

진해만 대형 저서동물군집 분석을 통한 저서환경 평가

임경훈 · 신현출* · 윤성명¹ · 고철환²

*전남대학교 해양기술학부

¹조선대학교 해양생명과학과

²서울대학교 지구환경과학부

Assessment of Benthic Environment based on Macrofaunal Community Analysis in Jinhae Bay, Korea

KYEONG HUN LIM, HYUN CHOOL SHIN*, SEONG MYEONG YOON¹ AND CHUL-HWAN KOH²

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

¹Department of Marine Life Science, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

²School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

본 연구는 1998년 5월 진해만의 저서동물 군집분석을 통하여 진해만 저서환경의 오염 정도를 파악하기 위해서 수행되었다. 진해만 내에 모두 67개 정점을 선정하여 퇴적물 입도 조성과 저서동물상을 조사하였다. 주요 표층 퇴적상은 silty clay, clay로 지역별 차이가 크지 않았다. 전체 저서동물의 평균 서식밀도는 984개체/m² 이었고, 총 255종이 채집되었다. 가장 우점하는 동물군은 다모류로 총 90종이 채집되었고, 평균 773개체/m²의 서식밀도를 보였다. 대체적으로 진해만의 서쪽 해역은 저서동물상이 빈약한 반면, 만 입구와 가덕도 사이의 수로역은 높은 서식밀도를 나타내었다. 우점종은 다모류, *Lumbrineris longifolia*(16.9%), *Tharyx* sp.(6.7%), *Chone teres*(4.7%), *Glycinde* sp.(4.2%), 이매 패류 *Theora fragilis*(4.0%), 갑각류 *Corophium* sp.(4.0%) 등의 순으로 나타났다. 주요 우점종은 동쪽 입구 수로역에서 집중적으로 출현하였다. 종 조성과 출현개체수에 근거한 집괴분석의 결과 진해만은 모두 3개의 정점군, 즉 마산만 입구역과 진해만의 서쪽 해역(정점군 A), 만의 중앙해역(정점군 B), 가덕도와 거제도 사이의 외해역(정점군 C)으로 구분되었다. 3개 정점군 중 진해만의 서쪽해역을 포함하는 정점군 A의 저서동물 출현종수 및 평균서식밀도가 가장 낮았고, 만 중앙해역인 정점군 B가 가장 높은 서식밀도를 보였다. 섭식유형군별 출현비율에 의한 BPI값과 유기물 집적에 대한 내성/민감도에 근거하여 구분한 생태그룹별 출현비율에 의한 BC값은 서로 유사한 경향이었다. 두 지수 모두 내만역에서 높은 오염도를 나타내었고, 비교적 유속이 빠른 동쪽 입구 수로역과 외해역에서 낮은 오염도를 나타내었다. 진해만의 저서동물 서식밀도는 과거에 비해 큰 변화가 없거나 소폭 감소한 것으로 볼 수 있었다. 진해만에서 출현한 상위 우점종의 종조성은 과거에 비해 큰 변화는 없었으나 오염지시종이나 기회종의 출현비율이 다소 증가한 것으로 볼 수 있었다. BC값에 근거하여 진해만을 오염 구배에 따라 구분해 본 결과, 유속이 빠르거나 외해의 영향을 받는 일부 해역을 제외한 대부분의 해역이 모두 중간정도의 오염 지역(meany polluted site)으로 분류할 수 있었으며, 특히 일부 내만역의 오염도는 심각한 수준(heavily polluted site) 이었다.

To investigate the degree of pollution using the species composition of benthic community and environments, the present study was conducted in Jinhae Bay, May of 1998. In Jinhae Bay, benthic macrofaunal community was investigated on the base of the samples from 67 stations. The main facies of the surface sediment was silty clay and clay. The total species number and the mean density of macrobenthic animals were 255 species and 984 ind./m², respectively. There were 90 species and 773 ind./m² of polychaetes as the most major faunal group in Jinhae Bay. At the region between the eastern mouth of Jinhae Bay and Gadeok Is., the species number and density were higher, while lower at the western area of Jinhae Bay. The most dominant benthic macrofauna in Jinhae Bay was the polychaetes, *Lumbrineris longifolia*(16.9%), and followed by polychaetes *Tharyx* sp.(6.7%), *Chone teres*(4.7%), *Glycinde* sp.(4.2%), bivalves *Theora fragilis*(4.0%), crustaceans *Corophium* sp.(4.0%) and so on. The most of the predominant species appeared mainly on the region between the eastern mouth of Jinhae Bay and Gadeok Is. Cluster analysis based on the macrobenthic faunal composition showed that Jinhae Bay could be divided into three station groups: The western Jinhae Bay(Station group A), the mouth of Jinhae Bay(Station group B), and offshore area between Gadeok Is. and Geoje Is.(Station group C). The mouth of

*Corresponding author: shinhc@yosu.ac.kr

Jinhae Bay had the highest mean species number and the mean density, and its important species was *Lumbrineris longifolia*. The offshore area between Gadeok Is. and Geoje Is. had medium mean species number and the mean density. The western Jinhae Bay had the lowest mean species number and the mean density. The distribution of BPI and BC values, used to assess benthic pollution, showed similar patterns. According to the classification proposed by Borja *et al.*(2000), the stations of the western inner-bay were heavily polluted sites, the stations between mouth of the bay and the offshore area were slightly polluted sites, and the stations of the other area were meanly polluted sites. Benthic community healthiness of the western Jinhae Bay was classified to 'Transitional to pollution' by BC values. The degree of pollution in Jinhae Bay may have extended gradually from the western Jinhae Bay to the mouth of the bay.

Keywords: Jinhae Bay, Benthos, Community, Distribution, Biotic Coefficient, Benthic Pollution Index

서 론

한국 남해안에 위치하고 있는 진해만은 북으로는 마산만과 연결되며, 서·남 방향으로는 거제도가 둘러싸고 있고, 동쪽으로는 외해와 연결되는 형태의 반폐쇄적 만이다. 진해만은 인근에 위치하고 있는 통영과 더불어 수하식 굴 및 살포식 피조개 등의 수산물 생산이 활발한 곳으로 알려져 있었다. 하지만 1970년대에 마산만이 수출자유지역으로 지정되면서부터 대형선박의 입·출항이 빈번해지기 시작하였고, 주변에 마산, 창원 공단의 조성으로 인해 대량의 산업 오폐수가 유입되면서 해양수질의 악화가 날로 심각해지고 있는 해역이다. 또한 인근 도시와 공단에서 유입되는 오폐수로 인해 부영양화가 가속화되고 있으며, 이러한 인위적인 요인들 뿐만 아니라 외해수와 내해수의 해수 소통이 원활하지 못한 자연적인 반폐쇄적 내만의 특성으로 인하여 적조현상이 자주 발생하는 해역이어서 높은 관심의 대상이 되어 왔다(Lee *et al.*, 1981). 따라서 진해만 내에서 적조생물을 포함하는 식물플랑크톤 군집에 대한 연구는 수질과 식물플랑크톤 군집의 계절적 변동(여와 박, 1997), 수질 부영양화 및 계절 변동(조 등, 1998), 진해만 적조에 있어서 수치모델링에 의한 Chl-a의 공간적 집적과 확산평가(이, 2004) 등 비교적 지속적이고 활발히 진행되어 왔다. 저서동물군집에 관한 연구 역시 다른 해역에 비해 비교적 활발하게 진행되어 왔으며, 해양 오염이 저서동물군집에 미치는 영향(Hong and Lee, 1983), 빈산소수괴의 형성과 저서생물량의 관계에 관한 연구(Hong, 1987), 진해만 양식장 밀집해역의 저서동물 분포(임 등, 1992), 진해만 주변 해역의 대형저서동물 군집구조(백과 윤, 2000) 등의 연구가 있다. 이상의 연구 결과들에서 진해만은 전반적으로 유기물 함량이 높은 해역에서 다량으로 출현하는 기회주의적 특성을 가진 종들이 많이 분포하고 있는 것으로 알려져 있으며, 동시에 진해만의 해양 유기물 오염에 대한 심각함은 수차례 보고되어 왔다. 그러나 그동안 우리나라의 경우는 진해만에서 수행된 연구 결과 뿐만 아니라 생물군집을 이용한 대부분의 해양오염 연구가 군집 구조 연구에 치중되어 왔으며, 해양오염과 관련한 저서동물군집의 해석은 주로 다양도 및 오염지표종의 출현 등으로 추론하여 왔다(신 등, 1992a, b; 임 등, 1992). 그런데 연안 환경 오염을 평가하기 위해서 다양도 지수와 같은 군집구조를 해석하는 지수를 이용하여 시·공간적 변화를 해석함에 있어서 지수값이 오염에 따른 군집의 영향에 민감하게 반응하지 못한다는 단점이 있으며, 무엇보다 결과를 해석하는데 있어서 주관적인 경향을 보일 수 있다.

한편 저서동물 군집의 특성으로부터 해양오염과 같은 환경변화를 어떻게 반영하고 해석할 것인가에 대한 오랜 의문을 해결하기 위하여 다양한 연구 방법들이 시도되고 제안되어져 왔다. 몇 가지 예를 들면, 개체수-생물량 비교법(Abundance-Biomass Comparison (ABC) Method; Warwick, 1986; Warwick *et al.*, 1987), 대수-정규 분포 응용법(Log-Normal Distribution Method; Gray and Mirza, 1979), 순위-빈도 곡선(Rank-Frequency Diagram; Frontier, 1985), 희박법(Rarefaction Method; Sanders, 1968) 등이 있다. 국내에서도 임과 홍(1994b)이 위의 방법들을 적용하여 환경평기를 시도한 사례가 있으며, 상기 분석방법들에 대한 여러 가지 장·단점들이 수 차례 보고된 바도 있다(Beukema, 1988; 임과 홍, 1994b; Nelson, 1987).

또 다른 저서환경 평가 기법으로는 Infaunal Trophic Index(ITI), Benthic Pollution Index(BPI), Biotic Index(BI), Biotic Coefficient (BC), 그리고 Benthic Index of Biotic Integrity(B-IBI) 등이 있다. Word(1978)는 저서동물의 출현종수 및 개체수와 같은 군집구조 뿐만 아니라 기능적 측면에서 저서동물의 섭식전략을 이해하는 것이 필요하다고 보고, 두 개의 기본적인 섭식전략군 즉, 부유물 섭식군과 퇴적물 섭식군의 우점도 변화가 유기물량의 변화를 반영 할 수 있다는 관점에서 저서동물의 섭식구조를 근거로 작성된 Infaunal Trophic Index(ITI)를 제안하였다. 한국해양연구소(1995)는 ITI를 기본으로 하는 저서오염지수(Benthic Pollution Index; BPI)를 제안하였다. ITI와 BPI는 종조성 변동에 대한 민감도가 높고, 조사방법이나 조사 시기, 지역 및 연구자가 서로 다른 자료간의 비교가 가능하다는 장점이 있다. ITI와 매우 유사한 개념의 Biotic Index(BI)는 유기물에 대한 저서동물의 내성/민감도의 정도에 따라 구분된 생태그룹을 근거로 작성되었다(Glémarec and Hily, 1981). 그러나 BI는 불연속적인 값이고 계산이 체계적이지 못하다는 단점이 지적되면서 이를 보완하기 위해 Biotic Coefficient(BC)가 제안되었다(Borja *et al.*, 2000). 그리고 Karr(1981)는 하천 어류군을 이용한 생물보전지수(Index of Biological Integrity; IBI)의 개념을 최초로 도입하였으며, 최근 미국 체사피크만(Chesapeake Bay)에서 Benthic Index of Biotic Intergrity(B-IBI)에 대해 처음으로 발표되었다(Weisberg *et al.*, 1997). IBI 평가 기법은 생물의 건강도, 수질에 민감성의 여부 및 영양단계 등의 개념을 반영하는 기법으로 널리 알려져 있다.

ITI나 BPI 그리고 BC등은 저서환경을 평가하고자 함에 있어서 비교적 객관적이고 난해하지 않은 표준 척도를 제공할 수 있다는

장점이 있지만, 지수를 산출하기 이전에 출현한 모든 생물의 섭식유형 또는 생태그룹을 명확하게 파악해야하는 어려움이 있다. 따라서 저서동물의 섭식유형이나 유기물에 대한 민감도와 같은 각각의 출현종별 생태적 특성에 대한 지속적인 자료 축적이 요구된다. 최근에는 이러한 저서동물의 생태적 특성에 근거하여 저서동물 군집의 기능적인 측면에서 저서환경을 평가하고자 하는 연구들이 활발하게 진행되어 오고 있다(최 등, 2003; Borja *et al.*, 2000; Arasaki *et al.*, 2004; Muxika *et al.*, 2005). 이처럼 다양한 환경평가 기법들은 그 나름의 장·단점을 가지고 있으며 어느 하나의 기법이 우리나라 연안 환경에 가장 적합하다고 말하기는 어렵다. 따라서 꾸준한 연구와 고찰, 그리고 지속적인 자료의 축적이 필요할 것이다.

이에 본 연구에서는 진해만 전 해역을 대상으로 하여 현 시점에서 저서동물 군집은 어떠한 분포를 보이고 있는지 파악하여 과거 진해만에서 수행된 연구 결과들과 비교·분석함으로써 진해만 저서동물 군집의 변화를 살펴보고, 다양한 환경평가 기법 중 BPI나 BC와 같은 환경 평가 지수값들을 산출하여 이 지수값들이 진해만의 환경을 어느 정도 반영할 수 있는지를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

진해만의 저서동물 군집분석을 통하여 진해만 저서환경의 오염정도를 파악하기 위해 1998년 5월, 진해만에 총 67개 정점(Fig. 1)을 선정하여 저서동물을 채집하였다. 퇴적물은 개량형 van Veen Grab 채니기(채취면적: 0.1 m²)를 사용하여 각 정점에서 2회씩 채취하였고 선상으로 인양된 퇴적물을 입도분석을 위한 표충퇴적물을 취한 후 채취된 퇴적물을 합하여 즉시 망목 크기 1.0 mm인 체와 해수를 사용하여 퇴적물을 씻어 내었다. 체에 걸린 잔존물은 10% 중성 포르말린으로 고정한 후 실험실로 운반하여 진존물 내 모든 저서동물을 선별하여 실체현미경하에서 동물군별로 구분하고, 가능한 종 수준까지 동정하였으며 이를 다시 계수하고(개체/0.2 m²), 면적당 출현개체수(개체/m²)로 환산하였다. 저서동물 군

집의 특성을 설명하는 생태지수로는 종다양성지수(H')(Shannon and Weaver, 1963), 종균등도지수(J) (Pielou, 1966)를 정점별로 계산하였다.

종조성의 유사도에 기초하여 조사지역을 구분하기 위하여 집과 분석(cluster analysis)을 실시하였다. 이 때 사용한 자료는 전 출현종을 대상으로 하였고, 정점간 유사도지수는 chord distance를 사용하였으며, 정점간 결합은 가중평균결합법(WPGMA)을 사용하였다. 또한 집과 분석에 의해 구분되어진 각 정점군간 유사성 및 비유사성에 기여하는 종을 파악하기 위해 PRIMER 5를 이용하여 SIMPER 분석을 실시하였다(Clarke and Warwick, 2001).

조사해역의 정점별, 지역별 유기물 공급량을 파악하고 유기물을 이용하는 오염종 또는 기회종의 출현 개체수에 의한 지역별 비교를 하기 위하여 저서오염지수(Benthic Pollution Index; BPI)를 구하였다(한국해양연구소, 1995). BPI는 저서동물을 섭식유형에 따라 4개 군으로 구분하고 Word(1978)의 Infaunal Trophic Index(ITI) 산출식을 기본으로 하여 0~100 사이의 지수로 나타낸다. BPI는 조사해역의 각 정점에서 출현개체수가 2개체/0.2 m² 이상인 종들 가운데 전체 출현개체수에 대한 누적백분율이 대략 80% 이내에 속하는 종을 최소 5종 이상 선택하였으며, 출현 종의 수가 5종 미만인 정점에 대해서는 출현한 종 모두를 모든 정점에 고려하였다. 선택된 우점종은 섭식유형에 따라 제1군에는 여과식자(filter feeder)와 육식자(carnivore)를, 제2군에는 표충퇴적물식자(surface deposit feeder)를, 제3군에는 표충하퇴적물식자(subsurface deposit feeder)를, 제4군에는 오염지시종(pollution indicator) 또는 기회종(opportunistic species)을 할당하였다. BPI 계산식은 다음과 같다.

$$BPI = \left[1 - \frac{\frac{a \times N_1 + b \times N_2 + c \times N_3 + d \times N_4}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4}}{d} \right] \times 100$$

여기서, N₁은 여과식자 및 육식자의 출현 개체수, N₂는 표충퇴적물식자의 출현 개체수, N₃은 표충하퇴적물식자의 출현 개체수, N₄는 오염지시종 또는 기회종의 출현 개체수, a, b, c, d는 각각 섭

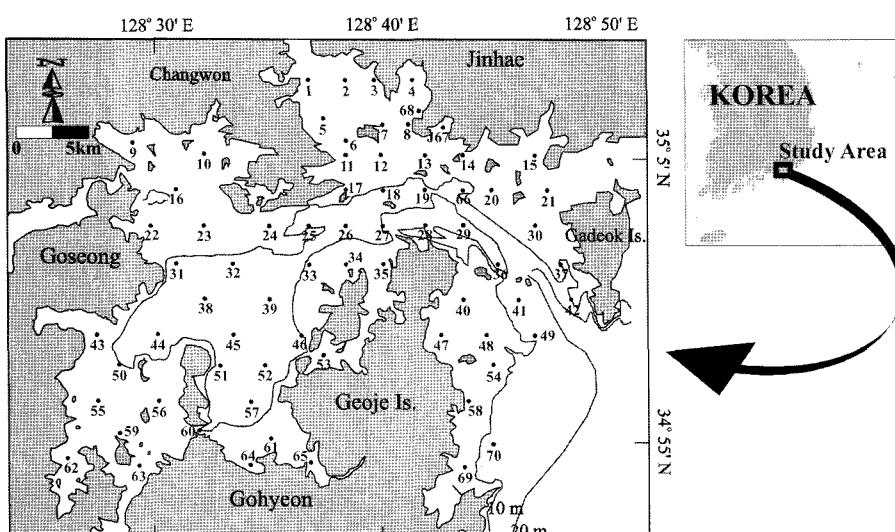


Fig. 1. A map showing the study area and the sampling stations in Jinhae Bay.

식군의 기중치이다. 본 연구에서는 $a=0$, $b=1$, $c=2$, $d=3$ 을 적용하였다. 저서동물 군집의 건강도(benthic community healthiness)를 정점별, 지역별로 비교하고 저서환경을 오염 구배에 따라 구분하기 위하여 Biotic Coefficient(BC)를 구하였다(Grall and Glémarec, 1997; Borja et al., 2000). BC는 유기물 집적과 같은 환경스트레스에 대한 내성/민감도와 관련하여 저서동물을 5개 생태그룹으로 구분하고 각 그룹별 출현비율에 근거하여 계산된 값이다(Arasaki et al., 2004). BC는 0~6 사이의 연속값으로 표현되며, 7은 무생물 지역을 나타내게 된다. BC에 사용되는 지수생물은 BPI 산출과 동일한 방법으로 선택하였다. BC의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{BC} = [(0 \times \%GI) + (1.5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4.5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)]/100$$

여기서 GI, GII, GIII, GIV, GV는 각 생태그룹(ecological group)을 의미하며, 그 개요는 다음과 같다.

Group I (GI): 유기물에 아주 민감한 종(species)이 속하며 정상적인 조건에서 출현한다. 주로 육식자나 일부 관서형 퇴적물식자가 포함된다.

Group II (GII): 유기물의 많고 적음에 크게 좌우되지 않으며 항상 낮은 서식밀도를 보이고 시간에 대한 변화가 뚜렷하지 않은 특성을 가진 종이 속한다. 부유물식자나 극소수의 선택적 육식자와 청소동물(scavenger)이 포함된다.

Group III(GIII): 과도한 유기물량에 내성을 가진 종이 속한다. 본 그룹에 속하는 종들은 정상적인 조건에서 출현할 수도 있지만 이들 개체군 자체가 유기물의 집적을 가속화시킨다. 관서형 얼굴 갯지렁이(tubicolous spionids)와 같은 표충퇴적물식자가 포함된다.

Group IV(GIV): 2급 기회종(second-order opportunistic species)이 속한다. 주로 생활환경이 짧은 소형 표충하퇴적물식자들이 포함된다.

Group V(GV): 1급 기회종(first-order opportunistic species)이 속한다. 환원층에서 급격하게 증식할 수 있는 퇴적물식자들이 포함된다.

BC와 BI는 Table 1에 요약하였다. BPI와 BC를 계산함에 있어 저서동물의 섭식유형군과 생태그룹은 최 등(2003), Grall and Glémarec(1997), 그리고 Borja et al.(2000)에 준하여 본 연구에서의 각 출현종을 할당하였다(Table 3). 그리고 BPI 및 BC와 환경 변수와의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson의 상관계수를 구하였다.

Table 2. Overview of benthic community in Jinhae Bay, May of 1998. Densities are expressed as ind./m². The values in parentheses are species numbers

Ecological Parameters	Mean
Benthic Macrofauna	
Total Species Number	255
Mean Species Number (spp./0.2m ²)	22.8
Mean Density	984
Major Faunal Group	
Polychaeta	773 (90)
Arthropoda	101 (49)
Mollusca	68 (35)
Echinodermata	16 (19)
Ecological Indices	
Diversity (H')	2.09±0.68
Evenness (J)	0.74±0.15

*B: Bivalvia, P: Polychaeta, S: Sipunculida

결 과

표충퇴적물 입도조성과 분포

조사해역의 표충 퇴적물 조성은 gravel이 전혀 나타나지 않았으며, sand는 전 정점에서 분포하고는 있지만 함량비율의 분포를 보면 최대 54.2%에서 최소 0.7%, 평균 5.9±8.2%로 평균함량은 대체적으로 낮게 나타나지만 정점간 차이가 심하였다. sand의 분포를 보면, 거제도와 가덕도 사이의 만 입구해역에서 10~20% 내외의 함량분포를 보이고 있으며, 정점 60에서 54.2%로 나타난 것을 제외하면 그 외의 지역에서는 10% 미만의 낮은 함량분포를 보였다. silt의 함량비율은 최대 45.7%, 최소 1.4%, 평균 22.8±8.6%로서 정점간 차이가 비교적 크지 않고 전반적으로 전 지역에 걸고 른 분포하는 경향이었다. clay의 함량비율은 최대 95.9%, 최소 34.3%, 평균 71.3±11.3%로 본 연구지역 표충 퇴적물의 주 구성요소로 볼 수 있었으며, 만 입구해역의 일부 지역을 제외한 대부분의 지역에서 70% 이상의 높은 함량분포를 보였다(Fig. 2).

표충 퇴적물의 입도는 최대 10.1φ에서 최소 4.9φ로 평균 9.20±0.85φ 이었으며, 조사지역의 정점별 차이가 거의 없었다. 본 조사해역의 퇴적상은 clay, silty clay, sandy silty clay, sandy clay, clayey silt, clayey sand로 모두 6개 퇴적상으로 나뉘어지나, 전체 67개 정점중에서 43개정점이 silty clay로 나타났고 18개정점이

Table 1. Summary of Biotic Coefficient (BC) and Biotic Index (BI) (Borja et al., 2000)

Site pollution classification	Biotic Coefficient (BC)	Biotic Index (BI)	Dominating ecological group	Benthic community healthiness
Unpolluted	0.0 < BC ≤ 0.2	0	I	Normal
Unpolluted	0.2 < BC ≤ 1.2	1		Impoverished
Slightly polluted	1.2 < BC ≤ 3.3	2	III	Unbalanced
Meanly polluted	3.3 < BC ≤ 4.3	3		Transitional to pollution
Meanly polluted	4.5 < BC ≤ 5.0	4	IV - V	Polluted
Heavily polluted	5.0 < BC ≤ 5.5	5		Transitional to heavy pollution
Heavily polluted	5.5 < BC ≤ 6.0	6	V	Heavy polluted
Extremely polluted	Azoic	7	Azoic	Azoic

Table 3. Dominant species above 1.0 percentage in individual number, collected in Jinhae Bay, May 1998. The assigned ecological groups and feeding types were also shown

Species Name	Total Ind. No.(%)	Mean Density (ind./m ²)	Frequency	Feeding Type	Ecological Group
<i>Lumbrineris longifolia</i> (P)	2,240(16.9)	167	53	SSDF	IV
<i>Tharyx</i> sp. (P)	885(6.7)	66	43	SDF	IV
<i>Chone teres</i> (P)	623(4.7)	46	24	FF	II
<i>Glycinde</i> sp. (P)	558(4.2)	42	47	C	II
<i>Theora fragilis</i> (B)	527(4.0)	39	37	FF	IV
<i>Corophium</i> sp. (A)	527(4.0)	39	16	SDF	III
<i>Heteromastus filiformis</i> (P)	448(3.4)	33	37	SSDF	IV
<i>Prionospio pinnata</i> (P)	448(3.4)	33	33	SDF	IV
<i>Magelona japonica</i> (P)	403(3.0)	30	23	SDF	I
<i>Aricidea</i> sp. (P)	389(2.9)	29	19	SDF	I
<i>Laonice cirrata</i> (P)	381(2.9)	28	11	SDF	III
<i>Sigambra tentaculata</i> (P)	371(2.8)	28	48	C	I
<i>Glycera chirori</i> (P)	342(2.6)	26	54	C	II
<i>Capitella capitata</i> (P)	300(2.3)	22	13	SSDF	V
<i>Polydora</i> sp. (P)	296(2.2)	22	30	SDF	IV
<i>Ampharete arctica</i> (P)	286(2.1)	21	28	SDF	I
<i>Prionospio</i> sp. (P)	177(1.3)	13	35	SDF	IV
<i>Euchone</i> sp. (P)	168(1.3)	13	15	FF	II
<i>Nectoneanthes latipoda</i> (P)	168(1.3)	13	25	SDF	N.A
<i>Grandidierella</i> sp. (A)	164(1.2)	12	13	SDF	III
<i>Monocorophium uenoi</i> (A)	152(1.1)	11	9	SDF	III

*P: Polychaeta, B: Bivalvia, A: Amphipoda, FF: Filter Feeder, C: Carnivore, SDF: Surface Deposit Feeder, SSDF: Subsurface Deposit Feeder, N.A: Not Assigned.

clay로 나타나 이 2개 퇴적상이 전체 정점의 91%를 차지하여 본 조사해역의 주요 퇴적상은 clay와 silty clay로 구성되었다고 볼 수 있었다(Fig. 2).

저서동물 군집의 구조적 분석

저서동물의 출현종수 및 서식밀도 분포: 본 연구의 조사해역인 진해만에서 1998년 5월에 채집된 저서동물의 평균서식밀도는 984 개체/m²이며, 총 출현종수는 225종 이었다(Table 2). 이중에서 다모류가 최우점 동물군으로, 총출현종수 90종, 평균서식밀도 773개체/m²(81%) 이었다. 다음 우점 동물군은 절지동물로서 총 49종이 출현하였으며, 서식밀도는 101개체/m²(11%) 이었다. 다음은 연체동물(7%), 극피동물(2%)의 순으로 나타났다.

진해만의 지역별 저서동물의 분포를 살펴보면 Fig. 3과 같으며, 조사해역의 각 정점별 저서동물 출현종수의 경우 평균 22.8 ± 14.4 종/0.2 m²으로 나타났고 각 정점별 서식밀도의 경우 평균 984 ± 939 개체/m²으로 나타나 출현종수와 서식밀도의 정점간 편차가 매우 크게 나타나고 있는 것이 특징적이었다. 즉 저서동물 출현종수의 경우, 만의 입구에 해당되는 해역에서 매우 높았다(Fig. 3A). 특히 정점 27, 정점 29에서는 각각 50종, 51종이 출현하였다. 서식밀도 역시 정점간, 지역간 차이가 매우 심하였다(Fig. 3B). 대체적으로 출현종수가 많았던 해역에서 서식밀도 역시 높게 나타났는데, 진해만 입구에 위치한 해역에서 서식밀도가 매우 높았다. 특히 정점 25, 정점 60에서는 각각 4,230개체/m², 3,730개체/m²으로 매우 높은 서식밀도를 보였다. 반면에 서식밀도가 100개체/m² 이하로 매

우 낮은 서식밀도를 보인 정점도 12개나 되었다. 이처럼 서식밀도가 낮은 정점들은 진해만의 서쪽 해역이나 고현 앞 해역에 위치하고 있었다. 이상의 결과로, 본 조사해역인 진해만의 저서동물상은 지역에 따라 큰 차이를 보이며, 진해만의 서쪽 해역에서 빈약한 생물상을 나타낸 반면, 진해만의 동쪽 입구 수로역은 저서동물의 출현종수와 서식밀도가 매우 높게 나타났음을 알 수 있었다. 종 다양성지수는 평균 2.09 ± 0.68 이며 최대 3.04에서 최소 0.27의 범위였고, 종균등도지수는 0.74 ± 0.15 (0.30~1.00) 이었다. 종다양성지수는 대체적으로 만의 입구역과 가덕도 사이 해역의 정점들에서 높게 나타났으며 내만역인 남서쪽 해역에서는 상대적으로 낮은 값을 보였다. 또한 각정점별 표층퇴적물의 함량분포와 저서동물의 출현종수 및 서식밀도와의 상관관계를 살펴보면, sand 함량은 저서동물의 출현종수($r=0.39$, $p<0.01$)나 출현개체수($r=0.36$, $p<0.01$)와 밀접한 관계를 나타내었으며, clay 함량 역시 저서동물의 출현종수($r=-0.40$, $p<0.01$)나 출현개체수($r=-0.25$, $p<0.05$)와 비교적 뚜렷한 유의성을 보였다. 그러나 silt 함량은 저서동물의 출현종수나 서식밀도와 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).

우점종 분포

본 조사해역에서 채집된 저서동물중 개체수에 있어 출현율 1% 이상의 우점종은 총 21종이며, 다모류에 속하는 종들이 17종으로 대부분을 차지하고 있고 그 외 이매패류 1종, 단각류 3종으로 나타났다(Table 3). 최우점종은 송곳갯지렁이인 *Lumbrineris longifolia*로서 전체 저서동물중 16.9%를 차지하였으며, 평균서식밀도는 167

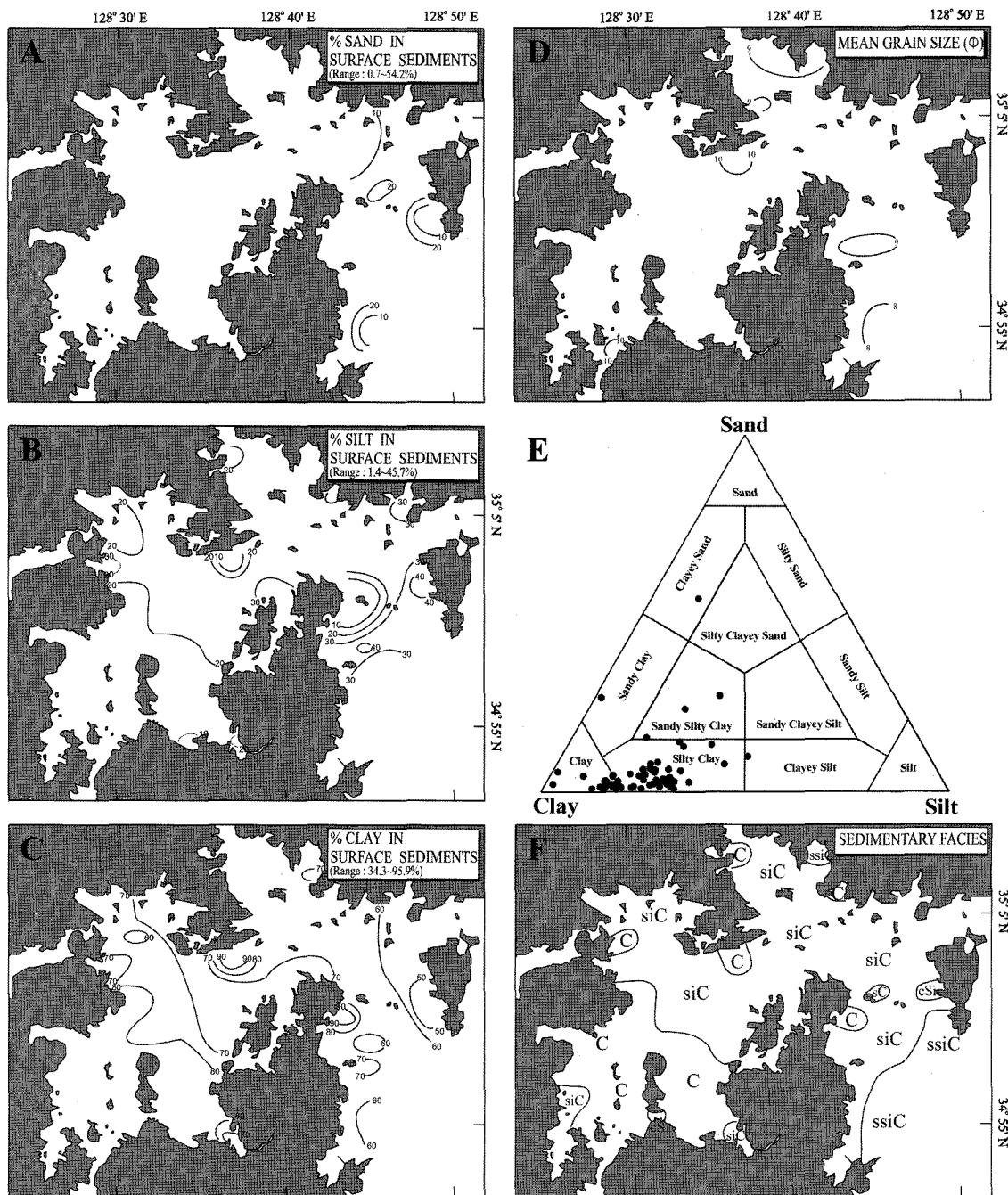


Fig. 2. The characteristics of the surface sediment in Jinhae Bay; Sand, Silt, and Clay content(%; A, B, C respectively), Mean grain size(ϕ) distribution(D), Ternary diagram(E) and Areal distribution of the six surface sedimentary facies(F) (C: clay, sC: silty clay, ssiC: sandy silty clay, sC: sandy clay, cS: clayey sand, cSi: clayey silt).

개체/ m^2 이었다. 다음은 실타래갯지렁이인 *Tharyx* sp.(66개체/ m^2 , 6.7%), 꽃갯지렁이인 *Chone teres*(46개체/ m^2 , 4.7%), *Glycinde* sp.(42개체/ m^2 , 4.2%), 아기반투명조개 *Theora fragilis*(39개체/ m^2 , 4.0%), 단각류 *Corophium* sp.(39개체/ m^2 , 4.0%) 등의 순으로 우점하여 출현하였다.

상위 6개 우점종들의 지역별 분포 현황을 살펴보면 Fig. 4와 같다. 본 조사해역의 우점종들은 전반적으로 조사해역의 동쪽 입구 수로역에 밀집되어 출현하는 양상을 나타내었다. 최우점종인 *L.*

*longifolia*의 경우, 진해만의 동쪽 입구역과 가덕도 사이 해역에서 500개체/ m^2 이상 집중적으로 출현하고 있으며, 진해만의 서쪽 해역에서는 거의 나타나지 않았다. 2번째 우점종인 *Tharyx* sp.의 경우 *L. longifolia*와 마찬가지로 진해만의 동쪽 입구역에서 가덕도 사이 해역에서 주로 출현하고 있지만, *L. longifolia*보다 더 입구 쪽으로 치우친 분포를 하고 있었다. 3번째 우점종인 *C. teres*의 경우, 진해만의 동쪽 입구역에 밀집되어 분포하고 있으며, 특히 정점 46에서 1,235개체/ m^2 으로 극우점하고 있었다. 4번째 우점종인

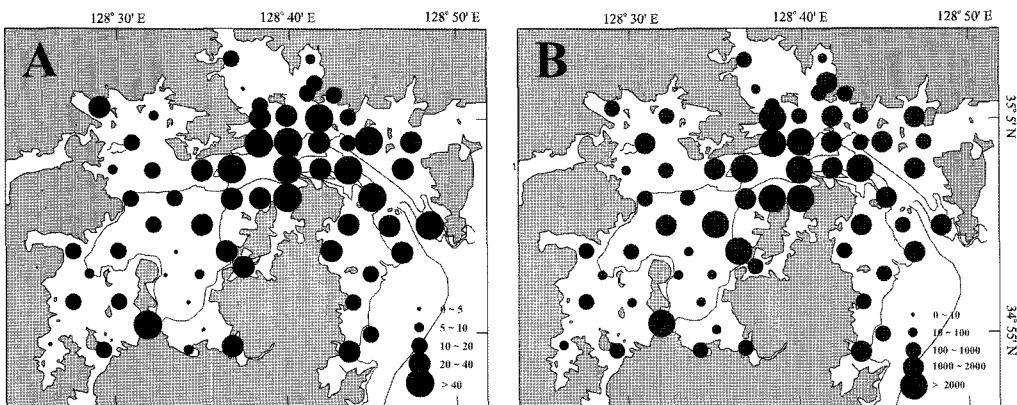


Fig. 3. The spatial distribution of (A) benthic macrofaunal species number(spp./0.2 m²) and (B) density(ind./m²) in Jinhae Bay.

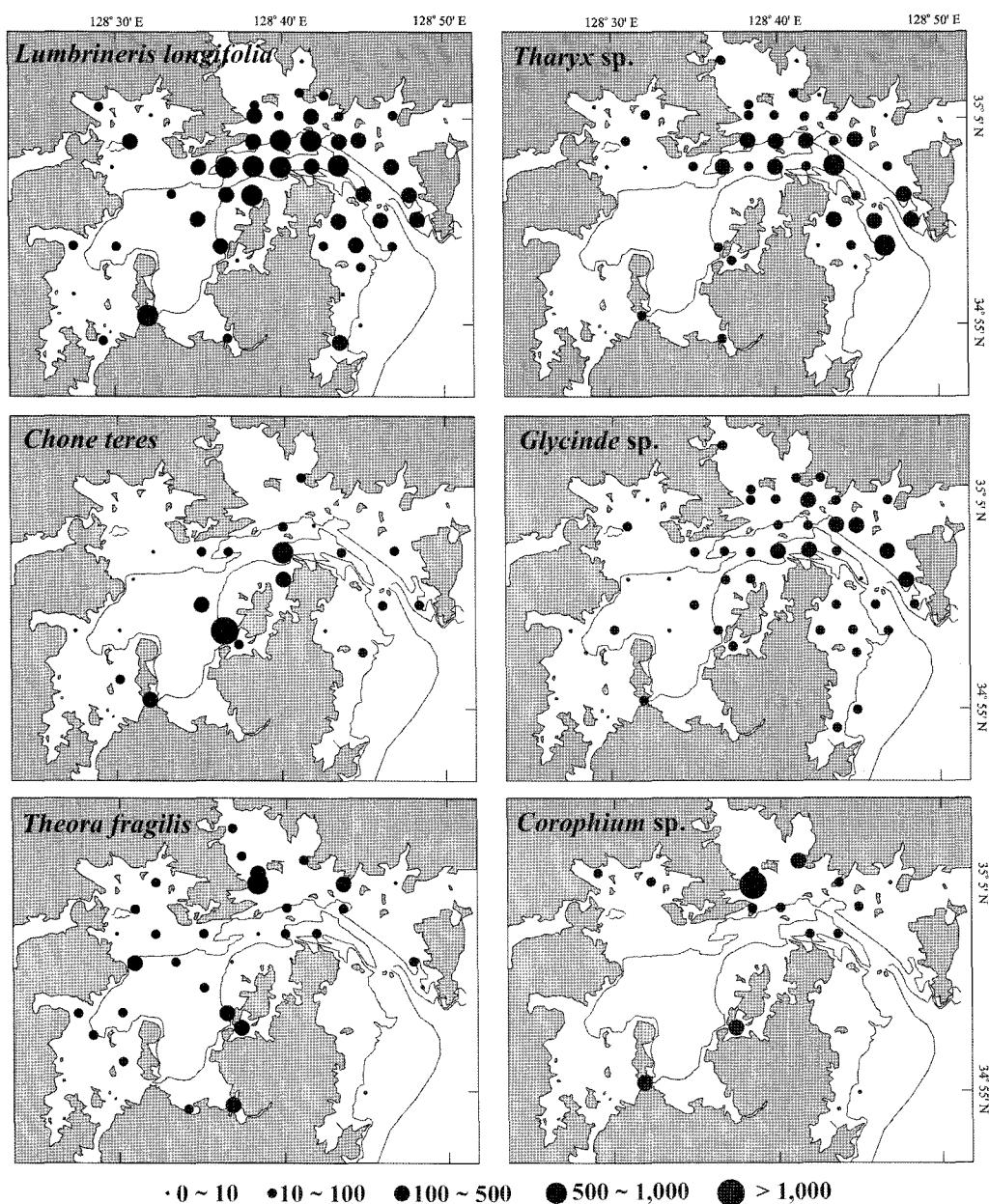


Fig. 4. Spatial distribution of six dominant macrofaunal species in the study area. Density is expressed as ind./m².

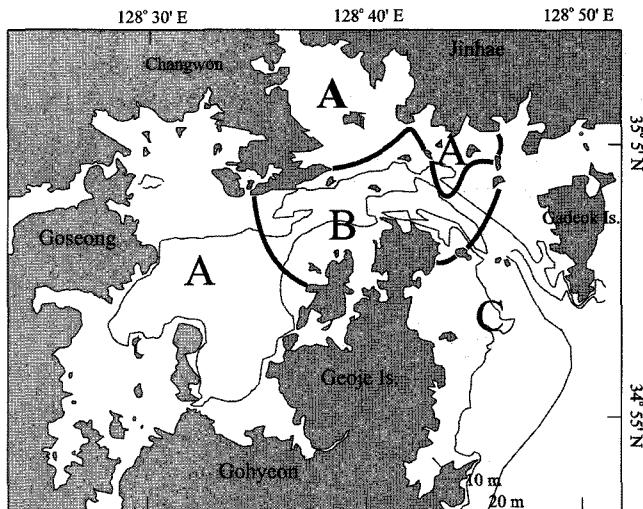


Fig. 5. Distribution of the three station groups which were divided through the cluster analysis.

Glycinde sp.의 경우, 다른 우점종에 비해서 대체로 많은 정점에서 고르게 출현하고 있지만, 여전히 진해만의 동쪽 입구역에서 가덕도 사이 해역에 주로 출현하고 있었다. 5번째 우점종인 아기반투명조개 *T. fragilis*의 경우 역시 *Glycinde* sp.와 마찬가지로 대부분의 정점에서 고르게 출현하고 있는데, 다른 우점종들과는 달리 진해만의 서쪽 해역에서도 상당수가 나타나고 있었다. 6번째 우점종인 단각류 *Corophium* sp.는 진해만의 입구역에서 주로 출현하고 있으며 특히 정점 11에서 1,335개체/m²으로 극우점하였다.

집괴분석

전체 서서동물을 대상으로 하여 종별 출현개체수에 근거한 집괴분석을 실시한 결과 진해만은 크게 3개의 정점군으로 구분되었다(Fig. 5). 정점군 A는 진해만의 연안을 따라 서쪽해역과 진해만의 북쪽해역에 위치하는 정점들로 폭넓게 구성되었으며, 정점군 C는 거제도의 동쪽 연안과 가덕도 사이의 외해로 연결되는 해역에 위치하는 정점들로 구성되었다. 정점군 B는 정점군 A와 정점군 C의 가운데에 위치하였다. 본 조사해역인 진해만의 3개 정점군의 생태학적 특징을 살펴보면 Table 4와 같다. SIMPER 분석에 의해 각 정점군내의 정점간 유사성에 기여하는 종과 비유사성에 기여하는 종을 파악한 결과는 Table 5, Table 6에 나타내었다.

정점군 A: 조사해역에서 가장 폭넓게 구성된 정점군 A의 출현종수는 118종, 정점당 출현종수는 13.0종, 평균 서식밀도는 504개체/m² 이었다. 서식밀도는 비교적 낮은 편이며, 정점당 출현종수 역시 상당히 낮다. 정점군 내에서 다모류의 서식밀도가 345개체/m²으로 가장 높았고, 출현종수는 59종이었다. 종다양성지수는 1.81로 3개 정점군 중에서 가장 낮았다. 우점종은 *T. fragilis*, *Corophium* sp., *P. pinnata*, *L. longifolia* 등이었다. SIMPER 분석 결과 정점군 A의 유사성에 기여하는 상위 종은 *T. fragilis*, *P. pinnata*, *L. longifolia* 등 정점군 A의 주요 우점종이었다. 그러나 *Corophium* sp.의 경우 출현개체수에 있어서는 상위 우점종이었으나 공간적으로 일부 정점에 국한되어 분포하는 경향을 보였으며, 기여율은

Table 4. Comparison of ecological parameters of benthic assemblages between station groups. The individual numbers of dominant species are expressed as mean density(ind./m²) at each station group. The values in parentheses are total species number collected at each station group

Ecological Parameters	Station group A	Station group B	Station group C
Total Species Numbers	118	145	106
Mean Species Numbers (spp./0.2 m ²)	13.0	42.7	28.6
Mean Density	504	2,166	934
Major Faunal Group			
Polychaeta	345 (59)	1,846 (58)	809 (56)
Mollusca	74 (15)	79 (24)	41 (13)
Arthropoda	72 (24)	178 (38)	37 (14)
Ecological Indices			
Diversity (H')	1.81±0.67	2.67±0.22	2.45±0.43
Evenness (J)	0.75±0.17	0.72±0.06	0.73±0.10
Benthic Pollution Index(BPI)	28.1±20.1	35.0±11.6	45.0±15.6
Biotic Coefficient(BC)	3.8±1.0	3.1±0.4	2.3±0.9
Dominant Species			
<i>Ampharete arctica</i>	-	93	-
<i>Aricidea</i> sp.	25	-	-
<i>Capitella capitata</i>	36	-	-
<i>Chone teres</i>	46	56	-
<i>Corophium</i> sp.	51	-	-
<i>Glycera chirori</i>	12	59	30
<i>Glycinde</i> sp.	22	79	73
<i>Heteromastus filiformis</i>	-	63	93
<i>Laonice cirrata</i>	-	118	-
<i>Lumbrineris longifolia</i>	50	528	172
<i>Magelona japonica</i>	-	-	119
<i>Nectoneanthes latipoda</i>	-	45	-
<i>Nephtys polybranchia</i>	-	-	21
<i>Polydora</i> sp.	-	98	-
<i>Parapriionospio pinnata</i>	51	-	-
<i>Prionospio</i> sp.	12	-	-
<i>Sigambra tentaculata</i>	30	-	-
<i>Sternaspis scutata</i>	-	-	27
<i>Tharyx</i> sp.	13	239	101
<i>Theora fragilis</i>	60	10	4

1.35%로 다소 낮은 값이었다.

정점군 B: 총출현종수는 145종으로 3개 정점군중 가장 많은 종이 출현하였으며, 정점당 출현종수 역시 42.7종으로 매우 높았다. 서식밀도 또한 2,166개체/m²으로 가장 높은 서식밀도를 보였고, 다른 정점군과 마찬가지로 다모류가 1,846개체/m²으로 최우점동물군 이었다. 종다양성지수는 2.67이었고, 우점종은 *L. longifolia*, *T. fragilis*, *Polydora* sp., *A. arctica* 등이며, SIMPER 분석 결과 정점군 B의 유사성에 기여하는 상위 종은 *L. longifolia*, *Tharyx* sp., *G. chirori*, *H. filiformis* 등 역시 정점군 B의 주요 우점종들로 구성되었다.

정점군 C: 거제도의 동쪽 연안과 가덕도 사이의 외해로 연결되는 해역으로 구성된 정점군 C의 총출현종수는 106종, 정점당 출

Table 5. Results of the SIMPER analysis showing ten genera which contribute most to the similarity at each station group by Cluster Analysis. Av. Sim: contribution of the *i*th genera to the total similarity; Contrib.%: percentage contribution of the *i*th genera to the total similarity; Cum.%: cumulative contribution to the total similarity

	Av. Sim	Contrib.%	Cum.%
Station group A (average similarity: 21.53)			
<i>Theora fragilis</i> (B)	3.64	16.93	16.93
<i>Parapriionospio pinnata</i> (P)	3.63	16.87	33.80
<i>Lumbrineris longifolia</i> (P)	2.32	10.79	44.59
<i>Sigambra tentaculata</i> (P)	2.15	9.99	54.58
<i>Glycera chirori</i> (P)	1.71	7.94	62.52
<i>Glycinde</i> sp. (P)	1.45	6.74	69.26
<i>Nectoneanthes latipoda</i> (P)	1.11	5.16	74.42
<i>Tharyx</i> sp. (P)	1.06	4.92	79.34
<i>Prionospio</i> sp. (P)	0.64	2.96	82.30
<i>Capitella capitata</i> (P)	0.53	2.48	84.78
Station group B (average similarity: 43.90)			
<i>Lumbrineris longifolia</i> (P)	5.89	13.41	13.41
<i>Tharyx</i> sp. (P)	3.84	8.75	22.16
<i>Glycera chirori</i> (P)	3.03	6.91	29.07
<i>Heteromastus filiformis</i> (P)	2.78	6.32	35.39
<i>Ampharete arctica</i> (P)	2.63	5.99	41.38
<i>Glycinde</i> sp. (P)	2.45	5.58	46.96
<i>Polydora</i> sp. (P)	1.88	4.28	51.24
<i>Cirriformia tentaculata</i> (P)	1.42	3.24	54.48
<i>Pista cristata</i> (P)	1.40	3.18	57.66
<i>Phascolosoma albolineatum</i> (S)	1.24	2.82	60.48
Station group C (average similarity: 43.30)			
<i>Glycinde</i> sp. (P)	5.32	12.30	12.30
<i>Heteromastus filiformis</i> (P)	4.54	10.49	22.78
<i>Lumbrineris longifolia</i> (P)	4.50	10.40	33.18
<i>Glycera chirori</i> (P)	3.74	8.63	41.82
<i>Magelona japonica</i> (P)	3.32	7.67	49.49
<i>Sigambra tentaculata</i> (P)	2.16	4.99	54.48
<i>Nephtys oligobranchia</i> (P)	2.15	4.96	59.44
<i>Tharyx</i> sp. (P)	2.10	4.85	64.29
<i>Ampharete arctica</i> (P)	2.01	4.64	68.93
<i>Sternaspis scutata</i> (P)	2.00	4.61	73.54

*B: Bivalvia, P: Polychaeta, S: Sipunculida

현종수는 28.6종으로 정점별 출현종이 다양한 편이었다. 서식밀도는 934개체/m²으로 상당히 높은 편이었으며 최우점동물군은 정점군 A와 마찬가지로 다모류로서 809개체/m²의 서식밀도를 나타내었다. 종다양성지수 역시 2.45로 비교적 높은 편이었다. 우점종은 *L. longifolia*, *M. japonica*, *T. fragilis* 등이었으며, SIMPER 분석 결과 정점군 C의 유사성에 기여하는 상위 종 역시 주요 우점종들로 이루어져 있었다. 특히 *M. japonica*와 *S. scutata*는 다른 두 정점군에서는 전혀 출현하지 않았다.

SIMPER 분석에 의해 각 정점군 간의 비유사성에 기여하는 종을 살펴보면(Table 6), 먼저 정점군 A와 정점군 B의 비유사성에 기여하는 종은 *L. longifolia*, *Tharyx* sp., *A. arctica*, *H. filiformis*,

Table 6. Results of the SIMPER analysis showing ten genera which contribute most to the dissimilarity between station group divided by Cluster Analysis. Av. Diss: contribution of the *i*th genera to the total dissimilarity; Contrib.%: percentage contribution of the *i*th genera to the total dissimilarity; Cum.%: cumulative contribution to the total dissimilarity

	Av. Diss	Contrib. %	Cum. %
Station group A vs B (average dissimilarity: 82.29)			
<i>Lumbrineris longifolia</i> (P)	3.61	4.39	4.39
<i>Tharyx</i> sp. (P)	3.02	3.66	8.05
<i>Ampharete arctica</i> (P)	2.64	3.20	11.26
<i>Heteromastus filiformis</i> (P)	2.35	2.86	14.12
<i>Polydora</i> sp. (P)	2.05	2.49	16.60
<i>Glycinde</i> sp. (P)	1.92	2.33	18.94
<i>Glycera chirori</i> (P)	1.83	2.22	21.16
<i>Pista cristata</i> (P)	1.76	2.14	23.30
<i>Cirriformia tentaculata</i> (P)	1.74	2.11	25.41
<i>Aricidea</i> sp. (P)	1.67	2.03	27.43
Station group A vs C (average dissimilarity: 80.03)			
<i>Magelona japonica</i> (P)	3.99	4.99	4.99
<i>Heteromastus filiformis</i> (P)	3.95	4.93	9.33
<i>Lumbrineris longifolia</i> (P)	3.51	4.38	14.31
<i>Glycinde</i> sp. (P)	3.51	4.38	18.69
<i>Tharyx</i> sp. (P)	2.92	3.65	22.34
<i>Theora fragilis</i> (B)	2.50	3.12	25.47
<i>Parapriionospio pinnata</i> (P)	2.35	2.94	28.41
<i>Sternaspis scutata</i> (P)	2.33	2.91	31.32
<i>Ampharete arctica</i> (P)	2.14	2.68	33.99
<i>Glycera chirori</i> (P)	2.11	2.64	36.63
Station group B vs C (average dissimilarity: 66.19)			
<i>Tharyx</i> sp. (P)	1.98	2.99	2.99
<i>Lumbrineris longifolia</i> (P)	1.89	2.85	5.84
<i>Magelona japonica</i> (P)	1.64	2.49	8.33
<i>Nectoneanthes latipoda</i> (P)	1.42	2.15	10.47
<i>Polydora</i> sp. (P)	1.41	2.13	12.60
<i>Pista cristata</i> (P)	1.36	2.06	14.67
<i>Ampharete arctica</i> (P)	1.36	2.06	16.72
<i>Cirriformia tentaculata</i> (P)	1.33	2.01	18.73
<i>Aricidea</i> sp. (P)	1.32	1.99	20.72
<i>Phascolosoma albolineatum</i> (S)	1.12	1.69	22.42

*B: Bivalvia, P: Polychaeta, S: Sipunculida

Polydora sp., 등이며, 특히 *A. arctica*, *H. filiformis*, *Polydora* sp.는 정점군 A에서 거의 출현하지 않고 정점군 B에 집중적으로 분포하였다. 그리고 정점군 A와 정점군 C의 비유사성에 기여하는 종은 *M. japonica*, *H. filiformis*, *L. longifolia*, *S. scutata* 등이었으며, *M. japonica*와 *S. scutata*는 정점군 A에는 거의 나타나지 않고 정점군 C에 집중되어 출현하는 특성을 보였다. 또한 정점군 B와 정점군 C의 비유사성에 기여하는 종을 살펴보면, *Tharyx* sp., *L. longifolia*, *M. japonica*, *N. latipoda* 등이며 특히 *M. japonica*의 경우는 여전히 정점군 B에서도 거의 출현하지 않는 특성을 보

인 종이며, *N. latipoda*는 이와 반대로 정점군 C에서는 거의 출현하지 않으며 정점군 B에서만 밀집되어 나타나는 경향을 보였다. 그리고 정점군 A와 정점군 B, 정점군 A와 정점군 C의 비유사성에 기여하는 종 중에서 특히 범세계적 유기오염 지표종으로 알려져 있는 *C. capitata*의 경우 정점간 비유사성에 대한 기여율이 크게 높지는 않지만(정점군 A vs B: 0.85%; 정점군 A vs C: 1.22%), 정점군 B와 정점군 C에는 전혀 출현하지 않고 정점군 A에서만 집중적으로 출현하는 특성을 보였다.

저서동물 군집의 기능적 분석을 통한 저서환경 평가

저서동물 군집의 생태적 특성을 이용하여 진해만의 저서환경을 평가하기 위하여 BPI 및 BC를 산출하여 분석하였다. BPI는 평균 33.0 ± 18.8 로 상당히 낮은 값을 보였으며 출현종수나 서식밀도의 분포 경향과 같이 지역별로 차이가 심하였다. 집괴분석에 의해 구분되어진 정점군별로 BPI를 살펴보면, 정점군 A에서 평균 28.1로 가장 낮은 값을 보였고, 외해역의 정점군 C에서 가장 높은 값인 평균 45.0를 나타내었으며, 정점군 B는 평균 35.0으로 나타났다(Table 4). BPI의 정점별 분포를 살펴보면 내만역은 대체적으로 낮은 값이었고 칠천도 주변 해역과 가덕도와 거제도 사이의 외해역은 비교적 높은 값이었다. 그러나 정점 59가 위치한 지도 주변 해역과 고현 앞에 위치한 가조도 주변 해역 그리고 마산만 입구 해역에서는 BPI가 10 내외로 아주 낮은 값이었다(Fig. 6A). 따라서 내만역이 외해역에 비해서 상대적으로 유기물을 이용하는 표충하 퇴적물식자나 오염지시종 또는 기회종의 출현비율이 높음을 알 수 있으며, 내만역의 유기물 공급량이 더욱 높다고 볼 수 있다. 그러므로 이상과 같은 BPI값의 분포로 볼 때, 내만역이 외해역보다 더 높은 오염도를 나타내고 있다고 평가할 수 있다.

BC의 정점별 분포를 살펴보면 기본적인 개념이 유사한 만큼 BPI의 분포와 크게 다르지 않았다(Fig. 6B). BC는 0.4~6.0의 범위에서 변동을 보였으며 평균 3.3 ± 1.0 으로 역시 비교적 지역간 차이가 심하였다. Borja *et al.*(2000)이 제안한 분류에 따르면, 진해만은 정상적인 저서동물 군집 건강도(normal benthic community healthiness)를 나타내는 정점은 전혀 나타나지 않았으며, impoverished benthic community healthiness도 두 개 정점에 불과하였다. 즉, 정

점 58과 정점 70에서 각각 0.4와 0.9로 가장 낮은 값이었고 이 두 정점은 모두 진해만의 가장 외해역에 위치하고 있으며 퇴적상은 sandy silty clay로 다른 정점들에 비해 clay 함량이 적고 다소 조립하였다. 이외에도 가덕도와 거제도 사이에 위치한 외해역의 정점들로 구성된 만의 입구역에서는 전반적으로 낮은 BC 값을 나타내고 있어서 진해만내에서는 저서동물군집이 가장 교란받지 않은 해역으로 볼 수 있었으며 GI의 생태그룹에 속하는 *M. japonica*의 경우 외해역에 밀집되어 있는 것이 가장 큰 특징이었다. 이를 제외한 대부분의 정점은 slightly polluted와 meanly polluted에 해당되었고, 저서동물 군집의 건강도는 불안정(unbalanced)하거나 오염으로 진행되는 과도기(transitional to pollution)로 평가할 수 있었으며, 이것은 본 해역이 전반적으로 GIII의 생태그룹, 즉 과잉된 유기물량에 내성을 가진 종들로 우점되고 있음을 의미한다(see Table 1). 특히 고현앞 해역에 위치하고 있는 정점 57(BC=4.5, BI=4; Polluted)과 정점 64(BC=5.6, BI=6; Heavy polluted), 지도와 가조도 사이에 위치하고 있는 정점 59(BC=6, BI=6; Heavy polluted), 그리고 마산만 입구 해역에 위치하고 있는 정점 68(BC=5.7, BI=6; Heavy polluted)에서 상당히 높은 BC값을 보였다. 이상과 같이 BC값이 매우 높게 나타난 정점들에서 표충퇴적물의 sand 함량은 평균 2.6%(1.5~4.5%)에 불과하였다. 만 중앙역에서는 정점간 생태그룹의 출현비율이 비교적 고르게 나타났지만 유기물에 내성이 강한 GIII의 생태그룹에 속하는 종들로 우점되면서 3~3.5의 대체적으로 높은 BC값을 나타내고 있었다. 역시 집괴분석에 의한 정점군별로 BC를 살펴보면, 정점군 A에서 BC는 평균 3.8(BI=3)로 가장 높게 나타났고, 외해역인 정점군 C에서 BC는 평균 2.3(BI=2), 정점군 B는 평균 3.1(BI=2)의 값을 나타내었다. 따라서 외해역에서 내만역으로 갈수록 유기물에 내성이 강한 종들의 출현비율이 증가하고 있음을 알 수 있고, 결국 저서환경의 안정도는 외해에서 내만역으로 갈수록 점진적으로 불안정해지고 있다고 볼 수 있다.

Pearson의 상관계수를 이용하여 BPI 및 BC값과 환경요인과의 상관관계를 살펴보면 BPI는 퇴적상과 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났고 통계적으로도 유의하지 않았다($p>0.05$). 그리고 BC는 sand($r=-0.30, p<0.05$)나 silt($r=-0.38, p<0.01$) 함량과는 매우 낮

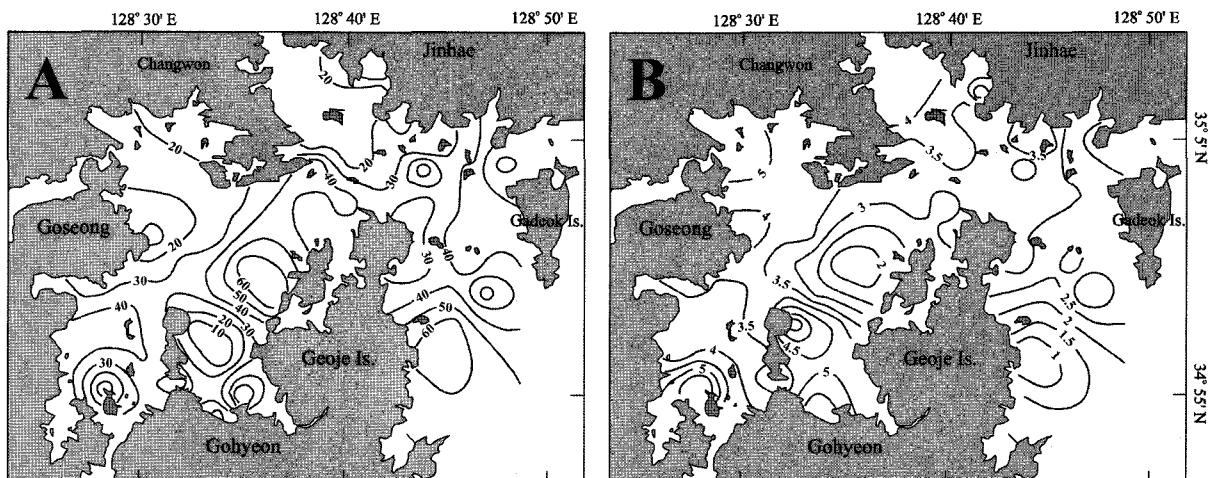


Fig. 6. The distribution of (A) BPI and (B) BC values in Jinhae Bay.

Table 7. Comparison of the macrofaunal density between the literatures and the present study

Literature cited	Sampling date	Station No.	Sampling gear/area/replicate	Macrofaunal density (ind./m ²)
Hong(1987)	1983. 9	83	van Veen grab/0.1 m ² /5 times	1,441
Lim and Hong(1997a, b)	1987-1990	10-12	van Veen grab/0.1 m ² /5 times	1,045
Lim <i>et al.</i> (1992)	1990. 10-1991. 7	13	van Veen grab/0.1 m ² /3 times	404
Paik and Yun(2000)	1998. 1-1998. 12	8	Smith-McIntyre grab/0.05 m ² /4 times	1,939
Present study	1998. 5	67	van Veen grab/0.1 m ² /2 times	984

은 상관관계를 나타내었고, clay 함량과는 낮은 정상관관계를 보였으며($r=0.50$, $p<0.001$), 평균입도 역시 낮은 정상관관계를 나타내었다($r=0.43$, $p<0.001$). 따라서 전반적으로 지역별 차이가 크지 않은 진해만의 퇴적상 특성을 고려해 보더라도 높은 BC값은 clay 함량과 더욱 관련이 큰 경향성을 가진다는 것을 알 수 있다. 또한 다양도 지수와의 상관관계를 보면 BPI는 거의 상관관계가 없는 것으로 나타났으나 BC와 다양도 지수는 낮은 역상관관계($r=-0.56$, $p<0.001$)를 보여 대체적으로 다양도가 감소할수록 오염도는 증가함을 나타내었다.

고 찰

과거 진해만 내에서 수행된 저서동물 군집의 연구결과 중 저서동물의 서식밀도를 본 연구와 비교하여 보면 Table 7과 같다. Hong(1987)의 경우는 본 연구와 마찬가지로 진해만 전체 해역을 대상으로 조사를 수행하였고 정점수 역시 유사하였다. 그러나 임 등(1992)의 비교적 낮은 서식밀도와 백과 윤(2000)의 높은 서식밀도는 임 등(1992)의 경우 본 연구에서 빈약한 저서생물상을 나타내었던, 양식장이 밀집한 만 서쪽 해역만을 집중적으로 조사하였고, 백과 윤(2000)의 경우 본 연구에서 저서생물상이 가장 풍부하였던 만 중앙해역으로 조사해역이 집중되어 있었기 때문에 생긴 차이로 보인다. 그러므로 조사해역의 범위와 정점수의 차이로 인해 정확한 비교는 어려우나 이러한 차이와 본 연구에서 나타난 저서동물의 분포 특성을 고려한다면 진해만의 저서동물 서식밀도는 과거에 비해 큰 변화가 없었거나 혹은 소폭 감소한 것으로 볼 수 있을 것이다.

진해만 저서동물의 공간분포는 지역별, 정점별로 출현종수와 서식밀도가 큰 차이를 보이고 있다는 것이 특징적이었다(Fig. 4). 즉, 진해만 전체 해역에서 만의 서쪽 해역은 저서동물상이 빈약하였지만, 동쪽 입구 수로역에서는 저서동물의 출현종수와 서식밀도가 대단히 높았다. 저서동물의 분포에 영향을 미치는 환경요인으로는 퇴적환경(Cassie and Michael, 1968; 신 등, 1989)이나 염분, 용존 산소량(Hong, 1987) 등을 들 수 있다. 본 연구의 결과에서 저서동물의 출현종수 및 서식밀도는 sand나 clay 함량과 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있었고, BC값과 표충퇴적물의 clay 함량이 낮은 정상관관계를 보여 clay 함량이 높을수록 생태그룹 IV 이상의 기회종 출현비율이 대체적으로 높음을 알 수 있었다. 그러므로 본 연구해역에서 표충퇴적물의 clay 함량과 기회종의 분포 경향은 밀접한 관련이 있다고 볼 수 있다. 그러나 조사 해역의 표충퇴적물은 앞서 기술한 바와 같이 전반적으로 clay와 silty clay가 우세한 해역으로 일부 sand 함량이 다소 높게 나타난 정점에 의해 전체적인 편차는 크지만 이를 제외하면 본 연구 해역의 퇴적상은 정

점별로 큰 차이가 없었으며(Fig. 2), 과거 진해만의 퇴적상과도 큰 차이가 없었다(임 등, 1992; 임과 흥, 1994a). 그러므로 본 연구해역에서 퇴적상이 본 조사해역의 저서동물 분포와 밀접한 관련은 있으나, 결정적인 영향을 미치는 주된 영향 요인으로 보기에는 무리가 있다고 생각되며, 퇴적상 이외의 주된 영향요인이 있음을 간과할 수 없을 것으로 보인다. 왜냐하면 본 연구에서는 진해만의 환경요인에 대해 표충퇴적물의 입도조성에 대한 분석만이 수행되었으나, 임 등(1992)에서 본 해역은 육지로부터 담수가 대량으로 유입될 수 있는 하천이 없기 때문에 염분변화 역시 크지 않아서 염분을 본 해역의 저서동물 분포를 결정짓는 주 영향요인으로 보기는 어렵다고 하였다. 그리고 진해만은 인근 육상에서 유입되는 산업폐수 및 생활하수뿐만 아니라 외해수와의 해수교환이 원활하지 못하기 때문에 저층 환경의 오염이 심화되고 있는 대표적인 연안 해역이며, 더욱이 만의 서쪽 해역은 낮은 수심, 원활하지 못한 해수의 소통, 각종 양식에 의한 오염물질의 증가 등으로 인해 진해만 내에서도 저층 환경의 오염정도가 심각한 수준이다(조 등, 1982; 이 등, 2003a). 특히 이 등(2003a)에 따르면 1999년 8월, 진해만 서쪽 해역에서의 저층 용존산소 농도는 0.09~5.08 mg/l의 범위로 대부분 빈산소 또는 무산소 수괴가 나타났다고 하였다. 또한 본 조사해역 중에서 서쪽 해역에 해당하는 양식장 밀집지역을 중심으로 1990년 10월부터 1991년 7월까지 저서동물 군집을 조사한 임 등(1992)은 양식장이 밀집하고 있는 진해만의 서쪽 해역은 여름철에 수온약층이 형성되어 저층 빈산소 수괴가 발달하게 되면서 저서동물 군집이 심각한 영향을 받을 수 있음을 지적하였고, 임과 흥(1994a)은 진해만의 저층 빈산소수과 형성은 본 연구와 비슷한 시기인 5월부터 내만에서 형성되기 시작하여 점차 외해역으로 확산된다고 보고하였다. 이상과 같이 진해만내 서쪽 해역은 저층 환경오염으로 인해 저서생태계가 불안정하여 동쪽 입구 수로역에 비해 저서동물의 출현종수 및 서식밀도가 낮은 값을 나타내고 있는 것으로 보인다.

1983년 9월에 본 연구의 조사해역과 동일한 진해만 전 해역을 대상으로 저서동물 군집을 조사한 Hong(1987)에 따르면, 서식밀도 100개체/m² 이하의 빈약한 저서동물상을 나타내고 있는 해역은 고현앞 해역과 서쪽 해역으로 본 연구인 1998년 5월의 저서동물상과 유사한 경향이었다. 그리고 임 등(1992)의 조사기간 중 저서동물 평균서식밀도는 34.5개체/m²~786.5개체/m²의 범위이었으며 이중 본 연구의 조사시기와 계절적으로 유사한 1991년 4월의 평균서식밀도는 786.5개체/m²으로 본 연구에서 서쪽해역을 포함하는 정점군 A의 평균서식밀도를 상회하는 값이었다. 그러므로 내만역의 저서동물 서식밀도는 1991년 4월에 비해 본 연구에서 다소 감소하였다고 볼 수 있었다. 동쪽 입구 수로역 부근에서 저서동물의 서식밀도가 높은 것은 이곳에서 본 연구의 우점종들이 집

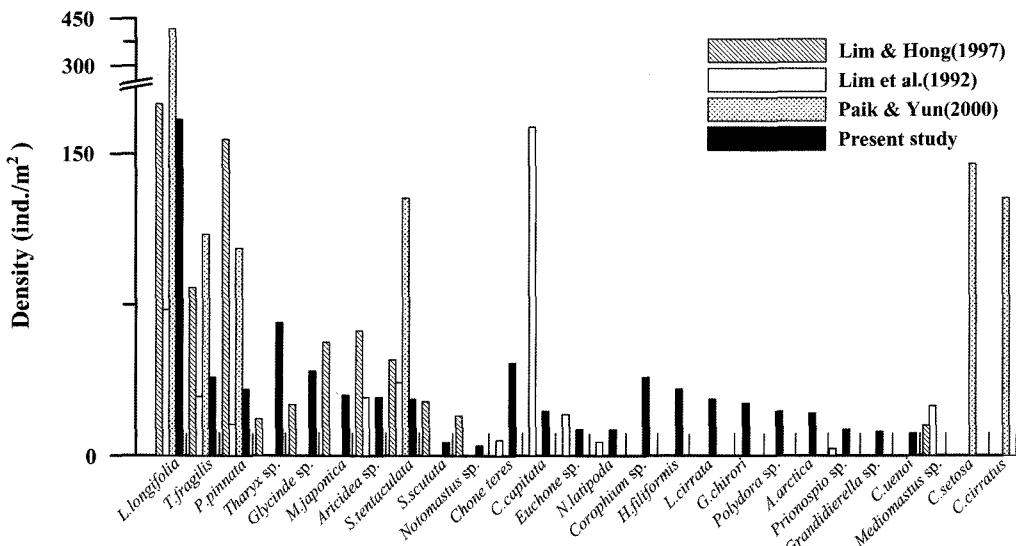


Fig. 7. Comparison of dominant species between the literatures and the present study in Jinhae Bay.

중적으로 출현하고 있기 때문이다(Fig. 4). 과거 진해만에서 보고되었던 우점종과 본 연구에서 조사된 우점종의 종조성 및 서식밀도를 비교하여 살펴보면 Fig. 7과 같다. 백과 윤(2000)의 높은 서식밀도와 임 등(1992)의 비교적 낮은 서식밀도는 앞에서 언급한 것과 같이 조사해역의 범위와 정점수의 차이에 기인한다고 보아진다. 그러므로 이러한 점을 감안한다면 우점종의 서식밀도 역시 전체 저서동물의 서식밀도와 마찬가지로 과거에 비해 큰 변화가 없거나 혹은 소폭 감소한 것으로 볼 수 있다. 우점종의 서식밀도뿐만 아니라 분포 역시 유사하였는데 즉, 본 조사해역 중에서 비교적 저서동물상이 빈약하였던 서쪽 해역을 제외한 나머지 해역에서 저서동물 군집생태를 연구한 임과 홍(1997a)의 결과에서 1989년 5월부터 1990년 5월까지 전해만의 저서동물 우점종의 분포는 본 연구와 크게 다르지 않아서 전해만의 중앙부와 입구역에서 높은 서식밀도를 보였다. 또한 상위 우점종의 종조성 역시 크게 다르지 않아서, 최우점종은 임과 홍(1997a) 그리고 본 연구 모두 *L. longifolia*로 같았으며, 최우점종의 분포 역시 유사하여 거의 모든 정점에서 출현하였고 전체 저서동물 중 차지하는 비율 역시 각각 16.8%, 16.9%로 유사하였다. 그러나 임과 홍(1997a)에서는 1.75%로 비교적 그 중요도가 낮았던 다모류 *Tharyx sp.*가 본 연구에서는 6.7%를 차지하면서 두 번째 우점종으로 출현하였다. 또한 과거에는 우점종에 속하지 않았던 단각류 *Corophium sp.*가 본 연구에서는 전체 저서동물 중 4.0%를 차지하면서 주요 우점종으로 출현하고 있었으며, 비교적 유기물이 풍부한 해역에서 출현하는 것으로 알려진 다모류 *H. filiformis*, *Polydora sp.*, *Prionospio sp.* 등도 과거에는 우점하지 않았으나 본 연구에서는 우점종으로 출현하고 있었다. 이와는 반대로 과거에는 2.58%로 만 입구역에서 주로 분포하며 우점하였던 *S. scutata*가 본 연구에서는 분포 경향은 유사하나 우점종에 포함되지는 않았고 만 입구역(정점군 B)에서 일부 출현하였을 뿐이어서 출현 개체수가 과거에 비해 매우 감소하였고 *M. japonica* 역시 과거에 비해 서식밀도가 감소하였다. 단각류 *Corophium sp.*와 다모류 *Tharyx sp.*는 과도한 유기물량에 내성을 가졌거나 기회주의적 특성을 나타내는 종으로(Borja et al.,

2000), 과거에 출현하지 않거나 출현하더라도 그 중요도가 상대적으로 낮았던 이들 종이 본 연구에서는 우점종으로 출현하고 있고, 또 비교적 유기 오염도가 낮고 외양수의 영향을 받는 해역에서 주로 분포하는 특성을 가진 *S. scutata*와 *M. japonica*의 서식밀도가 과거에 비해 다소 감소하였음을 주목할 만한 사실이다.

본 연구에서 동쪽 입구 수로역 부근에 출현하고 있는 우점종 중 여파식자인 *C. teres*가 집중 출현하고 있음은 동쪽 입구 수로역의 해수 소통이 비교적 원활함을 반영할 수도 있다. 그러나 *C. teres*의 높은 서식밀도는 철천도 주변 해역의 극히 일부 정점에 국한되어 있으며, 이를 제외한 다른 우점종들 즉, *L. longifolia*, *Tharyx sp.*, *T. fragilis*, *Corophium sp.*는 유기물 오염이 심화된 곳에서 대량으로 출현하는 지시종 혹은 생태학적 천이과정 중의 기회종(*opportunistic species*)으로 널리 알려진 종이다. 이러한 기회종들이 본 연구 해역에서 4~16% 이상을 점유하는 주요 우점종으로 출현하고 있음(Table 3)으로 볼 때, 이미 본 해역은 유기물 오염이 심화되어 저서환경이 비교적 교란되어 불안정함을 의미한다고 볼 수 있다. 또 서쪽 해역은 빈약한 저서생물상을 나타내고 있는데 반해 동쪽 입구 수로역 부근에서 이들 우점종이 집중 출현하고 있는 것과 과거의 연구결과(Hong, 1987; 임 등, 1992)를 비교해 볼 때 그 정도의 범위가 점진적으로 확산되어가고 있음을 암시한다고 볼 수 있다. 특히 범세계적인 유기물 오염지시종으로 널리 알려진 *C. capitata*가 과거(임 등, 1992)에 비해 점유율은 감소하였지만 여전히 2.3%를 점유하면서 주요 종으로 출현하고 있다. 더욱이 앞서 언급하였던 조사해역 범위와 정점수의 차이, 그리고 서쪽 내만역과 마산만 입구역의 일부 해역에서만 집중적으로 출현하고 있는 *C. capitata*의 분포 특성을 고려한다면 임 등(1992)의 *C. capitata* 밀도와 본 연구에서의 밀도는 큰 차이가 없는 것으로 볼 수도 있다. 이러한 사실들로 미루어 볼 때 본 연구 해역은 여전히 유기물 오염의 가능성성이 잠재되어 있음을 배제할 수 없다고 생각된다.

집과분석의 결과에 의하면 본 연구 해역은 크게 3가지 형태의 군집상이 형성되어 있는 것으로 볼 수 있었다(Fig. 5). 즉 마산만

입구역과 진해만 서쪽 해역을 포함하는 내만역, 진해만의 중앙역, 그리고 남해로 연결되는 외해역의 3가지 형태로 구분이 가능하였 다. 3개 정점군 중 특히 진해만의 서쪽 해역을 포함하여 가장 폭 넓게 구성된 정점군 A는 저서동물의 서식밀도도 가장 낮았고, 종 다양성지수 역시 매우 낮은 특성을 보이고 있어서 진해만 전체 해역에서 저서동물의 안정성이 가장 낮다고 볼 수 있다. 또한 만 중앙역에 해당하는 정점군 B가 가장 높은 서식밀도를 나타내고 있지만, 이것은 본 연구 해역의 우점종들이 정점군 B에서 집중적으로 출현하고 있기 때문이라고 생각된다. 집괴분석의 결과에 의한 각 정점군의 우점종 특성(Table 4)을 살펴보아도 진해만 전 해역에서 유기물 오염이 진행되고 있음을 알 수 있다. 비록 외해와 맞닿아 있는 정점군 C의 경우 비교적 청정해역에서 주로 출현하는 것으로 알려진 *S. scutata*와 유기물에 민감하여 GI의 생태그룹에 속하는 *M. japonica*가 집중적으로 출현하고는 있지만, *L. longifolia*, *H. filiformis*와 같은 잠재적 유기물 오염 지시종들 역시 주요 우점종으로 출현하고 있다. 정점군 B에서는 *L. longifolia*와 *H. filiformis*와 같은 잠재적 유기물 오염 지시종들이 극우점하여 서식밀도가 매우 높게 나타나고, 내만역인 정점군 A에서는 전반적인 출현종 수 및 서식밀도가 크게 감소하면서 범세계적 유기오염 지표종인 *C. capitata*가 출현하고 있다. 임과 흥(1997b)의 결과에서는 본 연구의 정점군 A에 해당하는 해역을 세분화하여 내만역에 위치하면서 도시하수나 산업폐수 등의 인위적 영향을 받기 쉬운 내만역(마산만 입구역과 서측 내만의 양식장 밀집지역)과 만 중앙부로 구분하고 있었다. 임과 흥(1997b)의 결과와 본 연구의 결과로 볼 때 진해만은 서쪽 내만역의 불안정한 생태계의 범위가 과거에 비해 다소 넓어지고 입구역에서 만내로 갈수록 즉, 정점군 C에서 정점군 B, 다시 정점군 A로 갈수록 유기물 오염이 심화되고 있다고 볼 수 있을 것이다.

이러한 사실은 BPI 및 BC값의 분포를 보아도 집괴분석의 결과와 잘 부합되고 있음을 알 수 있는데, 즉 BPI는 비교적 빠른 조류의 영향을 받는 칠천도 주변 해역과 가덕도~거제도 사이의 외해역(Kim, 1994)에서 높은 값을 나타내고 있으며 BC 역시 낮은 값을 나타내고 있다. BPI값이 높다는 것은 상대적으로 유기물을 이용하는 오염지시종이나 기회종의 출현량이 적음을 의미하며 BC

값이 낮은 것은 유기물 집적에 민감한 종들의 출현 비율이 낮음을 의미한다. 그러나 만 중앙해역의 경우 BPI값은 20~30, BC값은 3~3.5의 범위로 어느 정도 외해의 영향을 받는, 해수소통이 비교적 원활한 해역임에도 불구하고 대체적으로 오염도가 높음을 의미하는 값을 나타내고 있는데, 이는 만 중앙해역이 유기물량에 비교적 내성을 가진 종들에 의해 우점되면서 그 우점종들에 의해 유기물 집적이 가속화 될 가능성을 내포하고 있다고 볼 수 있다. 또한 진해만 전체 해역은 GIII의 생태그룹, 즉 과잉된 유기물량에 내성을 가진 종들로 우점되고 있음을 나타내고 있으며, 저서동물군집의 상태는 불안정한 상태에서 오염환경으로 진행되는 과도기에 놓여 있다고 평가할 수 있을 것이다(Table 1). 그리고 Borja et al.(2000)이 제안하였던 BC값에 근거하여 진해만을 오염 구배에 따른 4개의 해역으로 구분하여 보면 Fig. 8A와 같다(see Table 1). 또한 BPI값을 5등급으로 나누어 본 연구해역을 구분하여 보면 Fig. 8B와 같다(이 등, 2003b). BC와 BPI값에 근거하여 본 연구해역을 구분한 결과, 대체적으로 두 경우 모두 유사한 결과를 나타내고 있으며, BC의 경우는 칠천도 주변 해역과 외해역이 slightly polluted로 구분되었고, 나머지 대부분의 해역이 meanly polluted로 구분되었으며 내만역의 일부 해역이 heavily polluted로 구분되었다. 그리고 BPI의 경우 역시 칠천도 주변 해역과 외해역이 I~II 등급($BPI \geq 51$)이었으며, 그 외 대부분의 해역은 III~IV 등급($31 \leq BPI \leq 50$)이었고, 내만역의 일부 해역이 V 등급($BPI \leq 30$)으로 나타났다. 즉, 외해역에서 만 중앙해역, 그리고 다시 내만역으로 갈수록 BC값은 점진적으로 증가(BPI값은 감소)하고 있으며, 특히 양식장이 밀집한 만의 서쪽 지도 주변 해역과 고현 앞에 위치한 가조도 주변 해역, 그리고 마산만 입구해역의 일부 정점에서 매우 높은 BC값(매우 낮은 BPI값)이 나타나고 있었다(Fig. 6, Fig. 8). 이는 진해만은 오염의 구배가 만의 입구에서 서측 내만역으로 확산되고 있음을 시사한다고 볼 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 조사해역인 진해만의 저서환경은 전반적으로 불안정한 상태이며, 지속적으로 주의 깊은 관찰과 관리가 요구된다고 볼 수 있다.

본 연구에서 저서동물의 섭식 형태를 기준으로 하는 섭식유형군별 출현비율에 의한 BPI와 유기물에 대한 내성/민감도를 기준으로 하는 생태그룹별 출현비율에 의한 BC를 계산하여 비교하여

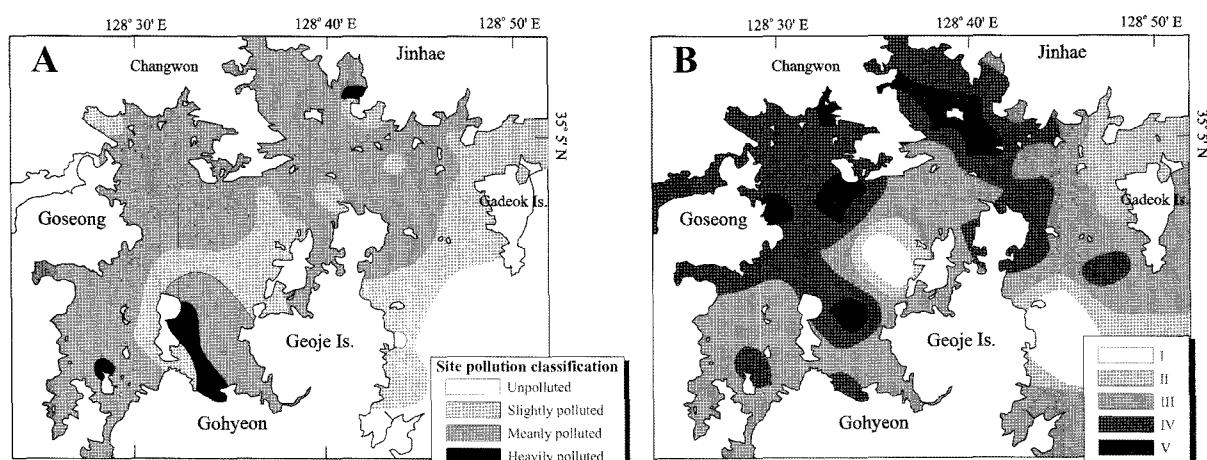


Fig. 8. The benthic pollution classification of Jinhae Bay using BC(A) and BPI(B) values.

본 결과, 대체적으로 두 지수 모두 집괴분석의 결과와 잘 부합되었다. 또한 두 지수 모두 진해만 저서동물 군집의 상태를 비교적 잘 반영한다고 보아지며, 이들 두 지수 모두 유사한 경향을 얻을 수 있었다. 그러므로 저서동물의 분포와 유기물 공급량과의 관계, 또는 저서동물 군집의 건강도(benthic community healthiness)나 조사해역의 저서환경 오염도를 파악하고자 할 때, 두 지수 모두 유용한 저서환경 평가의 표준 척도를 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 Arasaki *et al.*(2004)의 경우 BC는 퇴적물의 평균 입도, 유기탄소량 및 유기질소량과는 정상관관계를 가지며, sand 함량과는 역상관관계를 가진다고 하였고, 본 연구에서도 BC와 퇴적상은 비교적 밀접한 상관관계를 나타내었다. 또한 Borja *et al.*(2000)은 본 연구와 같이 BC와 다양도가 역상관관계가 있음을 나타내었고, 뿐만 아니라 BC와 저층 용존산소 농도는 역상관관계가 있음을 보였다. 그러므로 BPI나 BC와 같은 생태계의 기능적 관점에서의 저서환경 평가 기법을 적용함에 있어 퇴적상 뿐만이 아닌 유기물 함량, 용존산소, 염분 등과 같은 기타 다른 환경변수들 간의 상관관계도 지속적으로 파악해야 할 필요가 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 환경부 ‘G7 프로젝트: 연안 저서환경 건강평가 기술’ 2단계 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 그리고 본 논문을 성심 성의껏 살펴보고 문제점을 지적해 주신 익명의 두 분 심사위원님께도 감사드립니다.

참고문헌

- 백상규, 윤성규, 2000. 진해만 주변 해역의 대형저서동물 군집구조. *한국수산학회지*, **33**(6): 572–580.
- 신현출, 최진우, 고철환, 1989. 서해 경기 내만해역 조간대, 조하대의 저서동물군집. *한국해양학회지*, **24**(4): 184–193.
- 신현출, 최성순, 고철환, 1992a. 영일만 다모류 군집의 계절별, 공간적 변화. *한국해양학회지*, **27**(1): 46–54.
- 신현출, 강성길, 고철환, 1992b. 경기만 남부 해역의 저서다모류 군집. *한국해양학회지*, **27**(2): 164–172.
- 여현구, 박미옥, 1997. 진해만 동부 해역내 식물플랑크톤 군집과 수질환경의 계절 변동. *한국환경과학회지*, **6**(3): 231–238.
- 이대인, 조현서, 이문숙, 2003a. 鎮海灣 西部海域의 夏季 環境特性研究 - 수질 및 저질의 공간적 변동-. *한국물환경학회지*, **19**(6): 723–730.
- 이대인, 2004. 진해만 적조에 있어서 수치모델링에 의한 Chl-a의 공간적 집적과 확산 평가. *한국해양환경공학회지*, **7**(1): 1–12.
- 이재학, 박자양, 이형곤, 박홍식, 김동성, 2003b. 저서오염지수(BPI)를 이용한 시화호 환경평가. *Ocean and Polar Research*, **25**(2): 183–200.
- 임현식, 최진우, 제종길, 이재학, 1992. 鎮海灣 養殖場 密集海域의 低棲動物 分布. *한국수산학회지*, **25**(2): 115–132.
- 임현식, 홍재상, 1994a. 진해만 저서동물의 군집생태, 1. 저서환경. *한국수산학회지*, **27**(2): 200–214.
- 임현식, 홍재상, 1994b. 해양 저서동물 군집을 이용한 진해만의 환경 평가-종별 개체수 분포 특성에 따른 그래프 분석기법의 적용-. *한국수산학회지*, **27**(5): 659–672.
- 임현식, 홍재상, 1997a. 진해만 저서동물의 군집생태, 2. 우점종의 분포. *한국수산학회지*, **30**(2): 161–174.
- 임현식, 홍재상, 1997b. 진해만 저서동물의 군집생태, 3. 군집구조. *한국수산학회지*, **30**(2): 175–187.
- 조경제, 최만영, 곽승국, 임성호, 김대윤, 박종규, 김영의, 1998. 마산-진해만의 수질 부영양화 및 계절 변동. *한국해양학회지-바다*, **3**(4): 193–202.
- 조창환, 양한섭, 박경양, 염말구, 1982. 鎮海灣 貝類養殖場의 底質에 關한 研究. *한국수산학회지*, **15**(1): 35–41.
- 최진우, 유옥환, 이우진, 2003. 광양만에 서식하는 대형저서동물의 하계 공간분포양상. *한국해양학회지-바다*, **8**(1): 14–28.
- 한국해양연구소, 1995. 해양저서생물상에 의한 환경평가-해양환경관리기술 보고서. 환경부, 과학기 술처, 339p.
- Arasaki, E., P. Muniz and Pires, A.M.S., 2004. A Functional Analysis of the Benthic Macrofauna of the São Sebastião Channel (Southeastern Brazil). *Marine Ecology*, **25**(4): 249–263.
- Beukema, J.J., 1988. An evaluation of the ABC-method(abundance/biomass comparison) as applied to macrozoobenthic communities living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Marine Biology*, **99**: 425–433.
- Borja, A., J. Franco and V. Pérez, 2000. A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin*, **40**(12): 1100–1114.
- Cassie, R.M. and A.D. Michael, 1968. Fauna and sediments of an intertidal mud flat: A multivariate analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **2**(1): 1–23.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. PRIMER-E Ltd., Plymouth. U.K.
- Frontier, S., 1985. Diversity and structure in aquatic ecosystems. *Oceanography Marine Biology Annual Review*, **23**: 253–312.
- Glémarec, M. and Hily, C., 1981. Perturbations apportées à la macrofaune benthique de la baie de Concarneau par les effluents urbains et portuaires. *Acta Oecologica Oecologia Applicata*, **2**: 139–150.
- Grall, J. and M. Glémarec, 1997. Using Biotic Indices to Estimate Macrobenthic Community Perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **44**(Supplement A): 43–53.
- Gray, J.S. and F.B. Mirza, 1979. A possible method for the detection of pollution-induced disturbance on marine benthic communities. *Marine Pollution Bulletin*, **10**(5): 142–146.
- Hong, J.S. and J.H. Lee, 1983. Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan, Korea. *The Journal of Oceanological Society of Korea*, **18**(2): 169–179.
- Hong, J.S., 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. *The Journal of Oceanological Society of Korea*, **22**(4): 246–256.
- Karr, J.R., 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, **6**: 21–27.
- Kim, C.K., 1994. Three-Dimensional Numerical Model Experiments of Tidal and Wind-Driven Currents in Chinhae Bay. *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, **29**(2): 95–106.
- Lee, K.W., G.H. Hong, D.B. Yang and S.H. Lee, 1981. Seawater

- Quality and Red Tides in Jinhae Bay: I. Relationships Between Water Quality Parameters and Red Tides. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, **16**(2): 43–48.
- Muxika, I., A. Borja, W. Bonne, 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. *Ecological Indicators*, **5**: 19–31.
- Nelson, W.G., 1987. An evaluation of deviation from the lognormal distribution among species as a pollution indicator in marine benthic communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **113**: 181–206.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *T. Theoret. Biol.*, **13**: 131–144.
- Sanders, H.L., 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. *The American Naturalist*, **102**(925): 243–282.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois, Press, Urbana, 177pp.
- Warwick, R.M., 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, **92**: 557–562.
- Warwick, R.M., T.H. Pearson and Ruswahyuni, 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method. *Marine Biology*, **95**: 193–200.
- Weisberg, S.B., Ranasinghe, J.A., Dauer, D.M., Schaffner, L.C., Diaz, R.J., and Frithsen, J.B., 1997. An estuarine benthic index of biotic integrity(B-IBI) for Chesapeake Bay. *Estuaries*, **20**(1): 149–158.
- Word, J.Q., 1978. The Infaunal Trophic Index. In: Southern California Coastal Water Research Project-Annual Report, 19–39.

2005년 6월 28일 원고접수

2007년 2월 14일 수정본 채택

담당편집위원: 최광식