

송도 갯벌과 영일만 조하대 저서동물의 군집조사를 위한 적정 채집면적의 결정

고철환 · 강성길 · 이창복
서울대 해양학과

Determination of the Optimum Sampling Area for the Benthic Community Study of the Songdo Tidal Flat and Youngil Bay Subtidal Sediment

CHUL-HWAN KOH, SEONG-GIL KANG AND CHANG-BOK LEE
Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

연성저질의 갯벌과 조하대에 서식하는 저서동물의 정점당 채집면적을 제안하고자 인천 송도 1 개 정점에서 0.02 m² 박스코어를 이용하여 총 250 회(5 m²), 영일만 조하대 1 개 정점(수심 20 m)에서 0.1 m² 반빈 채니기를 이용하여 총 50 회(5 m²)의 표품을 반복 채집하였다. 본 연구에서 제안한 채집면적은 모집단으로 설정한 5 m²에 대해서 출현종수와 생태지수(다양성, 종풍부도, 균등도, 우점도지수), 종조성의 유사성(유사도지수 기준)이 75%로 나타나는 수준의 면적으로 설정하였다. 송도갯벌 5 m²에 서식하는 저서동물은 56 종, 영일만 조하대 5 m²에서는 총 60 종이였다. 채집면적(A; m²)에 따른 저서동물의 누적 출현종수(N_{sp})는 송도갯벌에서 $N_{sp}=37.379A^{0.257}$ (r²=0.99), 영일만 조하대에서 $N_{sp}=40.895A^{0.257}$ (r²=0.98)의 관계식으로 나타낼 수 있었다. 모집단으로 설정한 5 m²에 대해서 출현종수의 75%가 출현하는 채집면적은 송도갯벌과 영일만 조하대에서 각각 1.6 m² (0.02 m² 박스코어, 80 회), 1.5 m² (0.1 m² 반빈채니기, 15 회)이었다. 0.02 m²과 0.1 m²의 단위표품을 계속 더하여 면적을 증가시키면서 새롭게 증가된 각 면적에서의 생태지수와 유사도를 다시 계산하였다. 그 결과, 5 m²의 생태지수에 75% 근접하는 면적은 송도갯벌에서 < 0.5 m²~1.5 m², 영일만 조하대에서 < 0.5 m²~1.2 m²이었다. 종조성의 유사성을 75%로 반영하는 면적은 0.3 m²(송도), 0.6 m²(영일만)이었다. 군집분석을 위해 흔히 사용하는 이들 지수의 채집면적에 따른 변화를 추적하여 유사성 75%에 기준을 둔 채집면적으로 송도갯벌에서는 1.5 m²(0.02 m² 박스 코어, 75 회), 영일만 조하대에서는 1.2 m²(0.1 m² 반빈 채니기, 12 회)을 제안할 수 있었다. 이들 채집면적은 송도갯벌에서 상위 우점 7 종(개체수 68%를 차지함)의 서식밀도를, 영일만 조하대에서 상위 우점 6 종(개체수 90% 차지함)의 서식밀도를 정밀도 0.2 이내에서 추정할 수 있게 한다.

The optimum sampling area which can be applied to the benthic community study is estimated from large survey data in the Songdo tidal flat and subtidal zone of Youngil Bay, Korea. A total of 250 samples by 0.02 m² box corer for the benthic fauna in Songdo tidal flat and 50 samples by 0.1 m² van Veen grab in Youngil Bay were taken from the total sampling area of 5 m². It was assumed that the sampling area could contain sufficient information on sediment fauna, if cumulative number of species, ecological indices, and similarity index by cluster analysis reflect the similarity level of 75% to those found at total sampling area (5 m²). A total of 56 and 60 species occurred from Songdo tidal flat and Youngil Bay, respectively. The cumulative curve of the species number (N_{sp}) as a function of the sampling area (A in m²) was fitted as $N_{sp}=37.379A^{0.257}$ (r²=0.99) for intertidal fauna and $N_{sp}=40.895A^{0.257}$ (r²=0.98) for subtidal fauna. Based on these curves and 75% of similarity to the total sampling area (5 m²), the optimum sampling area was proposed as 1.6 m² for the intertidal and 1.5 m² for the subtidal fauna. Ecological indices (species diversity, richness, evenness and dominance indices) were again calculated on the basis of species composition in differently simulated sample sizes. Changes in ecological indices with these sample sizes indicated that samplings could be done by collecting fauna from < 0.5 m²—1.5 m² on the Songdo tidal flat and from < 0.5 m²—1.2 m² in Youngil Bay. Changes in similarity level of all units of each simulated sample size showed that sampling area of 0.3 m²

*본 연구는 1997년도 교육부 기초과학육성연구비(BSRI-97-5409)의 지원에 의해 수행되었다.

(Songdo tidal flat) and 0.6 m^2 (Youngil Bay) should be taken to obtain a similarity level of 75%. In conclusion, sampling area which was determined by cumulative number of species, ecological indices and similarity index by cluster analysis could be determined as 1.5 m^2 (0.02 m^2 box corer, $n=75$) for Songdo tidal flat and 1.2 m^2 (0.1 m^2 van Veen grab, $n=12$) for Youngil Bay. If these sampling areas could be covered in the field survey, population densities of seven dominant species comprising 68% of the total faunal abundance occurring on Songdo tidal flat and six species comprising 90% in Youngil Bay can be estimated at the precision level of $P=0.2$.

서 론

연안 퇴적물에 서식하는 저서동물의 종조성과 군집구조를 밝히려는 연구를 수행함에 있어 조사정점을 대표하는 적절한 크기의 표본(sample)을 채집하는 것은 연구 결과의 해석 범위와 관련하여 매우 중요하다. 표본 채집방법을 결정할 때, 고려할 사항에는 정점의 선택(Cuff and Coleman, 1979; Aschan, 1988), 채집기구의 종류와 크기(Blomqvist, 1991의 종설), 채집시 망목의 크기(Bachelet, 1990의 종설) 그리고 채집횟수 또는 채집면적 등이 포함된다. 이 중에서 군집분석을 위해 분석 단위로 여기는 정점당 반복 채집횟수는 정점간 종조성의 차이를 기술함에 있어 결과의 신뢰성을 제한하는 중요한 사항이다.

정점당 적정 채집횟수는 주로 누적 출현종수-채집면적 곡선에 근거하여 산출, 제안되어 왔다(Lie, 1968; Weinberg, 1978; McIntyre *et al.*, 1984). 그러나 출현종수만을 기준으로 하면 종류별 생물량에 대한 정보가 전혀 고려되지 않는다. 따라서 채집횟수는 생물량을 고려하여 결정되어야 하므로 이를 위해서 어느 한 종을 대상으로 서식밀도를 추정할 수 있는 채집횟수를 결정하는 방법들이 제안되기도 하였다(Longhurst, 1959; Salia *et al.*, 1976; Elliot, 1977; Cuff and Coleman, 1979; Downing 1979; Høisaeter and Matthiesen, 1979; Aschan, 1988; Koh and Kang, 1998). 어느 한 종에 대한 서식밀도를 추정하는 채집횟수의 결정방법은 특정 우점 개체군의 밀도를 추정하는 데는 적용이 가능하나, 다양한 생물종의 종조성을 기술하려는 군집조사의 채집횟수를 결정하는 데는 부적합하다. 따라서 군집구조를 기술하는 데 사용할 자료의 획득을 위해 채집횟수를 결정하는 방법이 몇몇 저자에 의해 제안되었다. 예를 들면, 특정 반복수로 채집한 결과 그 생물상이 전체 군집과 어느 정도 유사한가에 따라 채집횟수를 결정하는 방법이 한 예이다(Heck *et al.*, 1975; Shaikat, 1986; Yi *et al.*, 1988).

이러한 채집횟수의 결정방법은 군집분석 과정에서 사용하는 제반 지수를 검토 대상으로 하고 있다. 출현종수, 우점종의 생물량, 종조성에 따른 군집분류 등이 군집을 기술하는 데 흔히 사용되는 지수이다. 특히 출현종수와 이와 관련한 제반 지수들이 채집면적에 따라 변화함을 고려할 때(Heck *et al.*, 1975; Soetatert and Heip, 1990), 군집을 기술하는 제반 지수들이 채집면적에 따라 어떻게 변화하는가를 분석하여 적절한 채집면적을 결정할 수 있다.

본 연구에서는 한국 연안의 갯벌과 조하대 저서동물 군집을 조사하면서 적용할 수 있는 적정 채집면적을 채집면적에 따른 출현종수와 다양성, 종풍부도, 종균등도, 우점도 지수 등의 제반 생태지수, 종조성의 변화로부터 추정하였다. 생물표본은 인천

송도갯벌과 포항 영일만 조하대에서 한 곳의 정점을 택하여 반복하여 채집하였다. 채집기구로는 흔히 사용하는 0.02 m^2 박스코아(box corer, 송도)와 0.1 m^2 반빈채니기(van Veen grab, 영일만)를 이용하였다. 송도 갯벌의 정점에서는 250 회, 영일만 조하대 정점에서는 50 회를 반복 채집하였고, 채집횟수에 따른 제반 지수들의 변화를 추적하였다. 생물 종류별 서식밀도를 추정할 수 있는 적정 반복 채집횟수에 대해서는 Koh and Kang(1998)이 제시한 바 있다.

재료 및 방법

송도갯벌 중부($37^{\circ}28'N$, $126^{\circ}36'E$)에서 1991년 4월에 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 인 방형구를 수로와 평행한 방향으로 2~3 m 간격으로 5 개를 놓은 다음, 입구면적이 $10 \times 20 \text{ cm}^2$, 깊이가 30 cm인 박스코아를 이용하여 1 m^2 당 50 개씩, 총 250 개의 퇴적물 표본(채집면적: 총 5 m^2)을 채취하였다. 그리고 영일만 장기갑 근처 조하대($36^{\circ}04'N$, $129^{\circ}31'E$)에서 1991년 5월에 입구면적 0.1 m^2 인 반빈채니기를 이용하여 반경 20 m 이내에서 50 회(채집면적: 총 5 m^2)에 걸쳐 무작위로 퇴적물을 채취하였다. 표본을 채취한 정점의 수심은 대략 20 m이다. 채취한 퇴적물은 망목 크기 1 mm 인 체를 이용하여 거르고, 체에 걸린 동물은 10% 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 이렇게 채집한 저서동물을 가능한 종 수준까지 동정한 후 계수하였다.

채집면적에 따른 누적 출현종수의 변화를 알기 위해서 0.02 m^2 크기의 박스코아 표본 250 개와 0.1 m^2 크기의 반빈 채니기 표본 50 개로부터 표본을 하나씩 디하면서 누적 출현종수를 계산하였다. 면적(A , 단위: m^2)과 누적 출현종수(N_p)를 $N_p = a \times A^b$ 의 관계식에 적합시켰다(Loehle, 1990). 채집면적에 따라 생태지수, 즉 다양성지수(Shannon and Wiener's index, H'), 종풍부도지수(Margalef's index, R), 종균등도지수(Pielou's index, J), 우점도지수(McNaughton's index, D)를 계산하였다.

생태지수를 면적에 따라 계산한 과정은 다음과 같다. 0.02 m^2 코아표본을 기본으로 하여 인접한 것끼리 서로 묶어서 표본의 크기를 차례로 크게 하였고, 각각을 하나의 표본크기(sample size)로 취급하였다. 즉, 0.02 m^2 의 단위표본($n=250$)을 2 개(0.04 m^2 , $n=125$), 4 개(0.08 m^2 , $n=50$), 8 개(0.16 m^2 , $n=20$), 16 개(0.32 m^2 , $n=10$), 32 개(0.64 m^2 , $n=5$), 50 개(1.0 m^2 , $n=5$), 100 개(2.0 m^2 , $n=2$), 250 개(5.0 m^2 , $n=1$)로 차례로 묶어 표본크기를 여러가지로 만들었다. 여기서 괄호속의 n 은 전체 250 개 단위표본을 해당 표본크기로 묶었을 때 만들어지는 표본의 새로운 갯수를 의미한다. 0.1 m^2 반빈 채니기 표본은 채집한 순서로 나열하여 차례로 묶어가면서 표본크기를 증가시켰다. 즉,

1 개(0.1 m², n=50), 2 개(0.2 m², n=25), 4 개(0.4 m², n=12), 8 개(0.8 m², n=6), 16 개(1.6 m², n=3), 25 개(2.5 m², n=2), 50 개(5.0 m², n=1)로 묶으면서 다양한 표품크기를 만든 다음, 각각에서 출현하는 생물 종류와 양을 기반으로 생태지수를 계산하였다.

새로운 표품크기에 따라 집괴분석을 실시하였다. 일반적으로 표품크기가 커질수록 표품간의 종조성이 보다 유사해지므로, 표품크기를 증가시키면서 새로운 표품크기간의 종조성의 유사성을 계산하였다. 각 표품크기별로 표품수 n 개가 집괴분석에 의해 마지막으로 묶일 때의 유사성 수준을 모집단과의 종조성의 일치 정도로 보았다(Yi *et al.*, 1988). 집괴분석에 사용한 표품크기는 0.02 m² 단위표품을 1 개(n=250), 2 개(n=125), 4 개(n=50), 8 개(n=20), 16 개(n=10), 32 개(n=5), 50 개(n=5), 그리고 0.1 m² 단위표품을 1 개(n=50), 2 개(n=25), 4 개(n=12) 6 개(n=8), 8 개(n=6), 10 개(n=5)씩 묶어서 만들었다. 유사성 지수로는 상관계수를, 표품간 결합방법으로는 중심결합법(centriod linkage method)을 선택하였다. 자료처리는 SAS 통계 프로그램을 이용하였다.

적정 채집면적은 모집단의 표품크기 5 m²에 대해 새로운 표품크기의 제반 지수값이 75% 이상 재현되는 수준의 표품크기로 가정하였다. 기존의 연구에서는 표품크기의 증가에 따라 누적 출현종수가 증가할 때, 표품크기를 10% 증가시켰음에도 채집종수가 10%보다 적게 증가하거나 또는 채집면적을 두배로 늘렸음에도 채집종수가 10%보다 적게 증가하는 시점의 채집면적을 "최소표품량(minimal sample area)"이라고 정의하였다(Weinberg, 1978). 또한, 표품간의 종조성을 비교할 때는 "서로 유사하다"라고 할 수 있는 유사성 수준을 약 75% 또는 85%로

정의하기도 하였다(Weinberg, 1978; Yi *et al.*, 1988). 본 연구에서는 후자의 제안에 따라 종수, 생태지수, 종조성(유사도: 상관계수 기준)이 모집단에 대해 75%의 유사성을 가지는 시점에서의 채집면적(표품크기)을 적정 채집면적으로 간주하였다. 물론 이는 임의의 기준이므로 필요에 따라 그 유사성의 수준을 내리거나 올릴 수 있을 것이다. 일반적으로 서식밀도를 추정할 때는 평균 서식밀도에 대한 표준오차 비로 나타내는 정밀도, P를 0.2 정도로 설정하여 적정 채집횟수를 제안하고 있다(Downing, 1979; Koh and Kang, 1998).

결 과

니사질이 우세한 송도갯벌의 5 m²에서 출현한 저서동물은 총 56 종으로, 다모류가 37 종, 연체동물이 9 종, 절지동물이 6 종이며, 그 밖에 자포동물, 유형동물 등이다. 채집된 총 개체수는 6,150 개체였으며, 평균 서식밀도는 1,230 indiv. m⁻²이었다. 가장 우점하는 종은 버들갯지렁이류인 *Heteromastus filiformis*로 평균 서식밀도는 256 indiv. m⁻²이며, 기타 우점하는 동물은 *Macraa veneriformis*(평균 서식밀도: 223 indiv. m⁻²), *Aedicira cf. pacifica*(150 indiv. m⁻²), *Macoma incongrua*(100 indiv. m⁻²), *Hinia festiva*(89 indiv. m⁻²) 등이다(Table 1).

니질이 우세한 영일만 조하대의 5 m²에서 출현한 저서동물은 총 60 종으로, 다모류가 40 종, 연체동물이 9 종, 자포동물, 유형동물, 절지동물이 각각 3 종씩이다. 계수한 총 개체수는 16,487 개체이고, 평균 서식밀도는 3,297 indiv. m⁻²이다. 가장 우점하는 종은 대나무갯지렁이과에 속하는 *Maldane cristata*로 평균 서식밀도는 2,314 indiv. m⁻²로 전체 출현개체수의 72%를 점유한

Table 1. Density, number of species, ecological indices and dominant species (>10 indiv.m⁻²) of benthic fauna collected from the total sampling area of 5 m² in Songdo tidal flat and Youngil Bay in April and May, 1991. Samplings were carried out using 0.02 m² box corer (Songdo, n=250) or 0.1 m² van Veen grab (Youngil, n=50). Numbers in parentheses indicate the density (indiv. m⁻²) of dominant species

	Songdo tidal flat	Youngil Bay
Total individual number	6150	16487
Density (indiv. m ⁻²)	1230	3297
Number of species	56	60
Ecological indices		
Diversity (H')	2.7	1.3
Richness (R)	6.3	5.8
Evenness (J)	0.7	0.3
Dominance (D)	0.4	0.8
Dominant species (density, indiv.m ⁻²)	<i>Heteromastus filiformis</i> (256) <i>Macraa veneriformis</i> (223) <i>Aedicira cf. pacifica</i> (150) <i>Macoma incongrua</i> (100) <i>Hinia festiva</i> (89) <i>Mediomastus</i> sp. (52) <i>Macrophthalmus dilatatus</i> (43) <i>Nephtys longosetosa</i> (21) <i>Protankyra bidentata</i> (33) <i>Anaitides</i> sp. (26) <i>Nephtys ploybranchia</i> (21) <i>Solen strictus</i> (19) <i>Ruditapes philippinarum</i> (14) <i>Glycera decipiens</i> (12)	<i>Maldane cristata</i> (2314) Amphipoda (331) <i>Amphicteis guneri</i> (115) <i>Praxillella affinis</i> (94) <i>Notomastus</i> sp. (75) <i>Nereis</i> sp. (51) <i>Magelona japonica</i> (25) <i>Glycera chirori</i> (25) <i>Pista cristata</i> (22) <i>Glycinde</i> sp. (20) <i>Lumbrineris longifolia</i> (17) <i>Euchone</i> sp. (12) <i>Polydora ciliata</i> (12) <i>Prionospio cirrifera</i> (11)

다. 기타 우점종으로 Amphipoda(331 indiv. m⁻²), *Amphicteis guneri*(115 indiv. m⁻²), *Praxillela affinis*(94 indiv. m⁻²), *Notomastus* sp.(75 indiv. m⁻²), *Nereis* sp.(51 indiv. m⁻²) 그리고 *Magelona japonica*(25 indiv. m⁻²) 등이 있다(Table 1).

채집면적의 증가에 따른 누적 출현종수의 변화를 Fig. 1에 제시하였다. 면적(A, m²)에 따른 누적출현종수(N_{sp}) 관계를 멱함수에 적합시킨 결과, N_{sp} = 37.379A^{0.257} (r² = 0.99, p < 0.001, 송도)의 식을 유도할 수 있었다. 0.02 m² 박스코아를 이용하여 1 회 채집하면 11 종, 2 회 반복 채집하면 15 종, 3 회 채집하면 16 종을 발견할 수 있다. 그리고 5 회 반복하면 21 종의 채집이 가능하며, 이는 5 m² 전체에서 출현한 56 종의 38%에 해당한다. 1 m²의 채집면적에서는 총 38 종이 출현하였다.

0.1 m² 반빈 채니기를 이용하여 누적 출현종수대 면적 관계를 적합시킨 결과, N_{sp} = 40.895A^{0.257} (r² = 0.98, p < 0.001, 영일만)의 식을 얻었다(Fig. 1). 1 회 채집하면 24 종을, 2 회 반복하면 29 종을 채집할 수 있다.

채집면적의 증가에 따른 누적 출현종수-면적의 관계식에서 채집면적이 아주 작을 때에는 채집면적이 약간만 커지더라도 출현종수는 급격히 많아지나, 채집면적이 넓을 때에는 새로운 종이 추가되는 비율은 극히 적다(Fig. 1). 면적에 따른 누적종수의 증가양상은 두 지역이 모두 비슷하며, 특히 두 회귀식에서의 지수값이 0.257로 일치하였다.

전체 출현종수의 75%의 종수를 가지는 적정 채집면적을 계산한 결과는 다음과 같다: 총 출현종수의 75%인 42 종(송도)과

45 종(영일만)을 채집하기 위해서 위의 누적 출현종수-면적의 함수식을 이용하여 채집면적을 계산해 보면 1.6 m²과 1.5 m²이다. 반복횟수로 환산하면 0.02 m² 박스코아 80 회(송도), 0.1 m² 반빈 채니기 15 회(영일만)이다.

송도갯벌에서의 표품크기에 따른 다양성지수(H'), 종풍부도지수(R), 종균등도지수(J), 우점도지수(D)의 변화를 Fig. 2a에 나타내었다. 다양성지수는 박스코아 0.02 m²의 단위 표품크기에서 1.63 ± 0.33(평균 ± 표준편차, n = 250)이었다. 표품크기를 크게 하면 그 값이 증가하다가 0.16 m²부터, 그리고 다시 2.0 m²부터 약 2.1과 2.7의 안정된 값을 보인다. 다양성지수가 증가하는 구간은 0.16 m² 보다 작거나 1.0~2.0 m² 사이의 구간이다. 다양성지수가 채집면적에 따라 두 번의 안정값을 가지면서도 전체적으로는 점근적인 증가를 보이는 것이 특징이다.

종풍부도지수는 표품크기를 증가시켰음에도 어느 정도 일정한 값에 도달하지 않고 2.3에서 6.3까지 계속 증가하였다. 작은 면적에서는 급격히 증가하다가 점차 둔화되는 경향을 나타내어 누적 출현종수가 면적에 따라 증가하는 경향과 비슷하였다.

출현한 종들간에 개체수가 어느 정도 비슷함을 나타내는 종균등도지수는 표품크기와 상관없이 0.7 내외로 일정한 값을 보였다. 개체수가 가장 많은 상위 두종의 개체수 점유 비율을 비교할 수 있는 우점도지수는 표품크기 1 m² 이내에서 0.6 정도로 높고 2 m² 이상이 되면 오히려 0.4 정도로 낮아진다. 모든 생태지수들은 2 m² 이상의 표품크기에서 안정한 값을 보이므로 총 채집면적 5 m²은 조사정점을 충분히 대표하는 모집단이라고 간주할 수 있다.

Fig. 2a로부터 송도갯벌에서의 적정 채집면적을 다음과 같이 추정할 수 있다. 다양성지수는 표품크기 0.02 m²와 5 m²에서 1.6에서 2.7로 증가하였기에 증가한 값인 1.1의 75%인 0.6을 1.6에 더하여 얻은 2.4의 지수값을 기준으로 하면, 그 때의 표품크기 1.5 m²을 적정 채집면적으로 추정할 수 있다. 종풍부도지수로는 1.25 m², 종균등도지수로는 0.5 m² 이내, 우점도지수로는 1.5 m²이 적정 채집면적으로 나타났다. 세 가지 생태지수 모두에 대해 75% 수준에서 정점을 대표하는 저서동물 표품을 얻기 위해서는 1.5 m²의 면적을 채집해야 한다. 이는 0.02 m² 박스코아 75 회 반복 채집횟수에 해당한다.

영일만 조하대에서의 표품크기에 따른 다양성, 종풍부도, 종균등도, 우점도의 변화를 Fig. 2b에 제시하였다. *Maldane cristata*와 Amphipoda가 전체 출현개체수의 82%를 점하고 있는 지역으로, 송도갯벌과 비교하면 다양성지수와 종균등도지수가 상대적으로 낮고 우점도지수가 높다. 상위 2 종이 극우점하므로 표품크기를 크게 하여도 다양성, 종균등도, 우점도지수의 변화폭은 작다. 다양성지수는 표품크기를 증가시키더라도 1.20~1.29의 낮은 수준으로 거의 일정하였으며, 종균등도지수 역시 표품크기를 증가시키더라도 0.4~0.5의 낮은 값으로 약간만 감소하였다. 우점도지수는 표품크기에 관계없이 0.8로 높은 수준에서 일정한 값을 보였다. 그러나 출현 개체수에 대한 출현종수의 비율을 나타내는 종풍부도지수는 면적이 증가하면 출현종수가 함께 증가하므로 계속 증가하였다. 즉, 0.1 m² 표품크기에서 2.9 ± 0.5(n = 50)의 종풍부도지수는 표품크기가 증가함에 따라 초기에는 급격히, 나중에는 완만하게 증가하였다.

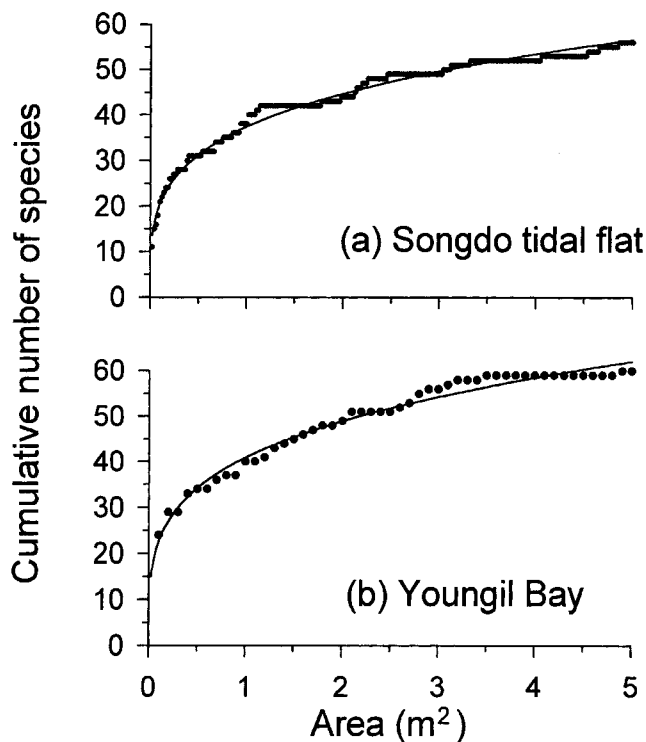


Fig. 1. Cumulative curves for the species number (N_{sp}) as a function of the area (A in m²) obtained from the (a) Songdo tidal flat and (b) Youngil Bay. Curves are fitted as N_{sp} = 37.379A^{0.257} (r² = 0.99, p < 0.001) for intertidal fauna and N_{sp} = 40.895A^{0.257} (r² = 0.98, p < 0.001) for subtidal fauna.

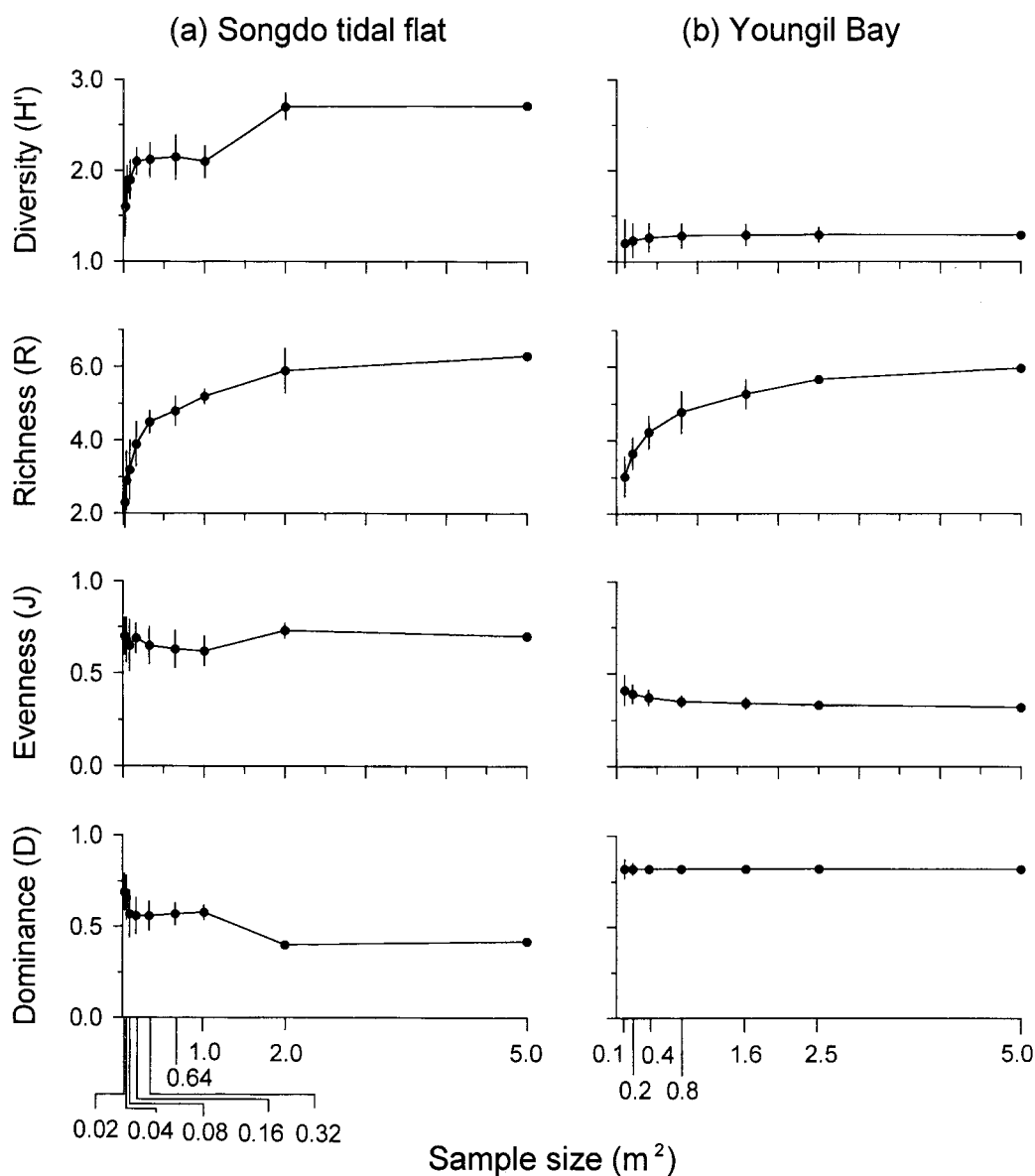


Fig. 2. Changes in the diversity (H'), richness (R), evenness (J) and dominance (D) indices with increment of the sample size (m^2) in the Songdo tidal flat (a) and Youngil Bay (b). The sample size on the x-axis is the area obtained by adding the unit area of $0.02 m^2$ (Songdo) or $0.1 m^2$ (Youngil) set up for sampling side by side (Songdo) or along the series of grabs taken (Youngil).

영일만에서의 채집면적은 변화폭이 큰 종풍부도지수에 의해 결정할 수 있다. 종풍부도지수 이외의 다른 생태지수들은 변화폭이 표품크기의 변화에 상관없이 거의 일정하나, 종풍부도지수는 2.9에서 5.8로 크게 변하기 때문이다. 따라서 종풍부도지수를 기준으로 변화폭의 75%에 해당하는 약 $1.2 m^2$ 를 채집면적으로 추정하였다. 이 면적은 $0.1 m^2$ 반빈 채니기로 12 회 반복 채집하는 것에 해당한다.

송도갯벌에서 채취한 $0.02 m^2$ 의 250 개 단위표품을 더 큰 표품크기로 조합한 후, 새롭게 조합한 각 표품크기에서의 종조성 자료를 토대로 집괴분석을 실시하였다. $0.02 m^2$ 단위표품의 경우, 250 개가 하나의 집괴군으로 묶여지는 유사성(similarity)은 6%이었다(Fig. 3a). 이는 $0.02 m^2$ 크기인 1 개의 단위표품이 전체 저서동물 군집의 종조성을 대표하는 수준이 6%임을 뜻한다.

$0.02 m^2$ 표품 2 개씩을 합하여 만든 $0.04 m^2$ 표품크기 125 개가 하나의 집괴군으로 묶여지는 유사성은 11%이었으며, 표품크기가 $0.08 m^2$ 이면 16%, 표품크기가 $0.16 m^2$ 이면 71%, 표품크기가 $0.32 m^2$ 이면 유사성은 77%이었다.

표품크기를 증가시킬 때의 표품간 종조성의 유사성은 표품크기가 $0.02 m^2 \sim 0.16 m^2$ 사이에서는 표품크기가 증가함에 따라 급격히 증가하고, $0.16 m^2$ 이후에는 거의 일정하였다(Fig. 3a). 이러한 표품크기-유사성 변화로부터 $0.16 m^2$ 정도, 즉 $0.02 m^2$ 박스코아로 8 회 반복 채집하는 것을 제안할 수도 있다. 본 연구에서 설정한 모집단과의 일치여부 기준인 75%이상을 반영하는 채집면적은 약 $0.3 m^2$ 이다. 이 면적은 $0.02 m^2$ 박스코아로 15 회 반복 채집하는 것에 해당한다.

영일만에서 반빈 채니기로 채취한 $0.1 m^2$ 단위표품 50 개가

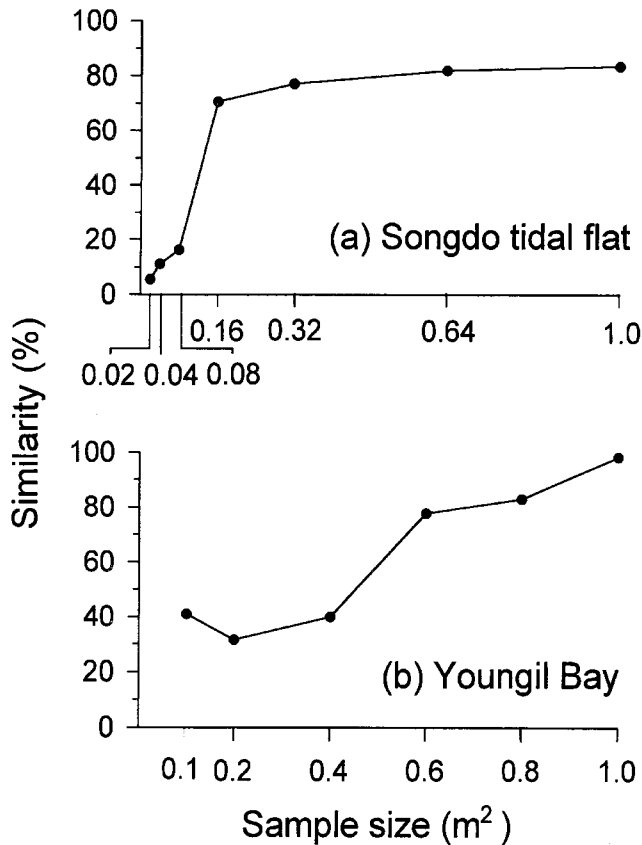


Fig. 3. Changes in the level of similarity (%) obtained from cluster analysis. The y-axis represents the similarity of faunal composition between units of increased sample sizes, but all the units are included in a cluster.

Table 2. Optimum sampling area (m²) of tidal flat and subtidal sediments proposed to be processed for obtaining the similarity level of 75% of sediment fauna to the total of 5 m² in the Songdo tidal flat and Youngil Bay. The optimal sampling area is defined as the area where cumulative number of species, ecological indices, and similarity index by cluster analysis can reflect the similarity level of 75% to those found at total sampling area of 5 m². Numbers in parentheses indicate the number of sample replicates (n) with 0.02 m² box corer (Songdo tidal flat) or with 0.1 m² van Veen grab (Youngil Bay)

	Optimal sampling area (m²)	
	Songdo tidal flat (0.02 m² box corer)	Youngil Bay (0.1 m² van Veen grab)
No. of species	1.6 (n=80)	1.5 (n=15)
Ecological indices		
Diversity (H')	1.5 (n=75)	<0.5 (n<5)
Richness (R)	1.3 (n=65)	1.2 (n=12)
Evenness (J)	<0.5 (n<25)	<0.5 (n<5)
Dominance (D)	1.5 (n=75)	<0.5 (n<5)
Cluster analysis	0.3 (n=15)	1.2 (n=12)
Proposed sampling area in this study	1.5 (n=75)	1.2 (n=12)

마지막으로 묶이는 유사성은 41%로 나타났다(Fig. 3b). 단위표품을 2 개씩 합친 표품크기 0.2 m²의 25 개 표품을 집괴분석하

면 유사성은 31%, 6 개씩(표품크기: 0.6 m²)에서는 77%, 그리고 8 개씩(0.8 m²)에서는 83%이다. 따라서 기준치 75%를 반영하는 채집면적은 0.6 m²로 추정할 수 있다.

표품크기에 따른 출현종수와 생태지수, 유사도지수를 계산하여 전체 모집단 5 m²에 대해 75% 유사성을 가지는 채집면적을 Table 2에 요약하였다. 출현종수, 생태지수, 유사도지수 등 어떤 기준을 사용하느냐에 따라 채집면적은 차이를 보인다. 갯벌이라면 유사도지수를 기준으로 추정한 채집면적은 0.3 m²이고, 출현종수를 기준으로 추정한 채집면적은 1.6 m²이다. 영일만 조하대에서는 생태지수 중 다양성, 균등도, 우점도를 기준으로 하면 0.5 m² 미만에서, 집괴분석에 의한 유사도지수를 기준으로 하면 0.6 m²에서 모집단과 75% 유사성을 보였으나, 종수와 종우점도지수를 기준으로 하면 1.2 m² 내외에서 75% 유사성을 보였다. 이를 종합하면, 송도갯벌에서는 1.5 m², 영일만 조하대에서는 1.2 m²를 채집면적으로 제안할 수 있다. 실제 현장조사에서는 산출 기준을 75% 보다 낮추어 응용할 수도 있을 것이다.

토 의

본 조사에서 추정한 적정 채집면적은 기존의 출현종수 또는 몇몇 생물종의 서식밀도에 기초하여 제안된 채집면적과 차이가 있다. 면적에 따른 누적 출현종수 곡선으로 부터 채집면적을 제안한 초기의 연구들에서는 입구면적 0.1 m²인 채니기로 정점당 3~5 회 반복 채집을 제안하고 있다. 물론 이 크기에서 대부분의 우점종을 포함할 수 있다고 보았다(Holme, 1964; Lie, 1968; McIntyre *et al.*, 1984의 종설). 본 조사에서는 출현종수만을 고려할 때에는 송도와 영일만 모두에서 약 1.5 m² 내외의 채집면적이 전체 종수의 75%를 반영하는 것으로 나타났다(Fig. 1, Table 2). 그러나 3~5 회의 반복횟수(채집면적: 0.3~0.5 m²)를 적용하면, 송도갯벌과 영일만에서의 출현종수는 각각 28~32 종과 29~34 종이고, 이는 전체 종수의 50% 정도를 반영한다. Weinberg(1978)는 채집면적을 두배로 늘리더라도 누적 출현종수가 10% 보다 적게 증가하는 시점을 적정 채집면적이라고 정의하였는 바, 이에 따라 송도갯벌과 영일만 조하대에서의 적정 채집면적을 계산하면 각각 1.3 m²(0.02 m² 박스코아, 65 회), 0.8 m²(0.1 m² 반빈 채니기, 8 회)이다.

출현종수 뿐만 아니라 몇몇 우점종의 서식밀도까지를 고려하여 제안된 적정 채집면적과도 차이를 보인다. 즉, Longhurst (1959)는 0.1 m² 채니기로 정점당 5 회의 반복수를 제안하면서 이 면적을 주요 우점종의 서식밀도에 대한 "적당한 정보를 제공할 수 있는 최소요구량"이라고 정의하였다. 이것은 최대 10 회 (1 m²)까지 반복수를 늘려 갔을 때 몇몇 우점종의 누적 서식밀도가 5 회 반복수에서 안정된 값을 보인다는 사실에 기초한 것이다. Salia *et al.*(1976)는 서식밀도뿐만 아니라 표품을 처리하는 데 드는 비용까지를 고려하여 정점당 반복 채집횟수를 결정해야 함을 강조하였다. 이에 저서동물의 종류에 따라 1~3 회(입구면적: 0.1 m² 채니기)의 반복수가 효율적임을 주장하였다. Cuff and Coleman(1979)은 정점간 변화까지를 고려해야 함을 강조하였고, 정점당 반복수를 늘리는 것 보다 정점수를 늘리는 것이 우점종의 서식밀도를 추정할 수 있는 보다 적절한 방법이라 하였

다. 그의 연구에서는 채집된 표본의 실험실 처리 비용까지를 고려했을 때 정점당 1 회(입구면적: 0.1 m² 채니기), 처리 비용을 고려하지 않았을 때 2~5 회로 제안하였다.

Yi et al.(1988)은 집괴분석 결과인 유사도 지수에 근거하여 니질과 세사질에서 0.1 m² 채니기로 각각 5~6 회, 7~8 회가 적당함을 기술하고 있다(경기만 조하대). 이 결과는 본 연구에서의 유사도지수에 근거한 송도의 0.3 m²(0.1 m² 반빈 채니기로 환산할 경우 3 회), 영일만의 1.2 m²(12 회)와 차이를 보인다. 조사지역이 서로 달라 채집된 생물의 종조성이 같지 않기 때문이라 할 수 있다. 채집면적 도출과정 또한 서로 차이가 있다. 본 조사에서는 총 250 개 또는 50 개 단위표본을 중복하지 않고 여러 표본크기로 묶어 사용하였으나, Yi et al.(1988)은 0.1 m² 단위표본 20 개를 무작위로 중복사용하여 표본크기가 0.2 m², 0.3 m², ... 0.8 m²인 표본들을 각각 20 개씩 만들어 집괴분석에 이용하였다. 모집단의 표본수가 적어 같은 표본을 중복 사용할 수밖에 없었으며, 이로 인해 그들이 제안한 적정 채집횟수는 과소평가될 가능성이 있다(Bros and Cowell, 1987).

본 연구에서 제안하는 채집면적은 채집한 모든 생물의 종류와 생물량 자료를 사용하여 추정하였다. 종류별 서식밀도를 알아내기 위해 필요한 채집면적은 Koh and Kang(1998)이 Downing(1979)의 횡수 결정법에 따라 계산하여 제시하였다. Downing(1979)은 생물군별로 평균-분산간의 관계(Taylor's power 함수, $s^2 = am^b$)가 일정하다는 전제하에 정밀도 $P=0.2$ 를 임의로 주어 채집면적을 결정하였다. 그의 방법은 많은 연구자들이 담수와 해산 저서동물, 해조류 등 다양한 생물군에 적용하고 있다. 그러나 Downing(1979)의 방법은 단일종을 대상으로 서식밀도와 분산을 기초로 계산하므로 서식밀도를 알기 위한 채집면적 결정에는 이용할 수 있으나, 여러 종을 대상으로 하는 군집조사에서는 이용하지 못한다는 한계를 가진다.

본 연구에서 제안한 채집면적을 출현종의 서식밀도를 정량적으로 추정하기 위해 Koh and Kang(1998)이 제안한 채집면적과 비교하면 다음과 같다. 송도갯벌에서의 채집면적 1.5 m²은 전체 출현 개체수의 68%를 차지하는 상위 7종에 대해서 그 서식밀도를 추정할 수 있게 한다. Koh and Kang(1998)에 의하면, 송도갯벌에서 가장 우점하는 *Heteromastus filiformis*의 서식밀도를 정밀도 0.2 수준에서 추정하기 위해 필요한 채집면적은 0.97 m²이었는데, 이 면적은 본 논문에서 제안하는 채집면적(1.5 m²)보다 적다. 다른 우점종인 *Macra veneriformis*는 1.08 m², *Aedicira cf. pacifica*는 1.49 m², *Macoma incongrua*는 0.79 m², *Mediomastus* sp.는 1.48 m², *Protankyra bidentata*는 0.84 m², 그리고 *Anaitides* sp.는 1.17 m²를 채집하면 정밀도 0.2 수준에서 서식밀도를 정확히 추정할 수 있다고 하였다. 따라서 본문에서 제안한 채집면적 1.5 m²를 선택하면 대부분의 개체수를 차지하는 이들 우점종의 서식밀도 역시 정밀도 $P=0.2$ 수준에서 추정할 수 있다.

영일만 조하대에서는 채집면적 1.2 m²로 전체 개체수의 90%를 차지하는 상위 6 종의 서식밀도를 정밀도 0.2 수준에서 추정할 수 있다. 정밀도 0.2 수준에서 서식밀도를 추정할 수 있는 채집면적은 전체 개체수의 70.2%를 차지하는 극우점종인 *Maldane cristata*의 경우 0.1 m² 반빈 채니기를 이용하여 0.2 m²(2 회), 다음으로 우점하는 Amphipoda는 0.8 m²(8 회), *Amphicteis guneri*는

1.1 m²(11 회), *Praxillella affinis*는 1.1 m²(11 회), *Notomastus* sp.는 0.6 m²(6 회), 그리고 *Nereis* sp.는 0.8 m²(8 회)이다(Koh and Kang, 1998). 이는 본 연구에서 추천한 채집면적 1.2 m²보다 작다.

송도갯벌에서의 채집면적 1.5 m²은 영일만의 1.2 m²보다 크다(Table 2). 특히 생태지수로 결정한 채집면적은 두 지역간의 차이가 더욱 뚜렷하다. 송도에서 더 넓은 채집면적이 필요한 이유로는 송도갯벌의 생물상이 다양하다는 사실을 들 수 있다(Table 1). 출현종이 많을수록, 즉 다양한 종이 출현할수록 여기에서 한 종을 선택할 때 어느 종이 선택될지에 대한 불확실성이 증가하기에 예측 가능한 표본 채집이 되기 위해서는 많은 반복횟수가 요구된다. 정보이론(information theory)에 기초한 Magurran(1988)의 논의와도 일치한다고 하겠다.

Table 2에서 제안하는 채집면적은 지금까지 우리나라 여러 연구에서 사용한 채집면적과 차이가 있다. 대부분의 조사에서 0.1 m² 반빈 채니기로 정점당 2~3 회(채집면적: 0.2~0.3 m²) 채집하였는 바(본 연구와 조사지역이 같은 경우로는 Shin et al.(1989), Shin et al.(1992)의 연구가 있다), 이는 비용과 시간을 고려한 현실적인 선택이라 하겠다. 그러나 정점당 2~3 회의 반복횟수에 대한 정량적인 평가가 이루어지지 않는다면 제시되는 결과로는 원하는 수준의 정보를 얻기 힘들다. 예를 들면, 0.1 m² 반빈 채니기로 2 회 채집한 Shin et al.(1989)은 송도갯벌에서 정점당 10-15 종의 저서동물이 출현한다고 하였으나, 본 조사에서는 5 m²를 조사할 경우 한 정점에서 총 56 종은 채집할 수 있었으므로 조사기간이 달랐다는 점을 감안하더라도 그 차이가 크다. 또한 본 연구와 같은 기간에 같은 정점에서 영일만 조하대 저서동물 군집을 조사한 Shin et al.(1992)의 연구(정점 2)에서 0.1 m² 반빈 채니기로 2 회 반복 채집한 저서 다모류 중수는 26 종인 바, 이는 본 조사의 5 m²에서 채집한 다모류 40 종의 65%에 불과하다.

본 연구를 통해 1.5 m²과 1.2 m²이라는 채집면적을 제안해 보았다. 그러나 퇴적물 시료의 채취, 생물 선별, 동정, 자료처리를 위해서는 많은 비용과 시간이 필요하므로 정점별 반복 채집횟수를 지금까지의 통상적인 조사때 보다 크게 늘리는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 지역에 따라 종조성의 차이가 있기에 본 결과를 다른 지역에서 바로 적용하기도 어렵다. 조사지역에 따라 적정 채집횟수를 결정하는 조사를 먼저 하는 것이 바람직하다. 선행조사에서는 반복 채집횟수가 실제 조사에서 적용할 반복횟수 보다 많아야 하는 데, 어느 조사지역에서 단 한번 저서동물을 조사하기 위해 표본횟수를 먼저 결정하고 실제 조사를 수행하기는 어렵다. 어쨌든 우리는 이 연구를 통해 지금까지 우리나라에서 수행한 저서군집 연구들에서 반복횟수가 너무 적음을 알 수 있었다. 따라서 같은 지역 또는 정점에서 장기간 연구할 경우만이라도 반복 채집횟수를 결정할 필요가 있음을 강조하고자 한다. 또는 여러 지역을 조사한다 하더라도 관행으로 수행하던 2-3 회 반복횟수 보다는 반복 채집횟수를 늘리는 것이 바람직하다.

참고문헌

- Aschan, M., 1988. Soft bottom macrobenthos in a Baltic archipelago: spatial variation and optimal sampling strategy.

- Ann. Zoo. Fennici*, **25**: 153-164.
- Bachelet, G., 1990. The choice of a sieving mesh size in a quantitative assessment of marine benthos: A necessary compromise between aims and constraints. *Mar. Environ. Res.*, **30**: 21-35.
- Blomqvist, S., 1991. Quantitative sampling of soft-bottom sediments: problems and solutions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **72**: 295-304.
- Bros, W.E. and B.C. Cowell, 1987. A technique for optimizing sample size (replication). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **114**: 63-71.
- Cuff, W. and N. Coleman, 1979. Optimal survey design: lessons from a stratified random sample of macrobenthos. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **36**: 351-361.
- Downing, J.A., 1979. Aggregation, transformation, and the design of benthos sampling programs. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **36**: 1454-1463.
- Elliot, J.M., 1977. Some Methods for the Statistical Analysis of Samples of Benthic Invertebrates (2nd edn.). Freshwater Biological Association, Scientific Publications, **25**: 156 pp.
- Heck, K.L., G. Van Belle and D. Simberloff, 1975. Explicit calculation of the rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient sample size. *Ecology*, **56**: 1459-1461.
- Höisaeter, T. and A.S. Matthiesen, 1979. Report on the Some Statistical Aspects of Marine Biological Sampling Design Based on a UNESCO-Sponsored Training Course in Sampling Design for Marine Biologists. University of San Carlos Publication, Manila, 118 pp.
- Holme, N.A., 1964. Methods of sampling the benthos. *Adv. Mar. Biol.*, **2**: 171-260.
- 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.
- Lie, U., 1968. A quantitative study of benthic infauna in Puget Sound, Washington, USA, in 1963-1964. *Fisk. Dir. Skr. Ser. Havunders.*, **14**: 229-556.
- Loehle, C., 1990. Proper statistical treatment of species-area data. *Oikos*, **57**: 143-145.
- Longhurst, A.R., 1959. The sampling problems in benthic ecology. *Proc. N.Z. Ecol. Soc.*, **6**: 8-12.
- Magurran, A.E., 1988. Ecological Diversity and Its Measurement. Groom Helm Publication, London, 179 pp.
- McIntyre, A.D., J.M. Elliot and D.V. Ellis, 1984. Design of sampling programmes. In: Methods for the Survey of Marine Benthos (2nd edn.), edited by Holme, N.A. and A.D. McIntyre, IBP HandBook 16, Blackwell Scientific Publication, London, pp. 1-26.
- Salia, S.B., R.A. Pikanowski and D.S. Vaughan, 1976. Optimum allocation strategies for sampling benthos in the New York Bight. *Est. Coast. Mar. Sci.*, **4**: 119-128.
- Shaukat, S.S., 1986. An objective method for the determination of an effective and efficient plot size in vegetational sampling. In: Mathematical Theory, edited by Hallam, T.J., L. J. Gross and S.A. Levin, World Scientific Publication, Rome, pp. 165-185.
- Shin, H.C., J.W. Choi and C.H. Koh, 1989. Faunal assemblages of benthic macrofauna in the inter- and subtidal region of the inner Kyeonggi Bay, West Coast of Korea. *J. Korean Oceanol. Soc.*, **24**: 184-193.
- Shin, H.C., S.S. Choi and C.H. Koh, 1992. Seasonal and spatial variation of polychaetous community in Youngil Bay, southeastern Korea. *J. Korean Oceanol. Soc.*, **27**: 46-54.
- Soetater, K. and C. Heip, 1990. Sample-size dependence of diversity indices and the determination of sufficient sample size in a high diversity deep-sea environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **59**: 305-307.
- Weinberg, S., 1978. The minimal area problem in invertebrate communities of Mediterranean rocky substrata. *Mar. Biol.*, **49**: 33-40.
- 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.* (KORDI, Korea), **10**: 107-113.

1998년 7월 8일 원고 접수

1998년 10월 19일 수정본 채택