

BSPE 00429-751-7

과학잠수를 활용한 연안환경조사의 방법론적 연구

**Methodological Studies on the Investigation of Nearshore
Environment Using Scientific SCUBA Diving**

1994. 6.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 "과학잠수를 활용한 연안환경조사의 방법론적 연구" 사업의 최종 보고서로 제출합니다.

1994. 6.

한국해양연구소

연구책임자: 정 호 성

연 구 원: 오 윤 식
제 종 길
강 래 선
박 정 기
이 만 길

요약문

I. 제목

과학잠수를 활용한 연안환경조사의 방법론적 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

우리나라는 근래 경제성장 및 급속한 인구증가와 더불어 생활공간 부족과 부존자원 결핍 등으로 인해 해양개발의 중요성이 대두되고 있는 반면, 오염원의 증가로 인한 자연환경의 보전이 또한 심각한 문제점으로 부각되고 있다. 이러한 과정에서 생물학에 근거를 둔 연안 또는 호소의 수질환경 분석에 과학적인 관심이 집중되고 있으며, 이에 발맞춰 과학잠수 (scientific diving) 기술의 필요성이 증대되고 있다.

일찌기 해양과학 분야의 선도국임을 자처하는 프랑스, 미국, 일본 등에서는 잠수기술의 개발에 지속적인 투자가 이루어져 왔으며, 이를 통한 방법론적인 연구결과들은 실제 현장조사에 효과적으로 이용되고 있으나 과학잠수의 가치인식이 제대로 정립되어 있지 않은 우리나라에서는 잠수가 거의 대부분 단순한 생물 채집도구로만 이용되고 있는 실정이다.

이러한 점들을 감안하여, 본 연구에서는 과학잠수를 통한 야외조사 방법의 효율적인 개선을 목적으로 스포츠 다이빙에 널리 이용되고 있는 잠수 도구들을 적용하여 몇 가지 연안환경 조사법을 개발코자 하였다. 이와같은 방법론

적인 연구들의 축적과 개선은 수질 환경자료의 확보에 직접적으로 유용할 뿐만 아니라, 더 나아가 해양과학 분야에서 과학잠수의 효용성을 새로이 인식시키고 그 위상을 재정립할 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

과학잠수를 이용한 연안환경 조사방법의 질적인 개선

(1) 저서생물의 군집 및 개체군생태 조사에의 수중촬영법 도입

저서생물상을 수중촬영하여 획득한 사진을 image scanner로 전산기에 입력하여, 화상분석 (image analysis)을 통한 생물량 평가방법을 개발

(2) 잠수도구를 활용한 수중채수법과 압축여과법 개발

1) Air-gun을 활용한 수중채수 방법

Air-gun의 공기방출을 이용, 수중에서 미소 환경자료를 직접 얻을 수 있는 채수법 개발

2) 압축공기통을 이용한 압축여과법

압축공기통의 공기압을 이용, 채수한 시료를 현장에서 전원없이 여과할 수 있는 방법 개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

(1) 수중촬영법을 연안 환경조사에 활용하면 현장조사시 단시간에 폭넓은 지역을 조사할 수 있으며, 또한 식생을 제거할 필요가 없기 때문에 개체군의 주기적 동태 관찰에 효과적으로 이용될 수 있다. 아울러, 자료의 처리에 화상 분석법을 도입함으로써 자료를 더욱 정밀하고 정확하게 분석 가능하리라 기대된다.

(2) Air-gun을 이용한 수중채수법은 환경생태학적 조사시 요구되는 조사 목적지소에서 가장 근접한 주변의 시료를 채수할 수 있으므로, 기초 환경자료의 질을 높이는 데 기여할 수 있을 것이다.

(3) 압축공기통의 공기압을 이용한 압축여과법을 활용하면, 현장조사시 전원과 공간에 구애받지 않고 채수한 시료를 즉시 여과할 수 있으며, 아울러 시료의 변질을 막아주어 자료의 질적인 개선이 기대된다.

ABSTRACT

I. Title

Methodological Studies on the Investigation of Nearshore
Environment Using Scientific SCUBA Diving

II. Significance and Objectives

Scientific diving has become a day-to-day research technique in almost every institution that has some special interest in ocean research. In recent years the development of SCUBA diving has provided a new tool for the marine biologist. However, the biological sampling methods should be improved more quantitatively and conveniently.

Conventional quantitative sampling techniques generally involve manual cleaning of test areas by a diver. The procedure is time-consuming, and only a very limited bottom area may be investigated in a diving day. Furthermore, many organisms are difficult to detach from rocks, or are easily damaged or lost during the sampling. To overcome some of the problems, the underwater photogrammetry has been a new technique for quantitative studies on sublittoral rocky bottom biota.

Also, conventional water sampling and filtration techniques are needed for an expensive apparatus and a power supply in field.

During the present study, therefore, we endeavored to improve the methodology on the investigation of nearshore environment using some diving apparatus.

III. Scope and Contents

(1) Underwater photogrammetry

- Biomass estimation of macroalgae with image analysis of vegetation photographs

(2) Water sampling and filtration method

- Underwater water sampling with air-blow gun
- Filtration method with diving air-pressure

IV. Results and Discussion

(1) For estimation of macroalgal standing stocks the underwater photogrammetry using image analysis was methodologically experimented. A quadrat frame (70 x 50 cm²) was specially made of aluminum angle and was attached to underwater camera like a close-up lens kit. From slide films photographed using it in field, outlines of specific boundaries were drawn on the screen of slide projector, and they were saved in computer with image scanner. Frequency and percent coverage of each species could be easily obtained through image analysis. Finally, strength and weakness of the photogrammetry including our application of image analysis were compared with previous works in this report.

(2) As a part of the scientific diving techniques, two simple methods for collecting water sample in situ, using some sports-diving tools, were introduced in this report. The one is underwater water-collecting method using air-blowgun. For studies on the near shore or freshwater environment, because the sampling is carried out immediately around the water layer (or habitat) required, it can be effective to obtain quantitative and qualitative data such as chlorophyll, nutrients, salinity through the water sample. The other one is filtration method using pressure of air-tank, and it may be also useful in fieldwork owing to no power supply needed when filtering the water collected.

목 차

요약문	2
표 목차	12
그림 목차	13
제 1 장 서 론	14
제 2 장 해조류 생물량 평가에 있어 화상분석을 도입한 수중촬영법의 적용	15
제 1 절 서 론	15
제 2 절 재료 및 방법	17
2.1 수중촬영용 방형구들의 제작	17
2.2 야외 조사	17
2.3 실내 분석	20
제 3 절 결 과	22
3.1 해조류 종조성	22
3.2 수중촬영법에 의한 분석	26
제 4 절 고 찰	33
적 요	37
참고문헌	38

제 3 장	야외조사시 잠수도구를 활용한 수증채수와 여과방법 -----	41
제 1 절	서론 -----	41
제 2 절	Air-blowgun을 이용한 수증채수법 -----	43
2.1	장치의 구성 및 사용법 -----	43
2.2	방법론적인 검토 -----	45
제 3 절	압축공기통을 이용한 가압식 여과법 -----	46
2.1	장치의 구성 및 사용법 -----	46
2.2	방법론적인 검토 -----	46
적 요	-----	50
참고문헌	-----	51

CONTENTS

ABSTRACT	5
List of Tables	12
List of Figures	13
Chapter I. INTRODUCTION	14
Chapter II. AN APPLICATION OF UNDERWATER PHOTO- GRAMMETRY USING IMAGE ANALYSIS FOR ESTIMATION OF MACROALGAL STANDING STOCK	15
Section 1. Introduction	15
Section 2. Materials and Methods	17
2.1. Quadrat for Underwater Photogrammetry	17
2.2. Fieldwork	17
2.3. Laboratory Analysis	20
Section 3. Results	22
3.1. Species Composition of Macroalgae	22
3.2. Vegetation Analysis by U.W. Photogrammetry	26
Section 4. Discussion	33
References	38

Chapter III. METHODOLOGICAL STUDIES ON UNDER- WATER COLLECTION AND FILTRATION OF WATER SAMPLE USING SCUBA DIVING TOOLS IN FIELDWORK -----	41
Section 1. Introduction -----	41
Section 2. Underwater Water Sampling Method Using Air-blow Gun -----	43
2.1. Equipments and Methods -----	43
2.2. Methodological Discussion -----	45
Section 3. Filtration Method Using Air-tank -----	46
3.1. Equipments and Methods -----	46
3.2. Methodological Discussion -----	46
References -----	51

List of Tables

Chapter II.

Table 1. A specification of camera equipments prepared for underwater photogrammetry in the present study -----	18
Table 2. Occurrence of benthic marine algae collected around Seoguipo city, Chejudo Island for an application of underwater photogrammetry -----	23
Table 3. Biomass data of benthic marine algae collected in four quadrats (50 x 70 cm ²) around Seoguipo city, Chejudo Island -----	24
Table 4. Macroalgal vegetation in four quadrats (50 x 70 cm ²) around Seoguipo city, Chejudo Island -----	29

Chapter III.

Table 1. Equipments required for underwater collection of water sample using SCUBA diving tools -----	44
Table 2. Equipments required for pressure filtration of water sample using SCUBA diving tools -----	47

List of Figures

Chapter II.

- Fig. 1. A quadrat frame with underwater camera (Nikonos-V) made for an application experiment of underwater photogrammetry ----- 18
- Fig. 2. A location map of sampling site ----- 19
- Fig. 3. Comparisons of biomass composition of each species in four quadrats A~D ----- 25
- Fig. 4. An example (St. D) of underwater photogrammetry : (a) photograph before removing canopy plant, (b) photograph after removing the overlap-plant, (c) vegetation map and the relative coverage counted by image processing ----- 27
- Fig. 5. Comparisons of important value of each species in four quadrats A~D ----- 30

Chapter III.

- Fig. 1. Underwater collection of water sample using air-blowgun : (a) bottle cleaning, (b) sample collecting procedures ----- 44
- Fig. 2. Pressure filtration of water sample using air-cylinder : (a) overview of total apparatus, (b) scheme of squeezer, (c) principle of filtration ----- 48

제 1 장 서 론

우리나라는 근래 경제성장 및 급속한 인구증가와 더불어 생활공간 부족과 부존자원 결핍 등으로 인해 해양개발의 중요성이 대두되고 있는 반면 (제와 유, 1990), 오염원의 증가로 인한 자연환경의 보전이 또한 심각한 문제점으로 부각되고 있다. 이러한 과정에서 생물학에 근거를 둔 연안 또는 호소의 수질환경 분석에 과학적인 관심이 집중되고 있으며, 이에 발맞춰 과학잠수 (scientific diving) 기술의 필요성이 증대되고 있다.

일찌기 해양과학 분야의 선도국임을 자처하는 프랑스, 미국, 일본 등에서는 잠수기술의 개발에 지속적인 투자가 이루어져 왔으며, 이를 통한 방법론적인 연구결과들은 실제 현장조사에 효과적으로 이용되고 있다 (Christie, 1976; NOAA, 1979; US Navy, 1985; Koop, 1986). 그러나 과학잠수의 가치인식이 제대로 정립되어 있지 않은 우리나라에서는 잠수가 거의 대부분 단순한 생물 채집도구로만 이용되고 있는 실정이다.

이러한 점들을 감안하여, 본 연구에서는 과학잠수를 통한 야외조사 방법의 효율적인 개선을 목적으로 스포츠 다이빙에 널리 이용되고 있는 잠수 도구들을 적용하여 몇 가지 연안환경 조사법을 개발코자 한다. 이와같은 방법론적인 연구들의 축적과 개선은 수질 환경자료의 확보에 직접적으로 유용할 뿐만 아니라, 더 나아가 해양과학 분야에서 과학잠수의 효용성을 새로이 인식시키고 그 위상을 재정립할 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

제 2 장 해조류 생물량 평가에 있어 화상분석을 도입한 수중촬영법의 적용

An Application of Underwater Photogrammetry Using Image Analysis for Estimation of Macroalgal Standing Stocks

제 1 절 서 론

조하대 해조류의 군집생태학적 연구방법으로는 과학잠수를 이용한 관찰 기재 (피도, 빈도 측정)와 채집에 의한 중량 측정 등이 이용되고 있다 (Drew, 1971, Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974; 김, 1983; 고와 성, 1983; Kershaw and Looney, 1985; Chung *et al.*, 1991). 그러나, 수중에서의 관찰 기재는 실제 조사자의 잠수능력과 체류시간의 제한으로 말미암아 기재가 부실해지거나 활동영역이 한정되어 조사지의 생물량을 판단하는데 있어 오류를 범할 가능성이 크다. 시료채집에 있어서도 실제 일정면적의 식생의 완벽한 채집은 거의 불가능하며, 조사목적상 식물상의 주기적인 관찰을 요할 시에는 식생의 제거로 인한 연구의 불연속성이 문제가 되기도 한다.

이와같은 점들을 감안하여 일찌기 외국의 수중연구 자연과학자들은 해조류를 포함한 저서생물상의 조사방법을 개선하기 위한 많은 노력을 개진하여 왔으며, 특히 수중촬영을 이용한 조사법을 다각도로 모색하고 있다 (Johnston *et*

al., 1969; Littler, 1971; Laxton and Stablum, 1974; Lundälv, 1976; Ray, 1977; NOAA, 1979; Lewbel *et al.*, 1981; Littler and Littler, 1985). 수중촬영법은 일정면적의 식생을 구조적으로 세심하게 확인할 수 있을 뿐만 아니라, 그 계절변화나 천이 등 연속적인 관찰 조사에 매우 용이하다. 그러나, 수중과학 연구의 역사가 일천한 우리나라에서는 지금까지 이러한 방법론적인 연구가 거의 시도된 바 없는 실정이다.

본 연구는 근본적으로 해조류 생물량의 정량적 평가에 있어 수중촬영법의 효용성을 검토해보고자 시도되었으며, 피도의 산출에 컴퓨터의 화상분석 (image analysis)을 새로이 도입함으로써 방법론적인 개선을 도모코자 하였다.

제 2 절 재료 및 방법

2.1. 수중촬영용 방형구들의 제작

동일한 면적의 식생 촬영을 목적으로 알미늄 앵글을 이용하여 Fig. 1과 같이 조립식 방형구들을 제작하였다. 틀의 피사면 측 사각 모서리에는 지면의 굴곡을 고려하여 길이 10 cm의 다리를 세웠다. 알미늄 봉 (5 mm)으로 된 방형구 (50 x 70 cm²)에는 식생분석에 활용될 수 있도록 10 cm 간격으로 눈금을 표시하였다. 틀 상부에 부착한 사진기는 Nikonos-V underwater camera였으며, 심도가 깊고 화각이 크며 피사면의 굴절이 적은 28 mm Nikkor lens를 택하였다 (Table 1). 렌즈와 피사면간의 초점거리는 수영장에서의 예비실험을 거쳐 실측치 85 cm (카메라 눈금 64 cm)로 고정하였다. 색보정을 위하여 사용된 2개의 Strobes는 접사틀 좌우측에 별도의 가로대를 설치하여 고정하였으며, 확산필터를 부착하였고 이중코드를 사용하여 동조되도록 하였다. 필름은 해상력이 뛰어나고 sharpness가 뚜렷한 Kodachrome 64 professional film (ASA 64)이 사용되었다.

2.2. 야외 조사

야외조사는 1992년 11월 16일 제주도 서귀포시 서남방 5 km 지점의 조하대에서 수행되었다 (Fig. 2). 조사지의 해저지형은 수심 20 ~ 25 m의 편평한 지반에 지름 1 ~ 5 m 가량의 크고 작은 바위가 산재해 있었으며, 바위 사이에는 모래층이 존재하였다. 본 연구에서는 총 4 개의 방형구 (A, B, C, D)가 조사되었으며, 이 가운데 방형구-A, B, D는 수평면이고 방형구-C는 수직면이

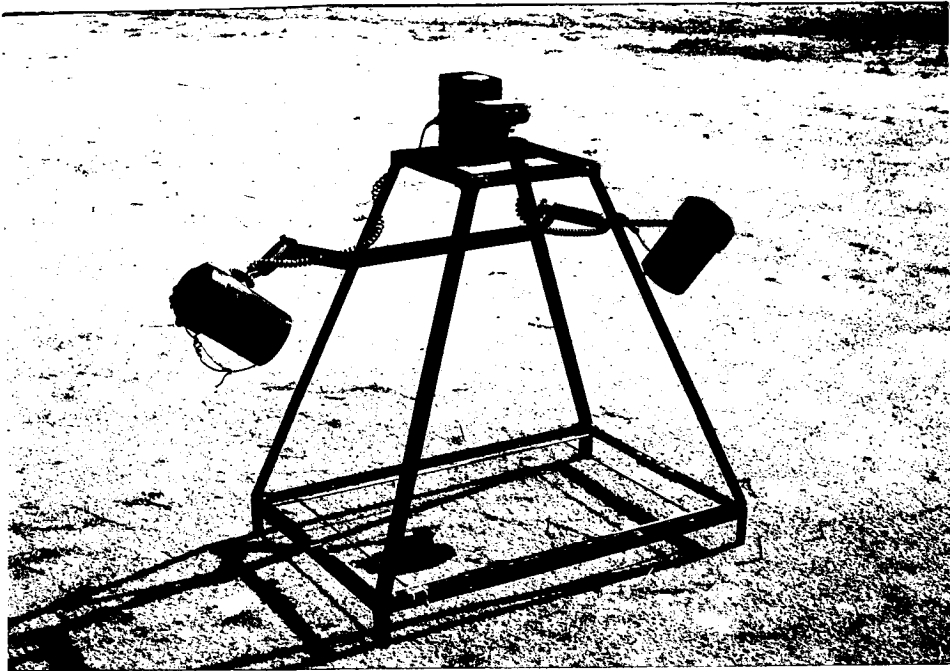


Fig. 1. A quadrat frame with underwater camera (Nikonos-V) made for an application experiment of underwater photogrammetry

Table 1. A specification of camera equipments prepared for underwater photogrammetry in the present study

Equipment	Specification
Camera	Nikonos-V
Lens	Nikkor 28mm f/3.5 - picture angle: 59° - depth of field: 20 cm(f/5.6) ~ 40 cm (f/16) - distance scale: 60 cm ~ ∞ (= measured distance*: 80 cm ~ ∞)
Strobes	SB-102 (2 ea) - attached diffusion filter to front-cover - connected with a double code

* due to the refractive index of water, distance measured should be reduced by 25 % before being set on the distance scale of lens

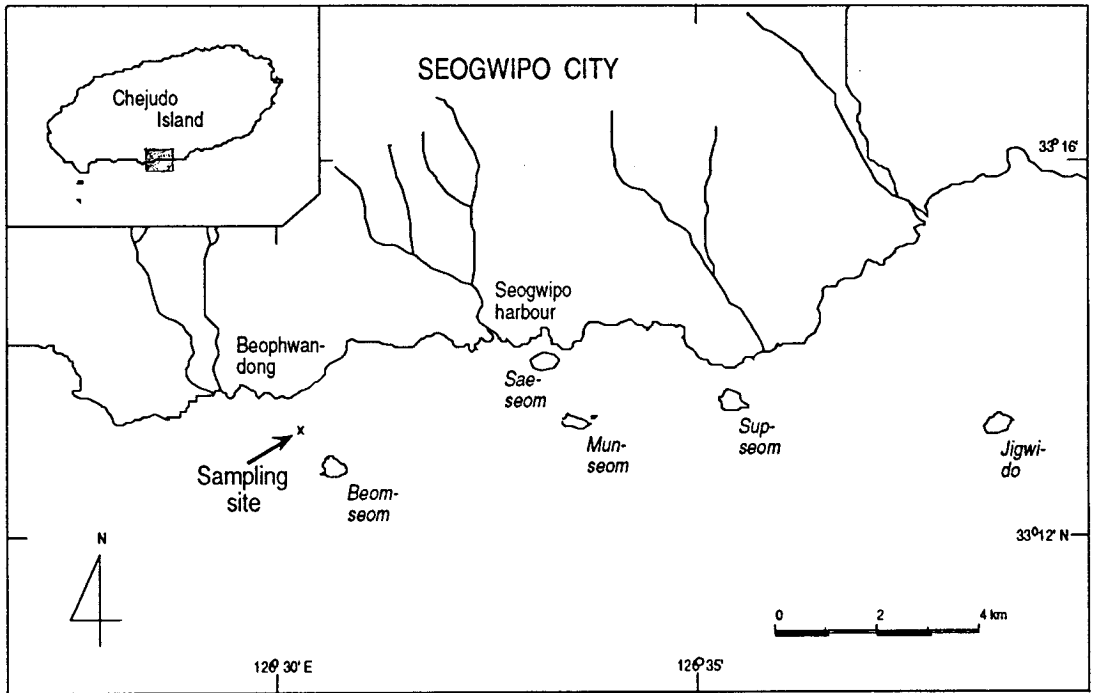


Fig. 2. A location map of sampling site

었다. 조사시 수중시계는 약 8~10 m로 양호하였다.

방형구틀을 이용하여 조사지의 식생을 촬영한 후 방형구 내의 모든 개체들을 채집하였다. 이때 방형구의 일부를 뒤덮거나 직립하는 대형 해조류 (canopy plant)가 있을 시에는 먼저 그대로 식생을 촬영하고, 그 개체를 떼어낸 후 한번 더 촬영하였다. 채집된 모든 표본은 10 % 포르말린 해수로 고정하여 실험실로 운반하였다.

2.3. 실내 분석

실험실에서 각 방형구별 표본들은 수돗물로 충분히 세척한 뒤 종별로 구분하여 저울로 0.1 g 수준까지 종별 생물량(습중량)을 측정하였다. 측정을 마친 표본은 105 °C 건조기에서 72 시간 건조시킨 후 건량을 측정하였다.

현상된 해조류 군집의 슬라이드 필름은 환등기로 종이에 비춘뒤 종별로 차지하는 공간의 윤곽선들을 스케치하고, 종별 구분을 위하여 각기 다른 색으로 공간마다 표시를 해두었다. 스케치한 도면을 Color scanner (UMAX-UC630)로 컴퓨터 (Macintosh IIsi)에 입력하여, graphic software의 하나인 Adobe Photoshop 상에서 피도 및 빈도 산출을 위한 화상분석을 실시하였다.

분석 순서는, 우선 Paint-bucket tool을 이용하여 종별로 차지하는 공간에 각기 다른 색으로 채색을 하고, Magic-wand tool로 동일 색상(종별)의 공간을 모두 선택한 후 Histogram option을 통하여 그 pixel 수를 계수케 하였다. 분석시 사용한 방형구 image의 크기는 처리시간을 고려하여 6.8 x 9.5 cm² (해상도 118 pixel/cm) 정도로 축소 입력하였으며, 이는 실제 방형구 면적을 약 90 만개의 점으로 구분해 본 결과가 된다. 이와같이 얻어진 종별 pixel 수 자료는 방형구 전체의 pixel 수에 대한 백분율로 환산하여 그 값을 피도값으로 결정하였다. 종별 출현빈도의 측정은 방형구 image에 실측치 10 x 10 cm²에 해당하는 35 개 소방형구의 모자이크 구획선을 그어, 그 종이 출현한 소방형구의 수를 계수하는 방법을 택하였다.

단, canopy plant의 출현으로 반복촬영된 방형구의 분석시에는 바닥면의 식생의 값 (100 %)에 canopy plant의 값을 별도로 가산하였다. 그러므로, 이러한 방형구의 피도의 합은 100 %를 능가할 수 있음을 지적해둔다.

이와같이 얻어진 피도, 빈도 및 건중량 자료의 상대값들을 매개변수로 사용하여 출현종별 중요값을 산출하였다. 이때 방법론간의 비교를 고려하여 변수를 아래와 같이 세 가지 유형으로 조합하여 보았다.

- 무절석회조와 공적을 포함: $(\text{상대빈도} + \text{상대피도}) / 2$
- 무절석회조와 공적을 제외: $(\text{상대빈도} + \text{상대피도}) / 2$
- 상대건중량 자료도 포함: $(\text{상대빈도} + \text{상대피도} + \text{상대건중량}) / 3$

여기서 공적 (bare ground)이라 함은 식생이 존재치 않는 공간 또는 저서동물이 차지하는 공간을 의미하며, 일반적으로 해조류 군집조사시 무절석회조의 공간과 함께 무시되어지는 공간이다. 아울러, 중요값 계산에 상대건중량을 포함시킨 경우에는 이들 공간들의 중량 측정은 불가능하므로 당연히 제외되었다.

끝으로, 세 가지 유형에 의하여 얻어진 자료들을 상호 비교하고, 수중촬영법의 장단점을 과거 다른 연구자들의 연구방법들과 고찰하여 보았다.



제 3 절 결 과

3.1. 해조류 종조성

본 조사를 통하여 채집 동정된 해조류는 녹조류 1 종, 갈조류 1 종 및 홍조류 15 종 등 총 17 종이며, 이 가운데 수중사진을 통한 균집분석 시에는 육안으로 용이하게 구분되는 종들만을 취급하였다 (Table 2). 또한 *Marginisporium crassissimum*, *Amphiloa* spp., *Lithothamnion cystocarpideum* 등의 석회조류들은 크게 유절산호조와 무절산호조로만 구분하였다.

조사된 방형구들의 식생을 습중량면에서 볼때 방형구-D가 단위면적당 (50x70 cm², 이하 동일) 608.1 g으로 가장 높았으며 방형구-B와 A가 289.5 g과 266.8 g으로 대등하고, 수직벽면에 놓인 방형구-C에서는 동물의 상대적인 우점과 함께 가장 낮은 137.5 g을 기록하였다 (Table 3). 한편, 방형구-D의 경우 직립하는 대형갈조 *Ecklonia cava* (감태)의 중량을 제외하면 습중량은 방형구-A, B와 거의 유사하였다.

건중량면에서는 조체의 건습중량비가 큰 유절석회조류 (40.91 %)가 습중량 비교시에 비해 상대적인 강세를 보인 반면, 조체가 연질이거나 함수율이 높은 *Plocamium telfairiae* (7.47 %), *Cladophora wrightiana* (11.72 %) 등은 상대적으로 그 값이 크게 낮았다 (Table 3, Fig. 3). 조체가 혁질인 *Ecklonia cava*와 *Prionitis angusta*는 전 출현종 가운데 중간 값 정도의 건습중량비를 나타내었으며 (Table 3), 따라서 건중량 비교시에도 상대적인 급격한 변화는 눈에 띄지 않았다 (Fig. 3의 방형구-C와 D). 결과적으로, 단위면적당 (50x70 cm²) 총건중량은 유절석회조와 대형갈조 *E. cava*에 의해 주도되어 방형구-D

Table 2. Occurrence of benthic marine algae collected around Seoguipo city, Chejudo Island for an application of underwater photogrammetry (+: present, -: not present)

Species \ Quadrat	A	B	C	D
Macroalgae distinguished easily with the naked eye				
<i>Plocamium telfairiae</i>	+	+	+	+
<i>Cladophora wrightiana</i>	+	+	-	+
<i>Prionitis angusta</i>	+	+	-	+
<i>Ecklonia cava</i>	-	+	+	+
Coralline algae				
<i>Amphiloa</i> spp.	+	+	+	+
<i>Marginisporum crassissimum</i>	+	+	-	+
Melobesioideae				
<i>Lithothamnion cystocarpideum</i>	+	+	-	+
Other Melobesioideae	+	-	+	-
Red algae distinguished not well with the naked eye				
<i>Herpochondria corallinae</i>	+	+	-	+
<i>Polysiphonia atlantica</i>	+	-	-	+
<i>Griffithsia heteroclada</i>	-	+	-	+
<i>Griffithsia venusta</i>	-	+	-	+
<i>Acrosorium uncinatum</i>	-	+	-	+
<i>Dasysiphonia chejuensis</i>	-	+	-	+
<i>ErythroGLOSSUM minimum</i>	-	+	-	+
<i>Antithamnion nipponicum</i>	-	-	-	+
<i>Cruiopsis japonica</i>	-	-	-	+
Total species	9	13	4	16

Table 3. Biomass data of benthic marine(DW: dry-weight, WW: wet-weight) algae collected in four quadrats (50 x 70 cm²) around Seoguipo city, Chejudo Island (DW: dry-weight, WW: wet-weight)

Species / Quadrat	Wet-weight (g)				Dry-weight (g)				DW/WW (%)				Avr*
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
<i>Plocamium telfairiae</i>	30.3	43.0	13.0	62.8	2.1	3.4	0.9	5.1	6.93	7.91	6.92	8.12	7.47
<i>Cladophora wrightiana</i>	145.2	217.7	-	110.3	16.4	27.7	-	12.3	11.29	12.72	-	11.15	11.72
<i>Ecklonia cava</i>	-	7.7	121.7	295.6	-	1.3	23.3	51.1	-	16.88	19.15	17.29	17.77
<i>Prionitis angusta</i>	34.3	1.6	-	7.8	9.0	0.3	-	1.8	26.24	18.75	-	23.08	22.69
Coralline algae	57.0	19.5	2.8	131.6	24.5	7.2	1.1	58.5	42.98	36.92	39.29	44.45	40.91
Total	266.8	289.5	137.5	608.1	52.0	39.9	25.3	128.8					

* Average value divided quadrat numbers only that the population occurred

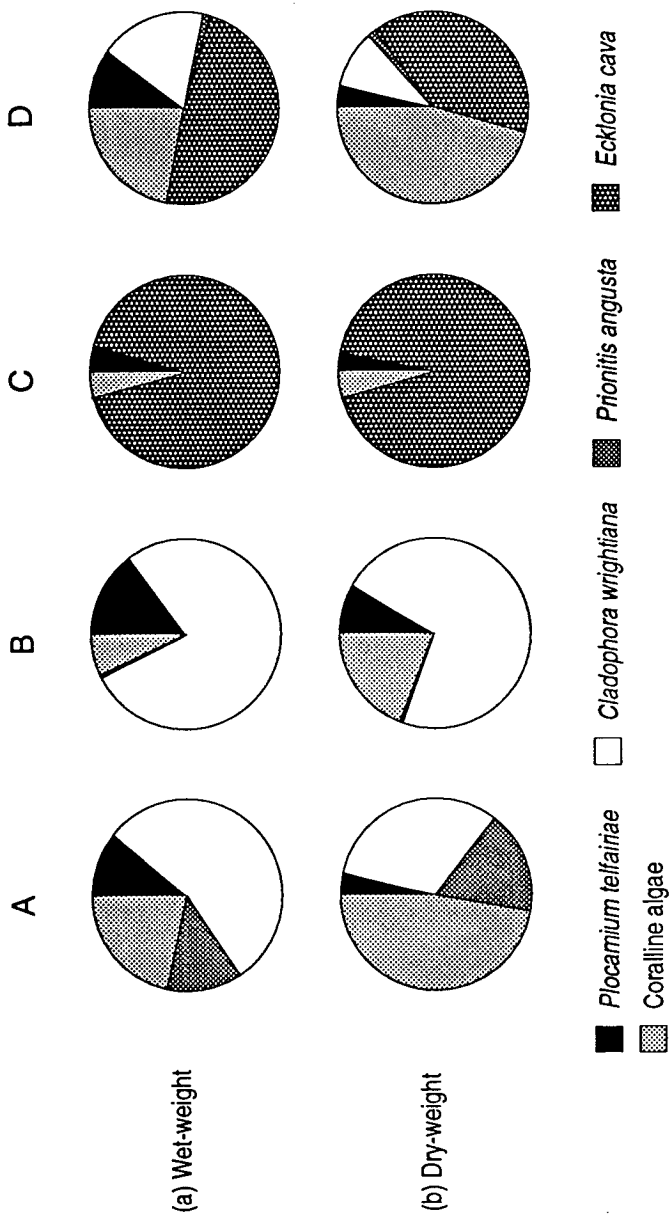


Fig. 3. Comparisons of biomass composition of each species in four quadrats A~D

에서 128.8 g으로 가장 높았으며, 유절석회조가 많이 출현한 방형구-A의 건중량 (52.0 g)이 습중량 비교시에 반하여 방형구-B (39.9 g)보다 오히려 높아졌다 (Table 3).

3.2. 수중촬영법에 의한 분석

각 방형구의 수중사진을 Fig. 4와 같이 화상처리하여 얻은 피도 및 빈도 자료와 수확법에 의한 건중량 자료를 변수로 하여, 이들 변수의 조합에 따라 산출된 중요값들이 Table 4에 수록되어 있다. 여기서 우선 고려해야 할 사항은 직립하는 대형갈조 *Ecklonia cava*가 출현한 방형구-D의 경우로서, 본 연구에서는 *E. cava*의 피도 19.9 % (181,052 pixel/911,138 pixel)를 기저면의 피도 100 %에 가산하여 전체 피도를 119.9 %로 간주하였으며 (Fig. 4), 이는 중요값 산출시에도 100 %로 환산치 않고 그대로 적용하였다 (Table 4). 또한 pixel의 계수에 의해 피도를 환산할때 전체 pixel 수가 Fig. 4c의 우측에서 볼 수 있듯이 기저면 산출시 (881,971 pixel, Fig. 4b)와 canopy plant 산출시 (911,138 pixel, Fig. 4a) 동일하지 않은 것은 식생운곽을 스케치할때 슬라이드 필름이 투영된 크기의 차이에서 비롯된 것이며, 방형구 전체 면적에 대한 상대값 (즉 피도)에서는 차이를 갖지 않음을 지적해 둔다. 아울러, 상대빈도 산출시에도 canopy plant인 *E. cava*의 빈도 (12)는 기저면 출현종들의 빈도 합 (102)에 대한 비율 (11.7 %)로 환산되어 기저면 상대빈도 합 (100 %)에 가산하였다 (Table 4).

네 방형구의 종별 중요값들을 단순히 수중촬영법에 의존한 경우 (무절석회조와 공적을 포함)로 살펴보면 (Fig. 5a, Table 4), 방형구-A, B, D의 공적은 20~21 % 정도로 거의 유사하나, 방형구-C의 공적은 해면동물의 우점과 함께

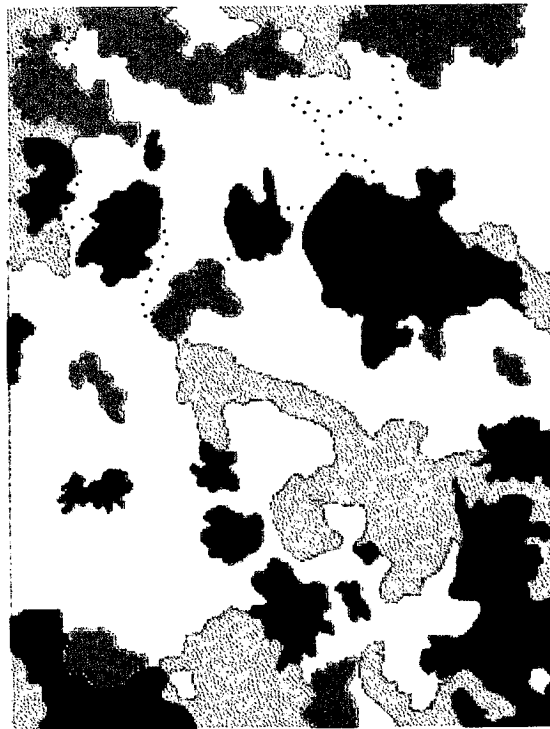


(a)



(b)

Fig. 4. An example (St. D) of underwater photogrammetry: (a) photograph before removing canopy plant, (b) photograph after removing the overlap-plant, (c) vegetation map and the relative coverage counted by image processing



(c)







	<i>Plocamium telfairiae</i> (86,020 pixels)
	<i>Cladophora wrightiana</i> (178,754 pixels)
	<i>Prionitis angusta</i> (2,021 pixels)
	Coralline algae (461,976 pixels)
	bare ground (153,020 pixels)
	Total (881,971 pixels)
	<i>Ecklonia cava</i> - overlap (181,052 pixels of 911,138 pixels)

Fig.4. (continued)

Table 4. Macroalgal vegetation in four quadrats (50 x 70 cm²) around Seoguipo city, Chejudo Island (F: frequency, C: coverage, DW: dry-weight, RF: relative frequency, RC: relative coverage, RDW: relative dry-weight, IV: important value, ? : data could not be obtained)

St. Species	Raw data			According to Melobesioideae and bare ground							
	F	C	DW	Including			Excluding				
				RF	RC	IV	RF	RC	RDW	IV	IV
(≤35)	(%)	(g)	(RF+RC)/2	(RF+RC)/2	(RF+RC)/2	(RF+RC)/2	(RF+RC)/2	(RF+RC)/2	(RF+RC)/2	(RF+RC)/2	(RF+RC)/2
A <i>Plocamium telfairiae</i>	13	6.6	2.1	11.8	6.6	9.2	17.8	9.1	4.0	13.5	10.3
<i>Cladophora wrightiana</i>	33	46.8	16.4	30.0	46.8	38.4	45.2	64.6	31.5	54.9	47.1
<i>Prionitis angusta</i>	3	0.7	9.0	2.7	0.7	1.7	4.1	1.0	17.3	2.5	7.5
Coralline algae	24	18.4	24.5	21.8	18.4	20.1	32.9	25.4	47.1	29.1	35.1
Melobesioideae	14	6.8	?	12.7	6.8	9.8	-	-	?	-	-
bare ground	23	20.7	?	20.9	20.7	20.8	-	-	?	-	-
Total	110	100.0	52.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
B <i>Plocamium telfairiae</i>	23	16.1	3.4	20.5	16.1	18.3	27.7	19.3	8.5	23.5	18.5
<i>Cladophora wrightiana</i>	34	49.1	27.7	30.4	49.1	39.7	41.0	58.9	69.4	50.0	56.4
<i>Ecklonia cava</i>	2	0.4	1.3	1.8	0.4	1.1	2.4	0.5	3.3	1.4	2.0
<i>Prionitis angusta</i>	1	0.2	0.3	0.9	0.2	0.5	1.2	0.2	0.8	0.7	0.7
Coralline algae	23	17.5	7.2	20.5	17.5	19.0	27.7	21.0	18.0	24.4	22.3
bare ground	29	16.7	?	25.9	16.7	21.3	-	-	?	-	-
Total	112	100.0	39.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
C <i>Plocamium telfairiae</i>	4	0.9	0.9	6.2	0.9	3.5	28.6	12.5	3.6	20.5	14.9
<i>Ecklonia cava</i>	6	5.2	23.3	9.2	5.2	7.2	42.9	72.2	92.1	57.5	69.1
Coralline algae	4	1.1	1.1	6.2	1.1	3.6	28.6	15.3	4.3	21.9	16.1
Melobesioideae	16	9.4	?	24.6	9.4	17.0	-	-	?	-	-
bare ground	35	83.4	?	53.8	83.4	68.6	-	-	?	-	-
Total	65	100.0	25.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
D <i>Plocamium telfairiae</i>	16	9.7	5.1	15.7	9.7	12.7	17.8	9.5	4.0	13.6	10.4
<i>Cladophora wrightiana</i>	26	20.3	12.3	25.5	20.3	22.9	28.9	19.8	9.5	24.4	19.4
<i>Ecklonia cava</i> (overlap)*	12	19.9	51.1	11.7	19.9	15.8	13.3	19.4	39.7	16.4	24.1
<i>Prionitis angusta</i>	1	0.2	1.8	1.0	0.2	0.6	1.1	0.2	1.4	0.6	0.9
Coralline algae	35	52.4	58.5	34.3	52.4	43.4	38.9	51.1	45.4	45.0	45.1
bare ground	24	17.4	?	23.5	17.4	20.4	-	-	?	-	-
Total	114	119.9	128.8	111.7	119.9	115.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

* overlap value of canopy plant calculated separately and added (See Materials and Methods)

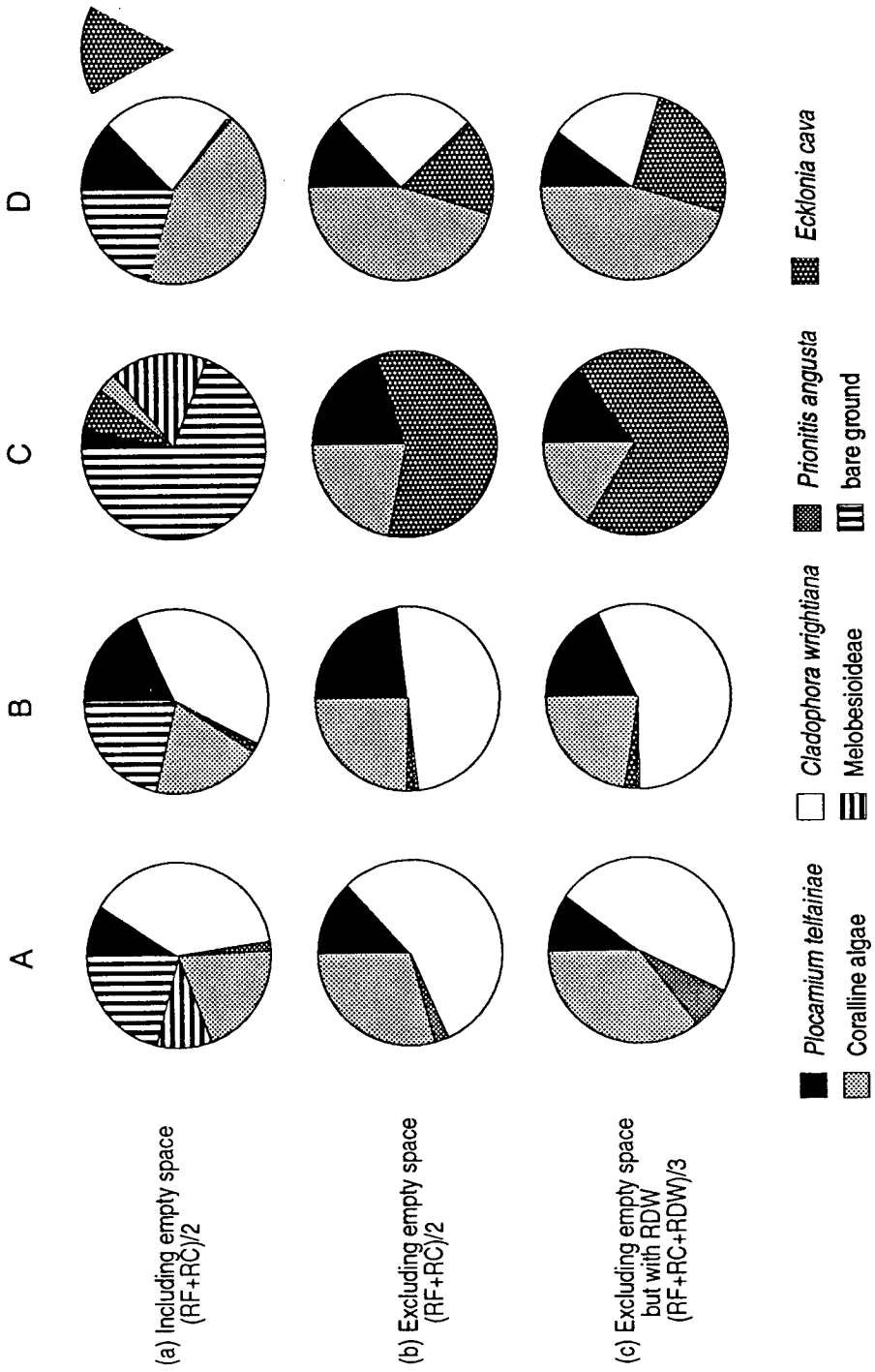


Fig. 5. Comparisons of important value of each species in four quadrats A~D

68.6 %에 달하였다. 방형구별 우점종 또한 방형구- A ,B, D에서 공히 *Cladophora wrightiana* (22.9~38.4 %), 유절석회조 (19.0~43.4 %) 및 *Plocamium telfairiae* (9.2~18.3 %)로 대별됨에 반하여, 방형구-C는 무절석회조 (17.0 %)가 다소 출현할뿐 매우 빈약한 식생을 보였다. 한편, canopy plant 인 *Ecklonia cava* (15.8 %)가 출현하는 방형구-D의 저층 식생은 유절석회조가 다소 우점하는 경향을 보일뿐 그 식생은 방형구-A, B에 비하여 거의 손색이 없었다.

무절석회조와 공적을 제외하고 피도와 빈도 값만으로 중요값을 산출한 경우를 살펴보면 (Fig.5b, Table 4), 우점종의 배열은 전술한 경우와 동일하게 나타났다. 그러나, 한가지 극단적인 예를 들자면, 공적과 무절석회조가 대다수 (85.6 %)를 차지하는 방형구-C의 경우 방형구 전체 면적에 대하여 7.2 %의 중요값을 갖는 *Ecklonia cava*가 이들 공간을 제외하고 산출되면 그 중요값이 57.5 %로 무려 8 배 가량 큰 값을 갖게 된다. 즉 Fig. 5a에서 볼 수 있는 방형구-C의 무절석회조와 공적의 지분을 Fig. 5b와 같이 출현종들이 같은 비율로 나누어 증가하게 되는 것이다. 그 결과 만일 다른 방형구와의 식생 비교시 이 값을 그대로 적용시킨다면, 이 방형구의 종별 크기는 실제 훨씬 큰 값을 갖는 다른 방형구의 개체군들에 비하여 과대평가될 소지가 크다.

중요값 계산에 상대건량을 포함시킨 경우에 있어서도 실증량의 자료를 가산함으로써 다소 그 값의 변화는 보여지나(Fig. 5c, Table 4), 중량측정이 불가능한 관계로 이들 공적과 무절석회조의 공간이 반영되지 못하여 Fig. 5b와 유사한 양상을 보였다.

결과적으로, 방형구별 우점종의 선정에만 목적을 둔 경우를 제외하고는 실제 오히려 공적이나 무절석회조의 공간을 고려한 경우가 상대적으로 더욱 타

당성을 나타내며, 일목요연하게 식생을 비교할 수 있는 것으로 평가된다.

제 4 절 고 찰

수중촬영법을 이용한 생물상 분석은 현장에서의 직접 관찰시와 마찬가지로 일정면적 내의 출현종별 피도나 빈도를 산출하기 위한 것이며 (Littler, 1971; Littler and Littler, 1985), 산출된 값을 이용한 생태학적인 수치분석 방법은 고전적인 연구방법과 동일하다 (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974; Barbour *et al.*, 1980; Kershaw and Looney, 1985). 따라서, 촬영된 사진을 실험실 내에서 안정된 가운데 면밀히 분석할 수 있는 수중촬영법은 과학잡수의 응용 방편의 하나로서 연안 생물학자들에게 많은 혜택을 줄 수 있다 (Johnston *et al.*, 1969; Littler, 1971; Woods and Lythgoe, 1971; Laxton and Stablum, 1974; Littler and Littler, 1985).

식물의 일차 생산력을 좌우하는 광합성 활동은 식물 개체의 표면적과 관련된 함수로서 (Biederman-Thorson, 1980), 이를 알기 위해서는 식물 개체의 중량을 측정하기 보다는 식생의 면적을 측정하는 것이 더욱 합당하다 (Littler, 1971). 따라서 식물군락의 평가에 있어서 피도의 측정은 매우 중요한 의미를 가지며, 해조류의 경우 또한 이와 대동소이하다.

종별 피도의 산출방법으로서는 Braun-Blanquet's cover-abundance scale 등을 비롯하여 (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974; Barbour *et al.*, 1980; Kershaw and Looney, 1985), 식생을 스케치한 종이를 종별로 오려내어 그 무게의 상대값으로 측정하는 방법 등이 적용되어 왔다 (Laxton and Stablum, 1974). 본 연구에서는 전산기를 이용한 화상처리를 도입하여 더욱 손쉽고 정확하게 그 값을 얻을 수 있었으며, 이 과정에서 종별로 채색된 식생모식도는 천

연색으로 출력되어 식생의 상관 분석시 일목요연한 비교 자료로 이용될 수 있었다 (Fig. 4).

한편, 피도 산출시 육상환경과 달리 수중환경 하에서 한 가지 더 고려해야 할 사항은 물의 유동에 따른 빛의 산란과 식물의 유동으로서, 이는 결국 canopy plant 하의 저층 식생에 대한 평가 문제를 제기시킨다. Canopy plant의 평가는 육상식물의 경우에도 어려움이 뒤따라 식생촬영을 통한 사진분석이 시도되거나, 기저면적 (basal area) 또는 흉부직경 (diameter at breast height)의 측정으로 대체되고 있다 (Barbour *et al.*, 1980). 그러나, 해조류와 같이 대부분 크기가 작은 식물의 경우에는 줄기의 직경을 재거나 개체수 (밀도: density)를 헤아린다는 것은 거의 불가능하며, 이러한 관점에서 Chung *et al.* (1991), 윤과 부 (1991) 등은 현장에서 채집된 방형구 내의 시료를 실험실에서 종별로 펼쳐 피도값을 산출하기도 하였다.

Canopy plant에 의한 피도산출의 어려움은 수중촬영법의 적용시에도 문제가 되어 저층 식생의 촬영을 어렵게 한다. 그리하여 수중촬영법은 촬영과 분석이 용이한 Coral reef의 저서생물상이나 무절석회조류의 조사시 더욱 폭넓게 이용되고 있다 (Littler, 1971; Laxton and Stablum, 1974). 본 연구에서는 이러한 점을 보완하여, 대형조류가 출현한 방형구의 경우 먼저 그대로 식생을 촬영한 후 그 개체를 떼어내고 동일 면적을 재촬영하였으며, 실내분석시 canopy plant의 피도값은 저층 식생의 값 (100 %)에 별도로 가산하였다. 따라서 방형구내 전 출현종의 피도합은 canopy plant의 출현에 따라 때론 100 %를 능가할 수 있으며, 이러한 방법이 해조류의 군락 평가에 있어 더욱 타당하리라 생각된다. 만일 조사목적상 주기적 관찰이 요구될 경우에는 우선 식생을 그대로 촬영한 후 canopy plant를 방형구 좌우측으로 번갈아 몰아 놓고 촬영을 하는 방법

도 고려해 볼 수 있을 것이다.

아울러, 수중촬영법의 활용시에는 면적의 정확한 측정이 가능하므로, 종별 피도나 빈도 (중요값도 마찬가지로) 산출시 공적의 지분도 포함시킨다면 다른 방형구나 지역의 군집과 서로 대등한 조건에서 비교가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 중요값 산출시 보편적으로 이용되는 상대피도는 출현종 전체의 피도 합에 대한 특정종의 피도의 백분율로 환산되는데 (Barbour *et al.*, 1980), 이에 따르면 출현종들의 절대피도가 아주 작은 경우 (공적이 큰 경우)에는 종별 상대값이 가중되어 다른 방형구와의 식생 비교시 과대평가 되기 십상이다. 따라서, 공적과 canopy plant를 모두 포함한 상태의 피도값을 중요값 산출시에도 그대로 적용하는 것이 식생분석에 오히려 적합한 것으로 판단된다.

수중촬영법을 활용한 조사는 비록 피도, 빈도 등의 측정을 통하여 정량적으로 이루어지기는 하나 실중량 자료를 수반하지 못하는 단점이 존재한다. 그러나, 수확법에 의한 분석시에는 앞서 제시되었듯이 식생이 존재하지 않는 공간이나 중량측정이 거의 불가능한 무절석회조류의 공간, 또는 저서동물이 차지하는 공간 등이 무시되어 상대값을 이용한 일정 공간의 식생 판단시 자칫 과대평가될 수 있는 소지가 있음을 지적하고자 한다. 또한 일정공간의 석회조류를 완전히 채집한다는 것은 거의 불가능하며, 탈회시키지 않은 석회조류의 무거운 중량이 일정 조사지의 식생을 오판하게 만들 가능성도 무시할 수는 없다. 이러한 관점에서, 조사지 주변에서의 보조채집에 의해서도 획득 가능한 종별 건습 중량비 (Table 3 참조)의 자료들은 통계적 유의수준을 충족시킬 정도의 축적만 이루어진다면, 폭넓은 지역의 조사나 식생의 제거가 곤란한 주기적 관찰 조사시 종별 피도값에 가중치로 적용하여 실중량을 간접적으로 평가할 수도 있을 것으로 기대된다.

수중촬영법의 적용은 수중시계 (underwater visibility)가 충분히 확보되었을때에만 가능하며, 만약 실수로 사진의 해상도가 떨어지는 경우에는 달리 식생을 분석할 방법이 없다. 따라서, 이 방법을 활용할 때에는 조사전 철저한 준비와 점검이 요구되며, 촬영시 노출의 증감하에 반드시 반복촬영을 해야 하고, 바닥의 부유물질이 일어나지 않도록 세심한 주의가 필요하다. Transect line에 의한 수직분포 조사시 바닥으로부터 조사를 시작하여 수면으로 상승하는 것이 바람직하다는 점도 아울러 지적해둔다.

끝으로, 본 연구결과와 그간의 다른 연구자들의 평가를 종합해 볼때 수중 촬영법의 장점은 1) 현장조사에 소요되는 시간을 최소화할 수 있으며, 따라서 2) 보다 넓은 지역을 조사할 수 있고 3) 군집의 순간적 분포배열(크기와 빈도의 정확한 자료)을 얻을 수 있으며, 4) 조사시기를 달리한 반복 촬영을 통하여 상대적인 생장 자료를 얻을 수 있다는 점 등으로 축약할 수 있다 (Laxton and Stablum, 1974; Littler and Littler, 1985).

적 요

해조류의 생물량 평가를 위한 정량적인 방법의 하나로서 수중촬영법의 효용성을 야외조사를 통하여 방법론적으로 검토하여 보았다. 본 연구를 위하여 일정 조사면적의 촬영을 목적으로 수중촬영용 방형구틀이 설계 제작되었으며, 이를 이용하여 현장에서 촬영된 슬라이드 필름을 통하여 방형구 식생의 종별 윤곽선들을 스케치하였다. 윤곽선은 스캐너로 컴퓨터에 입력되어 천연색의 식생모식도가 작성되었으며, 이를 바탕으로 화상처리에 의한 피도 산출을 시도하였다. 화상처리를 도입한 본 수중촬영법은 해조류의 생물량 조사시 보다 간편하고 효율적인 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- 고철환, 성낙길. 1983. 저서식물의 군집구조와 생산성 (죽도, 동해안) I. 해조류의 식생과 환경. 식물학회지. 26: 119-130.
- 김영환. 1983. 한국 조간대 해조군집의 생태학적 연구. 서울대 박사학위 논문. 175pp.
- 윤미영, 부성민. 1991. 서해 중부 삼시도의 조간대 해산식물의 종조성과 수직 분포. 조류학회지. 145-156.
- Barbour, M.C., J.H. Burk and W.D. Pitts. 1980. Terrestrial plant ecology. Benjamin/Cummings, London. 604 pp.
- Bieder-Thorson, M.A. 1980. Physiological plant ecology. Translated from "Ökologie der Pflanzen (Larcher, W.)". Springer-Verlag, Berlin. 303 pp.
- Chung, H., H.-J. Lee and I.K. Lee. 1991. Vertical distribution of marine algae on a Gallam rocky shore of the mid-east coast of Korea. *Korean J. Phycol.* 6: 55-67.
- Drew, E.A. 1971. Botany, In: J.D. Woods and J.N. Lythgoe (eds.). Underwater science, An introduction to experiments by divers. Oxford University Press, London. 330 pp.
- Johnston, C.S., I.A. Morrison and K. MacLachlan. 1969. A photographic method for recording the underwater distribution of marine benthic organisms. *J. Ecol.* 57: 453-459.

- Kershaw, K.A. and J.H.H. Looney. 1985. Quantitative and dynamic plant ecology. Edward Arnold, London. 282 pp.
- Laxton, J.H. and W.J. Stablum. 1974. Sampling design for quantitative estimation of sedentary organisms of coral reefs. *Biol. J. Linn. Soc.* 6: 1-18.
- Lewbel, G.S., A. Wolfson, T. Gerrodette, W.H. Lippincott, J.L. Wilson and M.M. Littler. 1981. Shallow-water benthic communities on California's outer continental shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 4: 159-168.
- Littler, M.M. 1971. Standing stock measurements of crustose coralline algae (Rhodophyta) and other saxicolous organisms. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 6: 91-99.
- Littler, M.M. and D.S. Littler. 1985. Nondestructive sampling. In: Littler, M.M. and D.S. Littler (eds.). Handbook of phycological methods. Ecological field methods: macroalgae. Chapter 8. Cambridge University Press, Cambridge. 617 pp.
- Lundälv, T.L. 1976. A stereophotographic method for quantitative studies on rocky-bottom biocoenoses. In: Drew, E.A., J.N. Lythgoe and J.D. Woods (eds.). Underwater Research. Academic Press, London. 430 pp.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley, New York. 547 pp.
- NOAA, 1979. NOAA diving manual. Diving for science and technology. Miller, J.W. (ed.). National Oceanic and Atmospheric Administration,

U.S. Department of Commerce.

Ray, B. 1977. Advanced underwater television and photographic systems.
In: Hiscock, K. and A.D. Baume (eds.). Progress in underwater science.
Vol. 2. (New Science) of the report of the Underwater Association.
Pentech Press, London. 134 pp.

Woods, J.D. and J.N. Lythgoe. 1971. Underwater science - An introduction
to experiments by divers. London and New York. Oxford Univ. Press.
330pp.

제 3 장 야외조사시 잠수도구를 활용한 수중채수와 여과방법

Methodological Studies on Underwater Collection and Filtration of Water Sample Using SCUBA Diving Tools in Fieldwork

제 1 절 서론

우리나라는 근래 경제성장 및 급속한 인구증가와 더불어 생활공간 부족과 부존자원 결핍 등으로 인해 해양개발의 중요성이 대두되고 있는 반면(제와 유, 1990), 오염원의 증가로 인한 자연환경의 보전이 또한 심각한 문제점으로 부각되고 있다. 이러한 과정에서 생물학에 근거를 둔 연안 또는 호소의 수질환경 분석에 과학적인 관심이 집중되고 있으며, 이에 발맞춰 과학잠수 (scientific diving) 기술의 필요성이 증대되고 있다.

일찌기 해양과학 분야의 선도국임을 자처하는 프랑스, 미국, 일본 등에서는 잠수기술의 개발에 지속적인 투자가 이루어져 왔으며, 이를 통한 방법론적인 연구결과들은 실제 현장조사에 효과적으로 이용되고 있다 (Christie, 1976; NOAA, 1979; Koop, 1986; 제와 유, 1990). 그러나 과학잠수의 가치인식이 제대로 정립되어 있지 않은 우리나라에서는 잠수가 거의 대부분 단순한 생물 채집도구로만 이용되고 있는 실정이다.

이러한 점들을 감안하여, 본 연구에서는 과학잠수를 통한 야외조사 방법의 효율적인 개선을 목적으로, 스쿠바 다이빙 장비를 이용한 수중에서의 채수법과 채수된 시료의 가압식 여과법을 고안하여 보았다. 이와같은 방법론적인 연구들의 축적과 개선은 기초 환경자료의 획득에 직접적으로 유용할 뿐만 아니라, 더 나아가 해양과학 분야에서 과학잠수의 효용성을 새로이 인식시키고 그 위상을 재정립할 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

제 2절 Air-blowgun을 이용한 수중채수법

수질의 수직분포 형태나 저서생물의 서식처 주변 미소환경을 파악하기 위하여 수중에서의 직접 채수가 필요한 경우가 흔히 발생한다. 일찌기 NOAA (1979)등은 주사기를 이용한 채수 방법을 소개한 바 있으며, 본 연구에서는 이러한 고전적인 방법에 현대적인 잠수장비의 하나인 air-blowgun을 이용하여 그 방법을 더욱 간단하고 편리하게 개선코자 하였다.

2.1. 장치의 구성 및 사용법

채수에 필요한 도구는 Table 1과 같다. Air-blowgun은 고무 재질의 gun 뭉치를 손가락으로 살짝 꺾어주면 공기가 방출되고, 놓으면 방출이 정지되는 간단한 구조로 되어 있다. 채수병은 압착에 비교적 강하고 병목이 좁은 Nalgene HDPE bottle을 사용하였다.

호흡기 (regulator)의 1단계 (1st stage)에 연결된 여벌의 저압호스 (LP hose)에 air-blowgun을 접속시킨다. 입수전 채수병에 표층해수를 가득 채워 수중에서의 병의 압착을 방지한다. 입수하여 채수 지점에 달하면 채수병의 마개를 열고 병을 거꾸로 세운뒤 air-blowgun을 병 입구에 대고 공기를 불어 넣는다 (Fig. 1a). 공기가 가득 차면 병을 뒤집어 물이 완전히 들어 찰 때까지 기다린다 (Fig. 1b). 병 세척을 위하여 이 과정을 1~2 회 반복한 후 마지막으로 병을 뒤집어 채수한뒤 마개를 닫는다.

Table 1. Equipments required for underwater collection of water sample using SCUBA diving tools

Equipment	Description
Air-blowgun	
L.P hose	fit to regulator
Sample bottles	1L Nalgene HDPE (narrow-mouth)
SCUBA	regulator , air-cylinder

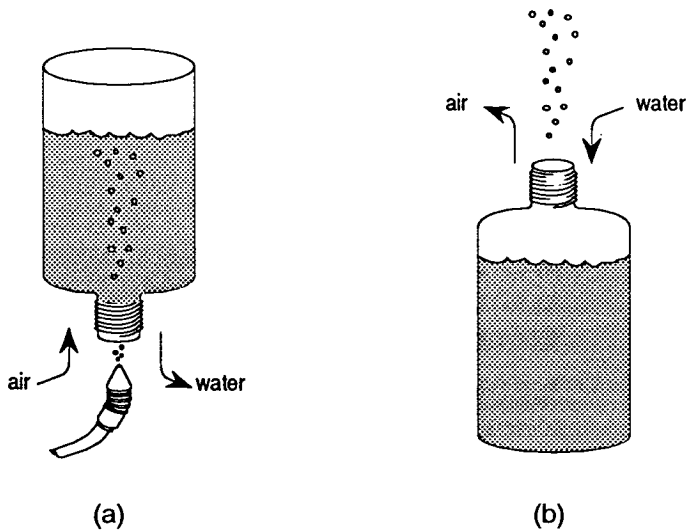


Fig. 1. Underwater collection of water sample using air-blowgun :
(a) bottle cleaning, (b) sample collecting procedures

2.2. 방법론적인 검토

Air-blowgun을 이용한 본 수중채수법은 NOAA (1979)의 고전적인 채수법에 비하여 사용법이 매우 간편하고 채수시간이 짧으며, 채수를 위한 별도의 장치도 필요치 않다. 압축공기통과 호흡기 등 스쿠바 장비를 제외하고, 실제 채수에 이용되는 장치 (air-blowgun과 저압호스)의 가격은 50,000 원 정도로서 매우 저렴하다.

수중에서의 채수작업은 육상에서와 같이 순조로이 진행되지 못하므로 입수전 충분한 계획과 준비가 요구된다. 작업순서의 정립 또한 그러하며, 채수병들을 어떻게 정돈할 것인가를 우선 고려하여야 한다. NOAA(1979)는 나무상자 (칸막이가 되어 있는 음료수 상자와 같은) 위에 고무벨트를 붙여 채수병들을 고정하는 바 있으며, 한국해양연구소 (1993)는 채수병의 마개 하부를 나이론 줄로 작은 loop를 만들어 순서대로 채수병을 꿰어 사용하였다.

한편, 중금속과 같은 미량원소 조사에 본 수중채수법을 활용할 시에는 입수전 채수병에 증류수를 채워두면 적합할 것이다. 이때 채수병에 공기방울이 남아 있으면 입수도중 압착에 의해 물이 새어들어갈 염려가 있으므로 방울이 생기지 않도록 주의하여야 한다.

본 연구자들이 수 차례의 실질적인 현장조사에서 적용시켜본 수중채수법의 장점은 1) 조사지점의 미소환경 자료 획득에 적합하며, 2) 스쿠바 장비에 부착되어 간편하며, 3) 사용법이 간단하고 3) 조사경비가 저렴하다는 점 등으로 축약할 수 있다 (한국해양연구소, 1993).

제 3절 압축공기통을 이용한 가압식 여과법

채수된 시료의 영양염이나 식물색소량 농도의 분석을 위하여서는 현장에서 일차 여과가 필수적이다. 일반적으로 시료의 여과에는 진공펌프 (vacuum pump)가 이용되고 있으나, vacuum trap을 사용하여야 하므로 여액 채취가 불편하다. 또한, 시료의 역류가 발생할 수 있으며 계속 펌핑하여야 하는 불편함이 있다. 이러한 점을 고려하여, 본 연구에서는 압축공기통의 공기압을 이용한 가압식 여과법을 고안하여 보았다.

3.1. 장치의 구성 및 사용법

여과에 필요한 도구는 Table 2에 수록되어 있다 (Fig. 2a). 여기서, HDPE병을 활용한 여과기 부분의 설계는 Cho *et al.* (unpublished paper)에서 응용하였다 (Fig. 2b).

호흡기의 1 단계에 연결된 여벌의 저압호스에 압력조절기 (pressure control knob), 개폐기 및 여과기를 차례로 연결하였으며, 개폐기와 여과기 간의 연결은 one touch fitting으로 조립이 간편하도록 제작하였다.

그 사용법은 매우 간단하여, 우선 채수된 시료병의 마개를 열어 여과기를 돌려 끼운뒤 가압튜브를 연결하고 시료병을 뒤집은 후 개폐기를 열면 여과가 된다.

3.2. 방법론적인 검토

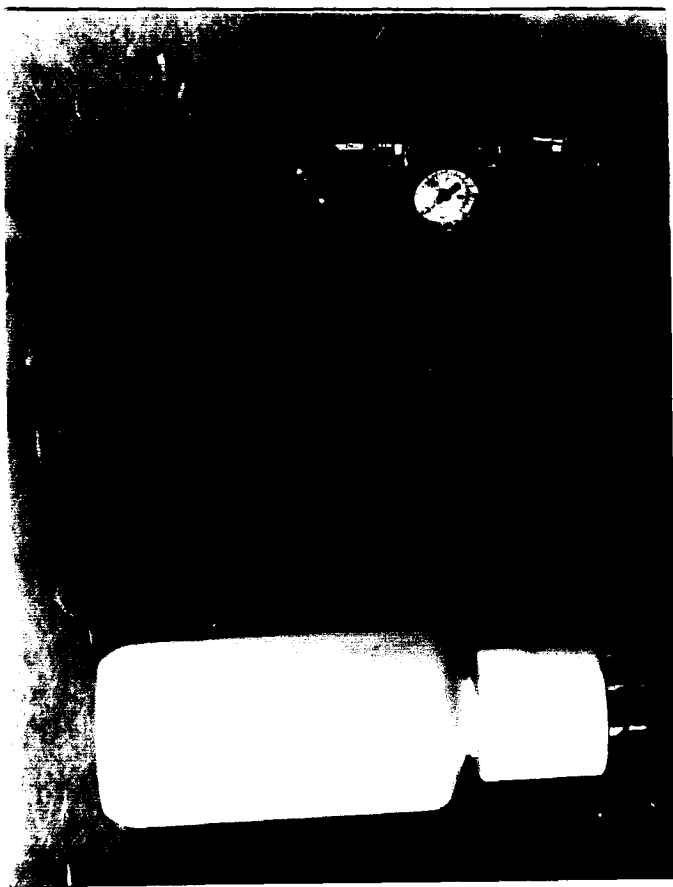
압축공기통을 이용한 가압식 여과방법과 관련하여, Koop (1986)는 여과

Table 2. Equipments required for pressure filtration of water sample using SCUBA diving tools

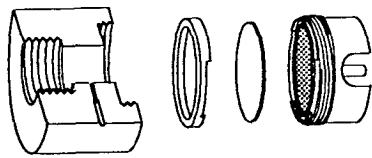
Equipment	Description
Pressure contro knob	
Stop valve	
Airosol Filter Holder	NUCLEPORE 47 mm
Adaptor	teflon
Tubing	flexible (4 mm in diameter)
L.P hose	fit to regulator
Sample bottles	1L Nalgene HDPE (narrow-mouth)
SCUBA	regulator , air-cylinder

기의 funnel 꼭대기에 저압 호스를 연결하는 방법을 제시한 바 있다. 그러나, 본 연구자들에 의하여 개선된 여과장치는 채수병을 직접 여과기 어댑터에 연결하여 사용하므로, 시료를 여과기 funnel에 옮겨 담아야 하는 수고와 이 과정에서 수반되는 오염의 가능성을 줄일 수 있다. 또한 일정 압력이 지속적으로 유지되므로 시료의 역류방지를 위한 check valve, trap도 필요치 않다. 가압식여과법은 동일한 압력의 흡입식여과법에 비하여 그 여과속도가 두 배 이상 빠르다 (Cho *et al.*, unpublished paper).

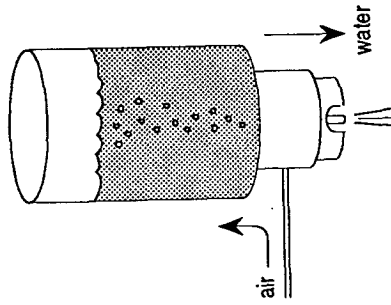
한편, 잠수에 일반적으로 사용되는 80 cu.ft. (약 10 L) 알미늄 공기통이 다루기 불편하다면 pony air tank (4 L 또는 6 L)와 같이 소형의 것을 사용하면



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Pressure filtration of water sample using air-cylinder : (a) overview of total apparatus, (b) scheme of squeezer, (c) principle of filtration

더욱 간편하다. 참고적으로, 2,000 psi 압력의 pony air tank (4 L)를 사용하여 여과할 수 있는 시료병 (1 L)의 수를 계산하여 보면 다음과 같다. 여기서, 여과압은 5 psi로 설정하였으며, 사용 기압에는 대기압 (14.7 psi)을 가산하였다.

$$\frac{4 \text{ L} \times 2,000 \text{ psi}}{1 \text{ L} \times (14.7 \text{ psi} + 5 \text{ psi})} = 406.1 \text{ bottles}$$

이와같이 시료병 교체시의 공기 손실만 최소화한다면, 충전된 pony air tank 하나로 1L 시료병을 약 400 개 가량 여과 가능하다. 그러나, 압축공기통의 선정에는 여과할 시료의 양과 사용중의 공기손실량을 충분히 고려하여야 할 것이다.

본 연구자들이 수 차례의 현장조사에 적용시켜본 압축공기통을 이용한 가압식 여과법의 장점은 1) 전원공급이 필요치 않아 야외조사에 적합하고, 2) 조작이 간편하며, 3) 여과 소요시간이 짧고, 4) 여과시 공기 손실이 거의 없어 사용시간이 길다는 점 등으로 축약할 수 있다 (한국해양연구소, 1992, 1993).

적 요

일반적으로 널리 사용되고 있는 잠수도구들을 활용하여 조사지에서의 간편한 수중채수법과 여과법을 고안하여 보았다. 압축공기통의 공기압을 이용한 이 두 가지 방법들은 연안환경 조사 시 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- 제종길, 유시용. 1990. 국내 잠수기술 현황과 발전에 관한 연구. 해양정책연구 5: 427-452.
- 한국해양연구소 1992. 남극환경 및 자원탐사 기술. 632pp.
- 한국해양연구소 1993. 남극환경 및 자원탐사 기술 (II). [in press]
- Cho, S.R., S.G. Park and S.H. Kang. Simplified pressure filtering system. [unpublished paper]
- Christie, N.D. 1976. The efficiency and effectiveness of a diver-operated suction sampler on a homogeneous macrofauna. *Estuarine and Coastal Marine Science* 4: 687-693.
- Koop, K. 1986. A simple pressure filtration apparatus for field use. *Hydrobiologia* 133: 275-276.
- NOAA, 1979. NOAA diving manual. Diving for science and technology. Miller, J.W. (ed.). National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce.
- US Navy. 1985. Air Diving. US Navy diving manual (NAVSEA 0994-LP-001-9010) Vol. 1. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.