BSPE 00576-898-3

동해안 중부 안인해역 조하대 해조 군집에서 대형갈조류의 공간분포와 demography 특성에 관한 연구

Spatial distribution and demographic characteristics of some large brown algae in the subtidal algal community of the middle east coast of Korea

1996. 3.

한 국 해 양 연 구 소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 " 동해안 중부 안인해역 조하대 해조 군집에서 대형갈조류의 공간분포와 demography 특성에 관한 연구 "의 최종 보고서로 제출합니다.

1996년 2월

연구책임자 : 김 종 관

연 구 원 : 강 래 선 박 홍 식

요 약 문

I. 제 목

동해안 중부 안인해역 조하대 해조 군집에서 대형갈조류의 공간분포와 demography 특성에 관한 연구

II. 연구 개발의 필요성 및 목적

군집은 지역적인 최소단위내에서 생태학적 기능이나 동태를 같이하며 서로 상호작용을 갖는 생물의 집합체이다. 그러나 군집을 이루는 구성원의 종조성이나 풍도(abundance)는 시·공간적으로 매우 불규칙하게 변화한다.

연안 해역의 암반 조하대를 중심으로 형성된 저서 생물 군집의 경우에도 여러 가지 유형의 patch들이 존재한다. 이중 조하대의 canopy 또는 해중림을 이루는 대형 갈조류 중심의 patch들이 군집내에서 중심적인 기능을 하고 있다. 이들은 해조류의 성장에 필요한 광 또는 영양염을 대부분 흡수하여 다른 소형 종의 성장을 억제하며, 동시에 어류 또는 무척추동물을 포함한 다양한 분류군의 서식공간 또는 산란장으로 이용된다. 따라서 연안 암반에 형성된 저서 생물 군집에서 대형 갈조류를 patch 분포와 이 patch 의 동태를 살피는 것은 군집의 구조와 동태를 이해하기 위한 필수적인 작업에 해당한다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 강원도 명주군 안인리 일대의 조하대 암반에 형성된 저서 생물 군집에서 대형 갈조류의 공간분포를 연구하여 이 지역 생물 군집의 전체 구조와 이 구조 속에 존재하는 patch의 분포특성을 파악하고자 하였다. 또한 대형 갈조류의 demography에 관한 조사를 통해 시간 흐름에 따른 patch의 동태에 관한 기초자료를 확보하고자 하였다.

III. 연구 개발의 내용 및 범위

1. 군집내 대형 갈조류의 공간분포

1-1. 구성종의 조성
1-2. 구성종의 수직분포
1-3. 군집의 우점종
1-4. 대형 갈조류의 분포
1-5. 조사지역의 patch 종류와 구성

2. 주요 개체군의 demography 특성

1-1. 괭생이모자반(*Sargassum horneri*)
1-2. 알송이모자반(*Sargassum confusum*)
1-3. 다시마(*Laminaria japonica*)

IV. 연구개발의 결과 및 활용에 관한 건의

1995년 3월부터 1996년 1월까지 강원도 명주군 안인리 일대의 조하대 해조 군집에서 관찰된 해조류는 총 46종이었다. 이 중 주요 우점종은 엔도혹돌잎(*L. yendoi*), 괭생이모자반(*Sargassum horneri*), 알송이모자반 (*Sargassum confusum*), 다시마(*Laminaria japonica*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 비틀대모자반(*Sargassum sagamianum*)이었다.

생물량은 봄철인 1995년 3월부터 7월까지 급속히 증가하였고, 9월에 급속히 낮아짐을 볼 수 있었다. 이는 주요 우점종의 가입이후 성장과 성숙, 사망 등의 요인을 포함한 개체군 동태와 상관이 있다고 판단되었다. 즉, 괭생이모자반(*S. horneri*)과 알송이모자반(*S. confusum*)의 성장은 5월에 최대에 이르며, 7월에는 난 또는 정자의 방출후 중심가지(main branch)가 녹아들어 엽장이 줄어드는 경향을 보였다.

조사지점의 patch 구조는 (1) floating canopy로서 괭생이모자반(*S. horneri*)과 알송이모자반(*S. confusum*)이 이루는 각각 독립적인 patch와, (2)

stipitate canopy로서 다시마(*L. japonica*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 쇠미역사촌(*Costaria costata*)이 이루는 patch, (3) 붉은까막살(*Carpopeltis cornea*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*) 등의 직립분기형태의 종들이 파도의 영향을 강하게 받는 해수면 근처에서 형성하는 patch로 구분할 수 있었다.

괭생이모자반(*S. horneri*), 알송이모자반(*S. confusum*), 다시마(*L. japonica*), 미역(*U. pinnatifida*) 4 종을 대상으로 연도별 밀도의 변화를 살펴본 결과, 단년생 해조류인 괭생이모자반(*S. horneri*)과 미역(*U. pinnatifida*)의 밀도는 다년생인 알송이모자반(*S. confusum*), 다시마(*L. japonica*)에 비해 현저하게 변화하는 경향을 보였다. 이는 적어도 Dayton *et al.*(1984)이 patch의 형성에 대해 '모든 종들은 동시에 무리를 이루지만 서로 다른 생활사로 인해 patch의 조성이 결정되었다'라는 가정을 뒷받침하고 있다. 물론 이러한 결과에 대한 확신을 위해서는 최소한 보다 넓은 지역에서 장기간의 관찰을 요구한다.

patch 동태를 연구하기 위해서는 주요 개체군의 가입후 밀도변화를 추적하는 작업이 가장 중요하다. 본 연구에서는 괭생이모자반(*S. horneri*), 알송이모자반(*S. confusum*), 그리고 다시마(*L. japonica*)가 성장하여 안정된 상태에 있는 시기의 사망률을 부분적으로 조사하였다. 그렇지만 이 조사결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 보다 자세한 연구가 요구된다.

배양 실험의 결과, 다시마(*L. japonica*)의 배우체의 성장은 수온과 광조건에 따라 유의한 차이를 보였다($P<0.001$). 특히 8 $\mu E/m^2/sec$ 이상의 광조건에서는 18℃까지 수온이 증가할 수록 성장률도 높아지는 양상을 보였고, 18℃ 이상에서는 성장율이 낮아지거나 사망하는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

I. Title

Spatial distribution and demographic characteristics of some large brown algae in the subtidal algal community of the middle east coast of Korea

II. Objectives and significance

Community is that it should embrace the entire living fraction of a given system and that it is a functional unit, whose members interact. However, the composition and abundance of species in many communities is highly variable, both in space and time.

In subtidal rocky benthic communities there are distinct patch types composed of many algal species. Of them, the patches of large brown algae which can form floating canopy or subtidal algal forest are the most important. They can increase the species diversity of communities by offering a good habitat and spawning-bed to many varieties of fishes and invertebrates, while they can inhibit the growth of other prostrate algae in a same area by interrupting the penetration of the most light under them. In this respect, the study on the distribution and dynamics of patches composed of large brown algae give certain advantages for the understanding of structure and dynamics of the whole community.

Here, we attempt to distinguish the patch types by investigating the distributional patterns of large brown algae and to give a basic information for patch dynamics by studying the demographical characteristics of some dominant species in the subtidal habitat of large brown algae on the rocky coast of Ahnin, Korea.

III. Contents and scope

1. Spatial distribution of large brown algae in the community

   1-1. Species composition of the community
   1-2. Vertical zonation pattern of the community
   1-3. Dominant species of the community
   1-4 Spatial distribution of large brown algae in the community
   1-5. Patch types and the major components of the patches

2. Demography of some major component populations

   2-1. *Sargassum horneri* population
   2-2. *Sargassum confusum* population
   2-3. *Laminaria japonica* population

IV. Results and suggestion

A total of 46 taxa of algal species were occured at the study site of the subtidal rocky benthic communities on the coast of Ahnin. Dominant species were *Lithophyllum yendoi*, *Sargassum horneri*, *Sargassum confusum*, *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*, and *Sargassum sagamianum*. Alagl biomass of the communty rapidly incerased in spring season and remarkbly decreased in September.

The changes in biomass of community were rather related to the population growth and dynamics of the major components. *S. horneri* and *S. confusum* had maximum frond length and weight in May, but their average length and weight of fornds decreased, because of releasion of

reproductive cells and decomposion of main branches in summer season.

Patch types in the study site include (1) each distinct patch of *S. horneri* and *S. confusum* that can be categorized into a floating canopy guilds (Dayton *et al.* 1984); (2) a patch composed of kelp species such as *L. japonica*, *Undaria pinnatifida*, and *Costaria costata* that can be categorized into a stipitate canopy; and (3) a patch composed of coarsely branched algae such as *Carpopeltis cornea*, *Lomentaria catenata*, and *Lomentaria catenata* that can form densely packed vegetation layers in the surf wrack zone near the surface.

In the study of population density for *S. horneri*, *S. confusum*, *L. japonica*, and *U. pinnatifida* the annual species *S. horneri* and *U. pinnatifida* showed remarkble changes in comparision to the perennial plants *S. confusum* and *L. japonica*. This might somewhat be able to support the nonexclusive hypothesis of Dayton *et al.* (1984) - all species colonize together, but different life-history phenomena alone determine the composition of the patch.

In general, for the study of patch dynamics it is the most necessary to detect the changes in density of the major components after their previous recruitments. Hence, we investigated the mortality of three populations of *S. horneri*, *S. confusum*, and *L. japonica* during three months that they could have grown up to be stable. Such results ,however, do not give any solid explanation for patch dynamics and further research is necessary to get more significant results.

L. japonica gametophytes exhibited significant differences in growth patterns in relation to temperature and irradiance conditions($P<0.001$). In higher irradiances than 8 $\mu E/m^2/sec$ the growth rate increased as temperature increased up to 18℃. Higher temperature than 18℃ resulted in inhibition of growth or death in some cases.

목 차

요약문 3

그림 목차 13

표 목차 15

제 1장 서 론 17

제 2장 재료 및 방법 19

제 3장 결과 및 고찰 22

3-1. 군집내 대형 갈조류의 공간분포 22

3-1-1. 군집내 구성종의 조성 22
3-1-2. 구성종의 수직분포 23
3-1-3. 군집의 우점종 25
3-1-4. 대형 갈조류의 분포 25
3-1-5. 조사지역의 patch 종류와 구성 30

3-2. 주요 개체군의 demography 특성 32

3-2-1. 괭생이모자반 (*Sargassum horneri*) 32

1) 엽장과 엽중 32
2) 각 부위의 성장 34
3) 밀도의 변화와 엽장의 조성 34

3-2-2. 알송이모자반 (*Sargassum confusum*) 36

1) 엽장과 엽중 36
2) 각 부위의 성장 38
3) 밀도의 변화와 엽장의 조성 39

3-2-3. 다시마 (*Laminaria japonica*) 41

1) 엽장과 엽중 41
2) 각 부위의 성장 41
3) 밀도의 변화와 엽장의 조성 43
4) 다시마의 배우체의 성장과 생존에 미치는
수온과 광량의 영향 45

제 4장 요약 및 결론 49

참고문헌 51

부 록 54

CONTENTS

Abstract 3

List of figures 13

List of tables 15

Chapter 1. Introduction 17

Chapter 2. Materials and methods 19

Chapter 3. Results and discussion 22

3-1. Spatial distribution of large brown algae in the community 22

3-1-1. Species composition of the community 22
3-1-2. Vertical zonation pattern of the community 23
3-1-3. Dominant species of the community 25
3-1-4. Spatial distribution of large brown algae 25
3-1-5. Patch types and the major components of the patches 30

3-2. Demography of some major component populations 32

3-2-1. *Sargassum horneri* population 32

1) Changes in frond length and frond weight 32
2) Growth pattern of all part of *S. horneri* 34
3) Changes in density and size frequency of the population 34

3-2-2. *Sargassum confusum* population 36

1) Changes in frond length and frond weight 36
2) Growth pattern of all part of *S. confusum* 38
3) Changes in density and size frequency of the population 39

3-2-3. *Laminaria japonica* population 41

1) Changes in frond length and frond weight 41
2) Growth pattern of all part of *L. japonica* 41
3) Changes in density and size frequency of the population 43
4) The effect of temperature and light intensity on the growth and survival of the gametophytes of *L. japonica* 45

Chapter 4. Summary and conclusion 49

References 51

Appendix 54

List of Figures

Fig. 1. Map of middle-east coast of Korea showing the location of the study site at Ahnin. 20

Fig. 2. Vegetation map of the study site in spring 1995. Vertical zonation pattern is not significantly recognized. 24

Fig. 3. Distribution of four canopy species, *Sargassum horneri, Sargassum confusum, Laminaria japonica,* and *Undaria pinnatifida* within the study site in March 1995. Density is represented by the number of plotted marks. 27

Fig. 4. Distribution of four canopy species, *Sargassum horneri, Sargassum confusum, Laminaria japonica,* and *Undaria pinnatifida* within the study site in the mouth of January 1996. Sharp decline in density of *S. horneri* and *U. pinnatifida* occurred. 29

Fig. 5. Complete chi-square matrix for 25 quadrates in May 1995. Bold values are significant relationships among the 17 species. 31

Fig. 6. Individual growth of the floating canopy species, *Sargassum horneri* in the study site at Ahnin. 33

Fig. 7. Size-frequency distributions of *Sargassum horneri* in a permanent quadrates (0.25 m^2). Number of individuals in the quadrates slightly decreased from March to April 1995. 35

Fig. 8. Individual growth of the floating canopy species, *Sargassum*

confusum in the study site at Ahnin. 37

Fig. 9. Size-frequency distributions of *Sargassum confusum* in a permanent quadrates (0.25 m^2). 40

Fig. 10. Individual growth of the stipitate canopy species, *Laminaria japonica* in the study site at Ahnin. 42

Fig. 11. Size-frequency distributions of *Laminaria japonica* in a permanent quadrates (0.25 m^2). Number of individuals in the quadrates markedly increased after spore releasing and subsequent recruitment of young sporophytes. 44

Fig. 12. Growth of *Laminaria japonica* gametophytes under different temperatures and irradiances: vertical bars indicate confidence limit (p=0.05, n=60). 46

Fig. 13. Survival of *Laminaria japonica* gametophytes under different temperatures and irradiances: vertical bars indicate confidence limit (p=0.05, n=30). 46

List of tables

Table 1. Species composition of the subtidal communities at Ahnin. Data are number of species for each taxonomical and functional-form group (Littler and Arnold 1982). 22

Table 2. Dominant species and their percent coverage in study area. Data are from 25 quadrates (0.25 m^2), 5 in each depth. 26

Table 3. Analysis of variance (Two-way ANOVA without replication) for the growth (number of cells per plant) of *Laminaria japonica* gametophytes under different temperatures and irradiances. *0.05>p>0.01, **0.01>p>0.001, ***p<0.001, n.s. not significant at p=0.05. 48

Table 4. Analysis of variance (Two-way ANOVA without replication) for the survival of *Laminaria japonica* gametophytes under different temperatures and irradiances. *0.05>p>0.01, **0.01>p>0.001, ***p<0.001, n.s. not significant at p=0.05. Percentage data were arcsine-transformed prior to analysis. 48

제 1 장 서 론

군집은 지역적인 최소 단위 내에서 생태학적 기능이나 동태를 같이하며 서로 상호작용을 갖는 생물의 집합체이다(Putman 1994). 그러나 군집을 이루는 구성원의 종조성이나 풍도(abundance)는 시·공간적으로 매우 불규칙하게 변화한다(Benedetti-Cecchi and Cinelli 1994). 이러한 변화의 주된 원인은 군집 내에서 일어나는 모든 생물학적 또는 무생물학적 작용이 그 세기와 형태에 있어 공간적으로 많은 차이를 보이기 때문이다. 시간적인 움직임도 매우 중요하다. 구성원은 출생과 사망을 반복하고, 환경이 변화하면 스스로 이에 적응하는 전략으로 출생과 사망의 평형을 조절하는 가운데 연관된 다른 종의 풍도에도 영향을 미치게 된다(Miles 1979).

환경조건이 유사한 좁은 지역에서도 공간적인 차이를 보인다. 이러한 공간적인 차이, 즉 patch의 형성원인은 각 군집에 작용하는 교란이고, 교란이후 군집이 재형성되는 방식에서 교란이전과 차이가 발생하기 때문이다(Dayton 1971, Sousa 1979, 1984, 1985, Paine and Levin 1981, Dayton *et al.* 1984, 1992, Dethier 1984, Pockett and White 1985, Farrell 1989). 군집의 구조에 미치는 교란의 역할은 다양하다. 즉, 계를 불안정한 상태로 떨어뜨려 climax assemblages를 파괴하는 부정적인 역할을 하거나, 반대로 특정한 우점종에 의한 배타적 경쟁(competitive exclusion)을 막아줌으로써 군집의 다양성을 향상시키는 긍정적인 역할을 하며, 또한 군집의 동태에 필수적인 부분으로 작용하거나 또는 한 지역을 steady state로 유지시키는 필수적인 역할을 한다(Dethier 1984).

연안 해역의 암반 조하대를 중심으로 형성된 저서 생물 군집의 경우, 여러 가지 유형의 patch들이 존재한다. 이들을 형태적인 적응과 기능을 중심으로 다음과 같이 구분할 수 있다. 즉, 기포낭으로 표층을 덮는 *Sargassum* canopy, 비교적 긴 경상부(stipe)와 넓은 엽상부로 소유하여 기질부근의 일정 면적을 덮을 수 있는 *Laminaria* canopy, 짧은 줄기와 적은 엽상체의 포복성(prostrate) canopy, 그 외 사상, 단열로 타래진 소규모 해조류 또는 분기각상형(articulated coralline algae)의 해조류무리, 그리고 각상형(encrusting coralline algae)의 해조류 무리들이다(Dayton *et al.* 1984).

그러나 이들 중에서 조하대의 canopy 또는 해중림을 이루는 대형 갈조류 중심의 patch들이 군집 내에서 중심적인 기능을 하고 있다. 이들은 해조류의 성장에 필요한 광 또는 영양염을 대부분 흡수하여 다른 소형 종의 성장을 억제하며, 동시에 어류 또는 무척추동물을 포함한 다양한 분류군의 서식공간 또는 산란장으로 이용되어 군집구조를 다양하게 유지한다(Mann 1972, 1973). 따라서 연안 암반에 형성된 저서 생물 군집에서 대형 갈조류를 patch 분포와 이 patch 의 동태를 살피는 것은 군집의 구조와 동태를 이해하기 위한 필수적인 작업에 해당한다고 볼 수 있다. 물론 이러한 작업은 우리 나라와 같이 연안 암반 저서 생물 군집의 많은 구성원을 수산 자원으로 활용하고 있는 나라에서 시행하는 연안역 생태계의 합리적 이용 및 관리기술의 개발을 위해서도 매우 의미 있는 일이다.

본 연구에서는 강원도 명주군 안인리 일대의 조하대 암반에 형성된 저서 생물 군집에서 주요 구성원인 대형 갈조류의 공간분포와 demography 특성을 연구하였다. 이들의 공간분포를 연구하는 목적은 이 지역 생물 군집의 전체 구조와 이 구조 속에 존재하는 patch의 분포특성을 파악하기 위함이었다. 또한 대형 갈조류의 demography에 관한 조사는 시간 흐름에 따른 patch의 동태에 관한 기초자료를 확보하기 위함이었고, 그 대상 종은 괭생이모자반(*Sargassum horneri*), 알송이모자반(*Sargassum confusum*), 그리고 다시마(*Laminaria japonica*) 3 종이었다. 다시마(*L. japonica*)의 demography에 관한 연구 중에는 배우체의 성장과 생존에 미치는 수온과 광량의 영향을 조사하여 이들의 가입에 미치는 환경요인의 작용을 이해하고자 하였다.

제 2 장 재료 및 방법

본 조사는 크게 두 가지로 구성되었다. 우선 대상해역의 군집구조를 살피고 주요 개체군의 demography를 이해하는 작업은 계획된 조사지점에서 현장조사를 통해 진행되었고, 다시마(*L. japonica*)의 demography에 관한 연구중 배우체의 성장, 성숙에 미치는 환경요인의 작용을 이해하고자 하는 작업은 실내실험을 통해 진행되었다.

현장조사는 1995년 3월부터 1995년 7월까지 강원도 명주군 강동면 안인리에서 남쪽으로 약 2 km 떨어진 암반 조하대에서 매월 수행되었고, 1995년 7월부터 1996년 1월까지는 2 개월 간격으로 실시되었다. 조사지점은 해안선을 따라 돌출된 암반을 중심으로 파도의 영향을 강하게 받지 않는 은닉된 곳이다. 수심은 5 메타 이내이며, 해안선을 따라 조사 가능한 거리도 불과 20 메타 내외로 짧다(Fig. 1).

조사방법은 해안선을 따라 10 메타 거리를 기준으로 수심 5 메타까지를 조사면적으로 삼아 매 수심별 2 메타 간격으로 50 x 50 cm^2 크기의 방형구로써 조사하였다. 방형구내에 출현하는 해조류의 양은 피도(coverage)의 개념에서 조사되었다. 이 피도를 근거로 군집을 구성하는 종들의 우점도와 대형 갈조류의 분포특성을 파악하였고, 조사정점(stand)간 또는 종간의 유사도를 구하여 군집내 존재하는 patch를 구분하는 기초자료로 이용하였다.

대형 갈조류의 demography에 관한 조사는 괭생이모자반(*Sargassum horneri*), 알송이모자반(*Sargassum confusum*), 그리고 다시마(*Laminaria japonica*) 3 종을 대상 종으로 삼았다. 각 종의 개체성장과 성숙을 조사하기 위해 현장조사시마다 일정한 개체수를 무작위로 채집하였다. 밀도는 방형구에 나타나는 값을 기준으로 하여 구하였고, 현존량은 무작위로 채집된 표품으로부터 구한 생중량과 밀도를 토대로 구하였다.

다시마의 배우체의 성장과 생존에 미치는 수온과 광량의 영향에 관한 배양실험은 1995년 7월중에 실시되었다. 실험을 위한 기초적인 준비로써 1 일생 배우체를 만들어 Temperature/irradiance gradient system에 투입하기 전까지의 과정은 다음과 같다. 즉, 성숙한 포자엽을 멸균 해수 250 ml에 유주자 현탁액을 만들어, 5.5 x 1.2cm 크기에 25 ml의 1/2 PES 배지가 든 petri dishes

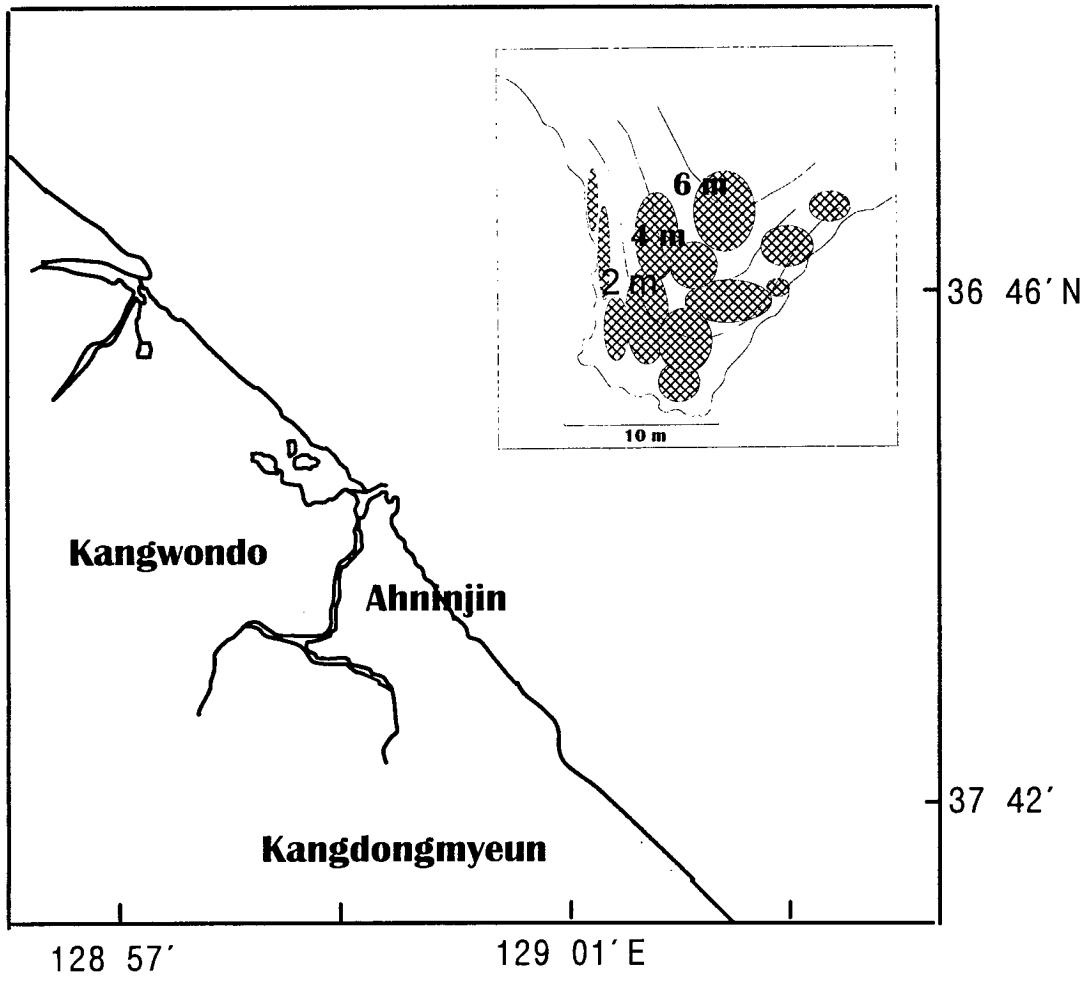

Fig. 1. Map of middle-east coast of Korea showing the location of the study site at Ahnin.

200 개에 각각 1 ml의 현탁액을 접종하였다. 접종후 petri dish를 잘 흔들어 수온 15 ℃, 광량 20μE/m^2/sec 조건하에서 24 시간 배양하였다. 이때 petri dish 배우체의 밀도는 81.1 ± 13.3 individuals/ mm^2 였다.

TIGS의 실험계획은 난괴법(randomized block design)에 따라 반복이 없는 이원배치법(two-way layout without replication)으로 실험하였다. 수온조건은 6℃~26℃ 까지 2℃ 간격이었으며, 광조건은 32, 16, 8, 4 μE/m^2/sec 였다. 실험기간은 4 주간 배양하여 매주 관찰하였다. 광주기는 L:D = 12:12로 유지하였고, 배양시에는 비이커에 PES 배지를 첨가하고, air bubling을 통해 영양염을 공급을 용이하게 하였다. 각 비이커에는 3 개씩의 페트리 디쉬를 수용하여 실험시 오류에 대비하였다.

제 3 장 결과 및 고찰

1. 군집내 대형 갈조류의 공간분포

가. 군집내 구성종의 조성

1995년 3월부터 1996년 1월까지 본 조사 지역의 조하대 해조 군집에서 관찰된 해조류는 총 46종이었다. 분류군별로는 녹조류 7 종, 갈조류 13종, 그리고 26종의 홍조류가 관찰되었다(Table 1).

Table 1. Species composition of the subtidal communities at Ahnin. Data are number of species for each taxonomical and functional-form group (Littler and Arnold 1980).

Division	No. of species	Functional form	No. of species
Chlorophyta	7 (16.3 %)	thin tubular and sheet like	5 (10.9 %)
Phaeophyta	13 (28.3 %)	delicately branched	11 (23.9 %)
Rhodophyta	26 (56.5 %)	coarsely branched	20 (43.5 %)
		thick blades and branches	7 (16.3 %)
		articulated calcareous	2 (4.3 %)
		encrusting coralline algae	1 (2.1 %)
Total	46 (100.0 %)		46 (100.0 %)

이들 각 구성종을 기능형태군(functional-form groups)으로 구분해 볼 때 (Littler and Littler 1980), 생활사(life span)가 짧고 천이의 초기 단계에서 주로 출현하는 막상형(thin tubular and sheet like algae) 또는 사상형(delicately branched algae)은 35 종으로 전체 구성종의 35%에 달하였다. 또한 광합성 효

율이 낮고 일차생산자로서 물질생산의 기여도가 낮은 각상형(encrusting coralline algae)과 분기각상형(articulated coralline algae)은 *Lithophyllum yendoi, Alatocladia modesta,* 그리고 *Corallina pilulifera* 3종만이 관찰되었다. 반면, 생활사 비교적 길고 물질생산력이 높은 직립분기형(coarsely branched)은 20 종으로 전체 구성종의 43.5 %로 가장 많았고, 대형 갈조류 중심의 다육질형(thick blades and branches)은 7 종으로 전체 구성종의 16.3 % 였다 (Table 1, Appendix 1).

나. 구성종의 수직분포

해조류의 생물량이 가장 많아지는 봄철 조사지점의 조하대 해조류의 분포를 볼 때, 수심 0.5 메타까지 파도에너지의 영향을 강하게 받는 surf wrack zone(Grace 1983)에서는 주로 직립분기형태(coarsely branched)인 붉은까막살(*Carpopeltis cornea*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*), 우뭇가사리(*Gelidium amansii*), 보라우무(*Symphyocldia latiuscula*), 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 뼈지누아리(*Grateloupia divaricata*) 등이 혼생하는 층을 이루고, 수심 1 메타에서는 엽장 50 cm 이하의 비교적 소형종인 비틀대모자반(*Sargassum sagamianum*), 삼나무말(*Coccophora langsdorfii*)이 좁은 띠(band) 모양의 수관을 이루고 있었다. 수심 2 메타부터 수심 4 메타까지는 대형인 괭생이모자반(*Sargassum horneri*)이 직경 약 4 메타 크기의 patch를 이루고, 이 수관이 없는 곳에서는 다시마(*Laminaria japonica*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 쇠미역사촌(*Costaria costata*)와 같은 미역과(Alariaceae)의 kelp류가 산발적으로 분포하였다. 빛에너지를 많이 받지 못하는 암반의 측면이나 수관아래서는 민자루다홍풀(*Dasya sessilis*), 털엇가지풀(*Heterosiphonia purchra*) 등의 생활사(life span)가 짧고 소형인 사상형(delicately branched algae) 들이 소량 분포하였다. 수관아래 또는 엽상형의 해조류가 분포하지 않는 곳에서는 대부분 각상형(encrusting coralline algae)인 엔도혹돌잎(*Lithophyllum yendoi*)이 기부를 이루고 있었고, 수심 4 메타 이하에서는 암반이 산발적으로 분포하고 모래질의 퇴적물이 파도의 영향에 따라 왕성하게 재 부유하여 해조류의 생물량이 매우 빈약하였다. 분포하는 해조류는 미끈뼈대그물말(*Dictyopteris divaricata*)

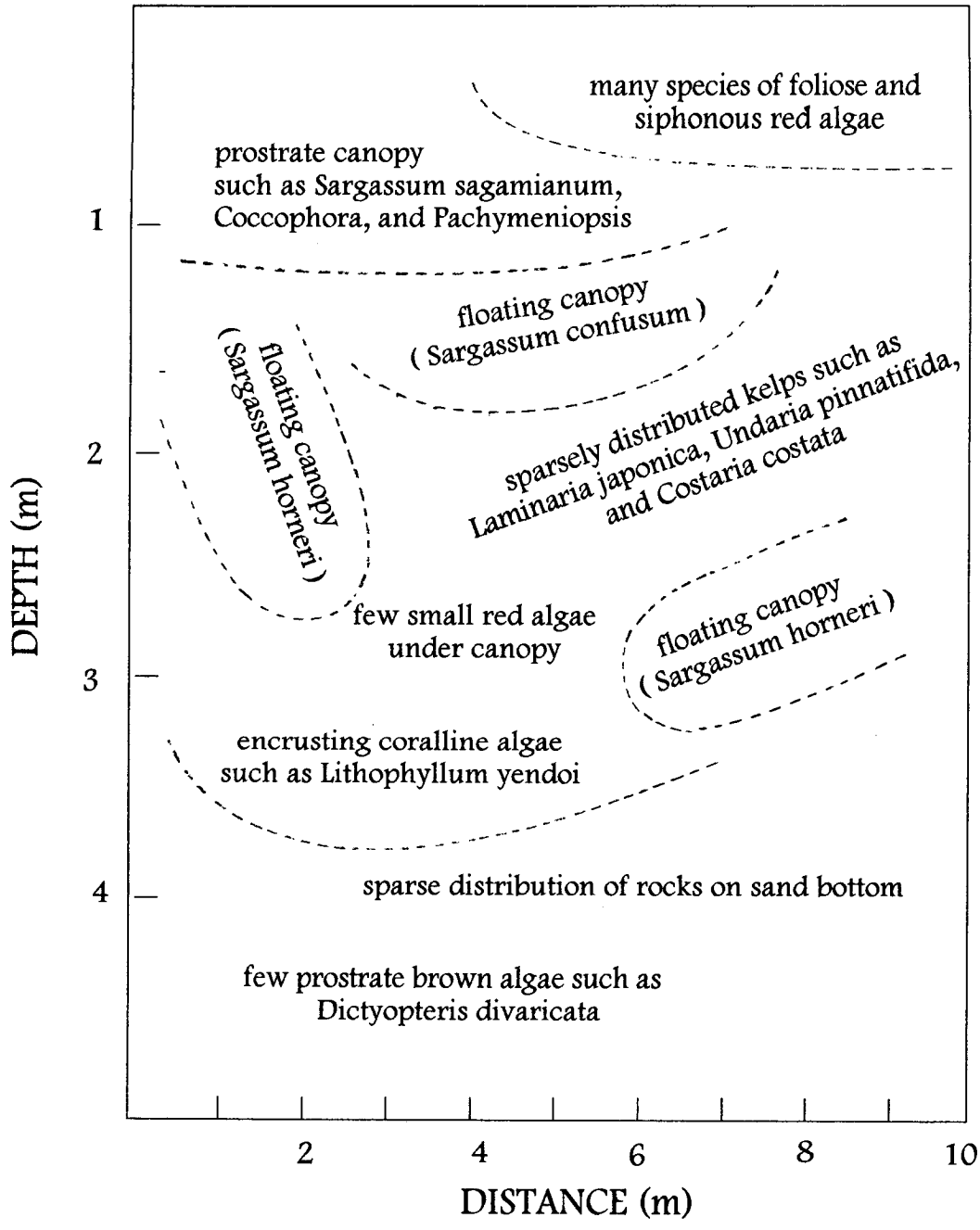

Fig. 2. Vegetation map of the study site in spring 1995. Vertical zonation pattern is not significantly recognized.

로 그 생물량은 매우 적었다(Table 2).

다. 군집의 우점종

조사시기마다 해안선을 따라 10 메타 거리를 기준으로 수심 5 메타까지를 조사면적으로 삼아 매 수심별 2 메타 간격으로 50 x 50 cm^2 크기의 방형구로써 중요 해조류의 피도를 조사한 결과, 엔도혹돌잎(*Lithophyllum yendoi*)을 포함한 15 종이 연간 평균 피도 1 % 이상으로 우점하는 것으로 나타났다. 피도 5 % 이상 우점도가 매우 높은 종은 엔도혹돌잎(*L. yendoi*), 괭생이모자반(*Sargassum horneri*), 알송이모자반(*Sargassum confusum*), 다시마(*Laminaria japonica*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 비틀대모자반(*Sargassum sagamianum*)이었고, 엔도혹돌잎(*L. yendoi*)을 제외하고는 모두 조하대에서 수관(canopy)을 이루는 종들이었다. 피도로써 이 지역의 생물량 변화를 살펴볼 때, 봄철인 1995년 3월부터 7월까지 해조류의 피도는 증가하고, 9월에 급속히 낮아짐을 볼 수 있었다. 9월 이후로는 다시 점진적으로 증가하는 경향을 보였다(Table 2).

라. 대형 갈조류의 분포

조사지점에서 대형 갈조류의 분포에 관한 조사는 연간 평균피도가 5 % 이상인 우점종중 수심 2 메타 이하에서 주요한 수관을 이루는 괭생이모자반(*S. horneri*), 알송이모자반(*S. confusum*), 다시마(*L. japonica*), 미역(*U. pinnatifida*) 4 종만을 대상으로 실시하였다. 1995년 5월에 조사된 위 4 종의 공간분포를 볼 때, 각각의 피도 값을 나타낸 Table 2에서와 같이 괭생이모자반(*S. horneri*)의 밀도가 가장 높고, 그 밀도는 지점에 따라 집중되는 patch 분포의 특성을 나타내었다. 알송이모자반(*S. confusum*) 역시 patch 분포의 특성을 보인다. 다시마(*L. japonica*)와 미역(*U. pinnatifida*)은 괭생이모자반(*S. horneri*)이나 알송이모자반(*S. confusum*)에 비해 밀도가 집중되는 현상이 적고 분산도가 커, patch 분포의 특성을 나타내지 않았다(Fig. 3).

Table 2. Dominant species and their percent coverage in study area. Data are from 25 quadrats (0.25 m^2), 5 in each depth.

species	1995					1996		AVG
	Mar.	Apr.	May	July	Sep.	Nov.	Jan.	
Lithophyllum yendoi	16.8	13.2	11.3	19.8	7.5	13.4	13.8	13.7
Sargassum horneri	16.8	23.8	24.8			+	5.3	10.1
Sargassum confusum	13.5	16.3	17.8	3.3	2.8	3.3	3.1	8.5
Laminaria japonica	4.7	5.1	8.3	14.4	12.5	5.8	5.5	8.0
Undaria pinnatifida	13.4	15.8	13.9			+	3.7	6.7
Sargassum sagamianum	4.1	3.8	3.1	12.9	3.8	3.8	3.8	5.0
Spatoglossum pacificum	5.1	4.6	3.2	4.9	1.8	4.1	3.1	3.8
Dictyopteris divaricata	3.3	2.9	4.1	3.1	1.8	3.5	1.8	2.9
algal film				15.3				2.2
Coccophora langsdorfii	2.7	2.3	3.1	3.6	+	+	2.2	2.0
Costaria costata	0.3	4.3	4.9			+	1.8	1.6
Pachymeniopsis lanceolata	1.8	1.5	+	2.6	3.1	1.5	+	1.5
Carpopeltis cornea	1.2	1.2	1.2	1.2	+	2.3	2.2	1.3
Lomentaria catenata	1.3	2.5	+	2.8	+	1.6	1.1	1.3
Gelidium amansii	1.3	+	+	1.8	1.8	1.6	2.1	1.2
Symphyocldia latiuscula	1.4	+	+	1.3	1.1	2.8	1.1	1.1
Ulva pertusa					2.6			0.4
Grateloupia divaricata	1.3	+	1.1	+	+	+	+	0.3
Cladophora sakaii			2.3	+				0.3
total	80.0	88.3	91.1	91.0	41.8	43.7	50.6	69.5

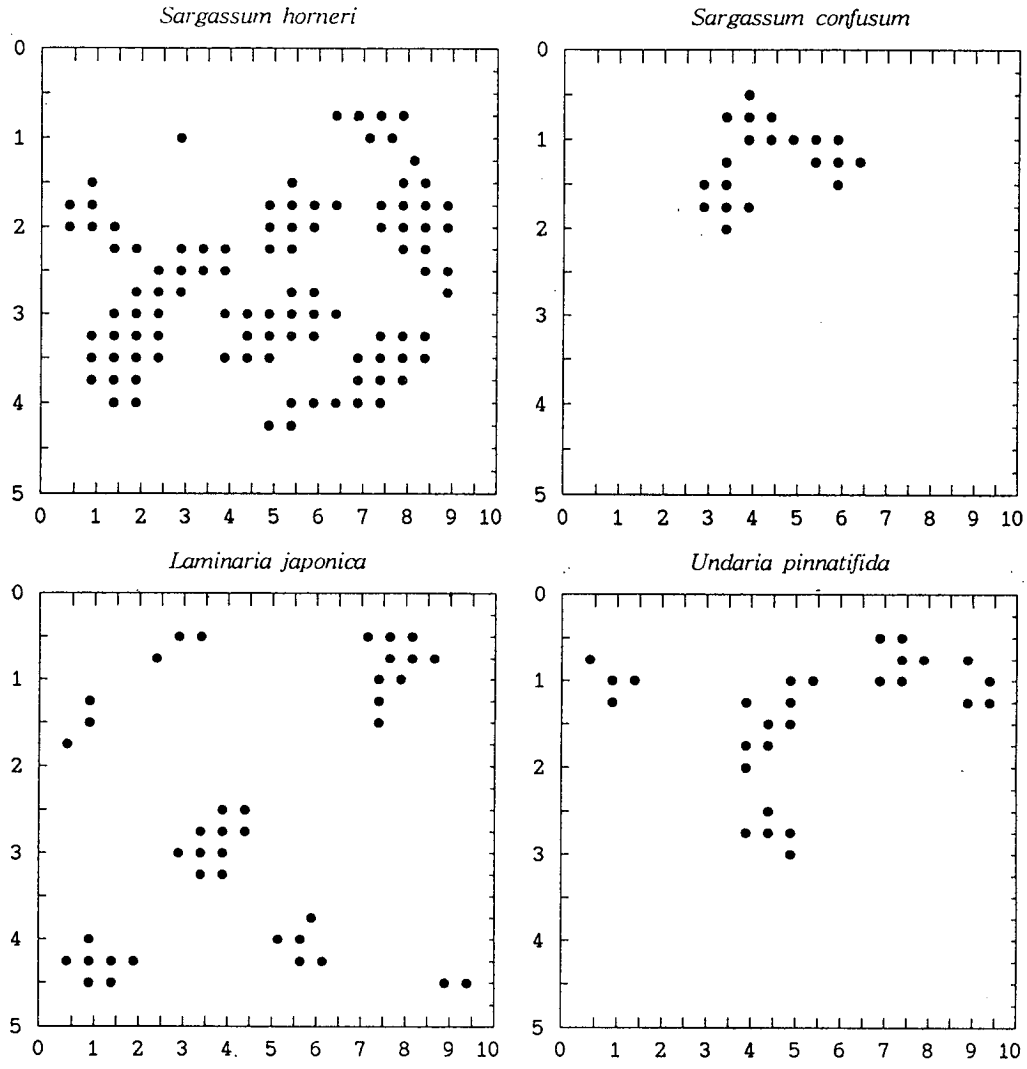

Fig. 3. Distribution of four canopy species, *Sargassum horneri, S. confusum, Laminaria japonica,* and *Undaria pinnatifida* within the study site in March 1995. Density is represented by the number of plotted marks.

물론 이러한 분포의 양상은 군집에서 작용하는 모든 생물학적 또는 무생물학적 환경의 공간차이에 의해 야기될 수도 있다. 즉, 환경의 세기와 형태가 공간적으로 많은 차이를 보여, 군집 내에서 일어나는 foraging, 생식형태, 경쟁, 포식, 공생, 퍼져나감 등도 매우 이질적인 특성을 띄기 때문에 발생하는 것이다(Miles 1979). 이는 patch들의 기원과 동태에 여러가지 검증내용중 첫 번째에 해당하는 것으로 patch는 이를 구성하는 소수 몇 종만이 견딜 수 있으나 외부의 다른 종은 견딜 수 없는 지역적인 물리적 특성에 의해 유지된다는 것이다(Dayton *et al.* 1984).

또 다른 검증내용은 대체로 다음과 같은 것들이다(Dayton *et al.* 1984). (1) patch의 형성과정에서 외부 종들은 구성종에 비해 선점할 기회를 갖지 못했다. (2) 모든 종들은 동시에 무리를 이루지만 서로 다른 생활사로 인해 patch의 조성이 결정되었다. (3) 공생과 같은 생물의 상호작용은 특정종이 patch에 성공적으로 무리를 이룰 수 있도록 유리하게 작용하고, 경쟁이나 초식작용과 같은 유해한 상호관계는 무리의 형성을 방해하는 것이다.

이러한 맥락에서 (1)과 (2)의 내용을 검증하는 한 방법으로 조사된 1996년 1월의 결과를 볼 때(Fig. 4), Table 2처럼 초봄에 성숙하여 초여름 이전에 유실되는 단년생 해조류인 괭생이모자반(*S. horneri*)과 미역(*U. pinnatifida*)의 밀도는 1995년 5월에 조사되었던 결과와는 많은 차이가 있었다. 즉, 밀도가 현저히 줄어들고, 뚜렷한 patch를 형성하기 위한 집중도도 현저히 낮아짐을 볼 수 있었다(Fig. 4). 이는 적어도 군집 내에서 patch의 형성이 서로 다른 생활사로 인해 영향을 받는다는 사실을 뒷받침하고 있다.

따라서 어느 한 지역에서 한 종이 지속적으로 생물량을 유지하기 위해서는 이에 적합한 생활사와 생활사 전략 및 형태적 적응전략을 가져야 한다. 생활사 전략에는 수명, 일년중 번식횟수, 성장속도, 생식세포의 수, 엽상체(blade)의 형태 등이 포함된다. Littler and Litter(1980)에 따르면 위 4 종은 K-selection의 생활전략을 가진 천이후기의 우점종이다. 이중 미역과(Alariaceae)인 다시마(*L. japonica*)와 미역(*U. pinnatifida*)는 이형 세대교번을 하며, 모자반과(Sargassumceae)의 괭생이모자반(*S. horneri*)과 알송이모자반(*S. confusum*)은 세대교번을 하지 않는다. 그리고 괭생이모자반(*S. horneri*)과 미역(*U. pinnatifida*)은 단년생 종이고, 알송이모자반(*S.

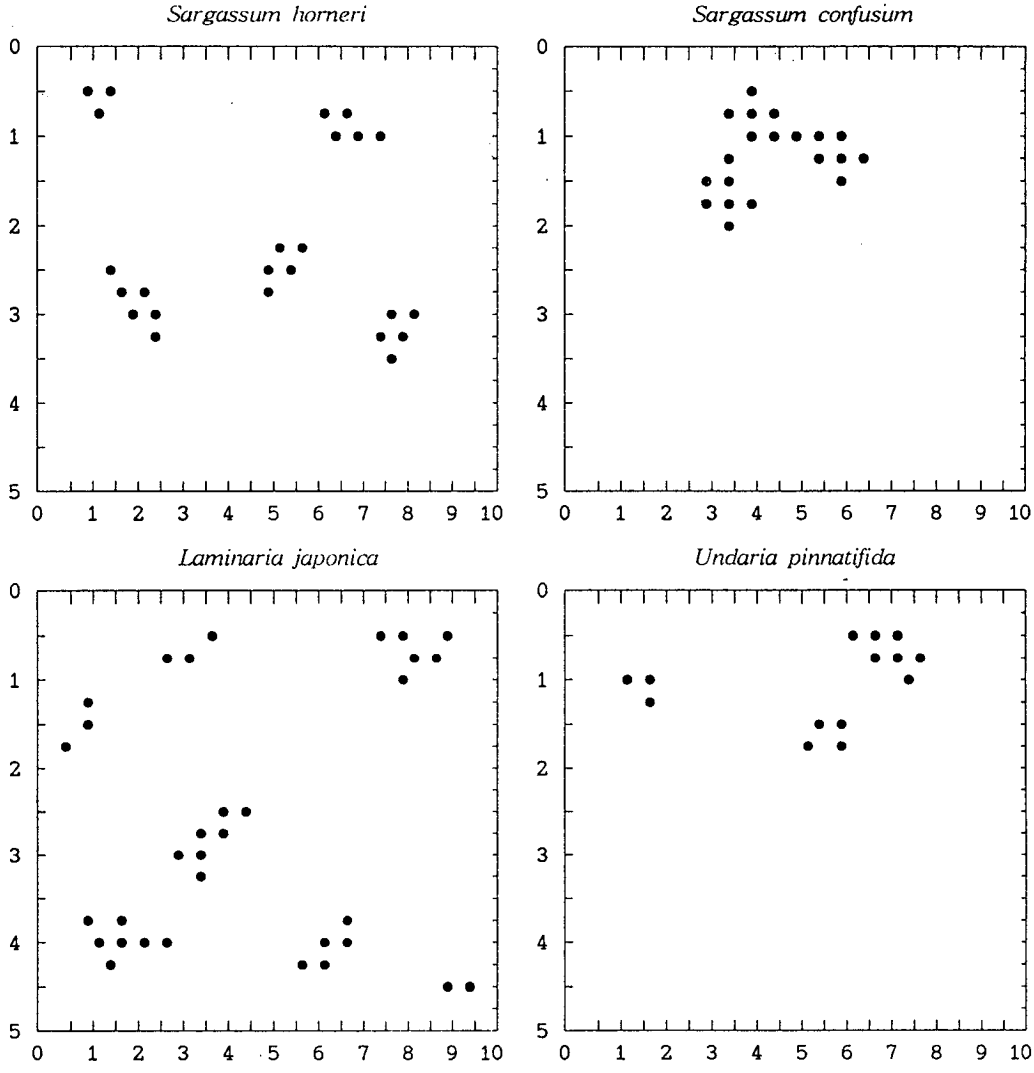

Fig. 4. Distribution of four canopy species, *Sargassum horneri, Sargassum confusum, Laminaria japonica,* and *Undaria pinnatifida* within the study site in the mouth of January 1996. Sharp decline in density of *S. horneri* and *U. pinnatifida* occurred.

confusum)과 다시마(*L. japonica*)는 다년종이다.

그러므로 동일한 시기에 동일한 양의 생식세포를 방출한다고 가정하면, 다년생인 알송이모자반(*S. confusum*)과 다시마(*L. japonica*)가 단년생인 괭생이모자반(*S. horneri*)과 미역(*U. pinnatifida*)에 비해 군집 내에서 생존 및 우점의 가능성이 더 크다고 볼 수 있다. 실제 이점은 Fig. 4에서와 같이, 1996년 1월에 단년생인 괭생이모자반(*S. horneri*)과 미역(*U. pinnatifida*)의 밀도가 현저히 줄어들었음에 비해, 다년생인 알송이모자반(*S. confusum*)과 다시마(*L. japonica*)의 밀도는 큰 차이가 없음을 볼 수 있다.

물론 이러한 결과에 대한 확신을 위해서는 최소한 보다 넓은 지역에서 장기간의 관찰이 요구된다. 왜냐하면 각 종의 생활사가 동일하다고 해서 번식시기와 성장시기가 동일한 것은 아니며, 한 종의 성장시기도 서식지역 수온, 유용한 광선량, 영양염의 농도에 따라 달라지기 때문이다.

마. 조사지역의 patch 종류와 구성

군집내 대형 갈조류의 공간분포를 통해 나타난 patch 구조를 보다 수리적으로 나타내기 위해 종간 상관분석을 실시하였다. 종간 상관분석은 1995년 5월에 수심 5 메타까지 매 수심별 2 메타 간격으로 설치된 50 x 50 cm^2 크기의 방형구내에 출현하는 종의 출현유무(present and absent)로써 두 종의 2 x 2 분할표(contingency table)를 만들어 종간의 χ^2 값을 구하고 이를 Table 2에 나타난 피도 순서에 따라 절대치의 값으로 종간 행렬로 표시하였다(Fig. 5).

이 시기에 가장 우점하는 엔도혹돌잎(*L. yendoi*)은 수관을 이루는 대형 갈조류인 괭생이모자반(*S. horneri*), 다시마(*L. japonica*), 미역(*U. pinnatifida*), 쇠미역사촌(*Costaria costata*)과 유의수준 5 % 이하로 서로 매우 높은 상관을 가지는 것으로 나타났다. 즉, 대형 갈조류가 이루는 수관 아래에서 엔도혹돌잎(*L. yendoi*)가 출현하는 확률은 95 % 이상이었다. 또한 사카이대마디말(*Cladophora sakaii*)과도 상관이 매우 높게 나타났는데, 이러한 이유는 엽상형의 해조류의 생물량이 매우 낮은 곳에는 반드시 엔도혹돌잎(*L. yendoi*)와 사카이대마디말(*C. sakaii*)만이 분포하였기 때문이다.

floating canopy(Dayton et al. 1984)로 해중림을 이루는 괭생이모자반(*S.

	Lithophyllum yendoi	*Sargassum horneri*	*Sargassum confusum*	*Laminaria japonica*	*Undaria pinnatifida*	*Sargassum sagamianum*	*Spatoglossum pacificum*	*Dictyopteris divaricata*	*Coccophora langsdorfii*	*Costaria costata*	*Pachymeniopsis lanceolata*	*Carpopeltis cornea*	*Lomentaria catenata*	*Gelidium amansii*	*Symphyocldia latiuscula*	*Grateloupia divaricata*	*Cladophora sakaii*
Sargassum horneri	9.65																
Sargassum confusum	1.47	1.87															
Laminaria japonica	17.90	0.95	0.41														
Undaria pinnatifida	6.51	0.65	0.30	6.51													
Sargassum sagamianum	1.47	0.41	0.19	0.41	0.30												
Spatoglossum pacificum	1.87	0.91	0.41	0.91	0.65	0.41											
Dictyopteris divaricata	1.47	0.41	0.19	0.41	0.30	0.19	0.41										
Coccophora langsdorfii	1.47	0.65	0.30	0.65	0.47	0.30	6.51	0.30									
Costaria costata	6.51	0.65	0.30	17.90	9.65	0.30	0.65	0.30	0.47								
Pachymeniopsis lanceolata	0.19	0.91	0.41	0.91	0.65	1.87	0.91	0.41	0.65	0.65							
Carpopeltis cornea	0.65	0.65	0.30	0.65	0.47	2.97	0.65	0.30	0.47	0.47	6.51						
Lomentaria catenata	0.30	0.65	0.30	0.65	0.47	0.30	0.65	0.30	0.47	0.47	6.51	1.47					
Gelidium amansii	0.19	0.65	0.30	0.65	0.47	0.30	0.65	0.30	0.47	0.47	6.51	9.65	9.65				
Symphyocldia latiuscula	0.41	0.91	0.41	0.91	0.65	0.41	0.91	0.41	0.65	0.65	12.33	6.51	17.90	17.90			
Grateloupia divaricata	0.30	0.91	0.41	0.91	0.65	1.87	0.91	0.41	0.65	0.65	12.33	6.51	17.90	6.51	12.33		
Cladophora sakaii	12.33	0.41	0.19	0.41	0.30	0.19	0.41	0.19	0.30	0.30	0.41	0.30	0.30	0.30	0.41	0.41	

Fig. 5. Complete chi-square matrix for 25 quadrates in May 1995. Bold values are significant relationships among the 17 species.

horneri)과 알송이모자반(*S. confusum*)은 독립적으로 분포하는 것으로 나타나, 또 다른 형태의 canopy species인 다시마(*L. japonica*)와 미역(*U. pinnatifida*)은 물론 대부분의 직립분기형태(coarsely branched)의 붉은까막살(*C. cornea*) 등과는 상관을 가지지 않았다.

kelp류인 다시마(*L. japonica*), 미역(*U. pinnatifida*), 쇠미역사촌(*C. costata*)은 stipitate canopy guild의 역할을 하는 종으로(Dayton et al. 1984), 서로 매우 높은 상관을 가지며 독립적인 patch를 형성하는 것으로 나타났다. 직립분기형태(coarsely branched)의 붉은까막살(*C. cornea*), 마디잘록이(*L. catenata*), 우뭇가사리(*G. amansii*), 보라우무(*S. latiuscula*), 뼈지누아리(*G. divaricata*) 등은 서로 높은 상관을 이루어 canopy species와는 독립적인 분포 양상을 보였다.

Fig. 2와 5를 종합해 볼 때, 조사지점에서는 (1) floating canopy로서 괭생이모자반(*S. horneri*)과 알송이모자반(*S. confusum*)이 이루는 각각 독립적인 patch와, (2) stipitate canopy로서 다시마(*L. japonica*), 미역(*U. pinnatifida*), 쇠미역사촌(*C. costata*)이 이루는 patch, (3) 붉은까막살(*C. cornea*), 마디잘록이(*L. catenata*) 등의 직립분기형태의 종들이 파도의 영향을 강하게 받는 해수면 근처에서 형성하는 patch로 구분할 수 있었다.

2. 주요 개체군의 demography

가. 괭생이모자반(*Sargassum horneri*)

1) 엽장과 엽중

1995년 3월부터 1996년 1월까지 조사된 괭생이모자반 (*S. horneri*)의 엽장과 엽중의 변화는 Fig. 6 과 같다. 엽장은 3월부터 증가하여 5월에 111.9 ± 65.1 cm로 최대에 이르며, 7월에는 난 또는 정자의 방출후 엽체가 녹아들어 51.6 ± 15.7 cm로 줄어들었다. 9 월부터 유체가 관찰되기 시작하여 11월까지는 5 cm 이내로 엽장의 변화가 뚜렷하지 않았고, 1월부터 점진적으로 자라는 경향을 보였다. 엽중은 유체가 발견되기 시작하는 9월부터 3월까지는 거의 변

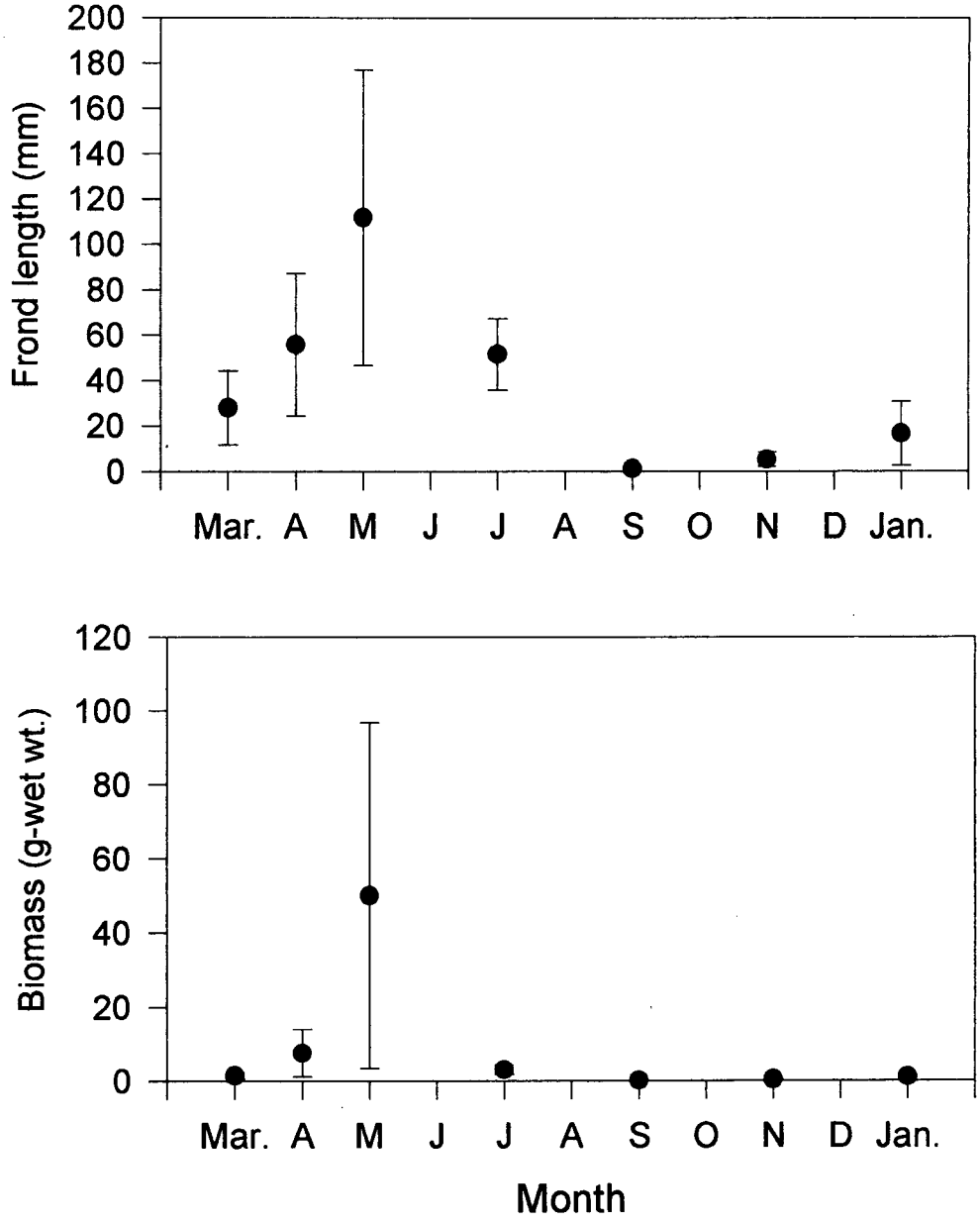

Fig. 6. Individual growth of the floating canopy species, *Sargassum horneri* in the study site at Ahnin.

화하지 않았고, 3월부터 증가하기 시작하여 4월에서 5월 사이에는 급속히 증가하는 양상을 보였다.

일반적으로 생물의 체장과 체중은 엽장과 power function식인 $W = aL^b$의 관계를 가지고 있다. 여기서 W는 체중이며, L은 엽장이다. 따라서 괭생이모자반 (*S. horneri*)의 엽장과 엽중과의 관계를 알아보기 위해 1995년 5월에 조사된 총 37 개체의 엽장과 엽중을 토대로 $\ln(W) = \ln(a) + b\ln(L)$의 선형식으로 변형한 후, 최소제곱법에 따라 a와 b를 추정하였다. 그 결과, 엽중(W)은 엽장(L)과 $W = 0.031W^{1.476}$ (r^2=0.884)의 관계를 보였다(Appendix 2).

2) 각 부위의 성장

괭생이모자반(*S. horneri*)은 비교적 작은 가반상근 형태의 뿌리에서 하나의 원주상 줄기가 나오고, 줄기의 측면에서는 많은 수의 가지가 나온다. 줄기는 성장하면서 더 많은 가지를 가지게 되며, 가지의 길이 또한 증가하게 된다. 따라서 줄기의 성장 즉, 엽장은 줄기의 폭, 가지의 수, 그리고 가지의 길이와 일정한 상관이 있는 것으로 판단되어, 엽장에 대해 줄기의 폭, 가지의 수, 그리고 가지의 길이를 독립적인 변수로 가정하여 SAS 프로그램을 통해 다중 회귀 분석(multiple regression analysis)을 실시하였다. 사용된 자료는 Appendix 3에 나타난 1995년 5월에 조사된 총 37 개체에 대한 것들이다.

우선 Pearson의 상관계수를 통해 나타낸 각 요인간의 상관을 볼 때, 엽체의 전체길이 즉, 엽장은 줄기의 폭, 가지의 수, 그리고 가지의 길이와 매우 높은 상관을 가지고 있으며, 또한 줄기의 폭은 가지의 길이와 높은 상관을 가지고 있다. 이를 엽장에 대한 다중 회귀 모형에 적합시켰을 때, 모델의 적합성은 매우 높았다(r^2=0.89). 또한 줄기의 폭, 가지의 수, 그리고 가지의 길이에 대한 엽장의 중상관 계수는 각각 -11.8, 1.03, 3.79로 나타났으며, 특히 엽장에 미치는 가지의 수와 가지의 길이는 고도의 유의성을 갖는 것으로 나타났다(Appendix 4).

3) 밀도의 변화와 엽장의 조성

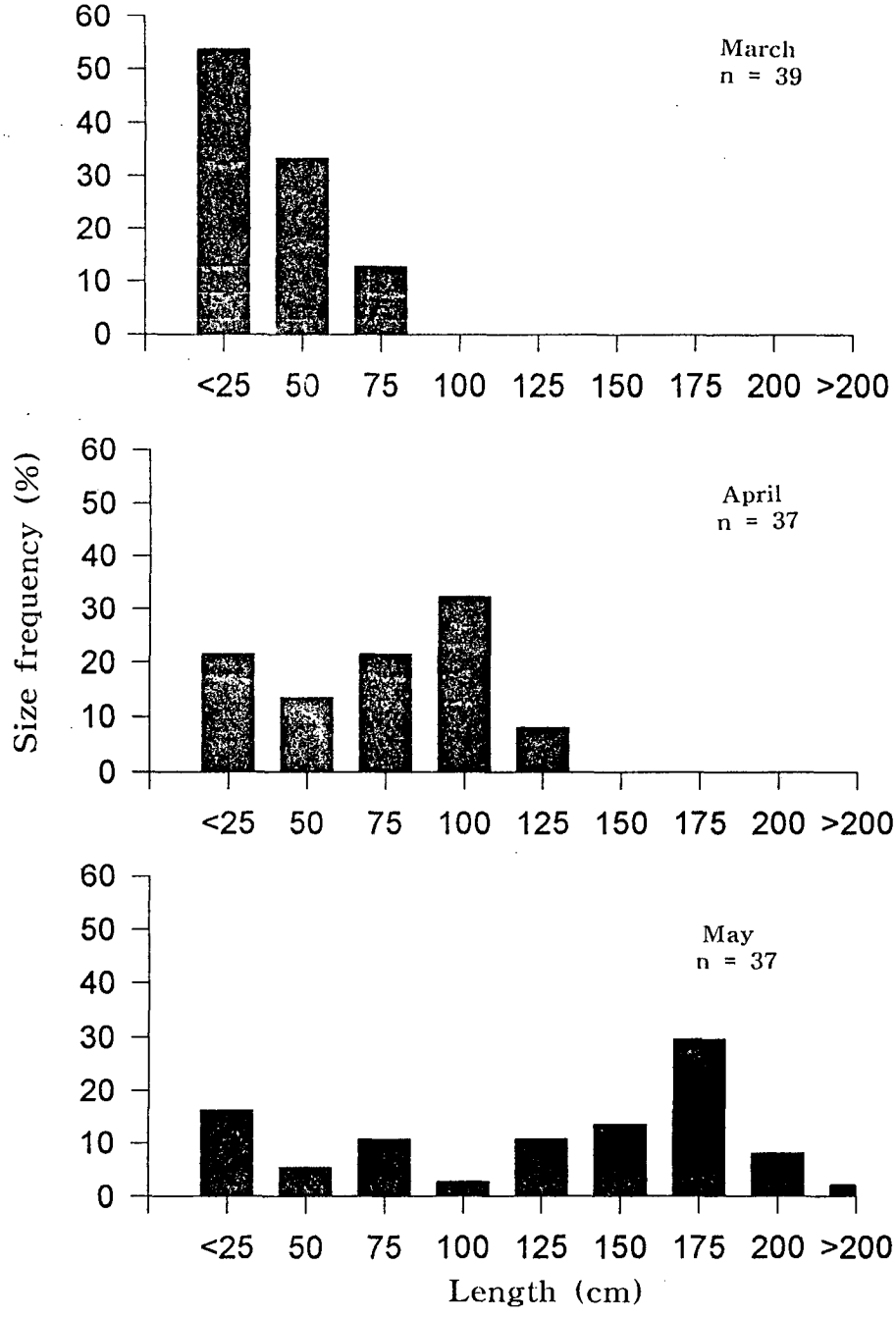

Fig. 7. Size-frequency distributions of *Sargassum horneri* in a permanent quadrates (0.25 m^2). Number of individuals in the quadrates slightly decreased from March to April 1995.

demography 연구는 시간경과에 따른 어느 한 개체군의 밀도변화를 추정하는 것이다. 시간경과에 따른 개체군 크기(개체수 및 생물량)의 변화는 다음과 같은 세 가지 유형으로 나눌 수 있다(Deevey 1947). 첫 번째는 사망률이 연령증가에 따라 감소하는 경우이고, 두 번째 유형은 사망률이 연령에 관계없이 일정한 경우이며, 세 번째는 연령증가에 따라 사망률도 증가하는 것이다.

본 연구에서는 1995년 3월부터 5월까지 괭생이모자반(*S. horneri*)이 patch를 이루는 곳에서 $0.25m^2$ 크기의 영구 방형구로써 동 종의 밀도변화를 추적하였다. 물론 조사가 괭생이모자반(*S. horneri*)이 완전히 성장한 시기에 이루어져 사망률이 위 세 가지 유형중 어떤 유형에 따르는지는 추적할 수 없었지만, 적어도 이 시기의 사망률을 예측할 수 있는 정보를 제공할 수 있다고 판단된다.

본 조사의 결과, 1995년 3월에서 4월에 이르는 동안 구성원중 2 개체가 사망하였고, 이후에는 사망률이 전혀 없었다. 엽장의 빈도분포를 볼 때, 3월에는 크기 빈도 분포가 작은 개체 쪽으로 치우쳐 있었으나, 성장하면서 엽장이 큰 쪽으로 최빈치가 이동하는 것을 볼 수 있다. 그러나 5월에도 엽장 100 cm 이하의 작은 개체들이 다수 분포함을 볼 수 있어, 이는 작은 개체들이 성장에 이용할 수 있는 빛과 영양염 등의 자원을 한정되어 있음을 보여준다(Fig. 7). 이것은 초기에 가입한 개체에 자원이 불균형적으로 많이 분배되고, 늦게 가입한 개체는 상대적으로 덜 분배받기 때문이다. 이처럼 생활사 초기의 자원에 대한 선점은 식물의 성장에 매우 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Obeid et al. 1967).

나. 알송이모자반(*Sargassum confusum*)

1) 엽장과 엽중

1995년 3월부터 1996년 1월까지 조사된 알송이모자반 (*S. confusum*)의 엽장과 엽중의 변화는 Fig. 8과 같다. 괭생이모자반 (*S. horneri*)과 마찬가지로 엽장은 1월부터 증가하여 5 월에 123.0 ± 50.5 cm로 최대에 이르며, 7월에는

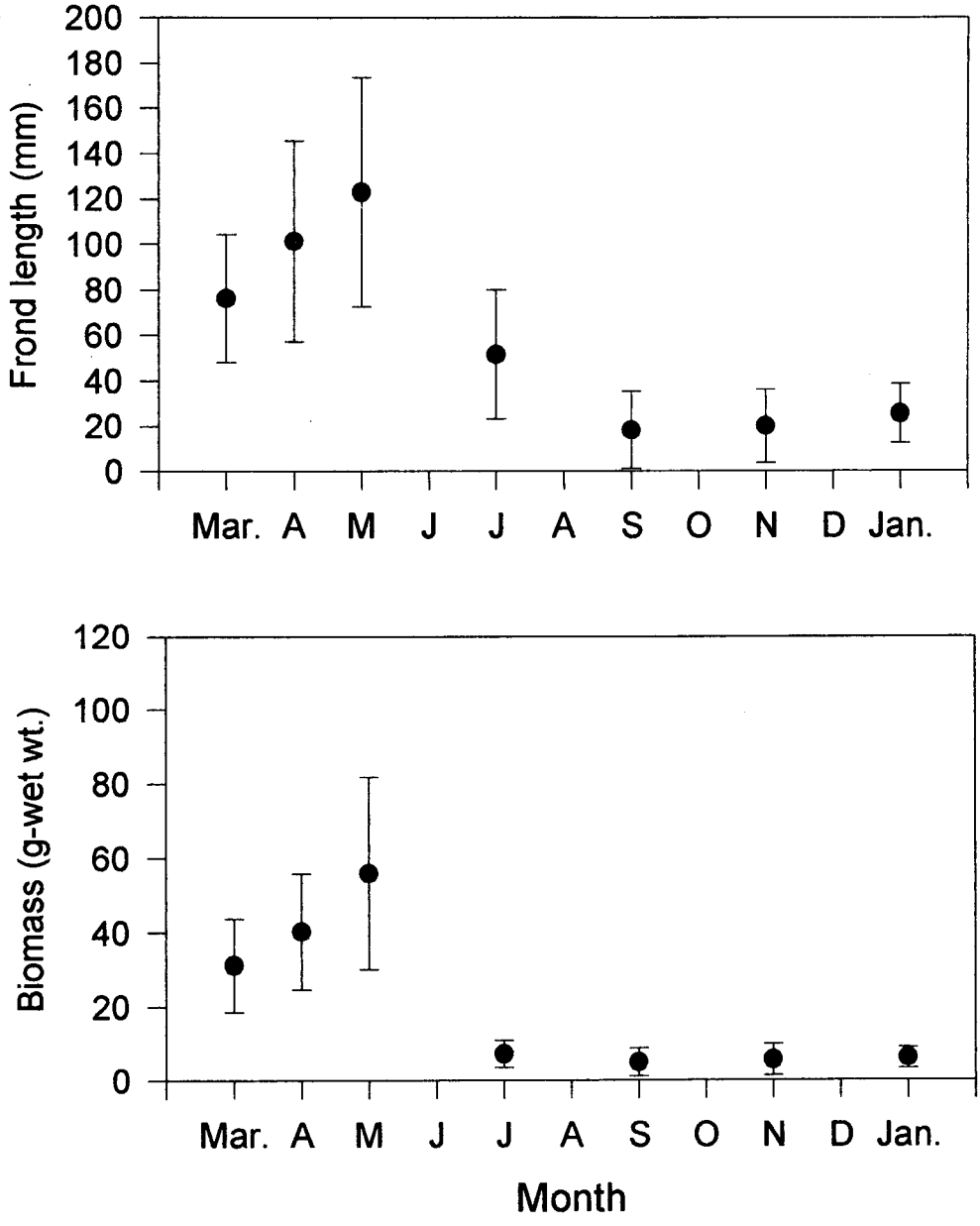

Fig. 8. Individual growth of the floating canopy species, *Sargassum confusum* in the study site at Ahnin.

난 또는 정자의 방출후 중심가지(main branch)가 녹아들어 월년하는 줄기를 포함하여 엽장이 51.6 ± 28.3 cm로 줄어드는 경향을 보였다. 9 월부터는 11월까지는 월년하는 줄기만이 약 20 cm 크기로 존재하였고, 1 월부터 중심가지가 형성되기 시작하였다. 엽중은 중심가지가 녹아드는 7 월부터 월년하는 주축에서 중심가지가 형성되는 시점인 1월까지 10 g-wet Wt.이내로 변화하지 않았고, 3월부터 급속히 증가하기 시작하여 5월에는 58 g-wet Wt.에 달하였다.

괭생이모자반(*S. horneri*)의 경우와 마찬가지로 1995년 5월에 조사된 총 27 개체의 엽장과 엽중을 토대로 power function식에 따라 엽장과 엽중의 관계를 알아보았다. 우선 $\ln(W) = \ln(a) + b\ln(L)$의 선형식으로 변형한 후, 최소제곱법에 따라 a와 b를 추정하였다. 그 결과, 엽중(W)은 엽장(L)과 $W = 0.780W^{0.884}$ (r^2=0.852)의 관계를 보였다(Appendix 2).

2) 각 부위의 성장

알송이모자반(*S. confusum*)은 다년생으로 뿌리는 반상이고 월년하는 공동의 줄기에서 여러 개의 중심가지가 난다. 따라서 엽장은 줄기의 폭, 줄기의 길이와 일정한 상관이 있는 것으로 판단되어, 엽장에 대해 줄기의 폭, 줄기의 길이를 독립적인 변수로 가정하여 SAS 프로그램을 통해 다중 회귀 분석(multiple regression analysis)을 실시하였다. 사용된 자료는 Appendix 5에 나타난 1995년 5월에 조사된 총 27 개체에 대한 것들이다.

우선 Pearson의 상관계수를 통해 나타낸 각 요인간의 상관을 볼 때, 엽장은 줄기의 폭 및 길이와 매우 높은 상관을 가지고 있으며, 또한 줄기의 폭은 줄기의 길이와 높은 상관을 가지고 있다. 이를 엽장에 대한 다중 회귀 모형에 적합시켰을 때, 줄기의 폭 및 길이에 대한 엽장의 중상관 계수는 공히 11.1로 나타났으나, 이 두 요인에 대한 회귀계수의 유의확률은 충분히 작지 않아 두 변수는 유의성이 약함을 볼 수 있다. 또한 회귀관계로 가정된 모형의 적합성을 결정하는 계수인 r^2가 0.62로 낮은 이유는 분석에 이용된 개체수가 27 개뿐으로 충분하지 않은 이유도 있었지만, 채집된 표품중에는 여러 연령군이 포함되어 있었기 때문이다(Appendix 6).

3) 밀도의 변화와 엽장의 조성

알송이모자반(*S. confusum*)의 demography 연구를 위해 시간에 따른 밀도 변화를 살피기 위해 1995년 3월부터 5월까지 알송이모자반(*S. confusum*)이 patch를 이루는 곳에서 0.25m^2 크기의 영구 방형구로써 밀도변화를 추적하였다. 물론 이 기간은 알송이모자반(*S. confusum*)이 완전히 성장한 시기이다.

조사결과, 이 시기중 영구 방형구내 사망률은 0 %로 전 개체가 생존해 있었다. 따라서 성장한 알송이모자반(*S. confusum*)의 생존율은 비슷한 성장양상을 지닌 괭생이모자반(*S. horneri*) 보다 높다고 볼 수 있다. 알송이모자반(*S. confusum*)의 생존율이 높은 이유는 생활사와 엽체의 형태에서 유도된다고 추측된다. 즉, 두 종은 군집 내에서 공히 floating canopy로서 guild의 역할을 하고 있고, 대부분 투과되는 빛을 차단하는 것은 많은 가지와 가지주변의 잎으로 엽체의 생물량중 대부분을 차지하고 있다. 따라서 격렬한 해수유동이나 비주기적으로 발생하는 교란(perturbation)은 가지 또는 잎에 부하를 주고, 이 하중은 가지 또는 잎을 지탱하는 줄기 또는 뿌리에 전달된다.

그러므로 엽체가 격렬한 해수유동이나 비주기적으로 발생하는 교란에 대응하기 위해서는 줄기 또는 뿌리의 구조를 발달시켜야 한다. 줄기 또는 뿌리의 구조에서 다년생인 알송이모자반(*S. confusum*)이 단년생인 괭생이모자반(*S. horneri*) 보다 훨씬 발달해 있다. 즉, 알송이모자반(*S. confusum*)은 줄기의 두께에 있어서는 물론, 공동의 줄기에는 여러 개의 중심가지에서 잎이 나와 한 개의 줄기에서 여러 개의 가지가 존재하여 줄기에 전달되는 힘의 하중이 큰 괭생이모자반(*S. horneri*) 보다는 생존율이 높아질 수밖에 없을 것이다.

엽장의 빈도분포는 괭생이모자반(*S. horneri*)과 거의 유사한 경향을 보였다. 즉, 3월에는 크기 빈도 분포가 작은 개체 쪽으로 치우쳐 있었으나, 성장하면서 엽장이 큰 쪽으로 최빈치가 이동하는 것을 볼 수 있다. 그리고 5월에도 엽장 100 cm 이하의 작은 개체들이 다수 분포함을 볼 수 있어, 이는 작은 개체들이 성장에 이용할 수 있는 빛과 영양염 등의 자원을 한정되어 있음을 보여준다(Fig. 9).

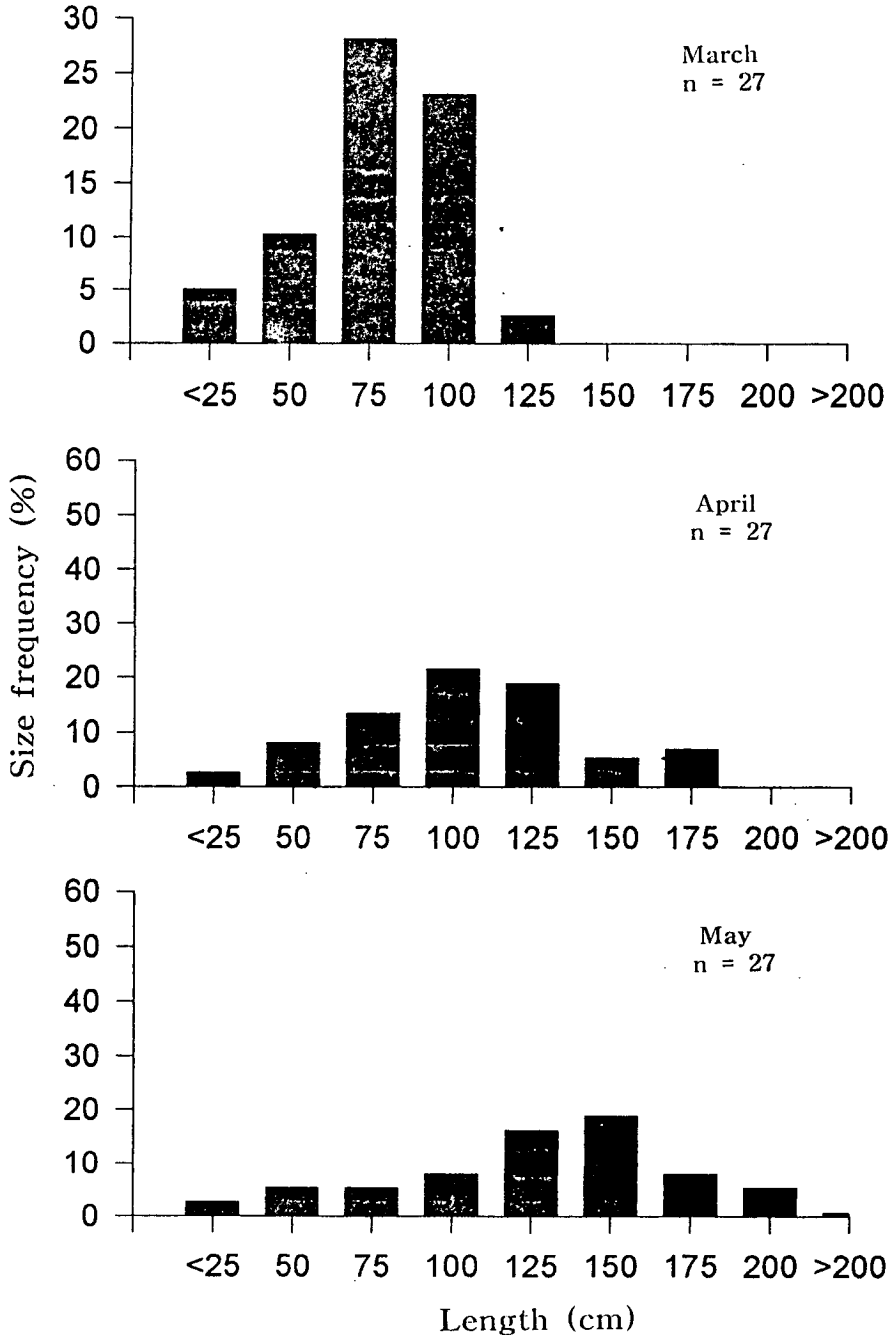

Fig. 9. Size-frequency distributions of *Sargassum confusum* in a permanent quadrates (0.25 m^2).

다. 다시마(*Laminaria japonica*)

1) 엽장과 엽중

다시마(*L. japonica*)의 성장에 관해서는 다시마(*L. japonica*)의 성장률이 가장 높은 시기인 1995년 5월, 7월, 9월 3회에 국한되어 실시되었다. 엽장의 변화를 볼 때, 5월부터 7월까지에 엽장이 증가하고, 7월부터 9월까지 성숙과 유주자(miospore)의 방출에 따라 엽장이 줄어드는 것으로 나타났다. 각 조사시기별 평균 엽장은 5월과 9월에 각각 55.3 ± 31.6 cm 및 51.9 ± 37.9 cm 였고, 7 월에는 68.4 ± 37.1 cm로 나타나 Lee(1992)가 주문진 부근의 자연 개체군을 조사한 결과와 약간의 차이를 보인다. 이는 개체군에 작용하는 모든 생물학적 또는 무생물학적 환경은 그 세기와 형태에 있어 공간적으로 많은 차이를 보여는 것은 물론 군집 내에서 개체군이 받는 foraging, 생식형태, 경쟁, 포식, 공생, 퍼져나감 등도 매우 이질적인 특성을 띄게 된다. 즉, 어는 한 특정 개체군에 대해 서로 다른 지역에서 조사된 개체의 성장은 약간의 차이를 보이기 때문으로 판단된다(Fig. 10).

엽중은 3월에 38.1 ± 18.7 g-wet Wt., 4월에는 상당히 큰 폭으로 증가하여 67.6 ± 24.7 g-wet Wt.로 최대에 이르렀으며, 9월에는 유주자의 방출에 따라 47.4 ± 33.6 g-wet Wt.로 줄어드는 경향을 보였다. 특히 5월과 9월의 엽장은 서로 유사하였음에도 엽중에서 차이가 발생하는 것은 엽장이 어느 일정한 크기에 이른 후에는 엽상부(blade)의 두께증가에 많은 에너지를 집중시켜 엽중이 증가하는 결과를 초래하였다고 판단된다.

엽장과 엽중과의 관계를 알아보기 위해 power function식에 따라 $\ln(W) = \ln(a) + b\ln(L)$의 선형식으로 변형한 후, 최소제곱법에 따라 a와 b를 추정하였다. 이용된 자료는 1995년 9월에 조사된 총 40 개체의 엽장과 엽중이다. 그 결과, 엽중(W)은 엽장(L)과 $W = 0.253W^{1.268}$ (r^2=0.882)의 관계를 보였다 (Appendix 2).

2) 각 부위의 성장

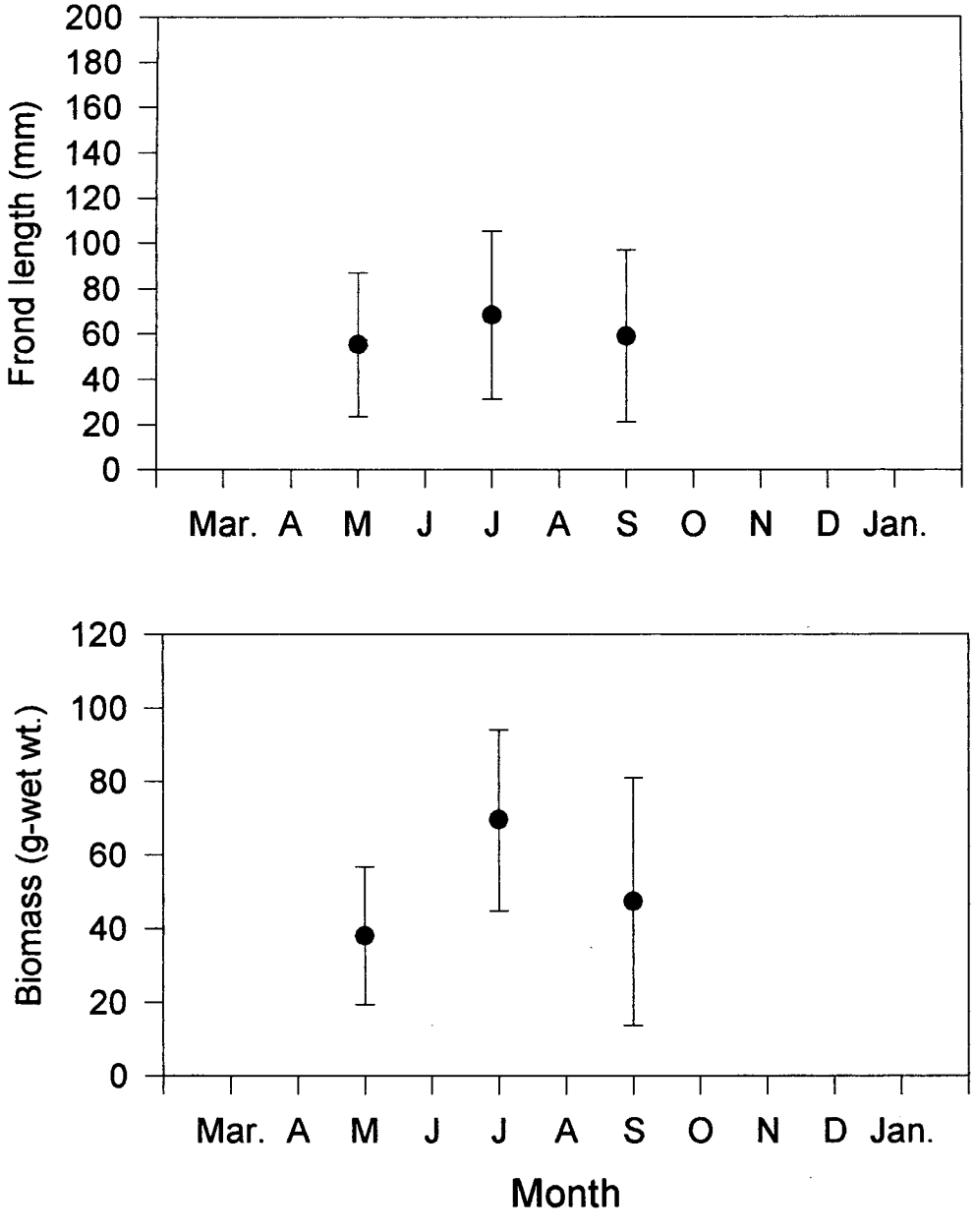

Fig. 10. Individual growth of the stipitate canopy species, *Laminaria japonica* in the study site at Ahnin.

다시마(*L. japonica*)는 뿌리(rhizoid), 줄기(stipe), 잎(blade) 세 부분으로 뚜렷이 구분된다. 하나의 원주상 줄기에서 긴 띠 모양인 혁질의 잎이 나온다. 따라서 엽장의 잎의 폭, 줄기의 길이, 줄기의 폭과 일정한 상관이 있는 것으로 판단된다. 엽장에 대해 줄기의 폭, 줄기의 길이를 독립적인 변수로 가정하여 SAS 프로그램을 통해 다중 회귀 분석(multiple regression analysis)을 실시하였다. 사용된 자료는 Appendix 7에 나타난 1995년 11월 조사시 채집된 총 40 개체에 대한 것들이다.

우선 Pearson의 상관계수를 통해 나타낸 각 요인간의 상관을 볼 때, 엽장은 잎의 폭 및 줄기의 폭과 매우 높은 상관을 가지고 있으며, 잎의 폭은 줄기의 폭과, 또한 줄기의 길이는 줄기의 폭과 높은 상관을 가지고 있다. 이를 엽장에 대한 다중 회귀 모형에 적합시켰을 때, 잎의 폭, 줄기의 길이 및 폭에 대한 엽장의 중상관 계수는 각각 10.6, -2.99, 2.94로 나타났으나, 각 요인에 대한 회귀계수의 유의확률은 충분히 작지 않아 각 변수는 유의성이 약함을 볼 수 있었다. 또한 회귀관계로 가정된 모형의 적합성을 결정하는 계수인 r^2가 0.29로 극히 낮아 모델이 적합하지 않았음을 볼 수 있었다(Appendix 8).

이는 알송이모자반(*S. confusum*)과 마찬가지로, 동 시기에 채집된 표품에 여러 연령군이 포함되어 있었기 때문이다. 다시마(*L. japonica*)는 다년생으로 자연 개체군내에는 여러 연령군이 존재한다. 특히 표품이 채집된 시기는 다시마가 성숙과 유주자의 방출에 따라 생장점까지 잎의 대부분은 녹아지고, 새로 잎을 형성하는 시기여서, 연령군간에 잎의 길이는 큰 차이를 보이지 않았던 반면, 1년 이상의 다년생 개체들은 일년이하의 개체들에 비해 잎의 폭이 크고, 줄기의 길이 및 폭도 컸던 것으로 풀이된다.

3) 밀도의 변화와 엽장의 조성

다시마(*L. japonica*)의 demography 연구를 위해 시간에 따른 밀도변화를 살피기 위해 성장률이 가장 높은 시기인 1995년 5월, 7월, 9월 3회에 걸쳐 개체군이 patch를 이루는 곳에서 $0.25m^2$ 크기의 영구 방형구로써 밀도변화를 추적하였다.

그 결과, 5월과 7월 사이에는 개체수가 줄어들었고, 7월과 11월에는 어린

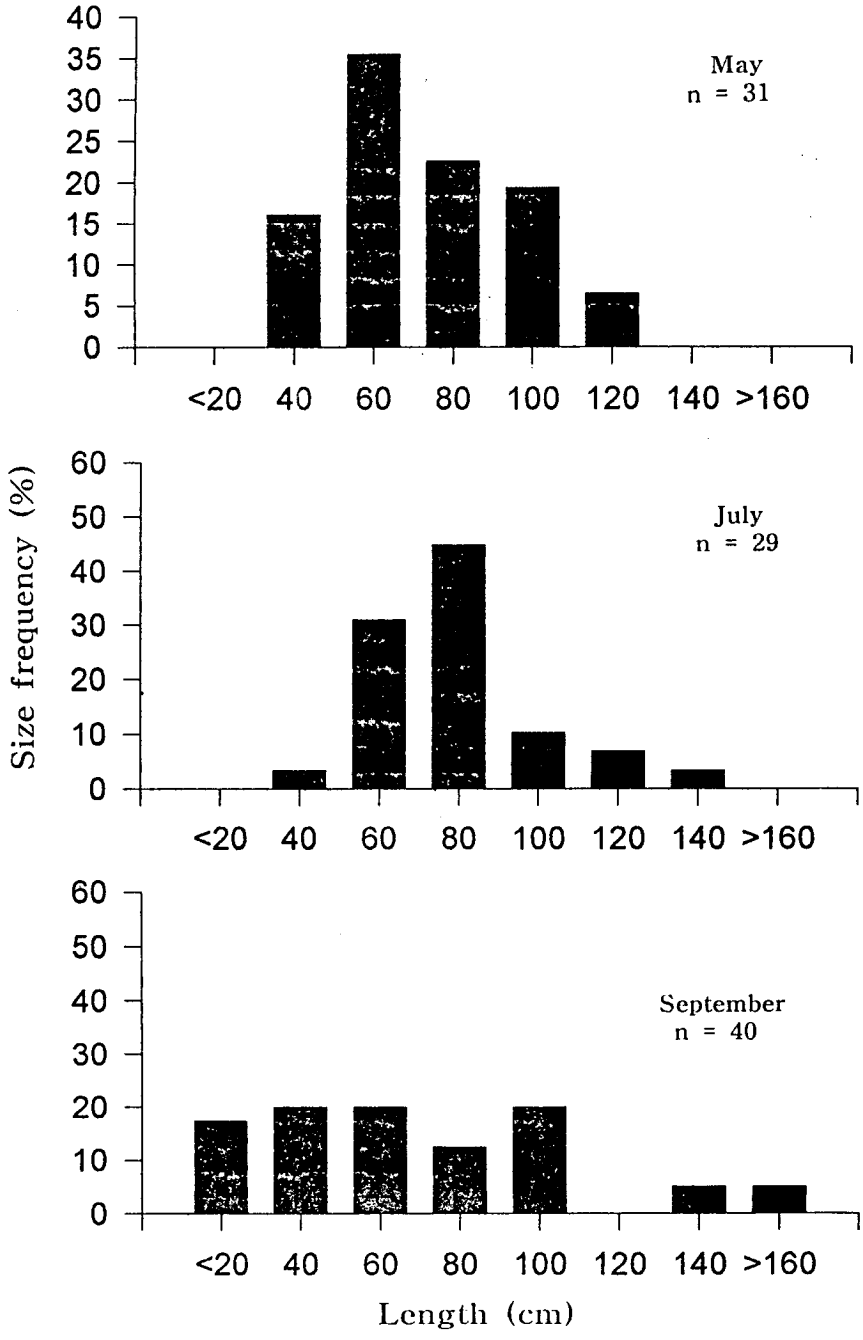

Fig. 11. Size-frequency distributions of *Laminaria japonica* in a permanent quadrates (0.25 m^2). Number of individuals in the quadrates markedly increased after spore releasing and subsequent recruitment of young sporophytes.

포자체(young sporophyte)의 가입이 현저하게 늘어났다. 성장하여 비교적 안정된 5월과 7월까지의 사망률은 5%로 괭생이모자반(*S. horneri*)의 사망률과 유사한 수준이었다.

엽장의 빈도분포를 볼 때, 5 월에는 크기 빈도 분포가 평균크기의 집중해 있었으나, 성장하면서 엽장이 큰 쪽으로 최빈치가 이동하는 것을 볼 수 있다. 9월에는 성장한 개체들이 유주자 방출에 따라 엽장이 줄어들고 또한 어린 포자체의 가입에 따라 크기 빈도 분포가 분산되었음을 볼 수 있다(Fig. 11).

4) 다시마 (*L. japonica*) 배우체의 성장과 생존에 미치는 수온과 광량의 영향

다시마의 배우체의 성장과 생존에 미치는 수온과 광량의 영향을 알아보기 위해 1995년 7월에 배양실험을 실시하였다. 배우체의 성장지표로는 개체당 세포수를 이용하였다. 일반적으로 다시마의 배우체는 환경조건에 따라 초기 하나의 세포에서 여러 개의 세포로 분화하고 , 분화된 각 세포에서는 어린 포자체(young sporophyte)가 발생하기 때문에 배우체의 세포수는 포자체의 가입량과 매우 밀접한 관련을 가지고 있다. 물론 배우체의 세포를 측정하는데 몇 가지 어려운 문제가 있다. 특히 15℃ 이상의 조건에서 배양될 때, 배우체의 세포분화는 매우 활발하게 일어나고 특히 입체적으로 이루어져 계수의 어려움이 있다. 그러나 무엇보다도 배우체의 세포는 포자체 형성능력을 가진 하나의 단일개체로 존재하기 때문에 세포수가 배우체의 길이보다 더 설득력을 지닌다고 볼 수 있다.

그 결과, 8 $\mu E/m^2/sec$ 이하의 광조건에는 수온이 증가하여도 세포수의 증가로 본 배우체의 성장은 큰 차이를 보이지 않았다. 반면, 8 $\mu E/m^2/sec$ 이상의 광조건에서는 18℃까지 수온이 증가할 수록 성장률도 높아지는 양상을 보였고, 18℃ 이상에서는 세포의 분화율이 매우 떨어지거나 또는 전 실험개체가 사망하는 것으로 나타났다(Fig. 12).

개체의 생존율은 세포수의 변화와는 약간 상이한 양상을 보였다. 즉, 수온 18℃ 이하에서는 수온 또는 광량에 반응하는 배우체의 생존율은 큰 차이가 없었고, 수온 18℃ 이상에서는 수온이 증가할 수록 또는 광량이 적을수록 생존

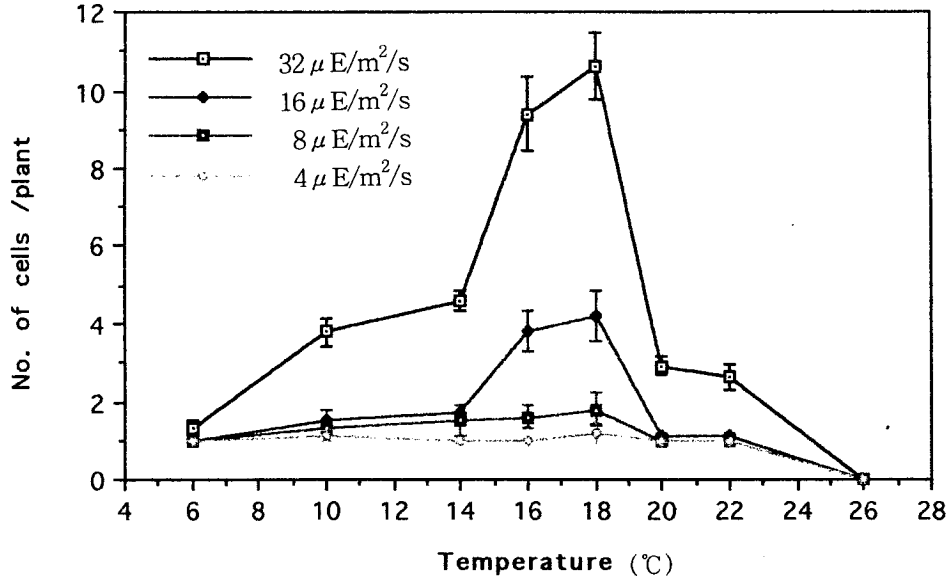

Fig. 12. Growth of *Laminaria japonica* gametophytes under different temperatures and irradiances: vertical bars indicate confidence limit (p=0.05, n=60).

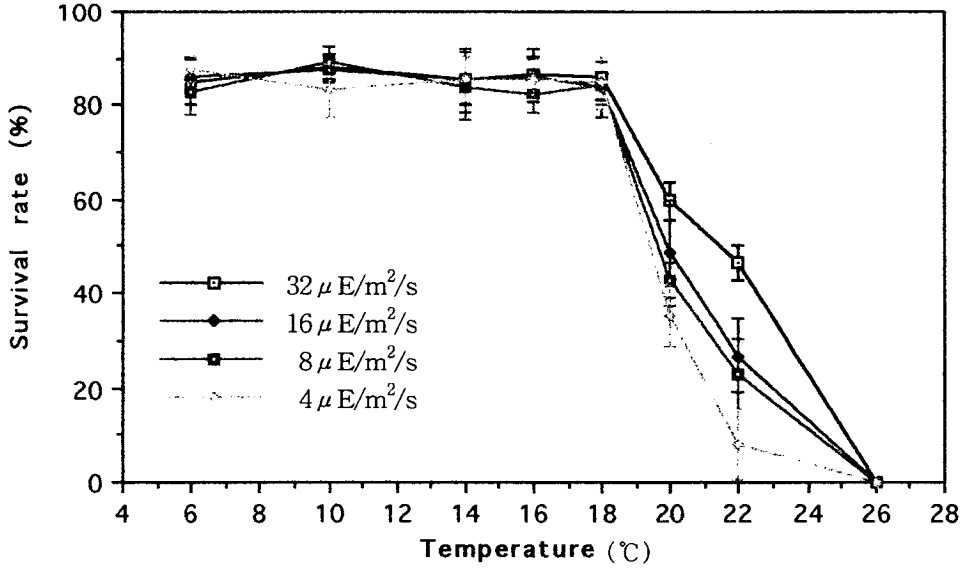

Fig. 13. Survival of *Laminaria japonica* gametophytes under different temperatures and irradiances: vertical bars indicate confidence limit (p=0.05, n=30).

율이 낮아지는 양상을 보였다(Fig. 13).

이러한 결과는 다시마(*L. japonica*)의 공간 분포를 예측하는데 매우 중요한 정보를 제공하고 있다. 즉, 어느 한 지역에서 다시마(*L. japonica*)의 포자체 개체군은 형성과 크기는 일차적으로 배우체의 성장과 생존에 의존하게 되며, 성장과 생존은 그 지역의 수온과 광량에 지배된다는 것이다. 일반적으로 다시마(*L. japonica*)는 아한대성 해조류로 분류되며, 우리 나라에서는 동해안 중부 이북에만 한정되어 분포하는 이유는 이 해역의 수온특성과 연관지어 해석할 수 있다.

실험된 수온간 또는 광량간의 유의성을 알아보기 위해, 반복 없는 이원 배치법으로 분산분석을 실시한 결과, 수온과 광조건에 따라 배우체의 성장은 유의한 차이를 보였다($P<0.001$). 반면 다시마 배우체의 생존율은 광량에 따라 유의한 차이에 없었고, 수온간에는 $P<0.001$의 유의한 차이를 보였다(Table 3,4).

Table 3. Analysis of variance (Two-way ANOVA without recplication) for the growth(number of cells per plant) of *Laminaria japonica* gametophytes under differnt temperatures and irradiances. *0.05>p>0.01, **0.01>p>0.001, ***p<0.001, n.s. not significant at p=0.05.

Source	DF	S.S.	M.S.	F Value
Irradiance	3	61.609	20.536	7.760 ***
Temperature	7	60.619	8.660	3.271 **
Error	21	55.576	2.646	
Total	31	177.803		

Table 4. Analysis of variance (Two-way ANOVA without recplication) for the survival of *Laminaria japonica* gametophytes under differnt temperatures and irradiances. *0.05>p>0.01, **0.01>p>0.001, ***p<0.001, n.s. not significant at p=0.05. Percentage data were arcsine-transformed prior to analysis.

Source	DF	S.S.	M.S.	F Value
Irradiance	3	126.730	42.243	2.387 n.s.
Temperature	7	18027.126	2575.304	145.533 ***
Error	21	371.609	17.696	
Total	31	18525.465		

제 4 장 요약 및 결론

강원도 명주군 안인리 일대의 조하대 암반에 형성된 저서 생물 군집에서 이 지역 생물 군집의 전체 구조와 이 구조 속에 존재하는 patch의 유형을 조사하였다. 또한 patch의 동태에 관한 기초자료를 확보하기 위해 군집 내에서 우점하는 괭생이모자반(*Sargassum horneri*), 알송이모자반(*Sargassum confusum*), 그리고 다시마(*Laminaria japonica*) 3 종의 demography를 조사하였다. 다시마(*L. japonica*)의 demography에 관한 연구 중에는 배우체의 성장과 생존에 미치는 수온과 광량의 영향을 조사하여 이들의 가입에 미치는 환경요인의 작용을 이해하고자 하는 작업도 포함되었다.

1995년 3월부터 1996년 1월까지 본 조사 지역의 조하대 해조 군집에서 관찰된 해조류는 총 46종이었다. 이 중 피도 5 % 이상 우점도가 매우 높은 종은 엔도혹돌잎(*L. yendoi*), 괭생이모자반(*S. horneri*), 알송이모자반(*S. confusum*), 다시마(*L. japonica*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 비틀대모자반(*Sargassum sagamianum*)이었고, 엔도혹돌잎 (*L. yendoi*)을 제외하고는 모두 조하대에서 수관(canopy)을 이루는 종들이었다. 피도로써 이 지역의 생물량 변화를 살펴볼 때, 봄철인 1995년 3월부터 7월까지 해조류의 피도는 증가하고, 9월에 급속히 낮아짐을 볼 수 있었다. 9월 이후로는 다시 점진적으로 증가하는 경향을 보였다.

이러한 결과는 주요 우점종의 demography와 상관이 있다고 판단되었다. 즉, 괭생이모자반(*S. horneri*)과 알송이모자반(*S. confusum*)의 성장은 5월에 111.9 ± 65.1 cm 및 123.0 ± 50.5 cm로 최대에 이르며, 7월에는 난 또는 정자의 방출후 중심가지(main branch)가 녹아들어 엽장이 이 각각 51.6 ± 15.7 cm 및 51.6 ± 28.3 cm로 줄어드는 경향을 보였다. 다시마(*L. japonica*)는 5월부터 7월까지는 엽장이 증가하고, 7월부터 9월까지 성숙과 유주자(miospore)의 방출에 따라 엽장이 줄어드는 것으로 나타났다. 5월과 9월의 엽장은 각각 55.3 ± 31.6 cm 및 51.9 ± 37.9 cm 였고, 7 월에는 68.4 ± 37.1 cm로 나타났다.

조사지점의 patch 구조는 (1) floating canopy로서 괭생이모자반(*S. horneri*)과 알송이모자반(*S. confusum*)이 이루는 각각 독립적인 patch와, (2) stipitate canopy로서 다시마(*L. japonica*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 쇠미역

사촌(*Costaria costata*)이 이루는 patch, (3) 붉은까막살(*Carpopeltis cornea*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*) 등의 직립분기형태의 종들이 파도의 영향을 강하게 받는 해수면 근처에서 형성하는 patch로 구분할 수 있었다.

괭생이모자반(*S. horneri*), 알송이모자반(*S. confusum*), 다시마(*L. japonica*), 미역(*U. pinnatifida*) 4 종을 대상으로 연도별 공간분포와 밀도의 변화를 살펴본 결과, 단년생 해조류인 괭생이모자반(*S. horneri*)과 미역 (*U. pinnatifida*)의 밀도는 다년생인 알송이모자반(*S. confusum*), 다시마(*L. japonica*)에 비해 현저하게 변화하는 경향을 보였다.

이는 적어도 Dayton *et al.*(1984)이 patch의 형성에 대해 '모든 종들은 동시에 무리를 이루지만 서로 다른 생활사로 인해 patch의 조성이 결정되었다'라는 가정을 뒷받침하고 있다. 물론 이러한 결과에 대한 확신을 위해서는 최소한 보다 넓은 지역에서 장기간의 관찰을 요구한다. 왜냐하면 각 종의 생활사가 동일하다고 해서 번식시기와 성장시기가 동일한 것은 아니며, 한 종의 성장시기도 서식지역 수온, 유용한 광량, 영양염의 농도에 따라 달라지기 때문이다.

또한 patch 동태를 연구하기 위해서는 주요 개체군의 가입후 밀도변화를 추적하는 작업이 가장 중요하다. 본 연구에서는 괭생이모자반(*S. horneri*), 알송이모자반(*S. confusum*), 그리고 다시마(*L. japonica*)가 성장하여 안정된 상태에 있는 시기의 사망률을 부분적으로 조사하였다. 그렇지만 이 조사결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 보다 자세한 연구가 요구된다.

배양 실험의 결과, 다시마(*L. japonica*)의 배우체의 성장은 수온과 광조건에 따라 유의한 차이를 보였다 ($P<0.001$). 특히 8 $\mu E/m^2/sec$ 이상의 광조건에서는 18℃까지 수온이 증가할 수록 성장률도 높아지는 양상을 보였고, 18℃ 이상에서는 세포 분화율이 매우 떨어지거나 또는 전 실험개체가 사망하는 것으로 나타났다. 생존율은 광량에 따라 유의한 차이에 없었고, 수온간에는 유의한 차이를 보였다($P<0.001$). 즉, 수온 18℃ 이하에서는 수온 또는 광량에 반응하는 배우체의 생존율은 큰 차이가 없었고, 수온 18℃ 이상에서는 수온이 증가할 수록 또는 광량이 적을수록 생존율이 낮아지는 양상을 보였다.

이러한 결과는 다시마(*L. japonica*)의 공간 분포를 예측하는데 중요한 정보를 제공하고 있다. 즉, 어느 한 지역에서 다시마(*L. japonica*)의 포자체 개체군의 형성과 크기유지 일차적으로 배우체의 성장과 생존에 의존하게 되며, 성장과 생존은 그 지역의 수온과 광량에 지배된다는 것이다.

참고문헌

Benedetti-Cecchi L. and F. Cinelli. 1994. Recovery of patches in an assemblage of geniculate coralline algae: Variability at different successional stages. Mar. Ecol. Prog. Ser. 110: 9-18.

Dayton. P. K. 1971. Competition, disturbance and community organization: the provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. Ecol. Monogr. 41: 351-389.

Dayton P. K., V. Currie, T. Gerrodette, B. D. Keller, R. Rosenthal, and D. V. Tresca. 1984. Patch dynamics and stability of some California kelp communities. Ecol. Mono. 54(3): 253 - 289.

Dayton. P. K.,Tegner, M. J.,Parnell, P. E. Edwards, P. B. 1992. Temporal and spatial patterns of disturbance and recovery in a kelp forest community. Ecol. Monogr. 62: 421-445.

Dethier, M. N. 1984. Disturbance and recovery in intertidal pools: maintenance of mosaic patterns. Ecol. Monogr. 54: 99-118.

Deevey, E. S. 1947. Life tables for natural populations of animals. Quart. Rev. Biol., 22: 283-314.

Farrel,T.M. 1989. Succession in a rocky intertidal community: the importance of disturbance size and position within a disturbed patch. J. exp. mar. Biol. Ecol. 128: 57-73.

Grace, R. V. 1983. Zonation of sublittoral rocky bottom marine life and its changes from the outer to the inner Hauraki Gulf, North-Eastern New Zealand. Tane, 29. 97-108.

Lee J. A. 1992. Gametogenesis and early sporophyte development *Laminaria*

religiosa Miyabe in East Coast of Korea. Korean J. Phycol. 7(1): 109-120.

Littler M.M. and D.S. Litter. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory test of a functional form model. American Natualist. 116: 24-44.

Mann, K.H. 1972. Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. II. Productivity of the seaweeds. Mar. Biol., 14: 199-209.

Mann, K.H., 1973. Seaweeds: their productivity and strategy for growth. Science, 183: 975-981.

Miles J. 1979. Outline studies in ecology: Vegetation dynamics. Chapman and Hall, New York. 80 pp.

Obeid, M., D. Machin, and J. L. Harper. 1967. Influence of density on plant to plant variations in Fiber Flax, *Linum usitatissimum*. Crop Sci., 7: 471-473.

Paine R.T. and S.A. Levin 1981. Intertidal landscapes: disturbance and the dynamics of pattern. Ecological monographs 51: 145-178.

Pickett, S. T. A. and P. S. White. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: a synthesis. In: Pickett, S. T. A. and P. S. White (eds.), The ecology of natural disturbance and patch dynamics. pp 371-384. Academic Press, Orlando.

Putman, R. J. 1994. Community ecology. Chapman and Hall, New York. 178 pp.

Sousa,W.P. 1979. Experimental investigations of disturbance and ecological succession in a rocky intertidal community. Ecol. Monogr 49: 227-254.

Sousa, W.P. 1984. Intertidal mosaics: patch size, propagule availability, and spatially variable patterns of succession. Ecology 65: 1918-1935.

Sousa, W. P. 1985. Disturbance and patch dynamics on rocky intertidal shore. In: Pickett, S. T. A. and P. S. White (eds.), The ecology of natural disturbance and patch dynamics. pp 371-384. Academic Press, Orlando.

Appendix 1. Algal Species in the subtidal benthic comminity of Ahnin on the middle-east coast of Korea. Species are classified for six functional-form groups(Littler and Littler 1980): thin tublar and sheet like (TTSL), delicately branched (DB), coarsely branched (CB), thick blades and branches (TBB), articulated calcareous (AC), and encrusting (ENC).

species	Functional forms					
	TTSL	DB	CB	TBB	AC	ENC
Chlorophyta						
Ulva pertusa		●				
Chaetomorpha moniligera		●				
Cladophora sakaii		●				
Bryopsis plumosa	●					
Codium contracatum			●			
Codium fragile			●			
Codium adhaerence			●			
Phaephyta						
Colpomenia sinuosa		●				
Colpomenia bullosa		●				
Costaria costata				●		
Undaria pinnatifida				●		
Laminaria japonica				●		
Dictyopteris divaricata			●			
Dictyopteris prolifera			●			
Dictyota dichotoma		●				
Spatoglossum pacificum			●			
Coccophora langsdorfii				●		
Sargassum confusum				●		
Sargassum horneri				●		
Sargassum sagamianum				●		
Rhodophyta						
Gelidium amansii			●			
Lithophyllum yendoi						●
Alatocladia modesta					●	
Corallina pilulifera					●	
Carpopeltis cornea			●			
Grateloupia divaricata			●			
Grateloupia filicina			●			
Grateloupia imbricata			●			
Grateloupia okamurae			●			
Grateloupia turuturu			●			
Pachymeniopsis lanceolata			●			
Gigartina tenera			●			
Lomentaria catenata			●			
Lomentaria lubrica			●			
Campia bifida		●				
Antithamnion nipponicum	●					
Campyleophora crassa		●				
Herpochondria dentata		●				
Acrosorium polyneurum		●				
Delesseria violacea		●				
Dasya sessilis	●					
Heterosiphonia pulchra	●					
Chondria crassicaulis			●			
Laurencia intermedia			●			
Polysiphonia japonica	●					
Symphyocldia latiuscula			●			
total	5	11	20	7	2	1

Appendix 2. Relationships between total length (cm) and wet weight (g) of *Saragssum horneri, Sargassum confusum, and Laminaria japonica*. The equation, $W = aL^b$, where W is wet weight and L is length, is adopted for this analysis. The parameters, a and b are estimated from least square method. r^2 is determination coefficient of the relationships.

Species	date	a	b	r^2	SE	n
Sargassum horneri	May 1995	0.031	1.476	0.884302	0.09025	37
Sargassum confusum	May 1995	0.780	0.884	0.852057	0.07371	27
Laminaria japonica	Sep. 1995	0.253	1.268	0.882649	0.07499	40

Appendix 3. Frond size and number of branches of *Sargassum horneri* in May 1995.

order	fresh wt. (g)	total length(cm)	width of stem (mm)	No. of 1st branches	length of 1st branches (cm)
1	53.2	204.0	1.66	130	13.9 ± 0.65
2	142.8	194.0	2.10	103	23.4 ± 2.30
3	108.5	190.0	1.85	115	19.9 ± 0.65
4	91.1	189.5	1.75	130	17.1 ± 1.82
5	56.4	174.0	1.51	73	21.2 ± 2.08
6	85.7	171.0	3.11	137	26.1 ± 3.29
7	138.5	167.0	2.78	152	15.7 ± 3.56
8	61.9	165.0	1.36	104	13.8 ± 3.90
9	61.4	163.0	1.73	130	13.5 ± 1.58
10	137.0	163.0	3.38	95	20.4 ± 2.77
11	35.8	157.0	1.95	76	13.2 ± 1.82
12	46.8	155.5	1.52	120	13.3 ± 0.67
13	108.1	152.0	2.83	88	24.8 ± 3.03
14	37.0	151.0	1.81	120	12.1 ± 1.47
15	54.3	150.0	2.24	133	11.8 ± 1.79
16	88.6	149.5	2.40	113	23.2 ± 9.01
17	52.3	149.0	2.42	70	14.6 ± 0.55
18	103.5	142.5	2.33	55	28.8 ± 5.51
19	148.4	140.5	2.79	45	25.7 ± 1.91
20	45.5	135.0	2.69	77	23.5 ± 3.67
21	23.2	122.0	0.52	85	9.3 ± 1.47
22	22.3	119.5	2.37	114	10.0 ± 1.41
23	16.2	114.0	1.59	90	11.7 ± 1.68
24	46.7	112.0	2.66	93	6.0 ± 1.27
25	59.8	77.0	2.92	25	33.7 ± 6.42
26	6.3	66.0	1.35	87	2.9 ± 0.22
27	3.4	60.0	0.93	66	3.4 ± 0.15
28	6.2	57.0	1.48	60	4.0 ± 0.00
29	8.9	55.0	3.03	70	5.6 ± 0.82
30	1.6	28.0	1.87	42	3.8 ± 0.62
31	1.4	28.0	1.11	38	3.0
32	1.1	20.0	1.30	25	3.0
33	0.4	7.0	2.08	3	1.3 ± 0.58
34	0.1	6.0	0.83	15	2.0 ± 0.42
35	0.2	5.0	0.60	13	2.0
36	0.1	1.5	1.03	6	0.5
37	0.1	0.5	0.60	1	0.5
average	50.1±46.7	111.9±65.1	1.905±0.766	78.4±42.6	12.9±9.2

Appendix 4. Multiple regression and correlation. The total length of *Sargassum horneri* is assumed to be dependent upon width of stem, no. of branches, and length of branch.

CORRELATION ANALYSIS

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 37

	Total length	Width of stem	No. of branches	Length of branch
Total length	1.00000 0.0	0.46030 0.0041	0.84390 0.0001	0.72197 0.0001
Width of stem	0.46030 0.0041	1.00000 0.0	0.37167 0.0235	0.64871 0.0001
No. of branches	0.84390 0.0001	0.37167 0.0235	1.00000 0.0	0.40780 0.0122
Length of branch	0.72197 0.0001	0.64871 0.0001	0.40780 0.0122	1.00000 0.0

Dependent Variable: TOTAL LENGTH

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	3	136453.12254	45484.37418	93.098	0.0001
Error	33	16122.63422	488.56467		
C Total	36	152575.75676			

Root MSE	22.10350	R-square	0.8943
Dep Mean	111.91892	Adj R-sq	0.8847
C.V.	19.74956		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
Intercept	1	4.377868	10.67694922	0.410	0.6844
Width of stem	1	-11.824620	6.39704560	-1.848	0.0735
No. of branches	1	1.034096	0.09581555	10.793	0.0001
Length of branch	1	3.790629	0.54098383	7.007	0.0001

Appendix 5. Frond size and number of branches of *Sargassum confusum* in May 1995.

order	fresh wt. (g)	total length(cm)	length of stem (cm)	width of stem (mm)	length of main branches (cm)
1	93.3	214.7	11.70	4.71	203.0
2	110.0	200.0	12.00	5.59	188.0
3	66.2	192.9	5.40	4.00	187.5
4	106.2	177.2	4.70	4.13	172.5
5	68.5	179.2	7.60	4.59	171.6
6	86.5	169.9	5.20	3.68	164.7
7	64.9	156.6	7.50	4.09	149.1
8	56.7	152.2	4.00	2.86	148.2
9	91.0	143.2	3.20	3.06	140.0
10	62.1	142.6	7.60	4.08	135.0
11	64.5	132.0	4.00	3.14	128.0
12	36.0	130.3	2.77	2.66	127.5
13	72.0	129.9	3.90	3.37	126.0
14	66.0	130.2	6.20	4.40	124.0
15	48.0	122.1	2.10	5.82	120.0
16	38.0	118.1	4.11	3.34	114.0
17	49.7	115.9	3.40	1.47	112.5
18	41.6	111.0	6.04	2.89	105.0
19	38.9	106.8	6.00	4.42	100.8
20	49.0	97.1	2.60	1.96	94.5
21	38.6	87.0	3.00	2.68	84.0
22	49.4	85.7	3.20	2.89	82.5
23	25.2	71.9	2.90	2.70	69.0
24	29.1	53.3	2.28	3.25	51.0
25	31.0	51.8	2.30	2.01	49.5
26	19.3	32.9	1.43	2.68	31.5
27	9.5	17.4	1.38	1.94	16.0
average	55.96±25.82	123.0±50.45	4.686±2.745	3.423±1.086	118.3±48.39

Appendix 6. Multiple regression and correlation. The total length of *Sargassum confusum* is assumed to be dependent upon length and width of stem.

CORRELATION ANALYSIS

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 27

	Total length	Width of stem	Length of stem
Total length	1.00000 0.0	0.76373 0.0001	0.63955 0.0003
Width of stem	0.76373 0.0001	1.00000 0.0	0.66001 0.0002
Length of stem	0.63955 0.0003	0.66001 0.0002	1.00000 0.0

Dependent Variable: TOTAL LENGTH

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	40751.02312	20375.51156	19.234	0.0001
Error	24	25423.95688	1059.33154		
C Total	26	66174.98000			

Root MSE	32.54737	R-square	0.6158
Dep Mean	123.03333	Adj R-sq	0.5838
C.V.	26.45411		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
Intercept	1	32.753264	21.30107237	1.538	0.1372
Width of stem	1	11.123813	3.09506491	3.594	0.0015
Length of stem	1	11.149099	7.82167412	1.425	0.1669

Appendix 5. Frond size and number of branches of *Sargassum confusum* in May 1995.

order	fresh wt. (g)	total length(cm)	length of stem (cm)	width of stem (mm)	length of main branches (cm)
1	93.3	214.7	11.70	4.71	203.0
2	110.0	200.0	12.00	5.59	188.0
3	66.2	192.9	5.40	4.00	187.5
4	106.2	177.2	4.70	4.13	172.5
5	68.5	179.2	7.60	4.59	171.6
6	86.5	169.9	5.20	3.68	164.7
7	64.9	156.6	7.50	4.09	149.1
8	56.7	152.2	4.00	2.86	148.2
9	91.0	143.2	3.20	3.06	140.0
10	62.1	142.6	7.60	4.08	135.0
11	64.5	132.0	4.00	3.14	128.0
12	36.0	130.3	2.77	2.66	127.5
13	72.0	129.9	3.90	3.37	126.0
14	66.0	130.2	6.20	4.40	124.0
15	48.0	122.1	2.10	5.82	120.0
16	38.0	118.1	4.11	3.34	114.0
17	49.7	115.9	3.40	1.47	112.5
18	41.6	111.0	6.04	2.89	105.0
19	38.9	106.8	6.00	4.42	100.8
20	49.0	97.1	2.60	1.96	94.5
21	38.6	87.0	3.00	2.68	84.0
22	49.4	85.7	3.20	2.89	82.5
23	25.2	71.9	2.90	2.70	69.0
24	29.1	53.3	2.28	3.25	51.0
25	31.0	51.8	2.30	2.01	49.5
26	19.3	32.9	1.43	2.68	31.5
27	9.5	17.4	1.38	1.94	16.0
average	55.96±25.82	123.0±50.45	4.686±2.745	3.423±1.086	118.3±48.39

Appendix 6. Multiple regression and correlation. The total length of *Sargassum confusum* is assumed to be dependent upon length and width of stem.

CORRELATION ANALYSIS

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 27

	Total length	Width of stem	Length of stem
Total length	1.00000 0.0	0.76373 0.0001	0.63955 0.0003
Width of stem	0.76373 0.0001	1.00000 0.0	0.66001 0.0002
Length of stem	0.63955 0.0003	0.66001 0.0002	1.00000 0.0

Dependent Variable: TOTAL LENGTH

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	40751.02312	20375.51156	19.234	0.0001
Error	24	25423.95688	1059.33154		
C Total	26	66174.98000			

Root MSE	32.54737	R-square	0.6158
Dep Mean	123.03333	Adj R-sq	0.5838
C.V.	26.45411		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
Intercept	1	32.753264	21.30107237	1.538	0.1372
Width of stem	1	11.123813	3.09506491	3.594	0.0015
Length of stem	1	11.149099	7.82167412	1.425	0.1669

Appendix 7. Frond size of *Laminaria japonica* in November 1995.

order	fresh wt. (g)	total length(cm)	width of blade (cm)	length of stipe (cm)	width of stipe (mm)
1	116.7	158.5	9.0	5.5	6.18
2	117.6	144.5	5.3	4.5	5.88
3	101.6	126.9	9.3	3.4	5.88
4	114.5	124.5	8.5	3.3	5.42
5	88.9	97.5	8.2	3.5	4.99
6	104.3	96.0	8.0	4.7	5.99
7	56.5	92.0	7.5	4.0	4.57
8	69.9	89.4	7.9	3.4	6.66
9	52.5	89.0	5.5	2.2	5.05
10	78.9	88.8	8.3	5.6	6.35
11	78.3	84.1	8.2	5.1	6.42
12	71.0	82.0	8.4	4.0	6.58
13	74.0	78.4	8.9	3.9	5.83
14	47.0	70.7	6.9	3.2	4.57
15	51.6	69.5	7.7	3.5	4.29
16	45.1	66.0	6.0	3.5	4.76
17	58.3	61.0	7.4	4.0	5.31
18	32.3	58.0	4.6	4.0	4.73
19	54.6	58.0	8.1	3.0	6.03
20	51.9	57.0	6.6	2.9	5.70
21	56.8	51.0	8.7	3.2	5.64
22	23.3	44.8	6.5	4.3	3.72
23	15.1	42.5	5.0	5.5	5.28
24	33.5	41.4	7.1	5.4	5.40
25	23.6	41.0	6.5	3.0	4.68
26	26.2	35.5	6.0	3.5	4.91
27	47.5	35.2	8.8	5.0	7.35
28	20.3	35.0	6.5	3.6	5.13
29	36.6	32.5	8.4	4.3	7.09
30	33.8	31.9	6.5	4.1	6.13
31	27.9	29.9	9.0	5.4	5.94
32	26.9	28.0	7.2	4.5	5.83
33	7.6	24.4	3.1	2.9	3.57
34	10.2	19.8	4.6	4.3	4.73
35	9.3	17.3	4.1	2.7	3.71
36	10.0	15.2	6.3	5.2	4.64
37	10.2	14.0	4.8	3.0	4.53
38	7.1	12.6	5.6	3.0	3.96
39	2.2	11.0	2.5	3.5	3.07
40	2.6	9.2	3.2	3.7	3.72
average	47.40±33.60	59.10±37.92	6.77±1.79	3.93±0.89	5.26±1.01

Appendix 8. Multiple regression and correlation. The total length of *Sargassum confusum* is assumed to be dependent upon length and width of stem.

CORRELATION ANALYSIS

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 40

	Total length	Width of blade	Length of stipe	Width of stipe
Total length	1.00000 0.0	0.53611 0.0004	0.11988 0.4612	0.42390 0.0064
Width of blade	0.53611 0.0004	1.00000 0.0	0.31326 0.0490	0.75311 0.0001
Length of stipe	0.11988 0.4612	0.31326 0.0490	1.00000 0.0	0.43198 0.0054
Width of stipe	0.42390 0.0064	0.75311 0.0001	0.43198 0.0054	1.00000 0.0

Dependent Variable: TOTAL LENGTH

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	3	16392.94796	5464.31599	4.958	0.0055
Error	36	39675.71204	1102.10311		
C Total	39	56068.66000			

Root MSE	33.19794	R-square	0.2924
Dep Mean	59.10000	Adj R-sq	0.2334
C.V.	56.17248		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
Interceot	1	-16.178415	30.94114045	-0.523	0.6043
Width of blade	1	10.569557	4.51416928	2.341	0.0249
Length of stipe	1	-2.988286	6.60536537	-0.452	0.6537
Width of stipe	1	2.949362	8.43993677	0.349	0.7288