

Article

Hebei Spirit 유류유출 사고 이후 암반 조간대 대형저서동물 군집 변화

정윤환¹ · 박흥식^{1*} · 윤건택¹ · 이형곤² · 마채우³

¹한국해양과학기술원 태평양해양연구센터

²한국해양과학기술원 해양생태계연구부
(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

³순천향대학교 생명시스템학과
(336-745) 충남 아산시 신창면 순천향로 22

Structure Changes of Macrobenthic Community on Rocky Shores After the Hebei Spirit Oil Spill

Yun-Hwan Jung¹, Heung-Sik Park^{1*}, Kon-Tak Yoon¹, Hyung-Gon Lee², and Chae-Woo Ma³

¹*Pacific Ocean Research Center, KIOST*

²*Marine Ecosystem Research Division, KIOST*
Ansan 426-744, Korea

³*Department of Life Science and Biotechnology, College of Natural Sciences, Soon Chun Hyang University*
Asan 336-745, Korea

Abstract : In Korea, more than 300 oil spill accidents occur every year. Despite the frequency, only a small pool of data is available on the initial effect of oil spill on macrobenthic fauna inhabiting rocky shores. The aim of this study was to analyze the variation of macrobenthic fauna composition and community structure on rocky shores, and understand the impact of oil on rocky shore organisms after the Hebei Spirit oil spill. Field surveys were carried out in five regions dose to the wreck site in January, April and September 2008. Polluted sites after the Hebei Spirit oil spill showed that biological index consistently decreased for 9 months limited to breeding and recruitment of organisms by spilled oil. Macrobenthic community was subdivided into 3 groups by species elimination and differences between density of major dominant species: enriched biota community under a relatively stable environment, the second with relatively low ecological index and the last with poor community. In this study, species number did not clearly reflect the effect of oil on the rare and mobile species. However, mean density, biomass and community structure showed the effect of oil by considering breeding activity, decline in recruitment and variation pattern with time.

Key words : Hebei Spirit oil spill, rocky shore, ecological index, dominant species, macrobenthic community

1. 서 론

전 세계적으로 유조선에 의한 해양 유류유출은 지난

20년 동안 빈번히 발생하였다(Peterson and Eates 2001). 대표적인 해외 사례로는 2010년 멕시코만에서 778,000 kl의 원유가 유출되어 석유산업 역사상 최악의 기름유출 사고로 기록된 Deepwater Horizon 사고, 1979년 서인도 제도에서 발생한 Atlantic Empress 사고, 1978년 프랑스의

*Corresponding author. E-mail : hspark@kiost.ac

Brittany에서 발생한 Amoco Cadiz 사고, 1967년 영국의 Scilly Isles에서 발생한 Torrey Canyon 사고, 1989년 3월 미국의 알래스카만에서 발생한 Exxon Valdez 사고 등이 있다.

우리나라 주변 해상에서는 연간 300여건 이상의 해양 유류오염 사고가 꾸준히 발생하고 있으며, 유류오염으로 인한 해양생태계의 피해가 나타날 것으로 여겨지지만, 이에 대한 연구는 매우 적다. 2007년 12월에 발생한 Hebei Spirit 유류유출 사고는 태안군 연안에서 발생되었으며, 국내 최대의 유류유출 사고로 12,547 k의 3종의 원유가 유출되어 사고 발생 5일만에 학암포에서 파도리까지 총 35 km의 해안이 유류에 피복되었으며, 사고 31일 후에는 제주도 조천읍 다려도 해안까지 타르볼 유입이 확인되었다(국토해양부 2009).

Hebei spirit 유류유출 사고가 발생한 태안군 해안은 암반과 모래해안이 잘 발달되어 있고, 많은 해수욕장이 있으며, 많은 암반 해안이 태안해안국립공원으로 지정되어 있는 등 사회적으로 그리고 생태학적으로 중요한 곳이다. Hebei Spirit 사고 이후 태안 해안에서 방제 작업은 빠르게 진행되었고, 그 결과 10개월 이후 조간대 공극수 내 TPH(total petroleum hydrocarbon) 함량이 해양환경

수질 기준을 만족하는 수준으로 감소하였다(국토해양부 2009).

해양의 다양한 서식처 중 암반조간대는 높은 생물 다양성과 생산성을 가지고 있어 지역 주민들에게 경제적 이익을 제공하고, 암반 조간대를 찾는 사람들에게는 레크리에이션 및 학습활동의 장소 등 다양한 방법으로 이용되는 중요한 역할을 하고 있다(IPIECA 2000; Connel 1974). 국내 암반조간대에서 이루어진 저서동물 연구는 태안 해안(국립공원관리공단 2005a, 2007b; Lee et al. 1985; 해양수산부 2005), 태안 대산 공단 주변(Roh et al. 1996) 등 다수의 연구가 존재하나 유류오염 이후 암반조간대 대형저서동물의 변화 양상에 대한 연구는 소리도 인근에서 씨프린스호 유류유출 영향 평가가 있을 뿐이다(백 2000; 신 등 2008). 하지만 백 (2000)과 신 등 (2008)의 연구는 유류오염 이후 2년이 지난 후 조사가 이루어져 유류오염에 따른 암반조간대 대형저서동물의 초기 영향에 대한 자료는 빈약한 실정이다.

이 연구는 Hebei spirit 유류유출 사고 직후 암반조간대 대형저서동물의 종조성과 군집 구조 변화를 분석하고 유출된 유류가 암반 생물에게 미치는 영향을 파악하는데 목적이 있다.

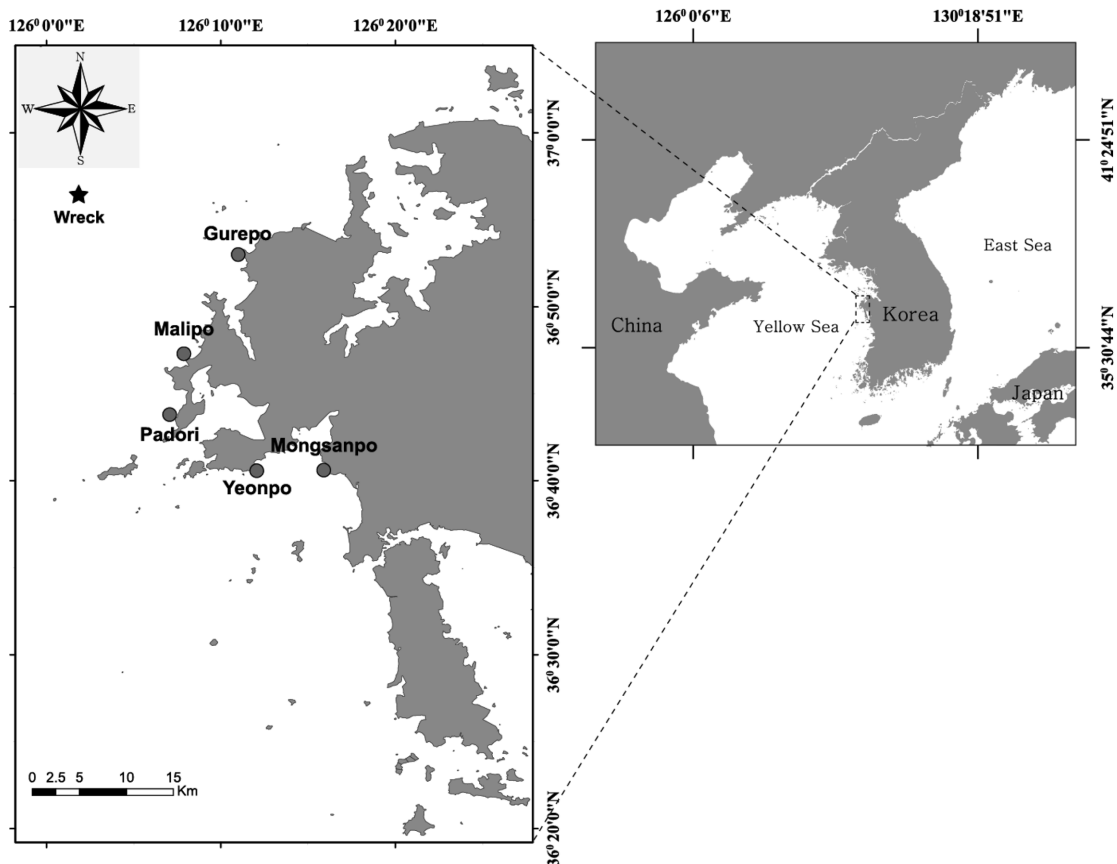


Fig. 1. Illustration of sampling sites in Tae-an coast of Korea. "★" indicates the location of the Hebei Spirit wreck

2. 재료 및 방법

현장 조사는 2008년 1, 4, 9월에 Hebei spirit 사고 해역과 인접한 5개 지역(구례포~몽산포)을 선택하여 수행하였다(Fig. 1). 각 지역에서 조사 정점은 생물대를 기준으로 상부(총알고둥 우점군집), 중부(조무래기따개비+굴 혼서군집), 하부(석회관갯지렁이 우점 군집)로 구분하였고, 각 조사 정점에서 부착생물은 방형구(25×25 cm, 0.0625 m²)를 이용하여 2회씩 반복 채집하였다. 채집된 부착생물은 실험실에서 대형저서동물 선별과 현미경을 이용하여 가능한 종 수준까지 분류한 후, 각 종별로 개체수와 생체량을 측정하였다.

대형저서동물의 출현 종수, 평균 서식밀도, 생체량의 시·공간적인 변화는 대형저서동물 군집의 구조 변화에 미치는 유류의 영향을 알아보기 위해 분석하였으며, 이때 개체수 및 생체량 자료는 단위면적당(m²) 자료로 환산하여 사용하였다. 총 개체수에 대하여 1% 이상을 점유하는 상위 우점종의 시간에 따른 변화 양상은 대형저서동물 군집 구조의 특성을 파악하기 위해 분석하였다.

집괴분석(Cluster analysis)과 nMDS(Non-metric multi-dimensional scaling)은 대형저서동물 군집 구조의 유사성을 파악하기 위해 종의 개체수를 square root로 변환하여 Bray-Curtis 유사도 지수를 구한 후 분석을 실시하였다. SIMPROF test에 의해 구분된 그룹은 통계적으로 유사한 군집 구조를 가지고 있는 것으로 간주하였다. One-way ANOVA 또는 Kruskal-Wallis 분석은 생태지수(출현종수와 평균 서식밀도)와 주요 우점종의 밀도가 각 군집간에 차이가 있는지 파악하기 위하여 실시하였다. 또한, 각 군집 구조에 기여한 종을 파악하기 위해서 SIMPER(Similarity-percentages procedure) 분석을 실시하였다.

3. 결 과

각 조사지선의 생태지수 변동

구례포

조사기간 동안 31-49종이 출현하였고, 9개월 동안 지속적으로 감소하였다(Fig. 2a). 평균 서식밀도는 1,259-6,880 ind./m²이었고, 지속적으로 감소하여 2008년 1월 대비 9월에는 약 1/6수준으로 감소하였다(Fig. 2b). 생체량은 515.2-2,079.5 gWWt/m²이었고, 지속적으로 감소하여 2008년 1월 대비 9월에는 약 1/4 수준으로 감소하였다(Fig. 2c).

만리포

조사기간 동안 24-32종이 출현하였고, 9개월 동안 지속적으로 증가하였으나 계절간 차이는 크지 않았다(Fig.

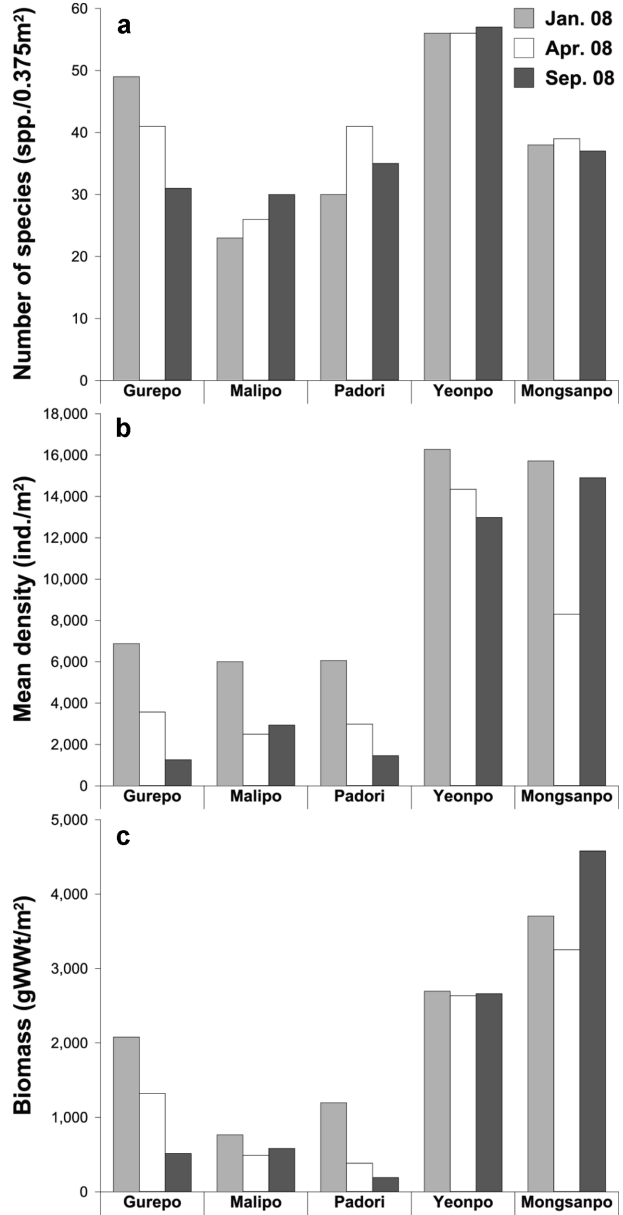


Fig. 2. Temporal variation in ecological index for each sites

2a). 평균 서식밀도는 2,504-6,008 ind./m²이었고, 2008년 1월 대비 4월과 9월에는 각각 약 1/3과 1/2 수준의 낮은 값을 보여 전반적으로 감소하는 추세를 보였다(Fig. 2b). 생체량은 490.7-766.2 gWWt/m²이었고, 2008년 1월 에 비해 4월과 9월에 낮은 값을 보여 전반적으로 감소하는 추세를 보였다(Fig. 2c).

파도리

조사기간 동안 30-43종이 출현하였고, 2008년 4월에 가장 많은 종이 출현하였다(Fig. 2a). 평균 서식밀도는

1,459-6,059 ind./m²이었고, 지속적으로 감소하여 2008년 1월 대비 9월에는 약 1/4 수준으로 감소하였다(Fig. 2b). 생체량은 191.7-1,197.8 gWWt/m²이었고, 9개월 동안 지속적으로 감소하였다(Fig. 2c).

연포

조사기간 동안 56-57종이 출현하여 변화가 없었다(Fig. 2a). 평균 서식밀도는 12,984-16,275 ind./m²이었고, 점진적으로 감소하였으나 계절간에 차이는 크지 않았다(Fig. 2b). 생체량은 2,636.3-2,694.5 gWWt/m²으로 변화가 없었다(Fig. 2c).

몽산포

조사기간 동안 37-39종이 출현하여 변화가 없었다(Fig. 2a). 평균 서식밀도는 8,307-15,717 ind./m²이었고, 다른 계절에 비해 2008년 4월에 약 1/2 수준의 낮은 값을 보였다(Fig. 2b). 생체량은 3,252.3-4,580.5 gWWt/m²으로 조사지역 중 가장 높은 값을 보였다(Fig. 2c).

조사지선별 우점종의 종류 및 변화

구례포

조사기간 동안 출현한 68종에서 만각류인 *Chthamalus challengerii*를 포함한 갑각류 3종, *Littorina brevicula* 등의 고등류 3종, *Lasaea undulata*를 포함한 이매패류 2종이 상위 우점종으로 출현하였고, 계절별로 주요 우점종은 차이를 보였다(Table 1). 그 중 단각류인 *Peramphithoe* sp.와 고등류인 *Lottia* spp.는 9월에 새로이 우점하여 출현하였다. 총 개체수에 대해 상위 우점종들이 차지하는 비율은 1월 이후 지속적으로 감소하였지만, 모든 조사기간에서 63% 이상으로 높은 비중을 나타냈다(Table 1). 이매패류인 *L. undulata*, *Mytilus galloprovincialis*, 고등류인 *Barleeia angustata*, *Turbo coronata coreensis*, 만각류인 *C. challengerii*의 서식밀도는 유류오염 이후 9개월 동안 지속적으로 감소하였고, 고등류인 *Thais clavigera*는 조사기간 동안 출현하지 않았다(Fig. 3). 한편, 고등류인 *L. brevicula*와 이매패류인 *Crassostrea gigas*는 뚜렷한 변화를 보이지 않았다(Fig. 3).

만리포

조사기간 동안 출현한 45종에서 *L. brevicula*와 *M. galloprovincialis*를 포함한 연체동물 4종, 만각류인 *C. challengerii*와 등각류인 *Dynoides* sp. 2종, 다모류인 *Nereis heterocirrata* 1종이 상위 우점종으로 출현하였고, 계절별로 주요 우점종은 차이가 없었다(Table 1). 총 개체수에 대해 상위 우점종들이 차지하는 비율은 1월 이후 지속적으로 감소하였지만, 모든 조사기간에서 80.0% 이상으로

높은 비중을 차지하였다. 이매패류인 *Lasaea undulata*, *Mytilus galloprovincialis*, 만각류인 *Chthamalus challengerii*의 서식밀도는 유류오염 이후 9개월 동안 지속적으로 감소하였고, 고등류인 *Thais clavigera*와 *Turbo coronata coreensis*는 조사기간 동안 출현하지 않았다(Fig. 3). 한편, 고등류인 *L. brevicula*와 이매패류인 *Crassostrea gigas*는 뚜렷한 변화를 보이지 않았다(Fig. 3).

파도리

조사기간 동안 출현한 68종에서 *C. challengerii*를 포함한 갑각류 3종, *B. angustata* 등의 연체동물 4종, *Nainereis lavigata* 등 다모류 3종, 바다거미류인 *Anoplodactylus hilgendorfi* 1종을 포함한 11종이 계절별 주요 우점종으로 출현하였고, 계절별로 우점종으로 출현하는 종들은 차이를 보였지만, 상위 종들은 유사하게 나타났다(Table 1). 이매패류인 *C. gigas*, *L. undulata*, *M. galloprovincialis*, 고등류인 *B. angustata*, 만각류인 *C. challengerii*의 서식밀도는 9개월 동안 지속적으로 감소하였고, *B. angustata*와 *L. undulata*는 9월에는 출현하지 않았다(Fig. 3). 한편, 고등류인 *Thais clavigera*는 조사기간 동안 출현하지 않았고, *Turbo coronata coreensis*는 4월(3 ind./m²)을 제외하고 출현하지 않았다. 고등류인 *L. brevicula*는 뚜렷한 변화를 보이지 않았다(Fig. 3).

연포

조사기간 동안 출현한 90종에서 만각류인 *C. challengerii* 1종, *L. brevicula* 등의 연체동물 4종, 다모류인 *Hydroides ezoensis*와 *N. lavigata* 2종을 포함한 7종이 계절별 상위 우점종으로 출현하였고, 계절별로 주요 종은 변화가 없었다(Table 1). 그 중 다모류인 *H. ezoensis*와 *N. lavigata*는 각각 4월과 9월에 새롭게 우점종으로 출현하였고, 상위 우점종이 차지한 밀도는 모든 조사기간에서 79% 이상을 차지하였다(Table 1). 이매패류인 *M. galloprovincialis*, 고등류인 *L. brevicula*, 만각류인 *C. challengerii*의 서식밀도는 유류유출 사건 이후 감소하였으나, 이매패류인 *C. gigas*와 고등류인 *T. clavigera*는 1월 이후 점진적으로 증가하였다(Fig. 3).

몽산포

조사기간 동안 출현한 58종에서 만각류인 *C. challengerii*와 *Balanus albicostatus* 2종, *L. brevicula* 등의 연체동물 4종, 계류인 *Hemigrapsus penicillatus* 1종을 포함한 7종이 계절별 상위 우점종으로 출현하였고, 주요 종은 변화가 없었다(Table 1). 고등류인 *Odostomia aomori*와 *B. albicostatus*는 각각 4월과 9월에 새롭게 우점종으로 출현하였다(Table 1). 만각류인 *C. challengerii*, 고등류인 *L. brevicula*,

Table 1. Top five dominant species for each sites during the study period

	Gurepo			Malipo			Padori			Yeonpo			Mongsanpo		
	Species	Taxon	% by no.	Species	Taxon	% by no.	Species	Taxon	% by no.	Species	Taxon	% by no.	Species	Taxon	% by no.
Jan. 2008	<i>C. challengeri</i>	CCi	31.9	<i>C. challengeri</i>	CCi	42.4	<i>C. challengeri</i>	CCi	37.6	<i>C. challengeri</i>	CCi	72.1	<i>C. challengeri</i>	CCi	59.3
	<i>L. undulata</i>	MBi	22.9	<i>L. undulata</i>	MBi	30.3	<i>B. angustata</i>	MGs	23.3	<i>L. brevicula</i>	MGs	9.7	<i>L. brevicula</i>	MGs	22.8
	<i>B. angustata</i>	MGs	15.9	<i>L. brevicula</i>	MGs	13.4	<i>L. undulata</i>	MBi	11.5	<i>L. undulata</i>	MBi	6.1	<i>L. undulata</i>	MBi	6.4
	<i>L. brevicula</i>	MGs	9.8	<i>M. galloprovincialis</i>	MBi	5.4	<i>L. undulata</i>	MBi	9.2	<i>C. gigas</i>	MBi	2.8	<i>C. gigas</i>	MBi	3.4
	<i>Parhyale</i> sp.	CAm	4.7	<i>Lottia</i> spp.	MGs	3.4	<i>C. gigas</i>	MBi	3.9	<i>M. galloprovincialis</i>	MBi	1.4	<i>H. penicillatus</i>	CDB	1.6
Apr. 2008	<i>C. challengeri</i>	CCi	33.7	<i>C. challengeri</i>	CCi	50.1	<i>B. angustata</i>	MGs	40.3	<i>C. challengeri</i>	CCi	66.9	<i>L. brevicula</i>	MGs	34.7
	<i>L. brevicula</i>	MGs	26.9	<i>L. brevicula</i>	MGs	23.7	<i>L. brevicula</i>	MGs	39.4	<i>L. undulata</i>	MBi	4.7	<i>C. challengeri</i>	CCi	21.1
	<i>C. gigas</i>	MBi	6.6	<i>Lottia</i> spp.	MGs	7.5	<i>N. lavigata</i>	APol	3.7	<i>H. ezoensis</i>	APol	3.8	<i>C. gigas</i>	MBi	19.1
	<i>Parhyale</i> sp.	CAm	6.2	<i>L. undulata</i>	MBi	3.1	<i>A. crassus</i>	OPy	2	<i>C. gigas</i>	MBi	3.8	<i>O. aomori</i>	MGs	5.7
	<i>B. angustata</i>	MGs	5.2	<i>Dynoides</i> sp.	ClS	2.9	<i>Typosyllis</i> sp.	APol	1.9	<i>L. brevicula</i>	MGs	3.8	<i>L. undulata</i>	MBi	3.9
Sep. 2008	<i>L. brevicula</i>	MGs	24.6	<i>C. challengeri</i>	CCi	42.5	<i>L. brevicula</i>	MGs	41.3	<i>C. challengeri</i>	CCi	59.6	<i>L. brevicula</i>	MGs	37.4
	<i>Peramphithoe</i> sp.	CAm	12.1	<i>L. brevicula</i>	MGs	23.5	<i>C. challengeri</i>	CCi	27.4	<i>L. undulata</i>	MBi	10.3	<i>C. challengeri</i>	CCi	22.4
	<i>Lottia</i> spp.	MGs	11.4	<i>Lottia</i> spp.	MGs	7.4	<i>Peramphithoe</i> sp.	CAm	5.7	<i>C. gigas</i>	MBi	4.1	<i>C. gigas</i>	MBi	7.6
	<i>C. gigas</i>	MBi	8.1	<i>M. galloprovincialis</i>	MBi	3.6	<i>Parhyale</i> sp.	CAm	3.5	<i>H. ezoensis</i>	APol	3.3	<i>B. albicostatus</i>	CCi	6.8
	<i>Parhyale</i> sp.	CAm	7	<i>N. heterocirrata</i>	APol	3.2	<i>H. uncinatus</i>	APol	2.6	<i>N. lavigata</i>	APol	2.7	<i>H. penicillatus</i>	CDB	5.6

*APol: Annelida Polychaeta, CAm: Crustacea Amphipoda, CCi: Crustacea Cirripedia, CDB: Crustacea Decapoda Brachyura, ClS: Crustacea Isopoda, MBi: Mollusca Bivalvia, MGs: Mollusca Gastropoda

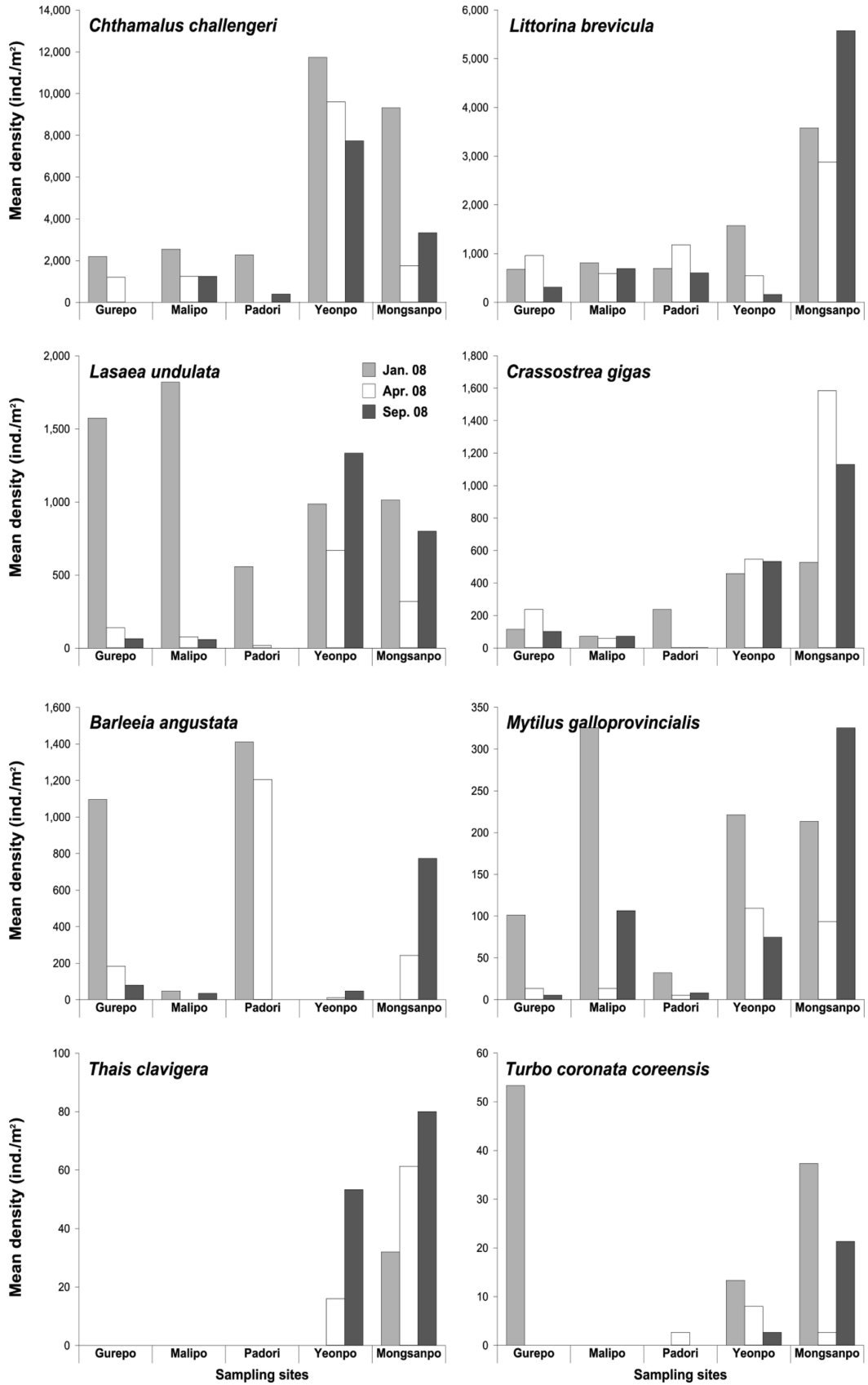


Fig. 3. Temporal variation of major dominant species for each sites

이매패류인 *L. undulata*와 *M. galloprovincialis*의 서식밀도는 4월에 감소한 후 9월에 증가하였으나, 이매패류인 *C. gigas*, 고둥류인 *B. angustata*와 *Thais clavigera*는 점진적으로 증가하였다(Fig. 3).

군집 구조

조사 지역에서 대형저서동물 군집은 크게 3개의 그룹으로 구분되었다(Fig. 4). 연포와 몽산포에서 대형저서동물 군집은 1월부터 9월까지 높은 유사성을 보이며 다른 지역들과 구분되었고(Fig. 4, Group C), 만리포와 구례포에서 대형저서동물 군집은 4월까지 유사하게 나타났으나 9월에

는 차이를 보였다(Fig. 4, Group B and A). 한편 만리포와 파도리에서 대형저서동물 군집은 1월에 유사하게 나타났으나 4월부터는 차이를 보였다(Fig. 4, Group B and A). 구례포와 파도리에서 대형저서동물 군집은 1월과 9월에는 유사한 구조를 보였으나, 4월에는 차이를 보였다(Fig. 4, Group B and A). 각 군집의 종조성의 유사도 정도를 나타낸 nMDS 결과에서도 각 그룹의 경계가 명확하게 구별되었다(Fig. 4).

각 군집별 종수와 평균 서식밀도의 값을 사용한 분산분석 결과, 각 군집은 출현 종수에서 차이가 없었으나 ($P=0.058$), 평균 서식밀도는 95% 유의수준에서 각 군집

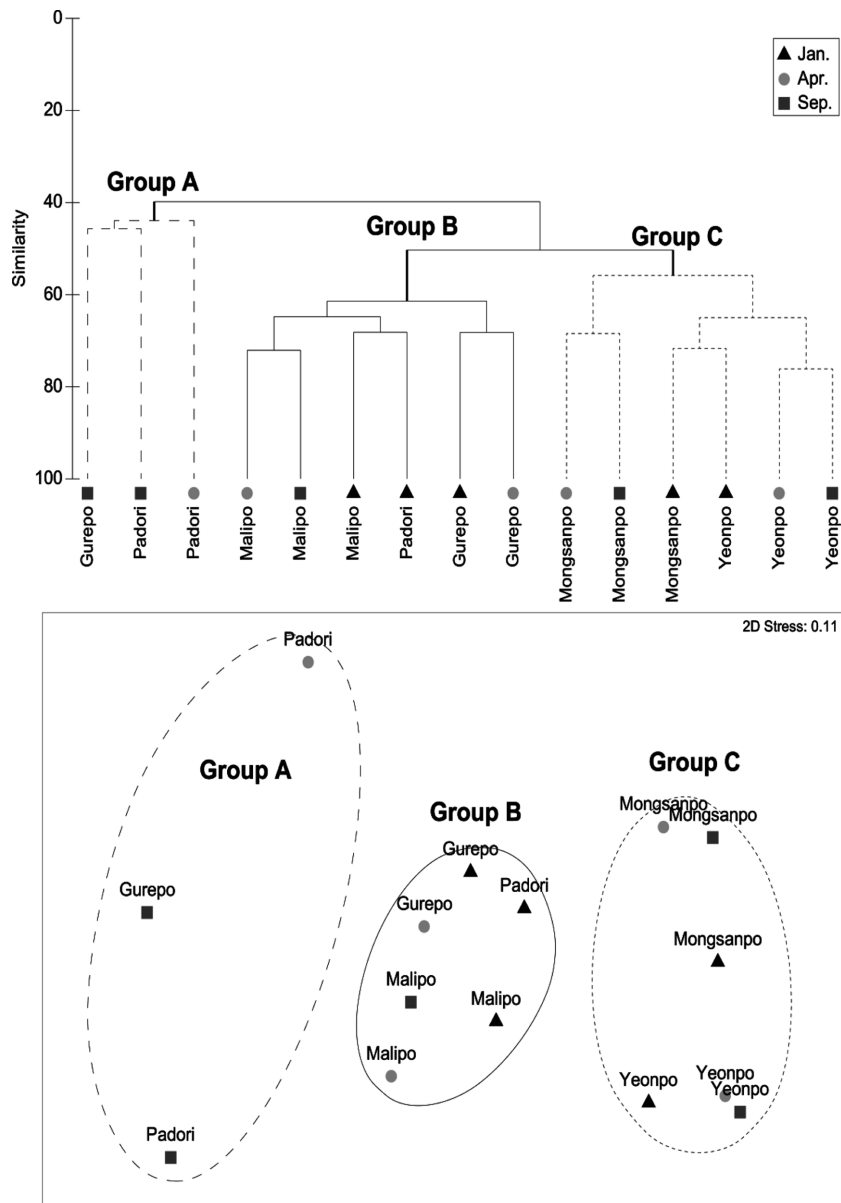


Fig. 4. A dendrogram based on cluster analysis and nMDS ordinations plot based on Bray-Curtis similarity indices calculated from square root transposed species density at each study area

Table 2. The list of major contributing species between group by SIMPER analysis

	Group A	Group B	Group C	ANOVA (P-value)
Ecological index				
Number of species	66	76	97	0.058
Mean density (ind./m ²)	1,902	4,660	13,755	0.000
Contribution species				
				(ind./m ²)
<i>Chthamalus challenger</i>	8	42	82	0.005*
<i>Littorina brevicula</i>	25	27	44	0.457*
<i>Lasaea undulata</i>	4	22	29	0.038*
<i>Crassostrea gigas</i>	4	11	27	0.004*
<i>Barleeia angustata</i>	15	16	9	0.627
<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	1	5	16	0.054
<i>Lottia</i> spp.	7	13	10	0.049
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	2	9	13	0.094
<i>Nainereis laevigata</i>	8	3	9	1.671*
<i>Balanus albicostatus</i>	2	0	9	3.953*
<i>Hydroides ezoensis</i>	2	2	8	0.273*
<i>Thais clavigera</i>	0	0	6	9.968*
<i>Turbo coronata coreensis</i>	1	1	3	0.535

간에 차이를 보였다(P=0.000) (Table 2). 각 군집을 구별하는 기여종을 밝히기 위해 실시된 SIMPER 분석 결과, 각 군집은 주요 우점종의 서식밀도 차이에 의해 구분되었고, 특히 *C. challenger*, *C. gigas*와 *L. undulata*가 95% 유의수준에서 각 군집간에 차이를 보였다(P<0.05) (Table 2).

4. 고찰

조사 기간 동안 출현 종수는 다모류 *Hydroides ezoensis*와 *Platynereis bicanaliculata* 같은 희소종(rare species)들의 일시적인 출현에 의해 만리포와 파도리에서는 증가하였으나, 구례포에서는 연체동물이 감소하면서 함께 감소하였고, 연포와 몽산포는 큰 변화를 보이지 않았다. 평균 서식밀도와 생체량은 구례포, 만리포, 파도리에서는 연체동물과 절지동물에 의해 지속적으로 감소하였으나, 연포와 몽산포에서는 계절간에 크게 차이가 없었다. 결과적으로 구례포, 만리포, 파도리에서 생태지수는 유류오염 이후 변화의 폭이 비교적 크고 감소한 반면 연포와 몽산포에서는 크게 차이가 없었다. Southward and Southward (1978)는 생물지수 변화의 폭이 크지 않고 유사한 값이 지속되는 상태를 비교적 안정된 생물 군집을 가지고 있는 것으로 구분하였다. 또한, 국내 암반 조간대에서 정 (2000)은 인위적인 간섭이 적은 환경에서 출현 종수나 서식밀도가

계절에 따라 급격히 증감하는 양상은 국지적이며, 대부분 지역이 약간의 변화 양상을 나타낸다고 하였다. 따라서, Hebei Spirit 사고 이후 연포와 몽산포는 계절간 생태지수의 변화가 크지 않고 유사한 값이 유지되었기 때문에 유류의 영향을 거의 받지 않고, 안정된 생물 군집을 가지고 있는 것으로 볼 수 있다. 반면, 구례포, 만리포, 파도리는 유출된 유류의 영향으로 저서동물 종조성 변화가 나타났기 때문에 상대적으로 생태지수의 변동 폭이 크고, 생태지수가 지속적으로 감소하는 것으로 볼 수 있다.

연구지역에서 총 출현 개체수에 대하여 1% 이상을 나타내는 종은 갑각류 2종, 연체동물 6종으로 *C. challenger*, *L. brevicula*, *L. undulata*, *C. gigas*, *B. angustata*, *M. galloprovincialis* 등이 포함되었다.

*C. challenger*는 모든 지역에서 가장 우점하여 출현하였다. 이 종은 조간대 상부에서 하부까지 넓은 범위에 분포하였으나, 유류오염 이후 감소하거나 일부 지역에서는 수개월 후 출현하지 않았다. *C. challenger*는 Hebei Spirit 사고 이전에 7개 지역을 대상으로 실시된 조사에서도 가장 우점하여 출현하였으나(국립공원관리공단, 2006, 2007), 이번 연구와는 조사 및 분석 방법에서 차이가 있었기 때문에 유류의 영향에 대한 객관적인 비교는 불가능하였다. 한편, Hawkins et al. (1994)의 연구에서 따개비류는 방제 방법에 의해 여러 번 세척된 지역을 제외하고 유류 또는 분산제 사용에 의해 크게 영향을 받지 않았지만, 이후 몇 년 동안 녹조류에 의해 질식하여 죽거나 대수리의 포식에 의해 감소하였다. 연구 지역내 유류의 영향을 많이 받은 지역에서 *C. challenger*의 밀도 감소는 포식자인 대수리가 출현하지 않았기 때문에 포식에 의한 것보다 표착된 유류에 의해 더 많은 영향을 받았을 것으로 해석된다.

연구 지역에서 *L. brevicula*는 몽산포를 제외한 지역에서 사고 이후 9개월 동안 감소하였고, Newey and Seed (1995)의 연구에서도 Braer oil spill 이후 총알고둥류가 오염 지역에서 감소하였다. 반면, Crothers (1983)의 실험에서 총알고둥류(*Littorina littorea*)는 유류오염 이후 어린 개체의 가입과 성장이 정상적으로 나타나 변화가 없었다. 국내에서 *L. brevicula*은 수온이 감소하는 시기인 겨울철에 산란이 이루어지며, 난낭(egg capsule)은 년중 수온이 가장 낮은 2월(12도 이하)에 가장 높은 밀도로 출현하여 봄철에 가입되는 것으로 알려져 있으나(Son 1997), 이번 연구에서 유류의 영향을 강하게 받은 지역들은 조사기간 동안 *L. brevicula*의 어린 개체가 관찰되지 않았다. 이는, 유류가 *L. brevicula*의 번식 활동에 영향을 주어 정상적인 가입이 이루어 지지 않았을 것으로 생각된다.

*L. undulata*는 유류의 영향을 많이 받은 지역들에서는 조간대 중부와 하부에 분포하면서 구례포를 제외한 3개 지역은 조간대 하부에서 높은 밀도로 출현하였다. 대조적

으로 비교적 유류의 영향을 덜 받은 지역에서는 조간대 중부에서만 출현하였으며, 유류의 영향을 많이 받은 지역들에 비해 높은 밀도로 출현하였다. 이 종은 대형 이매패류와 해조류에 의해 제공되는 공간에 서식하는 종으로 비교적 조간대 하부에 해조류가 빈약한 연포와 몽산포의 하부에서는 출현하지 않은 것으로 보이며, 조간대 중부에서는 비교적 유류의 영향을 덜 받은 지역에서 많은 영향을 받은 지역들에 비해 월등히 높은 밀도로 출현하고 있기 때문에 조간대 중부의 경우 유류의 직접적인 영향과 *L. undulata*에게 서식처를 제공하는 *M. galloprovincialis*와 같은 대형 이매패류들의 밀도 감소로 인해 유류의 영향을 받은 지역에서 많은 개체가 사라진 것으로 보인다.

*C. gigas*는 연포와 몽산포에서는 지속적으로 증가하였으나, 영향을 많이 받은 지역에서는 300개체/m² 이하의 적은 개체가 출현하였다. 연구 지역에서 이 종은 8월 초와 9월말에 2회 산란하는 경향을 보였으나(이 2010), 서해의 다른 지역에서는 수온 상승기인 7월 중순과 하강기인 8월 하순에 총 2회 산란이 이루어 지는 것으로 알려져 있다(Choi and Choi 1999). 두 연구에서 산란은 연중 2회로 동일하게 나타났으나, 산란 시기는 차이가 있었으며, 이는 유류의 영향으로 지연되었을 것으로 해석하였다(이 2010). 이번 연구에서 오염 지역은 주 산란과 가입 시기 이후에 조사가 이루어 졌음에도 불구하고 9월에 낮은 서식밀도를 보여 이 (2010)의 결과와 같이 유류의 영향으로 정상적인 번식과 가입 활동이 이루어지지 않았을 것으로 해석할 수 있다.

*B. angustata*는 유류에 의해 영향을 적게 받은 지역에서는 증가하였지만, 강하게 영향을 받은 지역에서는 크게 감소하였다. 이 종은 해조류가 밀생하는 곳이나 굴 껍질 밑에 서식하는 소형 종으로 알려져 있으며(권 등 2001), 국내에서는 겨울철에 가장 높게 출현하는 것으로 알려져 있다(김 2012). 또한, 이 종은 여름철과 겨울철에 높은 생체량을 보여 1년에 2회 산란하는 것으로 판단하였다(Jo 1987; 김 2012). 이번 연구에서는 오염지역의 경우 겨울철에 가입된 개체들이 1차적으로 유류에 의해 질식되어 사망하였거나 굴이 제공하던 서식처가 파괴되어 감소한 이후 잔존유류의 영향을 받아 여름철에 가입이 정상적 이루어지지 않은 것으로 생각된다. 반면, 유류의 영향을 덜 받은 연포와 몽산포에서는 굴이 증가하면서 안정된 서식처를 제공하였기 때문에 증가하였을 것으로 생각된다.

*M. galloprovincialis*는 구레포와 연포의 경우 9개월 동안 지속적으로 감소하였으나, 다른 지역에서는 4월 이후 밀도가 증가하였다. 이 종은 국내 진해만의 경우 산란 성기는 4월로 주로 3월에서 5월 사이 D형 유생이 출현하는 것으로 알려져 있으며(Yoo et al. 1990), 남해 장목만에서 가입시기는 4월과 5월로 보고되었다(최 등 2011). 반면,

백 (2003)은 진해 괴정에서 7월에 어린 개체가 다량 가입된 것을 확인하였고, Yoo et al. (1970)은 6월에 신생군이 출현한 후 8월과 10월 사이에 탈락이 일어난다고 하였다. 이번 연구에서 연포와 몽산포에서는 9월에 어린 개체가 출현하였으나, 다른 지역에서는 관찰되지 않았고, 상대적으로 낮은 밀도를 보였기 때문에 유류가 번식 및 가입 활동에 영향을 주었을 것으로 추론할 수 있다.

연구지역에서 대형저서동물 군집은 크게 유류의 영향을 거의 받지 않은 지역과 심하게 받은 군집으로 구분되었으며, 심하게 유류의 영향을 받은 지역은 시간이 지나면서 군집 변화가 나타났다. 씨프린스호 유류유출 사고 이후 암반 조간대 대형저서동물군집은 오염이 심하였던 지역과 영향이 적었던 지역간에 종조성의 차이를 어느 정도 인지할 수는 있으나 그 정도가 미약하여 유류오염으로 인한 암반생태계의 영향 및 회복 정도를 정확하게 판단하기 어렵다고 해석하였고(신 등 2008), Gelin et al. (2003) 역시 Jessica Oil Spill 사고시 유류오염이 조간대 저서무척추동물군집에 미친 영향을 파악하고자 하였으나, 출현종수와 서식밀도 등과 유류와의 관계가 명확하게 보이지 않음을 지적하였다. 하지만, 이번 연구에서 출현 종수는 희소종과 이동성 종들에 의해 유류의 영향을 명확하게 파악할 수 없었으나 평균 서식밀도는 유류에 의해 질식하여 죽거나 유류가 생물의 번식 활동에 영향을 주어 정상적인 가입이 이루어지지 않아 크게 감소하였기 때문에 유류가 암반조간대 생물의 밀도 변화에 미치는 영향을 인지할 수 있었다.

연구 지역에서 동일한 조사 시기에 연성 조간대 대형저서동물을 대상으로 실시한 Yu et al. (2013)의 연구에서 군집 구조는 크게 오염 지역과 대조구 지역으로 구분되었으며, 유류가 저서동물 군집에 9개월 이상 영향을 주는 것으로 해석하였다. 이번 연구에서 군집 구조는 주요 우점종의 서식밀도 차이에 의해 유류의 영향을 강하게 받은 지역과 안정된 상태를 보이는 지역으로 명확하게 구분되었다. 그러므로 Hebei spirit 유류 유출로 인해 유출된 유류는 사고 해역 주변 암반 조간대 대형저서동물의 서식밀도와 군집 구조 변화에 크게 영향을 준 것으로 나타났으며, 유류에 대한 생물학적 반응은 모든 서식처에서 사고 이후 9개월 이상 지속되었다.

사 사

이 논문은 2013년 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(유류오염 환경영향평가 및 환경복원 연구-PM57432). 또한, 본 논문을 작성하는데 많은 조언과 가르침을 주신 공동 저자 분들과 세심하게 검토해 주신 평가 위원님들께 감사드립니다.

참고문헌

- 국립공원관리공단 (2005) 태안해안국립공원 자연자원조사. 충남, 국립공원관리공단, 619 p
- 국립공원관리공단 (2006) 태안해안국립공원 자원 모니터링: 1차년도. 충남, 국립공원관리공단, 326 p
- 국립공원관리공단 (2007) 태안해안국립공원 자원 모니터링: 2차년도. 충남, 국립공원관리공단, 314 p
- 국토해양부 (2009) 허베이스피리트 유류오염 사고 해양오염 영향조사 및 생태계 복원 연구. 한국해양연구원, BSPM11-1611000-000392-01, 45 p
- 권오길, 민덕기, 이종락, 이준상, 제종길, 최병래 (2001) 원색신 한국 패류도감. 서울, 민태류박물관, 332 p
- 김윤설 (2012) Ecological Characteristics of Organisms attached to *Sargassum* beds in Gamak Bay, Korea. 이학박사 학위논문, 전남대학교, 31 p
- 노분조, 박경숙, 이종위 (1996) 대산공단 주변의 대형저서동물의 생태학적 연구. 한국환경생학회지 **14**(1):69-80
- 백경환 (2000) 소리도 인근해역의 조간대 무척추동물 군집에 대한 Sea Prince호 유류유출 영향. 이학석사 학위논문, 조선대학교, 197 p
- 백상규, 윤성규 (2003) 진해피정 암반 조간대 담치대의 대형저서동물 군집구조 및 수직분포. 한국수산학회지 **36**(5):500-508
- 신현출, 이정호, 임경훈, 윤성명, 고철환 (2008) 암반조간대 대형저서동물군집에 대한 씨프린스호 유류 유출사고 영향 평가. 한국환경학회지 **26**:159-169
- 유성규, 김기주, 이청구 (1970) 연안산 중요 조개류의 증식에 관한 생물학적 연구 4. 진주담치의 성장에 대하여. 한국수산학회지 **3**(2):103-109
- 유성규, 임현식, 장영진 (1990) 진해만에서 진주담치 *Mytilus edulis*의 부유유생의 출현, 부착 및 초기성장에 관한 연구. 한국패류학회지 **6**(1):1-10
- 이희중 (2010) Impacts of 2007 Hebei spirit oil spill on reproductive physiology of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*; Tunberg, 1793) in Taean off the west coast of Korea. 이학석사 학위논문, 제주대학교, 31 p
- 정의욱 (2000) 제주도 김녕항 부근 암반조간대 저서동물의 시·공간적 분포. 이학석사 학위논문, 제주대학교, 38 p
- 조성익 (1987) 알송이모자반(*Sargassum confusum*)과 해조표면 서식동물의 생산성. 이학석사 학위논문, 서울대학교, 71 p
- 최진우, 박소현, 서진영 (2011) 남해 장목만 부착생물의 PVC 인공부착판에서의 가입 양상. 한국패류학회지 **27**(1):29-33
- 해양수산부 (2005) 동·서·제주해역 바다목장화 개발 연구용역 : 1단계 1차년도 보고서. 한국해양연구원, 563 p
- Choi YR, Choi YS (1999) Studies on the culture of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*), by rack method in the west coast of Korea. Bull Korean Soc Fish Tech **56**:91-99
- Connell JH (1974) Field experiments in marine ecology. In : Mariscal R (ed), Experimental marine biology. Academic press, New York, pp 21-54
- Crothers JH (1983) Field experiments on the effects of Crude oil and dispersant on the common animals and plants of Rocky sea shores. Mar Environ Res **8**:215-239
- Gelin A, Gravez V, Edgar GJ (2003) Assessment of Jessica oil spill impacts on intertidal invertebrate communities. Mar Pollut Bull **46**:1377-1384
- Hawkins SJ, Proud SV, Spence SK, Southward AJ (1994) From the individual to the community and beyond: Water quality, stress indicators and key species in coastal ecosystems. In : Sutcliffe DW (ed) Water Quality and Stress Indicators in Marine and Freshwater Ecosystems: Linking Levels of Organization (individuals, Populations, Communities). Freshwater Biological Association Publisher, Ambleside, pp 35-62
- IPIECA (2000) Biological impacts of oil pollution: rocky shores. IPIECA Oil spill report series **7**:1-22
- Lee IK, Kim HS, Choi BL, Lee HB (1985) Studies on the marine benthic communities in inter and subtidal zones III. Qualitative and quantitative analysis of the community structure in western coast of Korea. Proc Coll Nat Sci SNU **10**:57-100
- Newey S, Seed R (1995) The effects of Braer oil spill on rocky intertidal communities in South Shetland, Scotland. Mar Pollut Bull **30**(4):274-280
- Peterson CH, Eates JH (2001) Conservation and management of marine communities. In : Bertness MD, Gaines SD, Hay ME (eds) Marine community ecology. Sinauer Associates, Sunderland, pp 469-507
- Son MH (1997) Ecology and Reproduction of *Littorina brevicula* (Philippi) (Gastropoda: Littorinidae) in Korean Waters. Ph. D. Thesis, Pukyong National University, 70-75 p
- Southward AJ, Southward EC (1978) Recolonisation of rocky shores in Cornwall after use of toxic dispersants to clean-up the Torrey Canyon spill. J Fish Res Board Can **35**:682-706
- Yu OH, Lee HG, Shim WJ, Kim MK, Park HS (2013) Initial impacts of the Hebei Spirit oil spill on the sandy beach macrobenthic community west coast of Korea. Mar Pollut Bull **70**:189-186

Received Jul. 29, 2013

Revised Aug. 30, 2013

Accepted Sep. 2, 2013