

# 해양 저서동물 군집을 이용한 진해만의 환경 평가

— 종별 개체수 분포 특성에 따른 그래프 분석기법의 적용 —

임현식 · 홍재상\*

한국해양연구소 해양생물연구부 · \*인하대학교 해양학과

## An Environmental Impact Assessment Based on the Benthic Macrofauna in Chinhae Bay, Korea

— An Application of Some Graphic Methods by Distribution Pattern of Individuals Among Species —

Hyun-Sig LIM and Jae-Sang HONG\*

*Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

*\*Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea*

Four simple plotting techniques using the distribution of individuals among species were applied and the results discussed to evaluate the methods for detecting organic pollution-induced perturbation in marine benthic communities in Chinhae Bay, Korea: Rarefaction method, Abundance-Biomass Comparison method, Log-Normal Distribution method and Rank-Frequency Diagram method.

Their distribution curves offered more information on the community structure than other frequently used diversity indices and distinguished clear evidence of an effect of environmental pollution with gradient. However, the Abundance-Biomass Comparison method could not be considered applicable due to the presence of larger slowly growing K-strategists in a polluted area of the inner Chinhae Bay, Korea.

### 서 론

저서동물은 이동성이 거의 없거나 정착성이므로 주위의 환경오염에 대해 적응하지 못하면 폐사하게 된다. 또한 저서동물은 퇴적물내의 유기물 함량이 높아지거나 독성물질에 의한 퇴적물 오염과 같은 서식처의 교란에 매우 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(Boesch and Rosenberg, 1981; Gray, 1981; Hartley, 1982; Pearson and Rosenberg, 1978). 따라서 저서동물의 분포 특징을 이용하면 어떤 주어진 해역에 대한 환경을 간접적으로 평가할 수 있다. 더구나 이러한 정보는, 그 속성상 수권의 다른 플랑크톤이나 유영동물 등의 표영생물

군집보다 해양환경 모니터링 연구에 유용하며, 해양환경이 시·공간적으로 큰 변화를 보이는 해역에서는 특히 중요한 요소로 취급될 수 있다.

이러한 관점에서 저서동물의 군집에 대한 연구는 1960년대초 이래 연안해역 환경평가의 주요 수단인 하나로 이용되어져 왔으나, 주로 군집의 종조성이나 우점종의 개체수에 기초하여 환경을 평가하였다(北森, 1960, 1963). 그러나 1970년대에 들어서면서부터 다양도지수(Shannon and Wiener, 1963)를 해양환경을 평가하는 한 방법으로써 많이 사용하게 되었다(Leppäkoski, 1975). 한편 오염이 저서동물 군집에 미치는 영향에 대한 연구가 계속 되면서 저서동물의 분포 특성으로부터 오염의 영

향을 해석하려는 노력이 계속되어 몇 가지 방법이 사용되고 있다(Sanders, 1968; Warwick, 1986; Warwick *et al.*, 1987; Gray, 1979; Frontier, 1985). 한편 오염연구에서 생태학적 제지수로 나타내는 수치는 결과만의 수치로서, 군집구조를 상세히 알 수 없는 반면, 그림으로 표현할 경우 간접적으로나마 군집의 구조를 지수에 비해 상대적으로 상세히 알 수 있는 장점이 있다. 따라서 그림으로 표현되는 방법은 보다 유용하다고 할 수 있다. 한편 우리나라의 경우 해양오염과 관련된 연구는 주로 수괴의 물리화학적 요인이나 생물군집의 구조연구에 치중되어 있으며, 오염과 관련된 저서동물군집의 해석은 주로 다양도 및 오염지표종의 출현 등으로 추론하고 있다(신 등, 1992; 임 등, 1992).

진해만은 반폐쇄성 내만으로 많은 양식시설이 있으며, 인근에는 도시와 공단이 발달하여 도시하수와 산업폐수에 의해 오염의 영향이 심한 곳일 뿐 아니라 적조가 빈번히 발생하는 해역이다. 또한 진해만내에 시설된 많은 수하식 양식장의 양식생물과 부착생물로부터 유래되는 입자성 유기물은 저서환경 및 저서동물군집에 큰 영향을 미치고 있다(임 등, 1992). 이러한 이유 때문에 진해만은 오염과 관련하여 많은 조사가 이루어졌으나, 저서동물에 관한 조사는 비교적 적은 편이다(Hong and Lee, 1983; 임 등, 1992). 또한 이 때의 조사는 생태지수의 변화 및 오염 지표종의 출현에 근거하였으며, 마산 내만에서 가덕수도에 이르는 해역과 진해만 서측해역에 국한되었다. 따라서 진해만 전체의 저서동물군집을 대상으로 오염영향과 오염의 진행과정을 추적하는 것은, 이 해역의 환경을 평가하는데 매우 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구의 목적은 진해만의 저서동물군집을 이용하여, 지금까지 개발된 몇 가지 환경평가의 기법들을 사용하여 진해만의 수역에 따른 오염정도를 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

저서동물의 채집을 위해 진해만에 12개 정점을 설정하고(Fig. 1), 1989년 5월부터 1990년 5월까지 매월 van Veen grab(0.1 m<sup>2</sup>)을 이용하여 각 정점당 5회씩 퇴적물을 채집하였다. 채집된 퇴적물은 선상에서 1 mm 망목의 체로 걸른 후 그 잔존물을 플라스틱 샘플병에 담고 10% 중성 포르말린 용액

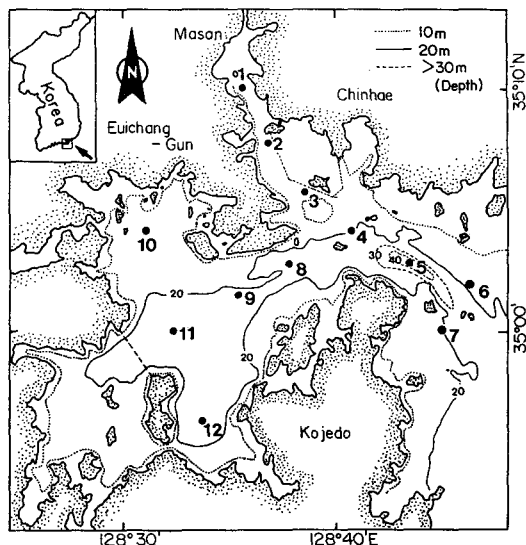


Fig. 1. Map showing the sampling stations in Chinhae Bay, Korea.

으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 동물군별로 선별하고, 종 단위까지 동정하였다. 동정된 각 종은 개체수를 세고 10 mg까지 썰 수 있는 전자저울을 사용하여 습중량을 측정하였다. 이 때 연체동물의 경우 패각의 무게를 포함시켰으며, 나뭇잎나 갑각류의 경우 서관(棲管)은 제외시켰다. 채집된 저서동물자료는 단위면적당(m<sup>2</sup>)의 개체수 및 생물량으로 환산하였다.

임과 홍(1994) 및 Lim and Hong(1994)는 동일시기에 이 지역에서 조사된 일반 환경자료 및 상기 생물학적 자료를 바탕으로 생태학적 제 분석결과, 진해만의 저서환경과 저서동물 군집을 오염구배에 따라 4개 구역으로 나누었다. 따라서 각 정점군에 속하는 정점들의 13개월치 자료를 산술적으로 모두 합하여 하나의 자료로 간주하여 분석에 사용하였다. 즉 생태학적 제분석 결과 나타난 진해만의 오염구배 현상에 대해, 지금까지 알려진 방법들 가운데 희박법(Rarefaction Method)(Sanders, 1968), 개체수-생물량 비교법(Abundance-Biomass Comparison(ABC) Method)(Warwick, 1986; Warwick *et al.*, 1987), 대수-정규 분포 응용법(Log-Normal Distribution Method)(Gray, 1979) 및 순위-빈도 곡선(Rank-Frequency Diagram)(Frontier, 1985) 등의 기법들을 적용하여, 진해만의 환경평가를 시도하였다.

### 조사해역의 개황

진해만은 행정구역상 5개시, 4개군으로 둘러싸여 있으며, 진해만에 영향을 미치는 인구는 총 약 115 만명으로, 하루에 231,000 m<sup>3</sup>의 도시하수가 진해만으로 유입되고 있다. 이것을 COD로 환산하면, 발생 오염부하량은 총 COD 102,000 kg/day이며, 이 가운데 생활 하수가 약 65%로서 마산과 창원에서 주로 발생한다. 축산 폐수는 약 23%를 차지하고 있는데 주로 고성군에서 발생하여 유입되고 있다. 산업폐수의 오염부하량은 COD 11,651 kg/day이며, 마산과 창원이 약 90% 이상을 차지하고 있다. 분뇨 처리장에서는 COD 591 kg/day가 발생하고 있는데, 총 COD 부하량의 약 59%가 마산시와 창원시에서 발생하고 있다(환경처, 1991).

한편 과거 9년동안(1982~1990)의 저층 수괴의 COD값의 시·공간적인 변화를 보면, 진해만 전체 해역의 평균 값은 2.21(±0.58) mg/l로서, 1988년 6월에 2.77 mg/l을 나타낸 이후, 다소 감소된 경향을 나타낸다. 이 결과를 구역별로 보면, 마산만은 COD가 평균 2.98(±0.91) mg/l로 진해만에서도 가장 높은 값을 나타내는 해역이다. 그리고 진해만의 내만에서 외해로 나올수록 그 값은 점차 낮아져서 진해만 입구 해역에서는 평균 2.01(±0.72) mg/l을 나타내고 있다(수산진흥원, 1985, 1989).

진해만에서 그 동안 수행된 연구 중 적조에 대한 연구(박, 1982), 동물플랑크톤(박과 이, 1982), 퇴적물의 지화학적 특성(Yang and Hong, 1988) 및 중금속(Hong et al., 1983; Lee and Lee, 1983) 등의 연구 결과에서도, 외해에서 내만으로 들어오면서 뚜렷하게 환경이 악화되는 양상을 나타내고 있다.

한편 저서동물 군집의 정점간 유사도 분석으로부터는 4개 group으로 나누어졌다(Lim and Hong, 1994, Fig. 2). 즉 마산만과 고현성만의 Group-I은 해수유동이 원활하지 못하고 정체가 심한 곳으로, 인근도시에서 유입되는 도시하수의 영향을 가장 심하게 받아 유기오염이 현저한 해역이다. 다양도 지수는 가장 낮아 평균 1.07이었으며, 정점에 따라 0.89~1.24의 범위였다. 특히 퇴적물의 유기탄소(POC) 함량이 높고, 빈산소수괴가 5월부터 형성되어 여름에 특히 심해지는데, 이 때는 생물의 서식이 불가능해져서 생물이 출현하지 않는다. Group-II는 진해만 중앙부의 정점 9, 10, 11이 포함되며, 주위에는 굴, 진주담치 등의 수하식 양식이 많이 이루어지고 있으며, 외해수와와 해수교환이 그다지 원활하지 못해 진해만의 고유한 환경을 형성하고 있

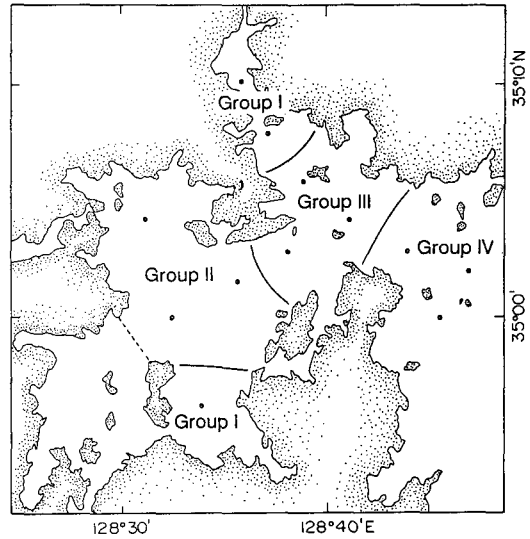


Fig. 2. Zones of four station groups based on cluster analysis of the macrozoobenthos in Chinhae Bay.

는 해역이다. 또한 이 해역은 유기물이 풍부하여 POC는 4.35~5.23%로 비교적 높다. 다양도는 1.99로 정점에 따라 1.54~2.40의 범위였다. Group-III은 진해만 외해수의 영향도 어느 정도 받지만, Group-I과 II의 환경영향도 동시에 받아 그 중간적인 성격을 띄는 점이지역(transitional zone)이라 할 수 있다. POC는 3.93~4.43%로서 Group-IV 보다는 낮으나, Group-I과 II 보다는 높은 값을 보이고 있다. 다양도는 평균 2.81로 Group-IV 다음으로 높았으며 2.77~2.87 범위였다. Group-IV는 가장 외해에 접해 있는 정점군으로, 퇴적물의 유기물함량도 다른 정점군에 비해 상대적으로 적은 2.8~3.4%의 범위를 보이고 있다. 다양도는 2.87~3.15의 범위였으며 평균 3.03이었는데, 다른 지역에 비해 상대적으로 값이 높다(Table 1).

### 결과 및 고찰

#### 1. Sanders(1968)의 희박법(稀薄法, Rarefaction method)

일반적으로 해양 저서동물은 채집면적이 증가함에 따라 채집되는 개체수 및 출현종수는 증가한다. 그러나 채집면적이 계속 증가할 경우, 개체수는 산술적으로 증가하지만 종은 일정한 수준까지 증가

Table 1. Ecological characteristics at each stational group in Chinhae Bay

Item/Stational	Group	I	II	III	IV
Station No.		1, 2, 12	9, 10, 11	3, 4, 8	5, 6, 7
<i>Environmental</i>					
Depth range(m)		12~22	13~21	10~23	13~38
Grain size(mean $\phi$ )		8.84~9.50	8.95~9.55	8.83~9.05	7.46~8.62
POC* range(%)		6.27~6.90	4.35~5.23	3.93~4.43	2.80~3.40
<i>Ecological</i>					
Total number of species		95	166	185	227
Abundance(ind./m <sup>2</sup> )		217	1,280	1,260	1,133
Biomass(g WWt/m <sup>2</sup> )		13.71	96.01	133.04	114.04
Mean diversity		1.07 ± 0.14	1.99 ± 0.35	2.81 ± 0.05	3.03 ± 0.12
Mean evenness		0.47 ± 0.03	0.61 ± 0.03	0.71 ± 0.01	0.75 ± 0.03
Mean dominance		0.24 ± 0.07	0.20 ± 0.03	0.12 ± 0.01	0.10 ± 0.03
Mean richness		1.62 ± 0.50	4.09 ± 1.54	7.67 ± 0.10	8.44 ± 0.40

\*Particulate Organic Matter

한 후, 거의 일정한 수준을 유지하게 된다. 이러한 밀도와 종수간의 곡선관계를 바탕으로, Sanders (1968)는 군집의 다양도를 비교하는 방법으로서 희박법을 제안하였다. 즉, 서로 다른 군집에서 동일한 개체수의 시료를 채집할 경우, 여기에 포함될 수 있는 종 수를 비교할 때, 희박법의 곡선을 사용함으로써 다양도의 차이를 쉽게 알 수 있다. 따라서 희박법에 의한 군집의 비교는 다양도를 비교하는 하나의 방법으로 볼 수 있다. 오염도가 심한 내만의 경우 동물의 서식밀도 및 출현종수가 적거나, 기회종의 밀도가 높은 군집을 구성하게 된다. 한편, 오염의 영향이 적은 외해역에서는 출현종수가 많고 밀도도 높은 것이 일반적이다. 이러한 경우 동일한 횡수의 그랩 채집에서 얻은 저서동물 자료로부터 다양도를 계산할 경우, 계산된 수치만으로 이러한 각 군집의 특성을 충분히 반영하지 못하게 된다. 그러나 어떤 해역이 오염으로 인해 저서동물 군집이 영향을 받아 다양도가 변화하였다면 다양도의 변화를 희박법으로서 비교할 수 있다.

희박법이 오염해역의 다양도를 비교하는 수단으로 사용된 예는 많다. Raman and Ganapati(1983)는 Bengal만에 위치한 항구의 저서군집을 연구하면서, 오염구배에 따라 다양도가 달라짐을 희박법으로 나타내고, 오염상태를 잘 반영한다고 지적하였다. 또한 Simberloff(1978)도 Roanoke 강의 오염의 영향을, 어류군집에 대한 희박법 곡선으로 설명하고 있다. 그 외에도 Holland *et al.*(1973)은 미국

Galveston 만의 수질 지표로서 저서동물군집을 연구하면서 이 방법을 사용하고 있다. 또한 Rosenberg (1973)는 스웨덴 피요르드 해안에 위치한 제지공장의 오염영향 연구에, Wolff(1973)는 네덜란드 Delta 지역에서 저서동물 군집 비교에 이 방법을 사용하고 있다.

진해만의 경우 4개 정점 Group의 다양도를 서로 비교하기 위해 Sanders(1968)의 희박법을 적용하여 보았다. 가장 다양도가 낮은 Group-I에서 채집될 수 있는 개체수를 기준으로 볼 때, 여기에 포함될 수 있는 출현종 수는 내만으로부터 외해로 나가면서 증가하고 있다. 즉 가장 내만에 있는 정점들인 Group-I의 다양도가 가장 낮았으며, 그 다음이 중앙부 해역인 Group-II였고, 외해역 정점군으로 갈수록 다양도가 증가함을 알 수 있다(Fig. 3). 이러한 결과는 진해만에서 나누어진 4개 군집의 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 생각된다. 즉, 출현종수의 차이는 진해만의 저서환경의 차이를 반영하는 것으로서, 이러한 환경차이는 퇴적물의 유기물 함량 및 저층수의 COD 값의 차이, 빈산소수괴의 출현 등을 들 수 있다(Table 1; 해양연구소, 1993).

그러나 이 방법은 출현종 각각의 종 특성을 무시하고 단지 종 수 및 개체수라는 수치만을 다루게 되어, 종 수와 개체수가 같은 두 군집이 있다면, 종 조성이 다르더라도 같은 결과로 나타나게 된다는 단점이 있다. 한편, 우리나라의 경우, 이 방법을 사용하여 연안 저서생태계의 오염현상을 해석한 예

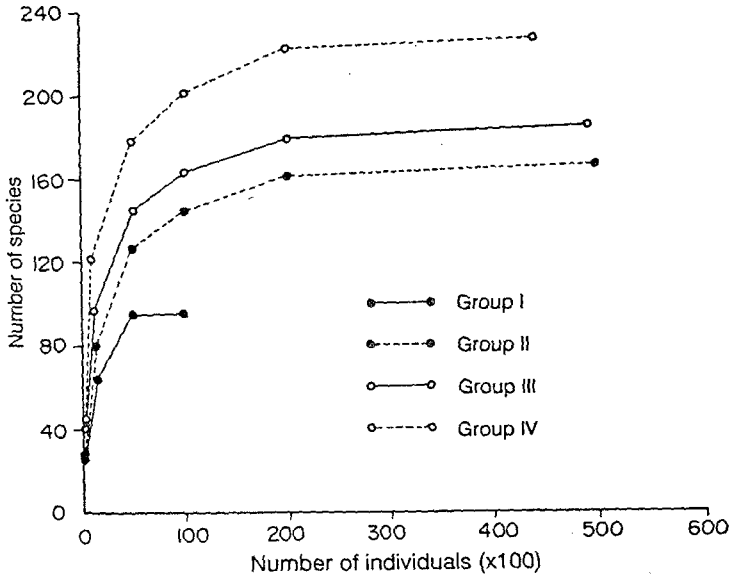


Fig. 3. Rarefaction curves for each community in Chinhae Bay.

는 아직 없는 실정이다. 따라서 다양도 비교의 한 방법으로서 이 방법을 사용한다면, 군집의 상호비교가 보다 명확해 질 것으로 생각된다.

## 2. Warwick(1986)의 개체수-생물량 비교법 (Abundance-Biomass Comparison (ABC) method)

환경이 오염되지 않은 안정된 상태하에서의 저서동물군집은, 대체로 환경 수용력에 근접한 평형 상태를 유지하게 되며, 생물량(biomass)이 큰 K-전략자가 우점한 반면, 오염지역에는 개체의 생물량이 낮은 일부 몇 종(r-전략자)이 높은 밀도로 출현하는 것으로 알려져 있다. 이러한 원리를 바탕으로 Lamshead *et al.*(1983)은 오염에 의한 스트레스를 평가하는 방법으로, 쉽게 응용할 수 있는 K-dominance method를 도입하였는데, 이 방법은 그 후 Warwick(1986)에 의해 ABC-method로 더욱 잘 알려지게 되었다. 이것은 군집내의 개체수 누적 비율곡선과 생물량 누적 비율곡선을 서로 비교하는 것으로서, 그 이론적 근거는 비오염지역으로 갈수록, 밀도가 낮고 개체의 생물량이 높은 K-전략자가 보다 많아지며, 오염지역에 우점하는 r-전략자는 개체의 생물량이 낮은 일부 몇몇 종이 높은

밀도로 출현하는 특징을 이용한 것이다. Warwick (1986)은 이러한 관계를 바탕으로, X축에는 우점종의 순위를, Y축에는 개체수 및 생물량의 누적 백분율을 표시하므로써 오염의 영향을 예측할 수 있는 개체수-생물량 비교법(Abundance-Biomass Comparison(ABC) method)을 제안하였다.

이 방법에 의하면 오염이 되지 않아 평형상태를 유지하는 저서군집에서는, 생물량 곡선은 개체수 곡선위에 놓이게 된다. 그러나 환경의 오염으로 생태계가 교란되면 기회종들이 우점하게 되어, 개체수 곡선이 생물량 곡선보다 위에 놓이게 된다. 한편 이 두 가지 환경의 중간 정도의 상태인 오염이 진행되는 단계에서는, 이들 곡선은 서로 교차하거나 근접하게 된다. 따라서 이 방법은 두개의 곡선이 내재적 대조(internal control)를 나타내기 때문에, 대조군 표본(control sampling)이 없어도 저서군집의 오염 상태를 상대적으로 평가할 수 있는 장점이 있다(Warwick, 1986). 또한 이 방법은 자연적인, 물리적인, 생물학적인 교란 및 인위적인 활동에 의한 교란 등에 모두 적용할 수 있는 방법이며, 또한 조건대 뿐만 아니라 조하대 저서동물군집의 오염 여부도 나타낼 수 있다(Warwick *et al.*, 1987).

이러한 방법을 사용하여 Ritz *et al.*(1989)은 호주

연안의 연어 가두리에서 유출되는 잔류먹이 및 어류 배설물이 가두리 부근의 저서동물 군집에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과 가두리에 어류를 사육하면 약 7주후부터 저서동물군집에 변화가 나타나게 되며, 어류 수확후에는 7주후부터 군집이 회복되고 14주후에는 원래대로 회복됨을 밝혔다. 또한 Warwick *et al.*(1987)은 스코틀랜드의 Firth of Clyde 해역의 폐기물 투기장 근처에서, 이 방법을 적용하여 폐기물 투기장으로부터의 영향범위를 판정하고, 저서동물군집에 미치는 오염의 영향을 평가하였다. Ibanez and Dauvin(1988)도 서부 English Channel의 *Abra-Melinna* 군집의 10년간에 걸친 변화를 ABC 곡선으로서 해석하고, 오염이 시작된 해에는 ABC 곡선의 형태도 바뀌는 것을 밝혔다. 이 밖에도 Olafsson and Moore(1992)는 조하대 연성 저질에 서식하는 선형동물(nematoda)과 요각류인 harpacticoid 군집 발달에 미치는 저서동물의 영향 연구에서 이 방법으로서 군집의 교란 상태를 파악하고 있다. Siokou-Frangou and Papatthanassiou(1991)는 그리스 Aegean Sea의 오염해역에서의 동물플랑크톤 군집에서도 이 방법으로서 정점간의 차이를 설명하고 있다.

한편 진해만에서 저서동물 군집에 근거한 4개의

정점 Group에서, 개체수와 생물량 자료를 사용하여 각 Group별로 ABC 곡선을 작성하였다(Fig. 4). 그 결과 Group-I과 III에서는 생물량 곡선이 개체수 곡선 위에 위치하며, Group-II와 IV에서는 두 곡선이 서로 교차하고 있다. 따라서 이 결과로부터 보면, Group-I과 III은 비오염역에 속하며, Group-II와 IV는 오염역에 해당된다고 할 수 있다.

이러한 결과는, 지금까지 진해만 해역에서 이루어진 오염과 관련된 다양한 연구 결과와, 이들 Group들의 종조성이나 군집구조 및 다양도 등을 종합적으로 살펴볼 때, 진해만의 저서환경 상태를 충분히 반영하지 못하고 있는 것 같다. 즉, 진해만의 경우 내만에서 외해로 나을수록 오염의 영향은 줄어들고 군집의 다양도는 높아지는 오염구배를 나타내고 있기 때문이다(Table 1).

ABC 곡선에서 개체수 및 생물량 곡선의 상대적인 위치는, 가장 우점한 제 1순위 종이 전체에서 차지하는 비율에 따라 좌우된다. 만약 어떤 군집 내에서 가장 우점한 종이 크기가 작고 개체수가 많은 반면, 무게가 큰 개체가 없으면, 환경이 오염되지 않았더라도 개체수 곡선이 생물량 곡선 위에 놓이게 될 것이다. 이와는 반대로 오염의 영향을 받고 있더라도, 생물량이 큰 종이 한 두 개체만 서

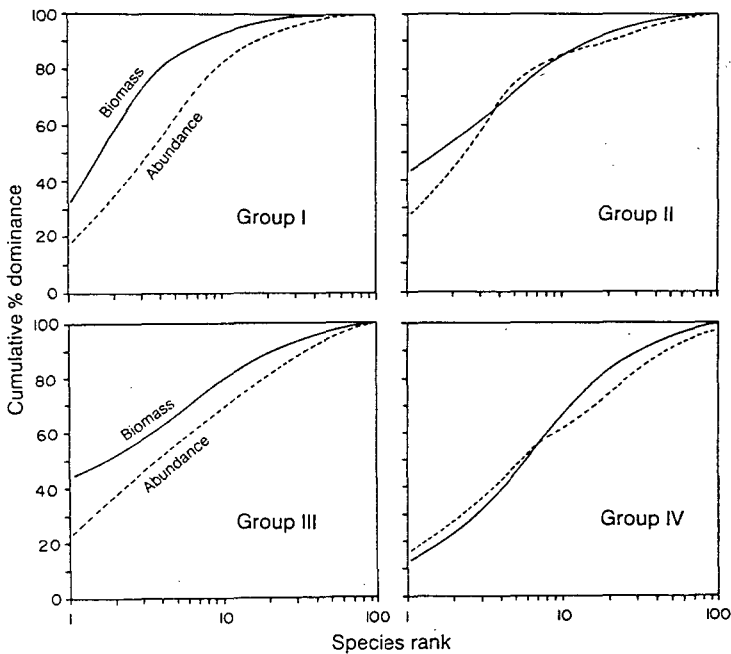


Fig. 4. Abundance-Biomass Comparison(ABC) curve at each station group in Chinhae Bay.

식해도, 생물량 곡선은 개체수 곡선 위에 놓이게 될 것이다. 진해만의 경우 오염의 영향이 심한 Group-I의 경우, 일반적으로 오염지표종이라고 알려진 다모류인 *Paraprionospio pinnata*와 이매패류인 *Raetellops pulchella*의 생물량은 각각 14.3% 및 9.0%로서 상대적으로 적은 반면, 다모류인 *Nectoneanthes multignatha*와 이매패류인 *Periglypta cf. puerpera*에 의한 생물량이 각각 전체 생물량의 30.8% 및 27.2%를 차지함으로써, 전체적으로 보면 생물량 곡선이 개체수 곡선의 위에 위치하게 된다. 따라서 비오염역이라 할 수 있으나, 이 Group은 퇴적물의 유기물 함량이 높고, 여름철에는 빈산소 또는 무산소 수괴의 영향을 심하게 받아 출현종수가 가장 낮은 양상을 나타내고 있어 오염된 해역임을 알 수 있다. 한편 Group-II의 경우에는 이매패류인 *P. cf. puerpera* 및 *Macoma tokyoensis*의 생물량이 이 group 전체 생물량의 각각 42.2% 및 11.5%를 차지하고 있는 반면, 개체수 우점인 다모류의 *Lumbineris longifolia*가 전체 개체수의 26.4%, *Aricidea jeffreysii*가 18.5%, *Sigambra tentaculata*가 13.1%를 차지함으로써, 개체수와 생물량 곡선은 교차하게 된다. 여기에서의 개체수 우점종들은 유기물 오염과 관련된 기회종들로서, 이 군집은 오염에 의한 상태를 적절히 반영하고 있다고 할 수도 있다. Group-III에서는 이매패류인 *M. tokyoensis*의 생물량이 전체의 43.6%를 차지하고 있으나, 개체수에서는 극히 적어 약 1.1%를 차지한다. 그러나 개체수 우점종인 *L. longifolia*는 전체의 23.5% 정도를 차지함으로써, 전체적으로 생물량 곡선이 개체수 곡선의 위에 위치하게 된다. Group-IV에서는 극피동물인 *Protankyra bidentata*의 생물량이 전체의 12.4%, 이매패류인 *M. tokyoensis*가 10.2%를 차지하였으나 개체수는 극히 적어 1.0% 이하였다. 그러나 이매패류인 *Theora fragilis*는 전체 개체수의 15.1%, *Magelona japonica*는 12.4%를 차지하여 전체적으로 두 곡선은 교차하게 된다. 따라서 오염이 진행되는 해역이라고 할 수 있다. 그러나 Group-IV는 외해에 면해 있으며, 진해만의 4개 Group 가운데 가장 환경이 양호하고 출현종수도 많다. 다만 이 Group에서 우점종인 *T. fragilis*가 여름철에 집중적인 착저를 하여 일시적인 밀도 증가로 인해 생물의 착저에 의한 생물학적인 교란의 결과라고 생각할 수도 있을 것이다.

지금까지의 결과는 Warwick이 제시한 이론적 전제조건이 본 조사해역에서는 잘 맞지 않다는 점이다. 즉, 오염의 구배와 곡선의 형태가 일치하지 않

는다. 이와 관련하여 Beukema(1988)도 Wadden Sea의 조간대에서 15개 정점을 설정하여 개체수-생물량 비교법을 적용하고 이 방법의 문제점을 제기하고 있다. 그 결과 오염되지 않은 해역에서 소형 고등류인 *Hydrobia ulvae*와 단각류인 *Corophium volutator*가 우점함으로써, 개체수 곡선은 생물량 곡선보다 위에 위치하게 되는데, 이것이 오염이나 다른 환경교란의 징후라고 해석할 근거가 없다고 하였다. 이러한 관점에서 보면 진해만의 경우, 개체의 크기와 생물량이 큰 이매패류인 *P. cf. puerpera*와 *M. tokyoensis*가 오염된 해역에서 출현하고 있다. 오염과 관련하여 이러한 종류들의 생태적 특성은 아직 밝혀져 있지 않으나, 한 두개체의 생물량이 큰 개체가 출현할 경우, Warwick(1986)의 모델과는 다른 곡선의 형태를 나타내게 된다. 이것은 Beukema(1988)가 지적한 개체수 우점과는 달리 생물량 우점에 의한 영향으로 볼 수 있다. 따라서 이 방법을 적용하기 위해서는, 오염된 해역에 출현하는 기회종은, 밀도가 높고 생물량이 적은 r-전략자로 구성되어야 하며, 생물량이 큰 개체가 출현하지 않아야 하는 전제조건이 성립되어야 한다. 따라서 이 방법을 어떤 해역에 적용하기 위해서는, 그 해역에서 출현하는 저서동물 중 기회종이 전형적인 r-전략성인지에 대한 정확한 검토가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 그러나 이 방법을 사용하여 저서군집에 대한 오염의 영향을 연구한 결과들 가운데에는 긍정적인 결과들(Warwick, 1986; Warwick et al., 1987; Ritz et al., 1989; Austin et al., 1991)도 많다는 점을 고려할 때, 앞으로 우리나라의 다른 해역에서의 더 많은 연구 검토가 필요하다고 생각된다.

한편 개체수-생물량 비교법으로써 오염을 평가하는 데는, 저서동물의 채집에 사용되는 체의 망목도 매우 중요한 요소로 작용한다(Beukema, 1988). 즉 망목이 작은 체를 사용할수록, 전체 개체수에서 소형 개체가 차지할 비율이 높아지며, 망목이 커지면 소형 개체의 비율이 상대적으로 낮아지고, 생물량이 큰 개체들의 비율이 상대적으로 높아지기 때문이다. 이와 함께 정점당 채집되는 반복 횟수도 큰 변수일 것으로 생각된다(Warwick, 1986). 즉 생물량 우점종은 개체수가 적기 때문에, 채집횟수가 적을 경우 개체수 우점종보다 채집되지 않을 확률이 높기 때문에, 오염되지 않은 상태라도 생물량 곡선은 달라질 가능성이 있다. 본 연구에서는 정점당 5회씩의 반복채집을 하였으나, 최근 국내에서 수행되는 저서동물 군집연구의 채집횟수는 정점당 2~

-정규 분포를 저서동물의 군집에 대한 해양오염의 영향을 해석하는 하나의 방법으로 처음으로 제안하였는데, 이 방법을 대수-정규 분포 응용법 (Log-Normal Distribution method, LND)이라 한다.

생태지수의 낮고 높음은 서로 상대적인 의미를 가진 것으로서, 독립된 하나의 군집에 대해서는 구체적으로 어느 정도의 값이 오염의 영향인가를 알 수는 없다. 그러나 대수-정규 분포곡선에서는, 변곡점이 나타남으로써 하나의 독립된 군집에 대해서도 오염의 여부를 알 수 있으므로, 오염으로 인한 저서동물군집의 변화를 설명하는데 생태지수보다 더 적합한 방법으로 알려져 있다(Andrews and Richard, 1980; Gray, 1979, 1981; Gray and Mirza, 1979). Bonsdorff and Koivisto(1982)는 북부 발트해의 저서동물을 모니터링하고, 이 방법이 다른 생태지수보다 저서동물 군집에 미치는 자연적이고 인위적인 영향을 더 적절히 설명해 줄 수 있다고 하였다. 또한 Bonvicini Pagliai *et al.*(1985)는 이탈리아 해안에서 수로 준설 후 발생한 환경의 변화 해석에 이 방법을 사용하였으며, Gray and Pearson (1982)도 이 방법을 저서동물군집에 미치는 오염의 영향 해석에 이용하였다. 한편 이 방법이 지금까지 우리나라 연안에서 사용된 것은, Yoo(1992)가

한강하구 및 경기만의 저서동물 군집에 적용한 것이 처음이었으며, 그 결과 한강하구역의 저서동물 군집은 유입되는 담수에 의해 교란을 받고 있는 것으로 나타났다.

진해만의 경우, 4개의 정점군(Group-I, II, III, IV)에 대해 대수-정규 분포곡선을 작성하였는데, 출현종에 대한 개체수의 계급간격을 1, 3, 7, 15( $\times 2$  scale)의 순으로 정하였다(Fig. 5). 그 결과 Group-I은 계급수가 10까지 나타났으며 계급 6에서 변곡점이 나타났다. 한편, Group-II는 계급수가 Group-I보다 많은 13까지 나타났으며, 계급 9에서 변곡점이 나타났다. 그러나 Group-III과 IV의 그래프는 계급수가 각각 14 및 13까지 나타남으로서 Group-II와 유사하나 변곡점이 없었다. 이상의 결과로부터 Group-I과 Group-II에 해당되는 마산만과 고현성만 및 진해만 중앙부 해역은 오염된 해역으로 나타났으며, Group-III과 Group-IV에 해당되는 진해만 입구해역은 상대적으로 오염의 영향이 적은 해역으로 나타났다. 이러한 결과는 Group-I에서 IV로 갈수록, 퇴적물과 해수의 유기물함량이 낮아질 뿐 아니라, 출현종의 증가와 함께 다양도도 증가하는 환경구배(environmental gradient)를 잘 반영하고 있다(Table 1).

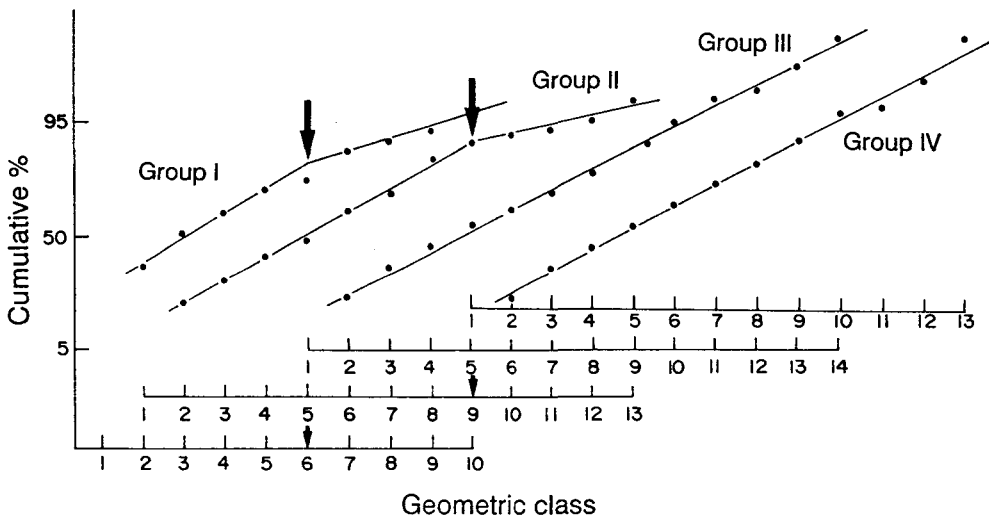


Fig. 5. Log-normal plot of each group in Chinhae Bay. Group-I and II are polluted phases showing departures from log-normal; Group-III and IV show unpolluted conditions representing good fit to the log-normal.



3회씩의 채집이 대부분이다. 한 점에서서 그랩의 반복채집 횟수는 많을수록 희소종을 채집할 수 있어 군집해석에 유리하지만, 경제적으로나 시간적인 면도 고려가 되어야 한다. 따라서 앞으로 이 방법을 적용할 수 있는 적절한 표본의 크기(sample size)가 검토되어야 할 것으로 판단된다. 한편 이 방법은 지금까지 우리나라의 다른 해역에서는 시도된 경우가 없기 때문에, 앞으로 새로이 조사되는 해역에서의 적용이 가능한지의 여부는 알 수 없다. 다만 이 곡선을 그리기 위해서는, 각 종별 개체수 외에 종별 생물량 자료가 동시에 필요하다. 생물량은 습중량과 건중량이 모두 사용 가능한 것으로 알려져 있다(Warwick, 1986). 그러나 종별 생물량을 측정하는 것은, 종별 개체수 산정 외에 항목이 한 가지 더 추가됨으로 인해, 시료처리에 많은 시간과 노력이 소모되므로 능률적인 면도 고려되어야 할 것으로 생각된다.

### 3. Gray(1979)의 대수-정규 분포 응용법 (Log-Normal Distribution method, LND)

어떤 군집에서 출현한 동물의 출현 개체수를 기하학적 계급(geometric class)으로 나누고, 각 계급에 대응하는 출현 종수를 측정하여 그래프를 작성하면, 계급의 증가와 함께 대수-정규 분포를 나타내게 된다. Preston(1948)은 이러한 원리를 생태학적 자료에 맨 처음으로 도입하고 계급으로는  $\times 2$  scale을 제안하였다. 따라서 일정한 해역내의 저서동물군집을 조사할 경우, 표본의 크기가 이 군집내에 서식하는 대부분의 종을 포함할 정도로 충분하면, 오염되지 않은 정상적인 해역에서의 저서동물군집은 대수-정규 분포를 기대할 수 있다. 이러한 대수-정규 분포곡선을 정규확률지에 그리면 직선의 형태가 된다. 그러나 오염이 진행되면 평형을 유지하고 있던 군집은 균형이 깨어지므로 기회종이 우점하게 되고,塊狀分布(contagious distribution)를 할 가능성이 높아지게 된다. 이 때 정규확률지 상에서의 대수-정규 분포곡선에는 변곡점이 생긴다. 그러나 오염상태하에서도, 일정시간이 경과하면 군집은 다시 평형을 이루고, 전형적인 대수-정규 분포로 돌아오게 됨으로서 변곡점이 없어지게 된다. 그러나 이 때에는 계급수(geometric classes)가 더 많아지게 되고, 확률지 상에서의 대수-정규 분포곡선의 경사는 더욱 완만하게 된다(Gray, 1979; Gray and Mirza, 1979). 따라서 Gray and Mirza(1979)는 Scotland의 Loch Eil에서의 저서동물 자료로부터 이러한 현상을 해석하고, 대수

그러나 Dauvin(1982)은 이러한 대수-정규 분포 응용법도 유기물 오염의 영향은 구별할 수 있으나, 유류오염의 영향 연구에는 적합치 않다고 보고하였다. 그는 프랑스의 Morlaix 만에서의 유류오염이 *Abra alba-Melinna palmata* 군집에 미치는 영향을 조사하기 위해, 생태학적 제지수와 함께 대수-정규 분포 응용법을 적용하였다. 그 결과 오염전에는 변곡점이 있었으나, 오염후에는 직선의 형태로 바뀌므로서 반대의 현상을 나타내어, 대수-정규 분포 응용법은 군집의 변화를 잘 나타내지 못한다고 결론 짓고, 이 경우에는 오히려 특정종들의 밀도변동을 추적하는 것이 더 유용하다고 주장하였다. 또한 Rygg(1986)는 Norwegian fjords에서 구리(Cu) 오염으로 인한 저서동물군집의 영향에 대한 연구에서, 대수-정규 분포 응용법이 중금속과 다른 독성물질의 오염으로 인한 군집변화는 감지할 수 없다고 하였다. 이 경우 오히려 다양도 지수가 중금속 오염에 의한 군집의 변화를 더 잘 반영한다고 하였다. 따라서 대수-정규 분포 응용법을 오염으로 인한 환경교란을 감지하는 수단으로 사용할 경우, 현재로서는 먼저 오염의 종류를 고려해야 할 것으로 생각되며, 앞으로 이에 대한 광범한 연구 사례를 통한 검증이 요구된다. 그러나 진해만에서 대수-정규 분포 응용법이 비교적 환경을 잘 반영하는 것은, 진해만의 오염은 주로 유기물에 의한 오염이기 때문으로 생각된다. 우리나라의 내만은 주로 인근의 도시하수와 산업폐수 등으로부터 유래되는 유기물 오염이 현저한 곳이 많기 때문에, 진해만의 결과를 바탕으로 우리나라의 다른 내만 해역의 오염 현상을 평가하는데 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

### 4. Frontier(1985)의 순위-빈도 곡선 (Rank-Frequency Diagram method, RFD)

생물군집은 다양도가 낮고 단순한 상태에서부터 다양도가 높고 복잡한 성숙도가 높은 상태로 발달하게 된다. 또한 하나의 군집에서 최우점종의 개체수가 전체 개체수에서 차지하는 비율은, 군집의 복잡성과 성숙정도(degree of maturity)에 따라 달라진다. 즉, 우점도가 높고 다양도가 낮은 군집에서의 순위-빈도 곡선의 형태는 기울기가 커지게 된다. 그러나 특정한 우점종이 없이 상대적으로 다양도가 높은 군집일수록 기울기는 작아진다. 하나의 그래프 내에 비교의 대상이 되는 군집들의 순위-빈도 곡선을 작성하였을 경우, 가장 아랫쪽에 위치한 곡선은 우점종 또는 기회종의 우점도가 상대적으로

로 높고, 다양도가 낮은 군집을 나타낸다. 또한 계절적으로 환경의 변화가 심하여 생물이 소멸된 후 새로운 정착이 일어나는 군집과, 부영양화와 같은 영양물질이 생태계내로 대량 유입되거나, 서식 기질의 교란 및 오염과 같은 환경교란이 일어나는 군집에서는 기울기가 낮은 양상을 나타낸다 (Frontier, 1976, 1985). 따라서 Frontier(1985)는 군집 내에서의 종-개체수의 분포패턴을 가지고, 생물군집의 발전과정과 단계 및 생태학적 천이 패턴은 물론, 종국적으로는 이 곡선을 이용하여 오염평가의 수단으로 사용할 수 있다고 하였으며 이를 순위-빈도 곡선(Rank-Frequency Diagram, RFD)이라 하였다. Hily(1983a)는 프랑스의 북부 유기물 오염지역인 Brest만의 다모류 군집(*Melinna palmata* community)의 구조에 관한 연구 결과, 이 방법이 군집의 발달 단계 및 오염 정도를 잘 반영한다고 지적하였다. 그는 또한 동일한 해역에서, 해

양 퇴적물의 준설에 따른 생태계 변화를 추적하는데 이 방법을 사용하였으며(Hily, 1983b), Dewarumez et al.(1986)는 프랑스 북부 영불해협외의 이매패류인 *Abra alba* 군집의 장기변동을 분석하면서 그 발전단계 및 과정에 대한 군집의 성숙도(maturity)를 이 방법을 통해 해석하였다.

한편, 진해만의 경우 4개로 구분된 정점군의 저서동물 군집에 대해 순위-빈도 곡선을 작성하여 보았다. 그 결과 Group-I의 기울기가 가장 크고 Group-IV로 갈수록 기울기가 감소함으로써, 내만에서 외해로 나갈수록 군집의 다양도는 점차 증가하며, 성숙도가 커져 안정되는 경향이 뚜렷하였다 (Fig. 6). 기울기가 낮은 Group-I과 Group-II의 곡선은 다양도가 낮고 우점도가 높은 군집을 나타내는 것으로서, 상대적으로 단순한 군집구조를 의미한다. 그러나 외해로 나가면서 종의 분포가 보다 균등해짐으로서 다양도가 증가하면, 곡선의 경사는

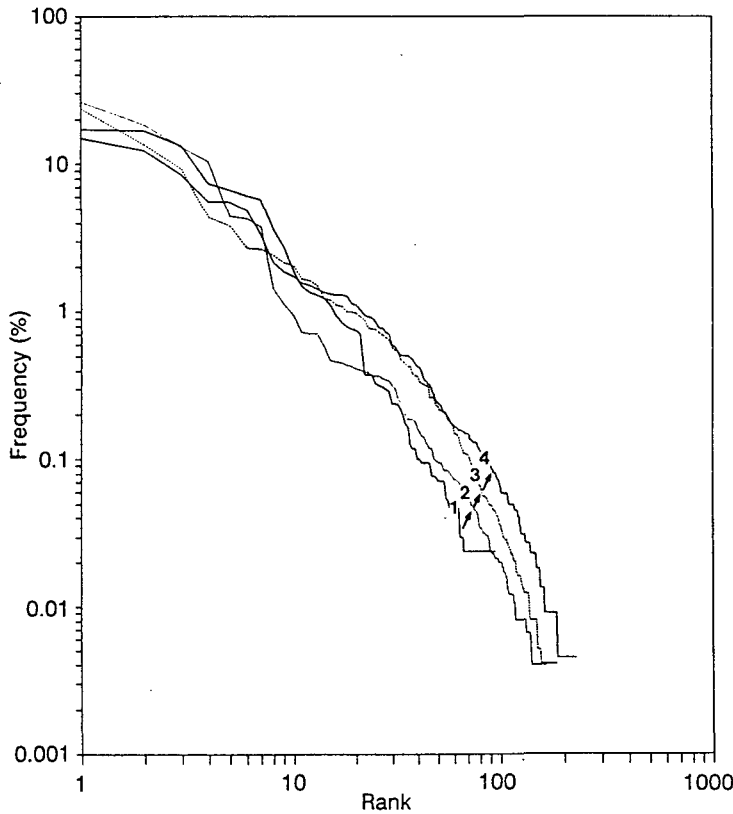


Fig. 6. Rank-frequency diagram for the macrobenthos at each group. G- I, II, III, IV in Chinhae Bay. Note an ecological succession from a juvenile community in the Group- I, towards a progressive maturation along the drift; simultaneously the diversity index increases (from 1.07 to 3.03). 1, Group- I, first stage, juvenile ecosystem, pioneer community; 2 and 3, Group- II and III, intermediate stage; 4, Group- IV stage of maximum diversity.

상대적으로 완만해져 Group-III 및 Group-IV와 같이 된다. 따라서 이 방법도 앞에서 언급한 바와 같이, 지금까지 진해만에서의 환경 및 생물 자료로부터 얻어진 정보를 잘 반영하고 있는 것으로 보인다 (Table 1). 즉 기율기가 가장 낮은 Group-I은 오염의 영향을 크게 받고, 빈산소수괴의 형성에 따른 저서동물의 일시적인 절멸이 일어나는 불안정한 군집인 반면(해양연구소, 1993), 외해에 위치한 Group-IV의 경우 출현종 수도 많을 뿐 아니라, 내만에 비해 저서환경이 상대적으로 안정된 군집을 형성하고 있음을 알 수 있다.

또한 순위-빈도 곡선으로부터는 시간에 따른 군집의 천이과정에 대한 정보도 얻을 수 있다. 따라서 앞으로 오염이 더 진행되지 않고 회복이 된다면 기율기가 낮은 Group은 점차 기율기가 증가하여 각 Group은 화살표 방향으로 옮겨갈 것이며, 반대로 오염이 더욱 진행되면 기율기가 큰 Group은 기율기가 감소하여 화살표 반대 방향으로 이동할 것이다(Fig. 6). 이러한 방법은 공간적으로 서로 다른 군집을 상대적으로 비교하거나 동일지역 군집의 시간에 따른 변화(발전) 양상을 추적하는 데에도 사용할 수 있다.

## 결 론

지금까지 진해만에서 조사된 각종 환경 자료 및 저서동물의 군집 생태학적 연구결과를 토대로 오염의 정도에 따라 구분된 해역에, 최근에 개발된 해양저서동물의 분포 특성을 이용한 몇가지 환경평가 기법을 적용하였다. 어떤 해역에서 생태학적 지수의 높고 낮음은 서로 상대적인 의미를 가지는 것으로서, 독립된 하나의 군집에 대해서는 구체적으로 어느정도의 값이 오염의 영향을 받고 있는지 판단하기 어렵다. 이 논문에서 사용된 네가지 방법 중, 진해만의 환경오염을 가장 잘 나타내고 있는 방법은 대수-정규분포 응용법, 희박법, 순위빈도 곡선이었으며, 지금까지 알고 있는 진해만의 환경자료나 생물군집의 생태학적 연구결과를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 그러나 개체수-생물량 비교법은 잘 맞지 않는 것으로 나타났다. 현재 우리나라에는 연안환경의 오염에 대한 모니터링 및 평가 연구가 빈번히 이루어지고 있으나, 여기서 언급된 방법을 사용한 예는 없는 실정이다. 따라서 어떤 해역의 환경을 평가하고자 할 때에는, 진해만의 저서동물 군집을 대상으로 적용 가능성이 확인된 이

러한 방법들을, 각각의 기본 원리와 전제조건 및 지금까지 나타난 문제점 등을 감안하여 연안해역의 환경평가에 적용해 보는 것도 바람직할 것으로 생각된다.

## 요 약

진해만의 저서동물 군집에 대해 Sanders(1968)의 희박법(Rarefaction method), Warwick(1986)의 개체수-생물량 비교법(Abundance-Biomass Comparison method), Gray(1979)의 대수-정규분포 응용법(Log-Normal Distribution method) 및 Frontier(1985)의 순위-빈도 곡선법(Rank-Frequency Diagram method) 등의 환경 평가 기법을 이용하여 진해만의 오염정도를 평가하였다. 이 방법들 가운데 개체수-생물량 비교법은 오염해역에 개체당 생물량이 큰 이매패류인 *Periglypta* cf. *puerpera*와 *Macoma tokyoensis*와 다모류인 *Nectoneanthes multignatha*가 출현함으로써 이 방법의 원리에서 요구하는 전제 조건을 잘 반영하지 못하였다. 그러나 나머지 3가지 방법은 진해만의 환경을 잘 반영하고 있었으며, 가장 내만에 위치한 Group-I이 가장 오염된 해역으로 나타났으며 진해만 중앙부 해역인 Group-II도 상당히 오염이 진행된 것으로 나타났다. 그러나 진해만 입구인 Group-III과 VI는 내만 해역에 비해 상대적으로 오염의 영향이 적은 것으로 나타났다. 이러한 방법들 가운데 종별 개체수 자료만을 필요로 하는 대수-정규분포 응용법이 오염을 평가하는데 가장 편리하고 적합한 것으로 판단되며, 그 밖의 희박법 및 순위-빈도 곡선도 상대적 평가 방법으로는 유익한 수단이 된다. 우리나라의 다른 해역에서의 오염평가를 저서동물의 분포특성을 이용한 이러한 다양한 환경평가 기법을 시도해 보는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 박주석. 1982. 진해만 적조의 특성과 환경변화, 수진연보 28, 55~88.
- 박주석·이삼석. 1982. 남해안의 환경오염진행과 모악류 및 요각류의 생물학적 오염지표성 연구. 수진연보 28, 89~126.
- 신현출·최성순·고철환. 1992. 영일만 다모류 군집의 계절별, 공간적 변화. 한해지 27(1), 46~

54.  
수산진흥원. 1985. 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구. 수산진흥원 사업보고 63호. p. 432.
- 수산진흥원. 1989. 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구. 수산진흥원 사업보고 84호. p. 347.
- 임현식 · 최진우 · 채종길 · 이재학. 1992. 진해만 양식장 밀집 해역의 저서동물 분포. 한수지 25(2), 115~132.
- 임현식 · 홍재상. 1994. 진해만 저서동물의 군집 생태. 1. 저서환경. 한수지 27(2), 200~214.
- 환경처. 1991. 진해만 오염실태조사보고서. pp. 502.
- 해양연구소. 1993. 진해만의 저서동물에 대한 생태학적 연구. 해양연구소보고서 BSPE 00314-536-3, PP. 163.
- 北森良之介. 1960. 汚染と*Capitella*屬(多毛類)の關係. 内海區水産研究所研究報告 13號. 1~10.
- 北森良之介. 1963. 瀬戸内海とその近接水域の沿岸における底生動物群集の漁場學的研究. 内海區水産研究所研究報告 21號. 1~90.
- Andrews, M. J. and D. G. Rickard. 1980. Rehabilitation of the inner Thames estuary. Mar. Pollut. Bull., 11, 327~332.
- Austin, M. C., J. B. Buchanan, H. G. Hunt, A. B. Josefson and M. A. Kendall. 1991. Comparison of long-term trends in benthic and pelagic communities of the North Sea. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 71, 179~190.
- 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. Mar. Biol., 99, 425~433.
- Boesch, D. F. and R. Rosenberg. 1981. Responses to stress in marine benthic communities. In Stress effect on natural ecosystems. G. W. Barret and R. Rosenberg. ed. John Wiley and Sons, New York. pp. 179~200.
- Bonsdorff, E. and V. Koivisto. 1982. The use of the log-normal distribution of individuals among species in monitoring zoobenthos in the northern Baltic Archipelago. Mar. Pollut. Bull., 13(9), 124~127.
- Bonvicini Pagliai, A. M., A. M. Cognetti Varriale, R. Crema, M. Curini Galletti and R. Vandini Zunarelli. 1985. Environmental impact of extensive dredging in a coastal marine area. Mar. Pollut. Bull., 16(12), 483~488.
- Dauvin, J. C. 1982. Impact of Amoco Cadiz oil spill on the muddy fine sand *Abra alba* and *Melinna palmata* community from the Bay of Morlax. Estuarine, Coastal and Shelf Sci., 14, 517~531.
- Dewarumez, J. M., C. Quisthoudt and A. Richard. 1986. Suivi pluriannuel du peuplement a *Abra alba* dans la partie meridionale de la Mer du Nord(redion de Dunkerque-France). Hydrobiologia, 142, 187~97.
- Frontier, S. 1976. Utilisation des diagrammes rang-frequence dans l'analyse des ecosystemes. J. Rech. Oceanogr., 1(3), 35~48.
- Frontier, S. 1985. Diversity and structure in aquatic ecosystems. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 23, 253~312.
- Gray, J. S. 1979. Pollution-induced changes in populations. Phil. Trans. R. Soc. London, B286, 545~561.
- Gray, J. S. 1981. Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species. Mar. Pollut. Bull., 12(5), 173~176.
- Gray, J. S. and F. B. Mirza. 1979. A possible method for the detection of pollution-induced disturbance on marine benthic communities. Mar. Pollut. Bull., 10(5), 142~146.
- Gray, J. S. and T. H. Pearson. 1982. Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. Mar. Ecol. Prog. Ser., 9, 111~119.
- Hartley, J. P. 1982. Methods for monitoring offshore macrobenthos. Mar. Pollut. Bull., 13, 150~154.
- Hily, C. 1983a. Modification de la structure ecologique d'un peuplement de *Melinna palmata* (Annelide-Polychete) soumiss aux effluents urbains et industrielles en rade de Brest. Ann. Inst. Oceanogr., Paris, 59(1), 37~56.
- Hily, C. 1983b. Macrozoobenthic colonization after dredging in a sandy mud area of the Bay of Brest enriched by organic matter. Oceanol. Acta. Proc. 17th European Mar. Biol. Symp.,

- Brest, France, 113~120.
- Holland, J. S., N. J. Maciolek and C. H. Oppenheimer. 1973. Galveston Bay benthic community structure as an indicator of water quality. *Contributions Mar. Sci.*, 17, 169~188.
- Hong, G. H., Y. A. Park and K. W. Lee. 1983. Partitioning of heavy metals in sediments from Jinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18(2), 49~54.
- 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(2), 169~179.
- Ibanez, F. and J. C. Dauvin. 1988. Long-term changes(1977 to 1987) in a muddy fine sand *Abra alba-Melinna palmata* community from the western English Channel: Multivariate time-series analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 49, 65~81.
- Lambhead, P. J. D., H. M. Platt and K. M. Shaw. 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *J. Nat. Hist.*, 17, 859~874.
- Leppäkoski, E. 1975. Assessment of degree of pollution on the basis of macrozoobenthos in marine and brackish-water environments. *Acta Academiae Aboensis, Ser., B.* 35(2), 1~90.
- Lee, S. H. and K. W. Lee. 1983. Heavy metals in sediments from Jinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18(1), 49~54.
- Lim, H. S. and J. S. Hong. 1994. Community structure and seasonal changes of the macrozoobenthos in a bay stressed by oxygen deficiency and organic enrichment.(in preparation).
- Olafsson, E. and C. G. Moore. 1992. Effects of macroepifauna on developing nematode and harpacticoid assemblages in a subtidal muddy habitat. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 84, 161~171.
- 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.
- Preston, F. W. 1948. The commonness and rarity of species. *Ecology*, 29, 254~283.
- Raman, A. V. and P. N. Ganapati. 1983. Pollution effects on ecobiology of benthic polychaetes in Visakhapatnam Harbour(Bay of Bengal). *Mar. Pollut. Bull.*, 14(2), 46~52.
- Ritz, D. A., M. E. Lewis, M. Shen. 1989. Responses to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages. *Mar. Biol.*, 103, 211~214.
- Rosenberg, R. 1973. Succession in benthic macrofauna in a Swedish fjord subsequent to the closure of a sulphite pulp mill. *Oikos*, 24, 244~258.
- Rygg, B. 1986. Heavy-metal pollution and log-normal distribution of individuals among species in benthic communities. *Mar. Pollut. Bull.*, 17(1), 31~36.
- Sanders, H. L. 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. *The American Naturalist* 102(925), 243~282.
- Shannon, C. E. and W. Wiener. 1963. The mathematical theory of communication. Urbana, Univ. of Illinois Press, p. 125.
- Simberloff, D. 1978. Use of rarefaction and related methods in ecology. *Biological data in water pollution assessment: Quantitative and statistical analyses*, ASTM STP 652, Dickson K. L., John Crirns, Jr. and R. J. Livingston. ed. American Soc. for Testing and Materials, 150~165.
- Siokou-Frangou, I. and E. Papatthanassiou. 1991. Differentiation of zooplankton populations in a polluted area. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 76, 41~51.
- Warwick, R. M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, 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. *Mar. Biol.*, 95, 193~200.
- Wolff, W. J. 1973. The estuary as a habitat. An analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the Rivers Rhine, Meuse, and Scheldt. *Zoologische Verhandelingen*, 126, 1~242.
- Yang, D. B. and J. S. Hong. 1988. On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September 1983. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21(4), 195~205.

Yoo, J. W. 1992. The community structure and distribution of the benthic macrofauna in Han estuary and Kyonggi Bay, Korea. M. S. Thesis, Inha Univ., pp. 100.

---

1994년 7월 11일 접수

1994년 9월 3일 수리