Korean Journal of Polar Research
Vol.1, No.1, p. 19-26, June 1990

3.5 kHz 음향기록을 이용한 King George 섬 Maxwell 만의 해양지질

최동림 · 남상헌* · 오재경**
해양연구소 해양지구물리연구실
*해양연구소 극지연구실
**인하대학교 해양학과

Marine geology of the Maxwell Bay in King George Island by using 3.5 kHz seismic profiles

Dong Lim Choi, Sang Heon Nam *, and Jae Kyung Oh **
Marine Geophysics Lab., KORDI
** Polar Research Lab., KORDI*
*** Department of Oceanography, Inha University*

요약 : Maxwell 만은 빙하침식작용을 받아 형성되 전형적인 U 자형의 Fjord 해저지형을 갖는다. 조사해역은 3.5 kHz 탄성파 자료의 분석을 통해 특징적 지질양상을 갖는 4개 지역으로 구분할 수 있다. (1) 연안지역의 기반암이 거의 노출된 불규칙한 해저지형. (2) 만안쪽에 발달한 일부 소규모 분지들의 불연속 반사층리(discontinuous reflectors)와 무층리(reflection - free) 내지 혼탁한 퇴적상(chaotic facies)의 빙하 퇴적층, (3) 사면을 따라 나타나는 포물선 음향(hyperbolic echo)과 함께 내부구조 식별이 거의 불가능한 퇴적상의 사태 및 질량류 퇴적층 그리고 (4) 해저분지내의 정합적인 수평층리 퇴적층리(conformable well - stratified reflectors)의 저탁류 퇴적층이 발달해 있다.

질량류 퇴적작용으로 육지에서 주로 유입된 빙하 퇴적물은 급사면을 통해 해저분지로 이동하면서 공급되는 것으로 판단된다.

주요어 : 피요르드 지형, 질량류 퇴적과정

Abstract : The Maxwell Bay shows a typical U - shaped Fjord topography formed by glacial erosion.

The study area can be divided into four zones according to geologic patterns recognized in 3.5 kHz seimic profiles as follows, (1) very rugged and acoustically opaque in the shelf, suggesting exposure of crystalline basement with probable thin or intermittent sediment cover, (2) unsorted glacial deposits represented by discontinuous and chaotic facies or reflection - free facies in the small basins, (3) slide / mass flow deposits characterized by hyperbolic echo with indiscernible layers in the sediment along the steep slope and (4) turbidites deposits characterized by conformable, well - stratified reflectors in the central basin.

Sediment supply to the central basin may be transported downslope by mass flow processes.

Key words : fjord, mass flow processes

서 론

우리나라 남극 전진기지인 세종기지는 King George 섬의 Barton 반도에 설치되어 있어 주변 육상지질뿐만 아니라 해양조사에 대한 필요성이 강조되었다. 따라서 1988년 2월중 남극 과학기

지 주변 환경조사의 일환으로 육상 및 해양탐사가 실시되어 자료들이 획득되었다(KORDI, 1988).

세종기지가 설치되어 있는 King George 섬을 포함한 Seouth Shetland 군도는 초기 쥬라기에서 마이오세 사이 태평양판이 남극 대륙판 밑으로 침강(subduction)하면서 생성된 열도이며, 열도후면에는 South Shetland 군도가 남극 반도로부터 분리되면서 형성된 배호상 분지(back-arc basin)인 Bransfield Trough가 발달해 있다(Arias, 1988)(Fig. 1). 연구해역인 Maxwell 만은 King George 섬의 북서쪽 Fildes 반도와 북동쪽 Weaver와 Barton 반도 그리고 남서쪽의 Nelson 섬으로 둘러쌓여 있고 남동쪽으로는 Bransfield 해협과 연결되어 발달해 있다.

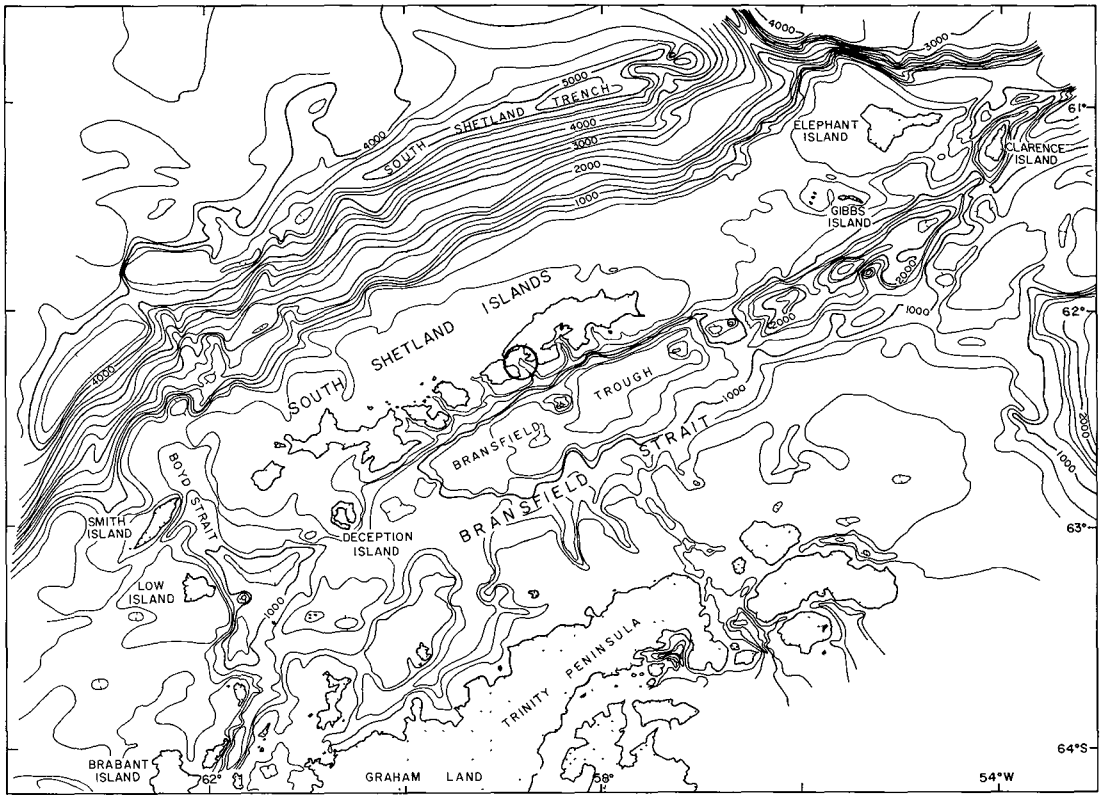


Fig. 1. Physiographic map of the surrounding South Shetland Islands with the location of the study area (circled area).

조사 방법은 1988년 2월 14일부터 15일까지 Maxwell 만에서 NE-SW 방향의 5개 측선과 NW-SE 방향의 2개 측선의 총 측선 거리 약 77 km에 대해 3.5 kHz 해저지층탐사를 실시, 자료를 획득하였다(Fig. 2). 탐사장비는 O. R. E.(Ocean Research Equipment)사에서 제작한 3.5 kHz subbottom profiling system을 사용하였고, 조사선은 칠레에서 용선한 Cruze de Froward 호이며, 측선의 위치 측정을 위해 radar가 이용되었다. 항해 속도는 5 knots를 유지하려고 노력하였으나 강한 바람과 해류 등에 의해 항해 속도가 일정치 않았음을 밝혀둔다.

연구의 목적은 3.5 kHz 음파탐사기록을 분석하여 조사해역의 해저지형 특성과 퇴적물 분포 양상 및 퇴적물 공급과정에 대해 논하고자 한다.

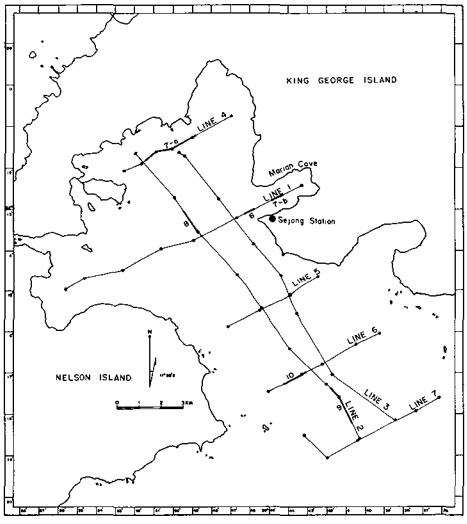


Fig. 2. A map showing ship's track for 3.5 kHz profiler. Heavy lines with numbers and letters correspond to figure numbers.

해저지형

조사해역을 포함하는 South Shetland 군도를 중심으로 남서쪽의 Smith 섬과 Low 섬, 북동쪽의 Elephant 섬과 Clarence 섬, 그리고 남쪽의 Trinity 반도가 수심이 깊은 해협 및 해구들과 함께 발달해 있다(Fig. 1). Bransfield 해협은 South Shetland 군도와 Trinity 반도사이에 위치하며 2000 m 이상의 수심과 함께 북동-남서 방향으로 길게 발달해 있으며 Smith 섬과 Low 섬 사이에는 Boyd 해협이 거의 남-북 방향으로 위치해 있다. 특히 South Shetland 군도의 북서 해협에는 South Shetland 해구가 최대 5000 m 이상의 수심을 보이면서 북동-남서 방향으로 길게 발달해 있다.

북서-남동 방향으로 약 18 km 장축과 북동-남서 방향의 약 10 km 횡단폭을 갖은 조사해역인 Maxwell 만은 King George 섬과 Nelson 섬으로 둘러 쌓이고, 남동쪽 Bransfied 해협을 향해 열려 있는 만을 형성하고 있다. 수심은 해안에서 만 중심부로 갈수록 깊어져 최대 500 m 이상의 수심이 북서-남동 방향으로 발달해 있다(Fig. 3). 해안에서 수심 200 m 까지는 불규칙한 해저지형을 나타내며 비교적 완만하게 깊어진다. 특히 내만쪽의 해저지형은 심한 기복을 가진 불규칙한 해저면이 수심 200 m 내외에서 분포한다. 이어서 수심이 대략 400 m 까지의 해저지형은 만의 중심을 향해 급한 경사를 이루며 깊어진다. 이 사면의 경사도는 북동측 사면에서 약 11°-14°, 남서측 사면에서 약 13°-38°의 구배 범위를 보이면서 급격히 깊어진다. 북동측 사면과 남서측 사면의 구배를 비교해 보면 남서측 사면이 보다 급한 경사도를 보이며, 또한 내만쪽 사면에서 외만쪽 사면으로 향하면서 좀 더 급한 경사의 사면이 발달해 있다. 급사면 해역을 지나 만 중심부의 최대 500 m 수심값을 보이는 해역은 북서-남동 방향성의 평탄한 해저지형으로 나타난다.

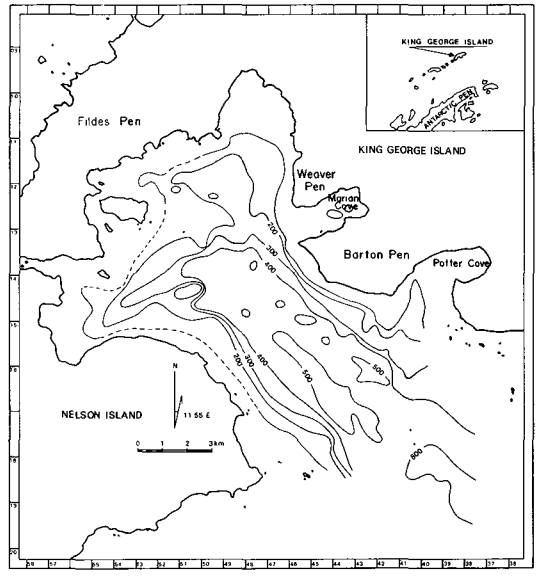


Fig. 3. Bathymatric contours of the Maxwell bay (depth in meters).

지층구조 해석

연구해역의 3.5 kHz 음파 기록을 분석하여 NE-SW 방향(Line 4, 1, 6, 5, 7, Fig. 4)과 NW-SE 방향(Line 2, 3, Fig. 5)의 단면도 작성을 통해 전반적인 해저지형과 퇴적층

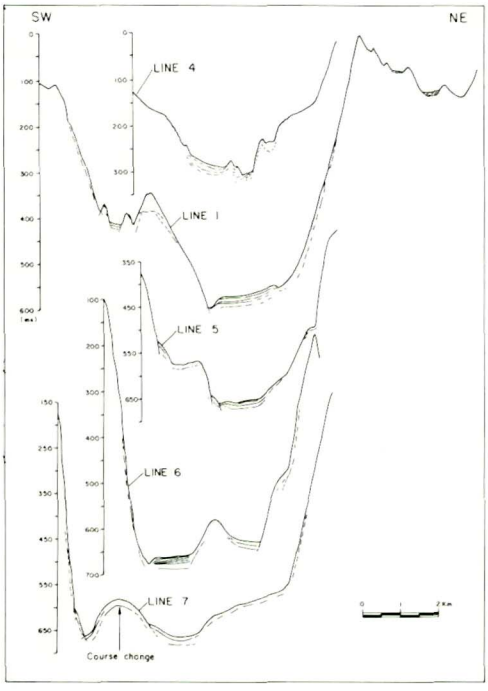


Fig. 4. Interpreted sections of NE - SW survey lines in the Maxwell Bay.

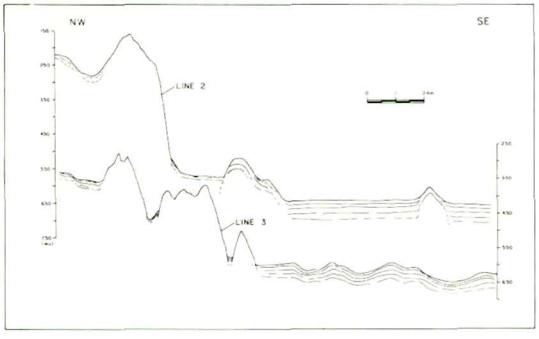


Fig. 5. Interpreted sections of NW - SE survey lines in the Maxwell Bay.

의 특성이 파악되어 졌다.

수심이 대략 200 m 미만의 천해해역은 기반암이 노출되었거나 퇴적물이 일부 얇게 덮여 있는 매우 불규축한 해저면이 발달해 있으며 이로 인해 포물선 음향(hyperbolic dcho)이 우세하게 나타난다(Fig. 6).

Maxwell 만의 북서쪽 내만을 지나는 측선들(Line 4, 2, 3)의 단면도상에는 국부적으로 규모가 작은 함몰된 지형이 나타난다. 이들 소규모 분지에는 불연속적이고 혼탁한 퇴적상(discontinuous and chaotic facies)이 우세하며 부분적으로 포물선 음향의 퇴적층이 보인다(Fig. 7- a). 특히 Marian Cove를 지나는 측선(Line 1)에서는 기반암위에 불연속 반사층리와 더불어 무층리 퇴적상(reflection - free facies)의 퇴적층이 약 4 m 두께로 퇴적되어 있다. (Fig. 7- b).

해저분지를 향해 사면이 비교적 급하게 발달되어 있는데 이 사면을 따라 분포하는 퇴적층은 비교적 간단하게 포물선 음향과 함께 내부층리 구조가 거의 보이지 않면서 기반암을 sheet flow 양상으로 덮으며 발달해 있다(Fig. 8). Maxwell 만내의 남서측 Edgell 만에 위치하는 사면의 해저지형은 기복이 나타나며, 융기된 기반암위와 기반암 사이 골에는 퇴적물이 쌓여있다.

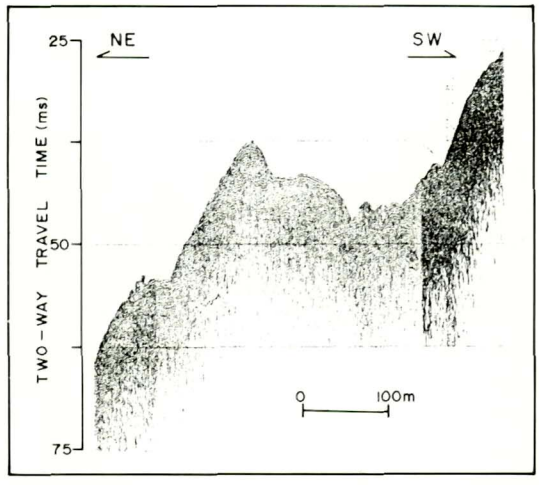
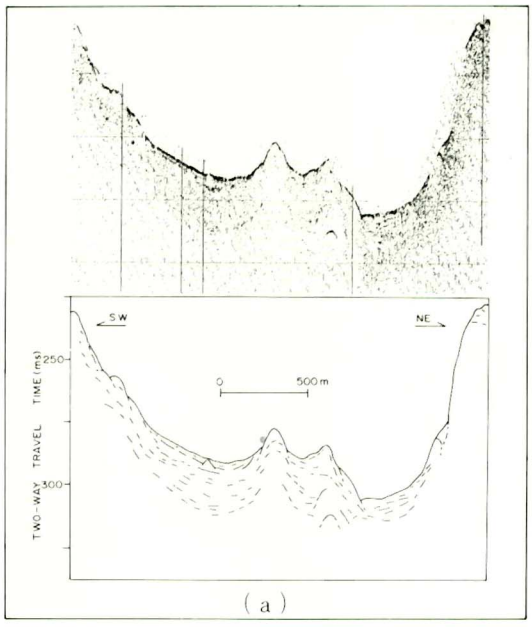


Fig. 6. 3.5 kHz profile showing the rugged bottom topography by glacial erosion.

이어서 평탄한 해저면의 해저분지에는 정합적이고 연속적인 평행한 반사층의 수평층리(conformable well - stratified layers)퇴적상(Fig. 9)을 갖은 퇴적층이 약 30 m 의 두께로 넓게 분포한다. 그러나 Line 3에서는 부분적으로 hummocky 한 해저지형을 보이며 수평층리 퇴적층은 drape 퇴적양상으로 퇴적되어 나타난다.

남서측 사면 하부 지역과 해저분지가 접하는



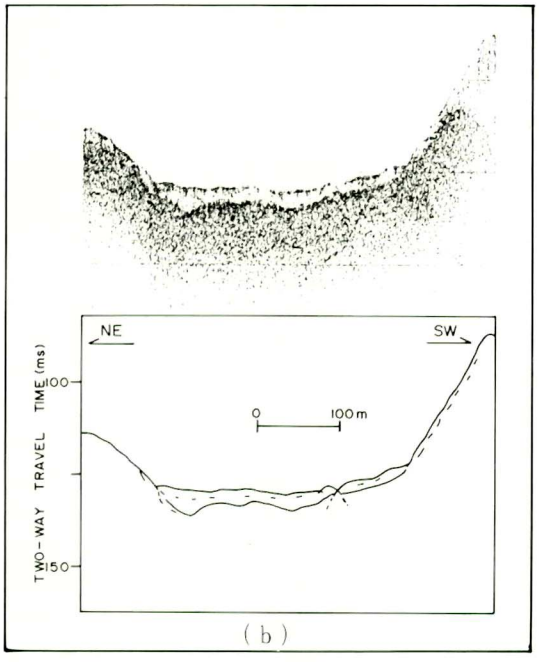


Fig. 7. 3.5 kHz profiles with line-drawing interpretation of the inner bay (a) and Marian Cove (b) showing discontinuous, partly reflection-free, and chaotic reflections pattern interpreted as unsorted glacial deposits.

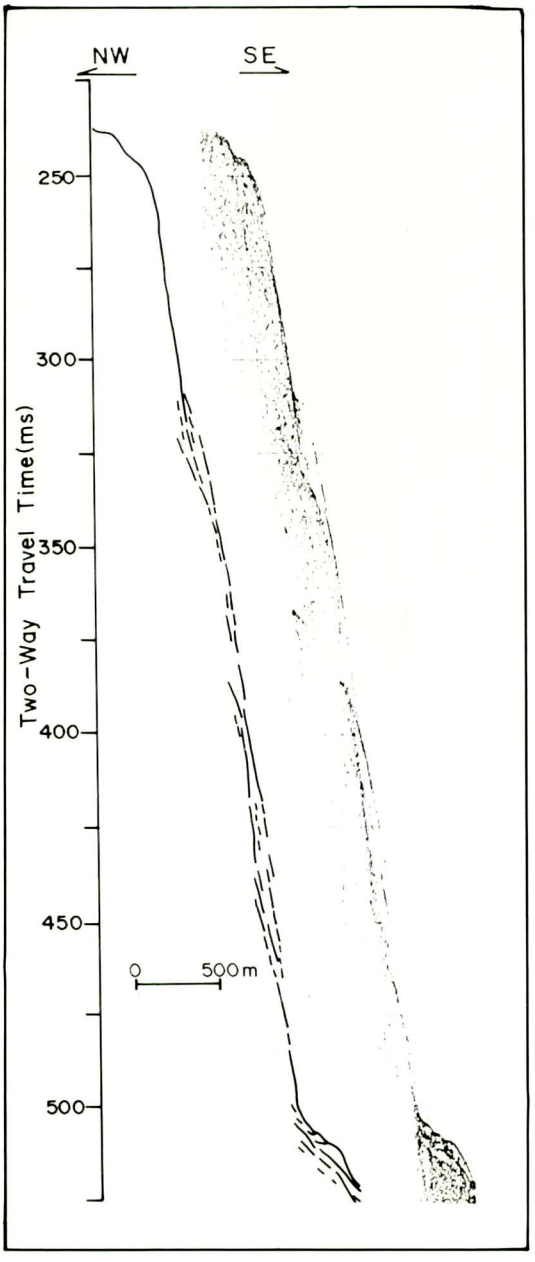


Fig. 8. 3.5 kHz profile with line-drawing interpretation showing sheet flow pattern of slides and mass flow deposits along the steep slope.

해역에 해저수로 구조(channel)(Fig. 10)가 북동-남서 방향의 대부분 측선에서 볼 수 있는 바

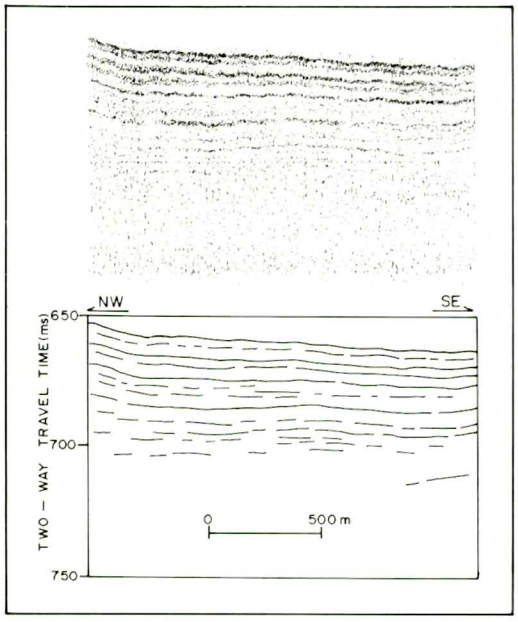


Fig. 9. 3.5 kHz profile with line-drawing interpretation showing conformable, parallel, and well-stratified reflectors interpreted as turbidites.

이는 해저류의 침식작용에 의해 형성된 것으로 사료된다. 해저수로의 규모는 대략 300m 의 폭과 15 m 의 깊이로 북서-남동 방향으로 발달해 있다.

결과 및 토의

Maxwell 만은 단면도상을 통해 전반적으로 U 자형의 해저곡이 나타난다. 이러한 모양은 고위도 지역의 대륙붕 해역에서 발달한 전형적인 Fjord 지형(Embleton and King, 1975; Syvitski et al., 1987)과 유사하다. 특히 조사해역을 포함한 남극대륙 주변 대륙붕은 평균 수심이 약 450 m 로서 (Anderson et al., 1983), 빙하 침식작용에 의한 불규칙한 해저지형과 함께 깊은 계곡 모양을 이룬 해저곡(trough)이 해안선과 평행 또는 횡단하면서 많은 곳에 발달해 있다 (Anderson et al., 1979; Wright and Anderson, 1982).

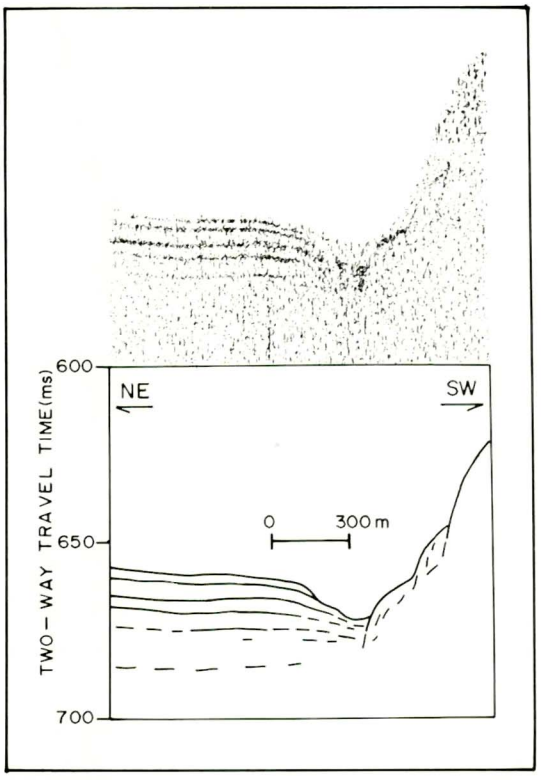


Fig. 10. 3.5 kHz profile with line-drawing interpretation showing well-stratified sequences (left) and trubidites channel eroded by turbidites current.

3.5 kHz 탄성파 기록의 음향분석을 통해 조사해역인 Maxwell 만내에 퇴적되어 있는 천부지층 퇴적물 분포 양상을 도시화(Fig. 11)하였다.

해안선에서 수심이 대략 200 m 내외의 해역에는 거의 노출된 해저 기반암이 불규칙한 해저지형을 보이며 발달해 있다. 해저기반암은 주변육상에 분포하는 화산암, 퇴적암 그리고 심성 관입암체 등으로 구성되어 있을 것으로 사료된다 (Smellie, 1983). 그러나 일부 해역에는 빙하퇴적물이 결정질 기반암위를 얇게 피복화였을 것으로 판단된다. Marian Cove 와 조사 해역내 북서측 내만쪽의 함몰된 지역에는 불연속 반사층리와 함께 부분적으로 무층리 내지 혼탁한 퇴적상이 나타난다. 이 지역에 쌓인 퇴적층은 니질과 자갈들이 서로 혼합되어 조성된 분급이 불

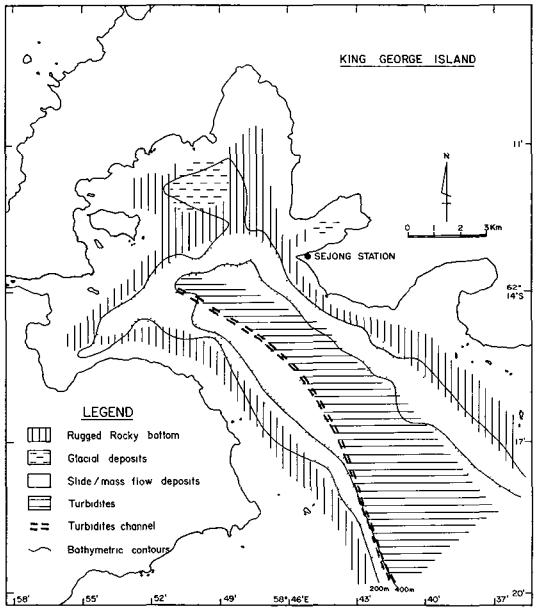


Fig. 11. Areal distribution map of typical geologic features by acoustic characteristics

량한 빙하 퇴적물로 추측된다. 약 200 m 수심해역을 지나 갑자기 급경사를 이루는 급사면에는 기반암 상부를 얇게 덮은 퇴적층이 나타난다. 이 퇴적층은 포물선 음향과 함께 내부 구조가 거의 보이지 않은 혼돈된 퇴적상을 보이며 해저 분지를 향해 흘러 내리는 sheet flow 퇴적양상의 질량류 퇴적층으로 발달해 있다. 이어서 해저분지에는 거의 평탄한 해저면과 함께 정합적이고 연속 반사층리를 갖는 수평층리 퇴적상의 저탁류 퇴적층이 약 30 m의 두께로 발달해 있다. 저탁류 퇴적층 하부에도 상당량의 빙하퇴적물이 있을 것으로 기대되며, King George 섬 주변해역에 위치한 2개만에서 퇴적물이 160 m 정도의 두께로 퇴적되어 있음이 보고되었다(Syvitski et al., 1987).

Maxwell 만으로 유입되는 퇴적물은 하계동안 얼음이 녹으면서 형성된 meltwater stream에 의해 운반되는 퇴적물과 비교적 수심이 낮은 해역에 남아 있는 빙하퇴적물이 주를 이룰 것으로 보이며, ice-rafted sediments가 일부 유입될 것으로 생각된다. 만내로 공급된 퇴적물은 급경사를 이룬 사면을 따라 질량류 퇴적물에서 해저분지에 이르면서 저탁류 퇴적물로 점차 변하는 질량류 퇴적작용이 발생한 것으로 사료된다.

질량류 퇴적작용 과정들은 해수면 하강시기의 파랑운동과 해안으로 부터 유입된 빙성쇄설퇴적물이 급사면에 퇴적되면서 자체하중에 의한 중력류가 발생, 중앙분지로 흘러 내린것으로 사료되며, 또한 Bransfield Trough의 확장과 관련한 화산활동에서 부터 플라이오세 이후 최근 Deception 섬에서의 몇차례 발생한 화산활동(Gonzalez-Ferran, 1982; Baker et al., 1975)에 의해 생긴 지진파 충격이 일부 원인으로 생각된다. 남극 대륙붕내 특히 국부적으로 함몰된 해저곡과 대륙사면을 따라 질량류 퇴적작용에 의한 질량류 퇴적물과 저탁류 퇴적층이 많은 곳에서 발견되고 있다(Anderson et al., 1979; Kurtz and Anderson, 1979; Anderson et al., 1982).

저탁류 퇴적층이 넓게 발달한 해저분지에는 저탁류 해류의 침식작용에 의해 생성된 것으로 판단되는 해저수로가 발달해 있다. 이 수로는 대략 300 m 폭과 15 m 깊이의 규모를 갖으며 북서-남동 방향으로 발달해 있다. 이는 해저분지에 저탁류 해저류가 존재함을 시사한다.

이상은 요약해 보면, 조사해역인 Maxwell 만은 빙하침식작용을 받아 생긴 불규칙한 해저면과 함께 U자형의 해저지형을 보이는 전형적인 빙하침식 해저곡(trough)으로 판단된다. 퇴적물 분포양상은 기반암이 거의 노출된 일부 천해해역을 제외하고 만내에 다음과 같은 퇴적층이 분포한다.

1) 만 안쪽의 일부 함몰된 지역에서의 불연속 반사층리(discontinuous reflectors)와 함께 무층리(reflectoin-free) 내지 혼탁(chaotic)한 퇴적상의 분급이 불량한 빙하퇴적층.

2) 분지의 급사면을 따라 포물선 음향(hyperbolic echo)과 더불어 내부구조가 거의 보이지 않은 퇴적상의 사태 및 질량류 퇴적층.

3) 분지내 거의 평탄한 해저면 하부에 나타나는 정합적인 수평층리(conformable well-stratified reflectors) 퇴적상의 저탁류 퇴적층.

해저분지로의 퇴적물 공급은 육지에서 주로 유입된 빙하 퇴적물이 급사면을 따라 분지에 이르면서 발생하는 질량류 퇴적작용에 의해 이루

어 졌으며, 저탁류 해저류에 의해 형성된 수로가 북서-남동 방향으로 발달해 있다.

사 사

본 논문이 완성되는 데 있어 도면작성을 도와준 주 용씨와 유 인성씨 그리고 정성껏 타이핑을 해 준 송 혜순씨에게 감사드립니다.

참고문헌

Arias, L. E., 1988. Investigations on the Antarctic Peninsula as a Microplate. In : Huh, H. T., et al. eds., Antarctic Science : Geology & Biology, Proceedings of the 1st international symposium on Antarctic Science, KORDI, p. 73-84.

Anderson, J. B., D. D. Kurtz, and F. M. Weaver, 1979. Sedimentation on the Antarctic continental slope. In : Doyle, L. J. and O. H. Pilkey eds., Geology of continental slopes, SEPM Spec. Pub. 27, p. 265-283.

Anderson, J. B., D. D. Kurtz, F. Weaver, and M. Weaver, 1982. Sedimentation on the West Antarctic continental marggin. In : Craddock, C. ed., Antarctic Geoscience. Univ. of Wisconsin Press, Madison, Wisc., p. 1003-1012.

Anderson, J. B., C. Brake, E. W. Domack, N. Myers, and J. Singer, 1983. Sediment dynamics of the Antarctic continental shelf. In : Oliver, R. L., et al. eds., Antarctic Earth Science : Australian Academy of Science, Canberra, p. 387-389

Baker, P. E., I. McReath, M. R. Hervey, M. J. Roobol, and T. G. Davies, 1975. The Geology of the Soutth Shetland Islands. V. Volcanic Evolution of Deception Island. Brithish Antarctic Survey Scientific Reports. 78, Natural Environment Research Council, 81 p.

Embleton, C. and C. A. M. King, 1975. Glacial Geomorphology, Edward Arnold, 573 p.

Gonzalez - Ferran, O., 1982. The Antarctic Cenozoic volcanic provinces and thier implications in plate tectonic processes, In : Craddock, C. ed., Antarctic Geoscience. Univ. of Wisconsin Press, Madison, Wisc., p. 687-694.

KORDI, 1988. A study on natural environment in the area around the Korean Antarctic Station, Barton Peninsula, King George Island (Preliminary study), 382 p.

Kurtz, D. D. and J. B. Anderson, 1979. Recognition and sedimentologic description of recent debris flow deposits from the Ross and Weddell Seas, Antarctica. J. S. P. 49, p. 1159-1170.

Smellie, J. L., 1983. A Geochemical overview of subduction - related Igneous activity in the South Shettland Islands, Lesser Antarctica, In : Oliver et al. eds., Antarctic Earth Science. Australian Academy of Science, Canberra, p. 352-356.

Syvitski, J. P. M., D. C. Burrell, and J. M. Skei, 1987. Fjords : Processes and Products. Springer - Verlag, New York, 379 p.

Wright, R. and J. B. Anderson, 1982. The importance of sediment gravity flow to sediment transport and sorting in a glacial marine environment. Eastern Weddell Sea, Antarctica. C. S. A. B. 93, p. 951-963.