

굴 양식장 밀집해역인 거제한산만의 저서동물군집 구조와 저서환경의 시공간적 변동

윤상필 · 정래홍* · 김연정 · 홍석진 · 오현택 · 이원찬
국립수산과학원 환경연구과

Spatio-temporal Changes in Macrobenthic Community Structure and Benthic Environment at an Intensive Oyster Culturing Ground in Geoje-Hansan Bay, Korea

SANG-PIL YOON, RAE-HONG JUNG*, YOUN-JUNG KIM, SOK-JIN HONG, HYUN-TAIK OH AND WON-CHAN LEE
Environment Research Division, National Fisheries Research & Development Institute(NFRDI), Busan 619-705, Korea

본 연구는 국내의 대표적 굴 양식지인 거제한산만에서 저서동물군집의 시-공간적 분포 및 구조적 변화를 파악하고자 수행되었다. 현장 조사를 위해 굴 양식지와 비양식지를 포함하는 총 15개 정점을 선정하였으며 2008년 2월부터 11월까지 계절별로 저서환경과 대형저서동물군집에 대한 조사를 수행하였다. 표층퇴적물은 평균입도 9.0 Φ 전후의 극세립실트로 구성되었으며 총유기탄소는 평균 1.9%이었다. 용존산소농도의 평균은 8.1 mg/L이었으며 사계절 중 가장 낮은 값은 보인 8월에는 해역 수질환경기준 II등급에 해당하는 농도가 관찰되었다. 저서동물군집의 총 종수는 351종, 평균 개체밀도는 3,675 개체/m² 이었으며 두 가지 변수에서 모두 다모류가 가장 우세한 동물군이였다. 출현종수와 개체밀도는 시-공간적으로 크게 변화하였으며 계절적으로는 5월에 그리고 공간적으로 내만역 보다는 수로역에서 높은 값을 보였다. 주요 우점종은 *Lumbrineris longifolia*(21.3%), *Aphelochaeta monilaris*(17.8%) 그리고 *Erichthonius pugnax*(6.1%) 등으로 모두 유기물이 풍부한 해역을 대표하는 종들이었다. 다변량분석 결과, 전체군집은 내만역과 수로역으로 구분되었다. 전체군집의 시-공간적 변화와 가장 밀접한 상관성을 보인 환경요인은 총유기탄소와 산화발성황화물이었다. 저서동물군집 구조와 주요환경요인의 특성은 거제한산만에서 유기물 오염의 징후가 있음을 의심하게 하였으며 그러한 현상은 특히 내만역의 굴 양식지에서 뚜렷하였다.

This study was conducted to investigate spatio-temporal changes in macrobenthic community structure and benthic environmental conditions in Geoje-Hansa Bay, which is the greatest oyster producing site in Korea. Field survey for benthic environment and macrobenthos was seasonally carried out at 15 stations covering oyster farming sites and non-farming sites from February to November, 2008. The grain size of surface sediments was dominated by very fine silt with the mean phi of about 9 Φ and TOC was 1.9% on average. Mean dissolved oxygen content was 8.1 mg/L and lowest in August corresponding to the 2nd degree in seawater quality criteria. Total species number was 351 and mean density was 3,675 ind./m², both of which were dominated by polychaete worms. Spatio-temporal variation in above two biological variables was great with higher values seasonally in spring and spatially in channels rather than inner bay. Dominant species were *Lumbrineris longifolia* (21.3%), *Aphelochaeta monilaris* (17.8%) and *Erichthonius pugnax*(6.1%), all of which are typical species of organically enriched area. From the multivariate analyses, the whole macrobenthic community was distinguished into two groups of channel and inner bay group. Spatio-temporal changes of macrobenthic community in Geoje-Hansan Bay were related to those of TOC and acid volatile sulfide (AVS). Our results showed that Geoje-Hansan Bay should be intermediately affected by organic pollution, and that such organic enrichment was more remarkable at farming stations in the inner bay.

Keywords: Benthic community structure, Organic enrichment, Oyster farming, Geoje-Hansan Bay

*Corresponding author: rhjung@nfrdi.go.kr

서 론

연안의 부영양화와 그로 인한 저층수의 빈산소화는 전 세계 연안에서 발견되고 있으며, 그 발생 빈도 및 강도는 점차 증가하고 있는 추세이다(Diaz and Rosenberg, 1995; Cloern, 2001; Diaz and Rosenberg, 2008). 과잉 영양염 및 유기물의 주 유입원은 연안 도시로부터 배출되는 도시하수와 산업폐수이지만 수산 자원 고갈에 대응하여 날로 발전하고 있는 양식 산업도 연안 환경에 유사한 영향을 미치고 있음이 다수의 해역에서 보고되고 있다(e.g. Dahlback & Gunnarsson, 1981; Tenore *et al.*, 1982; Yokoyama *et al.*, 2004; Lim *et al.*, 2006; Cardoso *et al.*, 2007; 정 등, 2007). 해양에서 이루어지는 양식 중 특히 다량의 인공사료를 직접 공급하는 어류 가두리양식의 경우 양식장 및 인접 해역의 저서생태계에 심각한 피해를 주는 것으로 알려져 있다(Karakassis *et al.*, 1999; 박 등, 2000b; Yokoyama *et al.*, 2004; Edgar *et al.*, 2005; 정 등, 2007). 반면, 패류양식의 경우 양식시설물에 의한 해류 정체가 유발하는 부유물 퇴적과 양식생물 및 오손생물에 의한 배설물 침강이 잉여 유기물 축적의 주원인이며, 그로 인한 피해의 정도는 지역에 따라 크게 다른 것으로 보고되고 있다(e.g. Dahlback & Gunnarsson, 1981; Kaspar *et al.*, 1985; Grant *et al.*, 1995; Crawford *et al.*, 2003).

서식양상 및 생활사 측면에서 다양한 해양 오염 연구에 적합한 것으로 알려진 저서동물군집은 특히 유기물 오염 정도에 따라 매우 일관성있는 변화를 보임으로써 생태계의 교란 여부를 판정하는 연구에 신뢰성 있는 결과를 주는 것으로 알려져 있다(Pearson and Rosenberg, 1978; Bilyard, 1987; Warwick, 1993; Samuelson, 2001; Rosenberg and Nilson, 2005). 유기물의 비정상적인 증가에 대한 저서동물군집의 초기 반응은 종풍도와 개체밀도의 증가이며, 이는 부영양화 상태와 정상적인 상태를 선호하는 종들이 동시에 서식할 수 있는 환경이 조성되기 때문이다(Pearson and Rosenberg, 1978; Conlan *et al.*, 2004). 종종 패류양식장 밑의 저서동물군집이 인근의 비양식 해역에 비해 높은 종풍도와 개체밀도를 보이는 현상은 같은 기작의 결과로 해석된다(e.g. Thorne, 1998; Diaz-Castañeda and Harris, 2004). 그러나 이러한 상황은 흔히 'intermediately affected state'로 부르는 수준까지는 유지가 되지만 그 이상의 양이 유입되면 유기물 오염에 민감한 종들은 사라지고 오염 상황을 기회적으로 이용하는 종들이 급증하면서 종풍도와 다양도는 급감하게 된다(Pearson and Rosenberg, 1978; Diaz and Rosenberg, 1995; Gray *et al.*, 2002). 결과적으로 어류양식장이나 일부 패류양식에서 관찰되는 이러한 저서동물군집의 질적 저하 현상은 유입되는 유기물 양이 일정 수준을 초과하면서 발생한 저서환경 악화의 결과이며, 이런 측면에서 유기물의 유입량을 결정하는 양식 강도와 해류 속도 등의 물리적 환경 요인은 오염의 정도를 결정하는 중요한 요소라고 할 수 있다(Castel *et al.*, 1989; Crawford *et al.*, 2003).

국내 최대 규모의 굴 산지인 거제한산만은 해수면 면적의 약 23%가 굴 양식장으로 이용되고 있는 기업적 규모의 양식해역이다(조와 김, 1977). 대단위 도시나 산업 시설물이 없는 해역이긴 하나 비교적 좁은 해역 면적(약 50 km²)에서 집약적 양식이 이루어지고 있기 때문에 유기물 유입에 의한 환경적 저해가 발생할 수

있는 해역이다. 최 등(1997)에 따르면 거제한산만의 수질은 COD를 기준으로 II 등급 이상의 양호한 수질을 보이는 것으로 조사되었으며, 부유물의 농도도 유사한 방식으로 양식이 이루어지고 있는 인근의 자란만, 진주만 등에 비해 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다. 그렇지만 거제한산만의 수층과 퇴적층의 부영양화를 동시에 조사하였던 조와 김(1977)에 따르면 양호한 해역의 수질과 달리, 퇴적층은 부영양화 단계를 지나 과영양화 상태에 진입하였으며, 이러한 현상은 내만역에서 더욱 뚜렷한 것으로 조사되었다. 결과적으로 조류의 유속이 빠르고 해수 교환이 원활한(김과 장, 1985) 거제한산만에서 수질은 양호한 상태를 유지하고 있으나 유기물에 의한 퇴적층의 질적 저하 현상은 이미 1970년대 후반에 발생하고 있었다고 할 수 있다.

현재까지 거제한산만에서 수행된 대부분의 연구들은 양식굴과 연관된 주제들에 초점을 맞춰왔었다. 양식 초기에는 굴의 먹이원에 대한 연구(Bang, 1967), 성장 및 성장 요인에 대한 연구(Bae and Bae, 1972; Bae *et al.*, 1976; Bae *et al.*, 1978) 등이 주된 주제였으며, 양식굴의 성장 둔화와 생산량 감소가 시작된 1970년 후반부터는 굴 양식장 주변의 환경적 변화에 관심을 갖기 시작하였다(조와 김, 1977; 조와 김, 1978). 그러나 이후로도 굴 생산량 감소와 관련하여 성장저해의 원인 규명(최 등, 1997)이나 굴의 효율적 생산을 위한 환경용량의 산정과 적정 서식밀도 연구(박 등, 2002a, b) 등 굴 중심의 연구가 주류를 이루었다.

본 연구는 현재까지 거제한산만에서 저서동물군집에 대한 조사가 전무하였다는 점을 감안하여 일차적으로 저서동물군집의 시·공간적 분포와 구조적 변화를 파악하고자 하였으며, 아울러 저서생태계 내에 패류 양식에 의한 인위적 교란 현상이 발생하고 있는가에 대해서도 함께 점검하고자 하였다.

재료 및 방법

연구지 개황 및 현장 조사

거제한산만은 길이 10 km, 너비 2 km~6 km, 해수면 면적 약 63의 반월쇄형 만으로 봉암도, 한산도, 거제도 등의 크고 작은 섬들에 의해 둘러싸여 있다. 조석에 따른 해수의 유출입은 만 남동쪽의 봉암도와 거제도 사이의 만구와 만 북서쪽의 화도와 거제도 사이의 만구를 통해 주로 이루어지며, 소조 시에 약 0.9 m, 대조 시에 약 2.3 m의 조차를 보인다. 화도와 봉암도를 잇는 주수로의 수심은 약 20 m~40 m로 깊은 편이지만 산달도 주변의 내측은 10 m 이내의 낮은 수심을 보여 수심의 변화가 비교적 큰 편이다. 거제한산만은 1972년 미국과의 패류위생협정 체결 이후 남해안에 지정된 7개의 청정해역 중 제 1호 해역이며, 1974년 수산청 고시 제 15호에 의해 굴, 홍합, 멍게 등의 해상 어패류 양식이 허가된 후 집약적 해상 양식이 이루어지고 있다. 특히 굴은 정부와 미국 FDA의 공동관리 하에 연간 약 40,000 ton이 생산되고 있어 규모 면에서 국내 최대이다.

거제한산만에 분포하는 저서동물군집의 구조와 저서환경의 시·공간적 변화를 파악하기 위해 주수로와 만 내측에 총 15개 정점을 선정하여 계절 조사(2008년 2월, 5월 8월, 11월)를 실시하였다(Fig. 1). 조사 정점 선정 시에 거제한산만이 굴과 우렁쉥이 등의 어패류에 대한 수하식 양식이 집약적으로 이루어지고 있다는 사

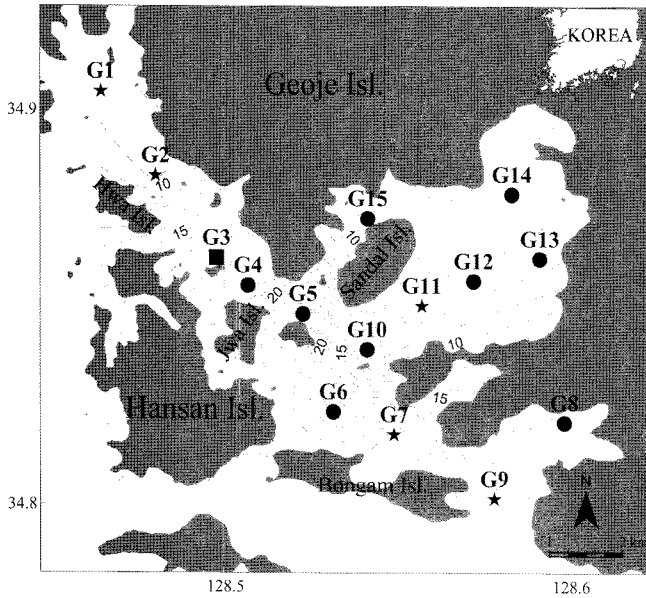


Fig. 1. Map of study area and 15 sampling stations in Geoje-Hansan Bay. Three symbols are applied to depict the type of culture conducted at the corresponding station. Circles, square and star indicate oyster farm, sea squirt farm and control station, respectively.

실을 감안하여 현탁물식사의 인위적 밀생이 저서동물군집의 공간 분포에 영향을 주는가를 알아보기 위해 15개 정점 중 일부는 굴 및 우렁챙이 양식장 인근에 그리고 일부는 대조구로서 양식장이 존재하지 않는 곳에 위치하도록 하였다. 15개 정점 중 굴 양식장 정점은 총 9개, 우렁챙이 양식장 정점은 1개 그리고 대조구 정점은 총 5개이었으며, 각각의 위치는 Fig. 1과 같다. 퇴적물 시료는 표면적 0.1 m²의 van Veen grab을 사용하여 정점 당 3회 반복 채집하였으며, 이 가운데 2회 분의 채집시료는 저서동물군집 분석용으로, 그리고 1회 분의 채집 시료는 표층퇴적물의 지화학적 특성 분석용으로 사용하였다.

저서동물군집 분석을 위해 채집된 퇴적물 시료는 선상에서 망목 크기 1.0 mm체에 걸러 퇴적물을 제거하였으며, 잔존물을 현장에서 10% 중성포르말린으로 고정시켜 실험실로 운반하였다. 실험실에서 분류군별로 선별작업을 거친 후 가능한 한 중 수준까지 동정하고 종별로 계수하였다. 측정된 개체수는 단위면적 당(m²)의 값으로 환산하여 분석에 이용하였다.

저층수의 특성에 대한 항목으로 수온, 염분, 용존산소(DO)가 포함되었으며 수질측정기(CTD, SeaBird-19)로 현장에서 관측하였다. 표층퇴적물 특성에 대해서는 평균입도(Mz; Mean Grain Size), 산화발성황화물(AVS; Acid Volatile Sulfide), 총 유기탄소(TOC; Total Organic Carbon) 등의 항목을 측정하였다. 표층퇴적물 시료의 평균입도와 산화발성황화물에 대한 분석은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2005)에 준하여 시행하였다. 총유기탄소 측정을 위해 냉동 건조시킨 퇴적물시료 0.5 g을 유리 vial에 넣고 1N HCl 10 mL를 첨가하여 탄산염을 제거하고, 70 °C에서 24시간 동안 수분과 잔류염소를 날려 보냈다. 전처리된 시료는 105 °C에서 2시간 건조시키고, 상온에서 2시간 방치한 후 3 mg~5 mg의 시료를 취하여 주석박막으로 말아 CHN 원소분석기(Perkin Elmer, model 2400)로 측정하였다.

자료 분석

저서동물군집의 구조를 파악하기 위한 단변량 변수로서 종수, 개체수 그리고 종다양도지수(H')(Shannon and Weaver, 1963) 등을 계산하였다. 군집구조의 시·공간적 변화를 파악하고 케이스 간 유사도에 의해 군집을 구분하기 위하여 제공된 변환된 생물자료에 대해 Bray-Curtis 유사도 지수를 구하고 그 결과 만들어진 유사도 행렬에 기초하여 집괴분석(cluster analysis)과 다차원척도법(non-metric multidimensional scaling: MDS) 분석을 수행하였으며 그 결과를 상호보완적으로 적용하였다(Clarke and Warwick, 1994). 또한, 선행된 분석 결과에서 확인된 정점군들의 특징종을 찾아내기 위해 SIMPER (similarity percentages) 분석을 적용하였다(Clarke, 1993). 생물군집과 환경요인의 상호 연관성 추정을 위한 방법으로서 BIO-ENV procedure를 활용하였다(Clarke and Ainsworth, 1993). 이때 환경변수의 거리행렬은 normalized Euclidean distance로 산출하였으며, 생물자료의 유사도 행렬과 환경자료의 거리행렬 사이의 상관성은 Spearman rank correlation coefficient(ρ)로 계산하였다. 모든 통계분석은 PRIMER 패키지(ver. 6.1.11)를 이용하여 수행하였다.

결 과

저서환경의 시·공간 분포 특성

거제한산만 조사 정점의 수심은 6.5 m(정점 14)~27.9 m(정점 5)의 범위로 화도와 봉암도 사이의 주수로 상에서는 최소 14 m 이상의 수심이 관찰되었으며, 거제만 내측에서는 8 m 이하로 낮았다(Table 1). 저층 수온의 전체 평균은 16.0 °C로 계절에 따라 7.0 °C~24.1 °C 사이에서 변화하였다. 정점별 수온의 계절 변화 폭은 고수심에서 12 °C~13 °C 정도인데 반해 10 m 이하의 저수심에서는 15 °C~16 °C로 상대적으로 컸다. 염분의 변동 범위는 31.1 psu~35.1 psu로 5월에 최대값을, 8월에 최저값을 나타내었으며, 평균은 33.8 psu이었다. 5월과 8월 사이의 감소폭은 3 psu이내로 전 정점이 연중 'euhaline' 상태를 유지하였다. 저층의 용존산소(DO)의 범위는 4.7 mg/L~11.4 mg/L로 2월에 최대, 8월에 최저값을 보였으며, 평균은 8.1 mg/L이었다. 8월에 빈산소 환경이 형성된 정점은 없었지만 대부분의 정점이 해역수질 환경기준의 II등급(환경정책기본법시행령)에 해당하는 5 mg/L~7.5 mg/L 범위의 농도를 나타내었다. 총유기탄소(TOC)의 범위는 1.3%~2.8%이었으며, 평균은 1.9%이었다. 계절적 변화 양상은 정점마다 달랐으며, 공간적으로는 거제만 내측 정점에서 상대적으로 높았고 최대값은 거제만 입구의 정점 10에서 관찰되었다. 산화발성황화물(AVS)의 범위는 0.00 mg/g dry wt~0.78 mg/g dry wt이었으며, 평균은 0.13 mg/g dry wt이었다. 계절적 변화 양상은 정점마다 달랐으며, 공간적으로는 거제만의 내측에서 높았지만 주수로 상의 정점 4, 5 그리고 9에서도 0.2 mg/g dry wt 이상의 높은 값이 관찰되었다. 펄함량의 범위는 36.9%~99.4%이었으며, 평균은 89.2%이었다. 최저값과 최고값의 차이가 크게 나타나는 것은 모래함량이 상대적으로 높은 정점 9로 인한 것이며, 그 외의 정점들은 최소 61% 이상의 펄 함량을 보였다. 펄함량 변화에 일관된 계절성은 없었다. 평균입도의 범위는 4.3 Φ ~10.7 Φ 이었으며, 평균 9.0 Φ 이었다. 펄함량과 마찬가지로 정점 9에서 상대적으로 조립한 입도가 관찰되었으며, 그

Table 1. Physico-chemical parameters showing the benthic condition of sampling stations in Geoje-Hasan Bay. Measurements are presented by mean and the ranges (in parentheses)

Station	Depth (m)	Water temp. (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/L)	TOC (%)	AVS (mg/g dry wt)	Mud content (%)	Mean grain size (Φ)
G1	8.7	16.2 (7.7 - 24.0)	33.7 (32.6 - 34.6)	7.8 (6.6 - 10.5)	1.9 (1.6 - 2.0)	0.04 (0.00 - 0.09)	91.9 (84.2 - 98.8)	9.7 (7.9 - 10.5)
G2	8.7	16.2 (7.9 - 24.1)	33.6 (32.4 - 34.3)	8.0 (6.5 - 10.5)	1.9 (1.8 - 2.0)	0.07 (0.01 - 0.12)	91.7 (84.2 - 97.4)	8.8 (7.4 - 9.8)
G3	19.0	15.7 (8.5 - 20.8)	33.9 (33.2 - 34.5)	7.8 (5.8 - 10.6)	1.7 (1.5 - 1.9)	0.08 (0.00 - 0.17)	87.1 (61.0 - 99.0)	9.0 (6.6 - 10.2)
G4	14.1	16.5 (8.3 - 23.5)	33.7 (32.8 - 34.3)	8.3 (7.0 - 10.5)	2.0 (1.8 - 2.3)	0.17 (0.01 - 0.41)	83.3 (67.1 - 97.6)	8.0 (6.2 - 10)
G5	27.9	15.5 (8.3 - 20.6)	33.9 (33.2 - 34.3)	7.8 (5.4 - 10.5)	1.9 (1.7 - 2.0)	0.09 (0.01 - 0.24)	98.2 (95.6 - 99.4)	9.5 (8.2 - 10.2)
G6	18.9	15.9 (8.3 - 22.0)	33.4 (31.1 - 34.3)	7.8 (6.2 - 10.1)	1.7 (1.4 - 2.1)	0.09 (0.00 - 0.16)	95.7 (92.7 - 98.2)	8.9 (8.2 - 9.9)
G7	22.6	15.8 (8.5 - 21.7)	33.8 (33.0 - 34.4)	7.8 (6.1 - 10.4)	1.7 (1.6 - 1.8)	0.04 (0.00 - 0.09)	85.8 (68.7 - 97.5)	8.7 (7.4 - 10.3)
G8	16.5	16.4 (9.0 - 22.7)	33.9 (32.7 - 34.7)	8.4 (7.3 - 10.1)	1.7 (1.3 - 1.8)	0.06 (0.00 - 0.10)	87.8 (81.7 - 92.9)	8.6 (8.1 - 9.2)
G9	16.9	16.7 (10.4 - 22.7)	33.7 (32.4 - 34.4)	8.0 (6.9 - 9.9)	1.6 (1.5 - 1.7)	0.09 (0.00 - 0.34)	60.0 (36.9 - 76.7)	6.8 (4.3 - 8.5)
G10	7.3	16.3 (7.8 - 23.2)	33.9 (32.8 - 34.6)	8.0 (6.8 - 10.5)	2.0 (1.6 - 2.8)	0.20 (0.00 - 0.78)	88.5 (82.0 - 94.7)	9.3 (8.9 - 10)
G11	7.3	16.0 (8.0 - 23.1)	34.0 (33.0 - 35.1)	8.4 (6.8 - 10.9)	1.7 (1.5 - 2.0)	0.05 (0.00 - 0.08)	90.0 (75.2 - 98.0)	9.3 (8.7 - 9.9)
G12	7.4	15.7 (7.0 - 22.7)	33.8 (32.9 - 34.5)	8.4 (7.0 - 11.1)	2.0 (1.5 - 2.6)	0.21 (0.01 - 0.46)	94.4 (91.9 - 97)	9.5 (8.5 - 10.7)
G13	7.4	15.6 (7.0 - 22.6)	34.0 (33.2 - 34.5)	8.6 (7.5 - 11.1)	2.0 (1.4 - 2.6)	0.08 (0.00 - 0.17)	91.7 (82.7 - 98.4)	9.5 (8.8 - 10.7)
G14	6.5	15.7 (7.3 - 22.6)	34.0 (33.2 - 34.8)	7.9 (5.1 - 10.9)	2.3 (1.8 - 2.7)	0.34 (0.07 - 0.49)	95.3 (91.8 - 99.0)	9.8 (9.0 - 10.6)
G15	7.3	16.3 (7.6 - 23)	33.9 (33.0 - 34.7)	7.8 (4.7 - 11.4)	2.1 (1.6 - 2.7)	0.34 (0.02 - 0.70)	96.8 (91.6 - 99.0)	9.8 (9.6 - 10)

외 정점들은 대부분 극세립실트의 퇴적상을 나타내었다. 계절적으로는 다른 계절에 비해 8월에 다소 조립해지는 경향이 있었다.

저서동물군집의 종조성

거제한산만의 15개 정점에서 채집된 대형저서동물은 2월에 201종, 5월에 279종, 8월에 199종 그리고 11월에 167종으로 계절에 따라 큰 차이를 보였다. 사계절동안 채집된 총 종수는 351종이었으며, 이 중 다모류와 갑각류가 각각 131종, 108종으로 가장 많았고 연체동물(75종), 극피동물(20종), 기타동물(17종)이 뒤를 이었다. 한편, 개체 밀도에 있어 동물군별 비율은 다모류가 75.5%로 채집 개체의 대부분을 차지하였으며, 갑각류와 연체동물이 각각 17.9%, 5.0%를 차지하였다. 극피동물 및 기타동물의 개체비율은 1% 미만으로 미미한 수준이었다.

사계절, 15개 정점의 평균 출현종수는 57 종/0.2 m² 이었고 계절별로는 2월에 52 종/0.2 m²의 수준에서 5월에 73 종/0.2 m²으로 뚜렷한 증가 양상을 보였으며, 이후 점차 감소하여 8월에 57 종/0.2 m², 11월에 45 종/0.2 m²이 출현하였다. 정점 간 출현종수의 편

차가 가장 적었던(SD=±15) 2월의 정점별 출현종수 범위는 28 종/0.2 m²~77 종/0.2 m²으로 거제만 내측의 정점 13에서 가장 적은 종이, 그리고 봉암도 우측의 정점 9에서 가장 다양한 종이 출현하였다(Fig. 2). 정점 간 편차가 가장 컸던(SD=±33) 5월의 정점별 출현종수 범위는 28 종/0.2~123 종/0.2 m²으로 만의 북서쪽 외곽에 위치한 정점 1에서 가장 적었으며, 산달도 하단의 정점 10에서 가장 많은 종이 출현하였다. 정점 10 외에도 수로 또는 그 인근에 위치한 정점 4, 6, 8, 9에서는 100종 이상의 다양한 종이 출현하였다. 이러한 계절적인 출현종수 증가는 거의 대부분의 정점에서 관찰되었지만 예외적으로 정점 1과 2에서만 감소하였다. 8월에는 5월에 특히 다양한 종이 분포하였던 정점들을 중심으로 뚜렷한 감소가 관찰되었지만 정점 7 등 일부 정점에서는 오히려 증가하였다. 정점별 출현종수 범위는 16 종/0.2 m²~95 종/0.2 m²으로 거제만 안쪽의 정점 14에서 가장 적은 종이, 그리고 정점 10에서 가장 많은 종이 출현하였다. 11월은 연중 가장 낮은 평균 출현종수를 보인 계절로 8월에 비해서도 평균적으로 약 10 여종이 적게 출현하였으며, 정점별 공간 분포 양상은 2월과 유사하였다. 정점

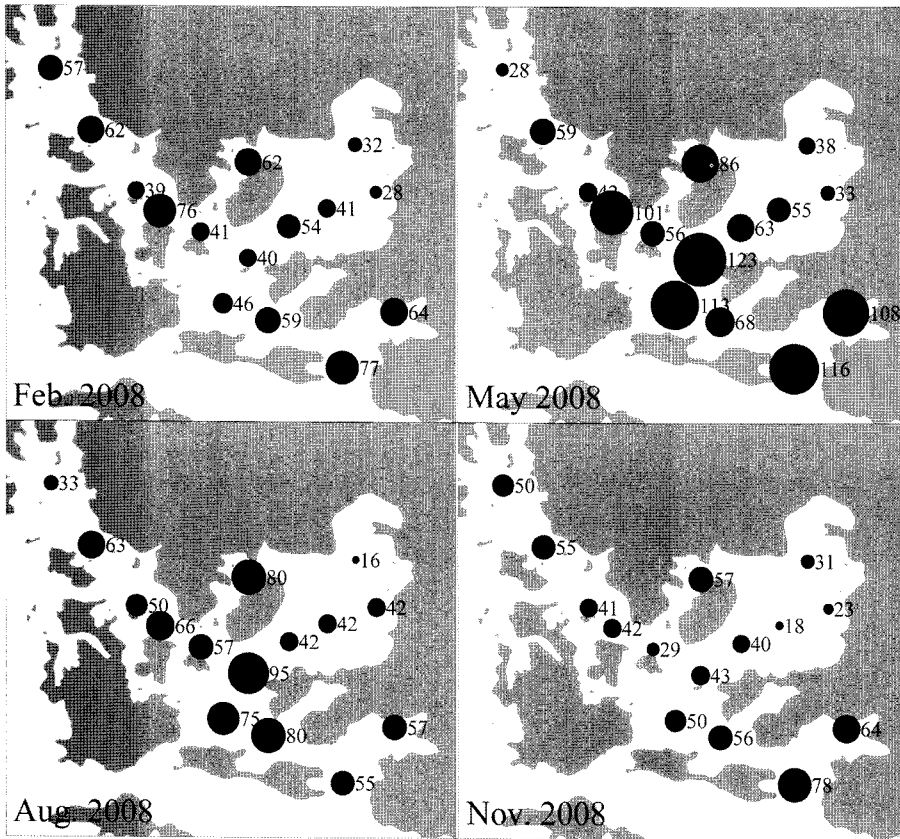


Fig. 2. Spatial distribution of the number of species in each sampling month. The size of circles linearly increases from the minimum to the maximum during the study period.

별 출현종수 범위는 18 종/0.2 m²~78 종/0.2 m²으로 거제만 내측의 정점 12에서 가장 적었고 봉암도 우측의 정점 9에서 가장 많았다.

연구기간동안 채집된 대형저서동물의 평균 개체밀도는 3,675 개체/m²이었으며, 2월에 2,775 개체/m², 5월에 6,033 개체/m², 8월에 3,904 개체/m² 그리고 11월에 1,987 개체/m²로 계절에 따라 차이가 컸다. 계절적 증감 양상은 출현종수와 유사하였다. 사계절 중 정점 간 편차가 가장 작았던(SD=1,009 개체/m²) 2월의 정점별 개체밀도는 1,530 개체/m²~4,820 개체/m² 사이에서 변했으며, 정점 10에서 가장 낮았고 좌도 상부의 정점 4에서 가장 높았다(Fig. 3). 정점 간 밀도 편차가 사계절 중 가장 컸던(SD=5,147 개체/m²) 5월의 정점 별 개체밀도는 1,770 개체/m²~22,030 개체/m²의 범위로 거제만 내측의 정점 14에서 가장 낮았고 봉암도 상부의 정점 6에서 가장 높았다. 정점 6 외에도 정점 4, 5, 8, 15 등에서는 5,000 개체/m² 이상의 고밀도 분포가 관찰되었다. 8월의 정점별 개체밀도는 5월에 비해 현저히 감소하여 1,460 개체/m²~8,455 개체/m²의 범위이었으며, 산달도 우측의 정점 11에서 가장 낮았고 정점 6에서 가장 높았다. 8월에도 정점 6을 포함한 정점 5, 13, 15 등에서는 5,000 개체/m² 전후의 고밀도 분포가 관찰되었다. 사계절 중 가장 낮은 평균 개체밀도를 보인 11월의 정점별 분포 범위는 520 개체/m²~3,670 개체/m²이었으며, 정점 12에서 가장 낮았고 정점 9에서 가장 높았다.

거제한산만 저서동물군집의 평균 다양도는 2.6이었으며, 2월에 2.6, 5월에 2.8, 8월에 2.5 그리고 11월에 2.6으로 이전 변수들과 달리 계절에 따른 차이가 거의 없었다. 대부분의 정점에서 연중 다양도의 변화는 전체 평균값인 2.6 주변에서 유지되었지만 일부

정점에서는 매우 낮거나 또는 높은 값을 보였다(Fig. 4). 연평균 다양도가 3.0 이상을 보인 정점은 총 3개 정점으로 봉암도 주변의 정점 7과 9 그리고 산달도 상부의 정점 15 등이었다. 반면, 주수로 상의 정점 1, 3, 5, 6 그리고 만 내측의 정점 14는 전체 평균값 2.6에 못 미치는 값을 보였다. 특히 2월에 좌도 우측의 정점 5, 5월에 만 북측 외각의 정점 1, 8월에 정점 5와 만 내측의 정점 14 그리고 11월에 정점 5에서는 2.0 미만의 낮은 다양도가 관찰되었다. 각 시기의 해당 정점들은 공통적으로 두 종의 다모류 *Aphelochaeta monilaris*와 *Lumbrineris longifolia*가 채집 개체수의 60% 이상을 차지하여 높은 우점도를 보이는 것이 특징이었다.

우점종의 시·공간 분포 양상

우점종은 각 계절별로 개체밀도 순위를 고려하여 상위 10위까지의 종들을 대상으로 선정하였다(Table 2). 사계절 동안 최소한 1회 이상 우점종에 포함된 종은 총 22 종이었으며, 일부 단각류와 이매패류를 제외하면 대부분 다모류에 속하는 종들이었다. 이들이 전체 채집 개체수에서 차지하는 비율은 73.0%이었으며, 계절별 총 개체수에 대한 점유율은 60.7%(5월)~69.3%(8월) 수준이었다. 선별된 우점종 가운데 최소한 3계절 이상 반복적으로 10순위 안에 포함된 종은 *Lumbrineris longifolia*, *Aphelochaeta monilaris*, *Praxillella affinis* 그리고 *Aricidea neosucica nipponica* 등 4종의 다모류였다. 이 중 *L. longifolia*와 *A. monilaris*는 연중 3순위 이내에 드는 우점종이었으며, 계절별 총 개체수에 대한 두 종의 점유율 합은 29.3%(5월)~49.8%(8월) 수준이었다. 두 종의 계절에 따른 평균 개체밀도 변화는 유사한 양상을 보여 5월과 8월에 상대

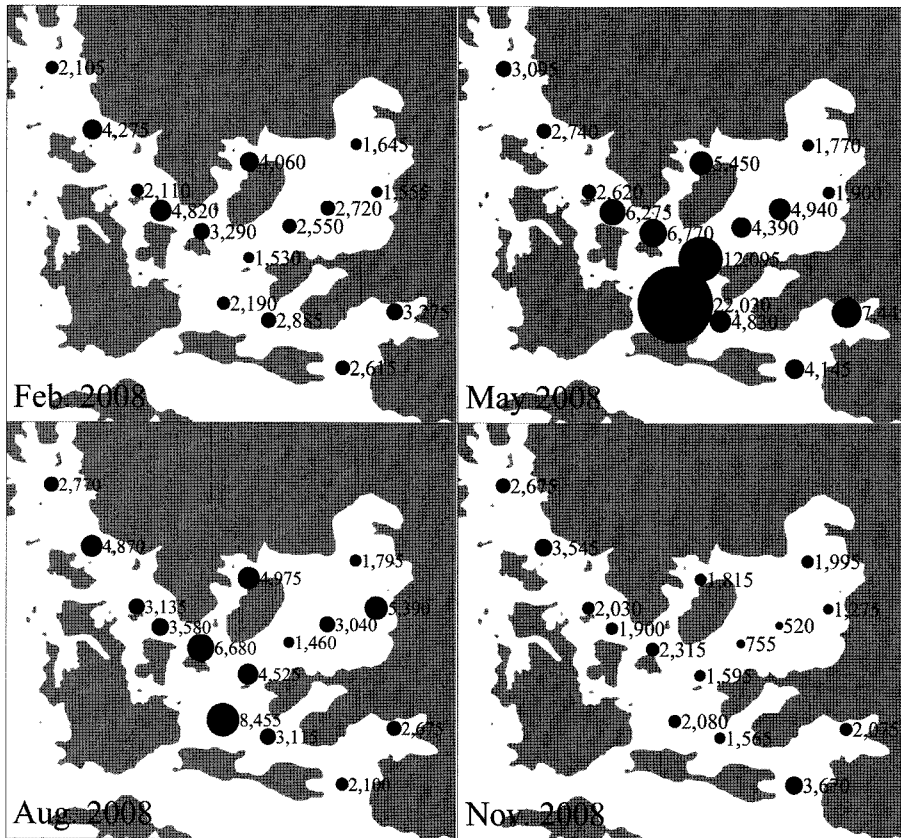


Fig. 3. Spatial distribution of macrobenthos density (ind./m²) in each sampling month. The size of circles linearly increases from the minimum to the maximum during the study period.

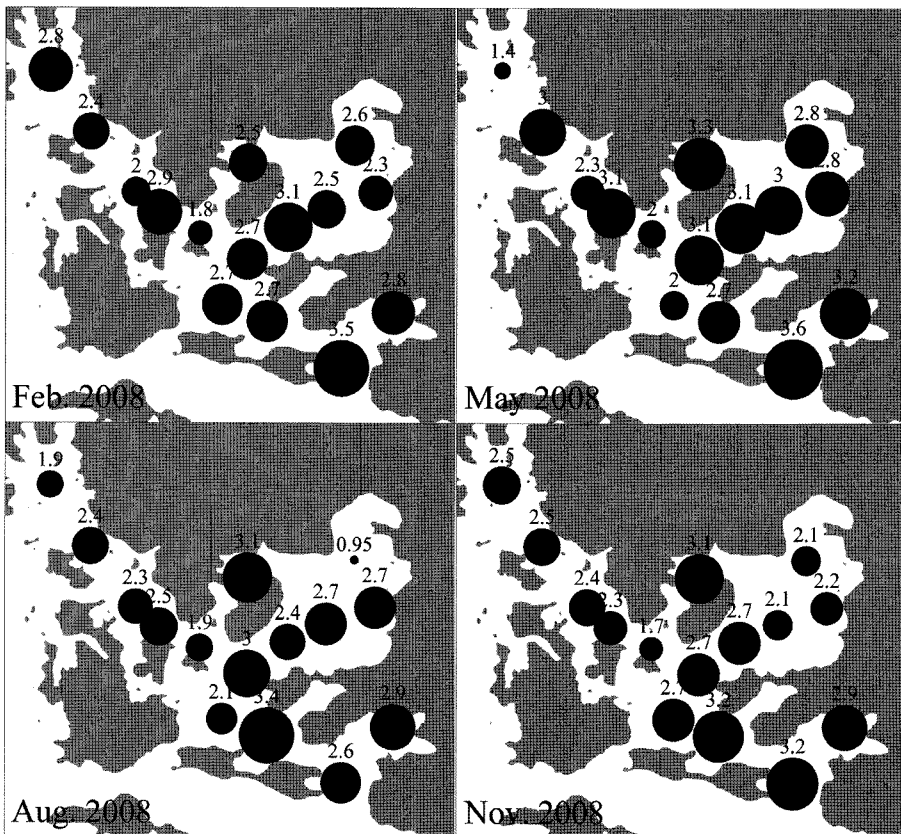


Fig. 4. Spatial distribution of diversity (H') in each sampling time. The size of circles linearly increases from the minimum to the maximum during the study period.

적으로 높았으며 11월에 가장 낮았다. *P. affinis*와 *A. neosucica nipponica*는 각각 2월과 5월을 제외한 계절에 주요 우점종에 포함

되었으며, 개체수에 대한 점유율은 각각 최대 2.4%, 3%로 낮은 수준이었다. 계절에 따른 평균 개체밀도의 변화 양상은 *P. affinis*

Table 2. Dominant species of Geoje-Hansan Bay in each sampling month. Species are listed from the 1st to the 10th based on their numerical abundance

Rank	Species	Taxonomic group	Av. density (ind./m ²)	Proportion (%)	Frequency (%)
February 2008					
1	<i>Lumbrineris longifolia</i>	Apol	690	24.9	100
2	<i>Aphelochaeta monilaris</i>	Apol	535	19.3	100
3	<i>Euchone alicaudata</i>	Apol	105	3.8	93.3
4	<i>Polydora</i> sp.	Apol	82	2.9	66.7
5	<i>Mediomastus californiensis</i>	Apol	80	2.9	86.7
6	<i>Aricidea neosucica nipponica</i>	Apol	72	2.6	100
7	<i>Minuspio multibranchiata</i>	Apol	61	2.2	33.3
8	<i>Isolda puchella</i>	Apol	45	1.6	40
9	<i>Lumbrineris cruzensis</i>	Apol	45	1.6	26.7
10	<i>Glycera chirori</i>	Apol	44	1.6	80
May 2008					
1	<i>Lumbrineris longifolia</i>	Apol	1,023	17	100
2	<i>Erichthonius pugnax</i>	Cam	879	14.6	46.7
3	<i>Aphelochaeta monilaris</i>	Apol	742	12.3	93.3
4	<i>Caprella</i> spp.	Cam	294	4.9	73.3
5	<i>Dorvillea rudolphi</i>	Apol	149	2.5	100
6	<i>Cirriformia tentaculata</i>	Apol	130	2.2	80
7	<i>Monocorophium acherusicum</i>	Apol	125	2.1	40
8	<i>Praxillella affinis</i>	Apol	106	1.8	60
9	<i>Terebellidae</i> sp.1	Apol	101	1.7	73.3
10	<i>Stenothoe valida</i>	Cam	94	1.6	13.3
August 2008					
1	<i>Lumbrineris longifolia</i>	Apol	1,032	26.4	100
2	<i>Aphelochaeta monilaris</i>	Apol	914	23.4	100
3	<i>Theora fragilis</i>	Mbi	206	5.3	80
4	<i>Euchone alicaudata</i>	Apol	107	2.7	86.7
5	<i>Praxillella affinis</i>	Apol	94	2.4	73.3
6	<i>Magelona japonica</i>	Apol	91	2.3	60
7	<i>Cirriformia tentaculata</i>	Apol	70	1.8	66.7
8	<i>Aricidea neosucica nipponica</i>	Apol	70	1.8	93.3
9	<i>Caprella</i> spp.	Cam	64	1.6	60
10	<i>Chaetozone</i> sp.	Apol	63	1.6	86.7
November 2008					
1	<i>Aphelochaeta monilaris</i>	Apol	428	21.6	100
2	<i>Lumbrineris longifolia</i>	Apol	386	19.4	100
3	<i>Isolda puchella</i>	Apol	115	5.8	53.3
4	<i>Mediomastus californiensis</i>	Apol	67	3.4	86.7
5	<i>Amphisamytha japonica</i>	Apol	63	3.2	66.7
6	<i>Magelona japonica</i>	Apol	62	3.1	46.7
7	<i>Aricidea neosucica nipponica</i>	Apol	60	3	100
8	<i>Lumbrineris cruzensis</i>	Apol	41	2	33.3
9	<i>Praxillella affinis</i>	Apol	38	1.9	53.3
10	<i>Glycera chirori</i>	Apol	31	1.5	100

Apol: annelida polychaeta, Cam: Crustacea amphipoda, Mbi: Mollusca bivalvia

의 경우, 5월에 가장 높은 밀도를 보인 후 점차 감소하는 양상이 었던 반면 *A. neosucica nipponica*는 계절에 따른 차이가 크지 않 았다. 한편, 일시적으로 주요 우점종에 포함된 종들 가운데 개체 밀도 측면에서 중요도가 특히 컸던 종은 연세우류 *Erichthonius*

*pugnax*로서 5월에 2순위 우점종으로 출현하였으며, 연평균 점유 율은 6.1%이었다.

우점종의 시-공간분포 양상을 파악하기 위해 연평균 개체밀도 10순위 이내의 종들을 대상으로 계절에 따른 정점별 분포 양상을

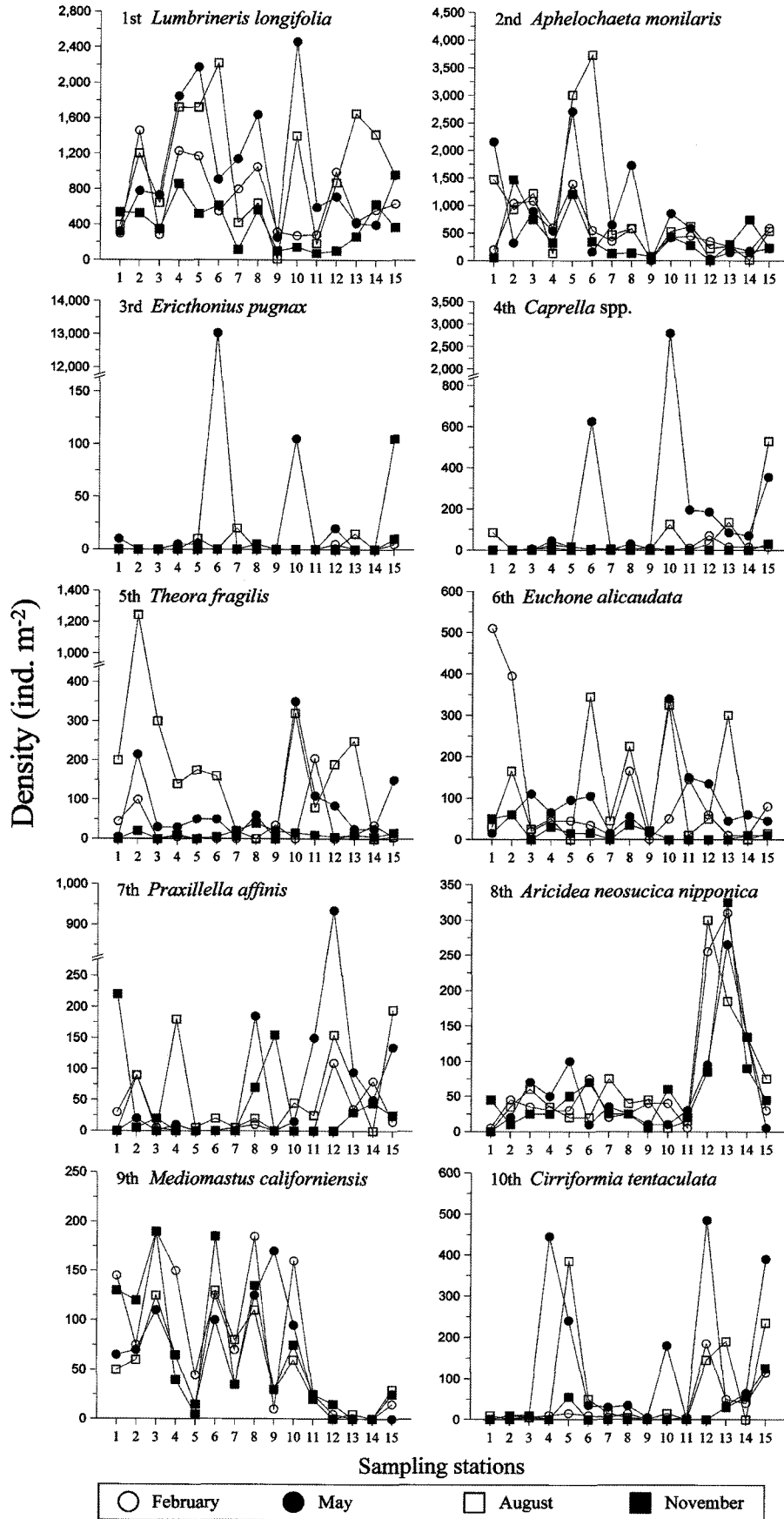


Fig. 5. Spatio-temporal fluctuation of the density (ind./m²) of major dominant species in Geoje-Hansan Bay.

비교하였다(Fig. 5). 제 1 우점종은 *L. longifolia*로 연평균 개체밀도는 783 개체/m²이었으며, 10 개체/m²~2,465 개체/m²의 범위에서 연중 전 정점에 걸쳐 출현하였다. 주요 분포 정점은 계절에 따라 크게 변했으며, 최대 밀도는 5월에 정점 10에서 관찰되었다. 제 2 우점종은 *A. monilaris*로 연평균 개체밀도는 655 개체/m², 최대 밀도는 3,725 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도는 98.3%로 연중 거의 모든 정점에서 출현하였다. 주요 분포 정점은 계절에 따라 다소 차이가 있었지만 주로 정점 5와 6에 집중되는 경향이 있었으며, 최대밀도는 8월에 정점 6에서 관찰되었다. 제 3 우점종은 *E. pugnax*로 연평균 개체밀도는 223 개체/m², 최대밀도는 13,035 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도는 25%로 일부 계절에 한정된 정점(굴 양식장)에만 분포하였다. 주요 분포 정점은 정점 6으로 5월에 일시적으로 극상의 밀도를 보였다. 제 4 우점종은 *Caprella* spp.로 연평균 개체밀도는 92 개체/m², 최대밀도는 2,795 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도는 50%로 시·공간적으로 제한된 분포를 보였다. 주요 분포 정점은 정점 10으로 5월에 최대밀도를 나타내었다. 제 5 우점종은 *Theora fragilis*로 연평균 개체밀도는 82 개체/m², 최대밀도는 1,245 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도 76.7%로 거의 모든 정점에서 출현하였지만 계절에 따른 편차가 컸다. 주요 분포 정점은 계절에 따라 차이를 보였으며, 최대밀도는 8월에 정점 2에서 관찰되었다. 제 6 우점종은 *Euchone alicaudata*로 연평균 개체밀도는 79 개체/m², 최대밀도는 510 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도는 85%로 계절에 따른 밀도차이는 있지만 거의 모든 정점에서 출현하였다. 주요 분포 정점은 계절에 따라 크게 변했으며, 최대밀도는 2월에 정점 1에서 관찰되었다. 제 7 우점종은 *P. affinis*로 연평균 개체밀도는 66 개체/m², 최대밀도는 935 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도는 61.7%로 시·공간적 분포의 편차가 큰 편이었다. 주요 분포 정점은 계절에 따라 크게 변했으며, 최대밀도는 5월에 정점 12에서 관찰되었다. 제 8 우점종은 *A. neosucica nipponica*로 연평균 개체밀도는 65 개체/m², 최대밀도는 325 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도는 96.7%로 연중 거의 모든 정점에서 출현하였으며, 주수로 해역보다는 거제만 내에서 높은 밀도를 보였다. 주요 분포 정점은 정점 12와 13이며 최대밀도는 11월에 정점 13에서 관찰되었다. 제 9 우점종은 *Mediomastus californiensis*로 연평균 개체밀도는 64 개체/m², 최대밀도는 190 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도는 83.3%로 비교적 높은 편이었으며, 주로 수로역에 집중적으로 분포하였다. 최대밀도는 11월에 정점 3에서 관찰되었다. 제 10 우점종은 *Cirriformia tentaculata*로 연평균 개체밀도는 63 개체/m², 최대밀도는 485 개체/m²이었다. 연평균 출현빈도는 66.7%로 시·공간적 분포 편차가 큰 편이었다. 주요 분포 정점은 계절에 따라 크게 달랐으며, 최대밀도는 5월에 정점 12에서 관찰되었다.

저서동물군집 구조의 시·공간적 변화

사계절, 15개 정점으로부터 수집된 저서동물군집 자료에 대한 다차원척도법(MDS) 적용 결과, 2차원 평면상에서 60개 전체 케이스의 배치는 계절성 보다는 정점들의 지리적 위치를 반영하고 있었다. 특히, 정점들의 지리적 위치를 내만역과 수로역으로 구분해 도식해 본 결과(Fig. 6a), 수로역은 2차원 평면상의 우측에 그리고 내만역은 좌측에 위치함으로써 두 군집의 차이가 비교적 명

확함을 알 수 있었다. 그러나 지리적 위치 상 내만에 가까운 정점 11의 경우, 계절에 따라 내만과 수로역의 경계에 위치하거나(2월과 5월) 또는 수로역에 가까운 군집 특성(8월과 11월)을 보이는 것으로 나타났다. 2차원 평면의 수평축 상에서 우측 끝단에 위치한 정점 9의 5월 자료는 60개 케이스 중 다양도가 가장 높은 케이스였으며 좌측 끝에 위치한 정점 4의 8월 자료는 가장 낮은 다양도를 보이는 케이스였다. 이처럼 수평축은 다양도와 양의 상관관을 보이는 것으로 나타났다. 한편, 정점들의 배치도를 양식 시설의 존재 유무와 종류에 따라 도식해 본 결과(Fig. 6b), 평면도의 중심부에는 굴 양식장, 우렁쟁이 양식장 그리고 대조구 정점들이 혼재하는 양상이었지만 굴 양식장에 해당하는 대부분의 정점들이 평면도의 하단부에 위치함으로써 굴 양식장의 군집 특성이 다른 군집들과 대별되는 것처럼 나타났다. 그러나 Fig 6a를 참조한다면 평면도의 좌측 하단 정점(정점 12-15)들은 모두 내만역의 정점들이었기 때문에 이러한 구분의 일차적 원인은 정점들의 지리적 위치의 차이에 있을 것으로 판단된다. 하지만 굴 양식장의 존재 자체가 내만역과 수로역 군집의 특성을 더욱 뚜렷이 구분되

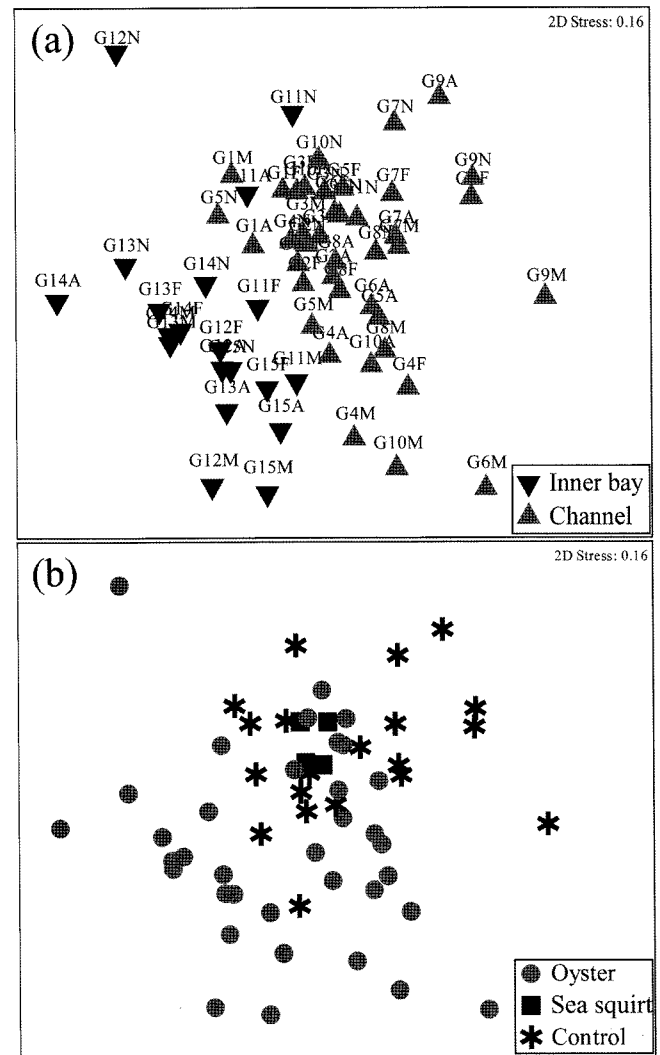


Fig. 6. Two-dimensional MDS plots from square-root transformed macrofauna data. Each sampling case is expressed by the geographical position of stations within the bay (a) and the type of culture (b).

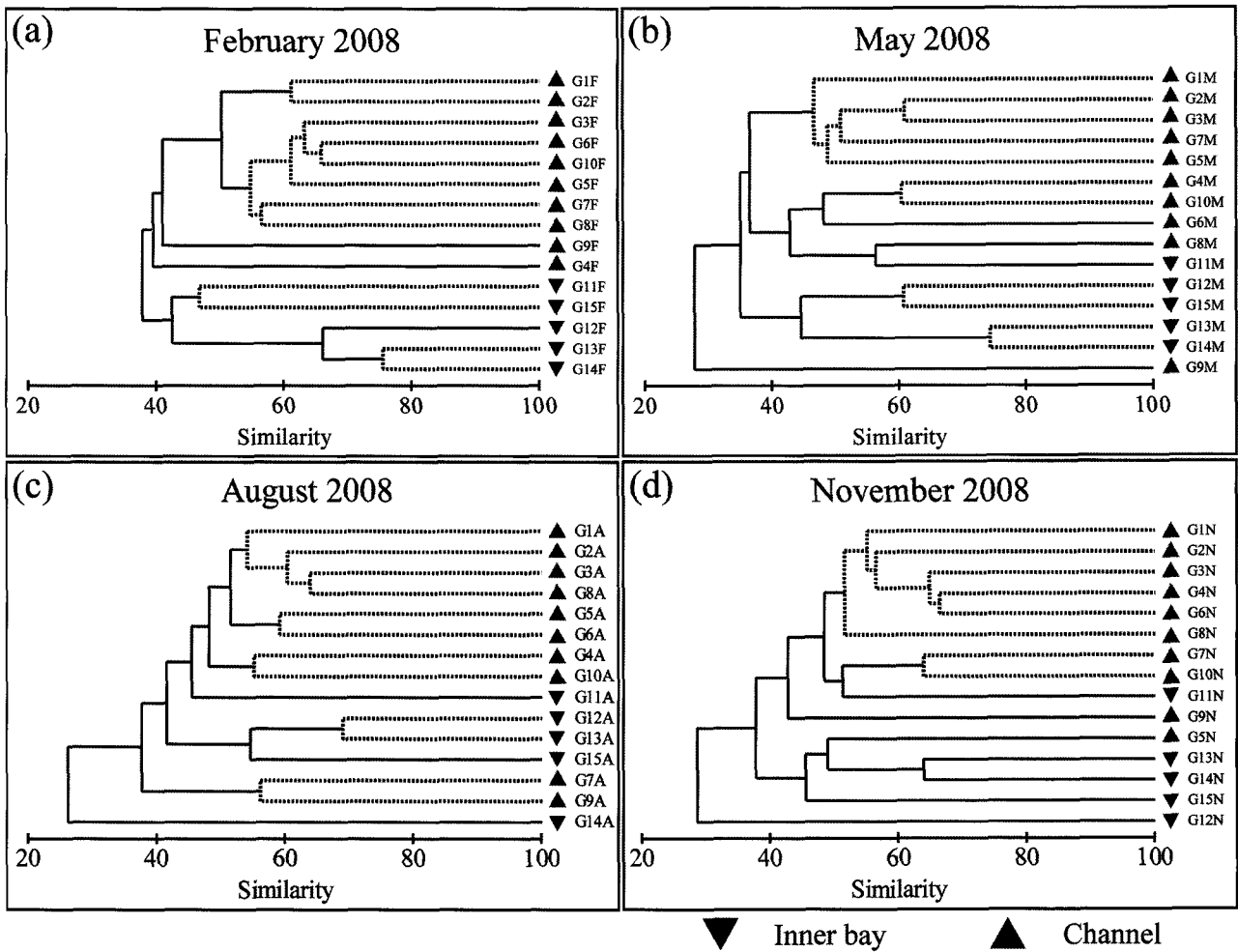


Fig. 7. Dendrogram from cluster analysis for searching for the macrobenthic community structure at each sampling month in relation to spatial variation. Dotted lines are produced by the results of SIMPROF indicating stations linked with each other belong to the same group.

게 만들었을 가능성 또한 존재할 것으로 생각된다. 한편, 수로역의 굴 양식장 정점들은 대조구 정점들과 수평 방향이 아닌 수직 방향에서 차이를 보였으며 이는 종 다양성의 차이보다는 개체밀도(또는 종 조성) 측면의 차이로 인한 것임을 암시한다.

다차원척도법 분석 결과에서 전체군집이 공간적 요인에 의해 크게 내만역 군집과 수로역 군집으로 나누어졌으며, 계절적 요인은 군집 구분에 크게 기여하지 못하는 것으로 나타났기 때문에 계절적 요소를 배제하여 각 계절에 나타난 공간분포 특성이 전체자료에서 나타난 양상과 일치하는가의 여부를 점검해 볼 필요가 있었다. 이를 위해 각 계절 자료에 대한 집괴분석을 실시하고 소그룹을 구분함에 있어 그룹 구분의 유의성을 제시하는 SIMPROF 분석을 병행하였다(Fig. 7). 각 계절의 군집은 전체자료에 대한 분석결과와 유사하게 내만역과 수로역의 구분이 비교적 뚜렷한 것으로 나타났다. 다만, 내만역 또는 수로역의 일부 정점들이 계절적 변화에 의해 별개의 소그룹으로 존재하는 양상이 관찰되었으며, 특히 이런 현상은 2월에서 11월로 가면서 점차 두드러졌다. 각 계절별 소그룹을 살펴보면, 2월에는 내만역과 수로역에 각각 2개의 소그룹이 존재하였으며, 그룹을 형성하지 못한 3개의 개별정점이 존재하였다. 5월에도 소그룹의 세부적인 구성원은 달랐지만 전체적

인 구조는 2월과 같았다. 8월에는 내만역의 1개 그룹과 수로역의 4개 그룹이 존재하였으며, 그 외의 3개 정점이 개별적으로 소그룹을 형성하였다. 11월에는 수로역에서 2개 그룹이 확인되었으며, 내만역을 비롯한 그 외 정점들 간의 그룹화는 유의성을 갖지 않는 것으로 나타났다. 개별적 계절자료에서 관찰되는 한 가지 공통적인 공간구조는 수로역의 정점 9가 8월에 정점 7과 소그룹을 형성하는 것을 제외하면 반복적으로 수로역의 다른 정점들과는 대별되는 특징을 갖는 것으로 나온 점이다.

내만역과 수로역의 비유사도를 높이는 데 기여한 종들을 알아보기 위해 SIMPER 분석을 수행하였다(Table 3). 기여도의 누적비율을 50%로 한정하여 분석한 결과, 개별 기여도가 최소 0.93% 이상인 총 33종의 저서동물이 선별되었다. 내만역과 수로역의 비유사도는 69.4%로 비교적 높은 편이었지만 SIMPER 분석 결과에서 상위 10개 랭크된 종들 가운데 평균밀도 측면에서 공간분포의 구분이 명확한 종은 많지 않았다. 내만역에서 상대적으로 높은 밀도를 보인 종으로는 다모류 *C. tentaculata*, *P. affinis*, *A. neosucica nipponica*, *Polydora* sp.와 이매패류 *Musculista senhousia*, *Macoma tokyoensis*, 주걱별레불이류 *Anataniis normani* 등이 있었다. 수로역에서 상대적으로 높은 밀도를 보인 종으로는 다모류 *M. californiensis*, *Glycera*

Table 3. Species contributing to dissimilarity between groups as revealed by the SIMPER procedure

Species	Inner bay Av. Density (ind./m ²)	Channel Av. Density (ind./m ²)	Av.Diss (%)	Diss/SD	Contrib. (%)	Cum. (%)
<i>Aphelochaeta monilaris</i>	263	797	2.71	1.07	4.06	4.06
<i>Lumbrineris longifolia</i>	712	808	2.02	1.23	3.04	7.1
<i>Cirriformia tentaculata</i>	134	37	1.45	1.65	2.17	9.27
<i>Praxillella affinis</i>	161	31	1.44	1.23	2.15	11.42
<i>Mediomastus californiensis</i>	6	86	1.40	1.62	2.10	13.52
<i>Aricidea neosucica nipponica</i>	154	32	1.34	1.33	2.02	15.53
<i>Caprella</i> spp.	96	91	1.21	1.17	1.82	17.36
<i>Polydora</i> sp.	118	32	1.17	0.94	1.76	19.11
<i>Theora fragilis</i>	51	93	1.11	1.04	1.67	20.78
<i>Glycera chirori</i>	5	61	1.10	2.03	1.66	22.44
<i>Euchone alicaudata</i>	52	89	1.05	1.11	1.57	24.01
<i>Amphisamytha japonica</i>	1	43	1.04	1.27	1.57	25.58
<i>Amaeana occidentalis</i>	79	19	1.00	1.19	1.50	27.08
<i>Musculista senhousia</i>	103	1	0.93	0.76	1.40	28.48
<i>Dorvillea rudolphi</i>	76	51	0.92	1.41	1.38	29.86
<i>Macoma tokyoensis</i>	40	0	0.91	0.96	1.36	31.22
<i>Leiochrides</i> sp.	2	38	0.90	1.25	1.35	32.57
<i>Chone teres</i>	48	16	0.82	1.31	1.24	33.81
<i>Magelona japonica</i>	0	62	0.82	0.60	1.24	35.04
<i>Prionospio saccifera</i>	0	24	0.81	1.65	1.21	36.25
<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i>	19	33	0.76	1.26	1.14	37.4
<i>Isolda pulchella</i>	1	83	0.76	0.52	1.14	38.54
<i>Paraprionospio pinnata</i>	28	33	0.74	1.35	1.11	39.65
<i>Chaetozone</i> sp.	48	39	0.72	0.98	1.09	40.73
<i>Heteromastus filiformis</i>	3	24	0.70	1.17	1.06	41.79
<i>Anatanais mormani</i>	70	1	0.70	0.78	1.05	42.84
Terebellidae sp.1	26	38	0.70	1.11	1.05	43.89
<i>Ophiodromus pugettensis</i>	33	11	0.69	1.40	1.03	44.93
<i>Eriopisella sechellensis</i>	12	28	0.68	0.67	1.03	45.95
<i>Driloneris filum</i>	3	23	0.66	1.12	0.99	46.94
<i>Tharyx</i> sp.	1	23	0.63	1.13	0.94	47.89
<i>Lumbrineris cruzensis</i>	0	55	0.62	0.59	0.94	48.82
Syllidae sp.1	24	6	0.62	1.30	0.93	49.75

chirori, *Amphisamytha japonica*, *Leiochrides* sp., *Magelona japonica*, *Prionospio saccifera*, *Isolda pulchella*, *Lumbrineris cruzensis* 등이 있었다.

저서동물군집구조의 시·공간 변동과 상관성을 갖는 환경요인을 알아보기 위해 BIO-ENV 분석을 수행하였다. 단일 변수로서 가장 큰 상관도를 보인 변수는 총유기탄소함량(TOC; $\rho=0.288$)과 산화발성황화물(AVS; $\rho=0.259$)이었지만 상관도는 높지 않았다. 조합 변수로서 저서동물군집의 시·공간적 구조 변화와 가장 밀접한 상관도를 보인 변수들은 수심, 총유기탄소함량, 산화발성황화물 그리고 펠함량이었으며 상관도(ρ)는 0.37이었다.

고 찰

거제한산만의 15개 정점에 대한 사계절 조사에서 총 351종의 대형저서동물이 채집되었으며, 계절적으로는 봄에, 그리고 지역적

으로는 내만역보다는 수로역의 정점들에서 다양한 종의 출현이 관찰되었다. 총 종수는 채집빈도 및 규모에 의존적인 지수이기 때문에 서로 다른 연구 간 또는 지역 간의 종풍도 비교를 위한 객관적 기준으로서는 타당하지 않으나 특정 해역의 대략적인 종풍도를 알아보기 위한 하나의 방편으로서 채집강도가 유사한 연구들에 한해 상대적인 값의 비교가 이루어지기도 한다. 이런 차원에서 본 연구와 마찬가지로 조하대 지역에서 대형저서동물군집의 일부 분류군이 아닌 전 분류군을 대상으로 van Veen grab을 이용해 사계절 이상의 조사를 수행하였던 연구 결과들을 살펴보면, 본 연구와 같이 300종 이상의 총 종수를 보고한 결과들은 많지 않다(윤 등, 2009의 Table 3 참조). 대표적인 연구들 가운데 총 출현종수가 가장 적었던 해역은 마산만(홍과 이, 1983)으로 총 65종이 출현하였으며, 그 외 대부분의 경우에는 100종에서 250종 미만의 종이 출현한 것으로 보고되었다(e.g. 임과 최, 2001; 임과 홍, 2002; 윤 등, 2009). 이러한 결과들을 바탕으로 총 출현종수가 250종을 초과하

는 경우를 상위 수준으로 가정해 본다면, 이에 해당하는 대표적인 해역으로는 가덕도 주변 해역(윤과 백, 2001-260종), 영종도 주변 해역(임 등, 1995-266종), 천수만(박 등, 2000a-311종) 그리고 동해 후포 주변 조하대(백 등, 2007-319종) 등이 있으며, 거제한산만의 총 종수는 이 가운데서도 가장 높다는 사실을 알 수 있다. 채집면적을 기준으로 한 채집강도 측면에서도 가덕도와 후포 주변 해역에서는 본 연구와 동일한 12 m²가 채집되었으며, 영종도 주변 해역과 천수만에서는 각각 20.4 m², 21 m²가 채집되어 본 연구보다 높은 강도로 조사가 이루어졌다는 점에서 거제한산만의 상대적으로 높은 종풍도를 확인할 수 있다.

거제한산만 대형저서동물군집의 전체적인 구조를 파악하기 위해 적용하였던 다차원척도법 분석 결과(Fig. 6)는 거제한산만의 높은 종풍도를 가능케 한 몇몇 환경 여건들을 추정해 볼 수 있는 근거를 제시하고 있다. 전체군집은 Fig 6a에서와 같이 크게 내만역과 수로역 군집으로 구분되었으며, 다양도와 양의 상관성을 갖는 수평축을 따라 내만역과 수로역 정점들이 각각 2차원 평면의 좌측과 우측에 산포되어 있었다. 이는 거제만의 반폐쇄형 내만과 거제한산만을 가로지르며 위로는 통영해만과 그리고 아래로는 외해역과 연결된 중앙수로가 형성하는 복합적인 지형적 조건을 그대로 반영한 결과이며, 해역의 개폐 정도 및 수심에 대한 요구가 다른 종들이 각각의 생태적지위에 맞춰 분리 또는 혼합하여 분포한 결과로 해석된다. 또한 평면도의 좌에서 우로 가면서 내만의 가장 안쪽에 위치한 정점(정점 14)부터 외해에 가장 근접한 정점(정점 9)까지 순차적인 배치가 이루어지고 있다는 사실은 해역의 다양도가 해수소통의 원활성 정도에 의해 크게 영향 받고 있다는 사실을 보여주는 직접적인 증거로 생각된다. 해수의 소통 정도는 부유유생기를 거치는 저서동물의 확산과 가입에 중요한 역할을 함으로써 종풍도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Snelgrove and Butman, 1994). 반폐쇄형 만에서 수행된 국내 연구 기록에서도 저서동물군집의 종풍도가 만의 내만역보다는 입구역에서 상대적으로 높았다는 사실을 같은 맥락에서 해석한 사례들이 있다(e.g. 박 등, 2000a; 윤 등, 2007; 윤 등, 2009).

수로역에 위치한 정점들 가운데 외해에 가장 근접한 정점 9는 연중 가장 높은 수준의 출현종수와 다양도를 보인 정점으로 군집구조 측면에서 수로역 정점들 가운데에서도 대별되는 특징을 갖는 것으로 나타났다(Fig. 2, 4, 6, 7). 측정된 환경 요인들 가운데 정점 9가 다른 수로역 정점들과 큰 차이를 보인 요인은 퇴적상이었다. 거제한산만의 대부분의 정점들이 평균입도 8 Φ-9 Φ 사이로 극세립실트의 퇴적상을 보였으며 평균 펼함량도 83% 이상으로 높았지만, 정점 9는 평균입도 6.8 Φ로 중립실트의 퇴적상을 보였으며, 평균 펼함량도 60%로 낮은 편이었다(Table 1). 외해에 가장 근접하게 위치하면서 퇴적상에서도 차이가 나는 정점 9의 환경적 이질성은 종조성에 차이를 유발함으로써 전체적인 종풍도 향상에 기여하였을 것으로 판단된다. 같은 수로역 내에서 정점 9와 나머지 수로역 정점들의 우점종 구성을 비교해보면 정점 9는 다모류 *Lumbrineris longifolia*, *Magelona japonica*, *Isolda pulchella*, *Lumbrineris cruzensis*, 거미불가사리류 *Amphipus japonicus* 등이 우점한 반면 나머지 정점들은 다모류 *Lumbrineris longifolia*, *Aphelochaeta monilaris*, 연새우류 *Ericthonius pugnax*, 바다대벌레류 *Caprella* spp., 이매패류 *Theora fragilis* 등이 우점하여 차이

를 보였다. 저서동물군집의 종풍도는 서식처의 다양도와 밀접한 연관성을 갖고 있으며, 2차원적 평면구조의 연성저질에서는 퇴적상의 다양도가 서식처의 다양도와 직접적으로 연결되어 있다고 할 수 있다(Etter and Grassle, 1992; Snelgrove, 1998). 따라서 비교적 단순한 퇴적상을 가진 거제한산만에서 봉암도 우측에 위치한 정점 9의 존재는 환경 및 생물학적 다양성 측면에서 중요한 위치에 있다고 할 수 있다.

거제한산만 저서동물군집은 종풍도가 높았을 뿐만 아니라 개체밀도 또한 높았다. 평균 개체밀도는 3,675 개체/m²이었으며, 특히 5월에는 평균 6,000 개체/m²를 넘는 고밀도 분포를 보였다. 윤 등 (2009)은 국내 연구 사례 비교를 통해 한 해역의 평균 개체밀도가 3,000 개체/m²를 넘는 경우는 매우 드문 경우였으며 이에 해당하는 경우는 주로 자연적 또는 인위적으로 형성된 특수한 환경에 고도로 적응된 단일종이 군집을 극우점함으로써 발생하였다는 사실을 기술한 바 있다. 자연적 특수 환경의 사례였던 법성포 와탄천의 기수역(임과 홍, 2002)에서는 *Minuspia japonica* 한 종이 전체 밀도의 80%를 차지하였으며, 인위적으로 조성된 환경의 사례였던 박 등(2000b)과 정 등(2002)의 가두리 양식장 조사에서는 *Capitella capitata* 한 종이 각각 전체 밀도의 71.5%, 52.7%를 점유하는 양상을 보였다. 그러나 거제한산만의 경우, 대표적인 우점종인 다모류 *L. longifolia* 및 *A. monilaris*와 5월에 일시적으로 고밀도 분포를 보였던 연새우류 *Ericthonius pugnax* 등의 총 개체수에 대한 개별 점유율이 계절별로 최대 26.4%를 넘지 않아 한 종에 의한 일방적 우세는 관찰되지 않았다(Table 2). 그렇지만 *L. longifolia*와 *A. monilaris*는 잘 알려진 바와 같이 국내 연안의 대표적 유기물 오염지표종이며(최 등, 2003; 임 등, 2007), *Ericthonius* 계열의 종 역시 유기물이 풍부한 해역에서 서관을 형성하는 낭하상목의 미소갑각류로 알려져 있다는 점(Chintiroglou et al., 2004)에서 거제한산만의 고밀도 개체 분포와 연관된 해역의 환경적 특성을 미루어 짐작할 수 있다.

거제한산만의 총유기탄소(TOC) 범위는 1.3%~2.8%로 수로역 정점들은 평균적으로 1.7% 전후의 값을, 그리고 거제만 내의 정점들은 2.0% 전후의 값을 나타내었다(Table 1). 이는 Kang et al.(1993)에 의해 제시된 1993년 당시 거제한산만 총기유기탄소 값인 1.68%와 유사하거나 높은 값이며, 국내 연안 중 가장 높은 수준을 보인 남동부 평균 2.18%보다는 다소 낮은 값으로, 본 조사 해역의 유기물 함량이 낮지 않은 수준이라는 것을 말해준다. 거제한산만의 유기물 축적 정도를 단적으로 알려주는 하나의 생태학적 현상은 저서동물군집의 출현종수와 개체밀도가 동일한 계절적 증감 패턴을 갖는다는 점이다(Fig. 2, 3). 즉, 생태학적 견지에서 봤을 때 높은 값을 나타내는 경우에 상반된 해석이 가능한 두 가지 생태제지수가 동일한 방향으로 움직임으로서 일정 수준 이상의 다양도를 유지하는 현상은 유기물 오염 해역 가운데 'intermediately polluted' 해역의 특징으로 볼 수 있다(Pearson and Rosenberg, 1978; Huston, 1979). 이는 적정 수준의 유기물 함량이 저서동물군집의 종풍도(Frouin, 2000) 및 개체밀도(Nickell et al., 2003)를 높일 수 있다는 연구 결과들과 같은 맥락에서 이해할 수 있는 현상이다. 따라서 거제한산만은 총유기탄소량에 근거했을 때 유기물 오염의 가능성이 있으며, 실제 저서동물군집에서 관찰된 우점종의 조성이나 생태제지수의 변동 양상으로부터 고도의 교란보다는 중

간 정도의 교란이 발생하고 있는 것으로 추정해 볼 수 있다.

거제한산만의 제 1 우점종은 *L. longifolia*로 11월을 제외한 전 계절에 가장 높은 밀도로 출현하였다. 이 종은 연중 전 정점에서 출현하였으며 외해에 인접한 정점 9에서 밀도가 가장 낮았고, 수로역에 위치한 정점들 가운데 굴 양식장에 해당하는 정점들(정점 4, 5, 6, 10)에서 고밀도로 분포하였다. 단일 정점에서 관찰된 최대밀도는 정점 10에서 5월에 기록된 2,465 개체/m²로, 이는 국내 연안 중 비교적 높은 밀도가 관찰되었던 광양만(1,055 개체/m² - 정 등, 1997; 1,380 개체/m² - 최 등, 2003)이나 가막만(2,148 개체/m² - 윤 등, 2007)에 비해 다소 높거나 유사한 수준이었으며, 울산만(6,060 개체/m² - 윤 등, 2009)에 비해서는 낮은 값이었다. 한편, 평균 개체밀도는 광범위한 시·공간적 출현으로 인해 매우 높은 값(783 개체/m²)을 나타내어 기존의 국내 평균밀도 중 가장 높은 밀도에 해당하는 울산만(451 개체/m² - 윤 등, 2009)이나 진해만(417 개체/m² - 백과 윤, 2000)보다 높았다. 거제한산만에서 측정된 8가지 환경변수와의 Spearman rank correlation coefficient를 계산한 결과, *L. longifolia*는 TOC와 가장 높은 상관성($p=0.519$, $p < 0.01$)을 나타내어 유기물 함량과의 뚜렷한 연관성을 보여주었다.

거제한산만의 제 2 우점종은 *A. monilaris*로 *L. longifolia*와 마찬가지로 연중 거의 모든 정점에서 출현하였으나 개체밀도의 중심분포는 내만역보다 수로역에 치우치는 경향이 있었다. 특히 수로역 정점 중 굴 양식장에 위치한 정점 5와 6에서 고밀도 분포를 보였으며, 최대밀도는 정점 6에서 8월에 관찰된 3,725 개체/m²이었다. 현재까지 단일 정점에서 관찰된 최대밀도로서 비교적 높은 값을 보인 해역은 울산만(7,580 개체/m² - 윤 등, 2009), 소리도 주변해역(4,303 개체/m² - 임과 최, 2001) 등이 있으며, 본 연구에서의 최대밀도와 유사하거나 다소 낮은 수준의 밀도를 보인 해역은 광양만(3,430 개체/m² - 최 등, 2003), 낙동강 하구역(2,878 개체/m² - 이 등, 2005), 가막만(2,317 개체/m² - 윤 등, 2007) 등이 있다. 한편, 평균 개체밀도는 655 개체/m²로 기존의 국내 평균밀도 중 가장 높은 밀도에 해당하는 울산만(1,036 개체/m² - 윤 등, 2009)에 비해서는 낮았지만 소리도 주변 해역(582 개체/m² - 임과 최, 2001), 광양만(540 개체/m² - 최 등, 2003), 낙동강 하구역(420 개체/m² - 이 등, 2005), 가막만(186 개체/m² - 윤 등, 2007) 등에 비해서는 높은 값을 나타내었다. 본 연구를 비롯하여 *A. monilaris*가 제 1 또는 제 2 우점종으로서 고밀도 분포를 보이는 해역에서 관찰되는 공간 분포 상의 한 가지 공통점은 유기물 함량의 조건이 유사한 경우에는 반폐쇄적 지형의 내만보다는 수로나 만의 입구와 같이 비교적 해수의 소통이 원활한 곳에서 상대적으로 높은 밀도를 보인다는 점이다(e.g. 임과 최, 2001; 최 등, 2003; 이 등, 2005; 윤 등, 2007; 윤 등, 2009). 물론 유기물 함량과 해수 소통 정도라는 환경적 요소 외에 퇴적물의 입도(e.g. 임과 박, 1999)와 같은 요소들의 간섭 효과가 있었지만 국내에서 'intermediately organic enriched area'의 주요종이라는 공통점이 있는 *L. longifolia*와 비교해 보았을 때, 이러한 분포 특성은 보다 두드러지게 나타나는 것으로 판단된다. 본 연구에서 *A. monilaris*와 환경 변수들과의 상관성을 추적해본 결과, 수심에 대해서는 상관성($p=0.301$, $p < 0.05$)이 있었지만 TOC와는 유의한 상관성이 나타나지 않았다. 이는 유기물은 풍부하지만 해수의 소통 정도가 떨어지는 내만역에서의 분포 밀도가 상대적으로 낮았던 것에 기인한 결과로 해석

되며, 해수 소통 정도와의 연관성을 추정할 수 있는 근거가 될 것으로 생각된다.

거제한산만의 제 3 우점종인 *E. pugnax*는 상위 우점종에 포함되기는 하였지만 시·공간적 출현양상은 극히 제한적이어서 굴 양식장이 있는 일부 정점(정점 6, 10, 15 등)에서 우발적으로 출현하는 양상을 보였다. 이는 이 종이 연성저질에 분포하는 종이 아니라 해양의 생물-무생물적 구조물에 서관을 형성하여 서식하는 종이기 때문이다. Hong(1983)은 득량만에서 수행한 오손생물 부착실험에서 부착관에 서관을 대량으로 형성하는 대표적인 열새우류 3종에 대한 분류 및 생태적 특징을 기재한 바 있으며, 그 목록에 *E. pugnax*가 포함되어 있었다(Hong(1983)이 *E. brasiliensis*로 기재하였던 종은 Kim(1991)에 의해 *E. pugnax*인 것으로 확인됨). 따라서 본 조사에서 출현한 개체들은 굴 양식장의 수하식 구조물에서 떨어져 나온 개체들이거나 바닥으로 떨어진 굴 패각에 서관을 형성한 개체들일 가능성이 높다. 이러한 가능성은 제 4 우점종인 *Caprella* spp.를 비롯하여 우점종에는 포함되지 않았지만 *E. pugnax*와 유사한 서식 양상을 갖는 것으로 알려진 열새우류 *Jassa falcata*, *Monocorophium acherusicum*, 주걱벌레붙이류 *Anatanais normani*, *Leptocheilia dubia* 등에도 해당할 것으로 생각된다(Hong, 1983; Yoon, 2006). 결과적으로 이러한 종들이 연성저질의 저서동물군집 구성원으로서 포함되어 있는 것은 굴 양식장이 밀집해역인 거제한산만의 저서동물군집이 갖는 하나의 특징인 것으로 판단되며, 비록 우발적 출현이기는 하지만 고밀도의 개체 분포를 동반하기 때문에 군집 구조뿐만 아니라 저서생태계에도 일시적인 영향을 줄 수 있는 구성원일 것으로 생각된다.

거제한산만 저서동물군집 구조는 전술된 바와 같이 수로역 군집과 내만역 군집으로 크게 구분되었으며(Fig. 6a), 이러한 기본 구조는 각 계절별로 다소 차이가 있었지만 연중 유지되는 것으로 나타났다(Fig. 7). 집괴분석 결과에서 알 수 있듯이, 굴 양식장 정점이 주로 분포하는 내만역을 제외하더라도 굴 양식장 정점과 대조구 정점들이 적절히 배치된 수로역에서는 두 가지 유형의 정점들이 서로 구분되는 양상은 어떤 계절에도 관찰할 수 없었다(Fig. 7). 이는 결과적으로 거제한산만에서 행해지고 있는 굴 양식이 적어도 수로역의 저서생태계에는 유의한 영향을 주지 않고 있다는 것을 암시한다. 해상에서 패류 양식이 행해질 때 관찰되는 인위적 영향의 정도는 저서환경에 미치는 악영향이 전무하다고 판단된 경우부터(e.g. Grant *et al.*, 1995; Crawford *et al.*, 2003; Mallet *et al.*, 2006) 저서환경 및 저서동물군집에 심각한 교란을 유발했다는 경우까지(e.g. Dahlback and Gunnarsson, 1981; Kaspar *et al.*, 1985; Stenton-Dozey *et al.*, 2001) 매우 다양하다. 이러한 차이를 만드는 일차적 요인은 양식 강도 및 해역의 환경적 특성이며(Castel *et al.*, 1989), 특히 해류의 흐름은 유기물의 퇴적 정도를 결정하는 요소로서 중요하게 인식되고 있다(Crawford *et al.*, 2003). 거제한산만은 만의 중앙을 가로지르는 중앙 수로로 인해 해류의 흐름이 원활한 편이며, 이러한 특성은 본 조사의 환경 변수 측정 결과에도 잘 나타나고 있다. 다수의 대조구 정점과 굴 양식장 정점이 섞여 있는 수로역을 중심으로 살펴보면, 해류의 흐름을 간접적으로 유추해 볼 수 있는 두 변수, 즉 용존산소농도와 총유기탄소함량에 차이가 없음을 알 수 있다(Table 1). 또한 거제한산만의 굴 양식 강도는 비교적 낮은 편으로 박 등(2002)의 추산에 의하면, 연중 약

6.84 kg/의 굴이 생산되고 있다. Mallet *et al.*(2006)은 연중 8 kg/의 굴이 생산되고 있는 St. Simon Bay의 굴 양식장에서 저서환경 및 저서동물군집의 질적 저하 현상을 발견하지 못하였으며, 그 원인으로 원활한 해류의 흐름과 낮은 양식 강도를 주요인으로 제시한 바 있다.

거제한산만의 수로역에서는 굴 양식으로 인한 저서생태계의 질적 저하를 단정할 만한 현상이 감지되지 않았지만, 내만역의 정점들에서는 악영향을 의심해볼 수 있는 몇몇 징후들이 관찰되었다. 예를 들어 정점 14와 15에서는 8월에 6 mg/L 이하의 낮은 용존 산소농도가 관찰되었으며, 내만역에 위치한 대부분의 굴 양식장 정점에서는 5월과 8월에 산화발성황화물(AVS)의 농도가 0.2 mg/g dry wt(최대 0.78 mg/g dry wt)를 훨씬 초과하였다. 저서동물군집의 경우에도 8월에 다양도 1 미만의 군집이 정점 14에서 관찰되었으며, 특히 'highly enriched area'의 대표종인 *Capitella capitata*가 정점 12에서 5월에 165 개체/m²의 밀도로 출현하기도 하였다. 본 연구의 내만역에서 관찰된 이러한 몇몇 교란의 징후들이 굴 양식의 직접적 영향 때문인지를 판단하는 것은 대조구 정점이 많지 않은 상황으로 인해 쉽지 않다. 그러나 개방형 해역에 비해 반폐쇄형 내만역에서 굴 양식이 행해지는 경우, 유기물의 과잉 퇴적(Stenton-Dozey *et al.*, 2001), 산화발성황화물의 증가(Dahlback & Gunnarsson, 1981), 빈산소 수괴의 형성(Kaspar *et al.*, 1985) 등이 발생할 가능성이 상대적으로 높으며, 이러한 환경적 변화는 결과적으로 정상적인 저서동물군집의 붕괴를 초래하게 된다는 점은 이미 주지된 사실이다(Tenore *et al.*, 1982; Kaspar *et al.*, 1985; Stenton-Dozey *et al.*, 2001). 따라서 거제한산만 내만역에서 발견된 교란의 징후들이 현재로서는 제한적 수준에서 관찰되고 있다 하더라도 내만역에서의 양식 강도를 현재 수준이상으로 높이는 것은 지양해야 할 것으로 판단되며, 꾸준한 모니터링을 통해 저서생태계의 질적 저하를 경계함으로써 거제한산만의 생물다양성 유지와 양식 생물의 건강한 생산을 유도해야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원의 “저서동물군집을 이용한 생태계 평가기법 연구(RP-2009-ME-054)”의 일환으로 수행되었으며, 본 논문의 세세한 부분까지 검토해 주시고 좋은 의견을 주신 심사위원님들께 감사드립니다.

참고문헌

- 김종화, 장선덕, 1985. 거제만의 해수교환. 한국수산학회지, **18**(2): 101-108.
- 박종수, 김형철, 최우정, 이원찬, 박정길, 2002a. 굴 양식수역의 환경용량 산정 I. 생태계 모델을 이용한 거제·한산만의 굴 먹이 공급량 추정. 한국수산학회지, **35**(4): 395-407.
- 박종수, 김형철, 최우정, 이원찬, 김동명, 구준호, 박정길, 2002b. 굴 양식수역의 환경용량 산정 II. 거제·한산만의 환경용량. 한국수산학회지, **35**(4): 408-416.
- 박홍식, 임현식, 홍재상, 2000a. 천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시·공간적 양상. 한국수산학회지, **33**(3): 262-271.
- 박홍식, 최진우, 이형근, 2000b. 통영 인근 가두리 양식장 지역의 저서동물군집구조. 한국수산학회지, **33**(1): 1-8.
- 백상규, 강래선, 전재욱, 이재학, 윤성규, 2007. 동해 후포주변 사질조하대에 서식하는 대형저서동물군집의 분포특성. Ocean and Polar Res., **29**(2): 123-134.
- 백상규, 윤성규, 2000. 진해만 주변 해역의 대형저서동물 군집구조. 한국수산학회지, **33**(6): 572-580.
- 윤상필, 정래홍, 김연정, 김성수, 이재성, 박종수, 이원찬, 최우정, 2007. 가막만의 저서환경과 다모류군집 특성. 한국해양학회지-바다, **12**(4): 287-304.
- 윤상필, 정래홍, 김연정, 김성길, 최민규, 이원찬, 오현택, 홍석진, 2009. 울산만의 저서환경 구배에 따른 저서동물군집 구조. 한국해양학회지-바다, **14**(2): 102-117.
- 윤성규, 백상규, 2001. 가덕도 주변해역 대형저서동물군집 구조의 특성. 한국수산학회지, **34**(5): 493-501.
- 이형근, 이재학, 유옥환, 김종관, 2005. 낙동강 하구역 주변 대형저서동물 군집의 공간 특성. Ocean and Polar Res., **27**(2): 135-148.
- 임경훈, 신현출, 윤성명, 고철환, 2007. 진해만 대형 저서동물군집 분석을 통한 저서환경 평가. 한국해양학회지-바다, **12**(1): 9-23.
- 임현식, 박경양, 1999. 반폐쇄적인 영산강 하구역 조하대 연성저질의 저서동물 군집. 한국수산학회지, **32**(3): 320-332.
- 임현식, 이재학, 최진우, 제종길, 1995. 영종도 주변해역의 저서동물 군집. 한국수산학회지, **28**(5): 635-648.
- 임현식, 최진우, 2001. 남해안 소리도 주변 연성저질 해역의 저서동물 분포. 한국수산학회지, **34**(3): 225-237.
- 임현식, 홍재상, 2002. 법성포 외딴천 하구역의 염분과 퇴적환경에 따른 대형저서동물의 공간분포. 한국해양학회지-바다, **7**(1): 8-19.
- 정래홍, 윤상필, 권정노, 이재성, 이원찬, 구준호, 김연정, 오현택, 홍석진, 박성은, 2007. 해상 가두리 양식이 저서 다모류군집에 미치는 영향. 한국해양학회지-바다, **12**(3): 159-169.
- 정래홍, 임현식, 김성수, 박종수, 전경암, 이영식, 이영식, 이재성, 김귀영, 고우진, 2002. 남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구. 한국해양학회지-바다, **7**(4): 235-246.
- 정래홍, 홍재상, 이재학, 1997. 광양 제철소 건설을 위한 매립과 준설공사 기간중 저서 다모류 군집의 공간 및 계절 변화. 한국수산학회지, **30**(5): 730-743.
- 조창환, 김용술, 1977. 굴 양식장의 미세환경에 관한 연구 1. 거제만의 양식장밀도 및 부영양화에 관하여. 한국수산학회지, **10**(4): 259-265.
- 조창환, 김용술, 1978. 굴 양식장의 환경에 관한 연구 - 충무부근 양식장의 저질에 관하여. 한국수산학회지, **11**(4): 243-247.
- 최우정, 전영열, 박정흠, 박영철, 1997. 한산-거제만의 환경특성이 양식 굴의 비만에 미치는 영향. 한국수산학회지, **30**(5): 794-803.
- 최진우, 유옥환, 이우진, 2003. 광양만에 서식하는 대형저서동물의 하계 공간분포양상. 한국해양학회지-바다, **8**(1): 14-28.
- 해양수산부, 2005. 해양환경공정시험방법. 389pp.
- 홍재상, 이재학, 1983. 마산만의 해양오염이 저서동물군집에 미치는 영향. 한국해양학회지, **18**(2): 169-179.
- Bang, K.S., 1967. Studies on the quantity and composition of the microplankton in a Bay of Han San. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, **1**: 119-130.

- Bae, G.M. and P.A. Bae, 1972. Studies on suspended culture of oyster, *Crassostrea gigas*, in the Korean coastal (I) on the growth rate of oyster in growing area. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, **9**: 71–84.
- Bae, P.A., J.R. Kim, P.A. Kang and Y. Kim, 1976. Studies on suspended culture of oyster, *Crassostrea gigas*, in the Korean coastal (III) on the growth rate of oyster depending on the environmental factors in each growing area. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, **15**: 73–81.
- Bae, P.A., C.K. Pyen, C.S. Ko, Y. Kim and P.A. Kang, 1978. Studies on suspended culture of oyster, *Crassostrea gigas*, in the Korean coastal (IV) on the environmental factors of oyster culturing farms and the growth rate of oysters. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, **20**: 109–111.
- Bilyard, G.R., 1987. The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. Mar. Pollut. Bull., **18**: 581–585.
- Cardoso, P.G., M. Bankovic, D. Raffaelli and M.A. Pardal, 2007. Polychaete assemblages as indicators of habitat recovery in a temperate estuary under eutrophication. Est. Coast. Shelf Sci., **71**: 301–308.
- Castel, J., J.P. Labouge, V. Escaravage, I. Auby and M.E. Garcia, 1989. Influence of seagrass and oyster parks on the abundance and biomass patterns of meio- and macrobenthos in tidal flats. Est. Coast. Shelf Sci., **28**: 71–85.
- Chintiroglou, C.C., C. Antoniadou, A. Baxevanis, P. Damianidis, P. Karalis and D. Vafidis, 2004. Peracarida populations of hard substrate assemblages in ports of the NW Aegean Sea (eastern Mediterranean). Helgol. Mar. Res., **58**: 54–61.
- Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Aust. J. Ecol., **18**: 117–143.
- Clarke, K.R. and M. Ainsworth, 1993. A method for linking multivariate community structure to environmental variables. Mar. Ecol. Prog. Ser., **92**: 205–209.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 1994. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, Natural Environment Research Council, Plymouth Marine Laboratory, UK, 144 pp.
- Cloern, J.E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Mar. Ecol. Prog. Ser., **210**: 223–253.
- Conlan, K.E., S.L. Kim, H.S. Lenihan and J.S. Oliver, 2004. Benthic changes during 10 years organic enrichment by McMurdo Station, Antarctica. Mar. Pollut. Bull., **49**: 43–60.
- Crawford, C.M., C.K.A. MacLeod, and L.M. Mitchell, 2003. Effects of shellfish farming on the benthic environment. Aquaculture **224**: 117–140.
- Dahlback, B. and L.A.H. Gunnarsson, 1981. Sedimentation and sulfate reduction under a mussel culture. Mar. Biol., **63**: 269–275.
- Diaz, R.J. and R. Rosenberg, 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioral responses of benthic macrofauna. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., **33**: 245–303.
- Diaz, R.J. and R. Rosenberg, 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. Science, **321**: 926–929.
- Díaz-Castañeda, V. and L.H. Harris, 2004. Biodiversity and structure of the polychaete fauna from soft bottoms of Bahía Todos Santos, Baja California, Mexico. Deep-Sea Res Part II, **51**: 827–847.
- Edgar, G.J., C.K. Macleod, R.B. Mawbey and D. Shields, 2005. Broad-scale effects of marine salmonid aquaculture on macrobenthos and sediment environment in southeastern Tasmania. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **327**: 70–90.
- Etter, R.J. and Grassle, J.F., 1992. Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. Nature, **360**: 576–578.
- Frouin, P., 2000. Effects of anthropogenic disturbances of tropical soft-bottom benthic communities. Mar. Ecol. Prog. Ser., **194**: 39–53.
- Grant, J., A. Hatcher, D.B. Scott, P. Pocklington, C.T. Schafer and G.V. Winters, 1995. A multidisciplinary approach to evaluating impacts of shellfish aquaculture on benthic communities. Estuaries, **18**: 124–144.
- Gray, J.S., R.S. Wu and Y.Y. Or, 2002. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. Mar. Ecol. Prog. Ser., **238**: 249–279.
- Hong, J.S., 1983. Three tube-building amphipods from experimental plates in Deukryang Bay in the southern coast of Korea. Korean J. Zool., **26**(2): 135–153.
- Huston, M., 1979. A general hypothesis of species diversity. Am. Nat., **113**: 91–101.
- Kang, C.K., P.Y. Lee, J.S. Park and P.J. Kim, 1993. On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. Bull. Korean Fish. Soc., **26**(6): 557–566.
- Karakassis I, E. Hatziyanni, M. Tsapakis and W. Plaiti, 1999. Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. Mar. Ecol. Prog. Ser., **184**: 205–218.
- Kaspar, H.F., P.A. Gillespie, I.C. Boyer and A.L. MacKenzie, 1985. Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepura Sound, Marlborough Sound, New Zealand. Mar. Biol., **85**: 127–136.
- Kim, C.B., 1991. A systematic study of marine gammaridean amphipoda from Korea. Ph. D. Thesis, Seoul National Univ., Seoul, Korea. 443 pp.
- Lim, H.S., R.J. Diaz, J.S. Hong and L.C. Schaffner, 2006. Hypoxia and benthic community recovery in Korean coastal waters. Mar. Pollut. Bull., **52**: 1517–1526.
- Mallet, A.L., C.E. Carver and T. Landry, 2006. Impact of suspended and off-bottom Eastern oyster culture on the benthic environment in eastern Canada. Aquaculture, **255**: 362–373.
- Nickell, L.A., K.D. Black, D.J. Hughes, J. Overnell, T. Brand, T.D. Nickell, E. Breyer and M.S. Harvey, 2003. Bioturbation, sediment fluxes and benthic community structure around a salmon cage farm in Loch Creran, Scotland. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **285–286**: 221–233.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg, 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., **16**: 229–311.
- Rosenberg, R. and H.C. Nilsson, 2005. Deterioration of soft-bottom benthos along the Swedish Skagerrak coast. J. Sea Res., **54**: 231–242.
- Samuelson, G.M., 2001. Polychaetes as indicators of environmental disturbance on subarctic tidal flats, Iqaluit, Baffin Island, Nunavut Territory. Mar. Pollut. Bull., **42**: 733–741.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. The mathematical theory of

- communications. University of Illinois Press, Urbana, 125pp.
- Snelgrove, P.V.R., 1998. The biodiversity of macrofaunal organisms in marine sediments. *Biodiversity Conserv.*, **7**: 1123–1132.
- Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman, 1994. Animal-sediment relationships revised: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **32**: 111–177.
- Stenton-Dozey, J.M.E., T. Probyn and A. Busby, 2001. Impact of mussel (*Mytilus galloprovincialis*) raft-culture on benthic macrofauna, in situ oxygen uptake, and nutrient fluxes in Saldahana Bay, South Africa. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **58**: 1021–1031.
- Tenore, K.R., L.F. Boyer, R.M. Cal, J. Corral, C. Garcia-Fernandez, N. Gonzalez, E. Gonzalez-Gurriaran, R.B. Hanso, J. Oglesias, M. Krom, E. Lopez-Jamar, J. McClain, M.M. Pamatmat, A. Perez, D.C. Rhoads, G. De Santiago, J. Tietjen, J. Westrich and H.L. Windom, 1982. Coastal upwelling in the Rias Bajas, NW Spain: contrasting the benthic regimes of the Rias de Arosa and de Muros. *J. Mar. Res.*, **40**: 701–772.
- Thorne, A.J., 1998. Alterations in the structure of macrobenthic communities related to the culture of oysters (*Crassostrea gigas*). *Zoology, University of Tasmania, Hobart*, p. 102.
- Warwick, R.M., 1993. Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Austral. J. Ecol.*, **18**: 63–80.
- Yokoyama, H., M. Inoue and K. Abo, 2004. Estimation of the assimilative capacity of fish-farm environments based on the current velocity measured by plaster balls. *Aquaculture*, **240**: 233–247.
- Yoon, S.P., 2006. The eelgrass, *Zostera marina* and its associated macroinvertebrate communities in Gwangyang Bay, Korea. Ph. D. Thesis, Univ. Inha, Incheon, Korea. 237 pp.

2009년 8월 27일 원고접수

2009년 10월 22일 수정본 채택

담당편집위원: 신현출