

가막만내 자연발생한 모자반군락의 기능적 특성과
생물생산량 추정

Functional properties and estimation of biological
production of *Sargassum* beds in Gamak Bay

전남대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “가막만내 자연발생한 모자반균락의 기능적 특성과 생물생산량 추정에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010 년 9 월 19 일

주관연구기관명 : 전 남 대 학 교

주관연구책임자 : 최 상 덕

연 구 원 : 신종암, 김철중

김용표, 박순호

조주현, 김호진

한종석, 강윤호

윤호섭, 서태호

라성주, 안윤근

연 구 보 조 원 : 박일웅, 김윤설

김진환, 배애란

최기원, 박한솔

이성준, 최성민

박진홍, 이승환

요 약 문

I. 제 목

가막만에 자연발생한 모자반군락의 기능적 특성과 생물생산량 추정

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 목적은 가막만내 어장정화 사업의 일환으로 진행되어온 준설공사 및 객토작업등의 영향으로 최근 가막만 본연의 기능을 서서히 회복하고 있으며, 이러한 결과를 반증하듯 만내 연안역을 중심으로 갈조류인 모자반군락이 크게 형성되고 있다.

해중 식물군락(Algal beds)은 생물생산력이 높은 장소일 뿐만 아니라 군락을 구성하는 식물에 의해 구성된 공간이나 부착기질이 작은 동물과 부착생물에게 호적한 서식장소가 되기 때문에, 어류 및 새우류를 포함한 수산자원생물의 중요한 산란장과 성육장으로서 역할을 하고 있다(Kenworthy and Thayer, 1984; Short, 1987; Perez-Llorens and Niell, 1993). 이러한 사실은 해조군락이 연안 수산자원의 지속적 유지를 위해 적극적으로 보호, 조성되어야 하는 당위성을 제공한다.

가막만은 기초생산력이 매우 높아 어패류의 증양식이 활발하게 행해지고 있는 지역이며, 산란 및 수산생물 서식장의 기능을 담당하고 있다(Cho et al., 1982; Kang et al., 1993; 조 등, 2001). 그러나 이러한 높은 생산성은 과다한 양식시설에 의한 자가오염과 도시하수 및 산업폐수의 유입으로 인하여 수질 및 저질의 오염이 진행되어(이, 1993) 이로 인한 가막만의 주요 양식종인 가막만 양식굴 및 피조개의 대량폐사가 일어나 심각한 문제점을 수반하고 있다(Choi et al., 1999; 최 등 2000; 김, 2003). 하지만 최근들어 만내 어장정화 사업등으로 본연의 기능을 서서히 회복하고 있으며, 연안역을 중심으로 해조군락이 조성된 점은 가막만 연안 생태계에 가장 큰 변화라고 할 수 있다.

이러한 해조군락인 해중림(underwater forest)은 일차생산이 일어나는 장소이며, 엽상체를 생활기반으로 하는 부착동물 군집부터 시작하여 해조군락을 서식지, 산란장, 은신처(Ohno, 1993; Watanuki and Yamamoto, 1990)로 이용하는 전복, 성게, 소라 등의 초식동물을 비롯하여, 불락, 조피불락, 쥐노래미 등 어류에 이르기까지 다양한 생물상을 가지는 고유의 생물군집을 구성하고 있다(Choi, 2001; Ohno, 1993; Yamauchi, 1984).

최근 연안역을 중심으로 무분별한 해양개발과 환경오염, 갯녹음 등에 의해서 해조류가 소실되고 감소함에 따라, 각종 해산 생물자원이 감소하고 있음은 세계적인 추세이다(Fujita, 1987; Yotsui and

Maesako, 1993). 자연해중림의 쇠퇴 및 감소 현상이 뚜렷해짐에 따라 인공해중림에 관한 연구가 주목받고 있으나(Ishigawa, 1993), 가막만과 같이 어장정화사업으로 인하여 단기간이내에 해중림의 자연조성과 이에 따라 연안생태계가 회복되고 있는 점은 매우 이례적인 경우라 할 수 있다.

가막만의 해중림을 구성하는 주요 해조류는 갈조류인 모자반으로, 저조선 부근에서 점심대 상부에 걸쳐 큰 군락을 형성하는 것이 특징이다. 이러한 모자반은 우리나라에서는 총 25종이 분포하고 있다(Kang, 1968; Oka, 1999). 또한 모자반속 식물의 많은 종들은 다년생으로, 부착기에서 매년 새로운 가지를 재생하며 몇몇 종들은 무성생식을 하고 기질에서 떨어진 후에는 바다 위에 떠다니는 부유조(floating seaweeds)로서 생활한다(Largo and Ohno, 1993). 이처럼 모자반군락은 해중림을 만들어 어류, 연체동물, 극피동물 그 밖의 수산동물 특히 생육장으로서 생태적으로 매우 중요한 역할을 수행한다(Yoshida et al., 1963; Umezaki, 1993).

따라서 본 연구에서는 가막만내 모자반 군락과 이에 서식하는 수산생물과의 상호작용 등을 밝히고자 하며, 이러한 기초 자료를 바탕으로 모자반 군락내 종조성 및 생물생산량을 파악하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용 및 범위
1차년도 (2007-2008)	1) 모자반군락 지역의 수질환경 특성 파악 2) 모자반 종조성 및 생활사 3) 모자반군락지내 부착생물 종조성 및 분포 양상 파악 4) 모자반군락지내 어류상 파악	○ 선행연구 조사 ○ 잠수조사를 통한 해조군락 분포 양상 조사 ○ 수질환경 인자 조사 ○ 가막만 연안역을 중심으로 모자반의 종 분포 및 생활사 연구 ○ 모자반군락지내 부착생물에 관한 연구 ○ 모자반군락지내 어류상에 관한 연구 ○ 모자반군락지내 계절별 천이양상
2차년도 (2008-2009)	1) 모자반의 성장 및 분포 양상 파악 2) 모자반이 연안환경에 미치는 요인 파악 3) 모자반군락조성에 따른 산란장 및 서식처로서 효과 조사	○ 1차년도 자료 보완 및 문제점 파악 ○ 해조군락의 성장 및 분포양상에 관한 연구 ○ 모자반군락의 환경정화 및 용존산소 발생 등 연안환경에 미치는 영향 분석 ○ 모자반군락내 부착생물상 및 어류상 변화를 통한 모자반의 기능적 특성 분석
3차년도 (2009-2010)	1) 모자반군락지 생태계 변화 모니터링 2) 모자반군락지 생물 생산량 파악 3) 모자반군락지의 관리 및 활용방안 모색	○ 최종 결과분석 및 자료 보완 ○ 연간조사를 통한 모자반군락지내 생태계 변화 연구 ○ 모자반군락지의 분포양상을 파악하여 생물생산량 분석 ○ 지속적인 관리와 효율적 활용방안 연구

IV. 연구개발결과

1. 모자반의 종조성 및 계절변동

가막만에서 발견된 모자반의 종류는 총 7종으로 지역별로는 계도 지역과 돌산 금봉지역에서 각각 7종, 6종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 조하대에서 군락을 이룬 모자반류의 분포율은 평생이모자반 73%, 외톨개모자반이 38%, 알송이모자반 42%순으로 우점 분포하였다.

2. 모자반군락 수질환경 특성

조사해역의 수온범위는 3.3-23.4℃로 정점 2에서 1월에 3.3℃로 가장 낮게 나타났으며, 정점 3에서 6월에 23.4℃로 가장 높게 나타났다. 염분의 경우, 29.6-33.7 psu 범위로 대조구에서 6월에 29.6 psu로 가장 낮게 나타났으며, 정점 1과 3에서 33.7 psu로 가장 높게 나타났다. 조사정점별 평균 DO를 살펴보면 대조구에서 9.23 mg L⁻¹로 가장 낮았으며, 정점 1에서 10.47 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났다. 모자반 군락지역이 대조구에 비해 DO 농도가 전 조사기간 동안 높은 경향을 보였다(p<0.05). Chl. a의 경우, 0.61-9.75 µg L⁻¹로 나타났으며, 조사정점별 평균 Chl. a의 농도를 살펴보면 대조구에서 2.21 µg L⁻¹로 가장 낮았으며, 정점 3에서 4.72 µg L⁻¹로 가장 높게 나타났다. 조사해역의 Chl. a는 모자반 군락지역이 대조구에 비해 비교적 높은 경향을 나타냈다(p<0.05). COD 범위는 0.14-240 mg L⁻¹로 정점 2에서 4월에 0.14 mg L⁻¹로 가장 낮게 나타났으며, 정점 1에서 3월 240 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났다. 조사정점별 평균 COD를 살펴보면 정점 4에서 1.09 mg L⁻¹로 가장 낮았으며, 대조구에서 1.43 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났다. 조사결과 대조구 지역이 다른 조사지역에 비해 COD가 비교적 높은 경향을 나타냈다(>0.05). 조사해역의 T-N의 범위는 0.009-0.164 mg L⁻¹, T-P의 경우, 0.018-0.132 mg L⁻¹의 범위로 나타났다. 조사정점별 평균 T-P를 살펴보면 정점 2에서 0.039 mg L⁻¹로 가장 낮았으며, 대조구에서 0.072 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났다. 수질항목간 상관관계를 살펴보면, 수온은 DO와 0.880 (p<0.01), T-N과 T-P는 0.931 (p<0.01)로 높은 양의 상관관계를 보였다.

3. 모자반과 부착생물간 상호연관성

모자반 부착생물을 파악하기 위하여 2007년 9월부터 2010년 9월까지 3년 동안 조사를 실시하였다. 1차년(2007년 11월부터 2008년 7월)도 조사에서는 총 18종이 출현하였으며, 143,432 ind./m²의 서식밀도를 나타내었다. 모자반군락에서 생체량은 3월에 196.08 g dw /m²로 가장 높게 높았으며, 7월에 0 g dw /m²로 가장 낮았다. 부착생물의 우점종은 *Barleeia angustata* (134,430 ind./m²), *Caprellidae* sp.(2,443 ind./m²) and *Gammaridae* sp.(4,201 ind./m²)로 나타났다. 생태지수 값은 다양도지수, 균등도지수, 풍부도 지수가 각각 0.11-0.86, 0.04-0.39, 0.04-0.39로 나타났다.

0.74-1.06 의 범위를 보였다. 2차년도 조사기간인 2008년 11월부터 2009년 6월까지 총 5문 14 목 16과 23종의 부착생물이 채집되었으며, 월별 개체수의 변화 양상은 1,053-23,312 ind/m², 생체량은 21.70-92.64 wwt g/m²으로 나타났다. 상위 1%이상 우점한 부착생물은 총 2종으로 *B. angustata*과 Amphipod로 나타났으며, 전체부착생물의 99.41%를 차지하였다

모자반이 부착생물에 미치는 생태학적 특성을 알아보기 위하여 부착생물 중 우점 출현한 *B. angustata*, Amphipods의 위내용 및 소화관을 월별로 분석해 본 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 모자반에 부착한 규조류는 *Psammodyctyon panduriforme*, *Navicula perminuta*, *Cocconeis scutellum*, *Thalassiosira* sp., *Pinnularia* sp., *Nitzschia brevissima*, *Navicula platystoma* 등이 나타났다. Amphipods의 소화관에서는 *C. scutellum*, *L. abbreviata*, *Pinnularia* sp., Algal tissues 등이 출현하였다. 2008년 10월부터 2009년 5월까지 *B. angustata*과 Amphipods 위 내용물 및 소화관을 분석해 본 결과 이들 종들의 경우 모자반 엽상에 주로 부착하여 생활하는 것으로 파악되었다. 그 결과 복족류인 *B. angustata*와 Amphipods가 대부분을 차지하는 것으로 판단되었으며, 이는 모자반이 서식처로서의 제공뿐만 아니라 주요 먹이공급원으로서 기능도 제공하는 것으로 조사되었다.

4. 모자반군락내 어류상

1차년도(2007년 11월-2008년 6월) 가막만 모자반군락내 어획된 어류는 총 7목 16과 29종으로 이들 중 농어목 (Perciformes)어류가 6과 15종, 대조구 지역에서는 총 6목 10과 10종으로 농어목이 4과 4종이 출현하였다. 2차년도(2008년 10월-2009년 5월) 가막만 모자반군락내 어획된 어류는 총 7목 15과 21종으로 이들 중 농어목 (Perciformes) 어류가 6과 10종, 대조구 지역에서는 총 5목 8과 9종이 출현하였다. 모자반 군락을 중심으로 복섬, 베도라치, 흰줄망둑, 농어, 실망둑 등이 우점출현하였으며, 월별 주요 우점종의 체장빈도 및 생체량의 변화 양상이 뚜렷이 나타남을 알 수 있었다. 또한, 모자반내 어류상의 주-야변화양상 파악 모자반군락을 중심으로 복섬, 농어, 불락, 학꽂치, 붕장어 등이 우점 출현하였으며, 주간과 야간 모두 정착성 어류인 베도라치, 망둑어과 어류들이 우점 출현하였으며, 야간에는 야행성으로 알려진 붕장어가 출현하여 주-야 변화 양상이 뚜렷이 나타남을 알 수 있었다.

5. 생물생산량 추정

생태모형을 사용하여 추정된 모자반군락내 생태계의 영양구조와 에너지 흐름의 결과는 어식성어류의 영양단계가 2.788로 가장 높았으며, 저서성어류가 2.401, 유영어류가 2.207, 새우류가 2.070 등의 영양단계를 보였고, 이매패류 2.0과 복족류 2.0의 영양단계를 나타내었다. 또한 식물플랑크톤, 모자반, 유기쇄설물은 가장 아래의 영양단계 1.0으로 나타났다. 모자반군락내 생

태계는 총섭식량이 351,330로, 총이출량이 2513,446, 총호흡량이 271,074, 유기쇄설물 전환량이 2517,250 로 조사되었다. 따라서 총에너지량에 대해 6.2%는 섭식으로, 44.5%는 이출, 4.8%는 호흡, 44.5%는 유기쇄설물로 전환되어 지는 것으로 나타났다. 결과적으로 모자반군락내 생태계의 에너지 흐름은 상위 영양단계의 포식에 의해 물질흐름이 주로 야기되는 것으로 나타났다.

모자반군락내 생산량은 습증량을 탄소량으로 환산(WW:C=10:1, Pauly et al., 1993)하였을 때 모자반군락의 총에너지량은 약 $5.7 \text{ kgC/m}^2/\text{yr}$ 로서 $5.8 \text{ kgC/m}^2/\text{yr}$ 을 나타내는 잘피군락 보다는 다소 작지만 인접한 광양만($2.4 \text{ kgC/m}^2/\text{yr}$)과 미국의 대표적인 굴양식단지인 산재해있는 델라웨이만($4.3 \text{ kgC/m}^2/\text{yr}$)에 비해 월등히 큰 것으로 나타났다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

자연적인 해중림은 지역특성에 고려한 어장을 조성할 수 있으며, 효율적으로 관리 활용할 수 있는 기초자료를 확보할 수 있다. 또한 인위적인 환경변화 이후 조성된 해중림에 관한 생태자료를 바탕으로 향후 각 지자체에서 활발히 도입·시행되고 있는 소규모 바다목장 조성 및 연안 해역 개발에 필요한 Manual 및 실용기술을 확립할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 모자반 종조성 및 생활사

자연발생 해중림중 하나인 모자반군락을 이루고 있는 모자반의 종조성 및 생활사의 파악은 현재 잘피군락(*Zostera beds*)에 국한되어 있는 해중 식물군락에 대한 연구의 다변화를 가져올 것으로 예상되며, 그에 따른 모자반군락의 생태학적 기능을 이해할 수 있다. 또한 인위적인 환경변화 이후 조성된 해중림에 관한 기초 생태자료로서의 활용과 이를 바탕으로 향후 각 지자체에서 활발히 도입·시행되고 있는 해조장 이식사업 등의 실용기술 이전에 활용할 수 있을 것이다.

2. 모자반군락 지역의 수질환경 특성파악

모자반군락의 기초 수질환경 특성을 파악함으로써 향후 모자반의 생육에 미치는 환경요인을 규명하는데 기초자료로서의 제공과 최근 활발하게 연구되고 있는 해조류의 영양염류 제거, 산소발생 효과 등에 대하여 대형군락을 이루어 서식하는 해조류중 하나인 모자반의 환경정화 능력에 대한 기초자료로서의 활용도 도모할 수 있다.

3. 모자반군락내 부착생물 종조성 및 분포

모자반을 생활 기반으로 서식하는 부착생물의 종조성 및 천이양상을 파악함으로써 향후 서식생물들간의 상호작용 및 먹이연쇄에 있어 서식처가 제공하는 부분 등에 대한 모자반군락 내 미소생태계의 이해와 다양한 수산생물의 기초자료 확보 가능.

4. 모자반군락내 어류상 파악

모자반군락내 어류 종조성 및 변화양상을 파악하여, 모자반군락 조성에 따른 어류의 산란장 및 생육장으로서의 역할 규명을 위한 기초자료를 제공

5. 생물생산량 추정

생태모형을 이용함으로써 해조군락내 생태계 관리 및 보전을 위하여 현재상태의 생태계 현황을 파악하고, 다양한 해조군락 생태계내 먹이망(Food web)을 구성하는 영양구조 및 에너지 흐름을 파악할 수 있는 기초 자료를 확보할 수 있다. 또한 자연발생 해조군락을 대상으로 지속적인 이용방안을 수립함으로써, 인위적인 환경변화 이후 조성된 해조군락에 관한 기초 생태자료를 바탕으로 향후 각 지자체에서 활발히 도입·시행되고 있는 소규모 바다목장 조성 및 연안 해역 개발에 필요한 Manual 및 실용기술을 확립할 수 있을 것으로 판단된다.

SUMMARY

I. Title

Functional properties and estimation of biological production of *Sargassum* beds in Gamak Bay

II. Objective

Seaweeds provide a habitat and serve as spawning beds, breeding and feeding grounds for coastal fish and shellfish, as well as other important fisheries resources, which are commercially important in themselves. Seaweed beds of rocky bottoms are an important source of drifting plants that provide food and shelter for coastal marine life, including economically important fish. In order to achieve sustainable coastal development, seaweed forest formation has been emphasized as one method to conserve a healthy coastal environment.

Gamak Bay occupies an important place in the fishing industry since various aquatic products are produced here, including mussels, ark shells, rock fish, sea bream and over 3,000 MT of oysters per year. However, the water quality of the bay has been deteriorating over the last two decades because of poorly treated sewage and excessive farming facilities.

This study was carried out to obtain the biological interaction between *Sargassum* and animal communities. The objective of present study was to determine functional properties and estimation of biological production of *Sargassum* beds.

III. Result

1. Species composition and seasonal variation in *Sargassum*

The species composition and seasonal variation in *Sargassum* beds at subtidal zone in Gamak Bay were investigated. A total of 7 species, the number of species was higher at Gaedo (7 species) and Geumbong (6 species).

In subtidal, vertical distribution rate of *Sargassum* sp. were *Sargassum horneri*

(73%), *Myagropsis myagroides* (36%) and *Sargassum confusum* (42%).

2. Water quality

We determined the influence of *Sargassum* beds on the water quality in Gamak Bay, Korea. Water temperature and salinity range from 3.3 to 23.4°C and from 29.6 to 33.7 psu, respectively. Dissolved oxygen was 10.45mg L⁻¹ in the *Sargassum* bed and 9.23mg L⁻¹ in the control. Chlorophyll-a was 3.90µg L⁻¹ in the *Sargassum* bed and 2.21µg L⁻¹ in the control. Chemical oxygen demand were 1.14mg L⁻¹ in the *Sargassum* bed and 1.43mg L⁻¹ in the control. Total nitrogen were 0.038mg L⁻¹ in the *Sargassum* bed and 0.067 mg L⁻¹ in the control. Total phosphorus were 0.043mg L⁻¹ in the *Sargassum* bed and 0.072mg L⁻¹ in the control.

Multivariate statistical analysis was used to analyze data. Water temperature was highly positively correlated with DO (p<0.01). T-N was highly positively correlated with T-P (p<0.01).

3. Attached organisms

We studied the organisms attached to *Sargassum* beds in Gamak Bay during 3 years September 2007 to September 2010. Eighteen species 143,432 ind./m² were sampled during study periods from November 2007 to June 2008. The biomass of the *Sargassum* beds ranged from a highest of 196.08 g dw /m² in March to a lowest of 0 g dw /m² in July.

The major dominant species were *Barleeia angustata* (134,430 ind./m²), Caprellidae sp. (2,443 ind./m²) and Gammaridae sp. (4,201 ind./m²). The ecological indices of diversity, evenness, and richness were 0.11-0.86, 0.04-0.39, and 0.74-1.06, respectively. A total of 23 species was sampled with density of 66,496 ind./m² and biomass of 391.40 g/m² during the study periods of November 2008 to June 2009. The major dominant species (>1% of total number of organisms attached) were *B. angustata* (61,83 ind./m²), Amphipod (4,27 ind./m²) and Occupied 99.41% of the whole organisms attached to *Sargassum* beds. The ecological indices of diversity, evenness, and richness were 0.02-0.67, 0.01-0.32, and 0.52-1.96, respectively.

Gut contents of dominant organisms attached (*B. angustata*) was *Psammodyctyon panduriforme*, *Navicula perminuta*, *Cocconeis scutellum*, *Thalassiosira* sp., *Pinnularia* sp., *Nitzschia brevissima*, *Navicula platystoma* and Amphipods was *C. scutellum*, *L. abbreviata*, *Pinnularia* sp., Algal tissues.

Sargassum beds the result which analyzes organisms attached place active substances diatom where is various appeared. As *Sargassum* beds prescribed forms department and the important food supply circle functional chart with the fact that provides.

4. Fish fauna

Seasonal variation in species composition and abundance of fishes was determined using monthly samples collected by surrounding net and fish trap in *Sargassum* beds. A total of 29 different species belonging to 16 families was identified in the *Sargassum* beds whereas unvegetated areas was 10 fish species belonging to 10 families. The dominant species were *Takifugu niphobles*, *Pholis nebulosa*, *Pterogobius zonoleucus*, *Lateolabrax japonicus*, and *Cryptocentrus filifer* in *Sargassum* beds. Generally, the numbers of individuals were higher in catches from *Sargassum* beds compared to catches from areas where *Sargassum* had disappeared when sites were compared in pairs, but no difference was observed between day and night samplings.

5. Estimation of biological production

The purpose of this study was to describe quantitatively trophic structures and to analyze energy flows in *Sargassum* beds using the Ecopath with ecosim (Walter et al., 1997). The model integrates and analyzes biomass, food spectrum and trophic interactions of the system. The *Sargassum* beds model comprises 11 groups of benthic primary producer, detritus, phytoplankton, copepod, amphipod, gastropod, bivalve, shrimp, pelagic fish, demersal fish and piscivorous fish. The total throughput was estimated at 5.7 kgWW/m²/yr, including a consumption of 6.2%, exports of 44.5%, respiratory flows of 4.8% and flows into detritus of 44.5%.

CONTENTS

SUMMARY	9
CONTENTS	12
Chapter 1. Overview	25
Chapter 2. R&D status	29
Chapter 3. Contents and Results	31
Section 1. Materials and Methods	31
1. Species composition and season variation of the organisms attached to <i>Sargassum</i> beds	31
2. Growth and characteristic of study to <i>Sargassum</i> beds	32
3. Influence of <i>Sargassum</i> beds on the water characteristics	34
4. The relationship between organisms attached to <i>Sargassum</i> beds	35
5. Fish fauna collected in <i>Sargassum</i> beds	37
6. Fish fauna collected to day and night change aspects of <i>Sargassum</i> beds	38
7. Estimation of biological production	38
Section 2. Results and Discussion	46
1. Species composition and season variation of the organisms attached to <i>Sargassum</i> beds	46
2. Growth and characteristic of study to <i>Sargassum</i> beds	48
3. Influence of <i>Sargassum</i> beds on the Water characteristics	56
4. The relationship between organisms attached to <i>Sargassum</i> beds	83
5. Fish fauna collected of <i>Sargassum</i> beds	101
6. Fish fauna collected to day and night change aspects of <i>Sargassum</i> beds	120

7. Estimation of biological production	127
8. Study on the utilization and management method of <i>Sargassum</i> beds	133
Chapter 4 Attainment of the Goal and Contribution to Related Fields	160
Chapter 5 Research and development accomplishments and plans for performance	162
Chapter 6 Technical Information from Abroad	164
Chapter 7. References	165

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	25
제 2 장	국내외 기술개발 현황	29
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	31
제1절	연구수행의 방법	31
1.	모자반 종조성 및 계절변동	31
2.	모자반 성장 및 특성 파악	32
3.	모자반군락 지역의 수질환경 특성 파악	34
4.	모자반과 부착생물간 상호연관성 파악	35
5.	모자반군락내 어류상 파악	37
6.	모자반내 어류상의 주·야 변화양상 파악	38
7.	생물생산량 추정	38
제2절	결과 및 고찰	46
1.	모자반 종조성 및 계절변동	46
2.	모자반 성장 및 특성 파악	48
3.	모자반군락 지역의 수질환경 특성 파악	56
4.	모자반과 부착생물간 상호연관성 파악	83
5.	모자반군락내 어류상 파악	101
6.	모자반내 어류상의 주·야 변화양상 파악	120
7.	생물생산량 추정	127
8.	모자반군락의 관리 및 활용방안	133
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	160

제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	162
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	164
제 7 장	참고문헌	165

List of Tables

Table 1. Species composition of <i>Sargassum</i> observed at Gamak Bay	47
Table 2. Mean values and ranges of biological characteristics of <i>Sargassum</i> sp. in Gamak Bay	55
Table 3. Correlation comparison of water quality factor	81
Table 4. Monthly variations in number of individuals(ind/m ²) of attached organism in <i>Sargassum</i> beds in Gamak Bay	93
Table 5. Monthly variations in number of individuals(ind/m ²) of attached organism in <i>Sargassum</i> beds	94
Table 6. Monthly variation in biomass(g/m ²) of attached organism in <i>Sargassum</i> beds	95
Table 7. Number of orders, families and species of fishes collected by surrounding net in the Gamak Bay (<i>Sargassum</i> beds)	101
Table 8. Number of orders, families and species of fishes collected by surrounding net in the Gamak Bay (control)	102
Table 9. Number of orders, families and species of fishes collected in the Gamak Bay (<i>Sargassum</i> beds)	102
Table 10. Number of orders, families and species of fishes collected in the Gamak Bay (control)	102
Table 11. Seasonal variation in species composition and biomass of fishes collected in study area	

(<i>Sargassum</i> beds)	108
Table 12. Seasonal variation in species composition and biomass of fishes collected in study area (Control)	109
Table 13. Seasonal variation species composition and biomass of fishes collected in study area (<i>Sargassum</i> beds)	110
Table 14. Seasonal variation species composition and biomass of fishes collected in study area (control)	111
Table 15. Number of orders, families and species of fishes collected during 25 hours in <i>Sargassum</i> beds	120
Table 16. Number of orders, families and species of fishes collected during 25 hours in control	120
Table 17. An hour in species composition and biomass of fishes collected in study area (<i>Sargassum</i> beds)	123
Table 18. An hour in species composition and biomass of fishes collected in study area (control)	124
Table 19. Parameters entered and calculated by ECOPATH for the <i>Sargassum</i> beds ecosystem (P/B, production/biomass; Q/B, consumption/biomass; EE, Ecotrophic efficiency)	128
Table 20. Respiration and assimilation in the lower reaches of the <i>Sargassum</i> beds during the study periods.	131
Table 21. Summary of system statistics for the ECOPATH model of the <i>Sargassum</i> beds	131

Table 22. Comparison of summary statistics for the *Sargassum* beds ecosystem with other marine ecosystems (unit: $g/m^{-2} yr^{-1}$)132

Table 23. The reasons of the arising and expanding reasons of whitening progress in Japan145

List of Figures

Fig. 1. Study area with indication of sampling sites,	31
Fig. 2. Map showing the sampling area,	33
Fig. 3. Map showing the sampling stations in Gamak Bay(water quality),	35
Fig. 4. The example of ecosystem structure and basic input parameters used in the ecosystem model(After Zhang et al, 2003),	40
Fig. 5. Spatial distribution of the <i>Sargassum</i> in Gamak Bay during the study	46
Fig. 6. Monthly variations of <i>Sargassum</i> total length in Gamak Bay from November 2007 to June 2008,	48
Fig. 7. Monthly variations of <i>Sargassum</i> total weight in Gamak Bay from November 2007 to June 2008,	48
Fig. 8. Monthly variations of <i>Sargassum</i> blade length in Gamak Bay from October 2008 to May 2009,	49
Fig. 9. Monthly variations of <i>Sargassum</i> total weight in Gamak Bay from October 2008 to May 2009,	49
Fig. 10. Distribution of blade length(cm) collected at each sampling site,	50
Fig. 11. Distribution of total weight(g) collected at each sampling site,	50
Fig. 12. Appearance of ratio <i>Sargassum</i> dominant species at sampling site in Gamak Bay,51	

Fig. 13. Seasonal variations of blade density of 3 most important species in Gamak Bay,	52
Fig. 14. Seasonal variations of biomass 3 most important species in Gamak Bay,	53
Fig. 15. <i>Sargassum</i> sp. carbon and nitrogen total incorporation in Gamak Bay,	55
Fig. 16. Monthly variations of water temperature at each stations,	57
Fig. 17. Monthly variations of salinity at each stations,	57
Fig. 18. Monthly variations of pH at each stations,	59
Fig. 19. Monthly variations of dissolved oxygen at each stations,	59
Fig. 20. Monthly variations of COD at each stations,	62
Fig. 21. Monthly variations of T-N at each stations,	62
Fig. 22. Monthly variations of T-P at each stations,	63
Fig. 23. Monthly variations of Silicic acid at each stations,	64
Fig. 24. Monthly variations of Chlorophyll- <i>a</i> at each stations,	65
Fig. 25. Monthly variations of Alkalinity at each stations,	68
Fig. 26. Monthly variations of water content at each stations,	68
Fig. 27. Monthly variations of Ignition loss(%) at each stations,	69
Fig. 28. Monthly variations of COD at each stations,	72

Fig. 29. Monthly variations of AVS at each stations, 72

Fig. 30. Monthly variations of water temperature(℃) at study area from November 2008 to May 2009, 74

Fig. 31. Monthly variations of salinity(psu) at study area from November 2008 to May 2009, 74

Fig. 32. Monthly variations of pH at study area from November 2008 to May 2009, 76

Fig. 33. Monthly variations of dissolved oxygen(mg L⁻¹) at study area from November 2008 to May 2009, 76

Fig. 34. Monthly variations of chemical oxygen demand(mg L⁻¹) at study area from November 2008 to May 2009, 77

Fig. 35. Monthly variations of T-N(mg L⁻¹) at study area from November 2008 to May 2009, 78

Fig. 36. Monthly variations of T-P(mg L⁻¹) at study area from November 2008 to May 2009, 79

Fig. 37. Monthly variations of chlorophyll *a*(μg L⁻¹) at study area from November 2008 to May 2009, 80

Fig. 38. Monthly fluctuation of *Sargassum* biomass in Gamak Bay, 83

Fig. 39. Monthly variation in number of species, total individuals and ecological indices (Diversity, Evenness, Richness) of attached organism in the *Sargassum* beds in Gamak Bay, 87

Fig. 40. Monthly variations in number of species, total individuals and ecological indices of

attached organism in the <i>Sargassum</i> beds,	88
Fig. 41. Monthly variations of dominant attached organism density on the <i>Sargassum</i> beds in Gamak Bay,	89
Fig. 42. Monthly variations of two dominant species in the <i>Sargassum</i> beds,	90
Fig. 43. Seasonal variations of 2 important attached organisms and <i>Sargassum</i> beds,	91
Fig. 44. Monthly variations in shell height, shell width, aperture length, aperture width growth of the <i>Barleeia angustata</i> in <i>Sargassum</i> beds in Gamak Bay,	92
Fig. 45. Relationship growth equation between shell height and shell width of <i>Barleeia angustata</i> and <i>Cantharidus japonicus</i> ,	96
Fig. 46. SEM photos of <i>Sargassum</i> beds leaf surface in Gamak Bay,	98
Fig. 47. Gut contents of <i>Barleeia angustata</i> in study area,	99
Fig. 48. Gut contents of dominant amphipods in study area,	100
Fig. 49. Dendrogram(UPGMA) illustrating species(r-mode) derived from monthly abundance,	107
Fig. 50. Month variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in the <i>Sargassum</i> beds in Gamak Bay,	112
Fig. 51. Month variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in the Gamak Bay (control),	113
Fig. 52. Month variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in Gamak Bay(<i>Sargassum</i> beds),	114

Fig. 53. Month variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in Gamak Bay(control),	115
Fig. 54. Monthly variations in length-frequency distribution of the dominant fish species collected in the <i>Sargassum</i> beds in Gamak Bay,	116
Fig. 55. Trophic relationships between major fish speices in a <i>Sargassum</i> beds (Gamak Bay),	119
Fig. 56. Hour variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in Gamak Bay(<i>Sargassum</i> beds),	125
Fig. 57. Hour variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in Gamak Bay(control),	126
Fig. 58. Flow diagram showing trophic flows in <i>Sargassum</i> beds,	130
Fig. 59. Whitening caused by sea urchin,	135
Fig. 60. Setting of seaweed-reef,	136
Fig. 61. The natural change of kelp forest,	142
Fig. 62. The techniques of kelp forest observation,	147
Fig. 63. The information for protecting and keeping the kelp forest,	148
Fig. 64. The recovering of kelp forest in the whitening zone,	157
Fig. 65. The Flow chart by development of kelp forest in Gamak bay,	159

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

가막만은 육지로부터 영양염 유입이 많아 기초생산력이 매우 높아 많은 종류의 수산생물이 서식하며 각종 어패류의 증양식이 행해짐은 물론 산란 및 서식장으로서 기능이 활발한 천해의 보고이다. 그러나 각종 어패류의 증양식이 행해지고 있는 가막만은 생태환경의 악화와 어장의 노화가 진행되고 있는 지역이다. 하지만 가막만내 어장정화 사업의 일환으로 진행되는 준설공사 및 객토작업등의 영향으로 최근 가막만 본연의 기능을 서서히 회복하고 있으며, 이러한 결과를 반영하듯이 만내 연안역을 중심으로 갈조류인 모자반군락이 자연발생 되고 있는 실정이다.

모자반은 모자반과(Sargassaceae, Phaeophyta)에 속하는 대형 갈조류로서 저조선 부근에서 점심대 상부에 걸쳐 큰 군락을 형성한다. 이러한 대형 갈조류 군락은 해중림을 조성하여, 어류와 패류등 유용수산동물자원의 서식처와 산란장으로 이용됨으로써, 해양생태계 유지에 있어 매우 중요한 기능을 담당하고 있다(Ohno, 1993; Watanuki and Yamamoto, 1990).

해중 식물군락(Algal beds)은 생물생산력이 높은 장소일 뿐만 아니라 군락을 구성하는 식물에 의해 구성된 공간이나 부착기질이 작은 동물과 부착생물에게 호적한 서식장소가 되기 때문에, 어류 및 새우류를 포함한 수산자원생물의 중요한 산란장과 성육장으로서 역할을 하고 있다(Kenworthy and Thayer, 1984; Short, 1987; Perez-Llorens and Niell, 1993). 또한, 엽상체를 생활기반으로 하는 부착생물 군집부터 시작하여 해조군락을 서식지, 산란장, 은신처로 이용하는 전복, 성게, 해삼, 소라 등의 초식동물을 비롯하여 어류에 이르기까지 다양한 생물상을 가지고 고유의 생물군집을 구성하고 있다(Choi, 2001; Ohno, 1993; Yamauchi, 1984).

최근 연안역을 중심으로 무분별한 해양개발과 환경오염, 갯녹음 등에 의해서 해조류가 소실되고 감소함에 따라, 각종 해산 생물자원이 감소하고 있음은 세계적인 추세이다(Fujita, 1987; Yotsui and Maesako, 1993). 자연해중림의 쇠퇴 및 감소 현상이 뚜렷해짐에 따라 인공해중림에 관한 연구가 주목받고 있으나(Ishigawa, 1993), 가막만과 같이 어장정화사업 이후 단기간이내에 해중림의 자연조성과 이에 따라 연안생태계가 회복되고 있는 점은 매우 이례적인 경우라 할 수 있다.

가막만 연안의 해중림을 구성하는 주요 해조류는 갈조류인 모자반으로, 저조선 부근에서 점심대 상부에 걸쳐 큰 군락을 형성하는 것이 특징이다. 이러한 모자반은 우리나라에서는 총 25종이 분포하고

있다(Kang, 1968; Oka, 1999). 또한 모자반속 식물의 많은 종들은 다년생으로, 부착기에서 매년 새로운 가지를 재생하며 몇몇 종들은 무성생식을 하고 기질에서 떨어진 후에는 바다 위에 떠다니는 부유조(floating seaweeds)로서 생활한다(Largo and Ohno, 1993). 이처럼 모자반군락은 해중림을 만들어 어류, 연체동물, 극피동물 그 밖의 수산동물 특히 생육장으로서 생태적으로 매우 중요한 역할을 수행한다(Yoshida et al., 1963; Umezaki, 1983).

따라서 본 연구에서는 가막만에 서식하는 모자반의 종조성, 모자반군락내 부착생물 종조성 및 출현양상, 어류의 종조성 및 분포양상을 살펴봄으로써 어류군집 동태를 파악하고자 실시하였으며, 또한, 가막만의 모자반군락내 서식하는 부착생물들의 기초 자료를 제공하고자 한다.

1. 기술적 측면

가막만내 모자반 종조성 및 빈도와 분포를 바탕으로 한 생활사 추정과, 모자반군락내 미소생태계에 서식하는 부착생물과 어류들의 종조성의 파악 및 모자반군락의 환경 특성 파악은 해중 식물군락인 모자반과 생물상호 작용에 대한 이해와 더불어 수산생물의 산란장 및 생육장으로서의 역할 등 모자반군락의 생태학적 기능 규명을 위한 기초자료로서 기술적인 측면에서의 접근이 가능해질 것으로 판단된다.

2. 경제·산업적 측면

수중 해중림의 급속한 파괴는 결국 자원량의 급감으로 이어지고 있으며, 이를 만회하고자 중앙정부 및 지자체를 중심으로 현재 어장조성을 위해 어패류의 방류사업은 갈수록 증가되고 있는 추세이다. 하지만 이러한 방류를 통한 인공적인 자원조성은 단기간내 가시적인 성과가 보이지 않는 것이 일반적이다. 최근 가막만 일원을 중심으로 대거 자연발생하고 있는 모자반군락은 유용 어패류의 산란장 및 생육장으로서의 제공과 더불어 이러한 문제점을 보완할 수 있는 다양한 이점을 제공한다. 이를 반증하듯 가막만내 모자반군락지를 중심으로 한 어업인들의 어로행위 증가를 들 수 있다. 따라서 이러한 결과는 향후 이에 수반되는 경제·산업적인 자원증가 효과 즉, 생산성 향상이라는 면에서 더욱 뚜렷하게 나타날 것으로 판단되며, 인위적인 자원조성이 아닌 친환경 자원조성에 따른 비용절감 효과 등 산업발전 전반에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3. 사회·문화적 측면

모자반군락 즉, 해중림 조성을 통해 창출되는 효과로는 수변공간으로서의 다각적인 활용 방법과 낚시, 윈드서핑, 스킨스쿠버 등의 자연친화적인 관광자원 조성 효과와 더불어 생태체험 학습공간 등의 교육 효과도 기대할 수 있다. 또한 여수시는 2012년 세계박람회 개최지로 그 주

제어가 **“살아있는 바다 숨쉬는 연안”**으로서 전세계의 이목이 집중되고 있다. 이러한 주제어의 실현은 세계박람회 중심지인 가막만 연안의 해중림 조성으로부터 시작될 수 있으며 모자반군락에 대한 전반적인 연구결과는 장기적인 관점에서 그 가치가 기대된다.

제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

1. 목표 및 내용

최근 가막만에서 자연발생한 모자반군락(*Sargassum beds*)를 중심으로 서식하는 주요 수산생물의 계절별 천이양상의 파악과 이를 통한 모자반군락지내 생물생산량을 정량적으로 파악함으로써 모자반군락의 기능적 특성과 지속적인 생태계 모니터링을 위한 기초 연구자료로서의 활용을 모색한다.

2. 최종목표

- 가막만 연안역을 중심으로 모자반군락의 종조성 및 생활사
- 모자반군락내 수질환경 특성 파악
- 모자반군락내 어류, 부착생물 종조성 및 분포
- 모자반군락의 생태학적 기능
- 모자반군락내 생물생산량 추정
- 모자반군락의 관리 및 활용방안

3. 연구개발의 내용 및 범위

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용 및 범위
1차년도 (2007-2008)	1) 모자반군락 지역의 수질환경 특성 파악 2) 모자반 종조성 및 생활사 3) 모자반군락지내 부착생물 종조성 및 분포 양상 파악 4) 모자반군락지내 어류상 파악	○ 잠수조사를 통한 해조군락 분포 양상 조사 ○ 수질환경 인자 조사 ○ 가막만 연안역을 중심으로 모자반의 종 분포 및 생활사 연구 ○ 모자반군락지내 부착생물에 관한 연구 ○ 모자반군락지내 어류상에 관한 연구 ○ 모자반군락지내 계절별 천이양상
2차년도 (2008-2009)	1) 모자반의 성장 및 분포 양상 파악 2) 모자반이 연안환경에 미치는 요인 파악 3) 모자반군락조성에 따른 산란장 및 서식처로서 효과 조사	○ 1차년도 자료 보완 및 문계점 파악 ○ 해조군락의 성장 및 분포양상에 관한 연구 ○ 모자반군락의 환경정화 및 용존산소 발생 등 연안환경에 미치는 영향 분석 ○ 모자반군락내 부착생물상 및 어류상 변화양상 연구
3차년도 (2009-2010)	1) 모자반군락지 생태계 변화 모니터링 2) 모자반군락지 생물 생산량 파악 3) 모자반군락지의 관리 및 활용방안 모색	○ 최종 결과분석 및 자료 보완 ○ 연간조사를 통한 모자반군락지내 생태계 변화 연구 ○ 모자반군락지의 분포양상을 파악하여 생물생산량 분석 ○ 지속적인 관리와 효율적 활용방안 연구

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 및 과학기술정보

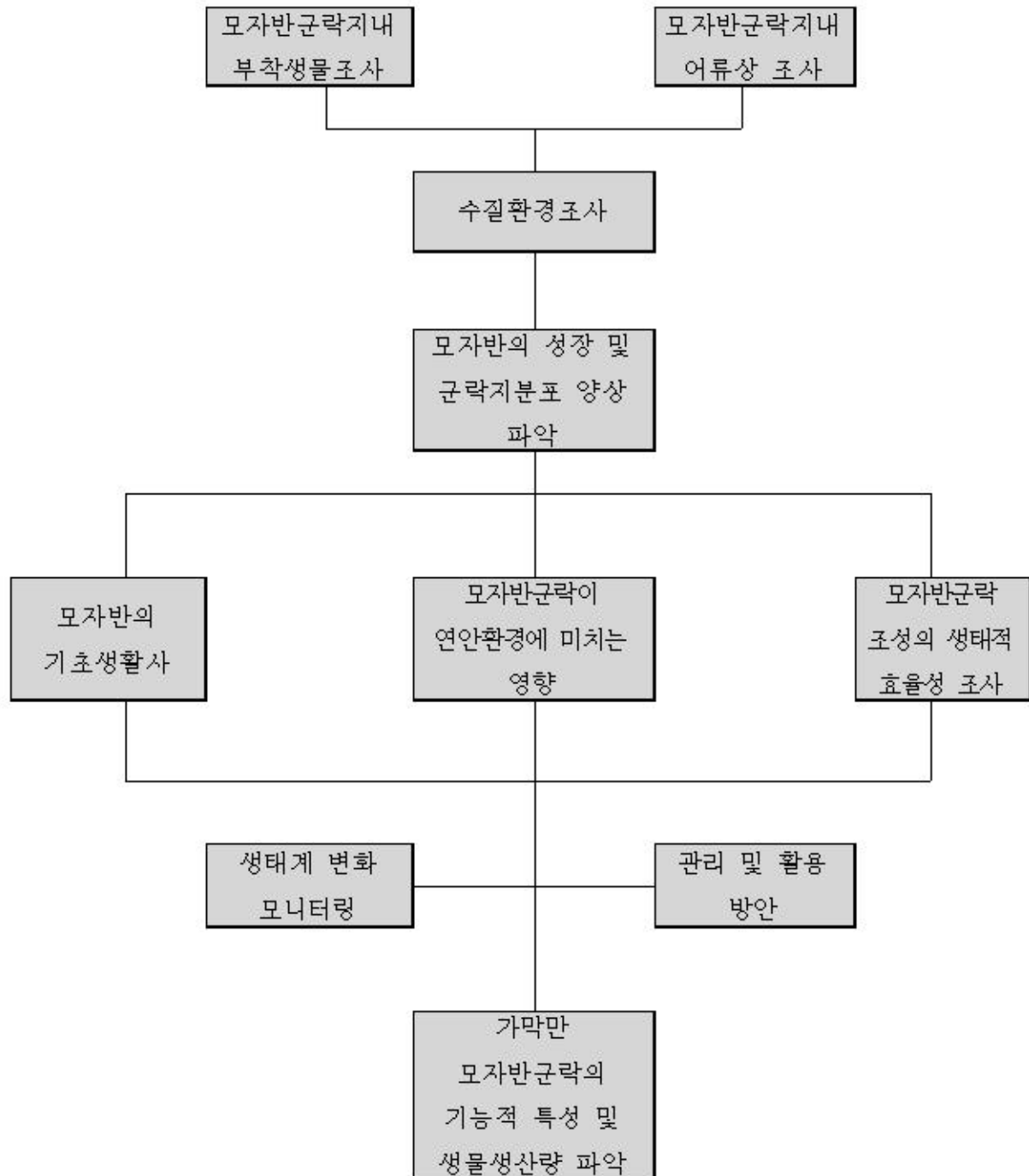
1. 국내·외 기술개발현황

해중림은 생물생산력이 높은 장소로 알려져 있는데 그것은 해중림을 구성하는 식물에 의해 구성된 공간이나 부착기질이 작은 동물과 부착생물에게 호적한 서식장소를 제공하며, 이들을 먹이로 하는 생물들이 모여들기 때문이다. 이러한 해저 식물군락과 수산자원생물과의 상호 관계는 그들에 의해 구성된 생태적인 공간을 특징짓는 데 중요할 뿐만 아니라 그들에 속해 있는 생태계의 기능적인 면을 이해하기 위한 기초 자료를 제공한다.

국외의 경우, 이러한 관점에서 해중림이 연안생태계에 미치는 영향과 먹이연쇄상 주요한 연결고리 역할을 밝히기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다(Yasuda, 1956; 布施, 1962; Kita and Harada, 1962; Kurada, 1963a, 1963b, 1963c; Ledoyer, 1968; Orth et al., 1980; Heck et al., 1989; Kikuchi, 1962, 1966; 新崎 등, 1981). 국내에서는 주로 잠피군락(*Zostera beds*)의 저서동물 및 착생동물·식물에만 국한되어 진행되어 왔으며(허 등, 1998; 윤 등, 1997; 윤 등, 2002; 민 등, 2003; 정 등, 2004), 해조와 모자반에 관한 연구는 성장 및 생태에 관한 연구가 주를 이루고 있다(유, 1975; 장, 1977; 고와 안, 1985; 이, 1991; 문 등, 1994).

이처럼 이들 연구는 대부분 출현종과 계절변동이라는 단편적인 시각에서만 중점을 두고 진행되어 왔다. 그러나 해중림이 인위적인 어장정화사업으로 인해 자연적으로 조성된 시기부터 어떠한 생물상의 변화가 진행되고 군집을 이루며 하나의 연안생태계를 형성하는지에 관한 연구는 전문한 실정이다.

2 연구개발 추진계획



제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구수행의 방법

1. 모자반 종조성 및 계절변동

가. 재료 및 방법

가막만 내의 모자반 종조성은 가막만의 동서남북 각각의 대표 지역(동: 돌산읍 금봉리, 서: 화양면 나진리, 남: 화정면 계도, 북: 신월동)을 선정하고, 가을, 겨울, 봄, 여름으로 계절적으로 구분하여 대조시 간조때의 조간대조사와 저조시 만조때의 조하대조사를 방형구조사와 SCUBA diving 이용하여 시료를 채취, 실험실에서 10% 포르말린에 고정 후 시료를 동정하여 분석하였다. 모자반의 성장은 정점 4곳을 정한 후 2008년 11월부터 2009년 6월까지 SCUBA diving을 이용 20개체이상 채취한 후 측정하였다(Fig. 1).

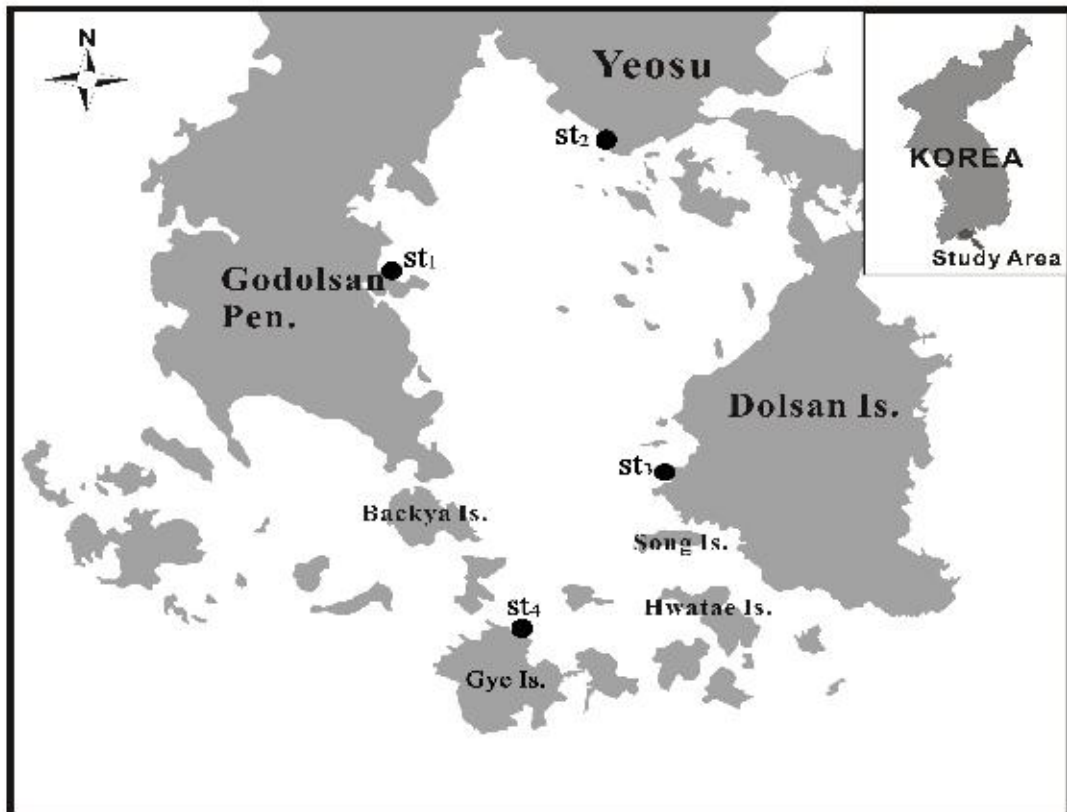


Fig. 1. Study area with indication of sampling sites.

2 모자반 성장 및 특성 파악

가. 재료 및 방법

(1) 모자반 성장측정

가막만내 모자반의 월별 성장을 조사하기 위하여 2008년 10월부터 2009년 5월까지 매달 소조기 만조시에 무작위로 20개체의 엽체를 채집하고 엽장과 엽중량을 측정하였다. 또한 종별 출현빈도를 알아보기 위하여 종별로 분류, 개수하여 비율을 나타내었다. 채집은 SCUBA diving을 통하여 실시하였다(Fig. 2).

(2) 모자반 생육밀도 및 생체량 측정

모자반 성장측정을 위한 채집과 동시에 SCUBA diving을 통하여 50×50 cm 방형구내의 모자반을 종별로 구분하여 1회 전량 채집하고, 종별 생육밀도를 산출하였다. 실험중 모자반 생육에 충격을 최소화 하고자 비파괴방법으로 방형구내의 생육밀도를 3회 추가로 실시하였고, 모자반의 생체량은 단위면적당 평균 습중량($g\ wet\ weight\ m^{-2}$)으로 나타내었다.

(3) 에너지 수지 분석 - CHN분석

모자반 엽체 조직에 의한 무기탄소 흡수량과 무기질소 흡수량은 엽체의 생산성과 엽체 조직내 탄소, 질소함량을 이용하여 추정하였다. 여기서 무기탄소 흡수량과 무기질소 흡수량은 새로 생산되는 모자반 엽체로 동화되는 탄소, 질소의 양을 말한다. 엽체내 탄소, 질소함량은 원소분석기(EA-1110, Thermo Quest, Italy)를 통하여 CHN분석을 실시하여 종별 차이와 성장단계별 차이를 분석하였다.

분석방법은 먼저 자연상태에서 채집한 해조류를 건조시킨 후, 막자사발을 이용하여 미세하게 분쇄한 후 적정량(약 5 mg)을 원소분석기에 주입하면 기기 내에서 해조류 분말을 1014 ℃에서 발열산화법으로 산화시켜 석영관의 구리층을 통과 시키는데 이때 조성원소별로 분석에 용이한 기체 분자(CO₂, N₂, H₂O)를 전화된다. 이들 혼합 가스들이 GC 컬럼을 통과하면서 각각 분리되고 열전도검출기(TCD)에 의하여 전기신호로 정량적으로 변화된다.

탄소 흡수량과 질소 흡수량은 다음과 같은 식에 의해서 계산되었다.

탄소고정량(carbon incorporation) = 엽체 생산성(blade productivity) × 엽체 조직내 탄소 함량
(blade tissue C content)

질소고정량(nitrogen incorporation) = 엽체 생산성(blade productivity) × 엽체 조직내 질소 함량
(blade tissue N content)

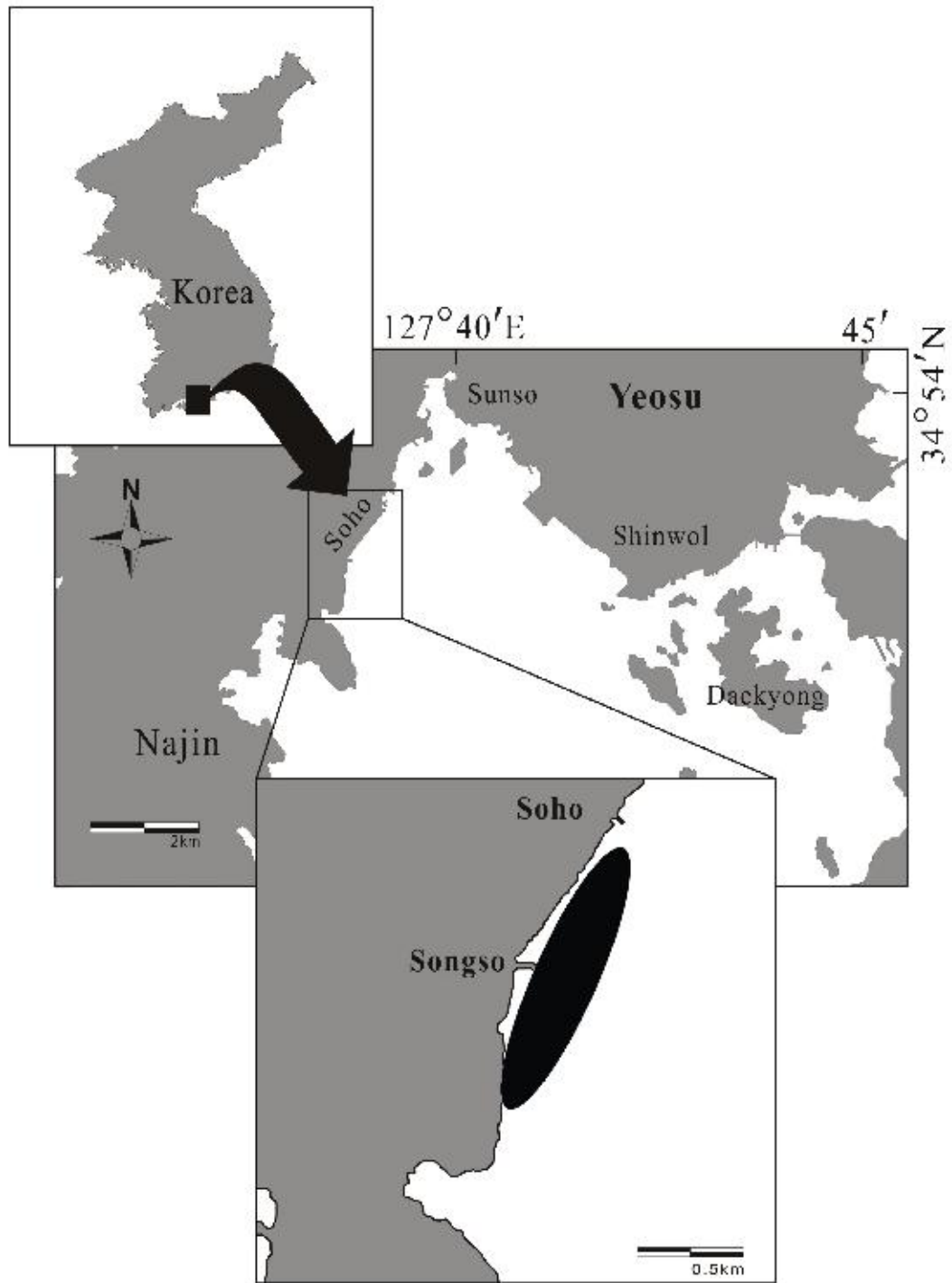


Fig. 2 Map showing the sampling area.

3. 모자반군락 지역의 수질환경 특성 파악

가. 재료 및 방법

(1) 수질환경 조사

수질조사는 수온, 염분, pH, DO(Dissolved Oxygen), COD(Chemical Oxygen Demand), 총질소, 총인 및 Chlorophyll-*a*, 영양염, 알칼리도를 조사하였으며, 수온과 염분은 디지털수온계(YSI-85)를 이용하여 측정하였다. pH는 pH 미터(ORION-420)를 사용하여 측정하였으며, DO는 윙클러-아지드변법(Winkler-azid)에 의해 측정하였다. COD는 채수 당일 바로 알칼리법으로 분석하였고, 영양염류는 Spectro-photometer(GENESYS-5)로 분석하고, 표준 검량선을 미리 작성하여 구해진 흡광도(Abs)를 농도(Conc)로 환산하였다. 영양염류중 암모니아성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$)는 Indophenol법에 의해 비색 정량하였으며, 최대흡수파장인 640 nm에서 흡광도를 측정하였고, 아질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)는 Sulfanilamid-NED법에 의해 비색정량 하였으며, 최대흡수파장인 543 nm에서 흡광도법으로 측정하였다. 질산성질소($\text{NO}_3\text{-N}$)는 Cadmium reduction법에 의해 질산을 아질산으로 환원시킨 후 Sulfanilamid-NED법에 의해 비색 정량하여 최대흡수파장인 543 nm에서 흡광도법으로 측정하였다. 총 질소는 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성질소의 합으로 구하였으며, 총인($\text{PO}_4\text{-P}$)은 Ascorbin acid 법에 의해 비색 정량하여 최대흡수파장인 885 nm에서 흡광도를 측정하였다. Chlorophyll-*a*는 분광광도계(Genesis-5)를 이용하여 원심 분리된 시료를 SCOR-Unesco(1966)방법에 준하였다.

가막만에 자연 발생한 모자반 군락의 저질환경 조사는 가막만 조간대에 위치한 모자반 자연발생군락 4개정점(st.1, st.2, st.3, st.4)과 대조구 2개정점(st.5, st.6)을 선정하였다(Fig. 3). 채취된 저질시료는 함수율, 강열감량, 저질COD, 황화물 및 입도분석을 실시하였다. 함수율은 채니기로 채취한 조사지점의 저질 상층부를 20-30 g 정도 취하여 도가니에 넣고, 건조기(Dry oven)에 105℃로 24시간 동안 건조한 후 항량으로 될 때까지 건조시켜 무게를 측정하였으며, 강열감량은 도가니에 건조된 시료 5 g을 넣고 550℃의 오도로 2시간 동안 가열한 후 데시케이터에 냉각시키고, 실온으로 식힌 후 측정하였다. 저질COD는 습시료 1 g을 취하여 삼각플라스크에 넣고 0.1N 과망간산 칼륨 100 cc와 10% 수산화나트륨 5 cc를 투입하여 항온수조에 70℃ 내외로 60분간 증탕 가열 후 요드화나트륨 10 ml 와 아지드화나트륨 3방울을 가하여 냉각시키고 증류수를 가하여 250 cc로 한 후 유리섬유 여과기를 이용하여 여과하였다. 여과액중 50 cc를 취하여 삼각플라스크에 넣고 30% 황산 1 ml를 가하여 수화물을 녹이고, 0.1N 치오황산나트륨으로 적정하여 전분용액의 청색이 없어질 때까지 소비량을 구하여 COD의 농도를 계산하였다. 황화물 측정은 호아 검지관을 사용하였으며, 습시료 2 g을 취하여 기체발생관에 넣고 진한 황산 2 ml를 가한 후 검지관을 진공펌프와 연결하여 황화수소가 검지관에 흡수되도록 하였다. 발생한 황화수소의 양과 검지관 눈금으로부터 황화물을 구하였다.

(2) 통계분석

다변량 통계분석 중 인자분석(factor analysis)을 실시하여 모자반 군락이 수질 항목들 사이의 상호 연관성과 해양환경에 영향을 미치는 인자(요인)를 파악하였다. 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test(Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS ver. 14 program을 사용하여 검정하였다.

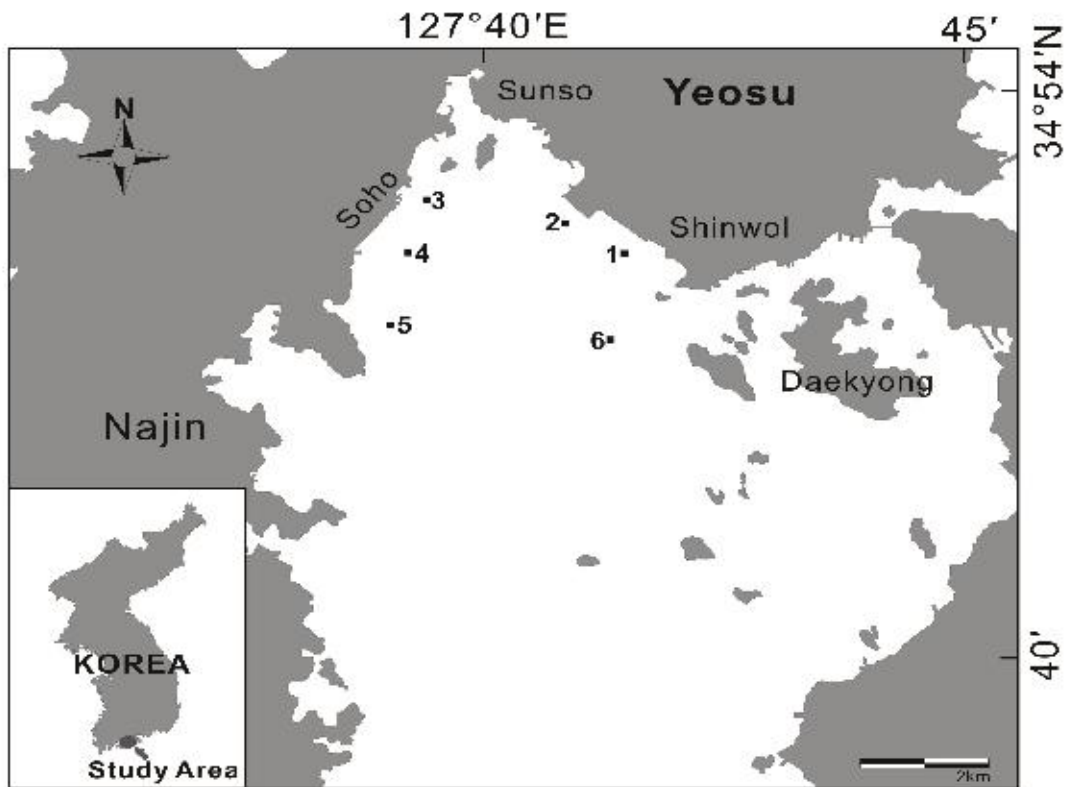


Fig. 3. Map showing the sampling stations in Gamak Bay(water quality).

4 모자반과 부착생물간 상호연관성 파악

가. 재료 및 방법

(1) 조사해역

조사해역은 가막만 연안으로 지형적 특성에 따른 조류 등에 의해 대체로 내륙의 영향을 크게 받는 북서내만역의 정체성의 해수, 동쪽에 위치하고 연등천과 섬진강 하구수 및 돌산 평

사천 등의 영향을 크게 받는 여수 항수 및 남쪽만 입구역에 위치하고 외해수의 영향을 받는 외만수의 3개의 수괴로 구분되기도 하며, 때때로 복잡한 해황을 나타낸다(이, 1993).

(2) 채집 및 분석방법

조사해역은 여수시 가막만 일대지역으로 1차년도 조사는 2007년 11월부터 모자반이 녹아 없어지는 2008년 7월까지 조사를 실시하였으며, 2차년도 조사는 2008년 11월부터 2009년 6월까지 조사하였다. 모든 채집은 모자반 중심에서 반경 5 m 안에서 실시하였으며, 정량채집을 위해 주문제작한 hand net를 (망구, 50×50 cm; 망목, 150 μ m) 이용하였다. 조사해역내의 자연발생한 모자반 군락의 면적은 3,620 m²의 범위를 나타내었다(Fig. 2). 모자반에 부착해있는 생물은 해수가 차있는 통에 넣어 실험실로 운반하여 담수쇼크를 실시하여 부착기질과 부착생물을 분리하였으며, 부착기질인 모자반은 물기를 제거한 후 길이 및 습중량을 측정하였다. 건중량은 70℃에서 24시간 말린 후 0.01 g 수준까지 측정하였으며, 모자반의 생체량은 단위면적당 평균 건중량(g dw /m²)으로 나타내었다. 채집된 부착생물은 5% 중성 포르말린으로 고정한 후 분류체계를 이용하여 가능한 종 단위까지 해부현미경으로 동정·계수하였으며(Ministry of Education, 1996; The Korean Society of Systematic Zoology, 1997; Mitsuo and Masaaki, 1997; Min et al., 2004), 기타분류는 하나의 종으로 간주하였다. 채집된 부착생물의 개체수를 이용하여 다양도지수(Shannon and Wiener, 1963, H'), 균등도지수(Pielou, 1966, J), 풍부도(Margalef, 1958, R)를 구하였다. 통계처리에는 SPSS(Ver 14.0 SPSS Inc.), Primer 5.0 software (Clarke and Gorley, 2001)를 이용하였다.

모자반군락의 생태학적 특성 중 부착생물과 부착기질인 모자반과 부착생물간의 상호연관성을 규명하기 위하여 부착조류는 Lugol's solution을 이용하여 분리하였으며, 부착생물 중 우점종의 위 내용물은 전자현미경을 이용하여 떼어낸 후 ethanol 과 isoamyl acetate을 사용하여 단계별로 탈수한 다음 임계점 건조 후 gold palladium으로 코팅하여 주사전자현미경(Hitachi-S3000N)으로 관찰하였다.

다양도 지수 H' (Shanon and Wiever, 1963)

$$H' = - \sum_{i=1}^s (P_i \cdot \ln P_i)$$

s : 출현종수

P_i : 총출현 개체수에 대한 I번째 종의 개체수의 비율

균등도 지수(Sorensen, 1948)

$$J = H' / \ln(s)$$

H' : Shannon Weaver의 다양도 지수

$\ln(s)$: 총개체수

풍부도 지수(Margalef, 1958)

$$RI = S - 1 / \ln(N)$$

S : 전체 종 수

$\ln(N)$: 개체수에 자연 로그 취한 값

5. 모자반군락내 어류상 파악

가. 재료 및 방법

(1) 채집 및 분석방법

본 연구는 여수시 가막만 연안 모자반 군락지를 중심으로 1차년도(2007년 11월- 2008년 6월), 2차년도(2008년 10월-2008년 5월)까지 매월 2회 모자반 군락지내와 외지역을 선정하여 동일한 방법으로 조사하였다(Fig. 2). 채집 시 조석에 따른 영향을 동일하게 하기 위하여 매월 조금에 채집을 실시하였으며, 연안에 서식하는 어류는 채집 시간 및 조석에 따른 종 조성 변화가 심하므로, 오차범위를 최소화하기 위하여 1회 조사시 4회 이상 실시하였으며 같은 장소로 반복되지 않도록 매번 장소를 이동하여 채집하였다. 모자반 군락내 어류의 정량적 채집을 위하여 두릿그물과 사각통발, 원형통발을 병행하여 채집하였다. 채집시 어구의 크기는 가로 30 m, 세로 7 m (망목 1 × 1 mm)인 두릿그물을 이용하였으며, 사각통발을 가로 130 cm, 세로 80 cm, 높이 60 cm (망목 36 × 36 mm)를 이용 하여 채집하였다. 어류를 유인하기 위한 미끼로는 냉동 진주담치와 배합사료를 사용하였다. 채집된 어류는 현장에서 10% 포르말린에 고정 하여 실험실로 운반한 후 각 어종별로 해부 현미경 (Olympus JP/SZ 4045)으로 동정하였다. 어종별 체장 조성을 알아보기 위해 표준체장 (Standard length, SL)을 1 mm 단위까지 측정하였으며, 습중량을 0.01 g 단위까지 측정하였다. 각 월별 어류의 종조성 자료를 이용하여 Shannon Wiener의 종 다양도 지수 (H'), Pielou의 균등도지수 (J)를 구하였다. 채집된 어류의 분류 및 종 구분은 한국산 어류의 학명과 국명에 대한 기준을 한국어도보 (정문기, 1977)를 따랐으며, 분류체계는 Nelson (1993)에 따라 분류 동정 하였다.

6. 모자반내 어류상의 주·야변화양상 파악

가. 재료 및 방법

(1) 조사 지역

본 연구는 여수시 가막만 연안 모자반 군락지를 중심으로 2008년 10월부터 2008년 5월 까지 매월 1회 모자반 군락지내와 외 지역을 선정하여 동일한 방법으로 조사하였다(Fig. 2).

(2) 조사 방법

채집시 최대한 동일한 조건하에서 실시하기 위해, 매월 소조기 만조에 조사를 실시 하였으며, 모자반 군락내 어류의 정량적 채집을 위하여 두릿그물과 사각통발, 원형통발을 병행하여 채집하였다. 어류를 유인하기 위한 미끼로는 냉동 진주 담치를 사용하였다. 채집된 어류는 현장에서 10% 해수 포르말린을 이용하여 고정 후, 실험실로 운반하여 각 어종별로 해부 현미경(Olympus JP/SZ 4045)으로 동정하였으며, 시료의 체장 조성을 알아보기 위해 표준체장(Standard length, SL)을 1 mm 단위까지 측정하였으며, 습중량을 0.01 g 단위까지 측정하였다.

(3) 자료 분석

각 월별 어류의 종조성 자료를 이용하여 Shannon Wiener의 종 다양도 지수 (H'), Pielou의 균등도지수 (J), 풍부도 지수를 구하였다. 채집된 어류의 분류 및 종 구분은 한국산 어류의 학명과 국명에 대한 기준을 한국어도보(1977)를 따랐으며, 분류체계는 Nelson (1993)에 따라 분류·동정 하였다.

(4) 주·야 어류상 이동조사

모자반 군락내 서식하는 어류의 주·야 이동 양상을 파악하기 위하여 2009년 6월 8일부터 9일까지 주·야간 (25시간) 조사를 실시하였다. 일몰 후 18:00부터 3시간 간격으로 실시하였으며, 모자반 군락지와 대조구 지역을 선정하여 두릿그물과, 사각통발, 원형통발을 이용하여 채집을 실시하였다.

7. 생물생산량 추정

가. 재료 및 방법

(1) Ecopath model

생태계 모델링에 의해 생태계 구조를 파악하고 역학적 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 Fig. 4와 같이 생물군별로 많은 정보를 필요로 한다. 즉, 생태계 내에는 많은 생물종들이 서식

하며, 이들은 서로 먹고 먹히는 관계에 있기 때문에, 한 생물군의 생체량 증감은 이들의 포식자 또는 피식자의 생체량 증감에도 영향을 미친다. 이러한 영향은 그들이 생산할 수 있는 생산량과 인간이 이용할 수 있는 어획량 변동에도 큰 영향을 초래한다. 따라서 생물군별 생체량 (B), 섭식량 (Q)과 피식-포식 관계 (BC), 생산량 (P), 어획량 (C), 그리고 영양효율 (EE)에 대한 정확한 정보 수집은 필수적이다. 만약이 중 5개의 파라미터만 알 수 있다면 나머지 한 파라미터는 생태계 질량균형 (mass balance) 모델에 의해 자동적으로 추정된다. 일반적으로 영양효율 (EE)은 다른 파라미터에 비해 직접 추정하는 것이 어려우므로, 질량 균형 (mass balance) 모델에 의해 간접적으로 추정한다. 생태계 구조 모델 (Ecopath)은 두 가지 식을 기초로 하는데, 하나는 질량균형 (mass balance)에 의한 생산량 모델식이고, 다른 하나는 각 생물군에대한 에너지 균형 (energy balance) 모델식이다. 질량 균형 (mass balance) 모델식에서 각 생물군 i 에 대한 생산량 식은

$$P_i = Y_i + B_i \cdot M2_i + E_i + BA_i + P_i \cdot (1 - EE_i) \text{ ----- (7.1)}$$

이다. 여기서, P_i 는 생물군 i 의 총생산량, Y_i 는 i 의 총어획량, B_i 는 i 의 생체량, $M2_i$ 는 i 의 포식자에 의한 사망률, E_i 는 순회유량(이출량-이입량), BA_i 는 i 의 누적생체량, $P_i \cdot (1 - EE_i) = M0_i$ 로 i 에 대한 기타사망량을 나타낸다.

여기서, i 는 생태학적 유사성에 따라 하나의 종 또는 여러 종으로 묶어서 분류할 수 있으며, 영양단계가 같은 생물군이다.

식 (7.1)은 다음의 식 (7.2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$B_i \cdot (P/B)_i \cdot EE_i - \sum_{j=1}^m B_j \cdot (Q/B)_j \cdot DC_{ji} - Y_i - E_i - BA_i = 0 \text{ ----- (7.2)}$$

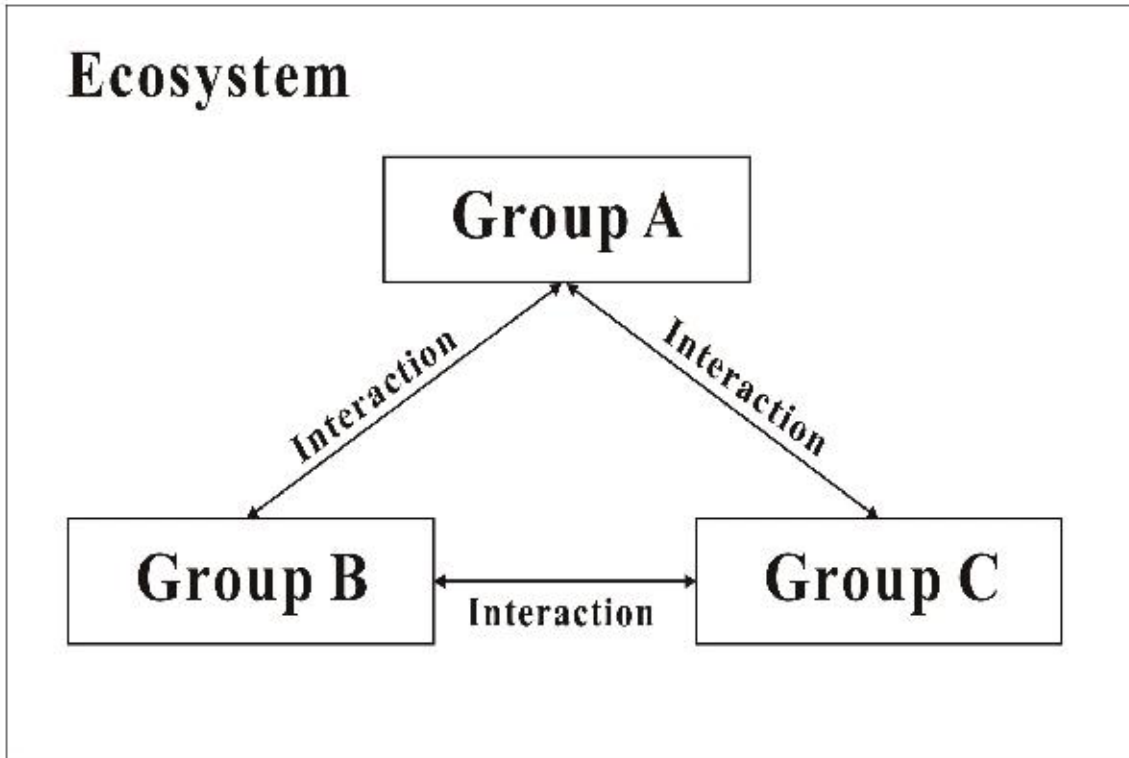
여기서, $(P/B)_i$ 는 생산량/생체량 비, $(Q/B)_j$ 는 섭식량/생체량 비, 그리고 DC_{ji} 는 포식자 j 의 먹이조성 중 피식자 i 의 비이다.

에너지 균형 (energy balance) 모델식에서는 모든 생물의 에너지 유입과 유출이 균형을 이루어야 한다. 각 생물군간 에너지 균형은 다음 식에 의해 성립된다.

$$Q = P + R + U \text{ ----- (7.3)}$$

여기서, Q 는 섭식량, P 는 생산량, R 은 호흡량, 그리고 U 는 미동화량이다. Ecopath에서는 에너

지 뿐만 아니라 영양단위로도 사용할 수 있는데, 만약 Ecopath에서 영양단위가 사용된다면, 호흡량은 위 식에서 고려되지 않고, 미동화량은 섭식량과 생산량간의 차로 추정된다.



Ecosystem parameters to be input

1. Biomass (B)
2. Consumption (Q) and Diet composition (DC)
3. Production (P)
4. Catch (C)
5. Ecotrophic Efficiency (EE)

Fig. 4. The example of ecosystem structure and basic input parameters used in the ecosystem model(After Zhang et al., 2003).

(2) 생물군별 입력파라미터 추정

생태계 모델링을 위해서는 앞에서 제시한 바와 같이 생물군별로 많은 정보를 필요로 하는데, 생물군별 입력파라미터를 추정하는 데에도 여러 방법들이 있어 그 내용을 간략히 정리하여 아래와 같이 소개하고, 본 연구에서는 이중 가용한 방법을 선택하여 생물군별 파라미터를 추정하였다.

(가) 생체량(*B*, biomass)

생체량(*B*)은 해양조사나 자원조사 및 목시조사 등에 의해 직접 추정하여 서식면적당 평균 생체량(t/km^2)으로 구한다. 어획가능한 어류 또는 일부 저서동물의 경우는 어획물 조사에 의한 자원생태학적 특성치를 이용하여 코호트 분석법에 의해 간접적으로 추정할 수도 있다.

(나) 생산량(*P*, production)

식물플랑크톤의 기초생산력을 측정하는 방법으로 광합성의 결과 증가된 산소의 양을 측정하는 명암병법에 의한 용존산소 측정법과 방사성 동위원소를 이용하여 광합성에 의해 감소된 이산화탄소의 양을 측정하는 C-14 측정법 등이 있다(고 등, 1997).

용존산소 측정법 : $P_g = P_n + P_p$

(P_g : 총일차생산량, P_n : 순일차생산량, P_p : 호흡으로 소모한 산소량) ----- (7.4)

동위원소 C-14 측정법

: 일차생산량 = 동화된 C¹⁴량 / 주입된 C¹⁴량 × CO₂의 농도 ----- (7.5)

부유식물의 기초생산력은 일정한 해수 내의 부유식물의 엽록소(*Chlorophyll-a*) 농도를 측정하여 부유식물의 광포화도(I_s)와 현재 광상태(I), 최대 광합성능력(Q_{max})을 구해 식 (7.6)에 의해 추정한다(고 등, 1997).

$$P = \frac{I}{I_s} \times Q_{max} \times Chlorophyll - a \text{ ----- (7.6)}$$

생산율 (dP/dt)은 $\frac{dP}{dt} = N \cdot \frac{dW}{dt}$ 이므로, 이식을 시간 t_1 에서 t_2 까지 적분하면, 이 기간에서의 생산량은

$$P(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} N \cdot \frac{dW}{dt} dt \text{ ----- (7.7)}$$

으로 나타낼 수 있다.

생산량은 Allen 곡선을 이용하여 그래프로도 추정이 가능하다. 시간 t_1 에서의 개체수 (N_1)는 시간 t_2 가 되면 사망에 의해서 N_2 로 줄어들게 되는 것과 동시에 개체의 총량은 \overline{W}_1 에서 \overline{W}_2 로 증가한다. 이 기간 동안의 생산량 P_1 은 $N_2(\overline{W}_2 - \overline{W}_1)$ 이 되며, 1년 동안의 연간 생산량은 각 시간간격에 대한 생산량을 더한 값이 된다. 즉,

$$P = \sum_{i=0}^{12} P_i = \sum_{i=0}^{12} N_i (\overline{W}_{i+1} - \overline{W}_i) = \sum_{i=0}^{12} N_i \Delta \overline{W}_i \cong \int_{W_0}^{W_{12}} N_i dW \text{ ----- (7.8)}$$

생산량은 순간성장률 (G)을 사용하여 추정할 수도 있다. 즉, 생산율 (dP/dt)은

$$\frac{dP}{dt} = N \cdot \frac{dW}{dt} = N \cdot W \cdot G = B \cdot G \text{ ----- (7.9)}$$

이다. 따라서 식 (7.9)를 시간 t_1 에서 t_2 까지 적분하면, 이 기간동안의 생산량은

$$P(t_1, t_2) = \overline{B} \cdot G \text{ ----- (7.10)}$$

또한, 생산량을 추정하는 방법에는 소실량 합산법이 있는데, 이 방법은 생활사가 단순한 생물종의 생산량 추정에 적합하다. 시간 t 에서 시간 $t+1$ 로 변하는 동안 생체량은 B_t 에서 B_{t+1} 로 변동하고, 이 기간 동안에 이입이나 이출이 없다고 가정하면,

$$P = (B_{t+1} - B_t) + E_t \text{ ----- (7.11)}$$

이며, 여기서, E_t 는 사망으로 인한 소실량으로,

$$E_t = (N_t - N_{t+1}) \cdot \frac{1}{2}(W_t + W_{t+1}) \text{다.}$$

(다) 생산량/생체량(P/B) 비

생산량/생체량(P/B) 비는 생산량을 생체량으로 나누어 계산하거나, 만약 둘(P, B) 중 하나의 추정이 불가능할 경우, 생산량과 생체량간의 관계를 이용하여 추정할 수 있다.

회전을 (turnover ratio : T) 이용 :

$$P/\bar{B} = T \quad (\text{Waters, 1969}) \text{-----} \quad (7.12)$$

무척추동물의 경우 :

$$P/\bar{B} = 0.56 \times M^{-0.37} \quad (M : \text{체질량, kcal})$$

(Banse and Mosher, 1980) ----- (7.13)

생산량이 체장과 관계없는 생물의 경우 :

$$P/\bar{B} = T/10 \quad (T : \text{연평균 수온, } ^\circ\text{C})$$

(Johnson and Brinkhurst, 1971) ----- (7.14)

또한, 평형상태($dB/dt = 0$)에서는 보통 어업생물학자들에 의해 사용되어지는 순간전사망계수(Z)가 P/B 값으로 사용될 수 있다(Allen, 1971).

$$P/\bar{B} = Z \text{-----} \quad (7.15)$$

Allen(1971)의 방법은 평형상태를 가정한 것으로, 일반적으로 생태계는 평형상태가 아니므로 성장률(G)을 이용하여 다음 식으로 추정할 수 있다(Mertz and Myers, 1998).

$$P/\bar{B} = G \text{-----} \quad (7.16)$$

생산량/생체량(P/B) 비는 개체의 성장식을 사용하여서도 추정할 수 있는데, von Bertalanffy(1938) 성장식의 경우, 생물이 성장할 때 단위시간당 축적되는 물질의 양

(dW/dt) 은 $\frac{dW}{dt} = HW^{\frac{2}{3}} - kW$ 이므로,

$$P = \int_0^1 dp = 3KN_0W_\infty \left[-\frac{1}{Z+K} (e^{-(Z+K)+Kt_0} - e^{Kt_0}) + \frac{2}{Z+2K} (e^{-(Z+2K)+2Kt_0} - e^{2Kt_0}) - \frac{1}{Z+3K} (e^{-(Z+3K)+3Kt_0} - e^{3Kt_0}) \right] \quad (7.17)$$

$$\bar{B} = \int_0^1 N_t W_t dt = N_0 W_\infty \left[-\frac{1}{Z} (e^{-Z} - 1) + \frac{3}{Z+K} (e^{-(Z+K)+Kt_0} - e^{Kt_0}) + \frac{3}{Z+2K} (e^{-(Z+2K)+2Kt_0} - e^{2Kt_0}) - \frac{1}{Z+3K} (e^{-(Z+3K)+3Kt_0} - e^{3Kt_0}) \right] \quad (7.18)$$

이다. 식 (7.17)과 (7.18)을 사용하여 P/B 를 추정할 수 있다.

(라) 섭취량/생체량(Q/B) 비

섭식량/생체량(Q/B) 비는 생물의 단위 생체량당 먹이 섭취량으로 위내용물 분석을 통해 구한 단위기간당 섭취량(Q)을 생체량(B)으로 나누어 계산하는데, 만약 섭취량 자료가 없다면 von Bertalanffy(1938) 성장파라미터를 이용하여 식 (7.19)로 연령별 개체당 섭취량을 구할 수 있다.

$$Q = 3KW_\infty^{\frac{1}{3}} W_t^{\frac{2}{3}} \quad (\text{Essington et al., 2001}) \quad (7.19)$$

(마) 먹이조성(DC)

먹이조성(DC)은 생물군간의 피식-포식 관계를 나타내는 것으로, DC_{ij} 는 포식자 i 가 섭취한 먹이 중에서 피식자 j 가 차지하는 부분이다. 즉,

$$DC_{ij} = \frac{Q_{ij}}{Q_i}$$

$$\sum_{j=1}^k DC_{ij} = 1 \quad \text{-----} \quad (7.20)$$

으로, 여기서, Q_i 는 생물 i 의 단위기간당 총섭식량이고, Q_{ij} 는 포식자 i 에 의해 섭식된 피식자 j 의 양이다.

(바) 어획량(O)

어획량(O)은 단위기간동안 어획된 어종별 어업별 면적당 총어획량 ($t/km^2/year$)이다.

제 2 절 결과 및 고찰

1. 모자반 종조성 및 계절변동

(1) 가막만 모자반의 종조성 및 계절적 변동

가막만에서 발견된 모자반의 종류는 총 7종으로 지역별로는 계도 지역과 돌산 금봉지역에서 각각 7종, 6종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 계절별로는 봄 시기에 가장 많은 7종이 나타났다. 출현종과 계절적변동은 Table 1에 나타내었다.

(2) 가막만 모자반의 분포

가막만내의 조하대에서 넓은 군락분포를 이룬 모자반류는 평생이모자반, 외톨개모자반, 알송이모자반으로 이들 종의 분포는 Fig. 5에 나타내었으며, 종별 분포율은 평생이모자반 73%, 외톨개모자반이 30%, 알송이모자반 42%순으로 우점 분포하였다.

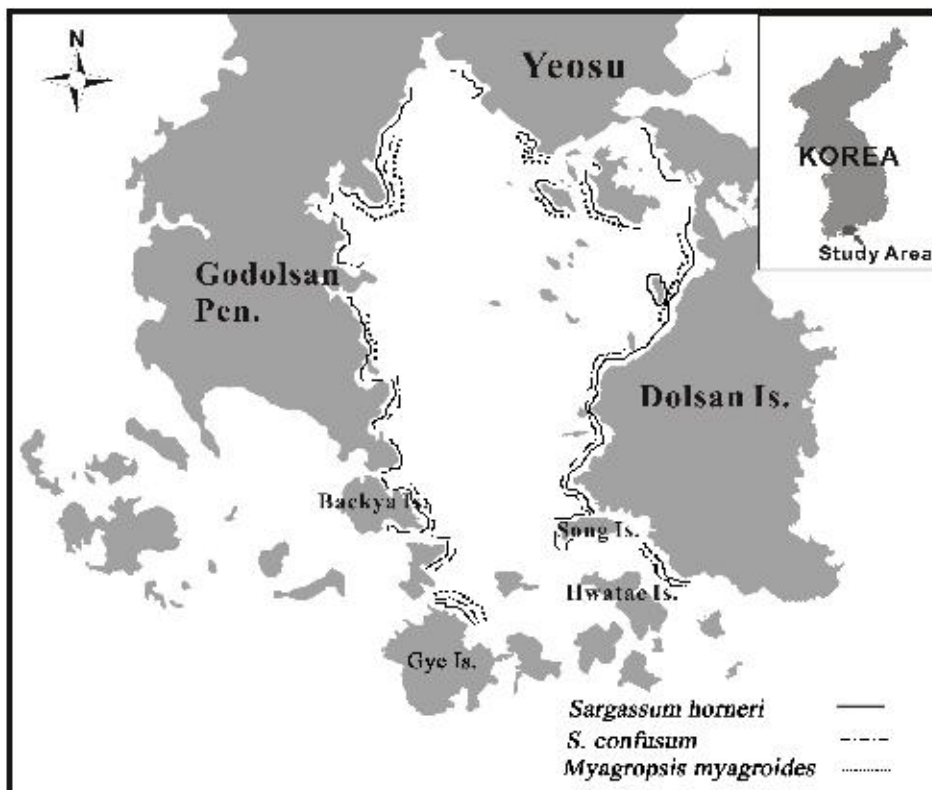


Fig. 5. Spatial distribution of the *Sargassum* in Gamak Bay during the study

Table 1. Species composition of *Sargassum* observed at Garnak Bay

Season	Species	Korean name	St.1	St.2	St.3	St.4
Autumn Oct. 07	<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반				
	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	작잎모자반			+	+
	<i>S. horneri</i>	괭생이모자반				
	<i>S. confusum</i>	알송이모자반				+
	<i>S. serratifolium</i>	톱니모자반				+
	<i>S. sagamianum</i>	비틀대모자반			+	+
	<i>S. thunbergii</i>	지충이	+	+	+	+
Winter Jan. 08	<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반	+	+	+	+
	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	작잎모자반				+
	<i>S. horneri</i>	괭생이모자반	+	+	+	+
	<i>S. confusum</i>	알송이모자반	+		+	+
	<i>S. serratifolium</i>	톱니모자반			+	+
	<i>S. sagamianum</i>	비틀대모자반			+	+
	<i>S. thunbergii</i>	지충이		+	+	+
Spring Apr. 08	<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반	+	+	+	+
	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	작잎모자반				+
	<i>S. horneri</i>	괭생이모자반	+	+	+	+
	<i>S. confusum</i>	알송이모자반	+	+	+	+
	<i>S. serratifolium</i>	톱니모자반			+	+
	<i>S. sagamianum</i>	비틀대모자반	+	+	+	+
	<i>S. thunbergii</i>	지충이	+	+	+	+
Summer Jul. 08	<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반				
	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	작잎모자반				+
	<i>S. horneri</i>	괭생이모자반			+	+
	<i>S. confusum</i>	알송이모자반				
	<i>S. serratifolium</i>	톱니모자반			+	+
	<i>S. sagamianum</i>	비틀대모자반			+	+
	<i>S. thunbergii</i>	지충이	+	+	+	+

2. 모자반 성장 및 특성파악

(1) 가막만 모자반의 성장

가막만 내의 모자반의 종조성을 위한 4정점에서 2007년 11월부터 2008년 6월까지 SCUBA diving을 이용 20개체이상 채취, 전장과 전중량을 측정하여 정점별로 비교분석한 결과 전장은 정점별로 3월과 4월에 높게 나타났으며 (Fig. 6), 전중량은 5월에 가장 높은 값을 보였다 (Fig. 7).

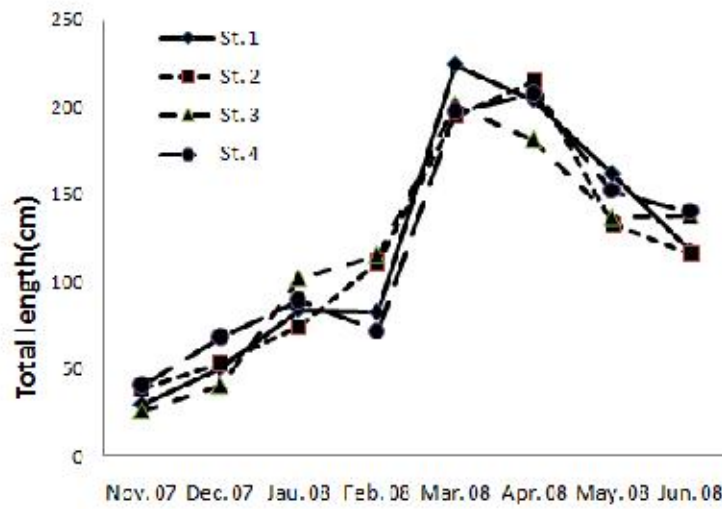


Fig. 6. Monthly variations of *Sargassum* total length in Garnak Bay from November 2007 to June 2008.

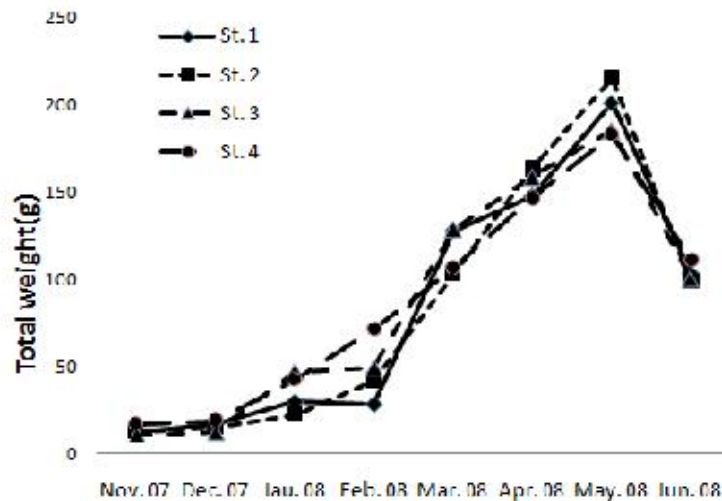


Fig. 7. Monthly variations of *Sargassum* total weight in Garnak Bay from November 2007 to June 2008.

(2) 모자반 성장비교

가막만내의 조사지점에서 의 모자반 성장조사를 위한 4정점에서 20개체이상 채취, 엽장과 전중량을 측정하여 정점별로 비교분석한 결과 전장은 정점별로 3, 4, 5월에 높게 나타났으며 (Fig. 8), 전중량은 3월과 4월에 높은 값을 보였다(Fig. 9). 엽장에 대한 정점별 차이를 보면 2008년 12월까지의 모든 정점에서 차이가 없었으나, 2009년 1월 이후에 정점 1, 2, 4에서는 차이가 없었으나, 정점 3은 다른 3정점보다 낮은 엽장 값을 나타냈다(Fig. 7). 전중량에 대한 정점별 차이 또한 엽장과 유사한 경향을 보였는데 정점 3에서 2009년 2월까지의 다른 3정점과 차이가 없었으나 3월 이후에는 다소 낮은 전중량 값을 보였다(Fig. 8).

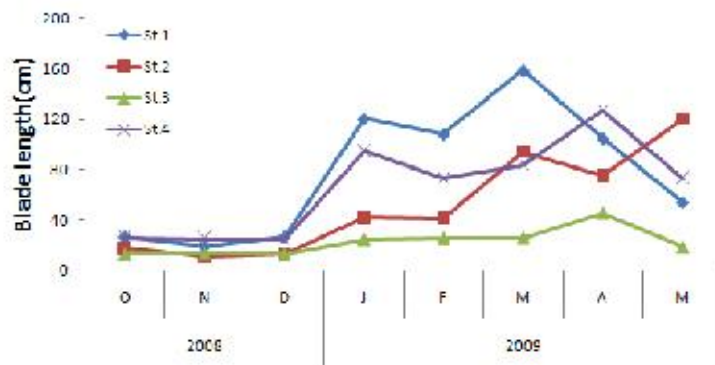


Fig. 8. Monthly variations of *Sargassum* blade length in Gamak Bay from October 2008 to May 2009.

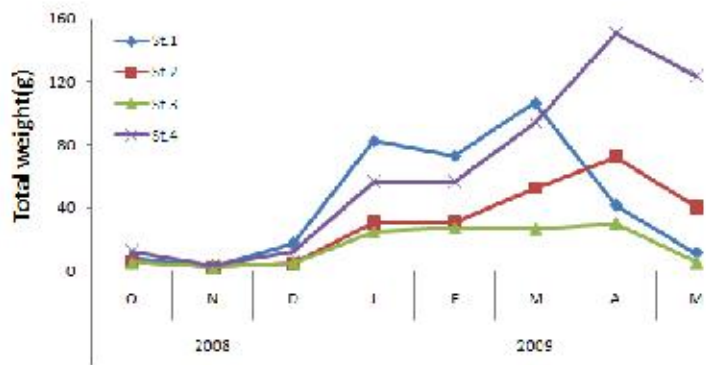


Fig. 9. Monthly variations of *Sargassum* total weight in Gamak Bay from October 2008 to May 2009.

전체조사기간 중 조사된 엽장과 전중량의 차이를 종별, 지점별로 분석하였다(Fig. 10, 11). 엽장의 경우 평생이모자반이 알송이모자반보다 높게 나타났으며, 지점별 성장에서는 St. 1, 2, 4에서는 차이를 보이지 않았으나, St. 3은 다른 3정점보다 낮은 값을 보였다. 전중량의 경우 평생이모자반이 알송이모자반 보다 다소 높게 나타났으나, 지점별차이에서는 St. 1과 2는 유사하고 St. 3은 이들보다 낮으며, St. 4는 이들보다 다소 높은 값을 보여서 St. 4에서 모자반 성장과 생물량이 높은 것으로 조사되었다(서 등, 2010).

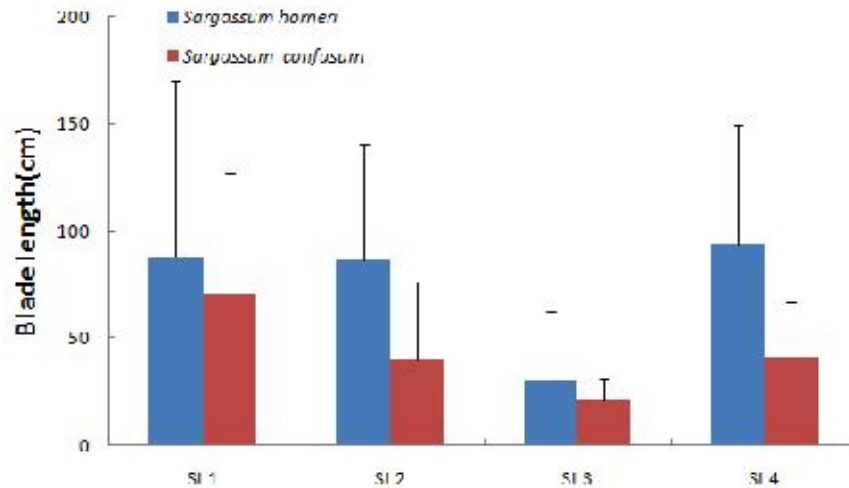


Fig. 10. Distribution of blade length(cm) collected at each sampling site.

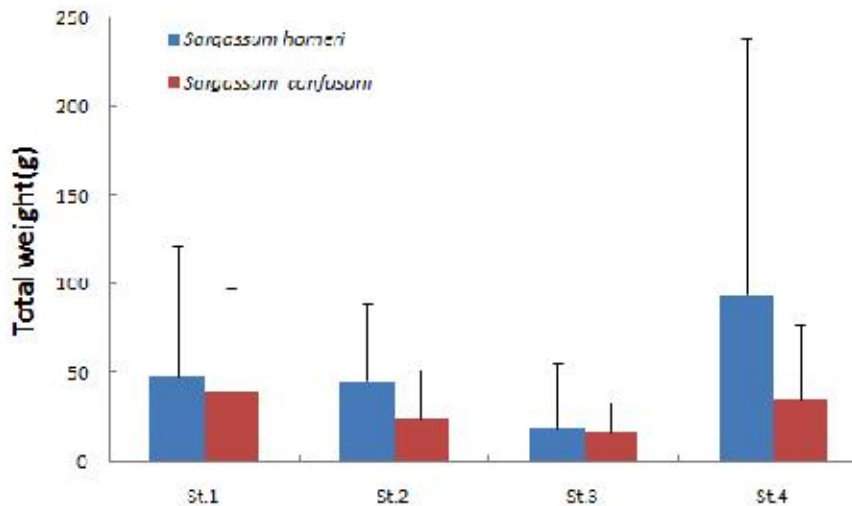


Fig. 11. Distribution of total weight(g) collected at each sampling site.

(3) 출현종 비율

조사지점에서 출현한 모자반속 종은 평생이모자반(*S. horneri*)과 알송이모자반(*S. confusum*) 2종이 출현하였다. 전체 시기 평균에 의해 종간의 출현 비율을 보면 St. 1, 2, 3에서는 알송이모자반이 우점하였으나, St. 4에서는 두종 간의 차이가 없었다(Fig. 12).

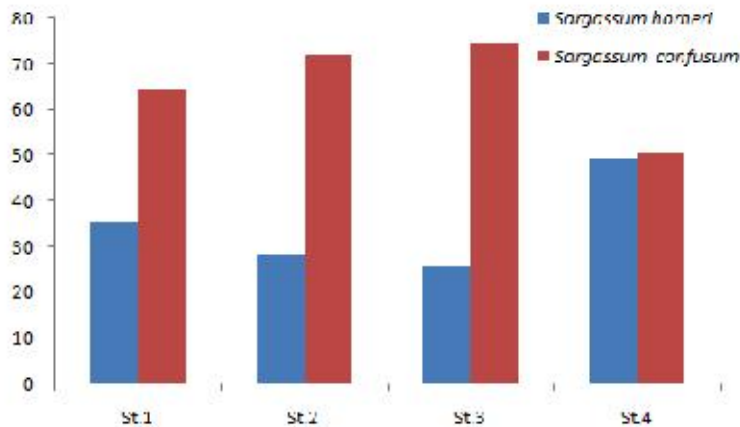


Fig. 12. Appearance of ratio *Sargassum* dominant species at sampling site in Gamak Bay.

(4) 모자반 생육밀도 및 생체량 측정

조사지역에서 모자반류의 생육밀도는 2월과 3월까지 증가 하고, 4월과 5월에는 감소하는 경향을 나타냈으며(Fig. 12), 생육밀도의 변동폭은 정점 3지역에서 정점 1, 2, 4 지역보다 큰 것으로 관찰되었다(Fig. 13). 종별 생육밀도는 알송이모자반(*S. confusum*)이 평생이모자반(*S. horneri*)보다 생육밀도가 높았으며, 알송이모자반은 각 정점별로 변화의 폭이 적었으나, 평생이모자반은 정점별로 생육밀도의 변동폭이 높았으며, 특히 정점 1과 4지역은 정점 2와 3보다 생육밀도가 높게 나타났다.

조사지역에서 모자반류의 생체량은 3월과 4월까지 점차 증가 하고, 5월에는 감소하는 경향을 나타냈다. 생체량의 변동폭은 정점 1과 4지역에서 정점 2, 3 지역보다 큰 것으로 관찰되었다(Fig. 14). 종별 생체량은 평생이모자반(*S. horneri*)과 알송이모자반(*S. confusum*)사이에서 생체량의 차이는 보이지 않았으나, 평생이모자반의 경우 정점 4에서 4월에 높게($2,891 \text{ gwwt m}^{-2}$) 나타났다. 알송이모자반의 경우 정점 1에서 1월에 가장 높게($1,373 \text{ gwwt m}^{-2}$) 나타나서 종별로 각각 다른 시기와 정점에서 최대 생물량이 나타났다(서 등, 2010).

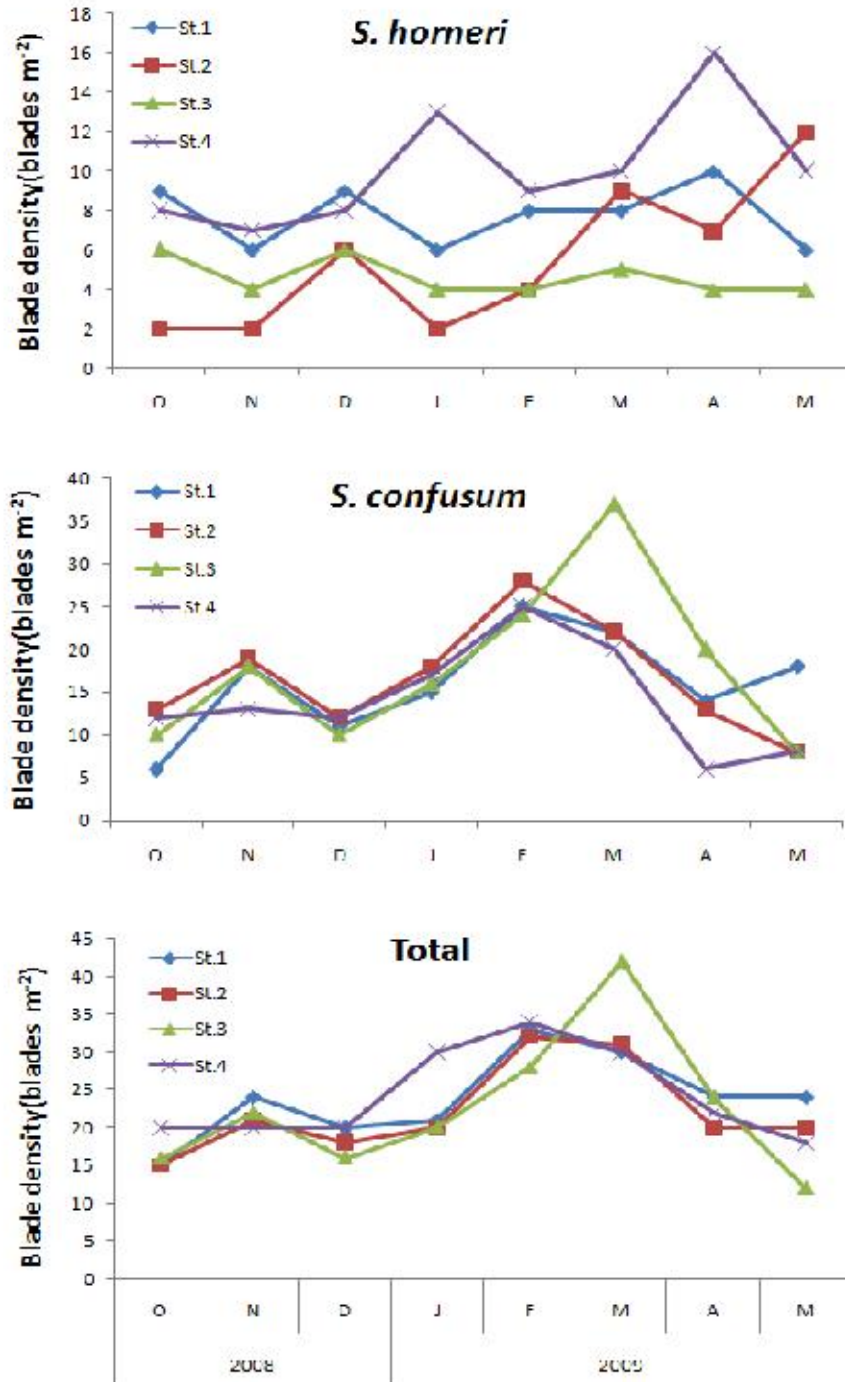


Fig. 13. Seasonal variations of blade density of 3 most important species in Gamak Bay.

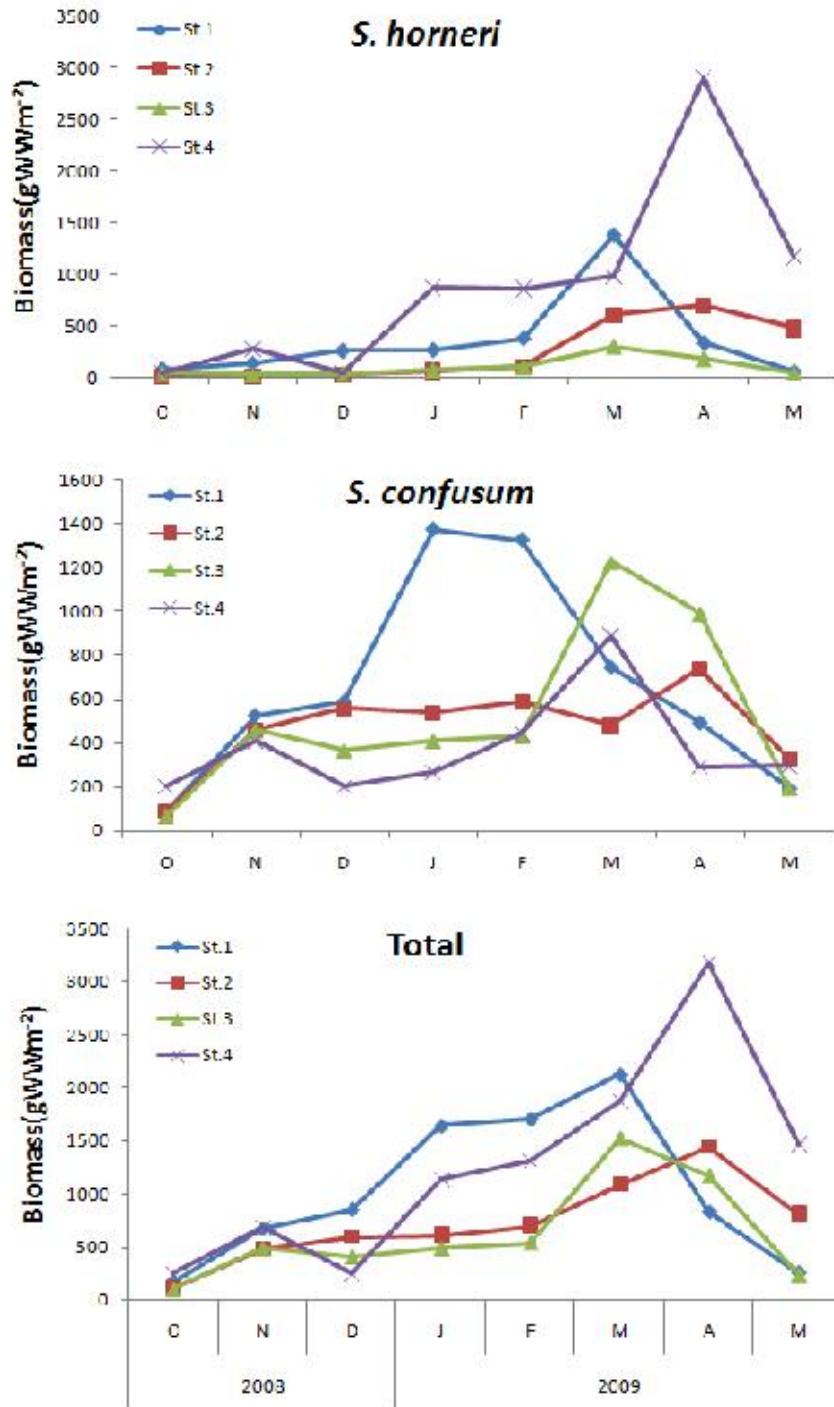


Fig. 14. Seasonal variations of biomass 3 most important species in Gamak Bay.

(5) 에너지 수지 분석 - CHN분석

에너지 수지를 측정하기 위해서는 우선 각 지점별 엽체의 최대생산성($\text{g dry weight m}^{-2}$)을 건조중량으로 산출하고, 엽체 조직내 탄소함량과 질소함량을 CHN분석기를 통하여 측정 후, 1m^2 당 탄소, 질소 고정량을 산출, 모자반의 서식면적을 구하여 각 지점별 전체 탄소 고정량과 전체 질소 고정량을 산출하였다.

엽체의 최대생산성은 10월부터 엽체가 출현하여 각 지점별로 각각 다른 시기인 4월과 5월에 최대 생산량을 보였으며, 정점 4에서 가장 높은 $909.9 \text{ g dry weight m}^{-2}$ 과 3번 정점에서 가장 낮은 $1646 \text{ g dry weight m}^{-2}$ 을 보였다.

엽체내 탄소 함량과 질소 함량은 각 지점별로 월별 조사 한 후 평균치를 측정하여 기준으로 선정하였다. 탄소 함량은 정점 4에서 27.55%로 가장 높은 값을 정점 2에서 24.95%로 가장 낮은 값을 보였다. 질소 함량은 정점 2에서 1.66%로 가장 높은 값을 정점 1에서 1.58%로 가장 낮은 값을 보였다.

이의 자료를 토대로 1m^2 당 탄소 고정량과 질소 고정량을 산출한 결과 탄소 고정량은 4번 정점에서 가장 높은 250.72 gCm^{-2} 를 보였으며, 질소 고정량 또한 4번 정점에서 가장 높은 149 gNm^{-2} 를 나타내었다. 이상의 자료와 측정한 모자반 서식면적을 산출하여 지역별 년중 최대 탄소 고정량과 질소 고정량을 산출한 결과 정점 1에서 325.61 kgC 로 가장 많은 양의 탄소를 고정하였으며, 정점 3에서 43.55 kgC 로 가장 낮은 탄소 고정량을 보였다. 질소 고정량 또한 정점 1에서 20.46 kgN 로 가장 많은 양의 질소를 고정하였고, 정점 3에서 2.64 kgN 으로 가장 낮은 질소 고정량을 보였다(Table 2, Fig. 15).

위에서 산출된 탄소 고정량과 질소 고정량은 4월과 5월 이후에 엽체가 소실되어 무기탄소와 무기 질소로 변환하거나, 조식동물등의 먹이원이 됨으로써 탄소, 질소 고정량은 변한 하였으나, 이들에 대한 자료는 탄소동위원소를 활용한 방법이 고려되어야 할 것이다.

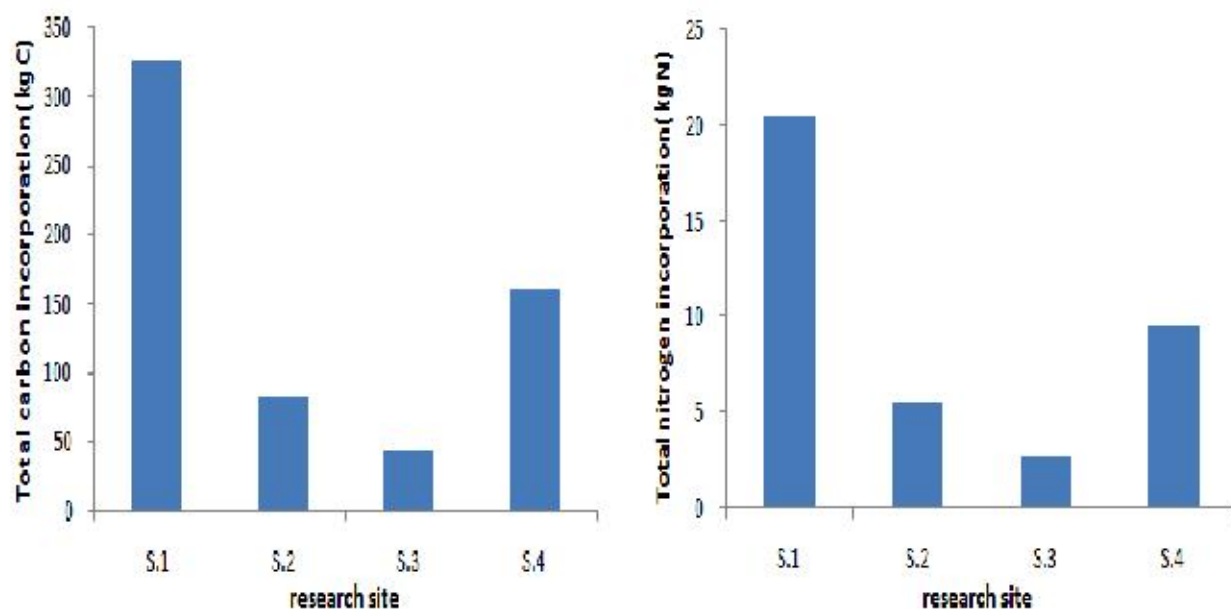
2008년에 실시된 가막만내의 모자반 서식군락의 길이를 인공위성 사진과 실제 측량한 값을 비교하여 분석한 결과 모자반 서식군락의 길이는 60km에 달하였다. 모자반의 서식분포 길이는 해안선으로 수평거리는 약 10-20m내외로 평균 15m 길이로 띠를 이루어 서식하였다. 따라서 가막만내의 모자반 서식면적은 $900,000\text{m}^2$ 이었다.

2008년과 2009년에 조사 정점에서 조사된 모자반의 건조중량은 1m^2 평균 530g으로 조사되어서 가막만내의 모자반 건조생물량은 477톤으로 추정되었다.

엽체내 탄소 함량은 평균 25% 였으며, 질소 함량은 1.6% 이었으므로 가막만내에서 모자반에 의한 탄소 고정량은 119.25톤, 질소 고정량은 7.632톤을 고정한다고 추정할 수 있다.

Table 2. Mean values and ranges of biological characteristics of *Sargassum* sp. in Gamak Bay

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
Blade productivity(g dry weight m ⁻²)	629.6	425.4	164.6	909.9
Blade tissue C content(%)	25.09	24.95	27.09	27.55
Blade tissue N content(%)	1.58	1.66	1.64	1.64
Carbon incorporation(gCm ⁻²)	157.97	106.15	44.59	250.72
Nitrogen incorporation(gNm ⁻²)	9.93	7.04	2.70	14.90
<i>Sargassum</i> sp. coverage(m ²)	2061.18	779.28	976.80	640.80
Total carbon incorporation(kgC)	325.61	82.72	43.55	160.66
Total nitrogen incorporation(kgN)	20.46	5.49	2.64	9.55

Fig 15. *Sargassum* sp. carbon and nitrogen total incorporation in Gamak Bay.

3. 모자반군락지역의 수질환경특성 파악

가. 수질환경 조사

(1) 1차년도 수질환경

(가) 수온 및 염분

조사해역의 수온범위는 41-24.7℃로 정점 2에서 1월에 41℃로 가장 낮게 측정되었으며, 정점 6에서 9월에 24.7℃로 가장 높게 측정 되었다. 각 조사지역별 수온범위는 Fig. 16에 나타난 바와 같다.

조사지점별 수온분포를 보면 모자반 군락 지역인 정점 1에서는 1월에 4.5℃로 가장 낮게 측정 되었으며, 9월에 24.3℃로 가장 높게 측정 되었다. 정점 2에서는 1월에 41℃로 가장 낮게 측정 되었으며, 9월에 24.3℃로 가장 높게 측정 되었다. 정점 3에서는 1월에 4.5℃로 가장 낮게 측정 되었으며, 9월에 24.1℃로 가장 높게 측정 되었다. 정점 4에서는 1월에 3.3℃로 가장 낮게 측정 되었으며, 9월에 24.0℃로 가장 높게 측정 되었다.

대조구인 정점 5에서는 1월에 4.9℃로 가장 낮게 측정 되었으며, 9월에 24.1℃로 가장 높게 측정 되었다. 정점 6에서는 1월에 3.6℃로 가장 낮게 측정 되었으며, 9월에 24.7℃로 가장 높게 측정 되었으며, 조사구와 대조구의 수온은 비슷한 수준을 보였다.

조사해역의 염분 범위는 28.6-33.8 psu로 5월에 정점 4에서 33.8 psu로 가장 높게 측정 되었으며, 9월에 정점 3에서 28.6 psu로 가장 낮게 측정 되었다. 각 조사지역별 염분 범위는 Fig. 17에 나타난 바와 같다.

정점 1의 염분 변화를 살펴보면 29.3-33.6 psu였으며, 5월에 33.6 psu로 가장 높게 측정 되었으며, 9월에 29.3 psu로 가장 낮게 측정 되었다. 정점 2의 염분변화는 29.5-33.7 psu였으며, 4.5월에 33.7 psu로 가장 높게 측정 되었으며, 9월에 29.5 psu로 가장 낮게 측정 되었다. 정점 3에서는 28.6-33.7 psu로 나타났으며, 3월 33.7 psu로 가장 높게 측정 되었으며, 9월에 28.6 psu로 가장 낮게 측정 되었다. 정점 4의 염분 변화는 28.7-33.8 psu로, 5월에 33.8 psu로 가장 높게 측정 되었으며, 9월에 28.7 psu로 가장 낮게 측정 되었다.

대조구인 정점 5의 염분 변화를 살펴보면, 29.6-33.6 psu로 나타났으며, 4월에 33.6 psu로 가장 높게 측정 되었으며, 6월에 29.6 psu로 가장 낮게 측정 되었다. 정점 6에서는 28.9-32.9 psu로 나타났으며, 4.5월에 32.9 psu로 가장 높게 측정 되었으며, 9월에 28.9 psu로 가장 낮게 측정 되었다. 각 조사지점별 평균 염분은 정점 1에서 31.99 psu, 정점 2에서 32.14 psu, 정점 3에서 32.05 psu, 정점 4에서 32.09 psu, 정점 5에서 31.90 psu, 정점 6에서 31.56 psu로 대조구에 비해 모자반 군락이 다소 높게 나타났다.

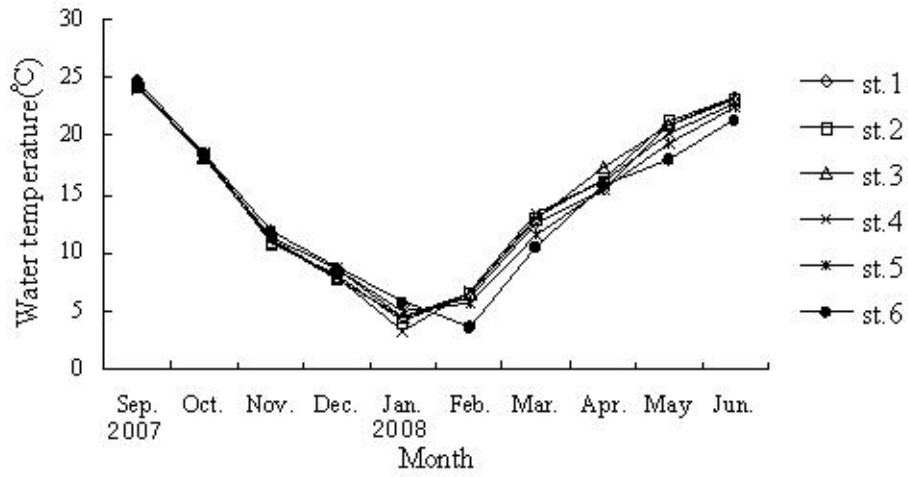


Fig. 16. Monthly variations of water temperature at each stations.

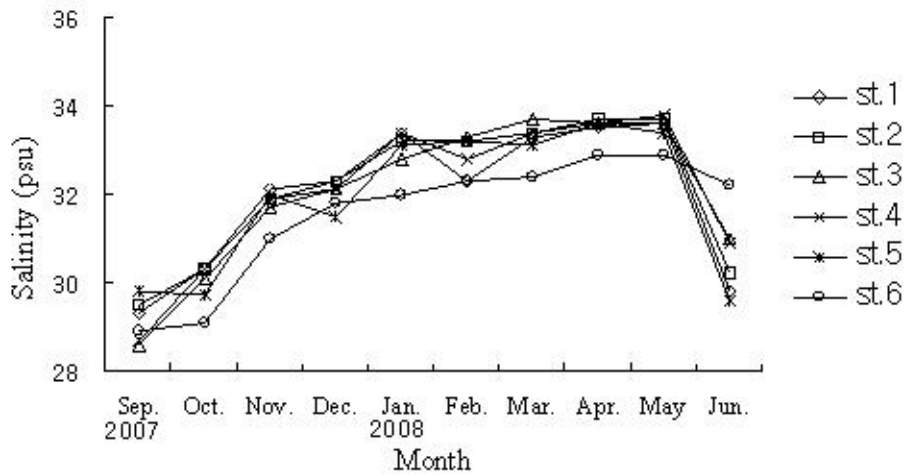


Fig. 17. Monthly variations of salinity at each stations.

(나) pH 및 용존산소

조사해역의 pH는 7.91-8.46의 범위를 나타내었으며, 4월 정점 5에서 7.91로 최저치를 보였고 9월 정점 6에서 8.46로 최고치를 보였다. 전 조사해역의 pH는 해역 II 등급 이상의 비교적 안정된 수역으로 조사 되었다. 각 조사지역별 pH 범위는 Fig. 18에 나타낸 바와 같다.

조사해역별 pH의 변화를 살펴보면 정점 1은 7.98-8.28였으며, 4월에 7.98로 가장 낮았고 12월에 8.28로 가장 높게 측정 되었다. 정점 2의 pH범위는 7.99-8.36였으며, 4월에 7.99로 가장 낮았고 12월에 8.36로 가장 높게 측정 되었다. 정점 3의 pH범위는 8.03-8.33였으며, 6월에 8.03로 가장 낮았고 2월에 8.33로 가장 높게 측정 되었다. 정점 4의 pH범위는 8.02-8.32였으며, 6월에 8.02로 가장 낮았고 12월에 8.32로 가장 높게 측정 되었다.

대조구인 정점 5의 pH범위는 7.91-8.24였으며, 4월에 7.91로 가장 낮았고 9월에 8.24로 가장 높게 측정 되었다. 정점 6의 pH범위는 7.92-8.46이었으며, 4월에 7.92로 가장 낮았고 9월에 8.46로 가장 높게 측정 되었다. 각 조사지점별 평균 pH는 정점 1은 8.16, 정점 2는 8.18, 정점 3은 8.19, 정점 4는 8.18, 정점 5는 8.06, 정점 6은 8.12로 조사구가 다소 높게 나타났으며, 이유는 모자반 군락에서 이루어진 광합성의 영향으로 (OH)⁻ 이온의 방출에 기인한 것으로 추정된다.

조사해역의 DO는 6.53-13.93 mg/L의 범위를 보였으며 해역 I-II 등급 범위인 것으로 조사되었다. 정점 3에서 10월에 6.53 mg/L로 가장 낮게 측정 되었으며, 정점 6에서 9월에 13.93 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 각 조사 지역별 DO수치는 Fig. 19에 나타낸 바와 같다.

조사 해역별 DO수치의 변화를 살펴보면, 정점 1은 10월에 7.46 mg/L로 가장 낮았고 1,2월에 11.68 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 정점 2는 10월에 6.98 mg/L로 가장 낮았고 2월에 13.35 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 정점 3은 10월에 6.53 mg/L로 가장 낮았고 2월에 12.49 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 정점 4는 10월에 7.02 mg/L로 가장 낮았고 2월에 11.84 mg/L로 가장 높게 측정 되었다.

대조구인 정점 5에서는 10월에 6.98 mg/L로 가장 낮았고 1월에 10.87로 가장 높게 측정 되었다. 정점 6은 6월에 7.18 mg/L로 가장 낮았고 9월에 13.93 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 각 조사지점별 평균 DO는 해역 I 등급 범위인 7.5 mg/L보다 높게 측정되었으며, 조사지점별로는 정점 2가 10.01 mg/L로 가장 높았고 정점 1이 9.85 mg/L, 정점 3이 9.89 mg/L, 정점 4는 9.72 mg/L로 큰 차이를 보이지 않았다. 대조구인 정점5,6에서는 각각 8.92 mg/L, 9.02 mg/L로 나타났으며, 모자반 군락지가 대조구에 비하여 상당히 높은 수치가 나타났다. 모자반 군락지가 높게 나타난 이유는 모자반에서 이루어진 광합성에 의한 산소의 방출에 기인한 것으로 추정되며, 향후 실내실험을 통한 정량 분석이 요구되어 진다.

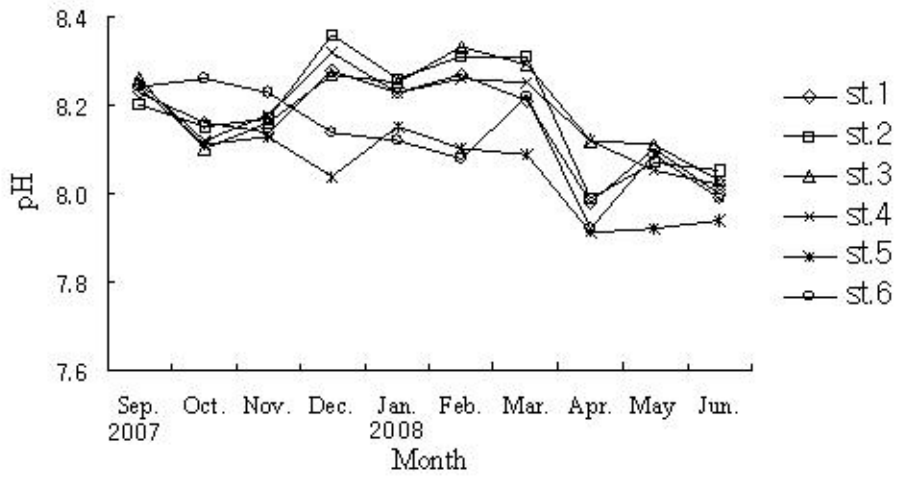


Fig. 18. Monthly variations of pH at each stations.

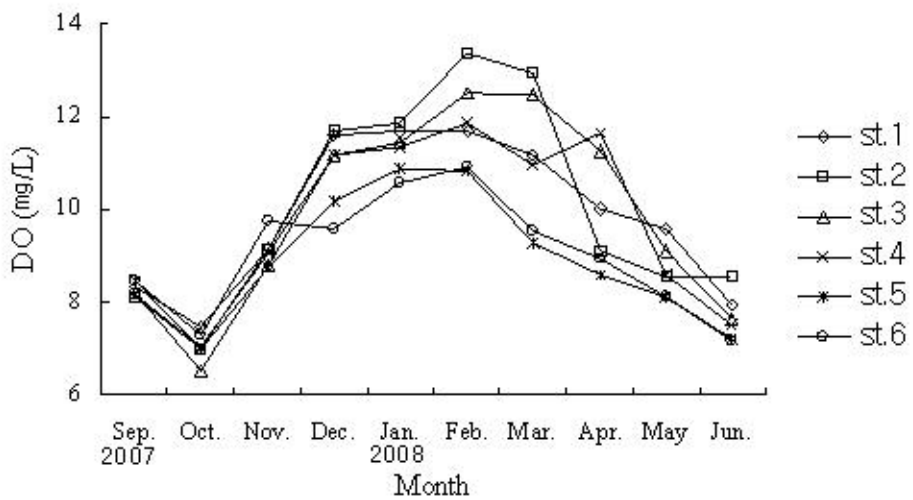


Fig. 19. Monthly variations of dissolved oxygen at each stations.

(다) 화학적 산소요구량(COD)

조사해역의 COD는 0.14-5.26 mg/L로 나타났으며, 4월에 정점 4에서 0.14 mg/L로 가장 낮은 값을 보였으며, 2월에 역시 정점 4에서 5.26 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 각 조사지역별 COD 범위는 Fig. 20에 나타낸 바와 같다.

각 조사 지점별 COD 분포는 정점 1은 1월에 0.27 mg/L로 가장 낮았고 10월에 2.53 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 정점 1의 COD 평균 값은 1.37 mg/L로 나타나 해양 I 등급 범위인 1이하보다 다소 높게 나타났다. 정점 2의 COD 분포는 9, 11월에 0.43 mg/L로 가장 낮았고 1월에 2.29 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 정점 2의 COD 평균 값은 1.22 mg/L로 나타났다. 정점 3의 COD 값은 4, 6월에 0.56 mg/L로 가장 낮았고 3월에 2.40 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 정점 3의 COD 평균 값은 1.63 mg/L로 나타났다. 정점 4는 4월에 0.14 mg/L로 가장 낮았고 2월에 5.26 mg/L로 가장 높게 나타났다. 정점 4의 COD 평균 값은 2.19 mg/L로 나타났으며 이는 해양 II 등급 범위인 2이하 보다 높은 값을 나타내었다.

대조구인 정점 5에서는 9월에 0.72 mg/L로 가장 낮았고 12월에 2.08 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 정점 5의 COD 평균 값은 1.19 mg/L로 나타났다. 정점 6은 10월에 0.67 mg/L로 가장 낮았고, 12월에 2.08 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 정점 6의 COD 평균 값은 1.71 mg/L로 나타났다. 각 조사 정점별 COD 평균값에 대한 해양 등급을 살펴보면 정점 4는 해양 III 등급, 나머지 정점은 모두 해양 II 등급으로 나타났다.

모자반 군락지와 대조구와의 차이는 군락지가 다소 높게 나타났으며, 이유는 군락지의 위치가 육지에서 5 m 정도 떨어져 모자반 군락에 의한 COD 유발물질 흡수에도 불구하고, 육지에서 200 m 정도 떨어진 대조구에 비해 육지로부터의 오염물질에 많이 노출되었던 것으로 추정된다.

(라) 총질소

수중의 질소는 유기물 침강과 플랑크톤의 사체, 그리고 간석지 생물의 배설물 및 사체들에서 유래되는 것으로 바닥에 쌓여 저질을 악화시키는 한편 이들은 분해세균에 의해 분해되어 다시 수중으로 용해되어 나가기 때문에 양식장의 노후화는 물론 수질오염을 예견할 수 있는 수단으로도 이용된다. 조사 지점의 총질소 검출범위는 0.005-0.656 mg/L로 나타났으며, 6월에 정점 6에서 0.005 mg/L으로 가장 낮은 수치를 보였으며, 5월에 정점 2에서 0.656 mg/L으로 가장 높은 수치를 보였다. 각 조사 지점별 총 질소 검출량은 Fig. 21에 보는 바와 같다.

조사 지점별 총 질소 검출량을 살펴보면, 정점 1에서의 총 질소 검출량은 0.015-0.604 mg/L을 나타냈으며, 11월에 0.015 mg/L로 가장 낮았으며, 6월에 0.604 mg/L로 가장 높은 값을 나타내었다. 평균 총 질소 검출량은 0.055 mg/L로 해역 1등급 범위인 0.5 mg/L보다 낮게 나타났다. 정점 2에서의 총 질소 검출 범위는 0.009-0.656 mg/L을 나타냈으며, 1월에 0.009 mg/L로 가장 낮게 측정 되었으며, 5월에 0.656 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총 질소 검출량은 0.030 mg/L로 해역 1등급 범위인 0.5 mg/L 이하로 측정 되었다. 정점 3에서의 총 질소 검출 범위는 0.016-0.416 mg/L로 조사 되었으며, 1월에 0.016 mg/L로 가장 낮은 수치를 보였으며, 6월에 0.416 mg/L로 가장 높은 수치를 보였다. 평균 총 질소 검출량은 0.100 mg/L로 해역 1등급 범위인 0.5 mg/L 이하로 측정 되었다. 정점 4의 총 질소 검출 범위는 0.012-0.404 mg/L로 조사 되었으며, 3월에 0.012 mg/L로 가장 낮았으며, 6월에 0.404 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총 질소 검출량은 0.151 mg/L로 해역 1등급 범위인 0.5 mg/L 이하로 측정 되었다.

대조구인 정점 5의 경우 총 질소 검출 범위는 0.017-0.061 mg/L로 나타났고, 1월에 0.017 mg/L로 가장 낮았고, 3월에 0.061 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총 질소 검출량은 0.114 mg/L로 해역 1등급 범위인 0.5 mg/L 이하로 측정 되었다. 정점 6의 총 질소 검출 범위는 0.005-0.123 mg/L로 나타났으며, 6월에 0.005 mg/L로 가장 낮고 10월에 0.123 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총 질소 검출량은 0.093 mg/L로 해역 1등급 범위인 0.5 mg/L 이하로 측정 되었다.

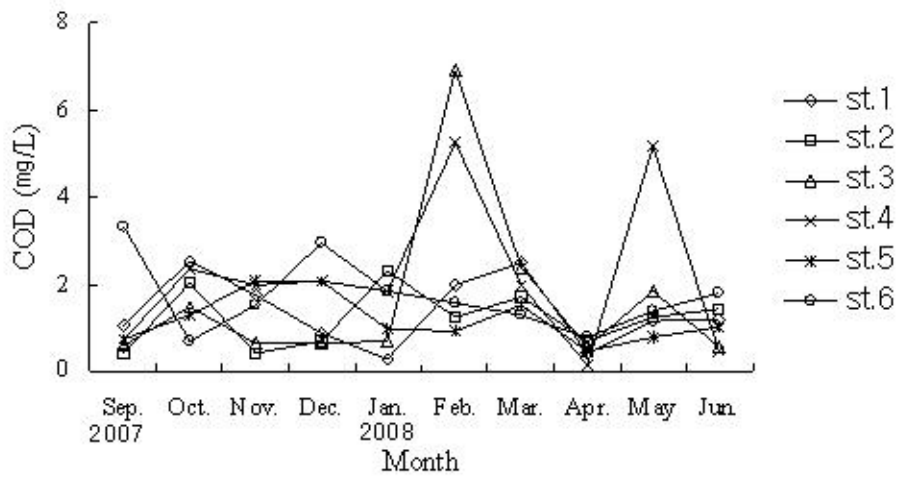


Fig. 20. Monthly variations of COD at each stations.

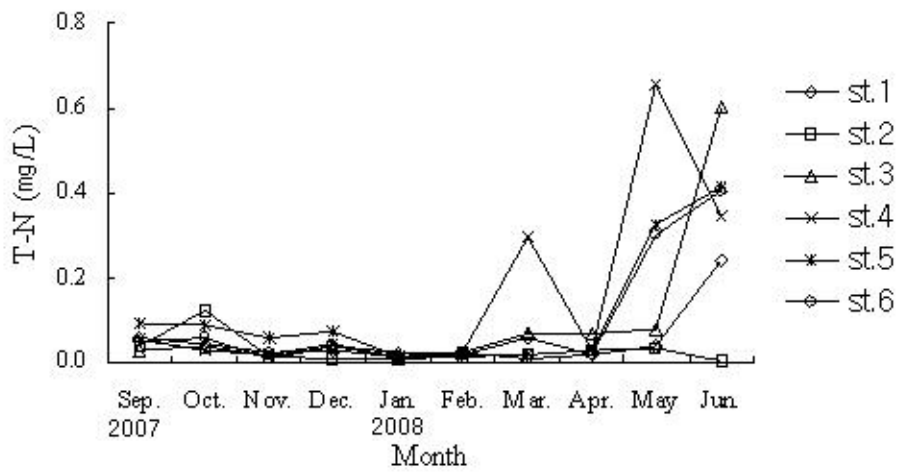


Fig. 21. Monthly variations of T-N at each stations.

(마) 총인

인은 부영양화를 나타내는 지표중의 하나로 물속에 포함된 인의 총량을 말한다. 인은 질소와 함께 수질계를 부영양화하는 원인으로서 양식장의 노후화는 물론 수질오염을 예견할 수 있는 수단으로 이용된다. 조사해역의 총인 검출량 범위는 0.001-0.133 mg/L로 나타났으며, 9, 10월에 정점 6에서 0.001 mg/L로 가장 낮게 측정 되었으며, 2월에 정점 3과, 정점 4에서 0.133 mg/L로 측정 되었다. 각 조사 지점 별 총인 검출량은 Fig. 22에 나타낸 바와 같다.

정점 1의 총인 검출 범위는 0.018-0.365 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.018 mg/L로 가장 낮았으며, 2월에 0.365 mg/L로 가장 높게 나타났다. 평균 총인 검출량은 0.072 mg/L로 나타났다. 정점 2의 총인 검출 범위는 0.010-0.076 mg/L으로 조사되었고, 9월에 0.010 mg/L로 가장 낮았으며, 10월에 0.076 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총인 검출량은 0.044mg/L로 나타났다. 정점 3의 총인 검출 범위는 0.012-0.133 mg/L으로 나타났으며, 9월에 0.012 mg/L로 가장 낮았으며, 2월에 0.133 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총인 검출량은 0.049 mg/L로 나타났다. 정점 4의 총인 검출 범위는 0.012-0.133 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.012 mg/L로 가장 낮았고 2월에 0.133 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총인 검출량은 0.069 mg/L로 나타났다.

대조구인 정점 5에서의 총인 검출 범위는 0.005-0.516 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.005 mg/L로 가장 낮았고 3월에 0.516으로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총인 검출량은 0.122 mg/L로 조사 지점 중 가장 높은 값을 나타내었다. 정점 6에서의 총인 검출 범위는 0.001-0.107 mg/L로 나타났으며, 9, 10월에 0.01 mg/L로 가장 낮았고 3월에 0.107 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 총인 검출량은 0.040 mg/L로 나타났으며, 조사 지점 중 가장 낮은 값을 보였다.

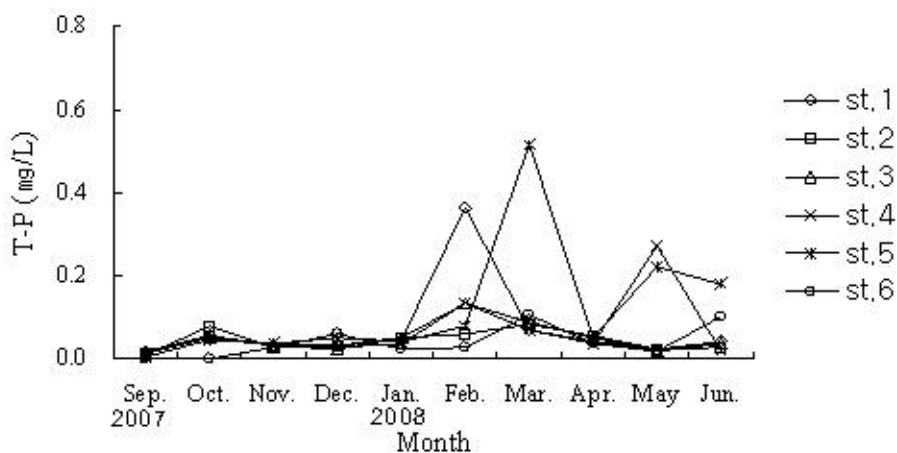


Fig. 22. Monthly variations of T-P at each stations.

(바) 규산

각 조사 지점별 규산의 검출량 범위는 0.010-0.713 mg/L을 보였으며, 9월에 정점 4에서 0.010 mg/L로 가장 낮은 수치를 보였고, 5월에 정점 4에서 0.713 mg/L로 가장 높은 수치를 보였다. 각 조사지점별 규산의 검출량은 Fig. 23에 나타낸 바와 같다.

각 조사지점별로 살펴보면 정점 1의 규산 검출 범위는 0.017-0.806 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.017 mg/L로 가장 낮았고, 4월에 0.806 mg/L로 가장 높은 값을 보였다. 평균 규산 검출량은 0.264 mg/L로 나타났다. 정점 2의 규산 검출 범위는 0.017-0.669 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.017 mg/L로 가장 낮았고 6월에 0.669 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 규산 검출량은 0.289 mg/L로 나타났다. 정점 3의 규산 검출 범위는 0.013-0.674 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.013 mg/L로 가장 낮았고 6월에 0.674 mg/L로 가장 높은 값을 나타냈다. 평균 규산 검출량은 0.300 mg/L로 조사 지점 중 가장 높은 값을 보였다. 정점 4의 규산 검출 범위는 0.010-0.713 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.010 mg/L로 가장 낮았고 5월에 0.713 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 규산 검출량은 0.263 mg/L로 나타났다.

대조구인 정점 5의 규산 검출 범위는 0.020-0.585 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.020 mg/L로 가장 낮았고 6월에 0.585 mg/L로 가장 높게 나타났다. 평균 규산 검출량은 0.185 mg/L로 나타났다. 정점 6의 규산 검출 범위는 0.023-0.487 mg/L로 나타났으며, 9월에 0.023 mg/L로 가장 낮았고 6월에 0.487 mg/L로 가장 높게 측정 되었다. 평균 규산 검출량은 0.146 mg/L로 조사 지점 중 가장 낮게 측정 되었다. 규산의 경우 대조구에 비해 모자반 균락지가 매우 높게 나타났는데, 이유는 육지로부터 기인한 담수영향으로 인한 것으로 판단되며, 육지와 인접한 균락지의 거리상 담수의 직접적인 영향을 받는 것으로 사료된다.

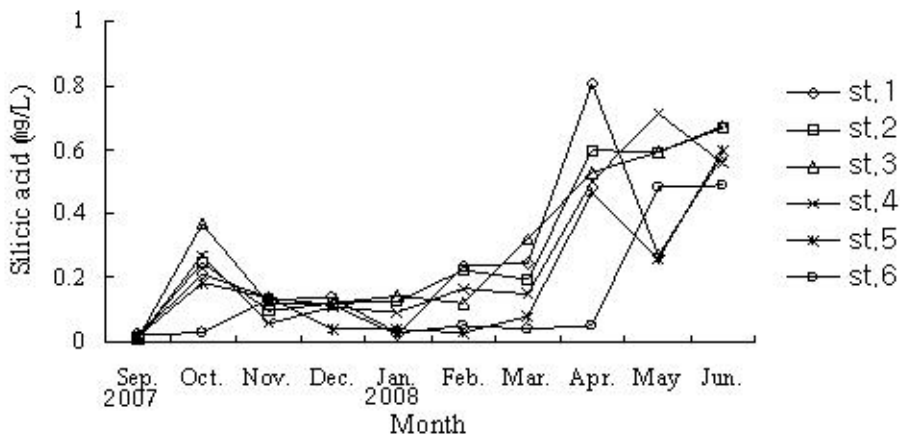


Fig. 23. Monthly variations of Silicic acid at each stations.

(사) Chlorophyll- α

각 조사지점별로 Chlorophyll- α 의 경우 0.61-9.75 $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 보였으며, 6월에 정점 5와 정점 4에서 0.61 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮고 2월에 한국화약 인근 해역에서 9.75 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높게 측정되었다. 각 조사지역별 Chlorophyll- α 범위는 Fig. 24에 나타낸 바와 같다.

정점 1의 Chlorophyll- α 의 경우 9월과 2월에 각각 7.53 $\mu\text{g/L}$, 9.75 $\mu\text{g/L}$ 로 높은 수치를 보였으며, 이후, 서서히 감소하여 5, 6월에 각각 0.96 $\mu\text{g/L}$, 0.65 $\mu\text{g/L}$ 로 낮은 수치를 보였다. 특히 2월에 9.75 $\mu\text{g/L}$ 로 부영양화 기준치인 10 $\mu\text{g/L}$ 에 가까운 수치를 보였다. 정점 1의 Chlorophyll- α 의 평균 값은 3.73 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다. 정점 2에서 조사된 Chlorophyll- α 의 경우 3월에 9.40 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높은 수치를 보였으며, 10, 1월에 2.35 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮은 수치를 보였다. 정점 2의 평균 Chlorophyll- α 값은 4.34 $\mu\text{g/L}$ 로 조사 정점 중 가장 높은 수치를 보였다. 정점 3은 4월에 7.40 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높은 수치를 보였으며, 12, 6월에 1.35 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮은 수치를 보였다. 정점 3의 평균 Chlorophyll- α 값은 3.94 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다. 정점 4의 Chlorophyll- α 는 3월에 7.09 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높은 수치를 보였으며, 6월에 0.61 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮은 수치를 보였다. 평균 Chlorophyll- α 값은 3.79 $\mu\text{g/L}$ 를 나타냈다.

대조구인 정점 5의 경우 Chlorophyll- α 값은 9월에 6.88 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높게 측정되었으며, 6월에 0.61 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮게 측정되었다. 평균 Chlorophyll- α 값은 2.73 $\mu\text{g/L}$ 로 전 조사지점 중 가장 낮은 값을 보였다. 정점 6의 경우 1월에 5.48 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높게 측정되었고, 3월에 1.31 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮게 측정되었다. 평균 Chlorophyll- α 값은 2.90 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다. 모자반군락이 없는 대조구의 2개 정점은 모자반군락지에 비해 Chlorophyll- α 의 평균 값이 낮게 나온 것을 확인 할 수 있었다.

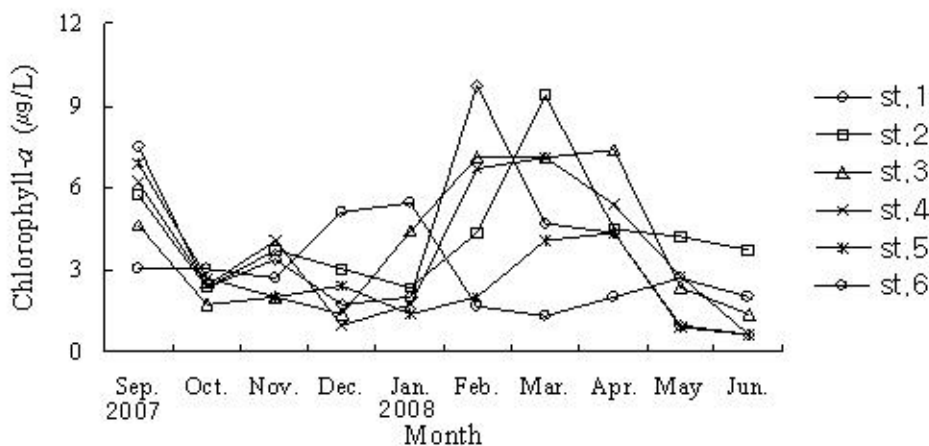


Fig. 24. Monthly variations of Chlorophyll- α at each stations.

(아) 알칼리도

알칼리도(alkalinity)란 해수 중의 산을 중화시킬 수 있는 염기의 총량을 탄산칼슘의 양으로 표시한 것이다. 즉 물의 pH 변화를 완충시킬 수 있는 능력으로서 알칼리도가 높으면 사육수의 pH 변화가 감소되며, 낮으면 pH 변화가 증가한다. 조사 지점별 알칼리도의 범위를 살펴보면, 40-184 ppm으로, 9월에 정점 5에서 40 ppm으로 가장 낮게 측정 되었으며, 1월에 정점 1에서 184 ppm으로 가장 높게 측정 되었다. 각 조사 지점별 알칼리도 범위는 Fig. 25와 같다.

각 조사 지점별 알칼리도의 변화를 살펴보면, 정점 1의 알칼리도 범위는 54-184 ppm으로 나타났으며, 9월에 54 ppm으로 가장 낮았고 1월에 184 ppm으로 가장 높은 값을 보였다. 평균 알칼리도 값은 110.5 ppm으로 나타났다. 정점 2의 알칼리도 범위는 57-170 ppm으로 나타났으며, 6월에 57 ppm으로 가장 낮았고 1월에 170 ppm으로 가장 높은 값을 보였다. 평균 알칼리도 값은 116.9 ppm으로 조사 지점 중 가장 높은 값을 보였다. 정점 3의 알칼리도 값은 41-180 ppm으로 나타났으며, 9월에 41 ppm으로 가장 낮았고 1월에 180 ppm으로 가장 높게 측정 되었다. 평균 알칼리도 값은 106.7 ppm으로 조사 지점 중 가장 낮은 알칼리도 값을 보였다. 정점 4의 알칼리도 범위는 46-149 ppm으로 나타났으며, 6월에 46 ppm으로 가장 낮았고 10월에 149 ppm으로 가장 높게 측정 되었다. 평균 알칼리도 값은 106.9 ppm을 보였다.

대조구인 정점 5의 알칼리도 범위는 40-161 ppm으로 나타났으며, 9월에 40 ppm으로 가장 낮았고 1월에 161 ppm으로 가장 높게 측정 되었다. 평균 알칼리도 값은 112.7 ppm으로 조사 되었다. 정점 6의 알칼리도 범위는 69-132 ppm을 보였으며, 10월에 69 ppm으로 가장 낮았고 4월에 132 ppm으로 가장 높은 값을 보였다. 평균 알칼리도 값은 115.1 ppm으로 나타났다. 알칼리도는 대조구에 비해 조사구가 다소 낮게 나타났으며, 그 이유로는 통상 육수의 유입이나 강수에 의해 낮아지는 경향을 보이므로 육지와 인접한 지형적인 특성으로 보여 진다.

(자) 함수율

저질의 함수율은 저질 입자간에 흡을 수 있는 함수량에 비례되는 것으로 저질의 보수력을 나타내주는 지표로 사용된다. 조사해역의 함수율을 살펴보면 34.84-67.05%였다. 각 조사지역별 함수율 범위는 Fig. 26에 나타낸 바와 같다.

정점 1을 살펴보면 3월에 45.69%로 가장 낮았고 10월에 63.21%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 함수율은 57.20%였다. 정점 2의 함수율은 6월에 57.19%로 가장 낮았고 1월에 66.78%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 함수율은 61.52%로 조사 정점 중 가장 높은 수치를 보였다. 정점 3의 함수율은 10월에 35.96%로 가장 낮았고 2월에 61.67%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 함수율은 53.18%로 조사 정점 중 가장 낮은 수치를 보였다. 정점 4의 함수율은 9월에 34.84%로 가장 낮았고 12월에 67.05%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 함수율은 60.05%로 나타났다.

대조구인 정점 5의 함수율은 9월에 36.02%로 가장 낮았고 3월에 65.78%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 함수율은 60.01%로 나타났다. 정점 6의 함수율은 5월에 56.29%로 가장 낮았고 2월에 62.98%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 함수율은 60.68%로 나타났다.

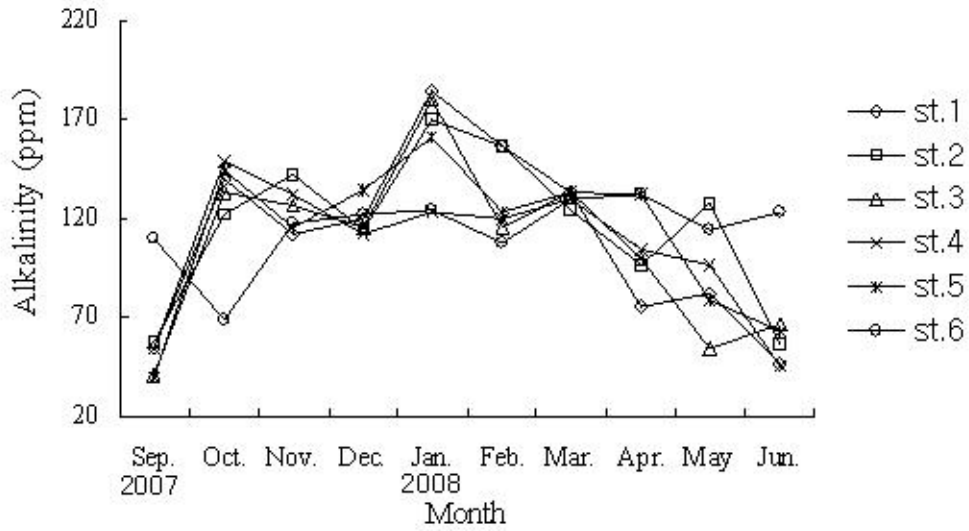


Fig. 25. Monthly variations of Alkalinity at each stations.

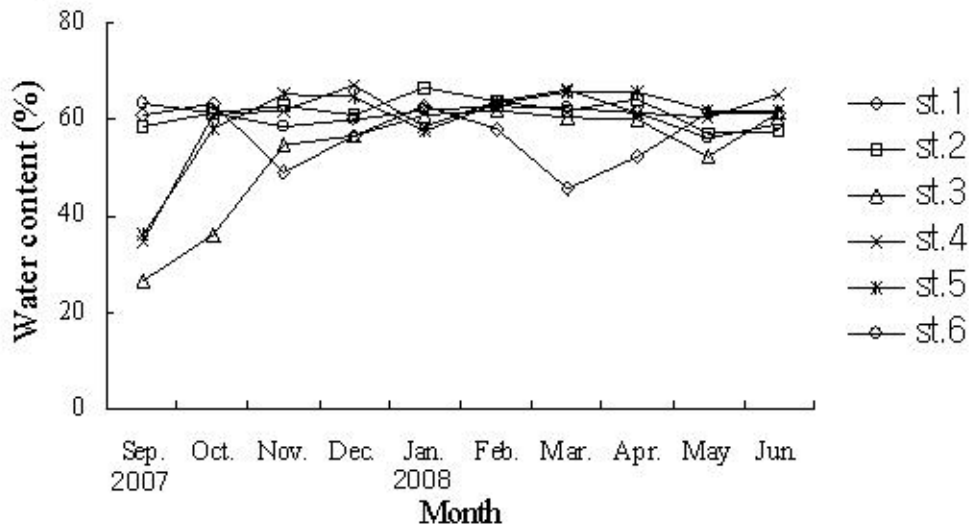


Fig. 26. Monthly variations of water content at each stations.

(차) 강열감량

저질의 강열감량 결과는 Fig. 27에 보는 바와 같다. 각 조사지점별 강열감량을 살펴보면 정점 1에서의 강열감량 범위는 3.59-8.39%였으며, 12월에 3.59%로 가장 낮았고 1월에 8.39%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 강열감량은 6.77%로 양식장 오염니 기준인 12% 이하로 조사 되었다. 정점 2에서의 강열감량 범위는 6.46-10.14%였으며, 10월에 6.46%로 가장 낮았고 2월에 10.14%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 강열감량은 7.81로 조사 되었다. 정점 3의 강열감량 범위는 2.73-9.75%였으며, 9월에 2.73%로 가장 낮았고 2월에 9.75%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 강열감량은 6.63%로 조사 되었다. 정점 4에서의 강열감량 범위는 5.09-10.06%였으며, 9월에 5.09%로 가장 낮았고 6월에 10.06%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 강열감량은 8.11%로 조사 되었다.

대조구인 정점 5의 강열감량 범위는 4.84-8.93%였으며, 10월에 4.84%로 가장 낮았고 2월에 8.93%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 강열감량은 6.63%로 나타났다. 정점 6의 강열감량 범위는 6.35-8.72%였으며, 12월에 6.35%로 가장 낮았고 4월에 8.72%로 가장 높게 측정 되었으며, 평균 강열감량은 7.18로 나타났다.

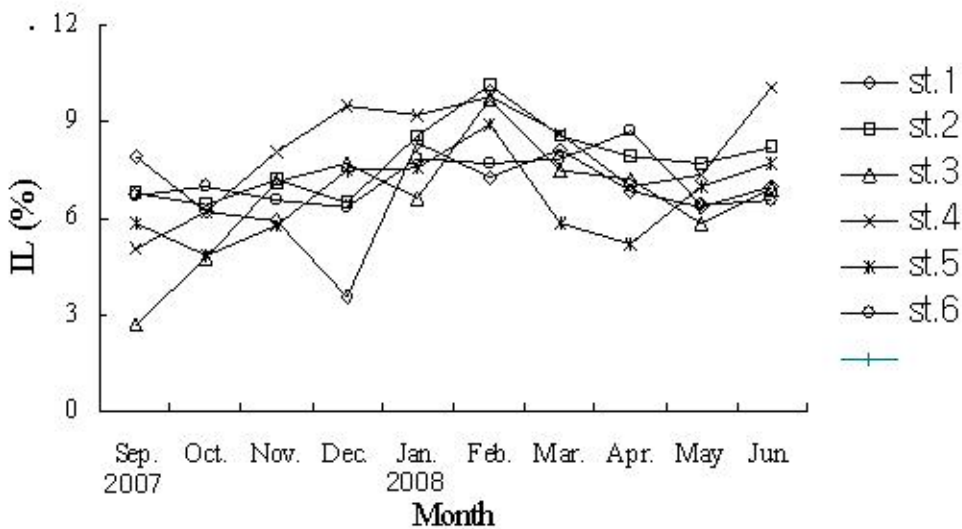


Fig. 27. Monthly variations of Ignition loss(%) at each stations.

(타) 화학적 산소요구량(COD)

저질의 화학적 산소요구량은 수중의 유기물이나 저서생물에 의해 공급된 유기량을 나타내는 것으로 각 조사지점별 저질 COD 분석결과는 Fig. 28에서 보는 바와 같다.

각 조사 지점별 저질 COD의 변화를 살펴보면 정점 1에서 저질 COD의 검출 범위는 10.51-22.15 mg/g-dry였으며, 1월에 22.15 mg/g-dry로 가장 높았으며, 5월에 10.51 mg/g-dry로 가장 낮았다. 평균 저질 COD 검출량은 14.62 mg/g-dry로 양식장 오염니 기준인 20 mg/g-dry보다 낮게 조사 되었다. 정점 2의 저질 COD 검출 범위는 12.66-25.03 mg/g-dry로 나타났으며, 4월에 25.03 mg/g-dry로 가장 높았으며, 5월에 12.66 mg/g-dry로 가장 낮았다. 평균 저질 COD 검출량은 20.08 mg/g-dry로 양식장 오염니 기준인 20 mg/g-dry보다 높게 조사 되었다. 정점 3의 저질 COD 검출 범위는 5.42-25.53 mg/g-dry로 나타났으며, 3월에 25.53 mg/g-dry로 가장 높았으며, 9월에 5.42 mg/g-dry로 가장 낮게 나타났다. 평균 저질 COD 검출량은 15.46 mg/g-dry로 양식장 오염니 기준인 20 mg/g-dry보다 낮게 조사 되었다. 정점 4의 저질 COD 검출 범위는 9.45-25.79 mg/g-dry로 나타났으며, 12월에 25.79 mg/g-dry로 가장 높았으며, 5월에 9.45 mg/g-dry로 가장 낮았다. 평균 저질 COD 검출량은 19.79 mg/g-dry로 양식장 오염니 기준인 20 mg/g-dry보다 낮게 나타났다.

대조구인 정점 5에서의 저질 COD 검출 범위는 5.73-23.64 mg/g-dry로 나타났으며, 12월에 23.64 mg/g-dry로 가장 높았으며, 9월에 5.73 mg/g-dry로 가장 낮게 나타났다. 평균 저질 COD 검출량은 15.29 mg/g-dry로 양식장 오염니 기준인 20 mg/g-dry보다 낮게 나타났다. 정점 6의 저질 COD 검출 범위는 12.20-26.45 mg/g-dry로 나타났으며, 11월에 26.45 mg/g-dry로 가장 높았으며, 6월에 12.20 mg/g-dry로 가장 낮게 측정 되었다. 평균 저질 COD 검출량은 17.60 mg/g-dry로 양식장 오염니 기준인 20 mg/g-dry보다 낮게 나타났다.

(파) 산 황발성 황화물(AVS)

저질층의 유기물이 분해되면서 산소가 소비되어 저 산소 상태에 이르면 환원세균의 증식에 의하여 황화수소가 발생하게 되어 저서생물에 악영향을 미치게 되고 2차적으로는 수질에 까지 영향을 미치게 된다. 각 조사 지점별 AVS 결과는 Fig. 29에서 보는 바와 같다.

각 조사 지점별 AVS의 변화를 살펴보면 정점 1에서 AVS 검출 범위는 0.010-0.066 mg S/g였으며, 12월에 0.066 mg S/g로 가장 높았고, 6월에 0.010 mg S/g로 가장 낮게 측정 되었다. 평균 AVS 검출량은 0.023 mg S/g로 양식장 오염니 기준인 0.2 mg S/g보다 낮게 조사되었다. 정점 2의 AVS 검출 범위는 0.004-0.075 mg S/g로 나타났으며, 6월에 0.075 mg S/g로 가장 높게 나타났고, 2월에 0.004 mg S/g로 가장 낮은 수치를 보였다. 평균 AVS 검출량은 0.046 mg S/g로 양식장 오염니 기준인 0.2 mg S/g보다 낮게 조사 되었다. 정점 3의 AVS 검출 범위는 0.015-0.221 mg S/g로 나타났으며, 9월에 0.221 mg S/g로 가장 높았고, 1, 2, 4월에 0.015 mg S/g로 가장 낮은 수치를 보였다. 평균 AVS 검출량은 0.068 mg S/g로 양식장 오염니 기준인 0.2 mg S/g보다 낮은 값을 나타 내었다. 정점 4의 AVS 검출 범위는 0.008-0.535 mg S/g로 나타났으며, 9월에 0.535 mg S/g로 가장 높았고, 4월에 0.008 mg S/g로 가장 낮은 값을 보였다. 평균 AVS 검출량은 0.112 mg S/g로 양식장 오염니 기준인 0.2 mg S/g보다 낮았으나, 조사 지점 중 가장 높은 AVS 검출량을 나타냈다.

대조구인 정점 5의 AVS 검출 범위는 0.008-0.073 mg S/g로 나타났으며, 1월에 0.073 mg S/g로 가장 높았고, 10월에 0.008 mg S/g로 가장 낮았다. 평균 AVS 검출량은 0.035 mg S/g로 나타났으며, 양식장 오염니 기준인 0.2 mg S/g보다 낮게 나타났다.

정점 6의 경우 AVS 검출 범위는 0.007-0.035 mg S/g로 나타났으며, 1월에 0.073 mg S/g로 가장 높았으며, 10월에 0.008 mg S/g로 가장 낮은 값을 나타내었다. 평균 AVS 검출량은 0.020 mg S/g로 양식장 오염니 기준인 0.2 mg S/g보다 낮았으며, 조사 지점 중 가장 낮은 AVS 검출량 값을 나타내었다.

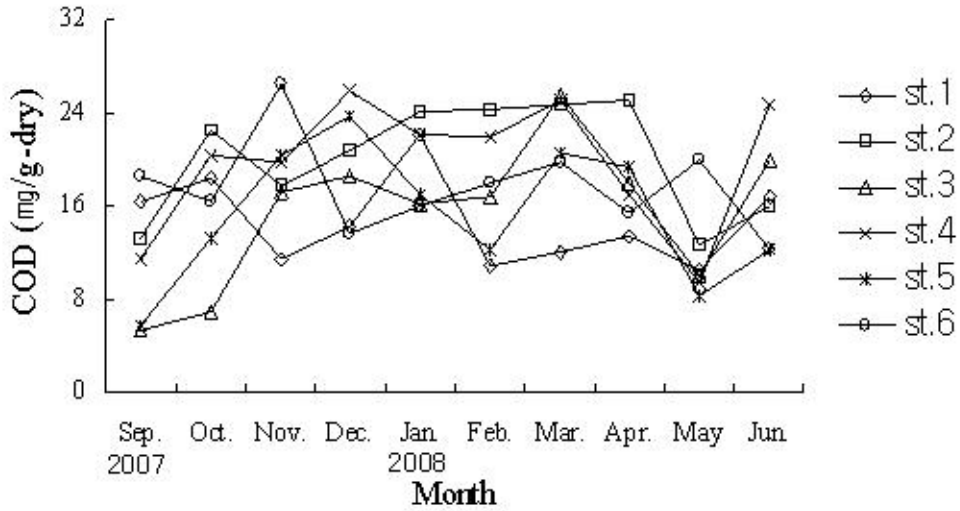


Fig. 28. Monthly variations of COD at each stations.

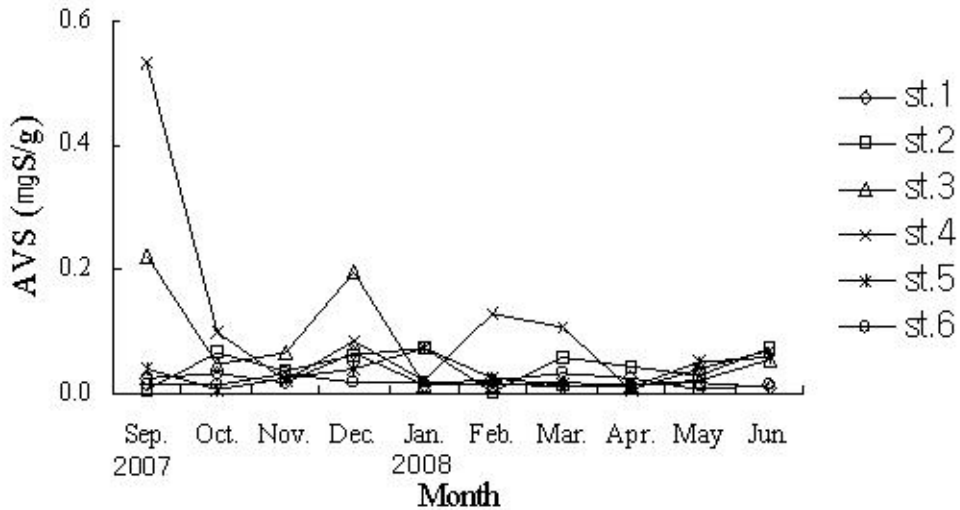


Fig. 29. Monthly variations of AVS at each stations.

(2) 2차년도 수질환경

(가) 수온 및 염분

모자반 군락지역과 비모자반 군락지의 수질환경 특성을 비교하기 위하여, 2008년 11월부터 2009년 5월까지 가막만 일대에 자연발생한 모자반 군락지와 대조구(비모자반 군락)를 선정하여 환경조사를 실시하였다.

수질환경 조사 결과 수온은 모자반 군락지에서 2009년 1월에 정점 1에서 4.02℃로 가장 낮았으며, 2009년 5월에 정점 1에서 19.75℃로 가장 높게 나타났다. 모자반 군락지내 정점간 유의한 차이는 보이지 않았다. 비모자반 군락지인 대조구의 수온변화를 살펴보면, 2009년 1월에 4.06℃로 가장 낮았으며, 2009년 5월에 19.45℃로 가장 높게 나타났다. 월별 조사결과 모자반 군락지내 수온변화 양상과 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 30).

모자반 군락지의 월별 염분농도는 2009년 4월에 정점 1에서 32.12 psu로 가장 낮았으며, 2009년 5월에 정점 2에서 33.60 psu로 가장 높게 나타났다. 모자반 군락지내 정점간 염분농도는 유의한 차이는 보이지 않았다. 대조구의 염분농도의 변화는 2008년 11월에 32.08 psu로 가장 낮았으며, 2009년 5월에 33.10 psu로 가장 높게 나타났다(Fig. 31).

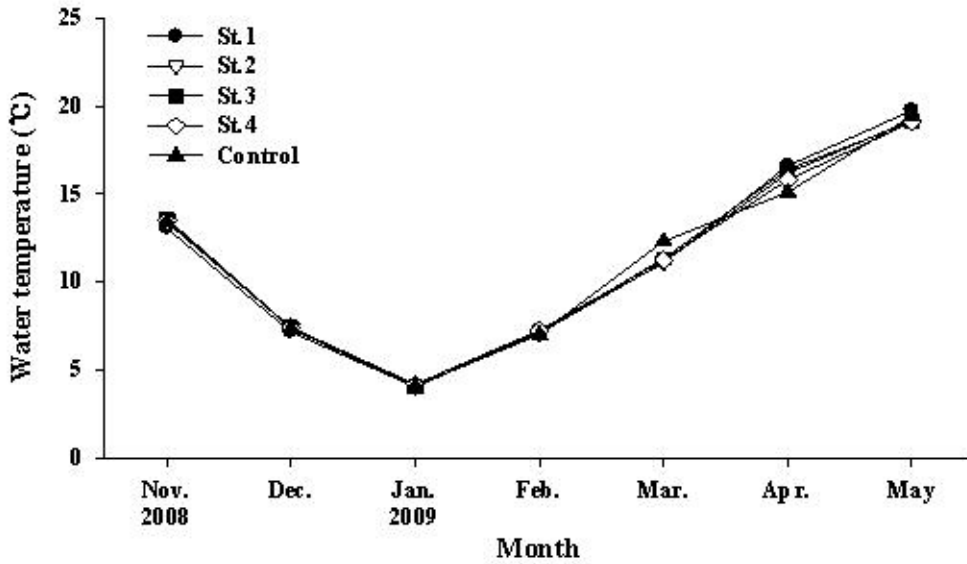


Fig. 30. Monthly variations of water temperature(°C) at study area from November 2008 to May 2009.

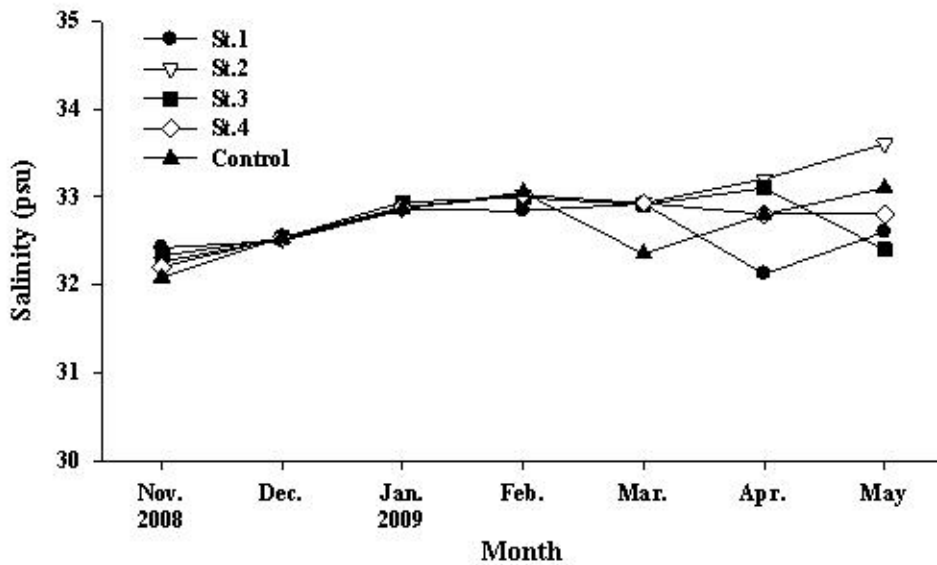


Fig. 31. Monthly variations of salinity(psu) at study area from November 2008 to May 2009.

(나) pH 및 용존산소

모자반 군락지의 수소이온농도(pH)를 살펴보면, 모자반 군락지에서 2008년 11월에 정점 3에서 7.98로 가장 낮았으며, 2009년 2월에 정점 1에서 8.54로 가장 높게 나타났다. 대조구는 2009년 1월에 7.81로 가장 낮았으며, 2008년 11월에 8.29로 가장 높게 나타났다(Fig. 32). 모자반 군락지에 비해 대조구에서 수소이온농도는 비교적 낮은 양상을 나타내었다.

용존산소(DO)는 모자반 군락지에서 2008년 11월에 정점 1에서 8.29 mg L^{-1} 로 가장 낮았으며, 2008년 12월에 정점 2에서 10.95 mg L^{-1} 로 가장 높게 나타났다. 대조구의 용존산소는 2009년 5월에 8.32 mg L^{-1} 로 가장 낮았으며, 2008년 12월에 9.21 mg L^{-1} 로 가장 높게 나타났다(Fig. 33). 모자반 군락지내와 대조구를 대상으로 용존산소의 농도를 살펴본 결과, 모자반 군락지내 용존산소는 정점간 평균 9.72 mg L^{-1} 로 높게 나타났으며, 대조구에서는 8.64 mg L^{-1} 로 모자반 군락지에 비해 낮은 양상을 나타내었다. 모자반과 같은 해조류는 광합성이라는 기작을 통해 이산화탄소를 외부로부터 체내로 유입하고, 반면 산소를 외부로 발생시킨다(Laycock, 1974; Watanuki and Yamamoto, 1990). 본 조사결과 용존산소 농도는 수온이 낮은 시기에 모자반 군락의 용존산소 발생량이 높은 것으로 나타났으며, 이시기는 주 성장시기와도 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 이처럼 대형 해조류의 대부분은 일년 중 뚜렷한 성장기를 지니는데, 성장기에는 광합성력은 매우 높은 것으로 알려져 있다(Oh and Koh, 1996).

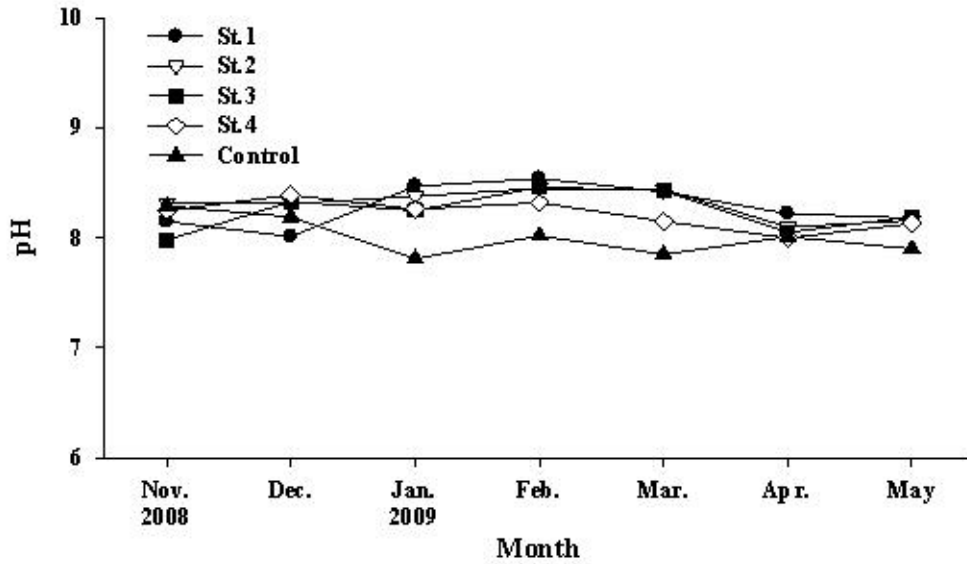


Fig. 32. Monthly variations of pH at study area from November 2008 to May 2009.

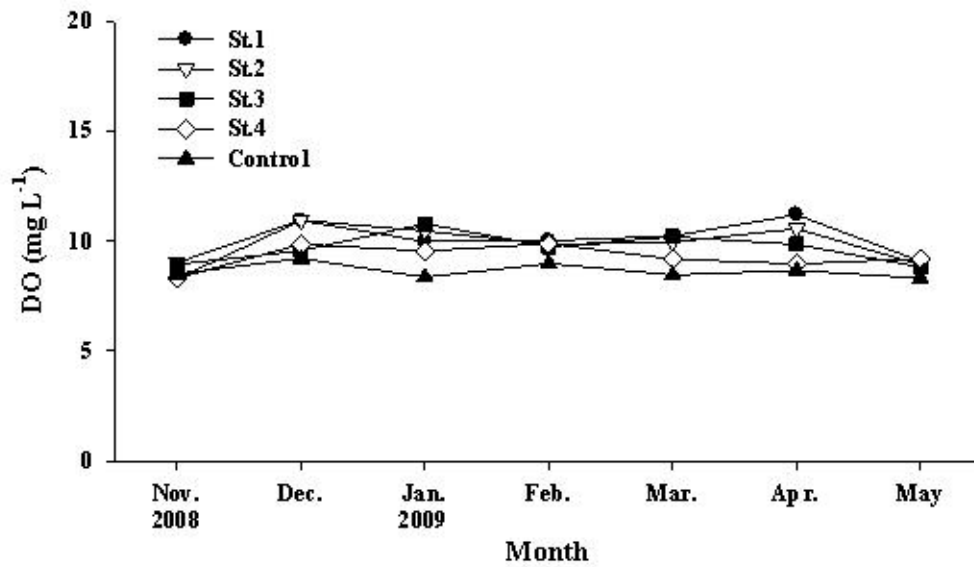


Fig. 33. Monthly variations of dissolved oxygen(mg L^{-1}) at study area from November 2008 to May 2009.

(다) 화학적 산소요구량(COD)

모자반 군락지에서 화학적산소요구량(COD)은 2009년 4월에 정점 1에서 0.31 mg L^{-1} 로 가장 낮았으며, 2009년 3월에 정점 4에서 2.36 mg L^{-1} 로 가장 높게 나타났다. 대조구에서는 2009년 4월에 0.56 mg L^{-1} 로 가장 낮았으며, 2008년 12월에 2.02 mg L^{-1} 로 가장 높게 나타났다 (Fig. 34). 모자반 군락지내와 대조구간 화학적산소요구량의 유의한 차이는 보이지 않았다.

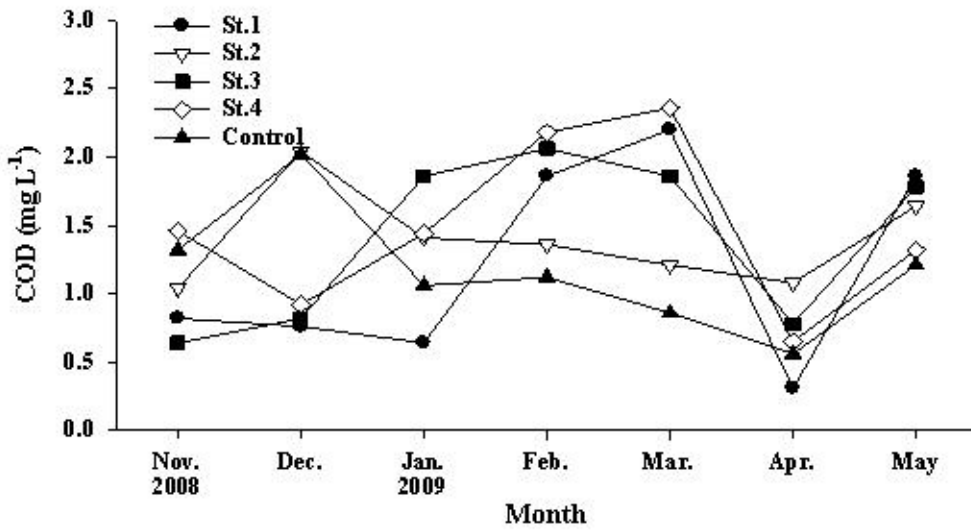


Fig. 34. Monthly variations of chemical oxygen demand(mg L^{-1}) at study area from November 2008 to May 2009.

(라) 총질소 및 총인

총질소(T-N)는 모자반 군락지에서 2008년 11월에 정점 3에서 0.013 mg L^{-1} 로 가장 낮았으며, 2009년 5월에 0.224 mg L^{-1} 로 가장 높게 나타났다. 대조구에서는 2008년 11월에 0.014 mg L^{-1} 로 가장 낮았으며, 2009년 5월에 0.098 mg L^{-1} 로 가장 높게 나타났다(Fig. 35). 모자반 군락지에서 총질소 농도는 용존산소 발생량이 높은 시기에 총질소 함량이 감소하는 양상을 보였다. 이는 성장기에 모자반 군락이 해수중의 영양염 흡수에 영향을 미친 것으로 판단되며, 이와 같은 연구결과는 해중림의 외부 유입요인에 대한 생태계 정화 능력과도 관련이 있는 것으로 사료된다(Green and Short, 2003; Larkum et al., 2006).

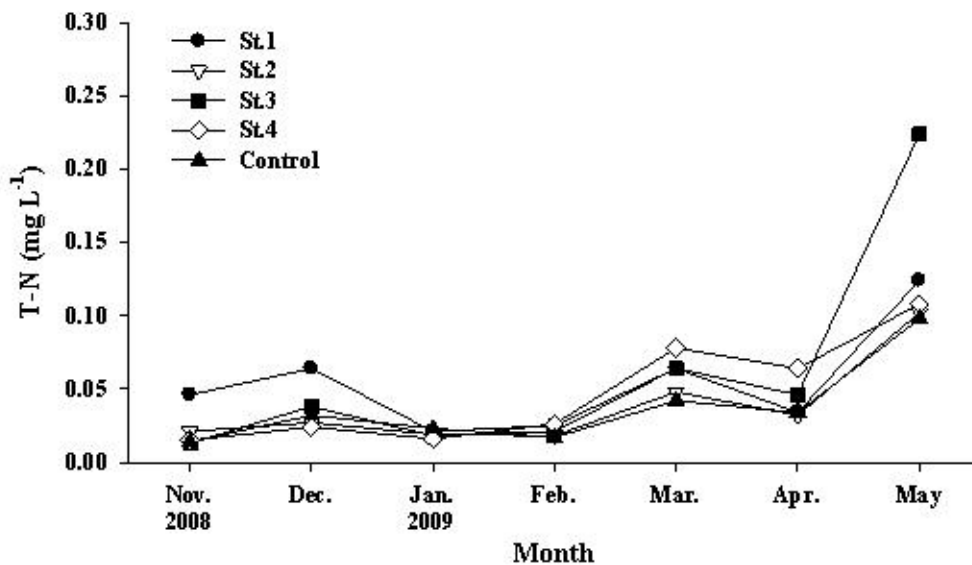


Fig. 35. Monthly variations of T-N(mg L^{-1}) at study area from November 2008 to May 2009.

(마) 총인

총인(T-P)은 모자반 군락지에서 2009년 5월에 정점 3에서 0.022 mg L^{-1} 로 가장 낮았으며, 2009년 2월에 정점 4에서 0.123 mg L^{-1} 로 가장 높게 나타났다. 대조구에서 2009년 1월에 0.037 mg L^{-1} 로 가장 낮았으며, 2009년 5월에 0.118 mg L^{-1} 로 가장 높게 나타났다(Fig. 36).

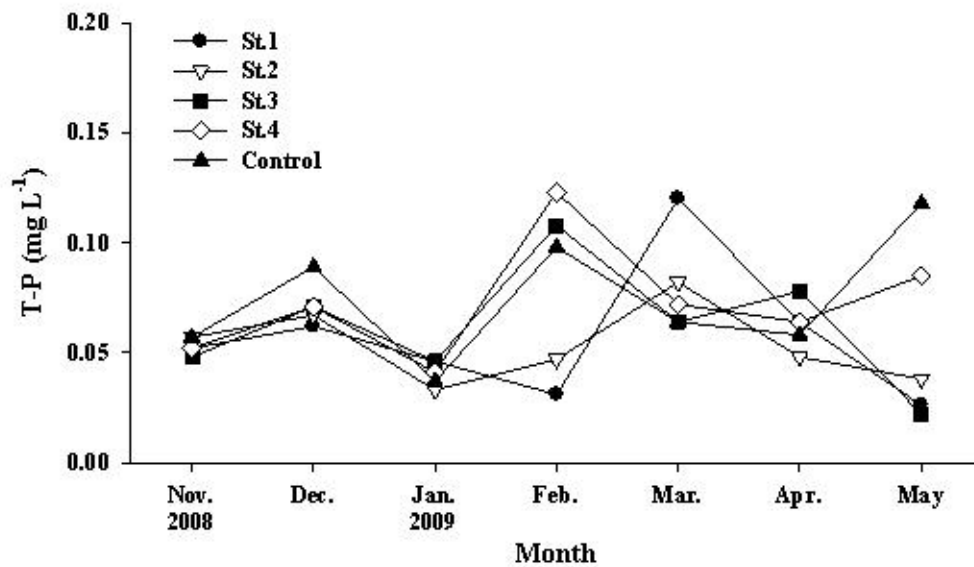


Fig. 36. Monthly variations of T-P(mg L^{-1}) at study area from November 2008 to May 2009.

(바) Chlorophyll-*a*

클로로필(Chl *a*)은 모자반 군락지에서 2009년 5월에 정점 4에서 0.94 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 낮았으며, 2009년 3월에 정점 3에서 8.64 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 대조구의 클로로필은 2009년 5월에 0.92 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 낮았으며, 2009년 4월에서 4.82 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다 (Fig. 37). 조사 기간 동안 모자반 군락지가 대조구에 비해 클로로필 농도가 약 1.5배 정도 높은 것으로 나타났으며, 이처럼 모자반 군락지에서 클로로필 농도가 높게 나타난 것은 기초 생산력이 대조구에 비해 높다는 것을 의미한다.

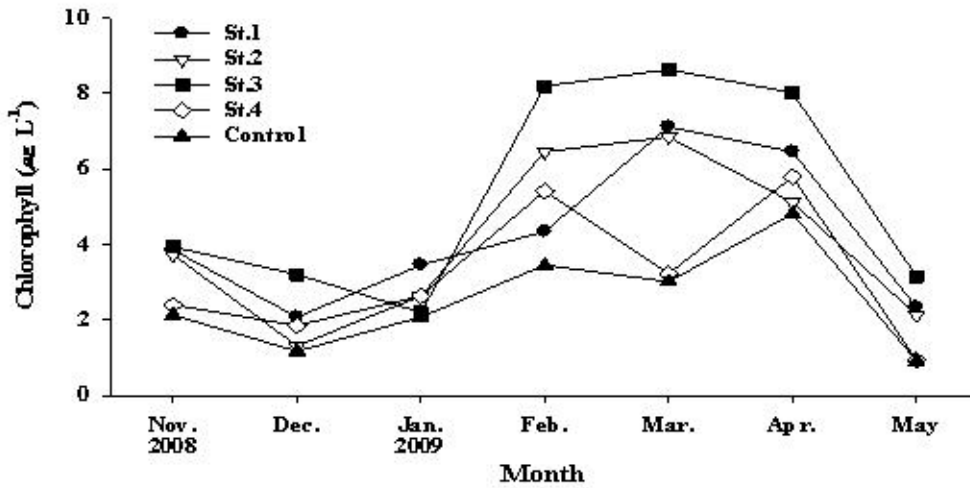


Fig. 37. Monthly variations of chlorophyll *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) at study area from November 2008 to May 2009.

나) 수질 항목간 상관관계

수질 항목간 상관관계를 살펴보면, 수온은 염분, COD와 T-P에서 음의 상관관계를 보였으며, DO, Chl- α , pH, T-N은 양의 상관관계를 보였다. 염분은 T-N, T-P와는 음의 상관관계를 보였으며, T-N과 T-P를 제외한 항목간은 양의 상관관계를 보였다. DO의 경우는 T-P와 -0.914($p < 0.05$)로 음의 상관관계를 보였으며, pH 0.970($p < 0.01$)로 높은 양의 상관관계를 보였다. 그 외 나머지 항목에서는 T-P를 제외한 항목과는 모두 양의 상관관계를 나타내었다(Table 3).

Table 3. Correlation comparison of water quality factor

Parameter	Water temp.	Salinity	DO	Chl α	COD	pH	T-N	T-P
Water temp.	1.000							
Salinity	-0.469	1.000						
DO	0.227	0.282	1.000					
Chl α	0.678	0.129	0.771	1.000				
COD	-0.349	0.617	0.339	0.332	1.000			
pH	0.044	0.379	0.970*	0.703	0.534	1.000		
T-N	0.742	-0.400	0.454	0.793	0.213	0.413	1.000	
T-P	-0.248	-0.374	-0.914**	-0.669	-0.081	-0.820	-0.200	1.000

*Significant at $\alpha < 0.01$

**Significant at $\alpha < 0.05$

모자반 군락내 DO는 조사기간 동안 평균 10.45 mg L⁻¹로 대조구에 비해 높게 나타났으며, 모자반 군락이 성장하는 겨울철과 봄철에 DO 값이 증가하는 경향을 보였다. 해조류는 광합성이라는 기작을 통해 이산화탄소를 외부로부터 체내로 유입하고, 반면 산소를 외부로 발생시킨다(Laycock, 1974; Watanuki and Yamamoto, 1990). 또한 대형 해조류의 대부분은 일년 중 뚜렷한 성장기를 지니며, 성장기에는 광합성력은 매우 높다(Oh and Koh, 1996).

Chl α 의 경우 모자반 군락지역이 대조구에 비해 높은 측정값을 보였으며, 조사기간 동안 모자반군락의 Chl α 의 값은 평균 3.90 $\mu\text{g L}^{-1}$, 대조구에서 평균 2.21 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 모자반 군락에 비해 낮은 값을 보였다. 따라서 모자반 군락 지역이 대조구에 비해 Chl α 가 높다는 것은 기초생산력이 높다는 것을 의미한다.

COD의 경우 0.14-240 mg L⁻¹의 범위를 보였으며, 모자반군락 내에서 평균 1.14 mg L⁻¹로 낮았으며, 대조구에서 평균 1.43 mg L⁻¹로 높게 나타났다. 이러한 조사 결과는 Yoon(2000)의 가막만 북부해역 해양환경 보고와 유사하였으며, 해양생물이 서식하기에 비교적 양호한 상태로 나타났다.

알칼리도는 모자반 군락지역이 평균 114.3 mg L⁻¹, 대조구에서 평균 117.7mg L⁻¹로 대조구에서 다소 높은 값을 보였다. T-N은 모자반 군락 지역이 평균 0.038 mg L⁻¹였으며, 대조구에서 평균 0.067 mg L⁻¹로 모자반 군락지역이 다소 낮은 값을 보였다.

T-P는 조사기간 동안 모자반군락 지역의 경우 꾸준히 증가하여 3월부터 급격히 감소하였으며, 대조구에서는 이시기에 급격히 증가하는 경향을 보였다. 가막만 모자반 군락에 주요 서식종은 평생이모자반(*Sargassum horneri*)으로 수온이 상승하는 시기인 봄부터 초여름까지 최대로 성숙하며 (Taniguchi and Yamada, 1978; Lee, 1991), 해수중의 T-N와 T-P의 농도에 관계없이 성장과 함께 선택적으로 이들 영양분을 흡수하여 성숙시기에 그 축적량이 최대에 도달한다 (Lee, 1991). 본 연구에서 이러한 성숙시기에 모자반 군락이 해수중의 영양염 흡수에 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한, 이와 같은 연구결과는 해중림의 외부 유입요인에 대한 생태계 정화능력과도 유사한 것으로 나타났다 (Green and Short, 2003; Larkum et al., 2006).

모자반 군락의 성장 및 성숙에 영향을 미치는 일차 환경요인은 수온변화와 여러 환경요인으로 알려져 있다 (Umezaki, 1983). 본 연구 결과 모자반 군락은 해양생태계 내에서 광합성 및 영양염 흡수 등을 통해 군락내 해양환경을 조절하는 것으로 판단된다. 이와 같이 가막만 모자반 군락은 대조구에 비해 수질환경이 양호한 것으로 나타났으며, 이러한 환경요인들의 영향으로 인해 모자반 군락이 다른 해역에 비해 보다 다양한 해양생물의 서식처, 산란장 및 생육장을 제공하는 것으로 판단된다. 따라서 향후 모자반군락을 활용한 연안환경 관리 및 해중림 조성시 참고자료로서의 활용이 기대된다.

4. 모자반과 부착생물간 상호연관성 파악

가. 모자반의 생체량

조사지 주변 모자반은 수심이 약 3 m 되는 해역부터 수심 약 5 m까지 걸쳐 암반이 형성되어 있는 지역에 분포하였으며, 5 m 이후부터는 부착기질인 암반이 없어 감소하는 경향을 보였다. 모자반의 생체량은 3월에 196.08 g dw /m^2 로 최고치를 보인 후 4월로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보였으며, 6월부터 상부의 엽체가 녹아나기 시작하여 엽장이 크게 감소하는 경향을 볼 수 있었으며, 7월에는 고수온으로 인한 갯녹음 현상으로 모자반을 채집할 수 없어 측정이 불가능 하였다(Fig. 38).

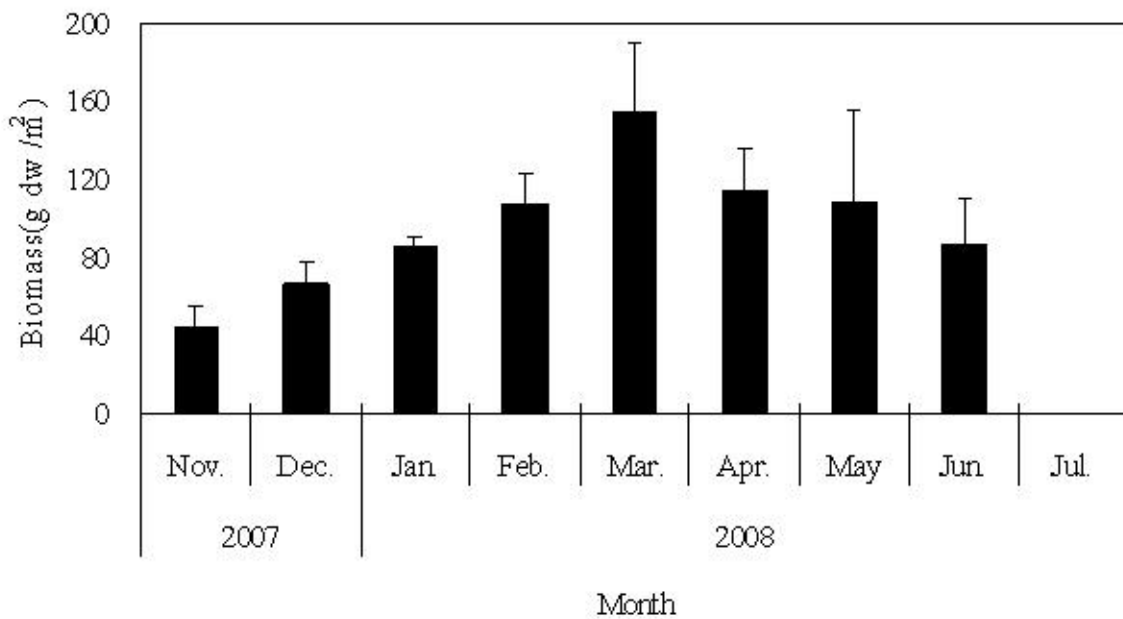


Fig. 38. Monthly fluctuation of *Sargassum* biomass in Garnak Bay.

나. 부착생물의 종조성

2007년 11월부터 모자반이 녹아 없어지는 2008년 7월까지 조사기간 동안 총 4문 10목 15과 18종 ($143,432 \text{ ind/m}^2$)의 부착생물이 채집되었다. 출현종을 살펴보면 먼저 복족류인 *Barleeia angustata*, *Cantharidus japonicus*, *Reishia clavigera*, *Mitrella bicincta* 등이 출현하였으며, 이매패류로서 *Musculus senhausia*, *Mytilus edulis* 등이 출현하였다. 극피동물로는 *Ophiuroidea* sp., *Asteroidea* sp., *Stichopus japonicus*, *Hemicentrotus pulcherrimus*, 갑각류에는 단각류인 *Gammaridae* sp., *Caprellidae* sp., 등각류에는 *Cymodoce japonica*, 십각류에는 *Latreutes planirostris*, 곤쟁이류에는 *Mysidae* sp., 난바다곤쟁이류에는 *Euphausiidae* sp., 그리고 다모류, 기타 생물 등이 조사기간 동안 출현하였다. 특히, 조사기간 중 매월 출현한 종은

Gammaridae sp, *C. japonicus*, *B. angustata*, Polychaeta, Caprellidae sp., Mysidae sp, *L. planirostris* 등이 출현 하였다(Table 6). 생태지수 값은 그 지역의 자연환경 및 군집내 먹이사슬 등의 생물간의 상호작용을 나타내는 지표가 된다. 모자반군락지내 생태지수 중 종 다양도지수(H')는 0.11-0.86의 범위로 2008년 3월에 0.86으로 가장 높게 나타났으며, 2007년 11월에 0.11로 가장 낮게 나타났다. 종 다양도의 계절변동 양상은 *B. angustata*의 개체수가 증가하는 시기에 낮게 나타났다. 균등도지수(J) 범위는 0.04-0.39로서 다양도지수와 같이 2008년 3월에 가장 높은 값을 보였으며, 2007년 11월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 풍부도지수(R)는 0.74-1.06으로 2007년 11월과 2008년 2월에 가장 높은 값을 나타냈으며, 2008년 4월에 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 39).

2차년도 조사기간인 2008년 11월부터 2009년 6월까지 총 5문 14목 16과 23종의 부착생물이 채집되었으며, 월별 개체수의 변화 양상은 1,053-23,312 ind./m², 생체량은 21.70-92.64 wwt g/m²으로 나타났다(Table 4). 출현 종으로는 *Barleeia angustata*, Amphipod, Polychaete, *Cantharidus japonicus*, *Ophioplocus japonicus*, *Mitrella bicincta*, *Omphalius rusticus*, Anomura, *Musculista senhousia*, Crab, *Liolophura japonica*, Isopod, *Pholis nebulosus*, *Erimacrus isenbecki*, *Loliolus beka*, *Lunella coronata*, *Thais clavigera*, *Lepidonotus helotypus*, *Niotha livescens*, *Mytilus edulis*, Other 등이 출현하였으며, *B. angustata*, Amphipod, *O. japonicus*, *C. japonicus*, Polychaete는 매월 출현하였으며, *E. isenbecki*, *L. beka*, *L. coronata*, *L. helotypus*, *T. clavigera*, *L. planirostris*, *N. livescens*, *M. edulis* 등은 조사기간 중 1회 출현하였다(Table 5). 다양도 지수(H')는 0.02-0.67의 범위로 2009년 2월에 0.67로 가장 높게 나타났으며, 2008년 10월에 0.02로 가장 낮게 나타났다. 균등도 지수(J)는 0.01-0.32로 2009년 1월에 가장 높게 나타났으며, 2008년 10월에 가장 낮게 나타났다. 풍부도 지수(R)는 0.52-1.18로 2009년 2월에 가장 높게 나타났으며, 2008년 12월에 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 40).

다 부착생물의 월변화 및 우점종 출현양상

2007년 11월부터 2008년 7월까지 부착생물의 월별 출현 개체수 변화는 4,761-47,168 ind./m²의 범위를 보였으며, 2007년 11월에 증가하기 시작하여 12월에 가장 높은 값을 보였다. 1월 이후 급격히 감소하는 경향을 보이다가 5월에 가장 낮은 값을 보였다(Table 6). 전체 출현한 종의 상위 1%이상 우점한 부착생물은 총 4종으로 *B. angustata*, Gammaridea sp., Caprellidae sp. 그리고 *C. japonicus*으로 나타났으며 전체 부착생물의 98.81%를 차지하였다. 복족류인 *B. angustata*가 2007년 12월에 44,935 ind./m²로 가장 많은 개체수를 나타내었으며,

2008년 3월에 3,540 ind/m²로 가장 적은 개체수를 나타냈으며, 월별 변동 폭이 크게 나타났다. 단각류의 Gammaridae sp.는 2007년 12월에 1,594 ind/m²로 가장 높은 개체수를 보였으며, 2008년 5월에 3 ind/m²로 가장 적은 개체수를 나타내었다. Caprellidae sp.는 2008년 1월에 879 ind/m²로 가장 많은 개체수를 보였으며, 2008년 6월에 1 ind/m²로 가장 낮은 개체를 보였다. *C. japonicus*는 2007년 12월에 277 ind/m²로 가장 높게 나타났지만 2008년 1월부터 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 41). Mysidae sp., *L. planirostris*는 각각 2007년 11월, 2008년 5월을 제외하고 꾸준히 출현하는 경향을 보였다. 그 외 이매패류인 *M. senhausia*은 2008년 2월, 3월, 5월에 적은 개체수가 출현하였지만 2008년 6월에는 533 ind/m²으로 다소 높은 출현양상을 나타내었다(Table 4).

2008년 11월부터 2009년 6월까지 채집된 종은 총 23종 66,496로서 상위 1%이상 우점한 부착생물은 총 2종으로 *B. angustata*과 Amphipod로 나타났으며, 전체부착생물의 99.41%를 차지하였다(Table 5, 6). *B. angustata*은 총 61,829 개체로서 2008년 11월 가장 높은 개체수를 나타내었지만 2009년으로 넘어갈수록 점점 개체수가 감소하다가 2009년 5월에는 상대적으로 현저히 낮게 나타났다. Amphipod는 2008년 10월부터 점점 증가하기 시작하여 2009년 2월에 가장 높은 밀도를 나타내었지만 2009년 5월로 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 42). 조사 지역의 모자반 길이는 2008년 10월 평균 16.78 cm로 나타났으며, 2009년 3월에는 105.28 cm로 나타났으며, 모자반 생체량은 2008년 10월에 0.20 g에서 2009년 3월에는 12.02 g으로 성장한 후 4월부터는 생체량이 감소하는 것으로 나타났다. Amphipod는 모자반이 성장하는 2008년 11월부터 증가하기 시작하여 2009년 4월 까지 높은 생체량을 보였지만 5월부터 현저히 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 43). 우점출현종 중 하나인 가는줄깨고등(*Barleeia angustata*)은 모자반군락지에 가장 우점 출현하였는데 이는 초식성인 고등류의 먹이습성상 모자반 엽체의 부착조류를 갉아 먹는 것으로 판단되어 지며 향후 가는줄깨고등의 위내용물 분석과 성장패턴을 면밀히 분석하여 인과관계를 명확히 해야 할 것으로 생각된다(Kim et al., 2010). 단각류(Amphipods)중에서 Gammaridae sp.는 모자반의 성장과 반비례관계를 나타내었지만($p > 0.05$), Caprellidae sp.는 모자반의 성장에 따라 증가하는 경향을 보여 모자반의 생물량이 Caprellidae sp. 변동양상에 직접적인 영향을 끼친 것으로 판단되어진다($p < 0.05$). 이는 기존 갈피를 비롯한 해조류의 연구에서 알 수 있듯이 부착조류의 생물량과 단각류의 개체수 증가와 상관관계가 작용한다고 보여 진다(Morgan and Kitting, 1984; Jeong et al., 2004).

모자반군락지내에 부착생물은 어류의 포식 및 계절적인 영향으로 출현양상이 다르게 나타날 수 있다. 이처럼 부착생물은 해중림의 먹이사슬에서 상위포식자인 어류의 먹이생물량의 30% 이상을 차지하고 있는 것으로 알려져 있다(Huh and Kwak, 1998). 특히 열새우류(Gammarids)와 바다대벌레류(Caprellids)는 부착기질인 해조류가 분해된 것이나 유기쇄설입자

를 직접 먹거나 유기쇄설입자를 먹이로 하는 미소동물을 먹은 뒤 어류와 같은 상위 포식자에서 잡아먹힘으로써 일차생산을 상위 단계로 연결하는 중요한 구실을 함으로써(Thayer et al., 1984; Jeong et al., 2004) 하나의 미소생태계를 유지하게 된다.

라. 형태학적 특성 분석

가막만 모자반균락지내 부착생물 최 우점종인 *B. angustata*의 월별 성장그래프를 살펴보면, 각고의 경우 2008년 10월에는 2.06 ± 0.35 mm로 나타났으며, 2008년 12월부터 점차 낮아졌으며 2009년 3월부터 다시 증가하여 2009년 5월에는 4.51 ± 1.06 mm로 성장하였다. 각고에 따라 각폭 또한 2008년 10월에 1.19 ± 0.18 mm에서 2009년 4월 2.26 ± 0.31 mm로 성장하였으며, 2009년 5월과는 큰 성장 차이를 보이지 않았다. 복족류의 형태학적 특징에 해당하는 입구길이(Aperture length), 입구폭(Aperture width)은 각고와 각폭이 2008년 10월부터 2009년 4월까지 꾸준히 증가하는 것과 같이 두 형질 또한 비례관계를 나타내었다. 2009년 3월부터 다시 수온이 높아짐에 따라 각고, 각폭, 입구길이, 입구폭은 높은 성장을 나타내었다. 2009년 5월에는 다시 성장속도가 낮아지는 현상을 나타내었다(Fig. 44).

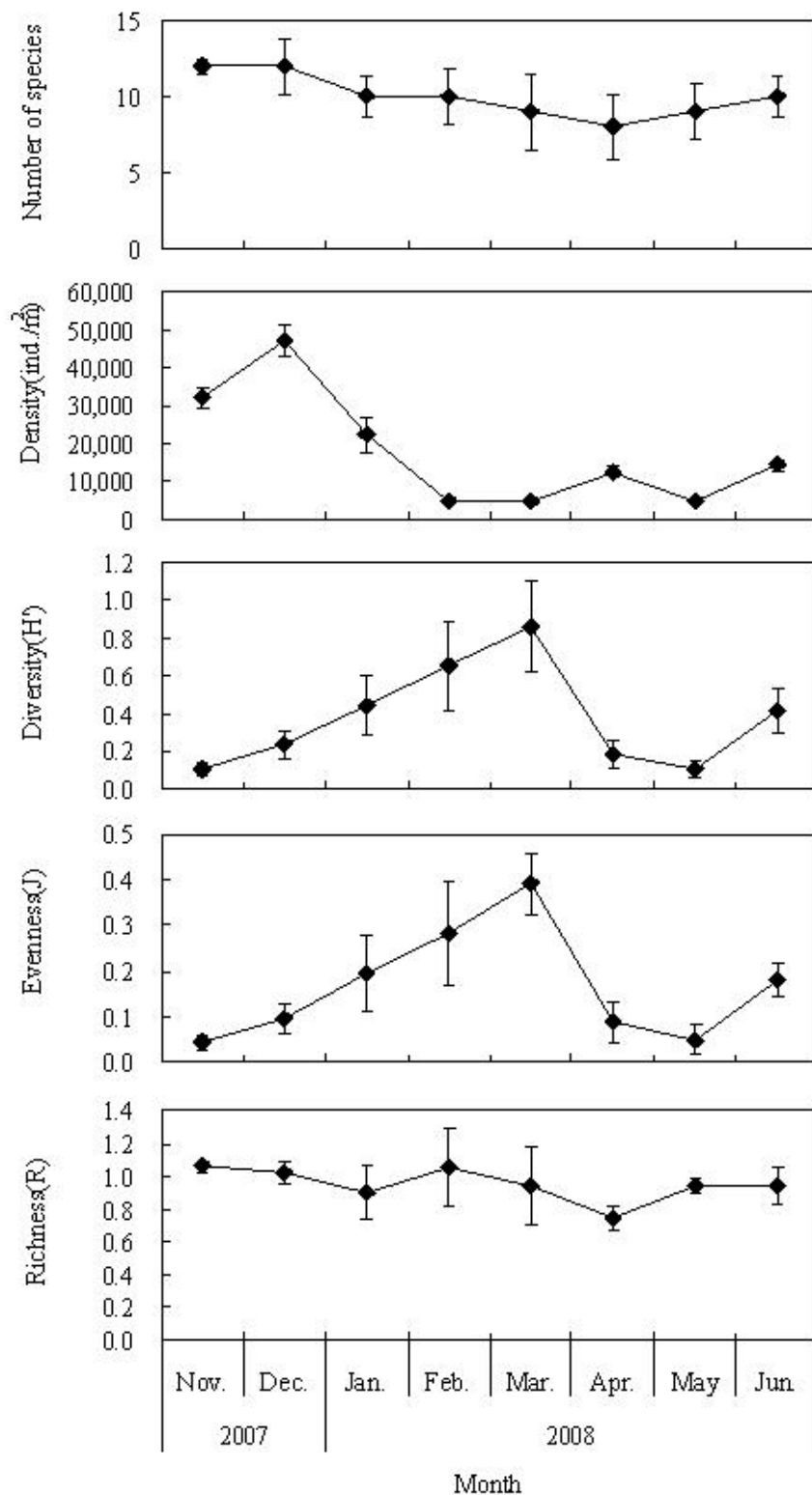


Fig. 39. Monthly variation in number of species, total individuals and ecological indices (Diversity, Evenness, Richness) of attached organism in the *Sargassum* beds in Gamak Bay.

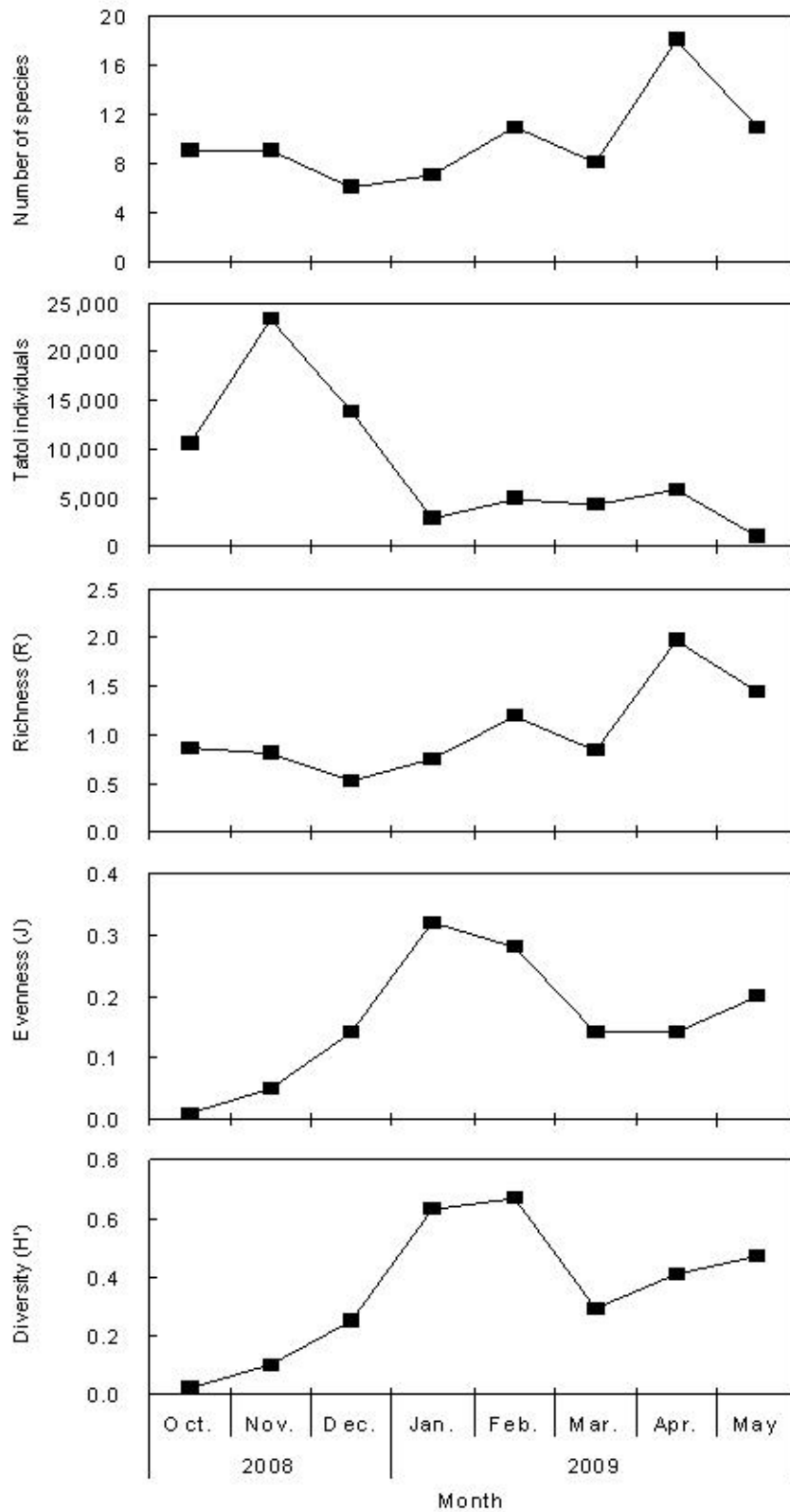


Fig. 40. Monthly variations in number of species, total individuals and ecological indices of attached organism in the *Sargassum* beds.

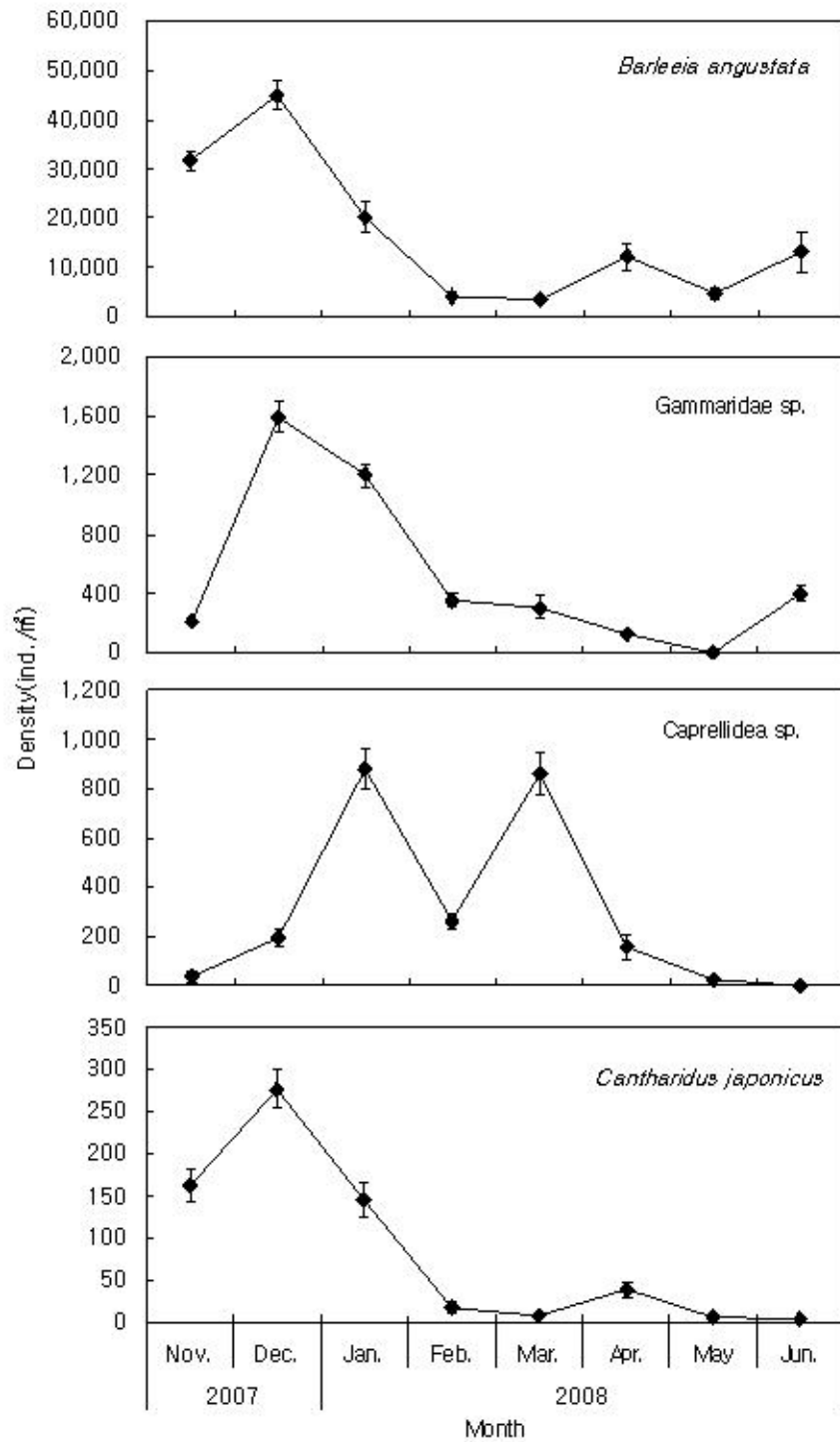


Fig. 41. Monthly variations of dominant attached organism density on the *Sargassum* beds in Gamak Bay.

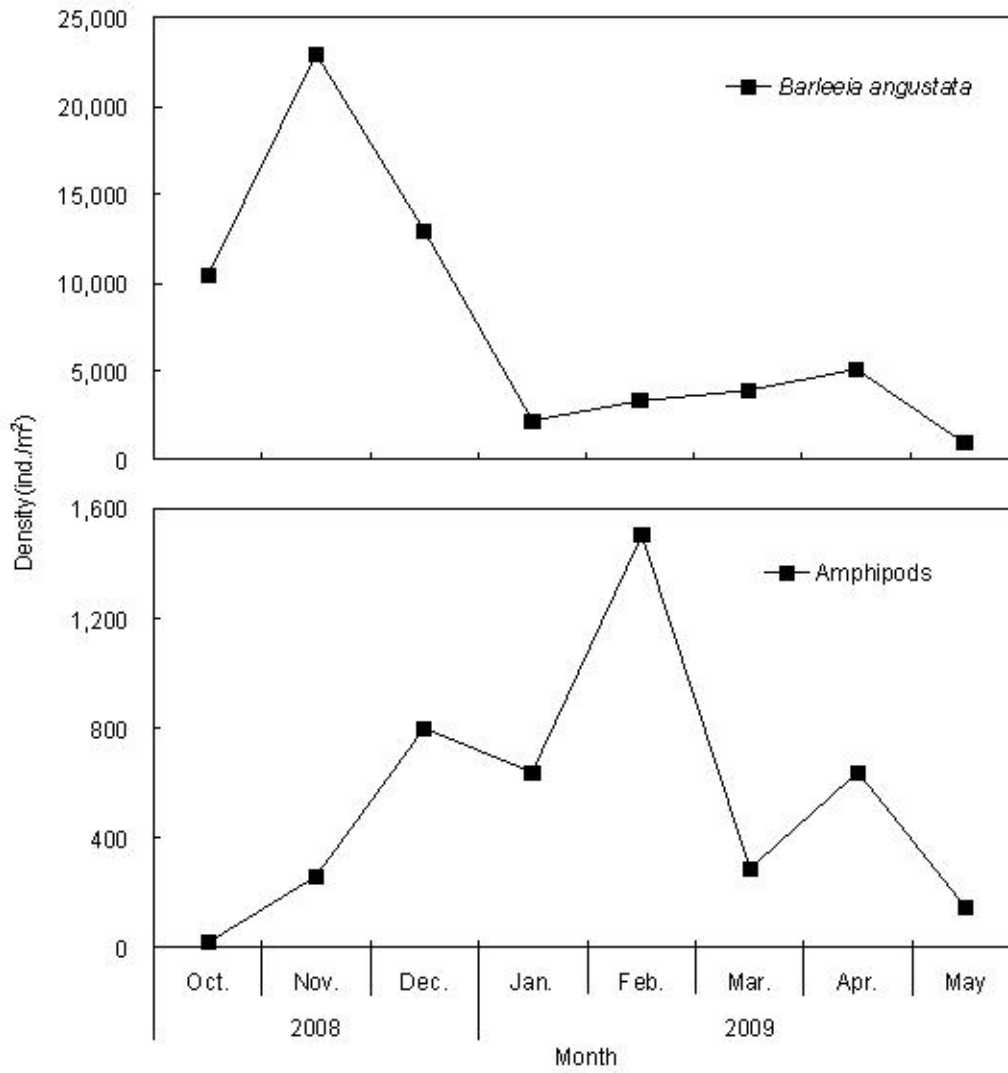


Fig. 42. Monthly variations of two dominant species in the *Sargassum* beds.

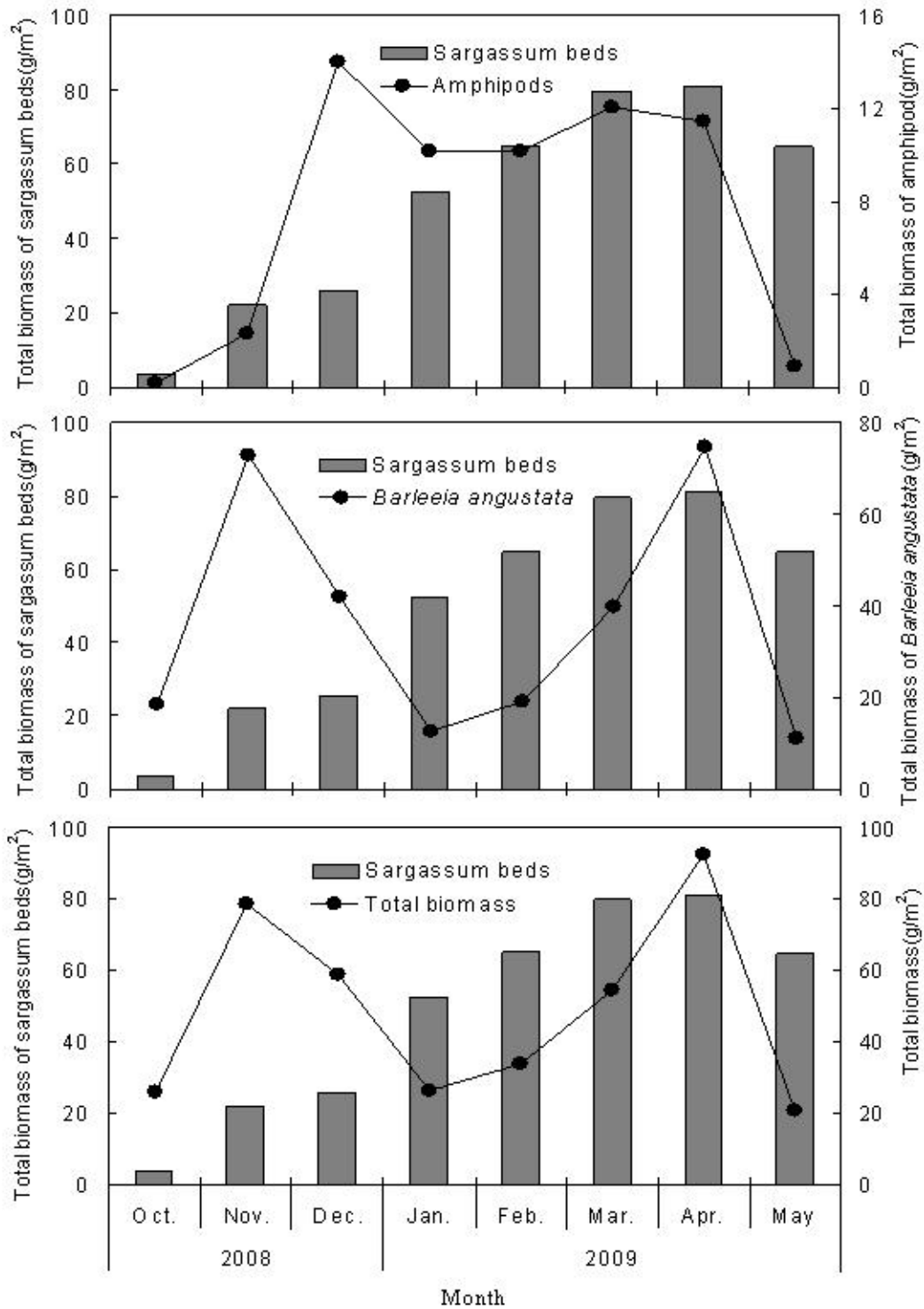


Fig. 43. Seasonal variations of 2 important attached organisms and *Sargassum* beds.

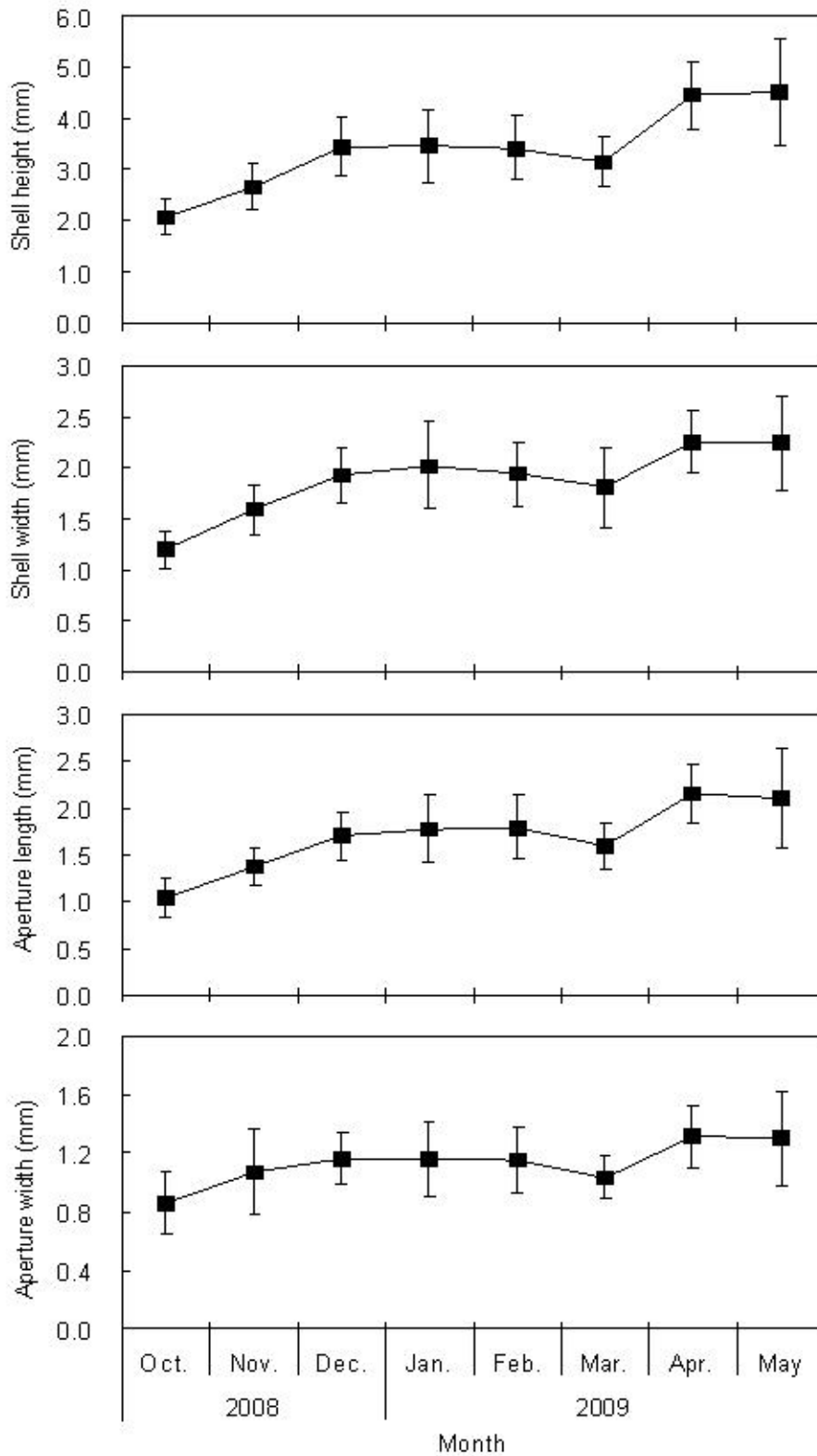


Fig. 44 Monthly variations in shell height, shell width, aperture length, aperture width growth of the *Barleeia angustata* in *Sargassum* beds in Gamak Bay.

Table 4 Monthly variations in number of individuals(ind./m²)of attached organism in *Sargassum* beds in Gamak Bay

species	2007		2008						Total
	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	
Mollusca									
<i>Barleeia angustata</i>	31,668	44,935	20,114	4,239	3,540	12,144	4,684	13,106	134,430
<i>Cantharidus japonicus</i>	163	277	145	17	7	38	6	4	657
<i>Mitrella bicincta</i>	2	1							3
<i>Mytilus edulis</i>							1		1
<i>Musculus senhousia</i>				1	4		8	533	546
<i>Reishia clavigera</i>	1								1
Annelida									
Polychaeta sp.	60	120	60	28	21	65	28	254	636
Arthropoda									
Caprellidae sp.	36	194	879	266	861	160	28	1	2,423
<i>Cymodoce japonica</i>	7	2	5	2	8			11	35
Euphausiidae sp.	9	21	2						32
<i>Latreutes planirostris</i>	32	12	12	3	8	5		33	105
Mysidae sp.		9	23	152	116	1	3	34	338
Gammaridae sp.	210	1594	1201	356	307	127	3	403	4,201
Echinodermata									
Asteridea sp.						1			1
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	1								1
Ophiuroidea sp.	1	1		1					3
<i>Stichopus japonicus</i>		2	3				1	2	8
Others	1		1	3	3	1	1	1	11
Total	34,198	47,168	24,453	5,068	4,875	12,542	4,761	14,382	143,432
No. of species	12	12	10	10	9	8	9	10	
Diversity (H')	0.11	0.24	0.45	0.65	0.86	0.18	0.11	0.42	
Evenness (J)	0.04	0.10	0.19	0.28	0.39	0.09	0.05	0.18	
Richness (R)	1.06	1.02	0.90	1.06	0.94	0.74	0.94	0.94	

Table 5. Monthly variations in number of individuals(ind/m²) of attached organism in *Sargassum* beds

Species	Month	2008			2009					Total	%
		Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May		
<i>Ophioplocus japonicus</i>		2	2	1	2	1	1	1	1	8	0.01
<i>Erimacrus isenbecki</i>									1	1	0.00
<i>Liolophura japonica</i>		1				1		2	1	3	0.00
<i>Barleeia angustata</i>		10,418	22,920	12,989	2,200	3,298	3,967	5,138	900	61,829	92.98
<i>Loliolus beka</i>								1		1	0.00
<i>Cantharidus japonicus</i>		3	84	3	14	1	7	46		156	0.23
<i>Lunella coronata</i>								1		1	0.00
polychaetes		3	44	65	33	29	15	3	3	194	0.29
<i>Lepidonotus helotypus</i>							1			1	0.00
Amphipods		15	260	797	638	1501	284	637	143	4,272	6.42
<i>Thais clavigera</i>		1						1		1	0.00
<i>Pholis nebulosus</i>							2			2	0.00
<i>Mitrella bicincta</i>						4		2		6	0.01
<i>Omphalius rusticus</i>		3				1		1	2	6	0.01
<i>Latreuts planirostris</i>								1		1	0.00
<i>Niotha livescens</i>								1		1	0.00
<i>Musculista senhousia</i>			2	1				1		3	0.00
<i>Mytilus edulis</i>								1	1	1	0.00
Anomuras		1			1	1	1	1	1	5	0.01
Isopods			1		1			1	1	3	0.00
Egg						2				2	0.00
Crabs			1			1		1	2	4	0.01
Others			1							1	0.00
Total		10,444	23,312	13,854	2,888	4,836	4,276	5,835	1,053	66,496	100.00
Diversity (H')		0.02	0.10	0.25	0.63	0.67	0.29	0.41	0.47		
Evenness (J)		0.01	0.05	0.14	0.32	0.28	0.14	0.14	0.20		
Richness (R)		0.86	0.80	0.52	0.75	1.18	0.84	1.96	1.44		

Table 6. Monthly variation in biomass(g/m^2) of attached organism in *Sargassum* beds

Species	Month	2008					2009			Total	%
		Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May		
<i>Ophioplocus japonicus</i>		0,22	0,55	0,20	0,31	0,06	0,20	0,01	0,38	1,92	0,49
<i>Erimacrus isenbecki</i>									1,18	1,18	0,30
<i>Liolophura japonica</i>		0,03				0,01		0,35	0,09	0,48	0,12
<i>Barleeia angustata</i>		18,61	72,90	42,05	12,75	19,00	39,87	74,70	11,05	290,92	74,23
<i>Loliolus beka</i>								0,08		0,08	0,02
<i>Cantharidus japonicus</i>		0,68	1,00	0,19	0,36	0,01	0,16	2,12		4,51	1,15
<i>Lunella coronata</i>								0,29		0,29	0,07
polychaetes		0,20	1,70	2,14	2,37	1,48	1,04	0,37	0,05	9,33	2,38
<i>Lepidonotus helotypus</i>							0,52			0,52	0,13
Amphipods		0,20	2,31	13,97	10,13	10,16	12,03	11,45	0,89	61,12	15,60
<i>Thais clavigera</i>		0,72						0,35		1,07	0,27
<i>Pholis nebulosus</i>							0,37			0,37	0,09
<i>Mitrella bicincta</i>						0,75		0,20		0,95	0,24
<i>Omphalius rusticus</i>		4,86				0,52		1,55	3,39	10,32	2,63
<i>Latreuts planirostris</i>								0,07		0,07	0,02
<i>Niotha livescens</i>								0,12		0,12	0,03
<i>Musculista senhousia</i>			0,05	0,03				0,01		0,08	0,02
<i>Mytilus edulis</i>								0,01	0,21	0,22	0,05
Anomuras		0,16			0,05	0,35	0,89	0,06	0,29	1,78	0,45
Isopods			0,01		0,09			0,13	0,46	0,68	0,17
Eggs						1,07				1,07	0,27
Crabs			0,10			0,19		0,53	3,74	4,55	1,16
Others			0,05					0,27		0,32	0,08
Total		25,67	78,66	58,57	26,05	33,59	54,53	92,64	21,70	391,40	100,00

마. 상대성장

우점출현한 *B. angustata*과 *C. japonicus*의 각고에 대한 각쪽의 상대성장식은 각각 $SW = 0.3804SH + 0.6892 (R^2 = 0.907)$, $SW = 0.7832SH - 0.0258 (R^2 = 0.765)$ 로 나타났으며, 두종 모두 상대성장식에서 상관계수가 모두 높게 나타났다(Fig. 45).

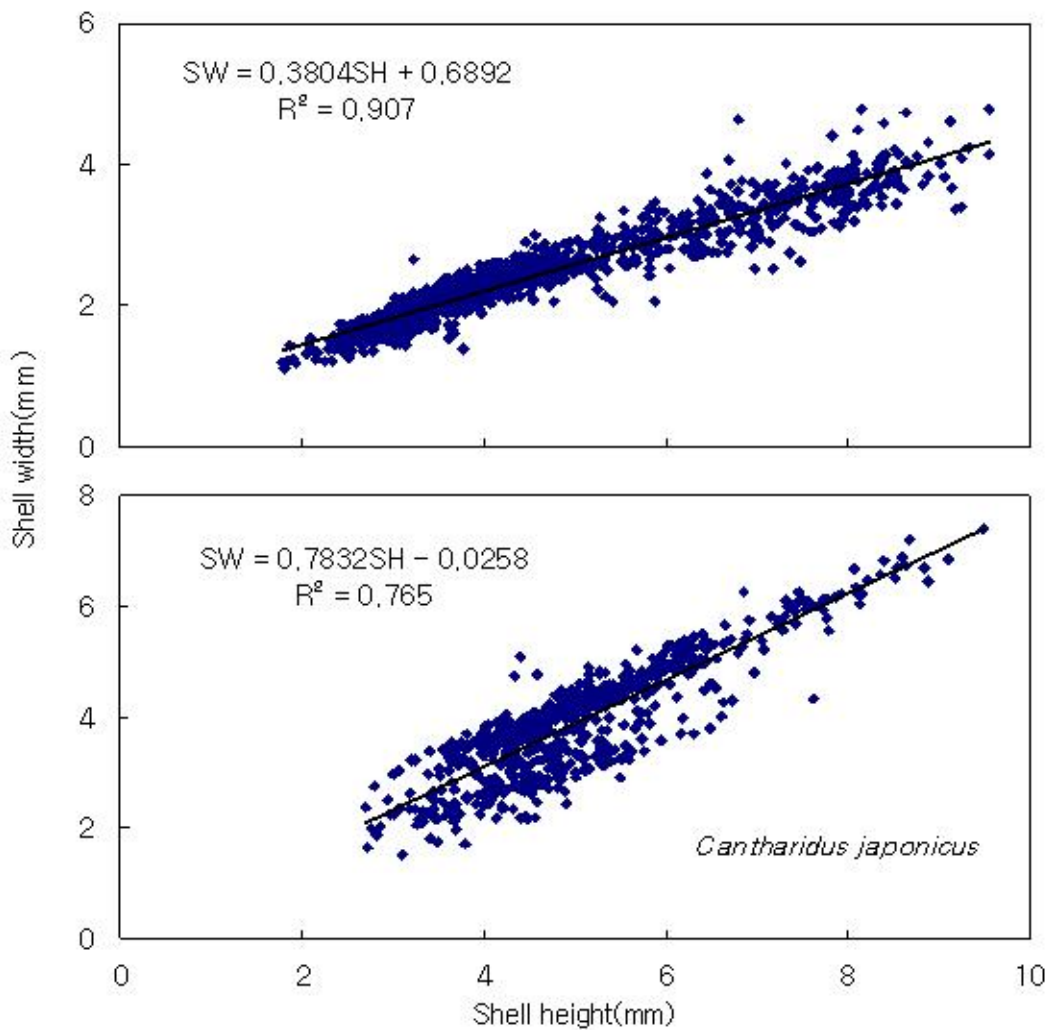


Fig. 45. Relationship growth equation between shell height and shell width of *Barleeia angustata* and *Cantharidus japonicus*.

바. 위 내용물 분석

규조류(Class Bacillariophyceae)는 담수와 해수에 가장 넓게 분포되어 있는 일반적인 조류이다(Moser, 1996). 이 미세조류는 지구의 탄소와 산소 생성에 주요한 역할을 하며 또한 먹이생물로서도 중요한 역할을 한다(Wongetal, 1999). 규조류 (Centrales)는 주로 플랑크톤 생활을 하며 몇 개의 속만이 그들의 생활사 중 일부가 기질에 부착하여 서식한다. 이와는 달리 우상형규조류(Pennales)는 주로 기질(모래, 암반, 동물, 조류 및 수생식물)에 부착하여 서식하는데 이 중 식물부착형규조류 (Epiphytic diatom)는 점액질에 의해 자신보다 큰 조류나 수생식물에 부착 서식한다(Law,1982). 규조류는 대형조류 및 해초류에 부착하는 종류 중에서 가장 우점하는 미세조류 그룹일 뿐만 아니라 거대조류에 부착한 동물이나 주위에 살고 있는 동물의 주요 먹이원이다.

모자반이 부착생물에 미치는 생태학적 특성을 알아보고자 부착생물 중 우점 출현한 *B. angustata*, Amphipods의 위내용 및 소화관을 월별로 분석해 본 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 모자반에 부착한 규조류는 *Psammodictyon panduriforme*, *Navicula perminuta*, *Cocconeis scutellum*, *Thalassiosira* sp., *Pinnularia* sp., *Nitzschia brevissima*, *Navicula platystoma* 등이 나타났다(Fig. 46). 2008년 10월에는 *C. scutellum*, *Pinnularia* sp. 종이 *B. angustata*의 위에서 나타났으며, *C. scutellum* 종이 가장 우점하여 출현하였다. 2008년 11월에는 *Thalassiosira* sp., *N. perminuta*, *Pinnularia viridis*, *C. scutellum* 등이 출현하였으며, 10월과 같이 *C. scutellum*가 가장 우점하였다. 2008년 12월에는 *Cocconeis maxima*, *C. scutellum*, *Pinnularia* sp., *N. platystoma* 등이 출현하였으며, 2009년 1-5월, *B. angustata*의 위 내용물은 다양한 규조류가 출현하였으며, 잘피에서 연구된 바와 같이 *C. scutellum* 종이 가장 우점 출현하였다(Fig. 47). Amphipods의 소화관에서는 *C. scutellum*, *L. abbreviata*, *Pinnularia* sp., Algal tissues 등이 출현하였다(Fig. 48). Amphipods의 경우 복족류인 *B. angustata*와 다르게 규조류와 조류 모두 섭식하는 것으로 판단되어 진다. 본 조사 결과 모자반균락지역에서 갑각류와 복족류의 출현량이 높게 나타났다. 또한 모자반 균락은 이러한 먹이원으로부터 1차 소비자들을 유집하여, 상위포식자들에게 먹이연쇄가 활발히 진행되는 것으로 판단되어 진다. 2008년 10월부터 2009년 5월까지 *B. angustata*과 Amphipods 위 내용물 및 소화관을 분석해 본 결과 이들 종들의 경우 모자반 엽상에 주로 부착하여 생활하는 것으로 파악되었다. 그 결과 복족류인 *B. angustata*와 Amphipods가 대부분을 차지하는 것으로 판단되었으며, 이는 모자반이 서식처로서의 제공뿐만 아니라 주요 먹이공급원으로서 기능도 제공하는 것으로 조사되었다.

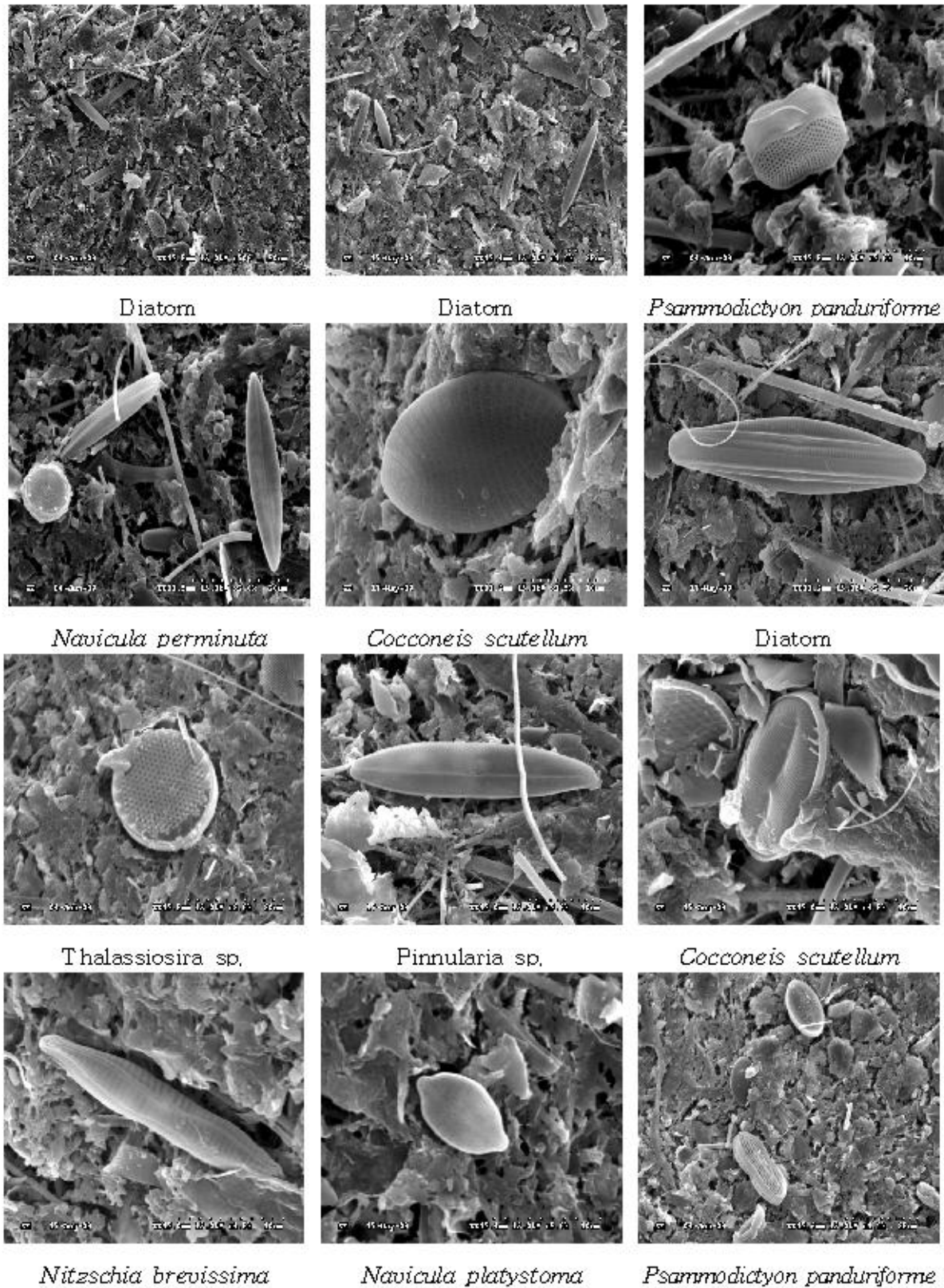


Fig. 46. SEM photos of *Sargassum* beds leaf surface in Gamak Bay.

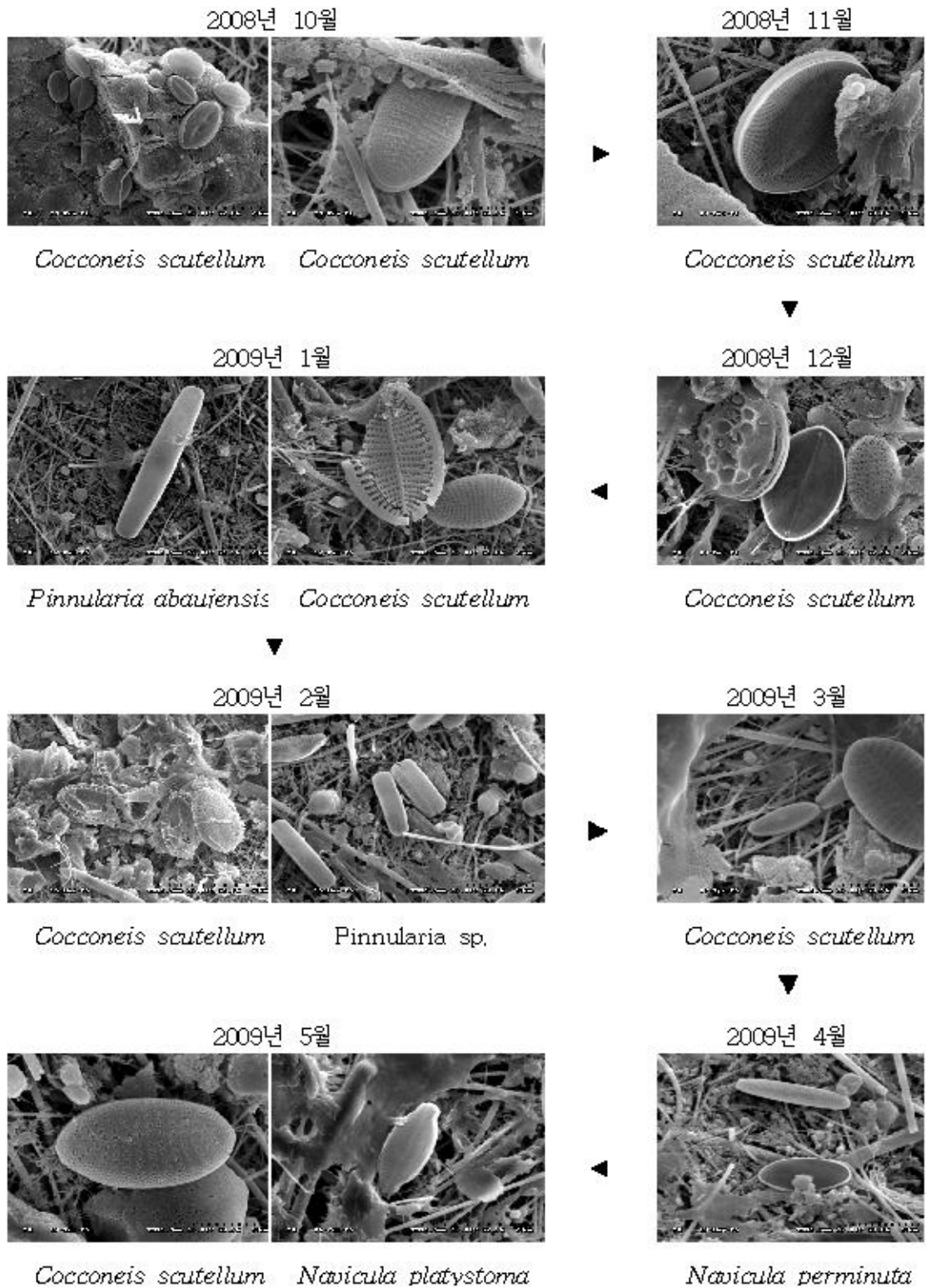


Fig. 47. Gut contents of *Barleeia angustata* in study area.

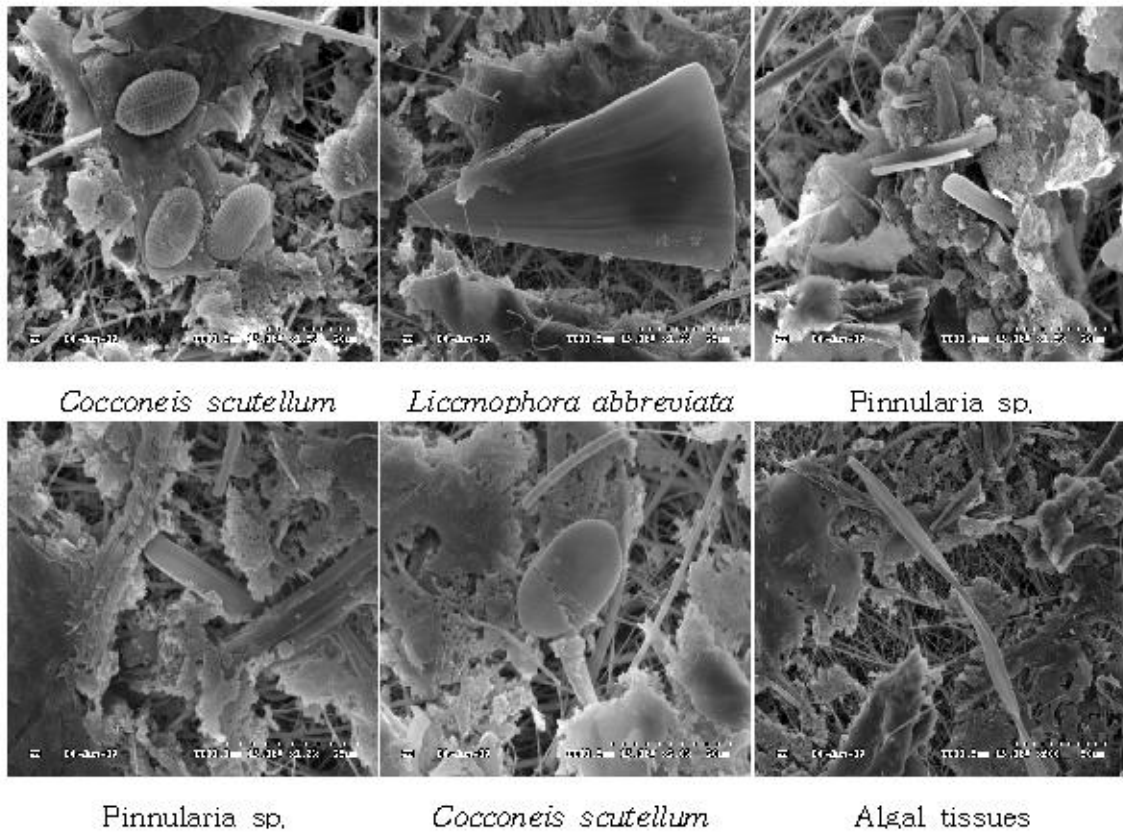


Fig. 48. Gut contents of dominant amphipods in study area.

5. 모자반군락내 어류상 파악

가. 어류의 종조성

1차년도(2007년 11월-2008년 6월) 가막만 모자반군락내 어획된 어류는 총 7목 16과 29종으로 이들 중 농어목 (Perciformes)어류가 6과 15종으로 가장 많았고, 다음으로는 큰가시고기목 (Gasteroseiformes)이 3과 3종, 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes)이 2종 4종, 미분류목이 1과 3종순으로 이들 4목이 전체출현종의 86.2%를 차지하였다. 소수의 어종만 출현한 목으로는 복어목 (Tetraodontiformes)이 2과 2종, 뱀장어목 (Anguilliformes)과 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes)이 각각 1과 1종으로 출현하였다 (Table 7).

모자반군락내 대조구 지역에서 어획된 어류는 총 6목 10과 10종으로 이들 중 농어목 (Perciformes)이 4과 4종으로 가장 많았고 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes)이 2과 1종, 복어목 (Tetraodontiformes), 금눈돔목 (Beryciformes), 가자미목 (Pleuronectiformes), 뱀장어목 (Anguilliformes)이 각각 1과 1종으로 출현하였다 (Table 8).

2차년도(2008년 10월-2008년 5월) 가막만 모자반군락내 어획된 어류는 총 7목 15과 21종으로 이들 중 농어목 (Perciformes) 어류가 6과 10종으로 가장 많았고, 다음으로는 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes) 이 3과 5종, 복어목 (Tetraodontiformes)이 2과 2종, 큰가시고기목 (Gasteroseiformes), 청어목 (Clupeiformes), 뱀장어목 (Anguilliformes), 동갈치목 (Beloniformes)이 각각 1과 1종으로 출현하였다(Table 9).

가막만 모자반군락내 대조구 지역에서 어획된 어류는 총 5목 8과 9종으로 이들 중 농어목 (Perciformes) 어류가 3과 3종, 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes) 어류가 2과 3종, 동갈치목 (Beloniformes), 가자미목 (Pleuronectiformes), 뱀장어목 (Anguilliformes) 어류가 각각 1과 1종으로 출현하였다(Table 10).

Table 7. Number of orders, families and species of fishes collected by surrounding net in the Gamak Bay (*Sargassum* beds)

Orders	Families	Species
Tetraodontiformes (복어목)	2	2
Perciformes (농어목)	6	15
Anguilliformes (뱀장어목)	1	1
Gasteroseiformes (큰가시고기목)	3	3
Scorpaeniformes (쏨뱅이목)	2	4
Beryciformes (금눈돔목)	1	1
Unknow spp.	1	3
7	16	29

Table 8. Number of orders, families and species of fishes collected by surrounding net in the Gamak Bay (control)

Orders	Families	Species
Perciformes (농어목)	4	4
Tetraodontiformes (복어목)	1	1
Beryciformes (금눈돔목)	1	1
Pleuronectiformes (가자미목)	1	1
Scorpaeniformes (솜뱅이목)	2	2
Anguilliformes (뱀장어목)	1	1
6	10	10

Table 9. Number of orders, families and species of fishes collected in the Gamak Bay (*Sargassum* beds)

Orders	Families	Species
Perciformes (농어목)	6	10
Scorpaeniformes (솜뱅이목)	3	5
Tetraodontiformes (복어목)	2	2
Gasteroseiformes (큰가시고기목)	1	1
Clupeiformes (청어목)	1	1
Anguilliformes (뱀장어목)	1	1
Beloniformes (동갈치목)	1	1
7	15	21

Table 10. Number of orders, families and species of fishes collected in the Gamak Bay (control)

Orders	Families	Species
Perciformes (농어목)	3	3
Scorpaeniformes (솜뱅이목)	2	3
Beloniformes (동갈치목)	1	1
Pleuronectiformes (가자미목)	1	1
Anguilliformes (뱀장어목)	1	1
5	8	9

나. 월별 어류의 출현 양상과 계절 변동

(1) 1차년도

모자반 군락지에서 2007년 11월부터 2008년 6월까지 어류의 출현 양상을 살펴보면 2007년 11월에 7종 96개체 938.45 g 채집되었고, 흰줄망둑이 78개체 255.38 g 으로 가장 높게 나타났고, 일곱동갈망둑이 2개체 0.29g 으로 가장 낮게 나타났다. 동년 12월에는 18종 260개체 217.16 g 채집되었고, 복섬이 100개체 656.76 g 으로 가장 높게 나타났고, 11월에 출현하였던 흰줄망둑이 69개체 159.51g 출현하였으며, 조사 기간동안 꾸준히 채집되었던 일곱동갈망둑이 26개체 4.32g 출현 하였고, 그물코취치가 16개체 16.5 g 조사되었고, 그 외 14종은 15개체 미만으로 소수 출현 하였다(Fig. 49).

2008년 1월에는 9종 25개체 453.64 g 로 다소 감소하는 경향을 보였고, 일곱동갈망둑이 8개체 1.57 g, 살망둑이 5개체 6.28 g 으로 우점 하였다. 2월에는 12종 32개체 645.11 g 채집되었고, 1월과 비슷한 종이 출현 하였고, 2월부터 5월 까지 채집되었던, 고등어 치어가 9개체 2.53 g 첫 출현 하였다. 3월부터는 다시 출현양상이 증가하여 17종 169개체 558.36 g 채집되었고, 조사기간 중 12월을 제외한 전 기간에 출현한 베도라치가 77개체 출현하였으나 주로 전장이 33-50 mm 사이의 치어가 출현하여 총량은 13.04 g 으로 낮게 나타났으며, 3월부터 6월 까지 조사된 미분류1가 19개체 3.72 g 나타났다.

4월에는 종은 다소 증가하였으나 출현한 어류의 개체수와 총량이 큰 폭으로 증가하여 3월에 출현 하였던, 베도라치와 비슷한 83개체가 출현하였으나, 총량은 291.48 g로 큰 폭 증가하였으며, 흰줄망둑이 205개체 693.85 g 으로 가장 높게 출현하였고, 12월에 출현하였던 복섬이 다시 122개체 941.43 g 출현하였는데 복섬은 꾸준한 출현양상을 보여 전 조사기간 중 가장 높은 2525.53 g 나타났다.

5월에는 전체 월별 중에 가장 다양한 19종이 1293개체 1370.82 g 출현하였고, 전 조사기간 가장 높은 898개체수가 출현한 미분류 2종이 637개체 34.16 g 출현하였고, 미분류3가 273개체 23.76 g, 흰줄망둑이 171개체 591.17 g 순으로 나타났으며, 학꽂이가 5개체 166.57 g 첫 출현을 하였다. 5월과 비슷한 출현 양상을 보인 6월은 18종 1472개체 3819.63 g 나타났으며, 전 조사기간 출현한 일곱동갈망둑이 247개체 36.12 g 가장 높게 나타났으며, 5월부터 나타난 학꽂이가 192개체 283.73 g 출현하였고, 5월부터 출현하였던 농어 또한 181개체 598.32 g으로 높게 나타났다(Table 11).

대조구에서 출현한 어류의 계절별 출현 양상을 살펴보면, 2007년 11월에 볼락이 16개체, 문절망둑이 12개체, 붕장어 순으로 나타났으며, 전총량은 붕장어가 802.04 g이 가장 높았으며, 문절망둑이 513.68 g으로 나타났다. 12월에는 문절망둑, 볼락 및 복섬이 4개체씩 출현하였다. 2008년 2월에는 문절망둑이 12개체 209.48 g, 살망둑이 4개체 2.4 g 순으로 나타났다. 3월에는

베도라치 치어가 4종 출현하였으며, 4월에는 3종 24개체가 출현하였으며, 고등어, 학꽂치, 베도라치 순으로 조사되었다. 5월 조사에서는 학꽂치가 16개체 0.16 g으로 조사되었으며, 다음으로 농어가 4개체 1.32 g 조사되었다. 6월에는 3종 48개체가 출현하였으며, 출현종은 문치가자미 24개체, 문절망둑 16개체, 쥐노래미 8개체로 출현하였다(Table 12).

(2) 2차년도

모자반 군락지에서 2008년 10월부터 2009년 5월까지 어류의 출현 양상을 살펴보면 2008년 10월에 11종 213개체 4838.03 g 으로 조사기간 중 가장 다양한 출현양상을 보였으며, 농어가 77개체 1071.18 g 으로 가장 높게 나타났으며, 주둥치가 1개체 0.92 g 으로 가장 낮게 나타났다. 11월에는 3종 18개체 339.3 g 채집되어 감소하는 경향을 보였으며, 농어가 10개체 242.23 g 으로 가장 높게 나타났으며, 그물코쥐치가 3개체 2.34 g 으로 가장 낮게 나타났다. 동년 12월에는 2종 7개체 118.9 g 채집되어, 가시망둑이 3개체 66.91 g 으로 가장 높게 나타났으며, 불락이 4개체 51.99 g 으로 가장 낮게 나타났다.

2009년 1월에는 모자반 군락에서 어류가 채집되지 않았으며, 2월에는 5종 17개체 209.64 g 이 채집되었다. 2월에는 보리멸 2개체 9.63 g이 첫 출현하였으나 이 후, 출현은 없었다. 2008년 11월부터 2009년 2월 까지 어류의 출현양이 크게 감소하는 경향을 보였는데, 이러한 이유는 모자반 군락이 대체로 수심이 얕은 연안에 형성되어 있어 겨울철 수온이 급격히 떨어질 때 대부분의 어류들이 좀더 안정적인 수온 분포를 보이는 수심이 깊은 곳으로 이동하는 것으로 판단되며, 이와 관련하여 좀더 면밀한 조사가 요구되어 진다.

3월에는 총 6종 36개체 268.64 g 으로 점차 증가하는 경향을 보였으며, 불락이 8개체 122.37 g 으로 가장 높게 나타났으며, 또한 베도라치가 다시 출현하여 21개체 83.46 g 을 보였다. 살망둑은 3개체 0.80 g 으로 가장 낮은 값을 보였다.

4월에는 총 6종 48개체 492.04 g 으로 08년 12월부터 09년 2월에 비해 확연히 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 08년 11월 이후로 출현하지 않던 복섬이 다시 출현하며, 31개체 248.80 g 으로 가장 높게 나타났다. 살망둑은 2개체 0.11 g, 일곱동갈망둑 1개체 32.95 g 와 흰줄망둑 5개체 13.69 g 의 출현을 보였다.

5월에는 총 10종 63개체 757.00 g 으로 지속적인 증가 경향을 보였으며, 복섬이 11개체 286.95 g 으로 높은 수치를 보였다. 베도라치는 34개체 54.52 g 출현하며, 높은 출현 양상을 보였으며, 문절망둑은 3개체 160.33 g 을 보였다. 흰줄망둑은 1개체 3.04 g 으로 가장 낮은 값을 보였다(Table 13).

대조구에서 출현한 어류의 계절별 출현 양상을 살펴보면, 2008년 10월에 7종 36개체 2060.63 g 이 출현하였다. 문절망둑은 3개체 621.38 g 의 값을 보였으며, 문치가자미는 1개체

388.69 g, 농어는 17개체 270.44 g 이 출현하였다. 베도라치는 2개체 122.25 g 의 출현을 보였다.

2008년 11월, 12월에는 대조구에서의 어류출현이 없었으며, 2009년 1월에 2종 2개체 10.98 g 을 보였으며, 2008년 10월에 비하여 대조구 역시 감소되는 현상을 보였다. 2월, 3월에도 어류의 출현은 없었으며, 4월에 3종 9개체 183.76 g 을 보였으며, 불락이 6개체 115.33 g 으로 가장 높게 나타났으며, 복섬이 2개체 28.69 g 을 보였다. 5월에는 3종 13개체 121.94 g 으로 나타났으며, 농어가 2개체 98.55 g 을 보이며 높은 값을 나타내었다. 노래미는 1개체 5.09 g 으로 가장 낮은 값을 나타내었다(Table 14).

다. 군집구조

(1) 1차년도

조사지역의 군집구조를 나타내는 생물학적 특성인 출현종수와 총개체수, 종다양도 지수 (H'), 균등도 지수 (J), 풍부도 지수 (R)는 Fig. 50, 51과 같다. 모자반군락내 월별 출현양상을 분석한 결과 출현종수의 경우 5월에 19종이 출현하여 조사기간 중 가장 많은 출현종수를 보였고, 2007년 11월에 7종으로 가장 적은 출현종수를 나타내었다. 총 출현 개체수는 2008년 6월에 1472개체로 가장 많은 개체수를 보였으며, 2008년 1월에 25개체로 가장 적은 개체수를 보였다. 다양도 지수를 살펴보면, 0.81-2.08로 2008년 2월에 가장 높은 값을 보였고, 2007년 11월에 가장 낮은 값을 보였다. 균등도 지수는 0.42-0.88의 범위로 2008년 1월에 가장 높은 값을 보였으며, 2007년 11월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 풍부도 지수는 1.31-3.17로 2008년 2월에 가장 높은 값을 보였으며, 2007년 11월에 가장 낮은 값을 나타내었다 (Fig. 50).

모자반 군락내 대조구에서는 출현종수가 3종으로 모자반 군락지역과 비교하여 현저히 낮은 출현종수를 보여주었으며, 총 출현 개체수는 48개체로 2008년 6월에 가장 높은 개체수를 보였고, 2008년 1월에는 어류가 출현하지 않아 가장 낮은 0의 값을 나타내었다. 종 다양도 지수는 0-1.10으로 2007년 12월에 가장 높은 값을 보였으며, 2008년 1월과 3월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 균등도 지수는 0-1.0으로 2007년 12월에 가장 높은 값을 나타내었고 2008년 1월과 3월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 풍부도 지수 또한 0-0.80으로 현저히 낮은 값을 나타내었다 (Fig. 51).

(2) 2차년도

조사지역의 군집구조를 나타내는 생물학적 특성인 출현종수와 총 개체수, 종다양도 지수 (H'), 균등도 지수 (J), 풍부도 지수 (R)는 다음과 같다. 모자반 군락내 월별 출현양상을 보면 출현종수의 경우 2008년 10월에 11종이 출현하여 조사기간 중 가장 많은 출현종수를 보였고,

2009년 1월에 출현을 하지 않아 가장 낮은 출현종수를 보였다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이, 연안해역의 겨울철 낮은 수온에 의한 어류의 출현량 감소로 추측된다. 총 출현 개체수는 2008년 10월에 213개체로 가장 많은 개체수를 보였으며, 2009년 1월에 어류의 출현이 없었다. 다양도 지수를 살펴보면, 0-2.17의 범위로 2009년 1월에 가장 낮은 값을 보였으며, 2009년 5월에 가장 높은 값을 보였다. 균등도 지수는 0-0.98의 범위로 2008년 12월에 가장 높은 값을 보였으며, 2009년 1월에 가장 낮은 값을 보였다. 풍부도 지수는 0-1.81로 2008년 10월에 가장 높은 값을 보였으며, 2009년 1월에 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 52).

모자반 군락내 대조구에서는 2008년 10월에 출현종수가 7종으로 가장 높았으며, 11월, 12월, 2월, 3월은 개체가 출현하지 않았다. 총 출현 개체수는 2008년 10월에 36개체로 가장 높았으며, 2009년 5월 13개체 4월 9개체를 보였다. 총 다양도 지수는 0-1.67의 값을 보였으며, 역시 2008년 10월에 가장 높은 값을 보였다. 풍부도 지수는 0-1.54로 전체적으로 낮은 생태지수를 보였다(Fig. 53).

라. 우점 어종의 출현 양상

어류의 체장조성은 어획물의 체장에 따른 빈도를 측정함으로써 어류의 연령군, 자원량 및 산란시기 등의 합리적인 자료를 도출함으로써 수산생물의 자원량을 추정할 수 있다. 본 조사 기간 중 가장 우점한 3종의 체장 분포의 월별변동을 살펴본 결과 Fig. 54와 같다.

미분류종(Unknow spp.-2) : 체장의 범위는 20-40 mm의 범위를 보였으며, 채집량의 월별 변동은 심하게 나타났다. 2007년 11월부터 2008년 4월까지 출현하지 않았으며 5월에 637개체가 다량으로 출현하는 양상을 보여주었다. 6월로 갈수록 점차 체장이 증가하는 경향을 보였다.

흰줄망둑(*P. zomoleucus*) : 흰줄망둑은 2007년 11월에 78개체가 출현하였으며, 체장범위는 60-80 mm의 범위를 보여 Unknow spp.종과 *C. heptacanthus*보다 출현개체수 및 체장크기도 높게 나타났다. 12월에는 69개체로 11월과 비슷한 체장범위를 보여주었다. 2008년 1-3월까지 출현하지 않았지만 4월부터 다시 205개체로 높은 출현개체수를 나타내었으며 체장범위는 40-80 mm로 다소 넓은 체장범위를 보여주었다. 5월과 6월로 갈수록 출현 개체수는 감소하는 경향을 보였지만 체장범위에서 60-80 mm로 *C. heptacanthus*의 체장이 성장하는 양상을 보였다.

살망둑(*C. heptacanthus*) : 살망둑은 2007년 11월에 4마리 출현하였으며, 체장범위는 50 mm의 범위를 보였다. 2008년 1월에는 5개체가 채집되었고 50-60 mm의 범위를 보였다. 2월에는 2개체가 60 mm의 체장범위를 보였으며, 5월에는 1개체가 출현하였고 40 mm의 범위를 보였다. 6월에는 375개체로 가장 많은 개체수가 채집되었으며, 체장범위는 20-40 mm로 나타나

개체수는 크게 많아졌지만 체장은 감소하는 경향을 나타내었다(Yoon and Choi, 2010).

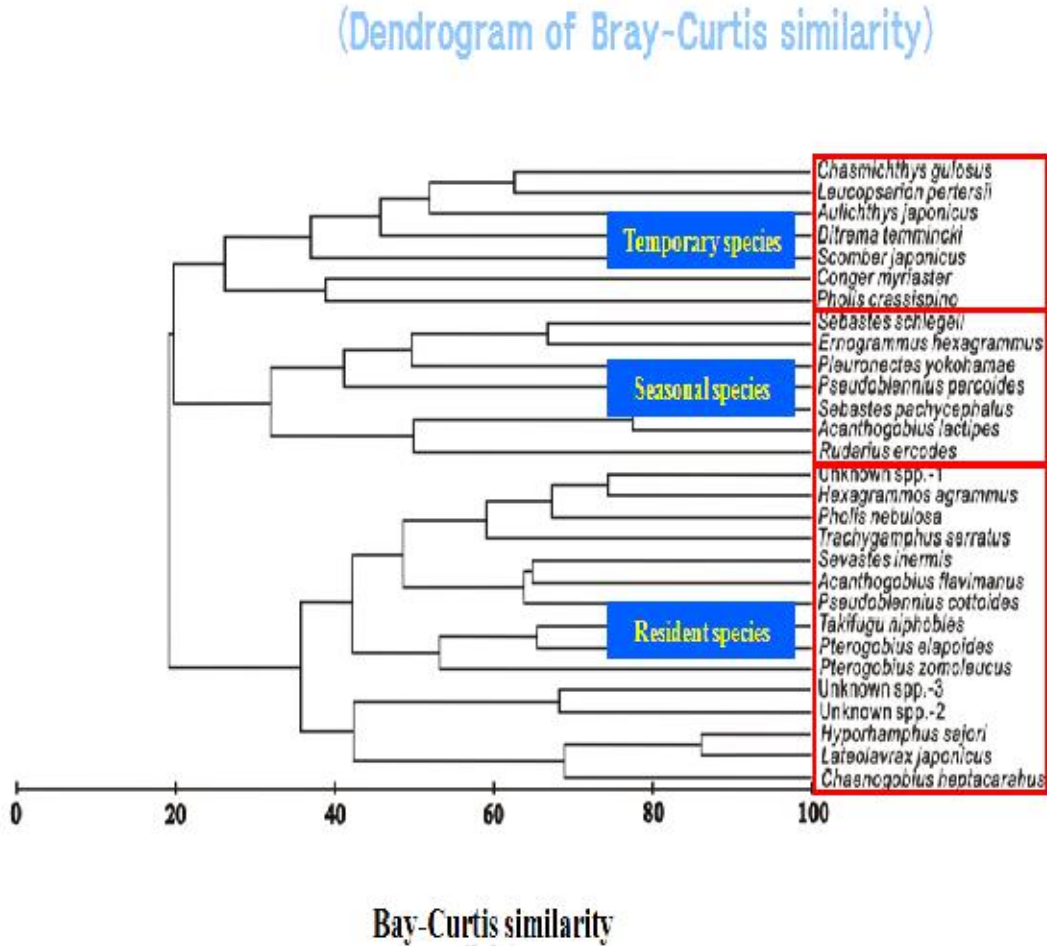


Fig. 49. Dendrogram(UPGMA) illustrating species(r-mode) derived from monthly abundance.

Table 11. Seasonal variation in species composition(ind/21km³) and biomass(g/21km³) of fishes collected in study area (*Sargassum* beds)

Species (Korean name)	Month		2007/Nov.		Dec.		2008/Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May		Jun.		Total	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Rudarius ercodes</i> (그물코취치)	-	-	16	16.5	2	4.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	20.55
<i>Pterogobius elapoides</i> (일곱동갈망둑)	2	0.29	26	4.32	8	1.57	1	0.13	2	0.36	46	26.96	18	35.6	247	36.12	350	105.35		
<i>Pterogobius zomoleucus</i> (핀줄망둑)	78	255.38	69	159.51	-	-	-	-	-	-	205	693.85	171	591.17	3	8.11	526	1708.02		
<i>Leucopsarion pertersii</i> (사백어)	-	-	1	0.44	-	-	1	0.1	9	40.67	-	-	-	-	-	-	-	-	11	41.21
<i>Chaenogobius heptacanthus</i> (살망둑)	-	-	1	0.86	5	6.28	2	2.4	-	-	-	-	1	0.47	375	72.68	384	82.69		
<i>Takifugu niphobles</i> (복섬)	-	-	100	656.76	-	-	-	-	-	-	122	941.43	8	88.01	72	839.33	302	2525.53		
<i>Trachygamphus serratus</i> (거물가시치)	-	-	4	8.6	-	-	1	0.15	2	5.06	7	15.41	16	52	2	5.25	32	86.47		
<i>Aulichthys japonicus</i> (실비늘치)	-	-	2	4.9	-	-	-	-	3	7.94	-	-	1	3.86	-	-	6	16.7		
<i>Acanthogobius flavimanus</i> (큰결망둑)	3	157.05	12	481.97	2	29.56	8	255.83	-	-	-	-	1	36.75	15	380.77	41	1341.93		
<i>Acanthogobius lactipes</i> (핀발망둑)	-	-	5	3.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3.31		
<i>Ditrema temmincki</i> (망상어)	-	-	-	-	1	33.94	1	35.37	1	39.8	-	-	9	12.14	-	-	12	121.25		
<i>Pseudoblennius cottoides</i> (가시망둑)	5	107.16	4	134.76	-	-	1	27.65	8	4.54	-	-	7	66.29	26	497.69	51	838.09		
<i>Pholis nebulosa</i> (베도라치)	2	106.72	-	-	3	145.51	3	101.04	77	13.04	83	291.48	64	77.67	25	143.04	257	878.5		
<i>Hexagrammus agrammus</i> (노래미)	-	-	5	155.99	2	188.28	1	124.2	8	311.84	23	96.64	30	80.7	16	256.32	85	1213.97		
<i>Scomber japonicus</i> (고등어)	-	-	-	-	-	-	9	2.53	28	8.81	8	2.92	1	0.54	-	-	46	14.8		
<i>Pholis crassispino</i> (검베도라치)	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5.69	-	-	-	-	-	-	1	5.69		
<i>Lateolabrax japonicus</i> (농어)	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3.78	4	44.44	3	2.41	181	598.32	192	648.95		
<i>Conger myriaster</i> (뿔장어)	3	256.15	-	-	-	-	-	-	1	35.33	-	-	-	-	2	103.4	6	394.88		
<i>Bnogrammus hexagrammus</i> (세줄베도라치)	-	-	1	7.59	-	-	-	-	1	10.4	12	9.27	-	-	1	14.61	15	41.87		
<i>Sebastes schlegelii</i> (조피물락)	-	-	2	245.25	-	-	-	-	-	-	6	45.42	-	-	-	-	8	290.67		
<i>Sebastes inermis</i> (물락)	3	55.7	7	120.76	-	-	-	-	1	21.85	2	86.94	1	12.15	7	439.38	21	736.78		
<i>Pseudoblennius percoides</i> (돌꼭망둑)	-	-	1	31.66	-	-	-	-	-	-	1	1.19	4	23.51	-	-	6	56.36		
<i>Hyporhamphus sajori</i> (학중치)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	166.57	192	283.73	197	450.3		
<i>Chasmichthys gulosus</i> (별망둑)	-	-	-	-	1	21.46	1	8.45	3	26.71	-	-	-	-	-	-	5	56.62		
<i>Sebastes pachycephalus</i> (거물락)	-	-	2	66.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	66.47		
<i>Pleuronectes yokohamae</i> (큰치가자미)	-	-	2	74.51	1	22.99	3	87.26	1	18.82	1	67.21	-	-	2	9.73	10	280.52		
Unknow spp.-1	-	-	-	-	-	-	-	-	19	3.72	6	8.71	43	63.06	21	79.32	89	154.81		
Unknow spp.-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	637	34.16	261	48.46	898	82.62		
Unknow spp.-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	273	23.76	24	3.37	297	27.13		
Total	96	938.45	260	2174.16	25	453.64	32	645.11	169	558.36	526	2331.87	1293	1370.82	1472	3819.63	3873	12292.04		

*N: Number of individuals, W: weight

Table 12. Seasonal variation in species composition(ind/21 km³) and biomass(g/21km³) of fishes collected in study area (Control)

Species (Korean name)	Month	2007/Nov.		Dec.		2008/Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May		Jun.		Total	
		N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Acanthogobius flaximanus</i> (문결망둑)		12	513.68	4	163.16	-	-	12	290.48	-	-	-	-	-	-	16	323.88	44	1291.2
<i>Pleuronectes yokohamae</i> (문치가자미)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	783.88	24	783.88
<i>Hexagrammos otakii</i> (취노래미)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	113.68	8	113.68
<i>Sevastes inermis</i> (볼락)		16	273.76	4	75.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	349.16
<i>Conger myriaster</i> (붕장어)		8	802.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	802.04
<i>Takifugu niphobles</i> (복섬)		-	-	4	16.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	16.64
<i>Chaenogobius heptacanthus</i> (살망둑)		-	-	-	-	-	-	4	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2.4
<i>Pholis nebulosa</i> (베도라치)		-	-	-	-	-	-	-	-	4	0.4	4	2.24	-	-	-	-	8	2.64
<i>Scomber japonicus</i> (고등어)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	6.24	-	-	-	-	12	6.24
<i>Hyporhamphus sajori</i> (학꽂치)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	298	16	0.16	-	-	24	298.16
<i>Lateolabrax japonicus</i> (농어)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.32	-	-	4	1.32
Total		36	1,589.48	12	255.2	0	0	16	292.88	4	0.4	24	306.48	20	1.48	48	1,221.44	160	3,667.36

*N: Number of individuals, W: weight

Table 13. Seasonal variation species composition(ind/21km³) and biomass(g/21km³) of fishes collected in study area (*Sargassum* beds)

Month Speices	2008/Oct		Nov.		Dec.		2009/Jan		Feb.		Mar.		Apr.		May		Total		
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	
<i>Hyporhamphus sajori</i>	43	1061.86															43	1061.86	
<i>Lateolabrax japonica</i>	77	1071.18	10	242.23											2	116.23	89	1429.64	
<i>Engraulis japonicus</i>	26	7.83															26	7.83	
<i>Leiognathus nuchalis</i>	1	0.92															1	0.92	
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	2	5.75	3	2.34													5	8.09	
<i>Leucopsarion petersi</i>									6	0.58							6	0.58	
<i>Sillago sihama</i>									2	9.63							2	9.63	
<i>Pholis nebulosa</i>	31	1827.02							1	47.31	21	83.46	4	7.92	34	54.52	91	2020.23	
<i>Chaenogobius heptacanthus</i>											3	0.80	2	0.11			5	0.91	
<i>Trachyrhamphus serratus</i>											1	2.65			3	4.97	4	7.62	
<i>Takifugu niphobles</i>	6	81.39	5	94.73										31	248.80	11	286.95	53	711.87
<i>Sebastes inermis</i>	4	38.65			4	51.99			6	72.68	8	122.37	5	215.99			27	501.68	
<i>Pterogobius zonoleucus</i>													5	18.69	1	3.04	6	21.73	
<i>Pterogobius elapoides</i>													1	0.53			1	0.53	
<i>Agrammus agrammus</i>									2	79.44	1	32.95			2	19.51	5	131.90	
<i>Pseudoblennius cottoides</i>	3	65.51			3	66.91									4	43.55	10	175.97	
<i>Acanthogobius flavi-manus</i>	9	291.32															9	291.32	
<i>Conger myriaster</i>	11	376.60													3	160.33	14	536.93	
<i>Hexagrammos otakii</i>															2	43.18	2	43.18	
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>											2	26.41					2	26.41	
<i>Sebastes pachycephalus</i>															1	24.72	1	24.72	
<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>																			
Total	213	4828.03	18	339.3	7	118.9			17	209.64	36	268.64	48	492.04	63	757.00	402	7013.55	

* N : Number of individuals, W : weight

Table 14. Seasonal variation species(ind/21km³) composition(g/21km³) and biomass of fishes collected in study area (control)

Month Speices	2008/Oct.		Nov.		Dec.		2009/Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May		Total	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Hyporhamphus sajori</i>	7	186.53															7	186.53
<i>Lateolabrax japonica</i>	17	270.44													2	98.55	19	368.99
<i>Engraulis japonicus</i>							1	0.11									1	0.11
<i>Leiognathus nuchalis</i>																		
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>																		
<i>Leucopsarion petersi</i>																		
<i>Sillago sihama</i>																		
<i>Pholis nebulosa</i>	2	122.25												10	18.30	12	140.55	
<i>Chaenogobius heptacanthus</i>																		
<i>Trachyrhamphus serratus</i>																		
<i>Takifugu niphobles</i>													6	115.33			6	115.33
<i>Sebastes inermis</i>							1	10.87					2	28.69			3	39.56
<i>Pterogobius zonoleucus</i>																		
<i>Pterogobius elapoides</i>																		
<i>Agrammus agrammus</i>														1	5.09	1	5.09	
<i>Pseudoblennius cottoides</i>																		
<i>Acanthogobius flavi-manus</i>	3	621.38															3	621.38
<i>Conger myriaster</i>	4	240.65															4	240.65
<i>Hexagrammos otakii</i>	2	230.69															2	230.69
<i>Emogrammus hexagrammus</i>																		
<i>Sebastes pachycephalus</i>																		
<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>	1	338.69											1	39.74			1	338.69
Total	36	2060.63					2	10.98					9	188.76	13	121.94	60	2377.31

* N : Number of individuals, W : weight

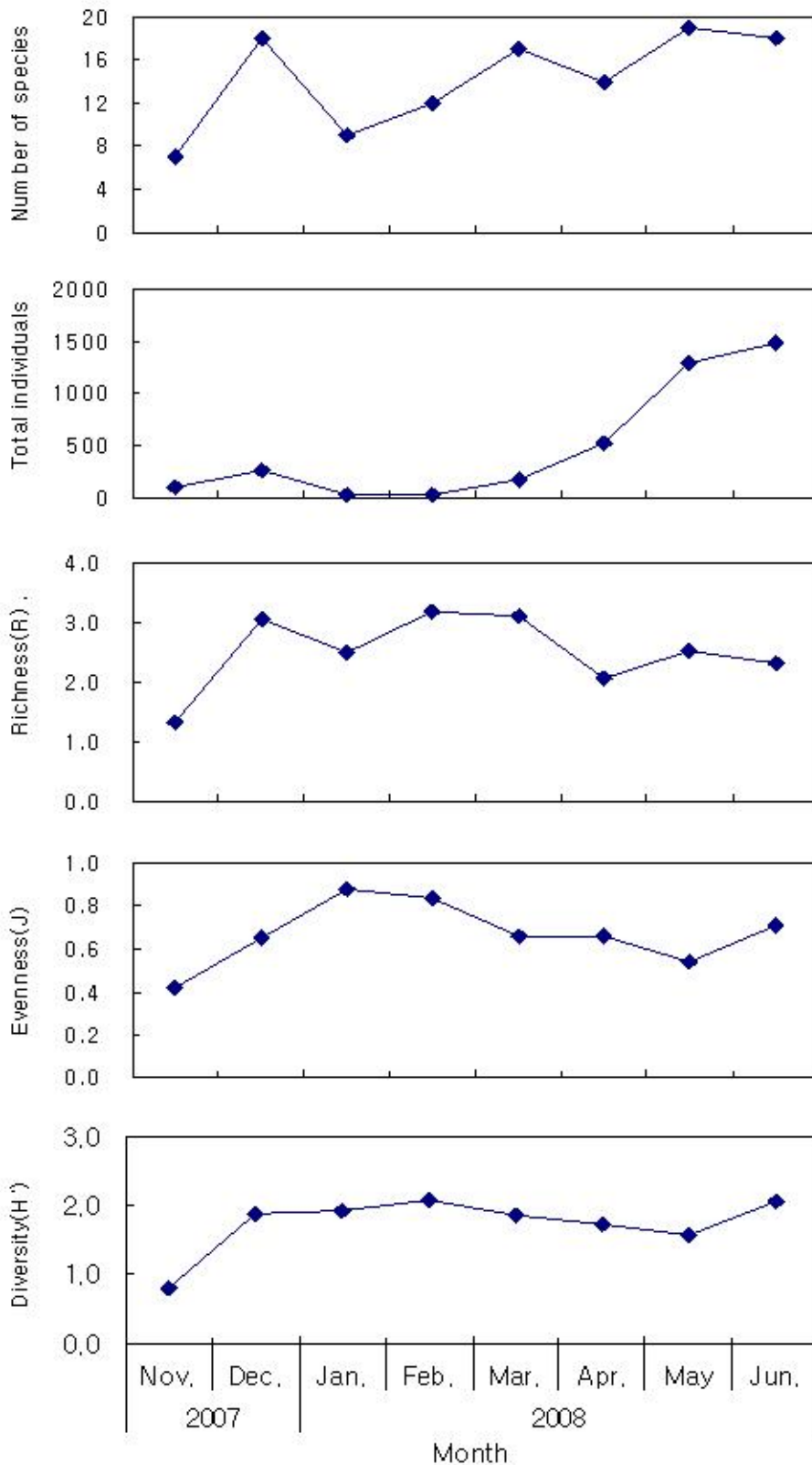


Fig. 50. Month variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in the *Sargassum* beds in Gamak Bay.

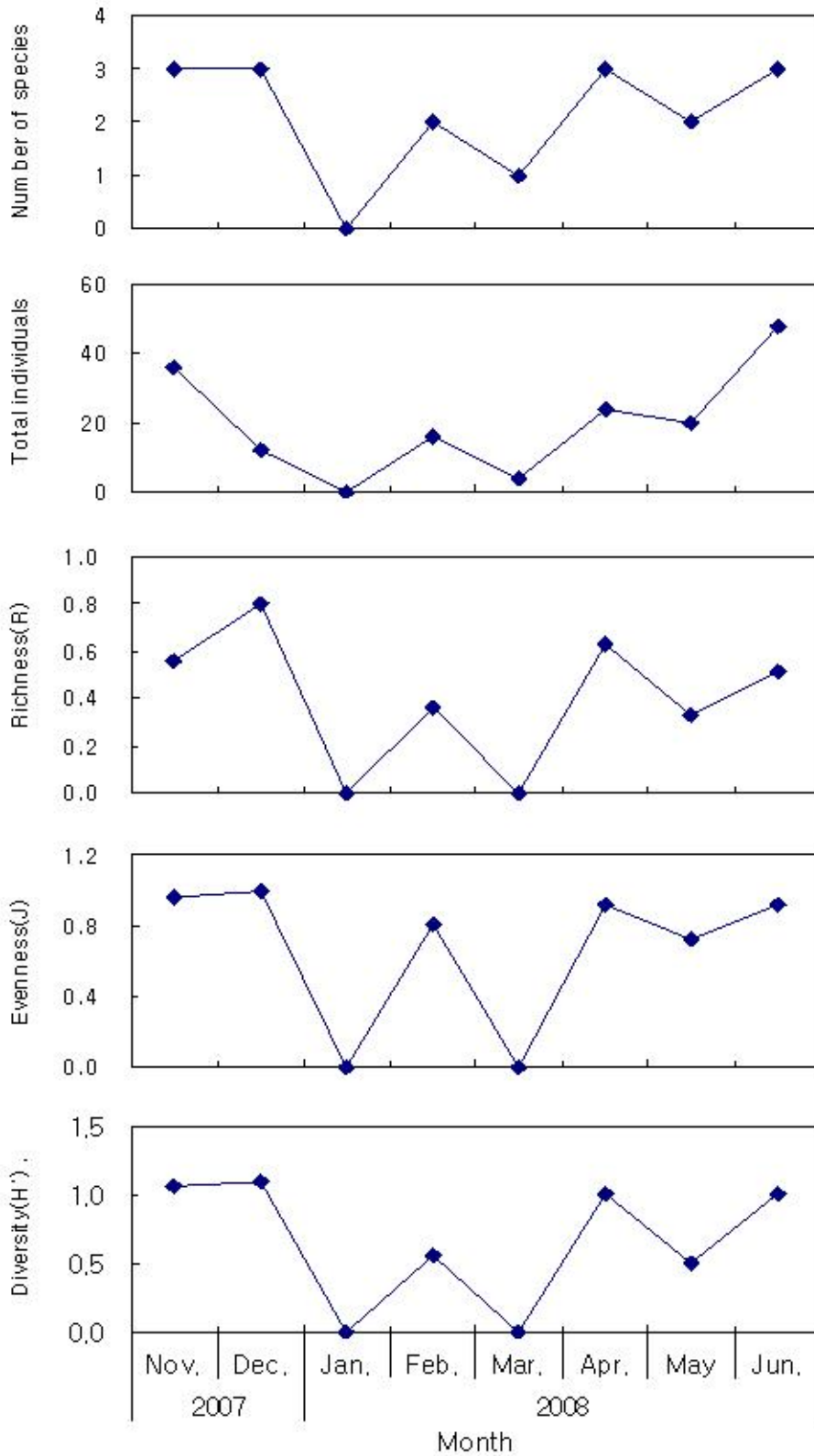


Fig. 51. Month variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in the Gamak Bay (control).

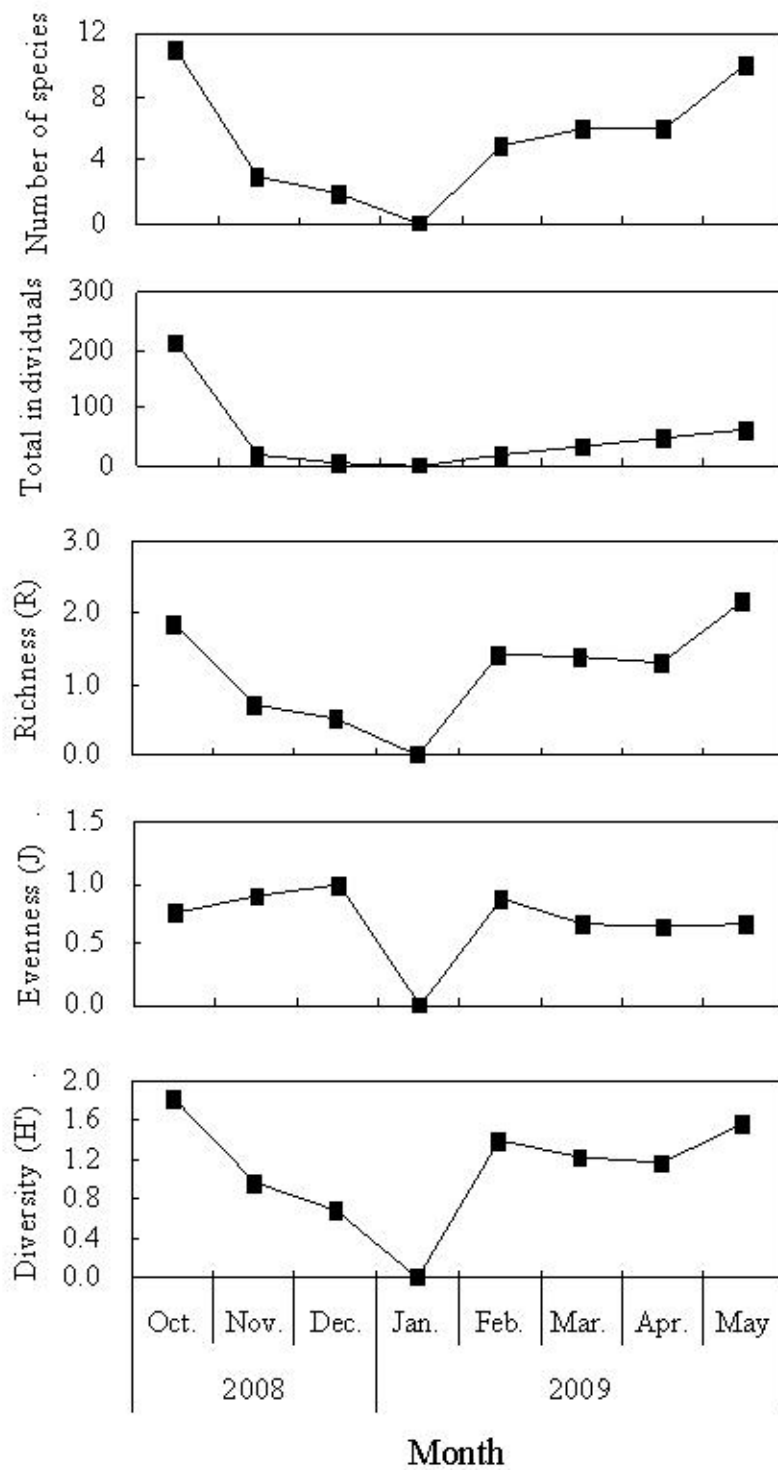


Fig. 52. Month variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in Gamak Bay (*Sargassum* beds).

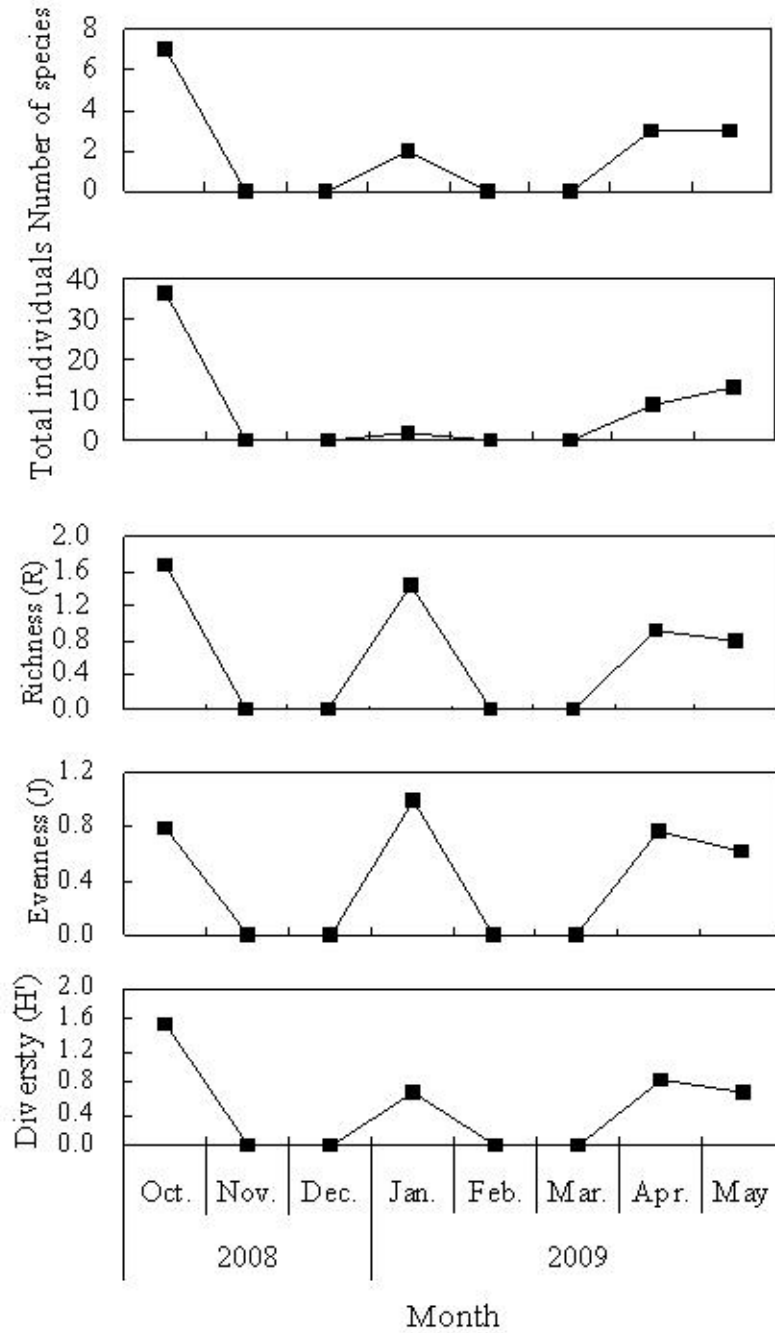


Fig. 53. Month variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in Gamak Bay(control).

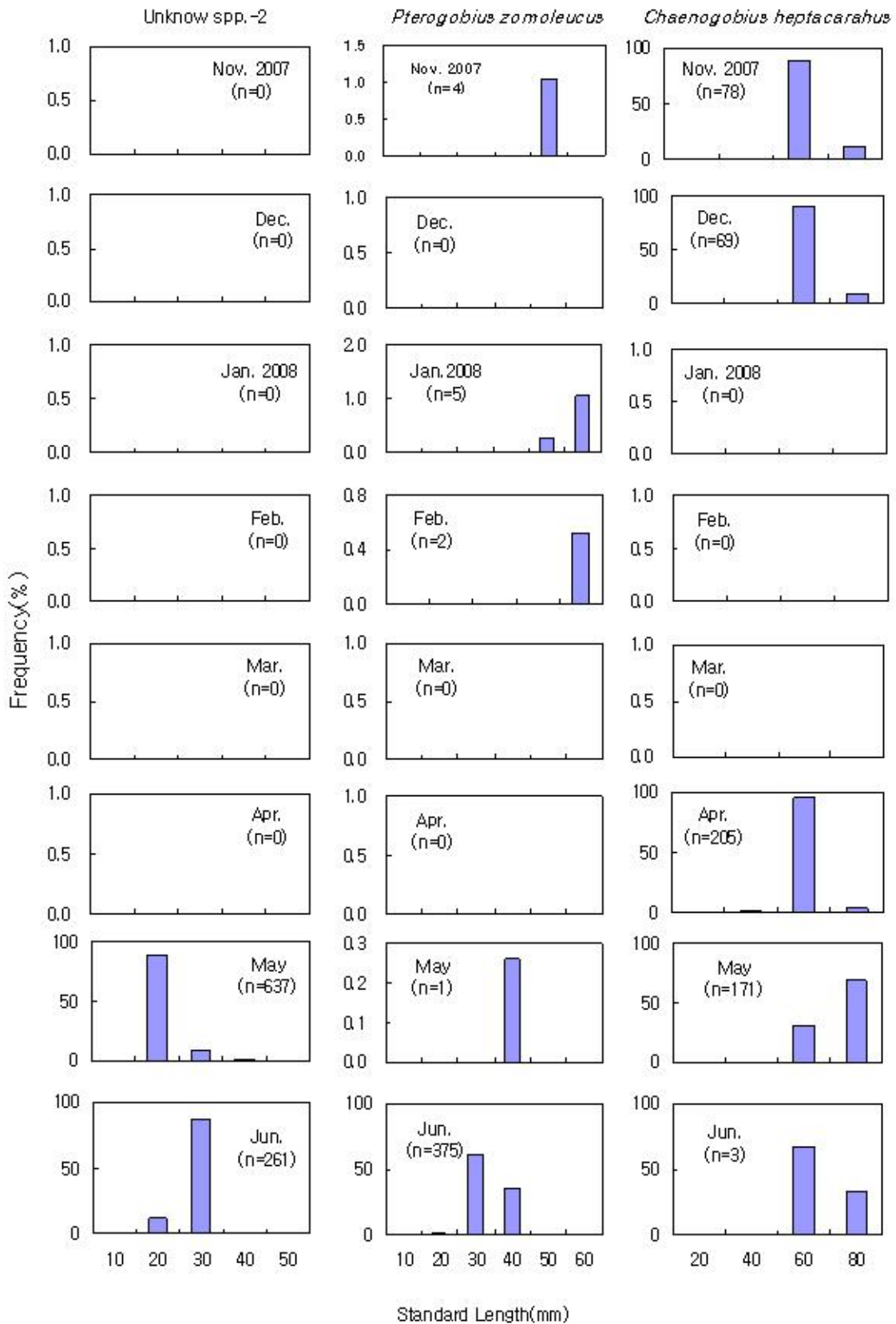


Fig. 54 Monthly variations in length-frequency distribution of the dominant fish species collected in the *Sargassum* beds in Gamak Bay.

마. 모자반 군락내 생태계의 에너지 흐름

(1) 주요어류의 먹이습성 (상위 우점어종)

복섬 (*Takifugu niphobles*)

복섬의 주요 먹이생물은 단각류에 속하는 옆새우류와 카프렐라류 그리고 갑각류 유생이었다. 옆새우류는 위 내용물 건조중량의 45.5%, 카프렐라류는 25.9% 그리고 갑각류 유생이 18.7%를 차지하였다. 그 외 요각류, 계류 등도 위 내용물 속에서 발견되었으나, 그 양은 많지 않았다. 조사결과 모자반 군락내 서식하는 복섬의 경우 주로 모자반에 부착하여 생활하는 부착성 단각류와 갑각류 유생 등을 주로 섭이하는 육식성 어종임을 알 수 있었다.

농어 (*Lateolabrax japonicus*)

농어의 주요 먹이생물은 단각류에 속하는 옆새우류, 새우류, 갑각류 유생 및 다른 어종의 치어들로 나타났다. 옆새우류는 위 내용물 건조중량의 37.2%, 새우류는 26.3%, 갑각류 유생 15.9%, 어류가 13.2%를 차지하였다. 농어의 위 내용물중 어류의 경우 베도라치 및 망둑어과 어류가 대부분이었다. 그 외 요각류, 등각류 및 카프렐라류 등도 위 내용물 속에서 발견되었으나, 그 양은 많지 않았다. 조사결과 모자반 군락내 서식하는 농어의 경우 주로 옆새우류, 새우류, 갑각류 유생 및 어류 등을 주로 잡아 먹는 육식성 어종임을 알 수 있었다.

불락 (*Sebastes inermis* Cuvier)

불락의 주요 먹이생물은 단각류에 속하는 옆새우류와 카프렐라류 그리고 작은 새우류로 나타났다. 옆새우류는 위 내용물 건조중량의 38.1%, 카프렐라류는 36.3% 그리고 새우류가 17.8%를 차지하였다. 그 외 요각류, 갯지렁이류, 이매패류 등도 위 내용물 속에서 발견되었으나, 그 양은 많지 않았다. 조사결과 모자반 군락내 서식하는 불락의 경우 주로 모자반에 부착하여 생활하는 부착성 단각류와 새우류 등을 주로 섭이하는 육식성 어종임을 알 수 있었다.

학공치 (*Hyporhamphus sajori*)

학공치의 주요 먹이생물은 새우류, 옆새우류, 계류 및 복족류로 나타났다. 새우류는 위 내용물 건조중량의 41.2%, 옆새우류는 27.1%, 계류 15.6%, 복족류가 14.2%를 차지하였다. 그 외 이매패류, 요각류, 및 카프렐라류 등도 위 내용물 속에서 발견되었으나, 그 양은 많지 않았다. 조사결과 모자반 군락내 서식하는 학공치의 경우 주로 새우류, 옆새우류, 계류 및 복족류 등을 주로 잡아 먹는 육식성 어종임을 알 수 있었다.

붕장어 (*Conger myriaster*)

붕장어의 주요 먹이생물은 어류, 새우류, 갯지렁이류, 계류 등이 나타났다. 어류는 위 내용물 건조중량의 43.8%, 새우류는 28.5%, 계류 21.8%를 차지하였다. 붕장어의 위 내용물중 어류의 경우 망둑어류와 같은 저서성 소형어류가 대부분이었다. 그 외 이매패류, 단각류, 및 복족류 등도 위 내용물 속에서 발견되었으나, 그 양은 많지 않았다. 조사결과 모자반 군락내 서식하는 붕장어의 경우 주로 새우류, 갯지렁이류, 계류 등을 주로 섭이하는 것으로 나타났다.

베도라치 (*Pholis nebulosa*)

베도라치의 가장 중요한 먹이생물은 단각류인 옆새우류와 카프렐라류였다. 옆새우류는 위 내용물 건조중량의 35.4%, 카프렐라류 30.7%를 차지하였다. 그 다음으로 요각류와 갯지렁이류가 주로 발견되었으나 그 양은 많지 않았다. 조사결과 모자반 군락내 서식하는 베도라치의 경우 주로 모자반에 부착하여 생활하는 부착성 옆새우류와 카프렐라류등을 주로 잡아 먹는 육식성 어종임을 알 수 있었다.

문절망둑 (*Acanthogobius elongata*)

문절망둑의 가장 중요한 먹이생물은 옆새우류, 카프렐라류, 계류, 새우류, 갯지렁이류, 모자반으로 나타났다. 옆새우류는 위 내용물 건조중량의 32.8%, 카프렐라류 26.2%, 계류 20.1%, 새우류 9.6%, 갯지렁이류 3.5%를 차지하였다. 그 다음으로 요각류, 복족류, 소형어류등도 섭이하는 것으로 나타났다. 조사결과 모자반 군락내 서식하는 문절망둑의 경우 주로 모자반에 부착하여 생활하는 부착성 옆새우류와 카프렐라류, 계류, 새우류, 갯지렁이류, 모자반 등을 주로 먹는 잡식성 어종임을 알 수 있었다.

(2) 모자반 군락내 영양단계간의 에너지 흐름

조사기간 동안 출현한 총 21종의 어류중 우점 출현한 어류들간의 먹이 영양관계를 살펴보면 주요 먹이생물은 부착성 단각류인 옆새우류, 카프렐라류, 새우류, 갑각류 유생, 계류, 갯지렁이류, 어류, 이매패류, 모자반으로 나타났다. 모자반 군락내 동일해역에 서식하더라도 이들 어종간 복잡 다양하게 먹이생물을 섭이하고 있는 것으로 나타났으며, 어종들간의 먹이 영양관계가 복잡하게 형성되어 있었다(Fig. 55).

또한, 모자반 군락내 생태계의 일차 생산자는 모자반이 아주 큰 역할을 담당하고 있었다. 그 다음단계인 1차 소비자는 크게 부유성 동물플랑크톤과 저서동물로 구분할 수 있었다. 부유성 동물플랑크톤은 주로 요각류와 갑각류 유생으로 구성되어 있었으며, 저서동물은 부착성 단각류와 갯지렁이류, 이매패류 등을 들 수 있다. 2차 소비자로는 새우류와 계류가 속하였으며,

모자반 군락내 최고 소비자인 3차 소비자로는 육식성 어류를 들 수 있었다. 이에 모자반 군락내 생태계는 생산자부터 소비자까지 상당히 다양한 생물들이 서식하면서 복잡한 먹이망(Food web)을 형성하면서 연안해역에서 아주 중요한 생태계를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

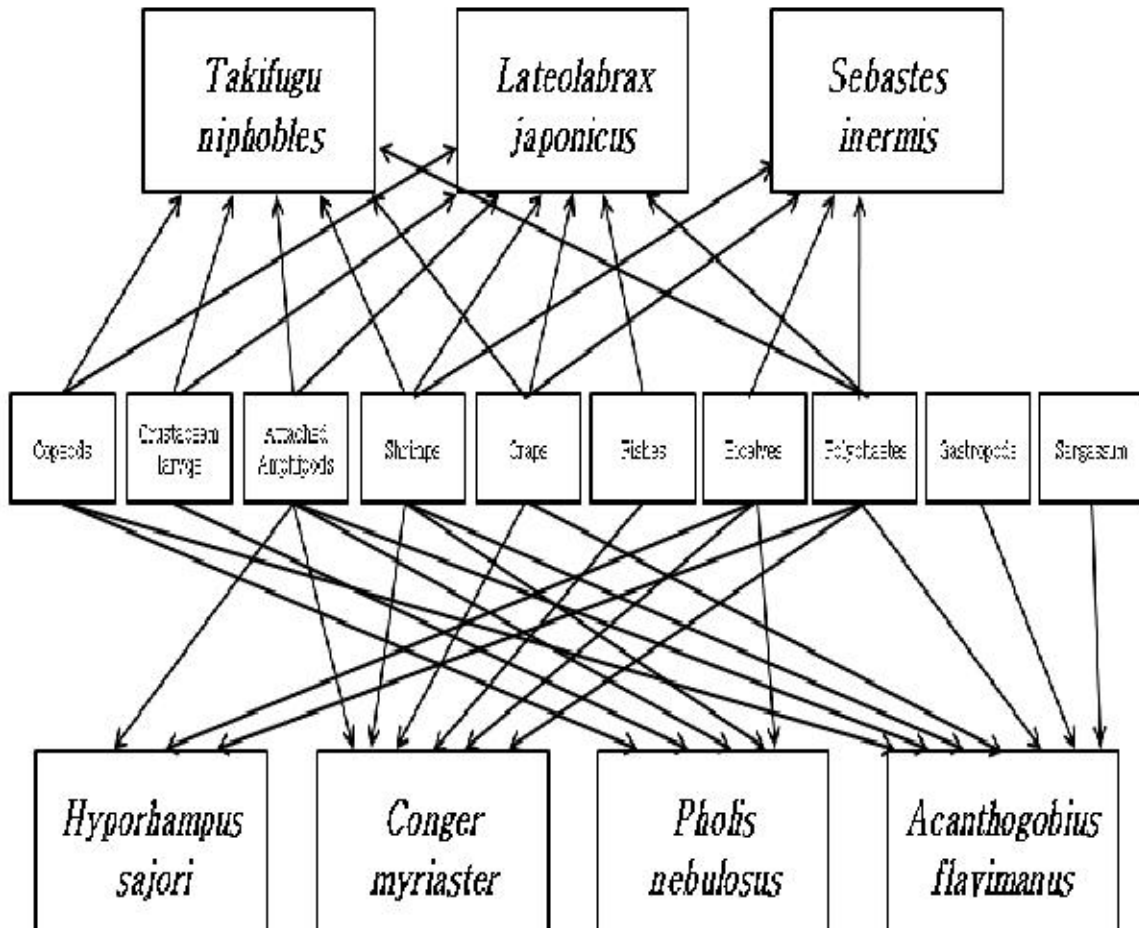


Fig. 55. Trophic relationships between major fish species in a *Sargassum* beds (Garak Bay).

6. 모자반내 어류상의 주·야 변화양상 파악

가. 주·야간 어류의 종조성

주·야간 조사중 모자반 군락내 어획된 어류는 총 6목 10과 13종으로 이들 중 농어목 (Perciformes) 어류가 3과 5종으로 가장 많았고, 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes)이 3과 4종이 었다. 뱀장어목 (Anguilliformes), 복어목 (Tetraodontiformes), 가자미목 (Pleuronectiformes), 큰가시고기목 (Gasteroseiformes)은 각각 1과 1종씩 출현하였다(Table. 15).

모자반군락 외 대조구 지역에서 어획된 어류는 총 2목 4과 4종으로 군락지내의 어류에 비하여 낮은 값을 보였다. 이들 중 농어목 (Perciformes) 이 3과 3종으로 대부분을 차지하였고, 복어목 (Tetraodontiformes) 이 1과 1종으로 출현하였다(Table. 16).

Table 15. Number of orders, families and species of fishes collected during 25 hours in *Sargassum* beds

Orders	Families	Species
Perciformes (농어목)	3	5
Scorpaeniformes (쏨뱅이목)	3	4
Tetraodontiformes (복어목)	1	1
Gasterosteiformes (큰가시고기목)	1	1
Pleuronectiformes (가자미목)	1	1
Anguilliformes (뱀장어목)	1	1
6	10	13

Table 16. Number of orders, families and species of fishes collected during 25 hours in control

Orders	Families	Species
Perciformes (농어목)	3	3
Tetraodontiformes (복어목)	1	1
2	4	4

나. 주·야간에 따른 어류의 변동

주·야간 조사는 시간대에 따른 어류의 이동 양상을 파악하여, 모자반 군락지내 상위포식자인 어류의 이동과 분포 등의 생태학적 특성을 파악하여 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

조사는 2009년 6월 8일 PM 12:00부터 익일 PM 13:20 까지 진행되었다. 어류의 출현 양상을 보면 8일 PM 12:00에 5종 14개체 140.14 g 이 채집되었으며, 이 중 베도라치가 8개체 10.34 g 이 채집되었다. PM 15:10 조사에서는 9종 23개체 240.79 g 이 채집되었으며, 이 중 베도라치가 12개체 16.32 g 채집되었다. 베도라치의 평균 체장은 73.31 mm 로 자어 상태이었으며, 주·야간 조사 당시 꾸준히 출현하였다.

PM 18:20 조사에서는 5종 13개체 86.83 g 채집되었으며, 역시 베도라치가 8개체 10.60 g 채집되었다. PM 18:20 조사까지의 어류 출현상을 분석하여 보면 베도라치가 총 28개체 채집되었으며, 복섬이 5개체, 돌팍망둑 2개체, 거물가시치 1개체, 가시망둑 2개체, 문절망둑 4개체, 불락 2개체, 살망둑 1개체, 문치가자미 1개체가 출현하였다. 이 중 미성어 상태의 어류를 살펴보면 불락이 평균체장 67.45 mm 였으며, 문치가자미는 77.64 mm 로 아직 미성숙단계였으며, 이 종들은 1차년도부터 우점종으로써 모자반 군락에 서식하며 자어기를 보내는 것으로 추측할 수 있다. 또한, 거물가시치의 경우 육아낭에 산란할 수 있는 많은 자어들이 들어있는 것으로 보아, 모자반군락이 일부어종에 있어 산란장 및 육성장으로서의 기능을 확인할 수 있었다.

PM 21:30 부터는 4종 25개체 366.66 g 채집되었으며, 밤이 되면서 야행성으로 알려진 붕장어가 채집되기 시작하였다. 붕장어는 6개체 292.45 g 채집되었다. 또한, 베도라치가 16개체 20.39 g 채집되었다. 또한, 야행성으로 알려진 쥐노래미 1개체 23.33 g 채집되었다. 붕장어는 익일 AM 3:50 조사까지 채집되었으며 야간조사에는 주로 야행성으로 널리 알려진 어류들이 채집되었다.

9일 AM 7:00 조사에서는 6종 50개체 245.59 g 채집되었으며, 사백어가 36개체 4.47 g 채집되었다. 사백어 역시 1차년도 조사부터 모자반 군락에서 꾸준히 채집되어 온 어류 중 하나이다. AM 10:10 조사에서는 3종 21개체 28.93 g 조사되었으며 사백어가 13개체 1.55 g, 베도라치가 7개체 7.14 g, 문절망둑 1개체 20.24 g 채집되었다. 문절망둑은 1차년도부터 모자반 군락에 서식하는 우점종들 중 하나이며, 이번 주·야간 조사 기간 중 총 21개체 554.21 g 채집되었다. PM 13:20 조사에서는 총 5종 21개체 396.31 g 채집되었으며, 문절망둑이 14개체 380.35 g 채집되었다(Table 17).

모자반군락지 외 대조구에서는 총 4종 9개체 141.54 g 채집되었다. PM 24:40 조사에서 주둥치가 1개체 12.47 g 채집되었으며, 3:50 조사에서 주둥치가 3개체 29.89 g, 복섬이 1개체 14.11 g, 농어가 1개체 47.57 g, 전갱이가 3개체 37.16 g 채집되었다. 전갱이의 경우 1년차 조사

부터 지금까지 처음으로 채집된 것으로 파악되었다(Table 18).

모자반 군락지 어류는 모두 13종 203개체가 출현하였으며 베도라치가 68개체로 전체 개체수의 33.4%를 차지하였다. 전체 개체수의 5% 이상을 차지한 종을 살펴보면, 사백어가 51개체로 25.1%, 복섬이 24개체가 출현하여 11.8%, 문절망둑이 21개체로 10.3%, 붕장어가 11개체로 5.4%를 차지하였다. 이들 5종의 어류가 전체 개체수의 86.2%를 차지 하였다. 이는 월별 조사에서의 모자반 군락 우점종과 비슷한 양상을 보이는 것으로 나타났다.

대조구 어류는 모두 4종 9개체가 나타났으며, 모자반 군락에 비교하였을때 현저하게 낮은 값을 보였다. 그 중, 주둥치와 전갱이가 각각 3개체씩을 보이며 전체 개체수의 33.3%를 차지하였고, 복섬, 농어가 각각 1개체씩 채집되었다.

다. 주·야간에 따른 어류의 군집구조

조사지역의 군집구조를 나타내는 생태학적 특성인 출현종수와 총개체수, 종다양도 지수(H'), 균등도 지수(J), 풍부도 지수(R)는 다음과 같다. 모자반 군락내 시간별 출현양상을 분석한 결과 출현종수의 경우 8일 15:10분에 9종으로 가장 많은 출현종 수를 보였으며, 9일 0:40분과 9일 10:10분에 3종으로 가장 낮은 출현율을 보였다. 총 출현 개체수는 9일 7:00에 총 95개체로 가장 높은 출현율을 보였으며, 8일 18:20분에 18개체로 가장 낮은 출현율을 보였다. 풍부도 지수를 살펴보면, 0.56-2.26으로 8일 15:10분에 가장 높았으며, 9일 10:10에 가장 낮은 값을 보였다. 균등도 지수를 살펴보면 0.52-0.85로 나타났으며, 9일 0:40분에 가장 높은 값을 보였으며, 8일 21:30분에 가장 낮은 값을 보였다. 다양도 지수는 0.77-1.28 의 값을 보였으며, 9일 10:10에 가장 낮은 값을 보였고, 8일 15:10분에 가장 높은 값을 보였다(Fig. 56).

모자반 군락외 대조구에서는 출현종수가 3종으로 모자반 군락지역과 비교하여 현저히 낮은 출현종수를 보여주었으며, 총 출현 개체수는 5개체로 모자반 군락지역과 비교해보면 많은 차이를 보였다. 이와같은 차이를 보이는 이유로는 월별 어류의 출현 양상에서도 찾아 볼 수 있듯이 모자반 군락이 어류의 서식처, 은식처 및 풍부한 먹이원 제공등, 모자반 군락이 생태적으로 중요한 기능을 담당하기 때문이라고 사료된다(Fig. 57).

Table 17. Time variation species composition(ind/21km³) and biomass(g/21km³) of fish collected in study area (*Sargassum* beds)

Speices	PM/12:00		15:10		18:20		21:30		AM/00:40		3:50		7:00		10:10		PM/13:20		Total	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Pholis nebulosus</i>	8	10.34	12	16.32	8	10.60	16	20.39	5	5.80	4	4.68	5	6.11	7	7.14	3	3.42	68	84.80
<i>Lateolabrax japonicus</i>			2	121.76					5	290.60			2	118.60					9	530.96
<i>Takifugu niphobles</i>	3	53.22	2	36.55	2	44.25					13	225.37	3	91.12			1	10.65	24	461.16
<i>Pseudoblennius percoides</i>	1	11.49	1	10.32															2	21.81
<i>Trachyrhamphus serratus</i>			1	0.17															1	0.17
<i>Pseudoblennius cottoides</i>			1	4.31	1	1.38							3	24.35					5	30.04
<i>Hexagrammos otakii</i>							1	23.33			1	18.13							2	41.46
<i>Leucopsarion petersi</i>													36	4.47	13	1.55	2	0.27	51	6.29
<i>Acanthogobius flavi-manus</i>	1	31.27	2	46.92	1	25.55	1	30.05			1	19.83			1	20.24	14	380.35	21	554.21
<i>Sebastes inermis</i>	1	33.82	1	4.20															2	38.02
<i>Chaenogobius heptacanthus</i>			1	0.24			1	0.44			2	2.42	1	0.94			1	1.62	6	5.66
<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>					1	5.05													1	5.05
<i>Conger myriaster</i>							6	292.45	4	179.25	1	55.28							11	526.98
Total	14	140.14	23	240.79	13	86.83	25	366.66	14	475.65	22	55.28	50	245.59	21	28.93	21	396.31	203	2306.61

* N : Number of individuals, W : weight

Table 18. Time variation species composition(ind./21km³) and biomass(g/21km³) of fish collected in study area (control)

Speices	PM/12:00		15:10		18:20		21:30		AM/00:40		3:50		7:00		10:10		PM/13:20		Total	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Leiognathus nuchalis</i>									1	12.47	3	29.89							4	42.36
<i>Lateolabrax japonicus</i>											1	14.11							1	14.11
<i>Takifugu niphobles</i>											1	47.57							1	47.57
<i>Trachurus japonicus</i>											3	37.16							3	37.16
Total									1	12.47	8	128.73							9	141.26

* N : Number of individuals, W : weight

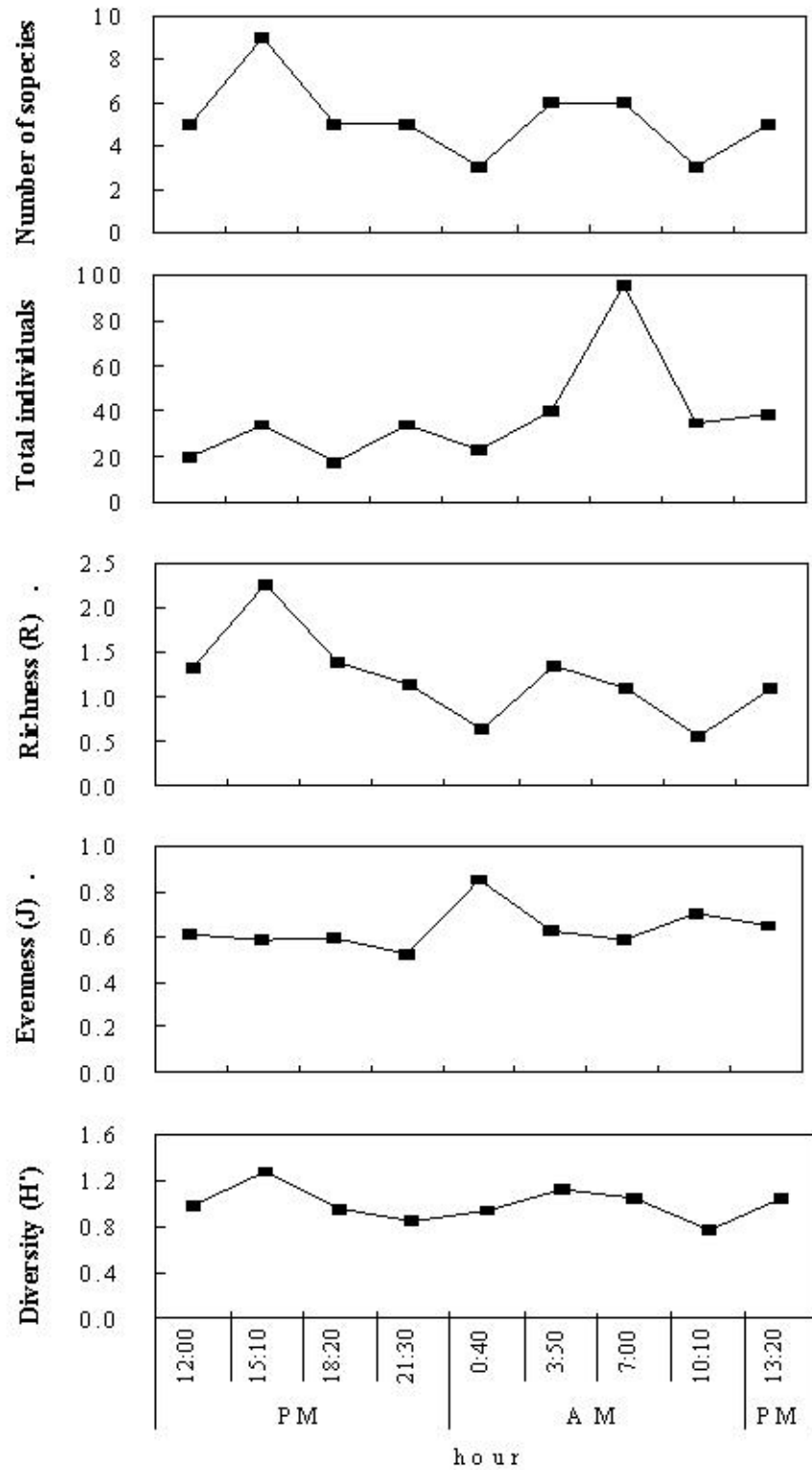


Fig. 56. Hour variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in Gamak Bay(*Sargassum* beds).

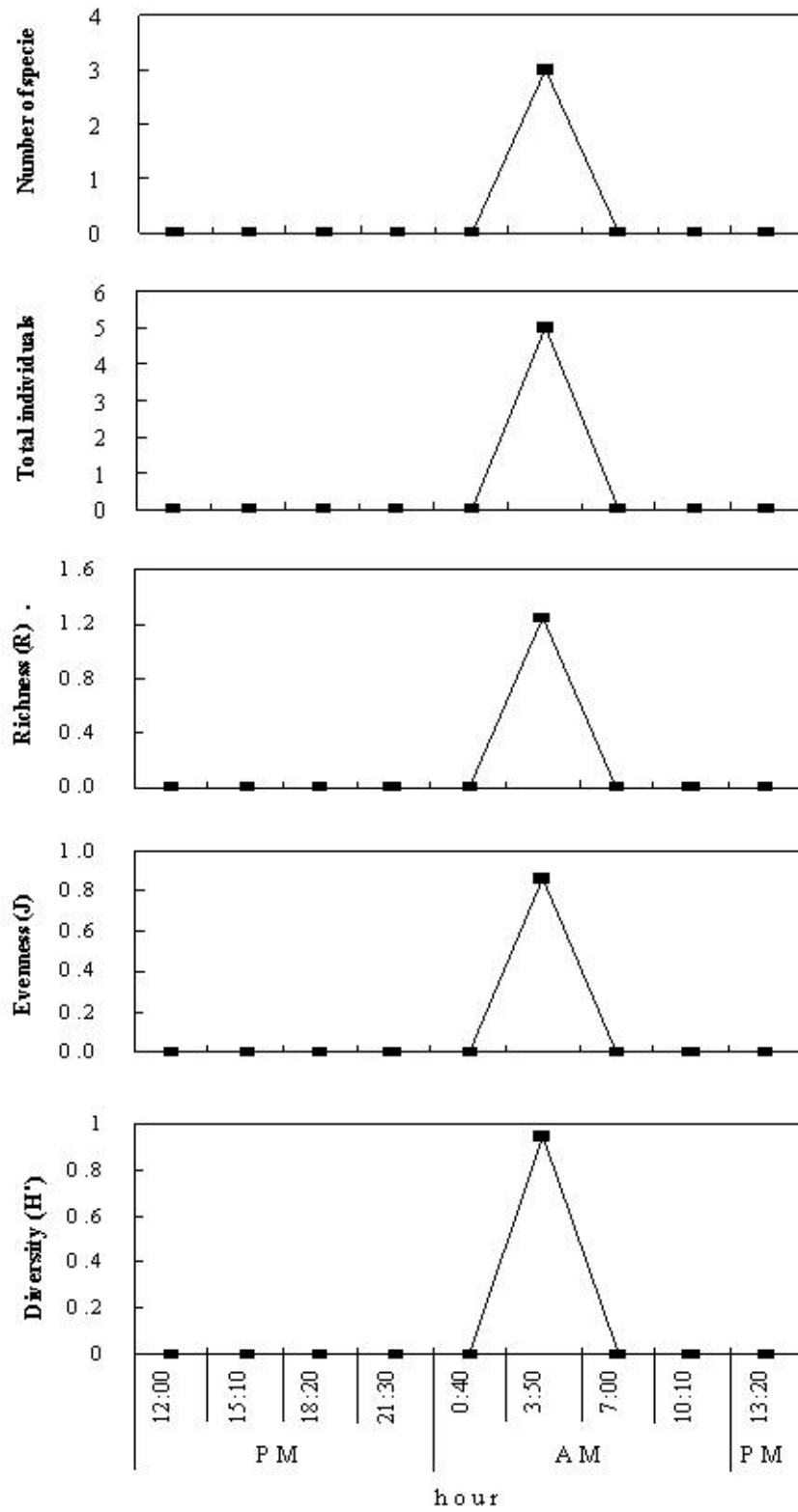


Fig. 57. Hour variation in number of species, total individuals and ecological index of fishes in Gamak Bay(control).

7. 생물생산량 추정

체계적인 생태계 관리 및 보전을 위해 최근 생태계를 구성하는 생물들 간의 영양역학적 관계를 기초로 한 방식으로의 인식 전환이 점차 강조되고 있다 (Zhang, 2002). 즉 해양생태계 먹이망의 한부분에 속하는 생물들은 같거나 다른 영양단계에 속하는 생물 개체들과 먹고 먹히는 관계를 형성하며, 인위적 환경교란은 이 생물들의 종조성과 생체량을 변화시켜 먹이망 구성과 에너지 흐름을 변화시킨다. 따라서 수 생태계 전체 먹이망의 구성과 영양단계별 에너지 흐름에 기초로 한 관리 및 보전 대책이 마련되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 Ecopath with ecosim (Walters et al., 1997)을 이용하여 모자반 군락 생태계 내 생물들의 복잡한 상호관계, 즉 영양구조 및 에너지 흐름을 단순화, 정량화하고자 하였다. Ecopath 모델은 국외적으로 해양 및 담수 생태계 등에서 다양한 연구들이 수행되고 있으며 (Pauly et al., 2000; Villanueva and Moreau, 2001; Fetahi and Megistou, 2007), 국내에서도 동해의 기후변화에 따른 자원량 변동 (Zhang and Yoon, 2003)과 광양만의 영양류모형 적용 (Kang, 2005), 바다목장 자원량 평가 (이, 2008)등 해양생태계에서 여러 가지 연구들이 수행된 바 있다.

따라서 본 연구는 생태계 모델을 이용하여 모자반 군락내 서식하는 생물들의 영양구조, 에너지 흐름 등을 파악하고, 이를 통하여 모자반 군락내 생물생산량을 추정하는데 그 목적이 있다.

가. 생태계 영양구조

생태효율지수(EE)는 그룹의 생산량 중 피식, 회귀, 이출, 생체량증가에 의해 사용되는 양의 비로서 정의된다. EE가 0보다 조금 클 경우 이 그룹은 다른 그룹에 의해 거의 소비되지 않는다는 것을 의미한다. EE가 1에 접근할 경우 이 그룹은 다른 그룹에 의해 거의 소비되거나 어획되는 경우이다. 반면 EE가 1보다 클 경우 사용량이 생산량을 초과하여 에너지 평형이 이루어지지 않기 때문에 이때는 먹이조성, 생산량 등의 입력자료를 점검 및 보정하여야 한다. 따라서 모델 결과를 검증하는 가장 첫 번째 단계는 EE를 확인하는 것이다. 실험결과 EE는 0-0.953의 범위를 보였다 (Table 19).

Ecopath 모델을 사용하여 추정한 모자반군락내 생태계의 영양구조와 에너지 흐름은 Fig. 과 같다. 구성그룹 11개의 상호작용은 에너지 교환으로 파악되고 소비, 배설, 호흡 등의 주요 대사작용으로 표현된다. 그림의 상자는 구성 그룹을 대표하며 상자의 크기는 생체량의 제곱근에 비례하며 화살표는 그룹 간 에너지 이동을 표시한다 (Kang, 2005).

모델 결과, 어식성어류의 영양단계가 2788로 가장 높았으며, 저서성어류가 2401, 유영어류가 2207, 새우류가 2070 등의 영양단계를 보였고, 이때패류 2.0과 복족류 2.0의 영양단계를

나타내었다. 또한 식물플랑크톤, 모자반, 유기쇄설물은 가장 아래의 영양단계 1.0으로 나타났다. 따라서 Ecopath 모델을 사용하여 추정된 모자반군락 생태계내 영양단계는 크게 3단계 즉, 생산자와 1차소비자, 2차소비자로 나눌 수 있었으며, 생산자에는 유기쇄설물, 식물플랑크톤, 모자반이었고, 1차소비자에는 요각류, 단각류, 이매패류, 복족류 등이었으며, 2차소비자에는 새우류, 유영어류, 저서성어류 및 어식성어류로 추정되었다.

일반적으로 생태계 내 생산자의 생체량은 그들이 부양하는 1차소비자의 생체량보다 더 커야하며 1차소비자의 생체량은 2차소비자의 생체량보다 커야 한다. 또한, 영양단계를 통과하는 에너지는 먹이사슬에서 다음 단계로 넘어갈 때마다 양이 감소한다. 따라서 대부분의 생태계의 영양구조는 위로 뾰족한 피라미드의 형태를 가진다 (강 등, 2007). 모자반군락내 생태계의 영양단계별 생체량은 생산자로 추정된 유기쇄설물, 식물플랑크톤, 모자반에서 1차소비자를 거쳐 2차소비자 그룹을 순서대로 도표화하면 밑바닥이 넓고 윗부분이 좁은 전형적인 피라미드의 영양구조를 가지는 생태계로 나타났다.

Table 19. Parameters entered and calculated by ECOPATH for the *Sargassum* beds ecosystem (P/B, production/biomass; Q/B, consumption/biomass; EE, Ecotrophic efficiency)

Group name	Trophic level	Biomass	P/B ratio	Q/B ratio	EE
1 Piscivorous fish	2,788	0,100	0,500	1,000	0,000
2 Dermersal fish	2,401	0,900	0,700	9,000	0,018
3 Pelagic fish	2,207	0,900	1,100	20,000	0,852
4 Shrimp	2,070	1,600	2,000	10,000	0,946
5 Bivalve	2,000	1,100	2,000	9,500	0,933
6 Gastropod	2,000	1,460	2,000	8,000	0,558
7 Amphipod	1,450	1,600	10,000	50,000	0,953
8 Copepod	1,450	2,300	18,000	90,000	0,162
9 Phytoplankton	1,000	6,900	180,000	-	0,011
10 Benthic primary producer	1,000	94,40	13,300	-	0,013
11 Detritus	1,000	1,000	-	-	0,002

나. 생태계 에너지 흐름

모자반군락내 생태계의 전반적인 에너지 흐름은 무생물인 유기쇄설물, 식물플랑크톤 그리고 모자반 등의 1차생산자에 의해 고정된 에너지로부터 시작되며, 이 에너지는 먹이사슬의 영양단계에 따라 1차 및 2차소비자인 요각류, 단각류, 복족류, 이매패류, 새우류, 어류 등 일련의 먹고 먹히는 단계를 지나는 것으로 나타났다. 1차 및 2차소비자의 생물그룹에 의해 섭취된 에너지의 일부는 각 생물그룹의 체내로 동화되고 나머지는 배설물 형태로 체외로 방출된다. 동화된 에너지중 일부는 호흡으로 사용되고, 나머지는 새로운 조직 생산과 번식을 포함하는 생산에 이용된다. 따라서 생태계 먹이사슬 내의 섭식관계에 있어서 전환되는 에너지 흐름은 동화량(assimilation)에 대한 호흡량(respiration)의 비(R/A)와 호흡량(respiration)에 대한 생산량(production)의 비(P/R)를 통해 알 수 있다(강 등, 2007).

최고포식자로 추정된 어식성어류는 동화되는 양이 0.08 g m^{-2} 로 나타났고, 이 중 0.03 g m^{-2} 가 호흡으로 사용되었다. 따라서 어식성어류의 R/A는 0.37이고 P/R은 1.66으로 조사되었다. 저서성어류는 이전 영양단계에서 유입되는 에너지중 동화되는 양이 6.48 g m^{-2} 이고 이중 호흡으로 5.85 g m^{-2} 를 소비하였다. 따라서 저서성어류의 R/A는 0.90이고 P/R은 0.10로 나타났다. 유영어류는 이전 영양단계에서 유입되는 에너지중 동화되는 양이 14.40 g m^{-2} 이고 이중 호흡으로 13.41 g m^{-2} 를 소비하였다. 따라서 유영어류의 R/A는 0.93이고 P/R은 0.07로 나타났다. 단각류와 요각류는 각각 80.0 g m^{-2} 와 207.0 g m^{-2} 의 동화량을 가지며, 이 중 각각 64.0 g m^{-2} 와 165.6 g m^{-2} 의 양을 호흡으로 소비시킨다. 따라서 단각류와 요각류의 R/A는 각각 0.80으로 나타났으며, P/R은 각각 0.25로 나타났다 (Table 20).

Ulanowicz and Puccia (1990)은 생태계의 총에너지량을 총섭식량(consumption)과 총이출량(exports), 총호흡량(respiratory flows), 유기쇄설물 전환(flows into detritus)등 네가지 요소의 합으로 정의하였다. 이에 따르면 모자반군락내 생태계는 총섭식량이 351,330 로 나타났고, 총이출량이 2513,446, 총호흡량이 271,074, 유기쇄설물 전환량이 2517,250 로 조사되었다 (Table 21). 따라서 총에너지량에 대해 6.2%는 섭식으로, 44.5%는 이출, 4.8%는 호흡, 44.5%는 유기쇄설물로 전환되어 지는 것으로 나타났다. 결과적으로 모자반군락내 생태계의 에너지 흐름은 상위 영양단계의 포식에 의해 물질흐름이 주로 야기되는 것으로 나타났다(Fig. 58).

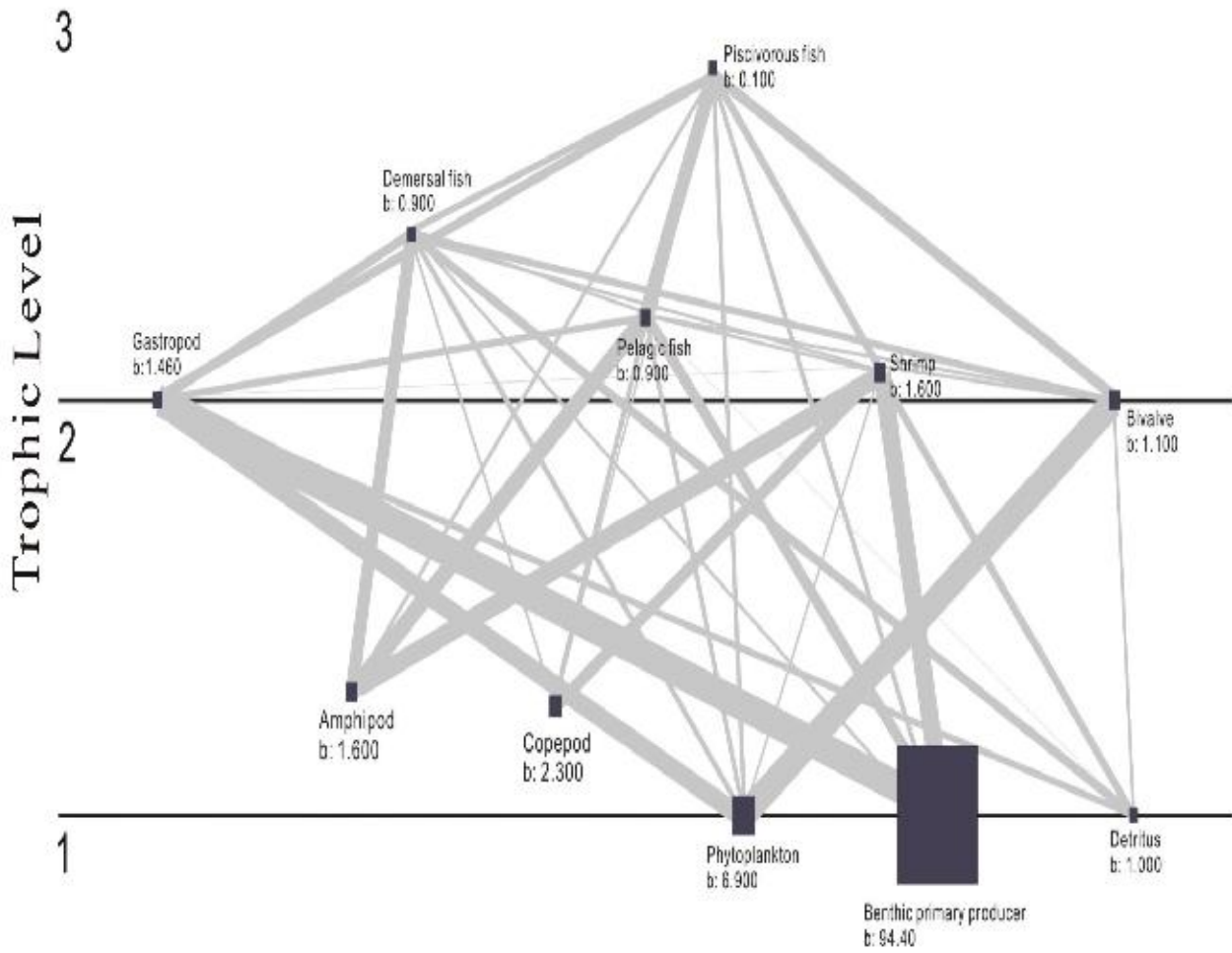


Fig. 58. Flow diagram showing trophic flows in *Sargassum* beds.

Table 20. Respiration and assimilation in the lower reaches of the *Sargassum* beds during the study periods.

Group name	Respiration (g m ⁻²)	Assimilation (g m ⁻²)	Respiration/ Assimilation	Production/ Respiration
Piscivorous fish	0.03	0.08	0.37	1.66
Dermersal fish	5.85	6.48	0.90	0.10
Pelagic fish	13.41	14.40	0.93	0.07
Shrimp	9.6	12.80	0.75	0.33
Bivalve	6.16	8.36	0.73	0.35
Gastropod	6.42	9.34	0.68	0.45
Amphipod	64.0	80.0	0.80	0.25
Copepod	165.6	207.0	0.80	0.25

Table 21. Summary of system statistics for the ECOPATH model of the *Sargassum* beds

Parameter	Value	Units
Sum of all consumption	351,330	g m ⁻² yr ⁻¹
Sum of all exports	2513,446	g m ⁻² yr ⁻¹
Sum of all respiratory flows	271,074	g m ⁻² yr ⁻¹
Sum of all flows into detritus	2517,250	g m ⁻² yr ⁻¹
Total system throughput	5653,099	g m ⁻² yr ⁻¹

Table 22 Comparison of summary statistics for the *Sargassum* beds ecosystem with other marine ecosystems (unit: $g/m^{-2} yr^{-1}$)

Parameters	<i>Sargassum</i> beds	Seagrass meadow	Gwangyang Bay	Delaware Bay
Total system throughout	5,653	5,776	2,378	4,302
Sum of all consumption	351(6.2)	659(11.4)	965(41)	1,384(32)
Sum of all exports	2,513(44.5)	1,747(30.3)	218(9)	411(10)
Sum of all respiratory flows	271(4.8)	492(8.5)	574(24)	303(7)
Sum of all flows into detritus	2,517(44.5)	2,878(49.8)	623(26)	1,276(30)
Source	This study	Libralato et al. (2002)	Kang (2005)	Monaco and Ulanwicz (1997)

모자반군락내 생산량은 습중량을 탄소량으로 환산(WW:C=10:1, Pauly et al., 1993)하였을 때 모자반군락의 총에너지량은 약 $5.7 kgC/m^2/yr$ 로서 $5.8 kgC/m^2/yr$ 을 나타내는 갈피군락 보다는 다소 작지만 인접한 광양만($2.4 kgC/m^2/yr$)과 미국의 대표적인 굴양식단지가 산재해있는 델라웨이만($4.3 kgC/m^2/yr$)에 비해 월등히 큰 것으로 나타났다(Table 22).

8. 모자반군락의 관리 및 활용방안

삼면이 바다로 둘러싸여 있는 우리나라는 세계에서 5위안에 드는 해조류 생산 및 이용 국가로, 해조의 이용 분야는 오래전부터 식용, 사료 등으로 사용되었으며, 현재 해조류는 해양 생태계에서 1차 생산을 담당하는 기초 생물체로서 해양동물의 먹이가 되는 해양생물 자원이 될 뿐만 아니라, 해수의 영양염 등을 직접 흡수하여 수환경에 영향을 미치는 조절자 역할을 한다(Lee, 1999). 또한 최근 해조류는 생리활성 작용이 알려짐에 따라 신 물질과 신약 개발의 보고로 주목받고 있으며, 생리활성 물질을 추출하여 암이나 위궤양, 당뇨 같은 질병을 치료하는 방법과 화장품 또는 기능성 식품 개발 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있어 해조류는 식용의 이용뿐만 아니라 원료 산업으로서 이용도 크게 확대 될 것으로 기대하고 있다(백, 2007). 해조류는 산업적인 부분 외에도 수질과 환경, 생태적인 부분에서도 중요한 요소이며, 특히 해중 식물군락 중 해조류로 이루어진 해조장(海藻場)과 모자반류를 포함한 대황, 감태, 다시마와 같은 대형 갈조류가 마치 산림을 형성하는 것처럼 보이는 바다숲(Sea forest, 또는 海中林)은 다양한 해양생물의 서식지로 활용되며 다양한 생물상을 가지는 생물군집을 구성하며, 인류의 식량자원으로서 중요한 역할을 담당하는 일차적 생산기능을 가진다(Watanuki and Yamamoto, 1990; Choi et al, 2000; 권, 2008). 또한 연안으로 유입되는 영양염류를 흡수함으로써 연안해역의 부영양화를 감소시키는 완충기능, 수질과 저질의 정화기능을 함께 수행하며, 광합성으로 CO₂를 흡수하고 O₂를 방출하여 대기, 해수 중의 용존산소를 증가시키고, 주변지역에서 방출되는 CO₂를 흡수, 고정하는 환경형성을 수행한다(해양수산부, 2006).

또한 해산 저서식물의 조간대 군락의 생태는 해양생물 연구에 기본적으로 중요할 뿐만 아니라 생물상 연구와 함께 한 지역의 생물지리학적 관계의 지표가 되고 있다. 해조식생은 천해동물의 자원 유지나 증식에 매우 중요한 요인이 되고 있으므로 해조 식생의 군락구조를 분석하여 그 실상을 파악하는 일은 무엇보다 우선 되는 주요 과제가 될 수 있다. 따라서 해조류의 식생이 풍부하고 지역간의 종조성이 상이하여 식물상과 군집에 대한 보다 집중적인 연구가 필요하다.

해조상 조사와 같은 연구들에서는 주로 Taniguti(1962) 및 Saito and Atobe(1970)가 이 용한 방형구법으로 식생 구성종들의 피도와 빈도를 조사하여 군집의 우점종, 수직분포 및 현존량 변화를 규명하려고 하였으며, 다변량 분석, 종간 상관관계, 종다양성 분석 및 배열법 등으로 새로운 해조류 군집 생태학적 연구 방향을 모색하기도 하였다.

또한 바다숲과 같은 해조장은 퇴적환경을 안정화 시키며, 바다숲 내부에 생육하는 조류의 밀집은 파도의 힘과 유속을 크게 감소되면서 수온변화의 폭을 낮추어(國土交通港灣局 監修/海の自然再生ワーキンググループ 著, 2003), 많은 저서생물의 부유유생 안정의 기회를 주는 효과를 가지고 있다. 사니질 조장인 잘피장에서도 수층이 영양염을 흡수 제거하고 산소를 공급하여 수

질을 정화하는 기능뿐만 아니라, 해조류들의 지하줄기에 의해 모래지반이 안정화되기도 한다 (박, 2005). 이러한 다양한 바다숲의 기능성은 연안 생태계를 풍부하게 할 뿐 아니라 연구자들의 친수적인 연구공간으로도 적극적으로 활용되고 있다. 그러나 최근 바다숲은 연안 환경오염과 갯녹음 현상으로 인해 해조류의 서식지가 급격히 감소하고 있어, 국가적인 연안 자원의 보존을 위해 바다숲 가꾸기 사업이 시행되고 있다.

특히 갯녹음 현상은 아한대에서 아열대에 위치하고 있는 해역에서 보편적으로 나타나는 현상으로 일본에서는 바위가 불탄다는 의미로 기소(Isoyake)라고 한다(권, 2008). 김과 강(1999)은 갯녹음 현상에 대하여 “대형해조류의 양적쇠퇴를 수반하는 퇴행적 천이에 의해 계급구조의 하층에 서식하고 있는 산호조류의 극상상태의 식생구조가 비교적 장기간에 걸쳐 유지되는 현상”으로 해조자원의 가입개체수의 감소와 함께 무절산호조류가 확대되는 현상으로 설명하였다. 2002년 해양수산부(현 농림수산식품부)의 “갯녹음 현상의 원인규명 및 대책”에서는 갯녹음 현상을 “갯녹음(백화) 현상은 연안에서 어떤 요인에 의해서 엽상형 해조류가 소멸되고 시멘트와 같은 석회질로 된 딱딱한 홍조류인 무절석회조류가 암반을 뒤 덮는 현상”으로 정의하였으며, 갯녹음으로 인해 바다 속 해조류가 사라지면 성게나 전복 등 조식동물들의 자원감소는 물론이고, 바다숲을 서식처나 산란장으로 이용하는 모든 수중생물의 자원 또한 감소하게 되어 결국 마을 어장이 황폐화 된다. 즉 무절석회조류와 같은 바다 석회식물이 암반에 서식분포가 넓어지면서 엽상 해조의 공간을 빼앗아 버리고 수중의 석회 식물에 의해 우점 되어 버림으로서 연안에 해조가 줄어들고 종 다양성이 낮아짐으로써 심각한 해양 생태적 문제가 되고 있다.



Fig. 59. Whitening caused by sea urchin.

갯녹음 현상의 발생원인은 지역에 따라 생물군집의 구성과 지형, 해수특수성이 제각기 다르기 때문에 항상 동일시하는 것은 불가능하다. 갯녹음 현상의 전 세계적인 대표적인 원인은 크게 수온상승, 식해, 영양염 결핍, 생활하수 또는 산업폐수 등의 인위적인 수질오염 등이 지목받고 있으며(국립수산과학원, 2007), 갯녹음 발생지역에 대한 생태복원을 위한 다양한 노력이 이루어지고 있다. 생태복원은 자연생물을 도구로 이용해서 생태계를 설계하고 design하는 학문으로 자연과 인간의 공생을 목표로 하는 생태공학을 중심으로 이루어지며(Mich, 1996; 1998), 이것은 생태복원공학의 개념을 가진다. 생태복원공학의 특성은 큰 틀에서 기존 환경 관리와 훼손된 생태계 조성과 적극적인 활동인 생태계 도입을 들 수 있다(권, 2008). 생태계 도입에서는 비생물 서식지 환경조성(Physiotope creation)과 생물 서식지 환경조성(Biotope creation)으로 나눌 수 있으며, 특히 생태군집이 발달하는 과정에서 지침에 따라서 적절한 교란을 줌으로써 새로운 생물이 도입 될 수 있는 공간을 확보하는 방안인 생물 서식지 환경조성은 갯녹음 지역에 있어서 필수적인 사업이다.

국내 연안에서 발생된 갯녹음 현상은 1980년대 이후 제주도와 남해안 일대에서 갯녹음 현상이 확산되기 시작하여 1990년부터 울진, 삼척, 등지에서 나타나 최근에 이르기까지 동해안과 제주도 해역을 중심으로 7,500ha에 달하는 면적까지 확산되었으며 이로 인해 제주 일부 지역에서는 해조류 생산량이 10년 전에 비해 20%정도로 감소하는 등 갯녹음 현상에 대한 피해

가 증가되고 있다(국립수산과학원, 2009).



Fig. 60. Setting of seaweed-reef.

경남도에서는 1999년에 울산시에서 336ha의 갯녹음 지역이 발생하여, 2004년에는 173ha로 발생지역이 감소되었으나(국립수산과학원, 2006), 내만역의 경우 투명도가 낮아 조사가 불가능하거나 해조류 서식가능 수심 분포대가 불명확해 모든 수심대의 표본조사의 한계가 있으며, 아직 조사가 시행되지 않은 지역을 고려한다면 실제 갯녹음이 발생하여 진행 중인 면적은 이보다 훨씬 더 많을 것으로 보인다. 지금까지 갯녹음 현상에 대한 연구가 잘 이루어지지 않은 점은 바다숲이 축소되는 현상이 여러 해양환경 요인과 석회조와 엽상해조, 식물과 조식동물 등과 같은 생물적인 요인 이외에 오염 현상 등에 의해 매우 복잡하게 나타나기 때문이다(Fig. 59). 또한 이 현상의 지표생물이라 할 수 있는 무절석회조류는 딱딱하여 연구재료로서 다루기 어렵고 많은 연구가 이루어지지 않은 면도 있다. 그러므로 해조류가 감소하여 바다가 사막화되는 현상은 지역에 따라 인식하는 것이 매우 다르게 설명되고 있는 실정이다(권 2008).

바다숲은 어류, 새우, 게, 고등 종류의 먹이원 뿐만 아니라 서식처로써 어떠한 요인에 의해 축소되면 이에 서식하는 수산동물도 감소되기 때문에 바다황폐화로 어촌의 소득 감소, 나아가 수산업에 있어 큰 피해가 된다. 따라서 바다숲 조성 즉 지속적인 해조군락 관리와 복원은

산업적으로나 해양 생태계에서도 중요한 요인으로 그 필요성이 인식되고 있다(Fig. 60). 다음 본론에서는 일본의 사례를 예로 들어 설명하였다

가. 조장의 분포와 구성

(1) 해조장(해조군락)의 종류

조장이란, 해조와 해초가 만든 초원형태가 아닌 삼림형태의 군락이다. 조장과 초원을 일차생산자로서의 생물군집전체를 조장이라 부르는 경우도 있다. 조장은 바다에 생육하는 대형의 조류로, 홍조류, 갈조류, 녹조류 3그룹이 있고, 주로 암초·암석지역에 분포한다. 해초는 육상에서 진화도니 종자식물중 바다로 생활장소를 되돌린 식물군으로, 주로 모래진흙 지역에 분포한다. 해조는 김, 우뚝가사리, 다시마, 미역, 녹미채, 큰실말 등 대부분의 유용종을 포함, 일본연안에 약 1,400종이 분포하고, 해초(약 30종)과 비교해서 종의 다양성이 높고, 해안선으로부터 깊은 곳까지 다양한 분포를 차지한다. 일본연안에서는 해조조장은 해초조장보다 수배 넓고, 질, 양 과함께 중요하다.

조장은, 우점하는 조류에 의한, 다시마장, 대황장, 감태장, 외돌개모자반장(모자반류의 조장), 우뚝가사리장, 잘피장 등이라 부른다(영어에서 「장」은 침대). 대황장과 감태장등 안정된 삼림 형태의 조장은 해중림(다시마림, kelp forest)에서, 삼림과 초원이 될 수 없는 무절석회조류 군락 등은 조장이라 부르지 않는다.

일본근해에서, 냉온대(북해도와 동북지방 태평양연안)에서는 다시마장과 미역장, 온난대(동북지방태평양연안을 제외한 혼슈, 시코쿠, 규슈)에서는 외돌개모자반장, 대황장, 감태장, 미역장, 우뚝가사리장 등, 산호초의 발달이 현저한 아열대(남서제도)에서는 외돌개모자반장과 소형해조군락이 대표적인 해조조장이다. 각조장과도, 단순히 부르는 이름은 정반대로 수층-수심 종의 해조로 구성돼, 해저의 미지형과 저질분포에 따라서 패치형분포, 계다가, 구성종의 높이의 차이에 따라 계층구조(임관, 하층림, 하초, 피복층)가 발달한다.

계층은 초원형태의 조장으로 2-3층, 해중림으로 4-5층에 달하고, 각해조의 표면에는 크고 작은 다양한 착생식물이 살고, 조장의 구조를 복잡하게 하고 있다.

해중림은 천해역의 대형 해조류에 의한 군락을 가리키는 용어로 해조장, 해조숲, 해조밭 등으로 불리어지고 있다. 해중림 구성종인 대형 갈조류의 모자반류, 다시마류 및 대황, 감태류는 조하대 수심 2-3m에서 20m정도의 암초대에 큰 군락을 형성하고, 현화식물인 잘피류는 사니질역에 밀생하여 번무하는 경향이 많다. 이처럼 대형식물이 밀생한 해중림에는 어류가 모여 산란장 및 유치어의 보육장이 되고 있다. 전복, 오분자기는 다시마류, 대황, 감태류의 조체를

잘 먹기 때문에 이러한 해조류가 번무하는 곳에 모여드는 경향이 있다. 성계류는 잡식성이라고 알려져 있지만 대형 해조류가 번무해 있는 곳에 많이 보인다. 닭새우는 유생기에 우뚝가사리 및 모자반류 등에 착생생활을 한다고 알려져 있어 해조류가 잘 번무해 있는해역 일수록 어획량이 많다. 이와 같이 이른바 암초성 자원(패류, 갑각류 등)과 해조류의 번무와는 밀접한 관계가 있다. 해조류를 목초라고 생각해 일정한해역에서 인위적으로 생산량을 높여 어패류를 증식시키려 하는 해양목장화 계획이 최근에 적극적으로 전개되고 있다. 육상에서 목초가 없이는 목장기능을 할 수 없듯이, 해양목장에는 반드시 해조가 있어야 하기에 해중림 조성에 해양목장사업의 성공여부를 판가름하는 중요한 요소가 될 것으로 여겨진다.

해중림은 생물생산에 직접적으로 영향을 주는 생태적기능과 이 외에도 환경정화와 연안바닥의 안정화 등의 환경형성 측면에서도 중요한 역할을 하고 있다. 이처럼 해중림에는 여러 가지 복합적인 특성이 있다.

해중림의 분류는 해중림을 구성하는 식물종에 따라 분류되고, 해중림을 구성하는 식물의 종류는 그 해역의 환경조건에 따라 다르게 된다. 생육기반에 따라 암초성 해중림과 사니성 해중림으로 분류할 수 있다. 해중림을 구성하는 해조류별 생태적 기능을 살펴보면, 잘피군락은 내만성 정온한 수심 1-2m 의 모래지역에 많이 분포하고 잘피의 증대는 종자에 의한 번식과 분기성장에 따른다. 잘피의 생태적 기능은 1차 생산력이 높고 엽상에 치자어이 먹이가 되는 소형동물이 많은 것과 해수의 흐름을 차단하여 그늘진 장소를 만들기 때문에 많은 치패, 치자어, 성어 등의 생활 장소가 되고 있다. 특히, 생활사 일부분을 잘피군락에서 지내는 어종들이 많다. 모자반류는 온난해역의 수심 10m 이내 암초역에 형성된다. 모자반류의 생태적 기능은 엽상의 미세조류와 풍부한 소형동물이 있어 치자어의 먹이가 되고 있으며, 안정된 환경을 만들어 어패류의 산란장 및 보육장이 되고 있다. 더욱이 모자반류가 유출하여 조목에 모이는 유조는 방어, 쾅치 등의 회유어의 보육장이나 산란장이 되고 있다. 다시마, 대황, 감태군락은 다년생으로 번무기와 감퇴기가 있어서 매년 군락이 유지되고 있는 것이 특성이다. 다시마 및 감태군락은 수심 10-20m 까지의 암초역에 번무하여 어패류가 위집되지만, 특히, 소라, 전복, 성계 등에게 먹이공급 역할을 하고 있다. 해조류의 생육, 분포에 영향을 주는 요인으로는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- ① 물리적 요인(광, 부착기질, 온도, 강우 등)
- ② 화학적 요인(염분, 영양염류, 오염 등)
- ③ 동역학적 요인(바다의 움직임, 간출, 조석리듬 등)
- ④ 생물학적 요인(조식동물에 의한 식해, 미생물의 활동, 기질경합 등)

(2) 해조군락의 수직분포

천해역은, 조석의 영향을 받은 조간대, 그것보다 고위의 비말대, 저위의 점심대로 나눌 수 있다. 조장이 분포하는 것은 조간대와 점심대이다. 조간대는, 1년으로 가장 썰물 때의 해면(저조선)과 가장 만조인때의 해면(고조선)의 범위로, 큰 해저의 편곳은, 썰물과 바다로부터 일시적으로 분리된 바닷물 웅덩이가 된다. 조간대의 폭은 급경사(절벽)보다 완경사, 차폐역보다 노출역으로 넓어진다. 또, 조간대에서는 생물이 현저한 환경분포를 보이고, 각각의 상한은 간출(건조)등의 물리학적요인, 하한은 동식물간의 경합과 식생 등의 생물학적 요인에 따라 결정된다. 간출시, 해조는 횡화하고, 건조, 기온, 강우, 하천수 등의 영향을 받고, 환경이 급격히 변화한다. 이 때문에, 간조대의 해조에는 조체의 성분과 형상을 고안해서 보수력을 높이고, 고온, 저염분, 동결 등에 대한 내성을 높이는 종도 많다. 관수시, 해조는 직립해서 파도에 흔들려, 점심대로부터 많은 생물이 놀러온다. 조간대의 해조가 조장으로서의 제기능(식물공급, 양식흡수 등)을 발휘하는 것은 대개 관수대로 제한된다. 조간대는, 환경변화가 심한반면, 조식동물의 침입이 바닷물의 간만에 따라 주기적으로 가로막아, 노출역과 하구주변의 저염분역에서는 해조의 성역이 된다. 고조선(연간의 최고조위)과 저조선(마찬가지로 최저조위) 간에 연간의 평균고조위와 평균 저조위를 도입해, 고조선-평균 고조위를 조간대의 상부, 평균 고조위-평균 저조위를 중부, 평균 저조위-저조선을 하부로 구분하는 경우도 있다.

점심대는, 압도적으로 해조의 종수가 많고, 광대한 조장이 형성될 수 있다. 보통, 저조선 이심을 전반적으로 가리키지만, 해조의 대부분은 일정범위의 수심대(지선대로 다르지만, 일반적으로 수-수십m)로 분포한다. 깊어지면 모래와 진흙이 더해져서 바위와 자갈이 감소, 햇빛양과 해수유동도 저하하기 때문에, 해조의 종수도 현존량도 감소한다. 점심대에서는 조간대와 같이 극적인 환경의 변화는 없지만, 대개 해면으로부터 수심 1m까지 유해한 자외선이 투과해, 해안의 노출역(파랑의 강약)에 응해서 해면으로부터 일정한 범위(하나의 기준으로서 수심2m)는 파랑과 조석에 의한 해수유동, 하구부근에서는 하천(저염분)물의 영향도 강하게 받는다. 해수유동과 하천수는 대형식물동물의 분포와 활동에도 영향을 미치고, 수심에 따라서 빛의 양과 암석질기질의 감소도 있기 때문에, 점심대에도 해조식생에는 수심에 응한 대상분포를 볼 수 있다. 점심대의 깊은 곳에는 해조가 살지 않는 대상구역이 있는 경우, 이것을 조주대라 부른다. 덧붙여서 말하면, 일본연안의 해조의 최심채집기록은 와카사만 앞바다수심 199m 지점의 갈조 곰피, 세계에서는 바하마 앞바다수심 268m 지점의 홍조(무절산호도)로, 후자는 잠수함으로 확인되어, 광합성활성이 확인되고 있다. 일반적으로, 앞바다부근의 외딴섬과 암초에서는 투명도도 높고, 용승류에 따라 영양염이 공급되어 저수온환경도 확보되기 때문에 해조의 생육에는 유리해서, 온난화시대에는 해조의 피난영역으로서 기능하는 가능성이 높다. 일본에서는, 시마네현의 오키제도의 주변해역에서 깊은곳까지 해조의 생육이 확인되고 있다.

(3) 조장의 면적

바다는 지표의 약 70%를 차지, 면적(3억 6000만km²)은 육지의 약 2.4배이다. 이 바다 안에서 조장은 앞바다 부근 어디까지 계속, 어느 정도 면적을 가지고 있을까? 자주 맑은 날의 해상시정거리는, 관측자의 눈과 목표물(육지와 바다 등)의 높이에도 따르지(준하지)만, 수평선(높이0m)은 고작 수km앞이다. 조장의 대부분은 이 시정거리 중, 그것도 연안가까이에 한정되어 있는 경우가 많다. 일반적으로, SCUBA 잠수에서 종래 가능한 것은 대개 수심30m이내이다. 일본 연안의 조장의 대부분은 이 범위로 분포한다. 해저의 경사는, 급경사, 완경사, 기복의 경우가 있지만, 조장은 깊으면 감소 또는 소생이 되기 때문에, 면적은 물가에서 멀리까지 물이 얕은지 기복의 해안에서 넓은 경우가 된다.

전국의 조장면적은, 여기까지 매우 정력적으로 조사한 제4회(1989-91)의 자연환경보전기 초조사(수심20m이천, 듣기조사도 포함, 1ha 미만의 조장과 도서의 조장을 제외)에 따라 201,212ha로 되어, 이후, 조장은 큰 폭으로 줄어들고 있다. 한편으로, 미조사구역도 있기 때문에, 이수자를 한가지의 기준으로 생각하면, 일본의 조장은 국토면적 377,877km²의 0.5%밖에 되지 않는 것을 안다.

국토의 지역구분(2004, 서로 중복 된다)에 따라 면적은, seed bank 68%, 「농지」 46%, 「도시」 27%, 「자연공원」 15%, 「자연보호구역」 0.3%로, 조장은 「자연보호구역」의 불과2배 못되고, 「삼림」과 비교하면 1/100 미만에 지나지 않다.

조장은, 북극해로부터 적도를 지나서 남극해까지, 세계중의 천해역에 분포해, 누명도가 높으면 수심 100m이심에까지 도달한다. 세계의 조장의 면적이 산출된 예는 없지만, 육지지역의 주위에는 수심 130m까지 대륙붕이 넓어져, 그 면적은 해양의 약 8%가 되고 있다. 이중, 조장이 수심 30m까지 분포하고 있다면, 조장면적은 대륙붕면적의 수분의 1이하, 아마 해양면적의 1% 정도라고 생각된다.

(4) 조장의 성립에 필요한 환경

조장의 성립·유지에는 일정한 환경조건이 필요하다. 무릇, 해조의 생육에는, 광합성에 필요한 빛 외에, 적도의 해수유동과 영양염이 불가결로, 수온과 염분도 해역의 평년적 범위를 크게 벗어나지 않고, 식식동물의 생식밀도가 적절하게 유지되고 있는 경우가 바람직하다. 일반적으로, 인식부족인 것이 파랑에 따라 해수유동이다. 해조에 대해서 ①영양염 흡수의 촉진, ②식식동물의 활동의 억제, ③가벼운 진흙의 추적억제, ④표사(떠다니는 모래)에 따라 물가청소의 촉진, ⑤전석반전의 촉진(기질면의 경신)등의 증식촉진효과가 있다. ②-③은 해조어로 직접 작용할 뿐 아니라, 해조를 동요시킨 성게 등의 동물과 진흙을 불식하는 간접작용도 있다. 산에서

바다까지 자연을 크게 개변한 지역에서는, 정온화, 탁함, 해류변동 등의 제요인이 복합해서, 조장이 「이중고」, 「삼중고」가 되고 있는 경우도 많다.

나. 조장의 변화

육상의 식물 군락과 같이, 조장에도 다양한 변화가 있다. 해조의 생리와 수명, 생명간의 종간관계, 환경의 변동에 따라 조장이 자연변화를 Fig. 61에 나타냈다.

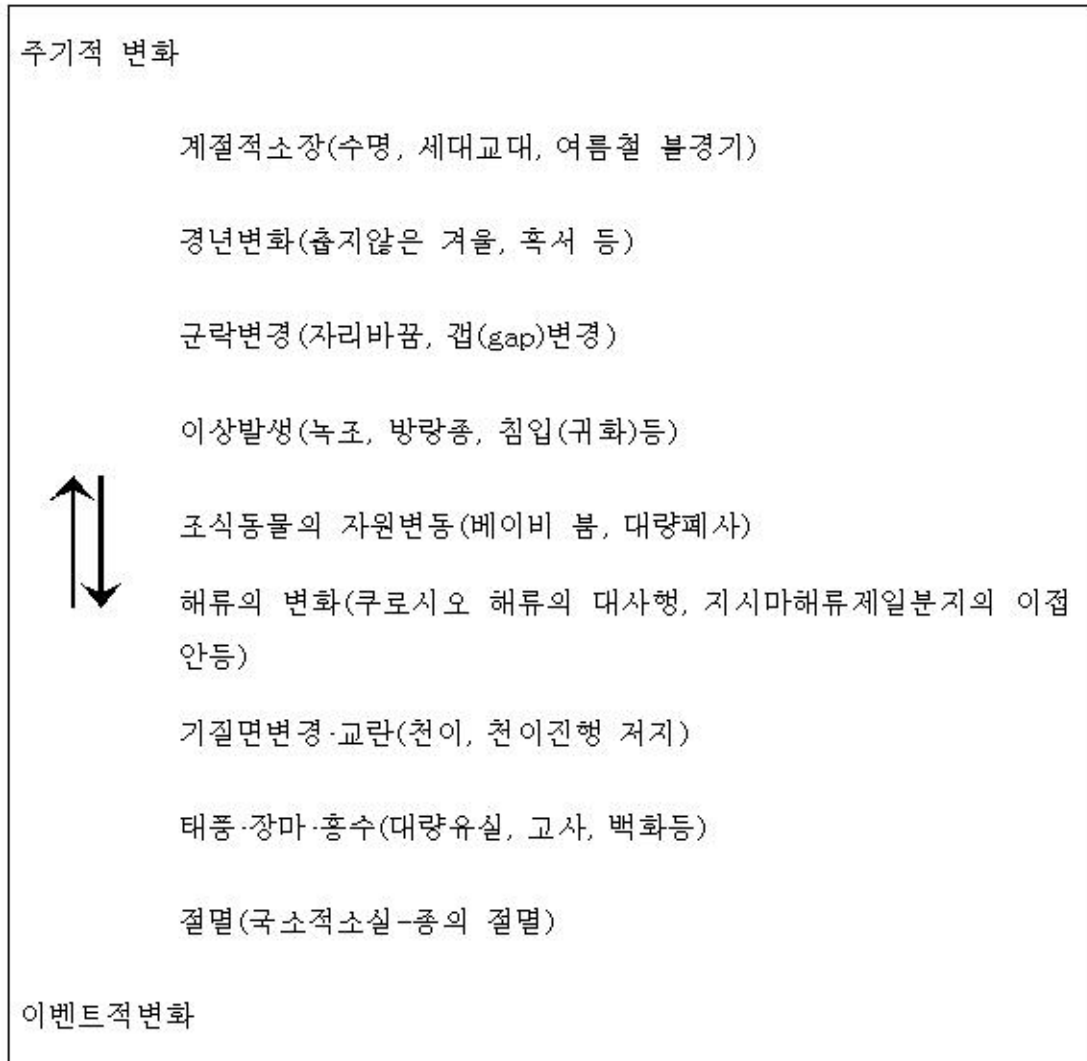


Fig. 61. The natural change of kelp forest.

매우 현저한 변화는 계절적성쇠로, 사계가 명료한 일본에서는, 대부분의 해조는 봄부터 초복에 매우 자주번무하고 성숙한다. 봄은 동계의 수직혼합과 눈 녹은 물의 유입 등에 따라 영양염이 늘고, 수온이 알맞은 정도로 상승해, 해가 길어져 일사량도 증가하기 때문에, 해조의 생육에 좋다. 여름부터 가을에 걸쳐서 게다가 수온이 높으면, 천해에서는 영양염이 고갈돼, 식식동물의 섭이활동도 변성하게 되어, 매우작음/갑상세대로 교대하거나 발아체 그대로 여름을 넘거나하는 해조도 많다.

이 엄한시기에 성체그대로 해조가 살아남는 해조는, 고수온내성이 높고, 저장조직이 있어 섭이기피(저해)물질을 함유한다. 호적인 생육환경(해수유동, 저수온등)이 확보되고 있다, 어느 쪽인가의 성질을 가진다. 가을에 해가 짧아져 수온이 내려가면 해조는 대형/직립세대로 교대해, 또는 성장을 재건해서 겨울부터 다음해 봄에 번무 한다. 계절적 성쇠는 단명과 일년생의 해조뿐만 아니라 다년생의 해조에도 받아들인다. 다시마 말림과 간단한 요리(재성장), 모자반류의 주가지의 탈락과 재생장은 그 좋은 예이다.

해조도 해에 따라 풍작과 흉작이 있다. 경년변화의 요인은, 수온(해류변동), 일사량, 해수유동(홍어의 정도와 회수)등으로, 특히 혹서와 난동(출지 않은 겨울), 일사부족, 해수유동의 부족, 장마 등은 해조의 생육을 악화시킨다.

일반적으로, 다년생의 대항장과 감태장은 1년을 지나서 안정된 경관을 나타내, 육상의 삼림과 같게 갭(gap)경신이 행해지고 있기 때문에, 전체의 경관은 크게 변화지 않는다.

그러나 교란의 규모가 커, 갭(gap)(임수형성종의 고사, 쓰러진 나무, 총해등에서 발생한 빈터)이 광역화하면 군락전체가 탁월한 연령군에 따라 건설상(유체), 안정상, 성숙상이라 불리는 것처럼 큰 경관의 차이가 되어 나타낸다.

해저의 기질과 식식동물의 분포가 크게 변화면 천이가 인정된다. 대규모에는 해저화산분화후의 용암에 의한 암반형성, 소규모에는 해저의 대륙붕붕괴와 낙석에 의한 신생면형성, 인공기질의 투입 등의 경우에 일차천이가 일어난다. 일차천이는, 해저기질에 seed bank(해조의 포자, 유주자, 유배, 좌=번식능력이 있는 기부반상체등)가 없는 상태로부터의 천이로, 소형종으로부터 대형종, 단명 1년생종으로부터 다년생종에로의 변화하여 안정화하는 경향이 있다. 또, 임수의 소실, 자갈의 반전, 식식동물의 격감(어획, 제거, 대량폐사) 등이 일어나면, 기질의 seed bank와 잔존개체에 기인하는 2차 천이가 시작된다. 천이의 기구에는, 식물의 종간관계를 기본으로 한 내성, 촉진, 저해의 3개의 모델이 있다. 내성모델은 선형종보다 환경내성이 뛰어난 종이 후속이 되는 경우, 촉진모델은 선형종에 따라 환경개변이 후속종을 도입하는 경우, 억제모델은 선형종이 후속종의 침입확대를 억제하는 경우를 상상한 모델이지만, 실제의 천이는, 동물과 영양염, 해수유동등의 생육환경에 크게 좌우한다.

조장에서는, 파래류, 옥덩굴, 솜말 등의 특정해조의 이상발생(녹조류의 이상번무는 녹조라고 부른다), 외국해역으로부터의 파래류와 꼬시래기류등의 침입(귀화)도 일어난다. 해조의 침입은, 선박(배의 밑바닥), 양식종묘의 이동, 수족관의 사육배수가 3대요인이 되어, 세계적으로 문제가 되고 있다. 다만, 일본(동아시아)에서는, 해외로부터의 침입보다, 큰열매모자반, 미역, 청각 등, 이 해역에서 해외각지로 분포를 확대한 종이 압도적으로 많다. 해조의 국소적인 절멸은 국내각지에서 걱정하고 있지만, 종으로서의 절멸도 호주에서 보고되고 있다.

다. 갯녹음이란?

조장에서 일어나는 다양한 변화 중, 조장이 쇠퇴하기까지는 소실해서 초원형태 혹은 삼림형태의 경관을 잃은 불탄자리처럼 되는 현상을, 일본에서는 이소야케(갯녹음) 또는 이소카레(백화현상), 불탄자리가 된 장소를 야케네라고 부른다. 갯녹음이 발생하면, 이소네자원의 성장·성숙불량과 감소를 초래해 연안어업에 큰 영향을 미치고, 회복까지 긴 시간을 요하는 것도 있고, 이소네어업이 번성한 어촌에서는 두려워해 왔다.

이소야케(갯녹음)는, 원래, 이즈지방동쪽연안의 방언으로, 당시, 한천원료로서 매우 중요한 해조였던 우뭇가사리가 감산해, 군락이 쉽게 회복되지 않은 상태를 한탄한 표현이다. 저자가 알고 있는 한, 1885년, 시즈오카현으로부터 대일본수산회에 제출한 우뭇가사리 감산에 관한 질문형태가 처음으로 나와, 그 후, 전북, 대하, 이소오우(해안의 바위, 수초 사이에 사는 물고기) 등의 거처가 되는 감태장과 다시마장, 최근에는 외돌개모자반장의 쇠퇴, 또, 극도의 불탄자리상태에는 도달하지 않는 「임수만소실」 등도 포함, 범용화됐다. 다만, 다시마의 감소 등은, 더욱이 오랜 시대의 기록(1830년대)에도 있다.

갯녹음에 따라서 쇠퇴하는 조장의 종류, 쇠퇴의 정도·규모·유지기간·쇠퇴후의 경관·이용역사에 따라서 크게 다르다. 국내의 역사적인 배경과 다양한 조장의 쇠퇴에의 현실적인 대응의 필요성을 고려하면, 갯녹음은, 넓은 뜻으로 「천해의 암초·암반역에 있어서, 조장이 계절적조장과 다소의 연월경과변화의 범위를 넘어서 현저히 쇠퇴까지는 소실해서 빈해조식생 상태가 되는 현상」 라고 정의할 수 있다. 물론, 이것은 포괄적인 정의로, 각지의 대처에는 바닷가 앞 각지의 갯녹음을 좀 더 구체적으로, 정확히 파악할 필요가 있다.

일본의 대표적인 갯녹음의 경관을 가정해온 갯녹음 발생과 계속의 원인을 Table 23에 나타냈다. 실태불명의 항목과 시대배경과 함께 모습이 사라진 항목도 있지만, 조장이 각지의 연안으로 미묘한 뻗어남으로 성립해, 자연의 맹위뿐만 아니라 인간의 활동이 영향을 미치는 것을 인식해야한다.

해조가 감소하는 것은, 해조가 「먹힐 수 있다」(식해형), 「발생되지 않는다」(발아장해형), 「억지로 벗기다」(유실형)의 어느 쪽인지, 또는 짜맞추게 된다. 뭐든지 조장에서는 보통으로 일어나지만, 다양한 이유로 크게 일상을 일탈하면 갯녹음이 된다. 해조가 식식동물에 의해 먹히는 식해형 갯녹음 중, 식식성어류와 성게는 중요하며, 이외에, 국소적인 영향을 미치는 것은, 소라, 소형권류(밤고등과 남방얼룩고등등), 군소 등이다. 고사형, 발아장해형, 유실형의 갯녹음이 대부분이다.

Table 23. The reasons of the arising and expanding reasons of whitening progress in Japan

항목	예	비고
1.해황의 변화	쿠로시오·쓰미마난류의 우세·접안, 지시마해류 제일분지의 이안, 유빙접안	동계까지는 하계의 고수온이 문제가 되어, 하계는 빈영양도 따른다. 유빙접안은 「물가침소」(잡조구제)효과방법이 크다.
2.영양염의 결핍	해중투기증지, 사방댐의 증가, 텍수·하천수의 유입감소·확산저지	질소·인(·철)의 부족은, 해조의 성장과 성숙에 영향을 미친다. 연안·유역의 개변과 연안에로의 영양염 피드백의 상실에 따라, 부영양역과 빈영양역의 격차조장이 걱정된다.
3. 담수유입의 영향	삼림벌채(하천범람,일시방수), 별판개척, 호우·장마, 댐 배사	옛날엔 담수의 저염분이 원이라고 생각했지만, 실제로는 출수시의 부니퇴적과 해수의 탁함의 영향이 심각하다.
4. 날씨의 이변	태풍·춥지 않은 겨울	광역에서 태풍의 영향이 있었던 곳은 사가미만서부의 키티 태풍(1949년) 뿐임
5. 조식동물의 식해	성게, 소라, 군소, 소형권패, 식식성어류(독가시치, 비늘돔, 무늬잠정어, 쥐돔 등)	성게·어류이외는 부차적이지만, 소라는 우뚝가사리장에서 군소는 미역장등에서 때때로 문제가 된다.
6. 해저기질의 점유	무절석회조류, 갯지렁이 류	무절석회조류는,식해, 파랑, 해수의 탁함, 부니퇴적등에 강해, 해조가 적은구역(퇴적역도 포함)에서 번무하기 쉽고, 갯녹음의 원인보다도 결과이다.
7. 해저기질의 매몰	화산재, 표사, 부니	화산재의 피해는,옛날에는 코마가타케, 최근에는 후겐타케, 미야케시마에서 일어났다. 표사와 부니는 최근의 연안·하천의 개변과 관계가 깊다.
8. 공해	광산·공업·생활배수,발전소온배수,하천개수,해안도로·항만·호안공사(특히, 매립과 충출구조물),포장정비, 농약	현재, 국내의 광산은 대부분이 폐광되어, 고도성장기에 비교해서 연안의 오염도는 개선되고 있지만, 연안구조물의 증가에 따라 정온화와 부니의 퇴적이 진행되고 있다.
9. 어업·증양식	어장축사, 해조류의 과잉채취, 어장개량, 성게의 심천이식, 성게와 조개의 과잉방류, 어류양식의 찌꺼기, 과밀한 양식시설에 따른 「바닷물통과」 악화.	전복, 우뚝가사리, 다시마등의 남획을 경험하고 있는 녹조발생지역도 많다. 최근의 부적절한 어장개량과 성게비육하기 위해서 심천이식도 녹조를 지속시키고 있다.
10. 그 외	온천용출, 지하수 이용에 따른 해저용수의 감소, 세균번식 외.	여기서 예로든 외에도 속설은 많다. 해외에서는 감태 쇠퇴역에서 감태의 바이러스 감염등이 보고되고 있다.

갯녹음의 원인은 동일해역에서도 시대에 따라 다르고, 또, 일련의 현상에서도, 대부분의 경우, 발생요인과 지속요인이 다른 경우가 있다. 일본의 연안에서는, 쇼와중간쯤까지, 광산폐수와 공장배수에 의해 수질오탁이 각지에서 문제가 됐지만, 현재는 모습이 연해지고 있다.

그 내막에 안심안전과 풍족한 대상, 혹은 경기회복과 고용확보를 위해서 공사사업으로서 진행되는 하천의 치수와 호안공사, 또, 어업형태(어업에서 양식으로)의 변천에 따른 조자에의 관심저하와 유지관리능력의 약체화가 조장에 큰 영향을 주고 있다. 또, 최근, 지구온난화에 따라 수온상승과 이상기상의 다발화 등이 조장에 주는 영향도 걱정된다.

라. 조장의 조성을 위한 기술

각지의 조장이 어떠한 종 조성과 변동특성을 나타내고, 어떠한 갯녹음이 일어나는가. 조장에서 갯녹음 발생을 감지해, 조장회복의 목표를 설정하기 위해서는, 최근부터 조장을 지키고, 가능한 한 대부분의 정보를 얻어 「각 지역 앞의 조장이 있어야할 모습」을 알아둘 필요가 있다. 이를 위한 수법을 Fig. 62에 나타냈다. 각 수법은, 얻을 수 있는 정보가 광역인지 협역, 고빈도인지 저빈도, 고밀도인지 저밀도로, 해역의 특성, 조사체제, 예산 등에 따른 선택, 좁은 범위에서 상세한 조사를 행하는 한편, 정기적으로 광역의 상황을 파악하는 경우를 기대한다.

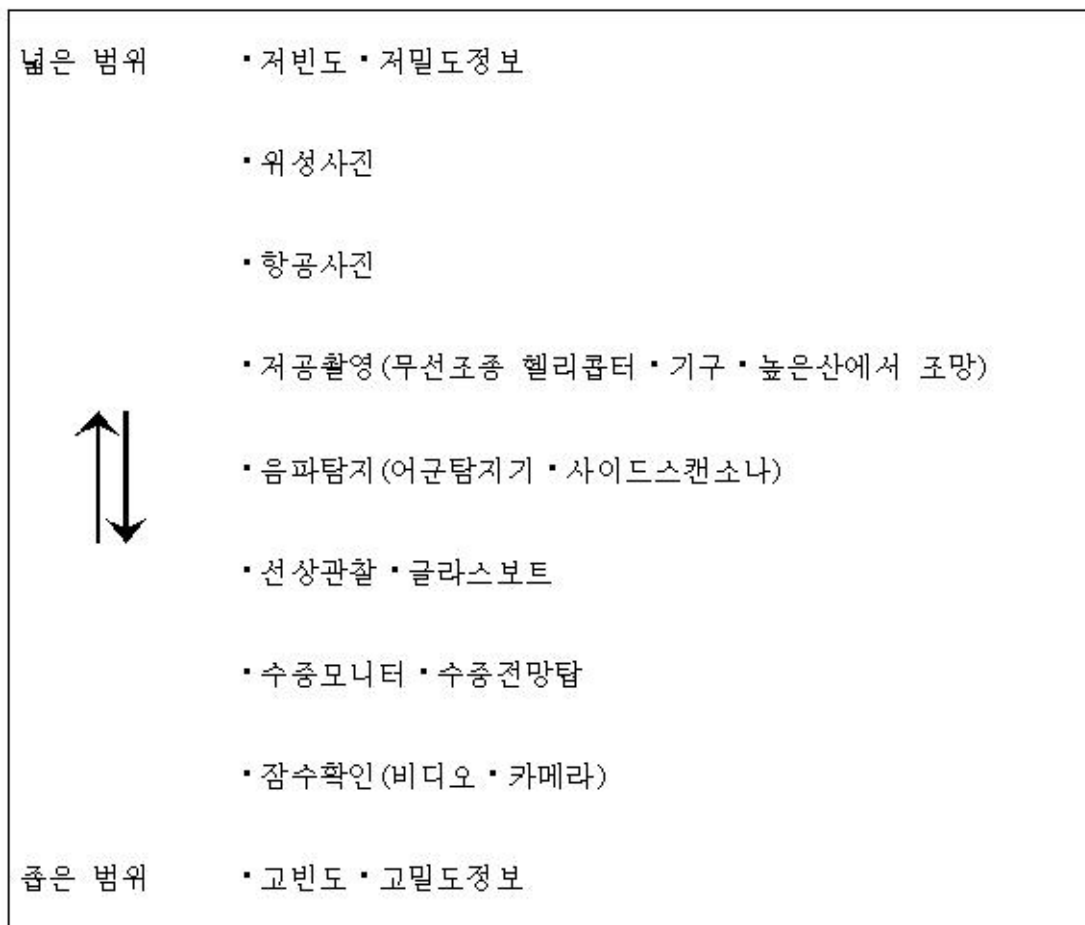


Fig. 62. The techniques of kelp forest observation.

Fig. 63에는, 조장을 지키고 키우기 위해서 필요한 정보를 정리했다. 기본정보는 당면한 현상파악으로, 시공간정보는 현상과 과거의 변동의 해성에 필요한 항목 데이터의 축적이다. 능동적 학습은 갯녹음의 지속요인을 확정하기 위해서 조작실험과 그 전개로, 꼭 필요하다.

조장의 변화는 바닷속에서 일어나, 육상과 해면에서 감지 가능한 정보는 제한되어, 어획

대상생물의 어기와 어장을 제외해, 광역과 연간의 정보는 모자라다. 매일바다에 나가, 이소네어장에서 매계절에 어업을 직업으로 하는 어업자로 있다면, 조장의 상황도 우두머리 층에서 어떻게 되어 알게 되고, 옛날의 상황도 아련하게 기억되고 있다. 그러나 조장이, 언제, 어디에서(어떤 범위에서), 어떠한 원인으로, 어떤 변화를 일으키는가, 를 나타낸 기록은 적다. 이것이 후계자에게의 정보, 혹은 조장을 맡아서 돌보는 지역의 공유정보로서 활용되고 있는 예는 더욱이 적고, 데이터를 얻을 수 있는 경우도, 그 존속이 위태롭다. 이것은 어업포기·붕괴의 한결음 앞의 상황으로, 조장의 기능과 역할을 무시한 연안개변을 쉽게 승낙하고 있다.

연안역이 모습을 크게 바꾼 지금, 때림에 따른 불가역적으로 파괴된 조장은 물론, 쇠퇴한 조장도 전부가 원래대로 회복할 수는 없다. 그러나 조장은 연안의 자원유지와 환경보전에 불가결로, 잔존하고 있는 조장을 유지함과 동시에, 「시기를 놓침」이 되지 않는 조장에서, 회복에 몰두할 필요가 있다. 조장회복의 기본은 어디까지나 조장형성방해요인의 배제로, 이것을 행하지 않고 종래와 같이 돌을 던지고 불록투입 등 딱딱한 사업의 「조장조성」수법을 활용해도 효과(의 지속)은 기대할 수 없고, 사태악화를 초래하는 경우도 많다.

기본정보(현상파악)		
I	조장분포범위 · 모양(소밀, 대상분포, 갯녹음유무) · 주요구성종	
II	환경입지(지형, 저질, 연안개변상황, 수온연교차)	
시공간정보		
III	조장변동 패턴 (계절, 경년, 천이, 이벤트 등)	원인 해명 -대책
IV	환경변동 패턴 (수온, 염분, 투명도, 영양염, 퇴적물 등)	
V	구역내 식생 베리에이션(변종) · 종의 다양성	
능동적학습		
VI	조작(=조장 회복을 향한 간이시험과 그 전개)	

Fig. 63. The information for protecting and keeping the kelp forest.

마. 인간활동에 따른 영향

(1) 물리적인 직접 손상

해산식물 군집에 가해지는 기계적인 손상은 식물체의 구조에 따라 물리적인 영향 때문에 생기는 수가 많다. 산업화와 도시화가 해산식물 군집 지역에 미치는 장기적인 영향이 실질적인 연구의 주제가 되고 있으며, 도시 건설은 현재 대부분 개발 국가에서 집중적으로 규제되고 있다. 항, 포구 건설을 위한 성토작업, 운반 준설과 해안 군집에 대한 전반적인 개발로 인하여 조간대와 해조류 군집이 막대하게 손실되고 있다. 해안건설은 선박 우송과 해안 시설(방파제, 호안)에 더하여 관광지 개발(해면 재개발)을 목적으로 수행되어 왔다. 건설 공사는 해산식물 생육지를 직접적으로 없애버리므로 그 결과 군집 자체와 더불어 군집이 지닌 여과, 안정, 보호 기능을 사라지게 한다.

(가) 오염

자연군집에 가해지는 다른 형태의 스트레스는 영양염과 여러 가지 유독물질이 첨가되어 일어나는 오염이다. 따라서, 온배수, 유류 유출, 생활하수, 유기화학물질, 금속 및 쓰레기와 같은 매우 다양한 오염원에 생물군집에 영향을 미친다. 이 오염원들 중에서 일부는 유독한 반면, 어떤 종류는 자연 환경에 부영양화를 일으킨다. 공업단지로부터 배출되는 물은 해수 온도를 높이기 되고 이로 인해 해안 군집에 열 스트레스를 주게 된다. 온도는 모든 생물에게 가장 기본적인 비생물적 요인들 중 하나이므로 1℃ 상승하면 대형 해조류 10%가 감소하게 된다는 것은 대단한 사실이 아니다(Devanny 1980). 아열대와 열대지역의 예에서 보는 바와 같이 주변의 해수 온도가 해산식물의 생육 상한선 온도에 가까운 곳에서는 온도 스트레스를 많이 받게 된다. 온배수의 영향으로 우리나라와 영국 해안에서 대형 조류의 다양성이 떨어지고 생물량이 감소하였다.

(나) 생활폐기물

영양화는 영양염이 증가하여 군집이 눈에 띄게 변동되는 것인 반면, 부영양화는 용해 영양염이나 유기물이 유입됨으로써 산소가 과다하게 요구되는 현상을 말한다. 모든 종류의 오염 중에서 음식찌꺼기와 하수는 부영양화를 일으키는 가장 흔한 원인 물질이다. 별채, 준설과 운하 건설 시에 생기는 영양염이 풍부한 침전물은 강물을 통하여 연안으로 이동하며, 많은 강이 수로화 되었기 때문에 범람지에 확산되어 있는 영양염 퇴적물이 바다로 직접 운반되는 것이다. 예를 들어 미국의 미시시피 강이 집중적으로 수로화 되었으므로 강물이 수천 톤의 영양염을 멕시코만 북부로 운반되는 것이다. 저층이 제대로 형성되지 못한 결과 미시시피 삼각주가 침식되었고 알라버마 해안의 50 km²가 생물이 살지 못하는 지역으로 변하게 되었다. 이 지역은 미

시시피강으로부터 배출되는 영양염이 서서히 쌓여 형성된 곳이다.

비료가 육상 작물의 성장을 도우는 것처럼, 생활 폐기물이 대형 조류와 식물플랑크톤의 대발생을 일으킨다. 부영양화에 따른 영향은 여러 가지로 나타나며 대표적으로 (1) 용존산소가 적어지면 혐기 상태에 도달할 수 있고, (2) 초기에는 r선택자들이 우점하고 종 다양성이 감소하는 변동이 일어나며, (3) 탁도가 증가하고 플랑크톤 생장이 늘어나게 되면 광의 투과도를 떨어뜨리게 되므로 생육지가 악화된다.

복합적인 생활 폐기물로부터 생기는 부영양화는 생물학적 산소 요구량(COD)를 높이고, 종 다양성을 낮추며, 식물플랑크톤을 대발생시켜 물의 투명도를 감소시키나, 개척자 대형조류(녹조류)가 빠르게 들어오도록 한다.

해조류는 오염된 조건에서 생물지표로 이용되는데(Levine 1984; Haglund et al., 1996) 해조류는 한 지역에서 붙어사는 영구적인 모니터로서 채집이 쉽고 다양한 물질을 축적하는 경향이 있기 때문이다. 자연 개체군의 해조류를 이용하는 광산으로부터 유출되는 화학 원소의 수준을 측정할 수 있는데, 교시래기 배양주를 성장 억제시키면서 유독성을 효과적으로 평가할 수 있다(Haglund et al., 1996).

(다) 합성 탄화수소

대표적인 합성 탄화수소류 물질로는 살충제, 제초제, PCB, 오존 방지용 화합물, 제지 공장 배출물을 예로 들 수 있다. 이들 물질 모두가 유독성이지만, 바닷물에는 보통 낮은 농도로 존재하기 때문에 심각한 문제를 일으키지 않는다. 이와 같은 낮은 농도에도 불구하고 이 화합물들은 생물학적 농축을 통하여 먹이 사슬에 농축될 수 있다. 이 화합물은 각 영양단계, 즉 식물플랑크톤으로부터 다양한 동물플랑크톤, 패류, 어류를 포함한 여과 섭식자인 무척추동물, 마지막으로 조류, 어류 및 사람에게 이르기까지 농축된다.

살충제는 파라티온과 같은 분해성 유기인산염과 DDT와 같은 지속성 염화 탄화수소류이다. DDT가 오랫동안 분해가 안 되어 체내에 농축된 결과 갈색 펠리칸의 알 껍질이 얇아져서 채분화가 안된 병아리가 죽거나 어미가 품고 있는 동안에 알이 부서지게 된다. DDT로 인하여 대형조류와 식물플랑크톤의 광합성률이 떨어지는 이유에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 제초제는 하천과 호수에서 잡초를 제거하기 위해 집중적으로 사용된다. 따라서 제초제는 다양한 경로로 염하구와 연안 군집으로 유입되었다. 대형조류의 광합성과 함께 포자 발아와 생장은 모두 파라쿼트 페노카복실산과 같은 제초제에 의해 해로운 영향을 받는다.

(라) 중금속과 방사성 물질

중금속은 해수의 정상적인 구성 성분으로서 낮은 농도로 존재하며, 경우에 따라서는 미

량이 해산식물에게 이용되기도 한다. 수은, 카드뮴, 납, 비소, 구리, 크롬 등은 산업 또는 생활 폐기물에서 발생되어 해수와 연안 지역을 오염시킨다. 수은은 다양한 산업에 이용되므로 하수에 흔하게 들어 있다. 납은 도로로부터 유실되어 나온 물질에 많이 들어 있으며, 유연 휘발류를 사용하는 연소 엔진의 배기에서 발생한다. 수은과 납은 용해도가 낮기 때문에 해수에서 높은 농도로 발견되지는 않지만, 생물농축을 통하여 생물의 높은 영양단계에 도달할 수 있다. 중금속은 대형 해조류에 의해 능동적, 수동적으로 흡수된다. 해조류에 대한 중금속의 일반적인 유독성 순서는 $Hg > Cu > Cd > Ag > Pb > Zn$ 이다.

(마) 비분해성 쓰레기

비분해성 쓰레기의 유형은 비닐봉지, 금속물체, 유리, 낚시도구와 같이 다양하다. 플라스틱은 분해가 느리며, 컨테이너, 낚시줄, 폴리프로필렌 밧줄이나 피복용 등에 광범위하게 사용된다. 플라스틱 쓰레기는 북극에서부터 열대 산호초까지 퍼지며 특히 만 지역에 몰리는 경향이 있다. 대부분의 비분해성 쓰레기는 플라스틱이어서 수면에 떠다닌다. 비분해성 쓰레기는 해산식물 군집에 직접적인 문제가 되지 않는 것이 보통이며, 착생조류나 대형 해조류에서 새로운 기질을 제공해 주기도 한다. 그러나 비분해성 쓰레기는 기질을 덮어서 조간대 생물군집에 손상을 주게 되며 대형 폭풍이 부는 동안에는 해조류의 부착기질로부터 떨어져 나가게 한다.

(바) 해양생물 채취와 수산양식

그물을 사용하여 얇은 연안수에 사는 새우, 송어 등 어류들을 잡게 되면 해초 및 해조류 군락지에 상업적인 어류의 먹이가 되는 작은 동물들을 손상시킨다. 연안에서 그물을 사용하는 것을 금지하는 법이 미국 내에서는 점차 보편화되고 있는데 이는 해초와 해조류 군집에 대한 훼손을 줄이고 먹이 사슬에서 다른 생물들을 보호하고자 하는 데 있다. 수산업자들은 서식처가 개선되고, 먹이사슬 내에서 일차 소비자가 증가하기를 바라고 있으며, 조하대 군집에 대한 훼손이 줄어들면 이차 소비자의 수도 늘어날 것으로 보고 있다. 이러한 기대는 의문의 여지가 있으며, 이미 연안 습지와 조하대 서식처가 과도한 정도로 손실되어 있어서 이전의 어류와 무척추동물 생산량으로 되돌리기는 불가능하다.

수산양식은 전 세계적으로 새우, 어류, 무척추동물, 해조류의 생산량을 증대시키고 있다. 그러나 과거 50년간 연안습지 지역이 특히 열대 지역에서 새우, 어류를 자고 해조류 양식장을 만들기 위해 훼손되고 왔다는 사실을 인정해야 한다.

(사) 외래종과 생물학적 오염

외래종 식물이 새로운 환경에 정착하는 것은 육상식물 군집에서만 뿐만 아니라 해조류 군

집에서도 잘 볼 수 있다. 도입된 종을 동정하는 기준은 다음 중에서 한 가지 또는 그 이상에 해당된다(Ribera and Boudouresque 1995). (1) 도입종은 한 지역에 새로이 들어온 종이다. (2) 분포가 알려진 종과 새로운 개체군 사이에는 불연속적인 지리 분포를 보인다. (3) 새로이 형성된 서식처는 한 지역에 밀집된다. (4) 적당한 이동 유형이 형성된다. (5) 도입종은 이미 서식하는 종의 생태적 지위를 차지하여 새로운 서식처를 우점 한다. (6) 도입종의 서식처는 서로 가까이 형성된다. (7) 도입종은 지리적으로 불연속적인 범위를 보이는 원종과 유전적으로 동일하다. 대부분의 예에서 보는 바와 같이 외래종은 생태적 지위를 대체하여 기존의 서식 종을 억압하고 결국에는 군집의 구조와 기능을 바꾸어 놓는다. 외래 미세조류, 플랑크톤(Bolach 1993), 대형조류(Ribera and Boudouresque 1995) 종들이 속속 밝혀져 왔다. 외래 해조류는 지중해(60종: 홍조류 40종, 갈조류 12종, 녹조류 8종), 유럽 대서양 연안(26종?: 홍조류 18종, 갈조류, 4종, 녹조류 4종), 호주 남부 연안(19종: 홍조류 4종, 갈조류 8종, 녹조류 7종)에서 알려져 있으나 알려져 있지 않은 다른 지역도 있다. Ribera and Boudouresque(1995)는 외래 해조류가 도입되는 7가지 경로를 제시하고 있다: (1)선체에 부착하거나(*Antithamnion algeriense*의 지중해 유입), (2) 선박으로부터 안정수가 가까운 지역에 버려지며(*Biddulphia sinensis*와 같은 많은 종류의 규조류가 유럽으로 유입), (3) 낚시 미끼(*Fucus spiralis*가 지중해 프랑스 연안으로 유입), (4) 과학적인 연구활동(*Kappaphycus alvarezii*가 하와이로 유입), (5) 수산 양식(*Macrocystis pyrifera*가 중국으로 계획적으로 도입됨), (6) 수족관(*Caulerpa taxifolia*가 지중해로 유입), (7) 수에즈 운하와 같은 인공적인 지형 연결을 통하여 이동(*Solieria dura*가 지중해 동부 연안으로 유입)된다.

외래 해조류 중에서 가장 집중적으로 연구된 예(300편 이상의 연구 논문) 가운데 하나는 갈조경단구슬모자반 *Sargassum muticum*이다(Critchley et al., 1990). 이 종은 굴 유생에 붙어서 일본으로부터 북미 태평양과 유럽 대서양 연안으로 도입되었다. 현재는 북미 태평양 연안 대부분뿐만 아니라 유럽과 지중해 연안까지 확장되었다. 이 모자반은 영양체와 접합자 상태로 퍼져서 다른 해조류를 덮을 정도로 뻗뻗하게 조관을 형성한다. 유럽 연안에 도입된 다른 종류의 외래 해조류로는 갈조류 미역 *Undaria pinnatifida*과 다시마 *Laminaria japonica*이며 선박의 안정수를 통하거나(포자상태로)(Rueness, 1989) 양식장에서 떨어져 나와 이동된 것으로 보인다(Floc'h et al. 1996). 미역 *Undaria pinnatifida*은 지금 대서양 연안에서 인공 구조물에 잘 붙어 사는 영구적인 해조류가 되었다(Floc'h et al., 1996).

외래 해산 녹조류 역시 많이 알려져 있다. 다핵 조류인 청각 *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*은 1956년에 서유럽으로부터 뉴욕의 롱아일랜드로 유입되었다. 청각은 지금 롱아일랜드 해협의 암반 해안에 넓게 퍼져 굴 양식장을 덮어 굴 생산량이 줄어들고 있다. 이 종은 뉴저지 남쪽과 노바스코시아 북쪽까지 확산되어 있다(Carlton and Scaloni 1985). 최근에는

청각이 뉴질랜드 암반 해안에 정착하여(Trowbridge 1995), 최소한 4종류의 복족류, 2종의 성게류, 아주 흔한 고둥류 *Turbo smaragdus*, 2종의 낭설류 *Placida dendritica*와 *Elysia maoria*가 있음에도 불구하고 토착 조식 동물들에 의한 조식압은 낮았다. 다른 종류의 다핵 녹조 옥덩굴 *Caulerpa taxifolia*가 지중해로 침입하여 해초류 군집을 바꾸어 놓은 것은 연구한 191건의 논문이 있다(Boudouresque et al., 1996) 이 옥덩굴은 1984년에 모나코 연안에서 처음 발견되었는데 모나코의 수족관으로부터 유입되었거나 (Meinesz and Boudouresque) 홍해로부터 침입하였다(Chisholm et al., 1995). 이 녹조는 온도에 대한 내성 범위가 넓고 부영양화 된 물에 잘 자라므로 해조류 군집뿐만 아니라 해초류(*Posidonia oceanica*)밭을 점령해버렸다(Meinesz et al., 1993). 1994년까지 이 녹조는 1000-2000 ha의 면적을 덮었으며 연간 2-10곱으로 증가하고 있다(Boudouresque et al., 1995.) 외래종이 침입했을 때 나타나는 전형적인 영향으로서, *Caulerpa taxifolia*가 *Posidonia oceanica*를 우점한 결과 고유종의 다양성이 뚜렷하게 줄어들었다(Verlaque and Fritayse, 1995) 옥덩굴의 생물량은 평균 건중량이 500g dwt m^{-2} 이다. 이 종은 수심 9m에 넓게 풀밭을 이루는 것으로 보아 빈영양 해수에 확실하게 적응한 것이 분명하다(Meinesz et al., 1995; Delgado et al., 1996).

(2) 간접 손상

해산식물 군집에 영향을 줄 수 있는 인간에 의한 다양한 영향들 중에서 두 가지의 지구 대기 변동, 즉, 이산화탄소가 증가하고 오존층이 얇아지는 현상이 빈번해지고 있다. 이산화탄소가 증가하면 지구온난화 문제가 커지며 오존층이 얇아지면 UV-B 복사량이 늘어난다.

(가) 지구 온난화와 해수면

태양 적외선 복사(IR)가 지표면으로부터 대기로 방출되는 속도는 대기 중의 이산화탄소와 메탄을 포함한 여러 종류의 희소한 기체들에 의해 늦추어진다. 이산화탄소가 없다면 지표면은 -18°C 까지 냉각될 것이다. 현재의 대기 중 이산화탄소 농도는 350 ppm으로 1850년대에 산업혁명이 시작된 이래 70ppm이 증가했다는 것을 보여준다(Davis, 1986). 이산화탄소의 농도가 높아진 것은 화석연료를 사용하고 숲을 벌채한 데에 원인이 있다. 그 결과 100년 동안에 지구의 평균 기온이 약간($+0.5^{\circ}\text{C}$) 상승했다(Milne, 1995). 대기 중의 이산화탄소 농도가 높아지고 뒤이어서 지구 기온이 상승한다는 것을 지구 온난화라고 하는 반면, 적외선이 갇히는 것을 온실효과라고 한다. 숲을 벌채하고 화석 연료를 사용하는 것이 계속된다면 대기 중의 이산화탄소 농도는 2080년까지 600 ppm에 이를 것이고 지구의 평균 기온은 $1.5-4.5^{\circ}\text{C}$ 올라갈 것이다(Davis, 1986). 대기가 온난해지면 호흡이 증가하여 세균과 곰팡이에 의해서 유기물이 분해가 늘어남에 따라 더 많은 이산화탄소가 방출될 것이다. 그러면 양성 피드백(온도 상승, 이산화탄

소 방출 증가)이 일어나 온도를 더욱 상승시킬 수 있다. 해수 온도가 약간만 올라간다고 하더라도 식물플랑크톤의 다양성에 변동이 생기고 산호초가 고위도까지 확장되는 것을 포함하여 해양생물의 종 다양성에 큰 변동이 일어날 것으로 보인다. 이와 같은 변동은 캘리포니아의 몬테레이 Monterey 반도에 서식하는 무척추동물의 풍부도를 장기간 연구한 결과에 나타난 바와 같이 해산식물 군집의 지리적 분포에도 큰 변동이 일어날 것이다(Barry et al., 1995). 1931-1933년과 1933-1994년 사이에 조사된 45종의 무척추동물 풍부도에서 보면 9종의 남방 종에서 8종이 증가하였고, 8종의 북방 종에서는 5종이 감소하였다.

대기 및 해수 온도가 증가하게 되면 열대 해역에 비해 남, 북극의 빙관이 서로 다르게 더워진다. 빙관은 해양의 공기보다 대륙의 공기가 빠르게 데워지기 때문에 극지의 빙관은 덜해지게 될 것이다. 따라서 해수 온도의 상승과 더불어 극지에 막대한 양으로 저장되어 있는 담수가 녹아 해수면을 상승시키게 될 것이다. 현재 해수면은 계속 상승하고 있으며 그 속도도 빨라지고 있어서 온실 효과 이론을 뒷받침해주고 있다. 현재 해수면의 절대 상승은 1.2mm/년 또는 12cm/세기로 추정되며(Gornitz et al., 1982), 30 cm 부터 100 cm까지 증가할 것으로 예측된다(Davis, 1986; Milne, 1995). 북미에서 눈으로 보이는(국지적) 해수면 상승은 지난 40년 동안 0.1cm(알라메다 Alameda, 캘리포니아)부터 4.0 cm(샌디후크 Sandy Hook, 뉴저지 New jersey)까지 다르게 나타났다(Stevenson et al. 1986). 해수면 변동이 외견상 차이가 나는 것은 절대 변동뿐만 아니라 육지 침강, 퇴적물 공급, 파도 에너지와 침식 및 강우 패턴에서 변동이 생기기 때문이다.

해수면 상승이 지속되면 연안 습지가 침수될 것은 확실하다. 전 세계적으로 해수면이 33 cm 상승하면 해수가 해안으로부터 수 km까지 침투해 들어오게 된다. 어떤 유형의 습지가 해수면 상승에서 남아 있을 수 있을지는 예측하기 어렵다. 예를 들면, 미국 동부와 걸프해안의 염습지 15개 중에서 4개가 현재 해수면의 국지적인 상승보다 낮은 부착성장을 accretion rates을 보였다(Stevenson et al., 1986). 저지대가 부착 성장할 때 차이가 나는 것은 퇴적물의 공급, 조석 소만의 유형과 더불어 인위적인 지형변동의 영향 때문에 일어나는 자연적인 변동에 기인된 것일 수 있다. 미국 남동부의 거대한 습지는 벌채와 농경지로 조성되면서 넓어졌는데, 이는 1800년대 침식으로 인해 생긴 퇴적층에 부하를 더욱 가중시켰다(Stevenson et al., 1988). 역설적으로, 최근에는 재조림, 농경지 축소, 댐과 강의 홍수 조절을 통하여 퇴적물 부하는 낮추었으나 습지의 면적은 줄어들게 되었다.

결빙 작용과 해빙 작용은 과거 수 백 만년 동안 규칙적으로 일어나 전 세계의 해안선 지형을 변동시켰다. 현재 상태의 높은 해수면과 광범위한 염하구는 수백만 년 전의 10-20% 정도로 남아 있는 것이다. 예를 들면, 이때 해수면은 15,000년 전보다 100 m 낮았으며 35,000년 전인 오늘날의 해수면과 비슷하였다(Davis, 1986). 따라서 해수면은 지사학적인 원리에 따라

빠르게 변동이 일어났으며 이로 인하여 염습지 조간대 군집이 살아남게 되었다는 것을 암시해 준다. 현존하는 염습지의 지질학적인 윤곽과 육지 침강에 영향을 주는 습지를 연구한 결과에 따르면 해수면 변동 또는 육지 침강이 느려지면 조간대 군집은 살아남을 수 있다고 한다 (Callaway and Josselyn, 1992).

해수면 상승에 더하여 지구 온난화는 대기 중에 이산화탄소 수준이 증가한다는 것을 나타내며(Davis, 1986), 이에 따라 수중 식물의 이산화탄소 이용도가 높아진다. 유효 이산화탄소가 증가하면 미세조류와 대형조류들은 어떤 반응을 나타낼 것인가에 대해 많은 의견이 모아지고 있다. 해산 대형식물의 두 가지 주요 무리는 10억 년 전에 해양에서 생긴 해조류(대형조류)와 9억 년 전에 기원된 것으로 보이는 해초류이다(1장 참조). 해초류는 이산화탄소의 확산율이 공기보다 수십 배나 낮은 해수에 적응할 수밖에 없었으며 pH가 낮았고 이산화탄소와 중탄산염의 비율이 현재보다 높았던 백악기 바다에서 기원되었다(Beer and Koch, 1996). 따라서 현재의 해양에서 해초류는 해수의 높은 pH와 이산화탄소/중탄산염 농도 비율의 조건에서 광합성 기질을 얻는 능력을 가진 해조류에 비교할 때 불리한 위치에 있다(Beer, 1996). Beer and Koch(1996)는 지구의 이산화탄소 수준이 다시 높아진다면 해안의 해초류는 급격히 번식하여 대형조류와 경쟁하여 이기게 될 것이라고 주장하였다.

(나) 오존과 UV-B

해수면에서는 태양의 전체 복사조도 $900\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 50% 정도가 적외선 파장으로 이루어져 있는 반면, 5%가 자외선이며 나머지는 가시광선이다(Salisbury and Ross, 1978). 자외선 스펙트럼은 전체 자외선의 4%에 해당하는 UV-A(320-400 nm)와 자외선의 0.8%인 UV-B(280-320 nm)로 이루어진 반면, UV-C(190-280 nm)는 성층권(해발 10-50 km 상공)의 오존층에서 흡수된다(Vincent and Roy, 1993). UV-B는 DNA와 면역계를 손상시키고 피부 화상과 피부암의 원이 되며, 백내장을 일으키기도 하지만 대부분의 자외선은 오존층에서 차단된다. 성층권에서 오존이 감소되면 해수면에서 UV-B의 강도가 높아지게 된다(Milne, 1995). 따라서 냉매나 분사제(스프레이캔)에 이용되는 클로로 플루로카본(CFC; 예, 프레온)과 같은 염소 화합물 생산에 관한 국제적인 관심이 높아지고 있다.

CFC는 매우 안정적이기 때문에 대류권 하층을 통하여 성층권으로 상승하는데 여기서 UV 복사선은 염소 이온을 떼어낸 다음 오존과 반응하여 이를 파괴시킨다.

UV 침투가 증가되면 다양한 생물, 특히 해조류, 식물플랑크톤, 해초류(Larkum and Wood, 1993)의 세포와 광합성계를 심하게 손상 시킨다(Vincent and Roy 1993). UV-B가 증가하면 특히 해양 표층수에 서식하는 식물플랑크톤에게 중대한 영향을 미친다. UV-B 복사에 의해 식물플랑크톤의 광합성이 뚜렷하게 감소된다면 전 세계 해양에서 이산화탄소 고정 능력은

심각하게 떨어질 것이다. 광합성 저해는 해조류와 식물플랑크톤이 UV-B에 노출되었을 때에도 일어난다. 선캄프리아기와 고생대 초기에는 오존층이 생기지 않았으므로 원시 해조류는 아마 높은 수준의 UV-B에 노출 되었을 것이다(Davis, 1986). 해조류는 UV 영향이 적은 깊은 바다 속에 제한하여 살았을 것이다. 대기 중에 산소와 오존이 증가하면서 해조류는 얕은 곳으로 올라와 번성하게 되었다.

UV의 영향을 완하시켜 줄 수 있는 해조류와 식물플랑크톤의 보호 기작에는 회피, 억제, 차단 등이 있다(Vincent and Roy, 1993). 어떤 생물들은 깊은 수심에 서식하거나(심해 해조류) 또는 대양에서는 낮 동안에 깊은 곳으로 이동하여(식물플랑크톤) UV 파장을 피한다. 해조류의 카로티노이드(베타 카로티노이드) 색소는 단일 산소 라디칼을 중화시키고 분자 수준에서 에너지를 방출하여 광계 II의 반응 중심을 보호한다(Tefler et al, 1991). 맹그로브와 염습지 식물들은 표피층을 이용하여 UV 파장을 차단시키는데, 조사되는 UV의 95% 정도를 흡수하여 UV가 피층 아래에 위치한 광합성 엽육 세포로 가지 않도록 막는다.

라. 결론

본론에서는 지속적인 해조군락 관리 및 복원방안을 위한 필요한 요인에 대해서 살펴보았다. 이러한 요인들을 토대로 해조군락 관리와 복원을 하기 위해서는 각각의 지역에 맞는 올바른 방법을 계획하고, 적절한 시기에 맞는 방법으로 실시되는 것이 중요하다. 해조장 조성방법으로는 Spore Bag 시설, 종묘판 시설, 인공해조장 조성을 위한 수증저연승 방법, 종묘이식법, 모조투입법, 조림초를 이용한 종묘이식, 해조부착 기질 개선을 위한 해중림 어초 시설, 해조류 부착면적 확대, 조식동물구제, 해조성장촉진 첨가공법 등이 있으며 이 외에도 인공간석지 조성 과 육지로 부터의 부유물질 유입 방지 등의 간접적인 방법이 있을 수 있다(Fig. 64).

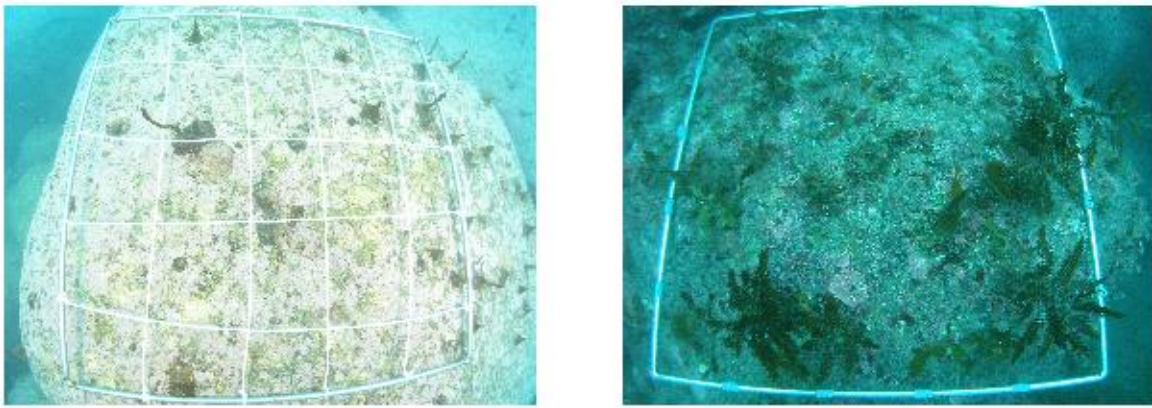


Fig. 64. The recovering of kelp forest in the whitening zone.

사. 가막만 해조군락 조성

가막만은 표면적이 112 km², 해수용적 10.2×10⁸ m³, 내만의 평균수심 약 9 m, 대조차는 약 3 m의 반폐쇄성 내만이다. 해조군락 조성과 수심과는 깊은 관련이 있어서 가막만의 동쪽은 수심은 2 m 정도로 얇고, 북서쪽 내만은 수심이 9 m 정도에 이르는 반면, 만의 중앙부는 수심이 약 5 m, 그리고 만의 남쪽 입구는 수심이 20 m 이상으로 깊어지는 등 매우 복잡한 해저지형을 형성한다. 또한 4계절 동안 가막만에는 3개의 수괴가 분포하는데 북서내만역에서 3월은 저온, 저염수가, 6월은 고온, 저염수, 8월은 고온, 고염의 해수가 출현하였으며, 11월에는 저온, 저염수의 해수가 각각 출현하였고, 해수유동은 만 남쪽 입구 부근이 흐름과 계절별 조석간차류는 바람응력의 영향 유무에 관계없이 대체적으로 유사한 형태를 보이며, 특히, 남쪽 만 입구에서는 시계방향의 와류가 계절에 상관없이 출현하는데, 이것은 동서간의 수심이 불규칙하게 변하는 것 외에, 만 입구가 좁고 수심이 타 해역에 비해 상대적으로 깊어 바람의 영향을 덜 받기 때문으로 추계와 동계에는 부는 계절풍은 남쪽 만 입구 바깥쪽으로부터의 흐름을 강화하기 때문에 가막만의 해수 교환에 있어서 큰 도움을 주지만, 하계엔 부는 계절풍은 남쪽으로의 흐름을 억제하게 되므로 오히려 가막만의 해수교환을 약화시켜 만내의 하계 수온을 상승시키는 원인이 되기도 한다. 특히 이러한 해수유동은 여수지역에서 유입되는 퇴적물이 만 중앙과 동쪽으로 집중 유입되는 것을 알 수 있다.

이렇듯 높은 수온 변화, 해수유동의 약화, 많은 퇴적물의 유입, 높은 염분농도의 변화 등은 가막만에서 해조류가 안정적인 해조군락을 형성하기에는 매우 불리한 환경조건이다. 특히, 많은 퇴적물의 유입에 의한 저질 악화는 해조류의 포자가 부착할 수 없는 상태를 만들어 기존에 해조군락을 이루는 곳이라도 몇 해 뒤에는 해조군락이 소멸되는 현상이 빠르게 진행된다.

이러한 해조군락 소멸을 방지하기 위해서는 만 북부에 있는 여수시 도심에서 유입되는 생활하수, 생활쓰레기 등의 유입 방지를 우선적으로 실시하며, 동시에 가막만내의 저질을 개선 및 패류양식장에서 발생하는 쓰레기를 제거하는 작업을 실행해야한다. 또한 1990년대 이후에 소멸하였던 거머리말장(갈피장, Seagrass) 조성을 저질이 사니질인 곳에 이식하여 가막만내의 부유물질량을 감소시켜야 하며, 여름철 고수온기에 양식 가능한 청각을 활용하여 연승수하식으로 양식하여 산업적 이용과 가막만내의 수질 안정화에도 도움이 될 것이다. 이후 저질이 사질이거나 암석 기반인 곳에 인공구조물이나 피복석을 투여하여 곰피와 미역과 같은 부유물질이 많은 곳에서도 잘 적응하는 대형 갈조류를 이식하여 바다숲조성을 할 수 있을 것이다. 이러한 노력들이 완료되면 모자반, 감태와 같은 해조류들이 자연적으로 부착 발생하여, 가막만내의 해조군락 조성이 완성될 것이다(Fig. 65).

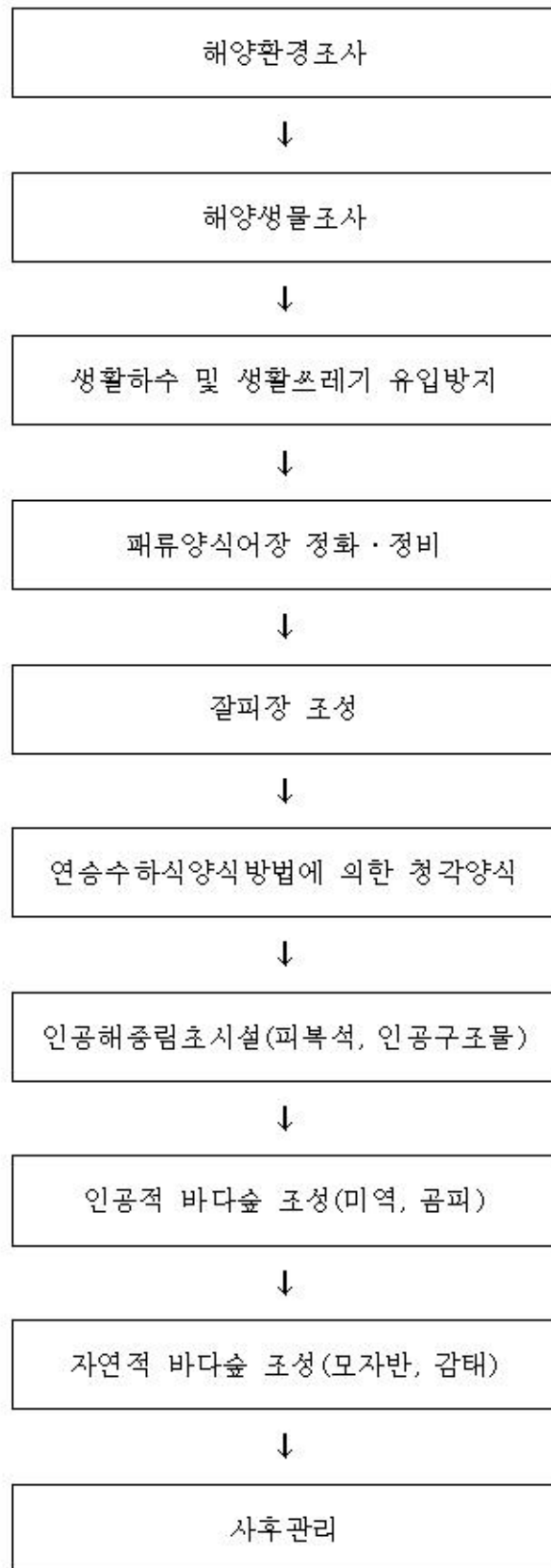


Fig. 65. The Flow chart by development of kelp forest in Gamak Bay.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발 목표의 달성도(2007.9-2010.9)

1. 모자반 종조성 및 서식 분포조사

가막만에서 발견된 모자반의 종류는 총 7종으로 지역별로는 계도 지역과 돌산 금봉지역에서 각각 7종, 6종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 계절별로는 봄 시기에 가장 많은 7종으로 파악되었으며, 모자반군락분포를 월별로, 잠수를 통해 출현종을 파악한 결과 종별 분포율은 평생이모자반, 외틀개모자반, 알송이모자반으로 나타났다.

2. 모자반 성장 조사

가막만 내의 모자반의 종조성을 위한 4정점에서 2007년 11월부터 2008년 6월까지 SCUBA diving을 이용 20개체이상 채취, 전장과 전중량을 측정하여 정점별로 비교분석한 결과 월별 성장 패턴을 파악하였다.

3. 에너지 수지 분석

에너지 수지를 측정하기 위해서는 우선 각 지점별 엽체의 최대생산성($g \text{ dry weight } m^{-2}$)을 건조중량으로 산출하고, 엽체 조직내 탄소함량과 질소함량을 CHN분석기를 통하여 측정 후, $1m^2$ 당 탄소, 질소 고정량을 산출, 모자반의 서식면적을 구하여 각 지점별 전체 탄소 고정량과 전체 질소 고정량을 산출하였다.

4. 수질환경 조사

모자반군락의 성장 및 성숙에 영향을 미치는 일차 환경요인을 알아보고자 수질환경 및 저질환경 조사를 2년간 파악하였다. 모자반군락과 모자반이 서식하지 않는 대조구를 설정하여 기초해황(수온, 염분, pH, DO) 및 영양염류, Chlorophyll-*a* 등을 월별(계절별)로 조사하였다.

5. 부착생물 종조성 조사

2007년 11월부터 모자반이 녹아 없어지는 2008년 7월까지 조사기간 동안 총 4문 10목 15과 18종($143,432 \text{ ind}/m^2$)의 부착생물이 채집되었다. 2008년 11월부터 2009년 6월까지 총 5문 14목 16과 23종($66,496 \text{ ind}/m^2$)의 부착생물이 채집되었다.

6. 부착생물의 월변화 및 우점종 출현양상

2007년 11월부터 2008년 7월까지 부착생물의 월별 출현 개체수 변화는 4,761-47,168 ind/m²의 범위를 보였으며, 전체 출현한 종의 상위 1%이상 우점한 부착생물은 총 4종으로 *B. angustata*, *Gammaridea* sp., *Caprellidae* sp. 그리고 *C. japonicus*으로 나타났으며 전체 부착생물의 98.81%를 차지하였다. 2008년 11월부터 2009년 6월까지 1,053-23,312 ind/m², 생체량은 21.70-92.64 wwt g/m²으로 상위 1%이상 우점한 부착생물은 총 2종으로 *B. angustata*과 Amphipod로 나타났으며, 전체부착생물의 99.41%를 차지하였다.

7. 상대성장

우점출현한 *B. angustata*과 *C. japonicus*의 각고에 대한 각쪽의 상대성장식은 각각 $SW=0.3804SH+0.6892(R^2=0.907)$, $SW=0.7832SH-0.0258(R^2=0.765)$ 로 나타났으며, 두 종 모두 상대성장식에서 상관계수가 모두 높게 나타났다.

8. 부착생물 위 내용물 분석

모자반이 부착생물에 미치는 생태학적 특성을 알아보기 위하여 부착생물 중 우점 출현한 *B. angustata*, Amphipods의 위내용 및 소화관을 월별로 분석해 본 결과 모자반에 부착한 규조류는 *Psammodictyon panduriforme*, *Navicula perminuta*, *Cocconeis scutellum*, *Thalassiosira* sp., *Pinnularia* sp., *Nitzschia brevissima*, *Navicula platystoma* 등이 나타났다 이는 모자반이 서식처로서의 제공뿐만 아니라 주요 먹이공급원으로서 기능도 제공하는 것으로 확인되었다.

9. 어류 종조성

모자반군락지내 어류 월별 종조성은 1차년도(2007년 11월-2008년 6월) 가막만 모자반군락내 어획된 어류는 총 7목 16과 29종으로 이들 중 농어목 (Perciformes)어류가 6과 15종, 대조구 지역에서는 총 6목 10과 10종으로 농어목 (Perciformes)이 4과 4종으로 조사되었으며, 2차년도(2008년 10월-2008년 5월)에는 모자반군락내 어획된 어류는 총 7목 15과 21종으로 이들 중 농어목 (Perciformes) 어류가 6과 10종, 대조구 지역에서 어획된 어류는 총 5목 8과 9종으로 이들 중 농어목 (Perciformes) 어류가 3과 3종으로 나타나 차이를 나타내었다.

10. 주·야간 어류의 종조성

모자반군락지내 어획된 어류는 총 6목 10과 13종, 대조구 지역에서 어획된 어류는 총 2목 4과 4종으로 군락지내의 어류에 비하여 낮은 값을 보였다. 주·야 시간대별 어류의 출현 양상을 살펴본 결과, 각 시간대 별로 차이를 나타내었다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 학술대회의 발표실적

제목	발표자	학술회의명	호	발표년월일	발행기관
가막만 모자반군락내 부착생물의 종조성	김윤철, 박일웅, 김신진, 김진호, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭	한국수산과학회 추계 발표회	2008년 추계	2008. 11. 13	한국수산과학총연합회
가막만내 모자반군락에 서식하는 어류의 종조성 및 양적 변동	박일웅, 김윤철, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭	한국수산과학회 추계 발표회	2008년 추계	2008. 11. 13	한국수산과학총연합회
가막만의 모자반군락이 수질환경에 미치는 영향	안윤호, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭	한국수산과학회	42(3)	2009.6.30	한국수산학회
가막만 모자반군락내 대형무척추동물의 계절변동	김윤철, 박일웅, 김신진, 김진호, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭	한국수산과학회 총연합회	2009년 추계	2009. 11. 12	한국수산과학총연합회
가막만 모자반군락내 부착생물 종조성 및 생태학적 특성	김윤철, 박일웅, 김신진, 김진호, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭	한국수산과학회 총연합회	2009년 추계	2009. 11. 12	한국수산과학총연합회
가막만 모자반군락내 부착생물의 종조성 및 계절변동	김윤철, 박일웅, 김신진, 김진호, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭	한국수산과학회	43(4)	2010.6.5	한국수산과학회
가막만 모자반군락내 어류종조성 및 계절변동 1. 사각통발에 의해 채집된 어류	박진홍, 최성민, 박일웅, 김윤철, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭	한국수산과학회 양식분과 학술대회	2010년 춘계	2010.6.25	한국수산과학회 양식분과
가막만 모자반군락내 어류종조성 및 계절변동 2. 두릿그물에 의해 채집된 어류	이승환, 이성준, 박일웅, 김윤철, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭, 김호섭	한국수산과학회 양식분과 학술대회	2010년 춘계	2010.6.25	한국수산과학회 양식분과
Length-weight Relationships for 19 Fish Species in <i>Sargassum</i> Beds of Gamak Bay, Korea	윤호섭, 최상덕	The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science	13(3)	2010.9.1	한국수산과학회

2. 산업기술인력 양성 성과

프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원
전남어업 전문경 영자 교육	해조군락과 어업과의 상관관계	전남대학교	1	2	50

3. 미디어 홍보

방송	날짜	방송내용
여수 MBC 뉴스	2008.7.12	여수 가막만 해역의 수질이 개선되고 있는 것으로 나타났습니다. 전남대학교 해양기술학부 최상덕 연구팀이 지난해부터 국토해양부 국책사업으로 가막만 일대 해양 생태계를 조사한 결과, 수년 전 자취를 감췄던 모자반 군락이 최근 2-3년 전부터 선소 일원을 중심으로 10ha 정도 분포하고 있는 것으로 확인됐습니다. 연구팀은 가막만 일대의 모자반 군락지 회복으로 용존 산소 증가와 이산화탄소 감소 등 수질 환경이 개선되고 있으며 군락지내 농어, 불락 치어, 해삼 등 수산자원이 증가해 생태 기능이 활발해지고 있다고 밝혔습니다.
라디오방송 KBC	2009	가막만 선소 일원을 중심으로 자연발생한 모자반군락을 중심으로 수질환경개선 효과 및 생물다양성에 미치는 모자반군락의 영향에 대해 전남대 최상덕 교수 연구팀의 연구결과 수질등급을 II 등급 이상을 유지하고 있으며, 모자반군락지내 다양한 종류의 부착생물과 정착성 어종을 비롯한 회유성, 일시방문종등을 포함하여 여러종류의 어류들이 산란장, 도치처, 먹이공급처로서의 기능적 역할을 수행하고 있다. 따라서 모자반군락 즉 해중림의 자연조성으로 인하여 가막만내 생태계가 점차 건강해지고 있다는 것을 반증하고 있으며, 아울러 수질등급 역시 II 등급을 유지함으로써 향후 가막만에서 모자반군락 등의 해중림의 역할이 기대되는 바이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

Christensen Vand Pauly D, 1992, ECOPATH II - a software for balancing steady ecosystem models and calculating network characteristics, *Ecol Modelling* 61, 169-185.

Christensen VJ, Buszowski R, Forrest F, Gao C, Hoover J, Hui S, Lai J, Steenbeek W, Walters and Walters C, 2007, Ecopath with Ecosim 6 : New generation ecosystem modeling package, p.35, PICES 16th Annual Meeting, Oct, 26-Nov, 5.

Christensen V, Walters CJ and Pauly D, 2000, Ecopath with Ecosim: A user's guide, fisheries center, University of British Columbia, Vancouver and ILARM, Malaysia.

Larkin PA and Gazey W, 1982, Application of ecological simulation models to management of tropical multispecies fisheries, In *Theory and Management of Tropical Fisheries*, ICLARM Conference Proceeding, 9, 123-140.

Nakamura Y and Sano M, 2005, Comparison of invertebrate abundance in a seagrass bed and adjacent coral and areas at Amitori Bay, Iriomote Island, Japan, *Fisheries science* 71, 543-550.

Polovina JJ, 1984, A model of a coral reef ecosystem, Part I, ECOPATH model and its application to French Shoals, *Coral Reefs*, 3, 1-11.

Pauly D, Christensen V and Waters C, 2000, Ecopath, Ecosim and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries, *ICES Journal of Marine Science*, 57, 697-706.

Tetsuhiko T, Masahiro N and Keiko A, 1999, Population dynamics and reproductive traits of phytal gastropods in Seagrass bed in Otsuchi Bay, North-Eastern Japan, *Marine*

ecology 20(3-4), 273-289.

Uchida T, 1993. The life cycle of *Sargassum horneri* (Phaeophyta) in laboratory culture. J. Phycol. 29, 231-235.

Uchida T, Yoshikawa K, Arai A and Arai S, 1991. Lifecycle and its control of *Sargassum muticum* (Phaeophyta) in batch cultures. Nippon Suisan Gakkaishi 57, 2249-2253.

Walters C, Christensen V and Pauly D, 1997. Structuring dynamics models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. Review in Fish Biology and Fisheries 7, 139-172.

Yamashita Y, Piamthipmanus N and Mochizuki K, 1987. Gut contents analysis of fishes sampled from the Gulf of Thailand. In Studies on the Mechanism of Marine Productivity in the Shallow Waters Around the South China Sea with Special Reference to the Gulf of Thailand, pp. 32-55. Tokyo, Japan: Ocean Research Institute

제 7 장 참고문헌

- An YK, Cho JH, Yoon HS, Park IW, Kim YS, Kim HJ and Choi SD, 2009. Influence of *Sargassum* beds on the water quality characteristics in Gamak Bay, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 42(3), 284-289.
- Arai A and Miura A, 1991. Effects of salinity and light intensity on the growth of brown alga, *Sargassum ringgoldianum*. *Suisanzoshoku* 39, 315-319.
- Arai S and Arai A, 1984. Effects of grazing on algal succession 1. *Japan J. Phycol.* 32, 43-51.
- Atrill MJ, Strong JA and Howden AA, 2000. Are macroinvertebrate communities influenced by seagrass structural complexity? *Ecograph*, 23, 114-121.
- Barbour MG, Burk JH and Pitts WD, 1987. *Terrestrial plant ecology*. The Benjamin/Cummings Pub. Co, Inc, 634pp.
- Barry JP, Baxter CH, Sagarin RD and Gilman SE, 1995. Climate-related, long-term faunal changes in a California rocky intertidal community. *Science* 267, 672-675.
- Bathen KH, 1968. A descriptive study of the oceanography of Kaneohe Bay, Oahu, Hawaii. *Univ Hawaii Inst Mar Biol Tech Rep* 14, 1-353.
- Beer S 1996. Inorganic carbon transport in seagrasses. In seagrasses. In *Seagrass Biology*. Scientific Discussion from an International Workshop, J. Kuo D.I, Walker and H. Kirkman (eds.) 43-47. University of western Australia, Nedlands.
- Beer S and Koch E, 1996. Photosynthesis of marine macroalgae and seagrasses in globally changing CO₂ environments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141, 199-204.
- Bellamy DJ, John MD and Whittick A 1968. The "kelp forest ecosystem" as a "phytometer" in the study of pollution of the inshore environment. In *Underwater Association Report*, 1968, 79-82, Underwater Associat London.
- Blanchard J and G Prado 1995. Natural regeneration of *Rhizophora mangle* in strip clearcuts in northwest Ecuador. *Biotropica* 27, 160-167.
- Boer E, 1993. Anomalous pneumatophores and adventitious roots of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. mangroves two years after the 1991 Gulf War oil spill in Saudi Arabia. *Mar. Pollut. Bull.* 27, 207-211.

- Bolach GT, 1993. The introduction of non-indigenous marine species in Europe: Planktonic species. In *Introduced Species in European Coastal Waters*, C.F. Boudouresque, F. Boudouresque CF Meinesz A MA, Ribera and Ballesteros E, 1995. Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: Possible consequences of a major ecological event. *Sci. Mar.* 59 (Suppl. 1), 21-29
- Boudouresque CF, A. Neinesz and Gravez V 1996. *Scientific Documents Dealing with the Alga Caulerpa taxifolia Introduced to the Mediterranean*, 5th ed, FIS Posidone Marseilles.
- Breen PA and Mann KH, 1976. changing lobster abundance and destruction of kelp beds by sea urchins. *Mar. Biol.* 34, 137-142.
- Briand and Nolan C (eds.) 28-31. *European Commission for Science, Research, and Development Ecosystems Research Report 8*, Paris.
- Broome SW, Seneca ED and WW, Woodhouse Jr, 1988. Tidal salt marsh restoration. *Aquat. Bot.* 32, 1-22.
- Callaway JC and Josselyn MN 1992. The introduction and spread of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) in south San Francisco Bay. *Estuaries* 15, 218-226.
- Carlton JT, and Scanlon JA, 1985. Progression and dispersal of an introduced alga: *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta) on the Atlantic coast of North America. *Bot. Mar.* 28, 155-165.
- Cho CH., Park KY, Yang HS and Hong JS, 1982. Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamak Bays. *Bull. Korean Fish. Soc.* 15(3), 266-240.
- Choi CG, 2001. *Marine communities around the experimental artificial reefs*. Ph. D. Thesis, Pukong National Univ., 190pp.
- Choi SD, Kim SY, Moon HY, Park JS, Rha SJ, Woo CY, Kim DY and Jung DS, 1999. Mass mortality of oyster, *Crassostrea gigas* in Kamak Bay(I). *J. of Res. Ind. Yosu Univ.*, 8, 259-266.
- Clarke KR and Gorley RN, 2001. *Primer v5*. Roborough, Plymouth, UK: Plymouth Marine Laboratory, www.primer-e.com.
- Clirsen J, 1992. *Estudio multitemporal de mangalares, camaroneiras y areas salinas de la costa ecuatoriana, mediante el empleo de lainformacion de senores remotos actualizado a 1991*. Memoria tecnica, Guayaquil, Ecuador.
- Critchley AT, Farnham WF, Yoshida T and Norton TA, 1990. *A bi bibliography of the*

- invasive alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt (Fucales: Sargassaceae). Bot. Mar. 33, 551-562.
- Davis Jr. R.A. 1986. Oceanography. An Introduction to the Marine Environment, W.C. Brown, Dubuque, Iowa.
- Dawes CJ, J. Andorfer, C. Rose Uranowski C, and Ehringer E. 1997. Regrowth of the seagrass *Thalassia testudinum* into propeller scars. Aquat. Bot.
- De Wreede RE. 1976. The phenology of three species of *Sargassum* (Sargassaceae, Phaeophyta) in Hawaii. Phycologia, 15, 175-183.
- Delgado O, Rodriguez-Prieto C, Gacia E, and Ballesteros E. 1966. Lack of severe nutrient limitation in *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, and introduced seaweed spreading over the oligotrophic northwestern Mediterranean. Bot. Mar. 39, 61-67.
- Dennison WC, Orth RJ, KA, Moore JC and Stevenson Carter V, Koller S, PW, Bertstrom and Batiuk RA. 1993. Assessing water quality with submersed aquatic vegetation. Bioscience 43, 86-94
- Devanny JS. 1980. Effects of thermal effluents on communities of benthic marine macroalgae. J. Env. Manag. 11, 225-242
- Edwards P. 1972. Cultured red alga to measure pollution. Mar. Pollut. Bull. 3, 184-188.
- Edwards P. 1975. An assessment of possible pollution effect over a century on the benthic marine algae of Co. Durham, England. Bot. J. Linn. Soc. 70, 269-305
- Ellison AM and Farnsworth EJ. 1966. Spatial and temporal variability in growth of *Rhizophora* mangrove saplings on coral cays: Links with variation in insolation, herbivory, and local sedimentation rate. J. Ecol. 84, 717-731.
- Elnor RW and vadas RL Sr. 1990. Inference in ecology: The sea urchin phenomenon in the northwest Atlantic. Amer. Nat. 136, 108-125.
- Evans LV and Hoagland KD. 1986. Algal Biofouling. Elsevier Amsterdam.
- Floc'h JY, Pajot R and Mouret V. 1996. *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) 12years after its introduction into the Atlantic Ocean. hydrobiologia 326/327, 217-222.
- Fonseca MS. 1989. Regional analysis of the creation and restoration of seagrass systems. In Wetland Creation and Restoration: The Status of the Science, I. Regional Reviews, EPA/600/3-89/038a, J.A. Kusler and M.E. Kentula (eds.), 175-198. U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon.
- Fortes MD. 1988. Mangrove and seagrass beds of East Asia: Habitats under stress. Ambio

17,207-213.

- Portes MD. 1991. Seagrass-mangrove ecosystems management: A key to marine coastal conservation in the ASEAN region. *Mar. Pollut. Bull.* 22, 113-116.
- Foster M, Neushul M, and Zingmark R 1971. The Santa Barbara oil spill 2. Initial effects on intertidal and kelp bed organisms. *Envir. Pollut.* 2, 115-134.
- Fuge R and James KH. 1974. Trace metal concentrations in *Fucus* from the Bristol Channel. *Mar. Pollut. Bull.* 5, 9-12.
- Fujita D. 1987. The report of interview to fisherman on "Isoyake" in Taisei-cho, Hokkaido. *Suisanzoshoku* 35, 135-138.
- Fumio Hayashida. 1991. On Age and growth of a Brown algae, *Ecklonia cava*. *Bull. J. Sci. Fish.* 43(9), 1043-1051.
- Galgani F, Burgeot T, G. Bocquene Vincent F, Leaute JP, Labastie J, Forest A, and R. Guenegou MC, Citharel J, and Levasseur JE. 1988. The hybrid status of *Spartina anglica*(Poaceae). Enzymatic analysis of the species and of the presumed parents. *Canad. J. Bot.* 66, 1830-1833.
- Giesen WB, JT, MM, van Katwijk and den Hartog C. 1990. Eelgrass condition and turbidity in the Dutch Wadden Sea. *Aquat. Bot.* 37, 71-85.
- Glynn PW. 1990. Feeding ecology of selected coral-reef, macroconsumers: Patterns and effects on coral community structure. In *Ecosystems of the World 25, Coral Reefs, 2*, Dubinsky (ed.), 365-400. Elsevier, Amsterdam
- Gray AJ. 1986. Do invading species have definable genetic characteristics? *Phil. Trans. Roy. Soc. London series B* 314: 665-674.
- Gray AJ, Marshall DP, and Raybould AP. 1991. A century of evolution in *Spartina anglica*. *Adv. Ecol. Res.* 21: 1-54
- Guichet 1995. Distribution and abundance of debris on the continental shelf of the Bay of Biscay and in Seine Bay. *Mar. Pollut. Bull.* 30: 58-62
- Haglund K, Bjorklund M, Gunnare S, Sandberg A, Olander U, and Pedersen M. 1996. New method for toxicity assessment in marine and brackish environments using the macroalga *Gracilaria tenuistipitata* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 326-327, 317-325
- Hales JM and Fletcher RL. 1989. Studies on the recently introduced brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. IV. The effect of temperature, irradiance and salinity on

- germling growth, Bot Mar 32, 167-176.
- Harris LG, 1996, A new community state in the southwestern Gulf of Maine? In Gulf of maine Ecosystem Dynamics, Presentation to the Regional Association for Research in the Gulf of Maine, University of Maine, Orono
- Heck KL, Jr KW, Able MP, Fahay and Roman CT, 1989, Fishes and decapod crustaceans of Cape Cod eelgrass meadows: species composition, seasonal abundance patterns and comparison with unvegetated substrates, Estuaries, 12, 59-65.
- Huh SH and Kwak SN, 1998, Feeding habits of *Favonigobius gymnauchen* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay, J Kor Fish Soc 31, 372-379.
- Hwang EK, Baek JM and Park CS, 2005, Growth, maturation and development of *Sargassum fluveolum* (Sargassaceae, Phaeophyta), J Kor Fish Soc 38, 112-117.
- Ishigawa W, 1983, Series for construction of seaweed beds, 1) Construction of seaweed bed for *Sargassum*, Suisankenkyu 2(3), 58-63.
- Jackson E F, 1968, Algae, Man, and the Environment, Syracuse University Press, Syracuse.
- Jeong SJ, Yu OH and Suh HL, 2004, Seasonal variation and feeding habits of Amphipods Inhabiting *Zostera marina* beds in Gwangyang Bay, Korea, J Kor Fish Soc 37(2), 122-128.
- Kang JW, 1966, On the geographical distribution of marine algae in Korea, Bull, Pusan, Fish, Soc, 30, 574-584.
- Kang JW, 1968, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 8, Marine algae, Samhwa Press, Seoul, 465pp.
- Kemp WM, Twilley RR, Stevenson JC, Boynton WR and Means JC, 1983, The decline of submerged vascular plants in upper Chesapeake Bay: Summary of results concerning possible causes, Mar, Tech, Soc, J, 17: 78-89.
- Kenworthy WJ and Thayer GW, 1984, Production and decomposition of the roots and rhizomes of seagrasses, *Zostrea marina* and *Thalassia testudinum*, in temperate and subtropical marine ecosystem, Bull Mar Sci, 35(3), 364-379.
- Kenworthy WJ, Durako MJ, Paterny S.M.R, Valavi H, and Thayer GW, 1993, Ecology of seagrasses in Northeastern Saudi Arabia one year after the Gulf War oil spill, Mar, Pollut, Bull, 27, 213-222.
- Kikuchi T, 1962, An ecological study on animal community of *Zostera* belt in Tomioka Bay, Amakusa, Kyushu (II), Community composition (2), Rec, Oceanogr, Wks, Japan,

Spec. 6, 135-146.

- Kikuchi T. 1966. An ecological study on animal communities of the *Zostera marina* belt in Tomioka Bay, Amakusa, Kyushu. Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab., 1, 1-106.
- Kim HG, Kang RS and Sohn CH. 1992. Effects of thermal effluents on the marine algal community at the coast of Kori Nuclear Power Plant. Korean J. Phycol. 7, 269-279.
- Kim YS, HS Yoon, IW Park, YK An and SK Choi. 2010. Species composition and monthly variation of the organisms attached to Sargassum beds in Gamak Bay, Korea. Society of Fisheries and Aquatic Science, 43(4), 345-350.
- Kita T and Harada E. 1962. Studies on the epiphytic communities, I. The abundance and distribution of microalgae and small animals on the *Zostera* blades. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 10: 245-257.
- Kurada H. 1963a. Ecology of shrimps on the eel-grass bed. I. *Spironticaris propugnatrix*. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 26, 81-85.
- Kurada H. 1963b. Ecology of shrimps on the eel-grass bed. II. *Leander macrodactylus* and others. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 26, 86-91.
- Kurada H. 1963c. Ecology of shrimps on the eel-grass bed. III. Shrimps in relation to their environment. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Lab., 26, 92-96.
- Lapointe BE, and O'Connell JD. 1989. Nutrient-enhanced growth of *Cladophora Prolifera* in Harrington Sound, Bermuda: Eutrophication of a confined, phosphorus-limited ecosystem. Estuar. Coast. Shelf. Sci. 28, 347-360.
- Lapointe BE, Tomasko DA, and Matzie WR. 1994. Eutrophication and trophic state classification of seagrass communities in the Florida Keys. Bull. Mar. Sci. 54, 696-717.
- Largo DB and Ohno M. 1993. Constructing an artificial seaweed bed. In: Seaweed Cultivation and Marine Ranching. Ohno M and Chitchley AT, eds. JICA, Tokyo, 113-130.
- Larkum AWD and Wood WF. 1993. The effect of UV-B radiation on photosynthesis and respiration of phytoplankton, benthic macroalgae and seagrasses. phytoplankton, benthic macroalgae and seagrasses, photosyn. Res 36, 17-23
- Ledoyer M. 1968. Les caridea de la frondaison des herbiers de phanérogames de la région de Tulear. Etude systématique et écologique. Rec. Trav. St. Mar. Endoume Suppl. 8, 63-126.

- Lembi CA and Waaland J.R, 1989, *Algae and Human Affairs*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Levine HG, 1984, The use of seaweeds for monitoring coastal waters. In *Algae as Ecological Indicators*, L. E Shubert (ed.), 189-210, Academic Press, New York.
- Lewis III R.R, and E.D. Estevez, 1988, *The Ecology of Tampa Bay, Florida: An Estuarine Profile*, Biological Report 85, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C
- Linden O and Jernelov A, 1980, The mangrove swamp-An ecosystem in danger, *Ambio* 9: 81-88.
- Littler MM, and Murray SN, 1974 The Primary productivity of marine macrophytes from a rocky intertidal community, *Mar. Biol*, 27: 131-135.
- Maegawa M, Kunieda M and Kida W, 1993, The influence of ultraviolet radiation on the photosynthetic activity of several red algae from different depths, *Jap. J. Phycol*, 41, 207-214.
- Malecki RA, Blossey B, SD Hight D, Schoroeder Kok LT and Coulson JR, 1993, Biological control of purple loosestrife, *Bioscience* 43, 680-686.
- Marchant H.J, Davidson AT and Kelly GJ, 1991, UV-B protecting compounds in the marine alga *Phaeocystis pouchetii* from Antarctica, *Mar. Biol*, 109,391-395.
- Margalef R, 1958, Information theory in ecology, *Gen Syst* 3, 157-175.
- Maze J, Morand P and Potoky P, 1993, Stabilization of 'Green tides' *Ulva* by a method of composting with a view to pollution limitation, *J. Appl Phycol*, 5, 183-190.
- Meinesz A, Benichou L, Komatsu T, Lemee R, Molenaar H and Mari X, 1995, Variations in the structure, morphology and biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea, *Bot. Mar*, 38, 499-508.
- Merrill J and Fletcher R, 1991, Green tides cause major economic burden in Venice Lagoon, Italy, *Appl phycol Forum* 8(3), 1-3.
- Milne DH, 1995, *Marine Life and the Sea* Wadsworth, Belmont, Ca.
- Min DK, Lee JS and Je JG, 2004, *Mollusks in Korea*, Min Molluscan Research Institute
- Ministry of Education, 1996, *Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea*, vol. 36 Echinodermata, pp. 780.
- Mitsuo C and Masaaki M, 1997, *An Illustrated guide to marine plankton in Japan*, Tokai University Press, pp. 1574
- Morgan MD and Kitting CL, 1984 Productivity and utilization of the seagrass *Halodule*

- wrightii and its attached epiphytes, *Limnol Oceanogr* 29, 1066-1076.
- Norton T, 1977, The growth and development of *Sargassum muticum*, *J Exp Mar Bio Ecol* 26, 41-53.
- Norton TA and Benson MR, 1983, Ecological interactions between the brown seaweed *Sargassum muticum* and its associated fauna, *Mar Biol* 75, 169-177.
- Oak JH, 1999, Systematic studies on the genus *Sargassum*(Fucales, Phaeophyta) in Korea, Ph. D. Thesis, Seoul National Univ., 215pp.
- Ohno M, 1993, Succession of seaweed communities on artificial reefs in Ashizuri, Tosa Bay, Japan, *Algae* 8, 191-198.
- Parker JD, Duffy JE and Orth RJ, 2001, Plant species diversity and composition: experimental effects on marine epifaunal assemblages, *Mar Ecol Prog Ser* 224, 55-67.
- Parsons TR, Maita Y and Lalli CM, 1984, A Manual of chemical and biological methods for seawater analysis, Pergamon Press, New York, 173pp.
- Perez-Llorens JL and Niell FX, 1993, Seasonal dynamics of biomass and nutrient content in the intertidal seagrass *Zostera noltii* Hornem, from Palmones River estuary, Spain, *Aquat Bot* 46, 49-66.
- Pielou EC, 1966, The measurement of diversity in different types of biological collection, *J Theoret Biol* 13, 131-144.
- Post A and Larkum AWD, 1993, UV-absorbing pigments, photosynthesis and UV exposure in Antarctica: Comparison of terrestrial and marine algae, *Aquat Bot*, 45, 231-243.
- Preston MR, 1988, Marine pollution, In *Chemical Oceanography*, J.P. Riley(ed.), 53-196, Academic Press, Orlando.
- Proffit CE, Devlin DJ and Lindsey M, 1995, Effects of oil on mangrove seedlings grown under different environmental conditions, *Mar. Pollut. Bull*, 30, 788-793.
- Rai LC, Gaur JP and Kumar HD, 1981, phycology and heavy-metal pollution, *Biol. Rev.* 56, 99-151.
- Ribera MA and Boudouresque C-F, 1995, Introduced marine plants with special reference to macroalgae: mechanisms and impact, *Prog. Phycol. Res.* 11, 187-268.
- Robertson DE, 1972, Influence of the physico-chemical forms of radionucleides and stable trace elements in seawater in relation to uptake by the marine biosphere, In *OECD Marine Radioecology*, 21-76, Second ENEA Seminar, Washington, D.C.

- Round FE. 1981. *The Ecology of Algae*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ruess J. 1989. *Sargassum multicum* and other introduced Japanese macroalgae: Biological pollution of European Coasts. *Mar. Pollut. Bull.* 20, 173-176.
- Saito Y and Atobe S. 1970. Phytosociology study of intertidal marine algal 1. Usujiri Benten-Jima Hokkaido. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 21, 37-69.
- Sargent PJ, Leary TJ, Crewz DW and Kruer C.R. 1994. Scarring of Florida's Seagrasses: Assessment and Management, Technical Report 1H/94 Florida Marine Research Institute, St. Petersburg.
- Schiel DR and Foster MS. 1986. The structure of subtidal algal stands in temperate waters. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 24, 265-307.
- Schneider CW. 1981. The effect of elevated temperature and reactor shutdown on the benthic marine flora of the Millstone Thermal Quarry, Connecticut. *J. Therm. Biol.* 6, 1-6.
- Shannon CE and Weaver W. 1963. *The mathematical theory of communication*, Univ Illinois press Urbana, pp. 177.
- Short FT. 1987. Effects of sediment nutrients on seagrass: literature review and mesocosm experiment. *Aquat Bot* 27, 41-57.
- Sorokin YI. 1993. *Coral Reef Ecology*. Springer-Verlag, Berlin. (ed.). 1978. *Phytoplankton Manual*, UNESCO, Paris.
- Stevenson JC, Ward LG, and Kearney MS. 1986. Vertical accretion in marshes with varying rates of sea level rise. In *Estuarine Variability*, D.A. Wolfe (ed.), 241-259. Academic Press, New York.
- Stevenson JC, Ward LG, and Kearney MS. 1988. Sediment transport and trapping in marsh systems: Implications of tidal flux studies. *Mar. Geol.* 80, 37-59.
- Tefler A, Rivas JDL and Barber J. 1991. B-carotene within the isolated photosystem II reaction center: Photooxidation and irreversible bleaching of this chromophore by oxidized P680. *Bilchem. Biophys. Acta* 1060, 106-114.
- Tegner M. 1980. Multispecies consideration of resource management in southern California kelp beds. In *Proceedings of the Workshop on the Relationship between Sea Urchin Grazing and Commercial Plant/Animal Harvesting*, Canada Technical Report 954, J.D. Pringle, G.J. Sharp, and J.F. Caddy (eds.), 125-143. Fisheries Aquatic Science, Ottawa.

- Thayer GW, Bjorndal KA, Ogden JC, Williams SL and Zieman JC, 1984 Role of larger herbivores in seagrass communities, *Estuaries* 7, 351-376.
- The Korean Society of Systematic Zoology, 1997, List of animals in Korea(excluding insects), academybook, pp. 489.
- Thompson EQ, Stuckey RL, Thompson EB, 1967, spread, Impact, and Control of Purple Loosestrife (*Lythrum salicaria*) in North American Wetlands, Research Report 2, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Trowbridge CC, 1995, Establishment of the green alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* on New Zealand rocky shores: Current distribution and invertebrate grazers, *J. Ecol.* 83, 949-965.
- Tsuda RT, 1972, Morphological zonal and seasonal studies of two species of *Sargassum* in the reefs of Guam, Proc 7th Intl Seaweed Symp Univ Tokyo Press Japan, pp. 40-44.
- Umezaki I, 1963, Ecological studies of *Sargassum miyabei* Yendo in Maizuru bay, Japan Sea, *Bull. Jap. Soc. Fish.*, 49, 1825-1834.
- Vadas RL and Steneck RS, 1988, Zonation of deep water benthic algae in the Gulf of Maine, *J. Phycol.* 24, 338-346.
- Vadas RL, Keser M, Rusanowski PC, and Larson BR, 1976, The effects of thermal loading on the growth and ecology of a northern population of *Spartina alterniflora* In *Thermal Ecology II*, G.W. Esch and R.W. MacFarlane(eds.), 54-63, ERDA Symposium Series, Augusta.
- Valiella W, Foreman K, LaMontagne M, Hersh D, Costa J, Peckol P, DeMeo-Anderson BC, D'Avanzo M, Cabione C-H, Sham Brawley J, and Lajtha K, 1992, Couplings of watersheds and coastal waters: Sources and consequences of nutrient enrichment in Waquoit Bay, Massachusetts, *Estuaries* 15, 443-457.
- Vasquez JA and Guerra N, 1996, The use of seaweeds as bioindicators of natural and anthropogenic contaminants in northern Chile, *Hydrobiologia* 326/327, 327-333.
- Verlaque M and Fritayre P, 1995, Mediterranean algal communities are changing in face of the invasive alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, *Oceanol. Acta* 17, 659-672.
- Vincent WF and Roy S, 1993, Solar ultraviolet-B radiation and aquatic primary production: Damage, protection, and recovery, *Envir. Rev.* 1, 1-12.
- Watanuki A and Yamamoto H, 1990, Settlement of seaweeds on coastal structures,

- Hydrobiologia, 204/205, 275-280.
- Wilce RT, Schneider CW, Quinlan AV and van den Bosch K, 1982, The life history and morphology of a free living *Pylaiella littoralis*(Linnaeus) Kjellm. (Ectocarpaceae, Ectocarpales) in Nahant Bay, Massachusetts. Phycologia 21, 336-354.
- Wood WF, 1967, Effect of solar ultra-violet radiation on the kelp *Ecklonia radiata* Mar. Biol. 96, 143-150.
- Yamauchi K, 1984, The formation of *Sargassum* beds on artificial substrata by transplanting seedlings of *S. horneri*(Turner) C. agardh and *S. muticum*(Yendo) Fensholt. Bull Jap Soc Sci Fish 50(7), 1151-1123.
- Yoon HS and SK Choi, 2010, Length-weight Relationships for 19 Fish Species in *Sargassum* Beds of Gamak Bay, Korea. The Korean Society of Fisheries and Aquatic Sicience, 13(3), 254-256.
- Yoshida T, Sawada T and Higaki M, 1963, *Sargassum* vegetation growing in the sea around Tsuyazaki North Kyushu, Japan. Paci. Sci., 17, 135-144
- Yotsui T and Maesako N, 1993, Restoration experiments of *Eisenia bicyclis* beds on barren grounds at Tsushima Islands. Suisanzoshoku 41(1), 67-70.
- Yu OH, Soh HY and Suh HL, 2002, Seasonal zonation patterns of benthic amphipods in a sandy shore surf zone of Korea. J Chust Biol 22, 459-466.
- Yun SG, Byun SH, Kwak SN and Huh SH, 2002, Seasonal variation of caprellids (Crustacea: Amphipoda) on blades of *Zostera marina* in Kwangyang Bay, Korea. J Kor Fish Soc 35, 105-109.
- 고철환, 안인영, 1985, 저서식물의 군집구조와 생산성(죽도, 동해안) III. 알송이모자반(갈조류)의 성장과 생산성. 식물학회지, 28, 119-126.
- 국립수산과학원 남해수산연구소, 2006, 여수시 해조류 서식환경 실태조사. 95pp.
- 국립수산과학원 남해수산연구소, 2008, 경상남도 인공어초 적지조사보고서. 6-12
- 국립수산과학원 남해수산연구소, 2009, 연안해역 갯녹음 발생해역 조사보고서. 3-4
- 국립수산과학원 남해수산연구소, 2009, 전남 해중림 조성사업보고서. 1-2
- 국립수산과학원 제주수산연구소, 1992, 제주도 갯녹음 실태조사 보고서. 1-13
- 김남길, 1999, 갯녹음에 관하여. 한국양식 11(1), 43-55
- 김병국, 2006, 현장관측 및 수치실험에 의한 가막만의 해양환경에 관한 연구. 여수대학교(석사 학위 논문). 97pp.
- 김형근, 손철현, 강래선, 손용수, 2002, 갯녹음(백화)현상의 원인 규명 및 대책. 해양수산부.

263pp.

- 김형민, 2003. 가막만에 분포하는 대형저서동물의 계절적 분포 및 출현. 여수대학교 대학원 석사학위 논문. 37pp.
- 문찬일, 김길주, 이생동, 공용근, 1994. 1994년도 남해수산연구소 사업보고서. 국립수산진흥원 남해수산연구소 모자반 양식시험, 135pp.
- 민원기, 김동성, 최청일, 2003. 해초지와 주변 퇴적물에 서식하는 중형저서동물 군집 특성 비교. 한국해양학회지, 8(1), 1-13.
- 박진홍, 최성민, 박일웅, 김윤설, 윤호섭, 한경호, 최상덕, 2010. 가막만 모자반 군락지의 어류 종조성 및 계절변동 1. 사각통발에 의해 채집된 어류. 한국수산과학회 양식분과 춘계총회 및 학술발표대회 요약집.
- 서태호, 신현수, 박일웅, 김윤설, 윤호섭, 안윤근, 최상덕, 신종암, 2010. 여수 가막만 모자반의 생산량 추정. 한국수산과학총연합회 공동학술대회 요약집.
- 서태호, 신현수, 박일웅, 김윤설, 윤호섭, 안윤근, 최상덕, 신종암, 2010. 여수 가막만 모자반의 종조성 및 계절적 변동. 한국수산과학총연합회 공동학술대회 요약집.
- 유순애, 1975. 한국산 Fucales목(갈조류)의 분류학적 특성에 대하여. 서울대학교 석사학위논문, 145pp.
- 윤성규, 변성혜, 곽석남, 허성희, 2002. 광양만 깔피엽상에 서식하는 바다대벌레류의 계절변동. 한국수산학회지, 35(2), 105-109.
- 윤성규, 허성희, 곽석남, 1997. 깔피발 대형저서동물의 종조성과 계절변동. 한국수산학회지, 30(5), 744-752.
- 이규형, 1993. 가막만의 양식굴의 생산에 관한 수산 해양학적 연구. 부산수산대학교 대학원 박사학위 논문. 180pp.
- 이상석, 1991. 서식지 환경에 따른 모자반(*Sargassum fulvellum*) (Turner) C. agardh의 생장과 성숙. 부산수산대학 석사학위논문, 41pp.
- 이승환, 이성준, 박일웅, 김윤설, 윤호섭, 한경호, 최상덕, 2010. 가막만 모자반 군락지의 어류 종조성 및 계절변동 2. 두릿그물에 의해 채집된 어류. 한국수산과학회 양식분과 춘계총회 및 학술발표대회 요약집.
- 전남대학교, 2008. 여수시 해양수산 증장기발전 기본계획, 139-214.
- 정승진, 유옥환, 서해립, 2004. 광양만 깔피발에 서식하는 단각류의 계절변동과 식성. 한국수산학회지, 37(2), 122-128.
- 최상덕, 김양섭, 우찬열, 이용한, 조주현, 김두용, 최규정, 2000. 가막만에서 살포식 및 수하식 양식에 따른 피조개(*Scapharca broughtonii*)의 성장과 생존율. Bull. Fish. Sci. Inst.,

Yosu Nat'l Univ., 9, 122-127.

한국해양연구원, 2005. 전남다도해형 바다목장 기반조성사업 연구용역보고서(1단계 2차년도), 257-287.

허성희, 곽석남, 남기완, 1998. 광양만 갈피밭에서 갈피와 착생해조류의 계절변동. 한국수산학회지, 31(1), 56-62

谷口和也 等, 2008. 磯焼けの科學と修復技術. 恒星社厚生閣, 136pp.

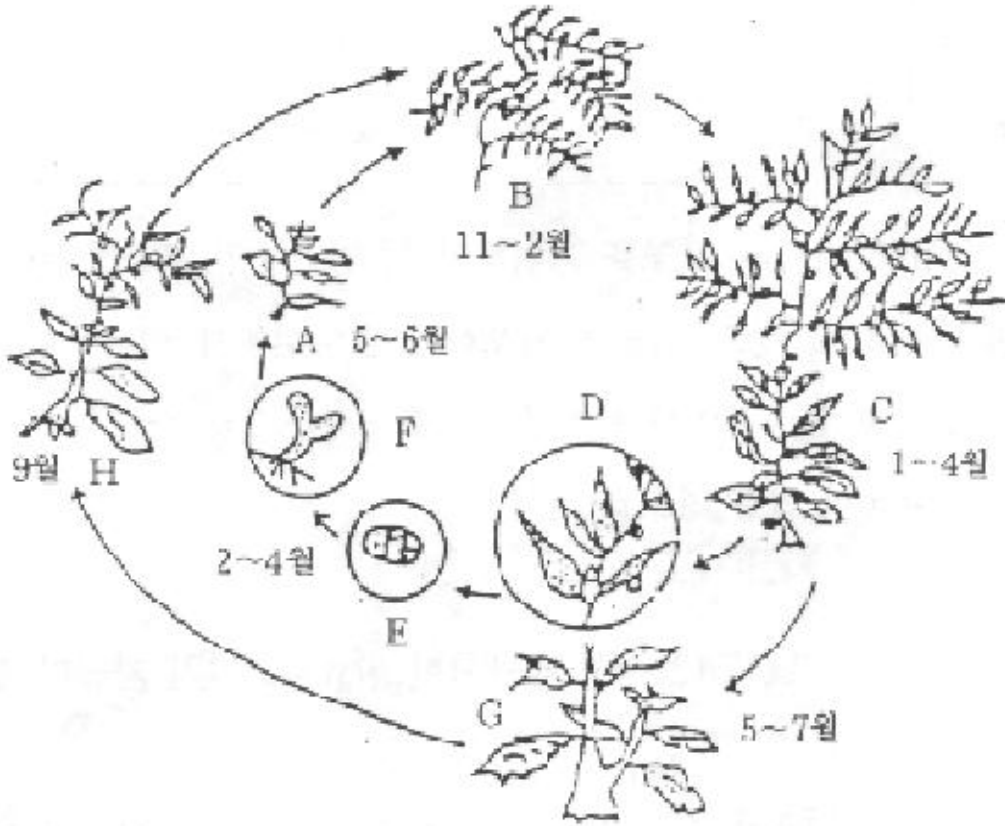
能登谷正浩, 2009. カジメ屬の生態學と藻場造成. 恒星社厚生閣, 48-51.

藤田大介 等, 2010. 藻場を見守り育てる知恵と技術. 成山堂書店, 1-10.

新崎盛敏, 堀越増與, 菊池泰二, 1981. 海藻・ベソトス. 東海大學出版會, 東京, 451pp.

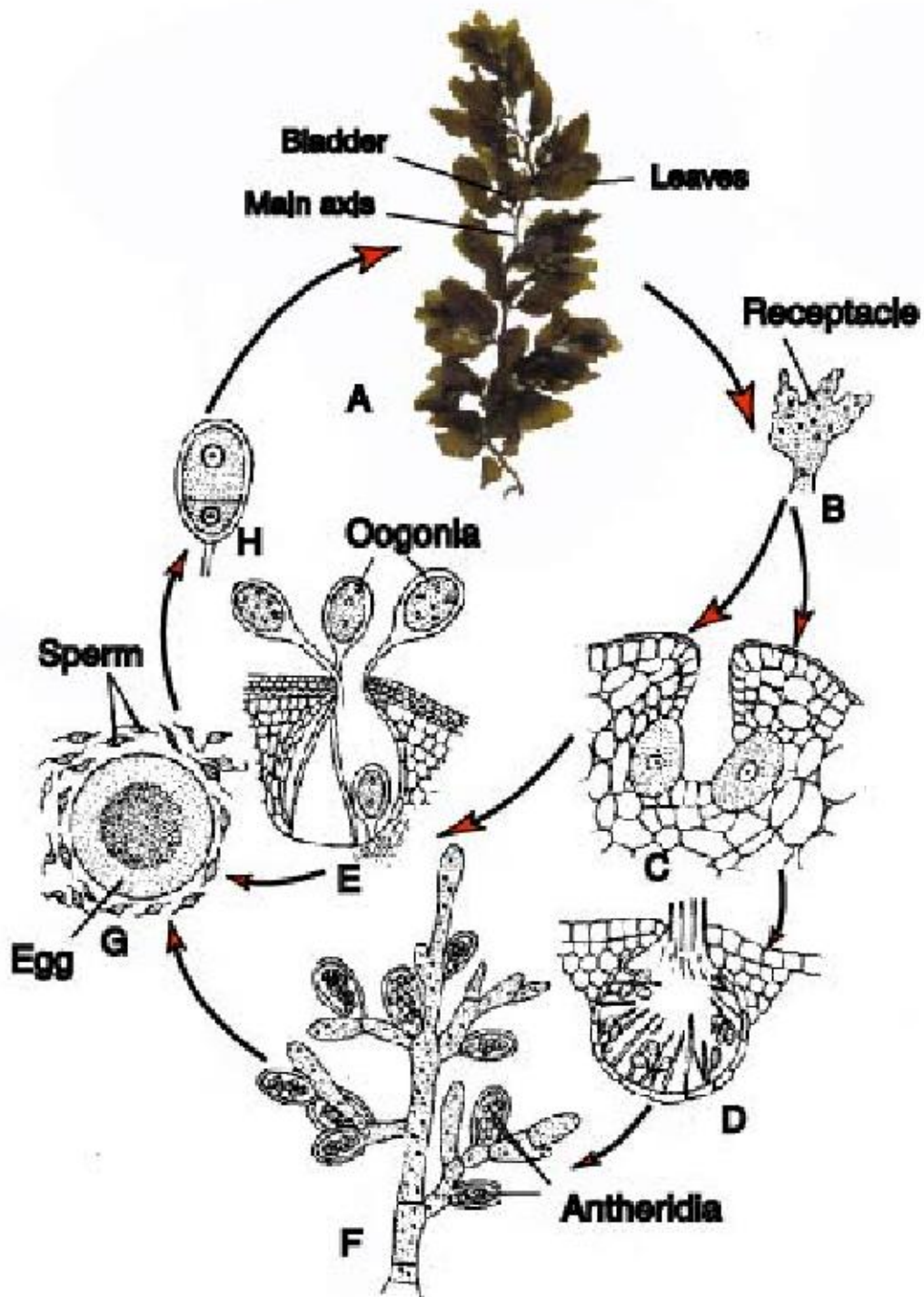
布施愼一郎, 1962. 가우 모場における動物群集. 生理生態, 11, 23-44

<부록>

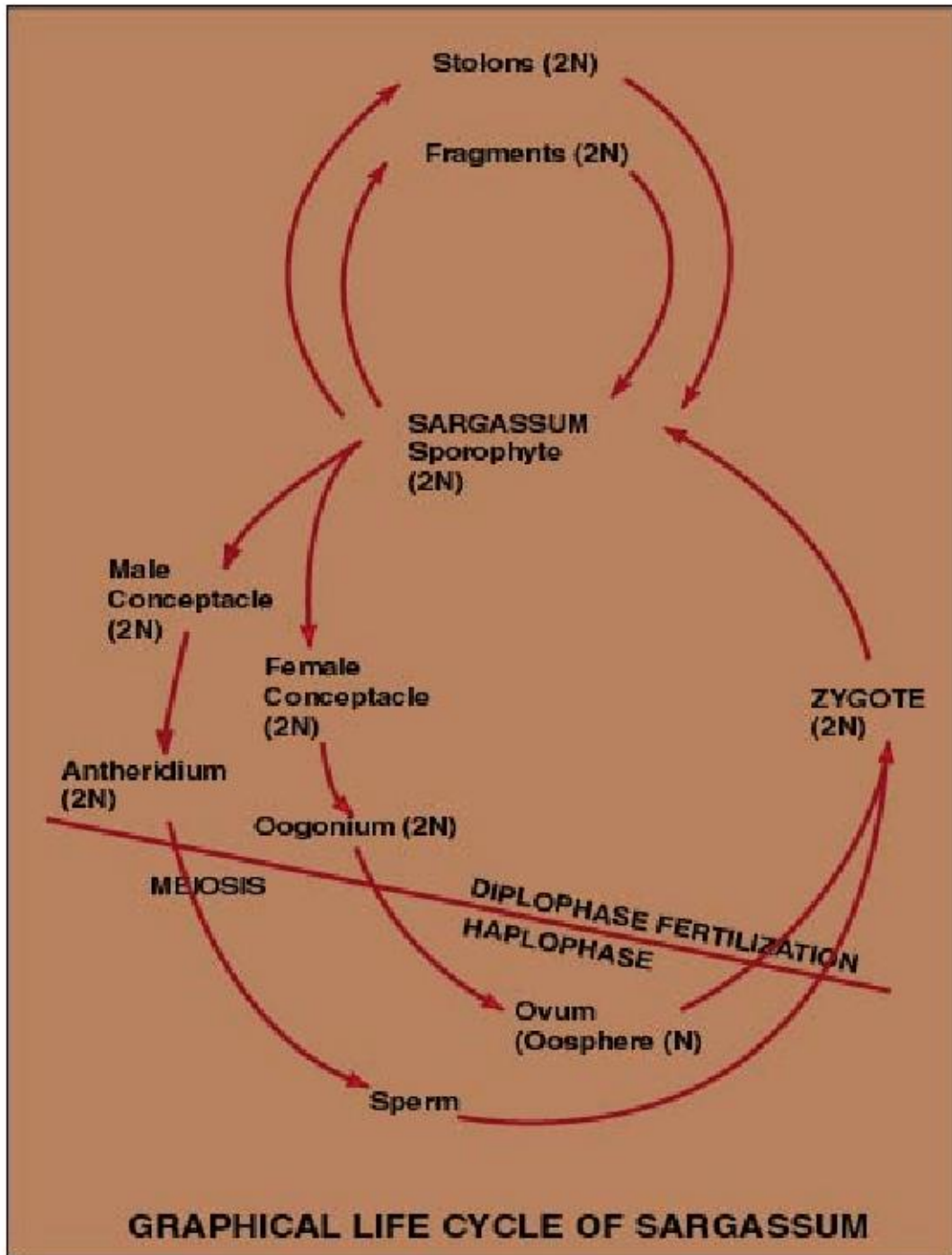


- A : 유체
- B : 성장중인 생체
- C : 성숙체 일부
- D : 잎 겨드랑이에 달린 생식기탁
- E : 방출직후
- F : 가근이 형성된 유배
- G : 유실된 줄기의 일부
- H : 유체에서 생긴 새싹

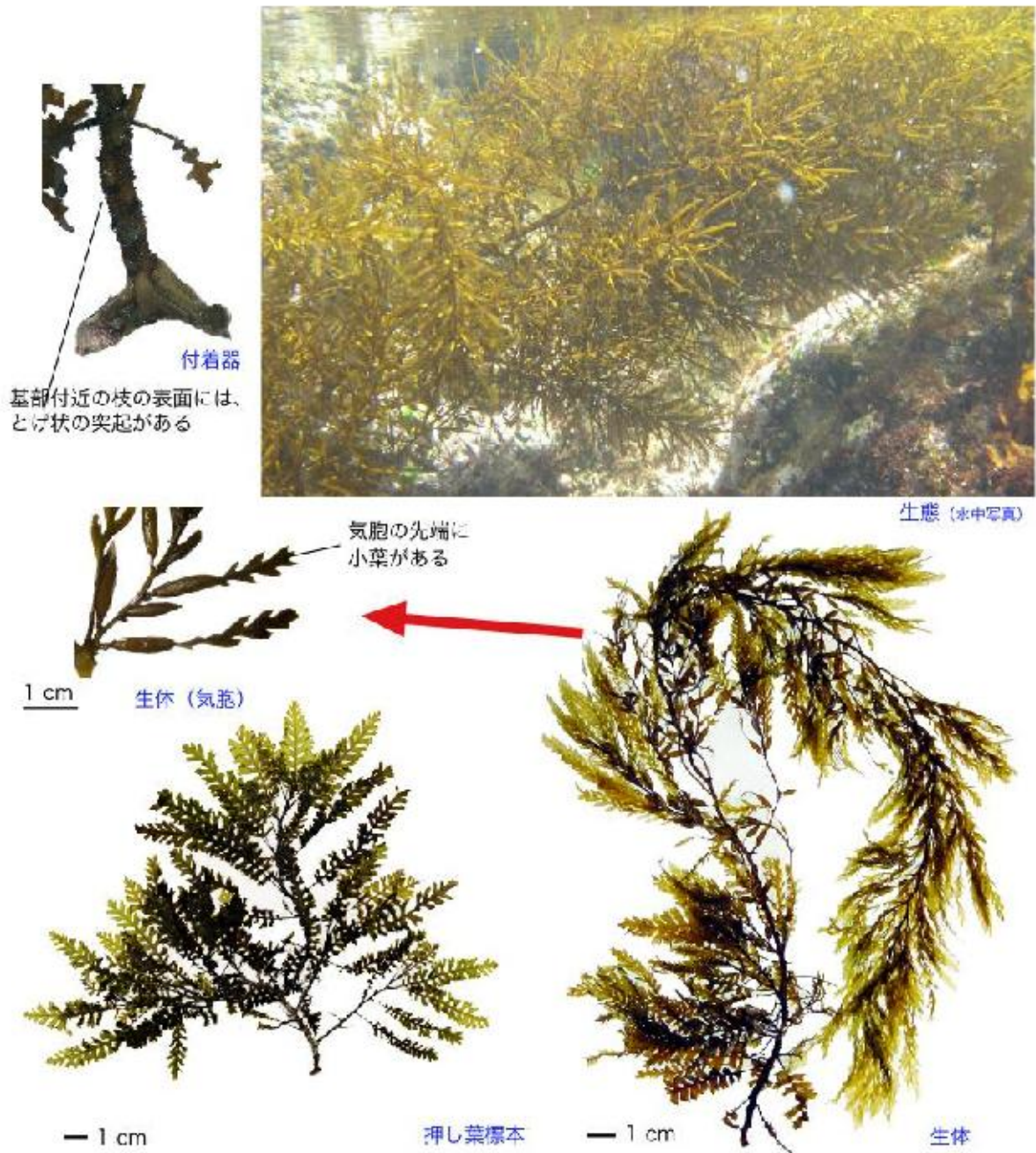
<모자반 생활사, NFRDI>



<*Sargassum* sp. 생활사 1>



<Sargassum sp. 생활사 2>



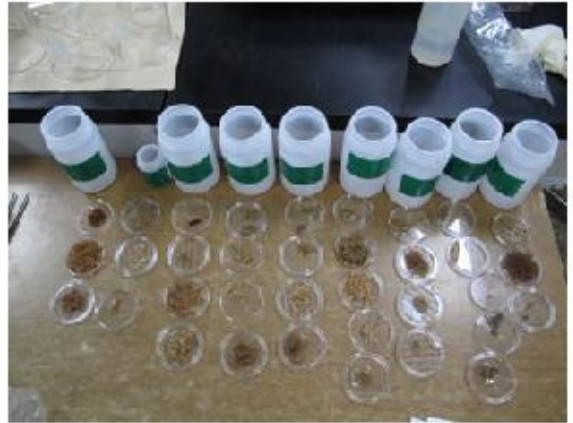
<평생이 모자반 특성에 관한 일본자료>



<모자반 분석 및 측정 사진>



<수질 및 해양생물 조사 사진>



<부착생물 종 분석 사진>



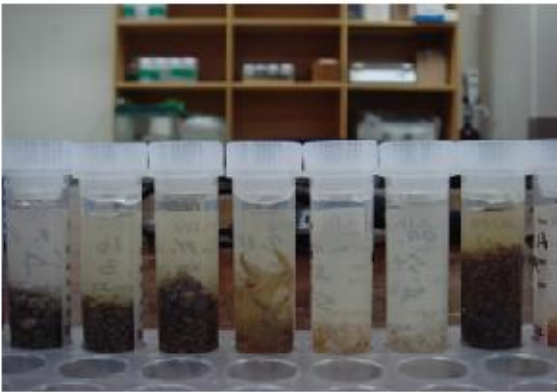
<부착생물 사진>



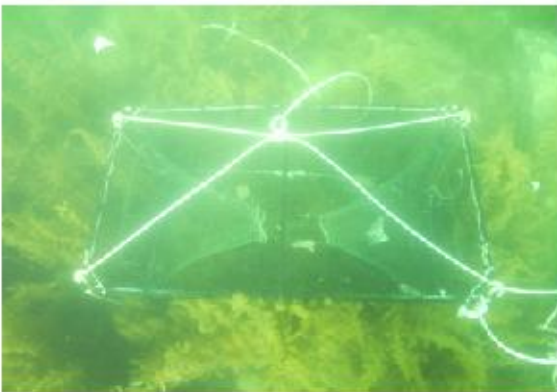
<부착생물 및 어류 위내용물 SEM분석>



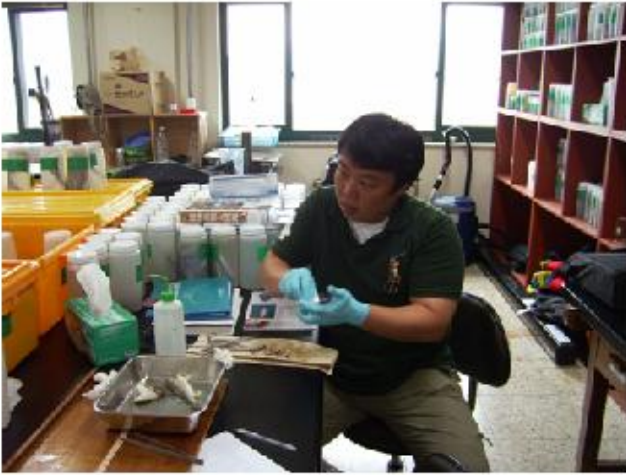
<부착생물 조사 사진>



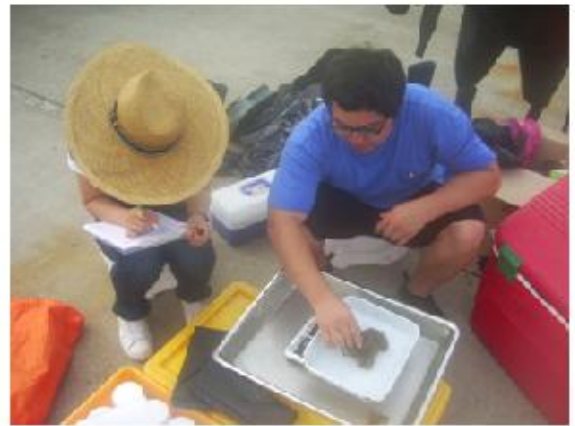
<부착생물 측정 사진>



<어류 조사 사진>



<어류 측정 사진>



<정선 조사 사진>



<최종 보고서 세미나 사진>