

# 동해 심해저 연체동물 군집구조 특성 및 군집구조와 환경요인과의 상관성

손민호<sup>1</sup>, 정직영<sup>1</sup>, 김창준<sup>2</sup>, 최기영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>해양생태기술연구소, 부산시 남구 신선로 부산 48520,  
<sup>2</sup>한국해양과학기술원 해양화학-지화학연구센터, 경기도 안산시 15627

## Characteristics of Molluscan Community Structure and Relationship between the Structure and Environmental Variables in Abyssal Plain of the East Sea

Min Ho Son<sup>1</sup>, Jik Young Jung<sup>1</sup>, Chang Joon Kim<sup>2</sup> and Ki Young Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marine Eco-technology Institute, Sinseon-ro, Nam-gu, Busan 48520, Republic of Korea

<sup>2</sup>Marine Chemistry and Geochemistry Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan 15627,  
Republic of Korea

### ABSTRACT

Study on characteristics of the molluscan community structure and relationship between the structure and environmental variables in the abyssal plain of the East Sea was carried out for 5 years, starting from 2009 until the end of 2015 except 2010 and 2011. The water depth at the study site is approximately 1,600 m at minimum, and maximum depth of 2,000 m and a total of 16 molluscan species including Aplacophora, Gastropoda and Bivalvia were observed. Species with the highest biomass was *Thyasira tokunagai*, followed by *Yoldiella philippiana* which were observed at 9 sampling stations every year. Among 4 sampling stations having various depths (1,600/ 1,700/ 1,800/ 2,000 m), the highest diversity for species was observed at water depths of 1,600 m and 1,700 m, but found the lowest at 1,800 m. Both abundance and biomass were found to be negative correlations with water depth ( $p < 0.05$ ), however, showed a positive correlation with the concentrations of organic matters ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). However, it is interesting to note that both *Thyasira tokunagai* (biomass, 82.6%; abundance, 44.1%) and *Yoldiella philippiana* (biomass, 15.9%; abundance, 4.7%) did not show distinctive correlations with water depth as well as concentrations of organic matters ( $p > 0.05$ ). Therefore, it could be concluded that community structure of both *Thyasira tokunagai* and *Yoldiella philippiana* did not appear to be affected by water depth and concentrations of organic matters but geographical characteristics.

**Key words:** mollusks, East Sea, abyssal plain, sediment, relationship

### 서론

반폐쇄적 지형구조를 가진 동해 심해저는 판구조 기원

Received: December 5, 2016; Revised: December 21, 2016;  
Accepted: December 30, 2016

Corresponding author: Min Ho Son

Tel: +82 (51) 611-6200, e-mail: mhson@marine-eco.co.kr  
1225-3480/24639

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

(tectonic origin) 에 있어서 빙하기 후기에 태평양의 주된 해저 덩어리로부터 분리된 후, 오랜 지사학적 기간을 거치며 독자적인 특성을 갖게 됨에 따라 동해 심해저에 서식하는 저서동물 군집구조는 전형적인 북태평양 심해저 종들 보다는 저수온에 적응된 광염성 종들로 이루어져 있다 (Tyler, 2002). 심해저 종들을 포함한 일반적인 저서동물의 서식특성 (예. 풍도와 다양도 등) 은 그들이 서식하고 있는 퇴적물의 양상 (예. 입도 등) (Choi, 2015) 및 수심과 매우 밀접한 상관성 (Zenkevitch, 1961) 이 있다.

동해 심해저에 서식하는 저서동물에 대한 본격적인 연구는 비교적 근래에 오면서 시작되었는데, Brandt *et al.* (2015) 은

동해 북서부에 위치한 수심 5,000 m 정도인 Kuril-Kamchatka Trench에 서식하는 저서동물을 연구한 결과 다모류가 가장 우점하고 있으며, ‘수심이 증가함에 따라 저서동물들의 서식밀도가 감소’하는 현상을 확인하였다 Zenkevitch (1961). 심해저에서의 다모류 우점 현상은 Rowe (1983) 와 Gage and Tayler (1991) 에 의해서도 확인되었으며, 이들의 연구결과에 따르면 최우점적인 다모류 다음으로 갑각류 (주로 요각류와 등각류) 와 이매패류가 차. 및 차차우점적인 무리들로 출현하고 있다. 심해저의 저서동물 중 다모류에 이은 소규모 무리들로 나타나는 심해 서식 이매패류에 대한 생태학적 연구는 매우 제한적이다. 심해 이매패류에 대한 생태학적 연구 중에는 Olabarria (2005) 가 대서양 북동부의 심해저에 서식하는 이매패류들을 대상으로 한 연구에서 “심해 서식 이매패류들의 분포양상은 상당히 넓은 수심대에 걸쳐 중복되는 양상을 나타낸다.”라는 결과를 제시하였다. 또한, Kamenev (2013) 가 동해의 심해저에 서식하는 이매패류의 분포와 수심과의 상관성에 대한 연구에서 “동해 대륙붕과 대륙사면에 서식하는 이매패류의 종 다양성은 수심에 따른 차이가 존재한다.”는 결과를 제시하였지만, Kamenev (2013) 의 연구 대상이 된 수심은 최대 400 m 정도로 최대 약 3,500 m에 달하는 동해 심해저 이매패류의 일반적인 특징을 제시한 것으로 보기에 무리가 있다. 지금까지 알려진 심해저 이매패류에 대한 생태학적 연구들 (Olabarria, 2005; Kamenev, 2013) 은 매우 제한적이며, 거의 대부분의 연구들이 심해저 이매패류들의 분류학적 연구에 초점을 두고 있다 (Knudsen, 1970; Allen and Morgan, 1981; Allen, 1998; Krylova and Sahling, 2010).

심해저 서식 이매패류의 생태학적 연구들 상당수는 수심과 분포양상과의 상관성에 대한 것이지만 (Olabarria, 2005; Kamenev, 2013), 심해저에 서식하는 이매패류를 포함하는 저서동물상과 퇴적물 특성과의 상관성에 대하여 Sanders (1958) 는 심해저 퇴적물 조성에서 점토 (clay) 성분이 증가하면 그 곳에 서식하는 저서동물 중 퇴적물 섭식자의 구성비가 높아진다는 현상을 보고한 바 있다. 동해에서의 경우, Chung *et al.* (2016) 은 동해 심해저에 서식하는 저서동물 군집구조에 대한 연구를 수행하였는데 이들의 연구는 지난 20여 년간 ‘동해 병’ 해역에 투기된 폐기물이 동해 심해저 환경과 저서동물 서식에 어떠한 영향을 미쳤는지를 파악하기 위한 목적으로 수행되었다. 특히, Seo *et al.* (2013) 는 Chung *et al.* (2016) 의 연구 대상 해역 중 한 곳인 동해 남부 해역에서 유기물 함량이 높은 곳의 경우 기회주의적 생태특성을 가지는 말발조개 (*Thyasira tokunagai*) 가 우점적으로 출현하고 있음을 보고하였다. 그러나, Sanders (1958) 의 경우엔 점토 성분의 증감에 따른 저서동물의 영향만을, Chung *et al.* (2016) 의 경우

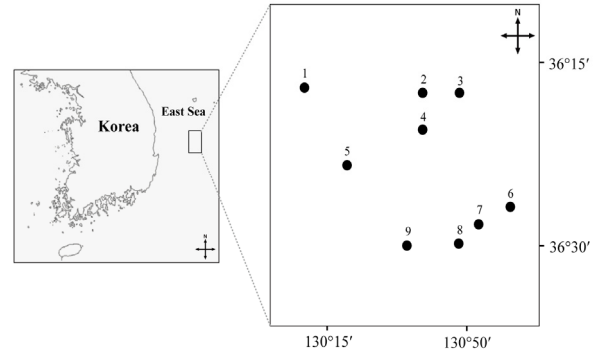


Fig. 1. Sampling stations in the East Sea, Korea where sampling was carried out with R/V *Onnuri* from May 2009 to April 2015 except 2010 and 2011.

엔 저서동물의 단순 군집구조와 건강성 정도만을 그리고, Seo *et al.* (2013) 의 경우엔 심해저와는 물리적 특성이 상이한 평균 수심 180 m 해저 서식 저서동물을 연구대상으로 하였다. 그러므로, 수심 2,000 m 전후의 실제 동해 심해저의 저서동물 서식양상이 퇴적환경과 어떠한 상관성을 갖고 나타나는지에 대한 연구결과는 아직까지 제시되지 못하고 있다.

따라서, 본 연구는 2009년부터 2015년까지 총 5년에 걸쳐 (2010, 2011년 제외) 매년 동해 심해저에 설정된 9개 정점에 대한 이매패류 표본채집과 수심을 포함한 퇴적환경 변수에 대한 조사결과를 바탕으로 동해 심해저에 서식하는 ① 이매패류 군집의 구조적 특징을 밝힘과 동시에 ② 이들의 군집구조가 서식환경의 다양한 변수들과 어떠한 상관성을 나타내는지를 밝히는데 목적을 두고 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 생물표본의 채집 및 분석

표본은 2009년 5월부터 2015년 4월까지 (2010, 2011년 제외) 매년 1회씩 총 5차에 걸쳐 한국해양과학기술원 ‘온누리호’ (R/V; 1,422톤) 와 선상의 퇴적물 주상채집기 (Boxcorer; 0.08 m<sup>2</sup>) 를 투하하는 방식으로 매회 동일한 9개 정점 (Fig. 1) 에서 채집되었다. 각 정점의 수심은 선박에 장착된 다중음향탐사기 (Multibeam echo-sounder EM210, Norway) 를 이용하여 측정하였다 (Table 1).

매회 각 정점에서는 표본채집의 오차를 최소화하기 위하여 동일한 방식으로 3회 반복하여 표본을 포함한 퇴적물을 채취하였으며, 채취된 퇴적물은 선상 (on board) 에서 망목크기 1 mm의 스테인레스스틸 사각 체 (sieve) 에 담은 상태로 표본 훼손 방지를 위해 매우 약한 수류 (mild current) 의 해수를 흘리는 방식으로 물 체질하였다. 물 체질 후, 체에 남겨진 크기

**Table 1.** Depth of the sampling stations in the East Sea, Korea during study period

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Depth (m)	1,800	2,000	2,000	1,800	1,700	1,600	1,600	1,600	1,600

**Table 2.** List of molluscan species collected at the sampling stations. T: Taxa, AP: Aplacophora, GS: Gastropoda, BI: Bivalvia, Ab.: abundance (ind./m<sup>2</sup>), Bi.: biomass (wet weight/m<sup>2</sup>). Data was collected at sampling stations on an annual basis. Blank represents no data available for the species observed in the designated years and variables respectively

T	Species	2009		2012		2013		2014		2015		Sum	
		Ab.	Bi.	Ab.	Bi.	Ab.	Bi.	Ab.	Bi.	Ab.	Bi.	Ab.	Bi.
AP	<i>Chaetoderma japonicum</i>							4	0.006			4	0.006
	Subtotal 1 sp.											4	0.006
	<i>Buccinum bayani</i>			4	94.476							4	94.476
	<i>Cryptonatica</i> sp.					8	0.029					8	0.029
GS	<i>Diaphana sakurai</i>	3	0.012									3	0.012
	<i>Eatona kitanagato</i>	2	0.008									2	0.008
	<i>Haminoeidae</i> sp.			8	0.056							8	0.056
	<i>Naticidae</i> sp.			4	0.016							4	0.016
	Subtotal 6 spp.											29	94.597
	<i>Borniopsis</i> sp.							67	0.661			67	0.661
	<i>Cadella</i> sp.			21	0.115	4	0.016					25	0.131
	<i>Megaentalina cornucopiae</i>			4	0.034							4	0.034
	<i>Mysella</i> sp.	1	0.004									1	0.004
BI	<i>Nuculana pernula kawamurai</i>			4	0.017							4	0.017
	<i>Nuculana robai</i>							4	0.072			4	0.072
	Semelidae unid.									104	0.797	104	0.797
	<i>Thyasira tokunagai</i>	1,070	4.46	2,880	18.787	2,750	17.401	5,034	32.65	1,600	9.643	13,334	82.940
	<i>Yoldiella philippiana</i>	147	0.3	642	2.364	1,133	3.465	423	1.812	217	0.922	2,562	8.863
	Subtotal 9 spp.											16,105	93.519
	Sum	1,223	4.78	3,567	115.86	3,895	20.91	5,532	35.20	1,921	11.36	16,138	188.12

1 mm 이상의 생물 및 비생물 잔존물들은 각 정점별 별도의 용기에 담은 상태로 5% 중성 해수-포르말린 수용액으로 고정 (fixation) 하였다. 고정된 잔존물들은 실험실에서 충분한 세척 과정을 거친 후, 잔존물 중에서 생물들만 (연체동물) 을 선별하였다. 선별된 표본들은 입체현미경 (Olympus SZX7, Japan) 을 이용한 동정과정 (identification) 을 거친 후, 각 종별로 계수 (counting) 하고, 소수점 2자리까지 계측 가능한 전자저울 (CAY 120, Korea) 을 이용하여 생체량 (wet weight) 을 측정하였다. 계수된 개체 수와 측정된 습중량은 출현 종별, 정점별 또는 년도 별로 필요에 따라 단위면적 (m<sup>2</sup>) 으로 환산 또는 합산 (data pooling) 의 형태로 제시하였으며, 이러한 환산 및 합산의 경우엔 해당되는 표나 그림의 설명에 이를 명시하였

다. 또한, 결과에서 제시된 우점종의 경우엔 모두가 개체 수 기준의 우점종으로 나타내었다.

**2. 퇴적물 시료의 채취 및 분석**

퇴적물 성장 분석을 위한 시료는 앞에서 설명한 ‘생물표본의 채집’을 위해 채취된 퇴적물 시료를 대상으로 각 항목별로 다음과 같은 과정과 방법을 통해 측정 및 분석하였다. 입도분석용 시료는 채취된 퇴적물 표층 약 20 g (깊이 2 cm 내·외) 정도를 별도 용기에 채취하여 냉장 보관하였다. 보관된 입도분석용 퇴적물은 습식체질 (wet sieving) 을 통하여 입경 4  $\phi$  이하의 입자와 그 이상의 입자로 구분한 후, 크기 4  $\phi$  이하의 시료는 자동입도분석기 (Sedigraph 5100, USA) 로, 크기 4

**Table 3.** List of dominant molluscan species found in the East Sea, Korea. Data was collected at sampling stations on an annual basis. Blank represents no data available in the designated years due to the same number and frequency of the species with the rest of species existed

Dominant species				
2009	2012	2013	2014	2015
<i>Thyasira tokunagai</i>	<i>Thyasira tokunagai</i>	<i>Thyasira tokunagai</i>	<i>Thyasira tokunagai</i>	<i>Thyasira tokunagai</i>
<i>Yoldiella philippiana</i>	<i>Yoldiella philippiana</i>	<i>Yoldiella philippiana</i>	<i>Yoldiella philippiana</i>	<i>Yoldiella philippiana</i>
<i>Diaphana sakurai</i>	<i>Cadella</i> sp.		<i>Borniopsis</i> sp.	Semelidae unid.
<i>Eatona kitanagato</i>	Haminoeidae sp.			<i>Ophiodermella akkeshiensis</i>
<i>Mysella</i> sp.				

**Table 4.** Frequency of *Thyasira tokunagai* observed at the sampling stations during study period in the East Sea, Korea. No. st.: number of stations sampled, St. occurred: number of stations *Thyasira tokunagai* occurred, Ratio (%): (Stations *Thyasira tokunagai* occurred / Number of stations) × 100

Date	No. st.	St. occurred	Ratio (%)
May 2009	9	9	100
June 2012	9	9	100
April 2013	9	9	100
Nov. 2014	9	9	100
April 2015	9	7	77
Sum	45	43	95

∅ 이상의 시료는 다단계 체질법 (serial sieve shaking method) 으로 입도를 분석하였으며, 그 결과는 평균입도 (Mz) 로 나타내었다. 또한 별도 채취된 퇴적물 내 유기물 농도 (TOC, 총유기탄소량과 TN, 총질소량) 는 CHN Analyzer (FlashEA-1112, USA) 를 이용하여 분석하였다.

**3. 자료의 통계분석**

획득된 생물 변수 값은 그대로 합산 (data pooling) 하여 분석에 사용된 반면, 측정과정에서 오차발생 가능성이 존재하는 퇴적물의 환경 변수들은 모든 정점과 년도 별 값들을 합산한 상태에서 컴퓨터 통계분석 프로그램 (Minitab; Leverage, Cook's D and D Fits) 을 이용하여 획득 자료의 극단치 (extreme outlier) 를 제거한 후 사용하였다. 극단치가 제거된 생물 및 환경 변수 값들 사이의 상관관계 분석은 컴퓨터 통계 분석 프로그램 (Excel, Person's correlation analysis) 을 이용하여 분석하였으며, 분석 결과는 해당 변수들 간의 유의수준 (p-value) 과 함께 제시하였다.

**결 과**

**1. 군집구조**

분류군별 출현양상에 있어서 3개 분류군 (무관강, 복족강 및 이매패강) 에 속하는 총 16종의 연체동물들이 출현하였으며,

분류군별 출현 종수에 있어서는 이매패류에 속하는 종이 총 9 종 (56.3%) 으로 종 다양성에 있어서 가장 우점적인 분류군으로 나타났다 (Table 2). 출현 분류군별 개체 수에 있어서도 출현 종수에서 가장 우점적인 분류군이었던 이매패류가 총 16,105개체 (99.8%) 출현하여 동해 심해저에 서식하는 전체 연체동물 중 가장 높은 상대적 밀도를 나타내었다 (Table 2).

특히, 동해 심해저에서 출현한 총 16종의 연체동물 중에서 개체 수 기준 최우점종은 소형 이매패류인 말발조개 (*Thyasira tokunagai*), 13,334개체 (82.6%) (Table 2) 였으며, 차우점종 역시 이매패류인 꼬마반달조개 (*Yoldiella philippiana*) 2,562개체 (15.9%) (Table 2) 였다. 이들 말발조개와 꼬마반달조개들은 조사기간 전체에서 매년 개체 수 기준 가장 우점적인 종들로 출현하였다 (Table 2). 최우점종으로 출현한 말발조개의 경우, 매년 조사된 총 9개씩의 정점 중, 매년 모든 정점에서 출현하여 (단, 2015년의 경우에만 7개 정점에서 출현) 전체적으로 출현률 95%를 나타냄으로서 동해 심해저 저서생물 중 지리적으로나 서식밀도에 있어서 가장 우점적인 종이 확인되었다 (Tables 2-4).

**2. 환경과 군집구조의 상관성**

**1) 수심**

연구 대상 수심 (Table 1) 인 1,600-2,000 m 사이의 경우, 수심별 상대적 종 다양성과 서식밀도가 수심 1,600 m에서 가

**Table 5.** Number of molluscan species and individuals (per 0.24m<sup>2</sup>) observed at each station at different sampling depths in the East Sea, Korea for 5 years. Numbers in parentheses indicate the number of individual species

Depth(m)/ Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sum
1,600						9 (947)	1 (100)	1 (445)	3 (511)	9 (2,003)
1,700					9 (225)					9 (225)
1,800	3 (120)			2 (219)						3 (339)
2,000		2 (526)	4 (137)							4 (663)
Sum	3 (120)	2 (526)	4 (137)	2 (219)	9 (225)	9 (947)	1 (100)	1 (445)	3 (511)	16 (3,230)

**Table 6.** Relationship between biological and physico-chemical variables of molluscan species observed in the East Sea, Korea for the study period. Data collected from sampling stations was used

Variables	Mean phi	Depth	TOC	TN
Abundance	0.028	- 0.386*	0.478**	0.364*
Biomass	- 0.013	- 0.335*	0.483**	0.377*

\*: p < 0.05, \*\* p < 0.01

**Table 7.** Correlations between abundance (A.) and biomass (B.) of two dominant species (T.: *Thyasira tokunagai*, Y.: *Yoldiella philippiana*), and four physico-chemical variables in the East Sea, Korea for the study period. Data collected from sampling stations was used

Variable	Mean phi	Depth	TOC	TN
T.A.	- 0.193	- 0.041	- 0.009	0.072
T.B.	- 0.161	- 0.024	- 0.016	0.037
Y.A.	- 0.120	- 0.125	- 0.055	0.154
Y.B.	- 0.118	- 0.128	0.066	0.024

장 높게 (9종 및 2,003개체/0.24m<sup>2</sup>) 나타났다. 반면, 수심 1,700 m에서 상대적 종 다양성은 수심 1,600 m에서와 동일한 높은 값 (9종) 을 나타내었으나, 서식밀도에 있어서는 총 4 개 수심 중 가장 낮은 값을 나타내었다 (225개체/0.24m<sup>2</sup>). 수심 1,800 m에서의 경우, 단 3종만이 출현하여 총 4개 수심 중 상대적 종 다양성이 가장 낮은 것으로 나타났다 (Table 5).

총 개체수 ( $r = - 0.386$ ) 와 총 생체량 ( $r = - 0.335$ ) 은 수심이 깊어질수록 감소하였으나 ( $p < 0.05$ ), 매년 모든 정점에서 우점적으로 출현한 말발조개와 꼬마반달조개의 개체수와 생체량은 수심과 유의한 상관성이 없었다 ( $p > 0.05$ , Table 6-7).

**2) 유기물 농도**

총 개체수 (TOC:  $r = 0.478$  ( $p < 0.01$ ), TN:  $r = 0.364$  ( $p < 0.05$ )) 와 총 생체량 (TOC:  $r = 0.483$  ( $p < 0.01$ ), TN:  $r = 0.377$  ( $p < 0.05$ )) 은 유기물 함량이 증가할수록 증가하였으나, 우점적으로 출현한 말발조개와 꼬마반달조개의 개체수와 생체량은 유기물 농도와 유의한 상관관계를 나타내지 않았다

( $p > 0.05$ , Table 6-7).

**고 찰**

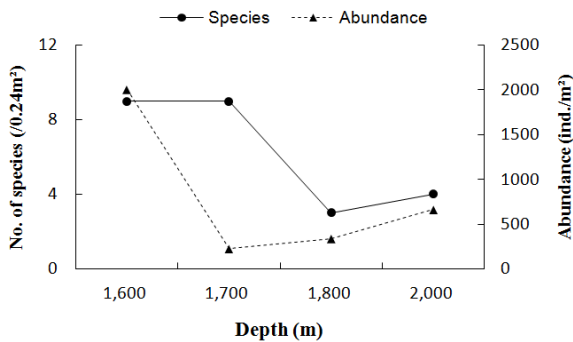
동해 심해저에 서식하는 연체동물의 경우, 종 다양성 (출현 종 수) 은 수심의 변화와는 유의한 상관성이 없는 것 ( $p > 0.05$ , Person's correlation analysis) 으로 나타났다. 그러나, 대서양 북동해역 심해저 저서동물을 연구한 Olabarria (2005) 는 '수심과 종 다양성은 반비례 함'을 보고하였다. 이처럼 지리적으로 격리된 동해와 대서양 사이에서 나타나는 심해 저서동물들의 수심변화에 따른 서로 다른 출현 양상 (종 다양성) 은 아마도 수백에서 수천 미터 (m) 의 환경 차이를 하나의 규모로 생각하는 큰 규모로서의 분포양상에 대한 판단과 결론으로 생각된다. 동해에서의 연구처럼 100 m 단위의 비교적 소규모 환경 변화를 기준으로 한 수심별 변화양상을 살펴보면 수심 1,700 m에서 수심 1,800 m로 깊어지면서는 Olabarria (2005) 의 연구결과와 동일한 현상을 나타내지만 (9종  $\Rightarrow$  3

**Table 8.** Biological and geo-chemical variables observed at each station (per 0.24m<sup>2</sup> in biological variables) in the East Sea, Korea for the study period. Data (mean value) collected for 5 years was used. Numbers in parentheses represent standard deviation. Spp.: number of species, Abun.: abundance, Bio.: biomass (wet weight), Dom. sp.: dominant species, Y.p.: *Yoldiella philippiana*, T.t.: *Thyasira tokunagai*, Phi: sediment grain size, Dep.: depth, TOC: total organic contents, TN: total nitrogen

Variable	Station								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spp./0.24m <sup>2</sup> )	3 (0.7)	2 (0.5)	4 (0.0)	2 (0.4)	9 (0.9)	9 (1.1)	1 (0.4)	1 (0.0)	3 (0.5)
Abun. (/m <sup>2</sup> )	119.9 (68.2)	525.7 (479.3)	136.6 (74.2)	218.6 (151.3)	225.0 (129.4)	947.4 (516.9)	99.6 (156.2)	444.6 (365.4)	510.5 (363.4)
Bio. (g/m <sup>2</sup> )	0.61 (0.38)	4.48 (4.59)	0.86 (0.47)	0.94 (0.97)	1.07 (0.54)	24.60 (44.06)	0.77 (1.17)	2.04 (1.40)	2.26 (1.82)
Dom. sp.	Y.p.	T.t.	Y.p.	Y.p.	Y.p.	T.t.	T.t.	T.t.	T.t.
Phi (φ)	8.36 (2.06)	9.05 (0.57)	7.93 (1.98)	9.20 (0.50)	8.10 (2.09)	9.02 (0.77)	7.37 (2.26)	8.96 (0.79)	7.19 (2.78)
TOC (%)	2.10 (1.00)	2.80 (1.38)	2.07 (1.06)	2.30 (1.10)	1.94 (0.93)	1.93 (1.18)	2.07 (1.54)	2.68 (1.31)	2.82 (1.42)
TN (%)	0.70 (0.78)	1.03 (1.30)	0.86 (1.16)	0.79 (0.90)	0.65 (0.73)	0.93 (1.40)	0.50 (0.43)	0.94 (1.22)	0.84 (0.92)

중), 다시 수심이 깊어지면서는 (1,800 m에서 2,000 m로) 비록 적은 차이지만 종수가 증가하는 현상을 나타내고 있다 (Table 5, Fig. 2). 그러나, 동해 심해저에 서식하는 저서동물들의 분포양상과 수심과의 상관성을 제시하기에는 본 연구의 대상이 단 4개 수심이라는 사실과 수심별 상관분석의 대상이 되는 생물변수의 수 (n) 가 최대 36에서 최소 9 밖에 되지 않는다는 사실 (Table 5) 로 미루어 동해 심해저 저서동물 분포양상과 수심과의 전체적인 상관성을 제시하기에는 변수의 수 (n) 에 있어서 매우 부족하다고 생각된다. 또한, 심해저 저서동물의 분포양상에 대한 대부분의 연구결과들은 우점적인 다모류와 갑각류 그리고 일부 이매패류 (Gage and Tayler, 1991) 를 대상으로 한 분석인 것에 비하여 본 연구에서는 이매패류를 포함한 전체 저서동물의 Minor group인 연체동물만을 대상으로 함에 따라 나타나는 차이일 가능성도 배제할 수가 없다.

변수의 수가 부족하며, Minor group인 연체동물만을 대상



**Fig. 2.** Patterns of abundance and number of molluscan species found in the deep-sea of the East Sea as a function of water depths where samples were collected.

으로 하였음에도 불구하고 동해 심해저 연체동물 서식밀도 (출현 개체 수) 와 생체량은 수심과 통계적으로 유의한 부의 상관관계 (negative correlation,  $p < 0.05$ ) 를 나타내었다 (Table 6). 서식밀도와 생체량이 수심과 반비례하는 현상은 Zenkevitch (1961) 가 수심 5,000 m의 Kuril-Kamchatka Trench에 서식하는 저서동물들에 대한 연구결과로 보고한 현상과 일치하고 있다. 그러나, 수심별 서식밀도와 생체량 자료들을 통합하여 수심과의 전체적인 상관관계를 분석한 본 연구 결과는 Zenkevitch (1961) 의 연구결과와 일치할지라도 본 연구결과를 100-200 m 단위 수심으로 살펴 본 결과의 서식밀도에 있어서는 수심에 따른 일정한 변화양상을 언급하기에 무리가 있다 (Fig. 2). 심해 저서동물 생체량이 수심에 따라 감소하는 이유에 대하여 Zenkevitch (1961) 는 수괴 일차생산성의 감소와 육지로부터의 유기물 유입 저감을 제시하였으나, 본 연구의 대상이 된 동해 해역은 유기물 농도가 비교적 높은 해역으로 (TOC 1.93-2.82%, Table 8), Zenkevitch (1961) 가 제시한 이유 중 하나인 ‘육지로부터의 유기물 유입 저감’에 의한 결과는 아닌 것으로 생각된다.

동해 심해저 저서동물 중 최우점종으로 출현한 말발조개 (*Thyasira tokunagai*) 는 체내에 화학합성 미생물 (chemosynthetic microbe) 이 공생하는 혼합영양형 (mixotrophic) (Kiyashko et al., 1997) 소형 이매패류 (Rojemarijn et al., 2011) 로서 유기물 농도가 높은 해저에 우점적으로 출현한다 (Khan et al., 1995). 비록 본 연구에서는 말발조개가 동해 심해저 수심 2,000 m 전후에서 우점적으로 출현하였지만 유기물 농도가 비교적 높은 (TOC 1.0-5.0%) (Seo et al., 2009) 비교적 수심이 얇은 동해 남부 근해역 (수심 100 m 이내)이나 평균 수심 80 m 전후의 황해 중부해역 (Je et al., 1988) 에서도 상당수가 출현하고 있다. 따라서, 혼합영양형인 말발조개는 수심이나

다른 환경 요인보다는 퇴적물 내 유기물 농도가 이들의 분포와 생존에 중요한 요인으로 작용하는 것으로 생각된다. 그러나, 본 연구의 최우점종인 말발조개의 서식밀도와 생체량이 동해 심해저에서는 유기물량 (TOC, TN) 과 유의한 상관관계를 보이지 않았다 (Table 7). 따라서, 비교적 유기물 농도가 높은 해저에서 우점적으로 출현하는 말발조개가 수심 또는 유기물 농도 또는 현재로서는 알 수 없는 또 다른 환경요인과 어떠한 상관성을 갖는지에 대한 결론에 이르기 위해서는 향후 보다 많은 상관성 연구들이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

## 사 사

이 연구는 해양수산부의 ‘해양투기종합관리시스템 (2015)’ 용역의 지원에 의해 수행되었습니다. 연구용역 수행과정에서 다양한 지원을 아끼지 않으신 정 창수 박사님 (KISOT) 과 원 고의 국문 교정과정에서 도움을 주신 김 현정 박사님 (해양생태기술연구소), 영문 교정과정에 도움을 주신 이 상진 박사님 (해양생태기술연구소) 그리고, 원자료가 논문에 이용될 수 있 기까지 전체적인 자료정리에 많은 도움을 주신 김 진희 박사님 (해양생태기술연구소) 께 깊은 감사를 드립니다.

## REFERENCES

- Allen, J.A. (1998) The deep-water species of *Dacrydium* Torell, 1859 (Dacrydiinae: Mytilidae: Bivalvia) of the Atlantic. *Malacologia*, **1-2**: 1-36.
- Allen, J.A. and Morgan, R. (1981) The functional morphology of the families Cuspidariidae and Poromyidae (Mollusca: Bivalvia) of the abyssal Atlantic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **B291**: 413-546.
- Brandt, A., Elsner, N.O., Malyutina, M.V., Brenke, N., Golovan, O.A. and Lavrenteva, A.V. (2015) Abyssal macrofauna of the Kuril-Kamchatka Trench area (Northwest Pacific) collected by means of camera-epibenthic sledge. *Deep-Sea Research II*, **111**: 175-187.
- Choi, J.W. (2015) Benthic Animals. *In*: Oceanography of the East Sea (Japan Sea) (ed. by Chang, K.I., Zhang, C.I., Park, C., Kang, D.J., Ju, S.J., Lee, S.H. and Wimbush, M.), pp. 347-372, Springer, New York.
- Chung, C.S., Son, M.H., Kim, P.J., Kim, Y.I. and Choi, J.W. (2016) Establishment of Comprehensive Management System for Disposal of Waste Materials (XII). Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong, 860 pp.
- Gage, J.D. and Tyler, P.A. (1991) Deep-sea Biology: a Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor. 181 pp., Cambridge University Press, Cambridge.
- Je, J.G., Yi, S.K. and Choi, J.W. (1988) Distribution pattern of benthic molluscs on the soft bottoms of the southeastern Yellow Sea. *Ocean Research*, **10**: 17-27.
- Kamenev, G.M. (2013) Species composition and distribution of bivalves in bathyal and abyssal depths of the Sea of Japan. *Deep-Sea Research II*, **86-87**: 124-139.
- Khan, M.R. and Garwood, P.R. (1995) Effects of dumping sewage sludge on the infauna along a transect off the coast of Northumberland, England. *Pakistan Journal of Zoology*, **27**: 229-232.
- Kiyashko, S.I., Chernyaev, M.G. and Rodionov, I.A. (1997) Mixotrophy in shallow-water bivalve molluscs with bacterial endosymbionts: data on stable carbon isotope ratios. *Russian Journal of Aquatic Ecology*, **6**: 53-57.
- Knudsen, J. (1970) The systematics and biology of abyssal and hardal bivalvia. *Galathea Report*, **11**: 241.
- Krylova, E.M. and Sahling, H. (2010) Vesicomidae (Bivalvia): current taxonomy and distribution. *PLoS ONE*(4). doi:10.1371/journal.pone.0009957.
- Olabarria, C. (2005) Patterns of bathymetric zonation of bivalves in the Porcupine Seabight and adjacent abyssal plain, NE Atlantic. *Deep-Sea Research I*, **52**: 15-31.
- Rowe, G.T. (1983) Deep-sea Biology: The Sea, vol. 8 (ed. by Rowe, G.T.), 574 pp, Harvard University Press, Massachusetts.
- Rozemarijn, K., Christoffer, S., Anders, K.J. and Endre, W. (2011) Ecology of twelve species of Thyasiridae (Mollusca: Bivalvia). *Marine Pollution Bulletin*, **62**: 786-791.
- Sanders, H.L. (1958) Marine benthic diversity: a comparative study. *American Naturalist*, **162**: 243-282.
- Seo, I.S., Moon, H.T., Choi, B.M., Kim, M.H., Kim, D.I., Yun, J.S., Byun, J.Y., Choi, C.H. and Son, M.H. (2009) Community structure of macrobenthic assemblages around the Wolsong nuclear power plant, East Sea of Korea. *Korean Journal of Environmental Biology*, **27**: 341-352.
- Seo, J.Y., Lee, J.S. and Choi, J.W. (2013) Distribution patterns of opportunistic molluscan species in Korean waters. *Korean Journal of Environmental Biology*, **31**: 1-9.
- Tyler, P. (2002) Deep-sea eukaryote ecology of the semi-isolated basins off Japan. *Journal of Oceanography*, **58**: 333-341.
- Zenkevich, L.A. (1961) Certain quantitative characteristics of the pelagic and bottom life of the ocean. *In*: Oceanography (ed. by Sears, M.), pp. 323-335, Publication no. 67, AAAS, Washington DC.