

## 마산만 퇴적환경 오염에 따른 저서성 유공충 분포 변화

우한준 · 김효영 · 정갑식 · 천종화 · 김성은 · 추용식  
한국해양연구소 해양지질연구단

### Response of Benthic Foraminifera to Sedimentary Pollution in Masan Bay, Korea

HAN JUN WOO, HYO-YOUNG KIM, KAP SIK JEONG,  
JONG HWA CHUN, SEONG EUN KIM AND YONG SHIK CHU  
Marine Geology and Geophysics Division, Korea Ocean Research and Development Institute,  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

마산만은 인근도시로부터 산업폐수와 생활오수가 유입되어 매우 오염된 지역이다. 오염된 퇴적환경에 대한 저서성 유공충의 반응을 파악하기 위하여, 9점점의 표층퇴적물에서 지화학 및 유공충 분석을 하였다. 마산만은 경기만과 대산해역에 비하여 높은 중금속 함량을 나타내며 세계 평균세일의 중금속 함량과 비교하여도 Zn, Cd, Pb, As의 함량이 높아 이 지역의 퇴적물이 산업폐수에 의하여 오염된 것을 지시한다. 마산만의 퇴적물에 분포하는 저서성 유공충의 반응은 마산만이 오염된 것을 나타낸다. 마산만에 분포하는 저서성 유공충의 종의 수와 다양성은 가덕수로에 비해 크게 감소한다. 마산만에서는 사질 유공충이 우세하며 유공충 외각에서는 황철반점이 발견된다. 오염된 마산만에서 우세하게 나타나는 *Eggerella advena*와 *Trochammina pacifica*는 이 지역에 높은 적응력을 가진 기회종이다. 이러한 자료들은 이 지역의 미래 환경변화를 평가할 수 있는 기준선이 될 것이다.

Masan Bay is highly polluted by the discharge of large quantities of effluents from the industrial complex and domestic sewage of Masan City, Southeast Korea. Surface sediments from 9 stations were used for geochemical and foraminiferal analyses in order to investigate foraminiferal response to sedimentary pollution in the Bay. The heavy metal concentrations in sediments are relatively higher than those in Kyeonggi Bay and Daesan area, west coastal region of Korea. Zn, Cd, Pb, and As are more concentrated than in world average shale, indicating that the municipal and industrial effluents cause sediment contamination. Responses of benthic foraminifera to the sedimentary pollution effect document a degree of pollution in Masan Bay. The species number and diversity in Masan Bay had lower values than those in Gadeog Channel. In Masan Bay, agglutinated foraminifera are abundant and calcareous foraminiferal tests were frequently pyritized. *Eggerella advena* and *Trochammina pacifica* dominated at levels of pollution and could be opportunistic species. These data will provide a baseline for future assessments of environmental quality in Masan Bay.

### 서 론

전세계적으로 공업단지, 각종 편의시설 및 신도시 건설 등 연안 지역 활용범위가 날로 증가함에 따라 많은 산업폐수 및 오수 등의 오염물질이 연안으로 유입되어 환경오염이 점차적으로 증가하고 있는 실정이다. 연안이 오염된 정도를 파악하는 방법으로서 다양한 오염물질에 오염된 지역에 사는 저서성 유공충의 분포와 반응에 관한 지난 40년 동안 연구결과, 저서성 유공충이 연안오염환경을 추적하는 유용한 지시자로 증명되었다(Alve, 1995). 저서성 유공충과 다양한 오염물질 사이의 연관관계에 관한 연구는 Resig(1960)에 의하여 시작되어 다양한 연안해양환경에서 수행되고있다. 대부분 오수배출(organic waste discharges)과 연관된 연구(Schafer, 1973; Setty, 1982; Collins et al., 1995)이고, 몇몇은 유류, 열(Schafer, 1973; Schafer et al., 1975) 그리고 다양한 종류의 화

학적 오염(Schafer, 1970) 또는 중금속(Alve, 1991)과 연관된 연구이다. 이와 같은 연구들은 해양오염에 민감하게 반응하는 생물학적 추적자인 저서성 유공충을 이용하여 한 지역에서 주요 오염물질(예: 지화학적 요인) 및 환경인자(예: 지질학적 및 연안역학)와 저서성 유공충의 반응(예: 분포, 기회종 및 변이된 각)과의 연관관계를 파악하여 환경을 평가하는 것이다.

진해·마산만 해역은 1960년대 이후 공업단지 및 주변도시의 건설 등으로 인구가 증가하여 각종 오폐수가 다량으로 유입되고 양식장이 밀집되어 오염이 심각한 지역의 하나로 대두되었다. 이 지역은 반폐쇄성 내만으로 해수의 혼합속도가 느려 해수 및 퇴적물 오염과 적조 다발 해역으로도 잘 알려져 있다. 1960년대 이후 진해·마산만 해역에서 적조(Park and Kim, 1967; Lee et al., 1981; Yang and Hong, 1982), 퇴적물의 중금속(Hong et al., 1983; Lee and Lee, 1983) 및 저서생물의 변화(Hong and Lee,

1983; Hong, 1987)를 연구한 연구자들은 이 지역이 한반도 남해 연안에서 가장 오염된 만의 하나라고 보고하였다. 이러한 많은 연구에도 불구하고 해양에서 풍부하고 다양하며, 생식주기(약 3개월)가 매우 짧아 환경변화를 파악하는데 유용한 지시자인 저서성 유공충을 이용한 연구는 이루어지지 않았다. 본 연구는 마산만과 가덕수로 해역에서 퇴적물의 지화학적 특성과 저서성 유공충 분포를 파악하여 환경을 평가하는 것이 목적이다. 이 결과는 미래에 이 지역의 환경평가에 기준선(baseline)으로 유용하게 사용될 것이다.

입되어 해수가 연직으로 잘 혼합되지 않아 성층화 되므로 저층에는 빈산소 현상이 발생한다. 염분도는 31.5‰에서 26.0‰ 정도이며, 수평경사는 마산만과 가덕수로의 경계면에서 부터 급하게 변화한다. 표층수온은 6, 7월에 진해만 입구에서 약 20°C이고, 마산만에서는 하천수의 영향으로 약 24°C 정도이다. 9월에는 마산만에서 최저 23.1°C, 진해만에서 최고 25.6°C 정도로 변화가 작으며, 염분도도 공간적인 변화가 작다(30~31.2‰).

**연구지역**

연구지역인 마산만은 진해만 북동쪽에 위치한 전형적인 천해(수심 20 m 미만)의 반폐쇄형 만으로 가덕수로를 통하여 해수교환이 부분적으로 이루어진다(Fig. 1). 가덕수로는 폭이 넓으며 최고 수심은 약 45 m에 이르고, 대조기때 낙조류가 창조류 보다 강하며, 가덕수로를 통한 해수교환은 진해만 전체 해수교환의 86~90%를 차지한다(김, 1984). 기존의 관측자료로부터 해수유동 및 해수의 물리적인 특성을 보면, 마산만의 해수유동은 반일주조가 우세하며 평균조차는 130 cm, 대조차는 191 cm, 만내의 유속은 대조시 18 cm/sec, 소조시 5 cm/sec 미만이다(해양연구소, 1992, 1995). 마산만 연안은 담수의 영향이 적고 유역면적도 협소하여 육상으로부터 유입되는 오염물질이 대부분 만내에 잔류하게 된다. 해수는 가을과 겨울철에 담수의 유입이 적고 바람 및 파랑에 의하여 잘 혼합되나, 봄과 여름철에는 표층수온이 상승하고 고온의 담수가 유

**재료 및 방법**

연구지역의 퇴적물과 지화학 특성 및 저서성 유공충 분석을 위하여 1996년 8월에 9개 정점에서 표층퇴적물을 채취하였다(Fig. 1). 입도를 분석하기 위하여 채취한 표층퇴적물에 과산화수소수와 염산을 차례로 첨가하여 유기물과 탄산염을 제거한 후 4φ체로 습식체질(wet sieving)하여 조립질과 세립질 퇴적물로 분리하였다. 4φ이하인 조립질 퇴적물은 0.5φ간격으로된 전동 자동진탕기로 약 15분간 체질한 후 입도별로 무게 백분율을 구하였다. 4φ이상인 세립질 퇴적물은 전체를 대표할 수 있는 4g을 취해 0.1% 칼곤(calgon)용액을 80 ml 넣고 초음파분쇄기와 자기진동기로 시료를 균일하게 분산시킨 후, X-선 자동입도분석기(Sedigraph 5000D)로 입도를 분석하였다. 컴퓨터 프로그램을 이용하여 입도별 무게 백분율에 의한 평균입도, 분급도 등의 통계적인 변수들을 구하였으며, 입도의 명칭은 Folk(1954)가 제안한 방법을 따랐다. 중금속 함량을 분석하기 위해 채취한 표층퇴적물을 비닐봉지에

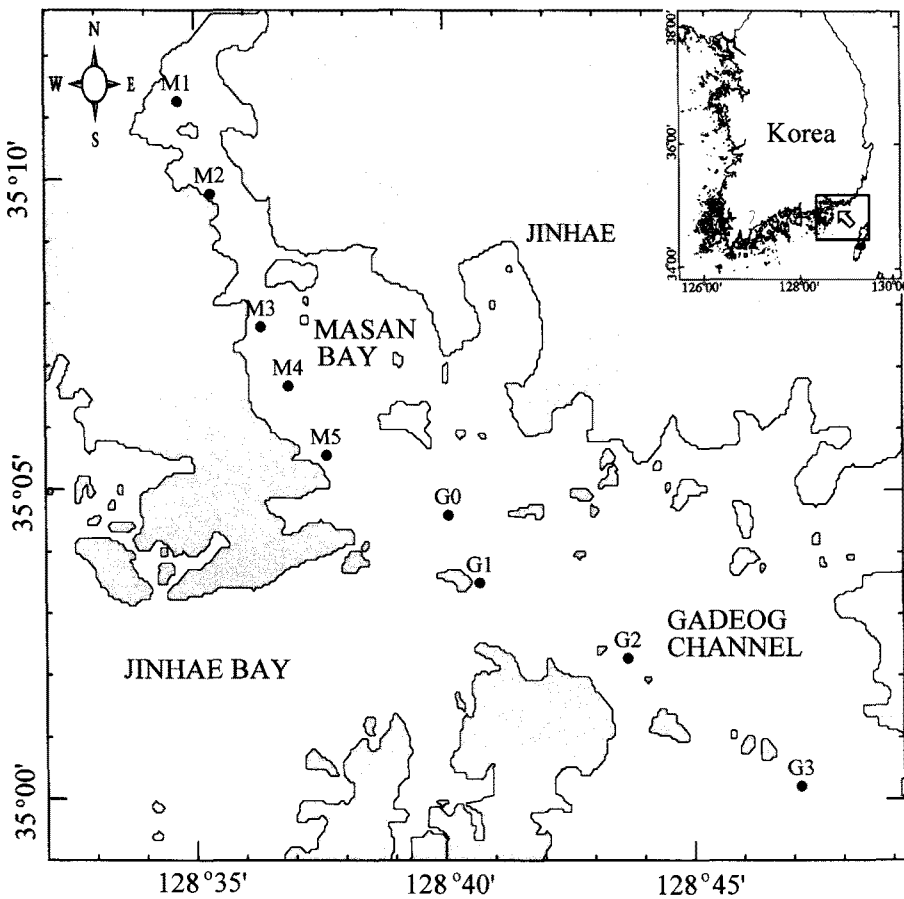


Fig. 1. Location map of sampling stations.

넣어 밀봉한 후 냉동건조하여 분말화하였다. 분말시료 약 0.2 g을 테프론 반응조(Teflon reaction vessel)에 넣고 여기에 혼합산(HNO<sub>3</sub>+HF+HClO<sub>4</sub>=4:4:1) 5 ml를 넣어 180°C 가열판에서 하룻밤동안 반응시킨 다음, 다시 혼합산 2 ml를 넣어 180°C 가열판에서 하룻밤동안 반응시켰다. 반응이 끝난 시료에 과염소산 원액 1 ml를 넣어 180°C 가열판에서 건조시킨 후 남은 반응물을 1N HNO<sub>3</sub>로 녹여서 분석용 용액을 준비하였다. 중금속 함량은 유도결합 플라즈마 방출분광기(ICP-AES)로 측정하였다.

유공충 분석용 시료는 표층 1 cm에서 20 ml를 채취하였다. 채취된 표층퇴적물은 현장에서 즉시 중화된 포르말린(buffered formalin) 용액(5%, pH 8 또는 9)으로 처리한 후, 24시간 이내에 4 φ체로 습식체질하여 세립질 퇴적물과 포르말린을 제거한 후 남은 시료를 50% 아이서프로필 알콜(Isopropyl alcohol)과 함께 플라스틱병에 보관하였다. 살아있는 개체를 죽은 개체를 구별하기 위하여 보관된 시료에 0.1 g의 로즈벵갈(rose Bengal)을 넣어 6~8시간 착색시킨 후(Walton, 1952), 4 φ체로 로즈벵갈과 아이서프로필 알콜을 제거시켰다. 씻은 시료는 비누거품을 이용한 부유 방법(soap-floated method)(Howe, 1941)으로 유공충과 모래를 분리시킨후 45~60°C 오븐에서 건조시켰다. 실제현미경으로 살아있는 개체를 구별하기 위하여 시료를 물에 적셔서 붓(5/0)을 사용하여 동정하였다.

동정된 유공충은 각 종별로 분류하고 상대적인 비율(%)을 구하여 각 정점에서 5%이상 출현하는 종은 각 정점을 특징짓는 우점종으로 정의하였다. 저서성 유공충 군집 특성을 분석하기 위하여 종다양도(MacArther and MacArther, 1961)와 균등도(Buzas and Gibson, 1969)를 구하였다.

## 결 과

### 표층퇴적물 및 중금속 분포

연구지역의 표층퇴적물은 실트와 점토가 우세한 니질 성분으로 가덕수로 외해쪽으로 사질 성분이 10%(G3)까지 증가한다(Table 1). 평균입도는 8.5~10.1 φ인 점토(clay) 퇴적물로 실트 함량은 마산만보다 가덕수로에서 상대적으로 많다. 분급도는 대체적으로 불량(1.6~2.8 φ)하며, 마산만 퇴적물이 가덕수로에 분포하는 퇴적물보다 상대적으로 양호한 편이다.

표층퇴적물에 포함된 중금속 함량은 Table 2에 나타내었다. Mn 함량은 마산항에서 마산만 입구(M1-M4)까지 점차 증가하여 가덕수로와의 경계인 정점 G0에서 최대함량(1,004 ppm)을 보이다가 정점 G1에서 가덕수로쪽으로 갈수록 점차 감소한다. Mn의 평균함량은 마산만이 675 ppm으로 869 ppm인 가덕수로보다 낮다. 그러나 Cr, Cu, Zn, Cd, Pb는 마산만 내에서 상대적으로 높은 함량을 나타내며 마산만과 가덕수로의 경계인 정점 G0에서부터 가덕수로 외해쪽으로 점차 감소한다(Fig. 2). 이 중금속들은 마산만의 M2 정점에서 최대 함량을 나타낸다(Table 2). 다른 중금속 원소들은 마산만에서 가덕수로까지 큰 변화없이 분포하나, 가덕수로 외해인 정점 G3에서 함량들이 크게 감소한다.

### 저서성 유공충 분포

연구지역에서 살아있는 유공충 24종을 포함하여 총 106종의 저서성 유공충이 확인되었다. 각 정점에서 확인된 종의 상대적 비율(%)은 부록에 그리고 일반적인 분포 특성은 Table 3에 나타내었다. 살아있는 유공충의 종수는 0종(M1, M2)에서 17종(G3)까지 확

Table 1. Granulometric characteristics of surface sediments in the study area

Station No.	Composition				Sediment Type	Mz. (phi)	Sorting (phi)
	Gravel	Sand	Silt	Clay			
M1	0.00	0.74	33.47	65.79	M	8.74	1.62
M2	0.00	1.99	18.64	79.37	C	9.74	2.07
M3	0.00	0.23	14.04	85.73	C	10.09	1.79
M4	0.00	0.00	18.21	81.79	C	9.89	1.84
M5	0.00	0.49	24.80	74.71	C	9.81	2.08
G0	0.00	1.11	34.55	64.35	M	8.97	2.10
G1	0.00	2.57	30.25	67.19	C	8.65	1.88
G2	0.00	4.21	33.46	62.32	M	9.13	2.65
G3	0.00	10.70	32.47	56.83	sM	8.47	2.75

Table 2. Heavy metal concentrations of surface sediments in the study area

Locality	Station No.	Al*	Fe*	Mn**	V**	Cr**	Co**	Ni**	Cu**	Zn**	Cd**	Pb**	As**
Masan Bay	M1	2.75	1.68	413	132	54	15	22	24	110	0.3	60	18.1
	M2	8.80	4.16	704	139	84	16	36	64	386	2.6	92	13.3
	M3	6.23	3.66	780	135	56	16	37	39	194	1.2	47	12.3
	M4	9.51	4.26	631	136	84	16	38	30	156	0.8	42	11.1
	M5	9.04	4.20	848	134	76	15	35	31	145	0.5	35	19.0
Average		7.30	3.60	675	135	71	16	34	38	198	1.1	55	14.8
Boundary	G0	9.30	4.33	1004	126	78	15	30	17	121	0.4	33	10.7
Gadeog Channel	G1	7.88	3.69	924	121	58	13	28	12	110	0.3	31	10.1
	G2	8.93	4.10	880	127	52	15	33	24	117	0.3	30	11.2
	G3	5.67	2.63	803	77	24	8	14	7	70	0.2	23	8.2
Average		7.50	3.50	869	108	45	12	25	14	99	0.3	28	9.8

\*:%, \*\*:ppm

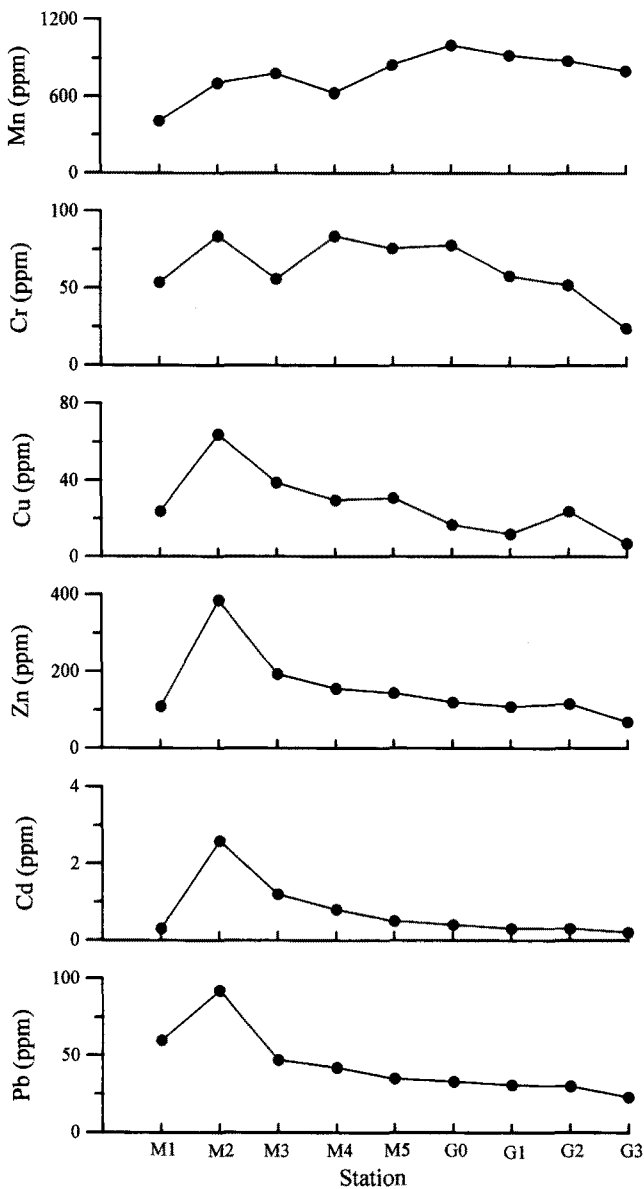


Fig. 2. Horizontal distribution of heavy metal concentrations (ppm) in surface sediments from Masan Harbour (M1) to Gadeog Channel (G3).

인되었으며, 젖은 시료 20 ml 당 살아있는 개체수는 0개체(M1, M2)에서 6,848개체(G3)로 다양하게 나타난다. 일반적으로 살아있

는 개체수와 종수는 마산만에서 가덕수로 외해로 점차 증가하며, *Trochammina pacifica*와 *Eggerella advena*는 연구지역 전체에서 상대적으로 높은 비율로 출현하였다.

전체군집(살아있는 유공충+죽은 유공충)의 종수는 10종(M2)에서 63종(G2)까지 확인되었으며, 개체수는 젖은 시료 20 ml 당 1,252 개체(M4)에서 34,944개체(G3)로 큰 변화를 나타내었다. 전체군집의 종수와 개체수 또한 마산만에서 가덕수로 외해로 갈수록 점차 증가하는 경향을 나타낸다. 종다양도는 마산만에서 0.55~1.78의 범위를 가지며, 경계해역에서 3.15, 그리고 가덕수로에서 3.23~3.48 범위를 가진다. 균등도(E)는 마산만에서 약 0.2이고 가덕수로에서 약 0.5의 수치를 보인다. 종다양도와 균등도는 마산만보다는 가덕수로에서 높은 수치를 나타내며, 마산만에서 가덕수로 외해로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보인다(Fig. 3). 이와는 반대로 전체군집에서 사질 유공충의 비(%)는 마산만에서 76.34%~96.82%의 범위를 보이며, 가덕수로에서는 16.85%~41.15%의 범위를 나타내며, 마산만에서 가덕수로 외해로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보이고 있다(Fig. 3).

Table 4는 각 정점 전체군집에서 5%이상 출현하는 종을 나타내었다. 마산만 내(M1-M5)에서는 *Eggerella advena*와 *Trochammina pacifica*가 전체적으로 우세하게 나타나는 종이다. 가덕수로(G1-G3)에서는 *Eggerella advena*, *Elphidium etigoense*, *Nonionella stella*, *Pseudonion japonicum*이 전체적으로 우세하게 나타나는 종이다. 마산만과 가덕수로의 경계해역인 G0에서는 마산만과 가덕수로에서 우세하게 출현하는 6종이 5% 이상 출현하여 혼합된 양상을 보인다. 일반적으로 마산만 내에서는 사질 유공충(agglutinated foraminifera)이 우세하며 가덕수로에서는 석회질 유공충(calcareous foraminifera)이 우세하게 나타난다.

## 토 의

마산만과 가덕수로에 퇴적된 세립질 퇴적물은 많은 양이 낙동강에서 기원된 것으로 보고 되고 있다. 서해안의 한강, 금강, 영산강에서 기원된 세립질 퇴적물은 취송찬차류의 영향으로 남쪽을 향하여 이동하여 서해 남동지역에 니질 퇴적물을 집적(Wells, 1988; Park and Khim, 1990)시키는 반면에, 남해의 섬진강과 낙동강에서 기원된 퇴적물은 연안류와 조류의 영향으로 남해 연안 근처에 집적되어 남부해안을 따라 니질대(mud belt)를 형성하는 것으로 알려져 있다(Park, 1985; Park et al., 1996). Park and Lee

Table 3. Benthic foraminiferal characteristics in surface sediments

Station Number	M1	M2	M3	M4	M5	G0	G1	G2	G3
Number of Species (L)	0	0	3	8	3	7	8	5	17
Number of Species (T)	21	10	18	21	19	49	60	63	61
Number of individuals per fraction picked (L)	0	0	5	20	6	13	24	17	107
Number of individuals per fraction picked (T)	209	283	305	313	355	273	401	374	546
Number of individuals per 20ml (L)	0	0	80	80	96	208	1536	1088	6848
Number of individuals per 20ml (T)	3344	4528	4880	1252	5680	4368	25664	23936	34944
Species Diversity (H(s))	1.78	0.55	1.11	0.76	1.38	3.15	3.35	3.48	3.23
Equitability (E)	0.28	0.17	0.17	0.1	0.21	0.48	0.48	0.52	0.41
Live (%)	0.00	0.00	1.64	6.39	1.69	4.76	5.99	4.55	19.60
Arenaceous (%)	77.99	96.82	85.90	92.33	76.34	40.66	41.15	19.79	16.85
Mz (phi)	8.74	9.74	10.09	9.89	9.81	8.97	8.65	9.13	8.47

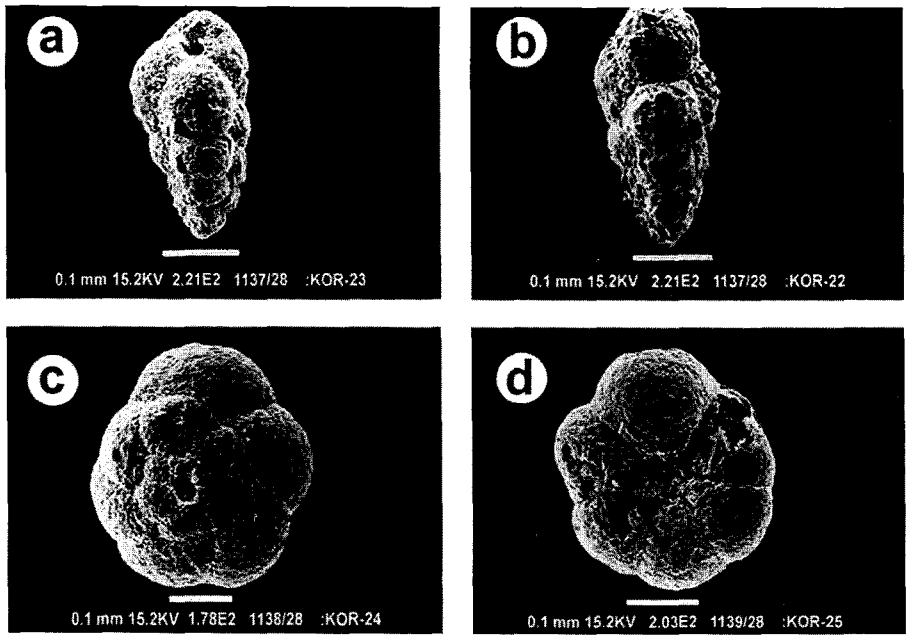
L: live

T: total (dead + live)



**Table 5.** Comparison of average heavy metal concentrations (ppm) in surface sediments of Masan bay with those from other localities

Locality	Mn	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	As	References
Sandstone	10-100	20	35	0.3	2	1-10	16	0.01-0.1	7	1	Turekian and Wedepohl, 1961
Shale	850	130	90	19	68	45	95	0.3	20	13	"
Kyeonggi Bay	532	80	70	14	25	25	92	-	-	-	Lee <i>et al.</i> , 1998
Daesan Area	-	22	20	5	14	5	24	<1	22	-	KORDI, 1996b
Panweol mudflat	393	-	123	11	188	207	170	2	58	-	Ahn <i>et al.</i> , 1995
Masan Bay	675	135	71	16	34	38	198	1	55	15	This study
Gadeog Channel	869	108	45	12	25	14	99	<1	28	10	This study



**Fig. 4.** Opportunistic species of the study area. (a)-(b) *Eggerella advena* (Cushman), station M2, side view. (c)-(d) *Trochammina pacifica* Cushman, station M2, (c) dorsal view, (d) ventral view.



**Fig. 5.** Pyritized specimen of *Buccella frigida* (Cushman) from station M3 in Masan Bay. Black spots indicate pyrite (×1050).

Wright, 1976; Alve, 1995). 마산만에서는 살아있는 유공충중 사질 유공충이 우세하므로 사후작용의 결과가 아니고 사질 유공충이 높은 적응력으로 번성했다고 사료된다.

여러 유공충중 몇몇 종들은 유기물, 중금속 그리고 다른 화학적 물질로 오염된 지역에서 특히 높은 적응력을 가진 기회종으로 번

성하는 경우가 있다. 이 종들은 인위적으로 환경이 오염되었을 때 가장 높은 적응력을 가진다. 마산만에서 전반적으로 우세하게 출현하는 기회종은 *Eggerella advena*와 *Trochammina pacifica*이다 (Fig. 4). 이중 *Eggerella advena*는 마산만에서 가덕수로 외해까지 전체적으로 우세하게 나타나 넓은 범위에 적응력을 보이는 반면, *Trochammina pacifica*는 마산만과 마산만에 인접한 가덕수로에서 우세하게 나타나며 가덕수로 외해에서는 낮은 비율로 존재한다 (Table 4). 기존 연구에 의하면 *Eggerella advena*는 Pb-Zn 제련소와 비료공장 폐수(Schafer, 1973), 다양한 화학적 오염지역(Alve and Nagy, 1986; Sharifi *et al.*, 1991) 그리고 유기물에 의한 오염지역(Watkins, 1961; Bartlett, 1972; Schafer and Cole, 1974) 등 다양한 오염물질에 오염된 지역들에서 높은 적응력을 가진 종이다. 캘리포니아 히페리온(Hyperion) 오수 배출구 근처에서 *Eggerella advena*와 *Trochammina pacifica*는 다른 종들에 비해 개체수가 최대 1,600배 많이 나타났다(Bandy *et al.*, 1965). Patterson(1990)은 캐나다 브리티시 콜롬비아의 프라스( Fraser)강 하구 삼각주 근처인 유기물에 오염된 지역에서 *Trochammina pacifica*가 많은 개체수로 존재한다고 보고하였다.

유공충 각(test) 안쪽면에서 발견되는 황철반점(spot pyrite)은 미량원소(trace element)로 오염된 지역에서 특징적으로 발견된다 (Fig. 5). 연구지역에 분포하는 석회질 유공충 27종에서 황철반점이 발견되었으며, 마산만 내 정점인 M2, M3에서는 전체 석회질 유공충 약 33%에서 황철반점이 발견되었다(Table 6). 유공충 각

**Table 6.** The number of individuals of pyrited species

Station Number	M1	M2	M3	M4	M5	G0	G1	G2	G3
Number of pyrited specimens	4	3	14	4	6	26	34	12	21
pyrited specimens/calcareous specimens (%)	1.91	33.33	32.56	16.67	7.14	16.05	14.41	4.00	4.63
<i>Allabaminella wedellensis</i>						1	3	6	5
<i>Ammonia beccarii</i>							1		
<i>Ammonia ketienziensis</i>							1		
<i>Ammonia takanabensis</i>					1				
<i>Astrononion stelligerum</i>	4	2			1		1		
<i>Bolivina robusta</i>									2
<i>Buccella frigida</i>		1	2		2		2		1
<i>Bulimina aculeata</i>						1			
<i>Bulimina marginata</i>						1	3		
<i>Bulimina</i> sp.						1			
<i>Cribrononion clavatum</i>						1	1		
<i>Discorbis twaiwanensis</i>						1			
<i>Elphidium advenum</i>			3	2	1	6	3		
<i>Elphidium etigoense</i>			5	1		2	4		3
<i>Epistominella naraensis</i>						3	1		1
<i>Eponides nipponicus</i>									1
<i>Fissurina agassizi</i>					1		1		
<i>Florilus boueanum</i>						1			
<i>Hopkinsina glabra</i>						4	1		
<i>Islandiella norcrossi</i>								2	
<i>Nonionella stella</i>			1	1		3	6		4
<i>Nonionella turgida</i>								2	
<i>Pseudononion japonicum</i>							5	2	3
<i>Pseudorotalia gaimardii</i>									1
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>						1			
<i>Rutherfordoides mexicanus</i>							1		
<i>Stainforthia</i> sp.			3						

안쪽면이 황철반점화하는 원인은 흑해와 같은 무산소 환경이거나 (Yanko and Kravchuk, 1992), 이스라엘의 하이파(Haifa)만과 같이 무산소 환경은 아니지만 미량원소로 매우 오염된 지역에서 살아있는 유공충에 박테리아가 침범하여 산소를 결핍시켜 생기는 일종의 질병이다(Seiglie, 1975). 연구지역인 마산만이 봄과 여름철에 저층에서 빈산소 현상이 발생하며, 미량원소에 오염된 지역이므로 두가지 조건이 복합되어 유공충 각 안쪽면에 황철반점이 형성된 것으로 보인다.

## 결 론

산업폐수와 생활오수로 오염된 마산만은 퇴적물 내에 중금속 함량이 증가하고 오염된 지역에서 나타나는 저서성 유공충 분포 특성을 잘 나타내 주고 있다. 마산만 해역을 구성하는 니질 퇴적물에는 중금속 함량이 경기만과 대산해역보다 높고, 세계 평균세일보다 Zn, Cd, Pb, As 평균함량이 높아 인위적인 요인에 의하여 오염된 것을 지시한다. 저서성 유공충은 생층서 분류나 고해양환경 지시자로서 유용하게 사용되어 왔으나 최근에는 인위적인 요인에 의한 해양환경오염을 관찰하는데 유용한 지시자로 확대 이용되었다. 일반적으로 오염된 지역에 분포하는 저서성 유공충의 종조성 및 다양성은 자연적인 환경에 있는 저서성 유공충에 비해 크게 다른 양상을 보인다. 마산만에는 저서성 유공충이 가덕수호에 비해 종수와 다양성이 작은 수치로 나타나고, 사질 유공충이 풍부하며 *Eggerella advena*와 *Trochammina pacifica*가 우세하게 나타나는데 이는 이 지역에 높은 적응력을 가진 기회종으로 판단된다. 연구지역에서 유공충 각 안쪽면에 황철반점이 발견되었는데, 이는 중금속 오염지역에서 특징적으로 나타나는 현상이다. 이와 같은 연구

결과는 마산만이 인위적으로 오염된 지역임을 확인할 수 있는 증거이고, 미래에 마산만 환경변화를 평가할 수 있는 기준선(base line)으로 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국해양연구소 기관교유사업인 진해·마산만 수질환경 관리모델 개발(PE 98703) 연구비 지원에 의해 수행되었다. 현장관측, 시료채취 및 분석에 도움을 주신 권수재, 김광산 기술원에게 감사드립니다. 유공충 SEM 사진과 현미경 사진을 만들어주신 극지연구소 강천원 기술원과 인하대학교 노재훈씨에게 감사드립니다. 논문을 심사해주시고 좋은 의견을 주신 이연규 교수님과 변현숙 박사님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김종화, 1984. 진해만의 해수교환. 부산수산대학교 석사학위 논문, 36 pp.
- 이종현, 이정석, 김범수, 이창복, 고철환, 1998. 경기만 퇴적물의 중금속 분포 특성. 한국해양학회지 바다, 3: 103-111.
- 한국해양연구소, 1992. 진해만 해양관측 자료집(I). 50 pp.
- 한국해양연구소, 1995. 연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구(I). BSPN 00260-807-6, 865 pp.
- 한국해양연구소, 1996a. 연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구(II). BSPN 00322-968-7, 682 pp.
- 한국해양연구소, 1996b. 해저층 퇴적물 이동 관측 및 예측기술. BSPN 00302-933-5, 259 pp.

- Ahn, I.Y., Y.C. Kang and J.W. Choi, 1995. The influence of industrial effluents on intertidal benthic communities in Panweol, Kyeonggi Bay (Yellow Sea) on the west coast of Korea. *Mar. Poll. Bull.*, **30**: 200-206.
- Alve, E., 1991. Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sorfjord, Western Norway. *J. Foram. Res.*, **21**: 1-19.
- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *J. Foram. Res.*, **25**: 190-203.
- Alve, E. and J. Nagy, 1986. Estuarine foraminiferal distribution in Sandebukta, a branch of the Oslo Fjord. *J. Foram. Res.*, **6**: 261-284.
- Bandy, O.L., J.C. Ingle and J.M. Resig, 1965. Foraminiferal trends, Hyperion outfall, California. *Limnol. Oceanogr.*, **10**: 314-332.
- Bartlett, G.A., 1972. Ecology and the concentration and effect of pollutants in nearshore marine environments. *Nat. Resour. Coun. Canada*, 277-286.
- Boltovskoy, E. and R. Wright, 1976. Recent Foraminifera. The Hague, Buenos Aires, 515 pp.
- Buzas, M.A. and T.G. Gibson, 1969. Species diversity: benthonic Foraminifera in western north Atlantic. *Science*, **163**: 72-75.
- Collins, E.S., D.B. Scott, P.T. Gayes and F.S. Medioli, 1995. Foraminifera in Winyah Bay and north inlet marshes, South Carolina: relationship to local pollution sources. *J. Foram. Res.*, **25**: 212-223.
- Folk, R.L., 1954. The distribution between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geol.*, **62**: 334-359.
- Hong, G.H., Y.A. Park and K.W. Lee, 1983. Partitioning of heavy metals in sediments from Jinhae Bay, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, **18**: 180-184.
- Hong, J.S., 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay system. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 246-256.
- Hong, J.S. and J.H. Lee, 1983. Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 69-179.
- Howe, H.V., 1941. The use of soap in the preparation of samples for micropaleontological study. *J. Paleontol.*, **15**: 691.
- Lee, K.W., G.H. Hong, D.B. Yang and S.H. Lee, 1981. Seawater quality and red tides in Jinhae Bay: relationships between water quality parameters and red tides. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **16**: 43-49.
- Lee, S.H. and K.W. Lee, 1983. Heavy metals in sediments from Jinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 49-54.
- MacArther, R.H. and J.W. MacArther, 1961. On bird species diversity. *Ecology*, **42**: 544-598.
- Park, J.S. and J.D. Kim, 1967. A study on the "red-water" caused at Chinhae Bay. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency*, **1**: 63-79.
- Park, S.C. and K.W. Lee, 1996. Modern sedimentary environment of Jinhae Bay, SE Korea. *J. Korea Soc. Oceanogr.*, **31**: 43-54.
- Park, S.C., S.K. Hong and D.C. Kim, 1996. Evolution of late Quaternary deposits on the inner shelf of the South Sea of Korea. *Mar. Geol.*, **131**: 219-232.
- Park, Y.A., 1985. Late Quaternary sediment on the continental shelf off the southeast coast of Korea, a further evidence of relict sediment. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 55-61.
- Park, Y.A. and B.K. Khim, 1990. Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves. *Cont. Shelf Res.*, **12**: 1179-1191.
- Patterson, R.T., 1990. Intertidal benthic foraminiferal biofacies on the Fraser River Delta, British Columbia: modern distribution and paleoecological importance. *Micropaleontology*, **36**: 229-244.
- Resig, J.M., 1960. Foraminiferal ecology around ocean outfalls off southern California. In: Waste disposal in the marine environment, Pergamon Press, London, 104-121.
- Schafer, C.T., 1970. Studies of benthic foraminifera in Restigouche Estuary: faunal distribution patterns near pollution sources. *Mar. Sed.*, **6**: 121-134.
- Schafer, C.T., 1973. Distribution of foraminifera near pollution sources in Chaleur Bay. *Water Air Soil Poll.*, **2**: 219-233.
- Schafer, C.T. and F.E. Cole, 1974. Distribution of benthonic foraminifera: their use in delimiting local nearshore environments, offshore geology of Canada, eastern Canada. Geological Survey of Canada, paper 74-30, **1**: 103-108.
- Schafer, C.T., F.J.E. Wagner and C. Ferguson, 1975. Occurrence of foraminifera, molluscs and ostracods adjacent to the industrialized shoreline of Canso Strait, Nova Scotia. *Water Air Soil Poll.*, **5**: 79-96.
- Seiglie, G.A., 1975. Foraminifera of Guayanilla Bay and their use as environmental indicators. *Rev. Espanola Micropal.*, **7**: 453-487.
- Setty, M.G.A.P., 1982. Pollution effects monitoring with Foraminifera as indices in the Thana Greek, Bombay Area. *Int. J. Envir. Stud.*, **18**: 205-209.
- Sharifi, A.R., I.W. Croudace and R.L. Austin, 1991. Benthic Foraminiferids as pollution indicators in Southampton Water, Southern England. *J. Micropal.*, **10**: 109-113.
- Turekian, K.K. and K.H. Wedepohl, 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **72**: 175-192.
- Walton, W.R., 1952. Techniques for recognition of living foraminifera. *Cushman Found. Foram. Res., Contr.*, **3**: 56-60.
- Watkins, J.G., 1961. Foraminiferal ecology around the Orange County, California, ocean sewerage outfall. *Micropaleontology*, **7**: 199-206.
- Wells, J.T., 1988. Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea: Onset of winter monsoons. *Mar. Geol.*, **83**: 273-284.
- Yang, D.B. and G.H. Hong, 1982. Nutrients and chlorophyll-a variations at a fixed station during the red tides in the Jinhae Bay. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **17**: 19-26.
- Yanko, V. and O. Kravchuk, 1992. Morphology and anatomy of framboidal iron sulfides in foraminiferal tests and marine sediments. Israel Geological Society, Annual Meeting, Ashkelon, Israel, 71-172.

1998년 10월 31일 원고 접수

1999년 3월 19일 수정본 채택





Appendix. (continued)

Sample Number		M1	M2	M3	M4	M5	G0	G1	G2	G3
<i>Discorbis chinensis</i> Huang	L						0.73	1.00	1.87	1.47
<i>Discorbis</i> sp. A	T									
	L	0.48					0.37	0.25	0.53	0.18
<i>Discorbis taiwanensis</i> Huang	T						1.10	0.50	0.53	
<i>Eggerella advena</i> (Cushman)	L			40.00			23.08	41.67	70.59	2.80
	T	7.18	7.77	8.85	4.15	7.32	17.22	18.45	10.96	6.59
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman)	L									0.93
	T			0.98	0.64	0.28	4.76	3.49	5.61	3.66
<i>Elphidium crispum</i> (Linnaeus)	L							1.00	1.34	0.18
	T			0.66					1.34	0.18
<i>Elphidium etigoense</i> Husezima and Maruhasi	L						7.69		5.88	2.80
	T			2.62	0.32	1.13	4.76	6.23	5.61	4.58
<i>Elphidium</i> sp.	L									
	T						0.37			
<i>Epistominella naraensis</i> (Kuwano)	L									
	T	0.48	0.35				4.40	2.99	3.74	2.38
<i>Epistominella nipponica</i> (Kuwano)	L								0.27	
	T									
<i>Epistominella pulchella</i> Husezima and Maruhasi	L									
	T				0.32	0.56				
<i>Eponides nipoonicus</i> (Husezima and Maruhasi)	L				5.00					
	T				0.32	0.28			0.80	0.37
<i>Fissurina agassizi</i> Todd and Bronnimann	L									
	T					0.56	0.37	0.25	1.87	0.37
<i>Fissurina echigoensis</i> (Asano and Inomata)	L							0.25	0.27	
	T									
<i>Fissurina marginata</i> (Montagu)	L									
	T	0.48					0.37			0.18
<i>Fissurina</i> sp.	L									
	T									0.18
<i>Fissurina wiesneri</i> Barker	L								0.27	
	T									
<i>Florilus boueanum</i> (d' Orbigny)	L									
	T						0.37			0.18
<i>Florilus manpukuziense</i> (Otuka)	L									
	T							0.25		
<i>Florilus</i> sp.	L									
	T							0.25		
<i>Globocassidulina parva</i> (Asano and Nakamura)	L									
	T	1.44							0.27	
<i>Gyroidinoides nipponica</i> (Ishizaki)	L									
	T							0.50	1.60	1.10
<i>Gyroidinoides</i> sp.	L								0.53	
	T								5.88	0.93
<i>Haplophragmoides</i> sp.	L								0.53	1.65
	T							0.25	0.53	1.65
<i>Hopkinsina glabra</i> (Millett)	L						7.69		11.76	1.87
	T			0.33	0.32	1.13	9.52	3.24	5.88	2.75
<i>Islandiella norcrossi</i> (Cushman)	L									
	T								0.80	
<i>Islandiella norvangi</i> Thalman	L									
	T									0.37
<i>Jadammina</i> sp.	L									0.93
	T								0.27	0.55
<i>Lagena distoma</i> Parker and Jones	L									
	T									0.37
<i>Lagena perlucida</i> (Montagu)	L									
	T			0.33						
<i>Lagena sulcata spicata</i> Cushman and McCulloch	L									
	T							0.25	0.27	0.18
<i>Lenticulina</i> sp.	L									
	T								0.53	
<i>Lenticulina turmida</i> (Asano)	L									
	T							0.25		
<i>Miliolinella circularis</i> (Bornemann)	L									
	T	7.18	1.06	0.98	0.64	1.41	1.10	0.75	0.80	0.92
<i>Nonionella labradorica</i> (Dawson)	L									
	T							0.25	4.81	0.18
<i>Nonionella stella</i> Cushman and Moyer	L					16.67				51.40
	T			0.33	0.96	2.82	2.56	4.74	5.88	20.70

## Appendix. (continued)

Sample Number		M1	M2	M3	M4	M5	G0	G1	G2	G3
<i>Nonionella turgida</i> (Williamson)	L									4.67
	T								1.34	0.92
<i>Oridorsalis tener</i> (Brady)	L									
	T									0.18
<i>Paracassidulina quasincarinata</i> Nomura	L									
	T							0.25		
<i>Paracassidulina sulcata</i> (Belford)	L									
	T						0.37		0.53	0.18
<i>Pseudononion japonicum</i> Asano	L									7.48
	T			0.33			3.66	6.23	4.55	5.13
<i>Pseudorotalia gaimardii</i> (d'Orbigny)	L									
	T							0.75	2.41	2.01
<i>Pseudorotalia</i> sp.	L									
	T							0.50	0.53	
<i>Pullenia</i> sp.	L									
	T						0.37			
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linne)	L									
	T						1.83	1.25	1.60	0.55
<i>Quinqueloculina</i> sp.	L									
	T	0.48								
<i>Quinqueloculina stalkerii</i> Loeblich and Tappan	L									1.87
	T	3.35		0.33			1.10	1.50	0.80	2.20
<i>Rectobolivina</i> sp.	L									
	T						0.37			0.73
<i>Reophax difflugiformis</i> Brady	L									
	T						0.37	0.25	0.27	
<i>Reophax gracilis</i> (Kiaer)	L									0.93
	T									0.18
<i>Reophax scorpiurus</i> Montfort	L									
	T					0.28				
<i>Reophax</i> sp.	L							4.17		
	T						1.83	3.49	0.27	0.37
<i>Rosalina</i> sp. A	L									1.87
	T							0.75	0.27	0.92
<i>Rosalina</i> sp. B	L									
	T						0.37		0.53	0.55
<i>Rosalina</i> sp. C	L									
	T							0.25		
<i>Rutherfordoides mexicanus</i> (Cushman)	L				10.00					6.54
	T			1.31	0.64	0.56		0.50	0.80	1.83
<i>Spiroplectammina</i> sp.	L									
	T							0.25	1.60	
<i>Spirosigmoilinella</i> sp.	L									
	T						0.37	1.75	1.07	0.37
<i>Stainforthia exilis tenuata</i> (Cushman)	L									
	T									0.55
<i>Stainforthia</i> sp.	L						7.69			
	T			1.31		0.85	0.73			
<i>Textularia earlandi</i> Parker	L			40.00				4.17		0.93
	T	7.66		1.31	0.96	1.13	0.73	0.50	0.80	1.65
<i>Textularia</i> sp. A	L									
	T									0.18
<i>Textularia</i> sp. B	L									
	T							0.25		
<i>Trifarina kokozuraensis</i> (Asano)	L									
	T								0.27	
<i>Triloculina</i> sp.	L									
	T								0.27	
<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orbigny	L									
	T							1.25		
<i>Trochammina globigeriniformis</i> (Parker and Jones)	L									
	T				0.64	1.13		0.50		
<i>Trochammina japonica</i> Ishiwada	L									4.67
	T	0.48	0.35				2.93	3.24	2.14	1.83
<i>Trochammina pacifica</i> Cushman	L			20.00	50.00	16.67	30.77	25.00		
	T	55.98	87.63	75.74	86.26	67.61	12.82	7.98	1.07	1.10
<i>Trochammina</i> sp. A	L									
	T	0.48								
<i>Trochammina</i> sp. B	L									
	T		0.35							
<i>Trochammina</i> sp. C	L							8.33		
	T						1.83	2.00		0.55