Jour. Korean Earth Science Society, v. 29, no. 6, p. 454-465, October 2008

# 북동중국해 대륙붕 코아 퇴적물의 저서유공충 군집 특성과 퇴적환경 연구

강소라[1] · 임동일[1,*] · 김소영[1] · 노경찬[1] · 유해수[2] · 정회수[2]

[1]한국해양연구원 남해특성연구부, 656-830, 경남 거제시 장목면 장목리 391
[2]한국해양연구원 심해 · 해저자원연구부, 426-744, 경기도 안산시 상록구 사2동 1270

# Benthic Foraminiferal Assemblage and Sedimentary Environment of Core Sediments from the Northern Shelf of the East China Sea

**So-Ra Kang[1], Dhong-Il Lim[1,*], So-Young Kim[1], Kyoung-Chan Rho[1], Hae-Soo Yoo[2], and Hoi-Soo Jung[2]**

[1]South Sea Institute, Korea Ocean Research and Development Institute, Gyeongnam 656-830, Korea
[2]Deep-sea and Marine Georesources Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Gyeonggi 426-744, Korea

**Abstract:** Benthic foraminiferal assemblage and AMS radiocarbon dating of core sediments from the northern shelf of the East China Sea were analyzed in order to understand the paleoenvironment and sedimentary environmental changes around the Korean marginal seas since the last glacial maximum (LGM). The core sediments, containing continuous records of the last 16,000 years, reveal a series of well-defined vertical changes in number of species (S), P/T ratio and species diversity (H) as well as foraminiferal assemblage. Such down-core variations display a sharp change at a core depth of approximately 240 cm, which corresponds to ca. 10,000 year B.P. The sediments of the lower part of the core (240~560 cm, Zone I), including the well-developed tide-influenced sedimentary structures, are characterized by high abundances of *Ammonia beccarii* and *Elphidium clavatum* (*s.l.*) and low values in number of species, P/T ratio and diversity. These tide-influenced signatures and foraminiferal assemblage characters suggest that the sediments of Zone I were deposited in a coastal environment (water depths of 20~30 m) such as tidal estuary with an influence of the paleo-rivers (e.g., old-Huanghe and Yangtze rivers) during the early phase of the sea-level rise (ca. 16,000 to 10,000 years) since the LGM. In contrast, the upper core sediments (0~240 cm, Zone II) are characterized by abundant *Eilohedra nipponica* and *Bolivina robusta* with a minor contribution of *A. ketienziensis* angulata and *B. marginata.* and high values in number of species, P/T ratio and diversity. Based on relative abundance of these assemblage, Zone II can be divided into two subzones (IIa and IIb). Zone IIa is interpreted to be deposited under the inner-to-middle shelf environment during the marine transgression in the early Holocene (after ca. 9,000 yr B.P.) when sea level rapidly increased. The sediments of zone IIb most likely deposited after 6,000 yr B.P. under the outer shelf environment (80~100 m water depth), which is similar to modern depositional environments. The muddy sediments of zone IIb were probably transported from the old-Huanghe and Yangtze Rivers during the late Holocene. We suggest that the present-day oceanographic conditions over the Yellow and the East China Seas have been established after ca. 7,000~6,000 yr B.P. when the Kuroshio Current began to influence this area.

Key words: benthic foraminiferal assemblage, paleoenvironmental change, core sediments, northern East China Sea

**요 약:** 지난 최대빙하기 이후 형성된 대륙붕 퇴적체의 퇴적환경 변화를 연구하기위해 동중국해 북부(북동중국해) 대륙붕에서 채취된 코아 퇴적물에 대한 탄소동위원소(AMS $^{14}C$) 연대측정과 함께 저서유공충 군집 변화를 분석하였다. 코아

*Corresponding author: oceanlim@kordi.re.kr
Tel: 82-55-639-8580
Fax: 82-55-639-8589

퇴적물은 최하부에서 약 16,000 yr B.P.이며, 최상부 30 cm에서는 약 3,000 yr B.P.로 지난 최대빙하기에서 최근까지 순차적으로 발달한 퇴적층으로 구성된다. 코아 퇴적물에서 산출되는 저서유공충 분석 결과, 군집조성, 종수(S) 그리고 종다양도(H(S)) 등이 약 240 cm를 기준으로 상부와 하부에서 뚜렷하게 구분된다. 퇴적물 깊이 240 cm 이하의 하부 퇴적층(Zone I)에서는 *Ammonia beccarii*와 *Elphidium clavatum* (*s.l.*)이 우세하게 출현하며, 부유성 유공충 산출율(P/T ratio, 평균 22%)과 종수(평균 44), 다양도(평균 2.9) 등이 상대적으로 낮다. 이러한 저서유공충 군집 특성과 연대측정에 근거할 때 Zone I은 최대빙하기 이후 초기 해수면 상승 동안(16~10 ka) 수심 약 20~30 m 내외의 염하구 환경에서 퇴적된 것으로 해석된다. 한편 상부의 Zone II 퇴적층은 *Eilohedra nipponica*와 *Bolivina robusta*가 우점하며, 부유성 유공충 산출율(>40%)과 종수(>60) 등이 크게 증가하는 경향을 보인다. Zone II는 유공충 군집 구성 특성에 따라 두 개의 구간(Zone IIa와 IIb)으로 세분되며, Zone IIa는 약 9,000 yr B.P. 이후 해수면이 빠르게 상승하는 현세 해침 동안 연구해역에 형성된 내-중대륙붕 환경에서, 그리고 Zone IIb는 약 6,000 yr B.P. 이후 해수면이 현재와 같은 수심 80 m 내외의 외대륙붕 환경에서 퇴적된 것으로 해석된다. 결론적으로 코아 퇴적물의 저서유공충 군집 변화 특성은 최대빙하기 이후 해수면 상승과 함께 형성된 대륙붕 퇴적체의 퇴적환경 변화를 잘 반영한다.

주요어: 저서성 유공충, 고환경변화, 코아(주상) 퇴적물, 북동중국해

## 서 론

전 지구적 해수면 변화는 연안역이나 대륙붕과 같이 비교적 수심이 낮은 대륙 주변부의 해저지형과 퇴적체의 퇴적-층서학적 역사를 조절하는 가장 중요한 요소이다. 빙하기 동안 대기 중에 노출되어 있던 넓고 평탄한 대륙붕 해역은 해수면이 상승함에 따라 침수되고, 특히 상승의 초기에는 주변의 큰 강과 연계되어 발달하는 연안환경(coastal environment)의 두꺼운 퇴적층이 대륙붕에 형성되기 시작하면서 점이적으로 육지 쪽으로 이동한다(Demarest and Kraft, 1987). 일반적으로 이러한 연안 퇴적층들은 대륙붕 퇴적체의 최하부에 잘 기록·보존되어 나타나며, 퇴적과 침식과정 사이에 복잡한 상호관계를 잘 보여준다. 한반도 주변 황해와 동중국해 대륙붕 또한 수심이 전반적으로 150~200 m 미만으로 낮아, 빙하기 동안 대기중에 노출되었으며, 지난 현세(Holocene) 동안 해수면 상승에 의하여 침수된 지역으로 주로 해침 모래와 대륙붕 니질 퇴적층으로 덮여있다. 모래 퇴적층은 대부분 중간 및 외대륙붕에 발달하는 반면, 강하구 주변과 연안역을 포함하는 내대륙붕은 주로 니질 퇴적물로 덮여있다(Lim et al., 2007). 따라서 넓은 대륙붕이 발달한 북동중국해 퇴적체에는 최대빙하기(LGM)이후 현재까지의 해수면 변화에 따른 일련의 순차적 퇴적층과 고해양환경의 변화를 지시하는 여러 지질-층서학적 기록이 보존되어 있을 것으로 예상된다.

연구해역인 제주도 남쪽의 북동중국해(동중국해의 북부 해역)는 양쯔 강 연안 해역과 오끼나와 해곡(Okinawa trough)을 포함하며, 해안에서 대륙붕단까지 동-서 방향으로 약 500~600 km의 광활한 대륙붕이 발달해 있다. 전반적으로 내대륙붕 지역은 중국의 큰 강들로부터 유입되는 많은 양의 세립 퇴적물이 집적되는 주요 퇴적분지로 넓고 평탄한 해저지형이 발달하고 있는 반면, 대륙붕단으로 갈수록 기복이 심한 해저지형으로 변화한다. Lim et al.(2007)에 의하면 중국의 양쯔 강으로부터 많은 양의 부유 퇴적물을 포함하는 담수가 북동중국해로 공급되고 있으며, 대륙붕의 표층 퇴적물은 주로 니질, 니질 모래, 모래질 니 그리고 모래 등으로 구성된다. 세립한 니질 퇴적물은 주로 양쯔 강의 남쪽 연안에 분포하여 삼각주(subaqueous delta)를 형성하며, 현세 해침동안 발달한 잔류 모래 퇴적물(relict sand sediment)은 지역적으로 좁은 해역에 분포한다.

최근까지 북동중국해를 비롯한 주변 대륙붕에서 제4기 퇴적층에 대한 여러 퇴적학, 지구물리학 및 층서학적 연구들이 수행되어 왔으며, 이러한 연구의 결과들은 이 해역에 최대빙하기 이후 전 지구적 해수면 상승과 관련하여 형성된 두꺼운 퇴적체들이 발달하고 있음을 잘 보여준다(Saito et al., 1998; Berné et al., 2002; Liu et al., 2000; Yoo et al., 2002). 특히 탄성파 연구에 의하면, 연구해역이 후기 플라이스토세 이후 해수면 상승과 함께 침수되면서 형성된 여러 퇴적 경계면(seismic boundary)과 함께 전형적인 순차층서를 가지는 퇴적층이 발달하고 있는 것으로 보고되고 있다(Yoo et al., 2002). 그러나 지금까지 연구해역에 대한 퇴적층서와 고환경 해석이 대부분 간접적인 탄성파 자료에 의존하여 왔으며, 직접적으로 고해양환경과 퇴적환경을 이해할 수 있는 코아 퇴적물의 퇴적학 및 미고생물학적 연구는 미흡하다. 더욱이

북동중국해에서 미고생물학적 연구는 주로 중국 연안 해역이나 오끼나와 해곡 주변의 심해 해역에 집중되어 있으며(Wang et al., 1985a; Ujiié et al., 1991; Li et al., 1997; Xu and Oda, 1999; Li et al., 1999; Jian et al., 2000), 시간적으로도 최대 빙하기 이후 현세 초기까지의 퇴적환경 변화에 대한 이해는 더욱 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 동중국해의 북부 대륙붕(수심 약 110 m) 해역에서 채취된 코아 퇴적물에 대한 저서성 유공충 군집 특성과 수직적 변화를 토대로 최대빙하기 이후 해수면 변화에 따른 동중국해 대륙붕 퇴적체의 형성과정을 밝히는데 있다.

## 연구 방법

본 연구를 위해 북동중국해의 수심 약 110 m 해역(위도 31°55' 경도 126°42')에서 길이 560 cm의 피스톤 코아 퇴적물이 채취되었으며(Fig. 1), 절개 후 일차적으로 퇴적물 색상, 퇴적구조, 퇴적상 등의 특징들을 기술하고 X-선 사진 등 다양한 분석을 위한 부시료들을 채취하였다. 퇴적물의 입도 분석은 Ingram (1971)의 방법에 따랐으며, 유기물과 탄산염을 제거한 후 4Φ(63 μm)체를 사용하여 조립질과 세립질로 분리한 후, 조립질 퇴적물은 건식 체질 방법으로, 그리고 세립질 퇴적물은 피펫방법으로 분석하였다. 탄소동위원소(AMS $^{14}$C)를 이용한 퇴적층의 연대를 측정하기위해 코아 깊이별로 5개 지점에서 저서성 유공충 또는 탄화된 식물파편이 채취되었으며, 연대측정은 미국의 Beta Analytic Inc. 사의 가속질량분석기를 이용하여 수행되었다.

유공충 군집분석을 위해 10~20 cm 간격으로 총 33개의 시료를 채취하였으며, 각 시료는 건조중량 50 g씩 63 μm의 체를 이용하여 수선한 다음 24시간 이상 건조시킨 후 분리기(microsplitter)를 이용하여 적당한 양으로 분리하였다. 각 시료별로 저서성 유공충을 약 200개체 이상 추출하였으며, 동시에 부유성 유공충의 산출 개체수를 측정하였다. 유공충의 종조성 및 군집특성을 조사하기 위해 각 시료별로 산출된 전체 개체수에 대한 각 종의 산출비율을 계산하였으며, 부유성 유공충의 산출비율(P/T ratio; number of planktonic individuals/number of total population, %)과 각 시료별로 산출된 유공충 빈도 분포를 근거

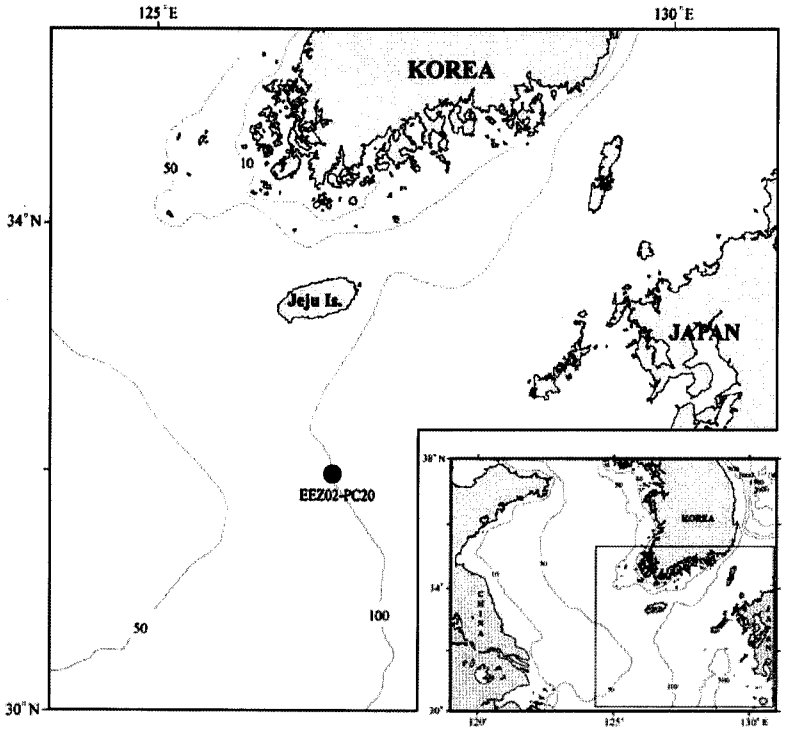


**Fig. 1.** Map showing the study area with bathymetry (m) and the location of piston core sample (EEZ02-PC20) in northern shelf of East China Sea.

로 종다양도(species diversity)를 측정하였다. 본 연구에서 종다양도 측정은 "Shannon-Wiener Information Function, H(S)"를 이용하였으며, 이 방법은 개체수가 적은 종에 의해 영향을 비교적 덜 받으므로 우연히 존재하게 된 소량의 종에 의해서 지수가 크게 바뀌지 않는다는 장점이 있다(Gibson and Buzas, 1973; Hazel, 1975; Sen Gupta and Kilbourne, 1974; Murray, 1976; Hasegawa, 1979; Akimoto, 1990). 그러나 작은 수의 종이 거의 균등하게 배분되는 집단과 많은 종이 불균등하게 배분되는 집단이 거의 비슷한 H(S) 값을 가지게 된다. 따라서 종다양도와 함께 균형도(Equitability, E)가 함께 측정되었다.

## 연구 결과

### 코아 퇴적물의 퇴적학적 특성과 AMS $^{14}C$ 연령

코아 퇴적물은 전반적으로 녹회색(5GY 2/1)의 니질(mud)과 니질 모래(muddy sand) 퇴적물로 구성된다(Fig. 2). 코아의 표층부터 220 cm까지의 구간에서는 패각 편들이 산재하며, 물리적 퇴적구조는 생물교란 작용에 의해 파괴되어 잘 보존되어 있지 않으나, 부분적으로 잔류 엽층리들이 관찰된다. 깊이 220 cm 이하의 하부 구간에서는 특징적으로 뚜렷한 물리적 퇴적구조가 잘 발달하고 있다(Fig. 2). 부분적으로 생물교란작용에 의해 변형되었지만 니질과 모래의 교호층리가 풍부하게 발달하며, 이들의 두께 변화가 조수리듬(tidal rhythmite) 구조와 유사한 주기적 특성을 보인다.

퇴적물의 평균입도는 2~8 phi 범위이나, 코아의 깊이에 따라 큰 변화폭을 보인다. 코아의 60 cm 상부 구간은 평균 입도 7~8 phi 내외의 세립한 니질 퇴적물로 구성된 반면, 60~240 cm 구간은 평균입도 2~5 phi의 사질 퇴적물로 구성된다. 그리고 코아 깊이 240 cm 이하의 하부 구간은 사질과 니질의 교호층리 퇴적구조로 인하여 입도의 변화가 매우 심하며, 전체적으로 3~8 phi 범위의 평균입도를 가지는 사질니

**Fig. 2.** Photographs of core sediment (02-20). Note the lower part of the core characterized by well-developed sand/mud laminae that can be easily found in the modern tidal flat deposits.

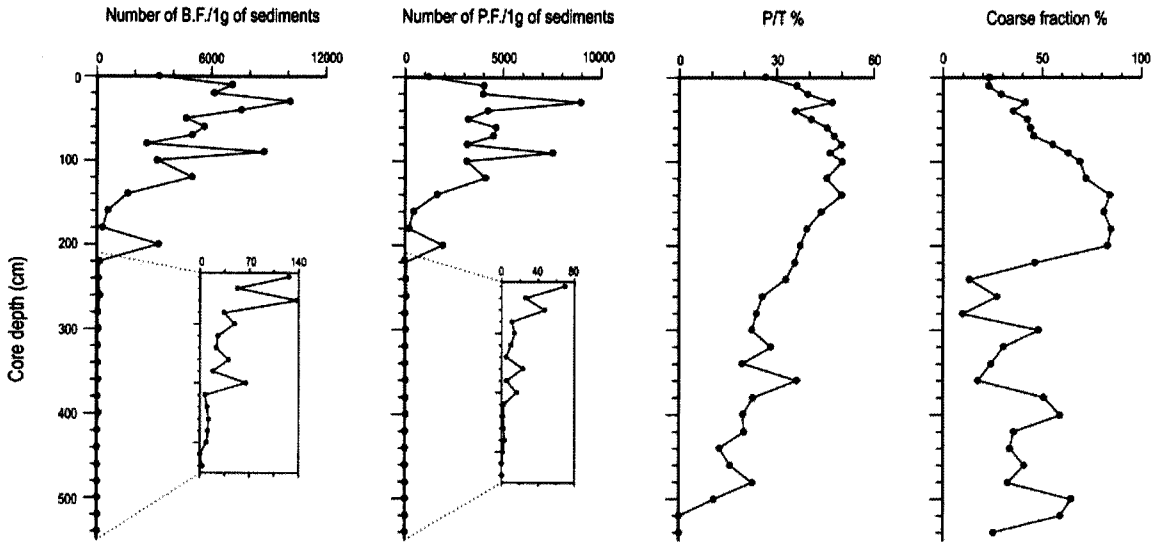


**Fig. 3.** Down-core variations of foraminiferal abundances, P/T ratio and coarse sandy fraction (>63 μm) in core sediment. B.F.: benthic foramifer, P.F.: planktonic foramifer.

(sandy mud, sM)와 니질사(muddy sand, mS) 퇴적층으로 구성된다.

저서성 유공충과 퇴적물 내 유기물질의 탄소동위원소를 이용한 퇴적물 연대 측정결과, 하부 450 cm 깊이에서 측정된 연대는 16,080±140 yr B.P.이며, 350, 100, 50, 30 cm 깊이에서 측정된 연대는 각각 12,650 ±40, 7,090±40, 4,880±40 그리고 2,860±40 yr B.P. 이다. 따라서 연구해역 코아 퇴적물에는 최대빙하기 이후부터 연속적으로 형성된 퇴적층서와 해양환경변화가 기록되어 있을 것으로 예상된다. 연대측정에 근거한 최대빙하기 이후 현재까지 연구 해역의 퇴적율은 0.10~0.45 mm/yr 범위이다.

### 코아 퇴적물의 유공충 산출 양상과 수직적 변화

퇴적물의 깊이에 따라 채취된 총 33개의 시료에서 231종의 저서성 유공충이 산출되었으며, 저서 및 부유성 유공충 모두 코아의 하부에서 상부로 갈수록 산출량이 크게 증가한다(Fig. 3). 부유성 유공충의 산출율(P/T ratio, %) 또한 코아 최하부에서 약 10% 미만이나 상부로 갈수록 점이적으로 매우 뚜렷이 증가하여 상부에서는 최대 약 60%에 달한다(Fig. 3). 유공충 각의 산출상태의 경우 전반적으로 하부 퇴적층에서는 각의 표면이 산화되어 붉게 나타나거나 부식(dissolution)된 흔적을 보이는 반면, 상부 퇴적층에서는 보존상태가 매우 양호하다. 단순 다양도(simple diversity)인 종의 수(S)는 240 cm에서 최하부 구간에서는 60 미만, 220~60cm 구간에서는 60 이상으로 증가하나, 60 cm의 상부 구간에서는 다시 60 미만으로 감소한다(Fig. 4). 종다양도 H(S)와 균형도 또한 240 cm의 하부 퇴적층에서는 각각 3.0과 0.4 이하로 낮으나, 220~80 cm 구간에서는 각각 3.5와 0.45 이상으로 높은 종다양도와 균등도 지수를 보이며, 80 cm의 최상부 구간에서는 각각 3.5와 0.4 이하로 다시 낮아진다(Fig. 4).

저서성 유공충의 종조성 또한 코아의 상부와 하부에서 큰 변화를 보이며(Fig. 5), 전반적으로 240 cm의 하부 퇴적층에서는 *Ammonia beccarii*와 *Elphidium clavatum*+*E.* cf. *clavatum*(이하 *E. clavatum s.l.*)이 30%이상 풍부하게 산출되며, *E. incertum*, *Buccella frigida*, *Haynesina* sp., *Haplophragmoides* sp. 등이 소량씩 산출된다. 특히, 코아 깊이 500~380 cm 구간에서는 특징적으로 *A. ketienziensis angulata*, *P. gaimardii*, *Hanzawaia nipponica*, *Uvigerina probocidea* 등이 산출된다. 한편, 240 cm의 상부 퇴적층에서는 위의 종들은 거의 산출되지 않으며, *Eilohedra nipponica*와 *Bolivina robusta*가 우점종으로 산출되며, *Ammonia ketienziensis angulata*와 *Bulimina marginata*와 함께 *Hanzawaia nipponica*, *Uvigerina probocidea* 등이 소량으로 산출된다(Fig. 5). 코아에서 관찰되는 유공충은 90% 이상이 석회질 유리상(calcareous-

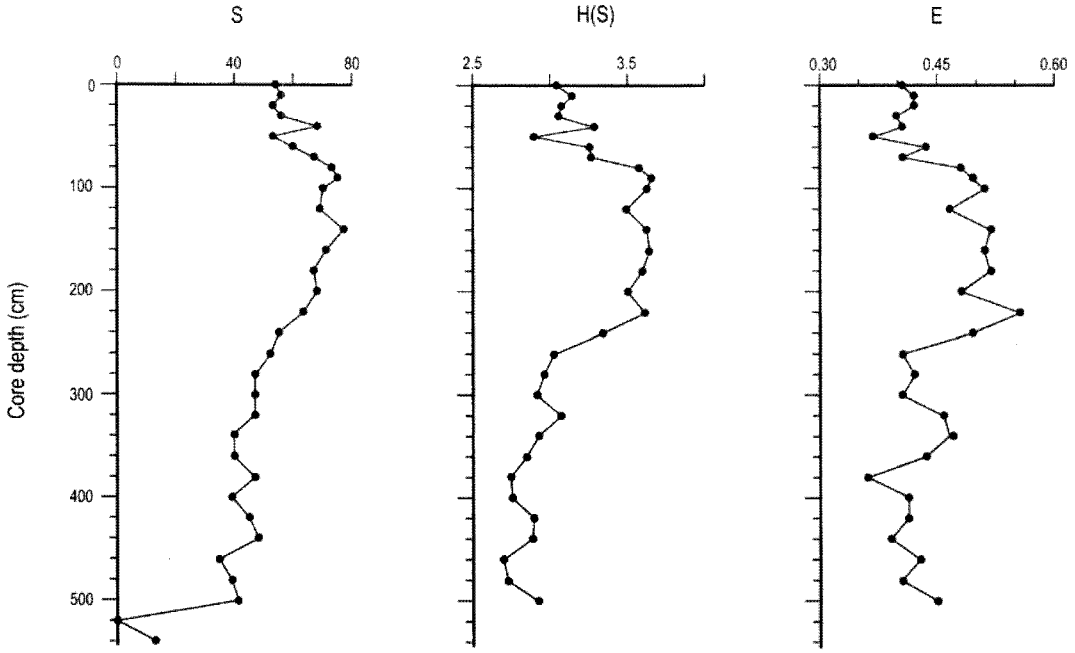


**Fig. 4.** Down-core variations of S, H(S) and E of benthic foraminifers from the core sediments. S: number of species, H(S): species diversity, E: equitability.

hyaline)각으로 구성되며, 사질(agglutinated)각은 6%를 넘지 않는다. 한편 석회질 자기상(calcareous-porcelaneous)각은 180~60 cm 구간에서 5% 이상이며, 나머지 구간에서는 5% 미만으로 산출된다. Wang et al.(1985b)은 동중국해 표층 퇴적물에서 산출되는 석회질 유리상 유공충을 각의 형태에 따라 네 개의 그룹으로 구분하였으며, 각 그룹의 분포가 수심과 관계가 있음을 보고하였다. Lagenids(suborder Lagenina)와 Serial(Buliminaceae와 Cassidulinaceae) 각은 연안에서 심해로 갈수록 산출 비율이 증가하며, 반대로 Planispiral(Elphidiidae, Nonionidae 등)와 Trochospiral (Discorbaceae, Rotalidae 등) 각은 수심이 깊어질수록 산출율이 감소한다. 본 연구의 결과를 위와 같이 네 개의 그룹으로 나누어 산출량의 변화를 살펴보면, Lagenids+Serial 각의 산출량은 코아의 하부에서 낮고 상부로 갈수록 증가하는 반면, Planispiral+Trochospiral의 산출량은 반대의 경향을 보인다(Fig. 6). 이는 코아의 상부에서 하부로 갈수록 퇴적환경의 수심이 감소했음을 의미한다.

### 저서성 유공충 군집대(Benthic Foraminiferal Assemblage Zone)

연구해역의 코아 퇴적물은 유공충 산출 특성에 따라 약 220~240 cm의 코아 깊이를 기준으로 상부와 하부의 두 군집대(Zone I과 II)로 뚜렷이 구분된다 (Table 1). Zone I은 코아의 하부 구간인 240~540 cm 퇴적층에 해당하며, *A. beccarii*와 *E. clavatum s.l.*이 우점하며, *E. incertum*, *B. frigida*, *Haynesina* sp., *P. naraensis*, *G. subglobosa*, *Haplophragmoides* sp. C 등이 수반된다. 유공충 산출량, 부유성 유공충 산출율, 종다양도 등이 매우 낮은 반면, Planispiral+Trochospiral 각의 비율은 매우 높다. Zone I는 이러한 저서 유공충의 여러 요소들의 상대적 차이에 따라 다시 두 개의 군집대(Zone Ia와 Ib)로 세분된다 (Table 1). Zone Ia는 코아의 최하부 380~540 cm 퇴적층으로 저서 및 부유성 유공충 모두 평균 17개체/g 이하로 매우 낮은 산출량을 보이며, 부유성 유공충의 산출율(평균 15.3%), 산출된 종의 수(평균 42종) 그리고 종다양도(평균 2.8) 또한 매우 낮다. 특징적으로 *A. ketienziensis angulata*, *H. nipponica*, *U. probocidea*가 산출되고 특히, *P. gaimardii*가 비교적 높은 비율로 산출된다. 이 종들은 각의 보존상태가 매우 불량하여 각의 파손정도가 심하고 파손된 모서리가 마모되거나 갈색으로 변해있다. 한편 Planispiral과 Trochospiral 유공충 각의 비율은 평균 80.8%로 매우 높으며, Lagenids와 Serial 각의 비율은 평균

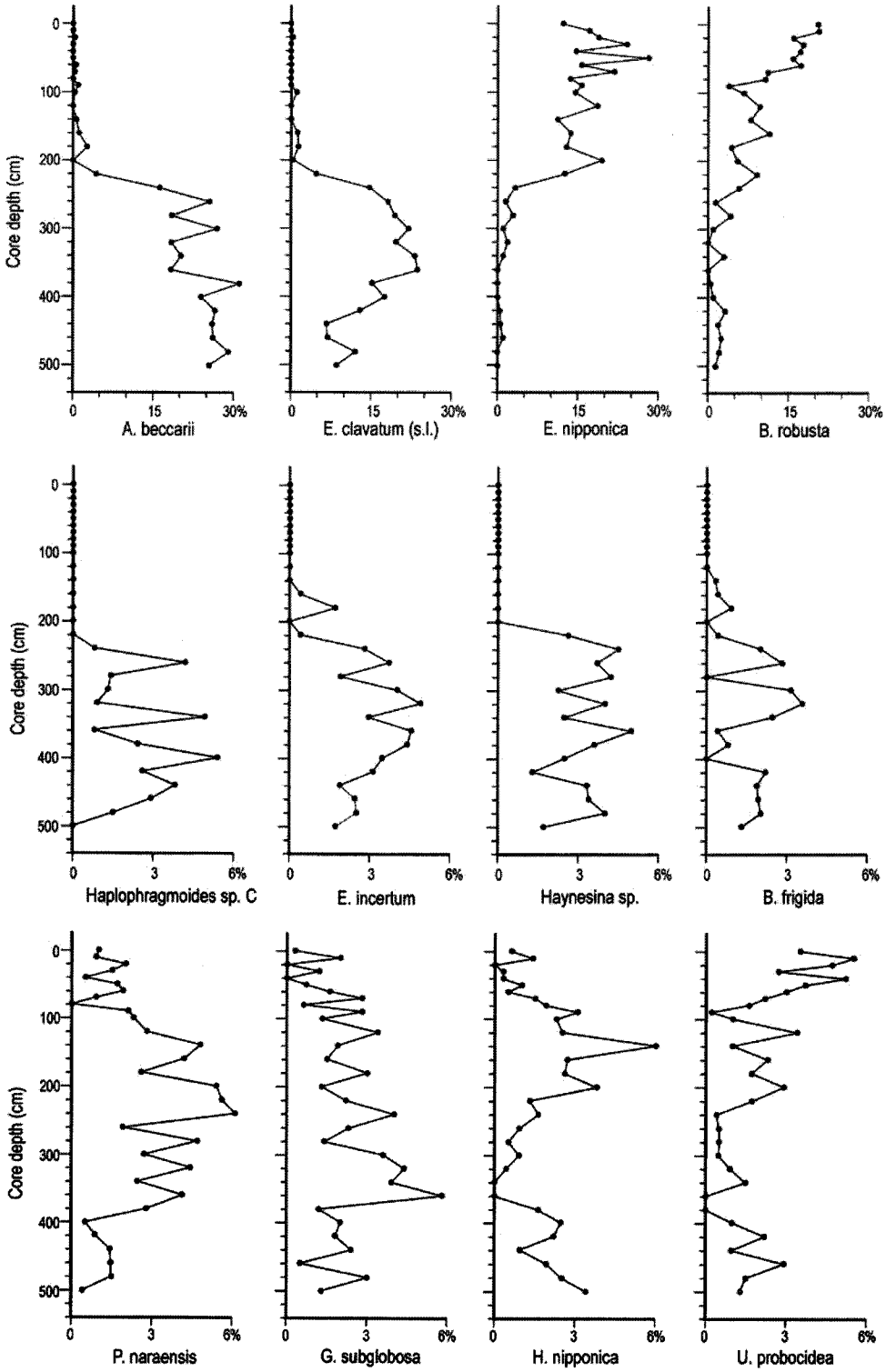


**Fig. 5.** Down-core variations of in relative abundances of some major benthic foraminifer species. Note that the remarkable change in abundance at 220-240 cm core depth.

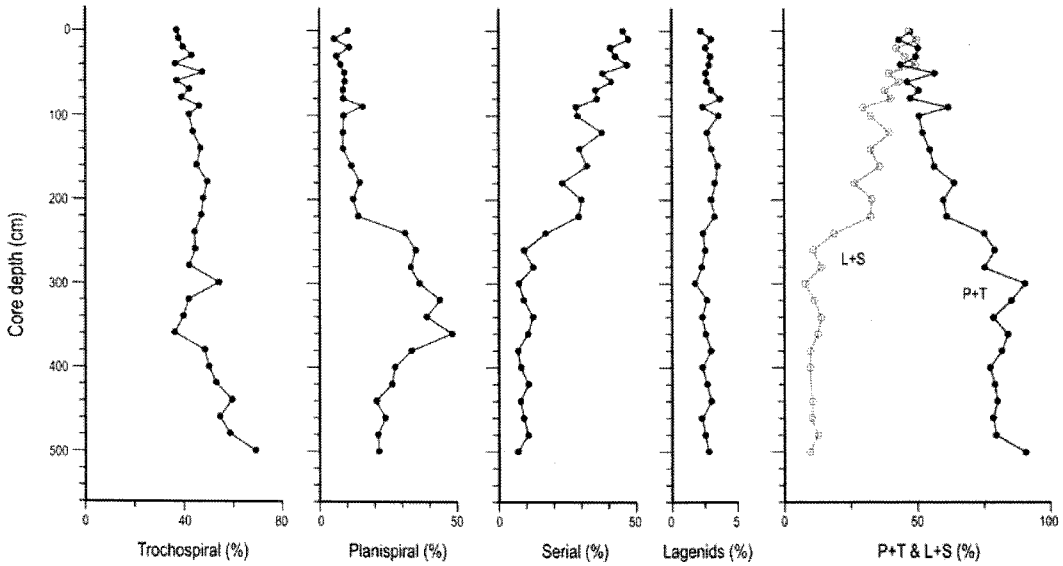


**Fig. 6.** Down-core variations of four morphological groups of the calcareous-hyaline benthic foraminifers occurred in the core sediments. P: planispiral, T: trochospiral, S: serial, L: lagenids.

10.6%로 매우 낮다. Zone Ib는 코아 240~360 cm 구간의 퇴적층으로 Zone Ia와 비교했을 때 저서성과 부유성 유공충의 평균 산출량(각각 평균 52개체와 19개체/g), 부유성 유공충 산출율(평균 26.9%), 종다양도(평균 3.0) 등이 상대적으로 높다. 특징적으로 *Haplophragmoides* sp. C, *E. incertum*, *Haynesina* sp., *B. frigida* 등이 소량으로 산출된다. 이들 퇴적물에서는 특징적으로 탄화된 식물파편 등이 매우 풍부하게 관찰되며, 유공충 각 또한 표면이 산화되어 붉은 색을 띄거나 일부 부식(용해)된 각들도 관찰된다. 석회질 유리상 유공충 중 Planispiral과 Trochospiral 각의 비율은 평균 81.0% 이상인 반면, Lagenids와 Serial 각의 비율은 20%(평균 12.5%) 이하이다.

코아의 상부 0~240 cm 구간에 해당되는 Zone II는

**Table 1.** Average values of abundance, P/T ratio and species diversity in four benthic foraminiferal assemblage zones with faunal characteristics and their paleoenvironmental implications (B.F.: benthic foram., P.F.: planktonic foram., P: Planispiral, T: Trochospiral, L: Lagenids, S: Serial)

| Benthic foraminiferal assemblage zone | | Core depth (cm) | Average abundance (no. of individual/1g) | Average P/T ratio (%) | Average species diversity | Main species | Minor species | Average ratio of morphological group (%) | Paleo-environments |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *E. nipponica*-B. robusta | Zone IIb | 0~80 | B.F.: 5.815<br>P.F.: 4,185 | 40.9 | S: 60<br>H(S): 3.17<br>E: 0.40 | *E. nipponica*<br>*B. robusta*<br>*A. ketienziensis angulata*<br>B. marginata | *U. probocidea*<br>*P. naraensis*<br>G. subglobosa | P+T: 48.3<br>L+S: 43.7 | outer shelf |
| | Zone IIa | 90~220 | B.F.: 2,819<br>P.F.: 2,358 | 43.3 | S: 70<br>H(S): 3.60<br>E: 0.53 | | *P. naraensis*<br>*H. nipponica,*<br>*G. subglobosa*<br>U. probocidea | P+T: 57.4<br>L+S: 32.6 | inner-to-middle shelf |
| *A. beccarii*-*E. clavatum* (*s.l.*) | Zone Ib | 240~360 | B.F.: 52<br>P.F.: 19 | 26.9 | S: 47<br>H(S): 3.01<br>E: 0.44 | *A. beccarii*<br>*E. clavatum*<br>*E.* cf. *clavatum* | *Haplophragmoides* sp.<br>*E. incertum*<br>*Haynesina* sp.<br>B. frigida | P+T: 81.0<br>L+S: 12.5 | coastal zone (eatuarine/deltaic environmen |
| | Zone Ia | 380~540 | B.F.: 17<br>P.F.: 4 | 15.3 | S: 42<br>H(S): 2.80<br>E: 0.40 | | *P. gaimardii*<br>*H. nipponica*<br>*E. incertum*<br>*Haynesina* sp.<br>B. frigida | P+T: 80.8<br>L+S: 10.6 | |

*E. nipponica*와 *B. robusta*가 우점하며, *A. ketienziensis angulata*, *B. marginata*은 다소 풍부하게, *U. probocidea*, *P. naraensis*, *G. subglobosa*, *H. nipponica* 등은 소량 산출된다. 이들 종의 산출양상은 이 군집대 내에서 80~90 cm를 경계로 수직적인 함량 변화를 보인다(Fig. 5). 즉, *E. nipponica*, *B. robusta*, *A. ketienziensis*, *B. marginata*, *U. probocidea* 등은 80 cm를 기준으로 상부로 갈수록 증가하는 경향을 보이나, *P. naraensis*, *G. subglobosa*, *H. nipponica* 등은 상부로 갈수록 감소한다. 한편, Zone I와 비교하여 상대적으로 유공충 산출량, 부유성 유공충 산출율, 종다양도 등은 매우 높은 반면, Planispiral+Trochospiral 각의 비율은 낮고, Lagenids+Serial 각의 비율은 크게 높다(Table 1). Zone II 또한 이러한 여러 유공충 산출 특성에 따라 Zone IIa와 IIb로 세분된다(Table 1). Zone IIa는 코아 깊이 90~220 cm 구간으로 저서성 및 부유성 유공충의 산출량은 각각 평균 2,819개체/g와 2,358개체/g이다. 퇴적물 내에 식물파편 등이 거의 관찰되지 않으며, 유공충 각의 보존상태도 매우 양호하다. 부유성 유공충의 산출율은 평균 43.3%, 각 시료 당 산출된 종의 수는 평균 70개, 종다양도와 균형도는 각각 평균 3.60과 0.53으로 코아 내에서 가장 높다. Planispiral과 Trochospiral 각의 비율이 평균 57.4%이며, Lagenids와 Serial 각의 비율은 32.6%이다. 한편, Zone IIb는 코아의 최상부 구간(0~90 cm 구간)으로 유공충의 개체수가 가장 많아, 저서성의 경우 평균 5,815개체/g 이상, 부유성의 경우 평균 4,185개체/g가 산출된다. 각의 보존상태는 매우 좋으며, 다만 일부 크기가 큰 부유성 유공충의 각이 부분적으로 파손되어 산출된다. 부유성 유공충의 산출율은 평균 40.9%, 산출된 종의 수(S)는 평균 60이며, 종다양도는 H(S)는 평균 3.17, 균형도는 평균 0.40이다. 석회질 유리상 유공충 중 Planispiral과 Trochospiral 각의 산출 비율이 평균 48.3%, Lagenids와 Serial 각의 비율은 평균 43.7%로 서로 유사한 값을 보인다.

## 토 의

북동중국해 코아 퇴적물에서 산출되는 저서 유공충의 종조성, 다양도 등을 분석한 결과, 각 퇴적층에 대한 퇴적환경은 다음과 같이 해석된다. 코아 하부에 해당하는 Zone I(220~560 cm 구간)에서는 우점종인 *A. beccarii*, *E. clavatum* (*s.l.*)와 함께 *E. incertum*, *B. frigida*, *Haynesina* sp., *P. naraensis*, *G. subglobosa*, *Haplophragmoides* sp. C 등이 특징적으로 산출된다. *A. beccarii*는 해성 석호, 조간대, 하구와 만 등의 담수의 영향을 받는 15~20‰의 기수성(brackish) 연안 환경에서 풍부하게 산출되는 광염성(euryhaline) 종으로 것으로 알려져 있다(Nomura and Koji, 1992; Wang, 1992; Cann et al., 1993; Alve and Murray, 1994; Cearreta and Murray, 1996). 또한 이 종은 우리나라 서남해의 현세 조간대 퇴적층 그리고 황해 및 동중국해의 수심 40~50 m 미만의 연안 환경에서도 풍부하게 발견된다(장순근과 이경신, 1983, 1984; 우한준 외, 2000; Wang et al., 1985b, 1985c, 1985d; Shin et al., 1998; Cheong, 1989; Lee et al., 2000). 특히 냉수종(cold-water species)인 *B. frigida*는 저온, 저염의 연안수의 영향을 받는 황해 북부해역에서 풍부하게 산출된다(Wang et al., 1985c, d). 이러한 연안성 종들과 함께 *P. naraensis*, *G. subglobosa*와 같은 각의 크기가 작은 부유성 유공충이 다량 산출되는데, 이러한 양상은 강의 하구나 내만 등의 퇴적물에서 많이 보고되어 있다(Matoba, 1970; Wang et al., 1985b). 그러나 코아의 최하부(Zone Ib) 퇴적물에서는 *A. ketienziensis angulata*, *H. nipponica*, *U. probocidea*, *P. gaimardii* 등이 비교적 각의 크기가 크고 보존상태가 나쁜 상태로 산출되며, 이 종들은 내만이나 기수역 보다는 수심 30~50 m 이상의 내-외 천해대에서 주로 서식하는 것으로 알려져 있다(Uchio, 1962; Wang et al., 1985b; Kaiho and Hasegawa, 1986; Matoba and Fukasawa, 1992). 따라서 이 퇴적층의 깊이와 퇴적물 연대를 고려한 층서적 관계를 고려할 때 이 종들은 퇴적작용 동안 다른 곳으로부터 재이동되어 운반(transported)된 이지성(allochtonous)인 것으로 해석된다. 결론적으로 낮은 부유성 유공충 산출과, Planispiral+Trochospiral 각의 높은 비율 그리고 종의 군집 특성을 고려할 때, 코아의 하부 퇴적층(Zone I)은 수심 20~30 m 내외의 연안역 또는 염하구 환경에서 퇴적된 것으로 해석되며, 퇴적 초기에 해수면 상승과 함께 외해로부터 조립질의 유공충각을 포함하는 퇴적물의 유입이 있었던 것으로 추정된다.

코아의 상부 퇴적층인 Zone II(220~0 cm 구간)에서 풍부하게 산출되는 *E. nipponica*과 *B. robusta* 등은 대륙붕 환경을 지시하는 종으로, *E. nipponica*는 일본 근해의 외대륙붕에서 대륙사면 상부에 걸쳐 넓

게 서식하며(Matoba and Honma, 1986), *B. robusta*는 주로 한국과 일본 주변해역의 중-외대륙붕 그리고 동해의 대마난류 중층수에서 특징적으로 산출되는 종이다(Ishiwada, 1964; Matoba and Honma, 1986; Kaiho and Hasegawa, 1986; Matoba, 1976). 따라서 Zone II의 퇴적층은 대륙붕 환경아래에서 퇴적된 퇴적물로 해석되며, Zone II 구간 내에서도 수심의 변화를 지시하는 유공충 군집 양상이 퇴적물 깊이에 따라 차이를 보인다. 퇴적층 Zone II의 하부 구간(Zone IIa: 80~220 cm 구간)에서는 연안에서 산출되는 *A. beccarii*, *E. clavatum* (*s.l.*), *B. frigida* 등이 소량 산출되고 있어 수심이 낮은 연안에서 대륙붕 환경으로의 전이구간의 특성을 보인다. 특히, Zone IIa의 퇴적층에서는 종다양도가 가장 높게 나타나는데, 이는 외대륙붕에 인접한 내-중대륙붕으로서 두개의 환경이 중첩되는 퇴적환경 때문인 것으로 해석된다. 일반적으로 두 개의 환경이 중첩되는 환경에서 종다양도가 높은 것으로 알려져 있다(Kaiho and Hasegawa, 1986). 따라서 Zone IIa의 퇴적환경은 연안 환경에서 대륙붕 퇴적환경으로 변화하는 전이구간인 내-중대륙붕의 환경으로 해석되며, 특별히 이 구간 내에서 해수면 상승에 따른 수심의 변화를 지시하는 저서 유공충의 군집변화가 나타나지 않은 것은 이 시기에 수심변화가 급격했기 때문일 것으로 추정된다. 한편, 코아의 최상부를 구성하는 Zone IIb(80~0 cm 구간)는 가장 세립한 퇴적물로 구성되어 있고 *E. nipponica*, *B. robusta*, *A. ketienziensis angulata*가 코아 내에서 가장 높은 비율로 산출되며, Planispiral+Trochospiral 각과 Lagenids+Serial 각의 비율이 거의 같아져 코아 내에서 수심이 가장 깊은 구간임을 알 수 있다(Table 1). 유공충 군집의 특성으로 볼 때, 해수면이 거의 현재와 같은 80~100 m의 수심에서 형성된 것으로 해석된다.

결론적으로 본 연구의 코아 퇴적물은 동중국해 대륙붕에서 후기 플라이스토세의 해수면 변동과 관련한 일련의 순차적 퇴적시스템의 변화를 잘 보여 준다. 퇴적물의 탄소동위원소연대와 저서유공충 군집특성 분석 결과에 근거할 때, 북동중국해에서 최대빙하기 이후 해침은 약 16,000~17,000 yr B.P. 전후로 시작된 것으로 추정되며, 이러한 결과는 기존의 몇몇 연구결과(Saito et al., 1998)와 잘 일치한다. 이러한 초기 해침이후 약 10 ka까지 동중국해 대륙붕은 중국의 양쯔 강과 황하의 영향이 우세한 수심 약 20~30 m 미만의 연안역(또는 하구) 환경이었을 것으로 해석된다. Zone I의 퇴적층으로 대표되는 이 시기의 퇴적물들은 과거의 강(paleo-river)과 연관되어 형성된 염하구-삼각주 복합체(estuarine and deltaic complex)퇴적체로서 탄성파 단면에서도 염하구, 수로 및 조간대 환경의 특징들이 잘 나타난다(최동림 외, 2005; Berné et al., 2002; Yoo et al., 2002). Zone I의 퇴적층이 형성된 이후 빠른 해수면 상승과 함께 해침 단계와 고해수면 단계를 거치면서 동중국해 대륙붕의 현세 퇴적층이 형성된 것으로 보인다. 연대측정자료를 이용한 퇴적율을 고려할 때 Zone I와 II의 경계인 코아의 220 ~240 cm의 퇴적시기는 약 9 ka로 평가된다. 따라서 Zone IIa의 퇴적층은 홀로세 초기에 해수면이 빠르게 상승하면서 내-중대륙붕에 형성된 해침 사질 퇴적물(transgressive sandy sediment)과 대비되며, 조류와 해류에 의해 재이동된 해안(shoreface) 퇴적물들로 구성된다. 이들 모래질의 퇴적상은 현재의 동중국해 중-외대륙붕이 널리 분포하고 있는 잔류퇴적물(relict sediment)에 해당한다(Yoo et al., 2002; Saito et al., 1998). 또한 코아의 최상부를 구성하는 Zone IIb(0~80 cm 구간)의 퇴적층은 세립질 퇴적물이 우세한 구간으로, 퇴적율을 고려할 때 80 cm 깊이의 퇴적시기는 약 6,000 yr B.P.이다. 따라서 이 시기에 해침이 거의 끝나 현재와 같은 수심 80~100 m의 외대륙붕이 형성되었으며, 이 구간의 니질 퇴적층은 고해수준 퇴적체(highstand systems tract)로서 대부분 양쯔 강으로부터 공급된 것으로 해석된다(Yoo et al., 2002; Saito et al., 1998). 본 연구의 결과는 동중국해의 대륙붕 퇴적체의 형성 역사 밝히고, 더 나아가 기존의 탄성파자료를 토대로 해석된 최대빙하기 이후의 북동중국해의 순차적 층서를 잘 뒷받침하는 퇴적학적 자료로 제시된다.

## 결 론

본 연구에서는 동중국해의 북부 대륙붕 해역에서 채취된 코아 퇴적물에 대한 저서성 유공충 군집 특성과 이들의 수직적 변화를 토대로 최대빙하기 이후 해수면 변화에 따른 대륙붕 퇴적체의 형성과정을 연구하였다. 코아 퇴적물은 유공충 산출량, 부유성 유공충 산출율, 종다양도 그리고 군집 조성 등의 특성에 따라 크게 두개의 군집대(assemblage zone I and II)로 구분되는 바, 코아 깊이 240~540 cm의 하부 퇴

적층(Zone I)은 *E. incertum*, *B. frigida*, *Haynesina* sp., *P. gaimardii* 등으로 구성된 *Ammonia beccaii-Elphidium clavatum* (*s.l.*) 군집대로 최대빙하기 직후 해수면 상승 초기인 약 12,000 yr B.P. 이전부터 약 10,000 yr B.P.까지 수심 약 20~30 m 이내의 연안(coastal)환경에서 퇴적된 것으로 해석된다. 한편, 코아 깊이 0~240 cm의 상부 퇴적층 구간(Zone II)은 *A. ketienziensis angulata*, *B. marginata* 등으로 구성된 *Eilohedra nipponica-Bolivina robusta* 군집대로 구분되며, 부유성 유공충의 산출율, 산출된 종의 수, 종다양도, 균형도 등의 상대적 변화에 따라 Zone IIa와 IIb로 세분된다. 하부의 Zone IIa는 약 9,500 yr BP 이후 홀로세 초기 해침동안 빠른 해수면 상승 동안 형성된 내-중대륙붕 환경에서 퇴적된 것으로 해석되며, 이는 현재 동중국해의 대륙붕에 널리 분포하는 잔류퇴적물(relict sediment)에 대비된다. 코아의 최상부의 Zone IIb의 니질 퇴적층은 약 6,500 yr BP 이후의 현재와 거의 같은 수심 80~100 m의 외대륙붕 환경에서 집적된 것으로, 황화와 양자강으로부터 공급되어 형성된 고해수준 퇴적체(highstand systems tract)와 대비된다. 결론적으로 본 연구의 코아 퇴적물은 동중국해 대륙붕에서 최대빙하기 이후 전지구적 해수면 변동과 관련한 일련의 순차적 퇴적환경의 변화를 잘 보여준다.

## 감사의 글

본 연구는 "배타적경제수역해양자원조사"와 "대양이한국주변해에미치는영향연구" 사업에 의해 지원되었습니다. 시료채취와 분석을 도와주신 군산대학교 해양학과 지질해양 연구실 연구원들과 본 논문을 세심히 검토해주신 두 분의 심사위원께 감사드립니다.

## 참고문헌

우한준, 정갑식, 권수재, 추용식, 김효영, 박성민, 2000, 대산 유화학단지 주변의 저서성 유공충 분포 특성. 한국고생물학회지, 16, 99-112.

장순근, 이경신, 1983, 경기만조간대의 현생저서유공충과 그 의의. 지질학회지, 19, 169-189.

장순근, 이경신, 1984, 아산만조간대의 현생저서유공충에 대한 연구. 지질학회지, 20, 171-188.

최동림, 이태희, 유해수, 임동일, 허식, 김광희, 2005, 동중국해 북부대륙붕에 발달한 니질 퇴적체의 탄성파 연구. 자원환경지질, 38, 633-642.

Akimoto, K., 1990, Distribution of recent benthonic foraminiferal faunas in the Pacific off southwest Japan and around Hachijojima Island. The Science Reports of Tohoku University, 2nd series (Geology), 60, 139-223.

Alve, E. and Murray, J.W., 1994, Ecology and taphonomy of benthic foraminifera in a temperate mesotidal inlet. Journal of Foraminiferal Research, 24, 18-27.

Berné, S., Vagner, P., Guichard, F., Lericolais, G., Liu, Z., Trentesaux, A., Yin, P., and Yi, H.I., 2002, Pleistocene forced regressions and tidal sand ridges in the East China Sea. Marine Geology, 188, 293-315.

Cann, J.H., Belperio, A.P., Gostin, V.A., and Rice, R.L., 1993, Contemporary benthic foraminifera in Gulf St. Vincent, South Australia, and a refined Late Pleistocene sea level history. Australian Journal of Earth Science, 40, 197-211.

Cearreta, A. and Murray, J.W., 1996, Holocene paleoenvironmental and relative sea-level changes in the Santona estuary, Spain. Journal of Foraminiferal Research, 26, 289-299.

Cheong, H.-K., 1989, A study on the benthic foraminifera from the tidal flats adjacent to inchon, Korea. Journal of Paleontological Society of Korea, 5, 39-52.

Demarest II, J.M. and Kraft, J.C., 1987, Stratigraphic record of Quaternary sea-levels: Implications for more ancient strata. In Nummedal, D., Pilkey, O.H., and Howard, J.D. (eds.), Sea-level fluctuation and coastal evolution. Society for Sedimentary Geology Special Publication, 41, 223-239.

Gibson, T.G. and Buzas, M.A., 1973, Species diversity: Patterns in modern and Miocene Foraminifera of the eastern margin of north America. Geological Society of America Bulletin, 84, 217-238.

Hasegawa, S., 1979, Foraminifera of the Himi Group, Hokuriku Province, Central Japan. The Science Reports of Tohoku University, 2nd series (Geology), 49, 89-163.

Hazel, J., 1975, Patterns of marine ostracode diversity in the Cape Hatteras, North Carolina area. Journal of Paleontology, 49, 731-744.

Ishiwada, Y., 1964, Benthonic Foraminifera off the Pacific Coast of Japan referred to Biostratigraphy of the Kazusa group. Geological Survey of Japan, No. 205, 45 p.

Jian, Z., Wang, P., Saito, Y., Wang, J., Pflaumann, U., Oba, T., and Cheng, X., 2000, Holocene variability of the Kuroshio Current in the Okinawa Trough, northwestern Pacific Ocean. Earth and Planetary Science Letters, 184, 305-319.

Kaiho, K. and Hasegawa, S., 1986, Bathymetric distribution of benthic foraminifera in the bottom sediments off Onahama, Fukushima Prefecture, northeast Japan. In Matoba, Y. and Kato, M. (eds.), Studies on Cenozoic Benthic Foraminifera in Japan. Mining College, Akita University, Akita, Japan, 43-52.

Lee, Y.G., Chu, Y.S., Jung, K.K., Woo, H.J., and Lee, H.J., 2000, Depositional processes of fine-grained sediments and foraminiferal imprint of estuarine circulation by summer floods in Yoja Bay, southern coast of Korea.

Journal of the Korean Society of Oceanography, 35, 109-123.

Li, B., Jian, Z., and Wang, P., 1997, Pulleniatina obliquiloculata as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20,000 years. Marine Micropaleontology, 32, 59-69.

Li, B., Park, B-K., and Kim, D., 1999, Paleoceanographic records from the northern shelf of the East China Sea since the Last Glacial Maximum. Journal of the Korean Society of Oceanography, 34, 151-166.

Lim, D.I., Choi, J.Y., Jung, H.S., Rho, K.C., and Ahn, K.S., 2007, Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow and East China Seas. Porgress in Oceanography, 73, 145-159.

Liu, Z-X, Berne, S., Saito, Y., Lericolais, G, and Marsset, T., 2000, Quaternary seismic stratigraphy and paleoenvironments on the continental shelf of the East China Sea. Journal of Asian Earth Sciences, 18, 441-452.

Matoba, Y., 1970, Distribution of recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, northeast Japan. The Science Reports of Tohoku University, 2nd series (Geology), 42, 1-85.

Matoba, Y., 1976, Foraminifera from off Noshiro, Japan, and postmortem destruction of tests in the Japan Sea. In Takayanagi, Y. and Saito, T. (eds.), Progress on micropaleontology. American Museum of National History, NY, USA, 169-189.

Matoba, Y. and Fukasawa, K., 1992, Depth Distribution of Recent Benthic Foraminifera on the Continental Shelf and Uppermost Slope off Southern Akita Prefecture, Northeast Japan (The Eastern Japan Sea). In Ishizaki, K. and Saito, T. (eds.), Centenary of Japanese Micropaleontology. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, Japan, 207-226.

Matoba, Y. and Honma, N., 1986, Depth distribution of recent benthic foraminifera off Nishitsugaru, eastern Sea of Japan. In Matoba, Y. and Kato, M. (eds.), Studies on Cenozoic Benthic Foraminifera in Japan. Mining College, Akita University, Akita, Japan, 53-78.

Murray, J.W., 1976, Comparative studies of living and dead benthic foraminiferal distribution. In Hedley, R.H. and Adams, C.G., (eds.), Foraminifera. 2, Academic Press, London, UK, 45-110.

Nomura, R. and Koji, S., 1992, Benthic foraminifera from brackish lake Nakanoumi, San-in district, southwestern Honshu, Japan. In Ishizaki, K. and Saito, T. (eds.), Centenary of Japanese Micropaleontology. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, Japan, 227-240.

Saito, Y., Katayama, H., Ikehara, K., Kato, Y., Matsumoto, E., Oguri, K., Oda, M., and Yumoto, M., 1998, Transgressive and highstand systems tracts and post-glacial transgression, the East China Sea. Sedimentary Geology, 122, 217-232.

Sen Gupta, B.K. and Kilbourne, R.T., 1974, Diversity of benthic foraminifera on the Georgia Continental Shelf. Geological Society of America Bulletin, 85, 696-972.

Shin, I.C., Yi, H.L., Shin, D.H., and Han, S.J., 1998, Foraminifera as the Holocene sea-level and paleoenvironmental indicators along the west coast of Korea. The Korean Journal of Quaternary Research, 12, 31-44.

Uchio, T., 1962, Influence of the river Shinano on foraminifera and sediment grain size distribution. Publication of Seto Marine Biological Laboratory, C10, 363-393.

Ujiié, H., Tanaka, Y., and Ono, T., 1991, Late Quaternary paleoceanographic record from the middle Ryukyu Trench slope, northwest Pacific. Marine Micropaleontology, 18, 115-128.

Wang, P., 1992, Distribution of foraminifera in estuarine deposits: A comparison between Asia, Europe and Australia. In Ishizaki, K. and Saito, T. (eds.), Centenary of Japanese Micropaleontology. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 71-83.

Wang, P., Jijun, Z., and Jianxi, G., 1985a, A close-up view of lowered seal-level microfauna from the East China and Huanghai Sea. In Bian, Y., Cheng, X., Gao, J., Hong, X., Hua, D., Li, Q., Min, Q., Wang, P., Xia, L., Zhang, J., Zhang, Q., Zhao, Q., Zheng, F. (eds.), Marine Micropaleontology of China. China Ocean Press, Beijing, China, 256-264.

Wang, P., Jijun, Z., and Qiubao, M., 1985b, Distribution of foraminifera in surface sediments of the East China Sea. In Bian, Y., Cheng, X., Gao, J., Hong, X., Hua, D., Li, Q., Min, Q., Wang, P., Xia, L., Zhang, J., Zhang, Q., Zhao, Q., Zheng, F. (eds.), Marine Micropaleontology of China. China Ocean Press, Beijing, China, 34-69.

Wang, P., Qiubao, M., and Jianxi, G., 1985c, A preliminary study of foraminiferal and ostracod assemblages in the Huanghai Sea. In Bian, Y., Cheng, X., Gao, J., Hong, X., Hua, D., Li, Q., Min, Q., Wang, P., Xia, L., Zhang, J., Zhang, Q., Zhao, Q., Zheng, F. (eds.), Marine Micropaleontology of China. China Ocean Press, Beijing, China, 115-132.

Wang, P., Qiubao, M., and Yunhua, B., 1985d, Distribution of foraminifera and ostracoda in bottom sediments of the northwestern part of the south Huanghai (Yellow) Sea and its geological significance. In Bian, Y., Cheng, X., Gao, J., Hong, X., Hua, D., Li, Q., Min, Q., Wang, P., Xia, L., Zhang, J., Zhang, Q., Zhao, Q., Zheng, F. (eds.), Marine Micropaleontology of China. China Ocean Press, Beijing, China, 93-114.

Xu, X. and Oda, M., 1999, Surface-water evolution of the eastern East China Sea during the last 36,000 years. Marine Geology, 156, 285-304.

Yoo, D.G., Lee, C.W., Kim, S.P., Jin, J.H., Kim, J.K., and Han, H.C., 2002, Late Quaternary transgressive and highstand systems tracts in the northern East China Sea mid-shelf. Marine Geology, 187, 313-328.

2008년 7월 14일 접수
2008년 8월 8일 수정원고 접수
2008년 8월 20일 채택