

## 저서성 유공충에 의한 한국 동해 서부 해역의 제4기 후반 고해양환경 연구

우한준 · 정혜경\* · 한상준 · 장현도\*\* · 윤석훈\*\*\*

한국해양연구소 해양지질연구부

\*경산대학교 환경과학과

\*\*한국해양연구소 극지연구센터

\*\*\*제주대학교 해양학과

### Paleoenvironments in Western Part of the East Sea, Korea, during the Late Quaternary Using Benthic Foraminifera

HAN JUN WOO, HAE-KYUNG CHEONG\*, SANG-JOON HAN,  
HYUN-DO CHANG\*\* AND SUK HOON YOON\*\*\*

Marine Geology and Geophysics Division, Korea Ocean Research & Development Institute,  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

\*Department of Environmental Science, Kyungsan University, Kyungsan, Kyungbuk 712-715, Korea

\*\*Polar Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute,  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

\*\*\*Department of Oceanography, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

제4기 후반동안의 동해의 고해양환경을 밝히기 위하여 동해 서부에서 채취한 시추심에 대한 미고생물학적 연구를 하였다. 시추 퇴적물에서 산출된 저서성 유공충 연구 결과 제4기 후반 동안에 동해의 고해양환경이 수 차례에 걸쳐 뚜렷하게 변화되었음이 밝혀졌다. 상부 대륙사면의 시추심 PC-1과 대륙대의 PC-2의 저서성 유공충 생물상은 시추심 깊이에 따라 수 차례에 걸친 저층수온의 변화를 지시하여 준다. 울릉분지 중앙의 시추심 PC-4의 생물상은 사질속인 *Miliammina*와 혐기성 석회질속인 *Bolivina* 등이 우세하게 분포하는데, 이는 퇴적시기 동안 저산소 저층 환경이었음을 나타내주고 있다. 각 시추심에서 나타나는 저서성 유공충 회귀생대와 무생대는 제4기 후반 빙하기 동안의 해수면 하강으로 인하여 동해의 해수순환이 제한되었거나 완전 차단되었던 시기임을 지시해주고 있다.

저서성 유공충 생물상의 변화는 이 지역의 저층 수온, 저층 산소상태, 해수순환 등 전반적인 저층환경의 변화를 잘 반영하고 있다. 따라서 유공충을 이용한 미고생물학적 연구는 고기후 및 해수면 변화를 해석하는데 매우 유용하게 쓰일 수 있으며, 이러한 결과들은 제4기 후반 동안의 동해의 진화과정을 규명하는데 중요한 자료로 이용될 수 있을 것이다.

Analysis of the Late Quaternary benthic foraminifera in the cores from the western part of the East Sea, Korea, indicates several distinct changes in the paleoenvironments during the deposition. The paleoecology of biofacies of Cores PC-1 from the upper slope and PC-2 from the rise shows several distinct changes in bottom water temperatures during the late Quaternary. The Core PC-4 from the Ulleung Basin generally consists of agglutinated genus, *Miliammina*, and anaerobic calcareous genus, *Bolivina*, in biofacies, suggesting that the anoxic bottom condition was prevailed during the deposition. Benthic foraminiferal rare or barren zones in the Cores indicate the limits of water circulation caused by lower sea-level in the regions during the glacial period through the Late Quaternary.

The changes of benthic foraminiferal biofacies reflect temporal and spacial variations in overall bottom environments, such as bottom water temperature, dissolved oxygen, and water circulation pattern. The benthic foraminiferal data can be used to interpret paleoclimatic conditions and predict global sea-level changes, and the results of these studies should be useful to understand the evolutionary history of the East Sea through the Late Quaternary.

## 서론

동해는 대륙붕의 발달이 미약하고 대륙사면과 대륙선상지, 심해평원이 연속적으로 배치된 판구조론적으로는 전형적인 배호분지(back-arc basin)이다. 총면적 1,007,600 km<sup>2</sup>, 평균수심 1,684 m, 최대수심 4,049 m, 총용적 1,693,800 km<sup>3</sup>인 동해는 또한 한반도, 일본열도 및 시베리아 동안에 의해 둘러싸인 전형적인 연해(marginal sea)로써(김 등, 1991), 수심 150 m 이하의 좁고 얇은 4개의 해협을 통해서만 외해와 연결되는(송, 1992; 이와 송, 1994; 박 등, 1995) 해양학적으로 매우 독특한 특징을 갖는 바다이다. 즉, 동해는 남으로는 수심 130 m의 대한해협(Korea

Strait), 동으로는 수심 130 m의 츠가루해협(Tsugaru Strait), 북으로는 수심 55 m의 소야해협(Soya Strait)과 수심 15 m의 타탈스키해협(Tatarskiy Strait) 등 4개의 해협을 통해서만 각각 동중국해(East China Sea), 북태평양(North Pacific Ocean) 및 오희츠크해(Sea of Okhotsk)와 유통되는 거의 고립된 준폐쇄 해역이다(Fig. 1). 동해는 이와 같은 지형적 특성으로 인해 지난 플라이스토세(Pleistocene) 빙하기 동안 인접한 대양과의 해수교환이 수차례에 걸쳐 제한되었거나 차단되었을 가능성이 제기되고 있다(Oba *et al.*, 1991). 따라서 지난 플라이스토세 빙하기 동안 동해의 고해양환경은 오늘날의 환경과는 크게 달랐을 것이다. 이같은 고해양환경변화는 해저면하수 내지 심

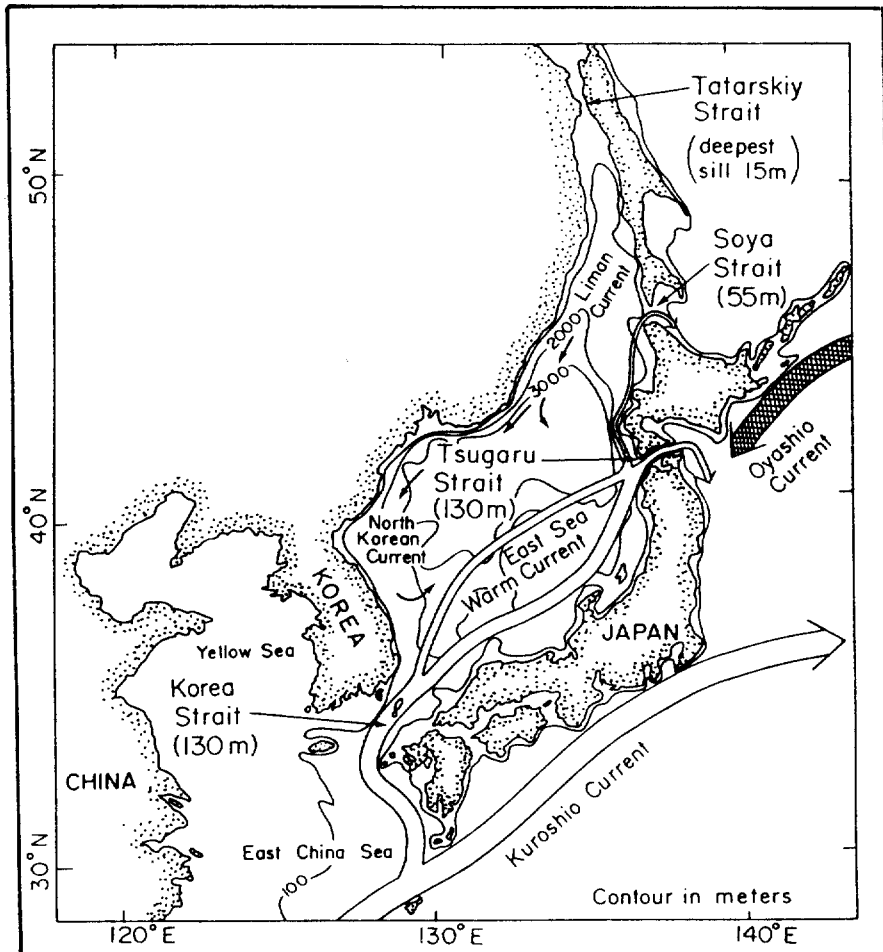


Fig. 1. The present current system and the present sill depths of four straits connecting with the open seas around the East Sea, Korea. Modified after Oba *et al.* (1991).

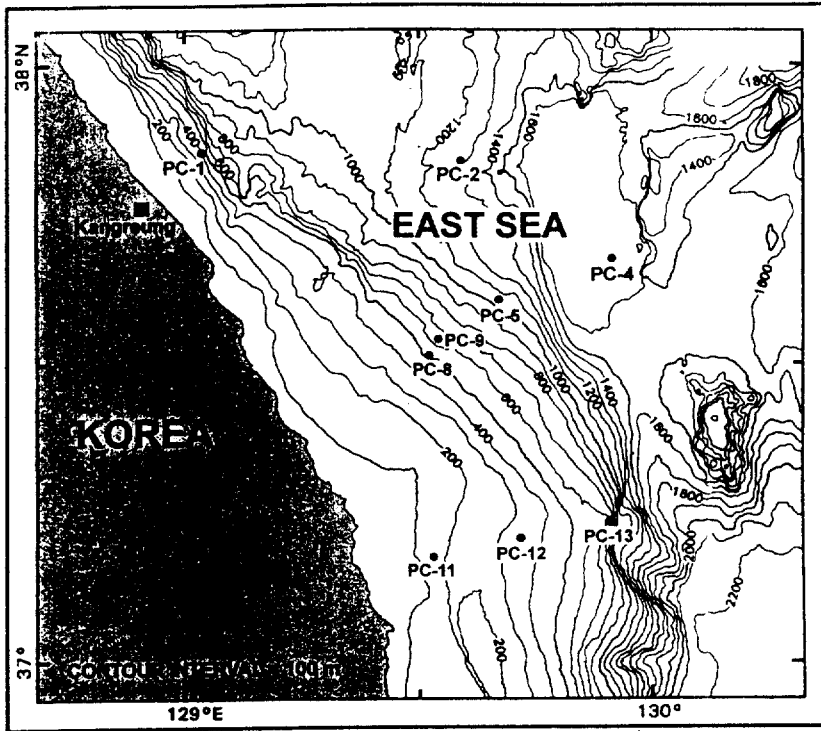


Fig. 2. Location map showing coring sites. The Cores PC-1, PC-2 and PC-4 were used for benthic foraminiferal study.

수 m의 퇴적층에 가장 잘 보존되어 있으며, 따라서 해저로부터 채취한 시추 퇴적물을 이용하여 퇴적 당시의 고해양환경 연구가 가능하다(예, Oba *et al.*, 1991; Keigwin and Gorbarenko, 1992).

지난 20여년간 유공충 군집을 이용하여 제4기 후반의 동해의 고해양환경에 관한 다양한 연구가 수행되어 졌다(Ujii and Ichikura, 1973; Ichikura and Ujii, 1976; Maiya *et al.*, 1976; Inoue, 1980; Oba *et al.*, 1980; Kurihara, 1982; Ujii, 1982; Ujii *et al.*, 1983; Cheong *et al.*, 1985; Oba *et al.*, 1991; Keigwin and Gorbarenko, 1992). 이 연구들 중 Ujii and Ichikura(1973)는 *Neogloboquadrina pachyderma*의 권각(coiling) 방향이 왼쪽(냉수성)에서 오른쪽(온수성)으로 바뀐 점과 온수성 부유 유공충 종들의 출현을 근거로 하여 고온 고염의 대마난류(Tsushima Current)는 11,000년전 이후 부터 동해로 유입되기 시작한 것으로 간주하였다. 또한 Oba *et al.*(1991)은 오키천퇴(OkI Bank)에서 채취한 피스톤 시추 퇴적물의 암상(lithology)과 산소 및 탄소 동위원소비, 미고생물 군집 연구를 통하여 지난 85,000년동안 다섯 차례의 뚜

렷한 고환경변화가 있었음을 제시하였다. 이러한 기존의 연구들을 종합해 보면, 동해는 지난 플라이스토세 빙하기 동안에는 표층냉수(cold surface water)와 무산소 저층환경(anoxic bottom condition)으로, 그리고 현재(Holocene) 동안에는 표층온수(warm surface water)와 산소가 풍부한 저층환경(oxic bottom condition)으로 특징지어진다.

본 연구에서는 1994년 10월에 북위 37°~38°, 동경 129°~130° 지역인 울릉분지의 북서단과 한국대지(Korea Plateau)에 접한 대륙붕과 대륙사면, 그리고 한국대지의 퇴적분지에서 채취한 9개의 피스톤 시추(바렐길이; 12 m) 퇴적물중에서 사면사태(slump 또는 slide)나 질량류(mass flow)의 영향이 거의 없이 지속적인 반원양성(hemipelagic) 퇴적작용에 의해 집적된 3개의 시추 퇴적물(PC-1, PC-2, PC-4)을 선택하여 분석하였다(Fig. 2).

본 연구의 목적은 시추퇴적물 내에 함유되어 있는 저서성 유공충(benthic foraminifera)의 분포와 종 조성 연구를 통하여 생물상(biofacies)을 정립하고, 이를 통하여 제 4기 후반 동안 지구적 기후변화와 해수면

변동과 관련한 동해의 고해양환경 변화를 해석하는데 있다.

## 연구지역

동해에는 중앙의 야마토해령(Yamato Ridge)을 중심으로 북위 40°이북에 수심3,000~3,700 m의 일본분지(Japan Basin)가 넓게 형성되어 있으며 울릉도 이남으로는 동경 133°이서에서 한국 동해안 사이의 수심 2,000~2,500 m의 울릉분지(Ulleung Basin)와 동경 133°이동에서 일본 서해안 사이의 수심 2,500~3,000 m의 야마토분지(Yamato Basin)가 각각 형성되어 있다. 울릉분지는 남쪽으로 수심 130 m 내외의 대한해협과 경계를 이루며 다른 두 분지와는 동쪽으로 수심 500 m 이내의 오기천퇴와 그리고 북쪽으로 수심 1,500 m 이내의 한국대지를 사이로 경계를 이루고 있다. 특히 울릉분지는 한반도와 독도 사이 수심 2,000 m 이상인 깊은 골을 따라 북동쪽으로 일본분지와 연결되는 유일한 깊은 통로를 갖고 있다.

동해의 이러한 복잡한 해저지형은 동해의 해수순환에 많은 영향을 미치며(김 등, 1991), 해수순환은 동해 자체의 풍성순환(wind-driven circulation) 및 열염순환(thermohaline circulation) 외에 주로 대한해협을 통한 해수유입에 의하여 이루어 진다(김 등, 1991). 현재는 대한해협을 통해 유입되는 해수의 주된 기원은 고온 고염의 대마난류(Tsushima Warm Current)로, 동해로 유입된 대마난류는 둘이나 셋으로 갈라져 일부는 한국 연안을 따라 북상하며(동한난류: East Korea Warm Current), 일부는 일본 서쪽연안을 따라 북동진한다(송, 1992). 분지로 나누어져 흐르는 동한난류와 일본 서쪽연안측의 지류는 츠가루해협 서쪽에서 다시 합쳐져 유입량의 약 70%가 츠가루해협을 통해 북태평양으로 빠져 나가고, 일부는 소야해협을 통해 오후츠크해로 유출되며, 나머지는 동해내에서 재순환된다.

동해는 북위 39°~40°에 존재하는 극전선(polar front)을 기준으로 남쪽의 난수역(warm-water region)과 북쪽의 냉수역(cold-water region)으로 나누어진다. 난수역은 상층의 해수순환이 주로 대마난류에 의해 좌우되며, 냉수역에서는 시베리아 연안 및 한국 동해안을 따라 남서로 향하는 리만해류(Liman Current) 또는 북한한류(North Korea Cold Current)를 형성하는 반시계 방향의 순환(cyclonic circulation)이 존

재한다(Fig. 1).

Moriyasu(1972)에 의하면, 동해의 해수는 수심별로 크게 표층수(surface water), 중층수(intermediate water), 동해고유수(East Sea Proper Water) 및 동해중층수(East Sea Intermediate Water) 등 4가지의 해수로 구분된다. 저염의 표층수는 한반도나 일본으로부터의 육수유입과 대한해협을 통한 동중국해 해수의 유입에 의해 형성되며, 일반적으로 여름철 계절 수온약층 상부의 해수를 일컫는다. 중층수는 난수역의 경우 대마난류에 의해 운반되는 고온 고염의 해수, 냉수역에서는 높은 용존산소량을 갖는 해수로 정의된다. 동해고유수는 동해내 해수의 대부분을 차지하는 수온 1°C 미만의 수직적으로 균질한 해수로 정의된다. 동해중층수는 난수역의 동해고유수와 중층수 사이에 나타나는 수온 1~4°C 범위의 용존산소 극대층의 해수로 정의된다.

## 재료 및 방법

시추심 PC-1(위치; 37° 52.0' N, 129° 01.7' E), 시추심 PC-2(위치; 37° 50.8' N, 129° 35.6' E), 그리고 시추심 PC-4(위치; 37° 40.9' N, 129° 54.0' E) 등 3개의 시추 퇴적물이 유공층 종(species)의 수직적인 분포와 퇴적물내의 화석 유공층 군집(assemblage)의 변화를 파악하는데 사용되어졌다. 시추심 PC-1에서 24개의 시료, 시추심 PC-2에서 32개의 시료, 그리고 시추심 PC-4에서 18개 등 총 74개의 시료가 본 연구를 위하여 사용되었다.

각 시료는 100 ml 비이커에 넣고 중류수를 가한 후 퇴적물이 잘 풀어지도록 저어주었다. 48시간 가량 지난 뒤 젖은 시료의 부피를 측정하고 4φ(62.5 μm) 체로 걸러 니질 퇴적물을 제거하였다. 체에 남은 잔류물은 40~60°C의 오븐에서 건조시켰다. 건조된 시료내에 유공층이 300개체수 이상일 때는 미량분리기(Microsplitter)를 이용하여 시료를 분리한 후 쌍안 실체현미경으로 유공층을 추출하였다. 추출된 유공층은 형태학상으로 분류하고 기존의 문헌을 참고하여 확인하였다. 각 시추심의 생물상(biofacies) 분리시 젖은 시료 45 ml 당 저서유공층(benthic foraminifera) 개체수가 100이하 일때는 '희귀생대(rare zone)', 전혀 산출되지 않는 경우에는 '무생대(barren zone)'로 각각 정의하였다. 또한 저서유공층 군집내에서 종의 상대적인 풍부성(relative abundance)은 >50%-가장 우

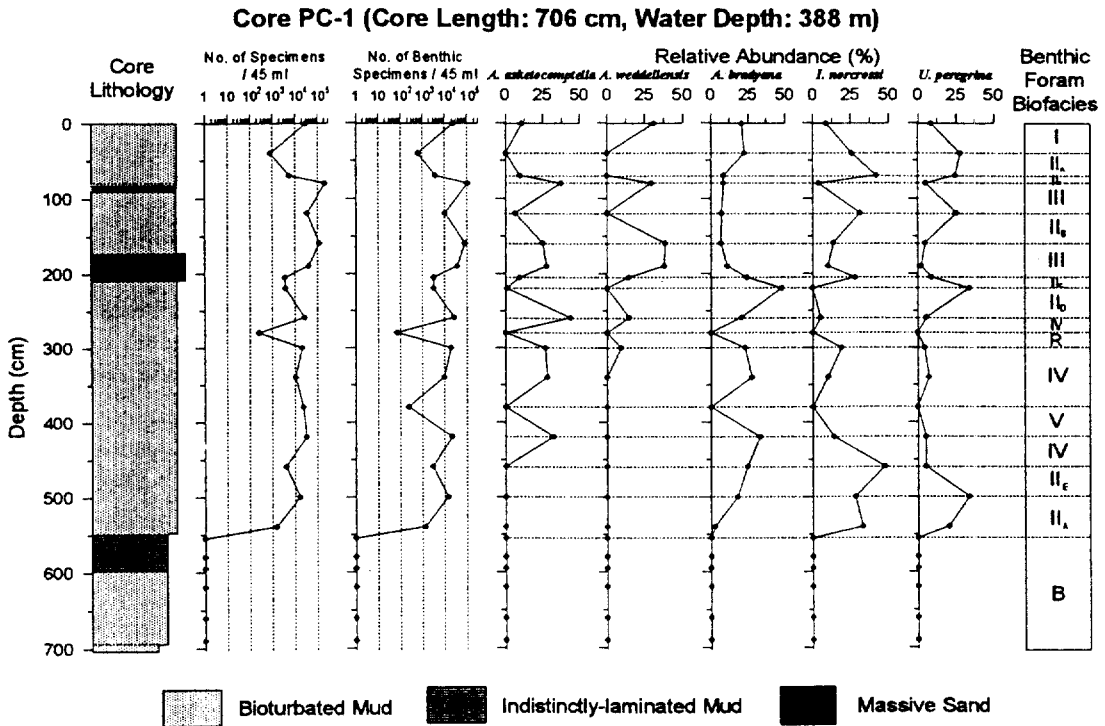


Fig. 3. Lithologic and foraminiferal characteristics of the Core PC-1. The benthic foraminiferal biofacies refer to Table 1.

새(most abundant), 20~49%-우세(abundant), 5~19%-보편(commom), <5%-희귀종(rare species) 등 4가지 범주로 정의하였다.

### 결과 및 토의

#### 1. 시추심 PC-1

시추심 PC-1은 강릉 북동쪽, 수심 388 m의 상부 대륙사면(upper slope)에서 채취되었다. 706 cm 길이의 시추심 PC-1의 퇴적물은 3개의 퇴적상으로 구성 되어 있다(Fig. 3). 생물 교란된 니질(bioturbated mud) 퇴적상은 시추심의 대부분을 차지하며 입도와 퇴적물의 색깔에 의해 경계가 구분되지만 경계면이 점이적이고 다양한 두께를 가진다. 이 퇴적상내에는 석영입자, 패각편, 나뭇가지, 기타 작은 자갈 등이 1 cm 이하의 박층(layer)이나 독립적으로 산재하여 나타나기도 한다. 시추심 깊이 170~215 cm 구간에서 나타나는 괴상 사질(massive sand) 퇴적상은 약 50 cm 두께로 조립 또는 중립의 모래로 이루어져 있다. 이 퇴적상의 내부 퇴적구조는 관찰되지 않으며, 상부

경계면은 생물교란으로 불분명하나 하부 경계면은 뚜렷하다. 시추심 깊이 80~90 cm와 550~600 cm 구간에서 나타나는 뚜렷하지 않은 층리 니질(indistintly laminated mud) 퇴적상은 경계면이 불분명하며 두께도 일정하지 않으나 약간의 다양한 생물 교란 흔적이 있으며, 층리는 조립질 입자의 연속 또는 불연속적이고 뚜렷하지 않은 실트 커(lamina)로 나타나며 층리간의 간격도 일정하지 않다.

시추심 PC-1에서 24개의 시료가 분석되었으며, 이 중 18개의 시료에서 총 52종의 저서성 유공충이 확인되었으며(Appendix 1), 이들과 함께 부유성 유공충도 각 시료에서 6~99%의 산출률을 보이고 있다. 시추심 깊이 555 cm 이하의 6개 시료(깊이 555 cm, 580 cm, 595 cm, 620 cm, 660 cm 및 690 cm)에서는 유공충이 전혀 산출되지 않았으나, 시추심 상부의 대부분의 시료에서는 비교적 풍부한 유공충 군집이 산출되었다.

젓은 시료 45 ml당 개체수(저서성 유공충+부유성 유공충)는 저서성 유공충이 전혀 산출되지 않는 시료를 제외하면, 248개체에서 224,900개체로 깊이에

Table 1. The benthic foraminiferal biofacies of the Core PC-1. The foraminiferal assemblages were dominant species those which represent more than 20% of the fossil benthic assemblage in the sample.

Benthic Foraminiferal Biofacies	Core Depth (cm)	(Most) Abundant Species	Common Species	Assemblage
		>20%	5~19%	
I	0-40	<i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Angulogerina bradyana</i>	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Islandiella norcrossi</i> <i>Uvigerina peregrina</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i> - <i>Angulogerina bradyana</i>
II <sub>A</sub>	40-70 500-555	<i>Islandiella norcrossi</i> <i>Uvigerina peregrina</i> <i>Angulogerina bradyana</i>	<i>Cibicidoides robertsonianus</i> <i>Haplophragmoides trullissatum</i> <i>Melonis pompilioides</i> <i>Epistominella japonica</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Uvigerina peregrina</i> - <i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Angulogerina bradyana</i>
		<i>Islandiella norcrossi</i> <i>Uvigerina peregrina</i>	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Angulogerina bradyana</i> <i>Globocassidulina cf. depressa</i> <i>Karreriella cf. japonica</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Uvigerina peregrina</i>
II <sub>B</sub>	70-80 120-160	<i>Islandiella norcrossi</i> <i>Uvigerina peregrina</i>	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Angulogerina bradyana</i> <i>Globocassidulina cf. depressa</i> <i>Karreriella cf. japonica</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Uvigerina peregrina</i>
		<i>Angulogerina bradyana</i> <i>Islandiella norcrossi</i>	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Uvigerina peregrina</i>	<i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Angulogerina bradyana</i>
II <sub>C</sub>	205-220	<i>Angulogerina bradyana</i> <i>Islandiella norcrossi</i>	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Uvigerina peregrina</i>	<i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Angulogerina bradyana</i>
II <sub>D</sub>	220-260	<i>Angulogerina bradyana</i> <i>Uvigerina peregrina</i>	<i>Globocassidulina cf. depressa</i> <i>Melonis pompilioides</i>	<i>Angulogerina bradyana</i> - <i>Uvigerina peregrina</i>
II <sub>E</sub>	460-500	<i>Angulogerina bradyana</i> <i>Islandiella norcrossi</i>	<i>Globocassidulina cf. depressa</i>	<i>Angulogerina bradyana</i> - <i>Islandiella norcrossi</i>
III	80-120 160-205	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Alabaminella weddellensis</i>	<i>Angulogerina bradyana</i> <i>Globocassidulina cf. depressa</i> <i>Islandiella norcrossi</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i> - <i>Abditodentrix asketocomptella</i>
		<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Angulogerina bradyana</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Islandiella norcrossi</i> <i>Uvigerina peregrina</i> <i>Cibicidoides robertsonianus</i> <i>Globocassidulina cf. depressa</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> - <i>Angulogerina bradyana</i>
IV	260-280 300-380 420-460	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Angulogerina bradyana</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Islandiella norcrossi</i> <i>Uvigerina peregrina</i> <i>Cibicidoides robertsonianus</i> <i>Globocassidulina cf. depressa</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> - <i>Angulogerina bradyana</i>
		<i>Abditodentrix asketocomptella</i> <i>Angulogerina bradyana</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Islandiella norcrossi</i> <i>Uvigerina peregrina</i> <i>Cibicidoides robertsonianus</i> <i>Globocassidulina cf. depressa</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Abditodentrix asketocomptella</i> - <i>Angulogerina bradyana</i>
V	380-420	<i>Bolivina seminuda</i>	.	<i>Bolivina seminuda</i>
R	280-300	.	.	Rare Zone
B	555-703	.	.	Barren Zone

따라 큰 차이를 보이고 있다. 가장 적은 개체수는 시추심 깊이 280 cm에서, 반면에 가장 많은 개체수는 시추심 깊이 80 cm 시료에서 각각 나타났다.

시료내에서 산출된 유공충 개체(저서성 유공충+부유성 유공충)중 저서성 유공충의 상대비는 1%(깊이 380 cm)에서 94%(깊이 260 cm와 300 cm)로 매우 큰 차이를 보이고 있으나 대부분의 시료에서 70% 이상의 비율을 차지하고 있다. 저서성 유공충의 산출 종의 수도 1종(깊이 380 cm)에서 23종(표층)까지로 그 변화폭이 크지만, 대부분의 시료에서는 10~15종 정도가 산출되고 있다.

본 시추심에서 산출된 저서성 유공충 군집은 무생

대(barren zone)와 희귀생대(rare zone)를 제외하고 산출양상에 따라 크게 5개의 생물상(biofacies)으로 나누어지며, 생물상 II는 5개의 아생물상(sub-biofacies)로 나누어진다(Fig. 3). 이들 생물상을 특징짓는 우세종(abundant species)은 각 시료에서 저서성 유공충 군집의 20% 이상을 차지하는 종들이며 각 생물상과 우세종은 다음과 같다(Table 1): 생물상 I(0~40 cm; *Alabaminella weddellensis*-*Angulogerina bradyana*), 생물상 II<sub>A</sub>(40~70 cm, 500~555 cm; *Uvigerina peregrina*-*Islandiella norcrossi*-*A. bradyana*), 생물상 II<sub>B</sub>(70~80 cm, 120~160 cm; *I. norcrossi*-*U. peregrina*), 생물상 II<sub>C</sub>(205~220 cm; *I. norcrossi*-*A. bradyana*), 생

물상 II<sub>b</sub>(220~260 cm; *A. bradyana-U. peregrina*), 생물상 II<sub>e</sub>(460~500 cm; *A. bradyana-I. norcrossi*), 생물상 III(80~120 cm, 160~205 cm; *A. weddellensis-Abditodentrix asketocomptella*), 생물상 IV(260~280 cm, 300~380 cm; 420~460 cm; *A. asketocomptella-A. bradyana*), 그리고 생물상 V(380~420 cm; *Bolivina seminuda*) 등이다. 이중 생물상 II는 5개의 아생물상으로 구성되며 생물상 II<sub>a</sub>를 구성하는 3종의 우세종 중 각각 2종을 우세종으로 갖는 생물상 II<sub>b</sub>, II<sub>c</sub>, II<sub>d</sub>로 세분된다. 생물상 II<sub>c</sub>와 II<sub>e</sub>는 우세종이 같지만 보편종은 서로 다른 분포를 가지므로 세분하였다. 한편 시추심 깊이 280~300 cm에서는 45 ml당 100개체 미만의 저서성 유공충이 산출되어 희귀생대(rare zone, R)로 구분되었으며, 시추심 깊이 555 cm 이하에서는 유공충이 전혀 산출되지 않아 무생대(barren zone, B)로 구분되었다.

본 시추심에서 우세하게 산출되는 종들에 대한 생태학적 분포 양상을 살펴보면 다음과 같다: 생물상 I에서 우세하게 산출되는 *A. bradyana*는 수심 500~2,000 m 부근에서의 산출이 보고 되었으며(Barker, 1960), 생물상 II<sub>a</sub>, II<sub>c</sub>, 그리고 II<sub>b</sub>에서 우세하게 출현하는 *U. peregrina*는 멕시코만에서는 상부 심해대(upper bathyal zone)에서 주로 산출되는 특징적인 종이나(Pflum and Frerichs, 1976), 남부 페루-칠레 해구 지역에서는 수심 135~500 m인 지역에서 최대 분포 밀도를 보인다(Ingle et al., 1980). *U. peregrina*는 남중국해의 경우 수심 150 m 지역에서도 보고된 바 있다(Wang et al., 1985). 그리고 생물상 II<sub>a</sub>, II<sub>b</sub>, II<sub>c</sub> 및 II<sub>e</sub>의 우세종인 *I. norcrossi*는 한국 동해 수심 80~90 m 지역에서 출현이 보고되었다(Kim and Han, 1971). 생물상 III과 IV의 특징종인 *A. asketocomptella*는 태평양 서부 적도해역의 수심 2,000 m 지역에서 채취된 시추심에서 산출이 보고되었으나(Hermelin, 1989), 이 종의 수심 상한이나 최대 산출 분포를 보이는 지역에 대한 보고는 되어있지 않으므로 앞으로 계속적인 연구가 필요하다. 생물상 I과 III에서 우세하게 산출되는 *A. weddellensis* 역시 서태평양 적도지역의 수심 2,000 m 이상인 지역에서 산출이 보고 되었으며(Resig and Cheong, 인쇄중), 이 종의 수심 상한도 대륙대 부근까지 연장되는 것으로 보인다.

그밖에 각 시료에서 보편(common) 또는 희귀(rare) 하나 연속적으로 산출되는 종으로는 *Cibicidoides ro-*

*bertsonianus*, *Globobulimina pacifica*, *Globocassidulina cf. depressa*, *G. subglobosa*, 그리고 *Melonis pompilioides* 등이 있다. 이중 *C. robertsonianus*는 수심 300~600 m 부근에서 산출이 보고되었으며(Pflum and Frerichs, 1976), *G. pacifica*와 *G. subglobosa*는 수심 135~1,500 m 부근에서 비교적 우세하게 산출되는 종으로 보고되었다(Ingle et al., 1980). *M. pompilioides*는 주로 수심 1,700 m 이상인 지역에서 산출되는 종으로 알려져 있으며, 남서 태평양에서는 수심 1,200 m에서의 산출이 보고되었다(Kurihara and Kennett, 1988). 본 연구에서는 수심 388 m에 위치한 시추심 PC-1에서도 보편적으로 산출되는 것으로 보아 이 종의 수심상한(upper limit)이 상부 대륙사면까지 연장되어지는 것으로 보인다. 또한, *Stainforthia complanata*도 낮은 비율이지만 몇 시료를 제외한 거의 모든 시료에서 산출되고 있는 종으로 수심 500~4,000 m에서 우세종으로, 수심 150~500 m에서도 지속적으로 산출되는 종으로 보고되었다(Ingle et al., 1980).

한편, 저서성 유공충의 산출이 불량한 시추심 깊이 280~300 cm(희귀생대)와 380~420 cm(생물상 V) 구간은 특별한 암상의 변화는 보이지 않으나, 상대적으로 부유성 유공충의 비율이 매우 높게 나타난다. 시추심 깊이 280~300 cm와 380~420 cm의 시료에서는 *Bolivina seminuda*의 비율이 비교적 높게 나타나는데, 일반적으로 *Bolivina* 속(genus)이 저용존산소(low dissolved oxygen) 상태에 의해 야기되는 무산소 해저환경(anaerobic bottom condition)의 지시자로 알려져 있는 사실로 미루어서(Resig, 1981; Grossman, 1987) 이들 시료가 퇴적될 당시에는 저산소 환경이 유지되었던 것으로 보인다. 그리고 시추심 깊이 555 cm 이하의 6개 시료에서는 유공충이 전혀 산출되지 않았다. 이 시기에는 유공충 군집의 보존이 불량하여 산출되지 않았을 가능성을 전혀 배제할 수는 없지만, 저서 유공충의 생존이 불가능할 정도의 무산소 환경(anaerobic condition)이 유지되었을 가능성이 매우 높다.

이상과 같이 시추심 PC-1을 구성하는 5개의 생물상은 우세종의 구성에 있어서 생물상 V를 제외하고는 각 생물상 간에 밀접한 연관 관계를 보이고 있으며, 대부분의 우세종이 2개 이상의 생물상에서 겹쳐서 나타남을 알 수 있다. 이러한 사실은 각 생물상에 의해 특징지워지는 고해양 환경의 유사성을 대변해

준다고 볼 수 있다. 따라서 시추심 PC-1이 퇴적되는 동안 시추심 깊이 555 cm 이하의 무생대 구간을 제외하고도 약 5회의 해양환경 변화가 있었던 것으로 판단된다. 생물상 I, II, III 및 IV 구간은 우세종의 군집 분포 특성에 따라 저층 수온의 변화를 지시해 주고(*A. weddellensis*(약 1°C); *I. norcrossi*, *A. bradyana* (3~9°C)) (Murray, 1991), 생물상 V구간은 *B. seminuda* 군집으로서 저산소 해저 환경조건을 지시해 준다(Grossman, 1987). 다만 그 변화의 정도는 무생대, 회귀생대 및 생물상 V 구간을 제외하고, 저서 유공충의 산출이 양호한 대부분의 시료가 퇴적된 시기 동안은 전반적으로 현재와 유사한 해양환경하에서 퇴적되었으나 퇴적시기 동안 저층수온이 수회에 걸쳐 변동되었으며 이는 지구적 기후변화를 암시해 준다. 그러나 저서 유공충의 산출이 불량하거나 산출되지 않는 구간 동안에는 해수순환의 제한에 따른 저산소 상태에 의한 무산소 해저환경(anaerobic bottom condition)이 유지되었던 것으로 사료된다.

2. 시추심 PC-2

시추심 PC-2는 강릉 북동쪽에 발달한 해저퇴( bank)의 동쪽사면 수심 1,302 m 지점에서 채취되었다. 861 cm 길이의 시추심 PC-2의 퇴적물은 3개의 퇴적상으로 구성되어 있다. 생물 교란된 니질(bioturbated mud) 퇴적상은 시추심의 대부분을 차지하며 세립질의 실트와 점토(Mz= 8~10φ)로 구성되어 있고 상하 경계면이 불분명하고 그 두께도 다양하다. 균질 니질(homogeneous mud) 퇴적상(70~95 cm)은 분급이 양호한 실트(>90%) 로 구성되어 있으며, 퇴적상의 경계면은 비교적 불분명한 편이다. 시추심 깊이가 470~510 cm 및 530~540 cm 구간에서 협재되어 나타나는 박층리 니질(thinly-laminated mud) 퇴적상은 1 mm 이하의 실트 켄(lamina)가 균일한 간격으로 층리면에 규칙적으로 평행하게 발달되어 있다.

PC-2 코아에서 32개의 시료가 채취되었으며 이중 29개의 시료에서 총 57종의 저서성 유공충이 확인되었다(Appendix 2). 3개의 시료(시추심 깊이 95 cm,

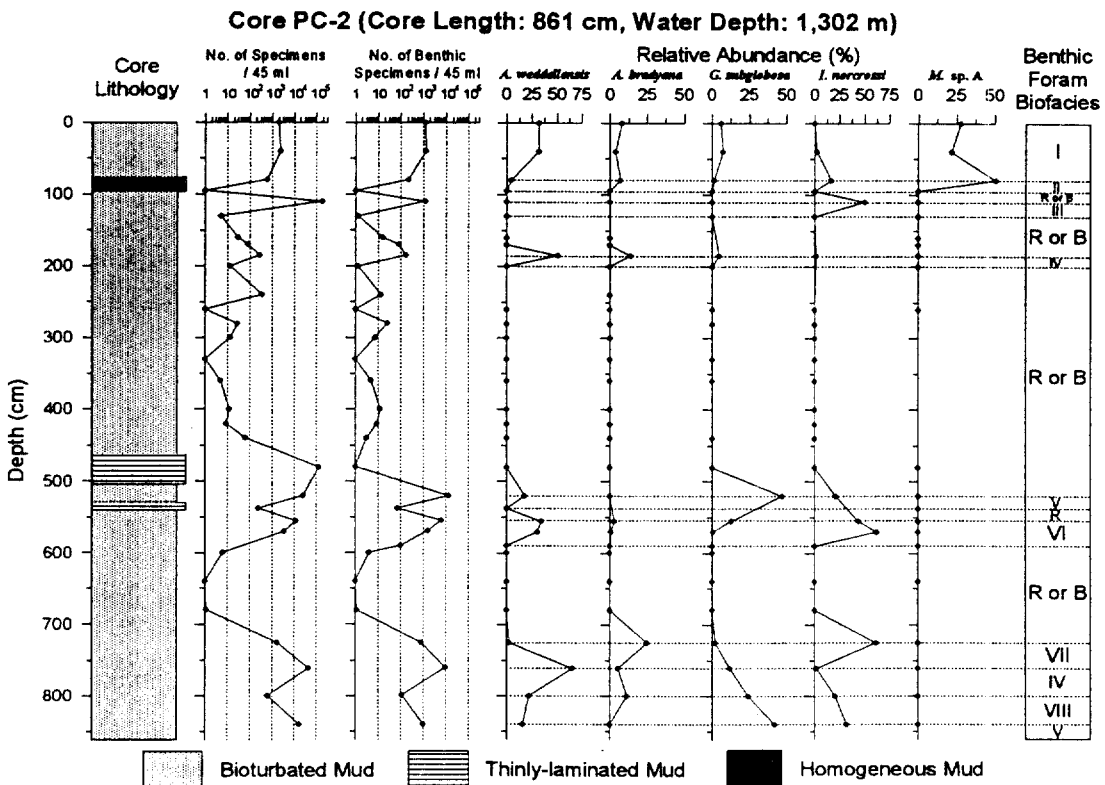


Fig. 4. Lithologic and foraminiferal characteristics of the Core PC-2. The benthic foraminiferal biofacies refer to Table 2.



Table 2. The benthic foraminiferal biofacies of the Core PC-2. The foraminiferal assemblages were dominant species those which represent more than 20% of the fossil benthic assemblage in the sample.

Benthic Foram Biofacies	Core Depth (cm)	(Most) Abundant Species	Common Species	Assemblage
		>20%	5~19%	
I	0-80	<i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Miliammina</i> sp. A	<i>Angulogerina bradyana</i> <i>Bulimina exilis</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i> - <i>Miliammina</i> sp. A
II	80-95	<i>Miliammina</i> sp. A	<i>Angulogerina bradyana</i> <i>Islandiella norcrossi</i>	<i>Miliammina</i> sp. A
III	110-130	<i>Islandiella norcrossi</i> <i>Stainforthia complanata</i>	.	<i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Stainforthia complanata</i>
IV	185-200 760-800	<i>Alabaminella weddellensis</i>	<i>Angulogerina bradyana</i> <i>Bolivina decussata</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i>
V	520-538 840-861	<i>Globocassidulina subglobosa</i> <i>Islandiella norcrossi</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i>	<i>Globocassidulina subglobosa</i> <i>Islandiella norcrossi</i>
VI	555-590	<i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Islandiella norcrossi</i>	<i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i> - <i>Islandiella norcrossi</i>
VII	725-760	<i>Islandiella norcrossi</i> <i>Angulogerina bradyana</i>	.	<i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Angulogerina bradyana</i>
VIII	800-840	<i>Alabaminella weddellensis</i> <i>Islandiella norcrossi</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Angulogerina bradyana</i>	<i>Alabaminella weddellensis</i> - <i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Globocassidulina subglobosa</i>
R	538-555	.	.	Rare Zone
R or B	95-110	.	.	Rare or Barren Zone
	130-185	.	.	
	200-520	.	.	
	590-725	.	.	

260 cm 및 640 cm)에서는 유공충이 전혀 산출되지 않았으며, 7개의 시료(시추심 깊이 170 cm, 330 cm, 360 cm, 400 cm, 420 cm, 590 cm 및 680 cm)에서는 부유성 유공충은 전혀 산출되지 않고 적은 개체수의 저서성 유공충만 산출되었다. 젖은 시료 45 ml당 개체수(저서성 유공충+부유성 유공충)는 0개체에서 175,225개체(110 cm)로 깊이에 따라 큰 차이를 보이고 있고, 시추심 상부의 0~95 cm 및 110~130 cm 구간, 중부의 480~538 cm 및 555~590 cm 구간 그리고 하부의 725~861 cm 구간에서 상대적으로 풍부한 개체가 산출되었다. 전체 개체중 저서성 유공충의 상대적 비율은 최상부 0~95 cm 구간과 중부의 520~590 cm 구간에서는 비슷한 양상을 보이나 그 밖의 구간에서는 일반적으로 상당한 차이를 보이고 있다. 저서성 유공충의 종의 수는 0에서 26종(40 cm)으로 큰 차이를 보이고 있으며 일반적으로 풍부한 개체수가 산출되는 시료에서 상대적으로 많은 종이 산출되고 있다.

시추심 PC-2에서 산출된 저서성 유공충 군집양상

에 따라 본 시추심은 5곳의 회귀생대 또는 무생대와 8개의 생물상(biofacies)으로 나누어진다(Fig. 4). 8개의 생물상은 우세종(abundant species)을 기준으로 하여 다음과 같이 구분된다(Table 2): 생물상 I (*Alabaminella weddellensis*-*Miliammina* sp. A), 생물상 II(*M.* sp. A), 생물상 III(*Islandiella norcrossi*-*Stainforthia complanata*), 생물상 IV(*A. weddellensis*), 생물상 V(*Globocassidulina subglobosa*-*I. norcrossi*), 생물상 VI(*A. weddellensis*-*I. norcrossi*), 생물상 VII(*I. norcrossi*-*Angulogerina bradyana*), 그리고 생물상 VIII (*A. weddellensis*-*G. subglobosa*-*I. norcrossi*) 등이다.

생물상 I(시추심 깊이 0~80 cm)는 *A. weddellensis* 와 *M.* sp. A로 특징지어지며 그밖의 보편종(common species)으로는 *Bulimina exilis*, *A. bradyana* 그리고 *G. subglobosa* 등이 산출되며 종의 수는 상대적으로 많게 나타난다. 우세종인 *A. weddellensis*는 니질(mud) 퇴적상과 수온이 낮고(약 1°C) 염분도가 약 34‰에서 우세하게 분포하므로(Murray,

1991), 이 생물상은 현생환경과 유사한 조건하에서 퇴적된 것임을 지시해 준다.

생물상 II(시추심 깊이 80~95 cm)는 최대 우세종(most abundant species)인 사질 유공충 *M. sp. A*(50.7%)와 보편종인 *I. norcrossi* 그리고 *A. bradyana*로 특징지어진다. 이 생물상이 퇴적되는 동안은 사질 유공충인 *M. sp. A*가 우세하지만 보편종은 석회질이 나타나므로 하부층(회귀 또는 무생대; 95~110 cm)의 저산소 해저환경(low O<sub>2</sub> bottom condition)에서 점차 저층산소 조건이 양호한 산화 해저환경(oxidized bottom condition)으로 바뀌어가는 전환기(transitional stage)였던 것으로 믿어진다.

생물상 III(시추심 깊이 110~130 cm)은 *I. norcrossi*와 *Stainforthia complanata*로 특징지어진다. 생물상 IV(시추심 깊이 185~200 cm, 760~800 cm)는 *A. weddellensis*로 특징지어지며, *Bolivina decussata*, *G. subglobosa* 및 *A. bradyana* 등이 보편적으로 산출된다. 두개의 생물상을 비교하면 두 생물상 모두 니질 퇴적상과 약 34°C 염분도에서 우세하게 분포하는 종들로 구성되어 있지만 생물상 III에서 나타나는 종들은 수온이 3~9°C에서 우세하게 나타나는 반면, 생물상 IV에서 나타나는 종들은 이보다 낮은 약 1°C 정도에서 우세하게 분포한다(Murray, 1991). 그러므로 생물상 III이 퇴적될 당시에는 생물상 IV에 비하여 저층수온이 더 높았으며, 생물상 IV에서 *Bolivina decussata*종의 출현을 고려하면, 저층조건은 생물상 IV가 생물상 III에 비하여 상대적으로 저층 용존 산소가 낮았던 환경이었음을 지시해 준다.

생물상 V(시추심 깊이 520~538 cm, 840~861 cm)는 우세종인 *G. subglobosa*와 *I. norcrossi* 그리고 보편종인 *A. weddellensis*로 특징지어지며, 생물상 VI(시추심 깊이 555~590 cm)는 우세종인 *I. norcrossi*와 *A. weddellensis* 그리고 보편종인 *G. subglobosa*로 특징지어진다. 생물상 VII(시추심 깊이 725~760 cm)은 가장 우세종(most abundant species)인 *I. norcrossi*와 *A. bradyana*로 특징지어지며, 생물상 VIII(시추심 깊이 800~840 cm)는 우세종인 *G. subglobosa*, *A. weddellensis*, *I. norcrossi*와 보편종인 *A. bradyana*로 특징지어진다. 네개의 생물상에서 나타나는 종들의 특징은 니질 퇴적물과 수심이 1,000 m 이상이고 염분도가 약 34°C인 해역에서 그리고 수온은 *A. weddellensis*(약 1°C)를 제외하고는 수온이 3~9°C에서 우세하게 나타나는 종들이다(Murray, 1991). 그러므로

4개의 생물상은 서로 유사하나 생물상 VI와 생물상 VIII이 퇴적된 시기동안에는 생물상 V와 생물상 VII이 퇴적된 시기동안과 비교하여 저층수온이 더 낮았음을 지시한다.

시추심 PC-2에서 유공충이 희귀하게(<5%) 산출되거나(rare zone) 전혀 산출되지 않는 대(barren zone)는 모두 5곳에서 나타난다(시추심 깊이 95~110 cm, 130~185 cm, 200~520 cm, 538~555 cm, 590~725 cm). 이 생대에서는 저서성 유공충의 종의 수(0~7종)와 개체수(0~84개체)가 상대적으로 적게 나타나고, 사질 유공충인 *Miliammina sp. A*가 비교적 연속적으로 분포하는 것으로 보아 이 기간동안에는 해수순환이 극히 제한되었거나 외해로부터의 해수유입이 완전히 차단됨으로써 강한 무산소 해저환경(anoxic bottom condition)이 형성되어 저서성 유공충이 서식하기에 매우 부적합한 환경이었음을 나타내고 있다.

### 3. 시추심 PC-4

시추심 PC-4는 한국대지의 해저곡(trough) 동남부, 수심 1,698 m 지점의 울릉분지 중심에서 채취되었다. 705 cm 길이의 시추심 PC-4의 퇴적물은 3개의 퇴적상으로 구분된다. 최상부 0~150 cm 구간의 생물교란 니질(bioturbated mud) 퇴적상은 상대적으로 높은 점토함량을 보이며, 심한 생물교란 구조가 관찰된다. 시추심 깊이 150~165 cm 및 195 cm 이하의 하부 구간에서 나타나는 균질 니질(homogeneous mud) 퇴적상은 내부 퇴적구조와 생물 교란구조가 일부 구간을 제외하고는 관찰되지 않는다. 이 퇴적상의 일부 구간에서는 얇은 실트 켄(lamina)의 교호에 의한 박층리 부분이 부분적(두께 3 cm 이하)으로 관찰된다. 박층리 니질(thinly-laminated mud) 퇴적상(165~195 cm)은 1 mm 이하의 실트 켄이 균일한 간격으로 층리면 에 평행하게 발달되어 있으며, 상부에는 약한 생물교란을 받았다.

PC-4 코아에서 18개의 시료가 채취 되었으며 이중 9개의 시료에서 총 14종의 저서성 유공충이 확인되었다(Appendix 3). 거의 모든 시료에서 부유성 유공충이 80% 이상의 높은 산출률을 보이고 있으며, 이중 9개 시료에서는 100%의 산출률을 보인다.

젖은 시료 45 ml당 개체수는 20개체(깊이 300 cm)에서 311,500개체(깊이 160 cm)로 매우 큰 차이를 보이고 있다. 저서성 유공충이 산출되는 시료에서(시추심 깊이 0 cm, 40 cm, 80 cm, 110 cm, 150 cm, 380

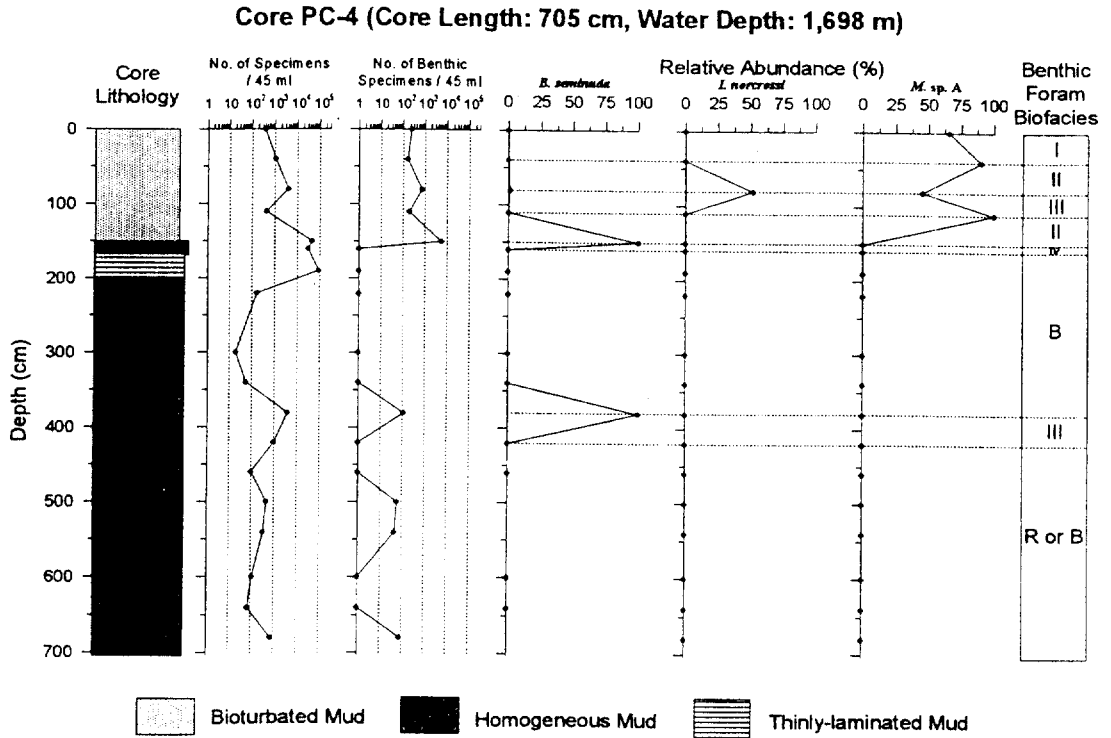


Fig. 5. Lithologic and foraminiferal characteristics of the Core PC-4. The benthic foraminiferal biofacies refer to Table 3.

Table 3. The benthic foraminiferal biofacies of the Core PC-4. The foraminiferal assemblages were dominant species those which represent more than 20% of the fossil benthic assemblage in the sample.

Benthic Foraminiferal Biofacies	Core Depth (cm)	(Most) Abundant Species	Common Species	Assemblage
		>20%	5~19%	
I	0-40	<i>Miliammina</i> sp. A <i>Trochammina simplex</i>	.	<i>Miliammina</i> sp. A- <i>Trochammina simplex</i>
II	40-80 110-150	<i>Miliammina</i> sp. A	<i>Haplophragmoides trullissatum</i>	<i>Miliammina</i> sp. A
III	80-110	<i>Islandiella norcrossi</i> <i>Miliammina</i> sp. A	.	<i>Islandiella norcrossi</i> - <i>Miliammina</i> sp. A
IV	150-160 380-420	<i>Bolivina seminuda</i>	.	<i>Bolivina seminuda</i>
B	160-380	.	.	Barren Zone
R or B	420-705	.	.	Rare or Barren Zone

cm, 500 cm, 540 cm 및 680 cm) 저서성 유공충의 비율은 최소 3%(깊이 380 cm)에서 최대 64%(표층)의 값을 보인다. 저서성 유공충의 산출 종의 수도 1종에서 6종으로 매우 낮은 값을 보이며, 시추심 상부에서는 사질 유공충이 압도적으로 높은 비율을 나타낸다. 본 시추심에서는 전체적으로 저서성 유공충의 산

출이 매우 불량하고 종 다양도도 매우 낮으며 2곳의 무생대와 회귀생대 이외에도 사질종인 *Miliammina* sp. A와 *Trochammina simplex*를 우세종으로 하는 생물상 I(0~40 cm)과 사질종인 *M. sp. A*를 우세종으로 하는 생물상 II(40~80 cm, 110~150 cm), *Islandiella norcrossi*와 *M. sp. A*를 우세종으로 하는 생물상 III

(80~110 cm), 그리고 *Bolivina seminuda*를 우세종으로 하는 생물상 IV(150~160 cm, 380~420 cm) 등 4개의 생물상이 확인되었다(Fig. 5; Table 3). 이러한 사실로 미루어보아 수심 1,698 m에서 채취된 본 시추심이 퇴적 되는 대부분의 시기동안 저층환경은 저서성 유공충의 서식에 매우 부적합 하였으며, 시추심 상부층이 퇴적되는 동안 몇몇 사질 유공충의 서식이 가능한 환경으로 변해왔음을 알 수 있다. 시추심 하부의 저서유공충 회귀생대(rare zone)에서 소량의 *B. seminuda*가 산출되므로 이 시기 동안에는 저산소환경(low O<sub>2</sub> condition)이었던 것으로 보이며, 그밖의 대부분의 하부층은 저서성 유공충 무생대(barren zone)로 극심한 무산소환경(anaerobic condition)이 유지되었던 것으로 추정된다.

따라서 시추심 PC-4의 깊이 160 cm 이하 하부층이 퇴적되는 동안 해저에는 극심한 저산소 상태에 의하여 야기된 무산소환경이 지속되었으며, 깊이 110 cm 이상의 상부퇴적물이 퇴적된 시기가 되어야 *M. sp. A* 등 몇몇 종이 생존 가능한 현재와 유사한 환경으로 변화되어 온 것으로 믿어진다.

## 결 론

시추 퇴적물내에 함유된 화석 유공충 군집과 그 수직적 분포를 근거로 각 시추심별 생물상들이 확인되었다. 각각의 생물상은 연구지역의 제4기 후반 동안의 고해양환경의 변화를 지시해준다.

시추심 PC-1은 강릉 북동쪽 수심 388 m의 상부 대륙사면(upper slope)에서 채취되었으며 1개의 무생대와 1개의 회귀생대 및 5개의 생물상으로 나누어진다. 시추심 깊이 555 cm 이하의 무생대 퇴적시기 동안에는 해수면이 낮았던 시기로, 동해의 해수순환이 완전히 차단되어 무산소 해저환경이 지속되었던 것으로 해석된다. 상부의 각 생물상은 우세종이 개체수의 차이는 크나 서로 유사한 관계를 보이고 있으므로 고환경의 유사성을 대변해 준다. 따라서 시추심 PC-1이 퇴적되는 동안 적어도 7회의 해양환경의 변화가 있었다. 그러나 3차례의 변환기(회귀생대, 무생대, *B. seminuda* 생물상)를 제외하고는 그 변화의 정도는 저층 수온의 변화 이외에는 현재와 유사한 상부대륙사면의 환경에서 퇴적된 것으로 해석된다. 저서 유공충의 산출이 상대적으로 불량한 구간들(280~300 cm 및 380~420 cm)에서는 해수순환의 제한에 따른 저산소

또는 무산소 해저환경(low oxygen or anoxic bottom condition)이 유지되었던 것으로 해석된다.

시추심 PC-2는 수심 1,302 m의 강릉 북동쪽에 발달한 해저퇴(bank)의 동쪽사면에서 채취되었으며, 5개의 회귀 또는 무생대와 모두 8개의 생물상으로 나누어진다. 시추심 상부(0~95 cm)는 현재 이후 현재의 상태와 유사한 환경하에서 퇴적된 것으로 믿어지며, 각각의 생물상은 우세종의 구성에 있어서 저층수온의 변화가 있었음을 지시해주나 퇴적물과 연반도는 유사했을 것으로 추정된다. 시추심 PC-2에서 나타나는 5개의 회귀 또는 무생대는 고해양환경의 큰 변화를 지시해주는 구간으로써, 이 기간동안은 저해수면(low sea level stand)기로 동해의 해수순환이 크게 제한되었거나 동해로의 외해수 유입이 완전히 차단되어 해저환경이 강한 무산소(anoxic) 환경이었던 것으로 해석된다.

시추심 PC-4는 수심 1,698 m의 한국대지 해저곡(trough)의 동남부에서 채취되었으며, 각 1개의 무생대와 회귀 또는 무생대, 그리고 4개의 생물상이 확인되었다. 시추심 상부(0~160 cm)는 퇴적시기 동안 사질 유공충인 *Miliammina*속과 혐기성 석회질 유공충인 *Bolivina*속 등 몇몇 종만의 서식이 가능한 저용존 산소 환경(low dissolved oxygen condition)하에서 퇴적되었음을 지시해주고 있다. 시추심의 깊이 160 cm 하부층은 회귀생대(rare zone) 또는 무생대(barren zone)로써, 극심한 무산소(anoxic) 환경이었음을 나타내주고 있다.

저서성 유공충에 대한 연구결과 본 연구지역에는 제4기 후반 동안 수 차례의 뚜렷한 고해양환경 변화가 있었음을 지시해주며, 또한 이러한 변화는 지구적 해수면 변동에 따른 동해의 해수순환의 양상 변화에 따라 해저환경이 바뀌어 왔음을 지시해준다. 따라서 화석 유공충을 이용한 미고생물학적 연구는 퇴적학적 연구와 더불어 동해의 제4기동안의 고해양환경과 동해의 해양진화 과정을 밝히는데 중요한 역할을 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국해양연구소에서 수행중인 과학기술훈 특정연구 개발사업과제(BSPN 00259)인 '한국대수심 해역의 지구적 해저환경 연구(BASAPES)'의 일부로써 수행되었다. 현장자료 획득과 실내실험, 그

리고 자료정리에 도움을 주신 온누리호 선원들과 한국해양연구소 해양지질부의 모든 동료들께 감사드립니다. 연구기간 동안 많은 조언을 주신 한국해양연구소 극지연구센터의 박병권 박사님께도 감사드립니다. 본 논문을 심사하고 좋은 의견을 제시해 주신 고려대학교 백광호 교수님과 강원대학교 우경식 교수님께 감사드립니다.

### 참고문헌

- 김경렬, 이태식, 김 구, 정종률, 1991. 울릉분지 해역 동해 중층수의 화학적 특성. *한국해양학회지*, 26: 278-290.
- 박병권, 한상준, 박은주, 존 씨우든, 1995. 한국 동해 서측 해역에서 채취한 시추 퇴적물의 후기 현세 퇴적물 연구. *한국해양학회지*, 30: 인쇄중
- 승영호, 1992. 한반도 주변의 수괴와 해수순환. *한국해양학회지*, 27: 324-331.
- 이흥재, 승영호, 1994. 한국 해양물리 연구의 현황과 발전: 문헌검토. *한국해양학회지*, 29: 64-81.
- Barker, R.W., 1960 Taxonomic notes. *SEPM Spec. Pub. no. 9*, 239pp.
- Cheong, H.K., S.K. Chang, and K.H. Paik, 1985. Planktonic foraminifera from the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea. *J. Paleont. Soc. Korea*, 1: 51-70.
- Grossman, E.L., 1987. Stable isotopes in modern benthic foraminifera: A study of vital effect. *J. Foramin. Res.*, 17: 48-61.
- Hermelin, J.O.R., 1989. Pliocene benthic foraminifera from the Ontong-Jave Plateau (Western Equatorial Pacific Ocean): Faunal response to changing paleoenvironment. *Cush. Foun. Foramin. Res.*, Spec. Pub. no. 26, 143pp.
- Ichikura, M. and H. Ujiie, 1976. Lithology and planktonic foraminifera of the Sea of Japan piston cores. *Bull. Nat. Sci. Mus.*, Ser. C, 2: 151-178.
- Ingle, J.C., G. Keller and R.L. Kolpack, 1980. Benthic foraminiferal biofacies, sediments and water masses of the southern Peru-Chile Trench area, Southeastern Pacific Ocean. *Micropaleontology*, 26: 113-150.
- Inoue, Y., 1980. Stratigraphic and paleoenvironmental considerations of Holocene to uppermost Pleistocene foraminifera in Nishi-Tsugaru basin, Sea of Japan. Tsukuba University Press, Tsukuba, 241-261.
- Keigwin, L.D. and S.A. Gorbarenko, 1992. Sea level, surface salinity of the Japan Sea, and the Younger Dryas Event in the Northwestern Pacific Ocean. *Quaternary Res.*, 37: 346-360.
- Kim, B.K. and J.H. Han, 1971. Foraminifera in the bottom sediments off the southeastern coast of Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 7: 11-36.
- Kurihara, K., 1982. Planktonic foraminifera in a piston core V32-153 from the Yamato Rise, the Sea of Japan. *St. Paul's Rev. Sci.*, 4: 79-89.
- Kurihara, K. and J.P. Kennett, 1988. Bathymetric migration of deep-sea benthic foraminifera in the southwest Pacific during the Neogene. *J. Foramin. Res.*, 18: 75-83.
- Maiya, S., T. Saito and T. Sato, 1976. Late Cenozoic planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Am. Mus. Nat. Hist.*, Micropaleontology Press, New York, 395-422.
- Moriyasu, S., 1972. The Tsushima Current. In: Kuroshio, edited by, Stommel, H. and K. Yoshida, University of Washington Press, 353-369.
- Murray, J.W., 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. 397pp.
- Oba, T., Y. Horibe and H. Kitazato, 1980. Analysis of the Paleoenvironment since the last glacial age based on two cores from the Japan Sea. *Archeol. Nat. Sci.*, 13: 31-49.
- Oba, T., M. Kato, H. Kitazato, I. Koizumi, A. Omura, T. Sakai and T. Takayama, 1991. Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, 6: 499-518.
- Pflum, C.E. and W.E. Frerichs, 1976. Gulf of Mexico deep water foraminifera. *Cush. Foun. Foramin. Res. Spec. Pub. no. 14*, 125pp.
- Resig, J.M., 1981. Biogeography of benthic foraminifera of the northern Nazca Plate and adjacent continental margin. *Geo. Soc. Am., Memoir*, 154: 619-665.
- Resig, J.M. and H.K. Cheong, in press. Pliocene-Holocene benthic foraminiferal assemblage analysis, ODP 806B, western Equatorial Pacific.
- Ujiie, H., 1982. Geological history of the Sea of Japan: Problems from standpoints of sediments and microfossils. Geology of Japan Sea, Tokai University Press, Tokyo, 377-408.
- Ujiie, H. and M. Ichikura, 1973. Holocene to uppermost Pleistocene planktonic foraminifera in a piston core from off San'in district, Sea of Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan., N.S.*, 91: 137-150.
- Ujiie, H., M. Ichikura and K. Kurihara, 1983. Quaternary benthic foraminiferal changes observed in the Sea of Japan piston cores. *Bull. Nat. Sci. Mus. Ser. C*, 9: 41-78.
- Wang, P., O. Min and Y. Bian, 1985. Foraminiferal biofacies in the northern continental shelf of the South China Sea. In: Wang P. et al. (eds.), Marine Micropaleontology of China. China Ocean Press, Beijing, 151-175.

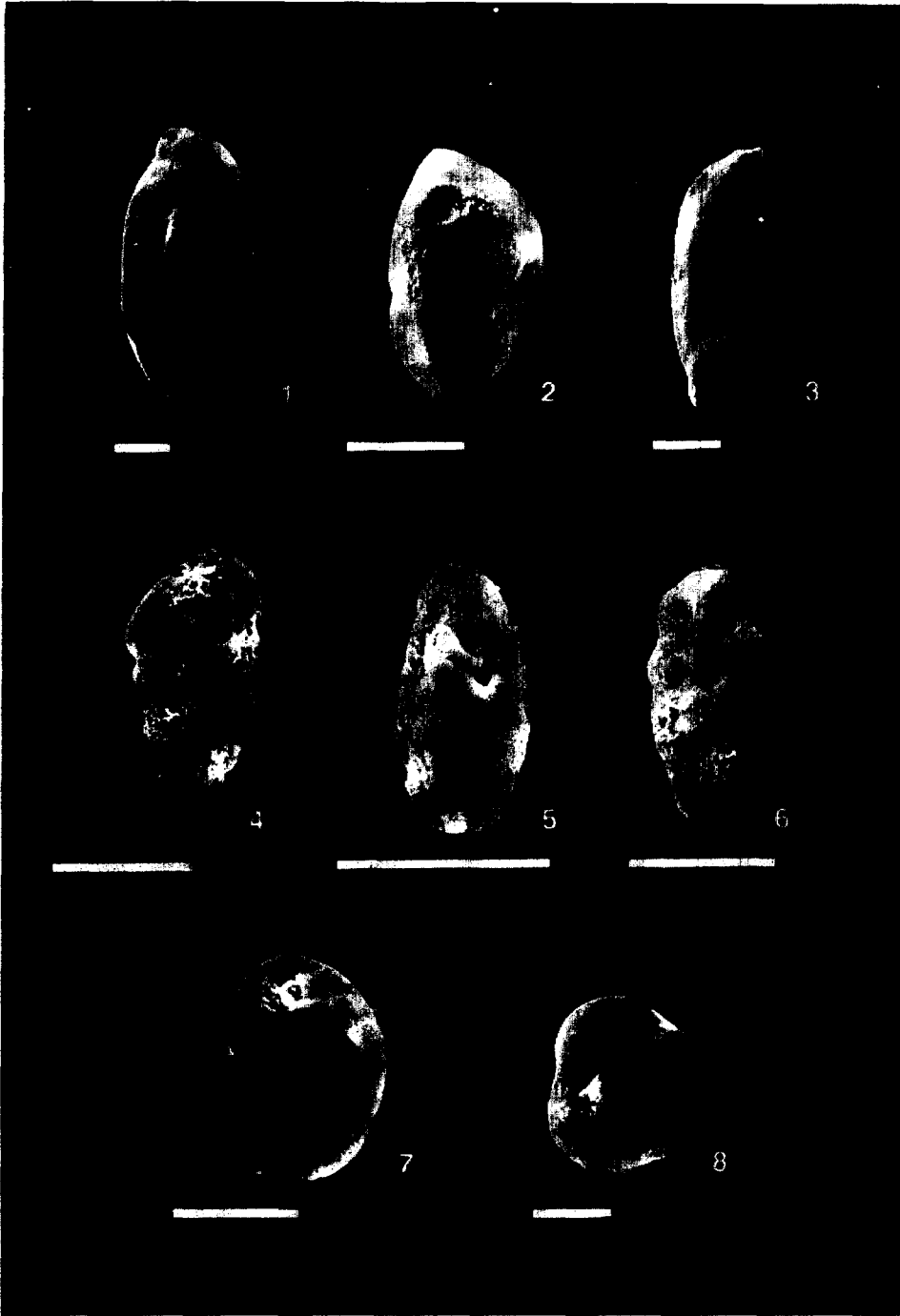


Plate 1 (Index bar = 100  $\mu$ m)

Figs. 1-3. *Miliammina* sp. A from the Core PC-2, 40 cm. 1-Side view, 2-Marginal view, 3-Side view.

Figs. 4-6. *Bolivina decussata* Brady from the Core PC-2, 185 cm. 4-Side view, 5-Apertural view, 6-Side view.

Figs. 7-8. *Globocassidulina subglobosa* (Brady) from the Core PC-2. 7-Side view, specimen from a core-depth of 555 cm, 8-Side view, specimen from a core-depth of 520 cm.

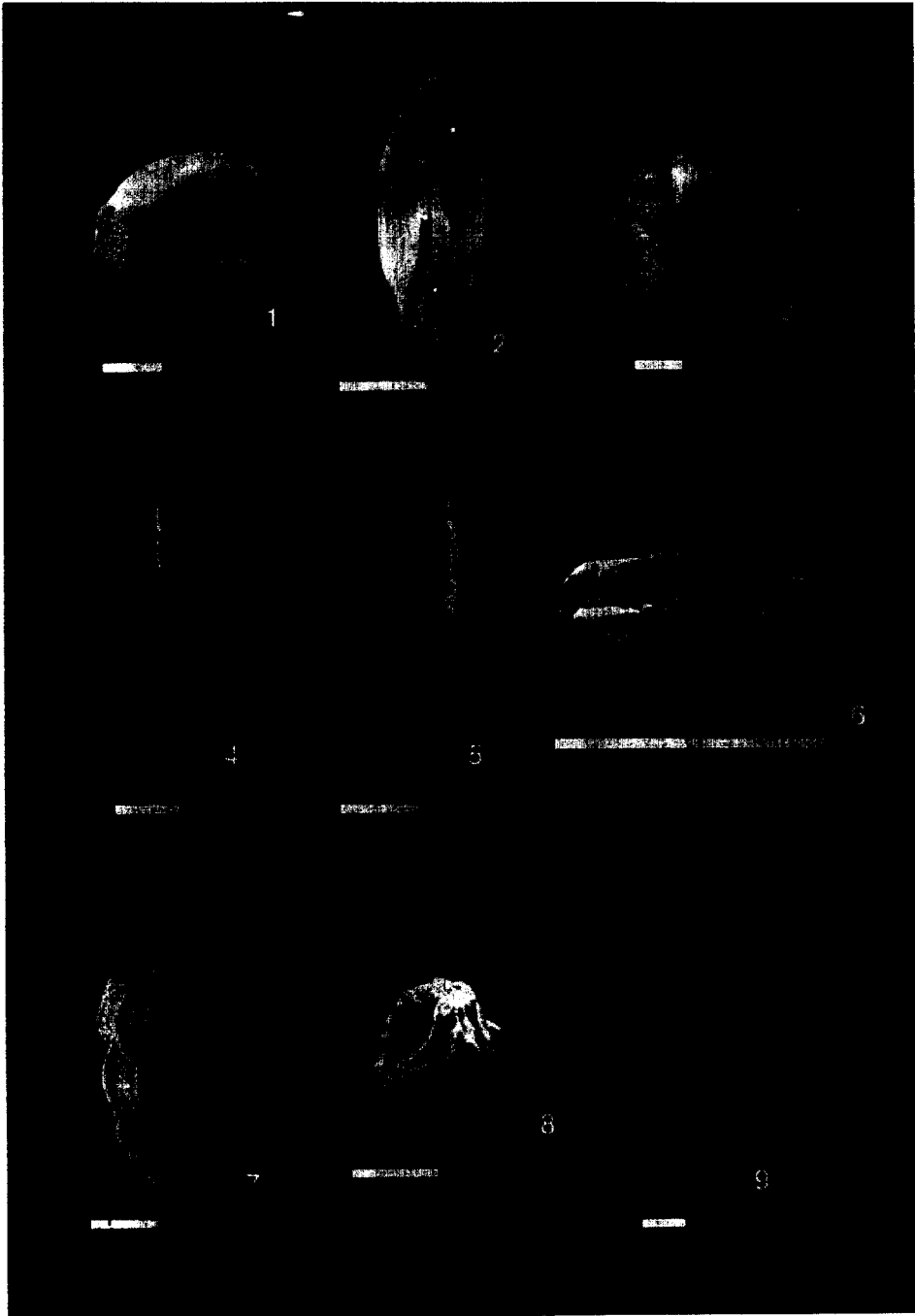


Plate 2 (Index bar=100  $\mu$ m)

Figs. 1-3. *Isandiella norcrossi* (Cushman) from the Core PC-2, 170 cm. 1-Dorsal view, 2-Marginal view, 3-Ventral view.

Figs. 4-6. *Bulimina exilis* Brady from the Core PC-2, 40 cm. 4-Side view, 5-Side view, 6-Marginal view.

Figs. 7-8. *Angulogerina bradyana* Cushman from the Core PC-2, 0 cm. 7-Side view, 8-Apertural view.

Fig. 9. *Uvigerina peregrina* Cushman from the Core PC-2, 725 cm, side view.



Plate 3 (Index map = 100 mm)

Figs. 1-3. *Alabaminella weddellensis* (Earland), from the Core PC-2, 520 cm. 1-Dorsal view, 2-Marginal view, 3-Ventral view.

Figs. 4-5. *Cibicoides robertsonianus* (Brady) from the Core PC-2. 4-Umbilical view, specimen from a core-depth of 80 cm, 5-Spiral view, specimen from a core-depth of 40cm.

Figs. 6-7. *Astrononion stelligerum* (d'Orbigny) from the Core PC-2, 0cm, side view.





Appendix 2. Relative abundance (%) for benthic foraminiferal assemblages in the Core PC-2.

Table with columns for Species, 6, 40, 90, 95, 110, 130, 150, 170, 185, 200, 240, 260, 300, 330, 400, 450, 500, 550, 575, 600, 640, 680, 775, 790, 800, 840. Rows include species such as Ammonia subaenariensis, Ammonia subaenariensis, and various foraminiferal species, along with their relative abundance percentages at various depths.

Appendix 3. Relative abundance (%) for benthic foraminiferal assemblages in the Core PC-4.

Species	Core Depth (cm)																	
	0	40	80	110	150	160	190	220	300	340	380	420	460	500	540	600	640	680
1. <i>Bolivina seminuda</i>	0.00	0.00	1.30	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00	680
2. <i>Cyclammina trullissata</i>	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.94
3. <i>Fissurina</i> sp. A	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4. <i>Haplophragmoides multissatum</i>	3.77	6.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5. <i>Islandiella noronhai</i>	0.00	0.00	50.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6. <i>Lagena distoma</i>	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7. <i>Lagena elongata</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8. <i>Miliammina</i> sp. A	66.04	90.32	44.16	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9. <i>Pyrgo muricina</i>	0.00	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10. <i>Reophax eccentricus</i>	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11. <i>Ruhoffooides bradyi</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.03
12. <i>Trochammina discorbis</i>	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13. <i>Trochammina simplex</i>	22.64	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14. <i>Uvigerina peregrina</i>	0.00	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(A) No. of Benthic Species	6	4	6	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	3
(B) No. of Specimens Picked	83	442	398	215	364	623	493	65	10	23	340	355	35	165	143	30	21	288
(C) No. of Benthic Specimens	53	62	77	100	44	0	0	0	0	0	10	0	0	20	18	0	0	33
(D) No. of Planktonic Specimens	30	380	321	115	320	623	493	65	10	23	330	355	35	145	125	30	21	255
(E) Extrapolated No. of Specimens per 45 ml	374	1105	9900	421	45500	311500	88740	172	20	54	3910	998	98	495	358	113	73	762
(F) Extrapolated No. of Benthic Specimens per 45 ml	239	155	741	198	5460	0	0	0	0	0	117	0	0	59	47	0	0	84
(G) % Benthic Foraminifera	64	14	19	47	12	0	0	0	0	0	3	0	0	12	13	0	0	11
(H) % Planktonic Foraminifera	36	86	81	53	88	100	100	100	100	100	97	100	100	88	87	100	100	89