

저서생물상을 이용한 진해만 수하식 양식장의 저서환경 평가

박홍식⁽¹⁾, 이순길⁽²⁾

Assessment of benthic environment conditions of oyster and mussel farms based on macrobenthos in Jinhae bay

by
Heung-Sik Park⁽¹⁾ and Soon-Kil Yi⁽²⁾

요 약

본 조사는 유기오염원으로 지적되고 있는 진해만내 수하식 양식장을 대상으로 저서생물상을 이용한 환경 평가를 실시하여 저서환경내 유기오염 양상을 측정하였다. 굴과 진주담치 양식장과 양식활동이 이루어지지 않은 대조구 등 세 개 정점을 대상으로 퇴적물 특성과 저서동물을 조사하였다. 세 지역 모두 평균 입도분포가 6.0~6.6 ϕ 로 니질 퇴적상을 나타냈다. 퇴적물 내 유기물 함량은 진주담치 양식장이 2.8%로 높게 나타났으며, 대조구의 경우 1.5%로 나타났다. 총 7개 동물군, 79종의 저서동물이 채집되었으며, 대조구가 양식장에 비하여 저서생물의 종 다양성과 서식밀도가 높은 상이한 군집구조를 나타냈다. 특히, 굴과 진주담치 양식장에서는 퇴적물내 유기물 함량이 높은 지역에 나타나는 기회종으로 알려진 *Lumbrineris longifolia*, *Heteromastus. filiformis*, *Corophium sinense* 등이 우점하였다. 계절별로 종조성과 서식밀도에서 다소 차이를 보임에도 불구하고, 생물상을 이용한 환경평가 결과에서는 진주담치 양식장의 경우 대조구나 굴 양식장에 비해 유기오염이 진행되고 있는 것으로 나타났다.

Abstract

This study were observed to the conditions of organic pollution applying to the environmental assessments based on macrobenthos around the raft culture ground which became an issue by organic matter input in Jinhae Bay. Three stations, mussel farm, oyster farm and the control station on which rarely culture activities were fixed and have analyzed to the sediment characteristics and macrobenthic communities. Muddy substrates between 6.0 and 6.6 ϕ on mean grain size have prevailed to the bottom layer in all stations. The highest organic matter content of 2.8% was observed to the mussel farm while the lowest one of 1.5% was recorded on the control area. As a total, 79 species from seven phyla were identified. Comparing to shell farms, the control station have composed to more diversified community structure. In the mussel and the oyster farm, opportunistic species, living in high organic contents area, *Lumbrineris longifolia*, *Heteromastus. filiformis* in polychaetes and *Corophium sinense* in amphipod were

(1) 한국해양연구원 해양자원연구본부, hspark@kordi.re.kr

(2) 한국해양연구원 해양자원연구본부, skyi@kordi.re.kr

dominated. As results on environmental assessment, in spite of changing to the species composition and densities seasonally, the mussel farm have recorded only to moderately polluted condition.

Keywords: Benthic environmental assessment, Macro-zoobenthos, Jinhae Bay

1. 서 론

진해만은 오래 전부터 연안수산자원의 산란장과 치어의 성육장 등 연근해 수산자원의 보급원으로 서 역할을 해 왔으며, 1960년대부터는 굴, 진주담치 양식이 대규모로 진행되었다(박[1982]). 1987년을 고비로 다소 감소하였지만, 2000년의 경우 4,487 ha의 면적에 수하식 양식장이 시설되어 있다. 하지만 일정 면적에서 장기간 수행되는 양식활동의 경우 시설물의 노후와 양식생물의 배설물과 이탈에 의한 폐각 축적 등이 저층에 상당한 유기오염 증대 요인이 되었다(임 등[1992]; 임 등과 연도사이 comma 제거) 임과 홍[1994a]; 조 등[1982]). 이러한 영향은 특히 여름철에 국부적으로 나타나는데, 저층 수괴에 용존산소농도가 4.0 mg/l 이하로 낮아지면서 빈산소 층을 유발하여, 심지어 일부 지역에서는 무생물지대가 나타나기도 한다(백과 윤[2000]; Choi et al.[1998]; Wright and Philips[1988]). 임 등[1992]에 의한 연구에서 진해만 수하식 양식장의 양식생물과 부착생물로부터 유래되는 유기물은 저서환경에 큰 영향을 미치면서 저서동물 군집의 계절변동을 일으킨다고 하였다. 하지만 이러한 결과들은 지화학적 또는 저층 수질 측정 자료에 의존하거나 저서생태계 내에 기화종 등 생태적 특징을 보인 종의 출현 여부를 통해 해석되었다. 저서동물의 경우 이농성이 거의 없거나 정착성이므로 퇴적물 내 유기물 함량이 높아지거나 독성물질에 의한 퇴적물 오염과 같은 서식처의 교란에 매우 민감하게 반응한다(Boesch and Rosenberg[1981]; Clark and Warwick[1994]). 이러한 특성을 이용하면 생물상을 통해 주어진 해역에 대한 저서환경을 간접적으로 평가할 수도 있다. 저서생물상을 이용한 환경평가는 1980년부터 유럽을 중심으로 저서생물의 생태적 특성과 저서생태계 구성이론을 중심으로 활발히 연구된 분야이다(Burd et al.[1990]). 주로 장기적인 모니터링에 의한 오

염 진행여부를 평가하거나 공간적인 오염 영향을 추정하는데 이용되고 있다. 본 조사의 경우 진해만에 위치한 굴과 진주담치 양식장을 대상으로 저서생물상을 파악하고, 생태적 특성을 응용한 환경평가 기법을 적용함으로써 양식활동에 따른 저서환경 변화 양상을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

진해만 주변 수하 양식장내 저서환경 및 군집구조를 알아보기 위해 2001년 7월부터 계절별로 3개 정점(굴 양식장, 진주담치 양식장, 대조구)을 선정하여 저서생물 조사를 실시하였다(Fig. 1). 저서동물 채집에는 채니 면적이 0.01m²인 Vanveen Grab Sampler를 사용하여 정점 당 3회씩 퇴적물 채취를 실시하였으며, 채집된 해저 퇴적물에서 입도 분석과 유기물 양 측정을 위해 소량의 표층 퇴적물을 분리 한 후에, 선상에서 1mm의 체를 사용하여 생물과 퇴적물을 분리하였다. 잔존물은 10% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 선별작업으로 끌라낸 저서동물은 실험실내에서 농정을 실시한 후 습중량을 측정하였다. 채집된 퇴적물은 입도분석을 실시하였으며, 강열 감량법을 이용하여 유기물 양을 측정하였다. 출현한 생물자료를 대상으로 정점별 다양도 지수(H')와 집피 분석을 실시하여 군집구조를 비교하였다. 또한 ABC method(Clark & Warwick[1994])와 Benthic Pollution Index(BPI, 한국해양연구소[1995])를 사용하여 지역별 유기오염정도를 추정하였다.

$$BPI = [1 - \frac{1}{3} (\frac{ON_1 + IN_2 + 2N_3 + 3N_4}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4})] \times 100$$

N₁: Number of Filter feeder

N₂: Number of surface deposit feeder

or performing to filter and deposit feeding simultaneously.

N₃: Number of sub-surface deposit feeder

N₄: Number of opportunistic species

2. 결과 및 고찰

저서 환경

조사지역의 수심은 10~20m 사이를 나타냈으며, 평균 입도 분포는 6.02 ~ 6.55 ϕ 인 니질 퇴적상을 나타냈다(Table 1). 대조구의 경우 마산만으로 연결되는 주 수로에 위치하여 주기적인 조류의 흐름으로 인해 퇴적물 표면이 단단하고 함수율이 적은 상태를 나타냈다. 퇴적물내 유기물 함량은 1.5 ~ 2.8%로 양식장 지역에서 다소 높게 나타났다. 이러한 요인은 수하식 양식장의 경우 양식장 내에서 발생하는 유기물의 공급이 원활하고, 양식시설로 인해 조류의 흐름이 제어되어 다른 지역보다 유기물 퇴적이 용이하기 때문으로 보여진다. 일반적으로 수하식 양식장 주변은 양식 대상 생물의 이탈로 인해 패각이 퇴적물을 덮고 있는 양상을 나타내는데, 이러한 경우 퇴적물 부패의 원인과 더불어 저서생물의 안정적인 착저를 저해한다(Dobb and Vozarik[1983]; Snelgrove and Butman[1994]). 이번 조사지역의 경우도 양식장에서는 퇴적물내 패각 함유율이 비교적 높게 나타났다(Table 1). 또한 해류의 원활한 흐름은 저층의 산소공급에 영향을 미치게 된다. 특히, 수온이 상승하는 시기에는 양식생물과 주변 서식생물의 호흡량 증가로 인해 수하식 양식장의 경우

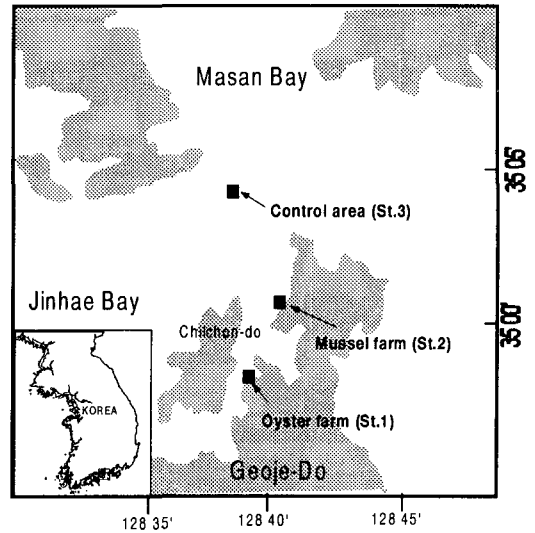


Fig. 1 Map showing the sampling station in study area.

양식시설물 등이 원활한 해류흐름을 제어하기 때문에, 다른 계절에 비해 산소 공급량이 부족하여 빈산소 수괴를 형성하기도 한다. 실제로 진해만에서 수괴 흐름이 원활하지 않고, 수하식 양식장이 밀집한 안쪽 지역의 경우 여름철 빈산소 수괴

Table 1. Benthic environmental and ecological characteristics at each station

	Mussel Culture Ground (St.1)	Oyster Culture Ground (St.2)	Control Area (St.3)
Environmental characteristics			
Depth(m)	10	14	20
Sediment facies	Mud	Mud	Mud
Mean grain size(ϕ)	6.02	6.55	6.24
Sediment organic matter(%)	2.8 \pm 0.6	2.3 \pm 0.4	1.5 \pm 0.2
Dead shell composition (gDWt/m ²)	269.2 \pm 18.4	698.4 \pm 76.5	13.8 \pm 8.1
Ecological characteristics			
Number of species	28	27	48
Mean density(ind./m ²)	246 \pm 183	225 \pm 92	330 \pm 181
Biomass(gWWt/m ²)	32.4 \pm 8.4	32.1 \pm 4.6	51.3 \pm 12.7
Diversity (H')	1.77	1.68	2.21
Characteristic species	<i>Heteromastus filiformis</i> (po)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (po)	Maldanidac unid.(po)
	<i>Lumbrineris longifolia</i> (po)	<i>Macoma tokyoensis</i> (bi)	<i>Moerella</i> sp.(bi)
	<i>Corophium sinense</i> (cr)	<i>Corophium sinense</i> (cr)	<i>Heteromastus filiformis</i> (po)

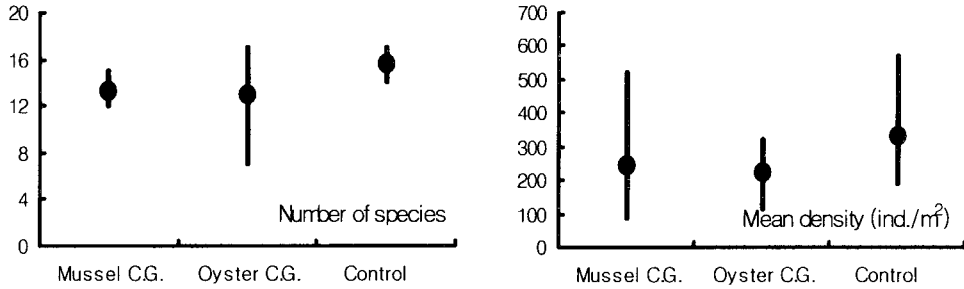


Fig. 2 Seasonal variation of number of species and mean density at each station. (Mussel C.G.: St.1, Oyster C.G.: St.2, Control A.: St.3)

가 형성되어 국부적으로 종 조성 및 종 수의 계절적인 변화가 일어난다(홍과 임[1994a]; Choi et al.[1998]; Hong[1987]). 하지만 본 조사지역의 경우 만 입구에 위치하여, 조류 소통이 비교적 원활하기 때문에, 저층 용존 산소가 연중 6.0 ~ 7.0 mg/l 로 나타났다(한국해양연구소[2000]).

종 조성

채집된 저서동물은 7개 동물군에 총 79종으로 나타났다. 이중에 다모류가 48종으로 가장 높은 비중을 차지하였고, 갑각류와 연체동물이 각각 11종, 10종이 출현하였다. 이러한 종 수는 임 [1993]의 287종, 백과 윤[2000]의 237종에 비해 현저한 차이를 나타냈다. 실제적으로 종 수는 대상 지역에 다양한 저서환경이 포함되었거나 정점 수, 채집 횟수에 따라 크게 좌우된다. 본 조사는 3개 정점에서 수행하였고, 정점간 유사한 퇴적상을 나타내고 있어 종 수에서는 다양한 양상을 보이지 않았다. Hong and Lee[1983]의 경우도 63종이 출현하였다. 정점별로 종 수를 비교해 보면, 대조구에서 48종으로 가장 많은 종이 출현한 반면 양식장에서는 각각 27, 28종 등 적은 종 수를 나타냈다. 또한 계절에 따른 종 수의 변화는 굴 양식장에서 높은 변동폭을 나타냈다(Fig. 2). 주로 여름철에 감소하였다가 수온이 감소하면서 점진적으로 증가하는 양상을 보였다. 그러나 서식밀도의 경우 267 ind./m² 으로, 임 등[1992]의 405 ind./m², 백 과 윤[2000]의 1,939 ind./m² 보다는 적게 나타났으나, 적게 출현한 종 수에 비해서는 상대적으로 높은 서식밀도를 나타냈다. 이러한

양상은 우점종이 높은 서식밀도를 나타낸 것으로서 종 다양성은 오히려 낮게 나타나며, 생태학적으로 안정적이지 못한 군집구조를 보이게 된다 (Table 1). 서식밀도의 경우 진주담치 양식장과 대조구에서 높은 계절적 변화를 나타냈다(Fig. 2). 이러한 결과는 여름철에 단각류인 *Corophium sinense* 와 다모류인 *Heteromastus filiformis*가 집중 가입하였기 때문으로, *C. sinense* 는 용존산소 부족 등 저서환경이 급속히 악화될 때 나타나는 기회종이며, *H. filiformis*는 우리나라 전 연안을 걸쳐 유기오염이 진행되는 곳에 우점하는 기회종이다. 기타 주요 우점종으로는 다모류인 *Maldanidae* spp., *Heteromastus filiformis*, *Lumbrineris longifolia* 등으로 전 계절을 통해 고른 출현양상을 보였다. 이 중에 *L. longifolia* 등도 수괴의 흐름이 약하고, 니질 퇴적상을 나타내는 항만이나 하구역, 반 폐쇄성 만 등에서 우점한다(박 등[2000]; 정[1998]). 결과적으로 본 조사해역에 출현한 우점종의 경우 양식장 주변에서는 유기오염 등 생태적 교란이 일어나는 곳에서 집중적으로 출현하는 기회종으로 구성되어 있다.

군집구조

조사기간 동안 나타난 정점별 종 조성 간의 유사도를 알아보기 위한 집괴분석에서 대조구의 경우 양식장 주변과 상이한 군집구조를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 3). 이러한 결과는 종 조성과 출현생물의 서식밀도에서 상이한 양상을 보이기 때문이다. 한편 양식장 주변은 겨울철에 유사한 종 조성을 나타내면서 공간적인 특성보다는 계절에 따

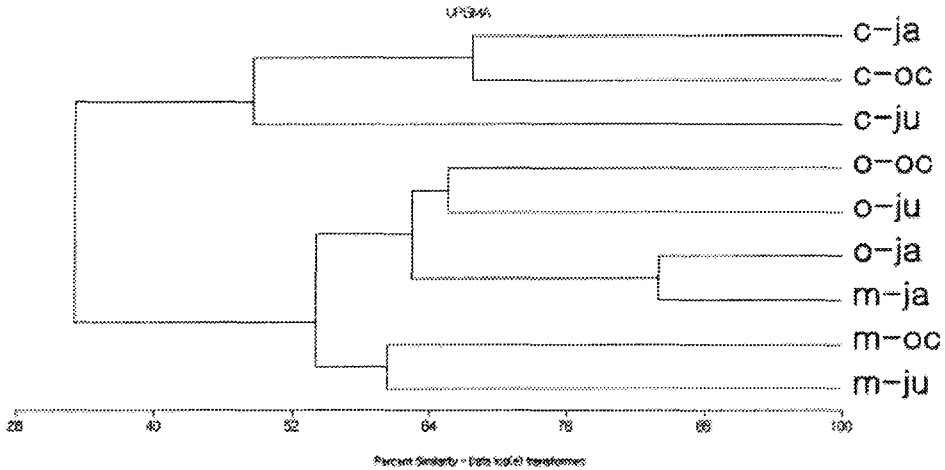


Fig. 3 A dendrogram from cluster analysis based on the abundance data
 (o: Oyster farm(St.1), m: Mussel farm(St.2), c: Control area(St.3), ju: July, 2001, oc: October, 2001, ja: January 2002)

라 군집 간에 유사성을 나타냈다. 양식장 주변이 대조구와 다른 군집구조를 보이는 양상은 임 등 [1992], 임과 홍[1994a]과 백과 임[2000]에서도 나타나 진해만의 경우 양식장 시설에 따른 영향이 저서생물군집에 중요한 요인으로 작용하는 것으로 해석하였다. 이러한 결과는 주로 우점종의 공간적 분포에서 종조성과 서식밀도가 상이한 양상을 나타냈기 때문으로, 본 조사에서도 Table 1에서 나타난 바와 같이 양식장 부근에서는 *H. filiformis*와 *C. sinense*가 우점한 반면 대조구에서는 *Maldanidae* spp. 등 우점하는 등 상이한 종 조성을 나타냈다.

저서생물상을 이용한 환경평가

각 정점별로 서식생물의 섭식유형을 통해 오염을 평가하는 방법(BPI)과 생태학적으로 오염이 진행되는 경우 R-전략자가 우점 한다는 이론을 바탕으로 한 ABC-method를 수행하였다. 섭식유형별 생물상 비교에서는 모든 지역이 유사한 퇴적상을 나타냄에도 불구하고, 양식장 주변의 경우 퇴적물섭식자가 우세하게 나타난 것에 비해 대조구에서는 현탁물 섭식자가 높은 비중을 차지하는 양상을

보였다(Fig. 4). 한편, 포식자의 경우 양식장 주변에서 상대적으로 높게 나타났다. 이 지역에 출현하는 포식자는 주로 미세한 중형동물을 포식하는 다모류와 유형동물 등으로 실제 유기물 함량이 높은 퇴적층의 경우 종 다양성은 낮지만, 선충류(nematode) 등 크기가 0.5mm 이내의 중형동물이 높은 밀도로 서식하여 충분한 먹이 공급원 역할을 한다. 한편 BPI 값의 경우, 양식장 부근에서 상대적으로 낮은 값을 보였다(Fig. 4). 이러한 결과는 한국해양연구소(1995)에 의해 평가된 지역 중 인천항 부근, 시화호 외측, 목포 영산강 하구역과 유사한 수치로 양식장 주변이 유기오염지역에 주로 서식하는 생물상이 우세한 군집구조를 나타내고 있음을 알 수 있다. 반면, 대조구의 경우 양식장보다는 상대적으로 높은 수치를 나타냈다. BPI의 경우 Word[1978]에 의한 Infaunal Trophic Index를 우리나라 특성을 고려해 응용한 것으로 0으로 갈수록 무생물지대를 나타내며, 100에 가까울수록 유기오염이 거의 없는 것으로 나타내어, 수치적으로 평가 결과를 매우 편리하게 사용할 수 있다. 그러나 이 방법은 출현한 모든 생물의 섭식유형을 파악해야 하는 문제점이

저서생물상을 이용한 진해만 수하식 양식장의 저서환경 평가

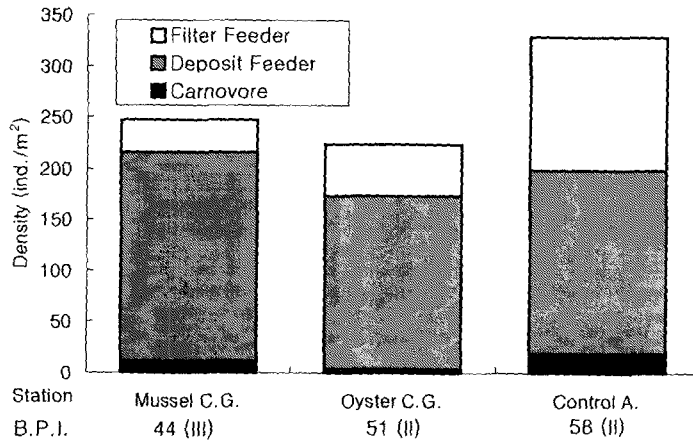


Fig. 4 Comparison to feeding guild proportion and B.P.I. score at each station. (Mussel C.G.: St.1, Oyster C.G.: St.2, Control A.: St.3)

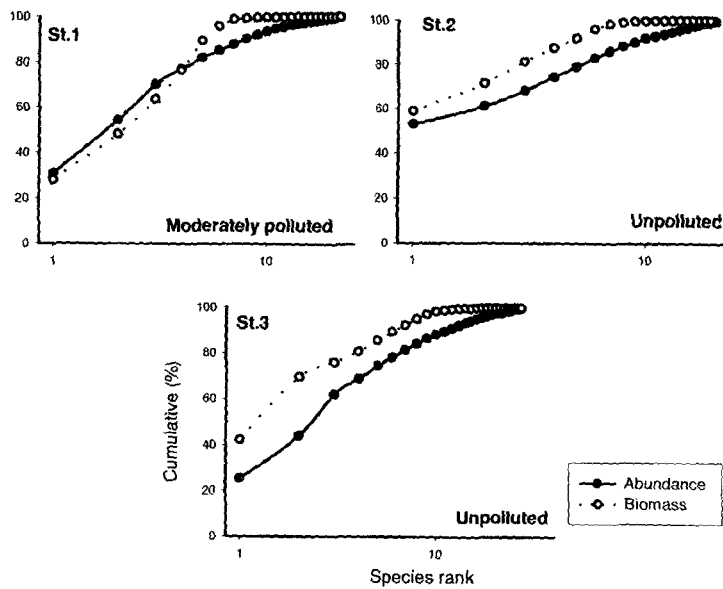


Fig. 5 ABC-curve for species abundance and biomass showing polluted condition at each station.

있다. 그러나 주로 우점종에 대한 비중이 높게 나타나기 때문에 종 동정과 생태정보를 파악하고, 공간적 비교 대상인 대조구를 선정하여 수치를 비교하는 경우 매우 효율적이다. 실제 저서동물의 경우 환경에 따라 1차 소비자와 포식자의 역할을 동시에 수행하는 경우가 많기 때문에 BPI의 경우 기회종 서식밀도의 비중을 높임으로서, 이러한 문제점이 최소화 되도록 정리한 것이다. 한편, ABC-method를 적용한 결과는 진주담치 양식장의 경우 점진적으로 유기오염이 발생하는 것으로 나타났으며, 굴양식장과 대조구에서는 유기오염의 영향이 감지되지 않았다(Fig. 5). ABC-method의 경우도 기회종의 출현양상이 오염평가의 주 기능으로 적용한 것으로 외국에서는 최근에 프로그램도 개발될 정도로 상당히 선호하는 방식이다(Austin et al.[1991]; Ritz et al.[1989]; Warwick[1986]; Warwick et al.[1987]). 진해만의 경우 임과 홍[1994b]에 의해 저서생물상을 이용한 환경평가 기법이 시도되기도 하였다. 그러나 주로 공간적인 비교를 시도하였는데, 양식장 부근과 연안 폐쇄성 해역에서 높은 오염진행을 나타냈다. 그러나 일정 채집면적에 대형 생체량을 가진 종이 출현함으로써 이론과 다른 해석상의 문제점이 제기되기도 하였다. 그러나 본 연구결과에서는 양식장 지역에서 대형생물들이 채집되지 않아 이러한 문제점은 나타나지 않았다. 양식장 중에서도 진주담치 양식장의 경우 BPI 값도 가장 낮게 나타났고, ABC-method 에서도 오염진행이 나타났는데, 이러한 원인으로는 조사기간 중 진주담치 양식장내 퇴적층에 침적한 폐각의 양이 중량에서는 적게 나타났으나 퇴적층을 덮고 있는 피도에서는 굴양식장보다도 높게 나타난 것을 고려해 볼 수 있다. 폐각의 퇴적은 수괴와 저층사이 해수공급을 차단하여, 저층 유기물의 부패를 가중시키고 어린 동물의 가입을 저해할 수 있기 때문이다(Snelgrove and Butman[1994]). 한편, 양식장 활용기간도 진주담치 양식장의 경우 6년, 굴 양식장이 2년인 것 등이 저층에 장기적으로 영향을 미친것으로 판단된다. 이러한 비교수치는 앞서 언급한 환경자료나 종조성, 군집구조 등에서는 파악할 수 없는 결과이다. 따라서 생물상을 이용한 환경평가방법은 주로 군집분석결과와 각 군집별 우점하는 종의 생태특성을 파악하여 오염여부를 추정하는 방식보다는 간단하게 해석할 수 있는 방법이다. 실제로 연안 환경

평가에서 생물학적 자료를 근거로 하는 경우 퇴적물이나 수질 분석에 의한 화학적 평가 방식보다는 간결한 결과를 산출하지 못하였다. 하지만 이러한 방식이 병행된다면 환경평가에서 생태계 현황을 충분히 제시할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국해양연구원의 기관고유연구사업인 “연안역에서의 육지와 해양상호작용 연구”의 연구 결과 중 일부임을 밝혀둡니다.

참고문헌

- [1] 박주석, 1982, “진해만 적조의 특성과 환경변화”, 수진연구보고, 제28권, 55~88.
- [2] 박홍식·임현식·홍재상, 2000, “천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시·공간적 양상”, 한국수산학회지, 제33권 3호, 262~271.
- [3] 백상규·윤성규, 2000, “진해만 주변 해역의 대형저서동물 군집구조”, 한국수산학회지, 제33권 6호, 572~580.
- [4] 임현식, 1993, “진해만 저서동물의 생태학적 연구”, 이학박사학위청구논문, 부산수대, pp. 311.
- [5] 임현식·홍재상, 1994a, “진해만 저서동물의 군집생태 1. 저서환경”, 한국수산학회지, 제27권 2호, 200~214.
- [6] 임현식·홍재상, 1994b, “해양 저서동물 군집을 이용한 진해만의 환경평가 -종별 개체수 분포 특성에 따른 그래프 분석기법의 적용-”, 한국수산학회지, 제27권 6호, 656~672.
- [7] 임현식·최진우·제종길·이재학, 1992, “진해만 양식장 밀집해역의 저서동물 분포”, 한국수산학회지, 제25권 2호, 115~132.
- [8] 정래홍, 1998, “연안해역 개발에 따른 해양 저서생태계의 장기변동 연구”, 이학박사학위논문, 인하대학교, pp. 304.
- [9] 조창환·양한섭·박경양·염말구, 1982, “진해만 패류양식장의 저질에 관한 연구”, 한국수산학회지, 제15권 1호, 35~41.
- [10] 한국해양연구소, 1995, “해양저서생물상에 의한 환경평가”, pp. 339.
- [11] 한국해양연구소, 2000, “연안역에서의 육지와

- 해양 상호작용 연구(1), 남해 동부연안역의 영양 물질 유입과 생물생산력 개발 환경조성 기반 기술”, BSPE 00784-00-1294-4, 362~402 .
- [12] Austin, M.C., J.B. Buchanan, H.G. Hunt, A.B. Josefson and M.A. Kendall, 1991, "Comparison of long-term trends in benthic and pelagic communities of the North Sea", *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, Vol. 71, 179~190.
- [13] Boesch, D.F. and R. Rosenberg, 1981, "Responses to stress in marine benthic communities. In: Stress effect on natural ecosystems", G.W. Barret and R. Rosenberg ed. John Wiley and sons, NY, 179~200.
- [14] Burd, B.J., A. Nemeč and R.O. Brinkhurst, 1990, "The development and application of analytical methods in benthic marine infaunal studies", *Advanced in marine biology*, Vol. 26, 169~247.
- [15] Choi, H.G., W.C. Lee, P.J. Kim and P.Y. Lee, 1998, "Water and sediment characteristics in the shellfish farms of the western part of Jinhae Bay", *J. Fish. Sci. Tech.*, Vol. 1, No. 2, 159~167.
- [16] Clark, K.R. and R.M. Warwick, 1994, "Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation", Plymouth marine laboratory, London, pp. 188.
- [17] Dobbs, F.C. and J.M. Vozarik, 1983, "Increased eutrophication of the Northern Adriatic Sea: Second act", *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 11, 273~279.
- [18] Hong, J.S., 1987, "Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System", *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 22, No. 4, 246~256.
- [19] Hong, J.S. and J.H. Lee, 1983, "Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea", *J. Oceanogr. Soc. Korea*, Vol. 18, No. 2, 169~179.
- [20] Ritz, D.A., M.E. Lewis and M. Shen, 1989, " Responses to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages", *Mar. Biol.*, Vol. 103, 244~258.
- [21] Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman, 1994, "Animal-sediment relationship revised: cause versus effect", *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, Vol. 32, 111~177.
- [22] Warwick, R.M., 1986, " A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities", *Mar. Biol.*, Vol. 92, 557~572.
- [23] Warwick, R.M., T.H. Pearson and R.ruswahyuni, 1987, "Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method", *Mar. Biol.*, Vol. 95, 193~200.
- [24] Word, J.Q., 1978, "The infaunal trophic index", Coastal water research project. Annual report, 19~39.
- [25] Wright, D.A. and D.J.H. Phillips, 1988, "Chesapeake and San Francisco Bays: a study in contrasts and parallels", *Mar. Poll. Bull.* Vol. 19, 405~413.