

<Review Paper>

한국연안에서의 해양생물 생태 조사방법 표준화

이 재 학

한국해양연구원 해양생물자원연구본부

Suggest on Standardization of Ecological Survey Methods in the Korean Watershed

Jae-Hac Lee

Marine Living Resources Research Division, Korea Ocean Research and
Development Institute, Seoul 426-744, Korea

Abstract - Ecological methods were reviewed through reports such as environmental impact assessment and damage effect of fishery in the Korean watershed. Survey items in marine ecological field were included: phytoplankton, zooplankton, benthic animal, algae, adult fish, egg and juvenile of fish. A standardization of survey method in the field of community ecology was suggested to consider the convenience, frequency in use of device, accuracy of data collected from that. It is necessary that spatial data should be sufficiently acquired for statistical analysis of biodiversity and spatial comparison. Quantitative sampling method must be inevitably adopted based nature of biota and geographical type of the survey area. The same sampling method can make the data compared spatially but can't be applicable in all area. Standardizing survey method should be by no means under certain restriction of study and would become different according to survey environments. The first thing is minutely understanding about ecological character of biota inhabiting in certain area, and then determining survey method.

Key words : community ecology, sampling method, standardization, field survey

서 론

해양환경은 육지에서 유입되는 물질들을 끊임없이 받아들이지만 해양 자체는 전혀 변화가 없는 것처럼 보인다. 해양환경의 중요한 특징의 하나가 바로 이 변함없는 안정성이다. 해안지역은 사람이 살기에 적합한 기후와 다른 지역으로 이동하기에 편리함 때문에 대규모 인구가

거주해 왔다. 산업화 이후 해안지역에서는 인구가 지속적으로 더욱 증가하고 개발이 가속화되고 있다.

우리나라도 예외가 아니어서 대도시와 공업단지가 해안에 건설되었으며 이로 인해 해양오염사고와 매립 간척 등으로 생태계가 파괴되고 있다. 특히 항만공사와 같이 대규모 매립 간척사업에 따라 발생하는 부유토사 등은 강, 하천을 통하여 또는 직접 해양에 유입되고, 선박 정박과 이동에 따라 기름유출 등이 일어나며 기타 다량의 오염물질이 만의 구조를 편 항만에 유입되거나 저착되기 쉽다.

해양은 자정 능력 한계 내에서만 안정성의 유지가 가

* Corresponding author: Jae-Hac Lee, Tel. 031-400-6211,
Fax. 031-408-5934, E-mail. jahlee@kordi.re.kr

능하여, 그 한계에서 벗어나면 해양생태계가 파괴되어가며 결국 인간도 피해를 입게 된다. 이와 같이 증대되고 있는 해양에서의 개발 사업과 더불어 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 우리나라는 1977년 환경보전법에 의거 처음 환경영향평가(EIA)가 도입되었다. 해양에 관한 환경영향평가도 환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법(구: 환경영향평가법)과 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정에 의거 수행하도록 되어있다(환경부 1997).

그러나 연안에서 실시하고 있는 모든 공사는 해양으로의 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 해양환경영향평가를 실시하게 되며 주변에 어장 또는 어업권이 있을 경우 어업피해영향조사를 실시하게 된다. 해양에 있어서 환경영향은 급속히 일어나기보다는 만성적이고 지속적이어서 그 평가 또한 면밀한 조사가 수행된 평가이어야 한다. 해양환경영향평가의 조사항목은 해양 환경과 해양동·식물상 모두가 되며, 조사의 목적은 생물 다양성측면의 환경평가가 우선이며 동시에 정량적 채집에 근거하여 생태지수별 분석이 용이하고 지역간 자료의 비교가 가능한 표준화된 방법이어야 할 것이다. 표준화된

조사방법을 위해선 사용기기의 편리성, 사용빈도 그리고 추출되는 자료의 정밀성을 고려하여야 할 것이다. 본 논문에서는 그동안 한국연안에서 수행해왔던 환경영향평가와 어업피해영향조사의 연구보고서를 참고하여 검토하였으며 해양생물의 생태분야 조사방법을 표준화하는데 필요한 의견을 제시하고자 한다. 해양생물 조사방법 표준화에 대해선 과거 한국해양연구소에서 '해양과학 조사방법 표준화 방안 연구(해양수산부 1998)'와 해양수산부의 '어업권 피해조사 표준기준 제정을 위한 연구(해양수산부 2002)'를 수행한 바 있어 이를 참조하였으며, 또한 일반적으로 조사해역이 수심이 깊지 않은 연안해역에 국한되어 연안에서 가장 보편적으로 사용된 방법은 물론 사용하는 장비의 편리성과 자료의 정밀성 등을 고려하여 분석하였다.

조사 항목

우리나라에서는 해역의 수질을 해역 이용 목적에 따라 효율적으로 관리하기 위하여 해역별 수질 기준을 I, II,

Table 1. Sea water quality standards in the Korean coastal area

등급	수소이온농도 [pH]	화학적 산소요구량 [COD] (mg L ⁻¹)	용존산소량 [DO] (mg L ⁻¹)	대장균군수 (MPN/100 ml)	용매추출유분 (mg L ⁻¹)	총질소 (mg L ⁻¹)	총 인 (ml L ⁻¹)
I	7.8~8.3	1 이하	7.5 이상	1000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
II	6.5~8.5	2 이하	5 이상	1000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
III	6.5~8.5	3 이상	2 이상	-	-	1.0 이하	0.09 이하

Table 2. Investigation lists and periods for the Sea water quality survey

구분	조사항목	조사시기
해수	일반항목(11) 수온, 염분, pH, DO, COD, T-N(NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N), T-P(PO ₄ -P), 유분, SS, 투명도, 대장균군수	2, 5, 8, 11월
	미량금속(8) Cu(구리), Pb(납), Zn(아연), Cd(카드뮴), Cr ⁶⁺ (6가크롬), 총수은, As(비소), CN(시안)	2, 8월
	지속성 유기오염물질(2) PCBs(폴리클로로다이티드비페닐), TBT(유기금속화합물)	2월
해양생물	일반항목(1) 클로로필-a	2, 5, 8, 11월
	미량금속(7) Cu(구리), Pb(납), Zn(아연), Cd(카드뮴), Cr ⁶⁺ (6가크롬), 총수은, As(비소)	2~5월
	지속성 유기오염물질(4) PCBs(폴리클로로다이티드비페닐), TE(유기금속화합물), 유기염소제, PAHs(다환방향족탄화수소)	2~5월
해저퇴적물	일반항목(4) 입도, 강열감량, 황화물, COD(화학적산소요구량)	2월
	미량금속(7) Cu(구리), Pb(납), Zn(아연), Cd(카드뮴), Cr ⁶⁺ (6가크롬), 총수은, As(비소)	2월
	지속성 유기오염물질(4) PCBs(폴리클로로다이티드비페닐), TBT(유기금속화합물), 유기염소제, PAHs(다환방향족탄화수소)	2월

- ※ 1) 해양생물은 종합 및 굴을 지표생물로 이용하여 조사
 2) 대장균군수는 별도로 정하는 해역과 시기에 따라 실시
 3) 자료 : 국가해양환경측정망 운영지침(해양수산부 1999)

III등급으로 구분 관리하고 있다(Table 1). I등급 해역 수질은 참돔, 방어 및 미역 등 수산생물의 서식, 양식 및 해수욕에 적합한 수질을 말하며, II등급 해역은 해양에서의 관광 및 여가선용과 송어 및 김 등 등급 I의 해역에서 서식, 양식에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식, 양식에 적합한 수질이고, III등급 해역은 공업용 냉각수 및 선박의 정박 등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다. 또한, 연근해의 해양환경상황 및 오염원의 조사 등을 위하여 국가해양환경측정망 운영을 하고 있으며, 이 운영 지침에선 연안해수, 해양생물 및 해저퇴적물 조사항목을 정기적으로 광역조사를 실시하고 있다(Table 2).

따라서 연안에 위치한 항만의 경우엔 III등급 해역 수질등급기준에 따라 수질관리를 해야할 것이며 해양생물적 요소 중 클로로필-a와 대장균군수를 측정하도록 언급되어 있다.

해양환경평가의 조사항목의 설정에는 해양환경영향평가의 특성을 고려해야 한다. 즉 해양생태계와 인간에게 영향을 미친다고 생각되는 환경인자는 전부 대상으로 해야 할 것이다. 현재 우리나라에서는 환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법(환경부 1999)과 환경영향 평가서 작성 등에 관한 규정(환경부 1997)에 따라 환경영향평가를 실시하고 있다. 조사범위에 관하여선 단지 환경영향평가서 작성규정 제14조에 의해 “사업실시가 환경에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역으로 한다”라고 명시되어 있다. 그러나, 대상사업의 종류, 규모 및 해역을 고려하여 사전에 조사범위를 계획하고 이를 수행하여야 한다. 조사 대상은 자연환경에 서식하는 해양 동·식물상과 해양환경으로 되어 있다(Table 3). 해양 동·식물상은 플랑크톤, 어란·치자어, 저서생물, 부착생물, 해산어 및 조간대 생물에 대하여, 해양환경항목에선 수질환경, 수문현황, 수자원 이용 상황, 기존 오염원과 적조발생여부 그리고 표사·퇴사 등에 대해 조사토록 명시하고 있다. 해양 동·식물상으로 명시된 해양생태조사항목에 관하여선 실제로 여러 용어로 불리어지고 있었다. 따라서 학문분야로선 해양생태학의 근집생태에 속하므로 근집생태학용어로 통일 하였으며 그 외 전문분야별 또는 혼용되기 쉬운 경우는 보편적으로 사용하는 용어로 구분하였다. 즉, 전문분야로 나누어 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 어류(성어), 어란·치자어, 저서동물 및 해조류의 용어를 채택하였다.

해양조사시의 조사 빈도에 관하여선 환경영향평가서 작성 시에 적어도 1회 이상으로 언급하고 있으나 해양환경 측정망 조사를 위한 해역의 수질조사를 연안에서 연 4회로 설정하여 매년 2, 5, 8, 11월에 정기조사를 하고 있다(Table 4). 따라서 수중생태계에 속하는 식물플랑크톤, 동물플랑크톤 및 어란·치자어의 경우도 같은 시기를 택

Table 3. Survey subjects related with Marine environmental impact assessment (the Ministry of Environment 1971)

분야	조사항목	조사내용
해양 동 식물 상	해 양 동 식 물 상	<ul style="list-style-type: none"> • 플랑크톤 <ul style="list-style-type: none"> - 동물플랑크톤, 식물플랑크톤의 종조성, 현존량 - 플랑크톤 분포상황과 유사도 지수 • 어란 및 치자어 <ul style="list-style-type: none"> - 산란어의 분포 - 산란장, 산란기, 산란량 - 분포특성 및 초기성장 과정 - 서식장소 • 저서생물 <ul style="list-style-type: none"> - 저서어류의 먹이, 저서생물의 분포 • 부착생물 <ul style="list-style-type: none"> - 조간대의 부착생물 및 포복성 생물의 종류 수, 개체수, 크기, 습중량, 우점종을 조사 • 해산어 <ul style="list-style-type: none"> - 해산어의 종조성, 개체수, 개략의 분포상황 - 대상해역의 서식환경과 대상어류의 생물 특성에 대한 정상상태를 파악
		<ul style="list-style-type: none"> • 조간대생물 <ul style="list-style-type: none"> - 조간대생물의 생물상(종, 분포, 현존량 등)을 조사 - 조간대생물의 생태환경 관계를 조사
자연 환경	해 양 환 경	<ul style="list-style-type: none"> • 해역수질환경기준항목의 현황농도 • 수문현황조사 <ul style="list-style-type: none"> - 해류, 조석, 조류, 파고 및 파향특성(해류도, 조류도) - 조위(저조위, 평균조위, 고조위) - 담수유입량 - 해수의 순환·성층의 시기 - 확산계수 - 해안지형·해저지형 및 수심(지형도, 수심도) - 연안해역 이용상황(양식장 등) • 수자원 이용상황 <ul style="list-style-type: none"> - 어업권, 항만구역, 항로, 연안해역 등의 이용 상황 및 장래 이용계획 - 수산자원보전지구 지정상황 • 기존 오염원과 적조발생여부, 표사·퇴사조사

Table 4. Survey boundaries and periods for Marine environmental impact assessment in the Korean coastal area (the Ministry of Environment 1971)

항 목	내 용
조사지점	• 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 km로 격자 배수 등 원인지점에서는 방사선상
조사범위	• 식물플랑크톤 5 m 이내 : 표층수 5 ~ 10 m : 표층, 저층 10 m 이상 : 상층, 중층, 하층
조사기간	• 연 1회-종조성이 풍부한 시기 수초-연 1회 이상(5~10월 중에 중점)

하여 조사되어야 할 것이며, 저서생태계에 있어서도 우리나라의 자연환경조건에 따라 상기와 같은 계절별 특징을 기술해야 한다.

해양생물 조사항목들은 조사 후 그 조사 자료가 상호 비교될 수 있어야 한다. 그러나 조사자에 따라 사용 장비 또는 분석방법이 달라 수집된 자료질의 수준에 차이가 발생하고 호환성이 결여되어 자료이용에도 제약을 받을 경우가 있다. 따라서 조사방법의 표준화는 각 조사항목별로 같은 시기에 현장조사를 하게 되면 서로 상호 연관성을 비교하고 참조할 수 있다. 대체로 우리나라에선 4계절을 중심으로 조사를 하게 된다. 조사범위와 조사정점은 조사비용과 관련이 깊으며 반면 아무리 넓은 범위와 많은 조사가 수반되어도 변화되어져 가는 거대한 해양에선 완전한 조사일 수 없다. 따라서 환경평가나 생태적 변화를 지수에 의해 검정되려면 적어도 10개 정점 이상이어야 하며 각 정점은 그 주변해역을 시간적으로나 통계적으로 대표되어야 한다. 조사정점은 또한 조사항목별로도 동일지점을 선택하면 같은 환경자료를 참조할 수 있는 잇점이 많다.

해양생물 군집생태 조사방법

1. 식물플랑크톤

1) 조사방법

식물플랑크톤의 채집은 정성채집과 정량채집으로 구분된다. 정성채집은 조사지역내 식물플랑크톤군집의 구성종을 알아보는 것이며, 정량채집은 군집을 구성하는 각종의 종류 및 생물량을 파악하기 위함이다. 정성채집에는 망목이 20~60 μm 인 기타하라 네트(Kitahara Net)가 사용되고 있으며, 네트를 수직 예인하는 방법을 통해 표본을 채집한다. 정량채집은 보통 500 ml ~ 1 l의 해수에 포함되어 있는 개체를 대상으로 하며, 채수하는 방법에 따라 난센(Nansen), 니스킨(Niskin)이나 반돈(van Dorn) 채수기를 이용하여 원하는 수심에서 일정량을 취하는 방법과 직접 펌프를 이용하는 방법 등이 있다(Fig. 1). 시료는 루골용액(Lugol solution)이나 포르말린으로 고정하며, 고정된 시료는 침전·농축하여 광학현미경으로 검경·계수한다. 계수는 채집한 모든 개체를 세기가 어려우므로 일부만을 취해 계수하고 이를 총 채집면적 내지 체적으로 환산해 준다. 광학현미경으로 계수할 수 있는 분류군은 규조류나 와편모조류 등 대부분 소형플랑크톤에 제한되며 식물성 편모조류나 초미세 플랑크톤은 광학현미경으로 동정과 계수에 어려움 점이 있다. 따라서 식물성 편모류나 초미세 플랑크톤은 형광현미경아래에서 검

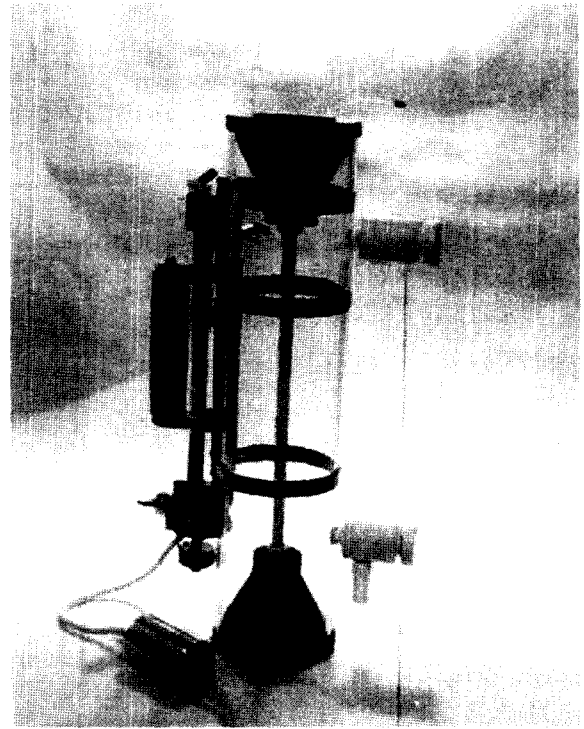


Fig. 1. van Dorn sampler.

경·계수하여야 한다. 시료처리 및 분석방법은 해수시료 10 ml 정도를 중성포르말린이나 글루타알데히드로 고정한 후 냉동 보관한다. 냉동 보관된 시료는 실험실에서 녹인 후 pore size 0.2 μm , 직경 25 mm인 black polycarbonate membrane filter로서 여과하며 그 중 일정량의 여과된 시료를 형광현미경을 이용하여 계수한다(Sournia 1978; 심 2003).

또한 정량적 분석의 한가지로 chlorophyll *a*를 식물플랑크톤의 생물량을 나타내는 하나의 biomark로서 이용하여 식물플랑크톤의 생물량을 정량적으로 측정하기도 한다. Chlorophyll *a*를 분석하기 위한 시료 채집기는 어떠한 것이든 무관하나 세척된 플라스틱 용기가 적합하다.

채수된 시료는 냉동 보관하여야 하며, 시료처리는 가능한 빠른 기간내에 실시한다. 채집된 시료를 여과할 때는 pore size가 0.75 μm 인 GF/F 여과지를 사용한다. 시료를 여과시킨 여과지를 90% acetone에 넣고, 냉암소에서 24시간 동안 보관하여 chlorophyll *a*를 용출한다. chlorophyll *a*와 기타물질을 분리하기 위해서는 시료를 원심분리하거나 또는 Syringe filter를 이용한다. 시료를 원심 분리할 때에는 3,000~4,000 rpm에서 5~10분간 원심분리할 것을 제안하나, 시료의 특성에 따라 적절한 방법을 선택하여도 무방하다. 분석은 Spectrophotometer나 Turner model fluorometer 등의 기기를 이용하며, 최근에는 HPLC에 의

한 분석방법이 사용되고 있다.

종조성을 알기 위해 채집된 생물을 종단위로 동정하고, 분류군별 출현종수로 정리하여 현존량과 분포상황 등을 나타낸다. 서식밀도는 정점 및 종류별로 ml당 세포수로 나타낸다. 조사수심에 따라 조사수심의 깊이가 5 m 이내 일 경우는 표층수만, 5~10 m는 표층수와 저층수를, 10 m 이상일 때는 상층 중층 하층으로 나누어 분석한다. 이들 자료는 적어도 계절별 우점종을 비롯한 수괴의 특징을 잘 나타내야할 것이다. 이것과 더불어 최근 위성 원격탐사자료 중 해색분석에 의한 보다 광범위한 기초생산자료를 상기결과에 보완될 수 있다.

조사빈도는 조사목적과 조사해역에 맞는 계획을 세워야 할 것이다. 식물플랑크톤은 하루 중에도 밤낮의 조도 차이와 조류시각에 대한 차이 등으로 현존량의 차이를 나타내고 있다. 특히 우리나라 서해안과 같이 조차가 큰 연안에선 시각별 종조성이 매우 달라 이들 시료분석에 세심한 노력이 필요할 것이다. 일반적으로 계절별 조사를 시행하여왔지만 이 경우 조사해역의 개략적인 종조성 현황에 국한되어져서 현장조사 시엔 일정기간의 매월조사 또는 일정한 고정정점에서의 시간별 조사가 병행되어 분석되는 것이 바람직하다.

식물플랑크톤의 크기는 2.0~200 μm 으로 그 종류는 일반적으로 규조류와 편모조류가 주류를 이룬다. 채수하여 얻어진 시료는 대부분의 부유식물을 다루나 2.0~20 μm 의 크기는 미소부유생물(nanoplankton)이라 하며, 20~200 μm 의 크기는 소형부유생물(microplankton) 또는 망부유생물(netplankton)이라고도 한다. 이 중 크기가 큰 생물은 정량적 채집을 위한 신뢰할 수 있는 한계가 줄어들며, 미소부유생물과 같이 크기가 매우 작은 것들은 생물 검경의 어려움이 뒤따라 대부분 소형부유생물을 위주로 한 분석이 이루어지고 있다.

2) 표준안

- 조사시료: 해수 500 ml 또는 1 l 채수
- 조사범위: 조사수심에 따라 깊이 5 m 이내일 경우 표층수, 5~10 m는 표층수와 저층수를, 10 m 이상일 때는 상층 중층 하층으로 나누어 분석.
- 조사빈도: 연4회 계절별

2. 동물플랑크톤

1) 조사방법

채집방법은 크게 여과망에 의한 정량채집(quantitative sampling)과 정성채집(qualitative sampling)으로 나눌 수 있다. 정량채집은 조사해역 동물플랑크톤의 개체수나 생물량을 측정하기 위해 수행되며, 일정한 용량이나

일정면적 위의 물기둥 내에 포함된 동물플랑크톤의 정량 자료를 얻을 수 있다. 일반적으로 여과되는 해수의 용적을 알기 위하여 채집망 및 채집기의 전단이나 후단에 유량계(flow meter)를 부착하여 여과량을 산출한다. 정량자료를 얻기 위해서 고려하여야 할 사항은 채집계획을 세우고, 채집기기마다 채집효율이 다르므로 이를 감안하여 채집기기를 선정하고, 시·공간적인 변이가 있으므로 채집정점의 수와 채집시기를 결정하고, 후에 통계적인 자료 분석을 위해 반복채집을 하여야 한다. 단지 정성채집은 네트의 크기보다는 예망거리를 길게 하여 채집하며 분석시 종의 풍부도를 비롯한 정성적인 자료를 얻기 위해 수행된다(Omori and Ikeda 1984).

자료의 비교를 위해서는 채집방법을 표준화하는 것이 가장 바람직하다. 이를 위해 채집기기의 형태나 크기, 망목의 크기, 예망방법, 예망속도 등을 정하여 일관되게 채집한다. 망목의 크기는 채집하고자 하는 동물 플랑크톤의 크기에 따라 달라지지만 연안에서 일반적인 목적을 위하여 채집하고자 할 때는 망목이 200 μm 보다 작은 네트를 사용하지 않는 것이 좋으나 생물 크기가 작은 동물성 부유생물의 초기발생단계의 생물을 채집하고자 할 때는 망목이 30~50 μm 인 망을 사용할 수 있다. 예인 속도는 망목에 따라 조절될 수 있지만 주로 2노트 이하에서 예인한다.

채집기의 종류로는 Norpac net, Nansen net, Clarke-Bumpus, Kitahara net와 Bongo net 등이 있고, 예망의 방법에는 수직채집, 수평채집, 경사채집이 있어 조사목적에 맞는 방법을 선택할 수 있다. 수평인양은 특정수심에 분포하는 부유생물을 채집하는 데 주로 사용되며 수직인양 방법은 채집하고자 하는 수심이 깊을 때 이용된다. 연안 등지에서 해양환경평가를 위한 조사 시엔 수심이 10 m 이상일 경우 주로 경사인양방법을 하여 왔으며 그이하의 수심에선 수평인양방법으로 하고있다. 한국연안에선 Norpac net와 봉고네트(Bongo net)를 많이 사용하고 있는데, Norpac net는 고전적으로 오래도록 사용하여 왔으며 봉고네트는 동시에 두 시료를 얻을 수 있는 장점이 있어 널리 이용되고 있다(Fig. 2). Norpac net와 Bongo net의 망구는 각각 45 cm와 60 cm이며 망목은 대체로 330 μm 을 사용하고 있다. 플랑크톤 네트를 사용하여 동물플랑크톤을 채집하는 방법 이외에 채수기나 펌프, 또는 연속플랑크톤기록기(CPR)를 이용하여 채집할 수도 있다(심 2003).

채집한 시료는 여과(mesh filtration), 원심분리(centrifugal separation), 침전(settling-sedimentation), 막여과(membrane filtration) 등을 이용하여 농축과정을 거친다. 실험실에서 생리실험을 위한 시료는 건강하게 보존을 하며, 추후의 연구를 위하여 보존이 필요할 때는 5%

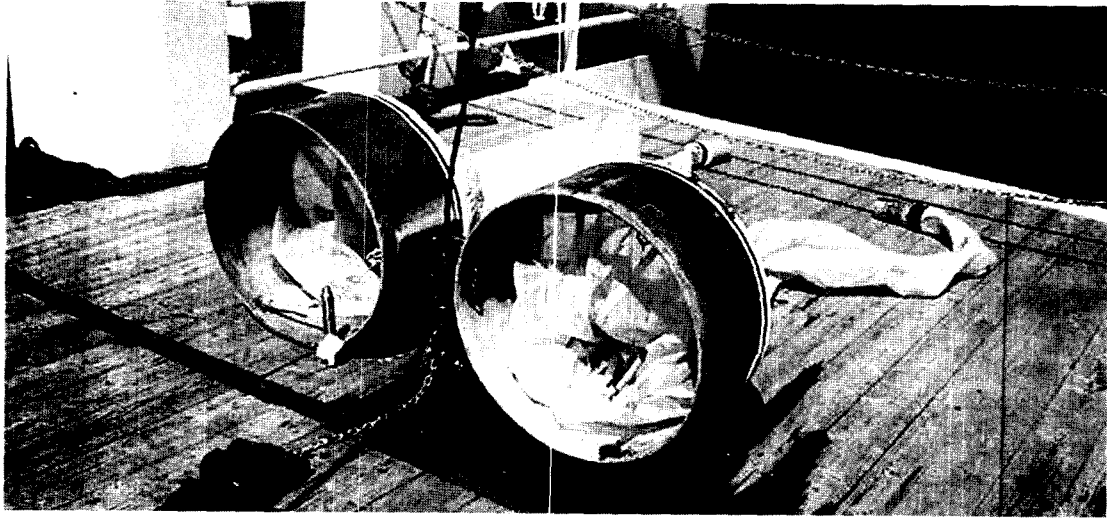


Fig. 2. Bongo Net.

의 중성포르말린으로 고정을 한다. 생물량은 일반적으로 침전량 (settled volume), 배수량 (displacement volume), 습중량 (wet weight), 건중량 (dry weight), 건조유기물중량 (ash free dry weight), 또는 탄소량 (carbon weight)으로 측정한다.

생물들은 종조성을 알기 위해 종단위로 동정하고 분류군별로 계수한 후 단위체적당 (m^3) 출현량으로 환산한다. 정리된 자료는 종다양도, 균등도 및 유사도 등의 분석을 실시하여 분포특성을 제화한다.

동물플랑크톤의 조사 빈도는 일반적으로 계절별 조사를 하여 왔다. 그러나 동물플랑크톤은 미약하지만 수직이동능력이 있고 해역에 따라 조류의 영향을 받아 하루 중에도 현존량의 차이를 나타낼 수 있으며 특히 산란시기에 따라선 월별 종조성이 달라질 수 있다. 따라서 동물플랑크톤의 경우도 식물플랑크톤과 같이 조사목적과 조사해역에 맞는 계획을 세워 일정기간의 매월조사 또는 시간별 조사가 병행되어 분석되는 것이 바람직할 것이다.

동물플랑크톤은 대부분 $200 \mu m \sim 20 cm$ 의 크기로서 요각류가 주류인 것으로 후생부유생물에 해당된다. 채집된 시료는 사용되는 네트의 망목 크기에 따라 결정되어 봉고네트의 경우 망목 $330 \mu m$ 이므로 그 이상크기의 생물을 다루게 되나 그 크기가 클수록 정량적 분석을 위한 신뢰정도는 줄어든다.

2) 표준안

- 조사장비: 봉고형네트(망목 $330 \mu m$, 망구 60 cm)
- 예망: 경사예인
- 조사빈도: 연 4회 계절별

3. 어란·자치어

1) 조사방법

어란·자치어 채집의 경우도 동물플랑크톤과 같은 방법을 사용하나 단지 생물 크기가 다소 커 망구 크기가 좀 더 큰 것을 사용하고 있다. 어란·자치어의 채집에 이용되는 장비는 Bongo Net, Standard Net, WP II Net, Maruchi Net 등이 있다. 우리나라에선 Standard Net와 Bongo Net를 주로 사용하여 왔는데, Bongo Net는 경사채집에 주로 이용되며, 개폐식 Standard Net는 층별 채집에 이용되고 있다(Fig. 3). Bongo Net는 망목의 크기가 $300 \sim 500 \mu m$ 이고 연안에선 주로 $330 \mu m$ 을 주로 사용하며, 망구는 60 cm의 것이 이용된다. Standard Net는 망목 및 망구의 크기가 각각 $500 \mu m$ 와 100 cm인 것이 이용된다. 최근엔 보다 많은 종류의 자치어를 채집하기 위하여 망구의 크기를 크게 제작하여 사용하기도 하지만 크기에 따른 불편한 점이 있어 사용하는 선박의 크기에 따라 조정되어 사용해야 할 것이다. 망목의 선택은 조사해역의 우점하는 중요 어종의 난과 자치어의 크기에 따라 선택되며 우리나라 연안역의 경우는 $300 \sim 330 \mu m$ 의 망목을 사용해야 할 것이다.

예인 시엔 동물플랑크톤 채집과 같이 여과되는 해수의 용적을 알기 위하여 유량계를 부착하여 2 knot 이하에서 예인하며 시료처리 또한 같은 방법으로 하고 있다. 이 경우 연안에선 5분 정도로서 $120 \sim 150 m^3$ 정도의 해수를 여과하는 것이 적당하며 먼 바다의 경우는 예인시간을 증가시킬 필요가 있다. 예인하는 방법으로는 수심을 고려하여 낮은 수심에선 수평채집을 하고 수심이 보다 깊은 경우는 경사채집을 하도록 추천한다.

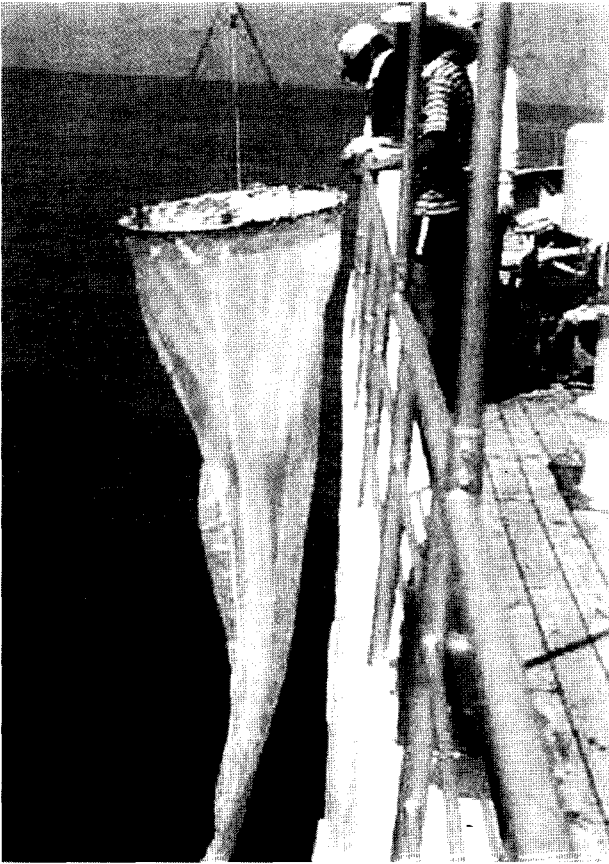


Fig. 3. Standard plankton Net.

종조성을 알기 위해 채집된 생물을 종단위로 동정하고, 분류군 별 출현종 수로 정리하여 분포특성 등을 나타낸다. 서식밀도는 정점 및 종류별로 1,000 m³당 개체수로 나타낸다. 조사 빈도에 관하여선 기본적으로 동물플랑크톤에 속한 어란·자치어의 경우 계절별 조사를 시행하는 것이 바람직하다. 그러나 어류의 산란이 초여름에 집중하고 있으므로 계절별 조사보다는 여름철의 매월조사가 더욱 필요할 경우도 있다. 특히 봄과 가을에는 출현종 수와 출현량이 매우 적으며 겨울에는 출현 종 수가 적지만 출현량은 상당히 많아 조사목적에 따라 조사 빈도를 결정하여야 할 것이다.

어란·자치어 중 어란은 0.6~2.0 mm 크기이며, 자치어는 2.0~15 mm 길이에 0.5 mm 이상의 체고인 크기이다. 그러나 생물 채집시 생물의 길이보다는 체고에 따라 영향을 더 받아 봉고네트(망목 500 μ m)로서 시료를 채집할 경우는 500 μ m 이상의 생물크기만을 다루게 된다. 이 경우 그 크기가 클수록 정량적 분석을 위한 신뢰정도는 줄어든다.

2) 표준안

- 조사장비: Standard plankton Net (망목 500 μ m, 망구 100 cm)
- 예망: 수평예인
- 조사빈도: 연 4회 계절별(또는 여름철 매월)

4. 어류

1) 조사방법

어류는 넓은 바다의 3차원 공간에서 빠르게 헤엄치기 때문에 채집하기가 매우 어렵다. 그러나 유영동물은 오랜 옛날부터 인류의 식량으로 이용되어 왔기에 이를 잡는 기술이 발달하였다. 어류를 채집하는 기구를 어구라고 하는데, 이는 크게 어구 자체가 이동하며 유영동물을 잡는 능동어구와 어구는 고정되어 있고 이동하는 유영동물이 어구로 들어가 잡히는 수동어구로 나눌 수 있다. 능동어구를 사용할 때에는 채집면적을 추정할 수 있어 어느 정도 정량채집이 가능하나 매우 많은 양을 필요로 하며 수동어구는 유영동물의 이동하는 정도에 따라 채집량이 결정되기 때문에 정량채집이 불가능하다. 어류의 채집은 어종에 따라 조사선(어선)에 의한 네팅, 정치망, 자망, 낚시, 쪽대, 뜰망 등의 어구 및 어법을 대상종 또는 해역 특성에 맞게 사용한다. 부유성 또는 회유성 어종은 정치망이나 어망을 사용하고 연안 정착성 어류는 자망, 낚시, 뜰망, 쪽대 등을 사용한다. 표본은 10% 중성포르말린에 저장하거나 목적에 따라서는 냉동 표본을 제작한다.

어류 등 유영동물은 해역마다 생물상의 차이가 보이고 그 출현종에 어느 정도 계절성을 보이면서 자연변동이 크기 때문에 격년적으로 보면 우점종이 크게 변화하고 또한 조사 정점간에 있어서도 불규칙한 변화를 나타내고 있기 때문에 공사에 의한 영향을 보는데 있어서는 적절한 생물이 아니다. 그러나 부지주변에 회귀종이나 특기할 만한 종류가 서식하고 있는지에 대해서 조사가 이루어져야 한다. 어류 채집시 사용되는 주요어구는 Table 5와 같다.

자료의 분석에 있어 정성적인 분석은 현장에서 채취된 시료를 연구실에서 정밀 동정함으로써 어류 목록, 성장 단계별 어종 조성 등 어류상에 대한 조사를 실시하며 정량적인 조사는 조사 시 사용한 어구를 정량화 한 다음 단위 노력 당 채취량으로 계산할 수 있다. 이때 가능한 한 조사해역 주변의 공사지역으로부터 반경 80 km 이내의 어획량의 연도별 변동자료를 어획 통계자료에 의해 분석할 필요가 있다.

2) 표준안

- 자료수집: 어획통계자료

Table 5. Fishing gears and their characters

어 구	특 징
낚 시	미끼 혹은 꼬임미끼 사용하며, 종류는 외줄낚시와 주낙이 있다.
걸 그 물	물고기가 다니는 곳에 그물을 쳐 놓아 그물코에 아가미나 덮개, 지느러미가 걸리도록 하여 채집하는 어구이며, 그물의 위치에 따라 표층 걸그물, 저층 걸그물로, 그물의 고정 여부에 따라 고정걸그물, 흘림걸그물(유자망), 두리걸그물로 나뉜다.
함정 그물	물고기를 함정안으로 유인하여 잡는 어구로, 통발과 자리그물(정치망)이 이에 속하며, 동해안에서 주로 사용하는 규모가 큰 낙망류와 남해안의 송어 등을 잡는 송망류, 서해안의 조류가 센 곳에 설치하는 낭장망 등이 있다.
두 리 그 물	족망(surrounding net)이라고도 하며, 물고기 떼에 둘러쳐서 한꺼번에 많은 물고기를 잡는 어구로, 표층어류를 대상으로 하는 건착망(purse seine)이 대표적인 두리그물이다.
끌 그 물	연안과 원양에서 널리 쓰이는 그물로 배 두척을 이용하는 쌍끌이 기선 끌그물과 배 한척이 전개판(otter)을 사용하는 오테트롤(otter trawl), 그리고 빠르게 끌 수는 없지만 예인면적을 측정할 수 있어서 저어류의 정량채집에 주로 쓰는 바닥끌그물(저인망)이 대표적이다.
어군탐지기	음파를 이용해 음이 반사한 깊이와 반사파의 강도를 측정함으로써 어류가 존재하는 깊이와 양을 추정할 수 있으며, 정확성은 떨어지지만 빠르게 넓은 지역을 조사하는데 이용된다. 조사된 어류의 동정과 크기, 성별 등의 생물학적 정보를 얻을 수 없는 단점을 가지고 있다.

5. 해조류

1) 조사방법

해조류는 서식장소의 착생기질, 수심에 따른 생물상의 차이를 보이고 그 출현양상은 주기적인 계절변화를 보인다. 해조류에 대해서는 종류별 출현량 및 분포범위를 조사하는데, 조사범위는 조간대 생물과 동일하게 하고 조사 정점은 서식장소의 기질, 수심 등을 고려하여 선정하며 조사 시기는 원칙적으로 주요 해조류의 번무기, 쇠퇴기의 2회로 한다. 해조류의 조사는 조간대 생물과 똑같이 육안 관찰에 따라 행하며 종류별 피도를 조사한다.

해조류의 채집방법에는 정성채집과 정량채집의 두 가지가 있다. 정성채집은 종류만 알고자 할 때 사용하는 방법이므로 가능한 한 여러 장소에서 눈에 띄지 않는 조류까지 골고루 채집하는 것이 중요하다. 정량채집이란 일정한 면적 내에 있는 해조류를 채집하는 방법으로 보통 50 × 50 cm 크기의 방형구를 사용하여 일정간격으로 채집한다. 조간대 해조류의 경우는 조사지역을 대표하는 곳에 지선(line transect)을 설치하고, 방형구를 조위에 따라 해수의 기준면(datum)까지 연속적으로 설치하여 종류별 피도를 조사한다. 또한 생물량을 나타내는 자료를 확보하기 위해 해수의 기준면으로부터 생물분포의 상한까지 조위 간격으로 단위 면적내 생물을 전량 채집한다. 조하대 해조류는 해수의 기준면으로부터 해조류의 분포가 끝나는 수심까지 방형구를 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25 m에 설치하고, 종류별 피도를 조사한 후, 방형구내에 존재하는 해조류를 전량 채집한다. 직접 채집할 수 없는 수심에서는 SCUBA를 이용하여 채집한다(윤과 홍 1995, Fig. 4). 또한 원격 조정할 수 있는 수중 카메라 혹은 수중 비디오



Fig. 4. Subtidal marine algae investigation by SCUBA.

를 사용하여 관찰하기도 한다. 채집한 해조류는 빛이 통하지 않는 채집용기에 10% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하여 분석한다.

종조성을 알기위해 채집된 생물을 종단위로 동정하고, 분류군별 출현종수로 정리하여 나타낸다. 조간대의 경우 해수의 기준면으로부터 생물분포의 상한까지 조위별로 종류별 피도와 생체량을 표기한다. 조하대의 경우 수심별로 존재하는 해조류의 종류별 피도와 생체량을 표기한다. 피도는 암반을 덮고 있는 절대면적을 의미하며, 키가

큰 해조류의 경우에는 잎이 암반을 덮고 있는 면적을 가정하여 표기한다. 생체량은 습중량과 건중량으로 나타내며, 습중량은 생물 표면에 붙은 물기를 제거한 후 측정하고, 건중량은 70~80°C에서 48시간 건조하여 측정한다. 피도와 생체량은 각 종류별로 1 m² 내에 존재하는 것으로 환산하여 나타낸다. 우점종은 피도 5% 이상의 종으로 표기한다.

2) 표준안

- 조사방법: 방형구(50×50 cm)
- 조사빈도: 연 4회 계절별
- 조사범위: 조간대: 기준대~조상대(조위 50 cm 간격)
조하대: 수심 5 m 간격(SCUBA 이용)

6. 저서동물

1) 조사방법

저서동물 조사방법에 대하여선 Holme and McIntyre (1971)과 윤과 홍(1995)에서 상세히 연구되어 왔다. 일반적으로 저서동물은 바위와 같은 딱딱한 기질에 부착하여 사는 것과 모래, 펄과 같은 부드러운 기질에 정착하여 사는 것이 있다. 이 때 각 기질을 암반의 경성기질(硬性基質, hard substrate)과 펄이나 모래인 연성기질(軟性基質, soft substrate)이라고 한다.

암반에 부착하는 저서동물은 해조류를 채집하는 방법과 마찬가지로 조위별(조간대 경성저질) 또는 수심별(조하대 경성저질)로 조사한다. 그러나 연성기질에 서식하는 저서동물은 대부분이 펄이나 모래 속에 살므로, 펄과 모래를 채취한 후 이 속에서 동물을 골라내는 작업을 하게 된다.

조하대 연성저질에 서식하는 동물을 채집하는 가장 대표적인 기구는 채니기(採泥器, grab sampler)이다. 이 채집기구는 길다란 팔을 채집상자에 부착시켜 닫히는 힘을 강하게 한 반빈(van Veen) 채니기, 채니기 전체를 틀을 씌어 안정되도록 만든 스미스 맥인타이어(Smith-McIntyre) 채니기 등이 있다. 우리나라 연안에서는 주로 반빈 채니기를 사용해 표품을 채취하고 있으며 이것의 벌러지는 입구면적이 0.1 m²에 달한다(Fig. 5).

물가의 모래(조간대 연성저질)에 사는 동물 중 몸체의 크기가 mm 단위 이상인 대형저서동물(macrobenthos)을 채집하고자 할 때는 방형구나 can corer 등을 사용한다. 방형구는 보통 50×50 cm 크기를 사용하나 그 면적이 넓기 때문에 주로 표생생물을 채집한다. can corer는 입구면적이 보통 0.025 m²의 채집기로서 사용하나 그 크기가 작기 때문에 다루기 편리한 점이 있으나 채집된 생물의 양에 있어선 부족한 단점이 있다.

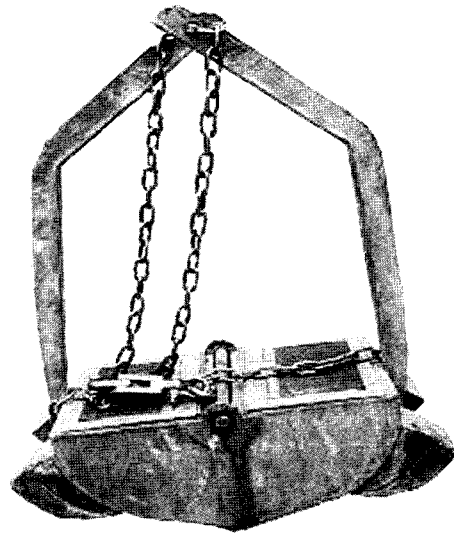


Fig. 5. van Veen grab.

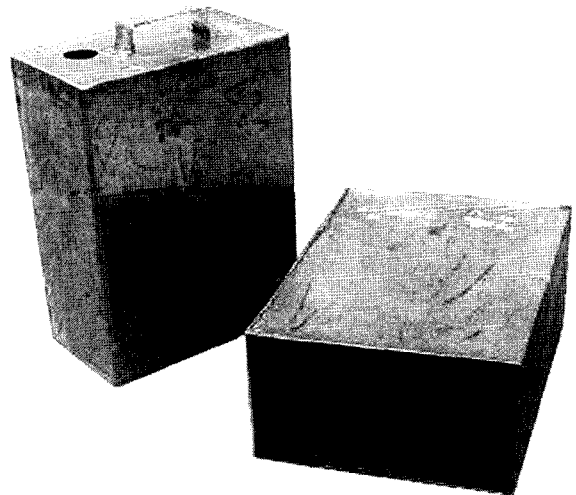


Fig. 6. Can core sampler used on the soft bottom.

따라서 조사목적에 따라 생물크기 또는 생물수에 의해 채집기의 크기를 조정하여 사용하는 것이 바람직할 것이다. 채집도구는 깊이 약 30 cm까지 퇴적물 속으로 밀어 넣어 표품을 채취하게 된다(Fig. 6).

드릿지(dredge)라는 기구를 이용하는 방법도 있다(Fig. 7). 저인망과 원리는 같고 크기가 작을 뿐이다. 50×100 cm 크기의 철제 후레임에 망을 붙혀 늘어뜨린 형태이다. 망의 그물코는 일반적으로 cm 크기이다. 입구 모양이 보통은 사각형이나 삼각형, 원형인 것도 있다. 배의 뒷전에 내리고 약 20분간 바닥을 끌면 그 장소에 사는 동물을 채집할 수 있다. 해저 표층을 긁으며 가므로 주로 표층에 사는 큰 동물을 채집할 때 쓰인다.

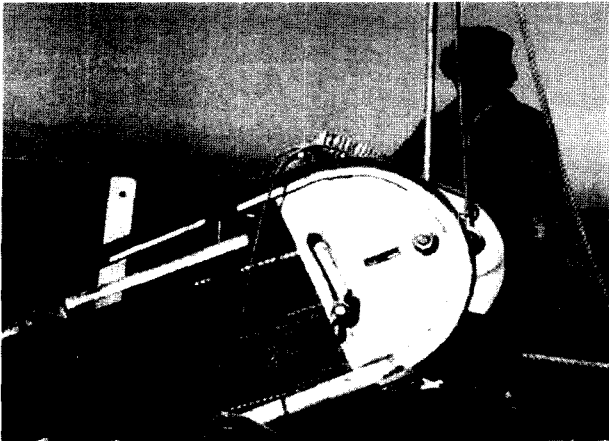


Fig. 7. Dredge.

저서동물(macrobenthos)을 채집할 경우 채취한 퇴적물을 체 위에 담아서 물을 뿌리며 가는 입자의 퇴적물을 씻겨 내려가게 한다. 이때 사용하는 체의 망목이 보통 1 mm이므로 대형저서동물(macrobenthos)에 해당된다. 물을 뿌려 거르면 가는 입자의 퇴적물은 빠져나가고 굵은 입자의 모래와 동물만 남게 되면 이것을 비닐봉투나 플라스틱 병에 담고 포르말린을 넣어 썩지 않게 한 후 실험실로 옮겨온다. 시중에서 판매되는 공업용 포르말린은 산성이므로 중조나 핵사민으로 중화한 10% 포르말린을 사용해야 한다. 실험실로 옮겨오면 넓은 대야에 쏟아 놓고 굵은 입자의 모래와 동물이 섞여있는 상태에서 동물만을 하나씩 핀셋을 골라내야 하므로 시간이 많이 필요한 작업이다.

채집된 생물은 중단위로 동정하여, 분류군별 출현종 수로 정리하여 나타낸다.

경성기질의 조간대의 경우 해수의 기준면으로부터 생물분포의 상한까지 조위 50 cm 별로 생물의 서식밀도와 생체량을 표기한다. 경성저질의 조하대 저서동물의 경우 채집된 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25 m에 존재하는 생물의 서식밀도와 생체량을 표기한다. 연성저질의 조하대에서 채내기(Grab)로 채집한 경우에는 정점별로 생물의 서식밀도와 생체량을 표기한다. 서식밀도와 생체량은 종류별로 1 m²에 존재하는 것으로 환산된 값으로 나타내며 정점별 수치는 생태지수에 의거 분석한다. 생체량은 습중량과 건중량으로 나타내며, 습중량은 생물 표면에 묻은 물기를 제거한 후 측정하고, 건중량은 70~80°C에서 48시간 건조하여 측정한다.

2) 표준안

- 조사방법: 경성기질-방형구(50×50 cm)

조간대: 기준면~조상대(조위 50 cm 간격)

조하대: 수심 5 m 간격(SCUBA이용)

연성기질-조간대 Can corer(0.025 m²)

조하대 van Veen grab(0.1 m²)

채망목 1 mm

- 조사빈도: 연 4회 계절별

결 론

본 조사 분석에 활용된 자료는 해양환경영향평가 및 어업피해영향조사관련 보고서를 바탕으로 하여 분석되었다.

해양생태분야 조사항목은 해양환경영향평가항목에 포함된 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서생물, 어란 및 치자어, 부착생물, 해산어 및 조간대생물 분야를 일반적으로 사용되는 용어를 전문분야별로 재조정하여 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서동물, 해조류, 어란 및 치자어, 어류로 구분하였다. 해양생물분야의 각 항목별 표준화된 조사방법을 위해선 사용기기의 편리성, 사용빈도 그리고 추출되는 자료의 정밀성 등을 고려하였다. 조사방법들은 해양생태학분야에 있어서 근집생태학의 정량적 채집에 근거하여 생물다양성측면의 충분한 자료를 생산할 뿐만 아니라 지역별 비교할 수 있는 도움자료로서 활용되어야 할 것이다. 그러나 조사방법은 서식생물의 특성과 조사해역의 지형 등의 특징에 따라 달라질 수 있다. 조사해역에 따라 동일방법을 사용하였을 때 생산되는 자료들을 상호 호환할 수 있는 장점이 있는 반면 사용하고자하는 기기로써 취할 수 없는 생물도 있을 것이다. 본 안이 결코 학문의 제약요인이 되어서는 안될 것이며 향후 조사환경에 따라라도 변할 것이다. 그러므로 조사하고자하는 해역에서 사전 서식하는 생물들에 대한 특징을 면밀히 분석한 후 조사방법을 결정하는 것이 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 해양수산부의 “어업권 피해조사 표준기준 제정을 위한 연구”, 한국해양연구원의 기본사업인 “연안역 통합관리를 위한 해양환경변화 특성 규명”과 과학기술부의 “해양생물에 의한 취수구 폐쇄 현상 방지기술”의 일환으로 연구되었습니다.

참 고 문 헌

심재형. 2003. 플랑크톤 생태학. 서울대학교출판부. 382pp.

- 윤성규, 홍재상. 1995. 해양생물학 · 저서생물학. 아카데미서적. 412pp.
- 해양수산부. 1999. 국가해양환경측정망 운영지침.
- 해양수산부. 1998. 해양과학조사방법 표준화 방안 연구(제1차년도).
- 해양수산부. 2002. 항만공사관련 어업권 피해조사 표준기준 제정을 위한 연구.
- 환경부. 1997. 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정.
- 환경부. 1999. 환경교통재해 등에 관한 영향 평가법.
- Holme NA and AD McIntyre. 1971. Methods for the study of Marine Benthos. I.B.P. Handbook, 16 Blackwell Scientific Publications, Oxford. 334pp.
- Omori M and T Ikeda. 1984. Methods in Marine Zooplankton Ecology. John Wiley and Sons, New York. 332pp.
- Sournia A. 1978. Phytoplankton Manual. UNESCO. 337pp.

Manuscript Received: August 27, 2003

Revision Accepted: January 19, 2004

Responsible Editorial Member: Saywa Kim
(Yongin Univ.)