3	9.92	1.17	-0.769	0.836	C
150	16BGC-15	0	0.29	15.78	83.93	9.783	1.338	-0.777	0.779	C
160	16BGC-16	0	0	10.97	89.03	9.915	1.178	-0.775	0.813	C
170	16BGC-17	0	0	13.4	86.6	9.859	1.246	-0.781	0.789	C
180	16BGC-18	0	0	11.02	88.98	9.933	1.179	-0.777	0.9	C
190	16BGC-19	0	0.12	17.67	82.21	9.68	1.372	-0.686	0.734	C
200	16BGC-20	0	0.47	14.76	84.78	9.809	1.287	-0.776	0.753	C
210	16BGC-21	0	0.97	12.36	86.66	9.855	1.258	-0.777	0.808	C
220	16BGC-22	0	0.12	13.32	86.56	9.835	1.259	-0.762	0.773	C
230	16BGC-23	0.31	8.96	15.12	75.61	9.401	2.285	-0.736	1.383	(g)sM
240	16BGC-24	0	0	9.73	90.27	9.957	1.13	-0.771	0.851	C
250	16BGC-25	0	0	9.37	90.63	9.954	1.121	-0.764	0.816	C
260	16BGC-26	0	0.59	17.1	82.31	9.677	1.385	-0.684	0.751	C
270	16BGC-27	0	3.83	17.47	78.7	9.602	1.791	-0.831	1.035	C
280	16BGC-28	0.18	7.44	16.79	75.59	9.366	2.239	-0.84	1.242	(g)sM
290	16BGC-29	0.15	14.48	5.84	79.53	9.468	2.475	-0.872	1.761	(g)sM
295	16BGC-29.5	0	37.7	31.12	31.18	6.391	3.034	0.446	0.575	sM
300	16BGC-30	0	0.36	11.46	88.18	9.884	1.244	-0.772	0.866	C
310	16BGC-31	0	7.6	18.95	73.46	9.169	2.163	-0.689	1.058	C
320	16BGC-32	0	0.19	11.88	87.93	9.891	1.207	-0.773	0.813	C
330	16BGC-33	0	0.19	11.55	88.25	9.909	1.2	-0.784	0.856	C
339	16BGC-34	0.05	10.32	12.28	77.35	9.528	2.433	-0.84	1.624	(g)sM
350	16BGC-35	0	0.37	10.07	89.56	9.925	1.146	-0.755	0.825	C
360	16BGC-36	0	3.65	18.6	77.75	9.457	1.798	-0.713	0.986	C
370	16BGC-37	0.17	2.24	24.02	73.57	9.404	1.904	-0.844	0.847	(g)sM
380	16BGC-38	0	0	11.84	88.16	9.898	1.225	-0.78	0.868	C

5) 18AGC 코어

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
0	18AGC-0	4.76	21.53	13.54	60.16	7.625	3.74	-0.644	0.716	(g)sM
10	18AGC-1	0.07	2.31	28.81	68.81	9.067	1.727	-0.34	0.683	(g)sM
15	18AGC-1.5	0	4.73	27.43	67.84	9.064	2.039	-0.529	0.862	C
20	18AGC-2	0.21	2.45	30.41	66.93	9.043	1.837	-0.446	0.681	(g)sM
30	18AGC-3	0	3.54	32.71	63.75	8.825	1.968	-0.324	0.696	M
40	18AGC-4	0.88	32.14	19.76	47.23	7.299	3.083	-0.193	0.501	(g)sM
46	18AGC-4.6	0.06	52.52	15.66	31.76	6.056	2.931	0.841	0.537	(g)sM
50	18AGC-5	0	11.1	27.45	61.45	8.459	2.48	-0.447	0.781	sC
60	18AGC-6	0	3.8	22.92	73.29	9.277	1.681	-0.472	0.762	C
70	18AGC-7	0	3.21	20.36	76.43	9.43	1.547	-0.516	0.753	C
80	18AGC-8	0	2.09	22.25	75.66	9.397	1.519	-0.472	0.699	C
90	18AGC-9	0	0.36	23.62	76.03	9.373	1.474	-0.404	0.672	C
100	18AGC-10	0	0.96	25.53	73.51	9.266	1.55	-0.368	0.672	C
110	18AGC-11	0	1.86	22.96	75.18	9.299	1.589	-0.409	0.746	C
120	18AGC-12	0.09	1.15	33.42	65.35	8.866	1.902	-0.298	0.716	(g)sM
130	18AGC-13	0	0.75	32.42	66.82	9.002	1.715	-0.262	0.657	C
140	18AGC-14	0	0.48	30.96	68.56	9.089	1.64	-0.272	0.649	C
150	18AGC-15	0	0.29	28.9	70.81	9.177	1.594	-0.311	0.659	C
160	18AGC-16	0	0.55	29.07	70.39	9.156	1.604	-0.3	0.657	C
170	18AGC-17	0	1.18	29.12	69.7	9.119	1.628	-0.292	0.661	C
180	18AGC-18	0.19	3.27	30.2	66.34	8.949	1.785	-0.263	0.689	(g)sM
190	18AGC-19	0	0	31.2	68.8	9.086	1.628	-0.262	0.645	C
200	18AGC-20	0	1.05	28.99	69.96	9.133	1.629	-0.303	0.664	C

## 부록 2. 코어 X-선 사진

### 01AGC (0~200 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
0				100			
10				110			
20			<b>BM-1</b> ; Grayish olive green (5GY 3/2) ; poorly sorted ; clasts absent ; thin irregular burrows and microburrows dominant	120			Micro burrows dominant with pyrite filaments; shell fragments dispersed
30				130			
40				140			
50				150			
60			Thin burrows dominant with pyrite filaments; shell fragments	160			Thin burrows and unbranched burrows dominant; pyritized ; shell fragments
70				170			
80				180			
90				190			

01AGC (200~400 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
200			Concentrated shell fragments ; pyritized burrows and pyrite(?) filaments	300			Shell fragments
210				310			
220			Irregular thin burrows dominant ; shell fragments dispersed	320			Micro burrows and pyrite(?) filaments dominant with unbranched burrows
230			Shell fragments	330			
240			Shell fragments	340			
250			Silt lamina slightly deformed by bioturbation	350			
260			Shell fragments	360			
270			Micro burrows and pyrite(?) filaments dominant with unbranched burrows	370			Micro burrows and pyrite(?) filaments dominant with unbranched burrows
280				380			
290				390			



01AGC (400~549 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
400				500			Shell fragments
410				510			Micro burrows and pyrite(?) filaments dominant with unbranched burrows
420			Micro burrows and pyrite(?) filaments dominant with unbranched burrows	520			
430				530			<b>BM-2</b> : Grayish olive green (5GY 3/2) ; poorly sorted; slightly deformed ; fines clasts randomly dispersed
440				540			
450			Shell fragments	550			
460							
470			Micro burrows and pyrite(?) filaments dominant with unbranched burrows				
480			Shell fragments				
490			Shell fragments				
500			Shell fragments				

02GC (0~200 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
0				100			
10			<b>BM-1</b> : Dark greenish gray (5GY 4.1) (0-50cm); poorly sorted; winding and unbranched thin burrows dominant with some thick vertical burrows	110			<b>ILM-2</b> : Dark greenish gray(5GY 4/1)(115-120cm); poorly sorted; partially cross laminated with slightly sharp basal contact(115-116cm); parallel to sub-parallel laminae without systematic vertical variation in texture and laminae thickness; some clasts dispersed
20			Some clasts dispersed	120			Light olive gray (5Y 5/2)(120-127cm); flat-and parallel-laminated mud; slightly bioturbated; clasts randomly dispersed in the upper part
30				130			Dark greenish gray (127-131cm)
40			Microburrows abundant	140			Moderate olive brown(5Y 4/4) (131-140cm); wispy laminated (or layered); irregular and discontinuous lamination, partially cross-laminated
50			<b>BM-2</b> : Dark greenish gray (5GY 4.1) (50-115cm); poorly sorted; winding and unbranched thin burrows dominant with some thick vertical burrows	150			<b>BM-2</b> : Light olive gray (140-152cm); poorly sorted; strongly disturbed by organic tubes and burrows; fine clasts dispersed in the upper part
60			Downward decreasing burrows	160			<b>TLM/HM</b> : Light olive brown(5Y 5/6) to dark greenish gray (5GY 4/1) (152-160cm); poorly sorted; layered silty mud with thin laminae; wavy-layered in the middle part; absence of clasts; disturbed upper boundary and sharp basal contact
70			Randomly dispersed clasts with partially concentrated fine grains	170			<b>BM-2</b> : Dark greenish gray 160-182cm); poorly sorted; mottled or bioturbated by burrows; some clasts randomly dispersed
80			Partially concentrated fine grains	180			
90				190			<b>ILM-2</b> : Grayish olive (10Y 4/2) (182-189cm); poorly sorted; flat- and parallel-laminated; no systematic vertical variation in laminae thickness; lower boundary sharp; slightly bioturbated

02GC (200~400 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
200			<b>TLM/HM</b> : Grayish olive (10Y 4/2) (200~230cm); poorly sorted; upward thickening silt-rich laminae without systematic variation of silt-depleted laminae ; some clasts dispersed	300			<b>TLM/HM</b> : Dark greenish gray (5GY 4/1) (up to 310cm); poorly sorted; normally graded by upward decrease in silt content; some clasts dispersed; slightly deformed in the lowest part
210			Downward thickening silt-depleted laminae without systematic variation of silt-rich laminae	310			<b>ILM-2</b> : Dark greenish gray (310~326cm); poorly sorted ; no systematic vertical variation in laminae thickness; fine clasts horizontally dispersed in the upper part
220				320			Partially wispy laminated
230			<b>ILM-2</b> : Grayish olive (230~250cm); poorly sorted ; parallel- and indistinctly-laminated mud; fine clasts dispersed	330			: Dark greenish gray (329~334cm); poorly sorted ; no systematic vertical variation in laminae thickness; fine clasts horizontally dispersed in the upper part; discordant basal contact
240				340			<b>DM-2</b> : Very poorly sorted (336~342cm); angular clasts ; various grain size (up to 2cm in diameter); massive
250			<b>ILM-2</b> : Grayish olive (10Y 4/2) (250~290cm); poorly sorted; indistinct laminae without systematic variation in texture and thickness; fine clasts dispersed	350			<b>TLM/HM</b> : Brownish gray (5YR 4/1) (342~356cm); poorly sorted; absence of bioturbation; occasionally upward thinning silt-rich laminae; some clasts horizontally dispersed
260				360			<b>TLM/HM</b> : Olive gray (5Y 3/2) (356~402cm); poorly sorted ; occasionally upward thinning silt-rich laminae ; some clasts horizontally dispersed (diameter ranges from a few mm to 2 cm) ; downward decreasing in the frequency of clasts
270			Primary structure recognizable but several disturbed; fine clasts dispersed	370			
280				380			
290			<b>TLM/HM</b> : Grayish olive (290~294cm); poorly sorted ; alternated with laminated silty layers and mud layer	390			Fine clasts partially concentrated
300			Dark greenish gray (5GY 4/1) (294~310cm)	400			

02GC (400~466 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
400			<b>TLM/HM</b> : Alternations of moderate olive brown (5Y 4/4) and light olive brown (5Y 5/6) (402~411cm); poorly sorted; absence of coarse clasts
410			Deformed; fine clasts dispersed
420			Dark greenish gray (5GY 4/1) (411~430cm); very poorly sorted; consists of silt-rich laminae; no systematic vertical variation in laminae thickness; absence of fine and coarse clasts
430			Light olive brown (430~437cm); very poorly sorted; absence of coarse clasts but fine clasts partially concentrated; deformed but primary structure identified
440			Grayish blue (5BP 5/2) (437~441cm); deformed
450			Light olive brown (441~451cm); significantly deformed
460			<b>TLM/HM</b> : Grayish blue (5BP 5/2) (451~453cm); very poorly sorted; absence of coarse clasts but fine clasts partially concentrated; deformed but primary structure identified
466			Dark greenish gray (5GY 4/1) (453~466cm)
470			
480			
490			

03AGC (0~200 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
0			<b>BM-2</b> : Moderate brown (5YR 3/4) (0-17cm); poorly sorted; thin burrows dominant with winding and unbranched burrows; fine-grained clasts dispersed (2-4mm in diameter)	100			<b>BM-2</b> : Dark greenish gray (5GY 4/1) (99-140cm); very poorly sorted; crudely bedded sandy-silty mud with coarse grains (99-115cm); disturbed by thin burrows; downward decreasing frequency of burrows; downward disappearing bands or layers
10				110			Downward increasing frequency of clasts
20			Grayish brown (5YR 3/2) (17-22cm); very poorly sorted.  Dark yellowish brown (10YR 4/2) (22-25cm)	120			
30			Dark greenish gray (5GY 4/1) (25-44cm); very poorly sorted; slightly disturbed by thin burrows; angular clasts concentrated in the lower part (diameter ranges from few mm to 2cm); upper boundary is poorly defined but that of lower part is sharp (erosive basal contact)	130			
40			<b>ILM-2</b> : Light olive brown (5Y 5/6) (44-61cm); poorly sorted; blurred parallel to sub parallel laminated; fine clasts dispersed; slightly disturbed by burrows	140			<b>DM-2</b> : Medium bluish gray (5B 5/1) (from 140cm to 165cm); very poorly sorted; concentrated clasts as a wedge-shaped structure in the upper part; thin burrows
50			<b>ILM-2</b> : Dark greenish gray (5GY 4/1) to light olive gray (5Y 5/6); poorly sorted; blurred parallel lamination; absence of bioturbation; unit boundaries poorly defined (50-61cm)	150			<b>DM-1</b> : Medium bluish gray (5B 5/1) (up to 165cm in the depth); very poorly sorted; angular clasts randomly dispersed
60			<b>ILM-2</b> : Light olive brown to medium dark gray(N4) (61-66cm); poorly sorted; uppermost part bioturbated; cross laminae with erosive basal contact	160			<b>DM-1</b> : Dark greenish gray (5GY 4/1) (from 165cm to 200cm); very poorly to poorly sorted; randomly dispersed clasts; downward decreasing frequency of clasts; crudely layered in the upper and lower parts
70			<b>ILM-2</b> : Medium dark gray to dusky yellow green (5GY 5/2) (66-72cm); poorly sorted; blurred parallel lamination; disturbed by burrows	170			
80			<b>ILM-2</b> : Dusky yellowish green (72-83cm); poorly sorted; sub-parallel laminae; slightly disturbed by thin burrows but primary structure identified; downward increasing silt-rich laminae; relatively sharp upper boundary and gradational lower boundary	180			
90			<b>BM-2</b> : Dark greenish gray (83-98cm); very poorly sorted; horizontal burrows and thin burrows; consists of some clasts which have various grain size (diameter ranges from few mm to few cm); crudely layered in the lower part	190			thin burrows  Crudely layered
100				200			

03AGC (200~248 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
200			<b>DM-1</b> : Medium bluish gray (5B 5/1) (from 200cm to 230cm); poorly sorted; randomly dispersed fine clasts; thin burrows
210			
220			
230			<b>DM-1</b> : Dark greenish gray (5GY 4/1) (230-249cm); poorly sorted; randomly dispersed fine clasts
240			
250			



16BGC (0~200 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
0			<b>BM-2</b> : Moderate brown (5YR 3/4) (0-6cm); very poorly sorted ; fine clasts dominant; mottled or bioturbated lower boundary	100			<b>BM-2</b> : Grayish brown (5YR 3/2) (100-116cm); poorly sorted; strongly disturbed and mottled by burrows biotubes dominant in the upper part; fine clasts dominant in the lower part
10			<b>BM-1</b> : Light olive gray (5Y 5/2) (6-45cm); poorly sorted ; horizontal burrows dominant with some vertical burrows; coarse clasts absent; fine clasts in the upper most part	110			Thin burrows and fine clasts dominant
20			Relatively concentrated shell fragments in the middle part (24-28cm)	120			<b>BM-1</b> : Grayish brown(116-123cm) to light olive gray (5Y 5/2)(123-132cm); poorly sorted; clasts absent
30				130			
40				140			<b>ILM-1</b> : Light olive gray (132-156cm); poorly sorted ; parallel layered mud with discontinuous laminae ; no systematic variation in texture and thickness ; upper boundary disturbed or mottled by burrows
50			<b>ILM-1</b> : Light olive gray (45-48cm); poorly sorted ; absence of any clasts and burrows; sub-parallel laminae	150			Slightly disturbed by dioturbation ?
60			<b>BM-1</b> : Light olive gray (5Y 5/2) (48-62cm) poorly sorted ; absence of any clasts	160			Disturbed by thin burrows but primary structures identified
70			<b>BM-2</b> : Light olive gray(62-65cm) to dark yellowish brown (10YR 4/2) (65-74cm); very poorly sorted ; disturbed by burrows; consists of angular clasts which have various grain size(diameter ranges from few mm to few cm); upward fining clasts	170			<b>ILM-1</b> : Grayish olive (10Y 4/2) (152-198cm); poorly sorted; absence of clasts; slightly disturbed by thin burrows (pyrite?) but primary structures identified ; no systematic thickness variation ; downward increasing frequency of burrows ; upper boundary poorly defined
80			<b>BM-1</b> : Dark yellowish brown (74-93cm); poorly sorted ; clasts absent	180			
90			Gradual color change to moderate yellowish brown (10YR 5/4) (80-83cm)	190			Thin burrows dominant
			Dark yellowish brown (83-93cm); poorly sorted ; silt-rich layer slightly disturbed by bioturbation ; layer boundaries are very sharp ; fine clasts dispersed in the lowest part	200			Gradational color change to olive gray (5Y 3/2); poorly sorted
100			<b>BM-2</b> : Moderate brown (5YR 3/4) (93-100cm); poorly sorted; Thin burrows dominant; fine clasts randomly dispersed				



16BGC (200~378 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
200			Deformed silt-rich layer	300			<b>BM-2</b> : Light olive brown (5Y 5/6) (297-306cm); poorly sorted; slightly deformed; fine clasts randomly dispersed; basal contact disturbed or mottled by burrows
210			<b>ILM-1</b> : olive gray (5Y 3/2) (198-228cm); poorly sorted : diffuse and discontinuous layers and laminae : absence of any clasts; no systematic variation in texture and laminae thickness	310			: Moderate brown (5YR 3/4) (306-315cm); poorly sorted; strongly disturbed and mottled by burrows : biotubes and thin burrows dominant in the upper part, fine clasts dispersed in the upper part
220			Gradational color change to grayish olive : poorly sorted	320			<b>BM-1</b> : Light olive brown to light olive gray (315-357cm) : poorly sorted; horizontal tubes (planolites?) abundant
230			Gradational color change to dusky yellow green (5GY 5/2) (up to 252cm); poorly sorted; silt contents relatively increase; disturbed by burrows?	330			Gradual color change to light olive gray (5Y 5/2) : poorly sorted;
240			Gradational color change to dusky yellow green (5GY 5/2) (up to 252cm); poorly sorted; silt contents relatively increase; disturbed by burrows?	340			Thin burrows abundant; fine clasts dispersed
250			<b>TLM/HM</b> : Moderate olive brown (5Y 4/4) (252-259cm) : poorly sorted; strongly deformed; sharp unit boundaries; relatively silt-rich layers; lense-shaped silt-depleted muds; some fine clasts dispersed	350			<b>BM-2</b> : Moderate brown to light olive brown (357-378cm) : poorly sorted; strongly disturbed and mottled by burrows; biotubes and thin burrows dominant in the upper part; fine clasts dispersed
260			<b>BM-2</b> : Light olive brown (5Y 5/6) (259-263cm) : poorly sorted; strongly deformed; fine clasts with mud clasts	360			Showing gradual color change from moderate brown to light olive brown; poorly sorted; a drop stone appeared
270			Dark yellowish brown (10YR 4/2) (263-275cm) : very poorly sorted; strongly deformed by burrows : clasts which have various size dominant : deformed sandy mud clasts	370			
280			<b>ILM-2</b> : Light olive brown (275-281cm); very poorly sorted : fine clasts dominant; cross-laminated or deformed : clasts somewhat oriented along the deformed laminae	380			
290			<b>BM-1</b> : Light olive brown (281-290cm)	390			
			<b>TLM</b> : Grayish olive (10Y 4/2)(290-297cm); poorly sorted : intercalated homogeneous mud in the thinly laminated sandy mud; absence of bioturbation : unit boundaries are very sharp				

18AGC (0~205 cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
0			<b>BM-2</b> : Alternation of moderate brown(5YR 3/4) and grayish olive (10Y 4/2) (0-2cm, 11-14cm: moderate brown) : very poorly sorted; sharp color change at 2cm : thin burrows and fine clasts dominant	100			<b>BM-1</b> : Medium bluish gray (5B 5/1); poorly sorted : pyritized (?) and unbranched burrows dominant in the upper part; absence of clasts
10			Moderate yellowish brown (10YR 5/4); very poorly sorted; indistinctly laminated mud layer or band	110			
20			Gradual color change to dusky yellow green (2B-37cm); poorly sorted	120			Significantly concentrated bioturbation that has the dendritic pattern
30			Some fine clasts partially concentrated	130			
40			<b>BM-2</b> : Medium gray(N5) (37-39cm); very poorly sorted : horizontally coarser grains concentrated : slightly bioturbated	140			Thin vertical burrows
50			<b>TLM/HM</b> : Grayish olive (3B-46cm); very poorly sorted; intercalated homogeneous mud in the thinly laminated sandy mud; uppermost boundary slightly deformed by vertical thin burrows; sharp lower boundary; mud chip (medium gray) ?	150			Vertical and unbranched burrows dominant
60			<b>BM-2</b> : Dark yellowish brown (10YR 4/2) (46-55cm) : poorly sorted; relatively fine-grained clasts dispersed; strongly disturbed by thin burrows : some shell fragments in the lower part	160			
70			<b>ILM-2</b> : Alternation of dark yellowish brown and dusky yellow green(5GY 5/2) (55-78cm); poorly sorted; fine clasts dispersed; blurred parallel laminated; no systematic variation in the texture and laminae thickness; significantly disturbed by thin burrows ; upward increasing frequency of burrow	170			
80			<b>BM-1</b> : Dusky yellow green (7B-87cm); poorly sorted : thin burrows and shell fragments dominant : fine clasts dispersed in the lower and upper part	180			Thin and branched burrows (or dendritic pattern?) : linear bioturbation steeply inclined towards the lower part; downward deeping incline
90			<b>BM-1</b> : Sharp color change to medium bluish gray (5B 5/1); poorly sorted; thin burrows without any shell fragments and clasts	190			
100				200			

## 감사의 글

논문이 완성되기까지 부족한 저에게 많은 도움과 제언을 해주신 모든 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

석사과정동안 학업뿐만 아니라 이런 극지에 관심을 갖게 해주신 지도교수이신 윤석훈 교수님께 감사의 말씀드립니다. 바쁜 와중에도 학위논문 평가를 심사해주신 방익찬 교수님, 이준백 교수님께 감사드리며 최영찬 교수님과 송상근 교수님을 포함한 지구해양과학과 교수님들께 진심으로 감사드립니다.

석사과정동안 북극에서의 귀한 경험과 소중한 자료를 제공해주신 한국해양과학기술원 부설 극지연구소의 남승일 박사님을 포함한 여러 연구원분들께도 깊은 감사를 드립니다. 또한, 입도분석과 여러 실험들을 가르쳐주시고 도와주셨던 한국해양과학기술원의 이상훈 박사님과 연구원 분들께도 감사드리며 탄성과 자료와 연구지역 지형도를 제공해준 극지연구소의 수관이형에게도 감사드립니다.

힘들고 많은 고민을 할 때, 시간을 내주어 조언해주고 격려해준 기범이형과 환경지질학 연구실에서 함께 노력했던 우석이, 창성이, 은욱이, 그리고 막내 성현이에게도 고마운 마음을 전합니다.

마지막으로, 늘 타지에서 공부한다고 걱정하시고 대견스럽게 저를 지켜봐주시는 부모님, 형, 그리고 가족 모두에게 감사의 마음을 전하며 이 글을 바칩니다.

## 요 약

북극해의 해저 퇴적물은 일반적으로 반원양성 및 질량류 퇴적, 용빙수류, 빙산, 해저류 등 다양한 운반매체를 통해 퇴적된다. 그러므로, 북극해의 해저 퇴적물에 대한 퇴적 작용(기구)과 그 기원을 규명하는 것은 과거 기후 변화에 따라 나타나는 고환경 변화를 이해하는데 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 척치해 주변부와 동시베리아해 주변부에 대한 해저 퇴적물의 기원과 퇴적작용을 규명하기 위해서 고해상 천부지층탐사 자료와 중력시추코어 자료를 이용하여 해저 퇴적층의 퇴적학적 특성을 분석하였다.

고해상 천부지층탐사 자료에서는 반사파의 명확성, 측면연속성, 해저면의 형태에 따라서 5개의 탄성과상이 분류되었다. 탄성과상 IA는 비교적 뚜렷하고 측면연속성이 양호한 표면 반사파와 다소 평행하게 발달된 내부반사파의 특징을 보이며, 침식 흔적의 여부에 따라서 IA-1과 IA-2로 세분된다. 이 탄성과상은 주로 척치 대륙붕, 척치 돌출대의 저지대, 그리고 심해저에 분포하는데, 이는 세립질 저탁류와 반원양성 퇴적체를 지시한다. 탄성과상 IB는 다소 확산되고 비교적 평탄한 표면 반사파와 음향학적으로 확산되거나 무작위로 나타나는 내부 반사파의 특징을 보이며 주로 척치 돌출대 북부에 국한되어 나타난다. 이러한 탄성과상은 빙하후퇴기 동안 형성된 빙퇴석층이 해저류에 의해 평탄화된 것으로 해석된다. 탄성과상 IIB는 회절형 쌍곡선 반사파가 중첩되어 나타나는 특징을 보이는데 침식 흔적의 여부에 따라서 IIB-1과 IIB-2로 세분되며 주로 척치 대륙붕에 분포하는 탄성과상 IA-1의 하부 지층, 척치 돌출대(수심 200~300 m), 척치 대지의 고지대(수심 약 200 m), 그리고 멘델리프 해령의 고지대에 주로 분포한다. 탄성과상 IIB의 분포는 지난 빙하 최대발달기(Last Glacial Maximum) 동안 기저빙하가 척치 주변부까지 전진하고 후퇴하면서 형성된 빙하기저면 빙퇴석층(grounding zone moraine)이 발달되었음을 지시한다. 탄성과상 IIC는 음향학적으로 투명한 반사파를 특징적으로 보이며 주로 썬기나 렌즈 형태로 멘델리프 해령 남동단에 위치하는 사면과 다소 급경사를 보이는 지역에 분포한다. 이러한 탄성과상과 연이어 나타나는 탄성과상 IA-1의 분포는 빙하기 동안 전진하던 기저빙하에 의해 해저사태, 암설류, 저탁류 등의 퇴적물 중력류가 발생했음을 지시한다. 척치 돌출대 북부에서는 내부 반사파가 없거나 부분적으로 확산되어 나타나며 상당한 지형기복(수~수 십 m)을 보이는 탄성과상 IIIB가 분포한다. 이러한 탄성과상은 기

반암에서 나타나는 전형적인 특징이며, 상당한 지형 기복은 빙하후퇴기 동안 표층해류를 따라서 이동하는 빙산에 의한 침식자국으로 해석된다.

중력시추코어 퇴적물에 대해서는 퇴적물의 조직 특성과 X-선 사진 상에서 관찰되는 퇴적구조 분석을 통하여 5개의 퇴적상이 분류되었다. 박층리 니와 균질 니가 교호하는 퇴적상(TLM/HM)은 주로 세립질 저탁류 또는 빙하근접지역(ice-proximal zone)에서 발생하는 빙하기저 용빙수류(subglacial melt stream)에 의해 퇴적되는 것으로 해석된다. 해저류(bottom current) 또는 용빙수류(meltwater plume)에 의해 형성될 수 있는 희미한 층리 니(ILM)와 반원양성 퇴적체를 지시하는 생교란 니(BM)는 주로 박층리 니 퇴적상(TLM)의 상부에 나타나는데 이는 점진적으로 간빙기로 전이되는 기후변화를 지시한다. 또한 척치 돌출대에서 획득된 코어 퇴적물 최하부를 구성하는 기질지지(matrix-supported)의 빙하 수송 쇄설물(ice-rafted debris)이 산재하는 비조직성 니 퇴적상(DM)은 빙하후퇴기 초기의 빙봉 하의 형성된 퇴적체를 지시한다.

이러한 연구 결과는 플라이스토세 말기 및 현재 동안에 서북극 척치해 주변지역이 LGM 시기에 빙상과 빙봉의 영향을 받았음을 지시한다. 탄성파상과 퇴적상 분석을 통해 제시한 본 연구 대상지역의 빙해양 퇴적모델은 향후 지구 기후계의 변동 양상을 가늠하는데 중요한 자료로 활용될 수 있다. 또한, 기후변화에 따라서 나타나는 퇴적상의 변화는 퇴적학적 지시자(proxy)로서 고해양 환경 연구에 편의성과 정확성을 높이는데 기여할 수 있을 것이다.