

## 부산항 주변 저서다모류군집의 시·공간 분포와 저서환경의 특징

정래홍<sup>1</sup> · 윤상필<sup>2,\*</sup> · 김연정<sup>1</sup> · 최민규<sup>1</sup> · 이원찬<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립수산과학원 어장환경과

<sup>2</sup>국립수산과학원 갯벌연구소

## Spatio-temporal Distributions of Polychaete Communities and Benthic Environmental Characteristics of the Harbor Area of Busan Port, Korea

RAE-HONG JUNG<sup>1</sup>, SANG-PIL YOON<sup>2,\*</sup>, YOUN-JUNG KIM<sup>1</sup>, MIN-KYU CHOI<sup>1</sup> AND WON-CHAN LEE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Marine Environment Research Division, National Fisheries Research & Development Institute(NFRDI), Busan 619-705, Korea

<sup>2</sup>Coastal Weland Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute(NFRDI), Gusan 573-882, Korea

본 연구는 부산항 주변 저서생태계의 상태를 파악하기 위해 수행되었으며, 이를 위해 저서다모류군집의 시·공간 분포 패턴과 저서환경요인에 대한 조사를 실시하였다. 현장 조사는 북항, 남항 그리고 감천항 내·외측에 선정된 15 개 정점에서 2007년 2월부터 12월 사이에 계절별로 진행되었다. 부산항 주변 저서환경요인 중 수온, 염분, 퇴적물 특성 등은 전반적으로 균일한 특성을 보였으나, 총유기탄소(TOC), 산취발성황화물(AVS), coprostanol과 같은 유기물 함량 및 오염과 관련된 변수들은 부산항의 내·외측에서 뚜렷한 차이를 보였다. 저서다모류군집의 총 종수는 96 종, 평균 개체밀도는 1,814 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 출현종수는 대체로 외측에서, 개체밀도는 내측에서 높았다. 주요 우점종은 *Aphelochaeta monilaris*, *Magelona japonica*, *Pseudopolydora paucibranchiata* 등으로 다수의 유기물 오염지표종들이 포함되어 있었다. 다변량분석 결과, 전체 군집은 부산항의 내측군집과 외측군집으로 구분되었으며, 계절성은 큰 영향을 미치지 못하였다. 전체군집구조와 가장 밀접한 상관성을 보인 환경요인은 coprostanol과 산취발성황화물이었다. 생물과 환경 두 가지 측면 모두에서 부산항 내측의 유기물 오염이 의심되었으며, 그러한 현상은 북항 내측에서 특히 뚜렷하였다.

This study was conducted to investigate the benthic condition around Busan Port by analysing spatio-temporal distribution pattern of polychaete community and some benthic environmental factors. Field survey was seasonally carried out at 15 stations covering in and outside of Busan Port from February to December, 2007. Water temperature, salinity and the type of surface sediment showed little changes among the stations, but factors related to organic enrichment such as TOC, AVS, coprostanol showed an obvious contrast, especially between in and outside of Busan Port. A total of 96 species occurred and mean density was 1,814 ind./m<sup>2</sup>. Species richness was higher at outer port than inner port, but density was higher at inner port. Dominant species were *Aphelochaeta monilaris*, *Magelona japonica*, *Pseudopolydora paucibranchiata*, etc. and many of them were typical species of organically enriched area. From the multivariate analyses, the whole study area was composed of two distinct polychaete communities located at the inside and outside of the port, and seasonal changes didn't have any influential effects on the structure. Coprostanol and AVS, indicators of organically enriched condition, well explained the community structures of polychaete worms in the vicinity of Busan Port. In this context, the innermost area of North Harbor was in a highly enriched state.

**Keywords:** Polychaete, Dominant species, Organic enrichment, Indicators, coprostanol, Busan Port

### 서론

도시화, 산업화된 지역에 인접한 내만, 하구역, 항만 등의 해역은 외해에 비해 오염물질, 영양염류, 유기물 등의 유입량이 많고, 반폐쇄적인 지형적 특성에 의해 해수의 순환이 제한되는 경우가 많아 환경의 질적 저하가 빈번하게 발생한다(e.g. 박 등, 1995; 조

등, 2000; 최 등, 2005a, b; Yoon *et al.*, 2009a). 특히, 영양염류와 유기물 과잉 유입에 따른 수층의 부영양화와 퇴적층의 유기물 오염은 최근 전 세계 연안역에서 관찰되는 가장 대표적인 오염현상 중의 하나이다(Diaz and Rosenberg, 1995; Cloern, 2001). 더욱이 유기물 오염 해역에서 자연적·인위적으로 존재하는 해수 소통의 제한은 계절적 또는 지속적인 빈산소수괴의 형성과 그에 따른 무생물화 현상을 유발하기도 한다(Gray *et al.*, 2002; Yoon *et al.*, 2007).

\*Corresponding author: spyoon@nfrdi.go.kr

1876년에 개항한 부산항은 1910년 제1부두 축조를 시작으로 단계별 개발공사를 거쳐 현재 세계 제 5위의 컨테이너항만의 위치에 오른 국내 최대의 무역항이다. 그러나 환경적 측면에서는 항만의 확장과 유지에 따른 각종 매립과 준설공사, 주기적인 항로 준설, 선박 및 육상 시설물로 부터의 각종 오염물질 유입, 동천 및 보수천 등의 하천으로부터의 생활하수 유입 등으로 인해 현재, 시화호, 광양만, 마산만 등과 함께 특별관리해역으로 지정되어 있는 상태이다. COD 기준 부산항 내측의 수질은 기장을 비롯한 부산 연안이 II등급인데 반해 III등급으로 상대적으로 오염도가 높은 상태이다(국토해양부, 2008). 표층퇴적물의 COD 농도도 남항 내측과 북항 내측의 경우 오염퇴적물 기준(日本水産資源保護協會, 1972)을 초과하고 있으며, 산화발생황화물의 농도는 기준치의 약 20배를 초과하여 유기물 오염도가 심각한 상황인 것으로 보고되고 있다(박 등, 1995).

현재까지 부산항 주변에서 수행된 연구 가운데 수층 및 퇴적층의 환경과 관련된 연구는 부산항 주변에 산재된 다양한 교란요인에도 불구하고 극히 한정되어 있다. 수층의 부영양화 여부 진단에 동식물플랑크톤 분포 및 종조성, 군집구조 등을 활용한 연구(민, 1977; 홍 등, 1994), 수층과 퇴적층의 오염지표가 될 수 있는 환경변수를 측정하여 부산항 주변 환경을 진단한 박 등(1995)의 연구, 인천항과 부산항의 저서동물군집구조 및 저서오염지수의 비교를 시도한 서 등(2009) 등의 연구로 제한되어 다각적으로 변화하는 환경에 대한 현황 파악에는 많은 부족함이 있다.

최근 인위적 교란과 연관된 저서생태계 모니터링에 널리 활용되고 있는 대형저서동물은 제한된 이동성과 비교적 긴 생활사로 인해 환경변화에 직접적으로 노출될 가능성이 상대적으로 크며, 노출 이후 군집 차원에서의 반응이 명확하고 일관된 것이 특징이다(Bilyard, 1987; Warwick, 1993). 특히, 유기물오염과 관련하여 Pearson and Rosenberg(1978)는 유기물 오염단계에 따른 저서동물군집의 반응을 정리·종합한 군집천이모델을 제시한 바 있으며, 현재까지 다수의 연구들에 의해 그 유효성이 검증되어오고 있다(Brown *et al.*, 1987; Weston, 1990; Beukema, 1991; Simboursa *et al.*, 1995).

유기물 오염의 초기 단계에서 저서동물군집은 종풍도, 개체수, 생체량 등의 증가를 보이며, 이러한 초기 반응은 유기물 오염이 해양환경 내에서 다른 인위적 스트레스 요인들과 차별화되는 부분이기도 하다(Pearson and Rosenberg, 1978; Warwick, 1986; Frouin, 2000; Conlan *et al.*, 2004). 그러나 유기물 오염의 경우에도 그 양이 일정 수준을 넘어서게 되면 역시 종풍도의 감소와 일부 종에 의한 우점도 증가가 발생하는데, 이는 스트레스에 대한 구성원의 내성정도 또는 선호도의 차이 그리고 퇴적물 구성 변화에 따른 군집 영양구조의 단순화에 기인한다. 결과적으로 기능적 구조가 빈약해진 군집은 불안정한 특성을 보이며, 유기물 오염 심화와 저층 환경의 환원화로 서식환경이 추가적으로 악화될 경우 무생물화 단계에 이르기도 한다(Pearson and Rosenberg, 1978; Diaz and Rosenberge, 1995; Diaz, 2001; Gray *et al.*, 2002; Cardoso *et al.*, 2007).

유기물 오염과 관련된 환경 연구에서 전술된 군집 차원에서의 일관된 반응 외에 활용할 수 있는 또 다른 저서동물군집의 특성은 유기물 오염 지시종의 존재이다. 국내 연안은 전 세계 다른 연

안과 마찬가지로 해안도시와 임해산업단지의 발달, 연안 양식의 산업화 등에 따라 다수의 내만과 하구역 등에서 다양한 정도의 유기물 오염이 보고되어오고 있으며, 이와 관련된 저서동물 군집연구를 통해 대표적인 유기물 오염 지시종들이 밝혀져 왔다(e.g. Hong and Lee, 1983; 신과 고, 1998; 박 등, 2000b; 임과 최, 2001; 최 등, 2003; Yoon *et al.*, 2009a). 특히, 정 등(2007)은 대표적 유기물 오염 해역인 가두리 양식장 주변해역을 거리에 따라 조사함으로써 'highly enriched sediment'로부터 'intermediately enriched sediment'까지 오염정도에 따라 변화하는 대표적 오염지시종에 대해 기술한 바 있다.

본 연구는 저서동물군집 가운데 종풍도와 개체밀도 비중이 높고 오염에 대한 다양한 내성정도를 가짐으로써 환경교란 연구에 활용도가 특히 높은 저서다모류군집을 대상으로 부산항의 내측과 외측에서 그들의 시·공간 분포 특성을 파악하고 이를 주요 저서환경요인과 상호 비교함으로써 부산항 인근 저서환경의 상태, 특히 유기물 오염정도의 현재 상태를 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 저서다모류 채집 및 저서환경측정

부산항 주변 해역 저서다모류군집의 시·공간적 분포 양상 및 저서환경과의 연관성을 파악하고자 북항, 남항, 감천항 등 3개 항의 내측과 외측에 총 15개의 정점을 선정하고 2007년 2월부터 12월 까지 계절 조사를 수행하였다(Fig. 1). 퇴적물 시료는 표면적 0.07 m<sup>2</sup>의 van Veen grab을 사용하여 정점 당 3회 반복 채집하였으며, 이 가운데 2회 분의 채집시료는 저서다모류군집 분석용으로, 그리고 1회 분의 채집 시료는 표층퇴적물의 지화학적 특성 분석용으로 사용하였다.

저층수의 특성에 대한 항목으로서는 수온, 염분 등이 포함되었으며, 수질측정기(CTD, SeaBird-19)로 현장에서 측정하였다. 표층

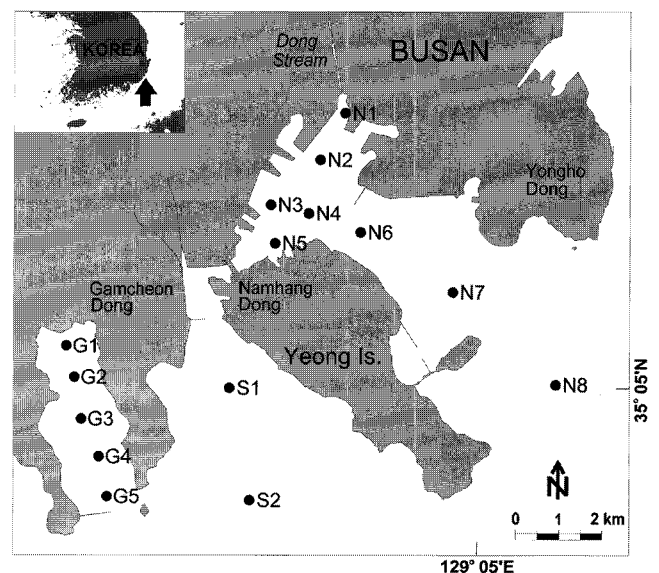


Fig. 1. Map of study area and 15 sampling stations in Busan Port. Initials of station labels indicate the name of specific ports belonging to Busan Port. N: Northern port, S: Southern port, G: Gamcheon port.

퇴적물 특성에 대해서는 평균입도(Mz; Mean Grain Size) 및 분급도, 산화발성황화물(AVS; Acid Volatile Sulfide), 총유기탄소(TOC; Total Organic Carbon) 그리고 하수오염 유무 판단에 활용되는 fecal sterol 성분 중 coprostanol 등의 항목을 측정하였다. 각 환경 변수들에 대한 측정은 매 계절마다 이루어졌으나 일부 항목(입도 등의 퇴적물 조직 특성 변수 및 coprostanol)은 2007년 2월에만 측정되었다.

표층퇴적물 시료의 평균입도와 산화발성황화물에 대한 분석은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2005)에 준하여 시행하였다. 총유기탄소 측정은 냉동 건조시킨 퇴적물 시료 0.5 g을 유리 vial에 넣고 1 N HCl 10 mL를 첨가하여 탄산염을 제거하고, 70 °C에서 24시간 동안 수분과 잔류염소를 날려 보냈다. 전처리된 시료는 105 °C에서 2시간 건조시키고, 상온에서 2시간 방치한 후 주석박막으로 3~5 mg의 시료를 맡아 CHN 원소분석기(Perkin Elmer, model 2400)로 측정하였다. coprostanol 농도 측정을 위한 시료의 전처리 및 분석방법은 각각 Choi *et al.*(2002) 및 최 등(2005b)과 동일한 방식으로 수행하였다.

저서다모류군집 분석을 위해 채집된 퇴적물 시료는 선상에서 망목 크기 1.0 mm 체에 걸러 퇴적물을 제거하였으며, 잔존물을 현장에서 10% 중성포르말린으로 고정시켜 실험실로 운반하였다. 실험실에서 분류군별로 선별작업을 거친 후 저서다모류를 대상으로 종 수준까지 동정하였으며, 완전한 개체나 머리가 있는 경우만을 계수하였다. 측정된 개체수는 단위면적 당(m<sup>2</sup>)의 값으로 환산하여 분석에 이용하였다.

### 자료 분석

저서동물군집의 구조를 파악하기 위한 단변량 변수로서 종수, 개체수 그리고 종다양도지수(H') (Shannon and Weaver, 1963), 출현종지수(Whittaker's d; Whittaker, 1975) 등을 계산하였다. 군집 구조의 시-공간적 변화를 파악하고 케이스 간 유사도에 의해 군집을 구분하기 위하여 제곱근 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 수행하였다(Clarke and Warwick, 2001). 집괴분석 시 SIMPROF (similarity profiles) test를 적용하여 결과 해석에 유의성을 기하였다(Clarke *et al.*, 2008). 또한, 선행된 다변량 분석 결과에서 구분된 정점군들의 대표종을 찾아내기 위해 SIMPER(similarity percentages) 분석을 적용하고 그 결과를 MDS의 2차원 평면에 투영하였다(Clarke, 1993). 생물군집과 환경요인의 상호 연관성 추정을 위한 방법으로서 BIO-ENV procedure (Clarke and Ainsworth, 1993)를 활용하였다. 이때 환경변수의 거리행렬은 normalized Euclidean distance로 산출하였으며, 생물자료의 유사도 행렬과 환경자료의 거리행렬 사이의 상관성은 Spearman rank correlation coefficient( $\rho$ )로 계산하였다. 모든 통계분석은 PRIMER 패키지(ver. 6.1.11)를 이용하여 수행하였다.

## 결 과

### 저서환경 특성

부산항 조사 정점의 수심은 가장 낮은 N6에서 7 m, 가장 깊은

N8에서 33 m이었으며, 대부분의 정점은 10 m~20 m 사이의 수심을 보였다(Table 1). 항 내·외측 수심 분포에 있어 외측으로의 선형적 증감 양상은 없었다. 저층 수온의 계절변화 범위는 11.6 °C~24.8 °C이었으며, 항 내·외측에서의 계절변화 폭에는 큰 차이가 없었다. 공간적으로는 북항, 남항, 감천항의 순서로 평균 수온이 다소 높았다. 염분은 대부분의 정점에서 34 psu 전후의 값을 보였으며, 계절적으로 1 psu 이상의 차이를 보이는 정점은 거의 없었다. 표층퇴적물의 입도는 6.0  $\phi$ ~7.4  $\phi$  범위로 비교적 균일한 특성을 보였으며, 남항 외측에는 조립실트질이, 그리고 북항과 감천항에는 중립실트질이 분포하였다. 표층퇴적물의 분급도는 1.6  $\phi$ ~1.9  $\phi$ 의 범위로 모두 불량한 분급(poorly sorted)의 범주에 포함되었다. 표층퇴적물의 총유기탄소(TOC)는 0.3%~3.5%의 범위로 평균적으로 2월에 1.4%, 5월에 1.5%, 8월에 1.8% 그리고 12월에 1.6%로 8월에 다소 높았다. 조사정점 중 지속적으로 2%이상의 높은 값을 보인 곳은 북항의 N1, N5 그리고 감천항의 G1이었다. 반면, 남항 외측은 연중 가장 낮은 값을 보였다. 산화발성황화물(AVS)의 범위는 0.00 mg/g dry wt.~4.86 mg/g dry wt.로 시-공간적인 변화가 매우 컸다. 계절 평균은 2월에 0.15 mg/g dry wt., 5월에 0.21 mg/g dry wt., 8월에 0.74 mg/g dry wt., 그리고 12월에 0.93 mg/g dry wt.으로 계속 증가하는 양상이었으며, 0.2 mg/g dry wt. 이하의 값은 2월이 유일하였다. 공간적으로 가장 높은 농도를 보인 정점은 북항의 N1이었으며, N1과 함께 N3, N5의 농도는 거의 연중 0.2 mg/g dry wt. 이상이었다. coprostanol의 농도는 10 ng/g dry wt. 이하이면 하수오염 영향이 없는 지역이라 할 수 있는데(Hatcher and McCillivary, 1979), 본 연구지역에서는 모든 정점에서 이 값을 초과하였다. 특히, N1에서의 값은 11,684 ng/g dry wt.로 극히 높았으며, N3-N5에서도 1,000 ng/g dry wt. 이상의 값이 관찰되었다.

### 저서다모류군집의 종조성

부산항 주변 15개 정점에서 사계절 동안 채집된 저서다모류는 총 96종이었다. 계절에 따라서는 2월에 63종, 5월에 61종, 8월에 77종 그리고 12월에 71종으로 8월에 가장 많은 종이 출현하였다. 세부지역별로 사계절동안 채집된 총 종수를 살펴보면, 북항 내외측에서 정점에 따라 10종 - 45종이 출현하였으며, N1에서 가장 적었고 N4에서 가장 많았다. 항 외측에서만 채집이 이루어진 남항에서는 51종(S2) - 61종(S1)의 비교적 많은 종이 출현하였다. 감천항에서는 정점에 따라 25종 - 42종이 출현하였으며, G3에서 가장 많았고 G1과 G5에서 상대적으로 적었다.

정점 당 출현종수(종밀도)의 범위는 2종/0.14 m<sup>2</sup>~42종/0.14 m<sup>2</sup>이었으며, 계절평균은 19종/0.14 m<sup>2</sup>±9종/0.14 m<sup>2</sup>으로 5월에 가장 낮고 12월에 가장 높았다(Fig. 2). 2월 평균은 19종/0.14 m<sup>2</sup>±9종/0.14 m<sup>2</sup>으로 최저값은 N1의 3종/0.14 m<sup>2</sup>이었고 최대값은 S1의 42종/0.14 m<sup>2</sup>이었다. 5월 평균은 16종/0.14 m<sup>2</sup>±6종/0.14 m<sup>2</sup>으로 2월에 비해 다소 감소하였으며, 조사 정점 가운데 상대적으로 종밀도 감소가 컸던 정점은 S1과 N7이었다. 5월의 최저값은 N1의 3종/0.14 m<sup>2</sup>이었고 최대값은 S2의 26종/0.14 m<sup>2</sup>이었다. 8월 평균은 20종/0.14 m<sup>2</sup>±10종/0.14 m<sup>2</sup>으로 5월에 비해 증가하였으며, 종밀도 증가는 북항의 N5와 N8을 제외한 전 정점에서 관찰되었다. 8월 최저값은 N8의 3종/0.14 m<sup>2</sup>이었고 최대값은 S1의 36종/0.14 m<sup>2</sup>이었고

**Table 1.** Physico-chemical parameters showing the benthic environmental conditions of sampling stations in the vicinity of Busan Port

Station	Depth (m)	Water temp. (°C)	Salinity (psu)	Mean grain size ( $\phi$ )	Sort ( $\phi$ )	TOC (%)	AVS (mg/g dry wt.)	Coprostanol (ng/g dry wt.)
N1	13	16.6 (11.6 - 21.6)	34.2 (33.9 - 34.5)	7.1	1.6	2.7 (1.9 - 3.5)	2.85 (0.68 - 4.86)	11,684
N2	15	16.0 (11.6 - 20.4)	33.8 (33.4 - 34.2)	7.1	1.6	0.9 (0.3 - 1.5)	0.12 (0.00 - 0.45)	99
N3	11	16.9 (11.7 - 22.0)	33.6 (33.5 - 33.8)	7.4	1.6	2.0 (1.8 - 2.1)	0.59 (0.26 - 1.34)	1,237
N4	8	17.4 (11.8 - 23.0)	33.6 (33.6 - 33.6)	7.3	1.6	1.4 (0.6 - 1.8)	0.14 (0.03 - 0.41)	1,080
N5	12	16.5 (12.0 - 21.0)	33.8 (33.6 - 34.1)	7.2	1.7	2.6 (2.1 - 2.9)	1.74 (0.14 - 4.35)	1,215
N6	7	16.8 (11.9 - 21.7)	33.8 (33.6 - 33.9)	7.1	1.6	1.2 (0.9 - 1.4)	0.21 (0.00 - 0.59)	429
N7	12	17.0 (12.7 - 21.3)	34.0 (33.9 - 34.0)	7.1	1.7	1.4 (1.1 - 1.5)	0.10 (0.00 - 0.17)	279
N8	33	17.2 (13.4 - 21.0)	34.8 (34.2 - 35.4)	7.3	1.6	1.4 (1.1 - 1.7)	0.19 (0.00 - 0.51)	31
S1	16	18.1 (13.4 - 22.8)	33.6 (32.9 - 34.3)	6.1	1.9	0.7 (0.6 - 0.8)	0.04 (0.00 - 0.08)	124
S2	19	17.8 (13.3 - 22.3)	33.8 (33.5 - 34.2)	6.0	1.9	0.9 (0.6 - 1.1)	0.07 (0.00 - 0.17)	122
G1	11	18.8 (12.9 - 24.6)	33.7 (33.4 - 34.1)	7.3	1.6	2.3 (2.2 - 2.4)	0.31 (0.11 - 0.7)	644
G2	13	18.1 (12.9 - 23.3)	33.9 (33.7 - 34.1)	7.4	1.6	1.8 (1.7 - 2.0)	0.40 (0.11 - 1.18)	464
G3	11	18.9 (12.9 - 24.8)	33.7 (33.4 - 34.1)	7.2	1.7	1.7 (1.5 - 2.1)	0.13 (0.04 - 0.23)	561
G4	10	19.0 (13.1 - 24.8)	33.7 (33.4 - 34.0)	7.1	1.7	1.5 (1.3 - 1.7)	0.32 (0.00 - 0.62)	361
G5	14	18.0 (13.1 - 22.9)	33.9 (33.8 - 34.0)	7.1	1.7	1.4 (1.4 - 1.5)	0.39 (0.05 - 1.01)	234

Measurements are expressed by mean and range (in parentheses).

다. 12월 평균은 22중/0.14 m<sup>2</sup>±9중/0.14 m<sup>2</sup>이었으며, 최저값은 N1의 2중/0.14 m<sup>2</sup>이었고 최대값은 S1의 39중/0.14 m<sup>2</sup>이었다. 종밀도의 공간분포 양상에서 연중 관찰된 현상은 남향 외측과 감천항의 G3, 북향의 N7에서 상대적으로 종밀도가 높았던 반면, 북향 내측의 N1에서 가장 낮은 종밀도가 관찰된 점이다. 한편, 연중 종밀도의 계절 변동이 가장 컸던 정점은 변동계수(coefficient of variation; CV)를 기준으로 N8(CV=0.59)이었으며 가장 작았던 정점은 G1(CV=0.15)이었다.

계절평균 개체밀도는 1,814개체/m<sup>2</sup>±1,623개체/m<sup>2</sup>로 2월에 가장 낮고 5월에 가장 높았다(Fig. 3). 2월 평균 개체밀도는 1,648 개체/m<sup>2</sup>±1,144개체/m<sup>2</sup>로 최저 밀도는 N1의 21개체/m<sup>2</sup>이었고 최대 밀도는 G1의 4,278개체/m<sup>2</sup>이었다. 월평균 이상의 값은 G1외에 S1, N3, N6, N7 등 5개 정점에서만 관찰되었다. 5월의 평균 개체밀도는 2,011개체/m<sup>2</sup>±2,017개체/m<sup>2</sup>로 2월에 비해 증가하였지만 이는 상대적으로 큰 표준편차로 알 수 있듯이 전반적 증가가 아닌 특정 정점(N1)에서 관찰된 밀도 급증에 기인한 바가 크다. 최저 밀도는 G5의 178개체/m<sup>2</sup>이었으며 최대 밀도는 N1의 7,286개체/m<sup>2</sup>

이었다. 월평균 이상의 밀도는 N1, N3, G3 등 3개 정점에서만 관찰되었다. 8월의 평균 개체밀도는 1,887개체/m<sup>2</sup>±2,024개체/m<sup>2</sup>로 정점 간 큰 편차를 보였으며, 5월에 비해 평균적으로 밀도가 낮았다. 밀도 감소는 주로 북향과 남향 정점들에서 관찰되었다. 최저 밀도는 N8의 35개체/m<sup>2</sup>이었고, 최대 밀도는 G3의 6,443개체/m<sup>2</sup>이었으며, G1에서도 유사한 수준의 높은 밀도가 관찰되었다. 월평균 이상의 밀도는 G1, G3, N2, N3 등 4개 정점에서만 관찰되었다. 12월의 평균 개체밀도는 1,709개체/m<sup>2</sup>±1,311개체/m<sup>2</sup>로 8월에 비해 다소 낮았으며, G1과 G3의 밀도 감소가 상대적으로 컸다. 최저 밀도는 N1의 121개체/m<sup>2</sup>이었고, 최대밀도는 G2의 4,049개체/m<sup>2</sup>이었다. 월평균 이상의 밀도를 보인 정점은 G2를 비롯해 총 8개 정점이었다. 전반적으로 저서다모류의 고밀도 분포는 향 외측 보다는 내측에서 주로 관찰되었지만 향 내측에서도 계절적으로 큰 변화가 있었다. 15개 정점 중 계절적 변화가 가장 컸던 정점은 북향 내측의 N1(CV=1.91)이었으며, 감천항의 G2(CV=0.88)도 다른 정점들에 비해 계절적 변화가 큰 편이었다. 반면 북향 외측의 N6(CV=0.13)은 가장 작은 계절변화를 보였다.

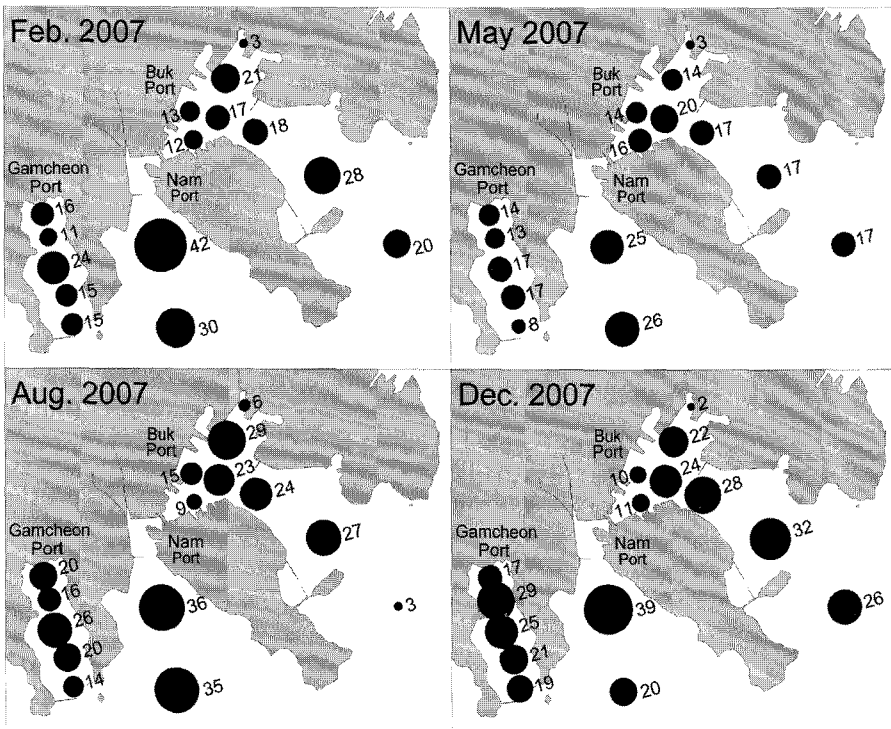


Fig. 2. Spatial distribution of the number of species in each sampling month. The size of circle linearly increases from the minimum to the maximum during the study period.

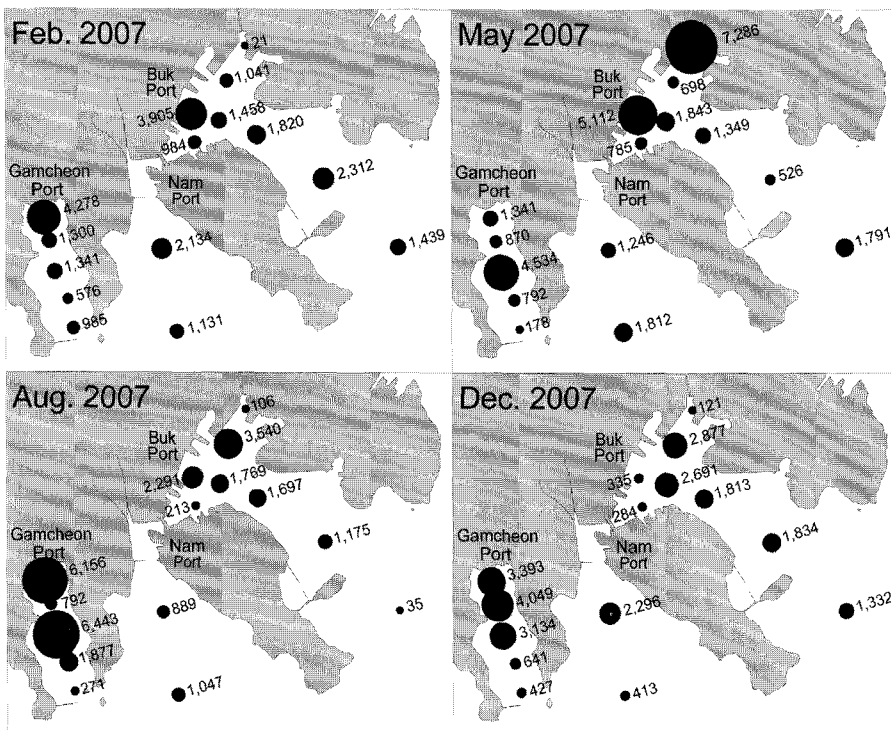


Fig. 3. Spatial distribution of polychaetes density (ind./m<sup>2</sup>) in each sampling month. The size of circles linearly increases from the minimum to the maximum during the study period.

계절평균 다양도는  $1.80 \pm 0.66$ 으로 낮은 편이었으며, 5월에 가장 낮고 12월에 가장 높았다(Fig. 4). 2월의 평균 다양도는  $1.79 \pm 0.72$ 이었으며, 최저 다양도는 N3의 0.53이었고, 최고 다양도는 S1의 3.27이었다. 5월의 평균 다양도는  $1.54 \pm 0.67$ 이었으며, 최저 다양도는 N1의 0.29이었고, 최고 다양도는 N7의 2.55이었다. N1외에도 N3와 G3에서 1 이하의 다양도가 관찰되었다. 8월의 평균 다양도는  $1.90 \pm 0.60$ 이었으며, 최저 다양도는 G1의 0.97이었고, 최고 다

양도는 S2의 3.07이었다. 12월의 평균 다양도는  $1.95 \pm 0.66$ 이었으며, 최저 다양도는 N1의 0.22이었고, 최고 다양도는 S1의 2.77이었다. 전반적으로 다양도의 공간분포는 각 항의 외측 또는 외측과 가까운 정점에서 상대적으로 높은 값을 보였지만 예외적으로 N8은 대부분의 계절에 월평균 이하의 값을 나타내었다. 또한 감천항의 G3도 2월의 제외하면 인접 정점에 비해 지속적으로 낮은 값을 보였다. 한편, 조사 정점들 가운데 계절적 변화가 컸던 정점은

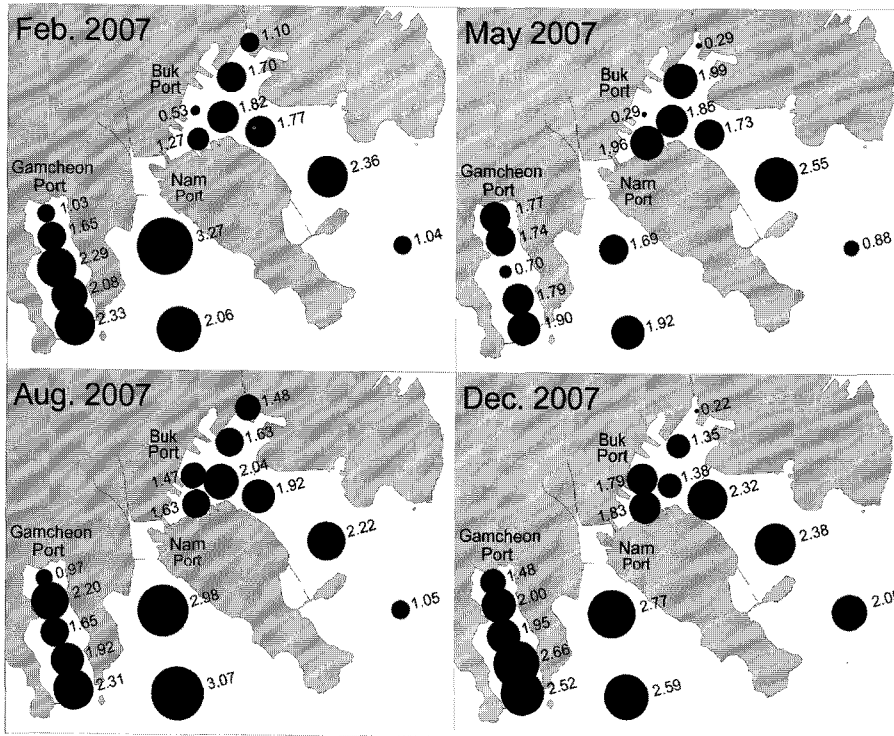


Fig. 4. Spatial distribution of diversity (H') in each sampling month. The size of circles linearly increases from the minimum to the maximum during the study period.

N1(CV=0.80)이었으며, N3(CV=0.71)도 비교적 큰 계절 변화를 나타내었다. 반면, 다양도의 계절 변화가 가장 작았던 정점은 N7(CV=0.06)이었다.

**우점종의 시·공간분포**

총 96종의 저서다모류 중 총 개체수에 대한 비율이 상대적으로 높은 8개 종을 우점종으로 선정하였다(Fig. 5). 각 우점종들이 총 개체수에 대해 차지하는 개별 점유율은 최소 2.3% 이상이었으며, 8개 우점종의 점유율 합은 79.1%이었다. 제 1 우점종은 *Aphelocheata monilaris*로 점유율은 38.7%로 매우 높았으며, 시·공간적 출현빈도도 73.3%로 높은 편이었다. 평균 개체밀도는 702 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 최대밀도는 5월에 N3에서 관찰된 4,871 개체/m<sup>2</sup>이었다. 공간상의 주 분포역은 감천항 내측과 북항 내측이었으며, 계절에 따라 G1, G3, N3에서 특히 높은 밀도를 보였다. 계절평균밀도는 653 개체/m<sup>2</sup>~775 개체/m<sup>2</sup>로 큰 차이는 없었지만 대체로 5월과 8월의 밀도가 상대적으로 높았다. 제 2 우점종은 *Magelona japonica*로 점유율은 11.4%로 높은 편이었으며, 출현빈도도 85.0%로 매우 높았다. 평균 개체밀도는 207 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 최대밀도는 5월에 N8에서 관찰된 1,450 개체/m<sup>2</sup>이었다. 공간적으로 각 항의 내측보다는 외측에서 상대적으로 밀도가 높았으며, 계절에 따라 S1, S2, N6~N8에서 급격한 밀도 상승이 관찰되었다. 계절평균밀도는 81 개체/m<sup>2</sup>~318 개체/m<sup>2</sup>로 계절차가 있었으며, 평균적으로 5월에 밀도가 가장 높았다. 제 3 우점종은 *Pseudopolydora paucibranchiata*로 점유율은 7.3%로 비교적 높았으며, 출현빈도는 65% 수준이었다. 평균 개체밀도는 133 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 최대밀도는 8월에 G3에 관찰된 1,164 개체/m<sup>2</sup>이었다. 시·공간적 밀도 증감 양상이 뚜렷하여 밀도 증가는 8월에 감천항의 G3, G4, 북항의 N2~N4, N6에 집중되는 양상이었다. 제 4 우점종은 *Capitella capitata*로 점

유율은 6.3%로 비교적 높은 편이었지만, 빈도는 6.7%로 극히 낮았다. 공간상으로는 북항의 N1에, 계절적으로는 거의 5월에 국한된 분포를 나타내었다. 5월에 N1에서 관찰된 밀도는 6,686 개체/m<sup>2</sup>이었다. 제 5 우점종은 *Lumbrineris longifolia*로 점유율은 5.0%, 출현빈도는 76.7% 수준이었다. 평균 개체밀도는 92 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 최대밀도는 12월에 G1에서 관찰된 386 개체/m<sup>2</sup>이었다. 공간상의 주 분포역은 감천항의 G1~G3이지만 S2와 N1을 제외한 거의 모든 정점에서 계절에 따른 불규칙한 증감을 나타내었다. 계절평균밀도는 50 개체/m<sup>2</sup>~150 개체/m<sup>2</sup>로 12월에 상대적으로 밀도가 높았다. 제 6 우점종은 *Spiochaetopterus koreana*로 점유율은 4.5% 수준이었고, 출현빈도는 86.7%로 매우 높았다. 평균 개체밀도는 81 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 최대밀도는 8월에 G1에서 관찰된 650 개체/m<sup>2</sup>이었다. 공간상의 주 분포역은 감천항의 G1~G3이었으며, 사계절 동안 유사한 양상을 나타내었다. 계절평균밀도는 56 개체/m<sup>2</sup>~94 개체/m<sup>2</sup>로 계절차가 크지 않았다. 제 7 우점종은 *Euchone alicaudata*로 점유율은 3.6%, 출현빈도는 70.0% 수준이었다. 평균 개체밀도는 65 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 최대밀도는 8월에 G3에서 관찰된 1,186 개체/m<sup>2</sup>이었다. 공간상의 주 분포역은 감천항과 북항 주변으로 계절에 따라 G3, G5, N3~N5에서 일시적인 밀도 상승이 관찰되었다. 계절평균밀도는 14 개체/m<sup>2</sup>~132 개체/m<sup>2</sup>로 계절차가 있었으며, 12월에 가장 낮고 8월에 가장 높았다. 제 8 우점종은 *Mediomastus californiensis*로 점유율은 2.3%, 출현빈도는 66.7% 수준이었다. 평균 개체밀도는 42 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 최대밀도는 12월에 S1에서 관찰된 429 개체/m<sup>2</sup>이었다. 공간상의 주 분포역은 남항 외측과 북항 외측이었으며, 계절에 따라 S1, N6, N7에서 높은 밀도를 보였다. 계절평균밀도는 20 개체/m<sup>2</sup>~75 개체/m<sup>2</sup>로 비교적 계절차가 적었으며, 12월에 밀도가 가장 높았다.

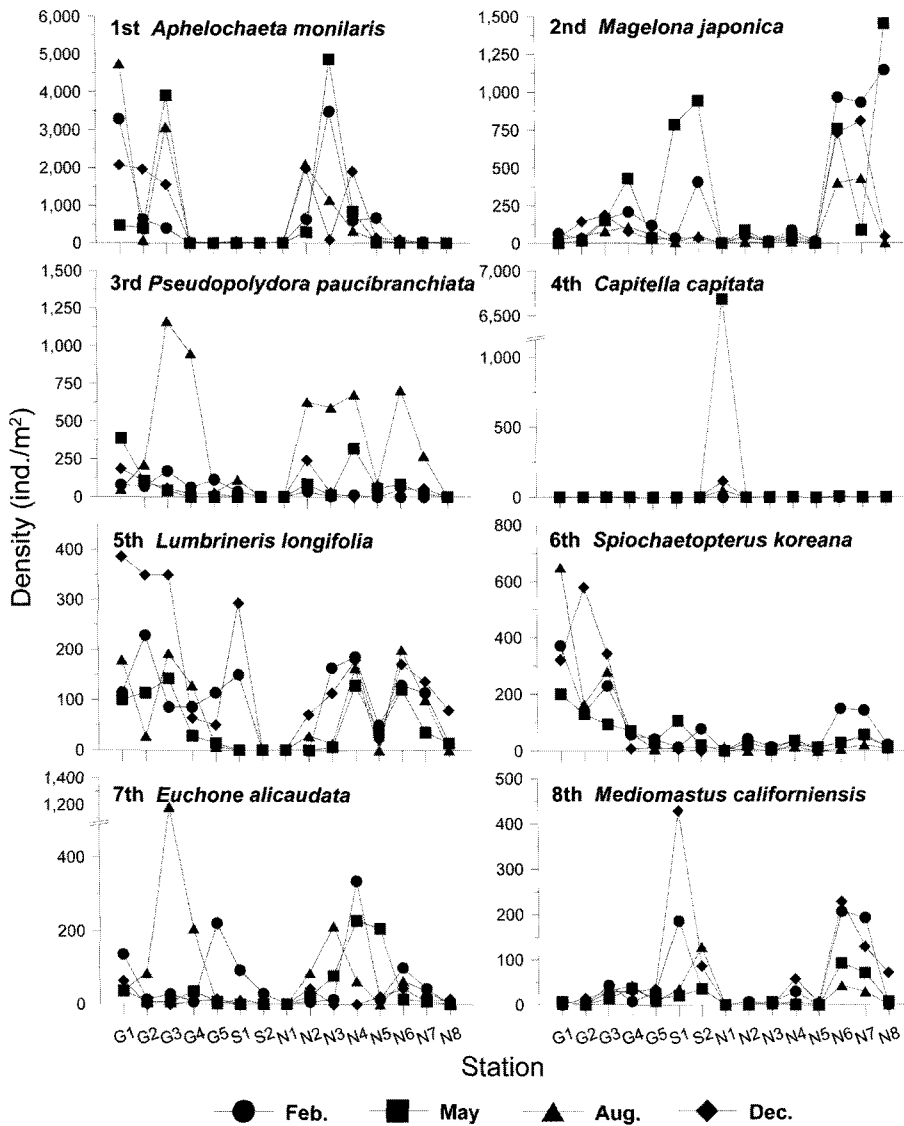


Fig. 5. Spatio-temporal fluctuation of the density (ind./m<sup>2</sup>) of 8 major dominant species in the vicinity of Busan Port.

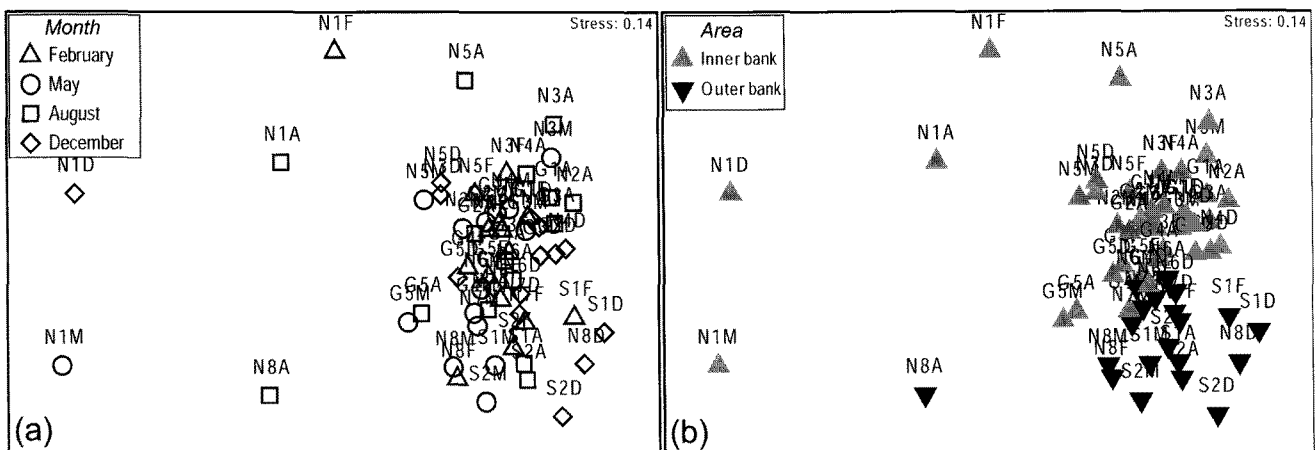


Fig. 6. Two-dimensional MDS plots from square-root transformed polychaetes data. Apart from the labels of sampling cases, (a) season and (b) area are superimposed on them.

저서다모류군집 구조의 시·공간적 변화  
 전체 자료에 대한 다차원척도법(MDS) 분석 결과, 2차원 평면

상의 정점 배치는 계절성보다는 정점들의 지리적 위치를 반영하고 있었다. 먼저, 60개 조사 케이스를 시기별로 도식해본 결과(Fig.

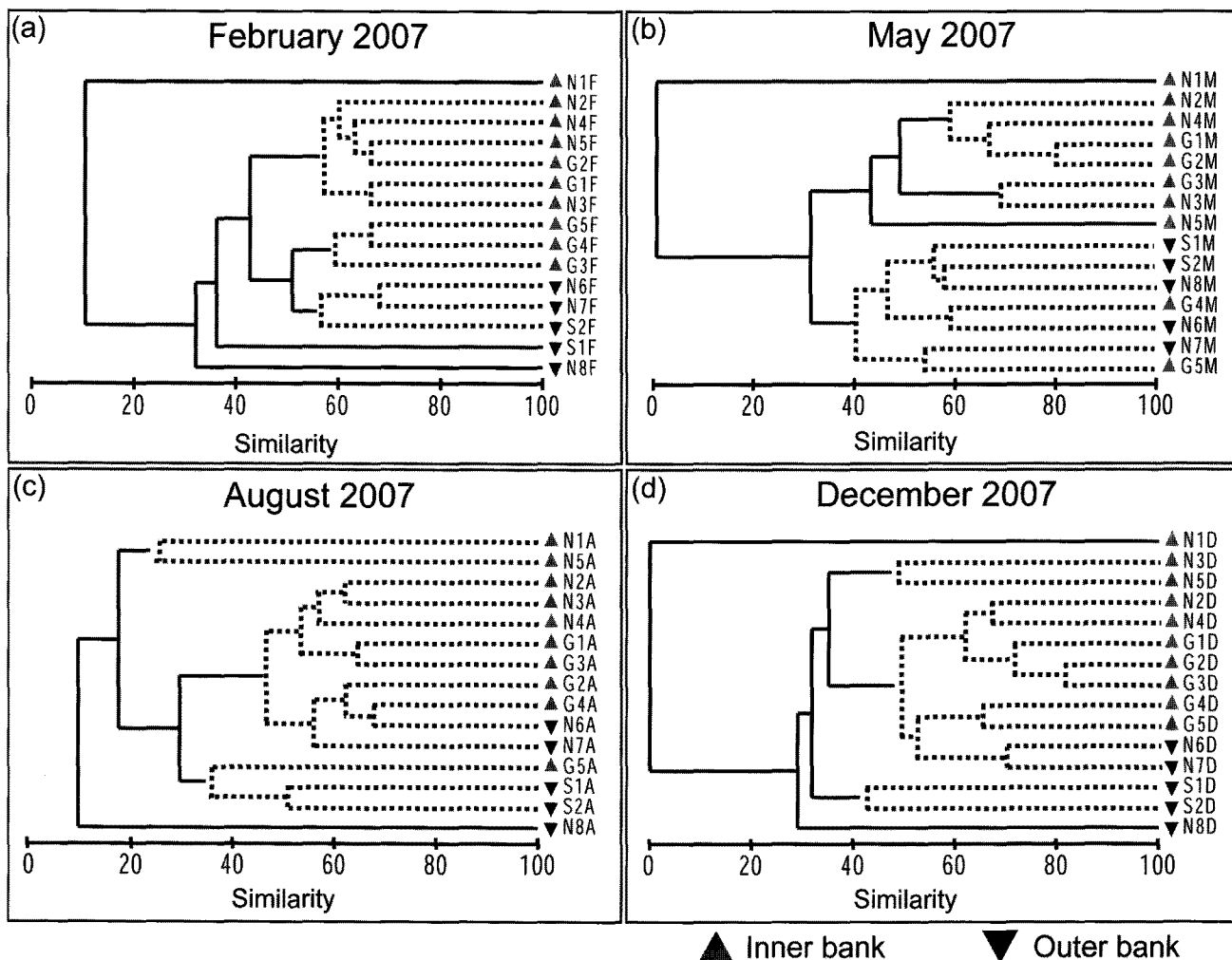


Fig. 7. Dendrogram from cluster analysis for searching for community structure related to spatial variation at each sampling month. Dotted lines are produced by SIMPROF test, indicating stations linked with each other belong to the same group.

6a), 2월부터 12월까지의 케이스들은 상호 구분 없이 혼재된 양상을 나타내었다. 그러나 이를 다시 방파제를 중심으로 내측과 외측으로 구분하여 도식해보면(Fig. 6b), 전 정점이 방파제 인쪽에 위치하였던 감천항 정점들과 북항의 내측 정점들이 하나의 그룹을 형성하고, 항 외측에서만 조사가 이루어졌던 남항과 북항의 외측 정점들이 또 다른 그룹을 형성하는 것을 관찰할 수 있었다. 다만, 북항 내측 N1의 전 계절 군집과 외측 N8의 여름철 군집이 각각의 그룹에서 이탈하여 별개의 소그룹을 형성하고 있었다. 이와 같은 항 내·외측 군집의 구분 양상은 전체군집을 각 계절별로 세분화하여 집괴분석을 실시한 경우에도 유사한 패턴을 보였다(Fig. 7). SIMPROF 적용 결과에 근거해보면, 사계절은 크게 3개의 그룹(내측 2그룹, 외측 1그룹)으로 구분되었으며, 정점 N1, N5, N8 등이 계절에 따라 별개의 소그룹을 형성하였다. 특히 정점 N1의 군집은 거의 모든 계절에(8월 제외) 뚜렷이 대별되는 별개의 군집이었다. 다만, 계절별로 항 내측과 외측에 속하는 그룹의 구성원들에 다소 차이가 있었는데, 주로 감천항의 외측에 가까운 정점들(G4-G5)과 북항 외측의 정점들(N6-N7)이 계절에 따라 각각 외측 또는 내측에 포함되는 양상을 보였다. 예를 들어, G4와 G5는 5월

에 외측군집과 유사한 특성을 보였으며(Fig 7b), N6와 N7은 8월과 12월에 내측군집과 유사한 특성을 보였다(Fig 7c, d). 방파제를 중심으로 내·외측 군집의 구분이 가장 뚜렷했던 계절은 2월이었다. 부산항 저서다모류군집을 항의 내측과 외측으로 구분 짓는데 결정적인 역할을 한 우점종들을 알아보기 위해 SIMPER분석을 수행하고 그 결과를 반영하여 분포 유형이 서로 다른 대표적 우점종들을 MDS 2차원 평면상에 도식하여 보았다(Fig. 8). 먼저, 외측 군집을 대표하는 우점종은 *Magelona japonica*로 남항과 북항 외측에 주로 분포하였으며(Fig. 8a), 내·외측 군집의 비유사도 71.1%에 대한 개별 기여도가 9.1%로 높은 편이었다. 그 외에 *M. japonica*와 유사한 분포 패턴을 보인 종으로는 *Mediomastus californiensis*, *Prionospio saccifera*, *Sternaspis scutata*, *Leiochrides* sp. 등이 있었으며, 개별 기여도 2.0%-4.0% 수준에서 외측군집을 대표하는 종이었다. 반면, 내측 군집을 대표하는 우점종은 *Aphelochaeta monilaris*로 감천항과 북항 내측에 주로 분포하였으며(Fig 8b), 내·외측 군집의 비유사도에 대한 개별 기여도가 11.99%로 높은 편이었다. 그 외에 *A. monilaris*와 유사한 분포 패턴을 보인 종으로는 *Pseudopolydora paucibranchiata*, *Spiochaetopterus koreana*,



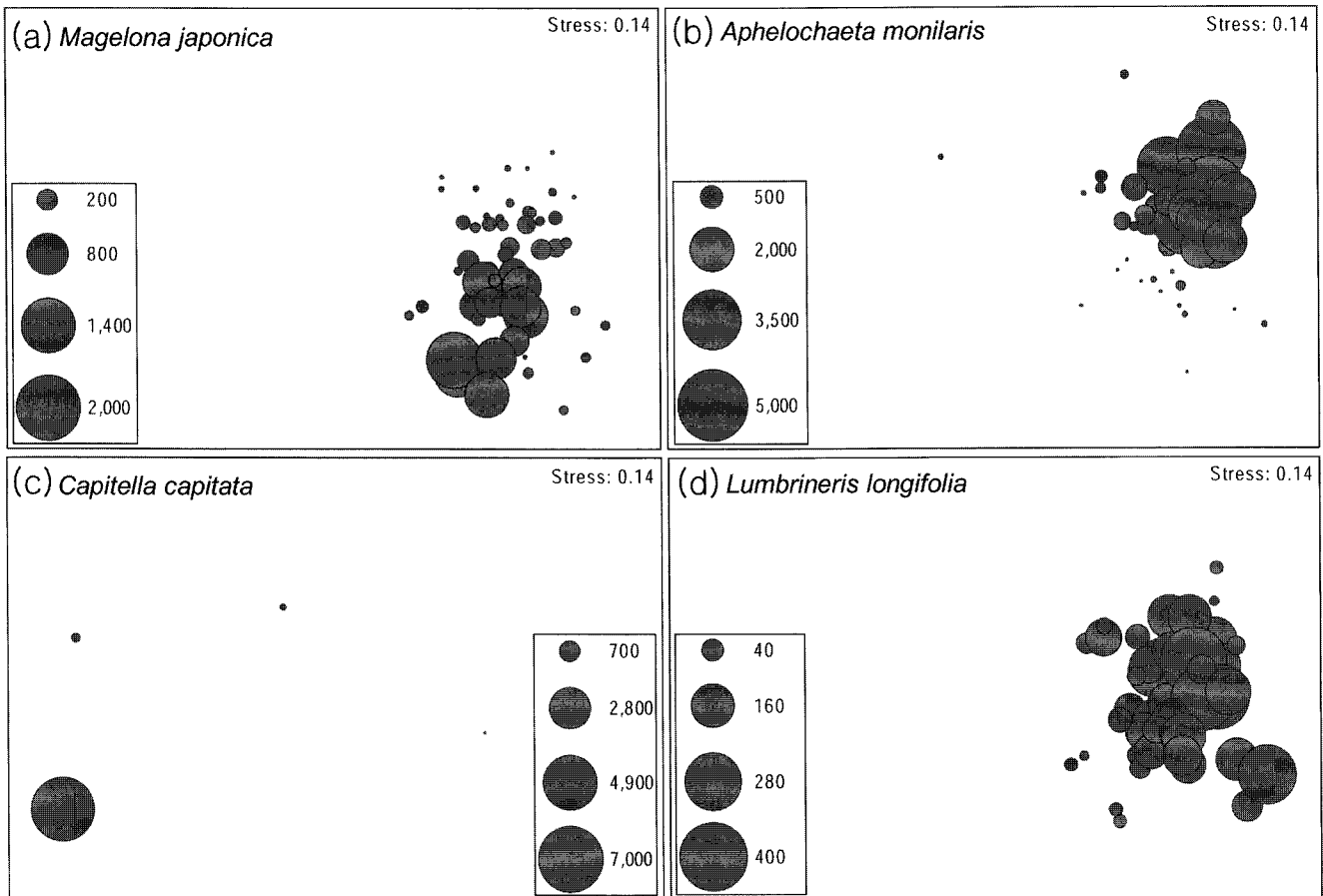


Fig. 8. MDS plots with superimposed circles representing abundances of representative species, which identified by SIMPER, of some station groups.

*Euchone alicaudata* 등이 있었으며, 개별 기여도 3.0%~5.0% 수준에서 내측군집을 대표하였다. 한편, 같은 내측 정점이면서 군집의 특성이 전혀 달랐던 정점 1의 경우, *Capitella capitata*가 군집특성을 좌우하였다는 점에서 다른 내측 정점의 군집들과 차이가 있었다(Fig. 8c). 반면, 이전 종들과 달리 항의 내측과 외측에 걸쳐 상대적으로 고른 밀도 분포를 보인 종들이 있었으며, 대표적으로 *Lumbrineris longifolia*(Fig. 8d), *Heteromastus filiformis*, *Sigambra tentaculata*, *Glycinde gurjanovae* 등이 이에 해당하였다.

저서다모류군집 구조의 시-공간적 변동과 상관성을 갖는 환경요인을 파악하기 위해 BIO-ENV 분석을 수행하였다. 환경 및 생물자료의 일치성 문제 때문에 전 항목에 대해 환경 조사가 수행되었던 2월과 8월 자료만을 분석에 이용하였다. 단일변수로서 군집구조 변동과 가장 높은 상관성을 나타낸 변수는 coprostanol( $p=0.695$ )이었으며, 산화발성황화물(AVS;  $p=0.403$ ), 총유기탄소함량(TOC;  $p=0.335$ ), 용존산소( $p=0.303$ ) 등이 뒤를 이었다. 조합변수로서는 수심, 산화발성황화물, 분급도, 그리고 coprostanol의 조합이 가장 밀접한 상관도( $p=0.720$ )를 보였다.

## 고찰

### 부산항의 저서환경

본 연구에서 조사된 저층수의 수온과 염분, 그리고 표층퇴적물

의 입도 및 분급도 등은 북항, 남항, 그리고 감천항의 내·외측 모두에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 1). 수심의 경우에도, 내·외측의 극히 일부 정점에서만 차이를 보이는 비교적 고른 수심 분포가 관찰되었다. 그러나 유기물 오염 가능성을 간접적으로 판단해볼 수 있는 환경변수들인 총유기탄소(TOC), 산화발성황화물(AVS), 그리고 coprostanol 등에서는 항의 내측과 외측에서, 그리고 정점 간에 상당히 대비되는 결과를 보여주었다.

총유기탄소를 기준으로 유기물오염을 의심해 볼 수 있는 대표적 정점은 북내항의 N1, N3, N5, 그리고 감천항의 G1으로 다른 정점들에 비해 최대 4배 가까이 높은 값이 측정되었다. 이 정점들에서의 측정값은 Kang *et al.*(1993)에 의해 보고된 남해 동부 평균 2.18%보다 대부분 높은 값이었다. 하지만, Kang *et al.*(1993)이 부산연안 측정값으로 보고한 3.44%나 박 등(1995)이 북내항과 남항의 측정값으로 보고한 3.2%, 3.1% 보다는 낮은 값이었다.

산화발성황화물 기준으로 유기물오염 가능성을 살펴보면, 총유기탄소 기준 시 보다 그 범위 및 정도가 증가함을 알 수 있다. 부산항 정점들 가운데 계절 평균값이 오염퇴적물 기준(日本水産資源保護協會, 1972)인 0.2 mg/g dry wt.를 넘지 않는 정점은 북외항의 N7, 북항 외곽의 N8, 남항 외곽의 S1, S2 그리고 감천항의 G3 뿐이었다. 그러나 이 중에서도 계절적으로 한번도 0.2 mg/g dry wt.를 넘지 않았던 정점 N7, S1, S2 뿐이었다. 한편, 산화발성황화물 기준의 오염도가 가장 심각했던 정점은 총유기탄소와 마

찬가지로 N1, N3, 그리고 N5이었으며, 특히 N1과 N3는 계절에 따라 기준농도의 20배를 훨씬 웃도는 농도를 보이기도 하였다. N1과 N3에서 8월과 12월에 관측된 최대 농도는 박 등(1995)이 북내항에서 12월에 측정하였던 최대값과 유사한 수준이었다. 한편, Kang *et al.*(1993)의 부산연안 평균값(0.29 mg/g dry wt.)과 본 조사의 같은 시기(2월) 평균값(0.15 mg/g dry wt.)을 비교하면, 본 조사에서 2배 가까이 낮아 고농도의 산화발성황화물 분포가 일부 시기 그리고 일부 정점에 한정됨을 알 수 있었다.

Hatcher and McGillivray(1979)에 따르면, 해양 퇴적물 내에 coprostanol 농도가 10 ng/g dry wt. 이하이면 하수오염의 영향이 없는 지역이라 할 수 있다. 그러나 본 조사 정점 가운데 농도가 가장 낮았던 N8의 경우에도 31 ng/g dry wt.로 도시하수의 영향을 의심할 수 있는 농도였다. 특히, 북내항의 정점 가운데 N2를 제외한 나머지 4개 정점의 농도는 1,000 ng/g dry wt. 이상의 높은 값을 보였으며, N1의 농도는 11,684 ng/g dry wt.에 달하였다. 최 등(2005a, b)이 국내 연안 중 퇴적물의 오염도가 비교적 높은 진해만과 울산만에서 측정된 값이 각각 3,964 ng/g dry wt., 8,257 ng/g dry wt. 이었던 것과 비교해도 N1의 값이 대단히 높은 값을 알 수 있다. N1의 위치가 동천의 하구와 인접해있다는 점에서 coprostanol의 고농도 값은 동천으로부터의 생활하수 유입을 의심하게하며, 이는 박 등(1995)이 북내항과 남항의 유기물 오염원으로 동천과 보수천을 통해 항내로 유입되는 생활하수 및 산업폐수를 의심하였던 사실과 일치하는 결과이다.

#### 부산항의 저서다모류군집

총 종수 측면에서 부산항에 출현하는 저서다모류의 다양성 정도를 알아보기 위해 본 조사와 같은 채집기구를 사용해 최소 2계절 이상의 조사를 수행하였던 기존 연구 결과를 Table 2에 정리해 비교해 보았다. 본 조사의 채집면적은 8.4로 Table 2에 제시된 총 16개 조사 중에서 비교적 낮은 수준이었지만, 총 종수는 96종으로

상대적으로 많은 수의 종이 출현하였다. 이는 채집강도가 서로 다른 조사 간의 출현종수 비교에 적합한 출현종지수(Whittaker's *d*; Whittaker, 1975)를 상호 비교해 보았을 때 보다 확연히 알 수 있었다. 부산항의 *d*값은 104로 부산항보다 높은 *d*값을 보인 해역은 울산만, 가막만, 거제-한산만, 그리고 진주만 정도였다(Table 2).

부산항 및 그 인근 환경은 여러 측면에서 인위적 환경 교란의 가능성이 매우 높은 곳임에도 불구하고 출현하는 저서다모류의 총 종수가 위와 같이 많았던 것에는 다음과 같은 몇 가지 요인들이 중요하게 작용한 것이 아닌가 추측된다. 첫째, 본 조사에서는 부산항 내측뿐만 아니라 방조제 외측의 정점을 포함하여 조사하였으며, 외측 정점들에서는 내측에서 출현하지 않은 비교적 많은 수의 저서다모류가 출현하였다. 순수하게 내측 정점들만의 총 종수는 69종으로 외측 포함 시와 약 30종에 가까운 차이를 보였다. 특히, 외측 정점 가운데 S1의 사계절 총 종수는 61종으로 부산항 인근에서는 이 지점이 생물다양성 측면에서 일종의 'hot spot'에 해당하는 지점인 것으로 판단되었다. 둘째, 부산항 및 그 인근에서는 총유기탄소(TOC)와 산화발성황화물(AVS)을 기준으로 비오염 해역에서 관찰되는 값으로부터 빈산소해역에서 관찰되는 값(e.g. Yoon *et al.*, 2007)까지 다양한 유기물 오염 정도가 관찰되었다. 결과적으로 이러한 오염구배는 오염에 대한 내성 정도가 서로 다른 종들에게 분화된 서식처 이용을 유도함으로써 전체적인 출현 종의 다양화에 기여하였을 것으로 판단된다. 이와 유사한 현상은 명확한 오염구배가 관찰되는 울산만(Yoon *et al.*, 2009a)과 가막만(Yoon *et al.*, 2007) 등에서도 확인된 바 있다. 셋째, 부산항의 일부 정점(N1, N3, N5 등)의 산화발성황화물 측정값은 빈산소해역에서 관측되는 높은 값이 관측되었지만 이 중 어떤 정점에서도 빈산소발생을 의심할만한 무생물 상태는 관측되지 않았다. 유기물 함량이 높은 퇴적환경에서는 유기물이 황산염의 환원을 촉진하기 때문에 산화발성황화물의 농도가 높아지며(e.g. Como *et al.*, 2007), 이러한 환경이 해수소통의 제한을 받았을 경우 빈산소 환경이 형

**Table 2.** Comparison of yearly sampling frequency (n), sampling area (m<sup>2</sup>), total number of species, and density (ind./m<sup>2</sup>) between present and other Korean studies on polychaeta communities. Whittaker(1975)'s *d* is also presented for the comparison of relative species richness between studies with different sampling areas

Reference	Study site	Yearly sampling frequency (n)	Sampling area(m <sup>2</sup> )	Total number of species	Mean density (ind./m <sup>2</sup> )	Whittaker's <i>d</i>
Lim <i>et al.</i> (1995)	Kyeonggi Bay	4	20.4	111	332	85
Park <i>et al.</i> (2000b)	Chonsu Bay	4	25.2	143	474	102
Park <i>et al.</i> (2000a)	Mokpo	5	15.0	88	389	75
Ma <i>et al.</i> (1995)	Deukryang Bay	2	6.0	52	276	67
Lim <i>et al.</i> (1991)	Yoja Bay	2	6.6	46-62	140-239	76
Yoon <i>et al.</i> (2007)	Gamak Bay	2	8.0	81-119	900-2,802	132
Shin and Koh (1990)	Gwangyang Bay	4	10.0	79	520	79
Lim <i>et al.</i> (1999)	Aenggang Bay	4	21.6	90	874	67
Kang <i>et al.</i> (2002)	Jinju Bay	4	16.3	132	321-494	109
Yoon <i>et al.</i> (2009b)	Geoje-Hansan Bay	4	12.0	131	2,775	121
Paik and Yun (2000)	Jinhae Bay	6	9.6	78	1,533	79
Hong and Lee (1983)	Masan Bay	4	4.0	34	547	56
Yun and Paik (2001)	Kadugdo	6	12.0	89	1,263	82
Yoon <i>et al.</i> (2009a)	Ulsan Bay	4	3.6	99	3,208	178
Shin <i>et al.</i> (1992)	Yeongil Bay	4	8.0	72	1,485	80
Present study	Busan	4	8.4	96	1,814	104

성되어 저서생태계에 치명적인 영향을 주게 된다(Gray *et al.*, 2002). 결과적으로, 부산항의 내측은 자연적·인위적 지형의 제약에 불구하고 비교적 원활한 해수의 소통이 유지되고 있음을 추정해볼 수 있으며, 해수의 소통 정도가 부유유생기를 거치는 저서동물의 확산과 가입에 중요한 역할을 함으로써 종풍도에 영향을 준다는 사실(Snelgrove and Butman, 1994)에 근거했을 때, 부산항 저서다모류의 출현종 다양화에 긍정적 영향을 주었을 것으로 판단된다.

부산항 저서다모류군집의 평균 개체밀도는 1,814 개체/m<sup>2</sup>로 Table 2에 제시된 16개 지역의 개체밀도 평균이 1,192 개체/m<sup>2</sup>, 중앙값이 874 개체/m<sup>2</sup>이었던 것을 감안하면 채집면적 대비 비교적 높은 밀도인 것으로 판단된다. 부산항보다 더 높은 밀도를 보인 지역은 울산만, 거제한산만, 가막만 등으로 울산만은 *Aphelochaeta monilaris*와 *Magelona japonica* 등이, 거제한산만은 *Lumbrineris longifolia*와 *A. monilaris* 등이, 그리고 가막만은 하계에 *A. monilaris*, 동계에 *Capitella capitata* 등이 최우점종으로 출현하여 고밀도 분포에 기여한 것으로 조사된 바 있다. 부산항의 경우에는 지리적으로 인접한 울산만과 유사하게 *A. monilaris*와 *M. japonica*가 최우점종으로 출현하여 개체밀도 상승에 기여하였다.

부산항 저서다모류군집의 우점종이 보여준 공간분포 패턴에는 크게 세 가지 정도의 유형 즉, 항 외곽의 방파제를 중심으로 항만 내측 분포형, 외측 분포형 그리고 내·외측 혼합형이 존재하는 것으로 파악되었다. 내측 분포형의 대표종은 *A. monilaris*, 외측 분포형의 대표종은 *M. japonica*, 그리고 혼합형의 대표종은 *L. longifolia* 등이 있었다(Fig. 8).

먼저, 내측 분포형의 대표종인 *A. monilaris*(이전에 *Tharyx multifilis*로 보고된 종)는 총 채집개체수에 대해 약 39%의 점유율을, 그리고 항만 내측 기준으로는 약 52%에 달하는 점유율을 기록한 부산항의 제 1 우점종이었다. 주 분포역은 감천항 내측의 G1~G3, 북항 내측의 N2~N4로 최대밀도는 N3에서 5월에 관찰된 4,871 개체/m<sup>2</sup>이었다. *A. monilaris*는 국내 연안의 대표적 유기물 오염 지표종(e.g. 임과 박, 1999; 임과 최, 2001; 이 등, 2005; 임 등, 2007; Yoon *et al.*, 2007)으로 국내 연안 중 특히, 울산만(7,580 개체/m<sup>2</sup>-Yoon *et al.*, 2009a), 소라도 주변해역(4,303 개체/m<sup>2</sup>-임과 최, 2001), 광양만(3,430 개체/m<sup>2</sup>-최 등, 2003) 등에서 고밀도 분포가 보고된 바 있다. 본 조사에서의 밀도는 울산만보다는 낮지만 소라도 주변해역보다는 다소 높은 수준이었다. *A. monilaris*의 분포 특성과 관련하여 Yoon *et al.*(2007, 2009a, b)은 유기물이 풍부한 내만역 가운데 상대적으로 해수의 소통이 원활한 지역에 고밀도로 분포하는 경향이 있음을 기술한 바 있으며, 본 조사에서도 그러한 경향이 관찰되고 있다. 예를 들어, 동일한 내측 정점이라도 계절에 따라 산화발생황화물의 농도가 급격히 증가하여 해수 소통의 제한을 의심해볼 수 있는 상황에서는 그 밀도가 급격히 감소함을 관찰할 수 있으며, 대표적인 사례가 N1과 N5에서의 밀도 급감 현상이다. 그러나 *A. monilaris*의 명확한 서식조건 또는 서식처 지위와 관련하여서는 이 종이 국내 남서해 연안부터 남동해 연안까지 다수의 해역(임과 박, 1999; Lim *et al.*, 1999; 박 등, 2000a; 이 등, 2005; 임 등, 2007; Yoon *et al.*, 2007; Yoon *et al.*, 2009a)에서 밀도 측면에서 대단히 중요한 우점종이라는 사실을 감안하여 실질적 접근 등을 통해 명확히 규명할 필요가 있을 것으로 판단된다. 한편, *A. monilaris*와 함께 내측 분포형 특성을 보인 종

로는 부산항의 제 3, 6, 7 우점종인 *Pseudopolydora paucibranchiata*, *Spiochaetopterus koreana*, *Euchone alicaudata* 등이 있었다. 이 가운데 *P. paucibranchiata*와 *S. koreana*는 유기물 오염 등에 의한 인위적 교란 상황을 기회적으로 이용하는 종으로 보고된 바 있어(Yoon *et al.*, 2007), *A. monilaris*의 우점과 함께 부산항 내측의 유기물 오염 가능성을 재확인 시켜주고 있다.

또 다른 내측 분포형 종으로서 위에서 언급된 종들 외에 총유기탄소, 산화발생황화물 및 coprostanol 등의 농도에 있어 부산항 내에서 가장 높은 값을 보이는 정점 N1에 한정적으로 분포하는 종들이 있다. *Capitella capitata*와 *Dorvillea rudolphi*가 그 대표종이며, *A. monilaris* 등이 'intermediately enriched sediment'의 지시종이라면 위 두 종은 'highly enriched sediment'의 지시종이라 할 수 있다(Pearson and Rosenberg, 1978; Edgar *et al.*, 2005; 정 등, 2007; Yoon *et al.*, 2009a). 특히, *C. capitata*는 강도 높은 환경적 스트레스가 발생한 해역의 교란된 서식처를 기회적으로 이용하여 단기간에 개체군 밀도를 100배 이상 증폭시킬 수 있는 능력을 가진 종으로서(Tsutsumi, 1987; Chareonpaich *et al.*, 1994), 해당 해역을 절대적으로 우점하는 분포 특성을 보이기도 한다(e.g. 박 등, 2000b; 정 등, 2002; 정 등, 2007; Yoon *et al.*, 2007). 본 연구에서도 정점 N1에서는 부산항의 대표적 우점종들인 *A. monilaris*, *P. paucibranchiata*, *Lumbrineris longifolia* 등과 같은 일반적인 유기물 오염지시종의 개체밀도가 급격히 감소하거나 전혀 출현하지 않는 양상이 관찰되었으며(Fig. 5), *C. capitata*가 N1 전체 채집개체수의 90.9%를 차지하여 절대적인 우점 양상을 나타내었다. 이러한 일방적 우점 양상은 *C. capitata*의 출현해역 중에도 주로 어류가두리 양식장(e.g. 박 등, 2000b; 정 등, 2002; 정 등, 2007)이나 빈산소 수괴 발생 해역(Yoon *et al.*, 2007) 등과 같이 유기물 오염이 극심하게 진행된 환경에서 보고된 바 있기 때문에 N1의 유기물 오염 정도는 심각한 수준인 것으로 판단된다.

부산항의 대표적인 내·외측 혼합형 분포종은 *L. longifolia*, *Heteromastus filiformis*, *Sigambra tentaculata*, *Glycinde gurjanovae* 등으로 내측 분포형 종들과 유사하게 유기물 오염과 연관을 갖는 종들이 다수 포함되어 있었다. *L. longifolia*는 국내 연안 분포에 있어서 *A. monilaris*와 서식처 지위가 상당 부분 겹치는 종으로서 다수의 연안에서 *A. monilaris*와 함께 제 1 또는 제 2 우점종으로 출현하는 종이며(e.g. 신, 1995; 임과 최, 2001; 최 등, 2003; 이 등, 2005; Yoon *et al.*, 2009b), 본 조사에서는 제 5 우점종(밀도 점유율 5.0%)으로 출현하였다. *H. filiformis*와 *S. tentaculata*의 경우에도 국내 다수 연안역에서 유기물 오염지시종 또는 유기물오염에 대해 내성이 강한 종으로 묘사되고 있는 종들로 *H. filiformis*는 서해 경기만 일대에서(e.g. 고 등, 1997; 신과 고, 1998; 임과 최, 1998), *S. tentaculata*는 남해 연안에서(e.g. Paik and Yoon, 2000; 윤과 백, 2001; Yoon *et al.*, 2007) 최상위 또는 주요 우점종으로 보고된 사례들이 있다. 위에 언급된 세 종의 부산항에서의 공간분포 양상은 *L. longifolia*가 감천항 내측에서 상대적으로 높은 밀도로 출현하긴 하나 대체로 계절에 따라 내측 또는 외측으로 분포의 중심을 옮기는 특징을 보여 부산항의 외측환경도 유기물 오염 지표종들이 계절에 따라 번성할 수 있는 환경임을 암시하였다.

한편, 부산항의 외측 분포형 우점종으로는 *M. japonica*를 비롯해 *Mediomastus californiensis*, *Prionospio saccifera*, *Sternaspis*

*scutata*, *Leiochirides* sp. 등이 있었다. 이 중 *M. japonica*는 총 채집개체수의 11.4%, 방조제 외측 해역에서 35.7%의 점유율을 보인 부산항의 제 2 우점종이었다. 이 종의 주 분포역은 남향과 북향의 외측으로 최대밀도는 5월에 N8에서 관측된 1,450 개체/m<sup>2</sup>이었다. 현재까지 보고된 이 종의 국내 분포 해역은 동서남해 전역이지만(e.g. 임 등, 1995; 임과 최, 2001; 이 등, 2005; 백 등, 2007), 본 연구와 유사한 수준 또는 그 이상의 개체밀도 분포가 보고된 해역은 주로 동해 연안에 해당하는 울산만(2,460 개체/m<sup>2</sup>; Yoon et al., 2009a), 후포 연안(1,878 개체/m<sup>2</sup>; 백 등, 2007) 등이 있었다. Yoon et al.(2009a)은 이 종이 만 내측보다는 만의 입구나 수로 등과 같이 일정 수준이상의 수심과 원활할 해수 소통이 확보된 해역에 주로 분포한다는 사실을 기술한 바 있어 본 조사의 결과와도 일치하고 있다. 이러한 *M. japonica*의 외해 지향성 분포 특성으로 인해 그동안 다수의 연구에서 이 종은 유기물 오염과 무관한 종으로 기술되기도 하였다(e.g. Yi et al., 1982; 임과 홍, 1997; 임 등, 2007). 그러나 Yoon et al.(2009a)이 지적한 바와 같이 이 종이 유기물 오염과 직접적인 상관성은 없다 하더라도 상대적으로 조립질보다는 니질 퇴적물을 선호하는 표층퇴적물식자(최 등, 2003; 백 등, 2007)라는 연구 결과들에 근거해볼 때 서식조건에 있어 일정 수준 이상의 유기물 함량을 요구할 것이라는 결론에 도달한다. 이는 *M. japonica*가 비록 분포의 중심은 부산항의 외측정점들에 두고 있지만 부산항 내측의 N1을 제외한 전 정점에서 출현하고 있다는 사실에서도 뒷받침된다.

다차원척도법(MDS)과 집괴분석(Cluster analysis) 결과, 부산항 및 그 인근의 저서다모류군집은 방파제를 중심으로 항의 내측과 외측으로 뚜렷이 구분되었으며, 방파제 인근의 정점들(G4, G5, N6, N7)의 경우에만 계절에 따라 항의 내측 또는 외측 군집의 특성을 보이는 것으로 나타났다. 전체적인 군집구조 결정에 있어 계절성은 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 군집구조에 환경적으로 영향을 미친 요소들은 BIO-ENV 분석 결과에서 알 수 있듯이, coprostanol, 산화발생화합물(AVS), 총유기탄소(TOC) 등으로 자연적 요소보다는 인위적 교란 요소들이 상대적으로 큰 영향을 미치고 있었으며, 자연적 환경요인들의 개별적 영향력은 미미한 수준이었다. 우점종 분포 패턴과 SIMPER 분석 결과를 종합한 결과에서도 전체적인 군집구조가 유기물 오염과 밀접하게 연관되어 결정되고 있음을 알 수 있었다. 물론, 이러한 연구 결과는 본 조사가 'large scale'이 아닌 부산항 및 그 인근이라는 'small scale'에서 진행되었기 때문에 상대적으로 자연적 환경요인보다는 인위적 교란 요인들이 부각되었을 수는 있지만(Morrissey et al., 1992), 부산항이 환경적으로 그리고 생물학적으로 유기물 오염의 영향 하에 있다는 사실은 여러 가지 분석 결과에서도 분명히 알 수 있다. 결과적으로 부산항 내측의 저층은 'intermediately enriched state'인 것으로 판단되며, 부산항의 외측은 계절에 따라 일부 해역에서 유사 환경이 발생하는 것으로 판단된다. 유기물 오염과 관련해서 가장 우려되는 해역은 동천과 직접적으로 맞닿아 있는 N1 지점으로 coprostanol 농도에 근거해 보았을 때, 도시하수의 영향을 대단히 심각하게 받고 있는 것으로 판단된다. 본 조사가 진행된 시점에서 빈산소 수괴의 발생이나 무생물 구역의 형성 등과 같은 극단적 현상까지는 관찰되지 않았지만, 관측된 coprostanol 농도, 산화발생화합물의 농도, 그리고 생물분포패턴 등에 비추어볼

때 이 지점의 저층환경은 'highly enriched state'에 있는 것으로 판단되기에 앞으로도 반드시 주의 깊은 관리가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산과학원의 “갯벌의 생태환경 특성을 활용한 생산성 평가 및 향상 연구(RP-2011-ME-019)”의 일환으로 수행되었으며, 본 논문의 세세한 부분까지 검토해 주시고 좋은 의견을 주신 최진우 심사위원님과 또 다른 심사위원님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 고병설, 이재학, 홍재상, 1997. 인천연안역 저서동물군집의 시·공간적 분포 양상. 한국해양학회지·바다, 2(1): 31-41.
- 국토해양부, 2008. 부산해양환경관리 기본계획에 관한 연구. 268pp.
- 민병서, 1977. 부산시 영도와 조도사이의 방파제 양측 해역의 환경요소 및 부유생물상에 관하여. 한국수산학회지, 10(4): 243-258.
- 박영철, 양한섭, 이필용, 김평중, 1995. 겨울철 부산항 주변해역의 수질과 표층퇴적물 환경특성. 한국수산학회지, 28(5): 577-588.
- 박홍식, 이재학, 최진우, 2000a. 목포 주변 해역 조하대 저서동물군집의 시·공간적 분포. 한국해양학회지·바다, 5(2): 169-176.
- 박홍식, 최진우, 이형곤, 2000b. 통영 인근 가두리 양식장 지역의 저서동물군집 구조. 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.
- 서진영, 박소현, 임현식, 장만, 최진우, 2009. 인천항 및 부산항의 여름철 대형저서동물군집의 구조. 환경생물학회지, 27(1): 6-19.
- 신현출, 1995. 가막만의 저서다모류군집. 한국해양학회지, 30(4): 250-261.
- 신현출, 고철환, 1998. 1995년 12월 경기만 북부해역에서의 저서다모류 군집. 한국해양학회지·바다, 3(4): 261-270.
- 윤성규, 백상규, 2001. 가덕도 주변해역 대형저서동물군집 구조의 특성. 한국수산학회지, 34(5): 493-501.
- 이형곤, 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, 1998. 경기만 대부도 주변 조하대 해역의 저서동물 군집. 한국수산학회지, 31(4): 453-462.
- 임현식, 최진우, 2001. 남해안 소리도 주변 연성저질 해역의 저서동물 분포. 한국수산학회지, 34(3): 225-237.
- 임현식, 홍재상, 1997. 진해만 저서동물의 군집생태. 3. 군집구조. 한국수산학회지, 30(2): 175-187.
- 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, 박중수, 전경암, 이영식, 이재성, 김귀영, 고우진, 2002. 남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구. *한국해양학회지-바다*, **7**(4): 235-246.
- 조영길, 이창복, 고철환, 2000. 광양만 표층퇴적물의 중금속 함량 및 분포. *한국해양학회지-바다*, **5**(2): 131-140.
- 최민규, 문효방, 김상수, 박중수, 2005a. 퇴적물내 coprostanol을 이용한 진해만의 도시하수오염 평가. *한국수산학회지*, **38**(2): 118-128.
- 최민규, 최희구, 김상수, 문효방, 2005b. Fecal sterol을 이용한 울산만과 주변해역 퇴적물내 하수기인 유기물 평가. *한국환경과학회지*, **14**(1): 23-32.
- 최진우, 유옥환, 이우진, 2003. 광양만에 서식하는 대형저서동물의 하계 공간분포양상. *한국해양학회지-바다*, **8**(1): 14-28.
- 해양수산부, 2005. 해양환경공정시험방법. 389pp.
- 홍성윤, 마채우, 강영실, 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. *한국해양학회지*, **29**(2): 132-144.
- Beukema, J.J., 1991. Changes in composition of bottom fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. *Mar. Biol.*, **111**: 293-301.
- Bilyard, G.R., 1987. The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar. Pollut. Bull.*, **18**: 581-585.
- Brown, J.R., R.J. Gowen and D.S. McLusky, 1987. The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *J. Mar. Biol. Ecol.*, **109**: 39-51.
- 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.
- Chareonpaich, C., H. Tsutsumi and S. Montani, 1994. Efficiency of the decomposition of organic matter, loaded on the sediment, as a result of the biological activity of *Capitella* sp.1. *Mar. Bull.*, **28**(5): 314-318.
- Choi, H.G., S.G. Kim, S.S. Kim, H.B. Moon, P.Y. Lee and C.K. Park, 2002. Sterols of sewage indicators in marine sediments of Jinhae Bay, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **37**: 51-57.
- 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., P.J. Somerfield and R.N. Gorley, 2008. Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **366**: 56-69.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth, UK, 171 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.
- Como, S., P. Magni, D. Casu, A. Floris, G. Giordani, S. Natale, G.A. Fenzi, G. Signa and G. De Falco, 2007. Sediment characteristics and macrofauna distribution along a human-modified inlet in the Gulf of Oristano (Sardinia, Italy). *Mar. Pollut. Bull.*, **54**: 733-744.
- Diaz, R.J., 2001. Overview of Hypoxia around the World. *J. Environ. Qual.*, **30**(2): 275-281.
- 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.
- Edgar, G.J., C.K. Macleod, R.B. Mawbey and D. Shields, 2005. Broad-scale effects of marine salmonid aquaculture on macrobenthos and the sediment environment in southeastern Tasmania. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **327**: 70-90.
- Frouin, P., 2000. Effects of anthropogenic disturbances of tropical softbottom benthic communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **194**: 39-53.
- 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.
- Hatcher, P.G. and P.A. McGilivray, 1979. Sewage contamination in the New York Bight, coprostanol as an indicator. *Environ. Sci. Technol.*, **12**: 1225-1229.
- Hong, J.S. and J.H. Lee, 1983. Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 169-179.
- 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**: 557-566.
- Kang, C.K., M.S. Baik, J.B. Kim and P.Y. Lee, 2002. Seasonal and spatial distribution of soft-bottom polychaetes in Jinju Bay of the southern coast of Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **35**: 35-45. (in Korean with English abstract)
- Lim, H.S., J.G. Je, J.W. Choi and J.H. Lee, 1991. Distribution pattern of the macrozoobenthos at Yoja Bay in summer. *Ocean Res.*, **13**: 31-46. (in Korean with English abstract)
- Lim, H.S., J.H. Lee, J.W. Choi and J.G. Je, 1995. Macrobenthic community on the soft-bottom around the Youngjong island, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **28**: 635-648. (in Korean with English abstract)
- Lim, H.S., H.S. Park, J.W. Choi and J.G. Je, 1999. Macrobenthic community of the subtidal soft bottom of Aenggang Bay in the southern coast of Korea. *The Sea*, **4**: 80-92. (in Korean with English abstract)
- Ma, C.W., S.Y. Hong and H.S. Lim, 1995. Macrobenthic fauna of Deukryang Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **28**: 503-516. (in Korean with English abstract)
- Morrisey, D.J., L. Howitt, A.J. Underwood and J.S. Stark, 1992. Spatial variation in soft-sediment benthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **81**: 197-204.
- Paik, S.G. and S.G. Yun, 2000. Community structure of the macrobenthos in Chinhae Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **33**: 572-580. (in Korean with English abstract)
- Park, H.S., J.H. Lee and J.W. Choi, 2000a. Spatio-temporal distribution of macrobenthic community on subtidal area around Mokpo, *The Sea*, **5**: 169-176. (in Korean with English abstract)
- Park, H.S., H.S. Lim and J.S. Hong, 2000b. Spatio- and temporal

- patterns of benthic environment and macrobenthos community on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **33**: 262–271. (in Korean with English abstract)
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg, 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, **16**: 229–311.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. The mathematical theory of communications. University of Illinois Press, Urbana, 125pp.
- Shin, H.C. and C.H. Koh, 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **25**: 205–216. (in Korean with English abstract)
- Shin, H.C., S.S. Choi and C.H. Koh, 1992. Seasonal and spatial variation of polychaetous community in Youngil Bay, southeastern Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **27**: 46–54. (in Korean with English abstract)
- Simboura, N., A. Zenetos, P. Panayotidis and A. Makra, 1995. Changes in benthic community structure along an environmental pollution gradient. *Mar. Pollut. Bull.*, **30**: 470–474.
- Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman, 1994. Animal-sediment relationships revised: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **32**: 111–177.
- Tsutsumi, H., 1987. Population dynamics of *Capitella capitata* (Polychaeta: Capitellidae) in an organically polluted cove. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **36**: 139–149.
- Warwick, R.M., 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, **92**: 557–562.
- Warwick, R.M., 1993. Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Austral. J. Ecol.*, **18**: 63–80.
- Weston, D.P., 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichments gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **61**: 233–244.
- Whittaker, R.J. (Ed.), 1975. *Communities and Ecosystems*, 2nd Edition. Macmillan, New York, pp. 1–385.
- Yi, S.K., J.S. Hong and J.H. Lee, 1982. A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea. *Bull. KORDI*, **4**: 17–26.
- Yoon, S.P., R.H. Jung, Y.J. Kim, S.S. Kim, J.S. Lee, J.S. Park, W.C. Lee and W.J. Choi, 2007. Characteristics of benthic environment and polychaete communities of Gamak Bay, Korea. *The Sea*, **12**: 287–304. (in Korean with English abstract)
- Yoon, S.P., R.H. Jung, Y.J. Kim, S.G. Kim, M.K. Choi, W.C. Lee, H.T. Oh and S.J. Hong, 2009a. Macrobenthic community structure along the environmental gradients of Ulsan Bay, Korea. *The Sea*, **14**: 102–117. (in Korean with English abstract)
- Yoon, S.P., R.H. Jung, Y.J. Kim, S.J. Hong, H.T. Oh and W.C. Lee, 2009b. Spario-temporal changes in macrobenthic community structure and benthic environment at an intensive oyster culturing ground in Geoje-Hansan Bay, Korea. *The Sea*, **14**: 213–228. (in Korean with English abstract)
- Yun, S.G. and S.G. Paik, 2001. Community structure of macrobenthos around Kadugdo, a south coast of Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**: 493–501. (in Korean with English abstract)
- 日本水産資源保護協會, 1972. 水産環境水質基準. 87pp.

---

2011년 6월 29일 원고접수

2011년 7월 21일 수정본 채택

담당편집위원: 신현출