

# 서남극 킹조지 섬 마리안 소만의 홀로세 빙해양 퇴적작용

장순근<sup>1</sup> · 윤호일<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구소 극지연구센터, 경기도 안산시 우체국 사서함 29호, 서울 425-600

## Holocene Glaciomarine Sedimentation in Marian Cove, King George Island, West Antarctica

Soon-Keun Chang<sup>1</sup> · Ho-Il Yoon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Polar Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute,  
Ansan P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

**Abstract:** A 2.3 m-long core obtained from Marian Cove, King George Island in the South Shetland Islands, West Antarctica shows clues to the glaciomarine sedimentation during the Holocene. The lower part below 115cm-deep of the core is predominated by coarser material such as diamictons compared with the higher part above 105cm dominated by finer material (rhythmite and massive muds). Based on the granulometric features the coarse materials are generally supposed to be glacially-driven and basal tills, whereas the fine materials appear to originate from various sources such as meltwater-supplied, glacially-supplied, wind-blown, and organic origins. However, the presence of erratic coarse particles in the finer materials suggests the ice-rafted origin of the relevant materials. The lower part below 105cm-deep of the core was characterized by lower TN, TC, and TOC contents, and by higher TS and CaCO<sub>3</sub> contents compared with its upper part. No significant changes in C/N ratio were shown throughout the core.

The ice cliff along the east side of Marian Cove seemed to locate to the west by 1.6km at 8,300 years B. P. on the basis of the repetitive occurrence of rhythmite and diamicton. Since the retreat of ice cliff in 7,970±70 years B. P. the sediments of Marian Cove were dominated by fine materials and ice-rafted materials. The abrupt increase of coarse materials in 175cm-deep seems to result from supply of coarse materials due to earthquake or other drastic phenomena.

Key words: glaciomarine sedimentation, Antarctica, King George Island, Marian Cove

**요약:** 서남극 남셰틀랜드 군도 킹조지 섬 마리안 소만에서 중력시추기로 얻은 길이 2.3 m의 시추퇴적물은 홀로세 동안 이 지역에서 일어났던 빙해양 퇴적작용의 특성을 보여준다. 총진 115 cm를 기준으로 상부층과 하부층으로 나뉘어진다. 하부층은 조립질 물질이 우세하며 상부는 리드마이트와 괴상(塊狀) 니질(泥質) 층이 우세하다. 상부층에서 우세한 조립물질은 보통 빙하로 운반된 물질과 이미 존재하던 빙퇴석으로 구성되는 바, 세립물질은 융빙수, 빙하, 바람으로 공급된 육성기원 쇄설물이 대부분이며 생물기원물질도 상당량 혼재되었다. 세립물질 내에 포함된 조립물질은 유빙운반물질로 해석된다. 깊이 105 cm의 아래부분은 질소 총량, 탄소 총량, 유기물 총량이 적은 반면 유황 총량과 탄산칼슘 총량은 많다. 유기물 총량과 질소 총량 사이의 비(C/N ratio)는 대체로 큰 변화가 없다.

현재의 마리안소만 동쪽 빙벽은 리드마이트와 빙퇴석의 산출시기를 고려할 때 지금부터 8,300년 전에는 1.6km 서쪽에 위치했던 것으로 보인다. 마리안소만의 퇴적물은 7,970±70년 전 빙벽이 시추심 위치에서 후퇴하면서 세립물질과 유빙운반물질이 우세해졌다.

주요어: 빙해양 퇴적작용, 남극, 킹 조지 섬, 마리안 소만

## 서론

마리안 소만은 길이 약 3.0km, 폭 1.2km 정도로 북

동-남서 방향으로 발달한 피요르드이다. 마리안 소만의 북쪽에는 위버(Weaver) 반도, 남쪽에는 바튼(Barton) 반도가 발달한다. 위버 반도와 바튼 반도의 동쪽에는

소규모계곡을 따라 흘러 내리는 빙하(outlet glacier)가 발달하며 서쪽은 맥스웰(Maxwell) 만으로 연결된다. 마리안 소만의 해저지형이 폭에 견주어 수심이 깊고, 그 가운데서도 남쪽 해안 부근의 수심은 매우 급격히 깊어지며 남동측 빙벽 바로 앞 지점에서 최대 133m를 보인다 (김용권·백원대, 1995). 세종기지는 마리안 소만의 남쪽연안에 있다.

마리안 소만의 퇴적환경과 주변의 고빙하(古氷河)분포에 관한 홍성민 외(1991)의 연구로는 소만의 퇴적물은 빙하가 해저에 닿는 그라운드링 라인(grounding line) 바로 아래에 퇴적된 하부층, 빙하 앞에서 퇴적된 중간층, 그리고 빙하에서 먼 곳에서 퇴적된 상부층으로 구성된다. Yoon and Park(1996)은 마리안 소만의 부유물질의 확산양상을 연구해, 부근의 조수빙하(tidewater glacier)에서 기원한 혼탁한 용빙수(融氷水)가 하절기에 상당히 많이 마리안소만으로 유입되며 이들의 일부가 맥스웰 만으로 유입된다는 것을 밝혔다. 최동림 외(1990)와 Kim and Nam(1991)은 3.5kHz 탄성파자료를 해석해 연구지역에 빙하퇴적물들이 분포된 것을 밝혔다. 은 마리안 소만과 맥스웰 만에서 얻은 시추심의 고기후 변화를 연구(Kim et al., 1999)에 따르면 이 지역이 4,700 years B. P.에는 추운 기후였으나 그 이후 1,700년 동안 점차로 따뜻해졌으며 3,000 years B. P. 이후에는 큰 변화가 없었던 것으로 보인다. Yoon et al.(1997)은 탄성파자료와 시추심 분석으로 맥스웰 만과 연구지역의 빙하퇴적상과 고빙하상을 연구했다. 이 연구에서 마리안 소만의 퇴적물 두께는 6m 미만이며 위로 갈수록 세립으로 변하는 3층의 퇴적상을 인지할 수 있었다. 한편 마리안 소만의 동쪽에 발달된 빙벽은 항공사진을 대조한 결과 지난 30여 년 동안 후퇴하는 것이 뚜렷이 관찰되었으며 후퇴속도는 최근에 아주 빨라졌다는 것을 알 수 있다 (Park et al., 1998). 이러한 현상은 마리안 소만 퇴적과정에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 연구지역의 퇴적작용은 빙퇴석과 유빙과 생물사체의 영향을 많이 받는 것으로 보이며 시간에 따라 그 정도는 달라질 것으로 생각된다.

이 연구의 목적은 마리안 소만에서 획득한 시추심의 물리, 화학 분석을 통하여 연구지역의 빙하퇴적작용을 이해하고 이와 관련된 현상을 유추하려는 것이다. 연구지역의 빙하퇴적작용에 대한 정확한 이해는 홀로세 동안의 연구지역의 고환경을 복원하는 데 유용하리라 생각된다.

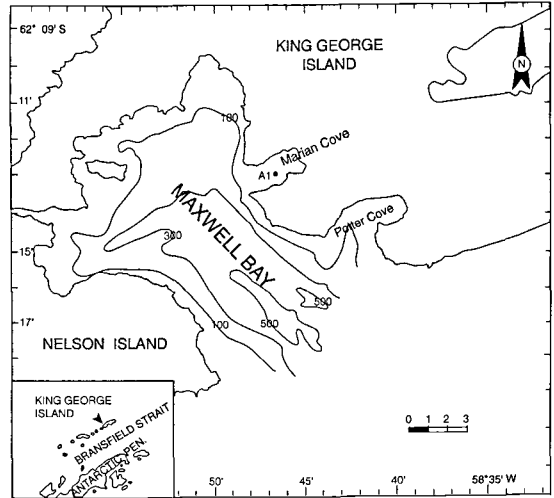


Fig. 1. Study area. The solid circle indicates the core site.

## 연구자료와 분석방법

임차한 5,500 톤급인 러시아 연구선 유즈모게올리기야(Yuzhmorgeologiya)호의 중력시추기로 1997년 1월 2일 연구재료인 시추심 A10-01을 획득했다. 시추심을 얻은 위치는 마리안 소만의 중심부로 남위 62도 12분 50초, 서경 58도 46분 50초이며 수심은 110m이다 (Fig. 1). 시추지점은 빙벽에서 1.6km 정도 떨어졌으며, 획득한 시추심(길이 232cm, 직경 10cm)은 현장에서 포장되어 국내로 운반되었다.

시추심 A10-01은 한국해양연구소 극지연구센터 해양지질학 실험실에서 길이 방향으로 반(半)으로 절개(切開)된 뒤 퇴적상의 특징이 기재되었다. 또한 5cm 간격으로 시료가 채집돼 입도(粒度)와 지구화학 성분들이 분석되었다.

입도분석은 80℃로 4일 동안 건조된 시료를 30% 과산화수소( $H_2O_2$ )로 처리해 유기물을 제거한 후 4 파이(체눈 크기 62.5 마이크론)체를 사용하여 습식(濕式)체질(wet sieving)로 사질(砂質)퇴적물과 니질퇴적물을 분리한 후 건조시켰다. 건조된 사질퇴적물은 Roe-tap진탕기로 체질해, 입도별로 백분율을 구했다. 건조된 니질퇴적물 2그램을 300ml의 0.1% Calgon 용액에 녹인 다음 초음파진동기와 자기진동기로 균일하게 분산시킨 후 Micrometrics Sedigraph 5100 X-선 입도분석기로 분석했다. 입도분석결과를 바탕으로 Folk and Ward(1957)의 방법으로 퇴적물을 분류했으며 퇴적학에서 쓰는 때

개변수들을 구했다.

질소와 탄소 그리고 유황의 총량은 80℃로 4일 동안 건조된 시료를 분말로 만든 다음, 분석하기 직전 시료 10mg을 건조기에서 2시간 건조시킨 후 Carlo-Erba CNS 분석기로 분석했다. 탄산칼슘의 총량은 위에서 계산된 탄소 총량을 바탕으로 계산했다. 유기탄소성분의 총량은 건조된 시료를 10% 염산(HCl)으로 처리해 무기탄소 성분을 없앤 다음 Carlo-Erba CNS 분석기로 분석했다.

퇴적물의 절대연령측정을 위해 약 3gr의 건조시료를 뉴질랜드 웰링턴에 있는 Institute of Geological & Nuclear Sciences로 보내어, 가속 질량분석기 (Accelerating Mass Spectrometer, AMS)로 분석했다.

## 결 과

### 시추퇴적물 관찰

시추퇴적물 A10-01은 깊이 107cm를 경계로 크게 하부와 상부, 두 개의 퇴적상으로 나뉜다. 하부퇴적상은 “자갈이 섞인” 두꺼운 “괴상질(塊狀質) 다이아미튼 (massive diamicton)” 과 박층(薄層)의 리드마이트 (rhythmite)가 교호(交互)된다. 간혹 “층리가 미약하게 발달한 박층의 다이아미튼” 이 협재되기도 한다 (Fig. 2). 반면 상부퇴적상은 “균일한 머드(mud)”로 특별한 퇴적구조가 보이지 않는다.

시추퇴적물 하부가 주로 다이아미튼으로 구성된 것으로 보아 그 부분이 퇴적되는 시기는 자갈이 상당히 많이 운반될 수 있는 환경이었음을 알 수 있다. 자갈이 운반되는 과정은 보통 빙하바닥면을 따라 빙퇴석(till)으로 운반되거나, 유빙(drifting icebergs)으로 운반되는 방식 또는 이미 그 지역에 존재했던 자갈층(basal till)으로, 크게 세 가지의 가능성을 생각할 수 있다.

하부 퇴적상에 협재된 박층의 리드마이트의 두께가 위로 갈수록 두꺼워지는 사실은 층리가 잘 보존될 정도로 퇴적환경이 점차 조용해졌으며, 저서생물의 교란활동도 감소한 것으로 생각할 수 있다. 반면 상부암상에서는 펠이 급격히 증가하며, 게다가 생물기원 퇴적물이 증가하는 사실은 퇴적당시 환경이 상당히 조용해지고 안정되어, 표층해양에서 일차 생산력이 증가되면서 식물 플랑크톤의 공급이 활발하였음을 말한다.

### 퇴적물의 입도분포와 퇴적학 매개변수

시추퇴적물 A10-01의 115~220cm에는 자갈의 양이 상당히 많은(Fig. 3) 반면 상부로 갈수록 실트와 점토의 함량이 급격히 증가한다. 이 현상은 퇴적환경이 급격히 변했다는 것을 의미해, 환경이 조용해지고 해수의 흐름도 약해져 세립물질이 많이 퇴적되었음을 알 수 있다. Folk and Ward(1957)의 분류를 따르면 하부 퇴적상은 자갈이 섞인 모래(gM) 또는 자갈과 모래가 섞인 펠((g)sM)이나 자갈과 펠이 섞인 모래(gmS)로 자갈의 존재가 뚜렷하다. 그 가운데 시추심 깊이 175cm의 퇴적물은 모래와 펠이 섞인 자갈(msG)로 분류돼 자갈의 함량이 최대를 보인다. 그러나 깊이 115cm의 윗 부분에서는 모래가 섞인 펠(sM)에서 위로 갈수록 펠(M)로 변한다.

시료의 표준편차는 115cm의 아랫부분에서는 4.0 phi

CORE A10-01 (Marian Cove)

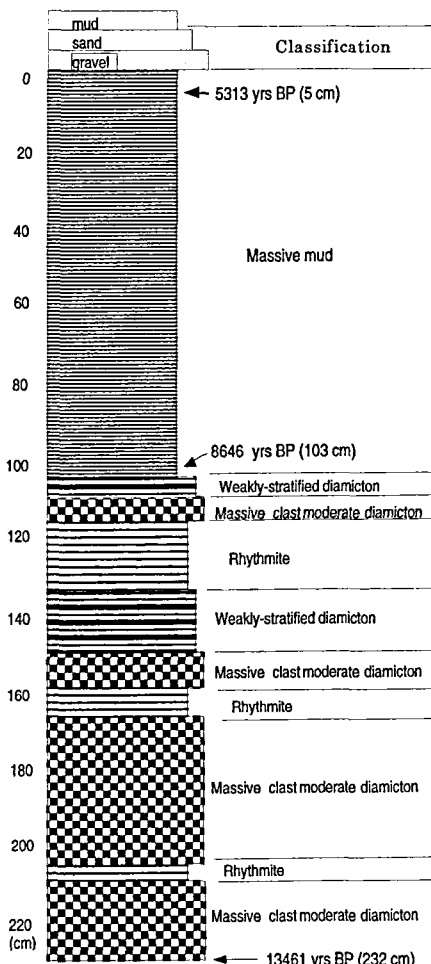


Fig. 2. Description of the core A10-01.

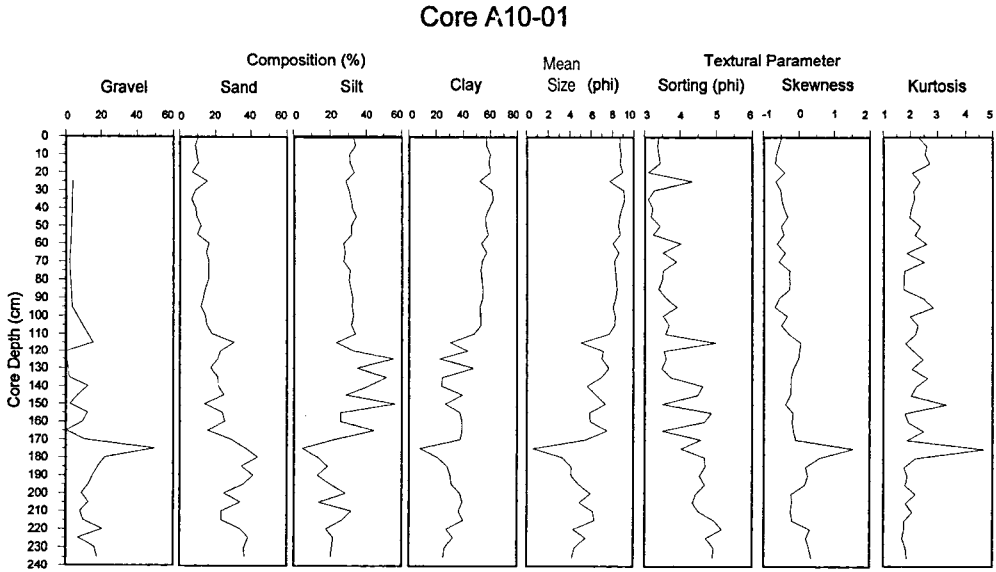


Fig. 3. Downcore granulometry and textural parameters.

이상이며, Blair and McPherson(1999)의 분류에 따르면, Unsorted 또는 Weakly Sorted에 해당되며 위로 가면서 4.0-3.0 $\phi$ 의 Extremely Poorly Sorted로 변한다. 분급도는 시추심 상부로 가면서 약간 양호해지나 전체로는 대단히 불량하다. Skewness와 Kurtosis도 그에 대응하는 값을 보여준다(Table 1).

시추심 깊이 175cm에서 자갈 49.6%과 모래 36.9%로 조립물질이 급격히 증가한 것은 빙퇴석의 영향이 급격히 증가되었음을 시사한다. 이러한 빙퇴석의 증가는 몇 가지로 설명될 수 있다.

첫째, 175cm의 층준(層準)이 퇴적될 당시에는 시추퇴적물 A10-01의 시추지점이 해저가 아닌 육상이라는 가정하에 빙퇴석의 존재를 생각할 수 있다. 곧 층준 175cm에는 자갈과 모래가 혼합된 diamicite가 존재한다. diamicite는 퇴적구조 특성상 남극 육상에서 기원한 빙하의 흐름으로 퇴적된 basal till과 아주 비슷하기 때문에 육상에서 퇴적되지 않았다고 단정할 수 없다. 곧 이 층준이 퇴적될 시기에 이 지역이 육상이라면 급격한 빙퇴석의 운반으로 자갈과 모래의 양은 급격히 변할 수 있기 때문이다. 그러나 시추심이 육상이라는 가정은 해수면이 지금보다 130m 정도 낮았다는 뜻으로 과연 그런 적이 있었는지를 밝혀야 할 것이다.

둘째, 175cm 층준이 해저에서 퇴적되었다고 가정할 수 있다. 바로 연안 경사지에 쌓였던 자갈과 모래가 어

떤 충격으로 일시에 시추심 지역으로 공급되었다고 생각할 수 있다. 그러나 시추심의 위치는 만의 한 가운데로 상당히 평탄한 지역(김용권·백원대, 1995, Fig. 3)이기 때문에 연안 경사지의 퇴적물이 사면을 따라 공급될 가능성은 없다. 그러나 지진과 같은 큰 충격이 있었다면 연안퇴적물이 만의 평탄한 지역까지 운반될 수 있을 것으로 생각된다. 이를 확인하기 위해서는 마리안 소만을 포함한 킹조지 섬의 다른 소만이나 만을 포함해 해저지형이 비슷한 곳에서 비슷한 시기에 급격한 퇴적현상이 있는지를 살펴보아야 할 것이다.

셋째, 자갈과 모래가 유빙으로 많이 공급되었다고 생각할 수 있다. 그러나 이 운반 방식은 많은 양의 자갈과 모래가 유빙으로 갑자기 운반되었다는 사실을 설명해야 한다. 마리안 소만이 좁은 곳이므로 육상쇄설물을 많이 포획한 유빙이 시추지점 부근에서 녹으면서 자갈과 모래를 그 곳에 퇴적시켰을 가능성을 배제할 수 없기 때문이다.

### 퇴적물의 화학성분 분석

질소 총량(TN)은 층준 105cm를 경계로 하부에서는 0.02% 이하로 뚜렷이 적은 반면 상부에서 0.05%까지 현저하게 증가한다(Table 2). 해저퇴적물에 함유된 질소의 기원이 주로 해양유기물에 기원한다는 사실과 유공충의 산출량이 상부층에서 급격히 증가한다는 사실

Table 1. Granulometric compositions, sediment types and textural parameters.

Depth (cm)	Composition (%)			Sediment Type by Folk	Textural Parameters				
	Gravel	Sand	Silt		Clay	Mz(Phi)	St.De.	Skew.	Kurt.
0		10.4	32.6	57.1	sM	8.74	3.41	-0.48	2.29
5		8.8	34.0	57.2	M	8.69	3.37	-0.56	2.60
10		9.4	30.7	59.9	M	8.83	3.40	-0.63	2.55
15		10.3	30.7	59.0	sM	8.72	3.44	-0.66	2.72
20		6.9	33.2	59.9	M	8.97	3.11	-0.40	2.08
25	4.1	15.4	28.4	52.1	(g)sM	7.74	4.33	-0.65	2.36
30		8.7	30.2	61.0	M	9.04	3.27	-0.51	2.13
35		6.6	31.3	62.1	M	9.15	3.11	-0.49	2.15
40		8.9	32.0	59.1	M	8.91	3.23	-0.42	2.03
45		9.4	34.2	56.4	M	8.67	3.19	-0.32	1.98
50		11.8	31.5	56.7	sM	8.57	3.43	-0.50	2.37
55		9.8	31.7	58.5	M	8.74	3.25	-0.43	2.17
60	3.0	16.3	27.3	53.4	(g)sM	8.05	4.02	-0.62	2.59
65		14.8	28.1	57.1	sM	8.62	3.52	-0.39	1.86
70	2.4	16.3	27.4	54.0	(g)sM	8.20	3.90	-0.56	2.51
75		16.1	30.8	53.0	sM	8.30	3.53	-0.26	1.79
80		16.1	30.3	53.7	sM	8.36	3.50	-0.26	1.77
85		14.2	31.2	54.5	sM	8.44	3.40	-0.26	1.76
90		13.1	32.4	54.5	sM	8.34	3.60	-0.55	2.48
95	3.7	11.9	32.1	52.3	(g)sM	8.06	3.92	-0.67	2.84
100		14.4	32.9	52.8	sM	8.27	3.52	-0.33	1.99
105		15.1	31.7	53.2	sM	8.21	3.70	-0.49	2.29
110		18.1	33.9	48.1	sM	7.70	3.58	-0.27	2.19
115	15.4	30.6	23.4	30.6	gM	5.08	4.98	0.05	1.83
120	0.6	23.1	33.0	43.3	(g)sM	7.13	3.55	0.02	2.15
125	0.6	21.4	55.5	22.6	(g)sM	7.05	3.61	-0.01	2.47
130		17.4	35.1	47.6	sM	7.70	3.49	-0.15	2.08
135	2.3	21.3	51.6	24.8	(g)sM	6.95	3.76	-0.22	2.64
140	12.6	21.8	41.6	24.0	gM	5.67	4.63	-0.22	2.23
145	6.9	24.9	28.6	39.6	gM	6.50	4.49	-0.24	2.04
150	2.7	14.0	56.3	27.0	(g)sM	7.34	3.51	-0.37	3.32
155	12.4	24.2	25.8	37.6	gM	5.89	4.87	-0.16	1.81
160	9.6	25.5	25.7	39.2	gM	5.97	4.69	-0.19	1.94
165	0.6	15.7	44.6	39.2	(g)sM	7.53	3.5	-0.15	2.49
170	10.8	28.9	22.4	37.9	gM	5.51	4.58	-0.09	1.89
175	49.6	36.9	5.0	8.4	msG	0.63	4.03	1.53	4.68
180	22.0	43.7	13.3	21.0	gmS	3.33	4.69	0.59	2.21
185	18.2	34.8	18.6	28.4	gM	4.16	4.70	0.19	1.78
190	15.3	41.1	13.1	30.5	gM	4.14	4.54	0.25	1.9
195	12.9	35.9	20.1	31.2	gM	4.89	4.69	0.17	1.82
200	9.1	24.9	28.4	37.6	gM	5.96	4.45	-0.21	2.19
205	12.8	34.0	13.8	39.4	gM	4.93	4.35	-0.20	1.83
210	8.2	23.6	31.7	36.5	gM	6.20	4.52	-0.23	2.07
215	10.1	23.6	26.4	39.9	gM	6.36	4.95	-0.19	1.78
220	20.6	34.0	17.8	27.6	gM	4.34	5.16	0.31	1.77
225	7.1	38.6	21.7	32.5	gM	5.54	4.72	0.20	1.71
230	16.3	36.3	21.0	26.5	gM	4.46	4.94	0.29	1.85
235	17.9	36.4	20.4	25.4	gM	4.23	4.91	0.35	1.88

(Baohua *et al.*, in press)로 비추어 볼 때 이는 상부층이 퇴적될 때 표층해양의 일차 생산력이 높아 식물 플랑크톤이 번식한 결과로 보인다.

유기물 총량(TOC)은 105cm를 경계로 상부퇴적상에서 현저하게 증가한다. 이는 상부층이 퇴적될 때 생물 생산력이 높았음을 의미하며 퇴적물의 입자가 세립이

되면서 생기는 혼한 현상으로 보인다. 실제 연구지역에 있는 유기물 가운데 가장 많은 성분 중의 하나인 규조의 경우 크기가 아주 작다. 규조는 생산력이 아주 높아 남극 먹이망의 기본이 되는 생물이다.

반면 유황 총량(TS)은 105cm를 경계로 상부 암상에서 0.5~1.0% 사이로 현저히 적어진다. 반면 하부는

Table 2. Chemical composition and absolute ages.

Depth (cm)	TN (%)	TOC (%)	TS (%)	TC (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	*Corrected age C <sup>14</sup>
0	0.052	0.271	0.685	0.406	5.215	1.125	
5	0.043	0.237	0.655	0.405	5.543	1.400	5313±71
10	0.042	0.219	0.605	0.362	5.201	1.192	
15	0.036	0.193	0.695	0.334	5.393	1.175	
20	0.037	0.2	0.55	0.323	5.418	1.025	
25	0.044	0.228	0.583	0.393	5.167	1.375	
30	0.044	0.241	0.743	0.382	5.491	1.175	
35	0.044	0.237	0.661	0.377	5.373	1.167	
40	0.042	0.23	0.683	0.368	5.481	1.150	
45	0.043	0.222	0.595	0.36	5.21	1.150	
50	0.046	0.242	0.559	0.373	5.29	1.092	
55	0.044	0.244	0.667	0.379	5.591	1.125	
60	0.05	0.265	0.675	0.416	5.348	1.258	
65	0.043	0.249	0.603	0.365	5.809	0.967	
70	0.045	0.239	0.7	0.374	5.349	1.125	
75	0.044	0.238	0.656	0.371	5.367	1.108	
80	0.039	0.209	0.616	0.324	5.32	0.958	
85	0.041	0.159	0.746	0.329	3.896	1.417	
87.5	0.051	0.274	1.107	0.458	5.405	1.533	
90	0.035	0.188	0.994	0.296	5.437	0.900	
95	0.025	0.138	0.988	0.231	5.425	0.775	
100	0.025	0.137	0.937	0.238	5.462	0.842	
103							8646±70
105	0.026	0.136	1.108	0.249	5.176	0.942	
110	0.015	0.088	2.283	0.228	5.733	1.167	
115	0.015	0.082	2.635	0.267	5.441	1.542	
120	0.017	0.093	2.416	0.261	5.37	1.400	
125	0.017	0.086	2.261	0.244	5.121	1.317	
130	0.017	0.091	2.364	0.258	5.539	1.392	
135	0.016	0.072	2.52	0.247	4.643	1.458	
140	0.016	0.084	2.355	0.266	5.158	1.517	
145	0.016	0.088	2.573	0.241	5.559	1.275	
150	0.018	0.102	2.121	0.289	5.553	1.558	
155	0.007	0.04	2.403	0.347	5.409	2.558	
160	0.009	0.047	2.258	0.342	5.484	2.458	
165	0.017	0.103	2.35	0.259	6.109	1.300	
170	0.008	0.065	3.205	0.211	8.461	1.217	
180	0.002	0.022	3.005	0.178	8.951	1.300	
185	0.005	0.027	3.052	0.167	5.142	1.167	
190	0.007	0.045	2.588	0.244	6.149	1.658	
195	0.009	0.048	2.247	0.261	5.482	1.775	
200	0.016	0.082	2.479	0.276	5.211	1.617	
205	0.018	0.1	2.239	0.333	5.467	1.942	
210	0.013	0.066	2.442	0.236	5.191	1.417	
215	0.009	0.05	2.447	0.307	5.603	2.142	
220	0.008	0.043	2.363	0.333	5.308	2.417	
225	0.008	0.043	2.103	0.328	5.345	2.375	
230	0.006	0.043	2.052	0.315	6.827	2.267	
232							13461±98
235	0.006	0.047	1.819	0.321	7.645	2.283	

\*A 1300 years reservoir correction (Gordon and Harkness, 1992; Domack, 1993) was applied to all ages.

2.0% 이상으로 뚜렷이 높다. 그리고 175cm에서 3.9%로 최대값을 보인다. 해저퇴적물에서 유황 총량이 높으면 보통 유기물의 함량도 높다는 사실로 보아 (Berner, 1980), 이는 상반된 현상으로 보인다. 그러나 실제 연구 지역주변에 발달한 육상 기반암에는 황철석이 상당히 많이 함유되어있는 것으로 보아(Littlefair, 1978), 하부층에서 유황 총량이 높은 이유는 주로 퇴적물 속 자갈에 함유된 황화광물에 기인하기 때문인 것으로 생각된다.

탄소 총량(TC)은 CaCO<sub>3</sub> 함량의 감소에도 95cm를 경계로 상부에서 약간 많아진다. 이는 상부물질이 퇴적될 때 일차 생산력이 높아 유기물이 많이 유입되어 퇴적물 내에 유기탄소량이 증가했기 때문으로 해석된다.

유기물 총량에 대한 질소 총량의 비율(C/N)은 층준 235cm와 175cm를 중심으로 180~170cm에서 7.6~9.4로 대단히 높은 반면 85cm에서는 3.9로 아주 낮으며 이런 곳을 제외하고는 대부분 5.0~6.0의 값을 보인다. 그 가운데 175cm 부근에서 높은 것은 그 층준을 구성하는

유기물성분이 주로 육상에서 기원한 것임을 암시한다.

퇴적물에 함유된 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)의 총량은 시추심 A10-01의 하부에서 위로 감에 따라 점차 작아진다(Fig. 4). 이 현상은 두 가지로 설명된다. 첫째, 상부로 가면서 일차 생산력에 따라 증가된 유기물이 퇴적된 후에 2차 분해작용에 따라 생성된 이산화탄소가 탄산칼슘을 녹인 결과로 해석된다(Yoon et al., 1997). 둘째, 탄산칼슘을 퇴적시킬 만한 인자, 그 가운데 탄산칼슘을 주성분으로 한 생물체의 감소로도 생각할 수 있다. 그러나 전체를 볼 때 탄산칼슘이 주성분인 유공충의 산출량이 매우 미약한 사실로 미루어 볼 때, 전자의 설명이 타당하다.

### 절대연령측정

시추퇴적물의 방사성탄소 절대연령이 5cm에서 5313 ± 71 years B. P., 103cm에서 8,646 ± 70 years B. P., 232cm에서 13,461 ± 98 years B. P.이다. 이 값을 Stuiver et al.(1991)과 Stuiver and Braziunas(1993)의 calibration curve를 사용하여 검증하면 각각 5,660 ± 71 years B. P., 9,270 ± 70 years B. P., 15,400 ± 98 years B. P.이다(Kim et al. 1999, Table 1).

### 마리안 소만의 퇴적작용

#### 퇴적작용 이론

보통 빙하퇴적물은 퇴적과정에 따라 기반암 위에 이미 오래 전에 퇴적된 물질, 육상빙하가 해저로 직접 운반한 빙퇴석, 유빙으로 운반된 물질, 빙하기저에 포획된 후 빙하가 녹으면서 남겨놓은 물질, 용빙수류(meltwater stream)로 운반된 물질, 화산재 같은 대기로 운반된 물질, 해수 중의 생물체 또는 배설물로 크게 여섯 종류가 있다고 생각된다. 기원에 따라 그 성분과 크기도 다르겠지만 퇴적된 장소와 퇴적과정이 다르며 그 결과 퇴적상도 달라진다.

연구지역의 퇴적방식은 크게 두 가지로 나뉘어진다. 첫째, '이미 퇴적된 물질'로 오래 전 기반암 위에 퇴적된 물질이 이에 속한다. Yoon et al.(1997)의 basal till이 이에 속한다고 할 수 있다. 이 물질들은 빙하가 해저면에 닿는 경우 빙하에 눌리고 연마되고 깨어질 가능성이 있다. 게다가 이 현상은 빙하 기저부가 해저면에 닿을 정도로 수심이 얇은 곳에서 현저하리라 생각된다.

둘째, '현재 퇴적되는 물질'로 '이미 퇴적된 물질'을

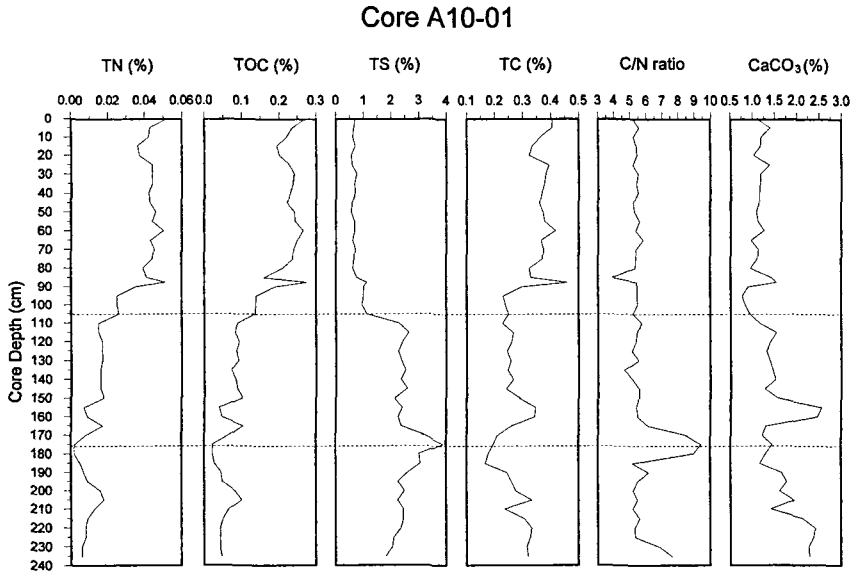


Fig. 4. Downcore variations of the chemical components.

제외한 모든 물질이 이에 속한다. 이 물질의 퇴적과정은 몇 가지로 나뉜다. 첫째, 빙하의 이동이 기반암을 침식하면서 빙하 기저부에 포획돼 '빙하바닥이 녹을 때 가라앉은 빙퇴석(waterlain till)' 과 '유빙운반물질(ice-rafted material)' 이다. 이들은 같은 기원의 물질로 운반양식에 따라 나뉘어진다. 바로 빙퇴석은 주로 빙하 기저부에 놓이거나 빙하 속에 끼어서 지면 위를 흘러 빙하가 바다로 유입될 때 퇴적된다. 반면 빙하가 바다에 들어올 때 퇴적되지 않고 바다에 떠도는 유빙으로 운반되어 퇴적될 경우는 유빙운반물질이 된다(Fig. 5). 빙하 속에 끼인 퇴적물은 빙하가 녹음에 따라 가라앉는다. 그러므로 육지 가까운 곳에는 더 많은 빙퇴석이 퇴적되며 바다의 중앙부로 갈수록 작아진다. 곧 시추심의 위치가 만의 중앙이므로 시추심 하부의 자갈과 모래같은 조립질물질이 조금 쌓인 것이라고 말할 수 있다. 빙하 기저부에 포획된 빙퇴석의 양은 빙하가 바다로 유입되기 전 기반암과 닿는 면적에 비례하고 그 양은 유빙으로 운반되는 양보다는 훨씬 많을 것으로 보인다. 빙퇴석은 주로 빙하가 바다로 유입되는 지역에 퇴적될 것이나 간혹 유빙으로 운반되어 상당히 먼 곳에서 퇴적되는 수도 있을 것이다(Domack *et al.*, 1980). 빙퇴석은 빙하의 바닥을 따라 흐르므로 빙벽에서는 거의 관찰되지 않는다. 그러나 빙하가 바다에 닿기 전에 녹는 곳에서는 빙퇴석을 잘 볼 수 있다(장순근, 1997).

다음은 물이 직접 운반수단인 퇴적물로 크게 두 종류를 생각할 수 있다. 첫째, 빙하 속에 포함된 물질이 빙하가 녹으면서 바다에 퇴적되는 경우이다. 쇄설물이 빙하로 공급되는 경우는 기반암의 결빙과 해빙의 반복으로 생성된 암편이 사면을 굴러내려 빙하표면에 얹히는 경우와 대기 중의 물질이 빙하 위에 떨어지는 경우가 있다. 이런 물질들은 모두 빙하가 녹으면서 바다로 유입된다. 이런 물질의 양은 그렇게 많아 보이지 않는다. 세종기지의 기온은 영상인 경우도 있고 마린안 소만 동쪽의 빙하는 무너져 내려 결국 녹는다. 빙하는 영상기온이나 비가 오면 급격하게 녹아 그 물은 빙하 크레바스나 녹은 통로를 통해 바다로 직접 흘러내린다. 이런 현상은 빙하가 얇거나 빙하말단에서 유난히 심하다(Yoon and Park, 1996; 유규철 외, 1999). 빙하 내의 물질도 직접 해저에 퇴적된다. 빙하가 해수에 닿아 서서히 녹는다면 그렇지 않겠으나 만약 수류를 만들어 흘러내린다면 그 물은 바다 속으로 들어오는 일종의 하천으로 볼 수 있다. 이 때 유입되는 용빙수(melt water)는 염분이 낮아 가벼워 솟아오르면서 세립의 쇄설성물질들은 유출구 부근으로 확산될 것이라 생각된다(Yoon and Park, 1996). 둘째, 육수로 운반되어 바다로 유입되는 지면의 쇄설물도 물이 직접 운반수단이 되는 퇴적현상이라고 말할 수 있다.

다음은 해수표층에서 성장하거나 서식하는 생물사체

의 퇴적이다. 이에는 남빙양에 있는 모든 생물체가 포함돼, 규조와 난노플랑크톤과 유공충과 방산충 같은 미고생물 계통의 작은 생물체와 크릴 같은 동물 플랑크톤과 남빙양의 어류와 연체동물들과 포유동물의 유해가 포함된다. 그러나 실제 해저퇴적물에서는 규조의 껍데기가 상당한 부분을 차지한다.

그러나 이렇게 퇴적되는 물질들은 서로 섞일 수 있다. 예컨대 대기 중의 물질이 빙퇴석이나 지면에 떨어져 운반될 수 있다. 지면 위로 운반되는 빙퇴석도 실제로 얼음이 녹은 물로 운반된다. 빙하가 녹은 물도 빙하아래 지면 위를 흘러 바다로 들어가는 경우도 있을 것이다. 한편 빙하 기저부에 퇴적된 물질들은 얼음에 눌리고 연마되고 깨어질 가능성이 있다 또한 연구지역에 퇴적되는 물질들은 빙하의 움직임에 큰 영향을 받는다. 곧 시추심지역이 빙하로 덮였을 때는 빙하의 바닥을 통하여 유입되는 빙퇴석과 빙하 자체가 녹아 유입되는 물질의 양은 거의 변함없다고 생각된다. 그러나 유빙으로 유입되는 물질의 양은 현저히 적을 것이다. 반면 바다물에서 성장하는 생물체에서 기인된 물질의 양은 빙하로 덮였을 때에는 그렇지 않을 때보다 현저히 적을 것이다.

퇴적되는 물질은 날씨와 시간의 영향도 크게 받는다. 예컨대 빙퇴석과 유빙으로 운반되는 물질은 얼음이 녹아 흐를 정도의 시기에 주로 운반된다. 빙하 속에 있던 물질들의 경우도 마찬가지로 그 가운데서도 비가 올 때 많이 녹아내린다. 육수로 운반되어 유입되는 물질들은 비가 오거나 눈과 얼음이 녹고 육수가 흐를 시기에 유입된다.

기지 부근, 그 가운데서도 바튼반도쪽에서는 녹아 흘러들 위치에 있는 눈과 얼음은 상당히 빨리 녹아 일시에 유입된다고 말할 수 있다. 그러므로 땅 위를 흐를 정도의 많은 양의 육수는 그 시기가 끝나면 영상의 기온에서도 유입되지 않는다. 극지는 온대지방과 달라 지면에는 수분을 가지고 있을 만한 식물이 없어 식물에 갇힌 물이 서서히 흐르지 않는다(이주삼, 1992; 장순근, 1997).

Fig. 5는 위에서 논의한 퇴적작용이 마리안 소만에서 일어나는 것을 그린 모식도이다(Yoon *et al.*, 1997).

### 마리안 소만의 퇴적방식

시추심 A10-01의 층준 210cm와 165cm를 전후한 리드 마이트와 135~120cm의 리드마이트 그리고 층준 105cm 상부를 구성한 균일한 머드의 주성분 중의 하나가 규조라는 사실은 이 부분이 퇴적될 때에는 적어도 표층해양

의 규조 생산력이 컸다고 생각된다. 따라서 당시 시추심 지역은 규조의 생장에 적합한 조건, 곧 빙하로 덮이지 않은 곳이었다고 유추할 수 있다. 이러한 환경은 시추심의 상부로 가면서 점차 깊어졌다고 볼 수 있다. 그 가운데서도 103cm의 검증된 절대연령이  $7,970 \pm 70$  ( $9,270 \pm 70$ ) - 1,300 years B. P.이며 그 이후에는 대부분 규조가 함유된 머드가 퇴적되었다는 것을 감안하면 이 시기부터 연구지역은 얼음에 덮이지 않았다고 생각된다.

빙퇴석으로 운반된 퇴적물이 시추심의 상부로 가면서 줄어드는 양상은 빙하전면의 후퇴로 빙하가 시추심의 위치에서 점차 멀어지면서 해수의 영향이 점점 증가했음을 의미한다.

시추심 A10-01에서 상부로 갈수록 질소총량과 유기탄소총량이 많아지는 것은 해수의 영향이 증가해 생물체의 공급이 커진 것으로 볼 수 있다. 이는 주로 규조를 비롯한 식물플랑크톤의 생산력 증가에 따른 것으로 보인다.

시추심 A10-01에 퇴적된 물질, 그 가운데서도 자갈과 모래같은 조립물질들은 빙하, 바로 빙퇴석으로 운반된 것으로 보인다. 시추심 아랫부분에 조립물질들이 유난히 많은 것은 당시 빙하의 흐름이 지속되었기 때문으로 생각된다. 그러나 시추심 깊이 175cm에 자갈과 모래가 86.56%로 급격히 증가하는 사실은 이들이 갑자기 공급되었다는 점에서 빙퇴석의 정상 운반외에 다른 방식을 생각해야 한다. 175cm는 검증된 절대연령 2개의 값으로 계산컨대, 지금부터 9,660 ( $12,660-1,300$ ) years B. P. 정도 된 것으로 생각된다. 1,300 years B. P.은 남극에서 얼은 방사성탄소의 절대연령값에 Stuiver *et al.*(1981)이 제안한 수정치 1,200~1,400 years B. P.의 중간값이다(Domack, 1993).

연구지역의 퇴적률은 23cm/1,000년 정도로 맥스웰만 위버반도의 서쪽지점의 33cm/1,000년보다 느리다(Kim *et al.*, 1999).

### 논 의

Yoon *et al.*(1997)은 마리안 소만에서 채취된 시추퇴적물의 퇴적상을 아래에서 위로 가면서 basal till (unit I), interlaminated sand and mud (unit II), pebbly mud (unit III)로 분류했다. unit I은 자갈이 우세하며 빙하가 바닥에 닿으면서 만들어진 층이며 unit II는 모래와 펄이 교대로 퇴적된 층이며 unit III은 자갈이 섞인 펄이다.



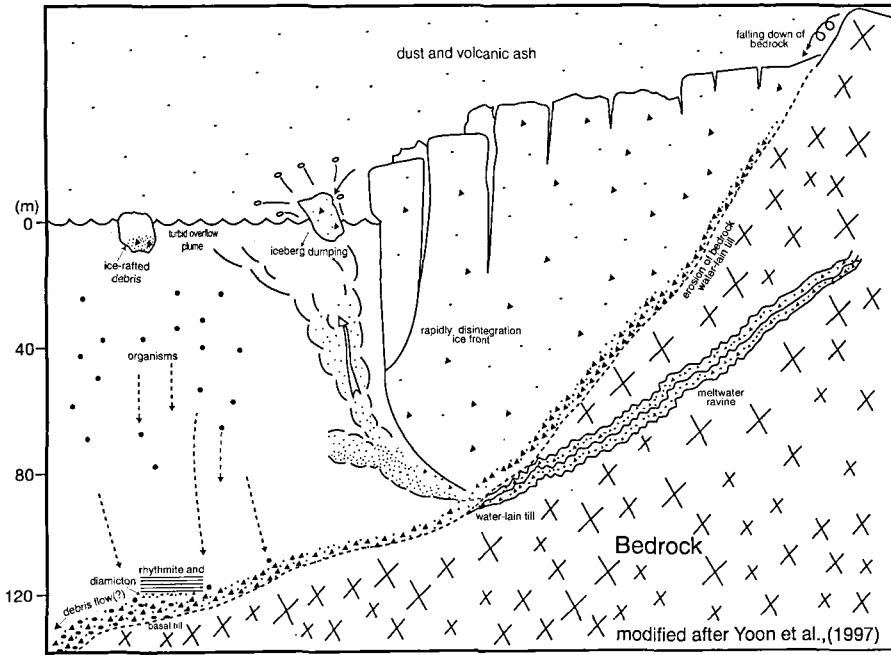


Fig. 5. Schematic model for glaciomarine sedimentation in Marian Cove(modified after Yoon et al., 1997).

시추심 A10-01의 하부 퇴적상은 두 가지로 해석될 수 있다. 우선 그 부분에 존재하는 자갈들의 평균입도가 Yoon et al.(1997)의 unit I의 평균입도 -5.0 파이보다 현저히 작아, 곧 세립물질이 unit I에서 더욱 현저하게 많다는 점에서 그 부분은 unit I에 해당되지 않는다고 볼 수 있다. 또한 시추심의 아랫부분은 Yoon et al.(1997)이 마리안 소만 시추심에서 기술했던 30cm 두께의 unit I보다는 훨씬 두껍다. 그러므로 이 연구의 시추심 아랫부분이 unit I이 되기 어렵다고 생각할 수 있다. Yoon et al.(1997)이 unit I을 기술했던 것은 unit I이 있는 곳을 시추했기 때문으로 판단된다.

반면 시추심 하부퇴적물의 입도가 unit I의 입도보다 작은 것은 사실이나 이 시추퇴적물의 위치가 마리안 소만의 한 가운데, 곧 연안에서 조립물질이 쉽게 공급되기 어려운 위치이므로 그 부분에 있는 조립물질들은 이미 그 곳에 있던 물질, 바로 그 부분은 unit I에 해당된다고도 볼 수 있다. 입도는 크게 중요하지 않고 퇴적상의 두께도 공급량에 따라 변할 수 있다고 보면 이 시추심의 아랫부분이 unit I에 해당되지 않는다고 부인할 이유도 없다.

시추심 A10-01의 상부에서 생물체의 영향은 커지는 반면 생물체의 영향을 지시하는 유황 총량이 적어지는 것은 외부에서 황철석을 함유한 육상쇄설물의 유입이

적어지면서 생긴 자연스러운 현상으로 생각된다. 아랫 부분에서는 황철석( $FeS_2$ )을 포함한 육상모암물질의 존재로 유황 총량이 증가한 사실이 이를 뒷받침해준다. 그러나 위로 가면서 육상모암물질의 유입이 적어지면서 유황 총량은 해양환경의 평균치 0.5% 정도에 접근했다고 생각된다.

시추퇴적물 A10-01에 함유된 화산재, 그 가운데서도 1960년대 후반에 있었던 디셉션(Deception) 섬의 화산 활동에 따른 화산재가 퇴적되었다고 생각되나 이를 인지하지 못함이 유감이다 (Baker et al., 1975). 퇴적된 양이 너무 적었기 때문으로 생각된다. 화산재는 공기 중에서 직접 퇴적된 것도 있었으며 육상이나 빙하에 퇴적돼 유입된 것도 있었을 것이다.

얼음에 눌린 자갈과 그렇지 않은 자갈의 구별을 위해 빙하가 해저면에 닿지 않는다고 생각되는 빙하 말단부분의 아주 깊은 부분과 빙하가 바닥에 닿는다고 생각되는 빙하옆 아주 얇은 부분의 표면이나 시추심의 자갈, 그 가운데서 자갈의 모양과 원마도, 크기, 구성광물과 조직 같은 자갈자체의 퇴적현상과 암석특징들을 연구할 필요가 있다(Dornack, 1982). 만약 빙하가 아주 깊은 곳의 바닥까지 닿아있었다면 그런 구별은 어려울 것이다. 빙하가 바닥에 닿았다면, 해안에서 구조해빈(構造海

濱)이 생기듯이, 빙하에 눌린 지형이 발달할 가능성도 있다(장순근, 1997). 이런 구조는 시추심이나 퇴적물 채집도 필요하지만 해저면 주사기(海底面 走査機)를 이용해 해저면을 관찰하는 작업이 필요하다.

시추심 A10-01의 탄소 절대연령 자료를 따르면 최상부 5cm의 연령이 약  $5,660 \pm 71$  years B. P. 정도로 나타났다. 이 값은 인접한 맥스웰 만에서 얻은 시추심의 최상부 값 1,200 years B. P.에 견주어 무려  $4,460 \pm 71$  years B. P. 정도의 차이를 보인다(Kim *et al.*, 1999). 맥스웰 만에서 얻은 연령값 1,200 years B. P.은 남극권에서 죽은 생물의 사체나 패각류의 연령 1,300~1,770년과 유사하다(Stuiver *et al.*, 1981). 그러나 Domack *et al.*(1989, 1991)은 동남극 대륙붕의 표층퇴적물에 대하여 1,915년에서 5,020년 사이의 연령값을 보고한 바 있다. 이렇게 오래된 연령값에 대하여 Domack *et al.*(1989)은 과거 빙하 속에 포집된 이산화탄소를 함유한 눈 녹은 물의 유입에 따른 것으로 설명했다. 반면 Harden *et al.*(1992)은 이것을 오래된 유기물질이 해류나 중력류로 재이동되어 퇴적물 속에 포함된 결과로 보았다. 그러나 연구지역인 마리안 소만은 해류의 영향이 거의 없는 작은 만일 뿐 아니라 마리안 소만에서 얻은 고해상도 탄성과 자료를 보면 약 6m 두께의 빙하해양 퇴적물이 기반암을 따라서 얇게 피복되어 있는 모습이 보인다. 수심이 깊어지는 지형에서도 중력류로 운반된 퇴적상은 발견되지 않는다(Yoon *et al.*, 1997). 이렇게 볼 때, 이 지역 퇴적물 최상부의 오래된 연령값은 해류나 중력류로 생긴 오래된 퇴적물의 재이동이라기보다는, 조사지역 주변에 광범위하게 분포하고 있는 빙하에서 하절기에 눈 녹은 물의 유입 결과로 볼 수 있다. 실제로 Yoon *et al.*(1998)이 마리안 소만에서 측정된 눈이 녹은 물의 유입형태를 보면 표층해양뿐 아니라 중층을 따라서 많은 양의 눈 녹은 물이 하절기에 조사 지역으로 공급된다. 킹 조지섬 가운데 애드미랄티(Admiralty) 만에 하절기에 하루 약 200 톤의 눈 녹은 물이 공급되고 있다는 사실은(Pecherzewsk, 1980), 조사지역에도 많은 양의 눈 녹은 물이 공급되고 있다는 현상을 가정하게 한다.

## 결론

마리안 소만에서 채취된 시추퇴적물 A10-01을 분석

한 결과 다음과 같은 결론을 제시할 수 있다.

첫째, 마리안 소만에는 최소한 지금부터 약 14,000년 전부터 빙퇴석과 유빙운반 퇴적물 등 빙해양퇴적물이 퇴적되었다. 마리안 소만이 빙하로 덮여있는 동안에는 조립쇄설물질이 우세하게 퇴적되었으나 빙하가 후퇴하면서, 바다물로 덮였을 때에는 세립물질과 유빙운반 퇴적물이 우세하다.

둘째, A10-01 시추퇴적물의 층준 115cm 하부에서는 조립물질이 상당 부분을 차지한다. 그러나 그 부분이 이미 그 곳에 있던 퇴적물인지 또는 유빙으로 유입된 퇴적물인지는 더욱 깊은 연구가 필요하다.

셋째, 현재 마리안 소만의 동쪽에 있는 빙벽은 A10-01 시추 층준 110cm 부분이 퇴적될 당시인 8,300 years B. P.에는 현재의 위치에서 1.6km 정도 서쪽에 있었다. 층준 103cm이 퇴적될 당시인  $7,970 \pm 70$  years B. P.에는 빙벽이 후퇴해 시추심을 채집한 지역은 바다물에 노출되었다.

넷째, A10-01의 층준 175cm되는 곳에 자갈이 갑자기 많아진 원인의 하나로 지진의 가능성을 배제할 수 없다.

## 감사하는 글

이 논문을 읽고 유익한 수정과 정정을 해 준 전남대학교 전송수 교수와 이름을 밝히지 않은 심사위원에게 감사를 드린다.

## 참고문헌

- 김용권·백원대, 1995, 세종기지 주변 수심 및 육상측량(III). 남극환경특성 및 보존에 관한 연구. 한국해양연구소, BSPN 00258-822-7, 825-846 pp.
- 유규철·윤호일·오재경·김예동·강천운, 1999, 남극 킹조지 섬 마리안 소만의 하계 수층 특성 과 부유물질 분산, 한국해양학회지 바다, 4, 266-274.
- 이주삼, 1992, 남극 킹조지섬 바톤반도의 지의류의 식생분포. 한국극지연구, 3, 27-34.
- 장순근, 1997, 남극 세종기지부근의 지면의 특징. 한국지구과학회지, 18, 443-449.
- 최동림·남상헌·오재경, 1990, 3.5kHz 음향기록을 이용한 King George 섬 Maxwell 만의 해양지질. 한국극지연구, 1, 19-26.
- 홍성민·박병권·윤호일·김예동·오재경, 1991, 마리안소만의 퇴적환경과 주변의 고빙하 분포 상. 한국극지연구, 2,

- 73-85.
- Baker, P. E., McReath, I., Harvey, M. R., Roobol, M. J., and Davies, T. G., 1975, The Geology of the South Shetland Islands: V. Volcanic Eruption of Deception Island. British Antarctic Survey, Science Report, 78, 81. 13 plates.
- Baohua Li, Yoon, H. I., and Park, B. K., 2000, Foraminiferal assemblages and CaCO<sub>3</sub> dissolution since the Last Deglaciation in the Maxwell Bay, King George Island, Antarctica, *Marine Geology* (in press).
- Berner, R. A., 1980, *Early Diagenesis: A Theoretical Approach*, Princeton University Press, 241 pp.
- Blair, T. C. and McPherson, J. G., 1999, Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 69, 6-19.
- Domack, E. W., 1982, Sedimentology of glacial and glacial marine deposits on the George V-Adelie continental shelf, East Antarctica. *Boreas*, 11, 79-97.
- Domack, E. W., 1993, Modern carbon-14 ages and reservoir corrections for the Antarctic Peninsula and Gerlache Strait area. *Antarctic Journal of U. S.*, 27, 63-64.
- Domack, E. W., Anderson, J. B., and Kurtz, D. D., 1980, Clast shape as an indicator of transport and depositional mechanisms in glacial marine sediments: George V Continental Shelf, Antarctica. *Journal of Sedimentary Petrology*, 50, 813-820.
- Domack, E. W., Jull, A. J. T., Anderson, J. B., Linick, T. W., and Williams, C. R., 1989, Application of Tandem accelerator mass-spectrometer dating to Late Pleistocene-Holocene sediments of the East Antarctic continental shelf. *Quaternary Research*, 31, 277-287.
- Domack, E. W., Jull, A. J. T., and Nakao, S., 1991, Advance of East Antarctic outlet glaciers during the Hypsithermal: Implications for the volume state of the Antarctic ice sheet under global warming. *Geology*, 19, 1059-1062.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957, Brazos river bars. A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Gordon, J. E., and Harkness, D. D., 1992, Magnitude and geographic variation of the radiocarbon content in Antarctic marine life: Implications for reservoir corrections in radiocarbon dating. *Quaternary Science Review*, 11, 697-708.
- Harden, S. L., Demaster, D. J., and Nittrouer, C. A., 1992, Developing sediment geochronologies for high-latitude continental shelf deposits: A radiochemical approach. *Marine Geology*, 103, 69-97.
- Kim, Y. and Nam, S. H., 1991, High resolution seismic survey of Maxwell Bay, King George Island: Glacial marine sedimentation and tectonics. *Korean Journal of Polar Research*, 2, 79-86.
- Kim, D., Park, B.K., Yoon, H.I., and Kang, C. Y., 1999, Geochemical evidence for Holocene paleoclimatic changes in Maxwell Bay of South Shetland Islands, West Antarctica. *Geoscience Journal*, 3, 55-62.
- Littlefair, M. J., 1978, The "quartz-pyrite" rock of the South Shetland Islands, Western Antarctic Peninsula. *Economic Geology*, 73, 1184-1189.
- Pecherzewsk, K., 1980, Distribution and quantity of suspended matter in Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research*, 1, 75-83.
- Park, B. K., Chang, S.K., Yoon, H. I., and Chung, H., 1998, Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, 27, 633-635.
- Stuiver, M. and Brazinius, T. F., 1993, Modeling atmospheric <sup>14</sup>C influences and <sup>14</sup>C ages of marine samples to 10000 BC. *Radiocarbon*, 35, 137-189.
- Stuiver, M. and Brazinius, T. F., Becker, B., and Kromer, B., 1991, Climatic, solar, oceanic, and geomagnetic influences on Late-glacial and Holocene atmospheric <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C change. *Quaternary Research*, 35, 1-24.
- Stuiver, M., Denton, G. H., Hughes, T. J., and Fastook, J. L., 1981, History of the marine ice sheet in West Antarctica during the last glaciation: a working hypothesis. In: *The last great ice sheet*, edited by G.H. Denton and T. J. Hughes, Wiley, New York, 319-436 pp.
- Yoon, H. I., Han, M. W., Park, B. K., Oh, J. K., and Chang, S. K., 1997, Glaciomarine sedimentation and palaeo-glacial setting of Maxwell Bay and its tributary embayment, Marian Cove, South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Geology*, 140, 265-282.
- Yoon, H. I. and Park, B. K., 1996, Distribution and dispersal pattern of suspended particulate matter in Maxwell Bay and its tributary, Marian Cove, in the South Shetland Islands, Antarctica. *Korean Journal of Polar Research*, 7, 65-76.
- Yoon H. I., Park, B. K., Domack, E. W., and Kim, Y., 1998, Distribution and dispersal pattern of suspended particulate matter in Maxwell Bay and its tributary, Marian Cove, in the South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Geology*, 152, 261-275.