

## 서해안 갯벌의 춘·하계 대형저서동물의 군집구조 및 건강도 평가

옹기호\* · 전승렬\*\*† · 구준호\*\*\* · 박종우\*\*\* · 정희도\*\*\* · 강정하\*\*\*\* · 조윤식\*\*\*\*\*

\*, \*\* 국립수산과학원 서해수산연구소 갯벌연구센터 연구원, \*\*\* 국립수산과학원 서해수산연구소 갯벌연구센터 연구사,  
\*\*\*\* 국립수산과학원 서해수산연구소 양식산업과 과장,  
\*\*\*\*\* 국립수산과학원 연구기획조정부 해역이용영향평가센터 연구사

## Community Structure and Health Assessment of Macrobenthos in Tidal Flats along the West Coast of Korea in Spring and Summer

Giho Ong\* · Seung Ryoul Jeon\*\*† · Jun Ho Koo\*\*\* · Jong-Woo Park\*\*\* · Hee-Do Jeung\*\*\* ·  
Jung-Ha Kang\*\*\*\* · Yoon-Sik Cho\*\*\*\*\*

\*, \*\* Researcher, Tidal Flat Research Center, West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Gusan 54001, Korea

\*\*\* Senior Researcher, Tidal Flat Research Center, West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Gusan 54001, Korea

\*\*\*\* Director, Aquaculture Industry Research Division, West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Incheon 22383, Korea

\*\*\*\*\* Senior Researcher, Marine and Fisheries Environment Impact Assessment Center, NIFS, Busan 46083, Korea

**요약** : 본 연구는 서해안 갯벌의 퇴적물 환경 및 대형저서동물 군집의 특성과 건강도를 파악하기 위해 수행되었다. 조사는 강화도부터 전남 목포까지 2017년 4월(춘계)과 8월(하계), 2018년 4월(춘계)에 실시하였다. 충남 권역의 퇴적물 입도는 조립하였으 며, 경기·인천 권역, 전북 권역, 전남 권역의 퇴적물은 세립하였다. 대형저서동물은 총 140종으로, 대형저서동물 군집유사도를 분석한 결과, 대형저서동물 군집은 4개의 그룹으로 나뉘었다. Group2는 바지락 어장 정점이 포함되었으며, 바지락(*Ruditapes philippinarum*)과 남방백금갯지렁이(*Nephtys polybranchia*)와 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 우점했다. Group4에는 퇴적상이 세립한 정점이 포함되었으며, 작은부채발갯지렁이(*Eteone longa*)와 유형동물(*Nemertea* unid.)이 높은 빈도로 출현하였다. 서해안 갯벌의 건강도 분석 결과, ISEP, BHI지수에서 대체로 'High(가장 양호)'상태를 나타냈으며, AMBI지수는 'Good(양호)'상태인 것으로 확인되었다. 따라서 서해안 갯벌의 건강도는 양호한 것으로 판단된다. 하지만 일부 지역에 오염지시종인 아기반투명조개(*Theora lata*), 등가시버들갯지렁이(*Capitella capitata*) 등이 출현하므로 갯벌 환경이 악화되지 않도록 주기적인 관리가 필요하다.

**핵심용어** : 갯벌, 서해안, 퇴적물 환경, 대형저서동물, 바지락 어장, 건강도, AMBI, ISEP, BHI

**Abstract** : This study investigated the characteristics of a macrobenthos community and sediment environment and assessed the health of tidal flats along the west coast of Korea. A survey was conducted from Ganghwa-do to Mokpo, Jeollanam-do in April (spring) and August (summer) 2017, and April (spring) 2018. The sediment grain sizes in the Chungcheongnam-do region were coarser, and the sediment in the Gyeonggi-do·Incheon, Jeollanam-do, and Jeollabuk-do regions were finer. A total of 140 macrobenthic species were collected from this study and using a cluster similarity analysis of the macrobenthos community, they were divided into four groups. Group2 was associated with Manila clam farm stations, and *Ruditapes philippinarum*, *Nephtys polybranchia* and *Lumbrineris nipponica* were dominant. Group4 included some sites with finer sediment composed relatively, and *Eteone longa* and *Nemertea* unid. appeared at a high frequency. From the health assessment of the western tidal flat, the ISEP and BHI indices had a "High status," and the AMBI index had a "Good status." In conclusion, the tidal flats along the west coast of Korea have good ecological health. However, pollution indicator species such as *Theora lata* and *Capitella capitata* have appeared in some areas. Therefore, periodic administration and interventions are necessary to prevent deterioration of the tidal flat environment.

**Key Words** : Tidal flat, west coast of Korea, Sediment environment, Macrobenthos, Manila clam farm, Health assessment, AMBI, ISEP, BHI

\* First Author : giho0924@korea.kr

† Corresponding Author : zeon@korea.kr

## 1. 서론

갯벌은 최고만조선과 최저저조선 사이의 공간을 일컬으며 만조 시 해수에 잠기고 간조가 되면 물 밖으로 노출되어 과열, 건조, 동결, 자외선, 폭우 등 환경변화가 큰 생태계이다(Peterson, 1991). 서해안 갯벌은 경사가 완만하여 간척에 유리한 조건을 갖춰 농경지와 산업단지 조성을 위한 매립대상이 되어 갯벌 생태계를 잃었다. 그밖에 퇴적상의 변화, 퇴적물의 유기오염, 유해생물의 유입 등의 생태계 교란은 패류양식에 피해를 야기하고 있다(Kim et al., 2020; Park et al., 2018; Ma et al., 2017).

생태계 교란을 확인하고 관리하기 위해 갯벌어장에 대한 환경조사가 필수적이다. 하지만 갯벌은 계절마다 퇴적·침식 특성이 다르고 태풍 같은 자연적인 요인과 인간활동과 같은 인위적 요인의 복합적인 영향을 받아, 기본적인 환경 조사로는 생태계 분석에 어려움이 따른다. 이러한 제한사항의 대안으로 갯벌에 서식하는 대형저서동물 군집의 조사는 생태계 환경을 대변하는 역할을 할 수 있어 중요한 방법으로 활용되고 있다.

대형저서동물은 고착생활을 하며 이동능력이 적기 때문에 저서환경 변화에 순차적으로 영향을 받는다. 또한 유기오염 정도에 따라 일관성 있게 군집이 변하기 때문에 생태계의 교란 여부를 확인할 수 있고, 생활사의 길이가 적당하여 생태계 환경을 대변하는 역할을 한다(Pearson and Rosenberg, 1978; Paik et al., 2005).

군집분석과 더불어 대형저서동물을 활용한 건강도 평가는 AMBI(Borja et al., 2000; 2003), M-AMBI(Muxika et al., 2007), BPI(Choi and Seo, 2007), SEP(McManus and Pauly, 1990), ISEP(Yoo et al., 2010), BHI(NIFS, 2018) 등 다양한 방법이 개발되었다. 이 중 AMBI는 10,638종의 생물을 5개의 생태 그룹으로 분류하여(유기물에 민감한 종, 둔감한 종, 내성이 강한 종, 1차·2차 기회종) 환경상태를 확인하는 간단한 방법으로 널리 사용되고, ISEP는 생산력과 생체량에 중점을 둔 평가 기법으로 지역적 다양성을 확인하기 유리하고 패류 어장이 밀집한 서해 갯벌 조사에 적합하다(Yoo et al., 2011). 또한 유기오염에 따른 평가를 위해 퇴적물의 총유기탄소(TOC, Total Organic Carbon)와 저서생물의 분포특성을 활용한 BHI 지수 분석이 수반되어야 한다.

국내 갯벌 생태계 연구는 시간적 제한으로 한정된 지역에서 수행되었고, 특히 서해안 갯벌을 대상으로 한 연구는 가로림만, 천수만, 무안만, 강화도, 새만금 일대에서 대부분 수행되었으며(Jung et al., 2014a; 2014b; Rha et al., 2009; Kim et al., 2015), 갯벌 전반에 대한 연구는 2015년부터 국가 해양생태계 종합조사의 한 분야로 갯벌생태조사가 동해·서해·남해·

제주를 대상으로 이루어지고 있다(KOEM, 2015; 2017; 2019).

본 연구는 서해안 갯벌의 퇴적물의 입도조성과 유기물(TOC), 대형저서동물 군집특성을 살펴보고자 하였으며, 갯벌의 건강도 평가를 통해 서해안 갯벌 특성을 확인하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 조사장소 및 기간

서해안을 따라 갯벌을 전반적으로 조사하기 위해 행정구역마다 3지역을 일정 간격을 두고 선정하였다. 경기도·인천 권역에서는 강화도(GH), 선재도(SJ), 선감도(SG), 충청남도에 황도(HD), 보령(BR), 서천(SC), 전라북도에 신시도(SS), 줄포(JP), 고창(GC), 전라남도에 무안(MA), 신안(SA), 목포(MP)까지 총 12개소의 정점을 선정하였다(Table 1). 그중 선감도, 황도, 보령, 신시도, 고창의 경우 바지락 어장에서 조사하였다.

각 지역마다 대형저서동물 정점 1개, 퇴적물 정점 4개씩 선정하였으며, 조사는 봄과 여름(2017년 4월과 8월, 2018년 4월)에 수행하였다.

Table 1. Location of the present study site in tidal flats along the west coast of Korea

Region	Site	Latitude	Longitude
Gyeonggi-do	GH	37° 35' 30.0"	126° 26' 23.0"
	SJ	37° 13' 55.1"	126° 31' 18.6"
Incheon-si	SG	37° 11' 19.0"	126° 37' 42.0"
	HD	36° 35' 29.0"	126° 23' 40.0"
Chungcheongnam-do	BR	36° 21' 49.0"	126° 30' 47.0"
	SC	36° 07' 25.1"	126° 34' 48.3"
	SS	35° 48' 58.4"	126° 27' 15.7"
Jeollabuk-do	JP	35° 35' 35.9"	126° 36' 03.6"
	GC	35° 33' 41.0"	126° 32' 21.0"
Jeollanam-do	MA	35° 09' 22.2"	126° 20' 13.6"
	SA	35° 01' 31.7"	126° 10' 15.6"
	MP	34° 49' 46.0"	126° 23' 00.0"

### 2.2 TOC 및 퇴적물 입도 분석

TOC는 퇴적물 시료를 동결건조한 후 미세한 크기로 연마하고, IN 염산(HCl)으로 무기탄소를 제거한 후 연소용 용기(tin capsule)에 담아 원소분석기(CHN analyzer 2400, Perkin Elmer, US)로 측정하였다.

입도분석은 시료를 10%의 묽은 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 반응시켜 유기물을 제거한 후 4Ø(0.0625 mm)체로 습식체질하여 4Ø를 기준으로 퇴적물을 분리하였다. 조립질 시료는 진탕

체질기(Analysette 3 pro, Fritsch, Germany)를 이용하여 건식 체질법으로 계측하고 4 $\phi$  이상의 세립질 시료는 X-선 자동 입도분석기(Sedigrah III 5120, Micromeritics, US)로 분석하여 Folk(1954)의 방법에 따라 퇴적상을 구분하고 평균입도를 도출하였다.

### 2.3 대형저서동물 채집 및 건강도 분석

채집면적 0.03 m<sup>2</sup>인 코어샘플러로 0.1 m<sup>2</sup>의 갯벌을 채취하고 망목 1.0 mm 체(sieve)로 체질하여 10 % 중성 해수포르말린으로 고정하였다. 실체현미경으로 종 수준으로 동정하였으며 정점별로 개체수와 습중량을 측정하였다.

대형저서동물을 대상으로 종다양성지수(H')(Shannon and Weaver, 1949), ISEP(Inverse SEP)(Yoo et al., 2010), BHI(Benthic Health Index)(NIFS, 2018)와 AMBI(AZTI Marine Biotic Index)(Borja et al., 2003)를 산출하였으며, AMBI는 AZTI 해양연구소에서 제공하는 Ambi V6.0 program으로 분석하였다(http://www.azti.es).

BHI는 수산과학원에서 제정한 ‘어장환경평가의 방법 및 절차 등에 관한 규정’ 제2조 2항 [별지 3]에 따라 산출하였다(NIFS, 2018). 건강도는 Table 2와 같이 환경상태를 등급화 하였다.

### 2.4 군집분석

대형저서동물 군집은 총 개체수의 1 % 이상 출현한 종을 대상으로 분석했으며 우점종에 의한 영향을 줄이기 위해 4th square root로 전처리한 후 Bray-curtis similarity에 따라 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 적용하였다(Bray and Curtis, 1957). 퇴적상 군집은 어장별 입도조성(Sand %, Silt %, Clay %)을 normalize 한 후 Euclidean distance로 군집 유사도를 분석하였으며, 대형저서동물 그룹별로 퇴적환경 자료를 바탕으로 PCA분석을 실시했다. Primer version 6.0 program을 이용해 수지도(dendrogram)를 작성하였다(Clarke et al., 2014).

Table 2. Thresholds utilized for each index. BHI and ISEP indices are newly classified in consideration of the original paper (ECJRC, 2008; NIFS, 2018; Yoo et al., 2010)

Ecological Status		Diversity with muddy sediment	BHI	ISEP	AMBI
H	high, normal, unpolluted	3.3 < H'	80 < BHI	0.610 < ISEP	0.0 < AMBI ≤ 1.2
G	good, slightly polluted	2.5 < H' ≤ 3.3	60 < BHI ≤ 80	0.424 < ISEP ≤ 0.610	1.2 < AMBI ≤ 3.3
M	moderate, moderately polluted	1.8 < H' ≤ 2.5	40 < BHI ≤ 60	0.359 < ISEP ≤ 0.424	3.3 < AMBI ≤ 4.3
P	poor, highly or heavily polluted	1.1 < H' ≤ 1.8	20 < BHI ≤ 40	0.290 < ISEP ≤ 0.359	4.3 < AMBI ≤ 5.5
B	bad, extremely polluted or azoic	H' ≤ 1.1	BHI ≤ 20	ISEP ≤ 0.290	5.5 < AMBI ≤ 7.0

Table 3. Average grain size composition and mean size, sediment type and TOC of tidal flats along the west coast of Korea

Region	Site	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean size (Ø)	TOC (mg/g dry)	Sediment type (Folk, 1954)
Gyeonggi-do	GH	0.27	1.81	78.05	19.87	6.51	6.25	Z
	SJ	1.41	26.63	61.68	10.29	4.88	1.74	sZ
	Average	1.03	10.99	70.85	17.13	5.90	4.59	Z
Chungcheongnam-do	HD	1.00	49.16	37.69	12.15	4.32	1.58	sZ
	BR	0.94	40.80	44.81	13.45	4.56	2.36	sZ
	SC	0.63	69.90	22.73	6.73	3.42	1.03	zS
	Average	0.86	53.29	35.08	10.78	4.10	1.66	zS
Jeollabuk-do	SS	0.29	8.66	82.04	9.01	5.40	1.83	Z
	JP	0.45	1.92	69.59	28.04	6.78	6.00	Z
	GC	0.06	9.50	83.35	7.09	5.35	4.02	Z
	Average	0.27	6.69	78.33	14.71	5.84	3.95	Z
Jeollanam-do	MA	0.09	0.75	83.21	15.94	6.42	3.46	Z
	SA	0.34	1.02	72.64	26.00	6.93	4.19	Z
	Average	1.58	1.92	68.23	28.26	6.93	4.73	Z
	MP	1.58	1.92	68.23	28.26	6.93	4.73	Z
	Average	0.67	1.23	74.69	23.40	6.76	4.13	Z

서해안 갯벌의 준·하계 대형저서동물의 군집구조 및 건강도 평가

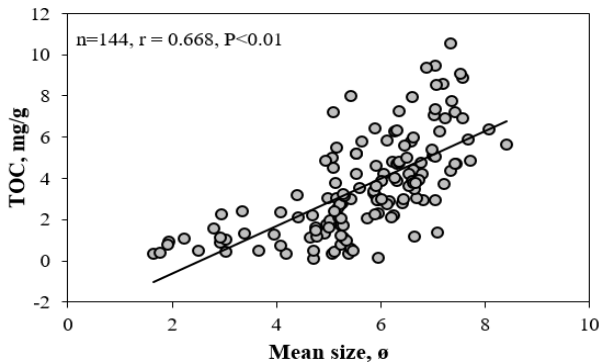


Fig. 1. Relationships between sediment mean size and total organic carbon (TOC).

3. 결과

3.1 퇴적물 입도 및 TOC

퇴적물의 Gravel % 범위는 전 조사지역에서 0.06~1.58 % 내외였다(Table 3). Sand %는 충청남도 서천 갯벌에서 69.90 %로 가장 높았고, 서천 갯벌 다음으로 사질 함량이 높은 갯벌은 황도 49.16 %, 보령 40.80 %, 전재도 26.63 % 순이었다. 그 밖에 지역은 Sand가 10 % 이하, Silt + Clay의 비율이 약 90 % 이상인 니질갯벌이다. 권역별로는 충남 권역이 사질 조성이 높고, 경기·인천 권역과 전북, 전남 권역은 세립한 입도조성을 나타내었다. 퇴적물의 평균입도(Mean size, Ø)는 5.65 Ø이며, 충남 권역은 4.10 Ø로 조립하고 전남 권역이 6.76 Ø로 세립한 양상을 보였다. 갯벌의 퇴적유형은 서천 갯벌이 조사지역 중 유일하게 실트질모래(silty sand, zS)였고 그밖에 갯벌의 퇴적유형은 사질실트(sandy silt, sZ)와 실트(silt, Z)에 해당하였다.

TOC는 서천에서 평균 1.03 mg/g dry로 가장 낮았고 강화도 갯벌이 6.25 mg/g dry로 가장 높았으며 서해안 갯벌의 평균 TOC는 3.58 mg/g dry로 ‘어장관리법’ 제11조의2 어장환경평가

기준치인 10 mg/g dry보다 낮아 양호한 환경으로 확인되었다. 권역별로는 충남 권역이 1.66 mg/g dry로 낮았고, 경기·인천 권역이 4.59 mg/g dry로 높았다. 전북 권역과 전남 권역은 각각 3.95 mg/g dry과 4.13 mg/g dry 이었다. TOC 농도는 퇴적물 입도가 조립한 곳에서 낮고 세립한 지역에서 높게 나타났으며 퇴적물 평균입도와 TOC는 양의 상관관계( $r=0.668$ ,  $n=144$ ,  $P<0.01$ )를 보였다(Fig. 1). Jeon et al.(2019)의 갯벌 퇴적환경 연구에서도 퇴적물 평균입도와 유기물 함량(Organic Content) 사이의 양의 상관관계( $r=0.797\sim0.864$ ,  $P<0.01$ )가 있었으며, 이는 Clay를 포함한 16 µm 이하의 세립실트와 극세립 실트의 비율이 TOC와 밀접한 관련이 있다는 Secrieru and Oaie(2009)의 연구와도 부합하였다.

3.2 대형저서동물

3회에 걸친 서해안 갯벌 12개소 조사에서 총 1,891개체가 채집되었고 75과 117속 140종이 출현했다. 종 조성은 다모류(Polychaeta) 56종(40.0 %), 갑각류(Crustacea) 40종(28.6 %), 연체류(Mollusca) 38종(27.1 %)으로 나타났다. 과(Family)는 얼굴갯지렁이과(Spionidae) 9종(6.4 %), 참게과(Varunidae) 7종(5.0 %), 참갯지렁이과(Nereididae)와 버들갯지렁이과(Capitellidae)가 각 5종 출현하였다.

바지락(*Ruditapes philippinarum*)은 2017년 4월에 133개체, 2017년 8월에 24개체, 2018년 4월에 251개체로 총 408개체가 채집되어 전체 대형저서동물 중 21.6%로 가장 높은 비율을 차지하였다(Table 4). 두 번째로 우점한 종은 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)로 236개체(12.5 %)가 출현하였으며, 세 번째로는 땡가리(*Batillaria cumingii*)와 띠조개(*Laternula gracilis*)가 각각 76개체(4.0 %)씩 채집되었고, 버들갯지렁이과(Capitellidae)의 *Mediomastus californiensis*가 69개체(3.6 %)로 상위 5종이 전체 개체수의 45.7%를 차지하였다.

Table 4. The top 10 dominant macrobenthic species in tidal flats along the west coast of Korea

Rank	Taxa	Species	Spring 2017	Summer 2017	Spring 2018	Total	Proportion (%)
1	MBI	<i>Ruditapes philippinarum</i>	133	24	251	408	21.6
2	APOL	<i>Heteromastus filiformis</i>	114	83	39	236	12.5
3	MGS	<i>Batillaria cumingii</i>	53	7	16	76	4.0
4	MBI	<i>Laternula gracilis</i>	2	3	71	76	4.0
5	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	16	11	42	69	3.6
6	ONE	<i>Nemertea unid.</i>	13	11	21	45	2.4
7	APOL	<i>Prionospio pulchra</i>		4	40	44	2.3
8	MGS	<i>Stenothyra edogawensis</i>	2	41		43	2.3
9	MGS	<i>Reticunassa festiva</i>	22		15	37	2.0
10	CDB	<i>Macrophthalmus (Mareotis) japonicus</i>	11	13	12	36	1.9

### 3.2.1 오염지시종

고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)는 서해 갯벌에 우점하는 종으로 서천 갯벌을 제외한 모든 지역에서 채집되었으며, 선감도 어장에서 고밀도로 출현하였다. 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)는 서해안 갯벌 이외에도 한려해상 관음포 갯벌, 충남갯벌, 마산만 등 우리나라 갯벌에서 높은 빈도로 많은 개체수가 서식하는 것이 보고되었다(Seo et al., 2009; Kim et al., 2015). 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)는 오염역에서 높은 밀도로 출현하는 경향이 있어 과거에는 오염지시종으로 고려되었으나 최근 기회종으로서 갯벌 전역에 넓게 서식한다는 의견이 있었으며(Seo et al., 2009), 본 조사에서 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)의 출현 개체수와 TOC와의 뚜렷한 상관관계는 확인되지 않았다.

아기반투명조개(*Theora lata*)는 유기물 부하량이 많은 곳에 우점하는 기회종이자 오염지시종으로(Seo et al., 2013), 강화도 갯벌과 목포 삼진산업단지 주변에서 출현하였다. 특히 강화도의 경우 TOC가 6.25 mg/g dry로 조사지역 중 유기물 농도가 가장 높은 갯벌이므로 아기반투명조개(*T. lata*)의 서식 밀도와 함께 유기오염에 대한 주기적인 확인이 필요하다. 아기반투명조개(*T. lata*)는 무안군 톱머리해수욕장과 복길리 일대에서 출현한 기록이 있어 무안만에서 목포북항에 걸쳐 서식하는 것으로 보인다(Seo et al., 2009). 또한 Jung et al.(2014b)에 의하면 천수만 전역에 서식하는 것으로 보고되어 황도 갯벌에 아기반투명조개(*T. lata*)의 출현 여부를 확인할 필요가 있다.

### 3.2.2 바지락 어장 피해생물

썩(*Upogebia major*)은 생태계 공학자(ecosystem engineer)로서 생태학적으로는 생물교반(bioturbation) 활동을 통해 통기성을 유발하여 환원환경을 억제하는 역할을 한다(Hong, 2013). 그러나 수산업의 관점에서 썩(*U. major*)은 이상증식으로 갯벌 양식생물의 서식공간을 침해하여 양식에 피해를 일으키는 종이기도 하다. 보령과 선감도 갯벌은 썩(*U. major*)과 바지락(*R. philippinarum*)이 혼재하여 서식하고 있는 지역이다. 특히 Seo et al.(2009)에서 썩(*U. major*) 개체군과 함께 출현하는 것으로 보고된 등가시버들갯지렁이(*Capitella capitata*)와 치로리미갑갯지렁이(*Glycera chirori*)가 다수 채집되었으며 오염지시종인 등가시버들갯지렁이(*C. capitata*)와 긴아가미예뽀알갯지렁이(*Prionospio pulchra*)가 출현하였다.

썩붙이(*Neotrypaea japonica*)는 서천 갯벌에 서식하였으며, 국가 해양생태계 종합조사에서도 서천 갯벌에 썩붙이가 우점적으로 출현하는 것으로 확인되었다(KOEM, 2015; 2017). 썩붙이는 1년에 2~3회 번식하며, 유생은 성체의 굴을 활용하여 갯벌에 안정적으로 정착할 수 있어 갯벌을 단시간 내에 장악한다(Tamaki et al., 1997). 또한 썩붙이(*N. japonica*)와 함

께 출현한 침보석요정갯지렁이(*Armandia lanceolata*)는 썩붙이의 생물교반 등 생물학적 상호작용으로 서식에 유리하게 작용하고(Tamaki, 1984; 1985), 서천 갯벌에서 2017년 8월에 썩붙이(*N. japonica*) 15개체, 침보석요정갯지렁이(*A. lanceolata*) 13개체로 두 종 모두 높은 서식밀도를 보여 썩붙이와 함께 서식밀도를 주의 깊게 모니터링할 필요가 있다.

종뿔(*Arcuatula senhousia*)은 죽사를 이용해 많은 개체가 저질에 밀집하여 군체를 이루고, 죽사가 영겨서 생긴 그물망이 혐기성 오염을 일으켜 패류의 폐사를 일으키는 유해생물로 알려져 있다. 목포 인근 입도가 세립한 갯벌에 고밀도로 출현하고 무안에도 서식하는 것으로 보고되었으며(Rha et al., 2009; Lim et al., 1997; Lim and Park, 1998), 이번 조사에서 목포를 포함하여 황도와 보령에도 종뿔이 출현했으며 천수만 방조제에서 나오는 생활오수 등의 오염물질이 퇴적물과 함께 침강되어 갯벌 표층이 오염되면서 기회종인 종뿔이 유입되었을 것으로 추측된다.

오염지시종의 출현만으로 갯벌의 오염여부를 확인할 수는 없지만 오염지시종의 개체수 증가로 유기오염의 진행가능성을 확인할 수 있기 때문에 등가시버들갯지렁이(*C. capitata*), 아기반투명조개(*T. lata*) 등의 개체수와 분포·천이 조사를 통해 갯벌 생태계가 악화되지 않도록 지속적인 관리가 필요할 것으로 생각된다.

### 3.3 생태학적 제지수 및 건강도 지수

종다양성지수(H)는 서해안 갯벌 평균이 1.8로 ‘Poor(불량)’ 수준으로 분석되었으며 강화도, 선감도, 황도, 보령, 줄포 정점이 ‘Poor(불량)’등급에 해당하였고, 나머지 지역은 ‘Moderate

Table 5. Biotic index (Shannon’s diversity, BHI, ISEP and AMBI) and status of macrobenthos communities in tidal flats along the west coast of Korea

Site	H'		BHI		ISEP		AMBI	
GH	1.7	P	94	H	0.807	H	2.2	G
SJ	1.9	M	81	H	0.592	G	2.0	G
SG	1.7	P	88	H	0.567	G	3.3	G
HD	1.7	P	65	G	0.624	H	2.1	G
BR	1.5	P	82	H	0.779	H	3.1	G
SC	2.0	M	74	G	0.630	H	2.1	G
SS	2.2	M	73	G	0.819	H	2.4	G
JP	1.6	P	95	H	0.747	H	2.8	G
GC	1.9	M	83	H	0.688	H	2.6	G
MA	2.0	M	72	G	0.591	G	1.1	H
SA	1.6	M	93	H	0.497	G	3.1	G
MP	2.4	M	84	H	0.368	M	2.3	G
Average	1.8	P	82	H	0.642	H	2.4	G

## 서해안 갯벌의 준·하계 대형저서동물의 군집구조 및 건강도 평가

(보통)수준이었다(Table 5). BHI 평균은 82로 ‘High(가장 양호)’상태이고 대부분의 조사지역이 ‘High(가장 양호)’ 또는 ‘Good(양호)’으로 오염되지 않은 것으로 확인되었다. 황도, 서천, 신시도, 무안 정점이 BHI 평균 60~80으로 Good등급으로 분류되었다. G등급을 받은 지역 중 황도는 BHI 그룹3에 해당하는 명주실타래갯지렁이(*Cirriformia tentaculata*)가 다수 출현했으며, 무안은 투구갯지렁이(*Sigambra tentaculata*), 서천에서는 침보석요정갯지렁이(*A. lanceolata*)와 BHI 그룹4에 긴아가미예쁜얼굴갯지렁이(*P. pulchra*)가 출현하였다. ISEP는 평균 0.642로 ‘High(가장 양호)’상태이다. 선제도와 선감도, 무안과 신안은 ‘Good(양호)’상태이고 유일하게 목포 갯벌이 ‘Moderate(보통)’상태로 나타났다. AMBI는 평균 2.4로 ‘Good(양호)’상태였으며, 무안 갯벌이 ‘High(가장 양호)’상태의 환경을 가진 것으로 확인되었다.

### 3.4 군집분석

#### 3.4.1 저서생물 군집

대형저서동물 군집은 유사도 30%를 기준으로 4개의 그룹으로 나뉘었다(Fig. 2). Group1에는 서천 갯벌이 속했으며 썩불이(*N. japonica*), 볼록손모래무지옆새우사촌(*Urothoe convexa*)

과 침보석요정갯지렁이(*A. lanceolata*)가 우점적으로 출현하였다. Group2에는 대표적으로 선감도, 황도, 보령, 신시도, 고창 갯벌이 포함되며 특히 패류 어장지역으로서 바지락(*R. philippinarum*)이 최고로 우점하였다. 바지락과 함께 남방백금갯지렁이(*Nephtys polybranchia*)와 두이빨넓적얼굴갯지렁이[*Scolelepis (Scolelepis) kudenovi*]가 Group2에서만 출현했다. Group3에는 목포 갯벌이 속했으며 띠조개(*L. gracilis*), 종뭇(*A. senhousia*), 필털콩게(*Ilyoplax pingi*)와 흑색반점기수우렁이(*Stenothyra edogawensis*)가 우점적으로 출현하였다. Group4는 강화도, 줄포, 무안, 신안이 포함되었고 채집된 대형저서동물이 13~16종으로 다른 Group과 비교해서 출현 종수가 적었다. 바지락(*R. philippinarum*)과 남방백금갯지렁이(*N. polybranchia*)가 전혀 출현하지 않았으며, 작은부채발갯지렁이(*Eteone longa*)와 작은부채발갯지렁이류(*Eteone* sp.)는 Group4에서만 출현하였고 유형동물(*Nemertea* unid.)의 출현이 많았다.

#### 3.4.2 퇴적물 군집

퇴적물 입도 비율에 따라서도 군집을 비교해본 결과 총 5개의 그룹으로 나뉘었으며, Sand %의 비율이 49.2~69.9%에 이르는 서천과 황도가 GroupA에 분류되었고, 사질함량이

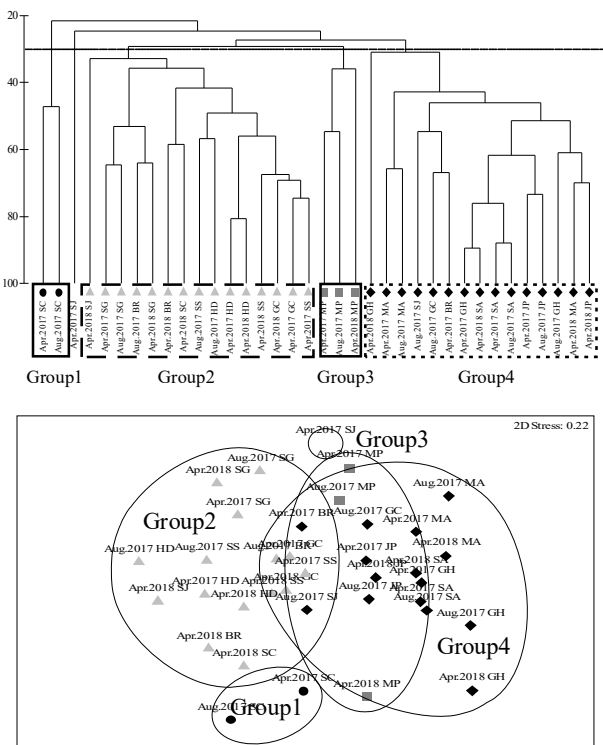


Fig. 2. Dendrogram of cluster analysis and ordination of 2D non-metric multidimensional scaling (nMDS) showing the faunal similarity between stations in tidal flats along the west coast of Korea.

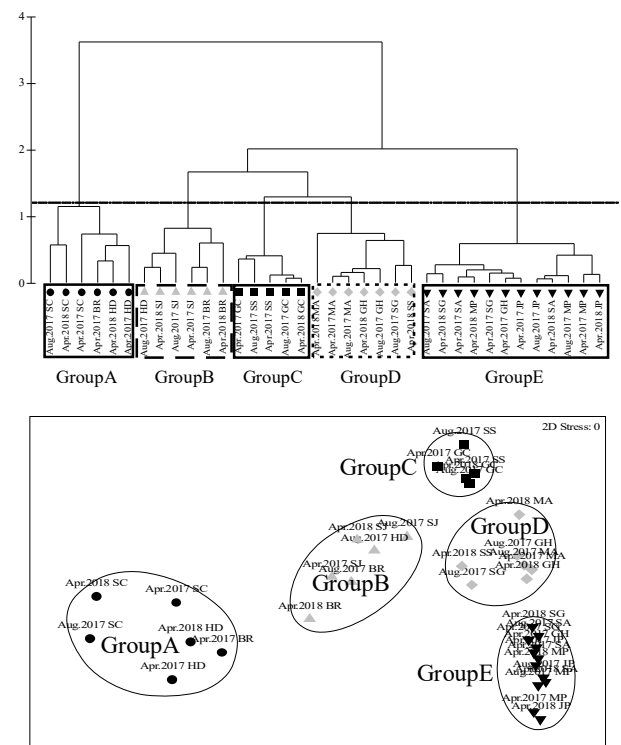


Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis and ordination of 2D non-metric multidimensional scaling (nMDS) showing the sediment similarity between stations in tidal flats along the west coast of Korea.

26.6~40.8%를 차지하는 선재도와 보령이 GroupB를 이루었다. GroupC, GroupD, GroupE는 사질이 10% 미만인 정점들이며, GroupC는 신시도와 고창 정점이 속했으며 사질이 8.7~9.5%로 비교적 모래가 혼재되어 있는 갯벌이다. GroupD와 GroupE는 Silt와 Clay의 비율이 97% 이상인 니질갯벌로 Silt의 비중이 약 80%에 해당하는 강화도와 무안 갯벌이 GroupD에 속했으며, GroupE에는 Silt 70%, Clay 27%로 제일 세립한 퇴적상을 가지는 선감도, 줄포, 신안, 목포가 포함되었다(Fig. 3).

#### 4. 고찰

##### 4.1. 서해안 갯벌의 저서환경 특성

2017년 국가 해양생태계 종합조사에서 우리나라 서남해 갯벌의 평균 표층퇴적물은 Gravel 2.6%, Sand 44.5%, Silt 38.9%, Clay 14.1%로 모래와 실트가 우세한 것으로 보고되었다(KOEM, 2017). 권역별 Sand %는 경기·인천 권역이 46.4%, 충남 권역 67.4%, 전북 권역 44.9%, 전남 권역 25.3%로 본 연구보다 사질의 조성이 높은 반면, Silt %는 경기·인천 권역이 43.7%, 전북 권역 44.6%, 전남 권역 50.9%로 본 조사보다 낮았다(Table 6). 국가 해양생태계 종합조사는 정점의 개수가 경기·인천 75개, 충남 69개, 전북 18개, 전남(서부지역) 90개로 많기 때문에 종합조사 결과가 더 대표적이라고 생각된다. 그럼에도 본 연구를 통해 충남 권역의 퇴적물은 조립하고, 전남 권역 권역이 상대적으로 세립한 퇴적물 특성을 확인하여 권역별 12개소 조사로도 경향성을 파악할 수 있는 것으로 생각된다.

Table 6. Regional sediment composition in tidal flats along the west coast of Korea. (A) this study, (B) KOEM (2017)

Region	Gravel (%)		Sand (%)		Silt (%)		Clay (%)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Gyeonggi Incheon	1.0	1.7	11.0	46.4	70.9	43.7	17.1	8.1
Chungcheongnam-do	0.9	1.6	53.3	67.4	35.1	26.7	10.8	4.3
Jeollabuk-do	0.3	0.1	6.7	44.9	78.3	44.6	14.7	10.3
Jeollanam-do	0.7	2.6	1.2	25.3	74.7	50.9	23.4	21.6

##### 4.2 대형저서동물 군집의 퇴적물 특성

대형저서동물 군집 Group2(선감도, 황도, 보령, 신시도, 고창)는 바지락(*R. philippinarum*) 어장이며 그룹 내 퇴적상 및 TOC를 분석한 결과, 황도 갯벌은 Sand %의 영향이 큰 곳이며, 선감도 갯벌은 Clay %의 영향을 많이 받으며 특히 TOC

와 밀접한 관련이 있었다. 신시도와 고창은 Silt %가 높은 어장이었으며, 보령은 혼합갯벌의 특징을 나타냈다(Fig. 4). Icho and Oshima(1931)에서 바지락은 Sand 50~80%인 사질갯벌에서 성장률이 높은 것으로 보고되어 있으나, 본 연구 결과 선감도 Sand 4.52%, 고창 Sand 9.50% 등 사질 함량이 낮아도 바지락 양식이 이루어지고 다양한 퇴적환경의 갯벌이 바지락 어장으로 기능하고 있는 것을 확인했다. 대형저서동물 Group4는 강화도, 줄포, 신안, 무안 갯벌이 주를 이루며 2017년 4월 보령 정점과, 2017년 8월 선재도 정점을 제외하면 Silt %와 TOC 사이에 밀집되는 것을 확인할 수 있다.

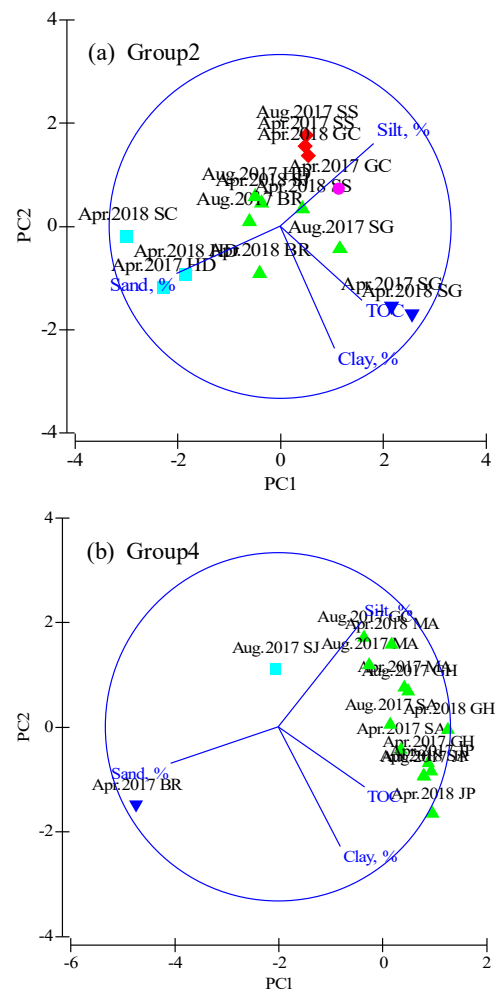


Fig. 4. Principal component analysis (PCA) biplot of macrobenthos fauna based on sediment environment data. (a) Group2, (b) Group4

##### 4.3 건강도 평가

건강도 분석결과 서해안 갯벌은 대부분 양호한 상태(High 또는 Good)를 보여 유기오염이 적은 것으로 확인되었다. 갯

별 패류어장과 자연 갯벌의 뚜렷한 차이는 없었으나 세 지수에서 나타나는 경향에서 차이를 보였다. BHI는 대부분 'High(가장 양호)'상태의 오염되지 않은(unpolluted) 어장으로 분석되었다. 반면 황도, 신시도, 무안 정점은 'Good(양호)'상태로 분류되어 어장별로 BHI 건강도 결과에 차이가 나타났으며, 황도, 신시도, 무안 갯벌에 출현하는 명주실타래갯지렁이(*C. tentaculata*), 침보석요정갯지렁이(*A. lanceolata*), 긴아가미예쁜얼굴갯지렁이(*P. pulchra*)와 양손갯지렁이(*Magelona japonica*) 등 교란된 갯벌에 서식하는 다모류의 영향일 것으로 추측된다. 남해안 수하식 굴 양식장 저서생태계 조사에서 가막만은 TOC 7.9 mg/g, BHI 64(Good status)로 본 조사보다 약간 낮았으며, 고성·자란만은 TOC 20.7 mg/g, BHI 34로 'Poor(불량)'상태여서 서해안 갯벌과 비교해 오염이 상당히 진행된 것으로 보인다(Park et al., 2017). ISEP는 생물의 생체량에 영향을 받고, 성장과 사멸을 하는 생물의 특성상 조사 시기별로 편차가 크다. 목포의 경우 니질갯벌로 생체량이 작은 다모류의 출현빈도가 높았고, 종뿔(*A. senhousia*) 등 생활사가 빠르고 생체량이 작은 기회종이 다수 출현하여 ISEP 지수가 낮게 나온 것으로 추측된다. 본 조사에서 서해안 갯벌의 AMBI지수는 평균 2.4로 'Good(양호)'상태였으며, Jung et al.(2014a)의 가로림만 춘계와 하계 조사에서 춘계에는 평균 1.85, 하계 평균 1.96로 'Good(양호)'상태를 보여 본 연구와 비슷한 환경이었고, Jung et al.(2014b)의 천수만 조사에서 AMBI지수의 춘계 평균값은 2.36, 하계 평균 2.51로 두 계절 모두 'Good(양호)'상태로 본 조사결과와 일치하였다. 반면 Seo et al.(2012)의 가막만 조사에서는 AMBI지수 범위가 2.3~5.4로 서해안 갯벌과 같거나 조금 더 오염된 환경일 것으로 생각된다. 이처럼 건강도 평가 방법별로 특성이 다르게 나타나므로 조사목적에 맞는 건강도 평가기준을 선정하고 복합적으로 분석하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

## 5. 결론

서해안 갯벌의 퇴적 환경과 대형저서동물 군집의 특성을 파악하기 위해 강화도부터 목포까지 12개소 갯벌의 저서생태계를 조사하였다.

서해안 갯벌의 퇴적물 특성은 5개로 나뉘었으며, 충남 권역에 사질 함량이 많아 조립한 퇴적상을 보였고 선감도를 제외한 권역에서는 니질(Silt+Clay)의 비율이 90% 이상을 차지하여 세립한 입도조성을 보였다.

대형저서동물의 군집유사도 분석 결과 4개의 그룹으로 나뉘었으며, Group1에 서친 갯벌은 쪽불이(*N. japonica*), 볼록손모래무지옆새우사촌(*U. convexa*)과 침보석요정갯지렁이(*A. lanceolata*)가 우점하였다. Group2는 바지락 어장 지역으로 바

지락(*R. philippinarum*), 남방백금갯지렁이(*N. polybranchia*), 짧은다리송곳갯지렁이(*L. nipponica*)가 우점하였다. Group3에는 목포 갯벌이 속했으며 띠조개(*L. gracilis*), 종뿔(*A. senhousia*)이 출현했다. Group4는 니질 갯벌로 작은부채발갯지렁이(*E. longa*), 작은부채발갯지렁이류(*Eteone* sp.)와 유형동물(Nemertea unid.)이 채집되었다.

서해안 갯벌의 건강도는 평균적으로 양호한(High 또는 Good) 상태로 평가되었으며, 국가 해양생태계 종합조사와 비교해서 동등한 수준이었으며, 남해안의 가두리 및 수하식 양식장 일대보다는 상대적으로 오염도가 낮은 것으로 확인되었다.

자연적인 현상과 인위적인 환경변화에 대한 생물의 영향을 구별하는 것은 상당히 어렵지만, 변화의 관점에서 이러한 지역적 단위의 갯벌에 대한 변동의 기초적인 데이터를 마련함으로써 앞으로의 갯벌 환경 모니터링에 따른 변화 예측 연구에 도움이 될 것으로 생각된다. 특히 서해 갯벌은 바지락 어장으로 매우 적극적으로 활용되고 있으므로, 건강도 평가 뿐만 아니라 어획정보 획득 또한 중요하며 어획정보를 바탕으로 대형저서동물 군집과 퇴적물 환경 자료를 통해 갯벌 환경에 대한 신뢰성 높은 해석이 가능할 것으로 예상된다.

## 사 사

이 논문은 2021년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 '갯벌 어장환경 모니터링(R2021058)'의 일환으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다. 그리고 수정사항을 세심히 지적해주신 익명의 3인의 심사위원님들께 감사드립니다.

## References

- [1] Borja, A., J. Franco, and V. Perez(2000), A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. Marine Pollution Bulletin, Vol. 40, No. 12, pp. 1100-1114.
- [2] Borja, A., I. Muxika, and J. Franco(2003), The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. Marine Pollution Bulletin, Vol. 46, No. 7, pp. 835-845.
- [3] Bray, J. R. and J. T. Curtis(1957), An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Ecological monographs, Vol. 27, No. 4, pp. 325-349.
- [4] Choi, J. W. and J. Y. Seo(2007), Application of biotic indices



- to assess the health condition of benthic community in Masan Bay, Korea. *Ocean and Polar Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 339-348.
- [5] Clarke, K. R., R. N. Gorley, P. J. Somerfield, and R. M. Warwick(2014), Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Primer-E Ltd.
- [6] ECJRC(2008), European Commission Joint Research Center, Water framework directive intercalibration technical report, Part.3 Coastal and Transitional waters, Ed. Alessandro Carletti and Anna-Stiina Heiskanen, pp. 18-106.
- [7] Folk, R. L.(1954), The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *The Journal of Geology*, Vol. 62, No. 4, pp. 344-359.
- [8] Hong, J. S.(2013), Biology of the mud shrimp *Upogebia major* (de Haan, 1841), with particular reference to pest management for shrimp control in Manila Clam bed in the West Coast of Korea. *Ocean and Polar Research*, Vol. 30, No. 4, pp. 323-349.
- [9] Icho, S. and Y. Osima(1931), Test book of clam culture. Sugiyama book, p. 188.
- [10] Jeon, S. R., S. Hong, Y. Choi, Y. S. Cho, and J. H. Song (2019), Comparison of sedimentary environmental characteristic of tidal flats on the West Coast of Korea depending on the habitation of mud shrimp *Upogebia major*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 52, No. 6, pp. 656-665.
- [11] Jung, R. H., I. S. Seo, W. C. Lee, H. C. Kim, J. B. Kim, B. M. Choi, J. S. Yun, and J. H. Na(2014a), Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages at spring and summer in Garorim Bay, west coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 20, No. 5, pp. 491-503.
- [12] Jung, R. H., I. S. Seo, W. C. Lee, H. C. Kim, S. R. Park, J. B. Kim, C. W. Oh, and B. M. Choi(2014b), Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages at Spring and Summer in Cheonsu Bay, West Coast of Korea. *The Sea*, Vol. 19, No. 4, pp. 272-286.
- [13] Kim, J. C., C. W. Ma, and Y. H. Jung(2015), Benthic environment and community structure of macrobenthos at the tidal flats in Chung-nam, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 48, No. 1, pp. 104-115.
- [14] Kim, S. H., B. Zhao, K. S. Choi, J. Yu, D. H. Kim, and K. Park(2020), Diseases of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*: a review. *The Korean Journal of Malacology*, Vol. 36, No. 1, pp. 45-57.
- [15] KOEM(2015), Korea Marine Environment Management Corporation, 2015 National survey on marine ecosystem (Tidal flat ecosystem), p. 348.
- [16] KOEM(2017), Korea Marine Environment Management Corporation, 2017 National survey on marine ecosystem (Tidal flat ecosystem), p. 587.
- [17] KOEM(2019), Korea Marine Environment Management Corporation, 2019 National survey on marine ecosystem (Tidal flat ecosystem), p. 448.
- [18] Lim, H. S., K. Y. Park, B. S. Ihm, J. S. Lee, and S. D. Chu(1997), Macrozoobenthic community on the mudtidalflat around Mokpo coastal area, Korea. *The Korean Journal of Ecology*, Vol. 20, pp. 355-365.
- [19] Lim, H. S. and K. Y. Park(1998), Population ecology of the mud mussel *Musculista senhousia* (Bivalvia: Mytilidae) on the mud tidal flat in Mokpo coastal area, Southwest Coast of Korea 1. Distribution and growth. *The Korean Journal of Malacology*, Vol. 14, No. 2, pp. 121-130.
- [20] Ma, C. M., S. C. Lee, S. B. Jeong, M. K. Yoon, and S. Y. Hwang(2017), Research on the Establishment of a Roadmap for Sustainable Fisheries at Mudflats - Shellfish Aquaculture. Korea Maritime Institute, p. 197.
- [21] McManus, J. W. and D. Pauly(1990), Measuring ecological stress: variations on a theme by RM Warwick. *Marine Biology*, Vol. 106, No. 2, pp. 305-308.
- [22] Muxika, I., A. Borja, and J. Bald(2007), Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 55, No. 1-6, pp. 16-29.
- [23] NIFS(2018), National Institute of Fisheries Science, Integrative ecosystem assessment and management of coastal aquaculture and fishing grounds-A study on Gangjin Bay of Sothe Sea of Korea, p. 83.
- [24] Paik, S. G., B. S. Yun, K. H. Kim, and S. G. Yun(2005), Macrobenthic community on Angol tidal flat in Jinhae. *Korean Journal of Environmental Biology*, Vol. 23, No. 2, pp. 106-113.
- [25] Park, S., S. Kim, S. P. Yoon, R. H. Jung, and W. C. Lee(2017), Effect of longline shellfish culture on benthic community structure. *The Korean Journal of Malacology*. Vol. 33, pp. 21-34.
- [26] Park, K. J., S. Heo, J. H. Lee, H. N. Oh, and S. O. Ryu(2018), Characteristics of seed occurrence and inhabited

- environments of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* beds in the west coast of Korea. The Korean Journal of Malacology, Vol. 34, pp. 17-29.
- [27] Pearson, T. H. and R. Rosenberg(1978), Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography Marine Biology an Annual Reveiw, Vol. 16, pp. 229-311.
- [28] Peterson, C. H.(1991), Intertidal Zonation of Marine Invertebrates in Sand and Mud. American Scientist, Vol 79, No. 3, pp. 236-249.
- [29] Rha, S. J., I. W. Park, Y. S. Kim, S. H. Lee, J. H. Hwang, H. S. Yoon, J. Kim, and S. D. Choi(2009), The Summer Spatial Distribution of Macrobenthic Fauna in Muan Bay, Korea. Bulletin of the Fisheries Science Institute Chonnam National University, Vol. 18, No 1, pp. 8-13.
- [30] Secieru, D. and G. Oaie(2009), The relation between the grain size composition of the sediments from the NW Black Sea and their total organic carbon (TOC) content. Geocomarina, Vol. 15, No. 1, pp. 5-11.
- [31] Seo, I. S., B. M. Choi, K. B. Kim, M. H. Kim, K. T. Yoon, M. B. Shon, C. H. Hwang, J. U. Lee, J. Y. Park, and M. H. Son(2009), Community structure of macrobenthic invertebrates on the Gwaneumpo Tidal Flat, Hallyeohaesang National Park, Korea. Korean Journal of Nature Conservation, Vol. 7, No. 4, pp. 231-245.
- [32] Seo, J. Y., S. H. Park, J. H. Lee, and J. W. Choi(2012), Structural changes in macrozoobenthic communities due to summer hypoxia in Gamak Bay, Korea. Ocean Science Journal, Vol. 47, No. 1, pp. 27-40.
- [33] Seo, J. Y., J. S. Lee, and J. W. Choi(2013), Distribution patterns of opportunistic molluscan species in Korean waters. Korean Journal of Environmental Biology, Vol. 31, No. 1, pp. 1-9.
- [34] Shannon, C. E. and W. Weaver(1949), The mathematical theory of communication, University of Illinois Press, Urbana, p. 125.
- [35] Tamaki, A.(1984), Study on dynamics of the benthic community on an intertidal sand flat, with special reference to biological interactions in the same trophic level. Doctoral dissertation, Kyushu University, p. 256.
- [36] Tamaki, A.(1985), Zonation by size in the *Armandia* sp. (Polychaeta: Opheliidae) population on an intertidal sand flat. Marine Ecology Progress Series, Vol. 27, pp. 123-133.
- [37] Tamaki, A., B. Ingole, K. Ikebe, K. Muramatsu, M. Taka, and M. Tanaka(1997), Life history of the ghost shrimp, *Callianassa japonica* Ortmann (Decapoda: Thalassinidea), on an intertidal sandflat in western Kyushu, Japan. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 210, No. 2, pp. 223-250.
- [38] Yoo, J. W., Y. W. Lee, J. L. Ruesink, C. G. Lee, C. S. Kim, M. R. Park, K. T. Yoon, I. S. Hwang, J. H. Maeng, R. Rosenberg, and J. S. Hong(2010), Environmental quality of Korean coasts as determined by modified Shannon-Wiener evenness proportion. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 170, No. 1, pp. 141-157.
- [39] Yoo, J. W., C. G. Lee, B. S. Kho, S. W. Lee, D. U. Han, K. H. Choi, C. S. Kim, and J. S. Hong(2011), Review and proposition of biological indicators for a new ecological grading system of tidal flats in Korea. Ocean and Polar Research, Vol. 33, No. 1, pp. 85-97.

---

Received : 2021. 05. 06.

Revised : 2021. 06. 17. (1st)

: 2021. 06. 26. (2nd)

Accepted : 2021. 06. 28.