

2005-1-132

북극 페초라해의 Side-scan Sonar 해저면 음향영상

진영근 · 정경호 · 김예동 · 이주한

한국해양연구원부설 극지연구소

Side-scan sonar survey in the Pechora Sea, Russian Arctic

Young Keun Jin · Kyung Ho Chung · Yeodong Kim · Joohan Lee

Korea Polar Research Institute, KORDI, Korea

요약

북극해 해양조사사업의 일환으로 러시아 바렌츠해의 남동쪽에 위치한 페초라해에서 Side-scan sonar 해저면 음향상탐사를 실시하여 해저면 상태를 고찰하였다. 연구지역은 유기물이 풍부한 절은 회색의 표층 퇴적층으로 형성된 수심 11 m-16 m의 천해지역이다. 해저면 영상도에는 연구지역의 남동쪽지역에 폭 2-3 km의 넓은 해저식물 군락지역이 분포한다. 연구지역의 중앙부에서 북쪽 지역까지 넓은 지역에 걸쳐 직선형태로 연장되는 220°와 290°주향의 선구조선이 가장 뚜렷하다. 이는 빙산들이 서남서-동북동과 서북서-동남동 방향을 따라 이동하였음을 지시한다. 가스나 지층수가 해저로 분출되면서 생기는 구조인 pockmark가 극부지역에서 다수 관찰되었다. 이는 이 지역의 분포하는 석유/가스 시스템과 관련되었을 가능성이 있다. 이 가스나 지층수의 이동을 활발하게 하는 지질구조활동에 연관된 것으로 생각된다. 그 형태가 약간 희미하고 국부적인 장소에만 나타나기 때문에, 상세한 특성과 구조를 규명하기 위해서는 보다 정밀한 분석이 필요하다.

주요어

Side-scan sonar, 페초라해, 북극, pockmarks

ABSTRACT

As a study of Arctic marine survey project, Side-scan sonar survey was carried out in the Pechora Sea belonging to the southeaster part of Barents Sea. The study area is a shallow sea 11 m-16 m deep with recent sediments of rich organic carbon. Side-scan sonar profiles show large-scale marine plant communities 2-3 m wide covering the southeastern area. A lot of lineaments are traced on the seafloor in the central and northern area. The major trends of the lineaments are 220° and 290° (WSW-ENE and WNW-ESE). This trends is thought to be a main path of icebergs. Pockmarks on the seafloor are locally distributed in the area, which are formed by fluid and/or gas discharge. These would be related with petroleum/gas system well developed around the study area. Due to weak appearances and limited distribution of the pockmarks, more detailed studies are necessary to examine their nature and structure.

Key words

Side-scan sonar, Pechora Sea, Arctic, pockmarks

1. 서론

러시아 북극해의 서쪽 해역에 해당하는 바렌츠해는 막대한 양의 석유와 가스가 매장된 지역으로 알려져 있고, 최근에 상업적인 석유와 가스가 생산되면서 많은 서방국가들의 관심을 모으는 지역이다. 상당히 많은 지구 물리 탐사가 이루어졌음에도 아직 이 지역의 지각구조와 지질 진화역사에 대해서 아직 풀리지 않은 문제들이 많다(Neprochnov *et al.*, 2000). 최근 들어 러시아는 이 지역 석유자원 개발을 위한 준비를 서두르고 있고 일차

적으로 바렌츠해의 남동쪽 연안에서 상업생산시설을 건설하기 시작하고 있다. 현재까지 바렌츠해에서 이루어진 지질, 지구물리 분야 연구들은 주로 지구환경변화에 대해서만 소개되고 있지만, 점차 해저지원에 대한 연구와 탐사로 옮겨가는 추세이다.

이번 연구지역인 페초라해(Pechora Sea)은 바렌츠해에서도 가장 남동단에 위치한 지역으로 Novaya Zemlya 섬의 남쪽, 페초라 육지지역의 북쪽의 얇은 해역이다(Fig. 1). 최근까지 이 지역에서 진행된 연구들은 주로 제1기 지기의 빙하작용과 빙하분포지역에 관한 것이다(Lambek,

Corresponding Author : 진영근 (y.kjin@kopri.re.kr)

원고접수일 : 2005년 9월 23일

게재승인일 : 2005년 11월 3일

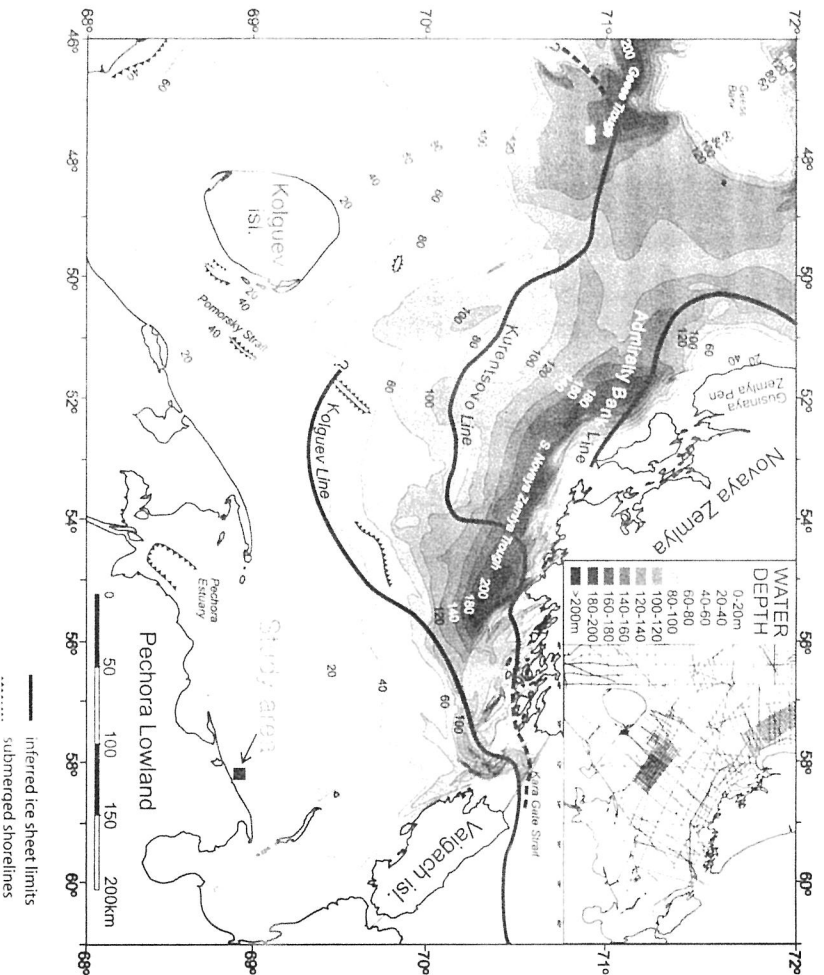


Fig. 1 Bathymetric map around the study area. Black box indicates the study area (after Gataullin *et al.*, 2001).

1996; Gataullin *et al.*, 2001; Mangerud *et al.*, 2002).

2000년부터 한국해양연구원 극지연구본부에서는 러시아 해양광물연구소(NIIOkangeology)와 극지연구소(Arctic and Antarctic Research Institute)에서 수행하고 있는 바렌츠해 탐사에 공동참여하여 연구 지역을 포함한 바렌츠해의 극지역을 대상으로 연구를 수행하였다. 2001년까지는 생물분야 연구만을 수행되었고, 2002년에는 처음으로 에너지 자원과 지구환경변화에 대한 연구를 목적으로 지구물리 탐사를 수행하였다. 이번 탐사에서는 이 지역의 탐사환경을 탐색하고 앞으로의 본격적인 바렌츠해 지구물리 탐사를 위한 기초자료 축적을 목적으로 러시아측의 장비를 이용한 Side-scan sonar 탐사를 수행하였다.

2. 배경지명

페초라해는 수심 100 m 이하의 얕은 수심을 보이는 매우 평탄한 지역으로(Fig. 1) 수심 200-300 m의 Cassio-

Trough와 Southern Novaya Zemlya Trough사이에는 포함된다. Novaya Zemlya Trough는 Novaya Zemlya 섬 쪽으로 사면의 경사가 급하고, 다른 쪽 사면은 완만하다. Novaya Zemlya 섬의 남쪽 끝은 많은 만과 굽, 그리고 섬들로 인해 매우 복잡한 해안선을 나타낸다. Novaya Zemlya 섬과 Vaigach 섬 사이의 Kara Gate Strait는 수심 105-110 m의 5-10 km 폭의 S자형태로 굽어진 해협이다. 이 해협은 음향기반암의 변형을 반영하면서 발달한 평행한 여러 개의 함몰대와 높은 지대 때문에 심한 해저지형변화를 보인다. 특히 이번 연구지역은 육지에 가까운 지역으로 수심 11-20 m의 매우 얕으며 평탄한 해저지형을 보인다.

3. 지질 개관

바렌츠해의 광역 지체구조도를 Fig. 2에 나타내었다(Sakoulima *et al.*, 2000). 이번 연구지역은 페초라 분지(Pechora Basin)와 페초라 Saddle의 경계 부근이다. 페초라 Saddle과 남바렌츠 분지(South Barents Basin)의

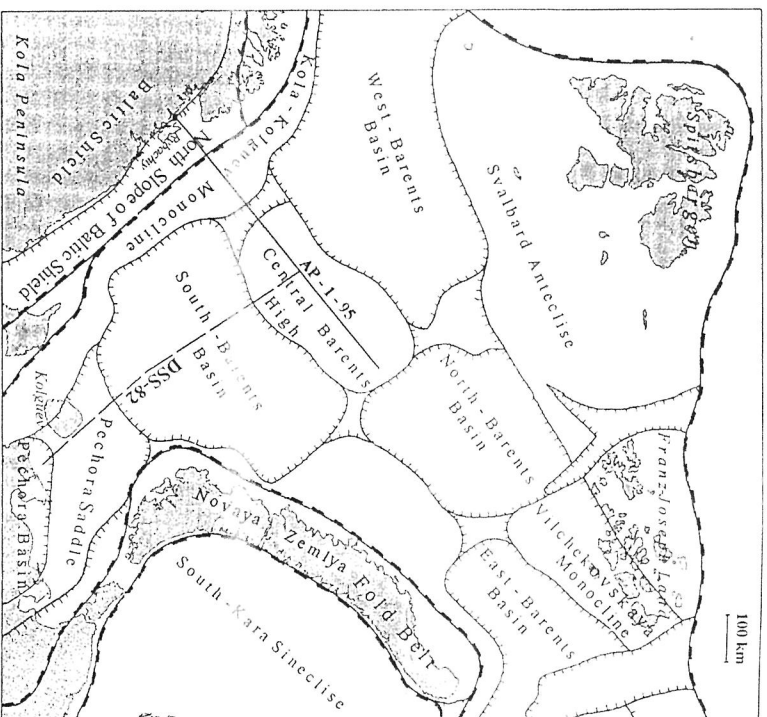


Fig. 2 Regional map showing the tectonic provinces (after Sakouina, 2000).

경계부를 지나는 심부 탄성과 단면도에 의하면 두 지역은 매우 다른 지각구조를 보인다. 페조라 Saddle은 전형적인 대륙지각을 보이는 반면에, 남바렌츠 분지는 대륙지각과 해양지각의 중간 형태를 보인다.

1981년 바렌츠해 대륙붕에서 이루어진 첫 번째 시추 결과에서는 이 지역이 신생대 제3기에서 제4기에 걸쳐 강한 침식작용을 받은 것으로 나타났다(Rasmussen and Fjedskaar, 1996). 이 결과는 속성작용(diagenesis), 기원암의 속성정도, 세일의 다짐작용(compaction) 등 여러 방법에 의해 확인되었다(Nyiland *et al.*, 1992). 스발바드군도 부근에서도 제3기 기간에 큰 침식작용이 일어난 것으로 밝혀졌다(Manum and Thronsdan, 1978). 이 침식작용의 연대에 대해 많은 논란을 제기되고 있다. Eidvin and Riis (1989)이 다시 수행한 연대측정에 의하면 현재의 서쪽 대륙붕 주변부 지역을 따라 퇴적층 부피의 3분의 2는 후기 플라이오세에서 플라이스토세에 침식을 당했다. 최근 연대측정 결과는 바렌츠해 대륙붕의 침식작용을 일으킨 가장 주요한 기작이 빙하침식임을 잘 나타낸다. 이 빙하작용은 침식작용에 의해 형성된

퇴적물의 이동과 퇴적작용을 수반하였다(Voren *et al.*, 1989). 신생대에 바렌츠해에서 일어난 침식작용을 크게 두 시기로 나눌 수 있다. 1) 북 대서양의 대륙지각 열개 작용(continental rift) 후 초기 제3기. 이 시기에는 북서 바렌츠해 대륙붕의 판구조적인 상승이 일어났고 해수면위에서의 침식작용과 침식작용에 의해 형성된 퇴적물이 대륙붕 주변부에 퇴적되고, 남쪽과 남동쪽 바렌츠해 대륙붕의 분지를 채우게 되었다. 2) 두 번째 시기는 후기 제3기와 제4기로, 대륙붕지역 전체에 작용했던 빙하침식작용이 일어났던 시기이다. 이 빙하침식작용은 침식퇴적물을 현재의 주변부로 이동시키고, 침식당한 대륙붕의 지각상승을 유발하였다.

4. 페조라해의 빙하-지각구조 운동

Gataullin *et al.* (2001)은 이번 연구지역인 페조라해의 중기/후기 Weichselian 이후에 일어난 해수면 변동 역사와 지각의 빙하-isostatic 운동을 연구하였다. 그들의 연구결과에 의하면, 페조라해의 SSU-IV 퇴적층이 형

성된 중기/후기 Weichselian 동안에 페초라 육지지역의 낮은 지대들이 잠기게 되었다. 중기 Weichselian 시기의 싯트와 점토질 퇴적물은, 이 시기에 해수면이 높았으며 해저면은 파도에 의해 영향을 받는 깊이이하에 위치하였음을 지시한다. 이는 SSU-IV 퇴적층이 같은 깊이에서의 현생 퇴적물(SSU-1)보다 입자 크기가 작은 점에서도 확인된다. 하지만 해안가에서 관찰되는 결과는 지난 3-4 만년 동안에는 현재보다 해수면이 높지 않았다는 것을 보여준다(Mangorud *et al.*, 1999). 따라서 중기/후기 Weichselian의 상대적인 해수면 변동은 0-20 m로 결론지을 수 있다. SSU-IV 퇴적층에 나타난 사면전진운동 형태는 이 퇴적층이 형성되는 동안 해수면이 떨어졌음을 알려준다. 가장 해수면이 높았던 시기는 아마도 4-5만년 전에 전빙기가 시작되고 바로 뒤 짧은 시기 동안으로 생각된다. 또한 남페초라해에서 Weichselian 시기 동안에 가장 낮은 해수면 수준은 현재보다 50-70 m로, 그 시기는 후기 Weichselian 병하 최대기로 추정된다.

낮은 해수면 시기가 지나면서 다시 대륙붕지역에는 최근 퇴적층인 SSU-1층이 현재의 해수면 기준으로 44 m 아래에 위치한 부정합면 위에 부가되기 시작하였다. 아마도 그 시기는 9천 2백년 부근으로 추정된다.

페초라해에서의 상대적인 해수면 변동 곡선을 Fig. 3에 나타내었다. 이 지역의 해수면은 3만년전부터 낮아지기 시작하여 후기 Weichselian까지 계속 낮아졌다. 1만 2천년 전에서 만년전 사이에 현재 해수면 보다 60 m 낮은 가장 낮은 해수면이 나타났다. 초기 Holocene 시기에 급격하게 해수면이 높아지다가 7천년에서 8천년 사이부터 완만하게 상승한다.

이런 페초라해의 해수면 변동은 지난 3만 5천년전 이후에 일어났던 전세계적인 해수면 변동패턴과 상당히 다르다. 이는 이 지역이 국부적인 빙하-지각균형(glacio-isostatic) 운동을 겪었음을 의미한다. 지각균형운동의 크기는 국부적인 해수면 변동 높이에서 전세계 해수면 변동 높이를 빼면 구할 수 있다. Fig. 3c에서 나타나듯이 빙하-지각 하강은 3만년전에서 2만년전 동안 40-50 m 정도인 것으로 추정된다. 이후 후기 Weichselian 간빙기에 급격한 반동 상승이 이어졌다. 상승의 대부분은 초기 Holocene인 만년 전에 이루어졌다. 2만년 전에서 5천년 전 사이에 총 100 m 규모의 지각상승이 일어난 것이다. 그리고 최근 몇 천년동안 이 지역은 침강을 겪으면서, 현재는 해안을 따라 transgression이 진행중이다.

5. 탐사 방법 및 자료 획득

5.1 탐사 방법 개요

이번 연구에서는 side-scan sonar를 사용하여 자료를 획득하였고, 자료처리과정을 걸쳐 해저면 상태를 영상화하였다. 해저면 side-scan sonar는 제 2차 세계대전 당시 잠수함의 위치를 찾기 위해 만들어진 ASDIC (Anti-submarine Detection Investigation Committee) 시스템에 그 기반을 두고 있다. 1950년대에 영국의 해양

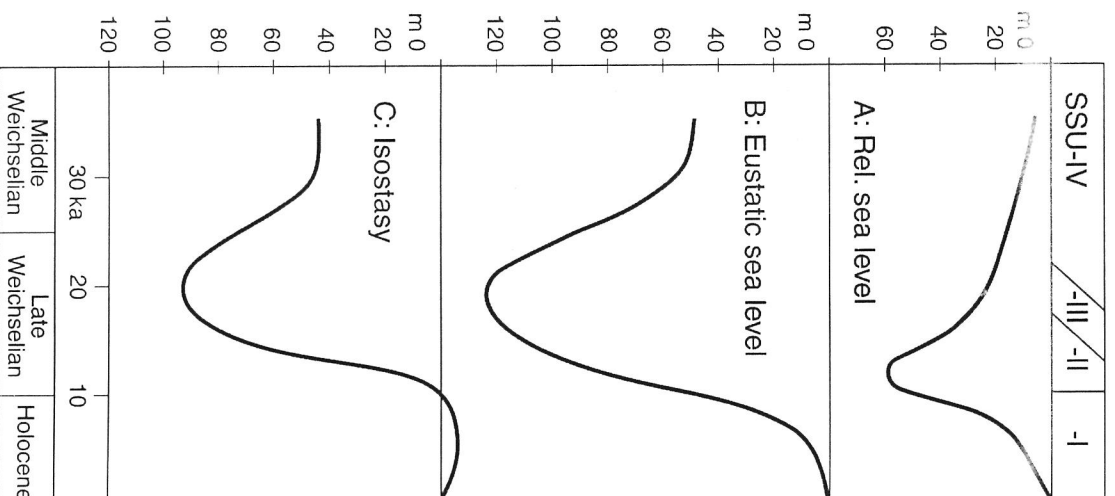


Fig. 3 (A) Inferred relative sea level curve for the southern Pechora Sea for the last 35 ka. (B) Eustatic sea level curve. (C) The isostatic curve when (B) is subtracted from (A).

연구소(National Institute of Oceanography)의 한 연구진이 수백 미터의 거리의 해저면에서 그 모양이나 위치를 결정할 수 있는 방향음을 만들어 내는 것을 알아내고 대륙붕을 연구하기 위한 도구로서 그 잠재력을 연구하였다(Belderson *et al.*, 1972). 그 후에 해양 지구물리와 해양 지질학의 연구 분야에서 소나가 다양하게 사용될 수 있는 방법과 기술들이 개발되었다. 1960년대 후반에는 GLORIA(Geological Long Range Inclined Asdic)라는 이원 스캔(dual-scan)기능을 갖추고 장거리와 심해를 측정할 수 있는 매우 발달된 기술들이 선보이기 시작했다(Laughton, 1981; Blondel and Murton, 1997).

하지만 side-scan sonar는 대륙붕이나 심해에서 광범위하게 사용되어왔다. 심해의 석유 개발과 다른 광물들을 개발하기 위한 경제적인 채광 유망처의 선정에 필요한 연구에 주로 사용되었다. 그 예로 미국에 인접한 해안선 370 km 이내의 지역(Exclusive Economic Zone)에서 GLORIA에 의한 조사가 시행 되었다(Cacchione *et al.*, 1988). 장거리와 심해 측정이 가능한 사이드 스캔 장치들은 심해 사면의 안정성 조사와, 원거리 통신에 사용될 케이블의 경로, 심해의 파이프라인 설치, 유독성 쓰레기의 매립지 선정 등에 사용되었다.

하지만 영상주사계의 원리는 송수신기의 양쪽으로 해저면을 가로질러 전해지는 음향에너지를 이용하여 해저면을 이미지화 하는 방법이다. 해저면 영상주사계의 특징은 Fig. 4와 Fig. 5에서 나타나듯이, 전통적인 음향 측심기(echo-sounder)가 콘 모양으로 전파를 발생하는 것과는 다르게, 선체에 평행하게는 (fore-and-aft) 좁고 ($1^{\circ} \sim 2^{\circ}$), 선체를 횡단방향 (athwart-ship)의 폭은 넓게 ($20^{\circ} \sim 40^{\circ}$) 발생한다. 에너지는 배에서 가까운 지역부터 먼 쪽으로 기록된다(Fig. 4). 소나 송수신 장치에서

방사된 짧은 파동은 배 아래의 해저와 후방산란에 의해 돌아오며 사방의 해저로부터 정반사되어 돌아온다. 파동의 길이는 음향 해상도와 원하는 범위에 따라 수십에서 수백 $\times 10^6$ 초로 변한다.

소나 송수신 장치는 선체에 부착되거나 유선형으로 안정되게 견인된다. 소나의 범위는 광선의 각과 바닥으로부터 송수신기의 높이에 따라 달라진다. 광선 폭은 근해 조사의 경우 송수신기가 200 m 깊이의 표면근처에서 견일 될 때 0.35-0.75 km 범위를 갖게 되는 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 사이에 놓이게 된다. 이때 견인안정성은 신호표관과 진폭의 변동을 피할 수 있는 기본이 된다. 소나 송수신 장치는 높은 해상도의 결과를 얻기 위해 해저면 근처에서 견인되며, 대개 송수신기의 높이를 필요한 범위의 10% 정도로 해저면과 유지하면서 견인되어야 한다.

5.2 자료 획득 및 처리

이변 연구에서 사용한 획득변수는 축선의 swath가 진행방향의 양쪽으로 각각 73 m이며 해수의 속도를 1470 m/s, 사용한 주파수는 30 kHz이다. 총 35개 축선(Line 1-Line 38, 이중 Line 25, Line 29, Line 36는 자료를 획득하지 않은 축선이다. 축선의 길이는 약 7 km이며 Line 1부터 Line 6은 다른 축선들에 비해 약간 더 긴 축선이다. 전체 연구지역의 넓이는 37 km^2 이다.

Fig. 6은 이변 연구에서 획득한 축선들의 위치와 전체적인 영상화 그림을 나타낸 그림이다. 북극에는 탐사측선들의 지체한 영상을 첨부하였다. 전체 축선을 5개의 그룹을 나누고 다시 축선방향을 따라 북동쪽에서 남서쪽으로 4 개의 부분으로 나누어서 제시하였다. A 그룹은 Line 1-Line 7, B 그룹은 Line 8-Line 14, C 그룹은 Line

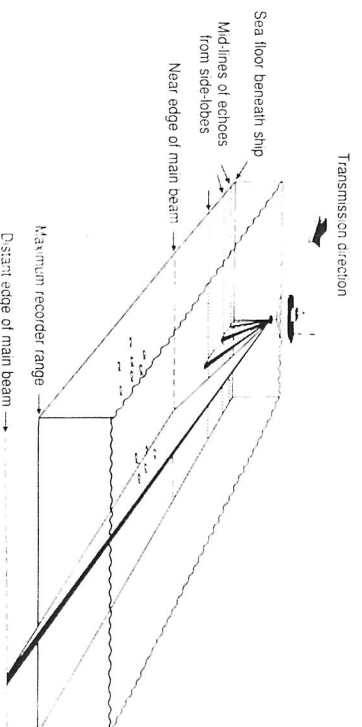


Fig. 4 Schematic diagram showing the beam pattern of a sidescan sonar transducer.

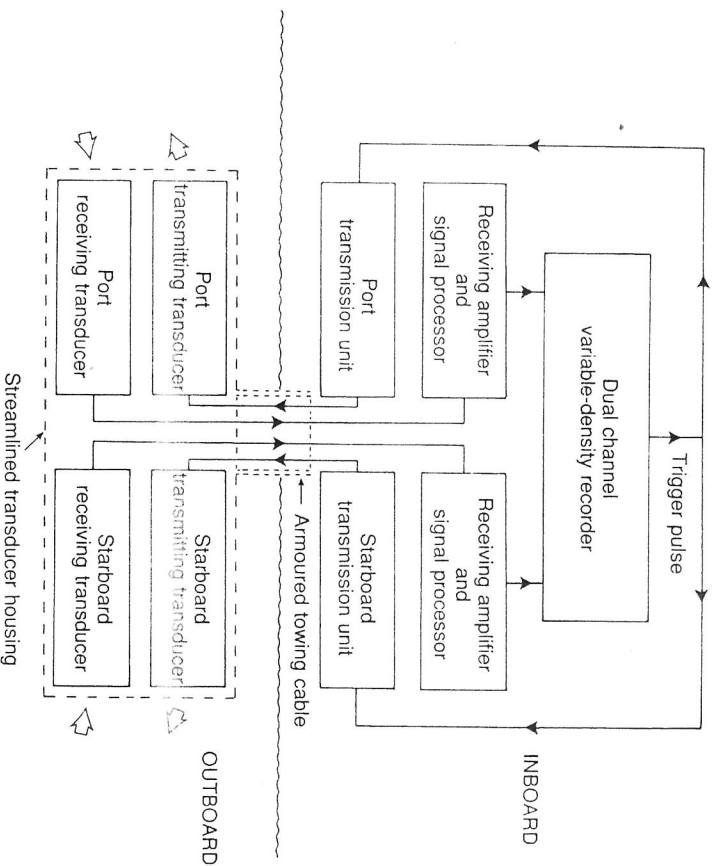


Fig. 5 The principal components of a sidescan sonar system.

15-Line 21, D그룹은 Line 22-Line 28, 그리고 E그룹은 Line 29-Line 38이 속한다.

6. 연구결과

6.1 해저식물군 분포

Side-scan sonar 해저음향영상은 해저면의 대질에 따라 반사강도에서 차이를 나타내기 때문에 대규모의 군락을 이루고 있는 해저식물군들을 뚜렷한 영상으로 볼 수 있다. 연구지역 전체의 영상을 보여주는 Fig. 6에서는 밝은 색으로 나타나는 해저식물분포지를 뚜렷하게 볼 수 있다. 연구지역 남쪽 지역과 북동쪽 가장자리 지역에 분포한다. 특히 남동지역에는 상당히 넓은 면적을 차지하고 있는 가장 큰 분포지 A의 경우, Line 1에서 Line 16번에 걸쳐 나타나며, 남-북 방향으로 2400 m, 동-서 방향으로 1200 m의 면적을 보인다. 분포지 B도 상당히 분포이지만, C와 D는 축선의 가장자리에 위치하여 전체적인 규모는 알 수 없다. Fig. 7은 해저식물군을 보여주는 자세한 side-scan Sonar 그림이다. 이 해저식물의 종류에 대해서는 해양 생물분야의 연구가 필요하다.

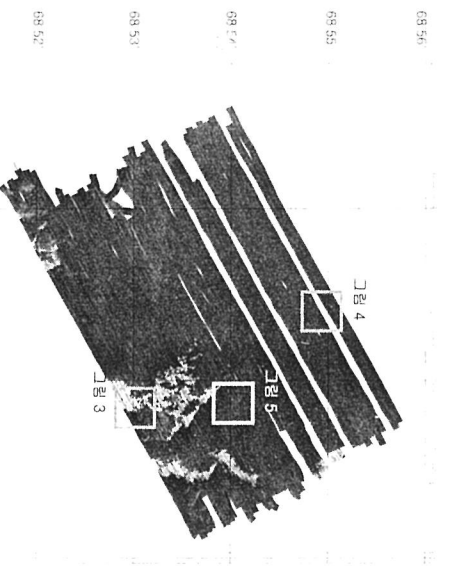


Fig. 6 Mosaic of side-scan sonar sonograms of the study area. Small boxes indicate the location of Figs. 7, 8 and 9.

6.2 해저 구조선

연구지역의 해저 바닥에는 크고 작은 규모의 다양한 구조선들이 나타난다(Fig. 8). 대부분 동계기간동안에 빙산들이 바닥을 스키면서 만들어 낸 것이다. 매우 불규



Fig. 7 A side-scan sonar sonogram showing large-scale marine plant community (white) in the study area.

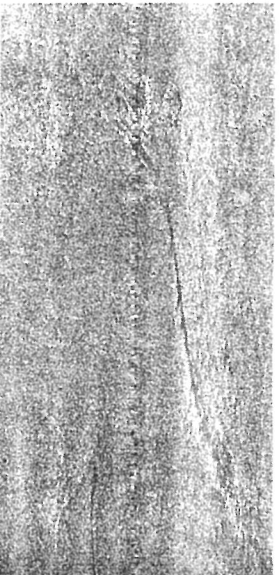


Fig. 8 A side-scan sonar sonogram showing a lineament made by Iceberg movement.

직한 선구조 형태를 보이는 것들이 많지만, 일부 특정한 주향의 구조선들이 상당히 넓은 면적에 걸쳐 연장되는 모습을 볼 수 있다. 이런 빙상 이동에 의한 해저면 구조선의 형태와 분포는 유전시설 및 항만을 건설할 때 필요한 정보로서, 이를 획득하는 것이 이번 탐사의 러시아 측 연구자들이 수행하는 탐사의 주요 목적중의 하나이다.

남동쪽 지역보다 해양쪽인 북서쪽 지역으로 가면서 구조선이 많이 나타나며 구조선의 길이가 길어지고 폭도 넓어진다. 특히 220°와 290°주향의 구조선이 가장 많이 나타난다.

220°주향의 구조선이 나타나는 축선은 다음과 같다. Line 10, Line 11, Line 13, Line 15, Line 16, Line 18, Line 20, Line 23, Line 24, Line 27, Line 28, Line 32, Line 33, Line 34, Line 35, Line 38, 또한 290°주향의 구조선이 나타나는 축선은 Line 12, Line 13, Lind 15, Line 19, Line 21, Line 23, Line 31, Line 32, Line 33, Line 34, Line 35, Line 38이다. 기타 250°의 구조선이 몇 개의 축선에서 관찰된다.

이 두 방향의 구조선은 주로 해류의 움직임을 반영한 것으로 빙상의 전진과 후퇴 방향을 지지하고 있다. 구조

선의 폭은 수 m에서 수십 m로 다양한데 해저면에 닿은 빙상의 크기에 따른 것이다.

6.3 Pockmark

일반적으로 pockmark는 해저면에 움푹 들어간 화구형태(crater-like)의 지형구조를 일컫는 명칭이다 (Hovland and Judd, 1988). 이런 pockmark는 예전의 단일 빙을 이용한 지층면 탐사자료로는 찾아내기 힘들었지만, 현재 개발된 Side-scan Sonar 자료에서는 쉽게 형상화되어 나타난다. 양질의 다중 빙 자료들이 많이 획득되면서 pockmark가 대륙주변부에 널리 발달되어 있는 일반적인 구조라는 것이 밝혀지면서, 최근 pockmark에 대한 관심이 높아지고 있다.

전형적인 pockmark는 가운데 중심부는 평탄하고 가장자리는 경사면을 형성하고 있는데, 최대 반경 300 m에 달하고, 12 m 미만의 깊이는 나타낸다. 하나 돌씩 띄엄띄엄 나타나는 경우도 있고, 광범위한 지역에 집단적으로 나타나는 경우도 있다(Kelley *et al.*, 1994). 이런 pockmark는 다양한 지역에 나타나고, 크기와 형태, 특성이 다르기 때문에 매우 다양한 기작에 의해 형성된다.

pockmark는 처음에 쇄설성 퇴적물로 구성된 해저면에 형성된 함몰대를 기술하기 위해 사용된 용어였다 (King and Maclean, 1970). 현재는 pockmark내의 퇴적층을 제거하거나 적어도 퇴적물이 침적되는 것을 방지하는 기작이 있는 경우에 pockmark라는 용어를 사용하고 있다. 이 구조는 주로 지층수나 가스의 분출에 의한 결과로 알려지고 있지만, 그 정확한 성인은 아직 잘 밝혀지지 않고 있다. 연구지역은 석유/가스 생산 유전이 부근에 분포하고 있어, 이런 구조가 석유/가스들의 이동경로들과 밀접한 관련이 있을 가능성이 높다.

연구지역에서는 탐사정비와 얻어진 자료의 질이 좋지 않아 pockmark의 명확한 형태를 보이지는 않는다. 그렇지만 많은 축선에서 유사한 형태의 구조들이 나타난다. 또한 이 지역이 높은 유기물을 함유한 해저지층으로 이루어져 있기 때문에 가스분출에 의해 pockmark가 형성될 수 있는 가능성이 높다. 실제로 연구 지역 부근에 여러 개의 가스전들이 가동되고 있다.

Fig. 9는 이번 탐사축선에서 나타나는 pockmark 구조의 예를 보여준다. 지형적인 높낮이는 뚜렷하지 않지만, 크기와 형태가 유사하고 주변에 비해 짙은 색깔을



Fig. 9 A side-scan sonar sonogram showing pockmarks (black) probably formed by fluid and/or gas discharge.

나타낸다. 이런 구조가 Line 17, Line 19 등에서 자주 관찰된다. 연구지역의 pockmark에 관해 보다 정확한 정보를 얻기 위해서는 정밀 지구물리 및 지구화학 탐사, 그리고 천부시추코어 자료가 필요하다.

7. 결 론

2002년 8월 북극해 해양조사사업의 일환으로 러시아 바렌츠해의 남동쪽에 위치한 페츠라해에서 Side-scan sonar 해저면 음향영상탐사를 실시하여 해저면 상태를 고찰하였다. 이는 북극해 지역에서 수행된 극지연구소의 첫 번째 지구물리탐사이기도 하다. 주요한 결론은 다음과 같다.

1. 연구지역은 유기물이 풍부한 질은 회색의 표층 퇴적층으로 형성된 수심 11 m-16 m의 천해지역이다. 남쪽 지역과 북동쪽 가장자리 지역에 분포한다. 특히 남동지역에는 상당히 넓은 면적을 차지하고 있는 가장 큰 분포지 A의 경우, Line 1에서 Line 16번에 걸쳐 나타나며, 남-북 방향으로 2400 m, 동-서 방향으로 1200 m의 면적을 보인다.
2. 해저면에 닿은 빙상 이동에 의해 형성된 해저면 구조선이 잘 발달되어 있다. 남동쪽 해안지역보다 북서쪽 해양쪽으로 가면서 구조선의 빈도가 증가하고 구조선의 길이와 폭이 증가한다. 연구지역의 중앙부에서 북쪽 지역까지 넓은 지역에 걸쳐 직선형태로 연장되는 220°와 290°주향의 선구조선이 가장 뚜렷하다. 이는 빙산들이 서남서-동북동과 서북서-동남동 방향을 따라 이동하였음을 시사한다.
3. 가스나 지층수가 해저로 분출되면서 생기는 구조인 pockmark가 극부지역에서 다수 관찰되었다. 이 지역에 나타나는 높은 유기물 함유량의 해저퇴적층은 이런 pockmark 형성이 이 지역의 분포하는 석유/가스 시스템과 관련되었을 가능성을 시사한다. pockmark들의 반사특성이 뚜렷하지 못하고, 극부

적인 출현 때문에 정확한 분석을 위해서는 보다 상세한 탐사가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- Eidvin, T. and Riis, F., 1989, Nye dateringer av de tre vestligste borehullene i Barentshavet. Resultater og konsekvenser for den tertiære hevingen. NPD Contrib., 27, Norwegian Petroleum Directorate, Harstad.
- Gataullin, V., Mangerud, J., Svendsen, J.I., 2001, The extent of the Late Weichselian ice sheet in the southernmost Barents Sea. *Global and Planetary Change*, 31, 453-474.
- Hovland, M. and Judd, A.G., 1988, Seabed Pockmarks and Seep-ages. Graham and Trotman, London, 292 pp.
- Kelly, J.T., Dickson, S.M., Belknap, D.F., Barnhardt, W.A. and Henderson, M., 1994, Giant sea-bed pockmarks: Evidence for gas escape from Irbetast Bay. *Mar. Geol.*, 22, 59-62.
- King, L.H., MacLean, B., 1970, Pockmarks on the Scotian Shelf. *Geol. Soc. Am.*, 3141-3148.
- Lembeck, K., 1996, Limits on the areal extent of the Barents Sea ice sheet in Late Weichselian time. *Global and Planetary Change*, 12, 41-51.
- Mangerud, J., Svendsen, J.I. and Astakhov, V.I., 1999, Age and extent of the Barents and Kara ice sheet in Northern Russia. *Boreas*, 28, 46-80.
- Mangerud, J., Astakhov, V. and Svendsen, J.I., 2002, The extent of the Barents-Kara ice sheet during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 21, 111-119.
- Mann, S.B. and Thorsen, T., 1978, Rank of coal and dispersed organic matter and its geologic bearing in the Spisbergen Tertiary. *Nor. Polarnist. Arbok*, 1977, 159-177.
- Nevochnov, Yu.P., Semenov, G.A., Sharov, N.V., Ylioniemi, J., Kommiahoh, K., Luosto, U. and Heikkinen, P., 2000, Comparison of the crustal structures of the Barents Shield from seismic data. *Tectonophysics*, 321, 429-447.
- Nyland, B., Jensen, L.N., Skagron, J., Skarpen, O. and Vorren, T., 1992, Tertiary uplift and erosion in the Barents Sea: magnitude, timing and consequences. In: R.M. Larsen (ed.), *Structural and Tectonic mOdelling and its Application to Petroleum Geology*. Elsevier, Amsterdam.
- Rasmussen, E. and Fjeldskaar, W., 1996, Quantification of the Pliocene-Pleistocene erosion of Barents Sea present-day bathymetry. *Global and Planetary Change*, 12, 119-133.
- Sakoulina, T.S., Telegin, A.N., Tikhonova, I.N., Verba, M.L., Marveev, Y.I., Vinnick, A.A., Kopylova, A.V. and Dvornikov, L.G., 2000, The results of deep seismic investigations on geotransverse in the Barents Sea from Kola peninsula to Franz-Joseph Land. *Tectonophysics*, 329, 319-331.
- Vorren, T.O., Leebshy, E., Andreassen, K. and Larsen, K.-B., 1989, Glacigenic sediments on a passive continental margin as exemplified by the Barents Sea. *Maring Geology*, 85, 251-272.