

## 새만금 외해역에서 대형 저서동물 군집 조사를 위한 적정 채집기의 선택

유재원 · 김창수 · 박미라 · 이형곤<sup>1</sup> · 이재학<sup>1</sup> · 홍재상<sup>2</sup>

(주) 한국연안환경생태연구소  
<sup>1</sup>한국해양연구원 생태환경연구본부  
<sup>2</sup>인하대학교 해양학과

## The Selection of Appropriate Sampler for the Assessment of Macrobenthos Community in Saemangeum, the West Coast of Korea

JAE-WON YOO\*, CHANG-SOO KIM, MI-RA PARK, HYUNG-GON LEE<sup>1</sup>, JAE-HAC LEE<sup>1</sup> AND JAE-SANG HONG<sup>2</sup>

Korea Institute of Coastal Ecology, Inc., Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

<sup>1</sup>Marine Ecosystem and Environment Research Laboratory, Korea Ocean Research & Development Institute,  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

<sup>2</sup>Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

전라북도 새만금 해역의 조하대 대형저서동물 군집의 모니터링에 적절한 채집기 선정을 위한 연구의 일환으로 2002년 4월에 현장 조사를 수행하였다. 비교 대상 채집기는 반 정량적 채집기인 dredge(type charcot)와 정량적 채집기인 Smith-McIntyre(SM), van Veen grab(VV)이었다. 11개 정점이 설정되었고, 매 정점에서 dredge는 1회, SM과 VV는 3회의 반복 채집(0.1 m<sup>2</sup>×3)이 이루어졌다. 채집 퇴적물의 부피와 군집 밀도, 생체량 그리고 다양도 지수 등의 parameters의 비교는 정량적 채집기에 국한되었다. 퇴적물의 부피는 두 채집기 간 p-value 0.0050(쌍을 이룬 표본의 t-검정)에서 유의한 차이(SM>VV)가 있는 것으로 나타났고 자료에 4th-root 변환을 가하면 SM과 VV에 의한 3개 반복 채집 표본이 모두 정밀도 0.2의 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 11개 정점 다양도의 채집기 간 비교에서는 dredge와 VV 간의 상관관계가 다른 pairs의 것에 비해 높은 것으로 나타났다. 우점종의 구성과 순위 비교는 일부 개체군(예를 들어 다모류, *Heteromastu filiformis*, *Aricidea assimilis* 등)에서 dredge의 것이 나머지 것에 비해 과소 평가의 경향을 나타내었다. 다변량 분석 결과의 채집기 간 일치하는 정도를 추정하기 위하여 유사도 행렬 간 상관관계를 추정하였다. 근소하게 dredge와 VV 간 유사도가 높은 것으로 나타났으나 대체로 높은 일치성을 보였다. 우점종 리스트에서 관찰된 순위와 조성의 차이는 채집기마다 다른 채집 심도의 효과에 기인한 것으로 해석되었다. VV 표본에서의 일부 우점종의 낮은 밀도(SM 표본 대비 평균 50% 수준)도 이러한 관점에서 이해될 수 있었고 이것이 dredge-VV 간 상대적으로 높은 상관관계 또는 유사도의 원인인 것으로 추정되었다. 전반적인 관찰 결과에 근거하였을 때 우량 채집기는 SM이었으나 반드시 높은 자료의 질이 우선시되어야 하는 조건이 아닌 경우에는 다른 채집기를 사용하더라도 생물상의 특성 파악과 구분에는 문제가 없는 것으로 추정되었다.

To select an appropriate sampler for the environmental monitoring survey in coastal waters of Saemangeum, Jeollabuk-do, a macrobenthic sampling was conducted in April 2002. Employed samplers were dredge (type Charcot), a semi-quantitative sampler and Smith-McIntyre (SM) and van Veen grab (VV) as quantitative ones. One haul was tried for dredge and 3 replicates (0.1 m<sup>2</sup>×3) for SM and VV at each of 11 stations. Comparisons of sediment volume in sampler bucket and of precision of biological parameters (*i.e.*, density, biomass, species number and diversity index, H') were made between SM and VV. Sediment volume was significantly different (SM > VV) at p-value of 0.0050 (paired t-test) and, in average, 3 replicate samples of SM and VV satisfied a precision level of 0.2 by applying 4th root transformation. Patterns of observed and expected species numbers and H' were compared. Dredge-VV samples showed higher affinity than any other pair. Several dominant species in the area were underestimated in dredge samples (*e.g.*, polychaete *Heteromastus filiformis*, *Aricidea assimilis*, etc.). Quantifying the agreement pattern of multi-species responses was accomplished by estimating correlations between similarity matrices. Correlation between dredge and VV was slightly higher, but near-perfect matches were found in general. Different ranks and composition among principal species lists were pre-

\*Corresponding author: jwyoo23@netsgo.com

sumably linked to the effect of penetration depth that differs among samplers. Lower level of some species' abundance in VV samples (ca. 50% compared with those of SM) was explained in this context. It seemed appropriate to regard the effect as a probable cause of relatively higher correlations in dredge-VV. Overall biological features indicated that a better choice could be SM in situations of requiring high data quality. The others work well, however, on observing and defining faunal characteristics and their capability cannot be questioned if we do not expect a first-order quality.

**Key words:** Macrobenthos, Choice of sampler, Sampling gear, Grab, Dredge, Saemangeum

## 서 론

현장에서의 채집이나 실험실에서의 측정용 통하여 자료를 수집, 분석하는 분야에서 정확도 높은 자료를 획득하는 것의 중요성은 아무리 강조해도 지나침이 없을 듯 하다. 막대한 비용과 인력을 투입하고, 장기적인 측정과 관찰을 통하여 좋은 질의 database를 만들어야 하는 생태계 모니터링과 같은 분야(예를 들어, 새만금 조하대 해역 대형저서동물 연구 사업)에서는 반드시 사전에 점검되어야 할 사항이라고 할 수 있다. 이는 어느 지점에서(정점의 선정) 얼마만큼 크게(채집 면적의 크기) 얼마나 자주(몇회 반복, replication) 채집해야 하는가의 문제이며 연구의 구체적 목적에 따라 달라질 것이다(Andrew and Mapstone, 1987). 현실적으로 채집기의 크기는 작을수록 좋으나 그것은 조사하려는 지역의 생물상과 그들의 분산 패턴(dispersion pattern)과 밀접하게 관련되어 있으므로 모든 지역에 일반적으로 적용 가능한 방법은 없다. 실제로는 어느 정도 통계적으로 정밀한 자료를 필요로 하는지, 현장에서의 채집이 어느 정도 용이한지 그리고 얻어진 채집물의 분석에 얼마만큼의 시간을 투입할 수 있는지 등이 고려되어야 한다(Gray, 1980).

정확도는 편의(bias)와 정밀도의 함수이다(Berthouex and Brown, 1994). 그러나 편의는 대부분의 경우에 참값을 알 수 없으며 추정하기 어려운 특성을 가진다. 자연 생태계의 생물 서식 상태를 추정하는 본 연구도 이와 같은 경우에 해당한다. 정확도의 또 다른 축을 구성하는 정밀도는 측정값의 흩어진 정도, 즉 분산과 관계된 것이며 반복 측정을 통하여 이를 추정할 수 있다. 정밀도를 측정, 채집기마다 비교하면 측정 오차가 적은 측정 수단이나 기구를 선택할 수 있게 된다.

국내외의 해양 대형저서동물의 연구에서 대표적으로 사용되는 세 가지 채집기, 즉 반 정량적 채집기인 (1) rectangular dredge(type Charcot)와 정량적 채집기인 (2) Smith-McIntyre와 (3) van Veen grab 등의 기본적 특성을 간략하게 설명하면 다음과 같다. 세 가지 채집기 모두 소형 또는 중형 선박에서 이용 가능한 경량급 채집기에 속하며, dredge는 반 정량적인데 반해 Smith-McIntyre와 van Veen grab은 정량적 채집기로 분류된다. 사질 퇴적상을 기준할 때 dredge는 표층만을 채집하는 반면 2가지 정량 채집기는 10 cm 정도의 동일한 투과 깊이를 갖는 것으로 알려져 있다(Eleftheriou and Holme, 1984). 본 연구에서는 세 가지 채집기 가운데 측정 오차가 적은 효율적인 채집기의 선택을 위하여 채집물(대형저서동물 자료)을 분석, 정밀도를 측정 비교하였으며, 가능한 편이가 적은 적절한 채집기를 선택할 수 있도록 각 채집기의 대형 저서동물 표본 간 분석 결과를 비교하고 차이와 원인을 분석하였다.

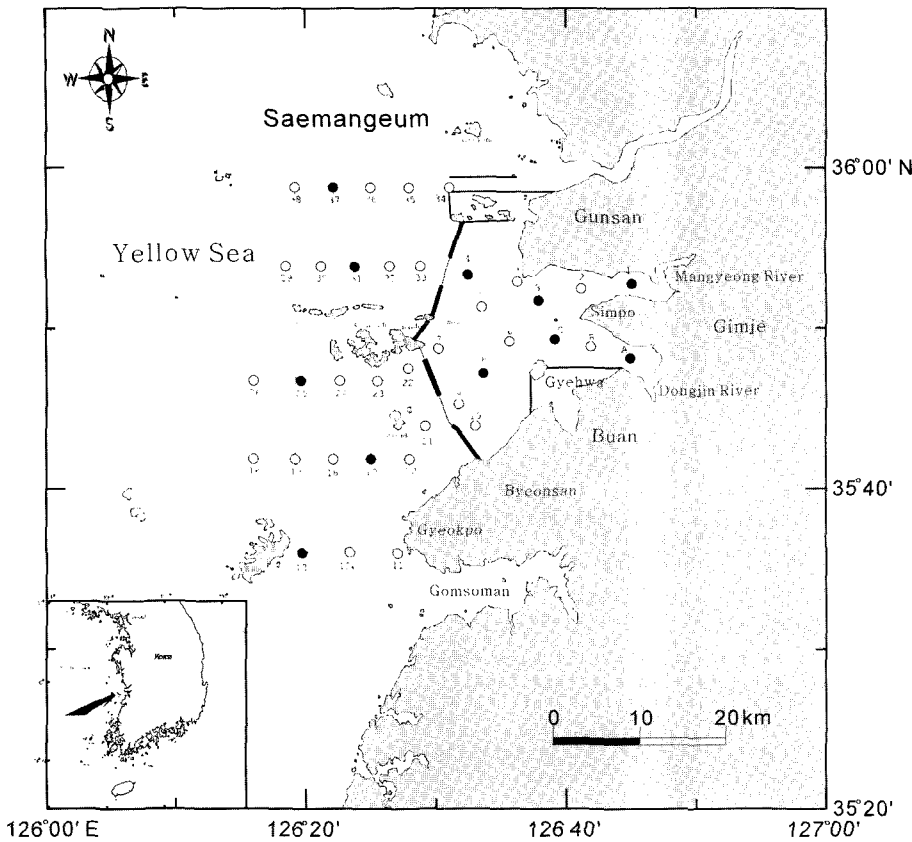
국내에서는 그간 동일한 종류의 채집기를 이용할 때의 적정 채

집 면적을 추정하는 연구가 Hong(1983), Yi *et al.*(1988), Koh and Kang(1998) 그리고 고 등(1999) 등에 의해 수행된 바 있다. 국내에서는 Koh and Kang(1998)이 한 종류의 채집기를 인접하게 사용(pairing contiguous samples)하여 채집기의 크기가 다를 때 이것이 적정 채집횟수에 대하여 갖는 효과를 추정한 것이 보고된 바 있으나 서로 다른 채집기 간 채집물의 측정 오차나 정밀도 또는 생물상 등의 비교를 통하여 적정 채집기를 선택하는 연구는 처음이라고 할 수 있다. 외국에서 수행된 대표적인 연구의 예로는 van Veen과 Smith-McIntyre grab 채집기 간 비교를 행한 Wigley(1967)와 이들 2개 채집기를 포함 총 6개 채집기 간 비교를 행한 Riddle(1989)의 연구 등이 있다. 전자는 채집기가 해저면에 도달할 때 발생하는 shock wave의 채집기 간 차이를 탐구공을 이용하여 측정된 연구이며 후자는 채집기가 퇴적물을 파낸 흔적인 bite profiles를 관찰, 채집기 간 비교한 연구이다. 국외에서도 채집기별 생물 표본을 비교하여 적절한 채집기를 선택하는 것에 대한 연구 사례는 그렇게 많지 않다.

## 재료 및 방법

### 현장 조사

채집기의 효율을 측정하고 특성을 비교하기 위한 연구를 수행하기 위하여 새만금 주변 조하대 지역의 연성 기질 서식처를 대상으로 11개 정점을 설정하였으며(Fig. 1), 2002년 4월 8일부터 12일까지 5일 동안 현장 조사를 수행하였다. 각 정점에서는 3개의 각기 다른 채집기(rectangular dredge(type Charcot), Smith-McIntyre grab 그리고 van Veen grab; 이하 각각을 dredge, SM, VV로 부른다)를 이용하여 채집을 수행하였으며, dredge는 1회, SM과 VV는 각각 3회씩 반복 채집(0.1 m<sup>2</sup>×3)하였다. SM과 VV는 닻을 내려 정선시킨 후 사용하였다. Dredge의 경우 이를 해저면에 내려 놓은 다음 약 2분간 2.5 노트의 속도로 이동하면서 채집을 행하였다. Dredge의 채집 수평 거리는 밀물과 썰물에 따른 효과를 고려하지 않을 때 약 50 m 정도인 것으로 계산되었다. 정량 채집기인 SM과 VV에 의해 채집된 퇴적물의 부피를 현장에서 육안으로 추정(visual estimation)하였다. 현장에서 2인이 제시한 추정치의 평균을 사용하였으며 절대량과는 차이가 있을 수 있으나 같은 정점에서 서로 다른 채집기에 의해 채집된 퇴적물의 부피를 상대적으로 비교하는 데에는 유용할 것으로 판단되었다. 채집물은 현장에서 1 mm 직경의 체구멍으로 들레가 채워진 sieve에 담고 해수로 세척하여 퇴적물과 1 mm 이상의 몸체 크기를 갖는 대형 저서동물을 분리하였고, 추출된 대형저서동물을 중성 포르말린에 고정하여 실험실로 운반하였다.



**Fig. 1.** Locations of sampling stations (●) for comparing relative efficiency among the three sediment samplers in Saemangeum area. - A total of 38 stations (○ and ●) are for future long-term investigation plans for monitoring subtidal macrobenthos of which the samples are not included in the present study.

**실험실 분석**

운반된 생물체는 우선 실험실 내에서 숙련된 기능원들에 의해 상위 수준의 동물군 별(예를 들어 연체동물, 갑각류, 극파동물 등)로 구분되었고, 이후 연구원들에 의해 현미경 하에서 가능한 최하위 수준인 종 수준까지 동정되었으며, 동시에 각 개체군 별 개체수와 습중량(gWWt, gram in wet weight)의 측정이 이루어졌다. 이 과정을 통하여 분석 전 단계인 species-abundance(or biomass) distribution database와 matrices가 생성되었다. 정성 채집기인 dredge에 의해 채집된 표본의 경우 생체량을 측정하지 않았으며, 출현 종수와 개체수만을 측정하였다.

**자료 분석**

채집된 퇴적물 부피의 채집기 간 유의한 차이가 존재하는 지를 파악하기 위하여 짝을 이룬 표본의 t-검정(paired t-test)을 수행하였다. 이를 위하여 각 replicates마다 추정된 상대적 부피의 평균을 구하였으며 이 값을 같은 정점 간 쌍을 지웠고 11개 정점의 자료를 모두 사용하였다. 대립가설은  $\mu_{SM} > \mu_{VV}$ 이며, 따라서 단측 검정을 수행하였다.

정량 채집기인 SM과 VV로부터 반복 채집된 표본의 밀도와 생체량 그 외 다양도 지수(출현 종수와 H) 등을 대상으로 정밀도(표준 오차/표본 평균, n=3)를 측정하였고 11개 정점으로부터 정밀도의 평균과 표준 편차를 계산하였다. 적절한 채집기를 선택하기 위한 기준을 정밀도의 평균 0.2로 설정하였다. 분산 범위를 고려하여 밀도와 생체량의 경우에는 밀을 10으로하는 대수 변환과 fourth-root

transformation( $\sqrt[4]{x}$ )을 행하였으며 이로부터 구해진 정밀도의 평균과 표준 편차를 변환하지 않은 자료로부터의 것과 비교하였다.

Dredge 표본과 SM, VV 표본으로부터 구해진 생물 다양도 간 상관관계(Pearson's product-moment correlation)를 추정하였다. 이때에는 출현 종수와 H' 외에 추가적으로 rarefaction method(Hurlbert, 1971)를 사용하여 출현 종수의 기대값 또는 기대 종수(expected number of species)를 산출하였다. 이 방법은 채집 노력량이 채집기 간 일치하지 않거나 같다고 판단하는 것이 무리인 경우, 즉 본 조사와 같이 정성 채집기와 특성이 다른 정량 채집기의 표본으로부터 종 다양성을 추정, 비교할 경우에 이용할 수 있는 것이다. 상관관계의 추정은 각 채집기의 표본이 나타내는 다양도 지수의 정점 간 구배 또는 경향성이 일치하는 지를 파악하기 위한 목적으로 이루어졌다.

각 채집기 별로 총 출현밀도 기준 우점종을 선별하였으며, 이들의 순위를 관찰하여 채집기의 특성을 비교하였다.

집괴 분석에 의한 생물상의 구분은 정점 간 생물상의 다양한 항목(예를 들어 종 조성, 개체군 밀도, 그리고 출현 종수와 같은 다양성 등)에서 나타나는 차이에 의해 유발된다. 세 가지 채집기에 의한 집괴 분석의 결과에 현저한 차이가 발생하고 그 차이에 관한 이유가 추정된다면, 채집기의 선택에 대한 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 각 채집기 별로 작성된 species-abundance matrix를 이용, 집괴 분석(options: Bray-Curtis similarity with UPGMA, double root data transformation)을 행하여 dendrogram을 작성하였고, 채집 정점의 생물상에 따른 구분 양상을 관찰하였

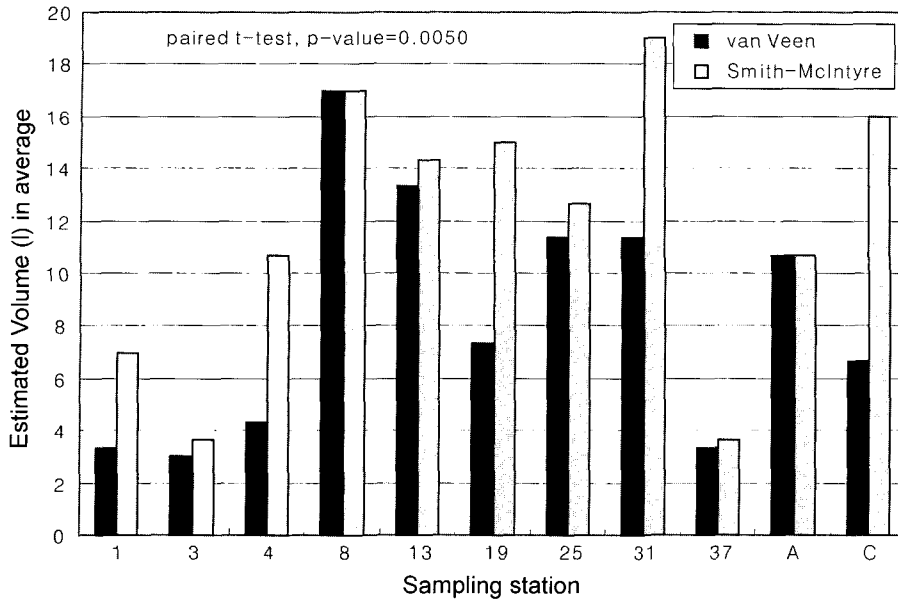


Fig. 2. Comparisons of visually estimated sediment volume between van Veen and Smith-McIntyre grab samplers.

다. 반복 채집된 SM과 VV 자료의 경우 정점별로 평균된 자료를 사용하였다. Dendrogram 간 일치하는 정도를 파악하기 위하여 집괴 분석 과정에서 산출된 채집기 별 3개 유사도 지수 matrix간 상관관계를 계산하였다. 이는 다변량 분석의 ordination 기법에서 주어진 차원 내 객체 또는 변수의 산포 패턴의 유사함을 측정하는데 사용되는 Mantel's(1967) statistics와 유사한 방법이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 모수적 방법이 아닌 비모수적 방법(rank-correlation)을 사용한 것이 차이점이다. 비 모수적 방법의 사용은 선형 관계의 가정에 대해 탄력성을 갖는 장점과 이러한 방법의 사용을 권장한 Clarke and Warwick(2001)의 제안을 고려한 것이다.

결 과

채집기별 퇴적물 부피의 비교

현장에서 추정된 퇴적물 부피의 채집기 별 비교 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 일부 정점에서는 SM과 VV 간 부피의 차이가 없으나 대체로 SM의 퇴적물 부피가 좀더 큰 것으로 나타났다. 쌍을 이룬 표본에 대한 t-검정(paired t-test)의 유의성, p-value는 0.0050인 것으로 나타나 두 채집기 간 채집된 퇴적물 부피에는 유의한 차이( $\mu_{SM} > \mu_{VV}$ )가 있는 것으로 나타났다.

Table 1. Comparisons of biological parameters among the three samplers.

Sampling gear \ Item	Taxon	Total		
		No. of species	Abundance	Biomass
Dredge (type Charchot)*	Polychaeta	62	1176	
	Crustacea	40	499	
	Echinodermata	7	20	
	Mollusca	49	2687	
	Others	5	118	
	Total	163	4500	
Grab (Smith-McIntyre)	Polychaeta	76	3456	16.032
	Crustacea	35	279	5.825
	Echinodermata	6	21	78.728
	Mollusca	39	1306	189.371
	Others	11	168	9.320
	Total	167	5230	299.276
Grab (van Veen)	Polychaeta	71	2270	13.056
	Crustacea	34	302	6.433
	Echinodermata	4	38	109.195
	Mollusca	46	1048	138.342
	Others	7	154	3.839
	Total	162	3812	270.865

\*biomass not measured

**채집기별 총 출현 종수와 개체수 그리고 생체량의 비교**

Table 1에 채집기별 동물군별 출현 종수와 개체수 그리고 생체량을 제시하였다. 출현 종수의 경우 SM으로부터의 표본이 가장 높은 것(167종)으로 나타났다. 총 출현 개체수의 경우에도 SM의 것이 높은 것으로 나타났으며(5230 개체), 생체량의 경우에도 SM의 것이 10% 정도 높은 것으로 나타났다. Dredge는 채집기의 특성상 보다 넓은 퇴적물의 표면적을 채집하는 것으로 알려져 출현 종수와 개체수가 가장 높을 것으로 기대되었으나 SM 표본의 것이 보다 높은 값을 나타낸 것은 다소 의외의 결과로 생각된다.

동물군별로 비교해 볼 때, 우선 출현 종수의 측면에서는 dredge에서 다모류가 적게 채집된 것이 특징적이었으며, 이러한 차이는 출현 밀도의 비교에서 더욱 현저한 것으로 나타났다. 반면 dredge는 연체동물의 출현 밀도가 다른 2가지 채집기의 것에 비해 월등하게 높은 것으로 나타났다. SM과 VV간 생체량의 상대적으로 근소한 차이는 연체동물군의 차이에서 비롯된 것으로 볼 수 있었다.

**정량 채집기의 정밀도 비교**

정밀도의 산출과 비교는 생물학적 변수(biological parameters; 밀도와 생체량, 출현 종수 그리고 H') 자료를 대상으로 행해졌다. Table 2에는 각 정점에서 3회 반복 측정된 자료(n=3)를 바탕으로 구해진 생물학적 변수의 정밀도 평균과 이것의 표준 편차를 채집기 별, 자료변환 유형별로 나타내었다. 정밀도 0.2를 기준할 때, 변환을 가하지 않은 자료로부터 추정된 정밀도의 평균은 출현 종수와 다양도 지수(H')에서 만족할 만한 결과가 제시되었으나 밀도와 생체량의 측면에서는 좀더 많은 수의 표본이 필요한 것으로 나타났다. 밀을 10으로 하는 대수 변환을 행한 자료의 경우 밀도의 정밀도 평균은 0.1 이하로 낮아졌으나 생체량은 각각 0.34, 0.36으로 0.2를 훨씬 상회하여 좀더 많은 수의 표본이 필요한 것으로 나타났다. 자료 변환의 강도가 상대적으로 가장 높은 fourth-root transformation의 경우 밀도의 정밀도 평균은 대수변환 자료로부터의 정밀도와 비슷한 수준이었다. 생체량의 경우 SM과 VV의 것 모두 0.2 이하인 것으로 나타났다.

**채집기 간 다양도의 경향성 비교**

Table 3에는 각 채집기로부터 추정된 출현 종수, 기대 종수(expected species number) 그리고 H'의 상관관계를 나타내었다. 이는 채집기의 효율보다는 각 채집기에 의해 추정된 다양도 지수의 정점 간 차이 또는 구배가 일치하는 정도와 이를 바탕으로 채

**Table 3.** Correlations of species diversity indices (species number S, expected species number ES and H') among samplers.

	Dredge (S)	Dredge (ES)	Dredge (H')
SM (S)	0.85		
SM (ES)		0.62	
SM (H')			0.71
	Dredge (S)	Dredge (ES)	Dredge (H')
VV (S)	0.94		
VV (ES)		0.90	
VV (H')			0.90
	VV (S)	VV (ES)	VV (H')
SM (S)	0.94		
SM (ES)		0.75	
SM (H')			0.91

집기의 특성을 관찰하기 위한 목적으로 수행된 것이다. 기대 종수는 dredge의 경우 65 개체, SM의 경우 21 개체 그리고 VV의 경우 13 개체를 기준으로 추정하였다. Dredge-SM, dredge-VV 그리고 SM-VV 조합의 상관관계 계수 범위는 각각 0.62~0.85, 0.90~0.94 그리고 0.75~0.94인 것으로 나타났다. 이는 VV가 SM 보다는 dredge에 더욱 유사한 경향성 또는 성질의 다양성을 갖는 표본을 채집한 것으로 판단할 수 있었다.

**채집기 간 우점종의 비교**

Table 4는 dredge 표본으로부터 파악된 조사 해역의 저서동물 우점종을 30위까지 나타낸 것이다. 총 31개의 우점종은 총 밀도의 85%의 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 최 우점종은 복족류(MGs)의 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*)인 것으로 나타났다. 2, 3위는 이매패류(MBI)의 *Venus foveolata*와 *Moerella* sp. 등이며, 4 위는 다모류(APol)의 오뚜기갯지렁이(*Sternaspis scutata*) 등인 것으로 나타났다. 5위와 6위는 이매패류의 계화도조개(*Potamocorbula amurensis*)와 동족(*Mactra veneriformis*) 등이 차지하였다. 동물군 조성 측면에서 10위까지의 우점종은 연체동물이 차지하는 비중이 높은 것으로 나타났다.

Table 5는 SM 표본으로부터 파악된 조사 해역의 저서동물 우점종을 29위까지 나타낸 것이다. 총 30개의 우점종은 총 밀도의 85%의 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 최 우점종은 다모류(APol)의 *Minuspia japonica*인 것으로 나타났다. Dredge 표본에서 1위에 rank된 복족류(MGs)의 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*)

**Table 2.** Precision (SE/mean, n=3) of biological parameters (density, biomass, species number and H') as a function of sampling gears and data transformation.

Item	Gear	Raw data		Log base 10		Fourth-root	
		Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
Density	SM	0.21	0.13	0.08	0.14	0.09	0.14
	VV	0.23	0.14	0.06	0.03	0.06	0.04
Biomass	SM	0.47	0.24	0.34	0.24	0.18	0.15
	VV	0.53	0.20	0.36	0.16	0.18	0.10
Species No.	SM	0.16	0.15				
	VV	0.11	0.04				
H'	SM	0.12	0.14				
	VV	0.09	0.06				

**Table 4.** Dominant species from dredge sampler(type Charcot) (Abbreviations: APol=polychaeta, CCI=Cirripedia, CCu=Cumacea, CAm=Amphipoda, MGs=Gastropoda, MBI=Bivalvia, Others=miscellaneous taxa).

Rank	Taxon	Species	Total	Prortion (%)	Cumulative proprotion (%)
1	MGs	<i>Umbonium thomasi</i>	1224	27.2%	27.2%
2	MBi	<i>Venus foveolata</i>	318	7.1%	34.3%
3	MBi	<i>Moerella</i> sp.	270	6.0%	40.3%
4	APol	<i>Sternaspis scutata</i>	230	5.1%	45.4%
5	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	157	3.5%	48.9%
6	MBi	<i>Mactra veneriformis</i>	122	2.7%	51.6%
7	CCi	<i>Balanus</i> sp.	120	2.7%	54.2%
8	CAm	<i>Caprella acutifrons</i>	113	2.5%	56.8%
9	APol	<i>Glycinde gurjanovae</i>	112	2.5%	59.2%
10	APol	<i>Mediomastus californiensis</i>	100	2.2%	61.5%
11	APol	<i>Amphisamytha japonica</i>	93	2.1%	63.5%
12	Others	Nemertinea sp.1	91	2.0%	65.6%
13	MGs	<i>Reticunassa festiva</i>	84	1.9%	67.4%
14	APol	<i>Nephtys polybranchia</i>	81	1.8%	69.2%
15	MGs	<i>Inquisitor</i> sp.	71	1.6%	70.8%
16	APol	<i>Nephtys californiensis</i>	58	1.3%	72.1%
17	CCu	<i>Diastylis paratricincta</i>	50	1.1%	73.2%
17	MGs	<i>Odostomia omaensis</i>	50	1.1%	74.3%
19	APol	<i>Ampharete arctica</i>	49	1.1%	75.4%
20	APol	<i>Magelona</i> sp.	47	1.0%	76.4%
20	CAm	<i>Jassa falcata</i>	47	1.0%	77.5%
22	MBi	<i>Mactra chinensis</i>	46	1.0%	78.5%
23	MGs	<i>Rhizorus radiola</i>	43	1.0%	79.5%
24	MGs	<i>Tiberia pulchella</i>	41	0.9%	80.4%
25	APol	<i>Lumbrineris cruzensis</i>	40	0.9%	81.3%
26	MBi	<i>Nitidotellina</i> sp.	37	0.8%	82.1%
27	MGs	<i>Cingulina cingulata</i>	32	0.7%	82.8%
28	APol	<i>Aonides oxycephala</i>	31	0.7%	83.5%
29	APol	<i>Anaitides koreana</i>	30	0.7%	84.2%
30	CAm	<i>Mandibulophoxus mai</i>	27	0.6%	84.8%
30	CAm	<i>Synchelidium miraculum</i>	27	0.6%	85.4%

은 좀더 낮은 밀도로 2위를 차지한 것으로 나타났다. 3위부터 6위까지는 다모류(APol)의 *Magelona* sp., *Heteromastus filiformis*, *Mediomastus californiensis*, *Aricidea assimilis* 등이 rank된 것으로 나타났다. 그 이하의 우점종(7위부터 10위)은 비록 절대적 순위는 다르더라도 dredge의 우점종 리스트의 10위권 내 구성과 상대적 순위는 일치하는 것으로 나타났다(예를 들어, 이매패류(MBi)의 *Moerella* sp., 계화도조개, *Potamocorbula amurensis*, 다모류(APol)의 오뚜기갯지렁이, *Sternaspis scutata* 등). 동물군 조성 측면에서 10위까지의 우점종은 다모류가 차지하는 비중이 높음으로 나타났다.

Table 6에는 VV 표본으로부터 파악된 조사 해역의 저서동물 우점종을 29위까지 나타낸 것이다. 총 30개의 우점종은 총 밀도의 80%의 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 최 우점종은 SM 표본의 것과 동일하게 다모류(APol)의 *Minuspio japonica*인 것으로 나타났다. 복족류(MGs)의 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*) 역시 SM 표본의 것과 동일하게 2위를 차지한 것으로 나타났다. 3위부터 6위까지는 다모류(APol)로 구성된 것으로 나타났으며, 이들은

각각 *Magelona* sp., *Mediomastus californiensis*, *Sternaspis scutata*, *Prionospio paradisea* 등인 것으로 나타났다. 그 이하의 우점종(7위부터 10위) 등으로는 유형동물의 Nemertinea sp.1, 이매패류(MBi)의 *Moerella* sp., *Venus foveolata*, 다모류의 *Nephtys polybranchia* 등이 rank된 것으로 나타났다.

우점종 리스트의 비교에서는 dredge 표본으로부터의 리스트가 나머지 두 정량 채집기 SM과 VV의 것과 현저한 차이를 나타내었다. 이러한 경향은 다모류에서 현저한 것으로 나타났다. Dredge의 리스트에서 *Minuspio japonica*, *Magelona* sp., *Heteromastus filiformis*, *Aricidea assimilis*, *A. wassi*, *Prionospio paradisea* 그리고 *Glycera subaenea* 등은 다른 두 채집기로부터의 리스트에 포함되지 않거나 낮은 순위를 나타내었다.

#### 채집기 간 생물상에 따른 정점 구분 결과의 비교

Fig. 3은 각 채집기 별로 구분된 자료를 대상으로 동일한 방법의 집괴 분석을 수행한 결과이다. 집괴 분석에 의한 정점의 구분 양상을 자세히 관찰하면 각 node(dendrogram에서 객체 또는 집단

**Table 5.** Dominant species from Smith-McIntyre grab sampler (Abbreviations as in Table 4).

Rank	Taxon	Species	Total	Prortion (%)	Cumulative proprotron (%)
1	APol	<i>Minuspio japonica</i>	1007	19.3%	19.3%
2	MGs	<i>Umbonium thomasi</i>	587	11.2%	30.5%
3	APol	<i>Magelona</i> sp.	405	7.7%	38.2%
4	APol	<i>Heteromastus filiformis</i>	388	7.4%	45.6%
5	APol	<i>Mediomastus californiensis</i>	269	5.1%	50.8%
6	APol	<i>Aricidea assimilis</i>	178	3.4%	54.2%
7	MBi	<i>Moerella</i> sp.	156	3.0%	57.2%
8	APol	<i>Sternaspis scutata</i>	139	2.7%	59.8%
9	Others	Nemertinea sp.1	134	2.6%	62.4%
10	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	107	2.0%	64.4%
11	APol	<i>Cirrophorus furcatus</i>	85	1.6%	66.1%
12	APol	<i>Prionospio paradisea</i>	84	1.6%	67.7%
13	APol	<i>Aricidea wassi</i>	82	1.6%	69.2%
14	APol	<i>Aonides oxycephala</i>	81	1.5%	70.8%
15	APol	<i>Nephtys polybranchia</i>	72	1.4%	72.2%
16	MBi	<i>Venus foveolata</i>	69	1.3%	73.5%
17	APol	<i>Glycera subaenea</i>	62	1.2%	74.7%
18	MBi	<i>Meretrix petechialis</i>	62	1.2%	75.9%
19	APol	<i>Amphisamytha japonica</i>	47	0.9%	76.7%
20	APol	<i>Axiiothella</i> sp.	45	0.9%	77.6%
21	APol	<i>Sigambra tentaculata</i>	44	0.8%	78.5%
22	APol	Hesionidae unid. sp.	40	0.8%	79.2%
22	MBi	<i>Mactra chinensis</i>	40	0.8%	80.0%
24	APol	<i>Glycinde gurjanovae</i>	38	0.7%	80.7%
25	CCi	<i>Balanus</i> sp.	37	0.7%	81.4%
26	APol	<i>Ampharete arctica</i>	36	0.7%	82.1%
27	MGs	<i>Inquisitor</i> sp.	33	0.6%	82.7%
28	APol	<i>Notomastus latericeus</i>	32	0.6%	83.3%
29	CAM	? <i>Pseudophotis</i> sp.	30	0.6%	83.9%
29	CAM	<i>Synchelidium miraculum</i>	30	0.6%	84.5%

이 연결된 부분)의 위치에 미세한 차이가 있음을 감지할 수 있으나 대체로 세 가지 채집기의 결과는 모두 높은 일치성을 나타내었다. 미세한 차이에 따른 유사도 행렬(similarity matrix) 간의 유사한 정도의 차이는 상관 관계를 측정함(이는 서로 다른 multi-dimensional scaling plot 상에서 객체 배열 패턴의 일치하는 정도를 추정하는 것과 동일한 것임)으로 파악해 볼 수 있다(Table 7). 상관관계 추정치에 의하면 집괴 분석의 결과는 그 결과 간에 매우 높은 유사성(non-parametric spearman correlation, 0.92~0.95)을 갖는데 그 가운데 dredge-VV 간이 가장 높으며, dredge-SM 간이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 Table 3의 다양도 지수 관찰 결과와도 일치하는 것이다.

## 고 찰

고 등(1999)은 VV를 사용하여 출현 종수와 다양도의 추정에 적합한 적정 채집면적 그리고 종합적인 측면을 고려한 적정 채집 면적 등을 산출하였으며, 이는 각각 1.5와 <0.5 그리고 1.2 m<sup>2</sup>이다. 이러한 추정치는 대부분의 저서동물 연구에서와 같이 분산을 알 수 없도록 반복 채집된 자료를 병합하여 사용하는 연구에서 사용할 수 있는 것이다. 1 m<sup>2</sup> 이상의 채집 면적은 현실적으로 적용하

기에는 무리가 있다. 반복 채집 계획 하의 현장 조사는 채집 노력량을 크게 줄일 수 있다. Elliot(1977)의 방법(정밀도 이외에 표본 분산과 표본 평균을 고려)을 적용한 Koh and Kang(1998)은 본 조사와 같은 조하대 저서동물 군집조사에서 VV를 사용할 경우 군집의 총 밀도 추정에 적절한 채집 면적을 0.2 m<sup>2</sup>라고 추정하였다. 밀도 이외에 군집의 생체량과 2개 다양도 지수의 정밀도를 기준으로 이를 추정한 본 연구에서는 fourth-root transformation을 행할 경우 두 가지 채집기를 이용하여 0.1 m<sup>2</sup>의 면적을 3회 반복하여 채집하는 것이 적절한 것으로 나타났고, 이러한 측면에서 두 가지 채집기 특성의 차이는 다르다고 볼 수 없는 것으로 나타났다.

본 연구의 채집 디자인은 대상 생물의 공간적 구조에 영향을 받을 수 있다. 정량 채집기의 경우 닻으로 선박의 위치를 고정시켜 제한적 범위 내에서 채집을 행하였으나 반정량적(semi-quantitative) 채집기의 경우에는 평균적으로 약 50 m의 거리를 이동하며 채집하였기 때문이다. 최근에 보고된 대형저서동물의 multivariate spatial pattern에 대한 연구에서는 반복 채집을 행할 때 각 replicate의 간격이 진정한 분산을 반영할 수 있도록 약 40 m 이상의 간격을 두어야 하는 것으로 추정되었다(Somerfield and Gage, 2000). 그러나 대상 군집의 patchy distribution pattern이 어느 정도의 공간 scale을 갖는가에 따라 결과가 달라질 수 있으며, 현장채집 방법을

**Table 6.** Dominant species from van Veen grab sampler (Abbreviations as in Table 4).

Rank	Taxon	Species	Total	Prortion (%)	Cumulative proproction (%)
1	APol	<i>Minuspio japonica</i>	447	11.7%	11.7%
2	MGs	<i>Umbonium thomasi</i>	417	10.9%	22.7%
3	APol	<i>Magelona</i> sp.	325	8.5%	31.2%
4	APol	<i>Mediomastus californiensis</i>	303	7.9%	39.1%
5	APol	<i>Sternaspis scutata</i>	136	3.6%	42.7%
6	APol	<i>Prionospio paradisea</i>	130	3.4%	46.1%
7	Others	Nemertinea sp. I	120	3.1%	49.3%
8	MBi	<i>Moerella</i> sp.	102	2.7%	51.9%
8	MBi	<i>Venus foveolata</i>	102	2.7%	54.6%
10	APol	<i>Nephtys polybranchia</i>	87	2.3%	56.9%
11	APol	<i>Aricidea assimilis</i>	75	2.0%	58.9%
12	APol	<i>Heteromastus filiformis</i>	72	1.9%	60.8%
13	APol	<i>Aonides oxycephala</i>	69	1.8%	62.6%
14	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	66	1.7%	64.3%
15	APol	<i>AxiotHELLa</i> sp.	50	1.3%	65.6%
16	CCi	<i>Balanus</i> sp.	48	1.3%	66.9%
17	CAM	? <i>Pseudophotis</i> sp.	45	1.2%	68.0%
18	APol	<i>Aricidea wassi</i>	44	1.2%	69.2%
19	APol	<i>Ampharete arctica</i>	43	1.1%	70.3%
20	APol	<i>Glycinde gurjanovae</i>	40	1.0%	71.4%
21	APol	<i>Tharyx</i> spp.	39	1.0%	72.4%
22	APol	<i>Glycera subaenea</i>	38	1.0%	73.4%
23	CAM	<i>Mandibulophoxus mai</i>	36	0.9%	74.3%
24	MGs	<i>Inquisitor</i> sp.	34	0.9%	75.2%
25	APol	<i>Notomastus latericeus</i>	33	0.9%	76.1%
26	CAM	<i>Ampelisca brevicornis</i>	30	0.8%	76.9%
26	MBi	<i>Nitidotellina</i> sp.	30	0.8%	77.7%
28	MGs	<i>Cingulina cingulata</i>	29	0.8%	78.4%
29	APol	<i>Amphisamytha japonica</i>	27	0.7%	79.1%
29	APol	Hesionidae unid. sp.	27	0.7%	79.9%

**Table 7.** Spearman rank-correlations between similarity matrices, calculated from dredge, Smith-McIntyre and van Veen grab samplers.

	Dredge	SM	VV
Dredge	1		
SM	0.92	1	
VV	0.95	0.94	1

고려하면 적어도 본 연구에서 사용된 두 가지 유형의 채집기는 서로 다른 속성을 나타내는 자료일 가능성이 높다.

11개 정점에서 채집된 총 종수와 밀도는 채집 면적이 넓은 dredge의 것보다 SM의 것에서 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용한 dredge bag은 퇴적물을 담을 수 있도록 고안된 것이며 따라서 채집 면적이 넓음에도 불구하고 퇴적물의 부피가 약 40l로 제한된다. 각 정점의 시도에서는 항상 최대 용량으로 채집되므로 퇴적물 부피는 정점 간 비교적 일정한 것으로 판단된다. 정확한 수치로 볼 수는 없으나 SM 채집 퇴적물 부피의 3개 replicates 합은 11개 정점에서 평균 35l 정도인 것으로 추정되었다. 이러한 점 등으로부터 dredge는 출현 종수와 밀도의 양적인 측면에서는 가장 높을 것이며 다른 두 정량 채집기와의 비교에서 좋은 기준으로 활용될 수 있을 것으로 기대되었다. 상대적으로 적은 양의 생물 채

집은 dredge가 퇴적물을 깊이 투과하지 못하였고 subsurface의 infauna보다는 해저 표면 위의 생물이 주로 채집되었을 가능성이 높음을 나타낸다(Eleftheriou and Homle, 1984). 동물군별 비교에서 다모류의 개체수가 상대적으로 낮고, 연체동물(특히 표층에서 서식하는 서해비단고둥, *U. thomasi*)의 개체수가 높은 수로 채집된 결과 역시 이러한 측면에서 이해되어야 할 것이다. 이에 대한 고찰은 좀더 언급될 것이다.

본 연구에서 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인과 그 효과들로서 두 가지 정도를 제시할 수 있다. 첫째는 채집 방법간의 차이와 군집 분포의 공간적 구조 간의 관계에서 발생할 수 있는 효과이며, 둘째는 dredge가 주로 퇴적물의 표층 가까이에서 서식하는 생물들을 주로 채집한 것에 의해 발생할 수 있는 효과이다. 우점종 리스트와 다변량 분석 결과의 채집기 간 비교에서 전자 만이 조성 과 순위의 측면에서 현저한 차이를 나타내었다. 이는 두 가지 요인들 중 어떠한 요인이 주어진 규모와 방법으로 접근한 연구 범위 내에서 보다 미세한 효과를 나타내었는가를 간접적으로 짐작할 수 있도록 해준다.

Somerfield and Gage(2000)의 연구에 근거하면 100 m 이내의 범위에서는 40~90 m의 거리에서 대부분 다른 군집 속성의 patch를 접할 수 있으며 유사한 정도가 급격하게 낮아지는 것으로 나



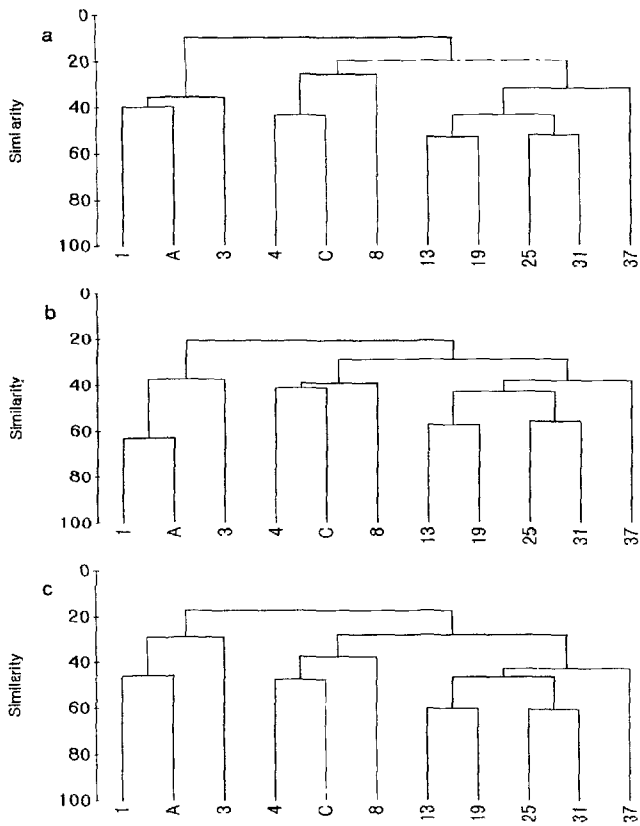


Fig. 3. Comparison of dendrograms based on samples from dredge (type Charcot) (a), Smith-McIntyre (b) and van Veen grab samplers (c).

타났다. 만약 세 가지 채집기로부터의 표본이 서로 다른 강도로 이러한 효과로부터의 영향을 받았다면 생물상의 구분이나 공간적으로 나타내는 구배는 다소 차이가 있었을 것이다. 그럼에도 불구하고 집괴분석의 결과는 세 가지 채집기들 가운데 어떠한 것을 사용하더라도 군집의 분포나 생물상의 구분을 파악하는 데에는 문제가 없음을 나타내었다(similarity matrices 간  $r=0.92\sim0.95$ ). 참고로 SM 채집기로부터의 표본이 나타난 생물상의 공간 분포는 만경, 동진강 하구부터 외해 방향으로의 점진적 변화 양상을 나타내었으며, 이는 2003년 5월과 8월에 동일한 규모의 공간에서 38개 정점을 배치하여 조사한 결과에서도 동일한 것으로 나타났다(해양수산부, 2003).

저표하 퇴적물 식자(subsurface deposit feeder)로 분류되는 다모류 *Heteromastus filiformis*는 서해 연안에서 매우 높은 출현 빈도를 갖는다. Yoo(1998)의 경기만 갯벌 조사에서도 90% 이상의 출현 빈도를 나타내었으며, 본 조사의 SM 표본에서도 3번 grab을 던지면 2번은 나올 것이라는 높은 출현 확률(61%; 총 표본 수는 33)이 추정되었다. *H. filiformis* 개체군은 SM 표본에서 388 개체/3.3 m<sup>2</sup>가 채집되었으나 dredge 표본에서는 출현 확률 36%(총 표본 수는 11), 19개체가 채집되었다. VV 표본에서는 55%(총 표본 수는 33)의 출현 확률, 72 개체/3.3 m<sup>2</sup>가 채집되었다. Flint and Rabalais(1980)의 연구에 근거하면 *Aricidea assimilis*와 *A. wassi* 역시 subsurface deposit feeder로 분류할 수 있다. 본 조사의 SM 표본에서도 각각 24%와 6%의 확률로 178과 82 개체/3.3 m<sup>2</sup>가 채

집되었으나 dredge 표본에서는 8%, 9%의 확률로 각각 8과 1 개체가 채집되었다. VV 표본에서는 30%와 9%의 출현 확률로, 75와 44 개체/3.3 m<sup>2</sup>가 채집되었다. *Magelona* sp., *Minuspio japonica* 그리고 *Prionospio paradisea* 등은 surface deposit feeders이며 몸체의 대부분은 표층 아래의 퇴적물 내에 위치한다. 이들 세 종은 SM 표본에서 각각 55%와 45% 그리고 30%의 확률로 405와 1007 그리고 84 개체/3.3 m<sup>2</sup>가 채집되었으나 dredge 표본에서는 출현 확률 18%와 45% 그리고 18%로 각각 47, 14 그리고 24 개체가 채집되었다. VV 표본에서는 39%와 39% 그리고 36%의 출현 확률로 325와 447 그리고 130 개체/3.3 m<sup>2</sup>가 채집되었다. Subsurface의 carnivore로 분류되는 *Glycera subaenea*는 SM 표본에서 55%의 확률로 62 개체/3.3 m<sup>2</sup>가 채집되었고, dredge 표본에서는 다소 높은 73%의 출현 확률에도 불구하고, 14 개체의 낮은 수준으로 채집되었다. VV 표본에서는 67%의 출현 확률로, 38 개체/3.3 m<sup>2</sup>가 채집되었다.

채집된 자료를 관찰한 결과 dredge와 정량 채집기 간 표본의 구분되는 특징은 상기한 첫 번째보다는 두 번째 효과의 영향을 보다 많이 받은 것에 기인하는 것으로 추정되었다. 일부 종들이 표층에 가까이 서식함을 고려할 때 dredge는 약 50 m 정도의 채집거리의 많은 부분에서 running과 jumping을 반복하며 얇은 표층의 퇴적물만을 채집하였을 가능성도 있는 것으로 판단된다. SM과 VV 간 위에 열거한 종들의 밀도 비교에서도 후자의 채집기는 대체로 과소 평가의 경향을 나타내었다. 위에 열거한 종들 가운데 *P. paradisea*를 제외한 나머지 종들은 VV 표본에서 SM의 것에 비해 약 19~80% 수준(평균 50%)에 머무는 것으로 나타났다. 현장 조사시 채집기 자체의 중량에 의존하여 퇴적물 내로 투과되는 VV 채집기와 스프링에 의해 투과되는 SM 채집기 간 채집 퇴적물의 부피 역시 유의한 차이가 있는 것으로 관찰되었으며 이는 곧 퇴적물 채집 깊이에서의 차이인 것으로 생각할 수 있다.

세 가지 채집기의 비교에서 최우량 채집기는 SM인 것으로 나타났다. VV로부터의 표본이 나타낸 다양도의 경향성이나 집괴분석 패턴이 dredge의 것에 더욱 유사하게 나타난 이유에 대해서 현재로서는 채집 퇴적물의 부피 즉 채집기의 투과 깊이와 관련된 것으로 밖에 생각할 수 없다. 이러한 경향성은 채집기의 효율을 검토할 수 있게 해주는 것은 아니나 앞서 추정된 이유와 같이 왜곡의 가능성을 지닌 dredge 자료와 VV 자료가 서로 높은 유사성을 가짐은 상대적으로 SM 채집기를 선택하도록 해주는 중요한 근거가 될 수 있다.

이상의 관찰 결과로부터 새만금 주변의 조하대 해역에서 3회의 반복 정량 채집을 행하는 조건과 밀도, 생체량, 다양도의 추정, 그리고 군집의 공간 구배 관찰 등의 연구 목적 하에서는 SM 채집기를 이용하는 것이 가장 바람직할 것이라는 결론을 내릴 수 있었다. 그러나 새만금과 같은 커다란 국민적 관심의 대상이 되는 해역의 모니터링 사업이나 그 외 중요한 학술적 목적이 있는 연구가 아니라면 second-order quality의 수준에서 세 가지 중 어떠한 것을 선택하여도 무방할 것으로 판단된다. 채집기 간 특성의 차이가 있음에도 불구하고 표본들의 경향성이 일치하는 것은 거꾸로 퇴적물 깊은 곳에 서식하는 infauna가 포함이 안 되거나, 달리 표현하여, 표층에 서식하는 생물만이 채집되더라도 환경 요인에 따른 생물상의 구배는 충분히 관찰될 수 있음을 나타내는 것

이다. 이는 저서 생태계의 구성원이 많은 수의 interchangeable subsets로 구성되어 있음을 나타내는 species redundancy 존재의 반영이라고 할 수 있다(Gray *et al.*, 1988). 군집의 가능한 모든 faunal components를 채집하기 위한 노력과 시도는 매우 비효율적인 것이라 할 수 있다. 채집기의 선택에 있어서도 James and Fairweather(1996)와 같이 채집, sieving 그리고 sorting에 소요되는 시간이나 Eleftheriou and Holme(1984)과 같이 어려운 해황 조건에서 작업 여부가 가능한지 또는 채집에 이용 가능한 선박의 크기 등의 기준을 포함하여 고려한다면 다른 채집기가 선택될 가능성은 얼마든지 있는 것이다.

## 사 사

현장 채집에 도움을 주신 (주) 한국연안환경생태연구소의 채진호 박사님, 한창훈 님, 김정수 님 그리고 한국해양연구원의 민원기님께 감사드립니다. 본 연구는 해양수산부의 새만금 해양환경보전을 위한 조사·연구 용역의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 고철환, 강성길, 이창복, 1999. 송도 갯벌과 영일만 조하대 저서동물의 군집조사를 위한 적정 채집면적의 결정. 한국해양학회지, 바다, 4: 63-70.
- 해양수산부, 2003. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구(1차년도). 해양생태/적조. 해양수산부.
- Andrew, N.L. and B.D. Mapstone, 1987. Sampling and the description of spatial pattern in marine ecology. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 25: 39-90.
- Berthouex, P.M. and L.C. Brown, 1994. Statistics for environmental engineers. Lewis publishers.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. Primer-E Ltd., Plymouth Marine Laboratory, UK.
- Eleftheriou, A. and N.A. Holme, 1984. Macrofauna techniques. In: Methods for the study of marine benthos, 2nd edition, edited by Holme, N.A. and A.D. McIntyre, Blackwell Scientific Publications, IBP Hand Book 16, Oxford, pp. 140-216.
- Elliot, J.M., 1977. Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrate (2nd edn.). Freshwater Biological Association, Scientific Publications, No. 25, 156 pp.
- Flint, R.W. and N.N. Rabalais, 1980. Polychaete ecology and niche patterns: Texas Continental Shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 3: 193-202.
- Gray, J.S., 1980. The ecology of marine sediments. Cambridge University Press, 185 pp.
- Gray, J.S., M.Aschan, M.R. Carr, K.R. Clarke, R.H. Green, T.H. Pearson, R. Rosenberg and R.M. Warwick, 1988. Analysis of community attributes of the benthic macrofauna of Frierfjord/Langesundfjord and in a mesocosm experiment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 46: 151-165.
- Hong, J.S., 1983. A minimal volume determination from dredge samples for benthic community study of subtidal mud flats in Korean waters. *Benthos Res.*, 25: 1-9.
- Hurlbert, S.H., 1971. The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, 52: 577-586.
- James, R.J. and P.G. Fairweather, 1996. Spatial variation of intertidal macrofauna on a sandy ocean beach in Australia. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 43: 81-107.
- Koh, C.H. and S.G. Kang, 1998. Sample size determination for the estimation of population density of marine benthos on a tidal flat and a subtidal area, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 33: 113-122.
- Mantel, N., 1967. The detection of disease clustering and a generalised regression approach. *Cancer Res.*, 27: 209-220.
- Riddle, M.J., 1989. Bite profiles of some benthic grab samplers. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 29: 285-292.
- Somerfield, P.J. and J.D. Gage, 2000. Community structure of the benthos in Scottish sea-lochs. IV. Multivariate spatial pattern. *Mar. Biol.*, 136: 1133-1145.
- Wigley, R.L., 1967. Comparative efficiencies of van Veen and Smith-McIntyre grab samplers as revealed by motion pictures. *Ecology*, 48: 168-169.
- Yi, S.K., H.T. Huh and H.S. Kang, 1988. Determination of minimal size of sample for the study of subtidal macrozoobenthic community using a van Veen grab. *Ocean Res.*, 10: 107-113.
- Yoo, J.W., 1998. The spatial distribution and long-term variation of macrotidal communities on macrotidal flats in the west central coast of Korea. Ph. D. thesis, Inha Univ., 352 pp.

2003년 4월 1일 원고접수

2003년 7월 23일 수정본 채택

담당편집위원: 신현출