Article

표영생물이 동중국해 주변 해역과 대한해협에 대형저서동물 군집에 미치는 영향 파악을 위한 선행 연구

유옥환^{1*} · 백상규¹ · 이형곤¹ · 강창근² · 김동성¹ · 이재학¹ · 김웅서³

¹한국해양연구원 해양생물자원연구부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29

²부산대학교 생명과학부
(609-735) 부산광역시 금정구 장전동 산 30

³한국해양연구원 여수엑스포 지원TFT
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29

A Preliminary Study of the Effect of Pelagic Organisms on the Macrobenthic Community in the Adjacent East China Sea and Korea Strait

Ok Hwan Yu^{1*}, Sang-Gyu Paik¹, Hyung-Gon Lee¹, Chang-Keun Kang²,
Dong-Sung Kim¹, Jae-Hac Lee¹, and Wong Seo Kim³

¹Marine Living Resources Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

²Division of Biological Sciences
Pusan National University, Busan 609-735, Korea

³Yeosu Exposition Supporting Task Force Team, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : Despite the impacts of the climate changes on the pelagic ecosystem, few studies have examined the pelagic-benthic coupling in the adjacent East China Sea and Korea Strait. Therefore, the species composition and abundance of the macrobenthic community, as well as the potential food sources of benthic fauna were investigated in the present study using stable isotope analysis ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) for suspended particulate organic matter (SPOM), sedimentary organic matter (SOM), phytoplankton, and zooplankton. A total of 157 macrobenthic fauna were collected, and the density of the macrobenthic fauna ranged from 4 to 434 ind./0.25 m², with an average density of 149 ind./0.25 m². The density of the benthic fauna increased moving from offshore shelf sites to coastal sites adjacent to the Korea Strait. Cluster analysis showed that the macrobenthic communities consisted of three distinct groups: group A in the Korea Strait, group B in the East China Sea, and group C near Jeodo. The dominant species in group A were the amphipods *Photis japonica* and *Ampelisca miharaensis*, followed by the polychaete *Scolotoma longifolia*. Environmental variables, such as the temperature of the seawater and sediment, and oxygen, and chlorophyll *a* levels, appeared to affect the structure of the community, suggesting the importance of coupling with the pelagic system. The $\delta^{13}\text{C}$ values of SPOM and zooplankton ranged from -22.97 to -23.5‰ and -19.92 to -21.86‰, respectively, showing a relatively narrow range (<1‰) between the two components. The difference between the $\delta^{13}\text{C}$ values of SOM and pelagic organic matter was also within 1‰, suggesting that the SOM originated from the pelagic system, which is an important factor controlling the macrobenthic community.

Key words : macrobenthos, feeding type, stable isotope analysis, East China Sea

*Corresponding author. E-mail : ohyu@kordi.re.kr

1. 서 론

동중국해는 수심이 200 m 미만의 대륙붕으로 구성되어 있고, 북서태평양 기원의 고온고염수인 쿠로시오를 한반도 주변해로 전달하며 한반도 해양환경에 큰 영향을 주고 있다(한국해양연구원 2007). 특히 동중국해는 지구온난화에 따른 북서태평양의 환경변화가 한반도에 미치는 영향을 파악하는데 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 더군다나 중국 양쯔강에서 나오는 다량의 부유물질 및 저염수 등으로 인한 인위적인 환경변화는 동중국해 및 한반도 주변해역의 부유생태계에 많은 영향을 주고 있지만(Ning et al. 1988; Hama et al. 1997; Lee et al. 1999; 해양수산부 2006; Kim et al. 2006), 저서생태계에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 적다(Aller and Aller 1986).

저서생태계를 구성하는 저서동물은 표영생태계의 어류 및 플랑크톤에 비해 이동능력이 매우 작아 일시적인 환경변화에 쉽게 반응하지 않고 조사 시기에 영향을 받지 않기 때문에 장기적인 환경변화를 관측하는데 매우 유용하게 이용되고 있다(Gray 1981; Alden III et al. 1997). 일반적으로 대형저서동물은 수심이 증가할수록 개체가 감소하는 것으로 알려지고 있다(Rex et al. 2000; Van Hoey et al. 2004). 이와 같은 분포에 영향을 주는 요인으로는 수온 감소와 표영생태계의 일차생산력 및 총유기물(TOC), 입자성유기물(POM)의 제한된 먹이 공급 등이 제안되었으나, 아직까지 명확하지 않다. 최근에 저서동물의 종 조성 및 분포는 물리적 요인과 생물학적 요인 등이 복합적으로 나타나며, 이런 경향은 지역별로 다양한 것으로 알려져 있다(Hecker 1990; Schaff et al. 1992). 동중국해 및 한반도 주변해역은 쿠로시오 해류와 양쯔강 등의 영향으로 해양 환경이 안정하지 않는 지역으로(Milliman et al. 1985; Rhoads et al. 1985), 이곳에 살고 있는 대형저서동물도 주변 환경의 영향을 받을 것으로 여겨지지만 이에 대한 연구는 거의 시행되지 않았다(Rhoads et al. 1985).

저서동물의 먹이는 표층기원 유기물과 저층기원 유기물에 의해 구분될 수 있으며, 연안역을 제외한 대양에서의 저서동물 먹이원은 대부분 표층기원 유기물에 의해 공급되는 것으로 밝혀졌다(Kojima and Ohta 1989; Smith et al. 2001; Briones 2003). 이와 같이 저서동물의 먹이 기원을 파악하기 위해 저서동물의 위 내용물 분석과 저서동물 생체 내에 함유하는 안정동위원소 분석 등이 사용되고 있다. 위 내용물 분석은 저서동물의 장내에 소화되지 않은 먹이를 분석하기 때문에, 많은 시료를 통한 주기적인 분석을 하여야 한다. 따라서 시료채취에 어려움이 있는 근해 및 심해 대형저서동물을 분석하기에는 많은 어려움이 있다. 반면에 생체내의 안정동위원소($\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$) 분석은 적은 양의 시료를 통해서 생물이 섭취한 먹이 기원 및 각

생물의 영양단계를 파악할 수 있기 때문에 최근에 많이 활용되고 있다(Fry and Sherr 1984; Kang et al. 2003).

본 연구에서는 동중국해 주변 해역과 대한해협에 서식하는 대형저서동물의 종 조성 및 군집구조 분석과 안정동위원소 분석을 통한 대형저서동물의 먹이원으로 이용될 수 있는 표영생물의 영향을 파악하기 위한 선행 연구로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

대형저서동물의 종 조성 및 군집구조

대형저서동물은 2006년 9월 28일부터 9월 30일 사이에 동중국해 주변 해역과 대한해협에서 상자형 시료채취기(Box corer, 0.25 m²)를 이용하여 채집하였다(Fig. 1). 대형저서동물은 채취기 안의 퇴적물을 망목 0.5 mm 체(sieve)에 걸러 체에 남은 시료를 알코올로 고정한 후, 실험실에서 생물을 선별하여 광학 현미경으로 동정 및 계수하였다. 수층환경요인인 염분, 수온, 용존산소는 CTD를 이용하여 전 수층에서 측정되었다. 표층의 Chl *a*와 동물플랑크톤(>200 μm) 생체량은 본 연구와 동일한 조사기간에 분석된 자료를 이용하였다(한국해양연구원 2007). 퇴적환경요인 분석을 위해 퇴적물 온도는 현장에서 측정되었고, 퇴적물의 입도와 유기물 분석을 위해 시료를 냉동 보관한 후, 실험실에서 분석하였다.

대형저서동물의 군집분석을 위한 지표로서 Shannon and Weaver(1963)의 종 다양성 지수(Diversity index, H')와 Pielou의 균등도 지수(Evenness index, J')를 분석하였다. 각 지역에 출현한 종수와 밀도의 유의한 차이를 파악하기 위해 one way ANOVA 분석을 실시하였다(SigmaStat

Fig. 1. Location of the study area and sampling sites in the northern East China Sea and Korea Strait.

3.0, SPSS Inc.). 또한, 각 정점에서의 k -dominance curve를 구하여 저서생태계의 안정성을 평가하였다. 정점별 종조성과 그에 따른 지역별 유사도 측정을 위해 정점별 총출현 개체수를 4th root transportation하여 Bray-Curtis의 유사도 지수를 구하였고, 집괴분석을 실시하였다(Clarke, 1993). 집괴분석과 동시에 SIMPROF(similarity profile permutation test) 분석을 하여 집괴분석 결과의 유의성을 검증하였다. 각 정점에서 유사도에 영향을 미치는 저서동물을 파악하기 위해 SIMPER(similarity-percentages procedure) 분석을 실시하였다(Primer 6.0, Primer-E Ltd.). 저서동물의 공간분포에 영향을 끼치는 환경요인(퇴적물 입도, 수층의 수온, 염분, 용존산소, Chl a , 동물플랑크톤 생체량 등)을 파악하기 위해 BIO-ENV(Biota-environment matching using step algorithm) 분석을 실시하였으며(Clarke and Ainsworth, 1993), BIO-ENV 분석에 의한 최상의 환경요인과 저서동물 군집 간의 유의성 검증을 위해 Relate test($P < 0.05$)를 실시하였다(Clarke and Warwick, 1994).

저서동물의 먹이원 및 섭식구조 분석

대형저서동물의 먹이원 분석은 2007년 9월 27일부터 10월 17일 사이 동안에 채집된 시료를 이용하여 수행되었다(Table 1). 저서동물의 먹이 기원 파악을 위하여 예상되는 잠재 먹이원인 해수 표층에서의 입자성유기물(SPOM) 및 퇴적물입자성유기물(SOM), 식물플랑크톤, 동물플랑크톤을 채집한 후, 실험실에서 분석 전까지 냉동 보관하였다. 또한, 각 정점에서 상자형 시료채취기를 이용하여 채집된 대형저서동물 및 초대형저서동물들의 동위원소 분석을 위해 일부 시료들을 분리하여 냉동 보관하였다. 표층의 SPOM은 각 조사정점에서 표층 해수 약 30 l를 채취하여 현장에서 유기물이 제거된 GF/F(47 μ m)로 여과하여 농축하였으며, 퇴적물의 SOM은 저서동물 채집 시 사용된

Box Core의 표층퇴적물을 채취하였다. 동·식물플랑크톤은 플랑크톤네트(동물플랑크톤, 망목 200 μ m; 식물플랑크톤, 망목 20 μ m)를 이용하여 표층에서 약 150 m 깊이까지 수직 채집되었다.

각 시료의 안정동위원소 조성은 CNS 원소분석기(Euro EA 3000, Milano, Italy)와 연결된 안정동위원소 질량분석기(CF-IRMS, GV Isoprime, Manchester, UK.)를 이용하여 분석되었다. 저서동물 및 잠재 먹이원이 가지는 안정동위원소 비 값은 다음과 같이 표준물질에 대한 시료의 비 값 변위를 천분율(‰)로 나타내어 기호(δ)로 표현하였다: $\delta X = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$, 여기서 $X = {}^{13}\text{C}$, ${}^{15}\text{N}$, $R = {}^{13}\text{C} : {}^{12}\text{C}$, ${}^{15}\text{N} : {}^{14}\text{N}$ 이다.

분석에 사용된 표준물질은 국제 표준기준에 따라 탄소는 PDB(Pee Dee Belmnte), 질소는 air N_2 를 사용하였고, 채집된 시료의 동위원소분석을 위해서는 원소분석기의 온도를 1,030°C로 조절하여 모든 유기물을 완전 연소시킨 후 헬륨(He)을 유도기체로 사용하여 CO_2 와 N_2 기체를 안정동위원소 질량분석기에 주입하였다. 한편, 시료 분석 전 동위원소 비 값을 알고 있는 IAEA CH-6(sucrose, $\delta^{13}\text{C} = 10.4 \pm 0.2\text{‰}$)와 IAEA-N1(ammonium sulfate, $\delta^{15}\text{N} = +0.4 \pm 0.2\text{‰}$) 사용하여 각각 20회씩 반복 분석하여 IRMS의 정밀도와 재현성을 확인하였고($\text{C}: \pm 0.1\text{‰}$, $\text{N}: \pm 0.2\text{‰}$), 매 10개의 미지시료와 함께 2개의 표준물질 분석을 통하여 정밀도를 확인하였다.

본 연구에서 저서동물의 섭식형태를 크게 6가지, 현탁물식자(Suspension Feeder, SF), 현탁물 및 표층퇴적물 혼합식자(Suspension Feeder-Surface Deposit Feeder, SF-SDF), 표층퇴적물식자(Surface Deposit Feeder, SDF), 표층하퇴적물식자(Sub-surface Deposit Feeder, SSDF), 육식자(Carnivore, C), 그리고 잡식자(Omnivore, O) 등으로 구분하여 분석하였다. 현탁물식자는 수층에서 공급되는 유기물 또는 퇴적물 표층에 쌓여 있는 유기물들을 부유형

Table 1. The position and some environmental variables of each sampling site where macrobenthic fauna were collected in 2006 and 2007

Site	Date	Latitude (N)	Longitude (E)	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	Mean grain size (ϕ)	TOC (%)
06-36	28/09/2006	30°31.66	125°55.86	79.0	20.7	33.9	5.9	1.65
06-37	28/09/2006	31°29.93	126°14.55	85.0	18.1	33.7	6.8	1.43
06-38	29/09/2006	32°05.25	125°19.60	60.6	21.7	33.8	7.2	1.32
06-39	29/29/2006	32°15.49	127°09.99	135.1	15.1	34.3	4.8	3.36
06-40	29/09/2006	33°18.91	127°40.96	128.1	16.8	34.2	4.2	4.44
06-41	30/09/2006	34°10.24	128°25.90	89.7	15.8	33.1	6.1	2.62
07-28	14/10/2007	28°07.31	126°09.76	136.0	19.7	34.3	4.7	2.52
07-32	15/10/2007	30°45.38	125°48.34	68.0	22.8	33.9	8.6	1.37
07-33	15/10/2007	31°28.83	126°15.63	69.0	21.8	34.3	8.8	1.51
07-35	16/10/2007	33°10.46	127°35.64	142.0	19.7	34.2	3.8	3.02

태로 섭식하는 형태이며, 표층퇴적물식자는 퇴적물 바닥에 있는 먹이를 입을 통해 직접 섭식하는 방식으로 퇴적물 표층(2-3 cm 깊이)에서 대부분 먹이를 섭식한다. 현탁물식자 및 표층퇴적물식자는 선택적 퇴적물식자(Facultative Deposit Feeder, FDF)로도 알려졌으며, 환경조건에 따라 섭식방식을 부유물식자 또는 표층퇴적물식자로 전환하며, 이런 섭식형태를 가지는 생물들은 먹이가 광범위하게 분포했을 때 유리하다. 표층퇴적물식자는 퇴적물 속에서 먹이를 섭식하는 형태로, 일반적으로 퇴적물에 구멍을 파서 사는 생물(burrower)들이 해당되며, 최대 30 cm 깊이에서도 먹이를 섭식한다. 본 연구지역에서 출현하는 저서동물의 섭식형태는 지금까지 보고된 논문 및 본 실험실에서 데이터베이스화되어 있는 자료를 근거로 하였으며, 동일 종의 자료가 없는 경우 속(genus) 수준에서 구분하였거나, 일부는 위 내용물을 정성적으로 분석하여 구분하였다.

3. 결 과

해양환경

조사 지역의 수심은 평균 99 m 이하였으며, 동중국해에서 대한해협으로 갈수록 수심은 깊어졌다(Table 1). 퇴적물의 온도는 15-20°C 사이를 보였으며, 수심이 깊어질수록 퇴적물의 온도는 감소하였다. 수층의 염분은 33.1-34.3 psu 범위를 보였다. 퇴적상은 일본 EEZ와 동중국해 사이에 위치한 정점 07-32번과 대한해협에 위치한 정점들(06-39, 06-40, 07-35)이 다른 정점에 비해 상대적으로 조립(50 이하)하였으며, 동중국해에 위치한 정점들의 평균 입도는 60 이상(중립 실트)으로 세립하였다. 특히, 정점 07-28과 07-35의 퇴적물은 70% 이상의 모래를 함유하였다. 모든 정점에서 퇴적물의 분급도(sorting value)는 20 이상으로 낮았으며, 동중국해에서 우리나라 연안으로 갈수록 퇴적물의 표층에 패각들이 증가하여 분급도가 불량하였다. 조사지역의 퇴적물 내 총유기탄소(TOC)는 1.32-4.44% 사이를 보였으며, 동중국해와 대한해협 간에 뚜렷한 차이를 보였다. 동중국해와 이어도기지 근처의 정점에는 평균 1.46%를 나타냈으며, 대한해협에 속하는 정점 06-39와 06-40에서는 평균 3.90%로 동중국해 보다 약 2.7배 증가하였다. 2007년 조사 때에도 2006년도와 비슷하게 동중국해와 대한해협 정점 간 차이를 보였다.

종 조성 및 군집구조

동중국해 및 대한해협에서의 대형저서동물 종 조성 및 군집구조를 파악하기 위해 2006년도 탐사에서 채집된 시료를 정량 분석하였다. 2006년 조사에서 출현한 대형저서동물의 종수는 157종이었고, 평균 밀도는 149개체/0.25 m² 이었다. 대형저서동물 종수는 정점 06-38(6종)을 제외하고

Fig. 2. Number of species, density and diversity recorded at each sampling site in 2006.

는 정점 06-36(36종)에서 정점 06-41(101종)으로 갈수록 종수는 증가하였다(ANOVA, $F=15.28$, $P<0.05$)(Fig. 2). 대형저서동물 개체수의 출현 양상도 종수와 비슷하였다. 우리나라 근해에 속하는 정점 06-41에서의 밀도는 618개체/0.25 m²로, 정점 06-38(31개체/0.25 m²)에 약 20배 이상 높았으며, 정점 간 유의한 차이를 보였다(ANOVA, $F=18.44$, $P<0.05$). 종 다양도는 정점 06-38에서 0.79로 가장 낮았고, 정점 06-41에서 3.86으로 가장 높았다. 그 이외의 정점에서의 종 다양도는 약 2-3사이로 정점 간 유의한 차이는 없었다(ANOVA, $F=0.43$, $P>0.05$).

정점별 출현 분류군은 정점 06-36과 정점 06-41에서 갑각류(단각류 포함)가 전체 출현량의 약 70% 이상 출현하였다(Fig. 3). 반면에 정점 06-37에서는 다모류가 약 60%, 정점 06-38에서는 이매패류가 80% 이상 우점하였다. 우리나라 연안으로 갈수록 갑각류 가운데 우점 분류군인 단각류의 비율이 증가하였다. 총 출현 개체수의 상위 2%에 속하는 우점종은 9종이었으며, 이매패류인 *Laevidentium sominium*이 총 출현량의 10.8%로 가장 우점하였고, 새우

Fig. 3. Frequency of dominant taxa at each sampling site in 2006 (*, Crustacea except in Amphipod).

류인 *Leptochela aculeocaudata*가 8.9%, 단각류 *Photis japonica*가 6.9% 순으로 우점하였다(Table 2). 우점종 가

운데 단각류가 6종으로 다른 분류군에 비해 상대적으로 높았으며, 대부분 우리나라에 가장 근접한 정점 06-41에서 높게 출현하였다. 상위 우점하는 *L. sominium*와 *L. aculeocaudata*는 정점 06-39와 정점 06-36에서 각각 115 개체/0.25 m²와 129개체/0.25 m²로 개체수가 높았으나, 나머지 정점에서는 10개체/0.25 m² 이하로 낮았다. 반면에, 단각류 *P. japonica*, *Ampelisca miharaensis*, *Gammaropsis japonica*와 다모류 *S. longifolia*는 동중국해에서 연안에 가까운 대한해협으로 갈수록 개체수가 증가하였다(Fig. 4).

대형저서동물의 군집구조는 크게 3그룹, 우리나라 근해 및 대한해협 부근에 속하는 정점 06-39, 정점 06-40, 정점 06-41의 그룹(A그룹)과 동중국해 지역의 정점 06-37과 06-36의 그룹(B그룹)과 이어도기지 근처인 정점 38-3으로 구분되었으며(Fig. 5), 각 그룹 간 유의한 차이를 보였다 (SIMPROF test, $P < 0.05$). A그룹의 평균 유사도는 34.3%

Table 2. List of dominant macrobenthic fauna collected in 2006

Taxa	Species	Feeding type	Total	%
Bivalvia	<i>Laevidentalium sominium</i>	C	162	10.8
Decapoda	<i>Leptochela aculeocaudata</i>	C	134	8.9
Amphipoda	<i>Photis japonica</i>	SF-SDF(FDF)	104	6.9
Amphipoda	<i>Ampelisca miharaensis</i>	SF-SDF(FDF)	67	4.4
Polychaeta	<i>Scolotoma longifolia</i>	SSDF(P)	66	4.4
Amphipoda	<i>Gammaropsis japonica</i>	SF-SDF(FDF)	58	3.9
Amphipoda	<i>Byblis japonicus</i>	SF-SDF(FDF)	51	3.4
Amphipoda	<i>Photis longicaudata</i>	SF-SDF(FDF)	50	3.3
Amphipoda	<i>Cerapus tubularis</i>	SF	33	2.2

C: carnivorer; SF: Suspension Feeder; SDF: Surface Deposit Feeder; SSDF: Sub-surface Deposit Feeder

Fig. 4. Density (ind./0.25 m²) of dominant species at each sampling site in 2006.

였으며, 단각류 *P. japonica*, *P. longicaudata* 그리고 다모류 *S. longifolia*가 그룹을 이루는데 각각 29.9%, 11.3%, 7.8%로 높게 기여하였다. B그룹의 평균 유사도는 21.3%였으며, 다모류 *Notomastus latericeus*, *Magelona* sp. *Ophelina acuminata*, *Apoprionospio* sp.가 그룹을 이루는데 각각 18.8%, 12.5%, 9.4%, 9.4%로 높게 기여하였다. A그룹과 B그룹 간의 평균 비유사도는 94.0%로 두 그룹의 종 구성에는 큰 차이가 있었다.

Fig. 5. A dendrogram from the cluster analysis. The sites within broken lines are the significant internal structure tested by similarity profile (SIMPROF) permutation tests.

Fig. 6. K-dominance curves for macrobenthos at 6 sampling sites in 2006.

Table 3. Results of BIO-ENV analysis

No.Var.	Correlation	Best variables combinations
3	0.864	Temperature in Seawater, Oxygen, Chl <i>a</i>
5	0.861	Temperature in Sediment & Seawater, pH, Oxygen, Chl <i>a</i>
4	0.857	Temperature in Sediment & Seawater, Oxygen, Chl <i>a</i>
3	0.839	Temperature in Sediment, Oxygen, Chl <i>a</i>
4	0.825	Temperature in Sediment, Oxygen, Chl <i>a</i> , Biomass of Zooplankton
2	0.814	Temperature in Sediment, Chl <i>a</i>

각 지역에서의 생태계 환경을 평가하기 위하여, K-dominance curve 분석을 실시한 결과, A그룹과 B그룹에 속하는 정점에서 곡선이 완만하여 안정적인 특성을 보였지만, 이어도 부근 지역 정점 38번에서 곡선이 상부에 급격히 증가하여 가장 불안정적인 특성을 보였다(Fig. 6). 대형저서동물 군집구조에 영향을 주는 환경요인을 파악하기 위하여 BIO-ENV 분석을 한 결과, 수층의 온도, 산소농도 및 수층의 Chl *a*의 환경요인들이 대형저서동물의 군집구조에 가장 큰 영향을 주었다(Table 3).

저서동물의 섭식 및 먹이원 분석

본 조사에서 우점하는 *L. sominium*과 *L. aculeocaudata* 종의 섭식은 육식성(Carnivore, C)이었으며, 단각류 *Cerapus tubularis*는 현탁물 및 표층퇴적물 혼합식사를 보였다. 다모류 *Scolotoma longifolia*는 표층퇴적물식사를 가지는 종으로 유기물 오염지표종으로 알려지고 있다. 그 이외의 우점하는 단각류들은 대부분 SF 또는 SDF 특성을 보였다(Table 2). 각 정점에서의 대형저서동물의 섭식특성을 분석한 결과, SF는 정점 06-37에서 13.35%로 가장 높았으며, 정점 06-38에서는 SF를 가지는 종은 출현하지 않았다(Fig. 7). SF와 SF-SDF 종들은 정점 06-39에서 한반도 연안으로 갈수록 출현 비율이 증가하였다. SSDF의 비율은 대부분의 정점에서 10% 이하로 낮았지만, 정점 06-37에서 30.6%로 높았다. C 특성이 있는 대형저서동물의 비율은 정점 06-38에서 86.7%로 매우 높았으며, 정점 06-39에서 한반도 연안으로 갈수록 감소하였다.

저서동물의 먹이 기원 파악을 위하여 예상되는 잠재 먹이원인 해수 표층에서의 SPOM 및 SOM, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤의 탄소 및 질소 안정동위원소 비 값($\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$)을 분석하였다(Table 4). 부유입자유기물(SPOM)의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -22.97‰ 에서 -23.5‰ 사이로, 정점 간 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 식물플랑크톤의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -20.63‰ 에서 -22.85‰ 사이로, 정점 07-33번에서 가장

Fig. 7. Percent proportion of feeding type of macrobenthic fauna at each sampling site in 2006.

Table 4. Values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ for the different trophic compartments of samples from 2007 (–, no detection)

Site	SPOM		Phytoplankton		Zooplankton		SOM	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
07-28	–23.5	0.49	–20.63	–	–21.75	–	–20.87	–
07-32	–22.97	1.91	–20.73	6.73	–21.49	10.01	–21.58	–
07-33	–23.14	–	–22.85	6.82	–21.86	7.71	–21.89	–
07-35	–23.00	–	–20.97	–	–19.92	7.51	–18.78	–

낮았지만, 나머지 정점에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 동물플랑크톤의 $\delta^{13}\text{C}$ 동위원소 값은 정점 07-35 (–19.92‰)를 제외한 정점에서 –21.49‰에서 –21.86‰ 사이를 보였다. 퇴적유기물(SOM)의 경우, $\delta^{13}\text{C}$ 값은 –18.78‰에서 –21.89‰ 사이로 정점 간 표층생태계 내의 부유입자유기물, 식물플랑크톤과 동물플랑크톤 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 1‰ 이내의 차이를 보였다. 각 먹이원의 영양 단계를 파악할 수 있는 안정동위원소 $\delta^{15}\text{N}$ 을 분석한 결과, 식물플랑크톤에서는 분석된 시료의 양이 너무 적어 많은 정점에서 감지되지 않았으나, 일부 정점(정점 07-32, 07-33)에서 6.73‰과 6.82‰ 값을 보였다(Table 4). 동물플랑크톤의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 7.51‰에서 10.01‰ 값 사이였다. 그러나 모든 정점에서 퇴적물 SOM에서의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 감지되지 않았다.

4. 고 찰

동중국해 및 대한해협에서 출현한 대형저서동물은 총 157종이었고, 평균 밀도는 149 개체/0.25 m²이었다. 대형저서동물 종수 및 밀도는 정점 간 뚜렷한 차이를 보여 이어도기지 부근 정점에서 가장 낮았으며, 동중국해, 대한해협 순으로 증가하였다. 연안역에 비해 대륙붕 지역에서의 대형저서동물의 종수와 밀도는 퇴적물과 퇴적물의 재부유 등으로 인한 퇴적물의 안정성 및 먹이 공급과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Gray 1981; Flach *et al.* 1998). 동중국해 지역에서의 대형저서동물의 종수와 밀도가 적은 이유는 양쯔강에서 나오는 부유물질의 영향으로 인한 퇴적물의 세립질화와 관련이 있다고 알려지고 있다(Aller and Aller 1986). 그렇지만, Rhoads *et al.*(1985)은 대형저서동물의 밀도는 서해 퇴적물의 재부유에 의해 감소한다고 했다. 본 연구 지역인 동중국해의 퇴적물 기원은 양쯔강에서 유래된 부유 입자와 밀접한 관련성이 없으며(Tan *et al.* 1991), 겨울 동안 서해 퇴적물의 재부유에 의해 유래된 것으로 제안되었다(Milliman *et al.* 1985). 본 연구에서 동중국해의 퇴적물은 실트와 점토가 95% 이상을 함유한 세립한 상태였지만, 연안으로 갈수록 다양한 퇴적물 조성을 보였다(Table 1). 또한, 연안역에서의 대형저서동물의 종수와 밀도는 퇴적물이 다양한 크기의 입자로

구성됨에 따라 증가한다(Boyden and Little 1973; 유 등 2004). 그러므로 동중국해에서 낮은 대형저서동물의 종수와 밀도는 비슷한 퇴적조성에서 퇴적물의 재부유에 의한 퇴적교란의 영향을 받은 것으로 여겨진다.

또한, 연안에서 외양으로 갈수록 대형저서동물의 종수와 밀도의 급격한 감소는 높은 해류의 흐름(Van Hoey *et al.* 2004)과 수층에서 공급되어지는 먹이 양의 감소(Kojima and Ohta 1989)와 퇴적물 입자크기의 감소(Ruddick *et al.* 1998)와 밀접한 관계가 있다. 또한, 수심이 깊어질수록 먹이가 감소하여 대형저서동물의 종은 퇴적물 식성을 가지는 종보다는 육식성이나 현탁물식성을 가진 종들이 증가한다(Tselepidis *et al.* 2000). 한반도 동해 대륙붕에 서식하는 다모류의 밀도가 수심의 증가에 따라 급격히 감소한 이유는 먹이의 양보다는 저층 수온과 퇴적물 입자크기와 관련이 있다(Choi and Koh 1990). 하지만, 동중국해 남쪽 대륙붕 지역(>70 m)의 대형저서동물의 밀도는 빈영양상태의 쿠로시오에 영향을 받아 감소하였다(Rhoads *et al.* 1985). 본 연구지역(북동중국해)은 쿠로시오와 대륙붕 수가 혼합된 전선역 수괴 특성을 보이며, 표층의 일차생산력이 높은 지역으로, 대한해협과 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다(한국해양연구원 2007). 그러나 퇴적물 내의 총유기탄소의 양은 대한해협보다는 동중국해에서 매우 낮았으며(Table 1), 대형저서동물의 종 조성은 퇴적물 내에서 먹이를 섭식하는 종의 비율이 연안에 비해 매우 낮았다(Fig. 7). 그러므로 대륙붕 지역에서의 대형저서동물의 종 조성 및 밀도는 먹이의 양과 밀접하게 관련된 것으로 여겨진다.

본 연구에서 상위 우점종인 이매패류 *Laevidentarium sominium*와 새우류 *Leptochela aculeocaudata* 등은 특정 지역에서만 개체수가 높았으며, 우점종에 속하는 단각류들과 다모류 *Scolotoma longifolia*의 밀도는 동중국해에서 한반도 연안으로 갈수록 증가하였다. 우점종인 *L. sominium*과 *L. aculeocaudata*는 육식성 섭식 특성을 보였으며, 단각류들과 *S. lonifolia*는 선택적퇴적물식자와 표층하퇴적물식자 특성을 가진다(Table 2). 대륙붕 지역에서의 대형저서동물 종 조성은 퇴적물의 특성 및 유기물 공급(Wijsman *et al.* 1999)과 퇴적물에 따라 다양하다(Rhoads *et al.* 1985). *Laevidentarium*속의 종들은 조간대부터 수심 100 m 이하에서 분포하며 선택적으로 유공충을 섭식하는

육식자로 알려지고 있다(Glover *et al.* 2003). 본 연구에서 *L. sominium*은 이어도기지 주변 정점에서만 극 우점하였으며, 다른 종들은 거의 출현하지 않았다. 이와 같이 육식성 식자를 가지는 우점종들이 동중국해와 이어도기지 근처의 특정 지역에서만 높게 출현하는 것은 불안정한 퇴적 환경 내에서 먹이를 쉽게 얻을 수 있기 때문인 것으로 여겨지며, 앞으로 장기적인 모니터링을 통한 퇴적물 내의 먹이 양과의 상관관계 분석이 필요하다. 또한, 활발한 퇴적물 공급에 따른 높은 퇴적물이 있는 지역에서는 대부분 기회주의 성격이 강한 다모류들이 우점하며, 조립하고 안정화된 퇴적상에서는 다모류 이외의 분류군들이 우점하고 있다(Rhoads *et al.* 1985). 특히 연안 사질퇴적물에서는 단각류의 비율이 증가한다(유 등 2006). 본 연구에서 동중국해역의 대형저서동물은 다모류가 우점하였고, 우리나라 연안으로 갈수록 갑각류 가운데 우점 분류군인 단각류의 비율이 증가하였다(Fig. 3). 그러므로 동중국해에서는 높은 퇴적물에 의한 서식환경의 교란과 세립 퇴적상에 따라 다모류의 비율이 상대적으로 증가하고, 우리나라 연안으로 갈수록 동중국해보다 더욱 안정된 서식환경과 다양한 퇴적상에 따라 다모류 이외의 분류군이 증가한 것으로 여겨진다. 더군다나 대한해협과 우리나라 연안에서는 먹이 조건에 따라 섭식방식을 달리할 수 있는 선택적 퇴적물 식자들과 퇴적물 내에서 먹이를 섭식하는 종들이 증가하여, 동중국해보다는 대한해협과 우리나라 연안의 대형저서동물들이 먹이조건 및 서식환경 등의 환경변화에 쉽게 적응할 수 있을 것으로 여겨진다.

대형저서동물의 군집구조는 크게 우리나라 근해 및 대한해협 부근과 동중국해 지역으로 구분되고, 전자 지역은 단각류 *Photis japonica*, *P. longicaudata* 그리고 다모류 *S. longifolia*에 의해, 후자 지역은 다모류 *Notomastus latericeus*, *Magelona* sp. *Ophelina acuminata*, *Apoprionospio* sp. 등에 의해 구분되었다. 또한 대형저서동물의 군집구조는 수층 및 퇴적물의 온도와 수층의 산소농도 및 Chl *a* 등에 영향을 받았다(Table 3). 연안보다는 외양의 영향을 받는 대양에서 저서동물의 먹이는 대부분 수층으로부터 온 유기물에 기원된다(Goodday 2002). 그렇지만, 대양 수층에 존재하는 유기물의 양은 매우 제한적이기 때문에, 대륙붕이나 대륙사면에 의해 전달되는 먹이가 저서생태계에 중요한 영향을 주고 있다(Smith *et al.* 2001). 동중국해 지역은 대양의 쿠로시오와 양쯔강에서 흘러나오는 육상기원 유기물에 의해 영향을 받는 지역으로 알려지고 있다. 양쯔강에서 흘러나오는 육상기원의 유기물은 외양으로 갈수록 줄어들며 대부분 해양(대양) 기원의 유기물로 구성되어 있다(Tan *et al.* 1991). 일반적으로 소비자의 안정동위원소 비 값은 섭식하는 먹이원의 비 값에 대해서 $\delta^{13}\text{C}$ 값의 경우 1‰ 이내의 분별효과를 가지는 것으로 알려졌다

(DeNiro and Epstein, 1979, 1981; Minagawa and Wada, 1984; Kang *et al.* 2003). 본 조사에서 수층의 입자성 유기물은 양쯔강에서 나오는 입자의 안정동위원소(-26‰에서 -28‰ 사이) 값과 뚜렷한 차이가 있고(Tan *et al.* 1991), 대부분 규조류보다 크기가 작은 피코나 나노크기의 생물로 이루어져 있다. 더군다나 퇴적물내의 유기물 기원을 밝히기 위한 안정동위원소 분석 결과(Table 4), 모든 정점에서 육상기원 유기물보다는 수주(water column) 자체에서 생산되는 유기물로 구성되어, 퇴적유기물은 상부 수주생태계에 기원을 두고 있음을 알 수 있으며, 결과적으로 저층의 퇴적물에서 먹이를 이용하는 대형저서동물들은 수주생태계의 먹이원에 따라 큰 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구지역에서의 대형저서동물 군집 구조는 수층에서 기원된 유기물(식물플랑크톤과 입자성유기물)에 의한 영향을 받고 있으며, 양쯔강에서 나오는 유기물에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다. 그러므로 한반도 주변해의 수층환경 요인이 대형저서동물의 군집구조에 직간접적인 영향을 주고 있음을 예측할 수 있다. 향후 이와 같은 가설을 증명하기 위해서는 이 지역에서 출현하는 저서생물들의 동위원소 분석을 통한 먹이원 분석이 필요할 것으로 여겨진다.

사 사

본 논문을 세심하게 검토해주시고 지적을 해주신 두 분의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다. 또한, 본 연구의 자료 채집과 자료 분석에 많은 도움을 주신 한국해양연구원 R/V 온누리호 승무원들과 노재훈, 강형구, 조진형, 이상훈 박사님께 감사드립니다. 본 연구는 한국해양연구원 일반과제인 “북서태평양이 한반도 주변해(대한해협)에 미치는 영향연구(PP00690)”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 유옥환, 고병설, 이형곤, 이재학. 2004. 인천연안 대형저서동물 군집 변동에 미치는 환경요인의 영향. *J. Kor. Fish. Soc.*, **37**, 423-432.
- 유옥환, 이형곤, 이재학, 김동성. 2006. 경기만에서 해사채취가 대형저서동물 군집구조에 미치는 영향. *Ocean and Polar Res.*, **28**, 129-144.
- 해양수산부. 2006. 산사댐 건설로 인한 남해(동중국해)의 해양환경 영향연구. 한국해양연구원, BSPM 40900-1849-7. 547 p.
- 한국해양연구원. 2007. 북서태평양이 한반도 주변해(대한해협)에 미치는 영향 연구. 한국해양연구원, BSPP 07401-1917-1. 783 p.
- Alden III, R.W., S.B. Weisberg, J.A. Ranstinghe, and D.M.

- Dauer. 1997. Optimizing temporal sampling strategies for benthic environmental monitoring programs. *Mar. Pollut. Bull.*, **34**, 913-922.
- Aller, J.Y. and R.C. Aller. 1986. General characteristics of benthic faunas on the Amazon inner continental shelf with comparison to the shelf off the Changjiang River, East China Sea. *Continental Shelf Res.*, **6**, 291-310.
- Boyden, C.R. and C. Little. 1973. Faunal distribution in soft sediments of the Severn Estuary. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, **1**, 203-214.
- Briones, E.E. 2003. The effect of the 1997-1998 ENSO on the benthic macrofaunal biomass in the southwestern Gulf of Mexico. *Geofisica Internation.*, **42**, 517-522.
- Choi, J.-W. and C.-H. Koh. 1990. Distribution patterns of polychaete worms on the continental shelf and slope of the East Sea (southwestern Sea of Japan), Korea. *J. Ocean. Soc. Korea*, **25**, 36-48.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.*, **18**, 117-143.
- Clarke, K.R. and M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variable. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **92**, 205-219.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick. 1994. Similarity-based testing for community pattern: The 2-way layout with no replication. *Mar. Biol.*, **118**, 167-176.
- DeNiro, N.J. and S. Epstein. 1979. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**, 495-506.
- DeNiro, N.J. and S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **45**, 341-351.
- Flach, E., M. Lavaleye, H. de Stigter, and L. Thomsen. 1998. Feeding types of the benthic community and particle transport across the slope of the N.W. European continental margin (Goban Spur). *Prog. Oceanogr.*, **42**, 209-231.
- Fry, B. and E.B. Sherr. 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Continental Mar. Sci.*, **27**, 13-47.
- Gooday, A.J. 2002. Biological responses to seasonally varying fluxes of organic matter to the ocean floor: A review. *J. Oceanogr.*, **58**, 305-332.
- Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediment. Cambridge University Press, London. 185 p.
- Glover, E., J. Taylor, and J. Whittaker. 2003. Distribution, abundance and foraminiferal diet of an intertidal scaphopod, *Laevidentalium lubricatum*, around the Burrup Peninsula, Dampier, western Australia. p. 225-240. In: *The marine flora and fauna of Dampier, western Australia*, ed. by F.E. Wells, D.I. Walker, and D.S. Jones. Western Australian Museum, Perth.
- Hama, T., K.H. Shin, and N. Handa. 1997. Spatial variability in the primary productivity in the East China Sea and its adjacent waters. *J. Oceanogr.*, **53**, 41-51.
- Hecker, B. 1990. Variation in megafaunal assemblages on the continental margin south of New England. *Deep-Sea Res.*, **37**, 37-57.
- Kang, C.K., J.B. Kim, K.S. Lee, J.B. Kim, P.Y. Lee, and J.S. Hong. 2003. Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **259**, 79-92.
- Kim, D.S., J.H. Shim, and S.J. Yoo. 2006. Seasonal variations in nutrients and Chlorophyll-*a* concentrations in the northern East China Sea. *Ocean Sci. J.*, **41**, 125-137.
- Kojima, S. and S. Ohta. 1989. Patterns of bottom environments and macrobenthos communities along the depth gradient in the bathyal zone off Sanriku, Northwestern Pacific. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **45**, 95-105.
- Lee Chen, Y.L., H.B. Lu, F.K. Shiah, G.C. Gong, K.K. Liu, and J. Kanda. 1999. New production and F-ratio on the continental shelf of the East China Sea: Comparisons between nitrate inputs from the subsurface Kuroshio current and the Changjiang River. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **48**, 59-75.
- Milliman, J.D., R.C. Beardsley, Z.-S. Yang, and R. Limeburner. 1985. Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: Identification and potential transport mechanisms. *Continental Shelf Sci.*, **4**, 175-188.
- Minagawa, M. and E. Wada. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between ^{15}N and animal rate. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 1135-1140.
- Ning, X., D. Vault, Z.H. Liu, and Z. Liu. 1988. Standing stock and production of the Chang Jiang (Yangtze River) and the adjacent East China Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **49**, 141-150.
- Rex, M.A., C.T. Stuart, and G. Coyne. 2000. Latitudinal gradients of species richness in the deep-sea benthos of the North Atlantic. *PNAS*, **97**, 4082-4085.
- Rhoads, D.C., D.F. Boesch, T. Zhican, X. Fengshan, H. Liqiang, and K.J. Nilsen. 1985. Macrobenthos and sedimentary facies on the Changjiang delta platform and adjacent continental shelf, East China Sea. *Continental Shelf Sci.*, **4**, 189-213.

- Ruddick, K., F. Ovidio, D. Van den Eynde, and A. Vasilkov. 1998. The distribution and dynamics of suspended particulate matter in Belgian coastal waters derived from Avhrr imagery. p. 626-629. In: *Proc. 9th Conf. satellite meteorology and oceanography*, Paris, France, May 25-29. American Meteorological Society.
- Schaff, T., L. Levin, N. Blair, D. DeMaster, R. Pope, and S. Boehme. 1992. Spatial heterogeneity of benthos on the Carolina continental slope: Large (100 km)-scale variation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **88**, 143-160.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. 177 p.
- Smith Jr., K.L., R.S. Kaufmann, R.J. Baldwin, and A.F. Carlucci. 2001. Pelagic-benthic coupling in the abyssal eastern North Pacific: An 8-year time-series study of food supply and demand. *Limnol. Oceanogr.*, **46**, 543-556.
- Tan, F.C., D.L. Cai, and J.M. Edmond. 1991. Carbon isotope geochemistry of the Changjiang estuary. *Estur. Coast. Shelf Sci.*, **32**, 395-403.
- Tselepides, A., K.-N. Papadopoulou, D. Podaras, W. Plaiti, and D. Koutsoubas. 2000. Macrobenthic community structure over the continental margin of Crete (South Aegean Sea, NE Mediterranean). *Prog. Oceanogr.*, **46**, 401-428.
- Van Hoey, G., S. Degraer, and M. Vincx. 2004. Macrobenthic community structure of soft-bottom sediments at the Belgian continental shelf. *Estur. Coast. Shelf Sci.*, **59**, 599-613.
- Wijsman, J.W.M., P.M.J. Herman, and M.T. Gomoiu. 1999. Spatial distribution in sediment characteristics and benthic activity on the northwestern Black Sea shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **181**, 25-39.

Received May 13, 2008

Revised Jun. 27, 2008

Accepted Jul. 21, 2008