Korean Journal of Polar Research
Vol.2,No.2, p.73~85, December 1991

마리안 소만의 퇴적환경과 주변의 고빙하 분포상

홍성민, 박병권,* 윤호일, 김예동, 오재경**

한국해양연구소 극지연구센터
*한국해양연구소
**인하대학교 해양학과

Depositional environment in and paleoglacial setting around Marian Cove, King George Island, Antarctica

Sung-Min Hong, Byong-Kwon Park*, Ho-Il Yoon, Yaedong Kim, Jae-Kyung Oh**

Polar Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan, P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea
*Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan, P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea
**Department of Oceanography, Inha University, Inchŏn 402-751, Korea

요약 : 빙해양환경에서 퇴적된 마리안 소만의 시추퇴적물은 그라운딩 라인 바로 밑에서 퇴적된 하부층의 waterl ain till, underwater flow와 유빙의 덤핑작용에 의해 퇴적된 중간층의 interlaminated ice-proximal 퇴적물, 그리고 오늘날과 유사한 퇴적환경에서 형성된 상부층의 compound glacial-marine 퇴적물의 세가지 퇴적상으로 구분된다. 이러한 퇴적상들은 tidewater glacier의 retreat에 의해 형성된 것으로서 상부로 갈수록 퇴적율이 감소하는 특징을 보인다.

퇴적상 분석과 탄성파 자료에 의하면, 맥스웰만과 마리안 소만에 분포하는 빙하들은 위스콘신 빙하기 이후 남극대륙의 고기후 변화에 따라 그라운딩 라인의 수평적 변동을 수반한 것으로 사료된다. 즉 위스콘신 빙하기에 맥스웰만의 중앙 해저면은 grounding된 빙하들로 덮혀있었으며, 약 15,000-14,000년 전부터 빙하들이 retreat되면서 맥스웰만의 중앙 해저면에는 후빙하기 퇴적물이 평균퇴적율 200-214 cm/1,000년으로 퇴적되었다. 그리고 홀로세 초기에 적어도 현재의 위치까지 retreat된 마리안소만의 빙하는 홀로세 말기초에 소규모 기후변동에 의해 readvance된 후, 약 1,500년전부터 오늘날의 기후로 변화함에 따라 재차 retreat되면서 마리안 소만의 시추퇴적상이 형성된 것으로 사료된다.

주요어 : 빙해양 퇴적환경, 조수 빙하, 그라운딩 라인, 위스콘신 빙하기

Abstract : *Core sediments of Marian Cove is classified into three sedimentary facies deposited in the glacialmarine environment* : 1) waterlain till of the lower part, accumulated just below the grounding line, 2) interlaminated ice-proximal deposits of the middle part, formed by the combination of underwater flow and iceberg dumping, 3) compound glacial-marine sediments of the upper part, deposited at sedimentary en vironment similar to the present. These facies, toward the top, are characterized by the sequence of deposotional events formed by retreating tidewater glacier with decreasing accumulation rate.

The combined analysis of core facies and seismic profile obtained in the study area represents that the glaciers around Maxwell Bay and Marian Cove might have experienced the grounding line fluctuations with the climatic changes in Antarctica after the Wisconsin glacial period: grounded glaciers extended to the central basin of Maxwell Bay during the Wisconsin glacial period; as grounded glaciers began to retreat at about 15,000-14,000 yr ago, the central basin of Maxwell Bay became covered by postglacial sediments with an average sedimentation rate of 200-214cm/1,000 yr ; the glacier of Marian Cove, which retreated at least to the present position in the early Holocene, readvanced with minor climatic cooling in the beginning of the late-Holocene, and then was accompanied by subsequent recession in response to the climatic change into

current condition from 1,500 yr ago. As a result, core facies of Marian Cove was likely to be formed by the process of the glacier fluctuation described above.

Key words : glacial-marine sedimentary environment, tidewater glacier, grounding line, Wisconsin glacial period

서 론

킹죠지섬의 대부분은 중생대 말엽부터 신생대에 이르는 Island arc 화산활동에 의해 형성되었고, 브랜스필드 해협의 확장(extension)에 의한 화산활동이 플라이스토세말기 이후 계속되었다(Keller & Fisk, 1987, 1988). 빙하침식 작용에 의해 형성된 전형적인 피요르드인 맥스웰만은 폭 8Km, 길이 15Km, 평균수심 470m의 작은 만으로서, 해저면에서는 최근까지 계속된 단층작용의 흔적이 관찰되고 있다(Kim & Nam, 1991). 맥스웰만의 북동쪽에 위치한 마리안소만은 폭 1.5Km, 길이 3.5Km, 평균수심 100m 내외로 해안에는 해빈역들이 넓게 분포하고 있고(Fig. 1), 탄성파 탐사 자료에 나타나는 불규칙한 해저면은 박층의 퇴적물로 덮혀있다(Fig. 2). 맥스웰만의 연안과 마리안소만의 북동부에는 여러 source의 빙하들이 아남극 기후대에 속하는 기후적 조건에 의해 tidewater glacier의 형태로 평균 수심 80-120m 깊이에서 grounding 되어 있다(Fig. 1) (Anderson & Molnia, 1989 : Powell & Molnia, 1989 ; Orheim & Govorulkha, 1982).

남극대륙의 주위에 분포하는 여러 형태의 빙하들은

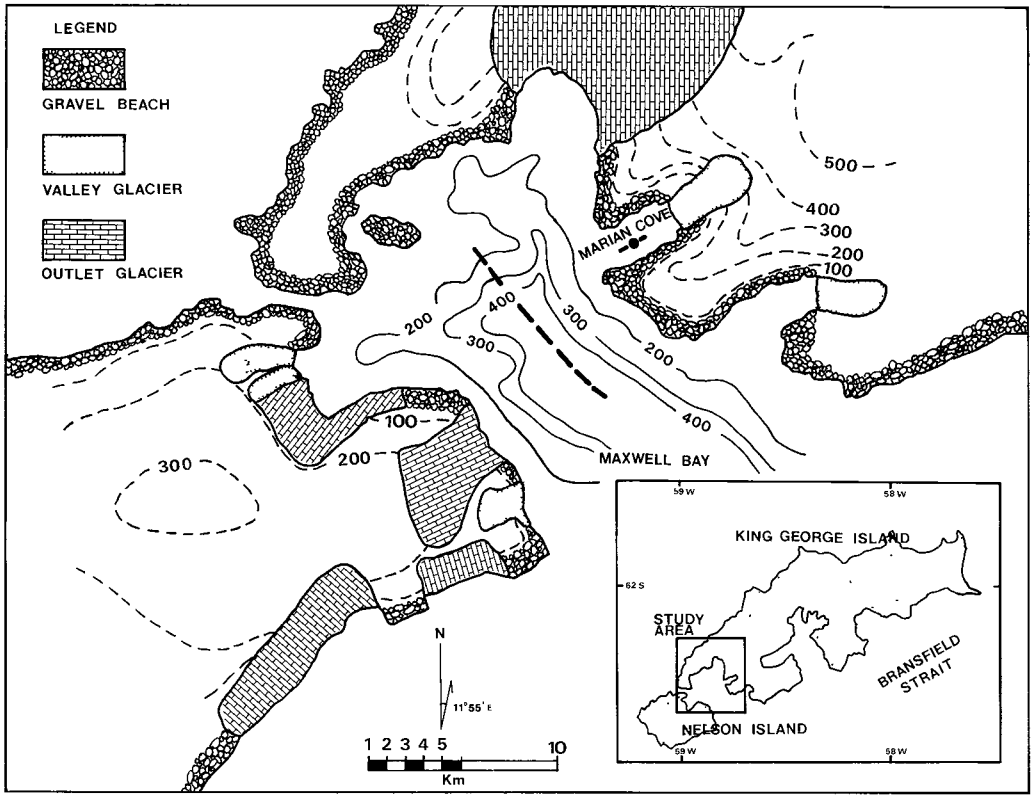

Fig. 1. A map showing the location of the seismic line (dashed and piston core (solid circle). Also shown are the glacial setting of the study area (from Griffith & Anderson, 1989).

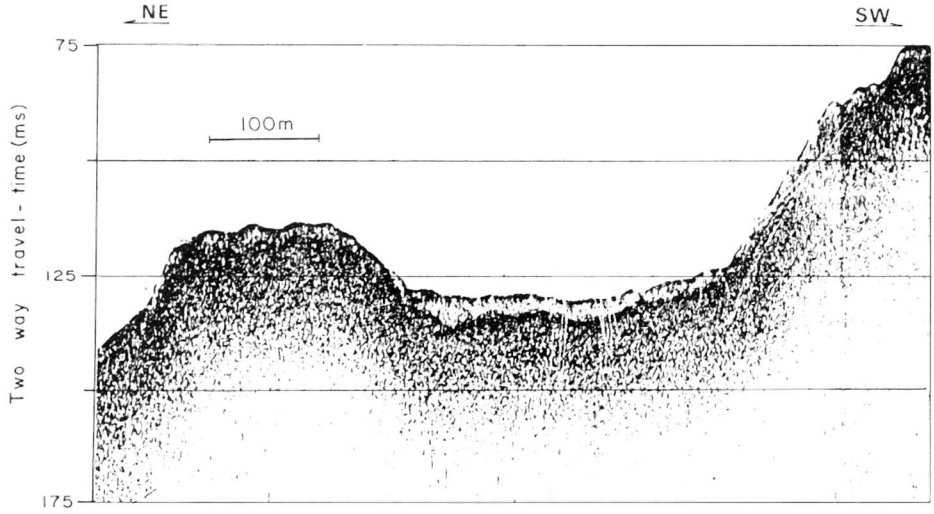

Fig. 2. 3.5kHz profile of Marian Cove showing smooth slope morphology on which thin sediments drape.

해양환경과 복합되어 다양한 빙해양(glacial-marine) 퇴적환경을 형성하고 있다(Anderson et al., 1980 ; Powell, 1984 ; Anderson & Molnia, 1989). 이러한 퇴적환경의 inner shelf 지역에서는 지난 100만년 동안 8－9번의 빙하기를 거치면서 grounding된 빙하들의 advance에 의한 침식작용이 반복되어 왔으며, 현재 C-14 연대추정 범위내에서 관찰되는 빙하침식작용의 현상들은 최근에 있었던 위스콘신(Wisconsin) 빙하기 이후의 흔적만을 남기고 있다(Elverhi, 1984 ; Ruddiman & Duplessy, 1985). 그러므로 맥스웰만과 마리안 소만 주위에 분포하는 빙하들도 위스콘신 빙하기 이후의 고기후 변동에 의해 수평적 분포의 변화를 수반하였다면, 그라운딩 라인(Grounding line)의 위치변동과 그에 따른 퇴적환경의 변화는 피요르드 내에서 채취한 코아퇴적물의 분석을 통해 접근할 수 있을 것이다(Domack et al., 1989). 그동안 남쉐틀랜드 군도의 빙해양 퇴적물과 퇴적작용, 그리고 퇴적환경을 규명하고 고기후 변동에 따른 빙하의 분포상을 밝히려는 연구는 계속되었지만(Sugden & John, 1973 ; Griffith & Anderson, 1989 ; Domack et al., 1989 ; Domack, 1989 ; Björck et al., 1991), 마리안 소만을 비롯한 맥스웰만의 빙해양 퇴적환경에 대한 연구와 고기후 변동에 따른 빙하분포 변화상을 규명한 연구는 전무하다.

본 연구는 마리안 소만에서 채취한 시추퇴적물의 퇴적상 분류를 통해 빙해양 퇴적환경을 규명하고, 맥수웰만과 마리안 소만에서의 고빙하 분포 변화상을 추정하여 전반적인 빙해양 퇴적물의 퇴적과정을 이해하고자 하였다.

재료 및 실험방법

본 연구는 남극 하계 연구계획의 일환으로 1988/89년에 실시하여 수집된 해양조사자료중 탄성파 탐사자료와 시추퇴적물 분석자료를 이용하였다.

탄성파 자료는 3.5kHz Boomer system을 사용하여 기록되었으며, 실험실로 운반된 시추퇴적물은 다음과 같은 실내 실험을 통해 퇴적물 특성들을 분석하였다.

첫째, 입도분석은 30% 과산화수소와 0.1N염산을 사용하여 시료의 유기물과 탄산염을 제거한후, 습식체질(wet Sieving)로 사질퇴적물과 니질퇴적물을

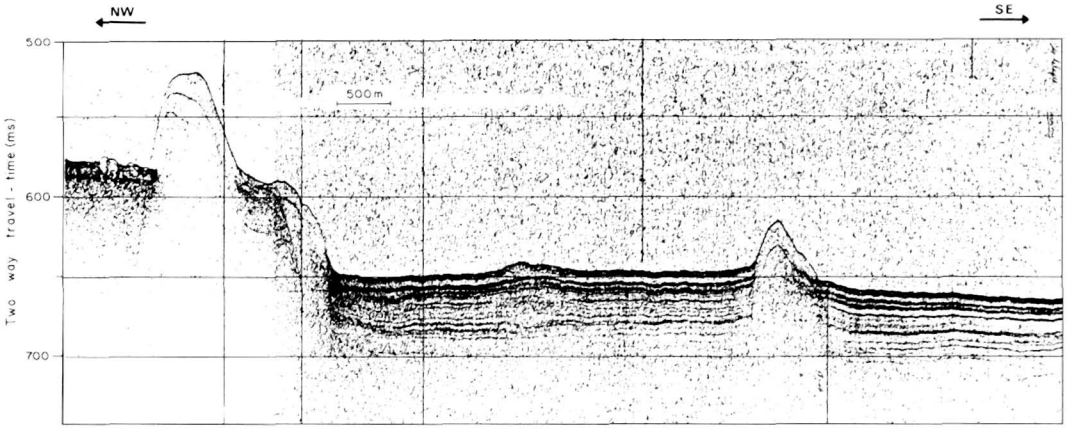

Fig. 3. 3.5kHz profile of Maxwell Bay showing conformable, well-stratified reflectors in central basin.

분리하였다. 사질퇴적물은 건조 후 Roe-tap 진탕기로 체질하여 입도별 무게 백분률을 구하고, 니질퇴적물은 건조된 시료 2g을 300ml의 0.1% calgon 용액에 넣고 초음파 진동기와 자기진동기로 균질하게 분산시킨 후, Sedigraph 5,000 X-선 입도분석기를 사용하여 분석하였다.

둘째, 총유기물 함량은 건조된 시료를 분말화하여 100mesh 체로 거른 후, 시료 2g을 도가니에 넣고 전기로에서 550℃로 1시간 30분동안 가열하여 그 유실량을 백분율로 표시하였다(A.S.A., 1965).

세째, 탄산염 함량은 건조하여 분말화한 시료 1g을 삼각플라스크에 넣고 작은 vial에 30% 염산을 5cc넣어 시료와 닿기 않도록 Bernard Calcimeter에 연결한후 반응시켜 함량을 측정하였다(Vantan, 1987).

네째, 시추퇴적물의 퇴적구조는 전체퇴적물을 softex M-1005형으로 X-선 사진촬영을 하여 분석하였다.

결과 및 토의

1. 시추퇴적물의 퇴적상과 퇴적물 특성

마리안 소만의 시추퇴적물은 전체적으로 하부로 갈수록 조립질 퇴적물과 탄산염의 함량은 증가하고 유

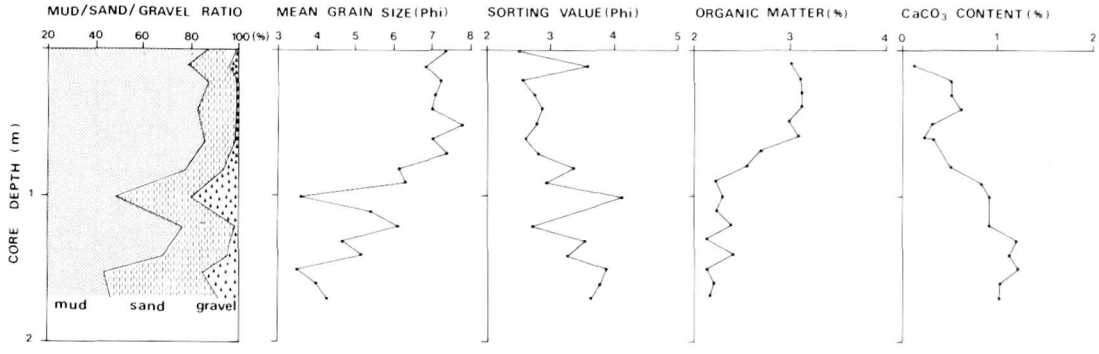

Fig. 4. Vertical distribution of the core sediments : mud/sand/gravel ratio, textural parameters, organic matter content, $CaCO_3$ content.

기물의 함량은 감소하는 양상을 보인다(Fig. 4). X-선 사진상에서 전체 시추퇴적물은 90cm와 140cm깊이를 경계로 퇴적환경의 변화를 시사하는 세가지 퇴적상으로 구분되고, 각 퇴적상의 경계면은 침식된 흔적없이 점이적인 관계를 보인다(Fig. 5). 이러한 퇴적상들을 구성하고 있는 퇴적물들의 특성은 아래와 같다.

첫째, 퇴적상 I 은 상부층(0~90cm)으로 괴상의 퇴적구조를 보이는 pebbly mud로 구성되어 있으며, 부분적인 생물교란 구조와 크기 1cm미만의 패각편이 나타난다. 역들은 주로 장경 2cm이하의 원마도가 불량한 안산암역으로 구성되어있다. 분급도는 2.50~3.24로서 매우 불량하지만 다른 퇴적상에 비해 양호하고 gravel과 sand의 함량은 가장 낮은 10~22%이다.

둘째, 퇴적상II는 중간층(90~140cm)으로 역질층과 미세수평층리의 세립질층이 교호되는 rhythmic bed를 보인다. 역질층은 장경 1~6cm의 안산암역을 포함하고 역의 원마도와 구형도는 매우불량하며 각 층의 상하 경계면은 점이적이다. 세립질층은 0.5cm 두께의 사질과 1~4cm 두께의 니질이 반복되는 미세수평층리를 보이며 이들의 경계면도 점이적이다. 분급도는 2.68~3.94로서 매우 불량하며 gravel과 sand의 함량은 23~52%이다.

세째, 퇴적상III은 하부층(140~173cm)으로 장경 1~6cm의 안산암역들을 포함하는 massive diamicton 이며 matrix-supported한 퇴적상이 나타난다. 역의 원마도 및 구형도는 매우 불량하며 일정한 방향성이 없고 퇴적구조가 전혀 보이지 않는다. 분급도는 3.61~3.73으로 매우 불량하고 gravel과 sand의 함량은 49~57%로서 가장 높다.

2. 시추퇴적물의 퇴적환경

주 퇴적물 공급원인 tidewater glacier가 상부에 위치하고 있는 linear fjord system에서의 퇴적과정을 보면, 그라운딩 라인에 위치한 iceberg calving지역에서 waterlain till이 퇴적되고, 그라운딩 라인에 인접한 지역에서는 간헐적으로 유입되는 혼탁한 subglacial meltwater discharge에 의한 underwater flow와 유빙의 덤핑(dumping)에 의해 조립질과 세립질 퇴적물이 교호하는 ice-proximal 퇴적물이 형성되며, calving지역에서 멀어지면 부유퇴적물 내에 IRD(ice-rafted debris)가 함유된 균질의 pebbly mud가 퇴적된다(Domack et al., 1989 ; Mackiweicz et al., 1984 ; Powell & Molnia, 1989).

본 시추퇴적물의 퇴적상 III은 퇴적구조가 전혀 보이지 않는 괴상의 다이아믹톤(massive diamicton)으로서, 이러한 다이아믹톤은 waterlain till과 basal till에서 나타나는 퇴적상(Powell,1984)이다. Water till은 빙하의 calving과 meltwater stream에 의해 유입되는 조립질 퇴적물과 빙하 하부에서 공급되는 basal debris에 의해 다른 다이아믹톤보다 gravel과 rubble의 함량비가 높은 빙해양 퇴적물이며, basal till은 해양환경의 영향을 받지 않고 빙하의 하부층에서 퇴적된 빙하 퇴적물의 특징을 보인다(Powell, 1984). 이러한 퇴적상은 입도분포와 유기물의 함량. 그리고 overcompaction 정도로서 구분되는 데(Anderson et al., 1980 ; Anderson & Molnia, 1989), 본 퇴적상은 시추퇴적물이 overcompaction되어 있지 않으며 총 유기물 함량이 2 wt.% 이상인 것으로 보아(Fig.4), 그라운딩 라인 바로 밑에서 퇴적된 waterlain till로 해석된다.

퇴적상II에서 나타나는 rhythmic bed는 피요르드의 icd-proximal지역에서 주로 meltwater stream과 저탁류(turbidity current), 그리고 유빙의 덤핑 등에 의해 떨어지는 퇴적물의 수주 분급작용(water column sorting)등의 퇴적과정에 의해 형성된다(Mackiewicz et al., 1984). 비교적 온난한 기후대의 tidewater glacier에선 대개 meltwater discharge가 발생하는데(Mackiewica et al.,1984 ; Powell,1984) 맥스웰만의 tidewater glacier에 crevasse가 많고 meltwater stream이 흔한 것으로 보아 (Griffith & Anderson, 1989), 마리안 소만에서도 meltwater discharge가 ice-proximal 퇴적환경에 많은 영향을

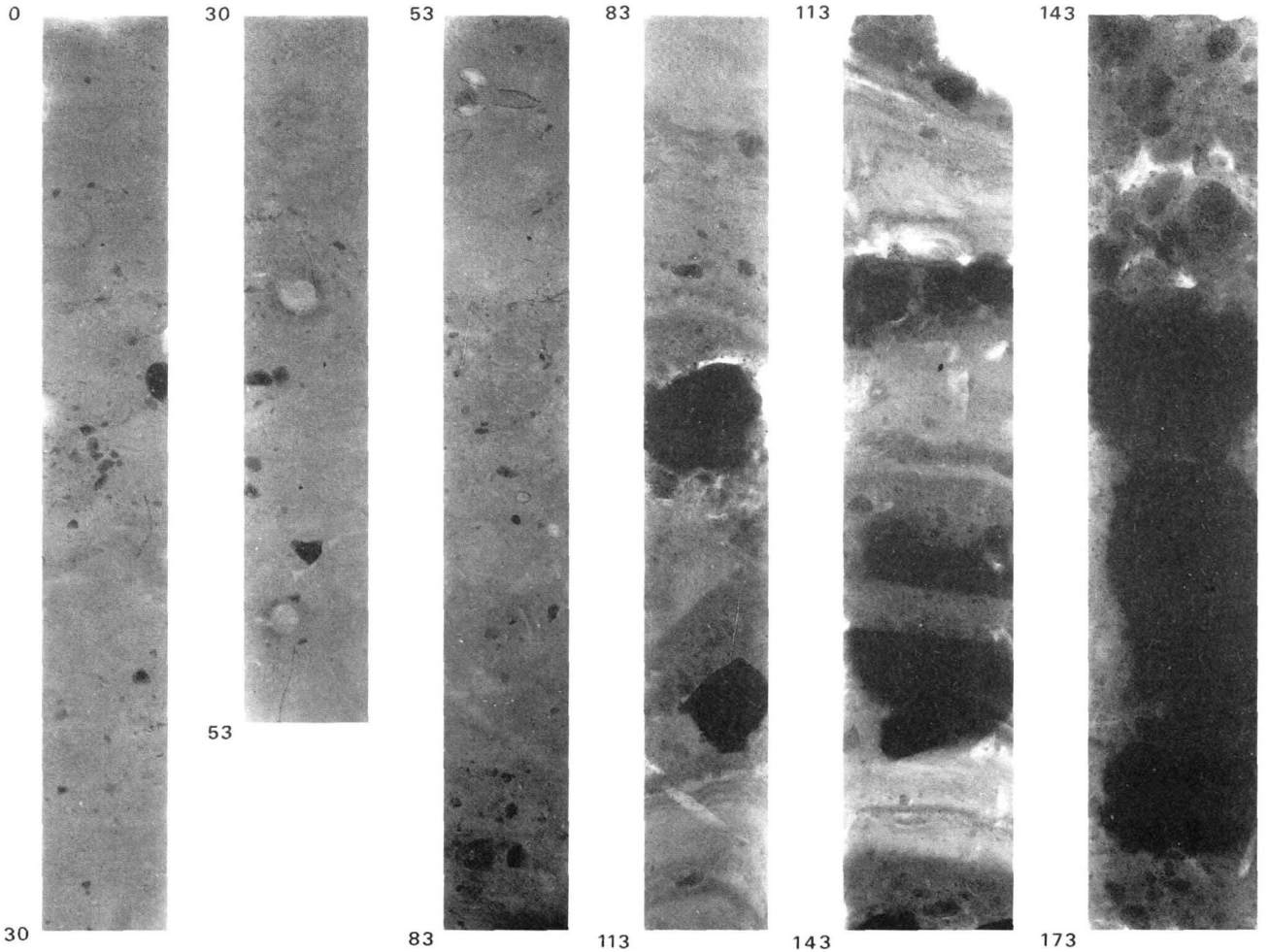

Fig. 5. X-radiograph of the core sediments
: 1)sedimentary facies Ⅰ- homogeneous pebbly mud(0-90cm)
2) sedimentary facies Ⅱ- interlaminated ice-proximal deposits of rhythmic bed(90-140cm)
3)sedimentary facies Ⅲ- massive diamicton of waterlain till(140-173cm)

줄 것으로 보인다. 그리고 마리안 소만의 빙하는 기반암을 침식하면서 유입되는 valley source 이므로 (Fig.1), 빙하에 함유된 englacial 및 supraglacial debris에 의해 calving지역에서는 유빙의 덤핑작용이 흔히 발생할 것이다(Powell,1984). 그런데 지형이 불규칙한 ice-proximal지역에서는 중력류가 흔히 발생하여 퇴적물의 재분포가 일어나며(Powell, 1984), meltwater stream의 underwater flow에 의해 생성되는 교호층과 저탁류에 의해 형성되는 교호층은 명확히 구분하기 어렵다(Mackiewicz et al., 1984) 하지만 Fig.2에서 보면 양쪽으로 경사진 해저면에는 전체적으로 박층의 퇴적물이 덮혀 있고, 본 시추퇴적물을 중간지점에서 채취하였기 때문에, waterlain till인 퇴적상 III과 점이적인 관계를 보이는 퇴적상 II는 중력류 보다는 meltwater stream에 의한 underwater flow와 유빙의 덤핑작용을 주로 받으며 그라운딩 라인에서 멀지않은 곳에서 퇴적된 interlaminated ice-proximal 퇴적물로서 해석된다.

퇴적상 I 에서는 괴상의 퇴적구조를 보이는 pebbly mud가 나타나며, 퇴적상II와 역시 점이적인 관계를 보이고 있다. 이러한 퇴적상은 대부분이 부유퇴적물로서 구성되고 유빙에 의한 IRD가 함유되어 있는 compound glacial-marine 퇴적물로 분류된다(Anderson et al.,1980 ; Anderson & Molnia, 1989). Compound glacial-marine 퇴적물은 오늘날 가장 널리 분포하는 남극 표층퇴적물로서 퇴적물내에 상당량의 규조류를 함유하고 있는데(Anderson & Molnia, 1989), 본 시추퇴적물의 상부층에도 다양하고 풍부한 규조류가 함유되어 있고(Kim & Park, 1989), 퇴적상 I 에 어떤 퇴적구조도 보이지 않는 것은 다른 퇴적상에 비해 그라운딩 라인에서 가장 먼 퇴적환경인 오늘날과 유사한 퇴적환경에서 형성되었음을 나타낸다.

이상 퇴적상 I, II, III의 퇴적환경을 종합해 보면, 전체적으로 시추퇴적물의 하부에서 상부로 갈수록 빙하의 그라운딩 라인과 멀어지는 퇴적환경의 변화를 알 수 있다. 이러한 퇴적환경의 변화하에서 형성된 시추퇴적상의 특징은, 상부로 갈수록 퇴적율이 감소하므로(Mackiewicz et al., 1984), 그와 관련된 퇴적물 특성을 보이는 것이다(Domack et al., 1989). 본 시추퇴적물에서는 유기물과 탄산염 그리고 sand의 함량 분포도가 맥스웰만에서 보여지는 불규칙한 분포상(Yoon et al.,1989)과는 달리 하부로 갈수록 유기물 함량은 감소하고 탄산염과 sand의 함량은 증가하는 역관계 분포상을 보이고 있다. 다른 지역에서 보고된 TOC함량과 비교하기 위해 Tsunogai et al. (1987)이 제시한 방법에 따라 총 유기물 함량에대한 대략적인 TOC함량을 구해보면 약 1.0-1.5 wt.%로서, 브랜스필드 해협의 시추퇴적물에서 나타나는 TOC함량 0.8-1.2 wt.%(Suess et al., 1985)보다 다소 높게 나타난다. 오늘날 대부분의 남극표층퇴적물중 biogenic-rich 퇴적물에서의 TOC함량은 1 wt.% 이상이며, 주 퇴적물 공급원이 상부에 위치한 linear fjord system에서는 빙하의 그라운딩 라인에서 멀어질수록 sand 함량이 감소하고 TOC함량이 증가하는 것이 일반적인 경향이다(Domack et al., 1989). 또한 마리안 소만과 같이 일차 생산력이 높지 않고 (Yang,1989), 육상기원 퇴적물의 퇴적율이 한계퇴적율 2.1cm/1,000년 이상이면, 퇴적율이 증가할수록 "clastic dilution effect"에 의해 TOC함량이 감소하며(Ibach, 1982), 이와 더불어 퇴적율이 증가할수록 "rapid burial"에 의한 보존력의 증가로 탄산염 함량은 증가한다(Anderson, 1984).

결과적으로 TOC 함량과 탄산염 함량, 그리고 sand 함량 분포는 시추퇴적물의 상부로 갈수록 그라운딩 라인과 멀어지고 퇴적율은 감소하는 퇴적상 변화를 반증한다. 따라서 본 시추퇴적상은 tidewater glacier의 retreat에 의해 점진적으로 변화된 퇴적환경하에서 형성된 것으로 사료되며 이를 도시화하면 Fig. 7과 같다.

3. 고기후 변동과 고빙하 분포상

맥스웰만은 킹죠지섬과 넬슨섬의 연안을 따라 ou-

tlet 및 valley tidewater glacier들이 퇴적물의 주 공급원으로서 분포하고 있으며(Fig. 1), 만내의 퇴적물은 이러한 빙하 분포상과 일치하여 해저면에 균일하게 분포하고 있다(Griffith & Anderson, 1989). 그리고 Fig. 3에 나타나는 중앙의 평탄한 해저면에는 정합적이고 연속반사층리를 갖는 수평층리 퇴적상이 약 30m (50ms)내외의 두께로 분포한다(Kim & Nam, 1991). 이러한 퇴적상은 주로 만내로 유입되는 세립질의 빙해양 퇴적물에 의해 형성되었다 (Elverhöi, 1984 ; Griffith & Anderson, 1989).

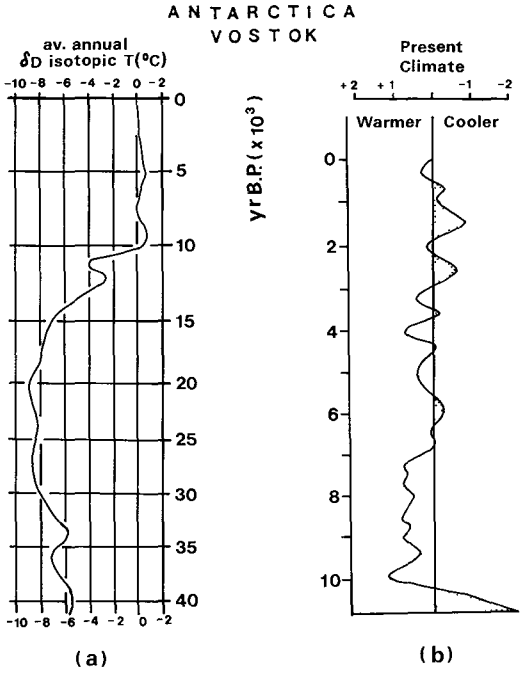

Fig. 6. Variation of the Vostok isotope temperature record in ℃ difference
: a) over the past approximately 40,000yr (from Jouzel et al., 1987)
b) over the past approximately 10,000yr (from J. jouzel, personal data, 1988)

Jouzel et al., (1987)이 남극대륙에서 시추된 빙하의 동위원소 분석 자료를 근거로 제시한 남극권의 기후변화 곡선을 보면 (Fig. 6a), 위스콘신 빙하기 동안에 최대 빙하기는 약 30,000-13,000년전 사이에 형성되었다. 그리고 남극반도에서는 약18,000년전에 빙하가 최대로 advance되면서(Payne et al., 1989) inner shelf지역은 grounding된 빙하들에 의해 침식을 받았고 (Elverhöi, 1981, 1984), 이후 15,000 - 14,000년 전부터 West Antarctic ice sheet가 retreat 되면서(Thomas, 1979 ; Payne et al., 1989) inner shelf지역에 후빙하기 퇴적물이 퇴적되었다. 그런데 지난 40,000년 동안 남극권의 기후변화는 동일했고 (Heusser, 1989), Jouzel et al. (1987)이 제시한 남극대륙의 기후변화(Fig. 6)와 아남극권까지의 기후변화가 상당히 밀접하게 연관되어 있다는 보고(Clapperton et al., 1989 ; Heusser, 1989 ; Markgraf, 1989)들로 보아, 맥스웰만의 빙하들도 Fig. 6a에서 나타나는 고기후 변화에 따라 약 18,000년 전에 최대로 advance되어 grounding한계수심 이내의 해저면은 침식되었고, 15,000-14,000년 전부터 빙하들이 retreat되면서 후빙하기 퇴적물이 퇴적되었다는 추정이 가능하다. 이를 확인하기 위해서는 맥스웰만에 분포하는 퇴적층의 평균퇴적율로서 퇴적기간을 추산하여 grounding된 빙하들이 advance된 범위와 그에 따른 퇴적과정을 알아야 한다.

맥스웰만 입구에서 채취된 시추퇴적물(2.6m)의 표층퇴적율은 방사성 핵종함량 측정 방법에 의해 170 cm/1,000년으로 추산하였는 바(Kim, 1989), 맥스웰만보다 외해인 브랜스필드 해협의 퇴적율 260-270 cm/1,000년(Suess et al., 1985 ; Venkatesan & Kaplan, 1987)과 비교하면 상당한 오차가 있을 수 있다. 그러나 퇴적율에 대해 보고한 다른 자료가 없기 때문에 170cm/1,000년의 퇴적율로서 Fig. 3나타나는 퇴적층의 퇴적기간을 추산하면 약 17,600년이 된다. 한편 Fig. 3에서 중앙 해저면의 수심은 약 480m(650 ms)로서 grounding의 한계수심이 약 250-310m이지만 (Hollin, 1962 ; Robin, 1979), 최대 빙하기동안 해수면이 약 100-130m 하강했고(Elverhöi, 1984), 웨델해에서는 grounding된 빙하가 수심 500m까지 advanced되었으며(Elverhöi, 1981), 맥스웰만에서

현재보다 수심이 얕았음을 시사하는 근세의 단층작용 흔적들이 관찰되는 사실(Kim&Nam, 1991) 등으로 볼 때, 위스콘신 빙하기에 Fig. 3의 해저면까지 grounding된 빙하들이 advance되어 이전에 쌓였던 퇴적물들은 침식되었을 것으로 사료된다. 이러한 맥스웰만의 빙하 분포상과 약 17,600년의 퇴적기간을 연관시켜보면, 맥스웰만의 중앙 해저면에 분포하는 수평층리 퇴적층은 시기적으로 위스콘신 빙하기 이후 퇴적된 후빙하기 퇴적물임을 알 수 있다. 이에 그라운딩라인이 가까운 퇴적환경일수록 퇴적율이 증가되므로 (Mackiewica et al., 1984), 표층퇴적율만으로 추산한 퇴적기간은 실제의 퇴적기간보다 더 길다는 점을 고려하면 맥스웰만의 빙하들이 남극권의 고기후 변화에 상응하여 advance와 retreat의 과정이 있었다는 상기의 추정이 타당하다고 할 수 있다. 그러므로 맥스웰만은 위스콘신 빙하기때 중앙 해저면까지 grounding된 빙하들로 덮혀 있었으며, West Antarctic ice sheet가 retreat되기 시작한 약15,000-14,000년 전부터 맥스웰만의 빙하들도 retreat되면서 중앙 해저면에 분포하는 수평층리의 후빙하기 퇴적물이 퇴적된 것으로 보이며, 이를 근거로 추산된 평균퇴적율은 약 200-214cm／1,000년이 된다.

마리안 소만을 완전히 덮고 있던 빙하가 retreat되기 시작한 시기는 맥스웰만의 빙하가 retreat된 이후로서, 아직까지 이에 대해 보고한 자료가 없기 때문에 알 수 없다. 다만 Fig. 6a에서 보면 홀로세 초기에 위스콘신 빙하기 이후 가장 온난한 기후를 보이며, 남쉐틀랜드 군도의 빙하는 약 9,500년 전에 적어도 현재의 위치까지 retreat되었다는 보고(Sugden & John, 1973)로 볼 때, 마리안 소만의 빙하도 홀로세 초기에는 적어도 현재의 위치까지 retreat 되었을 것으로 추정된다. 그런데 이전에 언급한 바와 같이, 하부층으로 갈수록 퇴적율이 증가하는 퇴적상 특징을 보이는 마리안 소만의 시추퇴적물에 대해 방사성 핵종함량 측정 방법으로 추산한 표층 퇴적율이 75cm/1,000년이므로 (Kim, 1989), Fig, 2에 나타나는 약 4m 두께의 퇴적층은 홀로세 중기 이후에 퇴적되었고, 전체 시추퇴적물(173cm)은 적어도 2,000년 전 이후에 퇴적되었음을 알 수 있다. 따라서 이러한 퇴적시기의 조건을 충족시키려면, 홀로세 초기에 적어도 현재의 위치까지 retreat되어있던 tidewater glacier는 최소한 홀로세 말기 이전에 readvance되어야 한다.

피요르드에서 tidewater glacier의 위치는 장기적으로 볼 때 기후와해수면에 의해 좌우된다(Elverhöi, 1984 ; Griffith & Anderson, 1989). 홀로세 이후에도 남극대륙에서는 기후의 소규모 변동이 계속되어 홀로세 중기까지는 오늘날보다 더 온난한 기후대를 유지했고(Fig. 6b), 홀로세 초기 이후 해수면은 계속 상승하여 홀로세 중기인 6,000-5,000년 전에는 현재의 해수면 보다 약 3.5m가 더 높았기 때문에(Porter et al., 1984), 마리안 소만의 빙하가 그 시기 이전에 readvance 되었을 가능성은 희박하다. 반면에 팔머군도(Palmer Archipelage)의 브라반트섬(Brabant Island)에서 홀로세 초기에 retreat 되었던 빙하가 홀로세 중기 이후 남극반도 주변지역과 동일하게 readvance되었으며(Hansom & Flint, 1989), 남위 54-55도에 위치한 남죠지아섬(South Georgia Island)에서는 홀로세 중기 이후 빙하가 readvance되어 약 2,200년전에 최대에 달했고(Clapperton et al., 1989), 또한 리빙스톤섬(Livingston Island)의 빙하가 readvance된 기후적 조건이 약 3,300-2,700년 전에 형성되었다는 (Björck et al., 1991) 보고 등으로 보아, 킹죠지섬 주변 지역의 빙하들이 Fig. 6b에서 나타나는 홀로세 말기의 소규모 기후변화와 밀접한 관련을 보이며 readvance되었음을 알 수 있다. Fig. 6b를 보면 약 3,000년 전부터 오늘날보다 더 추운 기후대를 보이기 시작하여 약 1,500년 전에 가장 낮은 온도를 보인 후, 점차 오늘날의 기후로 변화하는 양상을 보인다. 따라서 마리안 소만에서도 이러한 기후변화의 양상에 따라 홀로세 말기초에 빙하가 readvance되어 홀로세 초기 이후 해저면에 쌓여있던 퇴적물을 침식했고, 이후 약 1,500년 전부터 빙하가 오늘날의 위치로 retreat되면서 Fig. 3의 해저면에

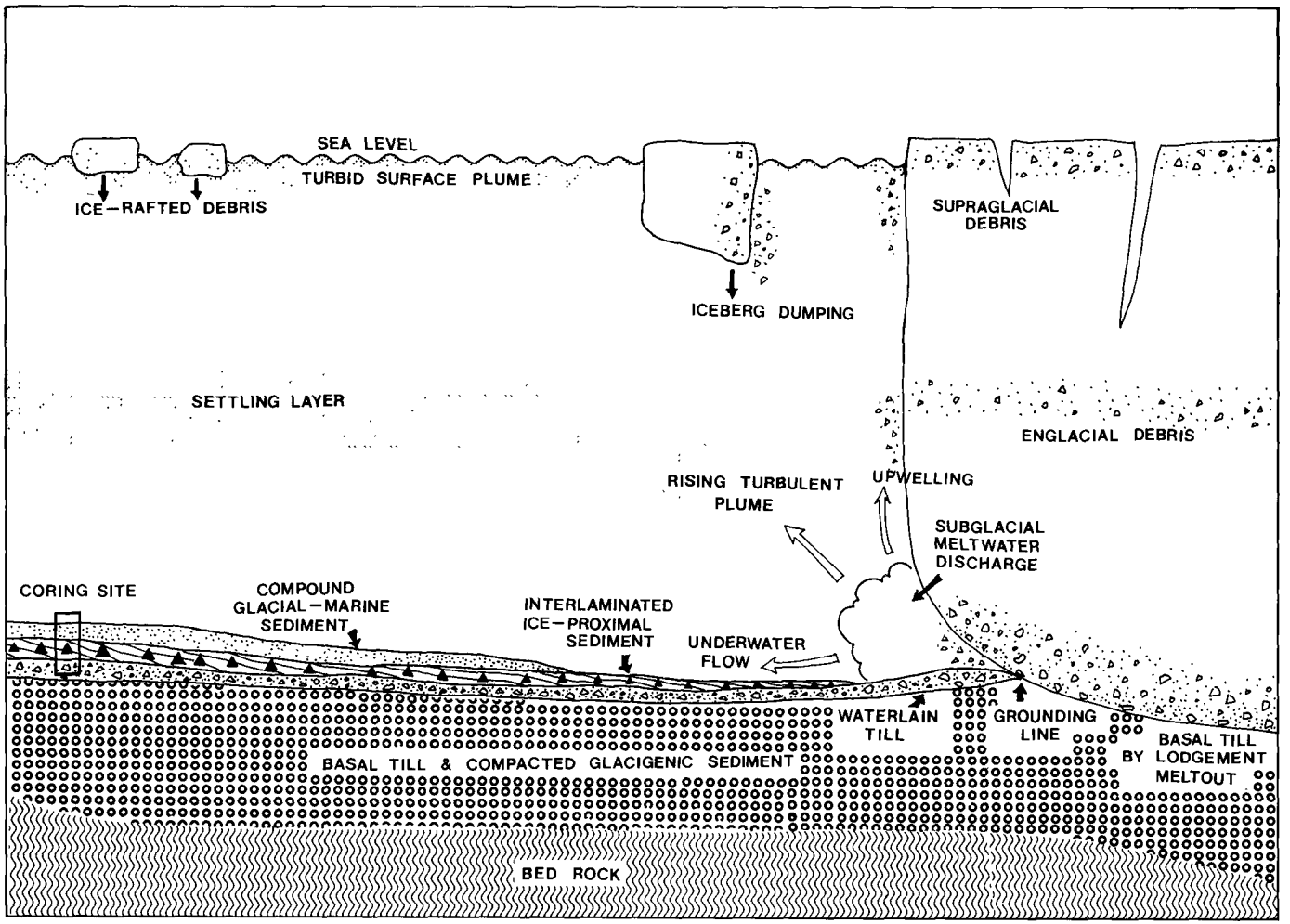

Fig. 7. Illustration of sediment types and processes at retreating tidewater front of temperate valley glacier in Marian Cove.

덮혀있는 박층의 퇴적층을 형성한 것으로 사료된다.

상기한 마리안 소만의 고빙하 분포 변화상으로 볼 때, 홀로세 말기의 소규모 기후변화에 의해 맥스웰만 주위에 분포하는 tidewater glacier들도 readvance와 retreat의 과정이 있었다고 추정할 수 있다. 그러나 마리안 소만의 입구에는 두드러진 sill이 발달되어 있어 맥스웰만 해수의 영향이 적고 자체의 저층수가 존재하는(Jang 1989)등 맥스웰만과는 다른 고립된 해양환경을 보이고 있기 때문에, 코아퇴적물과 탄성파 자료를 연관한 직접적인 근거없이 맥스웰만의 빙하들이 마리안 소만의 빙하변동과 동시에 같은 규모로 readvance와 retreat의 과정을 겪었다고 간주할 수는 없다. 다만 맥스웰만의 상부에서 former grounding line의 가능성을 제시한 Griffith & Anderson (1989)의 보고는 맥스웰만의 빙하들도 홀로세 말기에 readvance와 retreat의 과정이 있었음을 시사하고 있다.

이상 언급한 고빙하 분포상과 그에 따른 퇴적환경을 종합하면, 맥스웰만과 마리안 소만에 분포하는 빙하들은 Fig. 6a, b에서 제시된 남극권의 고기후변화에 상응하여 advance와 retreat의 과정이 수반된 것으로 사료된다. 즉 위스콘신 빙하기 동안 마리안 소만을 포함한 맥스웰만의 중앙 해저면은 grounding된 빙하들로 덮혀 있었으며, 이후 15,000-14,000년 전부터 맥스웰만의 빙하가 retreat되면서 맥스웰만의 중앙 해저면에 분포하는 후빙하기 퇴적층이 약 200-214cm/1,000년의 평균퇴적율로 퇴적되었다. 그리고 마리안 소만의 빙하는 홀로세 초기에 적어도 현재의 위치까지 retreat된후 홀로세 말기 초에 고기후의 소규모 변동에 의해 readvance되었으며, 약 1,500년 전부터 재차 retreat되면서 코아퇴적상이 형성된 것으로 사료된다. 이러한 마리안 소만의 퇴적환경으로 볼 때, 피스톤 코아로 채취하지 못한 퇴적층의 하부에는 overcompaction된 basal till과 이전의 glacigenic 퇴적물이 존재할 것으로 보이며, 시료 채취 당시 피스톤 코아가 퇴적상 3의 하부를 뚫지 못한 사실은 이를 반증한다.

앞으로 고기후 변화에 따른 고빙하 분포상과 전반적인 빙해양 퇴적환경을 명확히 이해하기 위해서는 보다 넓은 지역에서 채취된 시추퇴적물로서 미고생물학적 연구를 포함한 퇴적층의 연대측정과 퇴적율에 대한 정확한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

American Society of Agronomy. 1965. Methods of soil analysis Madison, U.S.A.

Anderson, J.B. 1975. Factors controlling $CaCO_3$ dissolution in the Weddell Sea from foraminiferal distribution patterns. Mar. Geol., 19 : 315-332.

Anderson, J.B. and B.F. Molnia. 1989. Glacial-marine sedimentation. Short course in geology, 9 : 11-57.

Anderson, J.B., D.D. Kurtz, E.W. Domack and K.M. Balshaw. 1980. Glacial and glacial marine sediments of the Antarctic continental shelf. J. Geol., 88 : 399-414.

Björck, S., H. Hakansson, R. Zale, W. Karlen and B.L. Jonsson. 1991. A late Holocene lake sediment sequence from Livingston Island, South Shetland Islands, with palaeoclimatic implication. Antract. Sci.,3 : 61-72.

Clapperton, C.M., D.E. Sugden, J. Birnie and M.J. Wilson. 1989. Late-glacial and Holocene glacier fluctuations and environmental change on South Georgia, South Ocean. Quat. Res., 31 : 210-228.

Domack, E.W. 1989. Climatic and oceanographic controls upon Antarctic Peninsula and South Shetland Island. Personal publication.

Domack, E.W., L.A. Burkley and C.R. Williams. 1989. Character of modern glacial marine sediments : Antarctic Peninsula and South Shetland Islands. Antarct. J.U.S., 26 : 113-115.

Elverhøi, A. 1981. Evidence for a late Wisconsin glaciation of the Weddell Sea. Nature, 293 : 641-

642.

Elverhøi, A. 1984. Glacigenic and associated marine sediments in the Weddell Sea, fjords of Spitsbergen and the Barents Sea : A review. Mar. Geol., 57 : 53-88.

Griffith, T.W. and J.B. Anderson. 1989. Climatic control of sedimention in bays and fjords of the Northern Antarctic Peninsula. Mar. Geol., 85 : 181-204.

Hansom, J.D. and C.P. Flint. 1989. Holocene ice fluctuations on Brabant Island, Antarctic Peninsula, Antarct. Sci., 1 : 165-166.

Heusser, C.J. 1989. Polar perspective of late-Quaternary climates in the Southern Hemisphere. Quat. Res., 32 : 60-71.

Hollin, J.T. 1962. On the glacial history of Antarctica. J. Glaciol., 4 : 173-195.

Ibach, L.E.J. 1982. Relationship between sedimentation rate and total organic carbon content in ancient marine sediments Bull. Am. Assoc. Pet. Geol., 66 : 170-188.

Jang, K.I. 1989. A study on natural environment in the area around the Korean Antarctic station, King George Island(II). Korea Ocean Research and Development Institute, BSPF 00081-246-7 V 215-723.

Jouzel, J., C. Lorius, J.R. Petit, C. Genthon, N.I. Barkov, V.M. Kotylakov and V.M. Petrov. 1987. Vostok ice core : a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000). Nature, 329 : 403-408.

Keller, R.A. and M.R. Fisk. 1987. Magmatism associated with the initial stages of back-arc rifting, Bransfield Strait, Antarctica. EOS, 68 : 1553.

Keller, R.A. and M.R. Fisk. 1988. Rifting and volcanism in the Bransfield Strait and South Shetland Islands. Antarct. J. U.S., 23 : 102-104.

Kim, K.H. 1989. A study on natural environment in the area around the Korean Antarctic station, King George Island(II), Korea Ocean Research and Development Institute, BSPG 00081-246-7 : 470-485.

Kim, W.H. and B.K. Park. 1988. Marine diatoms from the late Quarternary sediments in the Marian Cove, King George Island, Antarctica. J. Paleont. Soc. Korea, 4 : 135-159.

Kim, Y.D. and S.H. Nam. 1991. High resolution seismic survey of Maxwell Bay, King George Island : Glacial merine sedimentation and tectonics. Proceedings of the 2nd international symposium of Antarctic Science, KORDI, in press.

Mackiewicz, N.E., R.D. Powell, P.R. Carlson and B.F. Molnia. 1984. Interlaminated ice-proximal glacimarine sediments in Muir inlet, Alaska. Mar. Geol.,57 : 113 -147.

Markgraf, V. 1989. Late Pleistocene/Holocene paleoclimates from subantarctic latitudes. Antarct. J. U.S.,24 : 1-2.

Orheim, O. and L.S. Govorukha. 1982. Present day glaciation in the South Shetland Islands. Ann. Glaciol., 3 : 233-238.

Payne, J.A., D.E. Sugden and C.M. Clapperton. 1989. Modeling the growth and decay of the Antarctic Peninsula ice sheet. Quat. Res., 31 : 119-134.

Porter, S.C., M. Stuiver and C.J. Heusser. 1984. Holocene sea-level changes along the Strait of Magellan and Beagle channel, Southermost South America. Quat. Res., 22 : 59-67.

Powell, R.D. 1984. Glacimarine processes and inductive lithofacies modelling of ice shelf and tidewater glacier sediments based on Quaternary examples. Mar. Geol., 57 : 1-52.

Powell, R.D. and B.F. Molnia. 1989. Glacimarine sedimentary processes, facies and morphology of

the Southj-Southeast Alaska shelf and fjords. Mar.Geol.,85 : 359-390.

Robin, G. deQ. 1979. Formation, flow, and disintegration of ice shelves. J. Glaciol., 24 : 259-271.

Ruddiman, W.F. and J.C. Duplessy. 1985. Conference on the last deglaciation : Timing and Mechanism. Quat. Res., 23 : 1-17.

Suess, E., P.J. Muller, G. Wefer and W. Balzer. 1985. Quaternary sedimentation in the Bransfield Strait and Northern Weddell Sea. First draft.

Sugden, D.E. and B.S. John. 1973. The ages of glacier fluctuations in the South Shetland Islands, Antarctica. In "Palaeoecology of Africa, the surrounding islands and Antarctica, No. 8"(E.M. Van Zinderen Bakker, Ed.), 141-159. Balkema, Cape Town.

Thomas, R.H. 1979. West Antarctic ice sheer : Present-day thinning and Holocene retreat of the margins. Science, 205 : 1257-1258.

Tsunogai, S. and S. Noriki. 1987. Organic matter fluxes and the sites of oxygen consumption in deep water. Deep-Sea Res., 34 : 755-767.

Venkatesan, M.I. and I.R. Kaplan. 1987. The lipid geochemistry of Antarctic marine sediments : Bransfield Strait. Mar. Chem., 21 : 347-375.

Vantan, A. 1967. Manuel de sedimentologie. Editions Technique, Paris France.

Yang, J.S. 1990. Nutrients, chlorophyll-a and primary productivity in Maxwell Bay, King George Island, Antarctica. Korean J. Pol. Res., 1 : 11-18.

Yoon, H.I., S.G. Jang and M.W. Han. 1989. A study on natural environment in the area around the Korean Antarctic station, King George Island (II). Korea Ocean Research and Development Institute, BSPG 00081-246-7 : 405-442.