

## 남해 EEZ 골재채취단지에서 골재채취가 대형저서동물 군집에 미치는 영향

최성용<sup>1</sup> · 이현정<sup>2</sup> · 이순우<sup>3</sup> · 왕순영<sup>4</sup> · 임정빈<sup>5</sup> · 손규희<sup>6,†</sup><sup>1</sup>(주)이엔씨기술 차장<sup>2</sup>(주)이엔씨기술 부장<sup>3</sup>(주)이엔씨기술 상무<sup>4</sup>(주)이엔씨기술 연구소장<sup>5</sup>(주)라임엔지니어링 이사<sup>6</sup>해양환경공단 미래성장처 처장

## The Effects of Marine Aggregate Extraction on the Macrobenthic Community at the EEZ Sand Mining Zone in South Sea of Korea

Sungyong Choi<sup>1</sup>, Hyunjung Lee<sup>2</sup>, Soonwoo Lee<sup>3</sup>, Soonyoung Wang<sup>4</sup>, Jeongbin Lim<sup>5</sup>, and Kyuhee Son<sup>6,†</sup><sup>1</sup>Deputy General Manager, Environmental Engineering and Consulting CO., Ltd., Seoul 08380, Korea<sup>2</sup>General Manager, Environmental Engineering and Consulting CO., Ltd., Seoul 08380, Korea<sup>3</sup>Managing Director, Environmental Engineering and Consulting CO., Ltd., Seoul 08380, Korea<sup>4</sup>R&D Director, Environmental Engineering and Consulting CO., Ltd., Seoul 08380, Korea<sup>5</sup>Director, RIME Engineering CO., Ltd., Uiwang 16006, Korea<sup>6</sup>Team Manager, Department of Future Business Development Team, Korea Marine Environment Management Corporation, Seoul 05718, Korea

### 요 약

본 연구는 골재채취가 대형저서동물에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2013년부터 2017년까지 조사가 수행된 자료를 이용하여 분석하였다. 대형저서동물의 총 출현종수는 579종, 평균 서식밀도는  $1,478 \pm 845$  indiv.m<sup>-2</sup>, 평균 생체량은  $39.6 \pm 53.2$  gWW.m<sup>-2</sup>이었으며, 대조구 정점이 영향해역보다 출현종수, 생체량 및 종다양도지수가 유의적으로 높은 값을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 다변량 분석결과 또한 골재채취 행위로 인하여 대조구와 영향해역으로 구분되었으며(서식밀도 :  $R = 0.528$ ,  $p < 0.01$ ), 특히 영향해역 군집의 기여종은 기회주의종인 버들갯지렁이류(*Mediomastus californiensis*)로 나타났다. 휴식년제 도입에 따른 채취광구 내 대형저서동물 변화 경향을 살펴본 결과, 자연회복에 대한 일관된 경향을 파악할 수 없었으나, 특정 광구에서 출현종수 및 서식밀도가 휴식년에서 채취기보다 유의적으로 높은 값을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 또한 휴식년 기간 동안 서식밀도 점유율은 기회주의종인 *M. californiensis*는 감소하고 단각류(*Gammaropsis (Segamphopus) utinomii*, *Siphonoecetes* spp.)의 점유율은 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 골재채취를 수행하는 시기에는 대형저서동물군집은 불안정한 상태를 보였지만, 골재채취가 중단되는 휴식년에는 불안정한 환경에서 벗어나는 변화를 보이고 있는 것으로 나타났다.

**Abstract** – The overall aim of this study is to provide information on the potential impacts of marine aggregate extraction on benthic macrofauna using data conducted from 2013 to 2017. The total number of species, average density and average biomass were 579 species,  $1,478 \pm 845$  indiv.m<sup>-2</sup> and  $39.6 \pm 53.2$  gWW.m<sup>-2</sup> respectively. Significantly high values of species number, biomass and species diversity were observed in control station ( $p < 0.05$ ). Multivariate analysis showed clear differences in macrobenthic community between control station and impact area (Abundance :  $R = 0.528$ ,  $p < 0.01$ ); the main contributor in impact area was a capitellid polychaete (*Mediomastus californiensis*), an opportunist. Although the nature of seabed recolonization by benthic communities following cessation of dredging did not show predicted and steady recovery over time, species number and abundance of macrobenthos community in

†Corresponding author: scuba89@koem.or.kr

specific dredging zone during cessation of dredging were significantly higher than those during the extraction ( $p < 0.05$ ). During the cessation of dredging, whereas a capitellid polychaete *M. californiensis* decreased in the dominant rate of abundance, some amphipods (*Gammaropsis*(*Segamphopus*) *utinomii*, *Siphonoecetes* spp.) increased in that. Our results showed that marine aggregate extractions might act as disturbance preventing benthic communities from developing to stable states, but several features indicating recovering communities were detected following cessation of dredging.

**Keywords:** Marine aggregate extraction(골재채취), Sand mining zone(골재채취광구), Macrobenthic community(대형저서동물군집), Benthic recovery(저서 회복), Opportunist(기회주의종)

### 1. 서 론

바다골재 채취는 안정적인 골재자원 공급이라는 순기능 측면이 있는 반면, 해양환경 측면에서는 악영향을 미칠 수 있다. 바다골재 채취로 인한 영향은 해저퇴적물 제거, 부유퇴적물 플룸(plume) 증가 및 해저면 파괴(Le Bot *et al.*[2010]; Duclos[2012])와 같은 직접적인 영향과 유틸수 배출로 인한 세립퇴적물 퇴적에 의한 저서생물 질식(Desprez *et al.*[2010]), 유해물질 배출(Newell *et al.*[1999]) 및 수중소음 증가(Cefas[2003]) 등과 같은 간접적인 영향으로 구분할 수 있다.

이러한 영향은 채취단지를 포함한 주변 해역의 수층과 해저뿐만 아니라 어류, 조류 및 포유류의 먹이 풍부도와 어류 치어의 이동에 영향을 미쳐 광범위한 해역의 서식처 질이나 생태계 기능에 영향을 미칠 수 있다(Newell *et al.*[1998]; Van Dalfsen *et al.*[2000]; Jan and Essink[2001]; Boyd *et al.*[2004] Son and Han[2007]; Daskalov *et al.*[2011]; Desprez *et al.*[2014]).

우리나라 EEZ 해역에서 골재채취에 적용하고 있는 고정식 준설

방식(Static or Anchor dredging)은 불규칙적인 굴곡이 많은 옹덩이를 생성하고, 하부 기질의 교란 가능성이 증가하여 트롤 어업에 부적합한 해저지형을 형성할 뿐만 아니라 저서생물의 회복 기회가 줄어든다고 보고하고 있다(Hitchcock *et al.*[2002]).

우리나라에서 바다골재 채취로 인한 해양환경변화 및 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위하여 연안과 남해 EEZ 해역에서 연구를 수행하였으며(MOMAF[2005]; MOMAF[2006]; MOMAF[2007]; MOLTM[2009]), 기존 연구에서는 해양 생태계 중에서도 저서생태계 군집에 초점을 맞추어 연구를 수행한 이유는 다음과 같다.

첫째, 대형저서동물군집은 해저면 환경에 항상 일정한 특징을 보이고, 물리적 서식환경 및 인위적인 영향에 대하여 다양하게 반응하며, 둘째, 플랑크톤과 달리 대부분의 대형저서동물 성체는 정착성이거나 이동 범위가 제한적이기 때문에 국지적으로 유발된 환경변화의 좋은 지시자가 될 수 있다. 마지막으로 대형저서동물군집은 자체적으로 상업적 가치가 있거나, 상업적으로 유용한 자원들의 먹이원이 될 수 있기 때문이다.

본 연구에서도 골재채취로 인한 영향을 파악하기 위하여 남해

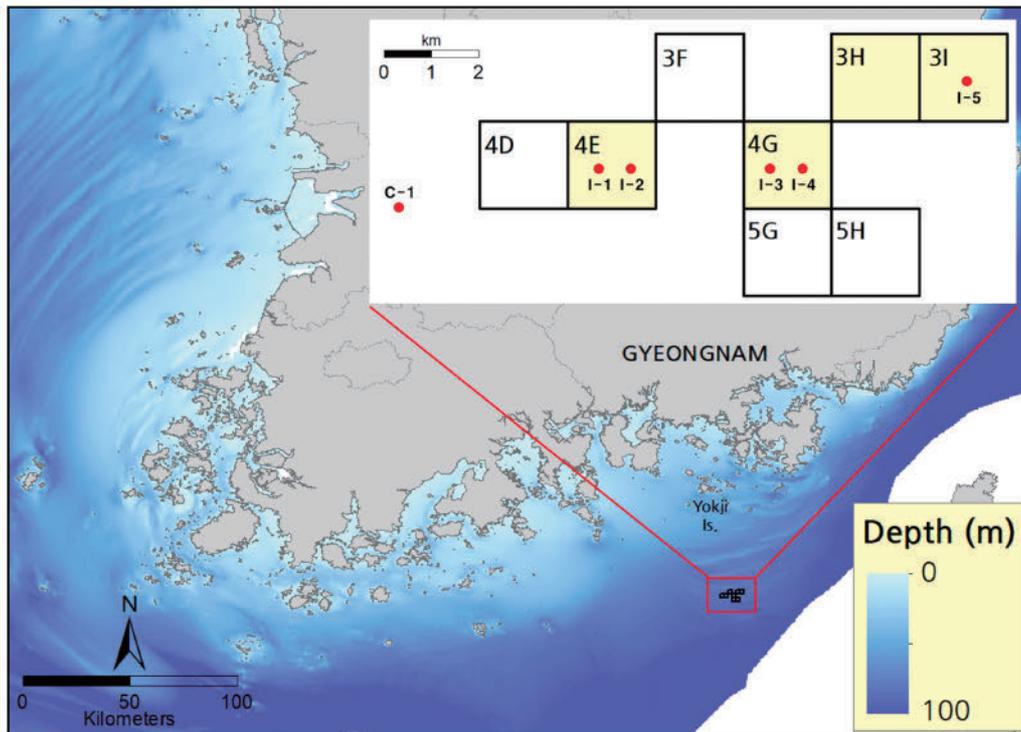


Fig. 1. Map showing the station used in the review.

**Table 1.** Amount of aggregate extraction for the years 2013-2017 in each the EEZ sand mining zone

Year	Zone 3H	Zone 3I	Zone 4E	Zone 4G	Total (m <sup>3</sup> )
2013	4,529,406	4,744,485	-	-	9,273,891
2014	-	-	4,227,545	4,574,825	8,802,370
2015	2,673,773	5,209,228	968,691	1,152,782	10,004,474
2016	-	-	4,903,068	5,721,359	10,624,427
2017	39,778	36,759	121,909	105,309	303,755
Sum (m <sup>3</sup> )	7,242,957	9,990,472	10,221,213	11,554,275	39,008,917

EEZ 골재채취단지에서 수행한 자료를 통하여 골재채취로 인한 대형저서동물 군집의 변화 경향 및 채취광구 별 휴식년제 도입에 따른 회복 여부를 파악하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 조사지역 개황

남해 EEZ 골재채취단지의 주요 광구는 3H, 3I, 4E 및 4G이며, 4개 광구의 면적은 10.96 km<sup>2</sup>이다(Fig. 1). 골재채취단지는 2008년에 최초로 지정되어, 2009년부터 2017년까지는 3H, 3I 광구와 4E, 4G 광구에서 격년제로 채취하였다.

2013년부터 2017년까지 연도별 골재채취량을 살펴보면, 2016년에 가장 많고 2017년에 가장 적었으며, 4G 광구가 11,554,275 m<sup>3</sup>으로 최대 채취량을 보이며, 다음으로 4E, 3I, 3H 광구 순으로 나타났다(Table 1).

### 2.2 자료 수집 및 문헌 검토

본 연구에서는 2013년 6월부터 2017년 11월까지 남해 EEZ에 수행된 대형저서동물 조사 자료를 인용하여 분석하였다(Table 2). 대형저서동물 채집은 Smith-McIntyre 그랩(표면면적: 0.1 m<sup>2</sup>)을 이용

**Table 2.** Review list used in the analysis

Reference	Sampling	
	Year	Month
K-water [2014a]	2013	1, 8, 11, 12
K-water [2014b]	2014	3, 5, 9, 11
K-water [2015]	2014	5, 9, 11
	2015	1
K-water [2016a]	2015	1, 5, 8, 11
K-water [2016b]	2014	3, 9, 11
	2015	1, 11
K-water [2017a]	2016	3, 5, 9, 11
K-water [2017b]	2017	3, 6, 9, 11

**Table 3.** Characteristics of each station used in the review

Control station	C-1	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5
	Impact Area					
	Zone 4E		Zone 4G		Zone 3I	
	Dredging from 2008		Dredging from 2010		Dredging from 2010	
	Non-dredging every odd year		Non-dredging every even year		Non-dredging every even year	

하여, 정점별 2회씩 반복 채집하였다. 채집된 퇴적물은 망목(mesh size) 1 mm인 체로 저서생물을 분리 후, 현미경을 이용하여 가능한 종 수준까지 동정하여 종별 서식밀도 및 생체량을 측정하였다.

문헌에 제시된 조사 정점 중 시계열 파악이 가능한 정점은 총 6개 정점이었으며, 이 중 1개 정점은 골재채취로 인한 영향을 받지 않은 대조구 정점, 그 외 5개 정점은 골재채취로 인한 영향을 받은 영향해역으로 설정하였다(Fig. 1).

대조구 정점으로 선정된 C-1은 채취단지 서측에 위치하고 있으며, 영향해역으로 선정한 5개 정점 중 I-1과 2는 4E 광구, I-3과 4는 4G 광구에 위치한 정점으로 2008년에 채취를 시작하여 휴식연도에 휴식년제, I-5는 3I 광구에 위치한 정점으로 2010년에 후반부터 채취를 시작하여 짝수연도에 휴식년제를 도입한 특징을 나타내고 있다(Table 3).

### 2.3 출현 증명 표준화 및 일원화

분석 자료의 신뢰성과 대표성을 확보하기 위해서 출현 종에 대한 표준화와 일원화 작업을 선행하였다. 종명은 현재까지도 신종 추가와 기존 증명 및 분류체계가 변화하고 있는 만큼 동일한 분류 기준(World Register of Marine Species(WoRMS, 2018년)으로 기존 종명을 수정 또는 보완한 후 분석을 수행하였다.

### 2.4 자료 분석

단변량 지수인 출현종수, 서식밀도 및 생체량에 대한 대조구 정점과 영향해역 간 시간적 변동 특성 및 영향해역 내 채취기와 휴식년 간 공간적 변동 특성을 파악하였다.

단변량 지수 및 종다양도지수(H')(Shannon and Weaver[1963])의 통계적 유의성을 파악하기 위하여 각 자료의 정규성 검증(Normality test) 후, 95% 신뢰구간을 기준으로 정규성 분포를 따르는 자료는 모수분석인 독립표본 T 검정, 비정규성 자료는 비모수분석인 Mann-Whitney 검정을 수행하였으며, 통계분석은 SPSS ver. 18을 이용하였다.

대형저서동물군집의 시·공간적 특성을 파악하기 위하여 집괴분석(Cluster analysis) 및 다차원척도법(MDS, non-metric multi-dimensional scaling)을 실시하였다. 종별 서식밀도 자료는 square root로 변환하여 이를 바탕으로 정점 간 유사도의 측정(Bray-Curtis similarity) 후, 유사도 지수 행렬로부터 각 그룹을 연결(group average method)하였다(Bray and Curtis[1957]). 구분된 정점군의 특징종(기여종)을 파악하기 위해서 SIMPER(similarity percentage)

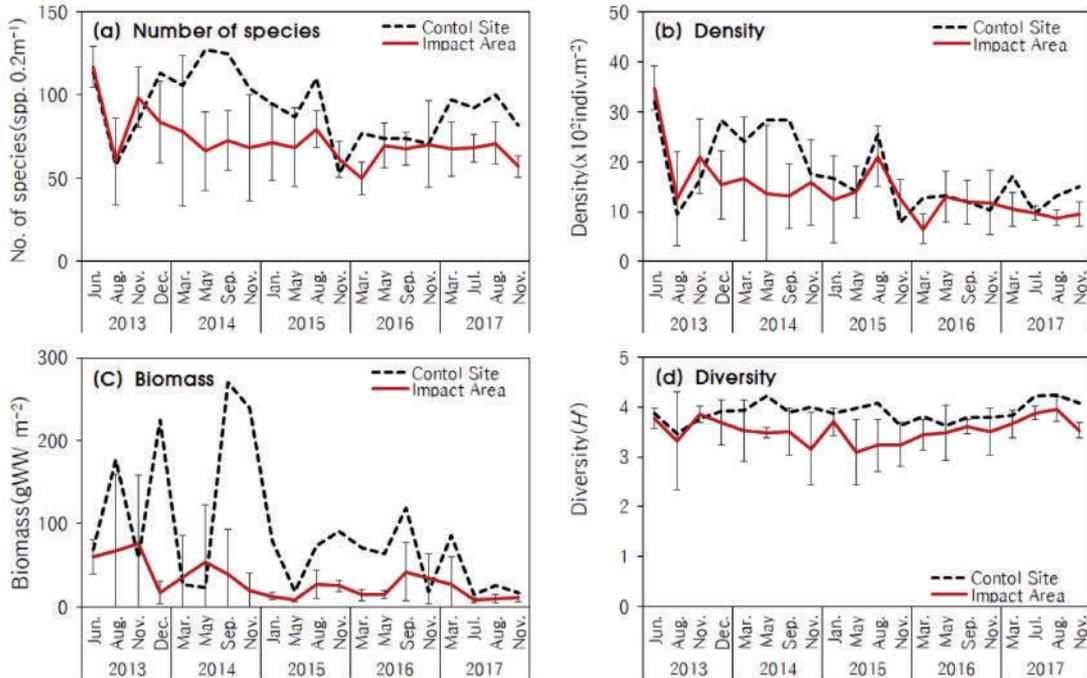


Fig. 2. Temporal fluctuation of univariate index (a, b, c) and species diversity (d) on the macrobenthic community.

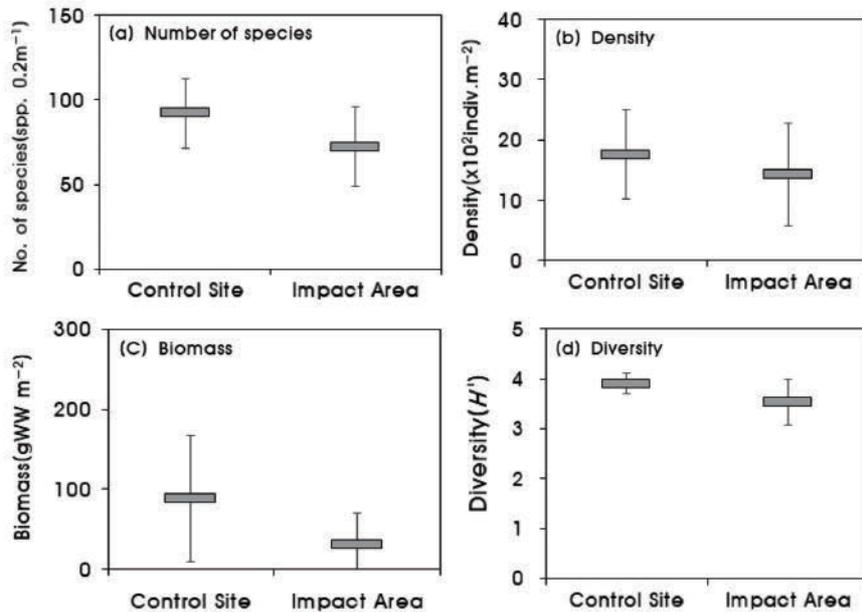


Fig. 3. Spatial fluctuation of univariate index (a, b, c) and species diversity (d) on the macrobenthic community between control site and impact area (mean ± S.D.)

분석을 실시하였으며(Clarke[1993]), 군집 간 유의성 검증은 one-way ANOSIM (Analysis of similarities) 분석을 수행하였으며, 다변량 지수 분석은 통계프로그램 PRIMER ver. 6을 이용하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 대형저서동물의 종조성 및 군집 특성

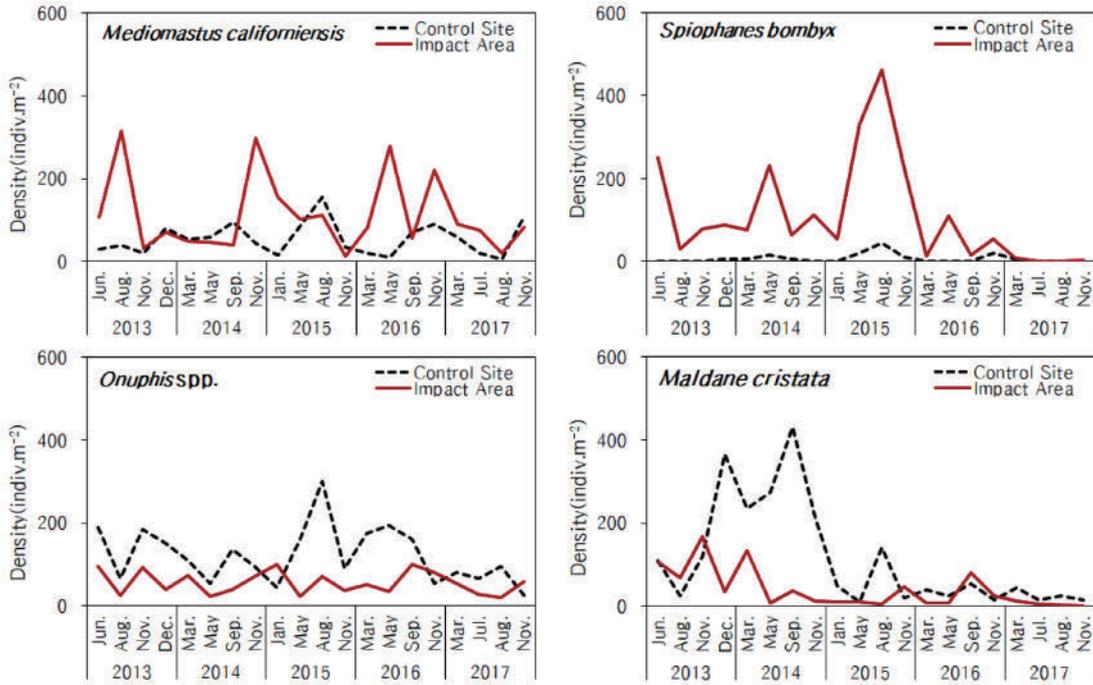
2013년 6월부터 2017년 11월까지 남해 EEZ에서 출현한 대형저

서동물은 총 579종이었다.

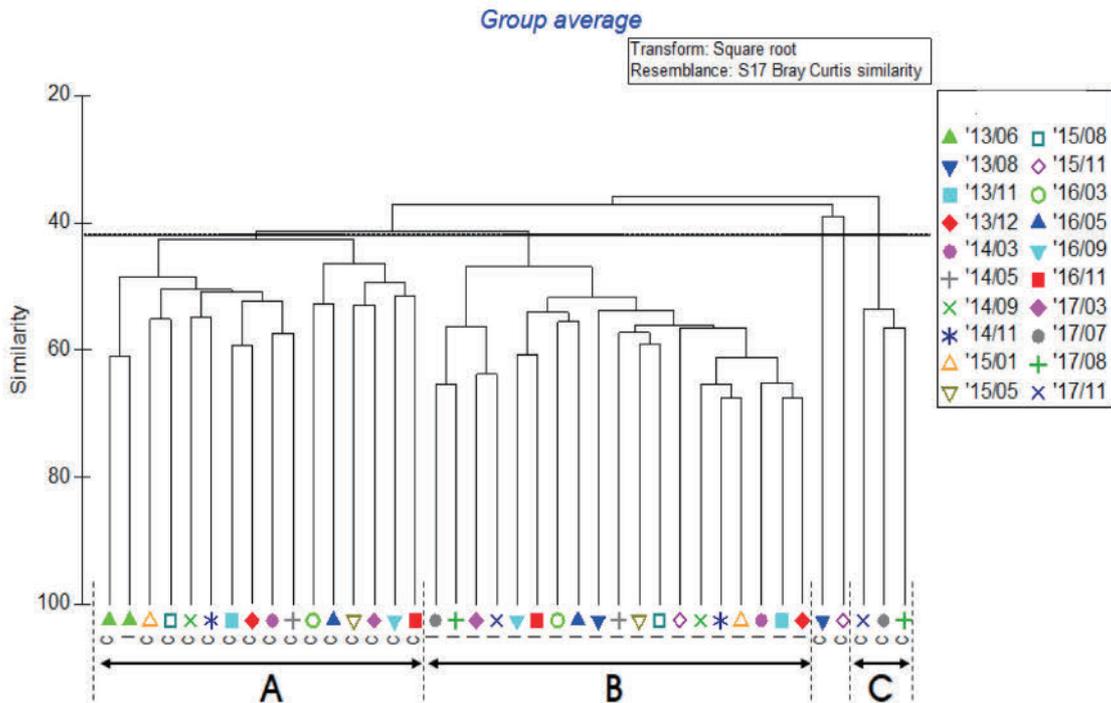
출현종수는 21-134종의 범위로 평균 76±24종이었으며, 대조구 정점은 평균 92±21종, 영향해역은 평균 72±23종으로 대조구 정점이 영향해역보다 유의적으로 높은 출현종수를 보였다( $p < 0.05$ ). 서식밀도는 210-3,806 indiv.m<sup>2</sup>의 범위로 평균 1,478±845 indiv.m<sup>2</sup>이었으며, 대조구 정점의 서식밀도는 평균 1,760±744 indiv.m<sup>2</sup>, 영향해역 서식밀도는 평균 1,422±856 indiv.m<sup>2</sup>으로 유의적 차이가 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ). 생체량은 2.5-269.9 gWW m<sup>-2</sup>의 범위로

**Table 4.** Percentage of dominant species using abundance data between control site and impact area

Phylum	Species name	%		
		Control Site	Impact Area	Total
Annelida	<i>Mediomastus californiensis</i>	3.1	7.9	7.0
Annelida	<i>Spiophanes bombyx</i>	0.4	7.7	6.3
Annelida	<i>Onuphis</i> spp.	6.9	3.9	4.5
Annelida	<i>Maldane cristata</i>	6.3	2.7	3.5



**Fig. 4.** Temporal and spatial fluctuation of each dominant species using abundance data.



**Fig. 5.** Dendrogram of cluster analysis using abundance data.

평균 39.6±53.2 gWW m<sup>-2</sup>이었으며, 대조구 정점의 생체량은 평균 88.1±78.7 gWW m<sup>-2</sup>, 영향해역 생체량은 평균 29.8±40.5 gWW m<sup>-2</sup>으로 대조구 정점이 영향해역보다 유의적으로 높은 생체량을 보였다(p<0.05). 종다양도지수는 2.36-4.24의 범위로 평균 3.59±0.46이었으며, 대조구 정점은 평균 3.90±0.20, 영향해역은 평균 3.53±0.47로 대조구 정점이 영향해역보다 유의적으로 높은 종다양도지수를 보였다(p<0.05)(Fig. 2, 3).

3.2 우점종의 시공간분포

남해 EEZ에서 출현한 대형저서동물의 서식밀도 점유율을 고려하여 4종을 선정하였으며, 4종은 모두 환형동물에 속하는 다모류이었다(Table 4).

다모류에 속하는 버들갯지렁이류(*Mediomastus californiensis*)가 7.0%, 민얼굴갯지렁이(*Spiophanes bombyx*)가 6.3%, 집갯지렁이류(*Onuphis* spp.)가 4.5%, 민송대나무갯지렁이(*Maldane cristata*)가 3.5%의 점유율을 나타내었다.

대조구 정점에서 *Onuphis* spp.는 꾸준히 높은 서식밀도를 보였으며, *M. cristata*는 2013년 11월을 시작으로 2014년 9월에 430 indiv.m<sup>-2</sup>까지 증가한 이후에 급격히 감소하여, 영향해역과 유사한 수준을 보였다(Fig. 4).

영향해역에서 *M. californiensis*는 매년 반복적인 큰 변동 폭을 보인 반면, *S. bombyx*는 2015년 8월에 가장 높은 서식밀도를 보인 이후 급격히 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 4).

3.3 대형저서동물군집 시공간적 구조

시·공간적 조합으로 구성된 40개의 대형저서동물 군집의 유사도를 파악하기 위하여 집괴분석과 다차원척도법을 적용하였다. 집괴분석 결과, 전체 군집은 유사도 기준 42% 수준에서 3개의 군집으

Table 5. Results of a SIMPER analysis using abundance data showing the characterising species from each group accounting for 42% of the within-cluster similarity

Group	Species name(%)
Group A	<i>Onuphis</i> spp. (5.6%)
	<i>Maldane cristata</i> (4.0%)
	<i>Kalliapseudidae</i> spp. (3.3%)
Group B	<i>Mediomastus californiensis</i> (3.9%)
	<i>Onuphis</i> spp. (3.1%)
	<i>Spiophanes bombyx</i> (2.5%)
Group C	<i>Byblis</i> spp. (4.1%)
	<i>Onuphis</i> spp. (3.6%) <i>Cheiriphotis</i> spp. (3.2%)

로 구분되었다(Fig. 5, 6). 대조구 정점은 대부분 계절에 상관없이 하나의 그룹을 형성하였고(Group A), 영향해역 역시 하나의 그룹(Group B)을 이루었으며, 그 외 영향해역 일부분에서 나머지 그룹(Group C)으로 구분되어졌다.

다변량분석에서 확인된 군집의 유사도에 기여하는 종 및 기여율을 파악한 결과, Group A는 환형동물 다모류의 *Onuphis* spp.와 *M. cristata*, 절지동물 주걱벌레붙이류(*Kalliapseudidae* spp.)가 각각 3.0% 이상의 기여율을 나타냈다. Group B는 환형동물 다모류의 *M. californiensis*, *Onuphis* spp.와 *S. bombyx*가 각각 2.5% 이상의 기여율을 나타냈다. Group C는 절지동물 단각류 *Byblis* spp.와 *Cheiriphotis* spp., 환형동물 다모류의 *Onuphis* spp.가 각각 3.0% 이상의 기여율을 보였다(Table 5).

서식밀도 기준 남해 EEZ 대형저서동물 군집은 계절에 관계없이 골재채취 여부에 따라 대조구 정점과 영향해역으로 구분되어졌으며, 이는 ANOSIM 분석결과에서도 유의한 차이를 보였다(global test R=0.528, p<0.01).

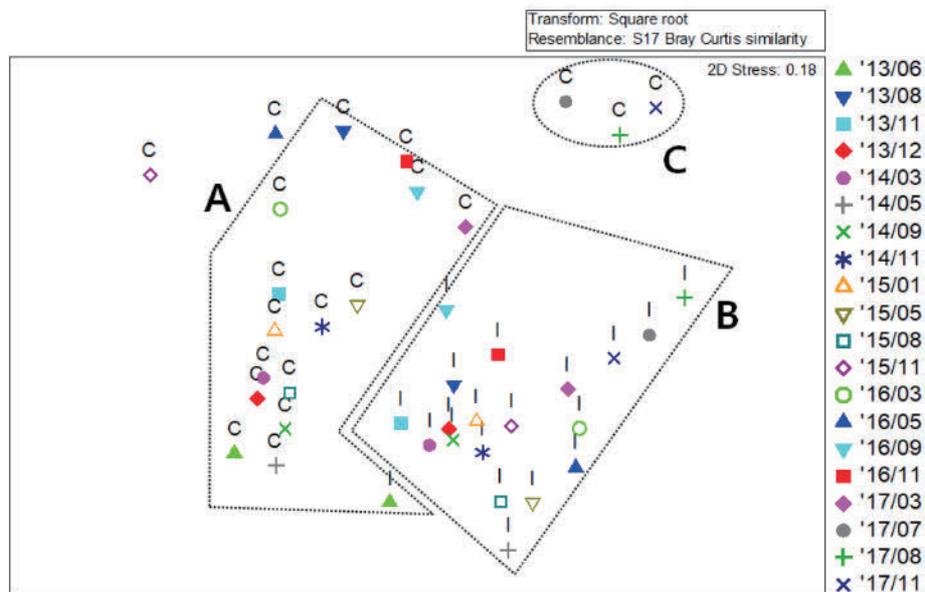


Fig. 6. MDS ordination plot using abundance data.

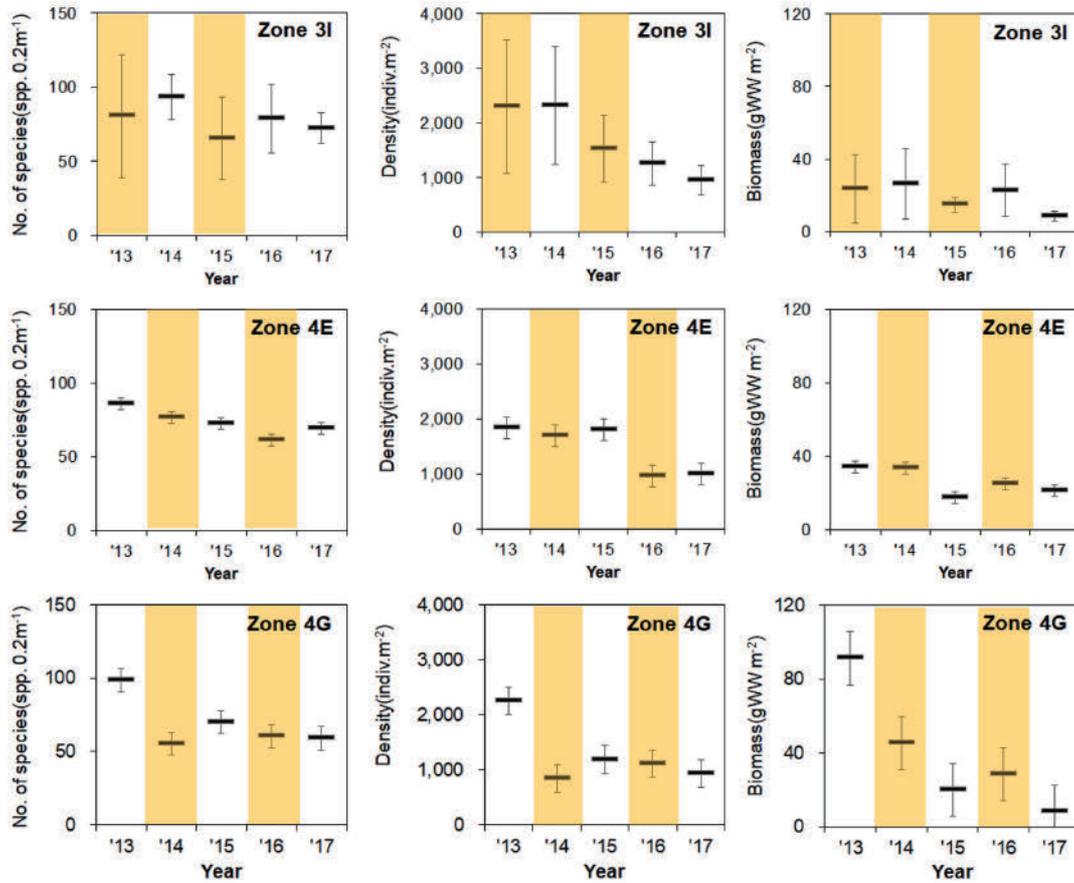


Fig. 7. A comparison of univariate index on the macrobenthos community from 2013 to 2017 (yellow box : dredging period).

Table 6. Percentage of dominant species using abundance data between dredging and cessation of dredging period at each dredging zone

Dredging Zone	Phylum	Species name	%		
			Dredging	Cessation of dredging	Total
3I	Annelida	<i>Mediomastus californiensis</i>	17.0	5.9	12.2
	Annelida	<i>Spiophanes bombyx</i>	4.4	7.3	5.6
	Annelida	<i>Onuphis</i> spp.	4.7	4.5	4.7
	Annelida	<i>Poecilochaetus</i> spp.	6.3	2.0	4.5
	Arthropoda	<i>Siphonocetes</i> spp.	2.9	4.7	3.7
4E	Annelida	<i>Spiophanes bombyx</i>	7.0	11.6	9.9
	Annelida	<i>Poecilochaetus</i> spp.	6.8	4.9	5.6
	Annelida	<i>Mediomastus californiensis</i>	8.3	3.8	5.4
	Annelida	<i>Onuphis</i> spp.	5.7	3.9	4.5
	Annelida	<i>Maldane cristata</i>	5.9	3.7	4.5
4G	Annelida	<i>Mediomastus californiensis</i>	17.7	3.6	7.9
	Annelida	<i>Spiophanes bombyx</i>	5.3	7.2	6.6
	Arthropoda	<i>Gammaropsis (Segamphopus) utinomii</i>	1.5	3.5	2.9
	Annelida	<i>Onuphis</i> spp.	3.2	2.6	2.8
	Annelida	<i>Poecilochaetus</i> spp.	3.6	1.9	2.4

3.4 광구 별 휴식년제 도입에 따른 대형저서동물군집 구조 변화

2013년부터 2017년까지 광구 별 출현종수는 3I 광구는 평균 78±24종, 4E 광구는 평균 73±20종, 4G 광구는 평균 69±18종의 출현종수를 나타내었으며, 광구 간 유의적인 차이는 없었다(p>0.05). 광구 내 시기 간 변동성을 살펴보면, 3I 광구는 2014년, 4E, 4G 광

구는 2013년에 가장 높았으며, 3I 광구는 2015년, 4E 광구는 2016년, 4G 광구는 2014년에 가장 낮은 평균 출현종수를 나타내었다(Fig. 7). 모든 광구에서 휴식년제를 적용한 시기에 채취기보다 상대적으로 높은 출현종수를 보이고 있었으나, 4G 광구에서만 통계적으로 유의적 차이가 있는 것으로 분석되었다(p<0.05).

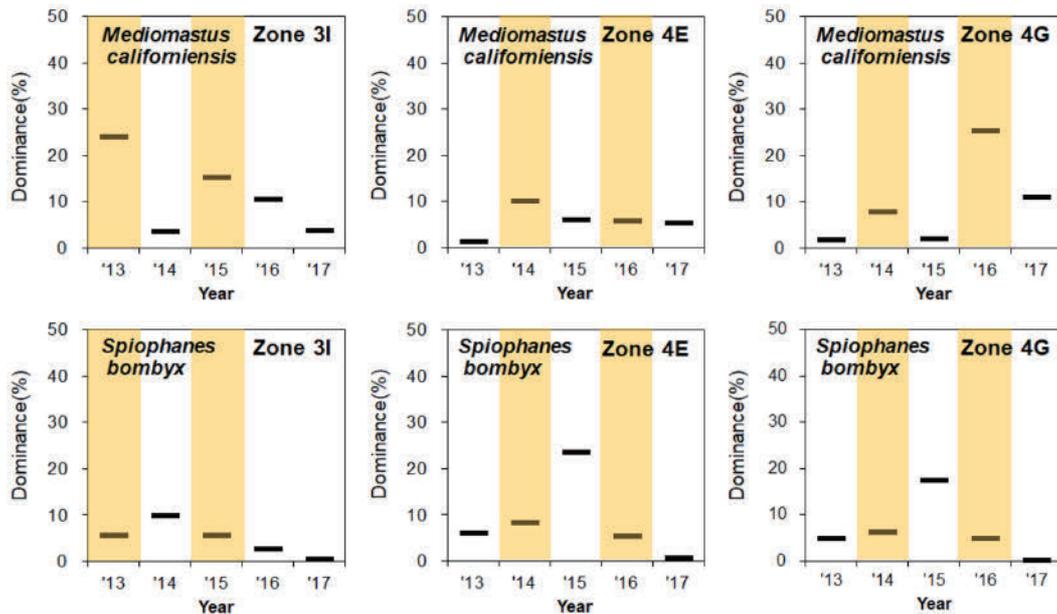


Fig. 8. Temporal fluctuation of percentage of primary species (*Mediomastus californiensis* and *Spiophanes bombyx*) using abundance data (yellow box : dredging period).

서식밀도는 3I 광구는 평균  $1,669 \pm 717$  indiv.m<sup>2</sup>, 4E 광구는 평균  $1,456 \pm 722$  indiv.m<sup>2</sup>, 4G 광구는 평균  $1,264 \pm 609$  indiv.m<sup>2</sup>의 서식 밀도를 나타내었으며, 광구 간 유의적인 차이는 없었다( $p > 0.05$ ). 광구 내 시기 간 변동성을 살펴보면, 3I 광구는 2013년과 2014년에 높고, 4E, 4G 광구는 2013년에 가장 높았다. 3I 광구는 2015년, 4E 광구는 2016년, 4G 광구는 2014년에 가장 낮은 평균 서식밀도를 나타내었다(Fig. 7). 모든 광구에서 휴식년제를 적용한 시기가 채취기보다 상대적으로 높은 서식밀도를 보였으나, 4G 광구에서만 통계적으로 유의적 차이가 있는 것으로 분석되었다( $p < 0.05$ ).

생체량은 3I 광구는 평균  $19.1 \pm 11.8$  gWW m<sup>2</sup>, 4E 광구는 평균  $26.3 \pm 25.6$  gWW m<sup>2</sup>, 4G 광구는 평균  $38.7 \pm 40.0$  gWW m<sup>2</sup>의 생체량을 나타내었으며, 광구 간 유의적인 차이는 없었다( $p > 0.05$ ). 광구 내 시기 간 변동성은 3I 광구는 2014년, 4E, 4G 광구는 2013년에 가장 높았다. 3I, 4G 광구는 2017년, 4E 광구는 2015년에 가장 낮은 평균 생체량을 나타내었다(Fig. 7). 모든 광구에서 채취기와 휴식년제에 따른 유의적 차이가 없는 것으로 분석되었다( $p > 0.05$ ).

광구 별 휴식년제 도입에 따른 대형저서동물의 변화 경향을 파악하기 위하여 서식밀도 점유율을 고려한 상위 5종의 우점종을 변동경향을 분석하였다(Table 6). 모든 광구에서 높은 점유율을 나타낸 분류군은 환형동물에 속하는 다모류이었으며, 절지동물에 속하는 단각류가 4G와 3I 광구에서 각 1종씩 출현하였다. 이들 우점종의 점유율은 광구별로 22.6-30.7%를 차지하였다.

다모류인 *M. californiensis*와 *S. bombyx*는 모든 광구에서 높은 점유율을 기록하였으며, *M. californiensis*는 채취기에 5.6-17.7% 범위로 높은 점유율, *S. bombyx*는 휴식년에 7.2-11.6% 범위로 높은 점유율을 보였다. 단각류에 속하는 넓적다리불은꼬리옆새우

(*Gammaropsis (Segamphopus) utinomii*)와 육질꼬리옆새우불이과류(*Siphonocetes* spp.) 또한 채취기보다 휴식년에 다소 높은 점유율을 보였다(Table 6).

모든 광구에서 높은 점유율을 기록한 *M. californiensis*와 *S. bombyx*의 시기별 점유율을 살펴보면, *M. californiensis*는 채취시에 점유율이 증가한 반면, *S. bombyx*는 휴식년에 점유율이 증가하는 경향성을 나타내었다(Fig. 8).

광구 별 채취기와 휴식년 간 상위 우점종의 변화는 없으나 채취기에 따른 종 별 점유율은 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

#### 4. 고 찰

남해 EEZ 인근 해역에 위치한 골재채취 단지에서 골재채취로 인한 대형저서동물에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2013년부터 2017년까지 대조구와 골재채취 광구로 구분하여 시·공간적인 변화 경향을 파악하였다.

골재채취 광구에서 출현한 대형저서동물의 종수 및 생체량은 대조구 정점보다 각각 78.3%, 33.8% 낮은 값을 나타내었다( $p < 0.05$ ). *M. californiensis*와 *S. bombyx*가 영향해역에서 높은 점유율을 보이며, 시기적으로 큰 변동 폭을 보였다. *M. californiensis*는 교란된 불안정한 환경에서 극우점하며, 오염된 환경에 대한 적응력이 매우 높은 기회종으로 펄 또는 모래 함량에 상관없이 다양한 퇴적환경 서식 범위를 보이는 종으로 알려져 있다(Jung et al.[2014]; Pearson and Rosenberg[1978]). 또한 *S. bombyx*는 서관을 형성하는 표층퇴적물 식자로 퇴적상이 조립사(coarse sand)에서 세립사(fine sand)로 바뀌는 환경에서 우점하는 종으로 알려져 있다(Desprez[2000]).

일반적으로 골재채취는 채취 지역의 퇴적환경 변화를 일으켜, 그곳에 서식하고 있는 대형저서동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량, 다양성 등을 저하시키는 것으로 알려져 있다(Newell et al.[2004]; Boyd et al.[2005]; Simonini et al.[2005]). 또한 환경 교란이 적은 안정적인 저서생태계에서는 개체당 높은 생체량을 지닌 생물(k-전략)이 우점하며, 반대로 교란이 심한 지역에서는 개체당 낮은 생체량을 지닌 종(r-전략)이 우점하는 특징을 보이는 것으로 알려져 있다(Pearson and Rosenberg[1978]).

본 연구 결과, 골재채취가 행해진 영향해역에서 출현종수 및 생체량이 대조구 정점보다 낮고, 기회주의종(*M. californiensis*) 또는 퇴적환경 변동 시기에 출현하는 종(*S. bombyx*)들이 우점하는 것으로 볼 때, 골재채취가 저서생태계 환경을 불안정한 조건으로 조성하여 저서동물군집 변화를 일으키는 부정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

광구 별 휴식년제에 따른 시·공간적 비교 분석을 통해 골재채취 후 자연 회복 여부를 파악한 결과, 단면량 지수를 통해 일관된 경향을 파악할 수 없었지만, 특정 광구에서 휴식년 시기에서 출현종수 및 서식밀도가 유의적으로 높은 값( $p < 0.05$ )을 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 휴식년 시기에서 기회주의종인 *M. californiensis*의 점유율이 낮아지고, *S. bombyx*의 점유율이 높아지는 경향을 나타내었다.

앞서 언급한 이 두 종의 생태적 특성을 고려하면, 광구 내에서도 골재채취 기간에 기회주의종이 우점하는 현상이 확인되었으며, 골재채취가 중단된 휴식년에는 표층 퇴적물에 서관을 형성하여 퇴적물 안정화에 기여하는 것으로 알려진(Thrush et al. [1996]) *S. bombyx*가 우점하는 생물상 차이를 보였다.

골재채취 종료 후 저서생물이 회복하기까지 소요되는 기간은 골재채취강도(기간 및 채취량)와 수저질환경 변화 정도에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Newell et al.[1998]; Hill et al.[1999]).

1년 동안 골재채취가 이루어진 해역에서 채취 종료 후 4년 이후에 저서생태계 회복(기회주의종 감소, 군집 조성 및 구조 유사성 증가)이 나타나는 것으로 보고되고 있으나(Van Dalftsen et al.[2000]), 장기간 골재를 채취한 해역에서는 저서생태계 회복까지 이보다 많은 시간이 소요될 것으로 예상하고 있다(Hill et al.[1999]). 남해 EEZ 골재채취 중단 후 채취구역의 저서생태계 회복을 비채취해역과 비교해보면 약 2년 6개월 만에 출현종수는 71% 수준, 평균 서식밀도는 61% 수준까지 도달한 것으로 보고되었다(MOLTM[2009]).

남해 EEZ 골재채취는 광구 별로 채취시기 및 채취량의 차이는 있지만 모든 광구에서 공통적으로 골재채취 후 약 1년 동안 휴식년 제도를 도입하였으나, 도입된 휴식년 기간은 앞서 언급된 저서생태계 회복에 필요한 조건에 미치지 못하는 것으로 파악되었다.

하지만 남해 EEZ 해역의 서식밀도 기준 우점종 점유율 측면에서는 휴식년 제도의 긍정적인 영향을 확인할 수 있었다. 첫 번째로 휴식년을 통해 유기물 오염지표종인 *M. californiensis* 점유율이 낮아지고 있으며, 두 번째로 단각류의 점유율이 높아지고 있다는 것이다.

이러한 결과는 휴식년에 골재채취를 중단하면서 골재채취로 인하여 교란된 환경에서 벗어나 보다 안정적인 환경으로 진입하고 있다는 긍정적인 신호라 판단된다.

그러나 휴식년을 통해 자연회복 여부를 판단하기에는 자료(광구 별 정점 수)가 충분치 않아 명확한 결론에 도달하기에는 한계점이 존재한다. 따라서 골재채취 후 자연적인 회복을 판단하기 위해서는 목적에 부합되는 조사 설계가 필요하며, 이를 통해 획득한 분석 결과가 골재채취에 따른 영향 및 회복에 대해 좀 더 객관적이고 정량적인 접근이 용이할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

남해 EEZ 인근 해역에 위치한 골재채취 단지에서 골재채취로 인한 대형저서동물에게 미치는 영향을 파악한 결과, 영향해역이 대조구 정점보다 유의적으로 낮은 출현종수 및 생체량을 나타냈다. 또한 불안정한 환경에서 극우점하는 기회주의종인 *M. californiensis*와 퇴적환경 변화에 민감하게 반응하는 *S. bombyx*가 영향해역에서 높은 점유율을 보였다. 이러한 저서동물군집 특성이 반영되어, 골재채취 영향을 받은 해역이 독립된 군집을 형성하였다. 광구 별 휴식년에 따른 시·공간적 비교 분석을 통해 골재채취 후 자연 회복 여부를 파악한 결과, 골재채취가 중단된 휴식년에는 골재채취 시기보다 상대적으로 기회주의종이 감소하고, 교란된 해역에서 민감하게 반응하는 단각류가 증가하는 것을 확인하였다. 결과적으로 골재채취가 채취 해역의 환경 변화를 일으켜, 불안정한 서식조건을 형성함에 따라, 저서동물군집 구조의 변화를 일으키는 부정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 골재채취가 중단되는 것만으로도 저서동물 군집이 안정화될 수 있는 가능성을 확인하였다. 향후 골재채취에 따른 영향 및 회복 평가에 대한 객관적이고 정량적인 자료를 확보하기 위해서는 보다 체계적이고 강도 높은 모니터링 및 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(과학기술기반 해역이용영향평가 기술개발, 20210427)의 지원을 받아 수행하였습니다.

## References

- [1] Boyd, S.E., Cooper, K.M., Limpenny, D.S., Kilbride, R., Rees, H.L., Dearnaley, M.P., Stevenson, J., Meadows, W.J. and Morris, C.D., 2004, Assessment of the re-habilitation of the seabed following marine aggregate dredging, The Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science. Science series technical report.
- [2] Boyd, S.E., Limpenny, D.S., Rees, H.L. and Cooper, K.M., 2005, The effects of marine sand and gravel extraction on the

- macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging), *ICES J. Mar. Sci.*, 62(2), 145-162.
- [3] Bray, J.R. and Curtis, J.T., 1957, An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*, 27(4), 326-349.
- [4] Cefas, 2003, Preliminary investigation of the sensitivity of fish to sound generated by aggregate dredging and marine construction, Defra project AE0914.
- [5] Clarke, K.R., 1993, Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure, *Austral. Ecology*, 18(1), 117-143.
- [6] Daskalov, G.M., Mackinson, S. and Mulligan, B., 2011, Modelling possible food-effects of aggregate dredging in the Eastern English Channel, MEPF-MALSF Project 08-P37, Cefas, Lowestoft.
- [7] Desprez, M., 2000, Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel. short-and long-term post-dredging restoration, *ICES J. Mar. Sci.*, 57(5), 1428-1438.
- [8] Desprez, M., Le Bot, S., Duclos, P.A., De Roton, G., Villanueva, M., Ernande, B. and Lafite, R., 2014, Desprez, M., and Lafite, R., 2012, Suivi des impacts de l'extraction de granulats marins. Synthèse des connaissances 2012 (GIS SIEGMA). Ed. PURH, University of Rouen.
- [9] Desprez, M., Pearce, B. and Le Bot, S., 2010, Biological impact of overflowing sands around a marine aggregate extraction site. Dieppe (eastern English Channel), *ICES J. Mar. Sci.*, 67(2), 270-277.
- [10] Duclos, P.A., 2012, Impacts morpho-sédimentaires de l'extraction de granulats sur les fonds marins de la Manche orientale, University of Rouen.
- [11] Hill, A.S., Veale, L.O., Pennington, D., Whyte, S.G., Brand, A.R. and Hartnoll, R.G., 1999, Changes in Irish Sea benthos. Possible effects of 40 years of dredging, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 48(6), 739-750.
- [12] Hitchcock, D.R., Newell, R.C. and Seiderer, L.J., 2002, Integrated Report on the Impact of Marine Aggregate Dredging on Physical and Biological Resources of the Sea Bed, US Department of the Interior, Minerals Management Service, International Activities and Marine Minerals Division (INTERMAR), Washington, DC.
- [13] Jan, A. and Essink, K., 2001, Benthic Community Response to Sand Dredging and Shoreface Nourishment in Dutch Coastal Waters, *Senck. Marit.*, 31(2), 329-332.
- [14] Jung, R.H., Seo, I.S., Lee, W.C., Kim, H.C., Park, S.R., Kim, J.B., Choi, B.M., 2014, Community Structure and Health Assessment of Macrobenthic Assemblages at Spring and Summer in Cheonsu Bay, West Coast of Korea. *The Sea*, 19(4), 272-286.
- [15] K-water, 2014a, The Marine Environmental Effect Surveys at the EEZ sand mining zone (Second extended period) in South Sea of Korea (1st year).
- [16] K-water, 2014b, The Marine Environmental Effect Surveys at the EEZ sand mining zone (Second extended period) in South Sea of Korea (2nd year).
- [17] K-water, 2015, The Sea Area Utilization Impact Assessment at the EEZ sand mining zone (Third designation alteration) in South Sea of Korea.
- [18] K-water, 2016a, The Marine Environmental Effect Surveys at the EEZ sand mining zone in South Sea of Korea (2015).
- [19] K-water, 2016b, The Sea Area Utilization Impact Assessment at the EEZ sand mining zone (Fourth designation alteration) in South Sea of Korea.
- [20] K-water, 2017a, The Marine Environmental Effect Surveys at the EEZ sand mining zone in South Sea of Korea (3rd year).
- [21] K-water, 2017b, The Marine Environmental Effect Surveys at the EEZ sand mining zone in South Sea of Korea.
- [22] Le Bot, S., Lafite, R., Fournier, M., Baltzer, A. and Desprez, M., 2010, Morphological and sedimentary impacts and recovery on a mixed sandy to pebbly seabed exposed to marine aggregate extraction (Eastern English Channel, France), *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 89(3), 221-233.
- [23] MOLTM, 2009, A Study on Eco-friendly Management Plan according to Marine Sand Mining (V).
- [24] MOMAF, 2005. A Study on Eco-friendly Management Plan according to Marine Sand Mining (I).
- [25] MOMAF, 2006, A Study on Eco-friendly Management Plan according to Marine Sand Mining (II).
- [26] MOMAF, 2007, A Study on Eco-friendly Management Plan according to Marine Sand Mining (III).
- [27] Newell, R.C., Hitchcock, D.R. and Seiderer, L.J., 1999, Organic enrichment associated with outwash from marine aggregates dredging: A probable explanation for surface sheens and enhanced benthic production in the vicinity of dredging operations, *Mar Pollut Bull.*, 38(9), 809-818.
- [28] Newell, R.C., Seiderer L.J., Simpson, N.M. and Robinson, J.E., 2004, Impacts of marine aggregate dredging on benthic macrofauna off the south coast of the United Kingdom, *J. Coast. Res.*, 20(1), 115-125.
- [29] Newell, R.C., Seiderer, L.J. and Hitchcock, D.R., 1998, The impact of dredging works in coastal waters. A review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the seabed, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 36, 127-178.
- [30] Pearson, T.H. and Rosenberg, R., 1978, Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16, 229-311.
- [31] Shannon, E.C. and Weaver, W., 1963, The mathematical theory of communication, University of Illinois Press, Urbana.
- [32] Simonini, R., Ansaloni, I., Pagliai, A.M., Bonvicini, A., Cavallini, F., Iotti, M., Mauri, M., Montanari, G., Preti, M., Rinaldi, A. and Prevedelli, D., 2005, The effects of sand extraction on the macrobenthos of a relict sand area (northern Adriatic Sea). Results 12 months post-extraction, *Mar. Pollut. Bull.*, 50(7), 768-777.
- [33] Son, K.H. and Han, K.N., 2007, The Fluctuation of Biological

Communities as an Effect of Marine Sand Mining in the Gyeonggi Bay, *Ocean Polar Res.*, 29(3), 205-216.

- [34] Thrush, S.F., Whitlatch, R.B., Pridmore, R.D., Hewitt, J.E., Cummings, V.J. and Wilkinson, M.R., 1996, Scale-dependent recolonization. the role of sediment stability in a dynamic sand-flat habitat, *Ecology*, 77(8), 2472-2487.
- [35] Van Dalssen, J.A., Essink, K., Madsen, H.T., Birklund, J., Romero, J. and Manzanera, M., 2000, Differential response of macrozo-

obenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean, *ICES J. Mar. Sci.*, 57(5), 1439-1445.

---

Received 5 October 2021

Revised 23 November 2021

Accepted 24 November 2021