

Research Paper

진도-제주도 해역에 서식하는 저서다모류의 분포양상과 건강도 지수를 이용한 저서환경 평가

김광배* · 정윤진** · 오정규** · 강 훈*** · 김동영**** ·
이동훈* · 임성률* · 손대선***** · 마재우*****

경기도해양수산자원연구소*, (주)한국생태연구원**, (주)해양정보기술***,
(주)국토해양환경기술단****, 순천향대학교*****

Distribution Patterns of Polychaete Assemblage and Benthic Quality Status Estimated by AMBI in Jindo-Jejudo Subtidal Areas

Kwang-Bae Kim* · Yoon-Jin Jung** · Jeong-Kyu Oh** · Hoon Kang*** ·
Dong-Young Kim**** · Dong-Hoon Lee* · Seong-Ryul Lim* ·
Dae-Sun Son***** · Chae-Woo Ma*****

Gyeonggido Maritime & Fisheries Resources Research Institute*
Korea Ecology Institute Corp**
Marine Information Technology Corp***
Land Ocean Environment Corp****
Soonchunhyang University*****

요약: 본 연구에서는 저서다모류 군집의 구조와 생태학적 건강도를 파악하기 위하여 진도 해역과 제주도 해역에서 각 7개씩 총 14개 정점에서 2010년 8월부터 2012년 9월까지 총 5회에 걸쳐 반기별로 저서다모류 군집조사를 실시하였다. 저서다모류의 서식기질로서 퇴적물의 입도조성을 분석한 결과 진도 해역은 비교적 혼합질 퇴적상을 나타낸 반면 제주도 해역은 모래함량이 높은 것으로 나타났다. 총 14개 정점에서 출현한 저서다모류는 68종, 231 ind./m² 서식밀도를 나타내었으며, 진도 해역에서는 61종, 167 ind./m², 제주도 해역에서는 62종, 295 ind./m²로 나타났다. 시기별로 출현종에는 차이가 있었으며 제주도 해역에서 전반적으로 종수 및 서식밀도가 높게 나타났다. 출현 서식밀도의 자료를 이용하여 우점종을 선정한 결과 진도 해역은 *Heteromastus filiformis*, *Ampharete arctica*, *Prionospio* sp., *Sigambra tentaculata*, *Thelepus* sp. 순으로 나타났다. 반면 제주도 해역은 *Amphicteis gunneri*, *Ampharete arctica*, *Prionospio*

First Author: Kwang-Bae Kim, Tel: +82-31-8008-6517, E-mail: kkb9043@gg.go.kr, ORCID: 0000-0002-9439-376X

Corresponding Author: Chae-Woo Ma, Tel: +82-41-530-1283, E-mail: cwooma@sch.ac.kr, ORCID: 0000-0002-5578-8881

Co-Authors: Yoon-Jin Jung, Tel: +82-63-463-6653, E-mail: jungyj010@naver.com, ORCID: 0000-0001-6081-1030

Jeong-Kyu Oh, Tel: +82-63-463-6653, E-mail: jeong@kunsan.ac.kr, ORCID: 0000-0003-4396-4232

Hoon Kang, Tel: +82-63-469-1871, E-mail: kh1023@hanmail.net, ORCID: 0000-0001-7205-4129

Dong-Young Kim, Tel: +82-31-695-3432, E-mail: zoom0147@hanmail.net, ORCID: 0000-0001-8393-6186

Dong-Hoon Lee, Tel: +82-31-8008-6510, E-mail: leedh27@gg.go.kr, ORCID: 0000-0002-2150-6778

Seong-Ryul Lim, Tel: +82-31-8008-6515, E-mail: cafrio@gg.go.kr, ORCID: 0000-0001-6899-3457

Dae-Sun Son, Tel: +82-41-530-1283, E-mail: dsson@sch.ac.kr, ORCID: 0000-0002-1864-8871

Received: 28 May, 2021. Revised: 15 June, 2021. Accepted: 17 June, 2021

sp., *Spiochaetopterus costarum*, *Heteromastus filiformis* 순으로 나타났다. 종조성과 정점 간 유사도에 근거한 집괴분석 결과 정점 5와 6을 제외한 정점에서 진도 해역과 제주도 해역으로 확연히 구분되었다. AMBI 분석 결과 1.2-3.4의 결과를 보였으며, 모든 정점에서 V 등급 저서다모류는 출현하지 않았다. 따라서 본 연구에서 진도 해역과 제주도 해역은 지리적 위치 및 퇴적상에 따라 저서다모류 군집이 분포하는 것으로 나타났으며, 전반적으로 시공간적인 큰 변동 없이 비교적 안정된 군집을 형성하고 있음을 시사하였다.

주요어: 저서다모류, 진도-제주도, 저서환경, 건강도 지수

Abstract: Assessment of benthic quality status was implemented along the subtidal areas of Jindo and Jeju to understand faunal structure of polychaete assemblages and ecological quality of the benthic environment. Sediment analysis was characterized by well sorted of both mud and sand in Jindo, and a little higher sand in Jeju instead. A total of 68 polychaete species were found at 14 sampling stations with a mean density of 231 inds./m², and 61 species, 167 inds./m² and 62 species, 295 inds./m² in Jindo areas and Jeju areas. Dominant species found in Jindo areas were *Heteromastus filiformis*, *Ampharete arctica*, *Prionospio* sp., *Sigambra tentaculata*, *Thelepus* sp. and *Amphiteis gunneri*, *Ampharete arctica*, *Prionospio* sp., *Spiochaetopterus costarum*, *Heteromastus filiformis* in Jeju. With a help of cluster analysis, it was found that the sampling stations showed distinctive pattern of the distribution pattern and benthic quality status in Jindo and Jeju except sampling station numbers 5 and 6, respectively. AMBI analysis the results were 1.2-3.4, grade V benthic polychaetes did not appear. It was evident that both Jindo and Jeju had different sedimentary characteristics as well as distribution pattern of polychaete assemblages.

Keywords: Polychaete, Jindo-Jeju, Bentic environment, AMBI

I. 서론

저서동물은 해양생물 중 대부분 고착 생활을 하거나 이동성이 매우 적어 저서환경의 변화와 수계환경의 변화에 재빠른 대응이 불가능하고, 대처할 능력이 부족하다. 따라서 저서동물의 군집 구조는 저서 환경의 변화를 유추하고 평가하는 지시자 역할을 한다 (Simboura et al, 1995). 해양의 저서다모류는 해양의 연성저질 저서 생태계에서 가장 많은 비중을 차지하며, 대형 저서동물 군집에서 우점적으로 출현한다 (Fauchald 1977; Grassle et al, 1992; Ward & Hutchings, 1996). 저서다모류는 전 세계적으로 분포하며, 대부분의 저서다모류가 저질의 상층 부분에 서식하기 때문에 저질의 특성, 입도, 유기물의 함량에 따라 독특한 군집을 형성하며 (Fauchald 1974; Conway 1979; Hutchings 1998). 저서 환경에서 발생하는 생물이나 물리 화학적인 변화는 저서다모류

군집의 구조와 기능에 영향을 미친다. 해양 생태계에서 저서다모류는 생활사가 비교적 짧고, 오염 물질이나 유기물의 대량 유입 시 발생하는 환경의 변화에 빠르게 반응하기 때문에 생산력이 높게 나타난다 (Sanders 1958; Harlan 2008). 또한, 여과식자, 육식자, 표층 퇴적물식자 등의 다양한 섭식 유형으로 여러 환경에 적응하여 높은 밀도로 분포하기 때문에 저서 환경을 평가하는 생태 지표종으로 가장 많이 이용된다 (Yoo & Hong 1996). 지금까지 우리나라에서 연구된 생태계 모니터링은 저서동물 군집의 다양성 및 우점종의 출현 등 군집의 일반적인 분석을 하는 연구가 많았다. 그러나 이는 생물 군집의 변화만으로 환경을 평가하기 부족하다는 단점이 있다. 외국의 경우 여러 가지의 환경지수를 이용하여 군집을 더 자세하게 분석하고, 교란에 대한 영향을 분석하는 연구가 많이 이루어졌으며 (Borja et al, 2000), 우리나라에서도 생태계의 건강성을 평가하기 위해 생태 지수를 이

용하는 연구가 많이 증가하고 있는 추세이다. 환경 평가에 이용되는 지수는 대상 해역의 전반적인 환경을 평가하는 Infaunal Trophic Index (ITI; Word 1978), Benthic Pollution Index (BPI; KORDI 1995), Biotic Index (BI), Biotic Coefficient (BC; Borja et al. 2000) 등이 이용되고 있다. 그 중 지표종을 이용하는 AMBI (Azti's Marine Biotic Index)는 Borja et al. (2000)에 의해 처음 제안 되었으며, 공간적으로 오염 원인이 달라도 적용이 가능해 유럽에서 많이 사용되고 있다(Borja et al. 2000, 2003). 본 연구에서는 저서다모류의 시공간 분포 특성을 파악하여 주요 저서환경요인과 비교함으로써 진도와 제주도 해역에 서식하는 저서다모류의 군집구조를 밝히고, 건강도 지수 산출로 전반적인 진도 해역과 제주도 해역의 저서환경을 파악하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 환경요인

진도와 제주도 해역에서 각 7개씩 총 14개 정점에서 2010년 8월부터 2012년 9월까지 총 5회에 걸쳐 반기별로 환경조사를 수행하였다(Figure 1).

수질 항목은 저층(해저면 위 1m)의 수온, 염분, pH, DO를 측정 하였으며, 해양퇴적물 항목으로는 강열감량 농도와 조직학적 특성(평균입도, 분급도, 모래·펄 함량)을 대상으로 해양환경공정시험기준(MLTM 2010)에 의하여 분석하였다.

2. 저서다모류 채집

저서다모류 채집에는 0.1m²의 van Veen grab을 이용하여 매 정점에서 2회씩 정량 채집하였으며, 현장에서 1mm 망목의 체(sieve)로 걸러내어 남은 잔존물을 10% 중성포름알데히드로 고정 후 실험실로 운반하였다. 채집된 저서다모류는 해부현미경(MOTIC, SMZ-168)을 이용하여 동정하였으며, 분류 및 동정은 Fauchald (1977), Light (1978), Paik (1989)등을 이용하였고, 저서다모류의 서식밀도는 단위 면적(m²)으로 환산하였다.

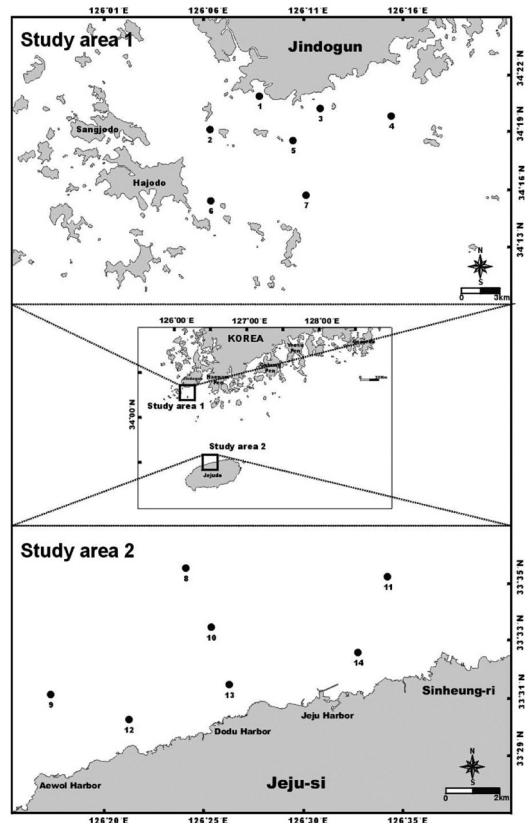


Figure 1. Location of the sampling stations around Jindo and Jeju, in South Korea.

3. 자료분석

저서다모류 군집의 생태학적 특징을 파악하기 위하여 종 다양도 지수(Shannon & Weaver 1963), 균등도 지수(Pielou 1966), 풍부도 지수(Margalef 1958)를 계산하였으며, 저서다모류 군집의 분포와 밀접한 관련이 있는 환경요인을 파악하기 위하여 모든 정점에서 출현한 생물량을 이용하여 Bray-Curtis의 유사도지수를 구하고(Bray & Curtis, 1957), 그 결과 만들어진 유사도 행렬에 기초하여 집괴분석(cluster analysis)을 수행하였다. 또한, 선행된 다변량 분석 결과에서 구분된 정점군들의 대표종을 찾아내기 위해 SIMPER (similarity percentages) 분석을 적용하였으며(Clarke 1993), 모든 통계분석은 프로그램(Primer V 6.0, Primer-E Ltd.)을 계산하였다(Clarke & Warwick 2001).

조사기간 중 출현한 우점종은 정점별 출현밀도와 출현빈도를 이용한 Le Bris Index (Le Bris 1988)를 사용하여 산출하였고, 저서다모류의 분포와 밀접한 관련이 있는 환경요인을 파악하기 위하여 모든 정점에서 출현한 생물량(서식밀도, 우점종 등)과 환경요인(퇴적상, 입도평균, 유기물 함량 등)을 이용하여 분석하였으며, 분석에는 정규성 검정 후 Spearman rank correlation을 이용하여 실시하였다(SPSS 12.0). 또한 저서다모류 군집의 건강도를 평가하고, 저서환경을 오염 정도에 따라 구분하기 위해 AMBI를 산출하였다(Borja et al. 2000, 2003).

III. 결과

1. 환경요인

조사해역의 수온은 평균 15.96–19.74℃의 범위로 진도 해역에서 제주도 해역으로 향할수록 증가하였으며, DO는 8.33–9.40 mg/L의 범위로 수온과 역관계를 보였다. 염분농도는 31.84–32.70 psu, pH는 7.96–8.13의 범위 내외로 차이가 크지 않았고, 퇴적물의 평균 입도는 최소 1.76Φ에서 최대 6.04Φ의 범위에 제주도 해역인 정점 13에서 가장 조립하였고, 진도 해역인 정점 3에서 가장 세립하였다. 분급도는 2.14–4.00Φ의 범위에서 공간적으로 차이가 적었으며, 대부분 지점은 분급이 불량한 퇴적물로 나타났다. 저서다모류의 서식기질로서 퇴적물의 입도조성을 비교한 결과 제주도 해역에 인접한 정점일수록 모래함량이 높았던 반면 진도에 인접한 해역은 비교적 혼합질 퇴적상을 보였다. 퇴적물 조성에 따라 영향을 받는 강열감량은 3.50–5.00%로 조사되었으며, 국외 퇴적물 환경기준과 비교 분석한 결과 15%보다 낮은 농도로 조사되었다(Table 1).

2. 출현종수 및 서식밀도

본 조사해역에서 출현한 저서다모류는 68종, 231 inds./m²로 나타났고, 이를 진도 해역과 제주도 해역으로 구분한 결과 진도 해역에서는 61종, 167 inds./m²로 나타났으며, 제주도 해역에서는 62종, 295 inds./m²로 나타나, 제주도 해역에서 전반적으로 종수 및 서

Table 1. Benthic environmental parameters in the stations around Jindo and Jeju-do

Station/ parameter	Water temperature (°C)	Salinity (psu)	pH	DO (mg/L)	Sediment content (%)				Mean phi (Φ)	Sorting (Φ)	Ignition Loss (%)
					Gravel	Sand	Silt	Clay			
1	16.42±7.70	31.84±2.94	8.07±0.10	9.40±2.24	21.66±25.70	45.36±16.70	32.98±9.98	5.68±1.13	2.52±0.54	4.94±0.74	
2	16.20±7.54	32.65±0.32	8.01±0.11	9.37±2.32	24.72±21.26	50.26±11.66	25.00±9.76	5.46±0.94	2.24±0.49	4.88±1.27	
3	16.46±7.79	32.51±1.14	8.07±0.08	9.31±2.44	22.28±20.83	53.74±18.96	23.98±9.57	6.04±1.40	2.94±0.46	4.59±0.65	
4	16.38±7.98	32.18±1.12	7.96±0.21	9.13±0.04	79.20±11.55	12.80±3.60	8.02±8.18	2.66±0.98	2.92±0.75	4.04±1.16	
5	16.26±7.77	32.60±1.14	8.08±0.07	9.36±2.31	25.62±26.28	59.34±27.06	15.06±8.88	4.92±1.31	3.16±0.67	4.29±0.52	
6	15.96±7.49	32.69±1.03	8.06±0.10	9.22±2.12	53.34±4.82	24.54±6.69	19.12±4.80	3.98±0.49	3.40±0.88	4.74±1.60	
7	16.28±7.74	32.66±1.06	8.05±0.13	9.18±2.38	62.42±11.87	22.22±3.60	10.82±10.26	3.00±1.31	3.46±0.47	4.19±1.24	
8	19.04±4.81	32.58±2.34	8.10±0.10	8.33±1.30	85.12±6.64	7.54±4.59	7.34±3.95	2.00±0.86	2.56±0.34	3.92±1.29	
9	19.08±4.94	32.33±2.60	8.12±0.08	8.49±1.54	85.90±5.61	7.54±4.00	6.48±3.40	2.30±0.75	2.14±0.71	4.15±1.47	
10	19.16±4.74	32.52±2.23	8.03±0.23	8.41±1.37	83.58±10.72	7.24±4.94	8.12±6.87	2.40±1.27	2.62±1.04	3.88±1.41	
11	19.74±5.47	32.46±2.12	8.09±0.14	8.70±1.56	62.44±3.91	16.90±2.53	18.40±1.23	4.00±0.49	3.20±0.90	5.00±2.35	
12	19.56±5.40	32.49±2.70	8.09±0.10	8.38±1.34	83.38±12.35	8.28±4.93	10.34±7.64	2.70±1.28	3.00±0.65	4.10±1.47	
13	19.02±4.96	32.60±2.32	8.11±0.08	8.41±1.35	60.46±3.59	7.60±5.80	9.42±8.55	1.76±1.69	3.54±0.46	3.50±1.40	
14	18.94±4.96	32.69±2.33	8.13±0.13	8.41±1.29	25.16±14.36	17.56±4.37	13.64±4.03	2.30±1.30	4.00±0.38	3.63±1.35	

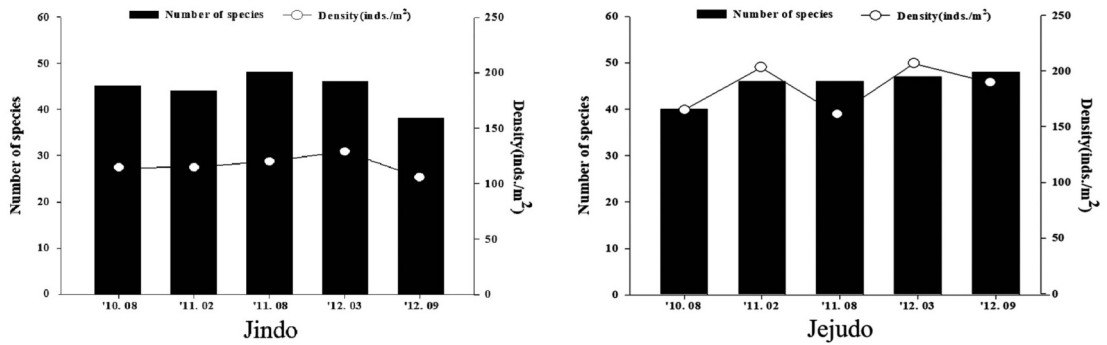


Figure 2. Total number of species, density (inds./m²) of polychaeta species around Jindo and Jeju.

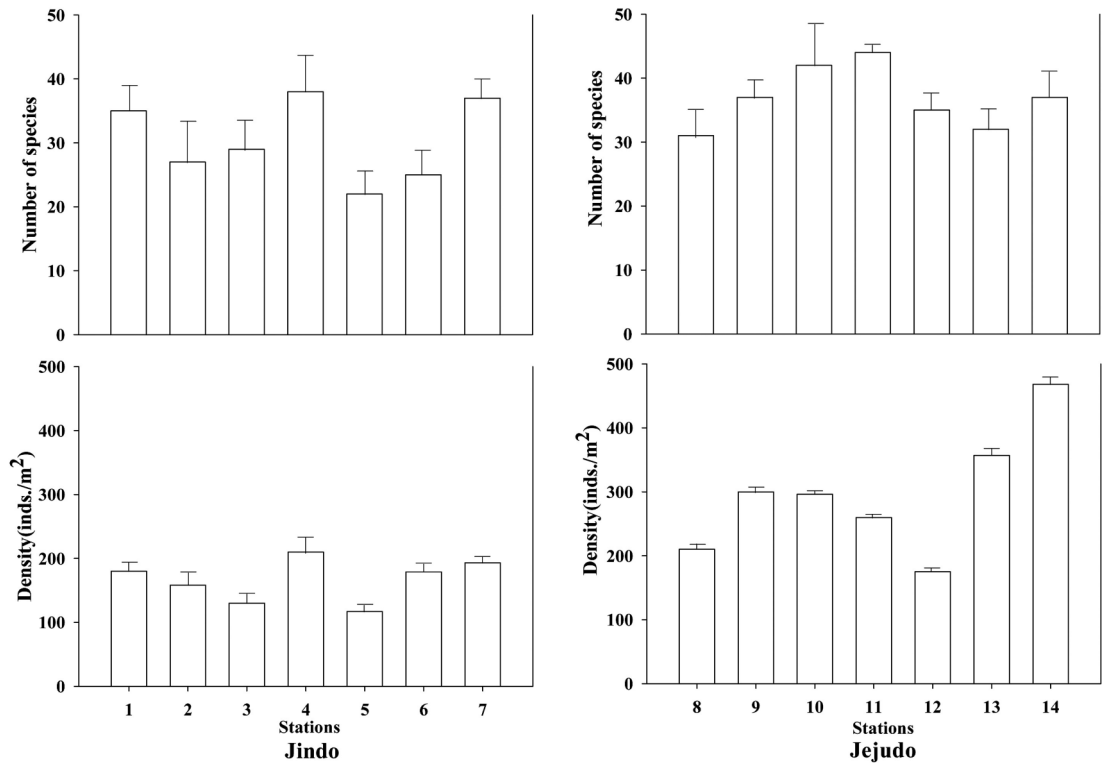


Figure 3. Spatial distributions of number of species, density (inds./m²) of polychaeta species at each station around Jindo and Jeju.

식밀도가 높았다(Figure 2). 정점별로 종수 및 서식 밀도를 비교한 결과 제주도 해역 정점 11에서 40종 이상이 출현하여 가장 다양한 저서다모류가 출현하였고, 진도 해역 정점 5에서 22종이 출현하여 상대적으로 빈약한 출현종수를 보였다(Figure 3).

3. 우점종

조사기간 중 출현한 우점종은 정점별 출현밀도와 출현빈도를 이용한 Le Bris index (1988)를 사용하여 진도와 제주도 해역에서 각각 상위 10종을 선정하였다(Table 2). 진도 해역에서 출현한 상위 10종을 순위별로 나열하면 *Heteromastus filiformis*, *Ampharete arctica*, *Prionospio* sp., *Sigambra tentaculata*,

Table 2. Dominant species ranking based on the density data by Le Bris index (1988)

Rank	Jindo				Jeju			
	Species name	Mean density (inds./m ² ±Std.)	Frequency of dominance	Le Bris index	Species name	Mean density (inds./m ² ±Std.)	Frequency of dominance	Le Bris index
1	<i>Heteromastus filiformis</i>	32±29	33	34.47	<i>Amphicteis gunneri</i>	69±77	28	27.55
2	<i>Ampharete arctica</i>	15±16	28	14.18	<i>Ampharete arctica</i>	28±29	25	14.36
3	<i>Prionospio</i> sp.	9±14	27	7.75	<i>Prionospio</i> sp.	11±10	26	5.05
4	<i>Sigambra tentaculata</i>	5±5	20	3.58	<i>Spiochaetopterus costarum</i>	11±11	24	4.87
5	<i>Thelepus</i> sp.	6±8	16	3.14	<i>Heteromastus filiformis</i>	12±23	24	4.57
6	<i>Magelona japonica</i>	6±9	15	2.95	<i>Aricidea</i> sp.	11±12	23	4.44
7	<i>Tharyx</i> sp.	3±4	18	2.55	<i>Glycera chirori</i>	9±9	26	3.54
8	<i>Nephtys polybranchia</i>	4±6	16	2.40	<i>Clymenella koreana</i>	8±8	24	3.42
9	<i>Clymenella koreana</i>	5±7	16	2.38	<i>Syllis</i> sp.	7±8	24	3.06
10	<i>Eteone</i> sp.	3±4	17	2.27	<i>Eteone</i> sp.	9±13	18	2.81

Thelepus sp., *Magelona japonica*, *Tharyx* sp., *Nephtys polybranchia*, *Clymenella koreana*, *Eunice* sp.으로 이들의 서식밀도는 전체의 53.8%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 2). 최우점종으로 출현한 *H. filiformis*는 가장 높은 19.4%를 점유하는 것으로 나타났고, 출현빈도 또한 높게 나타났다. 차우점종은 *A. arctica*로 9.2%의 점유율로 특히, 모래함량이 높은 정점 4에서 서식밀도가 높게 나타났다.

제주도 해역 상위 10종은 *Amphicteis gunneri*, *A. arctica*, *Prionospio* sp., *Spiochaetopterus costarum*, *H. filiformis*, *Aricidea* sp., *Glycera chirori*, *Clymenella koreana*, *Syllis* sp., *Eteone* sp.으로 이들은 전체의 59.0%를 점유하는 것으로 나타났다(Table 2).

최우점종인 *A. gunneri*는 23.2%의 점유율을 보였으나 정점 8에서는 출현하지 않았으며, 제주도 해역과 가장 근접하고, 자갈함량이 높은 정점 13, 14에서 상대적으로 서식밀도가 높게 나타났다. 차우점종은 진도해역과 같은 종인 *A. arctica*로 나타났고, 진도해역과 유사하게 모래함량이 높은 정점 8, 9 그리고 10에서 높은 서식밀도를 보였다. 진도와 제주도해역의 우점종은 상이하게 나타났으며 각각의 우점종은 퇴적상에 의해 결정되는 것으로 나타났다(p<0.01).

4. 생태학적 제 지수 및 군집구조

저서다모류의 출현 서식밀도 자료를 근거로 하여 각 정점별로 생태학적 제 지수(종 다양도, 풍부도, 균등도)를 분석하였다(Figure 4). 모든 정점에서의 종 다양도는 최소 2.46(정점 14)에서 최대 3.42(정점 11)의 범위를 나타내었으며, 평균값은 2.93이었다. 이를 진도와 제주도를 구분한 결과 진도해역의 최솟값은 2.37(정점 5)이었고, 최댓값은 3.28(정점 1)로 나타났으며, 제주도해역의 최솟값은 2.46(정점 14)이었고, 최댓값은 3.42(정점 11)로 나타났다. 풍부도는 4.41 - 7.73의 범위에 정점 5에서 가장 낮았고, 정점 11에서 가장 높았다. 한편 진도해역과 제주도해역을 고려하여 비교한 결과 진도해역은 평균 5.75의 값을 보였고, 제주도 해역은 6.37의 결과를 보이며, 제주도해역에서 비교적 높은 값을 나타냈다. 균등도는 0.68

(정점 14) - 0.92(정점 1)의 범위에 평균 0.84로 나타났다. 다른 정점에 비하여 정점 14에서 낮은 종 균등도 수치는 제주도 해역의 최우점종인 *A. gunneri*의 대량 출현에 의한 결과로 나타났다.

저서다모류 군집의 공간적 구조를 파악하기 위하여 유사도(Similarity)를 분석, 수지도와 다차원배열

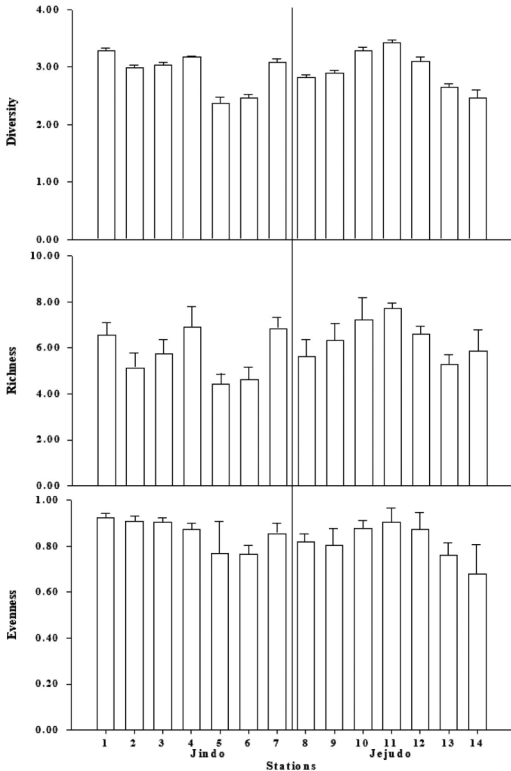


Figure 4. Spatial variation of species diversity, species richness and evenness of polychaete at each station around Jindo and Jeju.

법(Non-metric multidimensional scaling)으로 표시하였다(Figure 4). 유사도 분석 결과 정점 5, 6을 제외한 정점에서 진도해역과 제주도 해역으로 확연히 구분되었으며(Global R = 0.735), 이 결과는 다차원 배열법의 2차원 평면상에서도 지리적 위치에 따라 저서다모류 군집이 구분되는 것으로 나타났다(Figure 5). SIMPER 분석결과 *H. filiformis*, *A. arctica*, *Thelepus* sp.가 진도 지점에 영향을 주는 종으로 나타났다, 제주도는 *A. gunneri*, *Aricidea* sp., *A. arctica*가 영향을 주는 종으로 나타났다.

5. 저서다모류 분포와 환경요인간의 상관관계

환경과 생물간의 상관관계를 이해하기 위하여 각 요인들의 상관계수를 구하였다(Table 3). 상관계수를 구하기 위한 환경요인은 Gravel, Sand, Silt, Clay, 수온(℃), 평균입도, 강열감량 등 11개의 항목을 선정하였고, 생물학적 요인은 종수, 서식밀도, 진도와 제주도 각각의 해역의 최우점종 및 차우점종을 선정하여 분석하였다. 상관관계 분석결과 환경과 생물간의 상관관계는 Density는 Gravel ($r=0.67, p<0.01$)이 상관관계를 갖는 것으로 나타났고, *A. arctica*는 Sorting value와 역상관계($r=-0.686, p<0.01$)를 가지는 것으로 나타났으며, 진도 해역의 최우점종인 *A. gunneri*는 Gravel과 상관관계($r=0.735, p<0.01$), 차우점종인 *H. filiformis*는 강열감량과 상관관계($r=0.827, p<0.01$)를 가지는 것으로 나타났다.

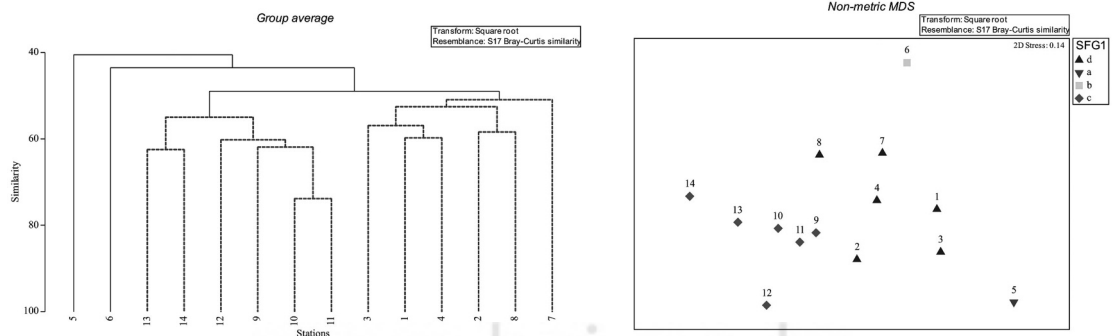


Figure 5. Dendrograms of similarity index and nMDS by Bray-Curtis similarities calculated at each station around Jindo and Jeju.

Table 3. Spearman rank correlation coefficients between the environmental variables, biotic indices

	Sand %	Silt %	Clay %	Mz	Sv	Wt	Salinity	pH	DO	IL	No. species	Density	A.A	A.G	H.F
Gravel %	0.101	-0.247*	-0.120	-0.458	0.711**	0.096	0.539*	0.322	-0.317	-0.360	0.328	0.674**	-0.242	0.735**	-0.205
Sand %		-0.884**	-0.895**	-0.713**	-0.182	0.609*	-0.227	0.209	-0.745**	0.357	0.506	0.493	0.594*	0.367	-0.164
Silt %			0.840**	0.834**	0.141	-0.708**	0.243	-0.301	0.827**	0.786-	-0.580*	-0.728**	-0.555*	-0.568*	0.454
Clay%				0.849**	0.099	-0.468	0.167	-0.284	0.754**	0.143	-0.404	-0.563*	-0.400	-0.381	0.170
Mean phi (Mz, Φ)					-0.185	-0.427	-0.138	-0.502	0.860**	0.811**	-0.325	-0.786**	-0.232	-0.606*	0.423
Sorting value (Sv, Φ)						-0.073	0.581*	0.240	-0.231	-0.357	0.022	0.209	-0.686**	0.418	-0.166
Water temperature (Wt, °C)							-0.467	0.508	-0.701**	-0.750	0.619*	0.515	0.224	0.625*	-0.650*
Salinity (psu)								0.035	-0.044	0.323	-0.425	-0.022	-0.364	0.130	0.027
pH									-0.565*	-0.209	0.009	0.469	-0.174	0.533*	-0.424
DO										-0.144	-0.356	-0.620*	-0.174	-0.611*	0.628*
Ignition Loss											0.342	0.464	-0.378	0.321	0.827**
Number of species												0.668**	0.188	0.586*	-0.383
Density													0.183	0.793**	-0.533*
A.A														-0.167	0.077
A.G															-0.527

*p<0.05, **p<0.01

A.A: *Ampharete arctica*, A.G: *Amphicteis gunneri*, H.F: *Heteromastus filiformis*

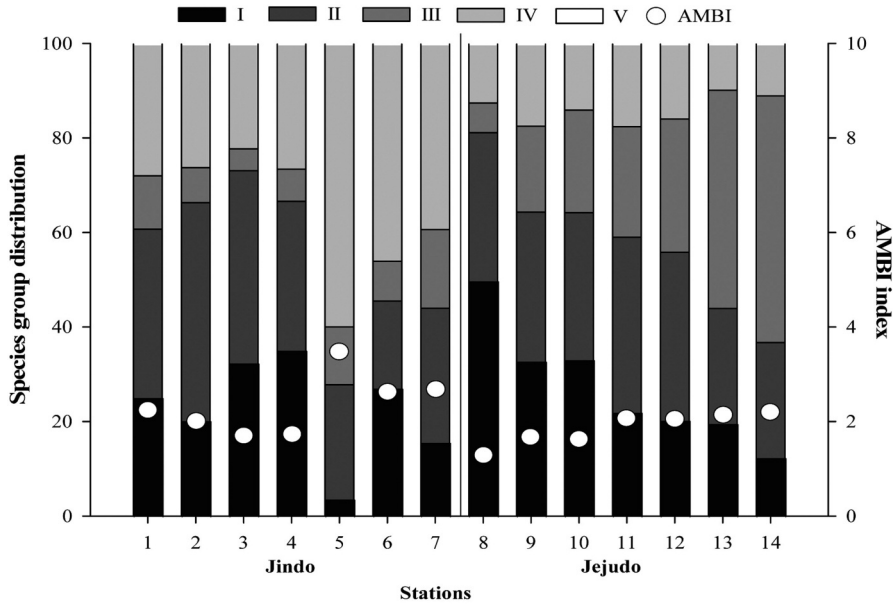


Figure 6. Spatial variation in the composition of functional groups and the value of AMBI in Jindo and Jeju.

6. 건강도 지수

저서다모류를 대상으로 모두 5가지 기능군(생태군)으로 구분하여 AMBI의 값을 나타내었다(Figure 6). AMBI 분석결과 1.2-3.4의 범위로 나타났으며, AMBI가 1.2 이하를 보인 정점은 없는 것으로 나타났고, 정점 5를 제외한 나머지 정점에서 1.2-2.7의 범위를 보여 경미한 오염상태를 보이고 있었다. 상대적으로 정점 5에서는 3.4의 값을 보이며 중간정도의 오염상태를 나타내었으나 모든 정점에서 V등급 저서다모류는 출현하지 않은 것으로 확인되었다.

IV. 결론

1. 저서다모류의 분포양상

저서동물의 분포양상에 영향을 미치는 요인 중 퇴적상은 매우 중요하다(Rhoads 1974; Snelgrove & Butman 1994). 저서다모류의 서식기질로서 퇴적물의 입도조성을 비교한 결과 진도에 인접한 해역은 비교적 혼합질 퇴적상을 나타낸 반면 제주도 해역에 인접한 정점일수록 모래함량이 높게 나타났다. 진도 해역과 제주도 해역 대부분의 지점이 등급이 불량한 퇴

적물로 표층 퇴적물의 입도조성과 비교적 뚜렷한 상관관계로 나타났다.

저서다모류의 출현종을 조사한 결과 진도 해역에서 출현한 저서다모류의 종수는 61종, 제주도 해역에서는 62종이 출현하였다. 조사 시기 및 채집방법에 따른 채집횟수, 채집량에 따라 차이를 나타내기는 하나 이와 같은 출현종수는 남해안의 다른 해역인 강진만(48종, Yoon et al, 2004), 함평만(58종, Lim & Choi 2001), 김해만(88종, Lim 1993), 여자만(72종, Lim et al, 1991), 득량만(52종, Ma et al. 1995)과 유사한 수준으로 나타났다. 총 서식밀도는 진도 해역에서 167 inds./m², 제주도 해역은 295 inds./m²로 강진만(25,119 inds./m², Yoon et al. 2004), 함평만(381 inds./m², Lim & Choi 2001), 김해만(825 inds./m², Lim 1993), 여자만(189 inds./m², Lim et al, 1991), 득량만(276 inds./m², Ma et al. 1995)과 적거나 유사한 수준으로 나타났다. 진도 해역에서 우점 출현한 *H. filiformis*, *Tharyx* sp.와 같은 일부 소형 다모류들은 외부 요인에 의한 오염이나 교란이 발생한 환경에서 높은 밀도로 출현하며, 유기물의 증가와 밀접한 상관관계를 갖는 기회종으로 연구된 바가

많다(Grassle & Grassle 1974; Gomez Gesteira & Dauvin 2000). 반면 제주 해역은 진도 해역에 비하여 *H. filiformis*를 제외한 다른 종들은 비교적 오염이 덜 된 환경에 출현하는 종들로 구성되었다. 저서다모류 군집의 시간적 변동은 유의한 차이를 나타내지 않았는데, 이는 저서환경이 크게 교란되지 않고 비교적 안정적인 군집이 형성되어 있음을 의미할 수 있다.

2. 건강도 지수를 이용한 저서환경평가

생태그룹별 출현비율을 살펴보면 V 등급에 속하는 1급 기회종은 출현하지 않았고, 비교적 진도 및 제주도 해역은 II 등급에 출현하는 종들로 많이 구성되었다. 본 해역은 반폐쇄성 내만역과는 다르게 외해에 노출되어 해수 소통이 상대적으로 원활하고, 외해의 영향을 비교적 직접적으로 받기 때문에 상대적으로 V 등급의 저서다모류는 출현하지 않은 것으로 판단된다. 생태그룹 II에 포함되는 종은 유기물의 많고 적음에 크게 좌우되지 않으며 일반적으로 낮은 서식밀도를 보이고 시간에 대한 변화가 뚜렷하지 않는 특성을 가진다(Borja et al., 2000). AMBI 분석결과 1.2-3.4의 범위 AMBI가 1.2 이하로 정상적인 군집을 보인 정점은 없었으나 정점 5를 제외한 나머지 정점에서 1.2-2.7의 범위를 보여 경미한 오염상태를 보이고 있었다. 상대적으로 정점 5에서는 *H. filiformis*의 높은 서식밀도로 인해 3.4의 값을 보이며 중간정도의 오염상태를 나타내었다. AMBI를 등급별로 분석한 결과 정점 8에서 생태그룹 I 속하는 *A. arctica*에 의해 가장 낮은 지수값으로 나타났으며, 모든 정점에서 V 등급 저서다모류의 가입은 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 진도와 제주도 해역은 지리적 위치, 퇴적상에 따라 저서다모류 군집의 분포가 일어나는 것으로 나타났으며, 전반적으로 시공간적인 큰 변동 없이 비교적 안정된 군집을 형성하고 있는 것으로 확인되었다.

사사

본 논문을 상세하게 심사해주신 심사위원분들께 감사드립니다. 또한 본 논문은 2021학년도 순천향대

학교 교수 연구년제에 의하여 연구되었음을 밝히며, 학교 당국에 감사드립니다.

References

- Borja A, Franco J, Perez V. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments. Mar. Poll. Bull. 40(12): 1100-1114.
- Borja A, Muxika I, Franco J. 2003. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. Mar. Poll. Bull. 46(7): 835-845.
- Bray JR, Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27(4): 326-349.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Aust. J. Ecol. 18(1): 117-143.
- Clarke KR, Warwick RM. 2001. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation (2nd edition), PRIMER-E Ltd. 1-144.
- Conway MS. 1979. Middle Cambrian polychaetes from the Burgess Shale of British Columbia. Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B. 285(1007): 227-274.
- Fauchald K. 1974. Polychaete phylogeny: A problem in protostome evolution. Systematic zoology. 23(4): 493-506.
- Fauchald K. 1977. The Polychaete Worms, definitions and keys to the Orders, Families and Genera. Natural History Museum of Los Angeles County, Science Series. 28: 1-188.
- Gomez Gesteira JL, Dauvin JC. 2000. Amphipods are good bioindicators of the impact of

- oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. *Mar. Poll. Bull.* 40(11): 1017-1027.
- Grassle JP, Butman CA, Mills SW. 1992. Active habitat selection by *Capitella* sp. 1 larvae. II. Multiple-choice experiments in still water and flume flows. *Journal of Mar Res.* 50(4): 717-743.
- Grassle JF, Grassle JP. 1974. Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes. *J. Mar. Res.* 32(2): 253-284.
- Harlan KD. 2008. The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. *Int. Journal Tro. Biol.* 56(4): 11-38.
- Hutchings P. 1998. Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments. *Biodiversity and Conservation.* 7(9): 1133-1145.
- KORDI. 1995. Management Technique for Marine Environmental Protection: Marine environment assessment based on the benthic faunal communities. [Korean Literature]
- Le Bris H. 1988. Fonctionnement des écosystèmes benthiques côtiers au contact d'estuaires: la rade de Lorient et la baie de Vilaine. These de doctorat d'Océanologie Biologique, Université de Bretagne Occidentale, Brest. 1-311.
- Light WJ. 1978. *Spionidae (Polychaeta, Annelida)*. The box wood press, Pacific Grove, CA. 1-211.
- Lim HS. 1993. Ecology on the macrozoobenthos in Chinhae Bay of Korean. Ph. D. Thesis, National. Fish. University. Pusan. Korea. 1-311. [Korean Literature]
- Lim HS, Je JG, Choi JW, Lee JH. 1991. Distribution pattern of the macrozoobenthos at Yoja Bay in summer. *Ocean Research of Korea.* 13: 31-46. [Korean Literature]
- Lim HS, Choi JW. 2001. Community Structure of Subtidal Macrobenthos in Hampyung Bay during Autumn in 1997, Southwest Coast of Korea. *Journal of Korean Fish. Soc.* 34(4), 326-339. [Korean Literature]
- Ma CW, Hong SY, Lim HS. 1995. Macrobenthic fauna of Deukryang Bay, Korea. *Journal of Korean Fish. Soc.* 28(5): 503-516. [Korean Literature]
- Margalef R. 1958. Information Theory in Ecological. *General Systems.* 3: 33-71.
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2010. A guidebook for the seawater, sediment and marine biota analyses in ocean environment, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, MLTM notice 2010-914, 495. [Korean Literature]
- Paik EI. 1989. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea vol. 31. Ministry of Education Press, Seoul. 1-764. [Korean Literature]
- Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *Journal of Theoret. biol.* 13: 131-144.
- Rhoads DC. 1974. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 12: 263-300.
- Sanders HL. 1958. Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sediment relationships. *Limnology and Oceanography.* 3(3): 245-258.
- Shannon CE, Weaver W. 1963. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press. Urbana. 125.
- Simboura N, Zenetus A, Panayotides P, Makra A. 1995. Changes in benthic community structure along an environmental pollution gradient. *Mar. Poll. Bull.* 30(7): 470-474.

- Snelgrove PVR, Butman CA. 1994. Animal-sediment relationship revised: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 32: 111-177.
- Ward TJ, Hutchings PA. 1996. Effects of trace metals on infaunal species composition in polluted intertidal and subtidal marine sediments near a lead smelter, Spencer Gulf, South Australia. *Marine Ecology Progress Series.* 13: 123-135.
- Word JQ. 1978. The infaunal trophic index. Southern California Coastal Water Research Project Annual Report, 1978. SCCWRP, Long Beach. 19-39.
- Yoon SM, Kim CC, Seo WI, Hwang SY, Lee SH, Han KH, Lee WB. 2004. Species Composition and Seasonal Variations of Polychaete Community in Kangjin Bay, Korea. *Journal of Environmental Research Institute Yeosu National University.* 6: 9-26. [Korean Literature]
- Yoo JW, Hong JS. 1996. Community structures of the benthic macrofaunal assemblages in Kyonggi Bay and Han Estuary, Korea. *The Journal of the Korean Society of Oceanography.* 31(1): 7-17. [Korean Literature]