

**Original Research Article** 

# 한국 남해 대륙붕 저서성 유공충 군집 분포와 종 다양성

# Species Diversity and Distribution of Benthic Foraminiferal Assemblages in South Continental Shelf, Korea

정다운<sup>1,2</sup>, 곽인실<sup>1,2</sup>, 이연규<sup>2,\*</sup> Daun Jeong<sup>1,2</sup>, Ihn Sil Kwak<sup>1,2</sup>, Yeon Gyu Lee<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 수산과학연구소, <sup>2</sup>전남대학교 해양융합과학과

<sup>1</sup>Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea <sup>2</sup>Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

\* Correspondence to Yeon Gyu Lee E-mail: lyg6342@jnu.ac.kr

Received November 27, 2023 Revised January 9, 2024 Accepted January 9, 2024

Abstract : To understand the distribution and formation mechanism of benthic foraminiferal assemblages, grain size analysis, <sup>14</sup>C radiocarbon dating, and benthic foraminifera analysis conducted on eighteen surface sediments collected from the South con- tinental shelf, respectively. Surface sediment composed of sandy mud~muddy sand facies with an average of 42.54% of sand, 18.20% of silt, and 38.20% of clay. Sandy and muddy facies are relict-palimpsest and modern sediment, respectively. Benthic foraminifera are classified into a total of 71 genera and 150 species. The species diversity of benthic foraminifera is 3.0~3.8 (average, 3.6). Dominant species (production rate 10% over) composed 5 species: Bolivina robusta, Cibicides lobatulus, Eilohedra nipponica, Pseudoparrella tamana. In the result of <sup>14</sup>C radiocarbon datings and comparison of habitat environment, Bolivina robusta (2,360 ± 40 B.P.), Cibicides lobatulus (2,518 ± 33 B.P.), Eilohedra nipponica were the late Holocene fossil species. Pseudoparrella tamana was modern species. In the result of cluster analysis, four assemblages composed of C. lobatulus, C. lobatulus-B. robusta, E. nipponica-B. robusta assemblages distributed in the palimpsest sediment of 80~100 m in water depth and P. tamana assemblage distributed in the modern muddy sediment were classified broadly. Therefore, species diversity and distribution of benthic foraminiferal assemblages in the South continental shelf may be affected by the water depth change due to the sea level rise in the late Holocene, and the sediment facies change due to the sedimentation of muddy sediment inflow from Yangtze river and coastal area of South sea.

Keywords : Benthic foraminiferal assemblage, South continental shelf

# 서 론

유공충은 크로미스타계 (Kingdom Chromista) 유공충문 (phylum foraminifera) (Pawlowski *et al.*, 2013)의 수서환경에 서식하는 단세포 동물로서, 캄브리아기에 출현하여 오랜 지질 시대를 거쳐 현대에 이르는 종이다 (Murray, 2014). 생태에 따 라 부유성 유공충과 저서성 유공충으로 나누어진다. 저서성 유 공충은 기수에서부터 심해저 해양환경까지 서식하며 (Murray, 2006; Murray, 2014), 풍부한 종 다양성과 개체수를 가지고 현생과 고환경 연구에 다양하게 활용되고 있다 (Gooday and Jorissen, 2012; Murray, 2014; Schoenle *et al.*, 2021). 특히 20 세기 중반 이후 활발히 수행된 유공충 군집 및 종 다양성 변화 와 생태 연구는 고환경 및 현생 해양환경 변화에 대한 지시자 로 유공충을 활용하게 하였다(Scott *et al.*, 2001; Gooday and Jorissen, 2012; Ellis *et al.*, 2014; Murray, 2014; Lee *et al.*, 2016a; Lee *et al.*, 2016b; Jeong *et al.*, 2019; Schoenle *et al.*, 2021). 특히, 현재/과거 환경을 유추하는 데 있어서 저서성 유 공충의 높은 종 다양도와 뚜렷한 분포는 유용한 지표로 활용된 다(Nguyen *et al.*, 2023).

대륙붕은 전 세계적으로 약 15,000년 전 현재 해수면보다 약 150~130 m 낮았고 해수면은 대기 중에 노출되었던 최종 빙하 기(LGM: the Last Glacia Maximum)를 지나 약 10,000년 전 (홀로세, Holocene)부터 현재에 이르기까지 빙하기가 끝나고 간빙기가 시작되어 범지구적으로 기온과 해수면이 상승한 시 기로 알려져 있다(Chernicoff and Venkatakrishnan, 1995). 따 라서 대륙붕 저서성 유공충 생태계에서도 다양한 종조성 및 군 집을 형성하고 있는 것으로 알려져 있다(Cronin *et al.*, 2019; Ranju *et al.*, 2019; Buosi *et al.*, 2020; Pavel *et al.*, 2021). 그 러나 우리나라 남해 대륙붕 표충퇴적물에 분포하는 저서성 유 공충 군집에 관한 연구는 극히 미비하게 진행되고 있다(Woo, 2007; Jang *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2012). 따라서 본 연구에서 는 한반도 남해 대륙붕 표충 퇴적물에서 산출하는 저서성 유공 충 종 다양성 및 군집분포를 파악하고 형성기작을 이해하고자 한다.

# 연구 지역

남해 대륙봉은 서쪽으로는 황해와 남쪽으로는 동중국해와 인접하며, 동쪽으로는 대한해협과 연결되는 해역으로 남해와 일본 규슈지역 사이 해역이다. 수심 약 150 m 이하의 전형적인 대륙봉 해역으로 연안 수심은 대체적으로 해안선과 평행한 등 심선을 형성하며, 남쪽 방향으로 갈수록 깊어지고 대한해협에 이르러서는 수심 150 m 이상에 이른다. 해류는 대마난류와 남 해연안수에 의해 크게 영향을 받는 지역으로서, 대마난류는 대 륙사면을 따라 북상하다가 동중국해로 확장하는 중국 연안수와 혼합하면서 일본과 제주도 사이를 통해 대한해협으로 유입된다 (Fig. 1). 연구지역은 제주도 북동 해역으로 한국 남해와 일본 규수 사이에 위치하고, 수심은 50~100 m이다.

# 재료 및 방법

#### 1. 시료채집

남해 대륙붕 18개 정점(SH-1~SH-18)에서 박스 코어(box

corer)를 이용하여 표층퇴적물 및 유공충 시료를 채집하였다 (Table 1, Fig. 1). 박스 코어는 표층 퇴적물의 교란을 방지하기 위하여 사용되었다.

#### 2. 퇴적물 입도 분석

퇴적물 시료는 Ingram (1971)의 분석방법에 따라 0.1N 염산 (HCI)과 10%의 과산화수소수(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)로 24시간 이상 반응시 켜 탄산염과 유기물을 완전히 제거하였다. 이후 4Ø(63 μm) 표 준체를 이용한 습식체질(wet sieving)로 조립질과 세립질로 분 리하고, 조립질 시료는 건조 후 표준체로 체질한 후 입도별로 무게를 구하였다. 세립질 시료는 0.1% 칼곤용액(sodium hexametaphosphate) 첨가 후, X-선 자동입도 분석기(Sedigraph 5100)로 분석하여 입도의 백분율을 구하였다. 입도의 통계분석 은 Folk (1968)방법에 따라 퇴적물의 입도조성, 퇴적상, 평균입 도(mean grain size), 분급도(sorting) 등을 분류하였다.



Fig. 1. Map showing bathymetry and the sampling sites in the South continental shelf of Korea.

Table 1. Location of sampling sites and water depth in the South continental shelf of Korea.

Site	Latitude (N)	Longitude (E)	Water depth (m)	Site	Latitude (N)	Longitude (E)	Water depth (m)
SH-1	34°13′52″	127°53′12″	67	SH-10	33°57′30″	127°32′46″	85
SH-2	34°11′00″	128°00′00″	77	SH-11	33°53′43″	127°39'34″	92
SH-3	34°07′30″	128°06′48″	86	SH-12	33°49′30″	127°46′23″	98
SH-4	34°04′12″	128°14′37″	93	SH-13	33°42′00″	127°32′46″	93
SH-5	33°57′00″	128°00′00″	91	SH-14	33°45′30″	127°25′57″	90
SH-6	34°00′00″	127°53′12″	87	SH-15	33°35′00″	127°19′08″	100
SH-7	34°03′48″	127°46′23″	84	SH-16	33°39′30″	127°12′20″	100
SH-8	34°06′56″	127°39′34″	60	SH-17	33°49′30″	127°19′08″	85
SH-9	34°00'00"	127°25′57″	79	SH-18	33°53′43″	127°12′20″	80

#### 3. 저서성 유공충 분석

저서성 유공충 분석을 위한 표층퇴적물 시료는 상부 1 cm에 서 20 mL를 채취하고, 헥사민(Hexamine)으로 중화(pH 8~9) 시킨 5% 포르말린(formalin) 용액을 첨가하여 현장에서 고정 시켰다. 실험실 운반 후 24시간 이내에 4Ø(63 μm) 표준체로 습식체질 후, 40~60°C의 온도에서 건조시켰다. 건조된 시료에 유공충이 300개체 이상일 때는 미량분리기(Microsplitter)를 사용하여 시료를 분리한 후 실체현미경으로 유공충을 추출하였 다. 유공충 동정은 도감과 문헌을 통하여 실시하였고 동정된 유 공충은 전자주사현미경(SEM; Scanning Electron Microscope) 을 이용하여 촬영, 미세구조를 파악하여 동정에 활용하였다.

동정된 저서성 유공층의 특성을 알아보기 위하여 각 성분과 구조에 따라 사질(agglutinated) 유공층과 석회질 유리상(calcareous-hyaline) 유공층과 석회질 자기상(calcareous-porcelaneous) 유공층으로 분류하여 산출 비율을 계산하였다. 부유성 유공층은 종 구분을 하지 않고, 부유성과 저서성 유공층을 포함 하는 전체 개체수로부터 차지하는 비율을 계산하였다. 그리고 각 정점에서 산출하는 저서성 유공층의 출현종수(S)와 20 mL 당 출현개체수를 구하였다. 종다양성 지수(species diversity) (Shanno, 1948)와 종균등도(evenness)를 정점별로 계산하였고 자료분석은 PRIMER ver 5.0 (PRIMER-E Ltd)을 이용하였다.

종조성의 유사도에 기초하여 시료를 구분하기 위하여 집괴 분석(Cluster analysis; CA) 및 다차원척도법(non-metric Multidimensional Scaling; nMDS)을 실시하였다. 집괴분석은 저서 성 유공충의 전 산출종을 대상으로 하였으며, 정점 간 유사도 지수는 Bray-Curtis similarity (Bray and Curtis, 1957)를 사용 하였다. 집괴분석에 의해 구분되어진 각 그룹 간 유사성에 기여 하는 종(discriminating species)을 파악하기 위하여 SIMPER (Similarity Percentages Species Contribution) 분석을 실시하 였다(Clarke and Warwick, 2001).

퇴적물 입도 조성과 저서성 유공충과의 상관관계를 파악하 기 위하여 주성분 분석(Principal component Analysis; PCA) 을 실시하였다.

#### 4. <sup>14</sup>C 연대측정

저서성 유공충의 서식시기를 파악하기 위하여 연구해역에서 산출된 우점 종을 구분하여 <sup>14</sup>C 연대측정을 실시하였다. <sup>14</sup>C 연 대측정은 미국의 Beta Analytic Inc.에서 가속기 질량 분석법 (AMS: Accelerator Mass Spectrometry)으로 측정되었다.

결 과

#### 1. 표층 퇴적물 입도조성 및 분포

표층 퇴적물은 평균함량 42.54%의 모래와 평균함량 38.20%

의 점토가 주구성 퇴적물이며, 실트가 평균함량 18.10%로서 분포한다. 모래는 연구해역의 북동쪽 정점 SH-1, SH-2, SH-7, SH-8에서 1%의 극히 미약한 분포를 보이나, 남서쪽으로 갈수 록 점차 증가하여 SH-14, SH-15정점에서 90% 이상의 최대함 량으로 나타난다(Fig. 2-A).

퇴적상은 니질(M), 사질니(sM), 역니질(gM), 니질사(mS), 함력니질사((g)mS), 역니질사(gmS), 사질(S) 및 함력사((g)S) 의 8개로 나타났다. 평균입도는 평균 5.65ø이며, 분급도는 평 균 2.96ø로 매우 불량한 것으로 나타난다. 퇴적상 분포를 보면 (Fig. 2-B), 연구해역의 북동쪽은 세립질의 니질 퇴적상이 주를 이루고, 중앙부에는 조립질의 자갈 또는 사질을 함유한 함력니 질사 퇴적상이 분포하고, 남서쪽은 조립질의 자갈을 함유한 사 질 퇴적상이 주로 분포한다. 즉, 제주도 북동 해역에서 남해안 북동방향으로 세립화되는 경향을 보인다.

#### 2. 저서성 유공충

남해 대륙붕 표층 18개 정점에서 저서성 유공층은 총 개체수 120,079개/20 mL로, 총 71속 150종을 분류하였다. 산출빈도는 남동해역에서 높고 남해연안으로 향해서 낮아지는 경향을 보인다(Fig. 2-D). 구성종은 사질 유공층 6속 14종(0.3~14.7%, 평균: 6.8%), 유리상 유공층 58속 118종(68.9~99.4%, 평균: 85%) 및 자기상 유공층 7속 18종(0.3~16.5%, 평균: 7.5%)으로 유리상 유공층 은 모든 정점에서 산출하며, 가장 높은 산출 빈도를 보인다. 사질 유공층은 Textularia foliacea, Textularia conica, Textularia sp. 등 Textularia 속의 출현 종이 많으며, 제 주도 북동해역에서 다소 높은 산출빈도를 보인다(Fig. 2-C).

종다양도(H')는 3.0~3.8의 범위(평균: 3.6)로 제주도 북동해 역에서 높아지는 경향을 보인다(Fig. 2-E). 부유성 유공충 산출 빈도(부유성유공충/총유공충)는 평균 42.4%로서 제주도 북동 해역으로 다소 높아지는 경향을 보인다(Fig. 2-F).

우점종은 18개 조사정점 중 최소 1개 이상 정점에서 10% 이 상 산출하는 종을 대상으로 하였으며, Bolivina robusta, Cibicides lobatulus, Eilohedra nipponica, Pseudoparrella tamana 로 총 4종으로 나타났다. B. robusta는 산출비율 2.9~12.3%로 평균 9.6%이며, 뚜렷한 분포경향을 보이지 않는다(Fig. 2-G). C. lobatulus는 산출비율 1.1~17.9%로 평균 9.6%로 분포하며 제주도 북동해역으로 산출비율이 증가한다(Fig. 2-H). E. nippnica는 산출비율 0.3~17.6%로 평균 6.4%로 분포하며 제주도 북동해역으로 산출비율이 낮아지는 경향을 보인다(Fig. 2-I). P. tamana는 산출비율 0.0~33.5%로 평균 6.5%로 분포하며 연구 해역의 북동해역에서 30% 이상의 매우 높은 산출분포를 보인 다(Fig. 2-J).

집괴분석 및 비계량적 다차원척도법을 통한 저서성 유공충 군집 분석 결과(Fig. 3), 유사도 지수 65.47에서 3개 클러스터 (A, B, C)로 구분되어졌고, B 클러스터는 유사도 지수 66.45에



**Fig. 2.** Distribution map of the rate of sand (A), sedimentary facies (B), rate of agglutinated foram (C), number of benthic foram (D), species diversity (E), number of planktonic foram (F), *Bolivina robusta* (G), *Cibicides lobatulus* (H), *Eilohedra nipponica* (I) and *Pseudoparrella tamana* (J). Note, M: mud, sM: sandy mud, gM gravelly mud, mS: muddy sand, (g)mS: slightly gravelly muddy sand, gmS: gravelly muddy sand, S: sand,(g) S: gravelly sand, foram: foraminifera.

서 2개(BI, BII)로 세분되어 총 4개의 클러스티로 구분되어졌 다. A 클러스티에서는 *C. lobaulus* (14.1%)가 우점하고, 다음 으로 *T. foliacea* (5.8%), *Cibicides refulgens* (5.0%)가 수반된다. A 클러스티는 *C. lobaulus* 군집이다. BI 클러스티에서 우점종 은 *E. nipponica* (11.7%)이며, *B. robusta* (8.1%)와 *C. lobaulus* (6.4%)이 수반된다. BI 클러스트는 *E. nipponica-B. robusta* 군집으로 설정되었다. BII 클러스티에 우점종은 *C. lobaulus* (10.7%)이, 그 다음으로 *B. robusta* (6.1%)와 *Paracassidulina neocarinata* (5.6%)로 나타났다. BII 클러스티는 *C. lobatulus-B. robusta* 건집으로 설정되었다. C 클러스티는 *P. tamana* 가 33.5%로 가장 높은 비율로 우점하고, 그다음으로 *Ammonia ketienziensis* (7.3)%와 *Pseudoparrella naraensis* (7.0%)가 산 출한다. *P. tamana*군집이다.

집괴분석 결과, C. lobatulus군집, E. nipponica-B. robusta군 집, C. lobatulus-E. nipponica군집과 P. tamana군집의 총 4개 의 군집이 설정되었다. C. lobatulus군집 제주도 북동해역 분포 하며 연구해역의 북동측을 향하여 차례로 C. lobatulus-E. nipponica군집, E. nipponica-B. robusta군집과 P. tamana군집이 분포한다(Fig. 4).

#### 3. <sup>14</sup>C 연대측정

저서성 유공충 군집 구성종 중 가장 높은 산출빈도를 보이는 B. robusta와 C. lobatulus에 대한 <sup>14</sup>C 연대측정 결과, B. robusta는 2,360±40 B.P. C. lobatulus는 2,518±33 B.P.에 서식한 것으로 나타났다.

#### 고 찰

#### 1. 표층퇴적물 퇴적상과 저서성 유공충 종 분포

본 연구해역 표층퇴적물은 사질(평균 42.54%)과 니질(평균 56.4%)로 구성되며, 세립질의 니질 퇴적상은 북동해역의 연안을 따라 주로 분포하고, 그 외의 중앙부 및 남서해역에서는 사질니 및 함력니사질의 혼합 퇴적상이 분포한다. 남해대륙붕 퇴적물은 수심 80 m를 경계로 내대륙붕과 외대륙붕으로 구분되며, 내대륙붕은 주로 현생 니질 세립질퇴적물 구성되고, 외대륙 붕은 최종빙하기 해수면 하강시 형성된 조립질의 잔류성 퇴적물(Emery, 1952)과 현생 니질퇴적물과 잔류성 퇴적물의 혼합 퇴적물인 palimpsest (Swift *et al.*, 1971)로 구성되는 것으로 알려져 있다(Choi and Park, 1993; Lee, 1997; Lee *et al.*, 2008).

퇴적물 조성과 저서성 유공충의 상관관계를 파악하기 위 해 주성분분석을 실시하였다(Fig. 5). 제1주성분은 전체 분산 에 대해 52.02%로 퇴적물 입도와 상관성이 높고, 제2주성분은 31.52%의 기여율로 유공충 조성과 상관성이 높은 성분이다.



**Fig. 3.** Dendrogram of cluster analysis (CA) and ordination of nonmultidimensional scaling (nMDS) to benthic foraminiferal collected from 18 surface sediments of South continental shelf, Korea.



**Fig. 4.** Distribution map of benthic foraminiferal assemblages in South continental shelf, Korea.

세립질의 현생 니질(실트와 점토) 퇴적상은 *P. tamana*과 높은 상관성을 보이며, 조립질의 잔류성 사질퇴적상은 *B. robusta*, *C. lobatulus*와 상관성을 보인다. 연대측정 결과, *B. robusta*, *C. lobatulus*는 각각 2,518±33 B.P., 2,360±40 B.P.으로 흘로세 후 기 화석종이며, 현생종 *P. tamana*와 더불어 남해 대륙붕 퇴적상 분포를 잘 반영하고 있다.



**Fig. 5.** Distribution of the factor loading by PCA in South continental shelf, Korea. (B/T Foram (%): Benthic foraminifera/Total foraminifera, P/T foram (%): Planktonic foraminifera /Total foraminifera).



Fig. 6. Schematic diagram showing the formation processes of benthic foraminiferal assemblages in South continental shelf, Korea.

#### 2. 남해대륙붕 저서성 유공충 군집 형성과정

군집분석 결과, *C. lobatulus*군집, *C. lobatulus-B. robusta*군 집, *E. nipponica-B. robusta*군집 및 *P. tamana*군집으로 총 4개 군집이 분포한다.

C. lobatulus군집, C. lobatulus-B. robusta군집과 E. nipponica-B. robusta군집은 수심 약 80~100 m의 해역의 relict~palimpsest sediment에 분포하고, P. tamana군집은 수심 70 m 이 하의 현생 니질퇴적상에 분포한다(Fig. 4). B. robusta는 북동중 국해에서 외해수의 영향을 받는 대표종으로 알려져 있다(Zhao et al., 2018). C. lobatulus의 서식심도는 약 40 m로 알려져(De Nooijer et al., 2008) 있으나, 연구해역에서는 수심 80~100 m 에서 산출하며, 서식심도가 약 0~15 m로 알려져(Costello et al., 2001)있는 E. nipponica도 연구해역에서는 70~90 m에서 산출한다. 이러한 서식심도와 산출심도 차이는 홀로세 후기 해 수면 상승에 기인한 것이다. P. tamana는 연구해역의 북동측에 서 30%의 산출을 보이며, 일본 Akita 연안 중대륙붕의 주요 현 생 구성종으로 알려져 있다(Matoba and Fukasawa, 1992).

남해 대륙붕의 C. lobatulus 군집, C. lobatulus-B. robusta군 집과 E. nipponica-B.robusta군집은 모두 홀로세 후기 군집으 로 이들 군집의 특징과 분포로 보아 이들 군집들은 홀로세 후 기 남해 천해 대표 군집으로 해석되며, P. tamana군집은 현생 SSM의 대표 군집으로 해석된다(Fig. 4). 따라서 저서성 유공충 군 집은 홀로세 후기 저해수면기 해수면이 낮았을 시기에 천해 에 서식했던 C. lobatulus군집, B. robusta군집 등이 홀로세 후 기 해침에 의해 해수면이 상승함에 따라 해안 침식에 의해 외 대륙붕에서 퇴적되었으며, 내대륙붕에서는 현생 니질 퇴적물에 서 P. tamana군집이 형성된 것으로 생각된다(Fig. 6).

결 론

남해 대륙붕에는 홀로세 후기 천해 대표 저서성 유공충군 집으로서 *C. lobatulus*군집, *C. lobatulus-B. robusta*군집과 *E. nipponica-B.robusta*군집이 분포하고, 현생 SSM의 대표 군집 으로 *P. tamana*군집이 분포한다. 홀로세 후기 천해 대표 저서성 유공충군집들의 형성기작은 홀로세 후기 해수면이 상승에 기인 하며, *P. tamana*군집이 형성은 내대륙붕에서 현생 니질퇴적물 집적에 따른 서식환경 변화에 기인한다.

# 요 약

한국 남해 대륙붕의 저서성 유공충 종다양성 및 군집 분포를 파악하기 위하여 남해 대륙붕 18개 정점에서 표층퇴적물을 채 취하고, 입도 조성, 퇴적상, 저서성 유공충 군집분석 및 <sup>14</sup>C 연 대측정을 실시하였다. 표층퇴적물은 사질, 실트 및 점토가 혼 합하는 사질니~함력니질사 퇴적상으로 구성된다. 조립질의 사 질 퇴적상은 relict~palimpsest sediment이며, 세립질의 니질퇴 적물은 현생 니질 퇴적물이다. 저서성 유공충은 총 71속 150종 이 분류되었으며, 종다양성 지수(H')는 평균 3.6으로 제주도 북 동해역에서 높아지는 경향을 보인다. 우점종(10% 이상 산출) 은 Bolivina robusta, Cibicides lobatulus, Eilohedra nipponica, Pseudoparrella tamana 5종이다. 서식시기 및 서식지와 산 출지 환경 비교 결과, B. robusta (2,360±40 B.P.), C. lobatulus (2,518±33 B.P.), E. nipponica는 홀로세후기 화석종이며, P. tamana는 현생종으로 생각된다. 저서성 유공충 군집은 C. lobatulus군집, C. lobatulus-B. robusta군집, E. nipponica-B. robusta 군집 및 P. tamana 군집의 총 4개의 군집이 설정되었으 며, C. lobatulus 군집, C. lobatulus-B. robusta 군집, E. nipponica-B. robusta군집은 수심 약 80~100 m 해역의 palimpsest sediment에 분포하고, P. tamana 군집은 수심 70 m 이하의 현생 니질 퇴적상에 분포한다. 따라서 남해 대륙붕 저서성 유공충 군 집의 종 다양성 및 서식환경 분포는 홀로세 후기 해수면 상승 에 따른 수심 변화와 양쯔강 및 한반도 남해연안으로부터 유입 된 니질 퇴적물 집적에 따른 퇴적상 변화에 영향을 많이 받았 던 것으로 생각된다.

### 사 사

본 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업(No. 2020R111A1A01071781)과 한국연구재단 중점연구사업(NRF-2018-R1A6A1A-03024314)의 지원을 받 아 수행된 연구이다.

# 참고 문헌

- Bray, J.R. and J.T. Curtis, 1957. An ordination of upland forest community of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27(4), 325-349.
- Buosi, C., S. Tecchiato, A. Ibba, A. Cherchi, M. Bachis and S. De Muro, 2020. Foraminiferal biotopes in a shallow continental shelf environment: Esperance Bay (southwestern Australia). J. Sea Res., 158, 101859.
- Chernicoff, S. and R. Venkatakrishnan, 1995. Geology: An Introduction to Physical Geology. Worth Publishers, New York, 593pp.
- Choi, J.I. and Y.A. Park, 1993. Distribution and Textural Characters of the Bottom Sediments on the Continental Shelves, Korea. J. Korean Soc. Oceanogr., 28(4), 259-271.
- Costello, M.J., C. Emblow and R.J. White, 2001. European Register of Marine Species: a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification. Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 463pp.
- Cronin, T.M., J. Seidenstein, K. Keller, K. McDougall, A. Ruefer and L. Gemery, 2019. The benthic foraminifera Cassidulina from the Arctic Ocean: Application to paleoceanography and biostratigraphy. *Micropaleontology*, 65(2), 105-125.
- De Nooijer, L.J., T. Toyofuku, K. Oguri, H. Nomaki and H. Kitazato, 2008. Intracellular pH distribution in foraminifera determined by thefluorescent probe HPTS. *Limnol. Oceanogr. Meth.*, 6(11), 610-618.
- Ellis, A.M., S.J. Culver, D.J. Mallinson, D.R. Corbett, E. Leorri, M.A. Buzas and N.A.M. Shazili, 2014. The influence of aquaculture on modern foraminifera and sediments in the Setiu estuary and lagoon, Terengganu, Malaysia: A spatial investigation. J. Foraminifer. Res., 44(4), 390-415.
- Emery, K.O., 1952. Continental shelf sediments of southern California. Geol. Soc. Am. Bull., 63(11), 1105-1108.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of the sedimentary rocks. Hemphills Publishing Co., Texas, 170pp.

- Gooday, A.J. and F.J. Jorissen, 2012. Benthic foraminiferal biogeography: controls on global distribution patterns in deep-water settings. Ann. Rev. Mar. Sci., 4, 237-262.
- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis. In "Carver, R.E. (ed). Procedures in Sedimentary Petrology", 49-67.
- Jang, S.H., D.U. Jeong and Y.G. Lee, 2009. Vertical Variations of Benthic Foraminiferal Assemblages in Core Sediments on Yeoja Bay, Southern Coast of Korea: Implications for Late Holocene Sea-Level Change. J. Korean Earth Sci. Soc., 30(4), 409-426.
- Jeong D.U., Y.G. Lee, J. Kang, H.J. Woo and Y.H. Choi, 2019. Sediment geochemistry and benthic foraminiferal response to fishing farming after conversion from a red laver (seaweed) farm. J. Coast. Res., 36(3), 559-574.
- Lee, Y.G., 1997. The Quaternary paleoenvironment and molluscan thanatocoenoses characteristics in the continental shelf off Ulsan, southeastern Korea. J. Paleont. Soc. Korea, 13(2), 103-118.
- Lee, Y.G., J.M. Choi and G.F. Oertel, 2008. Postglacial sea-level change of the Korean southern sea shelf. J. Coast. Res., 24(10024), 118-132.
- Lee, Y.G., D.U. Jeong, S. Kang, Y.W. Kim, S. Kim, E.H. Jung and J.S. Lee, 2012. The Formation of Hypoxia Sediment and Benthic Foraminiferal Change in Gamak Bay, Southern Coast of Korea. *Ocean Polar Res.*, 34(1), 53-64.
- Lee, Y.G., D.U. Jeong, J.S. Lee, Y.H. Choi and M.K. Lee, 2016a. Effects of hypoxia caused by mussel farming on benthic foraminifera in semi-closed Gamak Bay, South Korea. *Mar. Pollut. Bull.*, 109(1), 566-581.
- Lee, Y.G., Y.H. Choi, D.U. Jeong, J.S. Lee, Y.W. Kim, J.J. Park and J.U. Choi, 2016b. Effect of abalone farming on seawater movement and benthic foraminiferal assemblage of Zostera marina in the inner bay of Wando, South Korea. *Mar. Pollut. Bull.*, 109(1), 205-220.
- Matoba, Y. and K. Fukasawa, 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 T. Saito. (ed). Centenary of Japanese Micropaleontology, Terra Scientific Publishing Company, Tokyop", 207-226.
- Murray, J.W., 2006. Ecology and application of benthic foraminifera. Cambridge University Press, Cambridge, 440pp.
- Murray, J.W., 2014. Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera. Routledge, London, 408pp.
- Nguyen, N.-L., J. Pawłowska, I.B. Angeles, M. Zajaczkowski and J. Pawłowski, 2023. Metabarcoding reveals high diversity of benthic foraminifera linked to water masses circulation at coastal Svalbard. *Geobiology*, 21(1), 133-150.
- Pavel, A.B., S. Menabit and I.C. Pop, 2021. New records of soft-shelled monothalamous Foraminifera and gromiids on the Romanian Black Sea shelf. Biologia, 76, 2241-2251.
- Pawlowski, J., M. Holzmann and J. Tyszka, 2013. New supraordinal classification of Foraminifera: Molecules meet morphology. *Mar. Micropaleontol.*, 100, 1-10.
- Ranju, R., N.N. Menon and N.R. Menon, 2019. Observations on some

symbiont bearing foraminifera from the shelf and slope sediments of Eastern Arabian Sea. *J. Mar. Biol. Ass. India*, 60(2), 53-58.

- Schoenle, A., M. Hohlfeld, K. Hermanns, F. Mahé, C. De Vargas, F. Nitsche and H. Arndt, 2021. High and specific diversity of protists in the deep-sea basins dominated by diplonemids, kinetoplastids, ciliates and foraminiferas. *Commun. Biol.*, 4, 501.
- Scott, D.B., F.S. Medioli and C.T. Schafer, 2001. Monitering in Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebial Indicators. Cambridge University Press, Cambridge, 177pp.
- Shanon, C.E., 1948. The mathematical theory of communication. Bell

Syst. Tech. J., 27, 379-423.

- Swift, D.J.P., D.J. Stanley and J.R. Curray, 1971. Relict sediments on continental shelves: a reconsideration. J. Geol., 79(3), 322-346.
- Woo, H.J., 2007. Characteristics of foraminiferal distributions in surface sediments of Gangjin Bay, Korea. J. Paleont. Soc. Korea 23(1), 1-13.
- Zhao, B., X. Yan, Z. Wang, Y. Shi, Z. Chen, J. Xie, J. Chen, Z. He, Q. Zhan and X. Li, 2018. Sedimentary evolution of the Yangtze River mouth (East China Sea) over the past 19,000years, with emphasis on the Holocene variations in coastal currents. Palaeogeogr. *Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 490, 431-449.



Plate 1. 1. Textularia stricta, SH-13, 2a, b. Fissurina lacunata a: SH-2, b: SH-4, 3a, b. Fissurina laevigata, SH-2, Figs. 4, 5. Fissurina orbignyana SH-18, 6. Favulina hexagona, SH-18, 7, 8. Nodosari scalaris sagamiensi 7: SH-3, 8: SH-16, 9a, b. Lagena acuticosta, a: SH-10, b: SH-7, 10. Lagena hispidula, SH-3, 11. Lagena striata, SH-6, 12. Lagena sulcata spicata, SH-9, 13. Lagena sp., SH-11.



Plate 2. 1. Obliquina acuticosta, SH-5, 2. Lenticulina calcar, SH-3, 3. Planularia sp., SH-14, 4. Bolivina floridana, SH-12, 5a, b. Bolivina pseudoplicata, SH-1, 6a, b. Bolivina robusta, a: SH-2, b: SH-3, 7. Bolivina seminuda, SH-1, 8. Bolivina striatula, SH-1, 9. Bolivina subreticulata, SH-6, Figs. 10, 11. Bolivina subspinescens, 10: SH-5, 11: SH-6, 12. Bolivina sp., SH-6, 13a, b. Globocassidulina subglobosa, a: SH-16, b: SH-3.

남해 대륙붕 저서성 유공충 군집



**Plate 3.** 1a, b. *Paracassidulina neocarinata*, a: SH-10, b: SH-3, 2. *Stainforthia* sp., SH-12, 3. *Bulimina elongata*, SH-1, 4. *Bulimina marginata*, SH-16, 5a, b. *Bulimina* sp., SH-2, 6, 7. *Uvigerina asperula*, 6: SH-15, 7: SH-6, 8a, b. *Uvigerina procoscidea*, a: SH-9, b: SH-17, 9. *Uvigerina sckencki*, SH-15, 10. *Uvigerinella glabra*, SH-2, 11. *Trifarina bradyi*, SH-7, 12. *Reussella pacifica*, SH-2, 13. *Poroeponides cribrorepandus*, SH-13.

114



Plate 4. 1. Poroeponides cribrorepandus, SH-13, 2a, b. Gyroidinoides cushmani, SH-16, 3a, b. Oridorsalis umconatus, a: SH-16, b: SH-13, 4a, b. Eilohedra nipponica, SH-3, 5a, b. Pseudoparrella naraensis, SH-1, Figs. 6, 7a, b. Pseudoparrella tamana, 6: SH-2, 7a, b: SH-1, 8a, b. Pseudononion japonicum, SH-2, 9a, b. Astrononion stelligerum, a: SH-6, b: SH-2.

남해 대륙붕 저서성 유공충 군집



Plate 5. 1a, b. Astrononion stelligerum, a: SH-2, b: SH-6, 2a, b. Pullenia quinqueloba, SH-9, 3. Hyalinea balthica, SH-4, 4a, b. Cibicides lobatulus, a: SH-18, b: SH-13, 5a, b. Cibicedes refulgens, SH-13, 6a, b. Ammonia ketienziensis, a: SH-5, b: SH-4, 7. Elphidium advenum, SH-3, 8a, b. Elphidium clavatum, SH-2, 9. Elphidium jenseni, SH-6, 10. Elphidium subarcticum, SH-2.



Plate 6. 1. Cornuspira involvens, SH-5, 2, 3. Spiroloculina elevata, 2: SH-12, 3: SH-11, 4. Spiroloculina communis, SH-17, 5. Spiroloculina sp., SH-14, 6a, b, 7a, b. Quinqueloculina akneriana, 6a, b: SH-2, 7a, b: SH-7, 8a, b, 9a, b. Miliolinella circularis, 8a, b: SH-17, 9a, b: SH-15, 10, 11. Miliolinella sp. A, SH-14, 12. Sigmoilopsis schlumbergeri, SH-12.