

# 새만금 방조제 외측 조간대 저서환경 변화에 따른 대형저서동물 군집반응

고정일 · 이소정 · 이무준<sup>†</sup>  
안양대학교(학생) · <sup>†</sup>안양대학교(교수)

## Response of Macrozoobenthos Community to the Benthic Environmental Changes in Saemangeum Intertidal Area, South Korea

Jungil KO · Sojeong LEE · Moo Joon LEE<sup>†</sup>  
Anyang University(student) · <sup>†</sup>Anyang University(professor)

### Abstract

Since the Saemangeum dike was constructed, artificial disturbances continue to occur in the outer area of Saemangeum due to the influence of irregular discharged water. Therefore, in this study, changes in benthic environment and macrozoobenthos community were investigated to understand the effect of environmental changes near the Saemangeum dike in the intertidal area around Sinsi-do. The mean mud content (MC) and loss on ignition (LOI) of the intertidal flat of Sinsi-do were  $34.5 \pm 2.3\%$  and  $2.2 \pm 0.1\%$ . A total of 161 species of macrozoobenthos appeared and polychaetes, crustaceans, and mollusks were dominated for 93.9% of the total number of species. *Heteromastus filiformis* that appeared at 94.0% of all the stations, appeared at the highest density in regions with relatively high MC. *Arcuatula senhousia* appeared in the region with the highest LOI, and *Sinocorophium sinensis* took the extreme dominance in the lowest MC. The highly polluted indicator species *Capitella capitata*, appeared temporarily in May 2019 with a maximum density of 48,564 indiv./m<sup>2</sup>, which is expected to have occurred temporarily through the discharged water from the inside Saemangeum dike where is relatively highly polluted. The intertidal tidal area near the Saemangeum dike has been influenced in suspended matters and sediments due to the discharged water after the construction of the embankment. Therefore, in the case of the intertidal area at the southern region of Sinsi-do where is adjacent to the Saemangeum embankment, it is considered that the irregular environmental changes caused by artificial disturbances directly affect the macrozoobenthos community.

**Key words :** Saemangeum, Macrozoobenthos community, Tidal flat, Opportunistic species

## I. 서론

대형저서생물은 한 생활사 동안 자신의 서식지 범위를 크게 벗어나지 않으며 퇴적물 내에 서식하는 생태적 특성으로 인하여 주변 환경변화 및

오염정도를 지시하는 생물학적 지시자로 널리 알려져 있다(Pearson and Rosenberg, 1978; Simbourn et al., 1995; Warwick et al., 2002; Ysebaert et al., 2002). 이러한 대형저서생물의 시공간 분포 및 군집변화는 연안에서 발생하는 다양한 인위적 활동

<sup>†</sup> Corresponding author: 032-930-6028, mjoon@anyang.ac.kr

\* 이 논문은 해양수산과학기술진흥원(새만금 주변해역 해양환경 및 생태계관리연구개발)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

에 의한 환경변화에 상대적으로 민감하며, 특히 하구 저서생태계에서는 염분변화와 퇴적환경 변화에 민감하게 반응한다(Bayne et al., 1988; Day et al., 1989; Millet and Guelorget, 1994; Ysebaert et al., 2005; Sousa et al., 2006; Fujii, 2007; Ryu et al., 2011; Kim et al., 2016). 조간대 저서생태계는 조석의 영향을 직접적으로 받는 육상과 연안의 접이대로 조간대에 서식하는 저서생물의 분포는 자신이 생활하기 적합한 지역에서만 극히 제한적으로 서식하는 특성을 보인다(Swinbanks and Murray, 1981; Ryu et al., 2011).

조간대 갯벌은 조석의 영향으로 주기적으로 갯벌이 노출되며 접근성이 높아 개발이 비교적 용이하다. 이 때문에 조간대 갯벌은 광역적인 개발이 진행되고 있으며, 특히 간척 및 매립으로 인해 조간대의 규모는 지난 수십 년간 지속적으로 감소하였다(Duan et al., 2016; Tian et al., 2016, Yim et al., 2018). 2006년에 완공된 새만금 방조제는 세계 최대 규모로 총 길이 33.9 km이며 약 291 km<sup>2</sup>의 갯벌을 간척하였다(Koh et al., 2010). 새만금 외해역은 금강 하구에서 유입되는 담수의 직접적인 영향을 받는 지역이며 특히 고군산군도 주변해역은 새만금 방조제 건설 이후 유출수의 영향으로 인한 조차의 변화, 유속 감소, 해빈 침식, 퇴적물 이동 및 증가 등 인위적인 교란이 발생되고 있다(Lee et al., 1999; Jaramillo et al., 2002; Thomalla and Vincent, 2003; Lee et al., 2008). 이러한 인공구조물의 건설로 인하여 발생하는 다양한 환경변화들은 저서생물의 먹이활동과 호흡에 영향을 주고 서식지를 감소시키는 등 저서생물의 군집구조에 직간접적 영향을 미칠 수 있다(Bogaards et al., 1980; Herman et al., 2001; Koo and Je, 2002; Ryu et al., 2011).

새만금 방조제 외해역을 대상으로 진행된 선행 연구들은 새만금 방조제 건설 이후 주변 해양생태계에 다양한 물리화학적 교란이 발생하고 있음을 증명하였으며 저서생물 군집 또한 큰 영향을 받고 있다고 보고하였다(An et al., 2006; Seo et

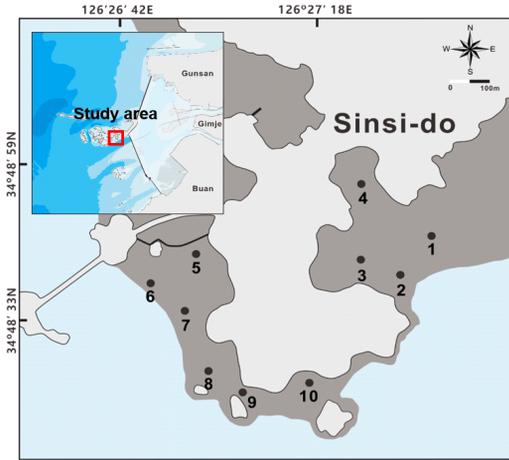
al., 2006; Koo et al., 2008; Kim et al., 2009; Jung et al., 2010; Kim et al., 2014; Cho et al., 2020). 하지만 새만금 방조제 내측 조간대와 새만금 방조제 외해역 조하대를 대상으로 한 저서생태계 연구가 대부분이며 새만금 방조제 외해역 중 방조제에 인접한 조간대 갯벌을 대상으로 한 연구는 많지 않다(Koo et al., 2008; Jung et al., 2010; Ryu et al., 2011, 2014).

자연적인 환경요인과 더불어 인위적인 환경변화가 조간대 저서생태계에 미치는 영향을 면밀하게 분석하고 통합적으로 평가하기 위해서는 국지적인 범위를 대상으로 장기간에 걸친 모니터링이 필요하다. 새만금 방조제 외측 신시도 인근 해역에서는 2018년부터 신항만 공사가 진행되고 있으며 방조제 내측에서는 2009년부터 준설과 매립 등의 공사가 계속 진행되고 있다. 또한 새만금 방조제의 신시갑문은 2015년부터 불규칙적으로 해수와 담수를 유통시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 새만금 방조제 인근 해역에서 진행되고 있는 인위적 활동과 방류수로 인한 지속적인 교란이 조간대 저서생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해 새만금 방조제 외측에 위치한 신시도 주변 조간대 갯벌을 대상으로 저서환경 및 대형저서동물군집 변화를 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

신시도는 고군산군도의 63개 섬 중 가장 큰 섬으로(4.25 km<sup>2</sup>) 군산시에서 서남쪽으로 37 km 떨어진 곳에 위치하고 있으며, 해안선 길이는 총 16.5 km이다(Fig. 1). 신시도는 새만금 방조제 건설로 육지와 연결되었으며 섬 동편에는 새만금 방조제의 신시갑문이 위치하고 있어 방류수의 직접적인 영향권에 있다.

신시도 남단 조간대 지역 총 10개 정점을 대상으로 2017년 2월부터 2020년 8월까지 연 4회(2, 5, 8, 11월) 총 15회 현장조사를 실시하였다(Fig.



[Fig. 1] Map showing the study area and sampling stations in the Sinsi-do intertidal flat, South Korea.

1). 각 정점의 퇴적상과 유기물 함량 분석을 위해 표층 0.5 cm의 퇴적물을 채취하였다. 퇴적물 시료의 니질함량을 분석하기 위하여 유기물을 과산화수소를 이용하여 제거하고, Master sizer 3000으로 측정하였다. 표층 퇴적물의 유기물 함량 분석을 위해 강열감량법(Loss on Ignition, LOI)을 이용하였으며 습시료의 습중량을 측정하고 70°C에서 72시간 이상 충분히 건조시킨 후 막자사발을 사용하여 곱게 분마하여 건조하였다. 분말퇴적물 약 2g을 도가니에 담은 후 70°C에서 4시간 이상 건조 후 실리카겔 건조기에서 1시간 이상 식히고 무게를 측정하였다. 건중량을 측정한 분말퇴적물을 고온전기로서 550°C에서 4시간 동안 강열한 후 70°C 오븐에서 1시간 이상 식히고 다시 실리카겔 건조기에서 1시간 이상 식힌 후 전자저울을 이용하여 0.001g까지 측정하고 강열 전과 후의 무게 차이를 계산하여 유기물함량(%)을 산출하였다.

대형저서동물 채집을 위해 154 cm<sup>2</sup> 면적의 원형 아크릴코어러를 이용하여 30 cm 깊이로 퇴적물을 3회 반복 채취하였으며 1 mm 망목의 체를 이용하여 저서동물을 채집하였다. 채집된 저서동

물은 10% 중성포르말린으로 고정된 후 다시 70% 에탄올에 보존하였다. 채집된 저서동물은 해부현미경과 광학현미경을 이용하여 가능한 종 수준까지 동정하였다(Kim, 1973; Kim, 1977; Paik, 1989; Choi, 1992; Shin and Rho, 1996). 속 수준까지 동정한 경우는 속명 sp. 형태로 표기하였다. 그리고 종별로 개체수를 계수하였으며, 생물량은 습중량을 측정하였다.

대형저서동물의 종조성이 유사한 정점군을 분류하기 위해 집괴분석(Cluster analysis)을 수행하였다. 상위 0.1%의 우점종의 개체수 자료를 log(X+1) 변환 후 Bray-Curtis 유사도지수(Bray and Curtis, 1957)를 계산하고 그룹평균결합법을 이용하여 수지도를 작성하였으며 집괴분석은 PRIMER 6.0을 이용하였다. 생태지수로는 Shannon 종 다양성 지수(Shannon and Weaver, 1963), Margalef 종 풍부도 지수(Margalef, 1963), Pielou 종 균등도 지수(Pielou, 1966), McNaughton 우점도 지수(McNaughton, 1968)를 계산했다.

특정종(Characteristic species)을 선택하기 위해 정점군 내의 전체 개체수에 대한 각 종의 개체수가 차지하는 비(Dominance: DOM), 정점군 내의 모든 정점 숫자에 대한 각 종이 출현한 정점 숫자의 비율(Constancy: CON), 각 종이 전체 지역에서 출현한 개체수에 대한 정점군 내에서 출현한 개체수의 비율(Degree of Association regarding Individuals: DAI), 각 종이 전체 지역에서 출현한 정점 수와 정점군내에서 출현한 정점 수의 비율(Degree of Association regarding Stations: DAS)을 산출하였다(Salzwedel et al., 1985). 이 4가지의 지수 값 중에서 DOM>0.05, CON>0.5, DAI>0.6, DAS>0.6인 기준을 적용하여 3가지 이상의 지수 값이 기준을 만족하는 경우에 정점군의 특징종으로 선정하였다.

### III. 연구 결과

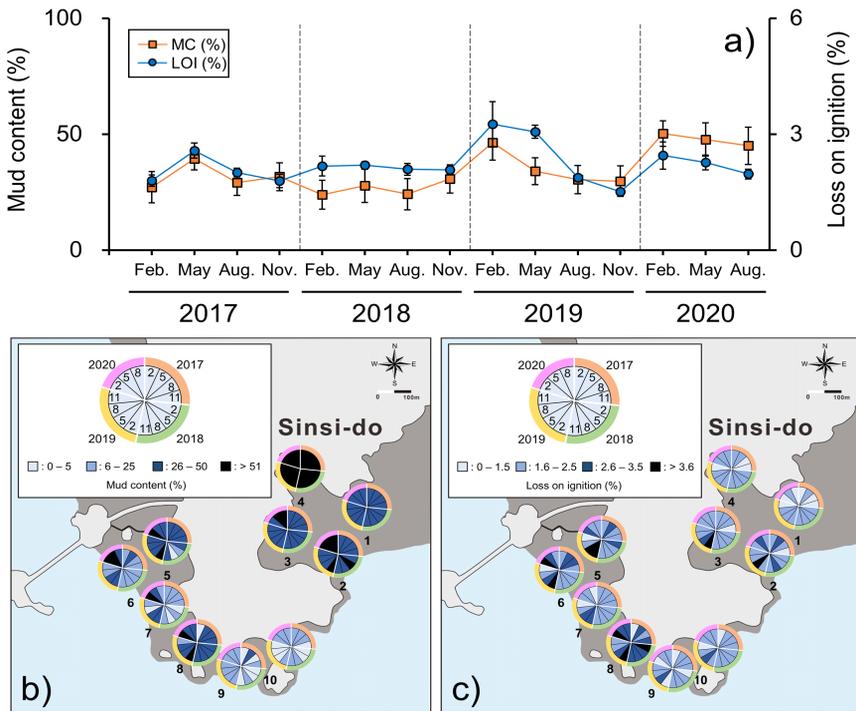
### 1. 저서환경

신시도 남단 조간대 갯벌 퇴적물의 니질함량은 전체 조사기간 동안 0.0-83.5% 범위로 평균  $34.5 \pm 2.3\%$ 를 보였다([Fig. 2a]). 2017년부터 2018년까지는 니질함량이 5월과 11월에 소폭 증가하였고 2월과 8월에 소폭 감소하는 경향을 보여 큰 변화가 없었지만, 2019년, 2020년에는 니질함량이 2월에 대폭 증가한 이후 점차 감소하는 양상을 보여주었다([Fig. 2a]). 공간적으로는 신시갑문과 인접한 지역에서(정점 1-4번) 상대적으로 니질함량이 높았으며, 특히 상부조간대에 위치한 4번 정점에서 조사기간 동안 평균  $63.4 \pm 0.7\%$ 로 가장 높은 니질함량을 보였다([Fig. 2b]). 전체 조사지역 중 가장 바깥쪽(남쪽)에 위치한 정점 9, 10에서는 니질함량이 각  $10.1 \pm 2.4\%$ ,  $7.8 \pm 1.5\%$ 로 상대적으로 낮은 값을 나타냈다([Fig. 2b]).

전체 조사기간 동안 표층 퇴적물의 유기물함량(LOI)은 1.2-6.2% 범위로 평균  $2.2 \pm 0.1\%$ 를 보였으며, 2017년 5월 소폭 증가한 것을 제외하고 2019년 이전까지 평균 유기물함량에는 큰 변화가 없었다([Fig. 2a]). 하지만 2019년 이후 2월에 니질함량과 같이 크게 증가하고 서서히 감소하는 양상을 보였다([Fig. 2a]). 공간적으로는 신시도 서쪽지역(정점 5-8번)에서 상대적으로 높은 유기물함량을 나타냈으며, 특히 정점 8번은 조사기간 동안 평균  $3.1 \pm 0.3\%$ 로 가장 높은 유기물함량을 보였다([Fig. 2c]). 유기물함량의 경우 신시도 동쪽지역에 위치한 정점 1번에서 평균  $1.7 \pm 0.1\%$ 로 가장 낮은 값을 보였다([Fig. 2c]).

### 2. 대형저서동물

전체 조사기간 동안 연구지역에서 대형저서동



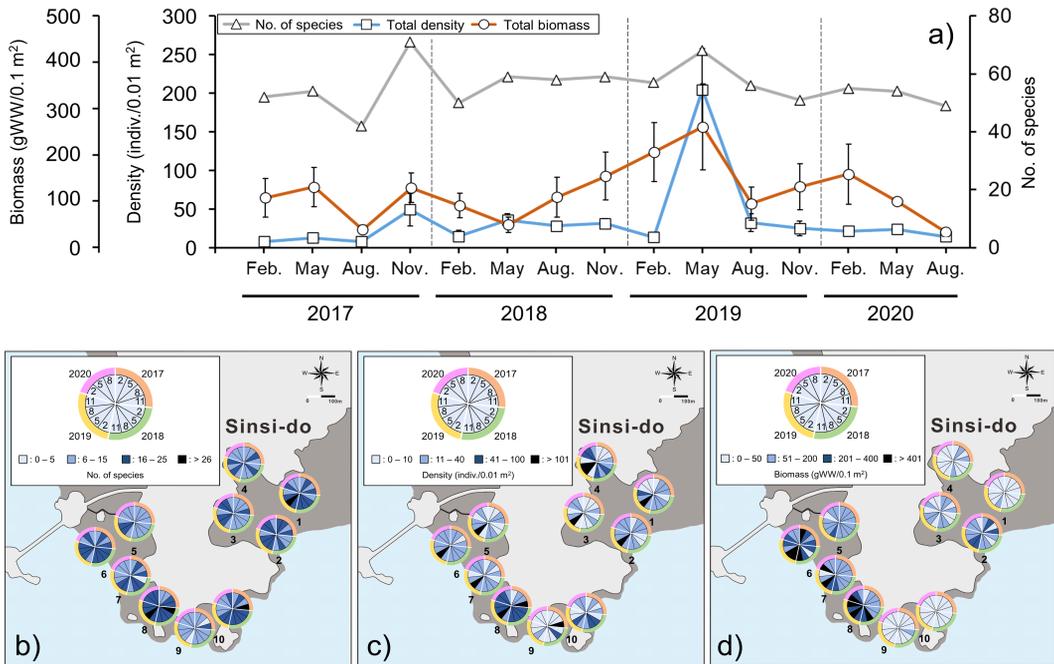
[Fig. 2] Seasonal variations and spatio-temporal distributions of mud content (MC) and loss on ignition (LOI) in sediment (Mean+SE).

물은 총 161종이 출현하였으며, 총 23,801 개체 10,320gWW 의 생물량이 채집되었다(<Table 1>). 연구대상 지역에서 출현한 대형저서동물 종은 다모류(Polychaeta), 갑각류(Crustacea) 그리고 연체동물(Mollusca)이 대부분이었으며, 이 세 분류군은 전체종수의 93.9%를 차지하였다. 출현 종수는 2017년 11월에 71종으로 가장 많았고 2017년 8월에 42종으로 가장 적게 출현하였다([Fig. 3a]). 정점별로는 남쪽에 위치한 정점 9번에서 평균 10종으로 가장 적은 종수가 출현하였고, 서쪽에 위치한 8번 정점에서 평균 22종으로 가장 많은 대형저서동물 종이 출현하였다([Fig. 3b]).

전체 대형저서동물 평균서식밀도는 3,491±546 indiv./m<sup>2</sup>이며, 분류군별 서식밀도는 다모류(72.5%), 연체동물(13.2%), 갑각류(12.9%) 순으로 높았다(<Table 1>). 연도별로 출현한 대형저서동물의 평균 서식밀도를 비교해보면 2019년까지 증가한 후 2020년에 감소하였다. 시기별로는 2017

년 2월에 790 indiv./m<sup>2</sup>로 가장 낮은 밀도를 나타냈으며([Fig. 3a]), 최대밀도는 2019년 5월에 20,456 indiv./m<sup>2</sup>로 2019년 2월에 비해 약 15배 이상 높은 밀도를 보였다([Fig. 3a]). 이는 등가시버 들갯지렁이(*Capitella capitata*)와 민승참갯지렁이(*Nereis surugaense*)의 일시적 대량 출현과 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)의 출현이 급격하게 증가하였기 때문이다. 2019년 5월을 제외하고 정점별로 대형저서동물 평균 서식밀도를 비교해보면 신시도 동쪽에 위치한 3번 정점에서 평균 982±127 indiv./m<sup>2</sup>로 가장 낮은 밀도를 보였으며, 신시도 서쪽 하부조건대에 위치한 정점 8번에서 평균 4,741±848 indiv./m<sup>2</sup>로 가장 높은 밀도를 나타냈다([Fig. 3c]).

전체 평균생물량은 1,188±123gWW/m<sup>2</sup>이며, 분류군별로 연체동물(95.3%), 갑각류(3.0%), 다모류(1.2%) 순으로 높았다(<Table 1>).



[Fig. 3] Seasonal variations and spatio-temporal distributions of number of species, density and biomass of macrozoobenthos (Mean±SE).

<Table 1> Number of species, individual number and biomass (gWW) of macrozoobenthos taxonomic groups and the seasonal variations of benthic community during the study

Taxa	Number of species		Individual number		Biomass	
Polychaeta	83	(51.6%)	17256	(72.5%)	100.4	(1.2%)
Crustacea	36	(22.4%)	3079	(12.9%)	240.9	(3.0%)
Mollusca	32	(19.9%)	3150	(13.2%)	7720.6	(95.3%)
Echinodermata	4	(2.5%)	2	(0.1%)	1.2	(0.1%)
Others	6	(3.7%)	314	(1.3%)	35.0	(0.4%)
Total	161	(100%)	23801	(100%)	10320.0	(100%)
	2017	2018	2019	2020	Total	
Number of species	99	94	105	86	161	
Mean density (indiv./m <sup>2</sup> )	1947±586	2768±346	6880±1831	1994±288	3491±1247	
Mean biomass (gWW/m <sup>2</sup> )	1008±173	999±188	1723±324	965±260	1188±156	

조사 시기별 대형저서동물 생물량의 변화를 살펴보면 2017년 2월에서 2018년 5월까지 382.4-1,299.9gWW/m<sup>2</sup> 범위로 증가와 감소가 반복되었고 2018년 8월(1,080.2gWW/m<sup>2</sup>)부터 2019년 5월(2,592.5gWW/m<sup>2</sup>)까지 지속적으로 증가한 후 2019년 8월에 942.1gWW/m<sup>2</sup>로 급격히 감소하였다. 2019년 11월부터 2020년 2월까지 1,307.1-1,575.1gWW/m<sup>2</sup>로 증가하였으며 2020년 5월부터 8월까지 992.6 - 327.0gWW/m<sup>2</sup>로 감소하는 경향을 보였다([Fig. 3a]). 공간적으로는 신시도 서쪽(정점 5-8번)에서 평균 1,145.9-3,086.5gWW/m<sup>2</sup>로 다른 지역에 비해 상대적으로 높은 생물량을 보였다. 신시도 남단 조간대 갯벌에서 채집된 대형저서동물 중 개체수 상위 1% 이상을 차지하는 우점종은 총 13종이었으며, 환형동물 7종, 절지동물 3종, 연체동물 2종, 유형동물 1종이 포함되었고 이 우점 분류군 들은 전체개체수의 82.6%를 차지하였다(<Table 2>).

첫 번째 우점종은 전체 개체수의 20.7%를 차지한 *H. filiformis*로 평균서식밀도는 723 indiv./m<sup>2</sup>였으며, 조사기간 동안 거의 모든 정점(전체 정점의 94.0%)에서 출현하였다. *Heteromastus filiformis*의 평균 서식밀도는 2017년부터 2019년까지 138-1,524 indiv./m<sup>2</sup>로 서서히 증가한 후 2020년에

777 indiv./m<sup>2</sup>로 감소하였다.

두 번째 우점종 *C. capitata*와 세 번째 우점종 *N. surugaense*는 전체 개체수의 17.8%, 9.1%를 차지하였다. 이 두 종은 2019년 이전에는 연구지역에서 출현하지 않았으나 2019년 5월에 극우점하였고, 이후 거의 출현하지 않거나 낮은 밀도로 출현하였다.

네 번째 우점종은 전체 개체수의 7.6%를 차지한 바지락(*Ruditapes philippinarum*)으로 평균서식밀도는 전체 정점기준 267 indiv./m<sup>2</sup>이며, 조사기간 동안 전체 정점의 70.0%에서 출현하였다. 서식밀도는 2017년부터 2020년까지 168-326 indiv./m<sup>2</sup>로 시간이 지나면서 점차 증가했다.

다섯 번째 우점종은 전체 개체수의 5.6%를 차지한 단각류(*Microdeutopus* sp.)로 평균서식밀도는 전체 정점기준 194 indiv./m<sup>2</sup>이며, 조사기간 동안 전체 정점의 46.7%에서 출현하였다. 2017년에 높은 밀도(560 indiv./m<sup>2</sup>)로 출현하였으나, 이후 25-86 indiv./m<sup>2</sup>로 감소하였다.

기타 대형저서동물 우점종은 전체 개체수의 4.3% 남방백금갯지렁이(*Nephtys polybranchia*), 4.2% 갯모갯지렁이(*Leitoscoloplos pugettensis*), 3.9% 중밧(*Arcuatula senhousia*), 2.5% 중국뱀옆새우(*Sinocorophium sinensis*), 2.0% 투구갯지렁이류

<Table 2> Seasonal variations of density (>1% of total density) and appearance frequency (F) of the dominant species

Species	2017			2018			2019			2020			Total	
	Density (Indiv./m <sup>2</sup> )	F (%)		Density (Indiv./m <sup>2</sup> )	F (%)		Density (Indiv./m <sup>2</sup> )	F (%)		Density (Indiv./m <sup>2</sup> )	F (%)		Density (Indiv./m <sup>2</sup> )	F (%)
<i>Heteromastus filiformis</i>	138 (7.1%)	95.0		466 (16.8%)	92.5		1524 (22.2%)	97.5		777 (38.9%)	90.0		723 (20.7%)	94.0
<i>Capitella capitata</i>	-	-		-	-		2320 (33.7%)	50.0		20 (1.0%)	33.3		623 (17.8%)	20.0
<i>Nereis surugaense</i>	-	-		-	-		1191 (17.3%)	25.0		-	-		318 (9.1%)	6.7
<i>Ruditapes philippinarum</i>	168 (8.6%)	65.0		283 (10.2%)	60.0		305 (4.4%)	77.5		326 (16.3%)	80.0		267 (7.6%)	70.0
<i>Microdeutopus</i> sp.	560 (28.8%)	50.0		86 (3.1%)	35.0		25 (0.4%)	40.0		75 (3.8%)	66.7		194 (5.6%)	46.7
<i>Nephtys polybranchia</i>	91 (4.7%)	87.5		256 (9.2%)	92.5		157 (2.3%)	82.5		79 (4.0%)	80.0		150 (4.3%)	86.0
<i>Leitoscoloplos pugettensis</i>	157 (8.1%)	57.5		195 (7.1%)	62.5		190 (2.8%)	62.5		7 (0.4%)	20.0		146 (4.2%)	52.7
<i>Arcuatula senhousia</i>	222 (11.4%)	2.5		258 (9.3%)	17.5		22 (0.3%)	17.5		8 (0.4%)	20.0		136 (3.9%)	14.0
<i>Sinocorophium sinensis</i>	12 (0.6%)	17.5		307 (11.1%)	15.0		5 (0.1%)	10.0		-	-		87 (2.5%)	11.3
<i>Sigambra tentaculata</i>	47 (2.4%)	62.5		85 (3.1%)	80.0		83 (1.2%)	70.0		71 (3.6%)	56.7		71 (2.0%)	68.0
<i>Polydora</i> sp.	2 (0.1%)	5.0		73 (2.6%)	37.5		172 (2.5%)	35.0		18 (0.9%)	13.3		69 (2.0%)	23.3
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	41 (2.1%)	35.0		57 (2.0%)	67.5		61 (0.9%)	67.5		84 (4.2%)	60.0		59 (1.7%)	57.3
<i>Lineus</i> sp.	30 (1.6%)	57.5		43 (1.5%)	70.0		59 (0.9%)	82.5		32 (1.6%)	66.7		42 (1.2%)	69.3

(*Sigambra tentaculata*), 2.0% 긴얼굴갯지렁이속 (*Polydora* sp.), 1.7% 칠게(*Macrophthalmus japonicus*), 1.2% 끈벌레류(*Lineus* sp.) 순으로 출현하였다.

신시도 남단 조간대 갯벌 10개 정점에서 총 15회 조사된 대형저서동물의 개체수 자료를 이용하여 집괴분석을 실시한 결과 총 6개의 정점군으로 구분되었다(Fig. 4). 전체 정점군들은 계절(조사 시기) 변화에 따른 뚜렷한 차이는 보이지 않았으나, 특징적으로 2019년 5월에 10번 정점을 제외한 모든 조사정점으로 구성된 D 정점군을 제외하면 대체로 조사정점의 지역적 특성별로 정점군이 구분되었다. 정점군 A는 신시도 남쪽 9, 10번 정점과 동쪽 1번 정점으로만 구성되었으며, 정점군 B는 2018년 8월 7번 정점을 제외하고 신시도 남쪽 정점으로 구성되었다. 정점군 C는 신시도 동쪽 1번 정점으로만 구성되었으며 2019년 8월과 11월에는 3번과 4번 정점을 포함하였다. 정점군 E는 거의 모든 조사기간 동안 신시도 서쪽 5-8번

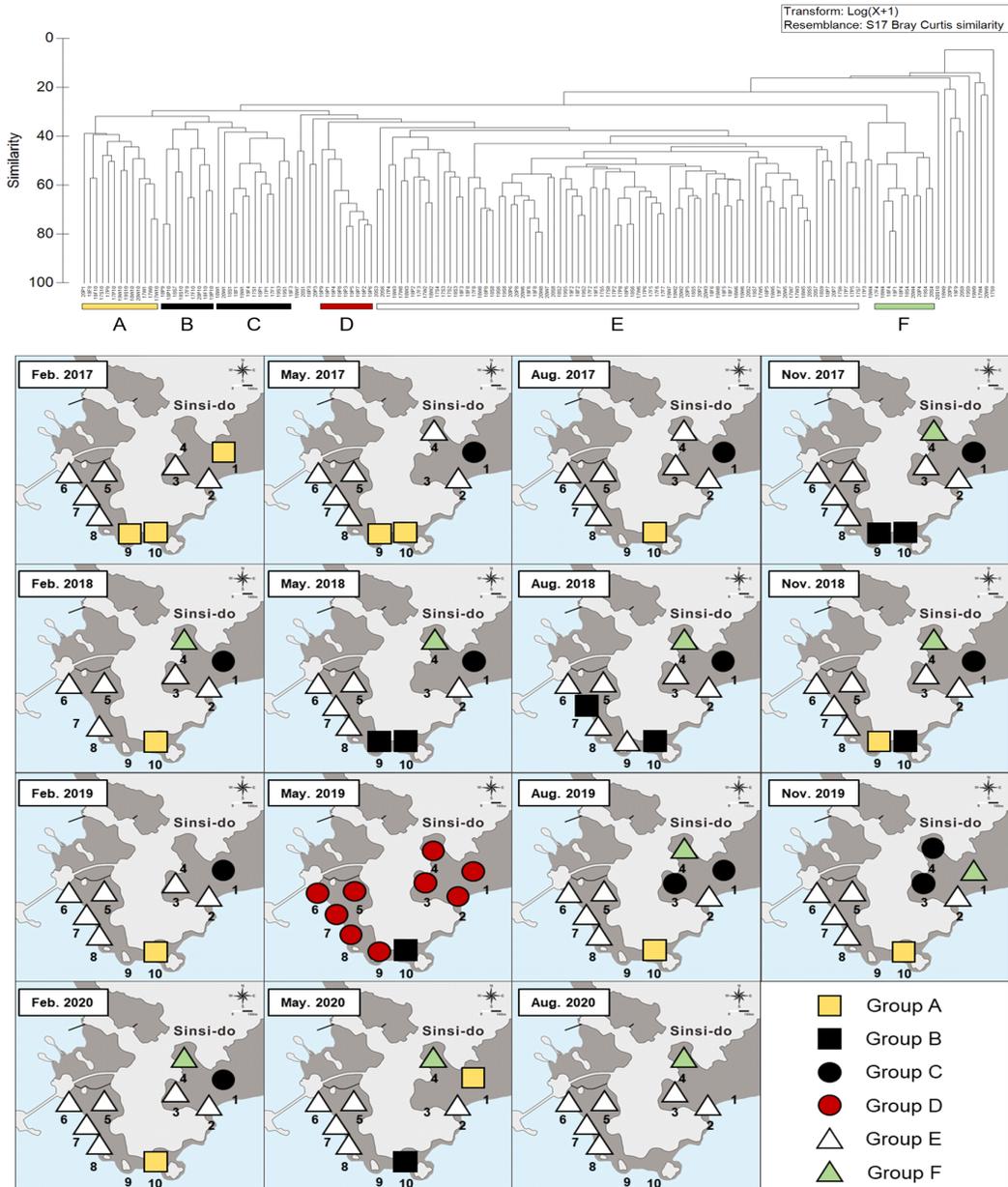
정점을 모두 포함하였으며 정점군 F는 2019년 11월 1번 정점을 제외하고 4번 정점만으로 구성되었다(Fig. 4).

신시도 남쪽 지역에 주로 위치한 정점군 A (13개 정점)의 출현 종수는 43종이며, 가장 낮은 서식밀도(668 indiv./m<sup>2</sup>)와 생물량(17.3gWW/m<sup>2</sup>)을 보였으나, 생태지수는 가장 높게 산출되어 종다양성이 비교적 좋음을 지시했다(Fig. 4, <Table 3>). 우점종은 사질퇴적상을 선호하는 *N. polybranchia*, 얼굴갯지렁이류(*Spio armata*), *H. filiformis*가 차지했다. 정점군 A와 같은 신시도 남쪽지역에 주로 위치한 정점군 B (9개 정점)의 출현 종수는 46종으로 정점군 A와 큰 차이는 없었으며, 두 번째로 높은 서식밀도(6,500 indiv./m<sup>2</sup>)와 낮은 생물량(141.8gWW/m<sup>2</sup>)을 보였다. 생태지수는 정점군 A에 비해 낮은 종다양성을 지시했으며 우점종은 *S. sinensis*, *N. polybranchia*, *H. filiformis*였다. 동쪽지역에 위치한 하부조간대에 위치한 정점군 C (13개)의 출현 종수는 45종이며, 상대적

새만금 방조제 외측 조간대 저서환경 변화에 따른 대형저서동물 군집반응

으로 낮은 서식밀도(1,779 indiv./m<sup>2</sup>)와 생물량(151.1gWW/m<sup>2</sup>)을 나타냈다. 생태지수는 두 번째로 높은 종다양성을 지시했고 우점종은 *L.*

*pugettensis*, 긴코별난가시갯지렁이류(*Aricidea jeffreysii*), *H. filiformis*가 차지했다. 생태지수는 높은 종다양성을 지시했다.



[Fig. 4] Result of the station groups classified by the cluster analysis based on density of macrozoobenthos.

*Ruditapes philippinarum*, *A. senhousia*, *M. japonicus*가 특징종으로 선정되었으며, 특히 *R. philippinarum*가 생물량의 극우점하였다. 동쪽지역 상부조간대에 위치한 정점군 F의 출현 종수는 32 종으로 가장 적게 출현했으며, 상대적으로 높은 서식밀도(5,339 indiv./m<sup>2</sup>)와 낮은 생물량(97.0gWW/m<sup>2</sup>)을 보였다. 6개의 정점군 중에 가장 낮은 종 다양성과 높은 우점도를 지시했다. 우점종은 *H. filiformis*, *Polydora* sp., *L. pugettensis*, *M. japonicus*가 차지했다.

<Table 3> Ecological characteristics of environmental properties and macrozoobenthos community of each six station groups by cluster analysis

	Station group A	Station group B	Station group C	Station group D	Station group E	Station group F																																																																																																																																																																																																																																																																										
<b>Environmental characteristic</b> (Mean ± SE)																																																																																																																																																																																																																																																																																
Mud content (%)	13.1 ± 4.0	5.8 ± 1.9	44.1 ± 2.0	37.3 ± 5.3	37.2 ± 2.2	61.7 ± 2.0																																																																																																																																																																																																																																																																										
LOI (%)	1.7 ± 0.1	2.1 ± 0.2	1.6 ± 0.1	3.0 ± 0.2	2.4 ± 0.1	1.8 ± 0.1																																																																																																																																																																																																																																																																										
Mean grain size (Ø)	3.1 ± 0.2	2.9 ± 0.2	3.9 ± 0.1	3.8 ± 0.3	3.9 ± 0.1	4.2 ± 0.1																																																																																																																																																																																																																																																																										
<b>Community structure indices</b> (Mean ± SE)																																																																																																																																																																																																																																																																																
Total number of species	43	46	45	41	53	32																																																																																																																																																																																																																																																																										
Mean density (indiv./m <sup>2</sup> )	668 ± 114	6500 ± 1976	1779 ± 283	21863 ± 5684	2003 ± 210	5339 ± 115																																																																																																																																																																																																																																																																										
Mean biomass (gWW/m <sup>2</sup> )	17.3 ± 5.2	141.8 ± 89.6	151.1 ± 66.9	2853.0 ± 989.0	1665.8 ± 159.0	97.0 ± 23.0																																																																																																																																																																																																																																																																										
<b>Ecological indices</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																
Diversity (H')	2.13 ± 0.07	1.65 ± 0.26	2.09 ± 0.11	1.34 ± 0.12	1.95 ± 0.04	1.29 ± 0.19																																																																																																																																																																																																																																																																										
Evenness (J)	0.89 ± 0.02	0.58 ± 0.09	0.78 ± 0.03	0.45 ± 0.04	0.76 ± 0.01	0.53 ± 0.08																																																																																																																																																																																																																																																																										
Richness (R)	3.19 ± 0.20	2.96 ± 0.29	3.34 ± 0.22	2.89 ± 0.11	2.97 ± 0.07	1.93 ± 0.17																																																																																																																																																																																																																																																																										
Dominance (D)	0.43 ± 0.02	0.64 ± 0.07	0.52 ± 0.04	0.79 ± 0.04	0.55 ± 0.02	0.75 ± 0.06																																																																																																																																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Density</th> <th colspan="2">Biomass</th> <th colspan="2">Density</th> <th colspan="2">Biomass</th> <th colspan="2">Density</th> <th colspan="2">Biomass</th> </tr> <tr> <th></th> <th>(indiv./m<sup>2</sup>)</th> <th>(gWW/m<sup>2</sup>)</th> <th>(indiv./m<sup>2</sup>)</th> <th>(gWW/m<sup>2</sup>)</th> <th>(indiv./m<sup>2</sup>)</th> <th>(gWW/m<sup>2</sup>)</th> <th>(indiv./m<sup>2</sup>)</th> <th>(gWW/m<sup>2</sup>)</th> <th>(indiv./m<sup>2</sup>)</th> <th>(gWW/m<sup>2</sup>)</th> <th>(indiv./m<sup>2</sup>)</th> <th>(gWW/m<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Dominant species</b> *</td> <td colspan="12"></td> </tr> <tr> <td><i>Nephtys polybranchia</i></td> <td>134</td> <td>0.3</td> <td>755</td> <td>1.3</td> <td>81</td> <td>0.2</td> <td>196</td> <td>0.5</td> <td>131</td> <td>0.3</td> <td>33</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td><i>Sinocorophium sinensis</i></td> <td>27</td> <td>&lt;0.01</td> <td>1357</td> <td>0.6</td> <td>5</td> <td>&lt;0.01</td> <td>17</td> <td>&lt;0.01</td> <td>2</td> <td>&lt;0.01</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><i>Spio armata</i></td> <td>90</td> <td>0.3</td> <td>81</td> <td>0.2</td> <td>22</td> <td>0.2</td> <td>12</td> <td>0.2</td> <td>3</td> <td>&lt;0.01</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><i>Heteromastus filiformis</i></td> <td>71</td> <td>0.2</td> <td>281</td> <td>0.2</td> <td>103</td> <td>0.1</td> <td>3640</td> <td>6.3</td> <td>429</td> <td>1.6</td> <td>3522</td> <td>6.1</td> </tr> <tr> <td><i>Lineus</i> sp.</td> <td>29</td> <td>0.6</td> <td>93</td> <td>0.8</td> <td>44</td> <td>1.6</td> <td>88</td> <td>2.5</td> <td>42</td> <td>0.7</td> <td>13</td> <td>&lt;0.01</td> </tr> <tr> <td><i>Magelona sacculata</i></td> <td>27</td> <td>0.0</td> <td>88</td> <td>0.1</td> <td>56</td> <td>0.1</td> <td>24</td> <td>&lt;0.01</td> <td>2</td> <td>&lt;0.01</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><i>Leitoscoloplos pugettensis</i></td> <td>14</td> <td>0.1</td> <td>29</td> <td>0.1</td> <td>692</td> <td>1.6</td> <td>420</td> <td>0.6</td> <td>65</td> <td>0.3</td> <td>332</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td><i>Aricidea jeffreysii</i></td> <td>8</td> <td>&lt;0.01</td> <td>64</td> <td>0.1</td> <td>135</td> <td>0.1</td> <td>54</td> <td>0.1</td> <td>11</td> <td>&lt;0.01</td> <td>2</td> <td>&lt;0.01</td> </tr> <tr> <td><b><i>Sigambra tentaculata</i></b></td> <td>5</td> <td>&lt;0.01</td> <td>49</td> <td>&lt;0.01</td> <td>69</td> <td>0.1</td> <td>117</td> <td>0.2</td> <td><b>94</b></td> <td>0.1</td> <td>9</td> <td>&lt;0.01</td> </tr> <tr> <td><i>Lumbrineris longifolia</i></td> <td>5</td> <td>0.1</td> <td>2</td> <td>&lt;0.01</td> <td>61</td> <td>0.1</td> <td>51</td> <td>0.1</td> <td>25</td> <td>0.1</td> <td>2</td> <td>&lt;0.01</td> </tr> <tr> <td><b><i>Capitella capitata</i></b></td> <td>-</td> <td>-</td> <td>29</td> <td>&lt;0.01</td> <td>5</td> <td>&lt;0.01</td> <td><b>10225</b></td> <td>11.9</td> <td>12</td> <td>0.1</td> <td>4</td> <td>&lt;0.01</td> </tr> <tr> <td><i>Nereis surugaense</i></td> <td>-</td> <td>-</td> <td>262</td> <td>0.1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td><b>5031</b></td> <td>2.7</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><b><i>Ruditapes philippinarum</i></b></td> <td>10</td> <td>0.2</td> <td>12</td> <td>85.6</td> <td>39</td> <td>62.1</td> <td>526</td> <td>2675.8</td> <td><b>419</b></td> <td>1503.4</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><i>Arcuatula senhousia</i></td> <td>2</td> <td>0.1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>5</td> <td>&lt;0.01</td> <td>76</td> <td>74.6</td> <td><b>244</b></td> <td>41.4</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><i>Polydora</i> sp.</td> <td>2</td> <td>0.0</td> <td>59</td> <td>&lt;0.01</td> <td>2</td> <td>&lt;0.01</td> <td>394</td> <td>0.2</td> <td>13</td> <td>&lt;0.01</td> <td>524</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td><b><i>Macrophthalmus japonicus</i></b></td> <td>3</td> <td>0.1</td> <td>20</td> <td>0.8</td> <td>15</td> <td>5.3</td> <td>46</td> <td>10.5</td> <td><b>75</b></td> <td>16.6</td> <td>169</td> <td>7.1</td> </tr> <tr> <td><i>Callianasa japonica</i></td> <td>7</td> <td>0.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>2</td> <td>5.3</td> <td>1</td> <td>0.1</td> <td>90</td> <td>66.9</td> </tr> </tbody> </table>														Density		Biomass		Density		Biomass		Density		Biomass			(indiv./m <sup>2</sup> )	(gWW/m <sup>2</sup> )	<b>Dominant species</b> *													<i>Nephtys polybranchia</i>	134	0.3	755	1.3	81	0.2	196	0.5	131	0.3	33	0.3	<i>Sinocorophium sinensis</i>	27	<0.01	1357	0.6	5	<0.01	17	<0.01	2	<0.01	-	-	<i>Spio armata</i>	90	0.3	81	0.2	22	0.2	12	0.2	3	<0.01	-	-	<i>Heteromastus filiformis</i>	71	0.2	281	0.2	103	0.1	3640	6.3	429	1.6	3522	6.1	<i>Lineus</i> sp.	29	0.6	93	0.8	44	1.6	88	2.5	42	0.7	13	<0.01	<i>Magelona sacculata</i>	27	0.0	88	0.1	56	0.1	24	<0.01	2	<0.01	-	-	<i>Leitoscoloplos pugettensis</i>	14	0.1	29	0.1	692	1.6	420	0.6	65	0.3	332	2.1	<i>Aricidea jeffreysii</i>	8	<0.01	64	0.1	135	0.1	54	0.1	11	<0.01	2	<0.01	<b><i>Sigambra tentaculata</i></b>	5	<0.01	49	<0.01	69	0.1	117	0.2	<b>94</b>	0.1	9	<0.01	<i>Lumbrineris longifolia</i>	5	0.1	2	<0.01	61	0.1	51	0.1	25	0.1	2	<0.01	<b><i>Capitella capitata</i></b>	-	-	29	<0.01	5	<0.01	<b>10225</b>	11.9	12	0.1	4	<0.01	<i>Nereis surugaense</i>	-	-	262	0.1	-	-	<b>5031</b>	2.7	-	-	-	-	<b><i>Ruditapes philippinarum</i></b>	10	0.2	12	85.6	39	62.1	526	2675.8	<b>419</b>	1503.4	-	-	<i>Arcuatula senhousia</i>	2	0.1	-	-	5	<0.01	76	74.6	<b>244</b>	41.4	-	-	<i>Polydora</i> sp.	2	0.0	59	<0.01	2	<0.01	394	0.2	13	<0.01	524	0.2	<b><i>Macrophthalmus japonicus</i></b>	3	0.1	20	0.8	15	5.3	46	10.5	<b>75</b>	16.6	169	7.1	<i>Callianasa japonica</i>	7	0.5	-	-	-	-	2	5.3	1	0.1	90	66.9										
	Density		Biomass		Density		Biomass		Density		Biomass																																																																																																																																																																																																																																																																					
	(indiv./m <sup>2</sup> )	(gWW/m <sup>2</sup> )																																																																																																																																																																																																																																																																														
<b>Dominant species</b> *																																																																																																																																																																																																																																																																																
<i>Nephtys polybranchia</i>	134	0.3	755	1.3	81	0.2	196	0.5	131	0.3	33	0.3																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Sinocorophium sinensis</i>	27	<0.01	1357	0.6	5	<0.01	17	<0.01	2	<0.01	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Spio armata</i>	90	0.3	81	0.2	22	0.2	12	0.2	3	<0.01	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Heteromastus filiformis</i>	71	0.2	281	0.2	103	0.1	3640	6.3	429	1.6	3522	6.1																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Lineus</i> sp.	29	0.6	93	0.8	44	1.6	88	2.5	42	0.7	13	<0.01																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Magelona sacculata</i>	27	0.0	88	0.1	56	0.1	24	<0.01	2	<0.01	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Leitoscoloplos pugettensis</i>	14	0.1	29	0.1	692	1.6	420	0.6	65	0.3	332	2.1																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Aricidea jeffreysii</i>	8	<0.01	64	0.1	135	0.1	54	0.1	11	<0.01	2	<0.01																																																																																																																																																																																																																																																																				
<b><i>Sigambra tentaculata</i></b>	5	<0.01	49	<0.01	69	0.1	117	0.2	<b>94</b>	0.1	9	<0.01																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Lumbrineris longifolia</i>	5	0.1	2	<0.01	61	0.1	51	0.1	25	0.1	2	<0.01																																																																																																																																																																																																																																																																				
<b><i>Capitella capitata</i></b>	-	-	29	<0.01	5	<0.01	<b>10225</b>	11.9	12	0.1	4	<0.01																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Nereis surugaense</i>	-	-	262	0.1	-	-	<b>5031</b>	2.7	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																				
<b><i>Ruditapes philippinarum</i></b>	10	0.2	12	85.6	39	62.1	526	2675.8	<b>419</b>	1503.4	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Arcuatula senhousia</i>	2	0.1	-	-	5	<0.01	76	74.6	<b>244</b>	41.4	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Polydora</i> sp.	2	0.0	59	<0.01	2	<0.01	394	0.2	13	<0.01	524	0.2																																																																																																																																																																																																																																																																				
<b><i>Macrophthalmus japonicus</i></b>	3	0.1	20	0.8	15	5.3	46	10.5	<b>75</b>	16.6	169	7.1																																																																																																																																																																																																																																																																				
<i>Callianasa japonica</i>	7	0.5	-	-	-	-	2	5.3	1	0.1	90	66.9																																																																																																																																																																																																																																																																				

\* Species in bold indicate characteristic species selected, in case of satisfying three out of the following criteria; DOM > 0.05, CON > 0.5, DAI > 0.6, DAS > 0.6.

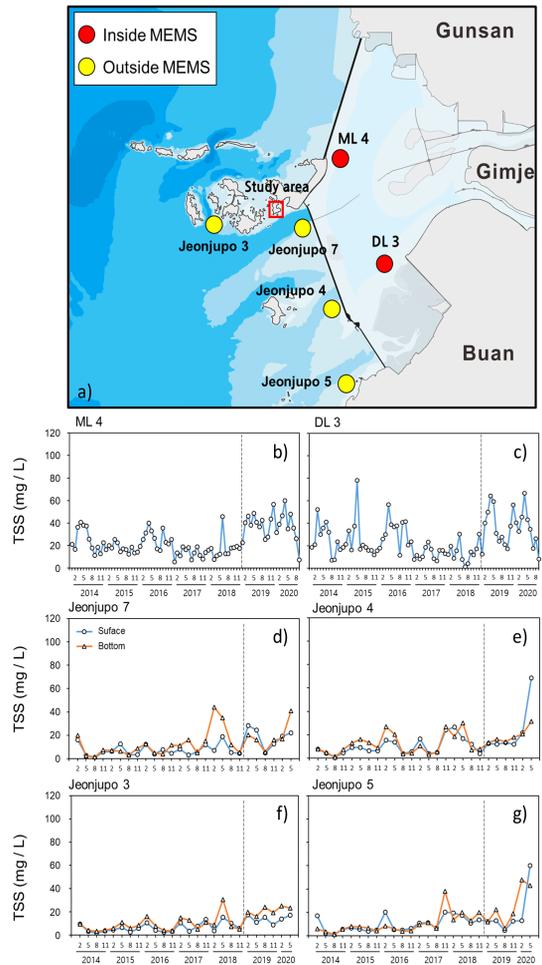
2019년 5월 모든 정점(10번 제외)을 포함하는 정점군 D의 출현 종수는 41종이며, 6개 정점군 중에 가장 높은 서식밀도(2,1853 indiv./m<sup>2</sup>)와 생물량(2,853.0gWW/m<sup>2</sup>)을 나타냈다. 생태지수는 두 번째로 낮은 종다양성과 가장 높은 우점도를 나타냈다. 정점군 D는 2019년 5월에 일시적으로 극우점한 *C. capitata*, *N. surugaense* 2종이 특징종으로 선정되었으며, *H. filiformis* 또한 높은 서식밀도로 우점하였다. 서쪽지역의 정점(5-8번)과 동쪽지역의 위치한 정점 2, 3, 4번으로 구성된 정점군 E의 출현 종수는 가장 많은 53종이며, 많은 정점(80개)으로 구성된 것에 비해 낮은 서식밀도(2,003 indiv./m<sup>2</sup>)와 높은 생물량(1,665.8gWW/m<sup>2</sup>)을 나타냈다.

#### IV. 고찰

서해안 조간대 갯벌 퇴적물의 평균입도는 일반적으로 겨울에 불어오는 계절풍으로 인한 강한 파랑의 영향으로 겨울철에 비교적 조립하고, 여름철에 세립한 것으로 알려져 있다(Choi, 2014; Yang et al., 2015). 하지만 본 조사기간 동안 새만금 외해역 신시도 주변 조간대 갯벌에서 조사된 니질함량의 경우 2017년과 2018년에는 5월과 11월에 비교적 소폭 높게 나타났으나 큰 변화가 관찰되지 않았으며 2019년과 2020년에는 2월에 눈에 띄게 증가한 후 점차 감소하는 경향을 확인하였다(Fig. 2)]. 유기물함량의 경우 퇴적물이 세립할수록 증가한다고 알려져 있는데(EPA, 1991; Kim and Ha, 2001; Jeon et al., 2019), 신시도 조간대 갯벌의 경우에도 평균적으로 퇴적물의 니질함량이 증가하고 감소함에 따라 유기물 함량도 함께 증감하는 유사한 패턴을 보였다(Fig. 2a)]. 하지만 전체 조사기간 중 니질함량이 가장 높았던 신시도 동쪽 지역의(1, 2, 3, 4번 정점) 유기물 함량은 상대적으로 가장 낮았다(Fig 2b, c)].

새만금 방조제 인근에 위치한 해양환경측정망

정점들의 부유사 농도변화 자료를 분석해본 결과 (2014-2020년), 2019년 1월 이후 새만금호 내측 해역에 위치한 ML 4, DL 3번 정점에서 부유사 농도가 전년 대비 급격히 증가한 것을 확인하였으며(Fig. 5b, c)], 새만금 외해역에 위치한 해양환경측정망 정점 중 신시도 연구대상 조간대 갯벌과 가장 가까운 정점인 전주포 7번에서도 2019년 1월 이후 표층 부유사 농도가 전년 대비 증가

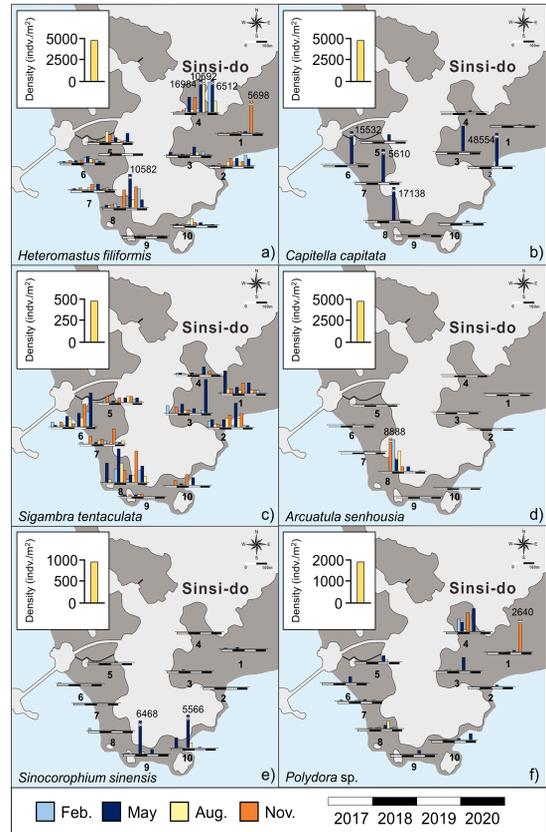


[Fig. 5] The stations of marine environmental monitoring system around the study area and seasonal variations of total suspended solids (TSS) from 2014 to 2020.

하는 경향을 확인하였다(Fig. 5d). 새만금 내측과 외측 해양환경측정망의 부유사 농도 변화패턴은 본 연구기간 동안 조사된 전체 정점의 평균 니질함량 및 유기물 함량의 변화양상과 유사하였다(Fig. 2).

서·남해안 갯벌 조건대를 대상으로 선행된 연구 결과들과 대형저서동물의 출현 양상을 비교해 보았다. 채집 표본의 규모와 조사 시기에 따라 대형저서동물의 출현 양상은 차이가 있을 수 있지만 본 조사기간 동안 신시도 주변 조건대 갯벌에 출현한 대형저서동물 종수(161종), 평균서식밀도( $3,491 \pm 546$  indiv./m<sup>2</sup>) 및 평균생물량( $1,188 \pm 123$ gWW/m<sup>2</sup>)은 목포 화원반도(119종,  $2,357$  indiv./m<sup>2</sup>,  $181$ gWW/m<sup>2</sup>), 인천 송도(111종,  $708$  indiv./m<sup>2</sup>), 충남 이원방조제(137종,  $174$  indiv./m<sup>2</sup>), 가로림만(154종,  $368$  indiv./m<sup>2</sup>), 새만금 계획도(68종,  $507$  indiv./m<sup>2</sup>,  $52$ gWW/m<sup>2</sup>)와 비교하여 모두 높았다(Lim et al., 1997; Hong and Seo, 2001; Ryu, 2006; Yu et al., 2006; Shin et al., 2017). 다른 지역과 비교하여 신시도 주변 조건대 갯벌에서 대형저서동물의 평균서식밀도가 월등히 높은 이유는 *H. filiformis*, *C. capitata* 등의 우점종이 일부 정점에서 대량으로 출현했기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 6).

신시도 남단 조건대 갯벌의 퇴적환경 특성과 대형저서동물 집괴분석 결과를 비교해보면 정점군 A, B는 가장 낮은 니질함량(평균 13.1-5.8%)으로 사질 퇴적상을 보였으며 유기물함량은 상대적으로 낮은 값(1.7-2.1%)을 보였다(<Table 3>). 주로 신시도 동쪽에 위치한 정점들로 구성된 정점군 C와 F는 가장 높은 니질함량(44.1-61.7%)을 보인 반면 가장 낮은 유기물함량(1.6-1.8%)을 나타냈다(Fig. 2, 4). 정점군 E는 정점 2, 3번을 제외하면 주로 신시도 서쪽지역에 위치한 정점(5-8번)으로 구성되어 있는데 상대적으로 높은 니질함량(37.2%)과 유기물함량(2.4%)을 갖는 니사질 퇴적상을 보였다.



[Fig. 6] Spatio-temporal distributions of the density of macrozoobenthos that regarded as an opportunistic species.

연구기간 동안 신시도 남단 조건대 갯벌에서 전체 개체수의 1% 이상 차지하는 우점종은 13종으로 이중 잠재적 오염지시종 및 기회종으로 알려진 *H. filiformis* (20.7%), *C. capitata* (17.8%), *A. senhousia* (3.9%), *S. sinensis* (2.5%), *S. tentaculata* (2.0%), *Polydora* sp. (2.0%)가 전체 대형저서동물 개체수의 48.9%를 차지하였다(Watling, 1975; Pearson and Rosenberg, 1978; Hong et al., 1997; Jang and Shin, 2016; Park et al., 2016)(<Table 2>). 최우점종인 *H. filiformis*는 연구기간 동안 전체 정점의 94.0%에서 출현하여 거의 모든 지역에서 출현하였으며, 니질함량이 비교적 높은 신시도 동쪽 상부조건대에 위치한 정점 4번에서 평균

5,883±2,326 indiv./m<sup>2</sup>의 가장 높은 밀도로 출현하였다([Fig. 2, 6a]). *Sigambra tentaculata* 또한 비교적 니질함량이 높은 1, 2, 3, 6, 8번 정점에서 높은 밀도로 출현하였다([Fig. 2, 6c]). *Arcuatula senhousia*은 조사지역 중 유기물함량이 상대적으로 가장 높은 신시도 남서쪽 하부조간대에 위치한 정점 8번에서 2017년 11월부터 2018년 11월까지 628-8,888 indiv./m<sup>2</sup>의 높은 밀도로 출현하였다([Fig. 2, 6d]). *Polydora* sp.는 비교적 유기물 오염도가 가장 낮은 정점 1, 4번에서 가장 많이 출현하였으며, *S. sinensis*는 비교적 니질함량이 가장 낮은 9, 10번 정점에서 2018년 5월 5,566-6,468 indiv./m<sup>2</sup>로 극우점 하였다([Fig. 6e, f]).

특징적으로 *C. capitata*는 2019년 5월에 채집된 저서동물 전체 개체수의 45.1%를 차지하며 대량으로 출현하였으며(9,229 indiv./m<sup>2</sup>) *N. surugaense* 또한 전체 저서동물 개체수의 23.3%(4,763 indiv./m<sup>2</sup>)를 차지하며 높은 밀도로 함께 출현하였다. 특히 *C. capitata*는 신시갯문과 가까운 정점인 2번에서 48,554 indiv./m<sup>2</sup>로 극우점하였고 *N. surugaense*는 모든 정점에서 출현하였지만 신시갯문과 가까운 신시도 동쪽에 위치한 정점(2, 3, 4번)과 서쪽지역의 상부조간대에 위치한 정점 5번에서 비교적 높은 밀도로 출현하였다([Fig. 6b]). *Capitella capitata*는 대표 오염지시종으로 주로 항구나 만 등 오염이 심한 곳에서 출현하는 종이다(Yoon et al., 2008; Ryu et al., 2011; Jung et al., 2014; Kim and Koo 2016). *Nereis surugaense*의 경우 일본의 스루가만(Suruga Bay)에서 처음 보고된 이후 한국과 중국에서만 극히 드물게 출현하는 종이며 이 다모류 종의 생태적 특성에 관련된 연구는 없다(Imajima, 1972; Paik, 1989; Hsueh, 2020).

*Capitella capitata*는 비교적 작은 다모류 종으로 생물종 다양성이 높은 일반적인 갯벌 퇴적환경에서는 거의 발견되지 않으며 고농도의 유기물 오염지역이거나 유류 오염지역과 같은 일반적인 대형저서동물이 생활하기 힘든 극한으로 오염된 퇴

적환경에서 국지적으로 출현하는 기회종이다(Grassle and Grassle, 1974; Pearson and Rosenberg, 1978; Yamamoto, 1980; Tsutsumi and Kikuchi, 1983). 또한, 극도로 오염되어 다른 생물이 생존할 수 없는 환경에서 *C. capitata* 개체군은 빠르게 가입되어 성장한 후 급격히 감소하는 특성을 보인다(McCall, 1977; Tsutsumi, 1987). *Capitella capitata*는 전체 연구기간 중 2019년 5월 5개 정점(2, 3, 6, 7, 8번 정점)에서만 최대 48,564 indiv./m<sup>2</sup> 밀도로 상당히 많은 개체가 일시적으로 출현하였는데 연구대상 지역은 극심하게 오염되어 빈산소 환경을 조성하거나 다른 생물들이 전혀 살 수 없는 극한의 저서환경은 아니기 때문에 *C. capitata*의 출현이 연구대상 지역의 오염정도를 직접적으로 지시한다고 판단하기는 어렵다. 2019년 1월 이후 새만금 방조제 내측 해역과 외측 신시갯문 인근 해역의 부유사 농도가 증가하였고([Fig. 5]) 비슷한 시기(2019년 2월) 신시도 조간대 갯벌의 평균 니질함량과 유기물함량([Fig. 2])이 상승하였으며, 특히 *C. capitata*가 고밀도로 출현한 지역(2, 3, 6, 7, 8번 정점)에서 이전 조사 시기 대비 니질함량과 유기물함량이 증가하였다([Fig. 2, 6b]). 이는 신시갯문 배출수에 의해 새만금 방조제 내측 퇴적물(부유물)이 신시도 남단 조간대 갯벌 퇴적상에 영향을 주고 있음을 보여 주며(Cho et al., 2020), 새만금 방조제 외해역 보다 비교적 중금속 오염도와 유기탄소 오염도가 높은 새만금 방조제 내측에서 서식하던 *C. capitata*가 신시갯문의 배출수를 통해 신시도 남단 조간대 갯벌에 일시적으로 대량 발생 하였을 것으로 예상된다(Kim et al., 2009; Park et al., 2009). 2018년 6월에도 새만금 방조제 내측 해역의 부유사농도가 일시적으로 증가하는 경향을 보였지만 2018년 8월 조사에서는 신시도 남단 조간대 갯벌의 니질함량과 유기물함량 및 대형저서동물 출현 양상의 특별한 변화는 관찰되지 않았다([Fig. 2, 5]).

신시도 남단 조간대 갯벌은 육상에서 직접적으

로 유입되는 오염원은 존재하지 않으며 신시도 북쪽에 위치한 금강하구에서 유입되는 담수와 새만금 방조제의 신시갑문을 통한 배출수의 영향이 신시도 남단 조간대 갯벌 환경변화에 주요 요인으로 작용할 것으로 사료된다. 자연적인 해양생태계 서식지 주변에서 방조제와 같은 인공구조물이 건설될 경우 해수의 유동성이 변화하고 표층 퇴적물의 퇴적상이 변화되어 결과적으로 저서생물 군집구조에 직접적인 영향을 줄 수 있다 (Sandar, 1968; Llianso, 1992; Mclachlan, 1996). 새만금 방조제 외해역 조간대 갯벌의 경우에도 방조제 건설 이후 새만금 방조제 내측에서 지속적인 준설과 매립 등으로 인하여 발생하는 고농도의 부유사를 함유한 방류수의 영향으로 부유물질 및 퇴적물의 변동이 많이 일어나고 있으며, 특히 신시도 남단 조간대 갯벌의 경우 새만금 방조제 신시갑문에 인접하고 있어 인위적 교란에 따른 불규칙한 환경변화가 저서생물 군집에 직접적인 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.

## References

- An SM, Lee JH, Woo HJ, Koo BJ, Lee HG, Yoo JW and Je JG(2006). Benthic environment and macrofaunal community changes during the dike construction in Saemangeum subtidal area, Korea. *Ocean Polar Res* 28(4), 369~383.  
<https://doi.org/10.4217/OPR.2006.28.4.369>
- Bayne BL, Clarke KR and Gray JS(1988). Background and rationale to a practical workshop on biological effects of pollutants. *Mar Ecol Prog Seri* 46, 1~5.
- Bogaards RH, Francke JW, Lambeck RHD and Borghouts-Biersteker CH(1980). De afsluiting van de Grevelingen en de gevolgen voor de aan het harde substraat gebonden macrofauna. *De levende natuur* 82(3), 109~118.
- Bray JR and Curtis JT(1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol Monogr* 27(4), 326~349.
- Cho CW, Song YS and Bang KY(2020). A study on the influence of the Saemangeum sluice-gates effluent discharge using the particle tracking model. *J Korean Soc Coast Ocean Eng* 32(4), 211~222.  
<https://doi.org/10.9765/KSCOE.2020.32.4.211>
- Choi BL(1992). Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. 33, Molluscs II. Seoul: Min Educ.
- Choi KS(2014). Morphology, sedimentology and stratigraphy of Korean tidal flats - Implications for future coastal managements. *Ocean Coastal manag* 102, 437~448.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.07.009>
- Day JW Jr, Hall CAS, Kemp WM and Yanez-Arancibia A(1989). *Estuarine Ecology*, John Wiley, New York, 558.
- Duan H, Zhang H, Huang Q, Zhang Y, Hu M, Niu Y and Zhu J(2016). Characterization and environmental impact analysis of sea land reclamation activities in China. *Ocean Coastal manag* 130, 128~137.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.06.006>
- Environmental Protection Agency (EPA)(1991). Handbook remediation of contaminated sediments. EPA/625/6~91/028.
- Fujii T(2007). Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in an intertidal habitat in the Humber estuary, UK: Developing a tool for estuarine shoreline management. *Estuar Coastal Shelf Sci* 75(1~2), 101~119.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.02.027>
- Grassle JF and Grassle JP(1974). Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes. *J Mar Res* 32(2), 253~284.
- Herman PM, Middelburg JJ and Heip CH(2001). Benthic community structure and sediment processes on an intertidal flat: results from the ECOFLAT project. *Cont Shelf Res* 21(18~19), 2055~2071.  
[https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00042-5)
- Hong JS and Seo IS(2001). The community ecology of benthic macrofauna on the Cheokjeon tidla flat, Incheon, Korea 1. Community structure. *J Korean Soc Oce* 6(3), 190~200.
- Hong JS, Jung RH, Seo IS, Yoon KT, Choi BM and Yoo JW(1997). How are the spatio-temporal distribution patterns of benthic macrofaunal communities affected by the construction of

- Shihwa Dike in the west coast of Korea?. Korean J Fish Aquatic Sci 30(5), 882~895.
- Hsueh PW(2020). New species of Nereis (Annelida, Polychaeta, Nereididae) from Taiwanese waters. Zootaxa 4802(1), 1~31.  
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4802.1.1>
- Imajima M(1972). Review of the annelid worms of the family Nereidae of Japan, with descriptions of five new species or subspecies. Bull Nat Sci Mus Tokyo 15(1), 37~153.
- Jang SY and Shin HC(2016). Differences in the community structures of macrobenthic polychaetes from farming grounds and natural habitats in Gamak bay. J Korean Soc Mar Environ Energy 19(4), 297~309.  
<https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2016.19.4.297>
- Jaramillo E, Contreras H and Bollinger A(2002). Beach and faunal response to the construction of a seawall in a sandy beach of south central Chile. J Coast Res 523~529.
- Jeon SR, Hong SJ, Choi YH, Cho YS and Song JH(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 J Fish Aquat Sci 52(6), 656~665.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0656>
- Jung JY, Kwon HK, Jang JR and Choi KW(2010). Macrobenthic community changes in the Saemangeum subtidal area. Korean Nat Committ Irrigation Drainage J 17(2), 42~48.
- Jung RH, Seo IS, Choi MK, Park SR, Choi BM, Kim MH and Yun JS(2014). Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages during spring and summer in the shellfish farming ground of Wonmun Bay, on the southern coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 47(6), 908~926.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0908>
- Kim HC, Choi BM, Jung RH, Lee WC, Yun JS and Seo IS(2016). The community structure of macrobenthic assemblages in the Taehwa River estuary, Ulsan, Korea. J Korean Soc Mar Environ Safety 22(6), 694~707.  
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2016.22.6.694>
- Kim HS(1973). Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. 14, Anomura Brachyura. Seoul: Min Educ.
- Kim HS(1977). Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. 19, Macrura. Seoul: Min Educ.
- Kim KS, Lee SH, Hong JH, Lee WC and Park EO(2014). A Study on Meiofauna Community in the Subtidal Sediment outside of the Saemangeum Seadike in the West Coast of Korea. Ocean Polar Res 36(3), 209~223.  
<https://doi.org/10.4217/OPR.2014.36.3.209>
- Kim KT, Kim ES, Kim SS, Park JS, Park JK and Cho SR(2009). Water Quality and Heavy Metals in the Surface Seawaters of the Saemangeum Area during the Saemangeum-dike Construction. J Korean Soc Mar Environ Energy 12(1), 35~46.
- Kim MK and Koo BJ(2016). Changes in the Macrobenthic community in Sihwa tidal flat after operation of the tidal power plant. Ocean Polar Res 38(4), 315~324.  
<https://doi.org/10.4217/OPR.2016.38.4.315>
- Kim SY and Ha JS(2001). Sedimentary facies and environmental changes of the Nakdong river estuary and adjacent coastal area. Korean J Fish Aquat Sci 34(3), 268~278.
- Koh CH, Ryu JS and Khim JS(2010). The Saemangeum: history and controversy. J Korean Soc Mar Environ Energy 13(4), 327~334.
- Koo BJ and Je JG(2002). A preliminary study on changes in macrobenthic assemblages in the fenced experimental plots for restoring tidal marsh, Hogok-ri tidal flat, west coast of Korea. Ocean Polar Res 24(1), 63~71.  
<https://doi.org/10.4217/OPR.2002.24.1.063>
- Koo BJ, Shin SH, Woo HJ, Kim ES and Je JG(2008). Changes in macrobenthic community structure on Gunsan tidal flat after the closing of the Saemangeum 4th dyke. Ocean Polar Res 30(4), 497~507.  
<https://doi.org/10.4217/OPR.2008.30.4.497>
- Lee HJ, Chu YS and Park YA(1999). Sedimentary processes of fine-grained material and the effect of seawall construction in the Daeho macrotidal flat - nearshore area, northern west coast of Korea. Mar Geol 157(3~4), 171~184.  
[https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(98\)00159-5](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(98)00159-5)
- Lee HJ, Kim MJ and Kim TK(2008). Modern sedimentary environments within the Gogunsan

- archipelago. *Ocean Polar Res* 30(4), 519~536.  
<https://doi.org/10.4217/OPR.2008.30.4.519>
- Lim, HS, Park, KY, Ihm BS, Lee JS, and Chu SD (1997). Macrozoobenthic community on the mudtidal flat around Mokpo coastal area, Korea. *Korean J. Ecol* 20(5), 355~365.
- Llansó RJ(1992). Effects of hypoxia on estuarine benthos: the lower Rappahannock River (Chesapeake Bay), a case study. *Estuar Coast Shelf Sci* 35(5), 491~515.  
[https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(05\)80027-7](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(05)80027-7)
- Margalef R(1958). Information theory in ecology. *General Syst* 3, 36~71.
- McCall PL and PL M(1977). Community patterns and adaptive strategies of the infaunal benthos of Long Island Sound. *J Mar Res* 35, 221~265.
- McLachlan A(1996). Physical factors in benthic ecology: effects of changing sand particle size on beach fauna. *Mar Ecol Prog Ser* 131, 205~217.  
<https://doi.org/10.3354/meps131205>
- McNaughton ST(1968). Structure and function in California grasslands. *Ecol* 49(5), 962~972.
- Millet B and Guelorget O(1994). Spatial and seasonal variability in the relationships between benthic communities and physical environment in a lagoon ecosystem. *Mar Ecol Prog Ser* 161~174.
- Paik EI(1989). Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. 31, Polychaeta. Seoul: Min Educ.
- Park JK, Kim ES, Kim KT, Cho SR, Song TY, Yoo JK, Kim SS and Park YC(2009). Characteristics in organic carbon distribution in the Saemangeum area during the construction of artificial sea dike, Korea. *J Korean Soc Mar Environ Eng* 2(2), 75~83.
- Park SH, Lee JY, Choi JU, Heo NW and An SM(2016). Study on the long-term changes in water quality and benthic ecology and evaluation on effect of the barrage in Nakdong River estuary. *J wetlands Res* 18(1), 58~67.  
<https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.1.058>
- Pearson TH and Rosenberg R(1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanog Mar Biol Ann Review* 16(229~311).
- Pielou EC(1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J Theor Biol* 13, 131~144.
- Ryu JS(2006). Zonation of macrozoobenthos and environmental factors determining faunal assemblages in Saemangeum tidal flat, Korea. Ph.D. dissertation, Seoul National University.
- Ryu JS, Khim JS, Choi JW, Shin HC, An SM, Park JS, Kang DS, Lee CH and Koh CH(2011). Environmentally associated spatial changes of a macrozoobenthic community in the Saemangeum tidal flat, Korea. *J Sea Res* 65(4), 390~400.  
<https://doi.org/10.1016/j.seares.2011.03.003>
- Ryu JS, Kim JS, Hong SJ, Park JS, Kwon BO, Song SJ, Nam JH and Chang WK(2014). Environmental and ecological history of the Saemangeum tidal flat ecosystem before and after dike construction. In 2014 Fall Conference of the Korean Society for Marine Environment and Energy, Seoul Univ, 18~19.
- Salzwedel H, Rachor E and Gerdes D(1985). Benthic macrofauna communities in the German Bight. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh* 20(2), 199~267.
- Sanders HL(1968). Marine benthic diversity: a comparative study. *Amer Natur* 102(925), 243~282.
- Seo SW, Cho WH and Yoo GS(2006). Simulation of mixing transport on inner reservoir and influence impacts on outer region for the Saemankeum effluents cause by gate operation. *J Korean Soc Coast Ocean Eng* 18(1), 43~52.
- Shannon CE and Weaver W(1963). The mathematical theory of communication. *Univ Illinois Pre Urbana* 117p.
- Shin HC, Park SW, Lee JH and Lim HS(2017). Macrobenthic Community Analysis on the Tidal Flat of Garolim Bay, Western Coast of Korea. *Korean J Malacol* 33(2), 119~129  
<http://dx.doi.org/10.9710/kjm.2017.33.2.119>
- Shin S and Rho BJ(1996). Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. 36, Echinodermata. Seoul: Min Educ.
- Simboura N, Zenetos A, Panayotidis P and Makra A(1995). Changes in benthic community structure along an environmental pollution gradient. *Mar Poll Bull* 30(7), 470~474.  
[https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00237-H](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00237-H)
- Sousa R, Dias S and Antunes JC(2006). Spatial subtidal macrobenthic distribution in relation to

- abiotic conditions in the Lima estuary, NW of Portugal. *Hydrobiologia* 559(1), 135~148.  
<https://doi.org/10.1007/s10750-005-1371-2>
- Swinbanks DD and Murray JW(1981). Biosedimentological zonation of Boundary Bay tidal flats, Fraser River Delta, British Columbia. *Sedimentology* 28(2), 201~237.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1981.tb01677.x>
- Thomalla F and Vincent CE(2003). Beach response to shore-parallel breakwaters at Sea Palling, Norfolk, UK. *Estuar Coast Shelf Sci* 56(2), 203~212.  
[https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00157-9](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00157-9)
- Tian B, Wu W, Yang Z and Zhou Y(2016). Drivers, trends, and potential impacts of long-term coastal reclamation in China from 1985 to 2010. *Estuar Coast Shelf Sci* 170, 83~90.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.006>
- Tsutsumi H and Kikuchi T(1984). Study of the life history of *Capitella capitata* (Polychaeta: Capitellidae) in Amakusa, South Japan including a comparison with other geographical regions. *Mar Biol* 80(3), 315~321.  
<https://doi.org/10.1007/BF00392827>
- Tsutsumi H(1987). Population dynamics of *Capitella capitata* (Polychaeta; Capitellidae) in an organically polluted cove. *Mar Ecol Prog Ser* 36, 139~149.
- Warwick RM, Ashman CM, Brown AR, Clarke KR, Dowell B, Hart B and Tapp JF(2002). Inter-annual changes in the biodiversity and community structure of the macrobenthos in Tees Bay and the Tees estuary, UK, associated with local and regional environmental events. *Mar Ecol Prog Ser* 234, 1~13.  
<https://doi.org/10.3354/meps234001>
- Watling L(1975). Analysis of structural variations in a shallow estuarine deposit-feeding community. *J Exp Mar Biol Ecol* 19(3), 275~313.  
[https://doi.org/10.1016/0022-0981\(75\)90063-5](https://doi.org/10.1016/0022-0981(75)90063-5)
- Yamamoto G(1980). Ecological study on indicator species of eutrophic waters. *Ann Rep Study support Grant Min Educ Japan (Grant No. 254219)* in, 1979, 51~82.
- Yang BC, Dalrymple RW and Chun SS(2005). Sedimentation on a wave dominated, open coast tidal flat, south western Korea: summer tidal flat - winter shoreface. *Sedimentology* 52(2), 235~252.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2004.00692.x>
- Yim, J, Kwon BO, Nam J, Hwang JH, Choi K, Khim JS(2018). Analysis of forty years long changes in coastal land use and land cover of the Yellow Sea: The gains or losses in ecosystem services. *Environ Pollut* 241, 74~84  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.058>
- Yoon SP, Kim YJ, Jung RH, Moon CH, Hong SJ, Lee WC and Park JS(2008). Benthic environments and macrobenthic polychaete community structure in the winter of 2005-2006 in Gamak Bay, Korea. *The Sea* 13(1), 67~82.
- Ysebaert T, Fettweis M, Meire P and Sas M(2005). Benthic variability in intertidal soft-sediments in the mesohaline part of the Schelde estuary. *Hydrobiologia* 540(1~3), 197~216.  
<https://doi.org/10.1007/s10750-004-7144-5>
- Ysebaert T, Meire P, Herman PM and Verbeek H(2002). Macrobenthic species response surfaces along estuarine gradients: prediction by logistic regression. *Mar Ecol Prog Ser* 225, 79~95.  
<https://doi.org/10.3354/meps225079>
- Yu OK, Lee HG and Lee JH(2006). The intertidal macrobenthic community along an artificial structure. *Korean J Fish Aquat Sci* 39, 132~141.  
<https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.spc1.132>

- 
- Received : 31 December, 2020
  - Revised : 27 January, 2021
  - Accepted : 16 February, 2021