

최 종
연구보고서

갯녹음 (백화) 현상의 원인 규명 및 대책

2002. 12

연구기관
강릉대학교

해양수산부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “갯녹음(백화) 현상의 원인 규명 및 대책” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002년 12월

주관연구기관명 : 강릉대학교

총괄연구책임자 : 김형근

연구원 : 손철현 홍용기 전방욱
손용수 강래선 황은경
최창근 박중구 조규남
최재석 신원준 박운남
박주영 이주일 전찬길
원기식 김미정 이송복
김동삼 한규삼

여 백

요 약 문

I. 제 목

갯녹음 (백화) 현상의 원인 규명 및 대책

II. 연구개발의 목적 및 중요성

갯녹음 현상은 연안에서 어떤 요인에 의해서건 엽상형 해조류가 소멸되고 시멘트와 같은 석회질로 된 딱딱한 홍조류인 무절석회조류가 암반을 뒤덮는 현상이다. 바다 석회식물이 암반에 서식분포가 넓어지면서 엽상 해조의 공간을 빼앗아 버리고 수 종의 석회 식물에 의해 우점되어 버림으로서 연안에 해조류가 줄어들고 종다양성이 낮아지는 것이 심각한 해양 생태적 문제가 되고 있다.

해조숲은 어류, 새우, 게, 고등 종류의 먹이원이 되기도 하고 서식처가 되어 바닷속의 생물 사회를 이루는 곳이기도 하다. 이 바다숲이 어떤 요인에 의해 축소되면 이들 바다숲에 서식하는 수산동물도 감소되기 때문에 바다황폐화로 어촌계의 마을 소득이 줄어들고 수산업에 있어서도 피해를 크게 받게 된다.

갯녹음 현상이 확산되는 요인을 파악하는 것은 우리나라 연안 바다를 효율적으로 관리하는데 도움이 된다. 석회조 식물과 엽상해조의 관계 등에 의한 바다생태계의 흐름을 이해하여 해양환경의 변동을 예측하는 것은 바다녹화를 위한 첫 단계의 연구가 될 것이다.

지금까지 갯녹음 현상에 대한 연구가 잘 이루어지지 않은 점은 해조숲이 축소되는 현상이 여러 해양환경 요인과 석회조와 엽상해조, 식물과 초식자 등과 같은 생물적인 요인 외에 오염 현상 등에 의해 매우 복잡하게 나타나기 때문이다. 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.

바다의 석회식물은 수 억년 전부터 존재해 왔고 연안의 다른 해양생물과 공존해오고 있다. 따뜻한 해역에 주로 서식하는 석회식물은 오랜 동안 바다에 적응해 오면서 바다환경의 변화를 지표하고 있다. 석회조류가 분포하더라도 다른 엽상해조와 잘 공존하는 해역을 우리는 강원도 북부 고성 DMZ 부근 해역에서 관찰한 바 있다. 연안오염이 거의 배제된 이 해역의 석회식물이 다른 바다생물과 공존 공생하고 있다. 석회식물은 다른 식물이 서식할 수 있게 그 바닥을 제공하고 다른 식물은 뜨거운 햇빛을 막아주거나 엽상체의 수분으로 습도를 알맞게 유지하여 주게 되는 경우가 있다. 인간의 오염에 의해 바다에 환경부담을 주게 될 때 엽상해조는 사라지고 거친 석회식물만이 남거나 아무런 생물이 살 수 없는 바다황폐화가 빠르게 진행이 될 우려가 있다.

석회조의 서식은 포복형이므로 직립하는 엽상형 식물과는 층상구조를 이루어 분포하기 때문에 석회조의 피복도를 산정하기가 쉽지 않다. 어떤 해역에 분포하는 석회조류가 다른 해조와 안정한 균락을 이루지 않고 단순한 종구성을 보여 갯녹음역이라고 볼 수 있는 곳에서 석회조의 변동과 엽상해조와의 관계를 생물적으로 또는 화학적으로 파악하는 것은 갯녹음 현상을 이해하는데 가장 중요한 요인이 된다.

우리는 석회식물의 환경적응성을 분석함으로써 바다환경의 변화를 분석하고 예측하고자 하였다. 석회조류가 확산될 때에는 해조숲이 축소되고 석회조류가 축소될 때에는 해조숲이 확장되기 때문에 어떤 해역의 생태 천이의 순환을 이해하는 것은 갯녹음 현상이 어떤 진행단계인가를 알 수 있다. 사람의 질병을 고치기 위해서 무슨 병이 어느 정도 진행되었는지를 먼저 알아야 치유될 수 있는 것과 마찬가지로 바다 연안에 진행되고 있는 갯녹음의 진행단계를 파악하고 해조의 식생 천이현상의 분석으로 갯녹음 현상의 진단을 시도하였다.

해조류가 사라지는 갯녹음 현상의 대책 마련을 위해서는 그 요인이 자연생태에 의한 것인지, 그렇지 않으면 인간활동에 의한 요인인지를 먼저 밝히는 것이 중요하다. 자연 요인으로서 연안에 석회식물이 우점하지만 고유한 식생이 형성되어 다시 해조숲으로 회복할 수 있지만 오염에 의한 바다의 사막화는 외관상 석회조 평원과 유사하지만 회복될 수 없는 경우이다. 그러므로 인간활동에 의한 매립, 방파제의 축조나 연안 시설물 설치 등에 대해서는 신중히 바다환경을 고려하여야 한다. 적극적인 방법으로 바다숲을 조성하는 방법으로 바다녹화의 방법들을 제시하고 있다. 이는 석회조의 환경적응성과 엽상해조, 초식자와의 관계 등을 고려하여 해조의 착생기질을 넓혀 주는 것이 좋은 방안일 수 있다.

바다녹화 사업의 일환으로 추진되고 있는 인공어초의 투하도 석회조의 부착시기를 피하여 투하시기를 정하는 것이 효율적이다. 석회식물의 환경적응과 포자의 번무시기 등이 해역에 따라 달라지기 때문에 갯녹음 현상에 대한 대처 방안도 해역에 따라 달라질 수 있다.

동해연안은 남북으로 길게 늘어져 있어 쿠로시오의 영향을 많이 받는 곳에서 점차 적게 받는 곳으로 그 구배가 뚜렷하다. 또한 지형적으로도 바다 바깥에 직접 노출되어 파도나 해류의 영향이 있는 곳과 정체된 곳으로 나누어 볼 수 있으며 하천 하구 등이나 방파제가 축조가 된 곳에서는 인간활동에 의한 오염이 진행된 곳의 여러 곳에서 조사가 이루어졌다.

이 연구에서는 갯녹음이 매우 심각하게 나타나고 있는 동해안을 중심으로 갯녹음 현상이 발생하는 생태적 특성에 따른 원인분석과 갯녹음 현상의 진단, 이에 대처하는 방안에 대해서 분석하였다.

갯녹음 해역에서 조사된 생태적 특성은 동해연안에서 지형적 또는 해역별 해양환경의 차이에 따른 갯녹음 현상의 발생 실태를 분석하였다. 그 내용은 3장의 연구개발 내용 및 결과를 다시 3~1 - 3~6장으로 (1) 동해연안의 해조생태와 갯녹음 현상 (2) 무절석회조의 실내배양과 야외생태 특성 (3) 갯녹음 해역의 초식작용 (4) 무절석회조의 색소조성, 색소단백질과 광합성 특성 (5) 무절석회조 추출물로부터 포자부착 및 발아 억제물질의 분리와 그 영향 (6) 동해연안 생태 특성에 의한 갯녹음 현상의 원인 및 진단으로 나누어 분석하였다. 마지막의 3~6 장에서는 앞의 결과를 고찰하는 형태로 갯녹음의 원인과 진단에 대해 분석하였다. 또한 갯녹음 현상의 대처방안으로는 우리가 하지 말아야 할 것과 적극적으로 해야 할 것으로 3~7과 3~8의 2 장으로 나누어 (1) 바다오염 방지에 의한 갯녹음 현상 대처방안 (2) 적극적인 방안으로서 바다녹화에 대해 분석하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

■ 1년차(2000년) 갯녹음 발생 현황과 발생과정제시

- 조사해역의 해양환경 분석
- 갯녹음역의 해조군집 특성과 피해현황 분석
- 무절석회조류의 산소발생능과 환경내성 조사
- 무절석회조류의 유효성분 분석과 미생물의 영향
- 해양환경에 따른 이식종의 특성
- 갯녹음 현상 발생과정의 예시

■ 2년차(2001년) 갯녹음현상의 발생원인 규명

- 조사해역의 해양환경

- 갯녹음역의 무절석회조류와 다른 해조와의 관계
- 무절석회조류의 생리, 생태
- 무절석회조류의 작용효소 및 유기물질의 분리정제
- 무절석회조류의 구조파악과 작용기작 연구
- 군집복원을 위한 이식방법
- 무절석회조류와 성계와의 관계

■ 3년차(2002년) 갯녹음 현상의 발생원인과 발생방지 및 극복방안제시

- 갯녹음 피해의 해역별 특성
- 무절석회조류와 다른 해조와의 관계
- 무절석회조류의 내고온성 생리와 효소특성
- 무절석회조류의 유효물질의 성질 및 특성분석
- 유용해조류의 생장단계별 이식효과
- 인공종묘의 보호와 유지
- 갯녹음 현상의 발생방지와 극복방안 제시

IV. 연구개발결과

○ 갯녹음(백화) 현상의 정의

갯녹음현상은 연안에서 어떤 요인에 의해서건 엽상형 해조류가 소멸되고 시멘트와 같은 석회질로 된 딱딱한 홍조류인 무절석회조류가 암반을 뒤덮는 현상이다. 이처럼 바닷속의 해조류가 사라지면 그것을 먹이로 하는 성계나 전복 등의 자원감소는 물론이고, 바다숲을 서식처나 산란장으로 이용하는 모든 수중생물의 자원 또한 감소하게 되어 결국 마을어장이 황폐화되는 결과를 초래하고 있다.

○ 해조의 쇠퇴원인

해양환경의 변동, 조식동물에 의한 섭식압과 석회조에 의한 다른 식물의 착생저해에 의한 생물적인 요인이 자연생태적 요인이며 남획이나 연안오염에 의한 요인은 인위적인 요인으로 나눌 수 있다. 동해연안의 남부에서 북부로 갈수록 무절석회조의 피도는 점차 감소하여 나타났으며 속초와 양양, 강릉해역은 석회조의 피도가 10~30%, 동해, 삼척과 부산연안에 걸쳐서는

40~60%로서 쿠로시오해류의 영향이 큰 해역에서 석회조의 피도가 현저히 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 갯녹음이 진행되고 있는 무절석회조가 우점한 군락에서도 그물바탕말, 팽생이 모자반, 지층이 종류는 우점도가 높게 분포하였으며 이중 그물바탕말은 석회조 상층부에 넓게 분포하였다.

○ 동해연안의 해양환경 특성에 따른 갯녹음 현상을 분석

1차년도에는 갯녹음 발생실태에 대하여 동해연안에서 쿠로시오 해류의 이동방향인 부산에서 삼척, 동해, 강릉, 속초와 최북단 DMZ 이르는 지점에서 야외조사와 어업인들로부터 탐문조사를 수행하였다. 2, 3차년도에는 이 지점들 중에서 갯녹음 발생이 어느 곳보다 심한 삼척 갈남의 해역을 선택하여 해양환경 특성과 연관하여 갯녹음 발생의 유형과 특성을 분석하였다. 대조구로서 강릉 경포 연안, 연곡천 해역, 양양 남해 해역의 식생을 비교하였다.

○ 삼척 갈남 갯녹음 해역의 해조 출현종수와 무절석회조류의 피도

삼척 갈남의 해조류 출현종수는 녹조 5종, 갈조 11종, 홍조 29종 총 45종으로 조사되었다. 무절석회조류의 피도는 전년도의 48%보다는 다소 낮은 36.8%를 보였다. 그 이유는 조간대의 해조군락이 번무하여 수평적으로 확대된 것에 기인하며 조하대에는 여전히 무절석회조류의 피도가 60~70% 이상의 높은 수치를 나타내었다.

○ 갯녹음 해역 해조의 계절에 따른 생활사형별 조성변화

해조류의 계절별 소형단년생, 소형다년생, 대형단년생, 대형다년생으로 나눈 생활사형별에 따른 조성변화를 보면 봄철보다는 여름철에 소형다년생 해조가 우점하게 나타났다. 이에 반해 소형단년생 해조는 현존량이 줄어들었는데 이는 여름철의 해조쇠퇴로 보아진다. 대형해조의 다년생에 있어서도 대형다년생 무리는 여름철에 대형단년생보다 높게 나타났으며 8월 이후 가을철에는 거의 비슷하게 나타났다.

○ 갯녹음 해역 해조식생의 수직분포 특성

갯녹음 해역이더라도 독특한 해조식생을 보여준다. 갈남의 경우 수심 3m 이하는 거의 조사면적의 80% 이상 독점적으로 석회조류만이 분포한다. 그러나 조간대에서는 해조식생이 비교적 다양하게 나타났으며 수심 1m까지는 빈약한 식생을 보였다. 그러므로 무절석회조류가 조간대의 저조선에까지 무절석회조의 확산이 이루어진 반면 2001년에는 저조선 부근의 매우 협소한 부분에서 다소 식생이 회복되었다.

○ 무절석회조류의 종류와 분포

삼척 갈남 연안에 분포하는 석회조류의 종류는 크게 *Hydrolithon samoënsis*, *Lithophyllum okamuræ*, *L. yessoense*, *Lithothamnion sonderi* 등으로 구분되었다. 이들의 수심에 따른 분포를 보면 조간대에서는 *L. okamuræ*와 *L. sonderi*의 분포가 두드러졌고, *L. okamuræ*는 수심 2~3m, *L. sonderi*는 수심 7m 내외까지 분포하였다. 그 이하의 수심에서는 *H. samoënsis*와 *L. yessoense*가 우점하여 혼생하였다. 갈남 연안의 갯녹음역은 수심 13m 이하까지 확대되어 있었다.

○ 무절석회조류의 성장률과 포자방출 양상

석회조의 포자의 성장률은 온도, 조도, 염분의 조건에 따라 큰 차이를 보였다. 20℃에서 최대치를 보였으며 암조건에서 배양한 포자의 경우 배양 20일 까지 포자의 성장률은 거의 증가하지 않았다. 염분조건 비교에서 34‰ 구간에서 성장률이 0.123으로 최대치를 나타내었다.

○ 무절석회조의 성장적온

석회조류의 포자의 실내배양을 통해 성장 및 생활사를 조절하는 환경요인을 구명하였다. 포자의 온도내성을 5~10℃ 구간에서는 생장이 저하되고 15~20℃에서는 최적 수온을 나타내었다.

○ 무절석회조류와 공존하는 엽상형 해조류

갯녹음 해역이라 하더라도 무절석회조류만 분포하는 것은 아니라 독특한 해조식생을 보여 준다. 무절석회조류만 있는 곳, 석회조류 위에 말잘피, 알송이모자반, 참그물바탕말이 서로 같이 분포하고 있는 곳이 있다. 석회조류와 대부분 많은 해조류가 같이 분포하지 않지만 이와 같이 친근관계를 나타내는 종이 있다. 석회조류와 같이 분포하는 종류들은 석회조의 성분이나 공간경쟁에서 서로 아무런 장애가 되지 않는 것으로 보인다.

○ 석회조류와 가까운 엽상해조의 그룹별 종류

삼척갈남 갯녹음 해역에 분포하는 엽상해조의 친근정도가 가장 가까운 1그룹에서 5그룹으로 유형화.

제1그룹 - 그물바탕말, 우뭇가사리, 제2그룹 - 우뭇가사리, 팽생이모자반, 지충이, 구멍갈파래, 제3그룹 - 개서실, 도박, 진두발, 부챗살, 분홍잎, 제4그룹 - 모자반, 툫 제5그룹 - 기타 엽상 해조류

○ 무절석회조류와 엽상형 해조와의 기질점유에 따른 분포특성

석회조류 또는 각상조류간의 기질점유가 다르다. 또한 딱딱한 시멘트 모양의 석회조류에도 실모양의 우뭇가사리 종류가 엉켜 있어서 이 그물망 같은 해조 위에 포자의 착생으로 해조식생이 형성될 수 있다. 갯녹음 해역의 해조밭 조성의 모델은 이와 같은 해조식생의 형성, 천이 과정에서 찾을 수 있다.

○ 무절석회조류와 엽상형 해조의 분포특성

갯녹음이 발생한 해역에 분포하는 무절석회조류는 엽상 해조류와 서식지에서 식생의 천이 과정에 따라 달리 나타나는데, 이를 유형별로 나누어 보면 1) 엽상 해조류가 완전히 무절석회조류 위에 분포하는 형태, 2) 엽상 해조류가 무절석회조류의 저면으로 파고 들거나 윗방향으로 밀어올라오는 형태, 3) 타해조류와 무절석회조류가 공간경쟁으로 다른 무절석회조류나 해조류가 서로 격리되어 있는 형태 등으로 그 특성을 파악할 수 있었다.

○ 갯녹음 해역 초식동물의 작용

수조내에서 다시마와 석회조 해조를 먹이로 하여 9개월간 수조내에서 배양 실험을 수행하였다. 폐사율은 전복의 경우 엽상형 해조의 시험구는 20 %, 갯녹음 해역에서는 83 % 이었다. 밤고둥의 경우는 엽상형 해조가 있는 수조에서는 50 %, 갯녹음 해역에서는 93 %가 폐사함으로써 다시마보다 석회조를 섭식한 동물은 폐사가 심하고 활력이 매우 낮았다.

○ 초식동물의 섭이 영향 분석

남해 연안에서 성계의 종류별로 서식 습성을 조사하였다. 저질형태에 따른 분포 양상은 노출 암반과 연결된 얕은 암반지대로서 해조가 비교적 번무한 곳에는 등근성계, 새치성계의 소형 군과 말뚝성계가 혼합 서식하고, 해조가 없는 곳에는 등근성계가 대량 서식하였다. 또한 요철형 대형 암반이 연결되고 암반 위쪽에 해조가 소량 서식하는 곳에는 등근성계, 새치성계가 혼합 서식하였으며 모래와 대형 암반으로 형성된 지역에서는 보라성계만 서식하였다.

○ 탄소안정동위원소 분석에 의한 영양원 비교

동해안 연안의 바다숲 해역과 갯녹음 수역 암반으로부터 채집된 식물에 대한 탄소안정동위원소비 ($\delta^{13}\text{C}$)값의 분포는 우뭇가사리의 -34.9%부터 떡칭각의 -7.0%에 이르는 비교적 넓은 범위를 나타내었다. 식물플랑크톤의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 해양 식물플랑크톤에서 일반적으로 측정되는 범위 내에 포함되는 -20.3‰으로 대형 해조류 값들의 중간에 위치하는 값을 나타낸 반면, 암반 표면의 부착 저서미세조류는 -16.3‰로 상대적으로 무거운 원소인 ^{13}C 가 다소 축적된 양상을 나타

내었다. 한편, 갯녹음이 일어난 암반의 흑돌잎과 매끈돌잎의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 각각 -6.8과 -6.1‰로 해조숲이 이루어진 다른 식물군에 비하여 ^{13}C 의 높은 축적을 나타내어 뚜렷이 구분되었다.

○ 조식동물의 서식 밀도

등근성계의 경우 갯녹음 지역에서는 수심 4m내외에서는 15~20미/m², 6m층에서는 12~16미/m², 10m층이심에는 10미/m² 이내로 감소하며 각경의 크기도 수심이 깊을수록 고령군이 서식을 하고 있고 밤고둥은 조간대에서 8m정도까지만 서식하고 군소는 비교적 깊은 곳에 서식하는 특성을 보였다.

○ 무절석회조의 색소조성

색소는 엽록소 a 와 피코에리스린의 함량이 높고 흡수극대가 넓은 범위에 걸쳐 있어 갯녹음 원인조류인 *Lithophyllum* 종은 sub-littoral marine habitat에서 성공적으로 번식하고 있는 것으로 보였다.

○ 무절석회조류의 색소 단백질 분석

흡수스펙트럼과 형광스펙트럼에서 이 색소단백질은 B-피코에리스린으로 판단되었으며 550nm, 615nm에서 최대흡광도를, 570nm와 630nm에서 최대형광을 갖는 것으로 나타나 R-피코시아닌으로 판단되었다. Sephacryl S-300 column을 이용한 겔 크로마토그래피에 의한 피코빌리단백질의 분자량 추정과 각 peak에서의 전기영동패턴을 분석하였다.

○ 무절석회조류가 광합성시 이산화탄소에 참여하는 효소특성

매끈쩍(*Lithothamnion muelleri*) rubisco 효소조추출액의 활성은 31.782 nmole CO₂/mg protein/min으로 나타났다. 매끈쩍(*Lithothamnion muelleri*) rubisco의 생체량당 효소조추출액의 활성은 92.6 nmole CO₂ fixed per g fresh weight per hour로 나타났다. pH에 따른 Rubisco활성변화를 조사하였을때, 50mM 완충용액(HEPES 7.0, HEPES 7.5, HEPES 8.0, Bicine 8.0, Bicine 8.2, Bicine 8.4, Bicine 8.5, Bicine 8.6, Bicine 8.8 그리고 Bicine 9.0)에서 각각 38.4599, 89.3628, 136.872, 162.889, 179.857, 186.644, 195.693, 174.201, 145.922, 123.298nmole CO₂/mg protein/min으로 나타나, HEPES완충용액에서는 pH 8.0에서 가장 높은 값을 보였으며, Bicine완충용액에서는 pH 8.5에서 가장 높은 값을 보였다.

○ 무절석회조류의 이산화탄소 이용 특성

일반적으로 기온이 올라가면 해수내의 기체의 용존량은 감소하게 되는데, 이렇게되면 해조

는 더욱 극심한 CO₂ 감소에 시달리게 된다.

매끈찍은 $2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 와 같은 석회화 과정을 진행하면서 CO₂ 농도를 조체 주변에 높게 유지할 뿐 아니라 고온에 내성을 갖는 rubisco가 CO₂에 대한 높은 친화력을 가짐으로써 해수환경에서 다른 해조류보다 더욱 잘 번성하고 있는 것으로 사료 된다.

○ 무절석회조류 추출물로부터 엽상형 해조의 포자부착 및 발아억제 영향

무절석회조류의 어떤 물질이 엽상형 해조류에 영향을 주는지를 알아보기 위해 무절석회조류로부터 추출물을 만들어 분리, 정제하였다. 발아실험은 포자가 충분히 발아하는 1주일 동안 배양한 후 현미경하에서 계측하였다. 추출물에서 납작파래는 8.3%, 잎파래 0%, 꼬시래기 0.7%, 도박 7.9%, 부챗살 0%, 미역 0.2%, 바윗수염은 0%의 발아율을 나타내었다.

○ 무절석회조류로부터 포자부착 및 발아억제 물질 분리

무절석회조류를 채집하여 냉동고에 보관하여 사용하였으며 Diethyl ether 추출물을 조제하여 잎파래의 포자반기 실험을 하였다. 추출물에 의해 부착과 발아에 모두 강하게 영향을 받는 잎파래에서 연중 계속적으로 포자를 받아 assay에 사용하였다. Allelochemical 물질 분리를 위해 극성확인, TLC 전개, Silica gel column chromatography, Sephadex LH-20 gel filtration, 고속액체크로마토그래피로 추출물을 용출하였다. 그 결과 잎파래의 포자 부착에 영향을 주는 alkaloids 혹은 N-oxide 계열의 물질임을 확인할 수 있었으며 잎파래에 영향을 주는 allelochemical 물질분리를 수행하였다.

○ 갯녹음 발생현황의 조사에서 현지조사와 병행하여 바다를 생업의 터전으로 하는 어업인 들로부터 직접 갯녹음 현상에 대해 청취하여 수산업에 미치는 영향을 파악하였다.

○ 갯녹음 발생해역의 해양환경 특성

동해연안에 발생하는 갯녹음 현상은 연안지형의 특성에 따라 항구 바깥쪽 연안이 심하게 나타났다. 삼척연안은 수심이 낮고 해류의 흐름이 정체되는 곳에 갯녹음 발생이 심하게 나타났다. 삼척 갈남의 경우 지형적으로 해류 또는 조류의 흐름방향이 서로 부딪히는 모양으로 이안류에 의한 해류의 흐름이 정체되는 것으로 보여 갯녹음의 발생을 가속화한 곳으로 보인다.

○ 동해안 해양환경 요인(수온)변동과 해조의 현존량과의 관계

동해연안의 1990~2002년간의 최근 10년간의 수온변화를 분석하였다. 96년 이후 97년에 평균수온이 2℃~3℃ 급상승하였으며 2000년도에는 수온이 다시 하강하는 경향을 보였다. 어업인에 의한 탐문조사에서 갯녹음 발생현상이 이 수온변화와 같은 변동을 나타내는 경향을 보였다. 또한, 강릉 앞바다에서 최근 8년간에 걸쳐 조사된 조하대 해조의 현존량 추이를 보면 94년 이후 점차 감소하였다. 수심 20m 부근 다시마의 현존량은 94년도에 4 kg/m²에서 97년~01년에 걸쳐서는 2 kg/m²이하로 낮게 나타났다. 이는 97년도에 수온이 1~2℃ 이상 높아진 해양환경의 변동과 관련이 있다고 본다. 어업인들에 의한 탐문조사에서도 이 시기에 갯녹음 현상이 심하게 나타났음을 입증하고 있다.

○ 삼척 갈남지역은 조사지역중 가장 왕성한 석회조류의 번무상태를 나타내었다. 선명한 자홍색으로 뒤덮힌 조하대 암반에는 성게나 몇 종류의 조류 외에는 사막화가 된 상태였다. 이에 반해 저도어장은 휴전선 부근으로 인위적 오염이 배제된 자연생태적인 요인에 의한 바다환경의 변동에 의존적이다. 양양남애는 방파제 축조에 의한 곳, 강릉 남대천 하구는 인간활동에 의한 인위적 요인에 의존적인 환경을 갖추고 있었다.

○ 갯녹음 현상의 진단

삼척 갈남해역에서 2001년 5월과 2002년 6월 갯녹음의 지표생물인 무절석회조류의 피도가 40%에서 25% 수준으로 감소하여 해조숲으로 회복하는 경향을 보여 주었다. 바다의 사막화 정도인 해조가 없는 암반면적을 포함한 비율은 50~60%에서 20~30% 정도로 감소하였다. 즉 엽상해조의 비율은 60%에서 75% 수준까지 증가하여 갯녹음이 회복됨을 보여 주었다.

○ 갯녹음의 피해면적 산정방법

갯녹음의 피해면적을 산정하기 위하여 무절석회조의 피복도를 갯녹음의 지수로 나타낼 수 있다. 석회조의 서식형태는 암반을 덮고 있기 때문에 그 상층부에 엽상해조가 관상으로 분포하는 경우가 있다. 이때 여러 종류의 해조가 분포하여 정상군락을 이룰 때는 갯녹음으로 보지 않고 석회조와 친근성이 매우 높은 종류로 단순한 종구성일 때는 갯녹음으로 산정하는 것이 바람직하다. 석회조와 친근성이 매우 높은 종류는 지역에 따라 다르게 나타날 수 있지만 삼척연안에서는 그물바탕말 종류가 그 대상종이 되었다.

○ 갯녹음 현상의 대처방안

석회조류의 분포는 해양환경에 따라 확대와 축소가 지속되고 있다. 자연생태적 요인에 의한 요인은 자연적으로 해조숲이 복원될 수 있지만 인간활동에 의한 오염현상에 의한 것은 생태순환의 과정을 중지시키게 됨으로 문제가 된다. 갯녹음의 대처방안으로서 바다의 오염 방지에 의해 우리가 하지 말아야 할 것과 바다녹화와 같이 적극적으로 해야 할 것으로 나누어 분석하였다.

○ 해조군집 복원을 위한 이식방법

갈남항 주변의 조하대에 형성된 해조식생을 보면 녹조 11종, 갈조 14종, 홍조 33종 총 58종이었다. 인위적인 해조 이식의 방법론 모색을 위해 팽생이모자반의 인공종묘를 만들어 야외에 이식하였다. 석재타일에 채묘틀을 만들어 수중에 고정시켜 생육상태를 관찰하였다. 타일 투하 2개월 후에 종사 2~3mm 정도 크기의 유배는 5~20mm로 성장하였으며 초식동물인 고둥류와 성게가 부착하였다.

○ 바다숲 조성 방법

이식종의 특성과 이식현장의 서식환경의 특성을 조사하기 위해 해저면을 교란시킨 후 철망을 설치하여 해조류의 생육상황을 분석하였다. 교란 후 메트상의 해조는 잎파래 종류이었으며 완전한 순군락을 이루었다. 비교란지역에는 무절석회조만이 관찰되었으며 교란지역은 다양한 해조군락으로 천이되었다.

V. 연구개발결과의 활용계획

1. 갯녹음 현상의 진단방안을 해역별로 기술확립

갯녹음 현상이 진행과정을 해역별로 해양환경과 해양생물의 분포로 진단하여 효율적인 연안 관리를 꾀한다.

2. 갯녹음 피해의 발생면적 산출

무절석회조의 분포가 종다양성이 높을 때는 갯녹음으로 볼 수 없고 종 구성이 단순할 때 갯녹음으로 볼 수 있다. 석회조의 피도를 갯녹음의 정도로 나타낼 수 있다.

3. 갯녹음 진행과정과 바다숲 조성 시기 연계

갯녹음의 진행과정을 진단하여 바다숲 조성의 시기와 방법을 고려한다.

4. 연안보존을 위한 어민, 관광객들의 인식전환

바다를 이용하는 어업인 또는 관광객들이 바다 오염이 해양생태계에 미치는 중요성을 인식하여 연안 보존을 위한 노력을 함께 해야 한다.

5. 바다목장화를 위한 바다숲 조성

바다숲은 바다의 수질환경을 좋게 하고, 해조 자체가 식용이나 공업용, 의약용의 자원으로 이용되기도 하며 수산생물자원의 서식처로서 중요하다.

6. 바다숲 조성을 위한 종묘생산 및 이식

해조의 생활사가 종류마다 상이하거나 환경적응이 다르게 되므로 생물의 특성을 이해하여 대량생산할 수 있는 종묘생산, 이식의 효율성을 높일 수 있다.

7. 인공암초의 효율성 높임

해조가 서식하기에 알맞은 빛, 영양염, 기질의 요철 정도, 해조인공암초의 크기, 파도에 견딤, 투하수심 등의 여러 환경적인 면을 고려하여 해조생산의 효율성을 높일 수 있다.

8. 지구 온난화 지표생물로서의 환경적응성 연구

무절석회조류는 난대성 해역에 우점하는 종류로 지구 온난화의 지표생물로서 적합하다. 환경적응성 연구를 통해 지구환경의 변화에 대한 정보를 얻을 수 있다.

9. 갯녹음 지표생물인 석회조의 연구로 해조쇠퇴에 대한 예찰

갯녹음 현상은 생태순환의 한 과정으로서 바다생태계의 변화를 예측하고 바다숲을 중심으로 한 해양생물의 거동을 파악할 수 있다.

10. 무절석회조 수조내 배양 기술로 상업화

무절석회조가 살아 있을 때의 홍조색을 이용하여 수조내 암석을 배양하여 관광용으로 이용되기도 한다. 수조내 식물이 배양되므로 수질환경을 양호하게 할 수 있다.

11. 제주성산 해변 리토탐니온 बैं크의 생태 가치 이용

우도 섬의 백사장은 *Lithothamnion* 초에 있는 석회조의 파편에 의하여 이루어진 것으로 알려져 있다. 이 리토탐니온 बैं크의 자원생태 가치가 크다.

12. 방파제 축조나 인공구조물에 의한 갯녹음의 피해 예방

갯녹음의 확산은 방파제의 축조에 의해 더 심하게 증가하므로 인공구조물에 의한 바다 환경의 변화를 최소화해야 한다.

SUMMARY

I. Title

Cause of Phenomena of Getnokgum and the Way to Control it

II. Objects and Importance of the study

The phenomena of Getnokgum has been a problem around Jeju Island and southern coast of Korea adjacent to the open waters. It is believed that the variations of marine environmental conditions such as a rise in water temperature by the intensified Kuroshio Current reduce algal forest to lead to the expansion of the area of Getnokgum. Also, it is considered another reason that those coasts become inappropriate for marine algae to inhabit because of the inflow of contaminants from rivers and lands.

Few work has been carried out on Getnokgum phenomena not only because crustose coralline algae is rather solid as a research material but because there are diverse environmental factors are involved. Since the perception about Getnokgum phenomena differs with the individual and its appearance is variable according to sea areas, the attempts to control the phenomena are consequently varied. The present study is designed to investigate the ecological features of algal vegetation focused on eastern coast of Korea where recently the phenomena has occurred above the ordinary level, and to determine the cause of the phenomena by sea areas. The characteristics of, the ecological determination of, and the countermeasure for Getnokgum is also analyzed.

III. Contents and scopes of the study

Chapter 1. Cause of Phenomena of Getnokgum

- 1) Seaweed ecology of Getnokgum in east coast of Korea
- 2) Indoor and field observation of crustose coralline algae

- 3) Environmental adaptation of crustose coralline algae and foliose algae
- 4) The composition of pigments and factors of photosynthetic function caused by the environment and development of crustose coralline algae
- 5) Characteristics of carbon fixing enzyme in crustose coralline algae
- 6) Allelopathic substances that inhibit attachment and germination of the seaweeds spores
- 7) Application of the herbivores in the coastal area of the crustose coralline algae
- 8) Nutrition comparison by carbon stable isotope analysis
- 9) Geographical characters of the coastal area where crustose coralline algae dominate
- 10) Relationship between the coastal environmental factors and the current amount of seaweeds in the East Sea

Chapter 2. The Way to Control of Phenomena of Getnokgum

- 1) It is necessary not to disrupt marine environment
- 2) Construction of breakwaters or harbor facilities shifts the stream of coastal current and influence the geographical distribution of marine organisms.
- 3) Seaweed bed serve as habitats for maine organisms

IV. Results and Suggestions for the practical use

Chapter 1. Results

○ The crustose coralline algal phenomenon in a coastal area is defined as the condition in which much of the primary substratum is dominant by encrusting coralline algae while useful seaweed growth decreases. The seaweed beds become barren, with benthic organisms such as sea urchins, abalones and spiral shellfish as well as useful seaweeds dieing off and disappearing.

- the coastal area selection for investigation

At first, the investigation for forming the crustose coralline algae was carried out by

doing field research along the Eastern Coast from Pusan to Samchuk, Kangnung, Sokcho and the DMZ (the direction of the Kuroshio Current along the East Sea of Korea). Fishermen were asked for the location of barren areas. Galnam of Sokcho was chosen as an investigation area where the crustose coralline algae were prevalent. Galnam was studied and analyzed for the types and characters of the phenomenon. Also, areas such as Kyungpo, Yeoungok Esturary, and Namae were compared with Galnam.

○ The current total species of algae and the coverage of the crustose coralline algae of Galnam.

Currently there are 45 species of algae in Galnam: 5 green algae, 11 brown algae and 29 red algae species. The coverage of the calcareous algae is reduced almost 8% (from 48 % to 36.8%). The algal species diversity of the intertidal zone community is high and increases with depth. The crustose coralline algae are distributed 60-70% of the algal mass in the sublittoral zone.

○ The distribution of seasonal life style in the area of the crustose coralline algae

Four seasonal life styles were seen: small-sized annual algae, small-sized perennial algae, big-sized annual algae and big-sized perennial algae. Small-sized perennial algae appeared much more in summer than in spring. Small-sized annual algae decreased declined in abundance in summer. Big-sized perennial algae were abundant in summer and similarly in autumn.

○ The vertical distribution characters of the algae vegetation in Galnam

In Galnam, the crustose coralline algae dominated over 80% of the investigation area at depths under 3m. Algal vegetation is relatively various and spreaded out the depth of 1m, while the calcareous algae are dominated into the low of the intertidal zone. The very narrow area near the zone was revived.

○ Under the crustose coralline algae phenomenon, the species such as *Padina japonica* and *Gelidium amansii* were found in abundance, but sea urchins were absent and spiral shellfish attached to the calcareous algae.

○ The calcareous algae and co-existing foliose algae.

In spite of the coralline algae we could find the unique algae vegetation as well as the calcareous algae. There are some places for only the calcareous algae. There are others for *Phyllospadix iwatensis*, *Sargassum confusum*, Dictyotales on calcareous algae altogether. These species seem to have no obstacles to live each another.

○ The distribution in the characters between the calcareous algae and foliose algae.

The calcareous algae are different individually. The calcareous algae, as hard as cement, often had thread-like *Gelidium* species tangled in them. The deposition of *Gelidium* spores led to further thallus growth of this species on the coralline algae.

○ The species and distributions of the calcareous algae

The species of the calcareous algae are largely divided into *Hydrolithon samoense*, *Lithophyllum okamurae*, *L. yessoense*, *Lithothamnion sander* and so on. There is a distinct difference in the depth at which the *Lithophyllum* species are found. *L. okamurae* is spreaded to 2~3m and *L. yessoense* is found around 7m. *H. samoense* and *L. yessoense* are largely distributed at depths below 7m. The crustose coralline algae predominate at depths lower than 13m.

○ The distribution character of the calcareous algae and thallus algae

Three topological arrangements of coralline and thallus algae were observed: the thallus algae overgrow the calcareous algae, the thallus algae grew into or up the calcareous algae, the thallus algae and calcareous algae have a competition for space with each other, so they can not live together.

○ In order to analysis the composition of pigments and factors of photosynthetic function caused by the environment and development of crustose coralline algae, we had studied the composition of the algal pigment. Crustose coralline algae contained a lot of chlorophyll a and phycoerythrin with the high absorption rate. Gelatin indicator, *Lithophyllum* sp. distributed in the sub-littoral marine habitat were abundant because it contained those two pigments helping successively dominated.

○ Analysis of pigment-protein in crustose coralline algae

By field study, it was found that the crustose coralline algae have various colors due to environmental condition and developmental stage. From variously colored field samples, purification, compositional analysis, molecular weights and subunit constitution of pigments were conducted. One of the pigments was determined to be B-phycoerythrin, the other was R-phycoerythrin by absorption peaks(550nm and 615nm) and fluorescence peaks(570nm and 630nm). The molecular weights were estimated by Sephacryl S-300 column chromatography and electrophoresis.

○ Characteristics of carbon fixing enzyme in crustose coralline algae

Rubisco (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/ oxygenase, the primary carbon fixing enzyme), characteristics was investigated. The enzyme activity in cell-free extract was 31.782 n mole CO₂/mg protein/min in *Lithothamnion muelleri* rubisco. It was 92.6 n mole CO₂ fixed per g fresh weight per hour on fresh weight basis. Rubisco activity in different buffer (HEPES 7.0, HEPES 7.5, HEPES 8.0, Bicine 8.0, Bicine 8.2, Bicine 8.4, Bicine 8.5, Bicine 8.6, Bicine 8.8 and Bicine 9.0) was 38.4599, 89.3628, 136.872, 162.889, 179.857, 186.644, 195.693, 174.201, 145.922, 123.298n mole CO₂/mg protein/min respectively. The maximum activity appeared in pH 8.0 HEPES and pH 8.5 Bicine buffer. HEPES 8.0 was used throughout the study.

○ Carbon dioxide using properties in crustose coralline algae.

The alga suffer more from carbon dioxide limitation when temperature increase, since the solubility of gases decrease. In the body of *Lithothamnion muelleri*, calcification occurs, thereby keeping high CO₂ concentration around the alga. *Lithothamnion muelleri* can grow well because the alga can tolerate high temperature and have high affinity to CO₂.

○ In this study, the allelopathic substances that inhibit attachment and germination of the seaweeds spores were examined from the extracts of the crustose coralline alga, *Lithophyllum* spp. The spores were damaged against at least one extract. We suggest that the substances which take effect to the spores were over one. Among the several allelopathic substances studied, we have isolated one by several separation techniques from the ethyl ether from the coralline alga, *Lithophyllum* spp. that inhibits germination of

Enteromorpha linza (Chlorophyta) zoospores. A bioassay was used to test the effect of the isolated fractions against zoospores of *Enteromorpha linza*. Further purification of the allelopathic substance in ethyl ether phase was isolated by silica gel column chromatography, Sephadex LH-20 gel filtration, and reverse phase HPLC.

The result suggest that allelopathy may play an important role for reducing epiphyte growth on crustose coralline algal surfaces and may partially explain their predominance in the coastal region of Korea.

○ The Effect of grazing by herbivores

We have performed growth experiments in which herbivores have been fed with kelp algae and calcareous algae respectively in water tanks for 9 months. Even though the death rate of abalone is 50% in the water tank, it is 83% in the coastal area of the crustose coralline algae. Sprial shellfish died at a rate of 50% in the water tank with kelp while at a rate of 93% in the area of coralline algae in the ocean. The animals fed with calcareous algae are less active and die at a greater rate.

○ We have also studied the location of sea urchins in the coastal area. In the lower gradient where the rock beds reach the surface of the sea, *Strongylocentrotus nudus*, *Strongylocentrotus intermedius*, small size group and *Hemicentrotus pulcherrimus* flourish in the rich algae while a greater amount of *Strongylocentrotus nudus* is growing in the poor algae. In the higher gradient of the uneven type big rock beds where the algae are rare, there are *Strongylocentrotus nudus* and *Strongylocentrotus intermedius*. In the area with sands and larger rock bed, there is only *Anthocidaris crassispina*.

○ Nutrition comparison by carbon stable isotope analysis. The plants collected in the Algal forest of Eastern Coast of Korea area and the rock beds of coastal area of crustose coralline algae have been analyzed by carbon stable isotope.

The distribution of carbon stable isotope for giant algae was prevailed widely from -34.9‰ of *Gelidium amansii* to -7.0‰ of *Codium adhaerens*. The price ($\delta^{13}C$) of the plant plankton is -20.3‰ which is generally found in the marine plant plankton and is occupied in the middle price of the giant algae. On the other side, benthic microalgae attached to the rock beds is -16.3‰ which accumulate the heavy carbon($\delta^{13}C$). The price ($\delta^{13}C$) of

Lithophyllum on the rock beds of the crustose coralline algae are -6.8 and -6.1‰ respectively, forming the marine forest and show the high accumulation of $\delta^{13}\text{C}$.

○ With this research, we asked directly the fishermen who were fishing at sea for their living about the crustose coralline algae phenomenon and its influences of their fisheries.

○ The geographical characters of the coastal area where crustose coralline algae dominate. The crustose coralline algae on Eastern Coast of Korea were heavily infested beyond the piers. At the coastal area of Samchuk coralline algae was very heavy in shallow water where a current is at a standstill. In case of Galnam of Samchuck, coralline algae were predominant because both currents are facing each other and their passages are prevented.

○ The relationship between the coastal environmental factors and the current amount of seaweeds on Eastern Coast of Korea

We have analyzed the water temperature changes of the eastern coast for 10 years (1990~2002). The water temperature rose sharply $2 \sim 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ in 1997 after 1996 and dropped again in 2000. In the research from the fishermen, they said crustose coralline algae phenomenon showed up the same changes as the water temperature. Also in light of the seaweed amount investigated in the offshore of Kangnung, it is decreasing after 1994. The current amount of kelp is low under 2 kg/m^2 in between 1997 and 2001. This is related to coastal environmental changes water temperature rose over $1 \sim 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ in 1997. The inquiry research from fishermen also found the coralline to spread heavily at that time.

○ The Galnam of Samchuk is the most abundant coralline algae of the other coastal areas ever studied. In the sublittoral zone of Galnam the bright red rock beds had already converted into the barren ground except remaining sea urchin and some algal species while Namae of Yangyang was in the process of turning white.

Also, habitats in the Jeodo fisheries located near the Demilitarized Zone (DMZ) changed by the natural biological succession. There was no pollution there at all. However, habitats of the river-mouth in the Yeongok were influenced by the human impact,

pollution.

Chapter 2. Practical use

In discussing the cause of the expansion of the Getnokgum phenomenon, it seems necessary to determine whether it is a natural ecological process or a contamination from human activities. There is almost no way to stop ecological Getnokgum phenomena by the variations of marine environmental conditions. However, it is possible for seaweed beds to be restored in the future because they recur to be reduced. It should become healthy habitats due to the biological succession. The worst problem is generated by human impact. Once the seaweed beds lost because of the human impact, it's very hard to recoup the healthy seaweed beds. It is important to understand Getnokgum phenomena as a period of ecological succession and to determine on which period the phenomena belongs to. Further work is needed to distinguish the adolescent period of Getnokgum when crustose coralline algae increase in prevalence from the senescent one when crustose coralline algae decline and thallus algae grow back.

Chapter 3. General policy suggestion

To control the Getnokgum phenomena, what is most important is not to pollute coasts such as discharging contaminants or constructing artificial facilities.

○ It is necessary not to disrupt marine environment. The coasts where polluted factors have been cut off are abundant in seaweed beds, while the coastal sites around which pollutants from the land discharge through drainage ways show few seaweeds.

○ The construction of breakwaters or harbor facilities shifts the stream of coastal current and influence the geographical distribution of marine organisms. The phenomenon of Getnokgum is apt to occur in the fishing grounds of villages because those facilities block the currents.

○ Because the phenomenon of Getnokgum occurred along the east coast of Korea in

costal areas outside piers, artificial construction seems to exert an influence on it. In Galnam, a harbor in Samchuk, the phenomenon is severe. The coast around Samchuk has the Getnokgum phenomena where water depth is low and the stream of currents is sluggish.

○ Study of the environmental adaptability of marine organisms of warm waters is needed to understand the effects of change in the environment.

Given the life form of seaweed is either crustose or erect attached to the crustose coralline algae forming a mat, with erect seasonal algae and perennial algae. Even on concrete-solid crustose coralline algae the thread-like *Gelidium* colonizes the surface, so that it is possible for thallus algae to grow by attachment after germinating spores on the crust. Such an analysis of the life form of seaweeds helps not only to understand the formation of algal vegetation and the process of its succession, but also to find out the way of easily attachment of spores to form seaweed beds in coasts showing the Getnokgum phenomena.

○ Seaweed beds serve as habitats for marine organisms that contribute to the increase of coastal marine products. Dropping artificial reefs as a substratum for seaweed attachment is advisable. It is necessary to consider the relation between ecology of algae and artificial reefs.

CONTENTS

Chapter I. Introduction of this study

Chapter II. Information of domestic and foreign technology related this study

Chapter III. Result

Chapter III-1. Algal vegetation and Getnokgum phenomena in east coast of Korea

1. Getnokgum phenomena in relation to Marine Environmenatal in east coast of Korea
2. Getnokgum phenomena in Samchuk Galnam
3. Seaweeds vegetation of Gangneung Coast near Eustary
4. Seaweeds ecology in Yangyang
5. Seaweeds vegetation in Ulsan

Chapter III-2. Ecological characteristics of crustose coralline alage in indoor and outdoor culture

1. Vertical distribution and spore germination of crustose coralline algae
2. Tetraspore release and growth of a crustose coralline alga, *Lithophyllum yessonense* (Rhodophyta, Corallinaceae)
3. Competitive interactions among crustose coralline algae

Chapter III-3. Effects of grazing on crustose coralline algae

1. Effects of grazing on crustose coralline algae
2. The pressure of grazing by herbivores

Chapter III-4. The composition of pigments, pigment-protein and photosynthesis characteristics of crustose coralline algae

1. Analysis of composition of pigment and pigment-protein in crustose coralline algae

2. Carbon dioxide using propertie in crustose coralline algae

Chapter III-5. The effect and isolation of allelopathic substances inhibit attachment and germination of the seaweeds

1. Analysis of microorganisms on crustose coralline algae
2. Effect of allelopathic substances inhibit attachment and germination of the seaweeds
3. Isolation of allelopathic substances inhibit attachment and germination of the seaweeds

Chapter III-6. Cause and diagnosis of Getnokgum in relation to Ecological characteristics in east coast of Korea

1. Decrease of seaweed bed and the variations of marine ecosystems
2. Environmental adaptations of crustose coralline algae and pressure of grazing by herbivores
3. The characteristics of marine environment on barren grounds of east coast of Korea
4. Diagnosis of phenomena Getnokgum on Samchuk Galnam Coast.

Chapter III-7. The way to control of phenomena of Getnokgum by protection of pollution

1. Protection of pollution for coastal marine environment
2. The effects of distribution of marine organisms by breakwaters or harbor facilities

Chapter III-8. The way to control of phenomena of Getnokgum by seaweed beds

1. The study of seaweed beds for marine ranching
2. Seaweed beds serve as habitats for marine organisms
3. Effect of transplantation for construction of seaweed beds by young fronds of *Sargassum horneri*

4. Effect of transplantation of *Ecklonia stolonifera* with adhesive glue
5. Seaweed beds for seaweed attachment by artificial reefs

Chapter IV. Purpose achievement and contribution to the related fields

Chapter V. Application plan of the study results

Chapter VI. Information of world science and technology

Chapter VII. Reference

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	31
제 2 장 국내외 기술개발 현황	34
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	39
3-1. 동해연안의 해조생태와 갯녹음 현상	39
1. 동해연안의 해양환경 특성에 따른 갯녹음 현상	39
2. 동해중부 갈남해역의 갯녹음 현상	48
3. 강릉 하천하구의 해조식생	67
4. 양양해역 토목공사 후의 해조생태	73
5. 동해남부 울산연안 선박오염에 의한 해조식생	82
3-2. 무절석회조의 실내배양과 야외 생태 특성	90
1. 무절석회조의 수직분포와 포자번무시기	90
2. 무절석회조, 납작돌잎 사분포자체의 포자방출과 생장	96
3. 무절석회조와 엽상해조와의 관계	104
3-3. 갯녹음 해역의 초식작용	109
1. 갯녹음역에서 조식동물의 영향	109
2. 갯녹음과 해조숲에서의 조식동물에 의한 초식압	113
3-4. 무절석회조의 색소조성, 색소단백질과 광합성 특성	118
1. 무절석회조의 색소조성과 색소단백질 분석	118
2. 매끈적의 이산화탄소 이용 특성	127

3-5. 무절석회조 추출물로부터 포자부착 및 발아억제 물질의 분리 및 그 영향	137
1. 무절석회조에 착생하는 미생물 탐색	137
2. 무절석회조 추출물로부터 타해조류 포자부착 및 발아억제 영향	145
3. 무절석회조로부터 잎과래 포자부착 및 발아억제 물질 분리	150
3-6. 동해연안 생태특성에 의한 갯녹음현상의 원인 및 진단	161
1. 바다생태계의 변화와 해조숲의 감소	161
2. 무절석회조의 환경적응과 조식동물에 의한 초식압	174
3. 동해연안 갯녹음 해역의 해양환경 특성	180
4. 삼척 갈남해역 갯녹음 현상의 진단	192
3-7. 바다오염 방지에 의한 갯녹음 현상 대처방안	199
1. 바다의 오염 및 연안환경 보호	199
2. 매립 및 방파제 축조에 의한 해조생육 환경의 악화	204
3-8. 바다녹화에 의한 갯녹음 현상 대처방안	207
1. 바다목장화를 위한 바다숲 연구	207
2. 바다숲 조성	213
3. 해중립 조성을 위한 팽생이모자반(<i>Sargassum horneri</i>) 유체의 이식효과	220
4. 순간접착제를 이용한 곰피(<i>Ecklonia stolonifera</i>)의 이식효과	227
5. 해조인공암초의 표면처리에 의한 바다녹화	237
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	245
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	249
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	251
제 7 장 참고문헌	253

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

우리나라 연안에 바다환경이 바뀌어 해조 숲이 줄어들거나 사라지기도 하고 석회질로 된 딱딱한 홍조류인 무절석회조가 암반을 뒤덮는 현상이 확산 추세에 있다. 이처럼 바닷속의 해조류가 사라지면 그것을 먹이로 삼는 성게나 전복 등의 자원감소는 물론이고, 바다숲을 서식처나 산란장으로 이용하는 모든 수중생물의 자원 또한 감소하게 되어 결국 마을어장이 황폐화되는 결과를 초래하게 되는 것으로, 해양생태학적으로나 수산업적으로 심각한 문제가 된다(손 등, 2002).

우리나라에서는 이와 같이 심각한 연안 바다 생태계의 변화에 대해 최근에 관심을 가지게 되었다. 적조피해가 심각하게 대두되고 바다환경 변화 및 오염의 심각성이 눈앞의 현실로 나타나면서 환경에 대한 일반의 인식이 커지게 되었기 때문이다.

1980년대 이후부터 제주도와 남해안 일대에 갯녹음 현상에 의한 피해 해역이 확산되기 시작하여 90년대 이후에는 동해연안에서도 피해가 심각하게 나타나게 되었다. 갯녹음 현상을 어업인들에 의해 백화현상이라고 불리면서 언론매체에서도 이의 심각성을 다루게 된 것도 이때쯤부터이다.

갯녹음 현상으로 연안 암반에 해조류 조성기반이 상실되고 해조숲의 축소로 정착성 어패류의 먹이감소와 서식공간이 사라짐으로서 마을어장이 황폐화되어 어업인의 생계 및 생활안정에 어려움이 커지게 되었다. 이와 같은 실정으로 강원도에서는 자연재해 대책법 제 2조 1항 규정에 의해 갯녹음(백화)현상도 자연재해로 적용해 줄 것을 1999년 2월 해양수산부에 건의하기에 이르렀다. 강원도 연안에서는 지난 96년부터 97년에 동해안에서 발생한 갯녹음의 실태 조사에서 강원과 경북연안에서 708 ha 가 발생하였으며 강원도의 경우 강릉, 동해, 삼척, 양양 등 4개 시, 군에서 492ha 로 조사되었다(강원도 환동해출장소 자료, 1999).

갯녹음 현상에 대한 용어는 일본이나 미국 등의 국가마다 완전히 공통되어 있지 않으며 우리나라에서도 지역마다 또는 사람에 따라 다르게 이해하는 경우가 많다. 서구에서는 연안환경의 보호 측면에서 중요성이 크다. 미국 캘리포니아 연안 위원회에서는 자원봉사자와 함께 주정부와 의회에서 바다숲 협회를 운영하며 연안 관리에 힘을 기울이고 있다. 호주의 환경기관에서도 최근 미역의 포자가 유입되어 확산되는 그 경로를 추적하며 환경보호 차원에서 중요하게 다루어지고 있다. 해조를 식용으로 하지 않는 나라에서는 환경보호 측면에서 노력하고 있는 반면 일본은 해조를 전통적으로 식용으로 하여 해조류가 식품으로서뿐 아니라 연안의 바다숲으로서 중요하게 여겨지고 있는 것은 우리나라와 같은 사정이라고 생각할 수 있다.

우리나라에서의 갯녹음 현상에 대한 메카니즘이나 연안생태에 대한 복원 방안에 대해서는 연구가 매우 미흡한 실정에 있다. 이러한 이유는 식물이 감소하거나 해조숲이 사라지는 현상은 복잡한 여러 해양환경 요인에 의해서 달라지거나 해조의 천이와 같은 장기적인 변동에 의해 달라질 수 있으므로 그 원인을 구체적으로 논하기는 쉽지 않기 때문이다.

우리나라 연안은 동, 서, 남해안과 제주도의 해안별로 해양환경의 차이로 독특한 해양생물의 종류와 분포 특징을 보인다. 연안 해조숲의 쇠퇴 원인은 해양환경의 변동, 석회조의 증가와 조식동물에 의한 섭이압과 같은 생물적인 요인과 오염현상으로 나누어 볼 수 있다. 해조숲의 축소는 해안에 따라 그 원인이나 생태적 특성이 다르게 나타나므로 어느 한 곳의 해역을 정하여 갯녹음 현상의 진행 단계를 분석하여 다른 해역과 비교함으로써 우리나라 연안의 갯녹음 발생 추이를 파악할 수 있다.

이 연구에서는 갯녹음(백화) 현상의 발생 실태 및 원인을 동해연안에서 해역별로 해양환경의 특성에 따라 분석하였다. 1차년도에는 부산연안에서 동해북부 고성 저도어장(DMZ 부근해역)에 이르는 해역에서 쿠로시오의 영향을 크게 받는 동해남부에서 북부에 이르는 해역에서 조사하였다. 또는 연안의 내만과 외양에 면한 지형적인 영향과 육수의 영향이 큰 하천하구와 방파제 부근에서 해양생물의 생태특성을 분석하였다. 특히, 2, 3년차 연구에서는 동해연안에서 갯녹음 현상이 매우 심한 삼척 남부의 갯녹음 연안에서 해조군집의 생태 특성과 석회조의 생리, 생화학적인 연구, 조식동물의 생태를 분석함으로써 갯녹음 현상으로 인한 생태적 특성과 원인을 정리하고 갯녹음 확산에 대한 대처방안을 마련하고자 하였다.

그 내용으로 수 년간의 엽상 해조의 변동, 석회조류의 생리, 생화학적 분석, 조식동물에 의한 초식작용 등의 요인을 해양환경의 특성과 관련하여 분석하였다. 자연적인 요인에 의한 갯녹음 현상은 생태순환에 의해 언젠가는 다시 바다 연안이 회복될 수 있지만 인간오염에 의한 바다숲의 황폐화는 매우 위험하다. 우리가 갯녹음 현상에 대한 대책을 마련하기 위해서는 갯녹음 현상이 나타나는 것이 자연적인 것인지 또는 오염에 의한 것인지를 우선 나누는 것이 방안을 마련할 수 있는 길이기 때문이다.

보통 해조숲을 이루고 있는 곳의 바다 밑바닥에도 석회조가 서식하고 있지만 종다양성이 높은 군락일 때는 갯녹음으로 설명하는 것이 부족하다. 무절석회조가 피복되어 있고 엽상해조의 종 구성이 단순할 때 갯녹음으로 볼 수 있다. 또한 석회조의 서식은 포복형이므로 층상구조를 보이는 엽상형과의 관계를 고려하여 석회조의 피도를 갯녹음의 정도로 나타낼 수 있다. 그러므로 무절석회조가 우점한 연안에서 엽상해조와의 관련성을 생태적으로 화학적 측면에서 분석하는 것이 중요하다. 해역별로 갯녹음 진행과정의 정도가 비교됨으로서 연안 관리에 도움이 될 수 있다. 갯녹음 현상은 해조숲과 갯녹음역으로 순환되는 생태천이 현상으로 볼 때 어

면 연안의 갯녹음의 진행이 가속화되는지 또는 감소하는지 등에 대한 진단을 하므로써 효율적인 바다숲 조성 및 연안관리가 가능할 수 있다. 해역에 따라 무절석회조의 종류와 출현 해조의 종류가 다를 수 있으므로 해역의 특성을 고려하여 갯녹음 현상을 이해하고 진단과 대처방안을 마련하는 것이 필요하다.

우리가 바다숲을 조성할 때 갯녹음 현상이 시작단계인 초기인지 또는 끝나는 단계로 말기인지 분석하여 바다에 조림사업의 시기를 정하는 것이 바다녹화의 효율성을 높이는 것이 될 수 있다. 이러한 갯녹음 현상에 대한 생태적 진단 기술은 사람이 병에 걸렸을 때 진단이 제대로 되어야 치료가 잘 될 수 있는 것과 마찬가지로 바다생태에 대한 이해가 올바르게 하는 것이 중요하다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

갯녹음 현상은 아한대에서 아열대에 위치하고 있는 해역에 보편적으로 나타나고 있다. 해조의 종다양성이 줄어들거나 대형 해조가 사라지는 현상이 우리나라 뿐 아니라 북미에서도 나타나고 있다. 미국의 캘리포니아 서부연안에도 다시마류가 쇠퇴하여 큰 문제가 되었고 미국 동부 메인 주에도 이러한 현상이 광범하게 나타난 적이 있다. 구미에서도 갯녹음이란 용어로 Coralline flat, Barren ground, Open sea 등 여러 호칭으로 알 수 있듯이 그 이해는 지역에 따라 똑같다고 할 수 없다.

우리나라 연안에서도 1980년대 이후 무절석회조가 증가하는 현상이 뚜렷하게 나타나기 시작하여 손 등(1982, 1986)은 돌산도와 연화도에서 조간대에서 조하대의 분포대에 무절석회조가 우점하는 경향을 보고한 바 있으며 저자들은 순수 우리말로 “갯녹음”으로 표기하고 있다. 남해안의 외양에 위치하여 쿠로시오의 영향을 크게 받는 연화도에서는 무절석회조의 피도가 증가하고 엽상해조가 감소하는 갯녹음 현상이 심하게 진행되고 있음을 분석하였다.

부산의 동백섬에서 1969년에 조사된 해조의 출현종은 181종으로 20년이 경과한 1989년에는 114종으로 격감하였다(이·강, 1971; 김, 1991). 유기오염의 지표인 화학적산소요구량이 20년전의 1~4 mg/l 에 비해 1989년에는 3~10 mg/l 로 높아져 부산항 주변의 오염이 커지면서 해조식생에 영향을 미친 것으로 보고 있다. 강릉연안에 서식하는 개다시마의 현존량이 1994년부터 1998년의 다시마 군락조사에서 현존량이 격감(김 등, 1999)한 것은 1990년대 중반이후 해양환경의 급격한 변동으로 설명하고 있다. 또한 강릉하천 하구의 갯녹음은 인간활동에 의한 오염의 영향이 크게 나타나는 것으로 보고하고 있다(김 등, 2000).

제주연안과 남해안에서는 1990년대에 들어오면서 갯녹음의 피해가 점차 커지고 심각하게 나타나기 시작하였는데 정 등(1998)은 서귀포 연안 백화현상에 미치는 여러 환경요인에 대해 분석한 바 있다. 1990년대 중반 이후는 갯녹음 현상이 남해안 뿐 아니라 동해 연안에도 발생하여 심하게 나타났는데 삼척 갈남 연안의 조하대에는 석회조만으로 덮힌 바다가 되어버렸다.

1997~1998년에 갯녹음에 의한 어업인들의 피해가 커지게 되는 때는 이때 수온상승이 일어나는 해와 일치하고 있다. 수온의 장주기 변동을 보면 1940~50년대에 수온이 상승하여 1960년대 이후 계속 하강하는 국면이다가 1980년대 중반이후 증가하는 경향을 보여 (박과 오, 2001) 갯녹음에 의한 피해는 수온의 변화와 연관성이 매우 높게 나타남을 보인다. 1977년에 국립수산과학원에서 조사된 울진근해 왕돌암 조사에서 감태숲이 나타나지 않았으나(국립수산진흥원, 1977) 80년대 후반이후부터 제주연안에 우점하는 종인 감태숲이 형성되어 동해안 주변 해양환경

경이 온난화가 이루어지는 것이 단적인 예로서 알 수 있다(박, 2002: 명, 2002).

갯녹음 현상에 대한 연구는 해조가 쇠퇴하는 현상을 연구하는 것으로 해조상, 해조의 현존량, 해조군집의 특성과 변동에 대한 연구에서 찾아볼 수 있다. 우리나라 연안 해조연구는 강(1966)에 의해 우리나라 해역별 해조식생의 조사를 분석하게 된 것이 기초가 되고 있다. 이 연구에서 한반도의 해역을 5 구획으로 구분하여 해양환경에 따른 해조상의 특성을 나타내었다. 이 등(1984)은 우리나라 연안 저서생물군집 연구에서 조간대의 하부에 무절석회조가 우점종으로 보고되었으며 그 후 이와 강(1986)은 석회조류 등을 포함하여 우리나라 해조류의 출현 종이 정리되었다.

해조식생 조사에서 석회조가 우점하여 나타나는 현상에 대해서는 울릉도(이 등, 1993), 홍도(Lee & Park, 1986), 서해남부 우이도 및 매섬(강 등, 1979) 등 여러 곳에서 군락조사 중에 이루어졌다. 또한 발전소 배수구 부근은 석회조 분포가 다른 곳에 비해 높게 나타나 발전소의 해양생태 연구가 난대성 해양생물의 환경 적응성 연구를 예측할 수 있다(김, 1992, 김 등, 1998: 김 2000,)

갯녹음 현상의 지표종인 석회조 연구는 박(1977)의 석회조의 형태에 대한 연구와 유절석회조(Choi and Lee, 1988)와 무절석회조(김, 2001)의 분류, 생태적 연구와 석회조의 추출물질(홍, 1988)과 초식작용에 대한 성계의 섭이압(손 등, 1977) 등에 대한 연구는 이 분야의 기초가 되고 있다. 석회조의 석회화 과정에 대한 연구(Borowitzka, 1977: 1982: Lobban & Harrison, 1994: Lobban et al., 1985), 노르웨이 연안 켈프종의 감소에 대하여 환경요인 분석(Sivertsen, 1997), 석회조의 형태와 환경적응 (Steneck & Adey, 1976: Ichiki et al., 2000: 正置, 1981), 대형조의 연구(Notoya, 1976: 1984: 1985, 有賀 外, 2000)등은 갯녹음의 메커니즘에 대한 보고이다.

동해연안은 난류의 영향을 받는 동해남부에서 그 영향이 적은 북부에 이르기까지 쿠로시오의 영향의 구배가 뚜렷하다. 지형적으로 보면 갯녹음이 확산되는 곳은 내만에 위치하여 파도의 영향이 적고 해류의 흐름이 정체되거나 늦은 곳, 오염의 영향이 큰 곳에 나타나며 수온의 영향이 높은 시기에 갯녹음이 심하게 발생하는 경향을 보인다. 해조류가 쇠퇴하는 갯녹음의 원인은 해양환경에 따라 매우 서로 복잡한 관계에 있어서 갯녹음 현상을 해역 특성에 따라 연구되는 것이 적절하다. 할 수 있다. 이와 같이 갯녹음 현상에 대한 특성은 해역에 따라 다를 수 있으며 일본이나 서구에서도 해조의 쇠퇴요인의 원인이 해역의 환경에 따라 다르고 이러한 생태적 현상을 조금씩 다르게 표현되고 있는 실정임을 감안해야 한다. 이러한 갯녹음 현상에 대한 개념이나 올바른 바다생태에 대한 이해를 위해 이 연구과제의 수행의 일환으로 우리 연구팀은 “갯녹음 연안을 바다숲으로” (손 등, 2002)라는 단행본(谷口, 1998)을 번역하여 해양관계자나 일반인이 이해하기 쉽게 출간을 하게 되었다.

한편, 갯녹음 현상에 대한 연구는 일본에서 오래전부터 연구가 이루어져 있으나 서구에서는 수산업에 대한 이해가 서로 다르기 때문에 이 문제에 대한 연구가 제한적인 반면 석회조의 분류 형태적 연구나 고생물학적 연구 등은 매우 심도있게 이루어진 상태이다. 일본 쓰구바 대학에서 2002년 7월에 열린 제3회 아시아-태평양 조류학회의 심포지엄에서 갯녹음 현상에 대해 한국측에서 동해연안 갯녹음역 해조식생의 특성(김, 2002)과 석회조의 실험생태학 연구(김, 2002), 일본측에서는 Fujita(2002)와 Arai(2002)의 갯녹음 연구자와 국제심포지엄으로는 처음으로 이 주제에 대하여 논의되었다.

일본에서는 수산업적인 측면에서 갯녹음에 대한 연구가 100여년 전부터 이루어졌다. 일본 도호쿠(東北)제국대학 엔도 기치사부로(遠藤 吉三郎)는 1902년 그 당시의 농상무성에서 “해조 갯녹음 조사보고”를 낸 후 1911년에 해산식물학에서 해조류 감소론의 일부로서 갯녹음에 대해서 체계적으로 기술하였다. 북해도대학 지구환경과학과에서는 1994년 7월 갯녹음의 현황과 과제라는 지구환경 심포지엄에서 “세계의 갯녹음 현상”, “북해도에 있어서의 갯녹음의 현상과 대책”, “다시마의 감소에 대한 대만난류의 변동”, “해조생태학의 입장에서 본 갯녹음이란”, “석회조의 확대요인에 대해서” 등과 같은 주제로 갯녹음의 여러 가지 측면에서 이 현상을 이해하고 원인을 분석하였다.

일본 동북대학의 谷口(1998)는 갯녹음발생의 과정을 해황변동에 의해서 해조숲이 일시적으로 줄어들어 틈새를 이용하여 공간확대가 계기가 되어 대형다년생 해조로부터 무절석회조 등 각상(껍데기 모양) 해조로 퇴행과정으로 이어진다는 천이과정으로 설명하고 있다. 즉 갯녹음 현상은 해황변동에 의한 해조숲의 공간(틈새) 확대에 기인해서 무절석회조 군집이 발생하여 섭식압에 의해 지속된다고 하는 것으로 이해된다. 일본에서도 연안에 분포하는 대황과 감태의 군락이 들연 소실하는 갯녹음현상이 나타나서 전복 어획에 크게 피해를 주게 되었으나 이 이유에 대해 수온상승에 의해 일어난다고 보고 있다. 수온상승이 원인이라고 생각하지 않는 수역에서는 오염수의 유입과 하천 또는 육지에서 폐수가 유입되어 광량이 감소되기 때문으로 보고 있다.

최근에는 일본 수산청에서 갯녹음 현상에 대한 효율적인 대책으로 1998~2002년에 걸쳐서 갯녹음 진단위원회(위원장, 有賀 祐勝)를 구성하여 갯녹음의 진단방법, 갯녹음의 발생과 지속요인, 여러 해역의 갯녹음 실태를 정리하고 갯녹음의 진단지침을 작성하고 있다. 갯녹음의 진단지침은 전 연안의 갯녹음의 발생상황을 기초자료와 탐문에 의해서 파악하고 모델해역을 선정하여 현지조사를 실시하여 조사결과에 의해 해조군락의 분포상황, 생활형분류, 바다숲 구성종의 연급군 조성 및 조식동물의 서식밀도, 연령구성, 성장 성숙상황에 대해서 알아보고 갯녹음 현상의 진행판정 및 갯녹음의 지속요인을 평가하는 수법을 확립하고 있다.

캘리포니아 연안 위원회는 “연안역 보존활동, 의제 20”의 법률에 의해 1972년 11월에 설립되어 연안보존 활동을 계속해오고 있다. 이 위원회에서는 1,000마일 이상되는 캘리포니아 연안을 보존하고 바다숲을 복원하는 것이 목적으로 위원들은 주정부와 의회에서 함께 구성되어 있다. 캘리포니아 연안 위원을 돕고 있는 바다숲 협회(Marie Forests Society)는 비영리단체로 설립하였다. 해조나 패류 등의 바다생물이 서식하기에 좋은 바다숲을 만들어 바다생물의 서식처가 손실되는 것에 대처하고자 하는 것이 가장 큰 목적이다.

특히 바다숲 협회에서는 바다목장화 개발 연구내용의 하나인 바다숲의 조성 방법과 그 경제성을 연구하고 있다. 비영리 단체로 1986년에 설립된 바다숲협회는 지원자에 의한 작은 그룹으로 캘리포니아 공과 연구소의 Wheeler J. North에 의해 지원받고 있다. 1천명 이상의 자원자에 의해 계속적으로 해조, 패류, 인공어초에 의한 서식처에 대해서 석회조와 초식자에 대한 지속적인 실험이 되고 있다.

많은 석회조는 특히 전복과 같은 초식성의 무척추동물의 유생의 정착을 진행하는 화학물질을 내게 된다. 이것은 초식자들이 부착식물들을 제거하여 다른 피복성 생물들을 제거하고 빛을 이용할 수 있는 빈공간을 갖게 되므로 석회조를 위한 적응이라고 보아진다. 이러한 것은 석회조가 유생의 변태와 임계정착기간을 거치게 되는 생존율을 증가시키게 되므로 전복 양식에서는 또한 매우 중요하다. 또한, 석회조가 우점해조의 어린시기의 생존에서 피상분포를 만들 수 있다는 것과 연관하여 초식자가 있음으로써 군집수준에서 매우 중요하다.

석회조해역에는 특히 대서양과 인도-태평양의 양지역에서 물보라가 치는 특성인 해조초에 암초의 뼈대가 되는 것으로 중요하다. 해조암초는 탄산칼슘으로 된 뼈대이고 주로 무절석회조류로 이루어졌다(Adey, 1978). 이들이 높다 지속적인 파도의 영향에 견디고 바람 방향에서 계절적인 변화가 없거나 적은 바람 방향에서 잘 발달하게 된다. 해조암초는 주요한 암초구조의 하나이고 인접한 연안의 강한 파도영향을 막아주고 연안침식을 막아주는데 도움이 된다.

석회조가 석회화되는 본질에도 불구하고 많은 경제적 유용성을 가지고 있다. 18세기로 거슬러 올라가면 석회조는 암반에 붙어있는 상태가 아니라 바닥에 떨어진 채로 된 식물체(maerl)를 모아서 토양을 고르는 것으로 이용이 되기도 하였다. 이것은 특히 영국이나 프랑스에서 *Phymatolithon calcareum*(Pallas)Adey & McKinnin 종류와 *Lithothamnion corallioides* 종류는 매년 30만톤 이상이 채취되고 있다. 수 천 Km의 maerl beds는 아직 *Lithothamnion*이나 *Lithophyllum* 속인지 불분명하나 이 종류는 유럽에서는 산성음료를 중화시키거나 가축의 첨가사료로, 토양을 고르는데 이용이 되기도 하였다. 제주 성산 연안에 형성된 리토타니온 뱅크(*Lithothamnion bank*)는 대규모의 석회조초가 발달되어 있는데 이는 *Lithothamnion* 속에 속하는 석회조에 의해서 주먹 크기만한 큰 덩어리로 뭉쳐진 것으로 넓은 백사장의 모래는 이들 덩어리가 오랜 세월동안 파도에 부셔져 형성된 것이다(Kang, 1974).

최근에는 석회조의 아름다운 색상을 이용하여 수족관에서 살아있는 석회조의 암석을 자연 그대로 보게 됨으로서 상업적인 면으로 이용개발이 이루어지고 있다. 석회조류는 탄소를 흡수하여 탄산칼슘의 형태로 세포벽에 침적되어 생물권에서 가장 큰 탄소의 저장고로 알려져 있으며 이 종류는 유전지질층에서 지질 시대를 잘 나타내어 화석종으로서 중요하다. 딱딱하고 견고한 구조는 암초의 구성물질이 되어 연안의 강한 파도와 연안침식을 막아주는데 도움이 되는 것으로 알려져 있다. 이러한 시멘트 성분을 이용하여 빌딩건물의 재료로서 쓰여지고 있기도 하다. 석회조는 의약품이나 치과용 재료로서 뼈조직의 재생을 위해 세포간 물질로서 연구개발이 기대되고 있다.

우리나라에서도 바다 목장화와 관련하여 연안 어장 자원 증대 사업의 추진 전략을 수립하여 연구가 진행되고 있다. 그 주요 내용은 바다숲 조성, 인공어초 설치와 종묘의 대량 생산, 방류에 의한 자원조성, 그리고 양식 기술개발을 통한 적극적인 증산 계획 등 연안 어장 자원증대의 기본 사업을 포함하고 있다(최, 2001). 바다목장화와 바다숲 조성에 대한 연구와 시험사업은 한국해양연구원과 국립수산과학원에서 사업이 추진되고 있다. 한국해양연구원에서 추진하는 바다목장화 사업은 생물생산성을 높이고 연안수산생물의 자원을 증가시켜 지역민들의 생산활동을 높일 뿐만 아니라 바다 공간을 이용한 해양관광을 연계함으로써 소득을 높이는 사업이 진행되고 있다. 남해안의 경남 통영과 여수에서는 바다목장화 사업이 추진되고 있으며 앞으로 중앙정부에서도 동해안과 서해안과 제주도 연안에서 바다목장화를 추진 계획중에 있다. 국립수산과학원에서는 동, 남해안과 제주도의 해역 실정에 맞게 해중림조성 연구가 이루어지고 있으며 특히 동해수산연구소에서는 갯녹음 어장에 해조숲 조성 연구는 대표적인 사업이 되고 있다. 김 등(2002)은 갯녹음 현상복원을 위한 해중조립 연구에서 동해안의 갯녹음 현상에 대해 나타내었으며 곱피의 이식효과(최 등, 2002), 동해수산연구소의 해조장 조성 연구(문 등, 2000: 문 등, 1999: 민 등, 1998), 표면처리에 의한 해조인공암초의 효율성에 대한 연구(김 등, 2002) 등에 대한 연구로 바다숲 조성 연구가 시작단계에 있다고 볼 수 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 3-1 장 동해연안의 해조생태와 갯녹음 현상

제 1 절 동해연안의 해양환경 특성에 따른 갯녹음 현상

1. 서론

우리나라 연안에는 엽상해조류가 줄어들고 무절석회조가 증가하는 갯녹음 현상이 최근 확산되고 있다. 동해는 난류와 한류가 만나는 해역으로 여름철에는 난류의 영향이, 겨울철에는 한류의 영향이 크게 미치고 있다. 쿠로시오 난류의 영향이 크게 미치는 곳에 갯녹음 현상이 뚜렷하게 나타나고 있어서 동해연안을 따라 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 석회조의 번무에 의한 바다식물의 감소현상이 나타나고 있다.

우리나라의 해조류 분포는 Kang(1966)이 한반도의 해양환경의 특성을 고려하여 5 개 구역으로 나뉘어 동해안은 원산만 이북의 동해북구와 그 남쪽의 울기곶까지 동해남구로 구분한 바 있다. 동해남구에 분포하는 해조류는 196종으로 이들 중에는 한류세력이 미치는 북방계가 10% 정도 출현한다고 정리하였으며 삼나무말, 개다시마, 마른나무, 참빗풀 등은 한류종으로 동해연안의 표징종으로 나타내고 있다.

동해연안 해조류에 대한 연구는 1980년대 이후 생태적인 연구가 활발히 수행되어(김 등,1983; Boo,1985; 남,1986; Boo and Lee,1986; Lee et al.,1993) 강원해역 해조류의 분포는 남조 9종, 녹조 22종, 갈조 55종, 홍조 145종 모두 231종이 분포한다고 정리한 바 있다.

동해연안은 남북으로 길게 뻗어 있어 쿠로시오의 영향이 남부에서 북부로 갈수록 적어지게 되므로 지리적 위치에 따라 갯녹음의 확산이 다르다. 또한 동해연안은 단조로운 해안으로 지형에 따라 해조 생육 서식대는 바다 바깥으로 면하여 파도의 영향이 큰 외양인 곳과 파도의 영향이 적고 해수의 흐름이 비교적 적은 곳으로 나눌 수 있다. 하천하구는 하천에서 유입되는 양과 생활하수의 오염에 따라 다르게 나타날 수도 있다. 이 연구에서는 동해연안의 각 연안에서 서로 다른 해양환경의 특성에 따라 갯녹음의 실태를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

조사는 동해안 북부에서 남부에 걸쳐 속초, 남해, 연곡, 사천, 경포, 대진, 근덕, 갈남, 나곡, 죽변, 온양, 봉평, 동백의 지점에서 2000년~2002년에 걸쳐 이루어졌다. 조사방법으로 연안선에 line - transect를 설정하여 방형구(50cm×50cm)를 차례로 놓아가며 출현종의 피도와 종조성을 기록하였으며 종의 분류와 생물량의 측정은 실험실로 옮긴 후 분석하였다.

피도의 측정은 방형구에서 출현하는 종의 평균 피복도(%)로 나타내었다. 습중량의 무게는 0.1g 수준까지 측정한 후 단위 면적당(wet weight · g/m²)무게로 환산하여 기록하였다. 습중량 측정이 끝난 해조는 채집망에 넣어 10% 포르말린-해수용액으로 고정하여 보관하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 지점별 무절석회조류의 피도로 본 갯녹음의 정도

무절석회조의 피도와 해조의 쇠퇴가 얼마나 이루어졌는가 하는 것으로 갯녹음의 확산 정도를 분석할 수 있다. 동해연안의 남부에서 북부로 갈수록 무절석회조의 피도는 점차 감소하여 나타났으며 동해중부역인 삼척의 근덕과 갈남해역의 남쪽연안은 석회조의 피도가 40% 이상을 보여 갯녹음이 많이 진행된 반면 북쪽연안은 30% 이하로 대체로 정상적인 군락을 보였다.

속초와 양양, 강릉해역은 석회조의 피도가 10~30%, 동해, 삼척과 부산연안에 걸쳐서는 40~60%로서 쿠로시오의 영향이 큰 해역에서 석회조의 피도가 현저히 높게 나타나는 것을 알 수 있다(그림 1과 표 1). 무절석회조가 우점하여 나타나는 곳은 조사해역중 경상연안과 강원 남부인 동해 대진항과 삼척 근덕, 갈남항 주변에서 44% 이상으로 높게 나타났다.

동해 대진항에서는 석회조 외에 지충이(*Sargassum thunbergii*), 고리매(*Scytosiphon lomentaria*), 까막살(*Carpopeltis affinis*), 서실(*Chondria crassicaulis*)종류가 우점하였으며 유절석회조류도 우점하여 분포하였다. 삼척 갈남항의 경우 유절석회조류의 분포는 매우 낮으며 바위두둑(*Leathesia difformis*), 팽생이모자반, (*Sargassum horneri*), 그물바탕말(*Dictyota* spp.), 까막살 종류가 우점하였다. 갯녹음이 진행되고 있는 무절석회조가 우점한 군락에서도 그물바탕말, 팽생이모자반, 지충이 종류는 우점도가 높게 분포하였으며 이중 그물바탕말은 석회조 상층부에 넓게 분포하였다.

2000년 5월에 조사된 강원도 연안 갯녹음역의 조간대 해조상 분포에서 석회조류와 다른 해조와의 관계를 모식도로 그림 2에 나타내었다. 석회조류의 분포가 10~20%의 정도로 나타내는 피도는 해조군락이 거의 정상적으로 보이거나 40% 이상으로 나타나는 지역은 갯녹음이 확산되고 있는 것으로 보였다.

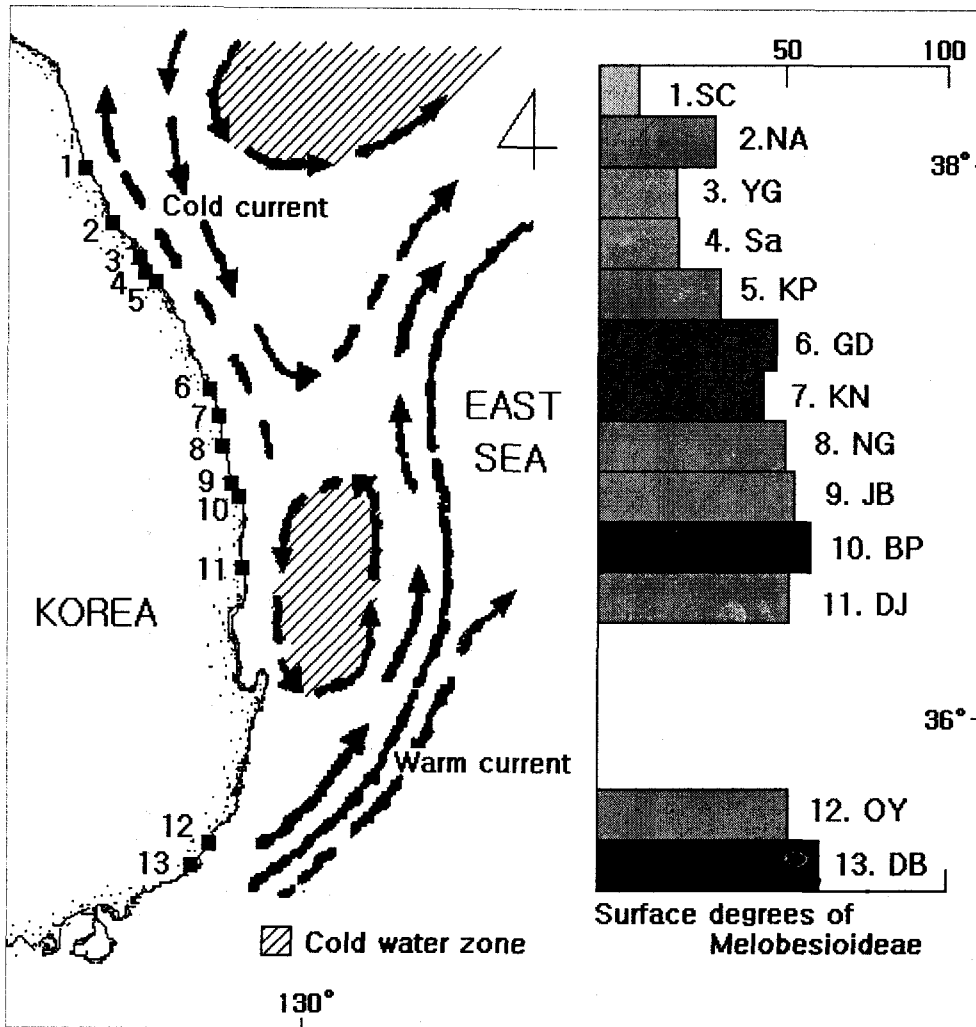


그림 1. 동해연안에서 조사된 갯녹음 발생지역의 조사지점

SC: 속초, NA: 남애, YG: 연곡, Sa: 사천, KP: 경포, DJ: 대진, GD: 근덕, KN: 갈남, NG: 나곡, JB: 죽변, OY: 온양, BP: 봉평, DB: 동백

표 1. 조사지점별 무절석회조류와 다른조류 피도와의 관계

Surface degrees (%)	Locations												
	SC	NA	YG	Sa	GP	DJ	GD	GN	NG	JB	OY	BP	DB
crustose coralline algae	10.9	29.5	20.8	21.0	30.1	51.0	48.0	44.2	50.0	52.4	50.5	56.5	58.9
Other algae	89.1	70.5	79.2	79.0	69.9	49.0	52.0	55.8	50.0	47.6	49.5	43.5	41.1

SC: 속초, NA: 남애, YG: 연곡, Sa: 사천, KP: 경포, DJ: 대진, GD: 근덕, KN: 갈남, NG: 나곡, JB: 죽변, OY: 온양, BP: 봉평, DB: 동백

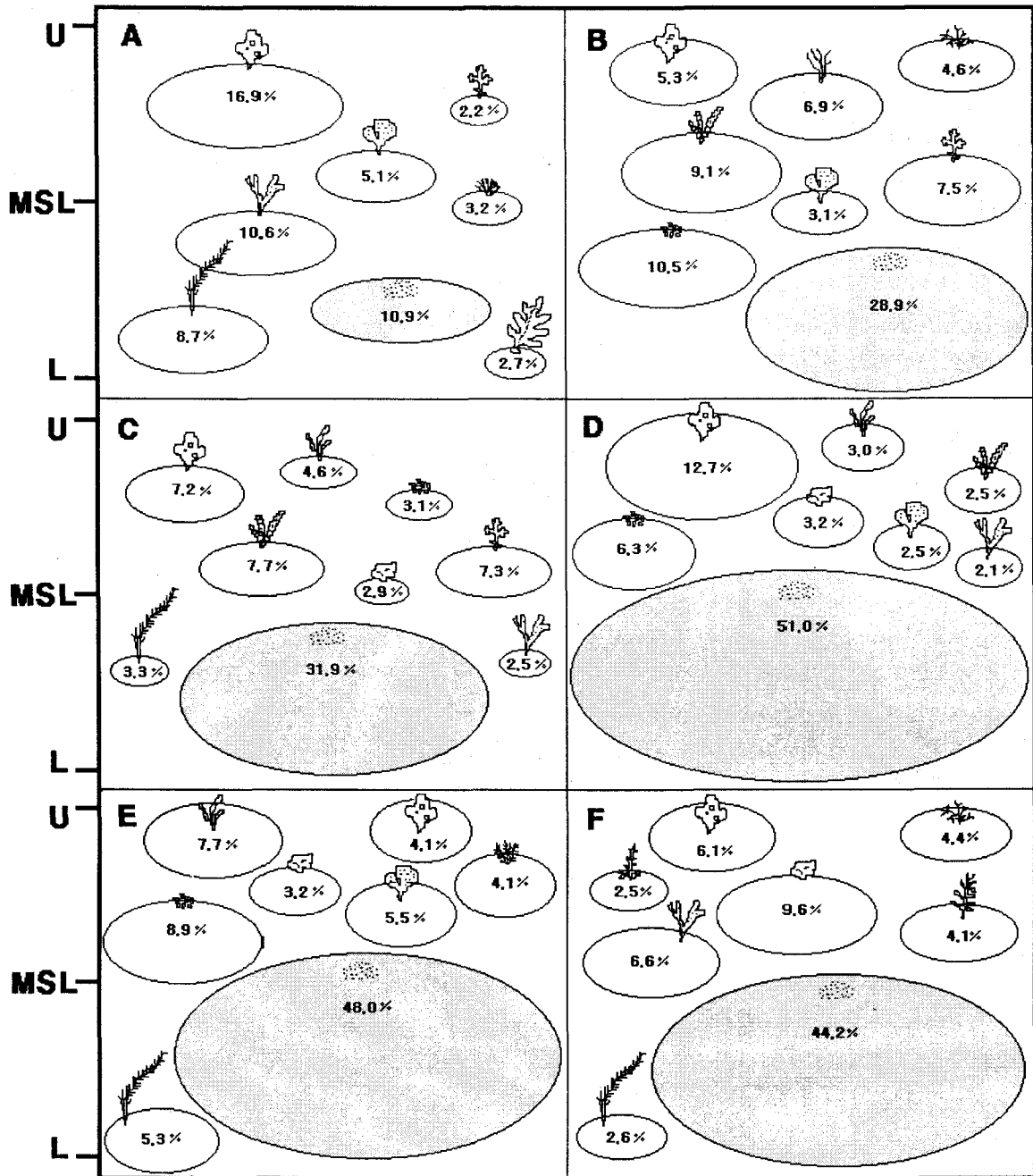


그림 2. 강원도 연안 갯녹음지역의 조간대 해조상 분포.

A: 양양 후진, B: 양양 남애-1, C: 양양 남애-2, D: 동해 대진, E: 삼척 근덕, F: 삼척 갈남

(: 모자만류, : 미역, : 유절석회조류, : 파래류, : 고리매, : 바위두둑, : 서실, : 디크티오타류, : 지층이, : 무절석회조류, : 클라도포라, : 도박, : 염주말, : 불등가사리, : 돌가사리, : 툯, : 보라색우무, : 미역쇠)

이 조사지점에 분포하는 우점종은 대마디말(*Cladopora* sp.), 염주말(*Chaetomorpha* sp.), 파래류(*Enteromorpha* complex), 모자반(*Sargassum* spp.), 미역(*Undaria pinnatifida*), 고리매, 바위두둑, 그물바탕말, 지층이, 미역쇠(*Endarachne binghamiae*), 불등가사리(*Gloiopeltis furcata*), 돌가사리(*Gigartina* spp.), 보라색우무(*Symphyocladia latiuscula*), 도박(*Pachymeniopsis* spp.), 서실 종류였다. 동해안 연안에 나타나는 무절석회조의 종류는 잘피겹테기, 낭과적, 엔도혹돌잎, 혹돌잎, 납작혹돌잎, 매끈적 종류가 우점하였다. 그 중에 매끈적 종류는 강원도 연안에서 가장 흔하게 볼 수 있는 종으로 보였다.

표 2. 강원도 연안 갯녹음역에 분포하는 해조류의 종별 생중량

Species	Locations	DMZ	NA	YG	Sa	GP	DJ	GD	GN	NG	JB	OY	BP
CHLOROPHYTA													
<i>Ulva lactuca</i> (갈파래)		15.0	0.9				2.43		17.72				
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)		14.4		426.3	42.9	177.6	0.2	1.02	0.88		150.0	162.4	2.3
<i>Enteromorpha compressa</i> (납작파래)				310.0									
<i>Enteromorpha linza</i> (잎파래)							0.53						
<i>Codium fragile</i> (청각)			0.9		7.4	174.6		0.88	12.5		18.5	5.1	3.4
<i>Codium adhaerens</i> (떡청각)											4.0		
<i>Urospora penicilliformis</i> (초록털말)													0.7
<i>Cladopora</i> sp.(대마디말과)		8.0					0.43	0.23					
<i>Cladopora japonica</i> (큰대마디말)						57.5							
<i>Chaetomorpha aerea</i> (애기염주말)		7.3	16.9	169.6									
<i>Bryopsis plumosa</i> (깃털말)			0.3										
Total		44.7	19	905.9	107.8	352.2	3.59	2.13	31.1		172.5	168.2	5.7
PHAEOPHYTA													
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)		3.9	4.4	7.2	11.7	21.5	0.53	0.27	9.87	80.0	7.7		
<i>Dictyota linearis</i> (실그물바탕말)													0.7
<i>Dictyota divaricata</i> (쌍말그물바탕말)				11.6									
<i>Udaria pinnatifida</i> (미역)		2.9			1642.2		2.62	0.07	0.08	226.6	740.0	446.7	738.5
<i>Agarum cribrosum</i> (야키시리구멍쇠미역)					238.9	209.2							27.7
<i>Costaria costata</i> (쇠미역)					124.7		0.38						
<i>Endarachne binghamiae</i> (미역쇠)		1.5						0.13					
<i>Laminaria japonica</i> (다시마)		5.8			1248.5	6.8							
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (고리매)		8.0					0.75	1.92	0.08				
<i>Sargassum</i> sp.(모자반과)		3.2			61.9			0.1	0.23				
<i>Sargassum sagamianum</i> (비틀대모자반)					136.9								
<i>Sargassum thumbergii</i> (지층이)		14.2	603.0						23.2		14.5		
<i>Sargassum ringgoldianum</i> (큰잎모자반)													37.6
<i>Sargassum horneri</i> (괘쟁이모자반)		10.1		9.2	126.4			1.32	0.65				
<i>Sargassum piluliferum</i> (구슬모자반)										1,180.0			

Species	Locations													
		DMZ	NA	YG	Sa	GP	DJ	GD	GN	NG	JB	OY	BP	
<i>Desmarestia viridis</i> (쇠꼬리산말)					22.6								214.0	
<i>Colpomenia sinuosa</i> (블레기말)		2.4											29.6	
<i>Colpomenia bullosa</i> (긴블레기말)								0.17	0.32					
<i>Cutleria cylindrica</i> (채찍말)													54.7	11.6
<i>Dictyopteris divaricata</i> (넓은뼈대그물말)		13.4			3.7	2.8		0.45	0.28					
<i>Dictyopteris latiuscula</i> (미끈뼈대그물말)					5.2	31.2								
<i>Chordaria flagelliformis</i> (민가지말)													184.6	
<i>Spatoglossum pacificum</i> (참가시그물바탕말)					9.5									
<i>Leathesia difformis</i> (바위두둑)		5.1						0.8	0.8	2.4				
<i>Hizikia fusiformes</i> (뚝)		5.2		1.6				0.18	0.17	7.31				
<i>Ectocarpus</i> sp.(숨털과)										4.7				
Total		75.7	607.4	29.6	3,632.2	271.5	5.26	5.4	49.12	1,486.6	762.2	995.6	750.1	

RHODOPHTA

<i>Chondria crassicaulis</i> (서실)		14.1	48.9	28.8				0.08	0.08	268.5				
<i>Laurencia nipponica</i> (큰서실)		4.8	20.5		4.6	10.0				147.4				
<i>Laurencia hamata</i> (갈고리서실)														6.4
<i>Laurencia okamurai</i> (오카무라서실+)														33.5
<i>Corallina officinalis</i> (산호말)											5.8	0.2	2.8	
<i>Callophyllis japonica</i> (벚붉은잎)														9.2
<i>Grateloupia filicina</i> (지누아리)		0.4	33.7			3.6	0.07		34.13	8.0			11.8	2.5
<i>Grateloupia sparsa</i> (명주지누아리)					135.6	8.4								
<i>Grateloupia divaricata</i> (뼈지누아리)					3.7									
<i>Halymenia acuminata</i> (왕지누아리)					0.5									
<i>Grateloupia turuturu</i> (미끌지누아리)				26.8										
<i>Acrosorium flabellata</i> (부채분홍잎)		0.5			1.4									
<i>Schizymenia dubyi</i> (갈래잎)				6.0										
<i>Porphyra suborbiculata</i> (등근돌김)					0.5									
<i>Porphyra okamurae</i> (오카무라돌김)		2.3		2.4										
<i>Amphirae</i> sp.(넓은게말)					48.0									
<i>Gracilaria verrucosa</i> (꼬시래기)		0.3								0.2				
<i>Ticocarpus crinitus</i> (마른나무)					29.5									
<i>Kallymenia</i> sp.(붉은망띠과)					19.2									
<i>Tsengia nakamurae</i> (나카무라가는잎)													160.0	4.1
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)														6.6
<i>Carpopeltis affinis</i> (까막살)			0.3	124.7						17.96	7.2		28.9	8.3
<i>Carpopeltis crispata</i> (주름까막살)										3.4				
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (도박)		8.7	2.9	8.8				0.62	1.38	23.96			8.3	1.9
<i>Grateloupia turatura</i> (미끌도박)			25.7			1.46				25.0				
<i>Grateloupia okamurae</i> (털도박)													15.2	19.5
<i>Pachymeniopsis lanceolata</i> (개도박)					4.6									
<i>Lithothamnion cystocarpioideum</i> (낭과쩍)					4.6									
<i>Heterosiphonia japonica</i> (엇가지풀)					4.6									
<i>Gelidium amansii</i> (우뚝가사리)		1.1					4.4		0.12	46.03			43.3	43.2
<i>Hypnea</i> sp.(갈고리가시우무과)					11.1									
<i>Hypnea japonica</i> (갈고리가시우무)					16.4									
<i>Pterocladia tenuis</i> (개우무)				37.6						14.4				
<i>Phacelocarpus japonicus</i> (쟁꼬리)					7.4									

Species	Locations													
	DMZ	NA	YG	Sa	GP	DJ	GD	GN	NG	JB	OY	BP		
<i>Symphyclocladia latiuscula</i> (보라색우무)	3.5		13.6	24.0			1.02	51.5						
<i>Carpopeltis cornea</i> (붉은부챗살)				3.8						11.7				
<i>Helminthocladia australis</i> (큰가자국수나물)											25.5			
<i>Nemalion vermiculare</i> (국수나물)	2.3							0.03						
<i>Hypnea saidana</i> (사이다가시우무)											1.7			
<i>Gigartina tenella</i> (돌가사리)					6.4			0.63			5.6			
<i>Gloiopeltis furcata</i> (불등가사리)	5.9					0.05		1.1						
<i>Delisel fimbriata</i> (나도챙꼬리)				7.4										
<i>Phycodris fimbriata</i> (바다창나무잎)				5.8										
<i>Chrysymenia wrightii</i> (누른끈적이)											16.2			
<i>Gigartina intermedia</i> (애기돌가사리)								2.3						
<i>Lomentaria hakodatensis</i> (애기마디잘록이)		19.5	34.8					166.1						
<i>Griffithsia japonica</i> (왜비단잘록이)			1.2											
<i>Campylaphora crassa</i> (굵은석목)			1.0											
<i>Polysiphonia japonica</i> (떨기나무붉은실)			1.2											
<i>Chordrus ocellatus</i> (진두발)		0.7	1.3	4.6	4.4			68.7						
<i>Acrosorium sp</i> (보라잎과)				143.0										
<i>Acrosorium yendoi</i> (누은분홍잎)								3.5						
<i>Acrosorium venulosum</i> (갈고리분홍잎)														
<i>Polysiphonia spinosa</i> (가시붉은실)		1.7												
<i>Plocamium telfairiae</i> (참곱슬이)		82.8		8.6				32.4			1.3			
<i>Ceramium japonicum</i> (깃꿀비단풀)		2.7						1.9						
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)		29.2	142.0	8.0	37.5							1.9		
<i>Heterosiphonia sp.</i> (다홍풀과)					6.0									
Total	43.9	268.6	430.2	496.9	82.2	0.82	2.6	909.2	15.2	17.5	318.0	139.9		
Wet weight (g/m²)	164.0	895.0	1365.7	4236.9	705.9	13.3	12.3	989.4	1501.8	952.2	1481.8	895.7		

SC:: 속초, NA: 남해, YG: 연곡, Sa: 사천, KP: 경포, DJ: 대진, GD: 근덕, KN: 갈남, NG: 나곡, JB: 죽변, OY: 온양, BP: 봉평, DB: 동백

나. 지점별 출현종과 현존량

전체적으로 녹조류 11종, 갈조류 26종, 홍조류 58종 모두 95종이 조사되었다(표 2). 출현종의 생물량을 방형구(50cm×50cm)별로 지역별로 조사하였다. 양양남해 지역에서는 지층이가 603g으로 가장 높았다. 종류별로 볼 때 20g 이상이 되는 종류는 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*), 미끌도박(*Grateloupia turuturu*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 서실, 큰서실(*Laurencia nipponica*), 지누아리(*Grateloupia filicina*)였다. 매끈적과 엔도혹돌잎이 조간대 상부에 하얗게 변색되어 띠를 이루며 분포하고 그 아래로 해조들이 군락을 이루는 경향을 보인다. 조하대의 경우 대형 갈조류가 간헐적으로 분포하고 대부분의 암반에 무절석회조류가 우점하고 있다.

DMZ 주변 고성 저도 어장은 조간대의 해조류 분포가 다양하였으며 무절석회조류가 분포하더라도 홍조 김 종류가 분포하였다(그림 3 A, B). 이에 비해 남해항 주변의 무절석회조류와

같이 서식하는 지충이와 팽생이모자반 군락을 나타내었다. 석회조류가 번무한 지역에 홍조류 등의 서식은 없고 갈조류 몇 종만이 분포하여 매우 단순한 식생을 보였다(그림 3 C, D). 갯녹음 해역의 지표생물로서 무절석회조류의 피복도로 갯녹음의 정도를 나타내고 있으나 저도 어장 주변은 석회조가 분포하고 있더라도 다른 해조류가 다양하게 분포되고 있음을 보여주고 있다. 이에 반해 방과제 주변은 해류의 유동이 적은 내만형으로 파래, 지충이, 팽생이모자반 등으로 대표되는 매우 단순한 식생을 보여주고 있으며 이들 종류들은 갯녹음 해역의 대표적인 종류로 분포하였다.

연곡에서는 작은구슬산호말 종류가 142g으로 가장 높았으며 그 다음으로 까막살(*Carpopeltis affinis*)이 124.7g 이었다. 서실, 미끌지누아리, 개우무(*Pterocladia tenuis*), 애기마디잘록이(*Lomentaria hakodatensis*) 종류가 20g 이상을 보였다. 연곡천 하구에서 연안의 바깥 쪽으로 갈수록 출현종수가 높게 나타났다. 하구 부근에는 녹조류는 남작파래, 구멍갈파래, 애기

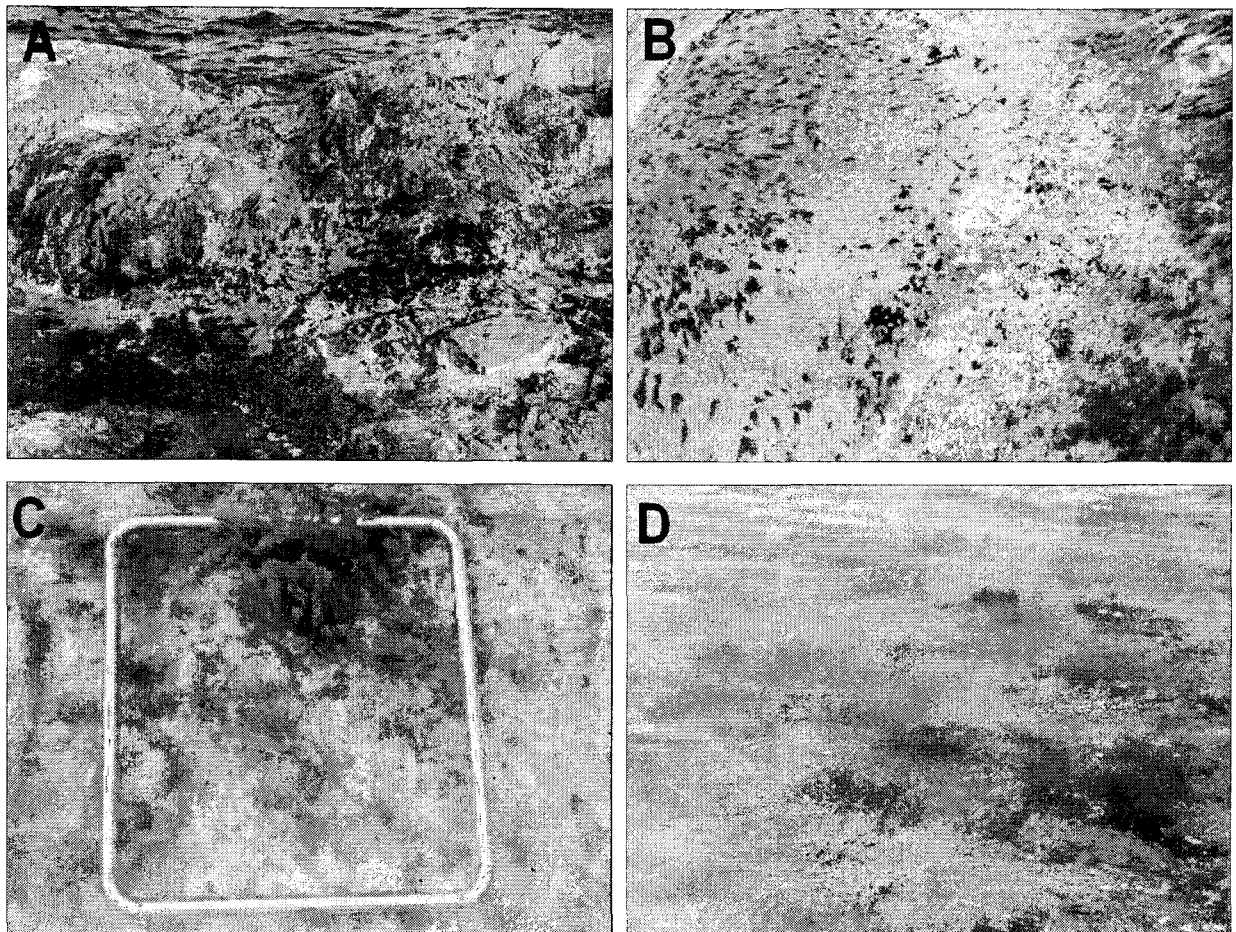


그림 3. 강원도 DMZ 부근 고성 저도어장의 해조식생과 양양남해 지역의 해조군락

염주말, 갈조류는 참그물바탕말, 쌍발그물바탕말, 툯, 팽생이모자반, 진두발, 홍조류는 떨기나무 붉은실이 조사되었다. 홍조류의 분포가 적고 녹조류와 갈조류가 비교적 많이 나타났다.

강릉사천에서는 다시마(*Laminaria japonica*)가 1,248.5g 으로 가장 높았으며 그 다음으로 야키시리구멍쇠미역(*Agarum cribrosum*) 종류로 238.9g 이었다. 몸체가 큰 갈조류인 미역, 쇠미역(*Costaria costata*), 모자반, 비틀대모자반(*S. sagamianum*), 팽생이모자반(*S. horneri*)이 우점하였다. 녹조류는 구멍갈파래, 큰대마디말 종류가 홍조류에는 명주지누아리(*Grateloupia sparsa*), 넓은게발(*Amphirae* sp.), 마른나무(*Ticocarpus crinitus*), 보라색우무, 보라잎과(*Acrosorium* sp.) 종류가 20g 이상을 보였다.

강릉경포에서는 야키시리구멍쇠미역 종류가 209.2g으로 가장 높았으며 구멍갈파래, 청각(*Codium fragile*), 그물바탕말, 미끈뻐대그물발, 작은구슬산호말 종류가 우점하였다. 경포 십리바위 해역은 경포에서 떨어진 작은 섬으로 암반이 발달하여 있으며 해조식생이 다양한 곳이다.

외양의 영향을 직접 받으므로 외양성인 홍조류도 많이 분포하며 조하대도 완만한 경사로 이루어져 다양한 수직분포를 보여준다. 수심 10m 이하에도 *Laminaria* 종류가 우점하며 수심 20~30m 에는 *Kjellmaniella* 종류가 분포하며 *Agarum* 종류는 다시마류보다 더 깊은 곳에 분포하고 있다.

동해대진에서는 모자반류 등의 갈조류가 우점하였으며 삼척근덕에서는 참그물바탕말, 모자반, 서실, 도박 종류가 우점하였다. 갈남해역에서는 항구를 중심으로 한 갯녹음 해역이더라고 독특한 해조식생을 보여준다. 갈남의 경우 수심 3m 이하는 거의 조사면적의 80% 이상 독점적으로 석회조류만이 분포한다. 그러나 조간대에서는 해조식생이 비교적 다양하게 나타났으며 수심 1m까지는 빈약한 식생을 보였다. 갈남에서의 조사는 3-2에서 별도로 그 해조군락의 특성에 대해서 다루었다. 나곡, 죽변, 온양, 봉평지역에서는 공통적으로 미역이 가장 우점도가 높았다.

전체적으로 볼 때 조사지점중에서 가장 현존량이 높은 곳은 강릉사천지역으로 4,236.9g/m² 을 보였으며 연곡, 나곡, 온양 지역은 1,000g/m² 이상을 보였다. 갯녹음역이라고 볼 수 있는 곳에서도 출현종수가 30~40종으로 비교적 다양한 식생을 보였다. 갈남과 동백섬 지점은 무절석회조류의 피도가 전체 해조류의 피도에서 50% 이상을 보임에도 불구하고 종다양성이 좋은 것은 조간대에 해조의 분포가 양호하기 때문이다. 그러나 조하대에는 무절석회조류의 피도는 우점적으로 높아서 다른 해조류의 종다양성이 낮게 나타났다.

특히, 2002년 봄철에 들면서 식생이 회복되는 경향을 보였다. 봄철에 팽생모자반(*Sargassum horneri*)이 매우 무성하여 4월과 5월에 현존량이 각각 4kg/m², 6kg/m²으로 높게 나타났다. 연중 우점하여 나타난 종은 떡청각(*Codium adhaerens*), 참그물바탕말(*Dictyota dichotoma*), 우뭇가사리(*Gelidium amansii*), 도박(*Pachymeniopsis elliptica*), 부챗살(*Gymnogongrus flabelliformis*) 종류였다.

제 2 절 동해중부 갈남해역의 갯녹음 현상

1. 서론

삼척 갈남은 동해중부인 강원남부에 위치하여 여름에는 동해연안의 난류성 해류가 겨울에는 한류성 해류의 영향을 크게 받는 곳이다. 동해연안은 해안선이 단조롭고 수심이 깊은 것이 특징이나 갈남해역은 비교적 연안의 지형이 복잡하고 완만한 수심으로 이루어져 있다. 그뿐 아니라 최근에 항포구의 축조로 항내와 항바깥측의 환경조건이 크게 차이를 보이고 있다.

동해안 여러 지역의 갯녹음 발생실태 조사중에서 삼척갈남 해역이 매우 심하게 나타났다. 특히 조간대에는 여러 종류의 해조가 분포하였으나 조하대의 엽상해조는 거의 분포하지 않고 석회조류만이 우점하였다. 동해연안의 갯녹음의 확산 정도와 경향을 분석하기 위하여 동해연안 중에서 삼척 해안의 한 지점에서 조사 분석하였다.

이 연구에서는 조간대와 조하대에서 출현하는 해조의 종류와 무질석회조류와의 피복도와와의 관계성을 분석하였다. 또한 해조류의 감소 현상은 2년간 월별 현존량의 동태로 갯녹음의 진행이 어떻게 진행되는가를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

삼척갈남 연안의 조사는 갈남항을 중심으로 안쪽에서 바깥쪽으로 난 암초주변의 조간대와 조하대에서 이루어졌다(그림 4). 항구안은 조류 소통이 다소 정체되어 있으나 바깥으로 나갈수록 원활하다. 이 주변은 암반이 발달되어 있으며 생활하수의 유입이 소량이 있는 곳이다.

갯녹음 현상이 심한 곳으로 2001년~2002년의 2년간 매월 현장조사를 수행하였다. 조사방법은 연안선에서 수직방향으로 line-transect를 설정하여 조간대와 조하대에서 방형구(50×50cm)를 놓아가며 해조 종류의 피복도와 생물량을 조사하였다. 채집한 표본의 동정작업은 생물의 상태로 실험실로 운반하였으며 각 방형구별로 채집된 해조류는 실험실에서 담수로 충분히 씻고 종류별로 구분하여 습중량의 무게를 0.01g 수준까지 측정하여 단위면적당(wet weight in g/m²) 무게로 환산하였다. 습중량 측정이 끝난 해수는 10% 포르말린-해수용액으로 고정하여 보관하였다. 무질석회조류의 분포는 석회조와 친밀성이 큰 순서대로 그물바탕말과 우뭇가사리 종류는 그룹 1, 지충이, 팽생이모자반, 구멍갈파래 종류는 그룹 2로 하여 석회조류와 엽상해조와의 관계를 분석하였다.

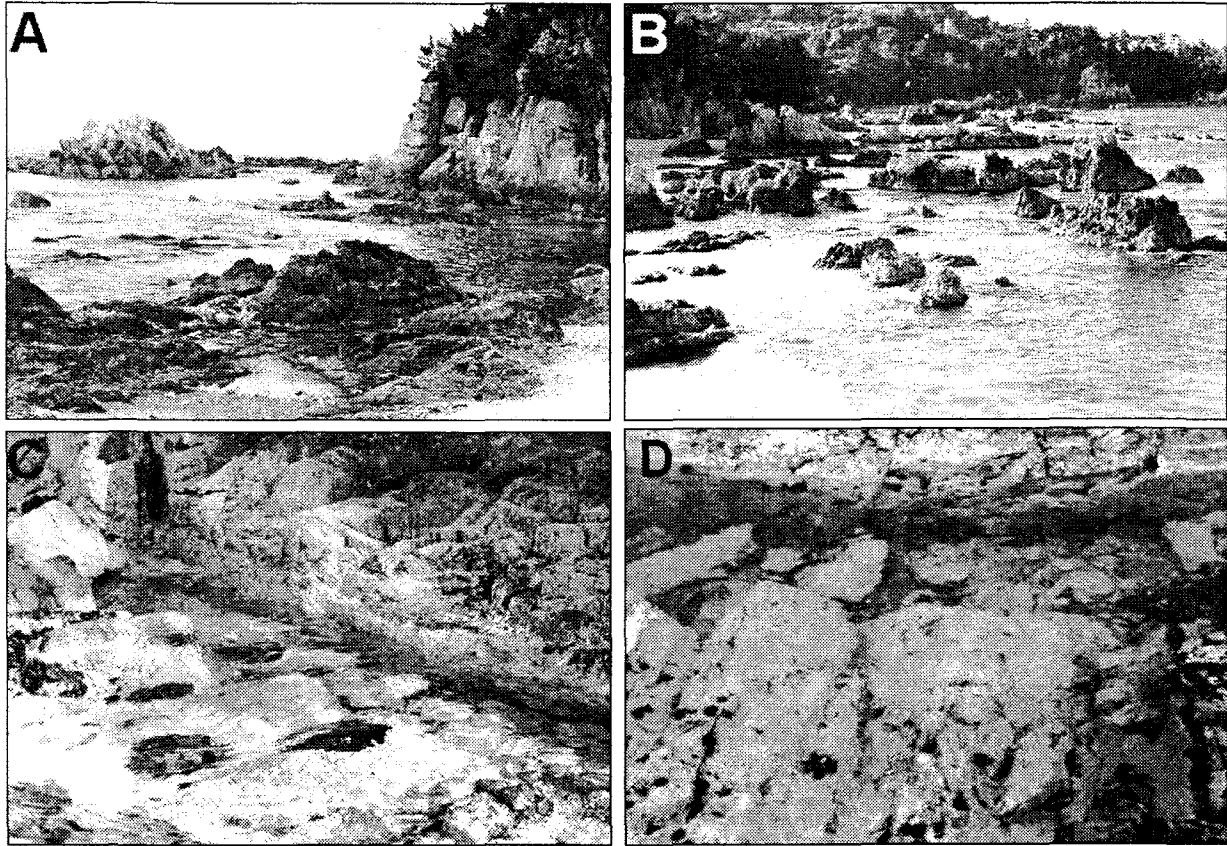


그림 4. 갈남 조사지역의 조간대(A, B) 및 조하대(C, D)의 전경

3. 결과 및 고찰

가. 종조성

이 지역의 분포하는 우점종은 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 알송이모자반(*Sargassum confusum*), 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcata*), 개서실(*Chondria crassicaulis*), 개우무(*Pterocladia capillacea*), 말잘피(*Phyllospadix iwatensis*), 그물바탕말(*Dictyota* spp.), 분홍잎(*Acrosorium* spp.), 떡청각(*Codium adhaerens*), 까막살(*Carpopeltis affinis*), 부챗살(*Gymnogongrus flabelliformis*), 돌가사리(*Gigartina tenella*), 지충이(*Sargassum thunbergii*), 미역쇠(*Endarachne binghamiae*), 김(*Porphyra* spp.) 종류이었다. 이 외에 미끌지누아리(*Grateloupia turuturu*), 도박(*Pachymeniopsis elliptica*), 긴볼레기말(*Colpomenia bullosa*), 바위 두둑(*Leathesia difformis*), 지누아리(*Grateloupia filicina*), 진두발(*Chondrus ocellatus*), 잎파래(*Enteromorpha linza*), 툫(*Hizikia fusiformis*) 종류가 분포하였다.

해조의 수직분포는 상부에서 하부로 갈수록 김>잎파래>불등가사리>지충이>툫>개서실

표 3. 삼척 갈남해안의 해조류 생중량(wet · weight · g/m²)

Species	2001.3	2001.4	2001.5	2001.6	2001.8	2001.9	2001.10	2001.11	2001.12
Chlorophyta (녹조류)									
<i>Monostroma nitidum</i> (홀파래)									
<i>Enteromorpha compressa</i> (납작파래)	0.1								
<i>E. intestinalis</i> (창자파래)				8.5	106.1	4.6			
<i>E. linza</i> (잎파래)	9.7	1.5		17.2					
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)	1.3	120.3	4.3	114.5	7.2	75.5			
<i>Urospora penicilliformis</i> (초록털말)	3.3			0.6					
<i>Chaetomorpha aerea</i> (엽주말)		0.4							
<i>Cladophora</i> sp.(대마디말)									0.1
<i>Bryopsis plumosa</i> (참깃털말)									
<i>Caulerpa okamurae</i> (옥덩굴)									
<i>Codium adhaerens</i> (떡청각)			5.3	104.2	10.8				
<i>C. contractum</i> (몽우리청각)									
<i>C. fragile</i> (청각)			0.7	5.8		10.4			
sum	14.4	122.2	10.3	250.8	124.1	90.5			0.1
Phaeophyta (갈조류)									
<i>Papenfussiella kuromo</i> (연두털말)									
<i>Ishige okamurae</i> (넓배)		1.3							
<i>Leathesia difformis</i> (바위두릅)	9.4	247.3	872.0	41.6					
<i>Colpomenia bullosa</i> (긴불래기말)	39.0	36.0	552.0	2.1					
<i>C. sinuosa</i> (불래기말)									
<i>Endarachne binghamiae</i> (미역쇠)	0.2								
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (고리매)	88.8		498.7						
<i>Desmarestia ligulata</i> (참산말)	7.4								
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)			42.7	134.7					
<i>Dictyopteris undulata</i> (주름뼈대그물말)					222.5				
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)	22.6	24.0	158.0	59.9			0.5	18.2	7.1
<i>Pachydictyon coriaceum</i> (참가죽그물바탕말)									
<i>Spatoglossum pacificum</i> (참가시그물바탕말)									
<i>Coccophora langsdorfii</i> (삼나무말)									
<i>Hizikia fusiformis</i> (뚝)	101.2	57.6	20.0	306.2					
<i>Sargassum confusum</i> (알송이모자반)				458.6	146.8	114.0	89.7	261.8	
<i>S. fulvellum</i> (모자반)	371.2								
<i>S. horneri</i> (팽생이모자반)		25.7		357.3				1.4	469.3
<i>S. thunbergii</i> (지충이)	35.6	159.2	220.7	1,076.5	224.3			91.8	63.3
sum	675.4	551.1	2,364.1	2,436.9	593.6	114	90.2	373.2	539.7
Rhodophyta (홍조류)									
<i>Bangia arropurpurea</i> (김파래)	0.1								
<i>Porphyra okamurae</i> (오카부라돌김)	0.3								
<i>Gelidium amansii</i> (우뭇가사리)	34.3		76.0	36.8	5.0	16.2	53.8	23.4	12.9
<i>Scinaia okamurae</i> (매끈겍질)		74.8							
<i>G. sesquipedale</i> (가시우뭇가사리)							32.2		67.3

Species	2001.3	2001.4	2001.5	2001.6	2001.8	2001.9	2001.10	2001.11	2001.12
<i>Pterocladia capillacea</i> (개우무)							11.9		6.9
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)		23.6	0.1						
<i>Carpopeltis affinis</i> (까막살)	10.4	90.7	14.7		44.2	1.7			
<i>C. prolifera</i> (부채까막살)			12.4						
<i>Grateloupia divaricata</i> (뺨지누아리)		17.3							
<i>Grateloupia filicina</i> (지누아리)		18.3			5.1	4.3	10.5		
<i>G. prolongata</i> (개지누아리)									
<i>G. sparsa</i> (명주지누아리)									
<i>G. turuturu</i> (미끌지누아리)	57.9				6.4	1.2			
<i>Halymeniopsis dilatata</i> (얼룩도박)									
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (도박)		188.0			12.0	9.6	39.4	83.4	8.7
<i>P. lanceolata</i> (개도박)									
<i>Prionitis cofmea</i> (붉은까막살)									
<i>P. crispata</i> (주름까막살)									41.2
<i>Zanardinula cornea</i> (붉은부챗살)				45.6					
<i>Gloiopeltis complanata</i> (애기풀가사리)				0.7					
<i>G. furcata</i> (불등풀가사리)	10.8				0.1				
<i>G. tenax</i> (참풀가사리)			6.6	25.9		68.2			60.1
<i>Callophyllis adhaerens</i> (좁은붉은잎)									
<i>C. japonica</i> (벚붉은잎)									
<i>Plocamium leptophyllum</i> (가늘굽슬이)									
<i>P. telfairiae</i> (참굽슬이)									
<i>Gracilaria verrucosa</i> (꼬시래기)						1.2			
<i>Hypnea japonica</i> (갈고리가시우무)									
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i> (부챗살)	2.1		105.3	72.6	0.5	21.0	27.8	0.9	32.4
<i>Chondrus ocellatus</i> (진두발)	0.7		156.3	132.1		95.2	102.0	8.5	0.5
<i>Gigartina intermedia</i> (애기돌가사리)				47.4					
<i>G. tenella</i> (돌가사리)				6.4			6.0	125.8	
<i>Lomontaria catenata</i> (마디잘록이)	230.3	162.1	72.0		2.5		18.8		
<i>L. hakodatensis</i> (애기마디잘록이)									
<i>L. lubrica</i> (가늘마디잘록이)				5.2					
<i>Ceramium kondoi</i> (비단풀)									
<i>Acrosorium flagellatum</i> (부채분홍잎)									8.0
<i>A. polyneurum</i> (잔금분홍잎)	3.8		0.1	155.1	1.7		0.3	1.9	4.5
<i>Chondria crassicaulis</i> (개서실)		641.1	2.0		41.4				
<i>C. sp.</i> (서실)	82.3				8.5	288.0	230.2	1.8	0.1
<i>Laurencia intermedia</i> (검은서실)									
<i>L. nipponica</i> (큰서실)		24.0	0.3						
<i>Polysiphonia sp.</i> (붉은실)		52.8			0.1		115.0	9.2	0.1
<i>Symphocladia latiuscula</i> (참보라색우무)	665.9		0.3			0.7		92.6	
sum	1,098.7	1,292.7	446.1	527.8	128.7	506.1	647.9	347.5	242.7
Total	1,788.5	1,966.0	2,820.5	3,215.5	846.4	710.6	738.1	720.7	782.5

Species	2002.1	2002.2	2002.3	2002.4	2002.5	2002.8	2002.10
Chlorophyta (녹조류)							
<i>Monostroma nitidum</i> (홀파래)			47.9				
<i>Enteromorpha compressa</i> (납작파래)							
<i>E. intestinalis</i> (창자파래)							
<i>E. linza</i> (잎파래)		0.1			32.4		
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)				2.0	179.8	2.6	
<i>Urospora penicilliformis</i> (초록털말)			1.9	0.1		170.2	
<i>Chaetomorpha aerea</i> (염주말)							
<i>Cladophora</i> sp.(대마디말)				0.5			
<i>Bryopsis plumosa</i> (참깃털말)				6.4			
<i>Caulerpa okamurae</i> (옥덩굴)	17.7						
<i>Codium adhaerens</i> (떡청각)	6.6	27.1	85.4	98.6	5.9	13.0	
<i>C. contractum</i> (몽우리청각)				6.5			
<i>C. fragile</i> (청각)							
sum	24.3	27.2	135.2	114.1	218.1	185.8	
Phaeophyta (갈조류)							
<i>Papenfussiella kuromo</i> (연두털말)				42.6			
<i>Ishige okamurae</i> (넓패)							
<i>Leathesia difformis</i> (바위두릅)			9.2	7.5	176.0		
<i>Colpomenia bullosa</i> (긴블래기말)		8.2	70.7	8.9	43.6		
<i>C. sinuosa</i> (블래기말)		2.0	0.4	0.4	20.3	13.2	
<i>Endarachne binghamiae</i> (미역쇠)		13.2	80.0				
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (고리매)			30.3	0.2	2.9		
<i>Desmarestia ligulata</i> (참산말)			14.8				
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)				27.4	5.6		
<i>Dictyopteria undulata</i> (주름뺨대그물말)						55.5	
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)	112.7	69.9	13.5	124.7	13.7		
<i>Pachydictyon coriaceum</i> (참가죽그물바탕말)					8.1		
<i>Spatoglossum pacificum</i> (참가시그물바탕말)				4.4			
<i>Coccophora langsdorfii</i> (삼나무말)	41.7	25.2		217.7			22.5
<i>Hizikia fusiformis</i> (툇)	1.3	138.4	24.4	202.6	506.0		
<i>Sargassum confusum</i> (알송이모자반)	109.4	101.5	120.6	241.7	615.3	231.2	195.4
<i>S. fulvellum</i> (모자반)							
<i>S. horneri</i> (팽생이모자반)		332.2	1202.3	1812.4	4021.4	299.9	
<i>S. thunbergii</i> (지충이)		13.9	164.4		270.1		
sum	265.1	704.5	1,730.6	2,690.5	5,683	599.8	217.9
Rhodophyta (홍조류)							
<i>Bangia arropurpurea</i> (김파래)							
<i>Porphyra okamurae</i> (오카무라돌김)							
<i>Gelidium amansii</i> (우뭇가사리)	114.9	75.0	34.1	15.5	58.7	849.3	
<i>Scinaia okamurae</i> (매끈겍질)				1.9			
<i>G. sesquipedale</i> (가시우뭇가사리)				2.8			

Species	2002.1	2002.2	2002.3	2002.4	2002.5	2002.8	2002.10
<i>Pterocladia capillacea</i> (개우무)			2.9				13.7
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)							
<i>Carpopeltis affinis</i> (까막살)							
<i>C. prolifera</i> (부채까막살)							
<i>Grateloupia divaricata</i> (뺨지누아리)							
<i>Grateloupia filicina</i> (지누아리)	0.3						28.8
<i>G. prolongata</i> (개지누아리)		1.6		18.2	2.0	5.4	
<i>G. sparsa</i> (명주지누아리)				0.4			
<i>G. turuturu</i> (미끌지누아리)					3.7		4.0
<i>Halymeniopsis dilatata</i> (얼룩도박)				5.6	4.9		
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (도박)	2.5	11.6	158.3	9.5			4.5
<i>P. lanceolata</i> (개도박)	0.6						
<i>Prionitis cofrnea</i> (붉은까막살)		0.7		0.3			
<i>P. crispata</i> (주름까막살)		1.4		0.5			
<i>Zanardinula cornea</i> (붉은부챗살)	0.9	9.3	37.7		14.6		31.1
<i>Gloiopeltis complanata</i> (애기풀가사리)	47.0						
<i>G. furcata</i> (불등풀가사리)	0.2	22.4	0.8		0.1		
<i>G. tenax</i> (참풀가사리)	132.9		8.6				
<i>Callophyllis adhaerens</i> (좁은붉은잎)			3.0	5.4			
<i>C. japonica</i> (벚붉은잎)	1.5	15.3		1.7	0.1	150.0	1.7
<i>Plocamium leptophyllum</i> (가는곱슬이)	3.9	22.2				3.1	
<i>P. telfairiae</i> (참곱슬이)	0.7						
<i>Gracilaria verrucosa</i> (꼬시래기)							
<i>Hypnea japonica</i> (갈고리가시우무)							75.4
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i> (부챗살)	16.7	0.9		1.1	4.5	8.4	6.2
<i>Chondrus ocellatus</i> (진두발)			9.1	1.9	261.2	27.2	49.5
<i>Gigartina intermedia</i> (애기돌가사리)		8.6					
<i>G. tenella</i> (돌가사리)					64.0		
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)		210.6		0.6	6.2		0.5
<i>L. hakodatensis</i> (애기마디잘록이)	26.6	0.8		85.9	15.2		145.4
<i>L. lubrica</i> (가는마디잘록이)				1.1			
<i>Ceramium kondoi</i> (비단풀)		0.7					
<i>Acrosorium flagellatum</i> (부채분홍잎)	1.9						
<i>A. polyneurum</i> (잔금분홍잎)		73.5		30.5	3.4		
<i>Chondria crassicaulis</i> (개서실)		70.6			434.9		23.5
<i>C. sp.</i> (서실)	2.6	10.2	29.6	78.2			23.5
<i>Laurencia intermedia</i> (검은서실)	0.8		0.4				
<i>L. nipponica</i> (큰서실)		18.8		5.4			
<i>Polysiphonia sp.</i> (붉은실)		27.1		0.3			0.4
<i>Symphyocladia latiuscula</i> (참보라색우무)	24.2		1.4	128.5	10.0		
sum	378.2	581.3	285.9	395.3	883.5	1,043.4	408.2
Total	667.6	1,313.0	2,151.7	3,199.9	6,784.6	1,829.0	626.1

>도박>긴불레기말>진두발>바위두둑>개우무>미끌도박>그물바탕말>말잘피 순으로 나타났다. 조하대 하부 수심 약 2-3m부터는 거의 해조류를 찾아보기 힘들었다. 간혹 켈생이모자반이 수심 1~2m에서 군락을 이룬 곳이 있었다.

무절석회조류는 외형상 크게 3종류로 분류된다. 흑돌잎 종류는 조하대 상부에 번무하였으며 납작돌잎은 조간대 하부 이하 우점하였다. 무절석회조의 생장은 수온이 상승하는 봄(4~5월)부터 활발하게 진행되어 여름(9월)까지 조간대 하부와 조하대에서 진분홍을 띠며 좋은 생장을 보이지만, 이후부터 이듬해 초봄(10~3월)까지는 생장이나 색택에서 소강 상태를 보였다.

2002년 4월에는 3월에 비해 조간대의 생물량이 한달만에 급속히 증가하여 암반 전체에 해조가 번무하였다. 특히 툇과 불등가사리는 크게 군락을 이루었으며, 종 다양성 또한 증가한 것으로 보였다. 이러한 경향은 조사기간 2, 3년만에 처음 관찰되는 것이다. 우점종은 불등가사리, 툇, 지충이, 파래 종류였다. 4월의 수직분포는 불등가사리, 김⇒파래⇒지충이, 툇⇒애기마디잘록이⇒개서실⇒고리매⇒바위두둑, 불레기말⇒미역쇠, 알송이모자반⇒떡청각 종류로 나타났다. 특히 조하대 상부에서는 수심 1m 내외에서 암반상부에만 해조군락이 형성되는 경향을 보였다. 긴불레기말과 불레기말, 바위두둑, 그리고 켈생이모자반이 크게 번무하였다.

전체적인 생장 경향은 지난 3월보다 색택이 바랜 것을 알 수 있었으며, 엽상 해조류의 번무로 조간대 및 조하대 상부에서의 피도가 상당히 낮아졌다. 또한 포자의 방출도 거의 관찰되지 않았다. 특이한 것은 엽상 해조류가 번무한 곳의 한 가운데에서도 무절석회조류만 피복된 암반이 존재한다는 것이다.

조간대의 무절석회조류는 해수 중에서 노출되어 있는 곳은 하얗게 변색되어 있는데, 이것은 평상시에는 문제가 되지 않지만 한달 중 조금의 간조시 일사량이 많은 때에는 건조에 의해 그 현상이 더욱 두드러지는 것을 볼 수 있다. 그러나 조간대의 엽상 해조류가 번무한 곳 하부의 기질에 피복되어 있는 경우(엽상 해조류의 부착기질 역할)에는 수분을 유지하여 분홍색의 좋은 색택을 보인다. 대기 중에 노출되어 하얗게 변색된 무절석회조류는 약 20cm의 넓이로 띠를 이룬다. 이 띠보다 다시 20cm 정도 위까지 무절석회조류의 분포 흔적을 관찰할 수 있다.

조하대의 켈생이모자반은 그늘에 가려진 곳, 또는 엽상 해조류의 기부에 분포하는 무절석회조류의 색택이 분홍색으로 좋게 나타났으며, 직사광선에 노출된 곳에서는 이보다 많이 바랜 색택을 보였다. 이를 통해 자연상태에서도 조도가 무절석회조류의 생장에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

나. 피도에 의한 변화

갯녹음의 정도를 기간에 따라 분석하기 위하여 무절석회조류와 석회조와 가까운 종류와의 피

표 4. 삼척 갈남항 피도조사자료

(Jun. 2000)

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total	Mean			
rock/mud/sand		2.5	8	7		2.5	5			0.5							2	5	2.5	3	2.5										51.5	6.86			
<i>Crasia Carallina nigrae</i>	11	11	7	9.5	10.5	8	8.5	12	8.5	8	11	1.5	7	12	12	19	7	12.5	16.5	10	13	11.5	22	9	4	15	9	11	19.5	10.5	331	44.1			
<i>Dicyota dichotoma</i>	3	5.5	6.5	4			1.5	3	2.5	0.5	1.5	2	3.5			6	2.5			2.5	1.5	2.5				1					49.5	6.6			
<i>Dicyota diarticata</i>						3.5			1.5						3.5																	8.5	10.1		
<i>Gelidium amansii</i>	1	1	1	2			2				1																					8	1.06		
<i>Ulva lactuca</i>					9		1				0.5						1						0.5	0.5	1	5	0.5		0.5			19.5	2.6		
<i>Ulva pertusa</i>	0.5				1.5	1.5				3		3.5	1	4.5				1.5	4		0.5			3.5						1.5	26.5	3.4			
<i>Sargassum horneri</i>	3					1	2														5				3.5					1	19.5	2.6			
<i>Cladophora sp.</i>											1									2.5												7	0.9		
<i>Leathesia difformis</i>	3.5	4		1	1.5	1.5	1.5	1	1	1	4		2.5	2	3		3.5	3.5	5.5	1.5	3	4	1	2	7.5	2	2.5	4		4.5	72	9.6			
<i>Colpomenia bulbosa</i>	0.5	0.5	2.5	1		0.5	2										1				1.5											9.5	1.2		
<i>Scytosiphon lomentaric</i>					2.5																												2.5	0.3	
<i>Undaria pinnatifida</i>													0.5		1								1										2.5	0.3	
<i>Hizikia fuziformis</i>						6		7	2	1.5	2.5		3								1.5						1.5	3		3		31	4.1		
<i>Sargassum fulvellum</i>																2.5	4.5																7	0.9	
<i>Sargassum thumbergii</i>																							1										1	0.13	
<i>Nemalion vermiculare</i>															1																		1	0.13	
<i>Carpopeltis affinis</i>									1								2.5						5.5			3.5							12.5	1.6	
<i>Grateloupia filicina</i>														2																			2	0.2	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>										2.5	1			3																			6.5	0.86	
<i>Gloiopeltis furcata</i>					1.5		2			6		5.5		4.5			1																33	4.4	
<i>Gracilaria verrucosa</i>																							3		0.5			2.5			4.5	3		6	0.8
<i>Gigartina tenella</i>										1	3.5	2.5	4.5		2							0.5		1	2.5	1.5							19	2.5	
<i>Chondria crassicaulis</i>	2.5			0.5		0.5											1										2	1					7.5	1	
<i>Laurencia nipponica</i>									1								1.5																	2.5	0.3
<i>Symphyocladia latiuscula</i>									5	2.5																								7.5	1
<i>Phyllispadix sp.</i>		0.5																															5.5	6	0.8

(Oct. 2000)

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total	Mean			
rock/mud/sand						4			2		5	1	1	3	1		2.5	3.5	0.5	0.5			2		1			3	1.5	2.5	34	4.5			
<i>Crasia Carallina nigrae</i>	7	7.5	4	10.5	20	8	6	6	8.5	8.5	6	6	5	11	12.5	13.5	10	7	4.5	4.5	6	4	4	9	7	6	7	12	14	11	246	32.8			
<i>Enteromorpha flexilis</i>							1																										1	0.13	
<i>Enteromorpha sp.</i>						2					1																						6	0.8	
<i>Dicyota dichotoma</i>								2	3		1		3	1			6.5		5	3.5	6.5		8	5	8.5	8	3		3.5	2		71.5	9.5		
<i>Gelidium amansii</i>																2		2.5																4.5	0.6
<i>Pterocladia capillacea</i>						2.5	5.5	1	1																									10	1.33
<i>Ulva pertusa</i>			1.5	2.5								3													1	3								14.5	1.9
<i>Enteromorpha linza</i>																							3.5											3.5	0.4
<i>Codium adhaerens</i>			2.5							4	1.5		2																					10	1.3
<i>Codium fragile</i>													1	3.5																				4.5	0.6
<i>Leathesia difformis</i>							1																											1	0.13
<i>Sargassum confusum</i>			3.5			2.5	1.5	2.5	1.5	3.5			1																					19	2.5
<i>Sargassum thumbergii</i>																			0.5															0.5	0.06
Coralline algae																											1.5							1.5	0.2
<i>Grateloupia filicina</i>												1.5					2					2												8	1.06
<i>Carpopeltis affinis</i>																1				1.5		1.5					2.5							6.5	0.73
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>		1.5				1.5		1	1			0.5	7.5	0.5	1	1					6.5	8	3.5	1			7	5	0.5		1.5	51.5	6.86		
<i>Carpopeltis cornea</i>		1.5					0.5							2																				4	0.53

<i>Sargassum thumbergii</i>	3.5	1.5	6		4						7									2	1	1		2.5					8	36.5	4.73		
Coralline algae									1.5																						1.5	1.5	0.2
<i>Carpopeltis affinis</i>																		1.5			2.5				1.5							5.5	0.73
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>										5																	4	1				10	1.33
<i>Gloiopeltis furcata</i>							3																									3	0.4
<i>Chondrus ocellatus</i>	2.5	5	2						1.5				2																			13	1.73
<i>Gigartina tenella</i>							2																									7	0.93
<i>Lomentaria catenata</i>									2																							2	0.26
<i>Chondria crassicaulis</i>																						1.5										1.5	0.2
<i>Laurencia nipponica</i>																																1.5	0.2
<i>Phyllispadix</i> sp.											5.5						5.5														6.5	33	4.4

(May 2001)

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total	Mean		
rock/mud/sand	6		2	2.5			1	3.5	1			4			4.5						1				7	4.5	8.5	2			47.5	6.33		
<i>Crustae Coralline algae</i>					1	2.5	3	2.5	5	7.5	4.5	2	11	11.5	8.5	5	2.5	4	3.5	2	4	10	11	12	5			10.5	21	20	189.5	48		
<i>Ulvaeophyllis okamurae</i>										2.5						4.5		2														9	1.2	
<i>Dictyota dichotoma</i>				2.5	4	3.5	1.5	1.4	9.5	13.8	13.5				1.5	4.5	5.5		2		10										85.5	11.5		
<i>Dictyota divaricata</i>									2					2					1		1.5											6.5	0.73	
<i>Gelidium amansii</i>				3																												3	0.4	
<i>Ulva pertusa</i>	13.5	13.5																								3.5	11.5	4.5				46.5	6.06	
<i>Sargassum horneri</i>					6.5		15.5																		13							35	4.66	
<i>Enteromorpha compressa</i>																											9					9	1.2	
<i>Codium adhaerens</i>							1.5																									1.5	0.2	
<i>Leathesia difformis</i>			5.5	4.5	8			5	2			6			0.5		2				2.5				2						38	5.06		
<i>Undaria pinnatifida</i>				3.5											6																	23	3.06	
<i>Hizikia fuziformis</i>			6.5			5					1			8.5	2.5	6	11			3	2.5	5.5									51.5	5.86		
<i>Sargassum confusum</i>									5.5			2			2															5	14.5	1.93		
<i>Sargassum fulvellum</i>														11.5					5.5		7										24	3.2		
<i>Sargassum thumbergii</i>	3		3			7.5												4		15.5	8						10.5				51.5	5.86		
<i>Porphyra</i> sp.																											1.5					1.5	0.2	
<i>Nemalion vermiculare</i>															2.5																	2.5	0.33	
<i>Grateloupia filicina</i>		1																														1	0.13	
<i>Grateloupia turuturu</i>		5.0									1																					6	0.66	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>												4										1										5	0.66	
<i>Carpopeltis cornea</i>					3.5																												3.5	0.46
<i>Chondrus ocellatus</i>	1.5	5.5	4		2						6	1.5																				20.5	2.73	
<i>Gigartina tenella</i>	1		4			1.5																				6						12.5	1.66	
<i>Lomentaria catenata</i>				9									5.5	5.5		2					4											31.5	4.2	
<i>Ceramium kondoii</i>										3																							3	0.4
<i>Chondria crassicaulis</i>																																	3.5	0.46
<i>Phyllispadix</i> sp.																			12.5				15									44	5.86	

(Jun. 2001)

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total	Mean		
rock/mud/sand		1.5	3.5	3		9.5	10	3	2	2	4					12					6.5										61.5	8.2		
<i>Crustae Coralline algae</i>	1	5.5	4.5	7	9			4	3		10.5	7.5	4.5	6.5	14			36	19.5	7.5	17.5	13.5	8.5	10	21	16	7	13.5	23.5	11	21	275	36.6	
<i>Ulvaeophyllis okamurae</i>															3.5	6.5	2											7					18	2.4
<i>Dictyota dichotoma</i>	1	3	3	2																													9	0.8
<i>Dilophia okamurae</i>			1		2											1		3.5		4			4					6				21.5	2.86	
<i>Dictyota divaricata</i>				2	1			2						4		2																	11	1.46
<i>Gelidium amansii</i>		1	2.5		1.5																												12	1.6
<i>Ulva pertusa</i>	0.5						2	2	2.5	8	2																						17	2.26
<i>Sargassum horneri</i>																																	12	1.6
<i>Enteromorpha compressa</i>						11.5						8					13																32.5	4.3

<i>Dilophus okamurai</i>			4.5							2.5																				7	0.93	
<i>Dictyota divaricata</i>									1.5								2	1													4.5	0.6
<i>Gelidium sesquipedale</i>																												1			1	0.13
<i>Pterocladia capillacea</i>										4.5												1.5							15		21	2.8
<i>Ulva pertusa</i>			5																												5	0.66
<i>Sargassum horneri</i>																						2.5	6.5	6	8					23	3.06	
<i>Caulerpa okamurai</i>																						5.5									5.5	0.73
<i>Codium adhaerens</i>		2.5								6	6.5	4															1			20	2.66	
<i>Urospora penicilliformis</i>									1.5																						1.5	0.2
<i>Colpomenia bulbosa</i>	0.5	1		1				1	1.5													0.5								6.5	0.86	
<i>Hizikia fuziformis</i>	10	5			3			2	3.5			5	1				3.5								3	6.5	2.5			45	6	
<i>Sargassum confusum</i>				4		9.5							4													3.5	3		8		32	4.26
<i>Porphyra</i> sp.	0.5	0.5				6.5	3.5		4															2.5						17.5	2.3	
Coralline algae			1																												1	0.13
<i>Gloiopeltis furcata</i>	5.5					2																				7.5					15	2
<i>Carpopeltis affinis</i>								2.5				1																		5.5	9	1.2
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>									3						1		5.5												2.5	2.5	14.5	1.93
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i>																													3		3	0.4
<i>Chondrus ocellatus</i>															4	4														2	10	1.34
<i>Gigartina tenella</i>	2	5													4	8.5					1								5	1.5	27	3.6
<i>Lomentaria catenata</i>								2.5					4																	10	16.5	2.2
<i>Ceramium kondoi</i>				1																											1	0.13
<i>Acrosorium polyneurum</i>				2		5.5	3.5				5				1.5																17.5	2.33
<i>Laurencia intermedia</i>				1.5																							4.5		4		10	1.34
<i>Symphocladia latiuscula</i>				2									6.5														2				10.5	1.4
<i>Phyllispadix</i> sp.			8																												33.5	4.46

(Mar. 2002)

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total	Mean	
rock/mud/sand	2.5	3	0.5							2.5	5		3.5		2.5	3.5					7										33	4.4	
Crusts: Coralline algae		1.5			2.5	4.5	4.5	13	13.5	2	2.5	10.5	6	1.5										14	6.5	2.5	3	6.5	5	24	142.5	19	
<i>Lithothamnium clarrarae</i>																											2.5					10	1.33
<i>Dictyota dichotoma</i>	4.5				4.5	2.5	3														2.5					1.5	1.5	2	4.5		26.5	3.53	
<i>Gelidium amansii</i>		4																													4	0.53	
<i>Pterocladia capillacea</i>																											1	1.5	13		15.5	2.06	
<i>Sargassum horneri</i>																										16.5	13.5		7.5		37.5	5	
<i>Enteromorpha compressa</i>																															12.5	12.5	1.66
<i>Enteromorpha linza</i>	0.5		8	2	11						2										5	5.5	11								45	6	
<i>Urospora penicilliformis</i>										1				2																	12	1.6	
<i>Leathesia difformis</i>			3			1	1				2																	1	1.5	1		15.5	2.06
<i>Colpomenia bulbosa</i>			1.5			2.5	7.5					3.5			3.5						4	1								24.5	3.26		
<i>Colpomenia sinuosa</i>														5.5																	5.5	0.73	
<i>Scytosiphon lomentaria</i>			2.5								2	1.5																		13	1.73		
<i>Hizikia fuziformis</i>						6	7	1.5			3.5			4	6.5				9												37.5	5	
<i>Sargassum confusum</i>																	9.5		4.5											16.5	36.5	4.86	
<i>Sargassum thumbergii</i>	5.5				3	1.5																								4	14	1.86	
<i>Porphyra</i> sp.				1											3.5																15.5	2.06	
<i>Grateloupia filicina</i>																															1.5	0.2	
<i>Carpopeltis affinis</i>	1																														1	0.13	
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i>	2.5	4																													15	2	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	6	5											2	2																	18	2.3	
<i>Gloiopeltis furcata</i>				15	8.5	9	3.5				7	6	6		11																69	9.2	
<i>Chondrus ocellatus</i>		5.5	5.5																												29.5	3.93	
<i>Gigartina tenella</i>	2.5						2.5				5.5	7			4.5																23.5	3.13	

<i>Colpomenia sinuosa</i>			2.5								1.5																										4	0.53
<i>Hizikia fuziformis</i>	2				4.5	3.5	1					5.5	3.5	7	8.5	3		3.5				1.5	1.5											1.5	46.5	10.2		
<i>Sargassum confusum</i>													3		3	2.5	9.5		4.5	16		2.5														41	5.46	
<i>Sargassum thumbergii</i>	1.5				1							3.5											2.5													8.5	1.13	
<i>Nemation vermiculare</i>																						2														2	0.26	
Coralline algae			1										1						1																3	0.4		
<i>Carpopeltis cornea</i>																							2													2	0.26	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>		3.5													2.5																		10		16	2.13		
<i>Gloiopeltis furcata</i>					5.5																	5.5			6.5	5							6.5	29	3.86			
<i>Chondrus ocellatus</i>	10	7			4			4	1.5	2.5											3.5				1.5	2.5	2				3	3	41.5	5.53				
<i>Gigartina tenella</i>		6.5							2.5																							3	7.5	19.5	2.6			
<i>Lomentaria catenata</i>									12													1.5														13.5	1.826	
<i>Chondria crassicaulis</i>	5	3								1	4	7.5	5.5	4.5				7	4.5				2	6.5							5	55.5	7.4					
<i>Laurencia intermedia</i>																																				3	0.4	
<i>Laurencia nipponica</i>				1									2.5																							3.5	0.46	
<i>Phyllispadix</i> sp.							13									2										5									20	2.66		

(Jul. 2002)

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total	Mean								
rock/mud/sand			4	4.5								1.5																					10	1.33						
<i>Crasia</i> Coralline algae		6	2	3	8	3.5	4.5	2	3.4	1	4	2.5	2.5	3	4.5	12.5	3	4	2.6	2.5	4	4	2.5	21.5	4	6.5	4.5	6	10	6	142.5	19								
<i>Libophytum okamurai</i>														4.5				1.5																	6	0.8				
<i>Libophytum</i> sp.																2		2.5					3		3	4.5	4		4.5					31	4.13					
<i>Dictyota dichetoma</i>															1.5			5.5				3.5	3.5	6.5			1.5							22	2.93					
<i>Dilophus okamurai</i>																			3								2		14						19	2.53				
<i>Dictyota divaricata</i>			2																1						1.5				2		1.5	8			8	1.06				
<i>Pterocladia capitata</i>		1.5						2.5	1.5	2				2.5	3.5										2.5										16	2.13				
<i>Ulva pertusa</i>				4.5			2			2.5		7					6.5																4	26.5	3.4					
<i>Sargassum horneri</i>														8.5																						9.5	1.26			
<i>Enteromorpha linza</i>												2						2.5																		7.5	1			
<i>Chaetomorpha aerca</i>				1																																1	0.13			
<i>Caulerpa okamurai</i>														2																						2	0.26			
<i>Codium adhaerens</i>																											1.5		5	2.5						9	1.2			
<i>Urospora penicilliformis</i>																																	1			1	0.13			
<i>Leathesia difformis</i>	3.5	2	3.5	2		1	1.5	10	6	1.5	6.5	5.5	1																			3.5	47.5	6.3						
<i>Hizikia fuziformis</i>										7.5	4	1.5						5	6.5	2	15		10			4			6						61.5	8.2				
<i>Sargassum confusum</i>							9								9						16		16			3									53	7.06				
<i>Sargassum thumbergii</i>			4	3			3.5			2		3.5					2															3.5	21.5	2.86						
Coralline algae	7																																			11.5	1.53			
<i>Carpopeltis affinis</i>																																					1	0.13		
<i>Carpopeltis crispata</i>				1.5																																	1.5	0.2		
<i>Carpopeltis cornea</i>																																					1.5	0.2		
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>						7				4.5																											13	1.73		
<i>Chondrus ocellatus</i>	3	11.5	1.5	1.5	7.5	6.5	2.5	2	8	6.5	8.5	1.5	4	1	4		1.5						1.5			2										3.5	76.5	10.2		
<i>Gigartina tenella</i>	2	5	1.5	1.5	7	1	8.5						3		6									3			3	2									43.5	5.8		
<i>Acrosorium polyneurum</i>			1.5																						2												3.5	0.46		
<i>Lomentaria catenata</i>					3.5		1			2.5	2																											10.5	1.4	
<i>Chondria crassicaulis</i>	9.5		5	2.5	6												4	1																				54	7.2	
<i>Laurencia intermedia</i>																					4.5																	4.5	0.6	
<i>Laurencia nipponica</i>																																							3	0.4
<i>Phyllispadix</i> sp.													12	2.5		10.5																							32.5	4.3

바위/모래/갯벌
 무질석회조류
 제 1그룹
 제 2그룹
 기타 염상 해조류

- 63 -

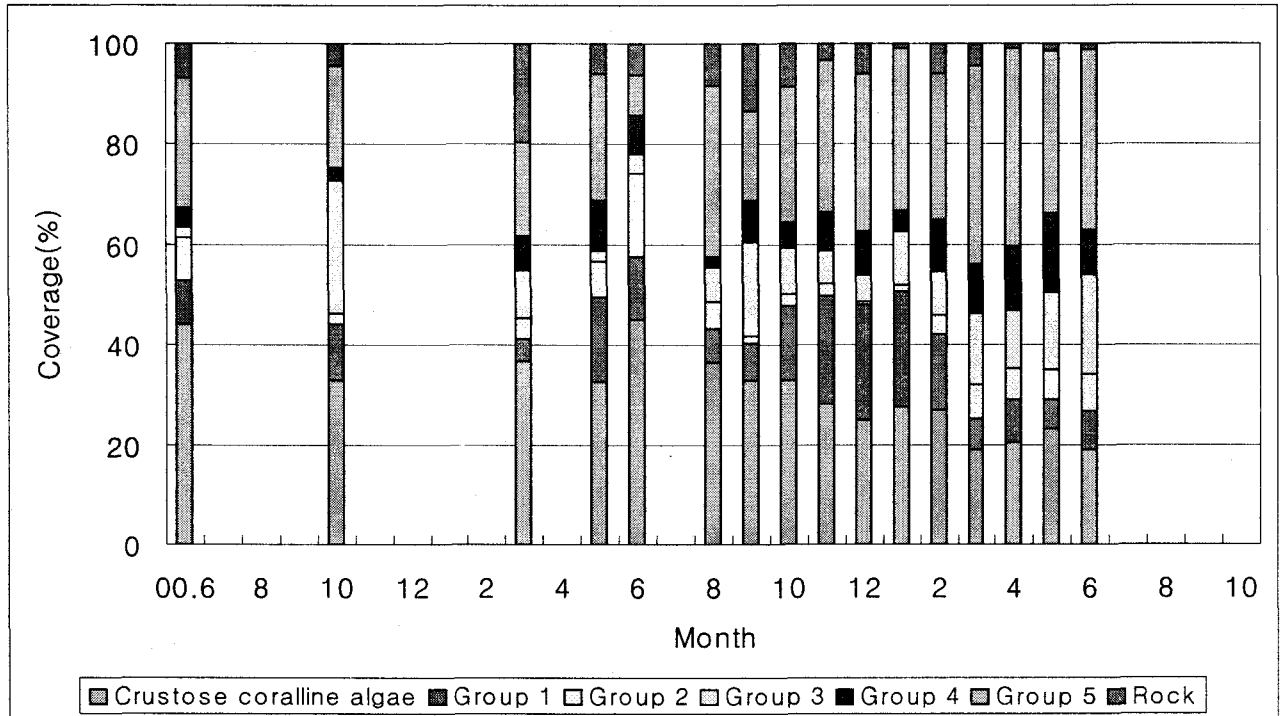


그림 5. 갈남 조간대 무절석회조류와 석회조와 가까운 종류의 그룹별 피도 비율

제 1그룹: 그물바탕말, 우뚝가사리

제 2그룹: 팽생이모자반, 지충이, 구멍갈파래

제 3그룹: 개서실, 도박, 진두발, 부챗살, 분홍잎

제 4그룹: 모자반, 툫

제 5그룹: 기타출현종

복도 관계를 분석하였다(그림 5). 이 그림에서 무절석회조류는 2001년에 30% 수준에서 2001년에 20% 수준으로 낮아져 갯녹음 현상이 점차 완화되었음을 알 수 있다. 이 조사는 조간대에서 이루어진 것으로 저조선을 중심으로 수심 1m 정도에서 분석이 되었다. 조간대의 구역내에는 엽상해조가 많이 번무한 곳으로 볼 수 있다. 그러나 조하대의 수심 3m 이하는 80% 이상의 무절석회조류가 피복되었다. 석회조와 가까운 부류인 그룹 1과 그룹 2를 합한 값으로 보면 2002년 3월 이후 부터는 피복도가 40% 이하로 갯녹음 회복이 되고 있음을 보여주고 있다. 2001년 10월부터 점차 5그룹의 비율이 높아지면서 암반의 비율은 적어져서 갯녹음이 회복되는 경향을 보여주고 있다.

다. 생물량에 의한 변동

조사기간중 방형구에 출현한 모든 해조류를 채취하여 현존량(4kg/m²)으로 환산하여 도식화하였다(그림 6). 2002년 3월부터 현존량이 2 kg/m² 이상으로 증가하기 시작하여 5월에는 6 kg/m² 이상으로 현저히 증가하였다. 이는 늦봄에서 초여름에 걸쳐 모자반 숲이 크게 형성되었기 때

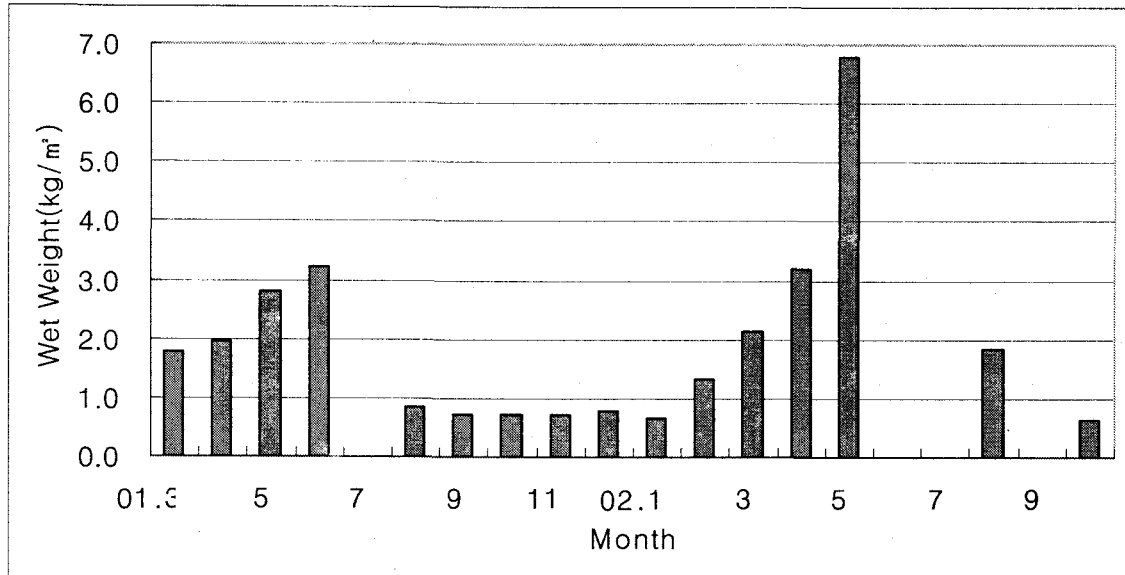


그림 6. 삼척 갈남 해조류의 월별 생중량

문이다. 대체로 2001년보다는 2002년에 현존량이 증가하여 갯녹음이 회복된 것으로 나타났다. 이는 2002년에 무절석회조류가 증가한 것과 동일한 경향을 보였다. 특히 2002년 5월에 연안에 팽생이모자반이 우점하여 현존량이 높게 나타났다.

라. 생활형에 의한 종조성 및 월별 변동

해양환경의 변동에 따라 해조숲이 축소되면 갯녹음이 확산되고 갯녹음이 축소되면 해조숲이 확산되는 생태순환 과정을 거치게 된다. 이때 갯녹음에서 해조숲으로 형성되는 해조군락의 천이 진행계열은 소형1년생 해조와 각상해조가 우점하고 소형다년생 해조가 우점하기 시작하여 대형다년생 해조의 입식으로 우점하게 될 때 해조식생이 극상에 도달하게 된다.

해조의 생활형별 종류를 정리하면 다음과 같다.

1. 각상해조 : 무절석회조류, *Peyssonnelia*(바다표고), *Codium minus*(구슬청각)
2. 소형1년생해조류 : *Enteromorpha*(파래), *Ulva*(갈파래), *Bryopsis plumosa*(깃털말), *Ceramium kondoi*(비단풀), *Laurencia*(서실), *Cladophora*(대마디말), *Petalonia fascia*(개미역쇠), *Scytosiphon lomentaria*(고리매), *Callophyllis*(붉은잎), *Polysiphonia*(붉은실), *Symphocladia*(보라색우무), *Colpomenia sinuosa*(불레기말), *Sphacelaria*(갯쇠털)

3. 소형다년생해조류 : *Grateloupia elliptica*(도박), *Chondrus ocellatus*(진두발), *Lomentaria catenata*(마디잘록이), *Lomentaria hakodatensis*(애기마디잘록이), *Pachydictyon coriaceum*(참가죽그물바탕말), *Gracilaria textorii*(앞꼬시래기), *Carpopeltis prolifera*(까막살), *Plocamium telfairiae*(곱슬이), *Gelidium amansii*(우뭇가사리), *Pterocladia capillacea*(개우무), *Acrosorium flabellatum*(부채분홍잎)
4. 대형1년생해조류 : *Sargassum honeri*(팽생이모자반), *S. filicinum*(고사리모자반), *Laminaria religiosa*(애기다시마), *Costaria costata*(쇠미역사촌), *Undaria pinnatifida*(미역)
5. 대형다년생해조 : *Sargassum* spp.(모자반류), *Laminaria* spp.(다시마류), *Eisenia bicyclis*(대황), *Ecklonia cava*(감태), *Ecklonia kurome*(검등감태), *Ecklonia stolonifera*(곱피)

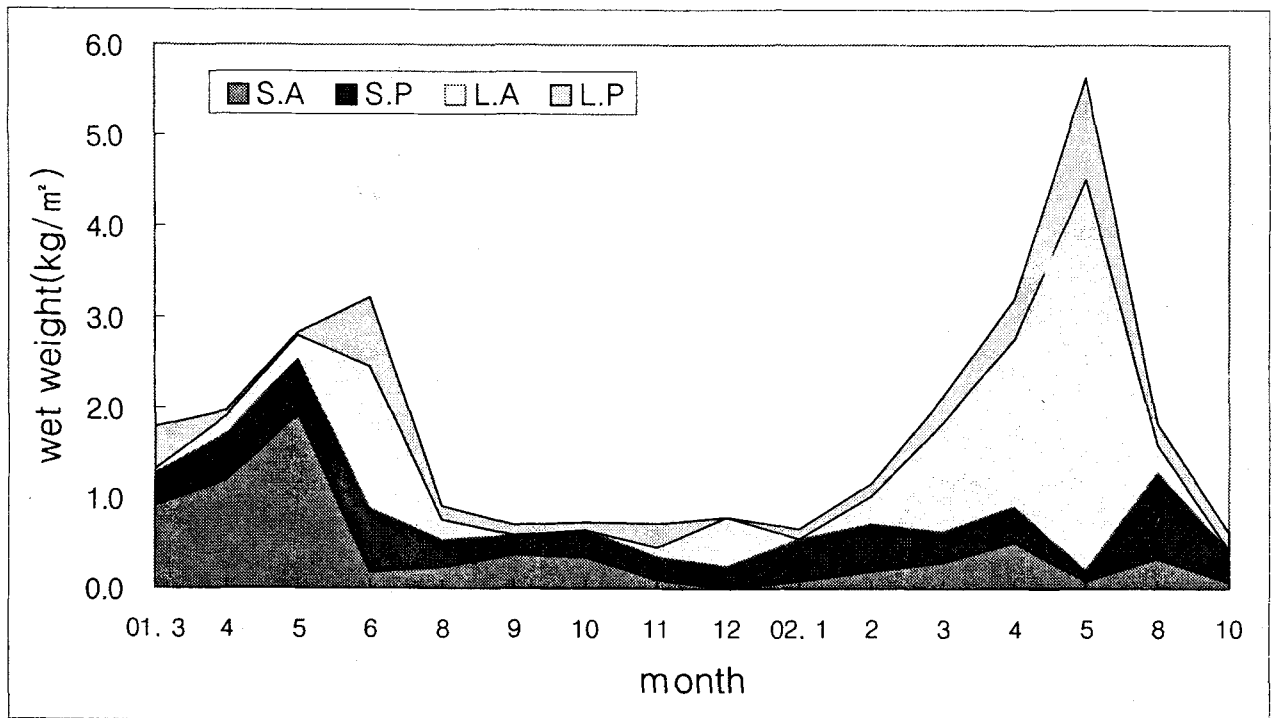


그림 7. 갈남의 생중량에 의한 생활형별 해조류 종조성

갈남해역의 생활형에 따라 현존량으로 나타난 해조류의 종조성을 그림 7에 나타내었다. 소형1년생해조는 2001년 5월에 1~2 km²에서 6월 이후 0.5 km²로 감소하였으며 2002년 이후에는 대형 단년생 해조와 대형 다년생 해조가 급격히 증가함을 보여주었다. 2001년과 2002년을 비교하여 볼 때 다년생 해조의 증가는 갯녹음 해조군집에서 해조숲이 형성되는 과정을 보여주고 있다.

제 3 절 강릉 하천하구의 해조식생 감소

1. 서론

강릉시에 위치한 연곡천은 고지대인 태백산맥에서 기원하여 가파른 경사를 따라 동해로 흘러드는 전형적인 산간 하천이다. 하천수가 바다로 유입되기 이전에는 좁다란 평야지대의 경작지를 가로지르며 주변 야산의 지류가 합쳐져서 연안으로 흘러든다. 이러한 지리적 특성으로 인해 강수가 집중되는 장마철에는 대량의 하천수가 일시에 연안으로 유입된다.

갯녹음 현상은 어느 해역에서 어떤 원인에 의하여 그곳에 생육하고 있는 해조류의 일부 또는 전부가 고사 유실되어 해저가 불모의 상태로 변하여 유용해조는 물론 이곳에 서식하는 성게, 전복, 고등류 등의 저서동물까지 소실되어 연안어장의 황폐화를 가져오게 된다. 그같은 현상의 결과로 해저면이 무절석회조로 뒤덮여 자홍색의 또는 백색의 암면으로 변하여 있다.

이같은 현상으로 갯녹음이 일어나는 해역의 결과론적 상황은 무절석회조가 대군락으로 우점되고 있다는 사실이다. 해황의 변화뿐만 아니라 성게 등의 저서동물의 식해가 그 원인이라고 하며 또 다른 측면에서는 해조군락의 천이과정으로 설명되기도 한다(Kang 1966, Sohn et al., 1982: 1986). 1980년대 이후부터 남해안 일대에서 갯녹음에 의한 피해 해역이 확산되기 시작하여 최근 몇 년 사이에 동해연안에서 극심한 피해 발생이 되고 있다. 갯녹음으로 인하여 마을 어장 암반에 해조류 조성기반이 상실되고 정착성 어패류의 먹이감소와 서식 및 산란장의 상실로 연안 어업인의 생계 및 생활안정에 큰 지장을 주고 있다(김, 1998: 김 등, 1999: 정 등, 1998). 이와같은 실정으로 강원도 환동해출장소에서는 자연재해 대책법 제 2조 1항 규정에 의해 갯녹음 현상도 자연재해로 적용하여 줄 것을 1999년 2월 해양수산부에 건의하기에 이르렀다. 그러나 갯녹음 현상으로 동해연안에서의 피해면적은 구체적으로 어느 정도이며 이 현상의 메카니즘과 연안생태를 복원할 방법은 없는지 등 지금까지 우리나라에서의 연구는 매우 미흡한 실정에 있다.

최근에는 갯녹음 현상에 대한 관심과 이의 극복방안에 대한 실질적인 노력의 필요성이 대두되고 있는 가운데, 2000년 봄 영동지역은 그 유래를 찾아볼 수 없는 큰 산불피해가 있었다. 이에 따라 기존의 육상생태계가 크게 훼손되었고, 이로부터 기인하는 여러 가지 생태계적인 문제가 가시적인 현상으로 나타나고 있다. 그러나 더 큰 문제점은 이러한 변화가 단지 육상생태계에 국한되는 것이 아니라 육상과 인접한 해양 생태계의 변화에도 중요한 요인으로 작용한다는 것이다. 특히 자연림 훼손에 의한 토사와 육상기원 영양염류의 유입 증가는 환경 변화에 민감한 해조류의 식생에 영향을 미치고, 이것은 궁극적으로 갯녹음 현상을 촉진시키는 한 요인으로

작용하여 연안 환경의 피폐화를 더욱 가속화한 것으로 보인다.

이에 본 연구는 강릉지역 산불피해에 따른 육상기원의 환경 변화 요인들이 많은 연곡천 하구 연안 생태계에 미치는 영향을 알아보고, 이것이 궁극적으로 가져올 해양생태계의 변화 증갯녹음 현상과의 연관성을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 조사기간 및 지점

조사기간은 2000년 4, 6, 8, 10월에 걸쳐 강릉시 연곡천 하구와 그 연안을 대상으로 식생을 조사하여 분석하였다.

연곡천 하구의 연안 환경은 공단이나 고밀도의 주거지가 없어 높은 청정도를 유지하고 있는 곳으로 주변은 모래와 암반으로 이루어져 있다. 해안선은 주문진과 사천항을 중심으로 보았을 때 큰 반달형의 안쪽에 위치하고 있다(그림 8-A). 조간대 채집지역은 연곡천 하구에서 주문진 방향으로 담수 유입의 영향이 비교적 큰 3개 지점(그림 8-B: a, b, c)과 방파제를 지나 유입 하천수의 영향이 미치지 않는 2개 지점(그림 8-B: d, e) 등 총 5개 지점을 대상으로 하였다. 각 채집지는 대체적으로 암반이 발달하여 해조류의 피도가 높고, 수직적인 층위구조가 뚜렷한 곳을 대상으로 조사하였다.

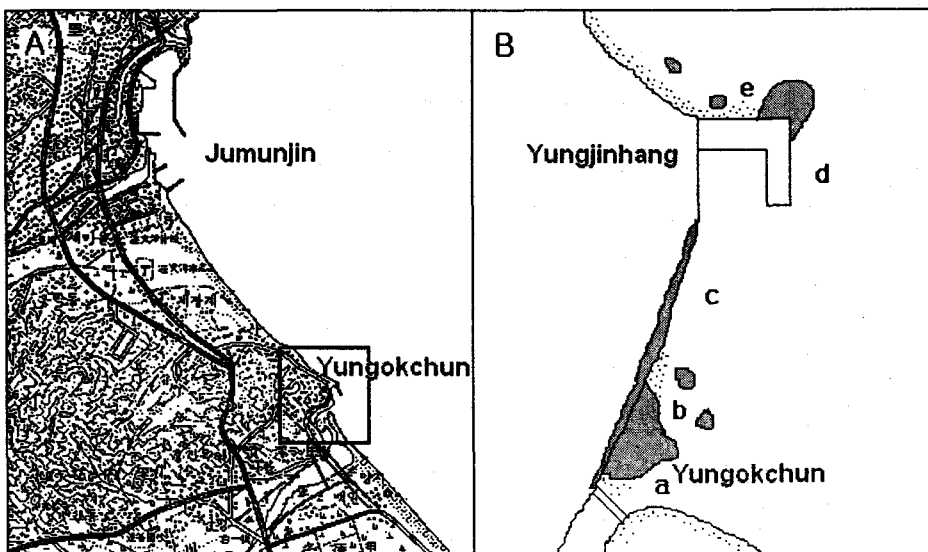


그림 8. 연곡천 주변 조사지역도

A: 연곡천의 위치, B: 연곡천 하구 상세도(채집지 a, b, c, d, e)

나. 조사방법

조하대의 조사는 조간대 조사가 이루어진 지역에서 수심 1~6m, 연곡천 하구와 해안으로부터 약 5~30m거리까지를 조사 지역으로 하였다. 해조류 우점종 조사를 위한 채집방법은 조간대에서 조하대에 걸쳐 방형구(50cm×50cm) 내에 출현한 모든 해조류를 대상으로 채집하였다. 채집한 표본은 현장에서 10% 포르말린-해수용액으로 고정한 후 실험실내에서 종을 동정하였다. 생물량은 해조류를 담수로 충분히 씻은 다음 종별로 구분하여 습중량을 측정 후 단위면적당 (wet weight in g/m²)무게로 환산하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 종조성

해조류의 조사지점별 출현종수는 표 5에 나타내었다. 연곡천 하구에서 연안의 바깥쪽으로 갈수록 출현종수가 높게 나타났다. 하구 부근에는 녹조류는 납작파래, 구멍갈파래, 애기염주말, 갈조류는 참그물바탕말, 쌍발그물바탕말, 툯, 팽생이모자반, 진두발, 홍조류는 떨기나무붉은실이 조사되었다. 홍조류의 분포가 적고 녹조류와 갈조류가 비교적 많이 나타났다. 하구부근은 하천의 영향을 직접 받는 곳으로 연안 바깥에 분포하는 종에 비해 광염성인 종류로 보아진다.

연곡천 하구에서 연안의 바깥쪽으로 갈수록 출현종수가 높게 나타났다. 하구 부근에는 녹조류는 납작파래, 구멍갈파래, 애기염주말, 갈조류는 참그물바탕말, 쌍발그물바탕말, 툯, 팽생이모자반, 진두발, 홍조류는 떨기나무붉은실이 조사되었다. 홍조류의 분포가 적고 녹조류와 갈조류가 비교적 많이 나타났다.

표 5. 각 조사지점별 해조류의 출현종수

Division	Sites				
	a	b	c	d	e
Green algae	2	2	2	2	2
Brown algae		1	1	1	2
Red algae			2	5	12
Total	2	3	5	8	16

하구입구인 a, b 조사지점에는 녹조류가 우점적으로 분포하였다(그림 9-A, B). 특히 납작파래가 102.2g/m²로 다른 종에 비해 생중량이 높게 나타났다. 애기염주말은 하구에서 연안바깥에 이르기까지 모든 지점에서 나타났다(표 6).

지점 c에서는 암반이 많이 있는 곳으로 조간대에서는 구멍갈파래가 우점종으로 나타났다. 조하대 수심 5m 부근의 식생은 암반위에 단조로운 식생이 형성되었다(그림 9-C, D, E). 암반위

표 6. 연곡천 하구와 주변 연안의 해조상

($\geq 1\text{g/m}^2$)

Species	Sites				
	a	b	c	d	e
Green algae (Chlorophyta)					
<i>Enteromorpha compressa</i> (납작파래)	408.8	211.2			
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)			729.6	144.4	434.8
<i>Chaetomorpha aerea</i> (애기염주말)	37.6	348.8	356.8	100.4	1.0
Brown algae (Phaeophyta)					
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)				10.8	3.6
<i>D. divaricata</i> (쌍발그물바탕말)					11.6
<i>Hizikia fusiformis</i> (툇)			1.6		
<i>Sargassum horneri</i> (괘쟁이모자반)		9.2			
Red Algae (Rhodophyta)					
<i>Porphyra okamurae</i> (오카무라돌김)					2.4
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)				145.6	138.4
<i>Pterocladia tenuis</i> (개우무)				74.0	1.2
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (도박)					8.8
<i>Grateloupia turuturu</i> (미끌지누아리)					26.8
<i>Carpopeltis affinis</i> (까막살)				248.4	1.0
<i>Chondrus ocellatus</i> (진두발)			1.0		1.6
<i>Schizymenia dubyi</i> (갈래잎)				6.0	
<i>Lomentaria hakodatensis</i> (애기마디잘록이)					34.8
<i>Campylaephora crassa</i> (굵은석묵)					1.0
<i>Griffithsia japonica</i> (왜비단잘록이)					1.2
<i>Chondria crassicaulis</i> (서실)				6.8	50.8
<i>Polysiphonia japonica</i> (떨기나무붉은실)			1.2		
<i>Symphyclocladia latiuscula</i> (보라색우무)					13.6
Total	446.4	569.2	1,089	729.6	668.2

는 무절석회조와 각상홍조류로 덮여있으며 석회조로 암반을 피복하고 있더라도 그물바탕말과 우뚝가사리 종류는 같이 분포하고 있다. 항내에는 유절석회조 군집이 발달되어 있으며 이 종은 수심이 얇은 1m 정도에서 많이 분포하며 수심 3m 이하에서는 거의 나타나지 않았다.

지점 d는 방파제 앞으로 비교적 식생이 좋은 편이며 조하대에는 해조숲이 잘 형성되어 있다. 하천의 하구와는 좀 떨어진 거리로 파도의 영향을 잘 받는 곳이며 암반이 잘 발달되어 있다. 모자반의 해조 숲이 형성되어 다양한 생물상을 볼 수 있다(그림 9-F). 이곳에는 구멍갈파래, 애기염주말, 참그물바탕말, 작은구슬산호말, 개우무, 까막살, 갈래잎과 서실 종류가 나타나 정상적인 해조군집이 형성되었음을 알 수 있다. 지점 e는 하천수의 영향을 전혀 받지 않는 곳으로 종 다양성이 매우 높게 나타났다. 애기마디잘록이, 서실, 굵은석묵, 왜비단잘록이, 보라색우무 등의 홍조류가 다양하게 분포하고 있다.

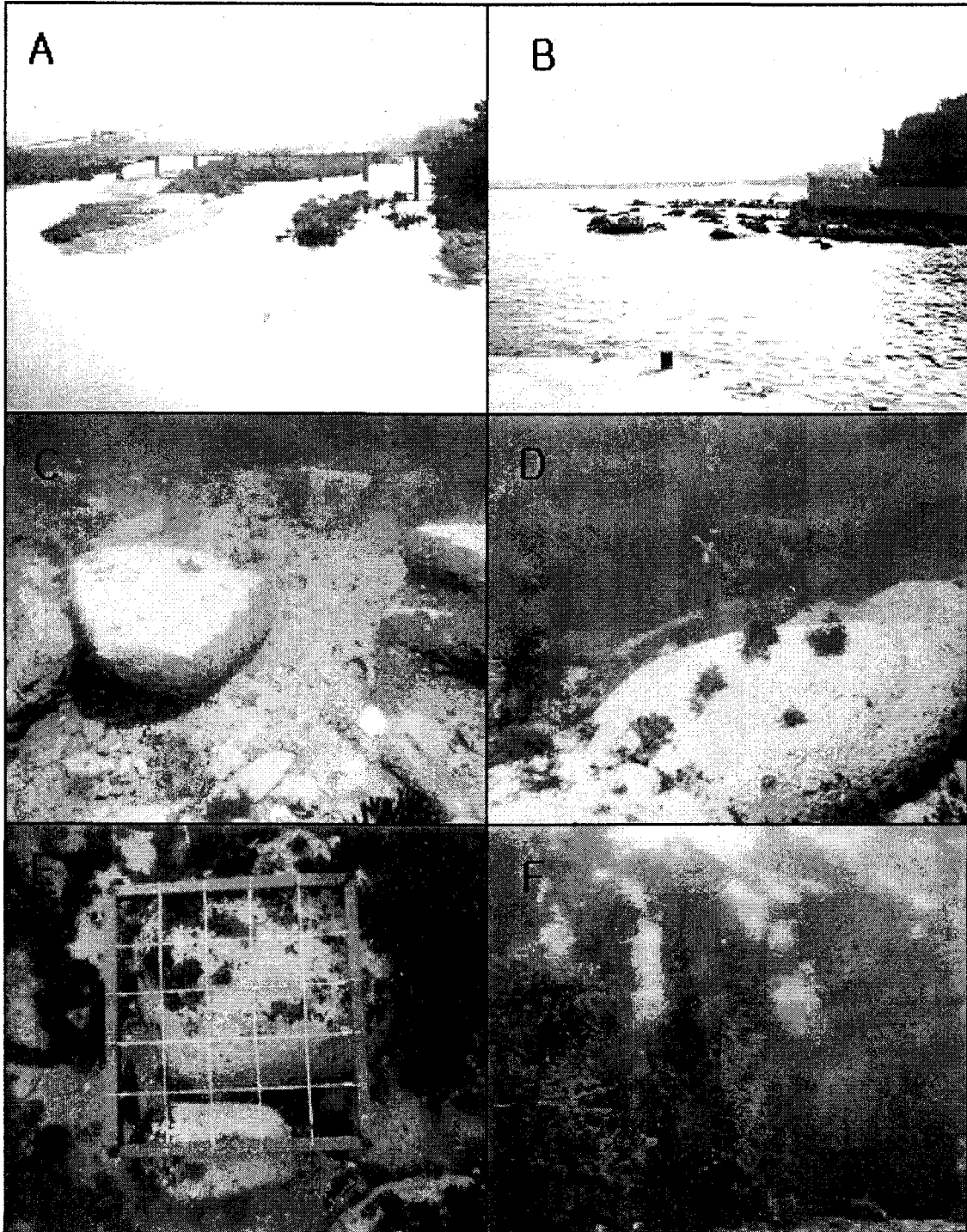


그림 9. 연곡천 하구의 연안 환경

A: 연곡천 하구 전경, B: 방파제에서 본 하구

C: 하구 조하대 갯녹음 지역(수심3m), D: 갯녹음 지역의 참그물바탕말

E: 방형구 조사(50cm×50cm), F: 방파제 부근 모자반 군락

지난 96년부터 97년에 동해안에서 발생한 갯녹음 현상의 실태를 예로 보면 강원과 경북에서 708ha가 발생하였으며 강원도의 경우 강릉, 동해, 삼척, 양양 등 4개 시, 군에서 492ha가 발생되었다(강원도해양수산출장소 자료). 이처럼 갯녹음이 확산되자 해조류를 먹고 사는 수산생물의 피해를 줄이기 위하여 조기 수확하거나 조식성 동물을 적정수준으로 줄이거나 하는 대책 마련을 강구하는 실정이다.

갯녹음 현상의 하나의 요인으로 무절석회조가 성장과 함께 표층의 세포를 항상 박리하여(사람의 몸에 있어서는 때와 같은 것이어서 벗겨나가는 것) 다른 해조의 착생을 저해하여 석회조 군집을 지속시켜 나가는 갯녹음 메카니즘의 하나라고 보고 있다. 이 예에서처럼 무절석회조가 형성된 군락에 표층박리에 의한 개체의 착생저해인지 해황조건에 따른 수온 의존적 요인인지, 성체의 섭이압인지 등에 대해서 보다 자세한 분석이 필요하다.

본 조사에서 갯녹음역이더라도 그물바탕말과 우뭇가사리 종류는 성장이 양호한 것이 확인되었다. 이것에 대한 해석은 2가지 가설로 가능하다고 본다. 첫째는 이곳은 성체는 볼 수 없고 고등류가 무절석회조위에 달라붙어 서식하고 있는데 이런 복족류가 해조의 유아를 섭이하는데 이들 석회조위에 남아 있는 조류는 혐오성 향기를 내어서 섭식당하지 않고 남아 있을 가능성이 있다. 또 하나는 석회조위에 착생하는 해조의 포자가 살아남지 못하고 사멸되는데 이들 종류만이 포자의 착생이 잘되는 것으로 볼 수 있다. 일본의 니이가타현에서는 1990년경에 톱니모자반이나 쌍발이모자반이 우점하는 해중림이 소멸했지만 그 후 같조인 그물바탕말과 식물이 혼생 군락을 형성하였고 등근전복을 이용한 시험에서 명확하게 이 식물의 섭식 저해활성을 갖는다고 보고하고 있다(谷口, 1998).

지금까지 갯녹음 현상에 대한 연구는 발생원인의 주체인 무절석회조류가 시멘트 바닥과 같은 피복형으로 재료를 손쉽게 해부하기 어려워 연구가 제한적이고, 발생요인이 여러 환경요인 등 복합적인 것에 기인하고 있기 때문으로 생각된다. 이 현상은 장기적으로 지속해도 언젠가는 회복해서 해조밭이 형성되는 가역적인 과정과 다른 하나는 바다오염 등에 의한 인위적인 요인에 의해 해조밭이 사멸될 수 있는 불가역적인 과정으로 나뉘어 볼 수 있다. 자연현상에 의한 장기적인 현상은 피해가 증가할 당시는 어쩔 도리가 없지만 생태적 순환에 의해 회복될 수 있는 것으로 보아진다.

그러나 오염에 의한 갯녹음은 생태적 순환과정의 고리를 끊는 것이 되므로 우리나라에서 발생하는 갯녹음현상의 발생실태를 조사하여 확산을 막는 대안을 마련하여 그 피해를 최소한으로 해야 할 것이다. 인위적인 요인은 그 발생경로를 차단하고 해역에 맞는 해조류 번무 및 서식상태에 따라 해조 숲을 조성하여 수산동물의 서식 및 산란장 회복으로 연안어장의 목장화를 만들어 나가야 할 것이다.

제 4 절 양양해역 토목공사 후의 해조생태

1. 서론

동해연안 양양해역은 난류와 한류의 영향을 받고 있어서 해조류 분포는 온대계뿐만 아니라 북방계의 해조류가 다수 분포하고 있다. 북방계 해조류로서 구멍쇠미역과 쇠미역, 다시마류 등이 분포하여 이 해역이 남, 서해안과는 다른 해양생물상 특징을 보이고 있다. 동해안은 단조로운 해안선으로 이루어져 조간대가 넓게 형성되지 못하므로 잠수에 의한 조하대 식생연구가 이루어지고 있다(김과 손, 1998; 김 등, 1999).

어떤 지역에서 해조식생에 오염의 영향이 있는가를 잘 나타내는 것은 오염이 일어나기 전과 그후에 비교해 보는 것이다. 그러나 대부분 오염이 되기 전의 자료는 아주 빈약하여 외국의 경우를 보더라도 초기의 생물학자들은 주로 분류와 형태학에 관심을 가졌고 생태적인 면에서는 주의를 기울이지 않았기 때문에 더욱 어려운 경우가 많다.

인위적 환경변화에 따른 해조류 식생의 구조적 변화를 구명하기 위한 연구는 생태학적인 면에서 중요한 관심사이다. 외국의 경우 Edwards(1975)는 영국의 Durham 지방에서 연안의 공업화, 도시화에 따른 오염으로 인한 해조류의 종수 및 다양도의 시, 공간적 변화를 과거의 자료와 비교하여 오염의 영향정도를 분석하고자 하였다. 저서식물은 암반에 부착하여 생활하므로 환경의 총체적 상태를 나타내어 지표생물로서 해조식생에 미치는 영향에 대한 연구가 다양한 접근을 통해 이루어지고 있다(Borowitzka, 1972; Hirose, 1977; Naylor, 1965)

근래에 우리나라의 각 연안은 산업화와 도시화로 인해서 생활하수, 공장폐수, 대규모의 매립과 준설공사 등에 의해 오염이 심해지고 있으며 해조의 생육상태가 악화되고 있다. 본 연구는 양양국제공항 건설에 따라 토목공사후의 해조생태 특성을 파악하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 양양군 오산, 수산, 동호, 하광정, 남애와 대조구로서 강릉 경포해역에서 조간대와 조하대에서 해조군집의 식생을 조사하였다. 조사기간은 2000년 6월, 8월, 10월의 3회에 걸쳐 식생을 조사하여 분석하였다. 조사방법은 연안선에서 수직방향으로 line-transect를 선정하여 조간대와 조하대에 걸쳐 방형구(50cm×50cm)를 놓아 이곳에 출현한 모든 해조류를 채집하였다. 채집한 표본은 10% 포르말린-해수용액으로 고정하여 실험실로 운반하여 옮긴 후 동정하였다.

현존량 분석은 습중량의 값으로 단위면적당(wet weight in g/m²) 현존량으로 나타내었다. 채집된 해조류는 실험실에서 담수로 충분히 씻고 종류별로 구분하여 습중량의 무게를 측정하였다. 종순위는 출현종의 생중량을 종별로 합한 값(g/m²)을 순위에 따라 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

가. 해조상

양양 국제공항 건설 주변해역의 오산, 수산, 동호, 하광정 지점과 대조구인 강릉 경포에서 조사된 해조류의 문별 해조류 출현종수(표 7)와 출현종 목록(표 8)을 나타내었다. 토목공사로 해조생태에 영향이 클 것으로 보이는 양양의 4 개지점에서는 녹조류 1종, 갈조류 11종, 홍조류 13종 모두 25종으로 매우 빈약한 해조상을 나타내었다. 각 지점별에서는 오산 14종, 수산 16종, 동호 12종, 하광정 10종이 조사되었다. 대조구로 선정한 강릉 경포연안의 출현종은 녹조류 8종, 갈조류 14종, 홍조류 18종 모두 40종이 조사되었다.

표 7. 양양해역 4개 조사지점과 대조구에서의 문별 해조류 출현종 수

Area Division	Osan	Susan	Dongho	Hagwangjung	Gangnung (Control)
Green Algae	1	1	1	1	8
Brown Algae	5	6	7	6	14
Red Algae	8	9	4	3	18
Total	14	16	12	10	40

양양해역의 녹조류는 거의 구멍갈과래(*Ulva pertusa*) 종류가 우점하고 있다. 이는 조사해역 대부분이 외양에 면하여 조간대 해조식생이 빈약하여 잠수에 의한 조하대 식생이 조사되었다. 갈조류는 미역(*Undaria pinnatifida*)과 모자반(*Sargassum* sp.), 쇠미역사촌(*Costaria costata*), 다시마(*Laminaria* sp.)와 지층이(*Sargassum thunbergii*)가 우점하여 분포하였다. 이중 미역과 다시마는 계절성으로 조사기간중 6월 조사에서만 나타났다. 홍조류는 지누아리(*Grateloupia*), 도박(*Pachymeniopsis*), 개서실(*Chondria crassicaulis*), 붉은실(*Polysiphonia* sp.) 종류가 우점하였다. 이중 도박, 지누아리와 붉은실 종류는 양양해역에서는 대표종으로 분포하였다. 양양지역에서 유용해조류로 어업인들의 소득원으로 채취되고 있는 종류는 미역, 쇠미역사촌, 다시마, 돌김, 지누아리, 모자반, 서실 종류가 대부분을 차지하였다. 돌김종류는 계절성인 해조류로 조사기간중 출현하지 않았다.

표 8. 양양해역 4개조사지점과 대조구 연안에서의 해조류 출현종 목록

Species	Month	Osan			Susan			Dongho			Hagwangjun			Gangnung			
		6	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10	
Green Algae																	
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	
<i>Enteromorpha pertusa</i> (가시파래)															+	+	+
<i>Enteromorpha compress</i> (납작파래)															+	+	+
<i>Caulerpa okamurae</i> (옥덩굴)															+		
<i>Bryopsis plumosa</i> (깃털말)																	+
<i>Codium fragile</i> (청각)															+		+
<i>Cladophora sp.</i> (대마디말)																+	+
<i>Derbesia marina</i> (초록영킨실)															+		
Brown Algae																	
<i>Colpomenia bullosa</i> (긴불레기말)									+								
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)		+		+	+				+			+					
<i>Costaria costata</i> (쇠미역사촌)		+	+	+	+		+		+			+	+	+	+	+	+
<i>Ectocarpus arctus</i> (납작솜털)															+		
<i>Sphacelaria sp.</i> (갯쇠털)															+		
<i>Laminaria sp.</i> (다시마)		+							+			+			+		+
<i>Laminaria religiosa</i> (애기다시마)																	+
<i>Dictyopteris divaricata</i> (미끌뻬대그물말)			+	+	+	+		+	+								
<i>Desmarestia viridis</i> (쇠꼬리산말)					+	+	+	+									
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)						+	+								+		
<i>Dilophus okamurae</i> (개그물바탕말)																+	+
<i>Dictyota divaricata</i> (쌍말그물바탕말)																	+
<i>Sargassum fulvellum</i> (참모자반)			+								+		+				
<i>Sargassum horneri</i> (팽생이모자반)					+	+									+		+
<i>Sargassum confusum</i> (알송이모자반)												+		+	+	+	+
<i>Hizikia fusiformis</i> (뚝)															+		+
<i>Sargassum thunbergii</i> (지층이)												+		+	+	+	+
<i>Endarchne binghamiae</i> (미역쇠)														+	+	+	+
<i>Agarum cribrosum</i> (야키시리구멍쇠미역)														+	+	+	+
Red Algae																	
<i>Acrosorium falbellatum</i> (부채분홍잎)															+		
<i>Gelidium amansii</i> (우뭇가사리)															+	+	+
<i>Amphiroa ephedraea</i> (에페드개발)																+	+
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)															+	+	+
<i>Melobesioideae</i> (무절석회조)															+	+	
<i>Cladophora sp.</i> (대마디말)						+											
<i>Grateloupia filicina</i> (참지누아리)							+	+							+	+	
<i>Grateloupia acuminata</i> (지누아리사촌)								+									
<i>Grateloupia okamurae</i> (털지누아리)		+													+	+	+
<i>Grateloupia turuturu</i> (미끌지누아리)			+	+											+	+	+
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i> (부챗살)															+	+	+
<i>Carpopeltis cornea</i> (붉은부챗살)															+	+	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (참도박)						+	+	+			+				+	+	

Species	Sites			Osan			Susan			Dongho			Hagwangjun			Gangnung				
	Month	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10				
<i>Chondrus ocellatus</i> (진두발)							+									+	+	+		
<i>Dasya sessilis</i> (민자루다홍풀)																+				
<i>Caulacanthus okamurae</i> (애기가시덤불)																+		+		
<i>Ceramium japonica</i> (비단풀사촌)							+	+												
<i>Carpopeltis affinis</i> (참까막살)																		+		
<i>Chondria crassioaulis</i> (개서실)			+	+								+					+			
<i>Laurencia intermedia</i> (검은서실)						+	+			+			+							
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)							+													
<i>Odonthalia corymbifera</i> (참빗풀)																		+		
<i>Polysiphonia sp.</i> (붉은실)			+					+			+		+				+		+	
<i>Symphocladia sp.</i> (보라색우무)							+													
<i>Symphocladia latiuscula</i> (참보라색우무)																		+	+	+

대조구의 강릉경포 연안에서는 녹조류는 파래, 옥덩굴, 깃털말, 청각, 대마디말, 초록영킨실이 조사되었다. 갈조류는 납작솜털, 갯쇠털, 개그물바탕말, 미역쇠, 야키시리구멍쇠미역이 분포하였다. 홍조류는 참까막살, 민자루다홍풀, 부채분홍잎, 애기가시덤불 종류가 양양에서 조사되지 않은 종이 더 추가되어 분포하였으며 석회조류도 여러종이 분포하였다. 강릉 연곡천 하구연안의 해조식생은 하천하구입에도 구멍갈파래, 애기염주말, 참그물바탕말, 작은구슬산호말, 개우무, 까막살, 갈래잎과 서실 종류가 분포하였으며 하천과 떨어진 곳에는 애기마디잘록이, 서실, 굵은석목, 왜비단잘록이, 보라색우무 등이 출현하여 다양한 식생을 보였다.

본 조사의 출현종수를 강릉연안 주문진(이, 1991)에서 42종, 양양 남해(김과 손, 1998)에서 52종이 출현한 것과 비교하면 대체적으로 1/3~1/4 수준에 머물러 있다고 볼 수 있다. 특히, 갈조류 총종수에 대한 홍조류의 총종수 비율(R/P값)로 나타낸 지수(Feldmann, 1937)는 1.18로 남해안 신수도 3.2와 서해안 월도 2.2(김 등, 1986)에 비해 매우 낮은 수치를 나타내고 있다.

나. 현존량

조사지점에서 출현한 해조류의 단위면적당 무게(g/m^2)와 종류별 습중량을 표 8에 나타내었다. 지점, 월별 단위면적당 현존량(g/m^2)은 오산지점에는 6월 673, 8월 383 10월 475를 보였으며 수산은 6월 1,479, 8월 198, 10월 404로 조사되었다. 동호지점은 6월 456, 8월 270, 10월 301, 하광정에서는 6월 147, 8월 171, 10월 136으로 나타났다. 현존량은 대체로 500g이하를 보여 해조류 식생이 현저히 빈약함을 보였다. 6월 오산과 수산지역의 673g과 1,479g를 보인 것은 미역 단일종이 각각 272g과 1,110g으로 나타났기 때문이다. 미역은 6월에 거의 쇠퇴기에 들어 있는 상태이며 거의 모든 개체가 미역구멍병이 극심하게 나타났다.

단위면적당(g/m^2) 출현해조류의 무게로 나타낸 종순위와 현존량으로 나타낸 지점별 해조군

표 9. 양양연안에서 조사된 4개 지점의 단위면적당 현존량과 종류별 습증량의 값

Species	Sites		Osan			Susan		
	Month		6	8	10	6	8	10
Green Algae								
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)			37.8	4.5	2.1	84.4	3.5	13.7
sum			37.8	4.5	2.1	84.4	3.5	13.7
Brown Algae								
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)			272.6		378.7	1110.1		
<i>Costaria costata</i> (쇠미역사촌)			221.7	200.2	8.1	3.0		211.4
<i>Laminaria</i> sp.(다시마)			130.7					
<i>Dictyopteris divaricata</i> (미끌빼대그물말)				40.2	65.6	57.7	26.3	
<i>Desmarestia viridis</i> (쇠꼬리산말)						50.8	25.1	17.1
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)							2.4	24.2
<i>Sargassum fulvellum</i> (참모자반)				130.5				
<i>Sargassum horneri</i> (팽생이모자반)						60.1	10.7	
sum			625.0	370.9	452.4	1,281.7	64.5	252.7
Red Algae								
<i>Cladophora</i> sp.(대마디말)						0.3		
<i>Gracilaria</i> sp.(꼬시래기)							64.5	70.5
<i>Grateloupia acuminata</i> (지누아리사촌)					4.2		10.2	
<i>Grateloupia okamurae</i> (털지누아리)		8.6						
<i>Grateloupia turuturu</i> (미끌지누아리)			5.0	2.7				
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (참도박)						88.2	5.8	65.0
<i>Pachymeniopsis</i> sp.(도박)							5.9	
<i>Chondrus ocellatus</i> (진두발)							2.1	
<i>Ceramium japonica</i> (비단풀사촌)							33.8	3.0
<i>Chondria crassioaulis</i> (개서실)				3.5	6.0			
<i>Laurencia intermedia</i> (검은서실)					1.9	15.8		
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)					1.9		1.4	
<i>Odonthalia corymbifera</i> (참빛풀)								
<i>Polysiphonia</i> sp.(붉은실)		2.1					6.7	
<i>Symphyocladia</i> sp.(보라색무우)					1.9			
sum		10.7	8.5	18.6	104.3	130.4	138.5	
Seagrass								
<i>Phyllisipadi iwatensis</i> (잘피)					2.3	9.3		
sum					2.1	84.4		
Total		673.5	383.9	475.4	1479.7	198.4	404.9	

Species	Sites		Dongho			Hagwangjung		
	Month		6	8	10	6	8	10
Green Algae								
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)			63.8	22.2	21.7	2.3		2.4
sum			63.8	22.2	21.7	2.3		2.4

Species	Sites Month	Dongho			Hagwangjung		
		6	8	10	6	8	10
Brown Algae							
<i>Colpomenia bullosa</i> (긴불레기말)		6.9					
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)		151.3			2.1		
<i>Costaria costata</i> (쇠미역사촌)			110.3			111.0	131.1
<i>Laminaria</i> sp.(다시마)		102.0			37.0		
<i>Dictyopteris divaricata</i> (미끈뻬대그물말)		3.4	65.2				
<i>Desmarestia viridis</i> (쇠꼬리산말)		112.8					
<i>Sargassum fulvellum</i> (참모자반)				107.5		12.1	
<i>Sargassum confusum</i> (알송이모자반)						45.3	
<i>Sargassum thunbergii</i> (지충이)						3.2	
sum		376.4	175.5	107.5	39.1	171.6	131.1
Red Algae							
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (참도박)				105.2			
<i>Chondria crassicaulis</i> (개서실)				42.5			
<i>Laurencia intermedia</i> (검은서실)			25.0		1.0		
<i>Polysiphonia</i> sp.(붉은실)		16.5		24.5	5.1		2.6
sum		16.5	25	172.2	6.1		2.6
Seagrass							
<i>Phyllisipadi iwatensis</i> (말잘피)			47.3		100.4		
sum			47.3		100.4		
Total		456.7	270.0	301.4	147.9	171.6	131.6

락의 특성은 다음과 같다(그림 10).

오산 : 이 지점의 선착장 부근은 해조가 거의 분포하지 않았다. 외양에 면한 암반에도 조간대에는 해조식생이 매우 빈약하였으며 잠수조사에서 해조류의 채취가 가능하였다. 출현해조의 무게 순으로 나타낸 종류는 미역, 쇠미역사촌, 다시마, 구멍갈파래, 털지누아리, 붉은실 종류로 나타났다. 단위면적당(g/m^2) 출현해조류가 100g 이상 되는 종은 미역, 쇠미역사촌, 다시마 3종류로 나타났다.

수산 : 종순위는 6월에는 미역, 참도박, 구멍갈파래, 팽생이모자반, 미끈뻬대그물말, 쇠꼬리산말, 검은서실, 잘피류, 쇠미역사촌과 대마디말 순이었다. 8월에는 미역이 쇠퇴하여 출현종이 50g 이하를 나타내어 종류별 무게 차이가 적게 나타났다. 10월에는 쇠미역사촌, 꼬시래기, 참도박, 참그물바탕말, 구멍갈파래, 비단풀사촌 순으로 나타났다. 50g 이상되는 종류는 쇠미역사촌, 꼬시래기, 참도박 3종류이었다.

동호 : 종순위는 6월에는 미역, 쇠꼬리산말, 다시마, 구멍갈파래, 붉은실, 긴불레기말, 비끈뻬대그물말 종류이었다. 8월과 10월에는 종순위가 높은 미역과 다시마는 나타나지

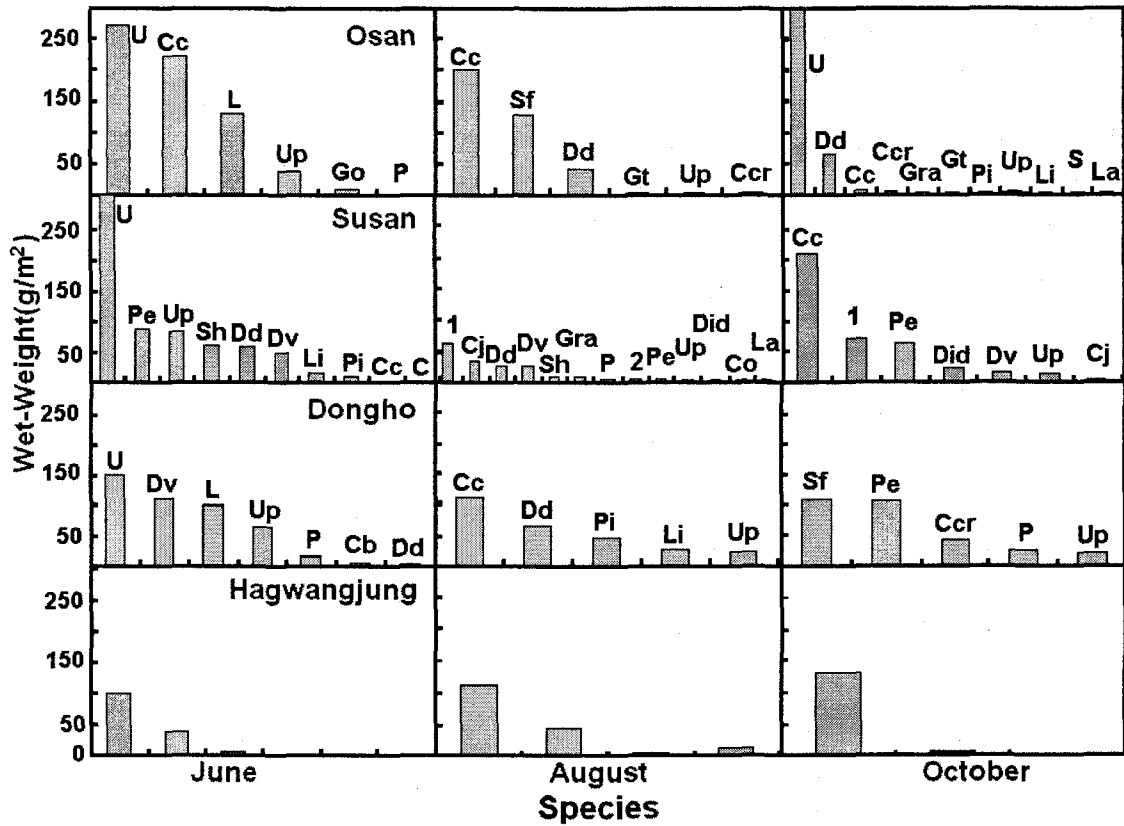


그림 10. 양양 조사지점에서 월별로 조사된 출현해조류의 습중량에 따른 종순위

Up : 구멍갈파래 Cb : 긴블레기말 U : 미역 Cc : 쇠미역사촌 L : 다시마 Dd : 미끈뻐대그물말 t6
 Dv : 쇠꼬리산말 Did : 참그물바탕말 Sf : 참모자반 Sh : 팽생이모자반 Sc : 알송이모자반 St : 지층이
 Ga : 우뚝가사리 C : 대마디말 Gf : 참지누아리 Gra : 지누아리사촌 Go : 털지누아리 Gt : 미끈지누아리
 Pe : 참도박 Co : 진두발 Gte : 돌가사리 Cj : 비단풀사촌 Ccr : 개서실 Li : 검은서실 Oc : 참빛풀 P : 붉은서실 S : 보라색우무

않았으며 8월에는 쇠미역사촌과 미끈뻐대그물말, 10월에는 모자반과 도박종류가 50g 이상을 나타내었다. 여름 이후 종순위가 높은 미역과 다시마는 출현되지 않았다.

하광정 : 종순위는 6월에는 잘피, 다시마, 붉은서실, 구멍갈파래, 미역, 검은서실 순으로 나타났다. 8월에는 쇠미역, 알송이모자반, 참모자반, 지층이 순이었으며 10월에는 쇠미역사촌, 붉은서실, 구멍갈파래 순으로 분포하였다. 이 지점은 갯녹음(백화)현상이 심한 곳으로 전체적으로 해조식생이 가장 빈약하게 나타났다. 특히 조하대 해조식생은 갯녹음이 원인으로 생각되는 무절산호말층이 넓게 분포하여 다른 해조류의 착생이 거의 없었다.

대조구(강릉) : 강릉 경포연안은 외양의 영향을 직접 받고 있어서 해조식생이 다양하게 분포하고 있다. 조하대도 완만한 경사로 이루어져 다양한 해조식생의 수직분포를 보여주고

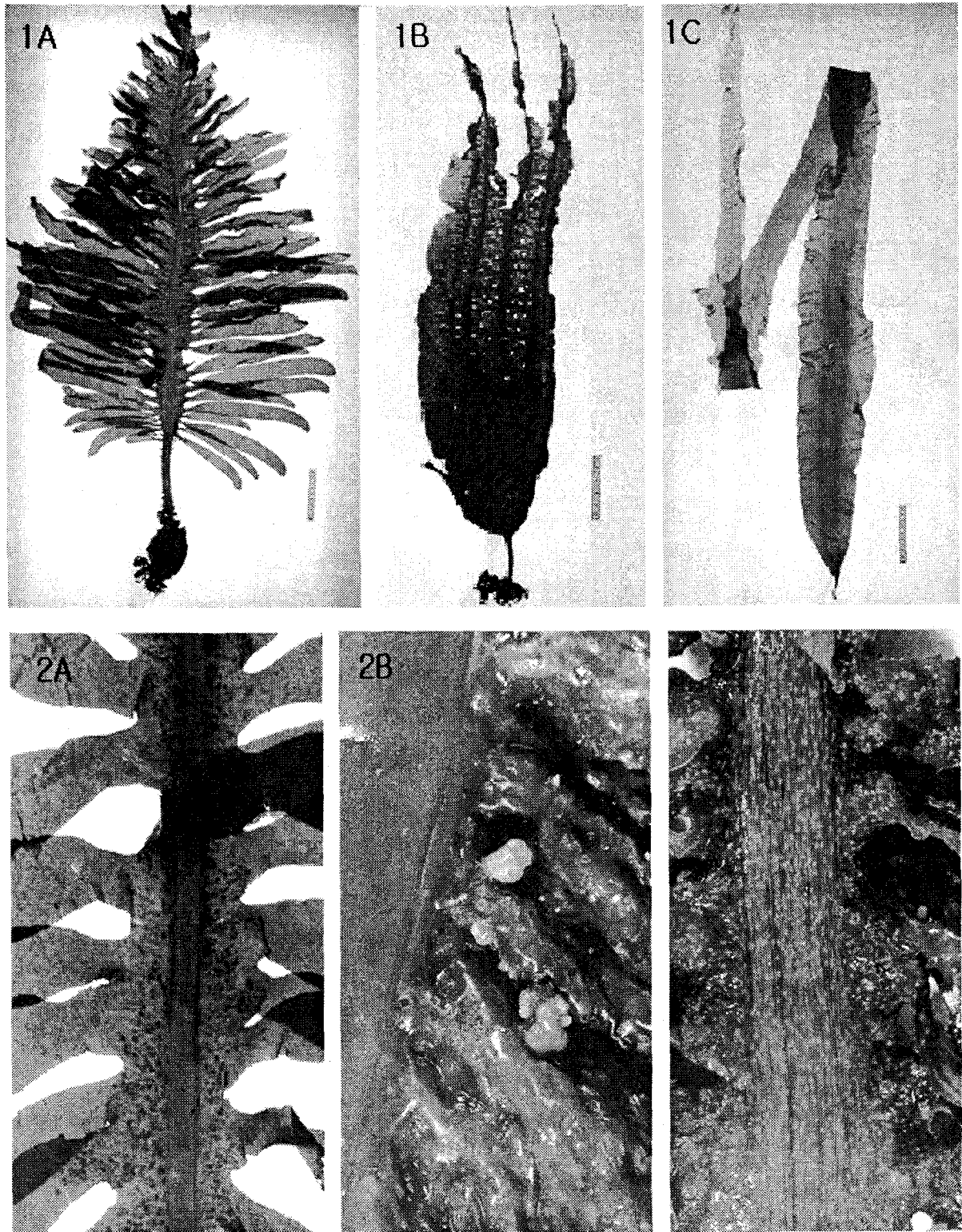


그림 11. 미역(1A), 쇠미역(1B), 다시마(1C)의 엽체와 미역구멍병(2A, 2B, 2C)

있다. 조하대 수심 10m 이심에는 다시마 종류가 우점하여 20m 아래에는 개다시마 (*Kjellmanniella*)와 구멍쇠미역(*Agarum*)이 분포하였다. 김 등(1999)은 강릉연안 조하대의 1994~1998년의 다시마 군락조사에서 94년에 8월의 현존량이 4kg/m^2 내외이던 것이 97, 98년에는 1.5kg 수준으로 감소함을 보고한 바 있다(김 등, 1999).

1992년 조사된 양양 남해지역의 현존량(g/m^2)은 2월 조사에서 930~5,144, 4월 715~1,820, 8월 374~4,123과 비교하면(김과 손, 1998) 현존량과 출현종이 현저히 감소되고 있음을 짐작할 수 있다. 1999년에 조사된 남해안 삼천포 주변의 해조류 현존량 조사에서 대체로 $2\sim 4\text{kg/m}^2$ 를 보인 것에 비하면 1/4 수준이하를 나타내고 있다.

3. 미역구멍병 피해

미역엽체에 나타난 병해의 발생양상은 오산, 수산, 동호, 하광정 모든 조사지점에서 심하게 나타났다(그림 11). 이 미역구멍병은 열편뿐 아니라 줄기부가 패이고 엽체와의 사이에 구멍이 크게 패여 있으므로 이는 요각류의 일종이 미역엽체에 들어가 구멍을 낸 것으로 보여진다(강, 1981). 이 병해의 발생경로는 양식초기에는 엽체의 색이 갈색 또는 반점이 생겨 조직이 연약해진 부위에 세균 또는 요각류가 기생하여 부패하는 것으로 보인다. 우리나라에서는 미역양식이 성행하게 된 70년대 중반부터 경남해역에서 확인되기 시작하여 점차 확산되고 있어서 미역상품의 질을 저하시키고 있다. 이러한 병해발생은 해수교환이 원활하지 않은 어장이나 오탁이 심한 곳에 잘 발생이 되는 경우가 많다고 알려져 있다. 6월 현장조사에서 나타난 미역엽체에 발생한 미역구멍병은 마을어장의 오탁에 의한 요인으로 보인다.

제 5 절 동해남부 울산연안 선박오염에 의한 해조식생

1. 서론

근래에 해양이나 하천, 호소 등의 수계 생물 군집의 생태학적 연구에 관심이 깊어지고, 특히 인간활동에 의한 오염이 수계 생태계에 미치는 영향을 지표함에 있어서 해조류는 암반에 일생 동안 부착하여 생활하므로 그 장소에 있어서 환경변화의 총체적 누적상태를 나타나고 있다.

이와 같은 해조류의 생육상황은 생활주기가 짧은 2~3년인 것이 대부분이어서, 가령 새로운 부착면이 주어져도 3년 이내에 종 수가 최고에 달하여 (Saito et al., 1976) 육상식물보다 극상에 도달하는 시기가 빠를 뿐만 아니라, 플랑크톤처럼 세대기간이 짧고 수괴를 이동하거나, 어류처럼 이동성이 강한 생물군집과는 다른 특성을 갖고 있어 일정장소의 수 년간의 환경 상황을 총괄적으로 알기 위해서는 해조군락이 좋은 지표가 될 수 있다(野澤, 1977).

우리나라의 연안에서 도시의 급속한 팽창에 의한 생활하수나 공장폐수, 대규모의 매립, 준설 공사에 따른 부유토사 등에 의한 오염이 심각해지고 있으며 선박 사고에 의하여 화물 및 유출유가 바다의 표면이나 저서부에 영향을 끼쳐 해조식생에 큰 영향을 끼치기도 한다. 이와 같은 환경압박에 따른 해조류 식생의 구조적 변화를 구명하기 위한 연구는 생태학자에게는 중요한 관심사이다.

우리나라의 해조식생에 대한 연구는 Kang (1966)이 한국 해조류의 지리적 분포에 대한 보고 이후 해조상 조사가 여러 학자들에 의해 수행되기 시작하였다. 1980년대 들어서면서 해조군집의 정량화 연구가 기틀을 다져 나가게 되었는데 김 (1983)과 손 (1987)은 한국 연안 여러 지점에서 해조류 식생의 특성을 정량 분석하는 연구방법의 개발이 이루어졌다.

이번 조사는 화물선 뉴바론호 (M/V New Baron)가 경남 울주군 서생면 간절갑 북동 1.5마일 해상의 암초에 좌초되어 선적화물의 유출에 의한 해양생태계의 변화중에서 해조류의 서식상태를 분석하고자 하였다. 조사지 주변에는 고리 원자력발전소가 들어서면서 해조류 조사가 계속적으로 수행되어 비교적 많은 연구가 이루어져 (김, 1983; 1986; 김 등, 1992) 선박 좌초 사고가 나기 전의 자료 분석에 이용하였다.

2. 재료 및 방법

조사지는 울산시 울주군 서생면 진하리 해역으로 이곳은 동해와 남해가 만나는 곳이기도 하다. 해안은 외양성으로 바다에 돌출된 부분과 어떤 곳은 내만에는 해수욕장으로 이루어져 있

다. 바다쪽으로 외양에 면한 해역이나 작은 섬 또는 암초에는 조류의 흐름이 매우 좋고 파도의 영향을 많이 받고 있다 (그림 12).

현장조사는 수심 20m에 이르는 좌초지점과 좌초지점 부근 암초역의 2 군데에서 수행하였다. 암초역은 수면위로 돌출되어 있어서 조간대와 조하대에서 해조분포의 특성을 조사하였다. 현장 채집시기는 계절별로 2001년 4월, 7월과 11월의 3회에 걸쳐 skin-SCUBA diving으로 수행하였다. 해조상 분석은 조사지점에서 녹조류, 갈조

류, 홍조류의 문별로 해조류의 출현종을 계절별로 나타내었다. 해조류의 분포는 해조의 서식 생육대가 수심에 따라 다르기 때문에 15m에서 10m, 5m, 3m, 1m와 조간대로 나뉘어 방형구 (50cm×50cm)를 차례로 놓아가며 조사를 수행하였다.

우점종 분석은 출현종 중에서 현존량 (습중량/m²)이 50g 이상되는 높은 종으로 나타내었다. 현존량 조사는 방형구별로 채집된 해조를 0.1g 수준까지 측정하여 단위면적당 (wet · weight g/m²) 무게로 환산하였다. 이 해역의 피해상황을 분석하기 위하여 좌초지점에서 떨어진 대송리 연안의 1987~1998년도의 연구결과와 비교하였다.

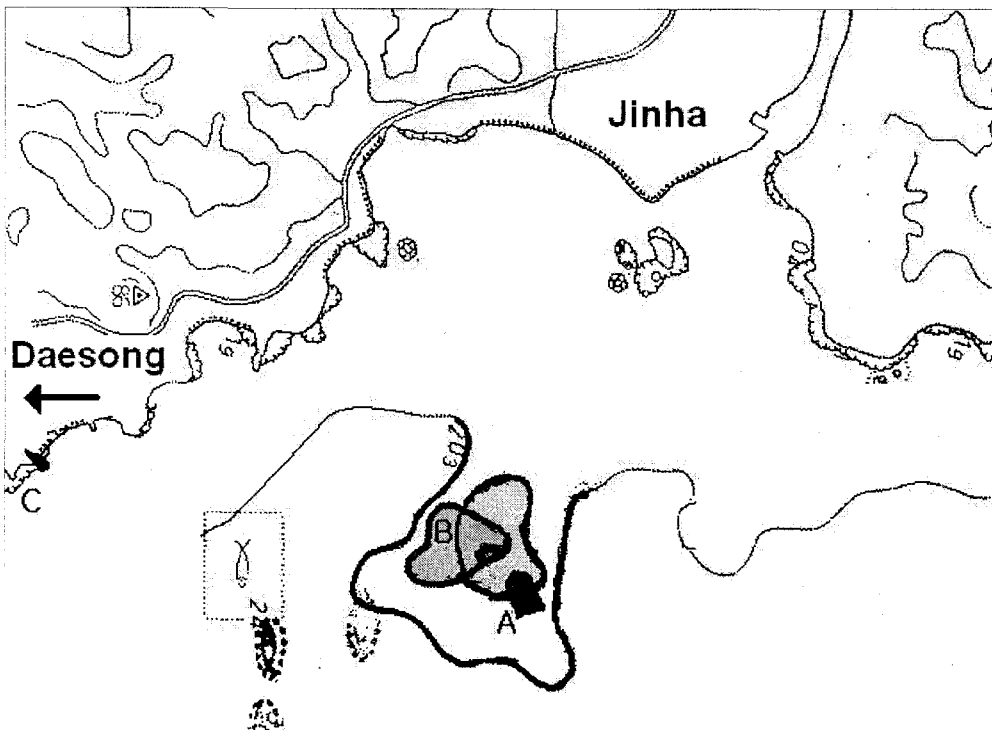


그림 12. 해조식생 조사 해역 A: 선박 침몰 지역 B: 암초지역 C: 대조구

3. 결 과

가. 해조상

(1) 선박 좌초된 지점의 해조상 특성

선박이 좌초된 곳은 진해 해수욕장의 앞 바다로서 암초가 형성되어 있는 부근이다. 선박이 좌초된 정점에서 수심 5~20m 에 이르는 조하대에서 잠수 조사를 수행하였다. 수심 5~10m 에는 시멘트 클링커 등이 분말 형태로 오랜 기간을 거치면서 퍼져나가 혼탁도가 매우 심하게 나타났다으며 그로 인해 빛의 투과도가 매우 낮아 식물이 광합성하기에 매우 좋지 않은 조건이라고 할 수 있다. 식물이 서식하지 않으므로 여러 종류의 해양동물의 종 수가 적고 양 또한 매우 빈약한 실정이다. 현장 조사에서 해조류는 거의 볼 수 없었으나 몇 종류의 동물류만 분포하였다. 수심 10m에는 단각류인 대발, 불가사리, 보라성게, 미더덕 종류의 수 종만이 분포하였다. 이 좌초지점의 해저에서 가장 많이 분포하는 종은 대발 종류이었다.

해조의 분포는 수심 5m에서 석회조류(Crustose Coralline Algae)와 붉은부챗살(*Carpopeltis cornea*) 종류 2종이 관찰되었다. 수심 5m에서는 이들 해조류외에 대발, 멍게, 보라성게, 미더덕, 강장동물의 산호 종류가 채집되었다. 산호 종류는 좌초사고가 난 후 어느 정도 기간이 경과되어 서식하고 있는 것으로 보인다. 2001년도에 계절별로 조사된 선박좌초지점과 그 부근 암초해역의 수심별 종조성과 현존량을 표 9, 10, 11에 나타내었다.

(2) 좌초지점 부근 암초해역의 해조식생

이곳은 선박 좌초시에 연료유와 선박 화물인 시멘트 클링커와 석고가 유출되어 생물이 거의 사멸하였을 것으로 보이나 3년이 경과하여 지금은 조간대라 할 수 있을 정도로 바다 한 가운데 떠 있는 이 암초 주변의 해양생물상은 매우 빠르게 생태회복을 보이고 있는 것으로 나타나고 있다. 암초해역은 외해에 면하여 있는 지리적 위치로 외양성 해조가 풍부한 곳으로 나타났다. 이 암초해역이 조간대와 수심 5m 정도까지는 거의 정상적인 생태환경으로 회복되었다고 볼 수 있으나 그 이하 수심에는 매우 혼탁도가 높고 해조식생이 빈약하게 나타났다. 이 암초역에서 수심 5m 정도를 경계로 하여 수심이 낮은 곳은 해류, 조류나 파도의 영향에 의해 빠르게 생태환경이 회복한 반면 수심이 깊어지면서 회복 정도가 매우 느리게 나타나고 있으며 생물의 다양성도 매우 낮게 나타났다. 수심 5m 이하 조하대에는 선박좌초로 인하여 해조생육이 좋지 않은 곳이 많다. 그러나 조간대와 조하대 상부 즉 파도의 영향을 잘 받는 곳에는 해조류의 생육이 매우 양호하였다.

표 10. 2001년 4월 선박좌초지점 부근의 암초역과 대조구에서 조사된 해조류의 종목록과 현존량 (g/m²)

Species	Sites Depth	Pollution Area		Near Pollution Area			Daesong
		5m	10m	0m	1m	3m	
Green Algae							
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)							217
sum							217
Brown Algae							
<i>Colpomenia sinuosa</i> (불레기말)							4
<i>Padina arborescens</i> (분부챗말)							140
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)				2,520			
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)						27.2	
sum				2,520		27.2	144
Red Algae							
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)		34.5					78
Melobesioideae(무절석회조)		82.0			122	212.8	
<i>Gloiopeltis furcata</i> (불등풀가사리)							53
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i> (부챗살)							391
<i>Carpopeltis cornea</i> (붉은부챗살)		25.8	75.4	26.8	388.8		52
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (참도박)				54.4			334
<i>Gigartina intermedia</i> (애기돌가사리)							70
<i>Gigartina tenella</i> (돌가사리)					10.8	63.6	18
<i>Chondria crassioculis</i> (개서실)							282
<i>Lomentaria catenata</i> (마디찰록이)				80			324
sum				161.2	521.6	276.4	1,602
Total		142.3	75.4	2,681.2	521.6	303.6	2,075

조하대 수심 1~3m에서의 해조식생의 분포 특성은 조간대에 주로 분포하는 툯 (*Hizikia fusiformis*)종류가 이 수심대에 나타나고 있다. 툯 종류는 조간대의 중부와 하부에 걸쳐 서식하는 비교적 서식 생육대가 뚜렷한 종류이다. 그러나 이 암초해역은 파도의 파랑이나 해류의 흐름에 의해 조간대 하부에 서식하는 종류가 항상 해수에 잠기는 조하대의 서식대에 생육하는 것은 이 해역이 외양에 위치하여 있으면서 빠른 해수의 유동에 의해 조간대의 하부와 같은 형상을 보여주고 있다고 볼 수 있다. 이는 이 암초해역이 육지 연안부와는 달리 빠른 해수유동과 암초역이라는 암반 저질 상태가 저서생물이 생육하기에 매우 다양한 조건을 이루고 있다고 볼 수 있다.

암초해역의 조간대 하부 부근에서 방형구 조사 방법에 의해 채집된 해양생물을 나타내었는데 미역이 매우 잘 형성되어 있었다. 또한 같은 지점이라 하더라도 수심 5m 아래에는 해조식생이 빈약한 모습을 보이는데 수 종류의 동물과 해조류의 서식이 확인되었을 뿐이다.

표 11. 2001년 7월 선박좌초지점 부근 암초역과 대조구에서 조사된 해조류의 종목록과 현존량 (g/m²)

Species	Sites Depth	Pollution Area		Near Pollution Area			Daesong
		5m	10m	0m	1m	3m	
Green Algae							
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)						15.3	400
<i>Enteromorpha compressa</i> (납작파래)							21
<i>Codium fragile</i> (청각)							14
sum						15.3	421
Brown Algae							
<i>Padina arborescens</i> (분부챗말)				150.5			
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)						430.5	
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)				25.5	35.7		
<i>Dilophus okamurae</i> (개그물바탕말)					93.0		
<i>Sargassum honeri</i> (괘생이모자반)							231
<i>Sargassum thunbergii</i> (지충이)							128
sum				176	128.7	430.5	359
Red Algae							
<i>Gellidium amansii</i> (우뭇가사리)						120.3	
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)		14.0		32.0	14.5	32.2	421
Melobesioideae(무절석회조)		25.0	42.0		24.0	140.3	
<i>Carpopeltis affinis</i> (참까막살)					35.4	18.5	
<i>Gloiopeltis furcata</i> (불등풀가사리)				15			
<i>Caulacanthus okamurae</i> (애기가사리덤불)				37.4		85.3	
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i> (부챗살)							
<i>Carpopeltis cornea</i> (붉은부챗살)		44.4	35.0		42.5	24.6	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (참도박)				52.5			39
<i>Chondrus ocellatus</i> (진두말)						18.8	
<i>Gigartina intermedia</i> (애기돌가사리)					15.5		
<i>Acrosorium flabellatum</i> (부채분홍잎)				18.5			
<i>Chondria crassiuscula</i> (개서실)				65.3		15.6	
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)				24.3	10.4		
<i>Symphyocladia latiuscula</i> (참보라색우무)							87
sum				245	142.3	455.6	547
Total		83.4	77.0	421	271	901.4	1,341

암초해역에는 여러 종류의 해조류가 채집되었는데 수 종류를 사진으로 나타내었다. 청각 (*Codium fragile*)과 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)이 잘 엉켜 있는 것, 미역의 엽상체와 홍조류 2종이 채집되었다.

또한, 이 해역에는 어업인들이 전복의 생산을 늘리기 위해 인공 해조초를 투하시키고 있다.

표 12. 2001년 11월 선박좌초지점 부근의 암초역과 대조구에서 조사된 해조류의 종목록과 현존량 (g/m²)

Species	Sites Depth	Pollution Area		Near Pollution Area			Daesong
		5m	10m	0m	1m	3m	
Green Algae							
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)						30.5	
<i>Enteromorpha compressa</i> (납작파래)						13.2	
sum						43.7	
Brown Algae							
<i>Colpomenia sinuosa</i> (불레기말)						10.5	
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)					15.5		
<i>Dictyota dichotoma</i> (참그물바탕말)						35.7	
<i>Dilophus okamurae</i> (개그물바탕말)				15.8			
<i>Hizikia fuiformis</i> (툇)					45	47.5	
<i>Sargassum honeri</i> (팽생이모자반)					37.5		
<i>Sargassum thunbergii</i> (지충이)				305			315
sum				320.8	98	93.7	315
Red Algae							
<i>Gellidium amansii</i> (우뭇가사리)						72.5	
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)							245
Melobesioideae(무절석회조)		42.5		201		35	
<i>Carpopeltis affinis</i> (참까막살)				15.3	45.5		
<i>Gloiopeltis furcata</i> (불등풀가사리)						10.5	
<i>Caulacanthus okamurae</i> (애기가사리덤불)							
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i> (부챗살)							220
<i>Carpopeltis cornea</i> (붉은부챗살)			84.0	45.9			
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (참도박)					78.5		
<i>Chondrus ocellatus</i> (진두말)					50		
<i>Gigartina intermedia</i> (애기돌가사리)							8
<i>Acrosorium flabellatum</i> (부채분홍잎)					25.5		
<i>Chondria crassiusculis</i> (개서실)							5
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)					15.5	19.5	184
sum				262.2	215	137.5	662
Total		42.5	84.0	583	313	274.9	1,118

나. 우점종

해조의 우점종은 습중량/m²으로 나타내었다. 해양동물의 경우 보통 개체수로서 나타내기도 한다. 어떤 지역에 어떤 종이 우점하는 가 하는 것은 개체수의 많고 적음으로 나타내게 된다. 그러나 해조류의 경우는 개체수보다는 암반을 덮고 있는 피복도 (피도, coverage)나 빈도와 피도를 합한 값인 중요도 (importance index)로 표현하기도 한다.

더욱이 해조류가 해양동물과는 달리 개체수로 할 수 없는 것은 바다식물 파래 한 개체라 하더라도 부착부가 뭉쳐서 자라기 때문에 그 숫자를 헤아리기가 어렵다. 또한 개체의 크기가

매우 편차가 커서 파래 수 cm 되는 것과 모자반이나 다시마처럼 한 개체의 크기가 2~3m에 이르는 것도 있어서 개체수로 우점종을 나타내기는 곤란하다. 생물량으로 나타낼 때 생물량 자체가 해조군집에서 어떤 역할의 비율을 나타낼 수 있다.

생물량 50g 이상으로 본 우점종은 좌초지점에서는 수심 10m에서 붉은부챗살 종류만이 나타나서 매우 빈약한 식생을 보였다. 즉, 좌초지점에서는 혼탁도가 심하여 해조류가 서식하기에 매우 좋지 않은 환경을 보인다고 할 수 있다. 수심 5m에서는 무절석회조만이 82.0g 으로 나타났다.

좌초지점 부근의 암초역에는 조간대의 저조선이라고 할 수 있는 0m에는 미역이 2,520g, 마디잘록이 80g, 참도박이 54.4g 순으로 나타났다. 수심 1m에서는 붉은부챗살이 388.8g, 무절석회조 종류 122.0g이 우점종으로 나타났다. 수심 3m에는 불등풀가사리 212.8g, 돌가사리 63.6g 으로 나타났다. 이와는 대조적으로 대송리 연안에는 부챗살 391g, 참도박 334g, 마디잘록이 324g, 개서실 282g, 구멍갈파래 217g, 분부챗말 140g, 작은구슬산호말 78g, 애기돌가사리 70g, 불등풀가사리 53g, 붉은부챗살 52g 순으로 나타났다. 해조류의 분포는 대조구 대송해역 > 암초해역 > 선박이 좌초지점 순으로 점차 종류 수가 감소하였으며 생물량도 감소하게 나타났다.

이 암초해역 조하대의 수직분포에 따른 해조류의 분포특성은 수심 1m와 3m에서 조사하였다. 수심 1m에서는 4월에 무절석회조, 붉은부챗살, 돌가사리(*Gigartina tenella*) 종류가 7월에 참그물바탕말, 개그물바탕말, 작은구슬산호말, 참까막살, 애기돌가사리(*Gigartina intermedia*), 마디잘록이 종류, 11월에는 툃(*Hizikia fusiformis*), 참도박, 진두발(*Chondrus ocellus*), 부채분홍잎 종류가 분포하였다. 수심 3m에서는 4월에 참그물바탕말, 무절석회조, 돌가사리 종류가 7월에는 구멍갈파래 (*Ulva pertusa*), 미역, 우뚝가사리(*Gelidium amansii*), 작은구슬산호말, 참까막살, 애기가시덤불, 붉은부챗살, 진두발, 개서실 종류, 11월에는 구멍갈파래, 납작과래 (*Enteromorpha compressa*), 불레기말(*Colpomenia sinuosa*), 툃, 불등풀가사리 종류가 분포하였다.

수심별 서식대에 따른 종류는 조간대에서는 4월에 미역(*Undaria pinnatifida*), 마디잘록이 (*Lomentaria catenata*), 붉은부챗살(*Carpopeltis cornea*), 참도박(*Pachymeniopsis elliptica*) 종류의 서식이 관찰되었다. 7월에는 이 종류외에 분부챗말(*Padina arborescens*), 참그물바탕말 (*Dictyota dichotoma*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcata*), 애기가시덤불(*Caulacanthus okamurae*), 부채분홍잎(*Acrosorium flabellatum*), 개서실(*Chondria crassicaulis*)의 분포가 확인되었다. 11월에는 개그물바탕말(*Dilophus okamurae*), 무절석회조 (*Melobesioideae*), 참까막살(*Carpopeltis affinis*) 종류가 추가되어 관찰되었다.

이 암초는 파도의 영향이 매우 크게 나타나서 육지부 연안의 조하대에 서식하는 많은 종류가 공기중에 노출된 암초, 즉 간조와 만조사이의 조간대에 서식하고 있다. 위에 언급된 마디잘

록이, 붉은부챗살, 참도박, 참그물바탕말, 작은구슬산호말, 개서실, 개그물바탕말, 무절석회조와 참까막살 종류는 조간대의 하부에서 조하대에 우점하여 나타나는 종이라고 볼 수 있다.

이들 중에서 미역(*Undaria pinnatifida*)과 부채분홍잎 (*Acrosorium flabellatum*)종류는 항상 물에 잠기는 조하대에서 거의 볼 수 있는 종류인데 이 암초해역의 조간대 하부에서 이들 종이 채집이 되었다. 이것은 이 암초 주변의 해수의 유동이 매우 빠르고 파도의 영향에 의해 조간대라 하더라도 조하대와 같이 항상 해수의 잠김 상태에 해당되기 때문으로 생각할 수 있다.

다. 현존량

식물의 생산성의 정도를 현존량(standing crop)으로 나타내기도 한다. 식물은 광합성이 효율적으로 이루어지게 되면 성장이 잘 되어서 식물체가 크게 된다.

4월에 조사된 자료에서 보면 좌초지점의 현존량은 수심 5m에서 142.3g과 수심 10m에서 75.4g으로 매우 미미한 정도이다. 그러나 좌초지점 부근의 암초해역에서는 수심 0m에서 2,681.2g으로 수심 1m의 521.6g과 3m의 303.6g에 비해 5배 이상 높게 나타났다. 암초해역의 조간대 하부(수심 0m)에서의 식물의 성장은 매우 좋은 경향을 보여주고 있다. 이는 대조구인 대송리의 연안 2,075g 보다 600g 정도 높게 나타난 수치이다.

7월에는 좌초지점에서는 수심 5m에서 83.4g, 수심 10m에서 77.0g으로 출현종이 한 두 종류에 불과하였고 생물량 또한 매우 낮았다. 암초해역에서는 수심 0m에서는 421.0g, 1m에서는 271g, 3m에서는 901.4g을 보였다. 4월과는 달리 수심 3m에서 가장 높은 수치를 보였다. 현존량 분석에서 단위면적당 습중량으로 나타낸 생물량 조사에서 암반에 서식하는 모든 해조류를 끊어서 실험실로 옮겨 각 종류별로 무게를 달아서 측정하게 될 때 어느 정도의 편차는 인정될 수 있다. 암초역은 저질이 평탄하지 않기 때문에 조사할 때 끊어 버리는 수확법으로 하는 것도 한가지의 이유가 될 수 있다.

이 암초해역은 파도의 영향으로 조간대와 수심 3m 정도는 거의 같은 조건에 해당될 수 있다. 대조구인 대송리 해역에서는 1,341g으로 높은 수치를 보였다. 7월 조사에서는 암초해역에 서식하는 종류는 매우 다양하게 나타난다. 구멍갈과래, 미역, 팽생이모자반, 우뚝가사리, 작은구슬산호말, 무절석회조, 참까막살, 애기가시덤불, 붉은부챗살 종류가 생물량이 높은 종류였다.

11월 조사에서 보면 좌초지점에서는 42.5g, 84.0g 이었으며 암초역에서는 수심 0m에서는 583.0g, 1m에서는 313.0g 과 3m에서는 274.9g 으로 4월과 7월에 비해 매우 낮게 나타난다. 대송리 연안에서는 1,118g 으로 암초해역보다 다소 높은 수치를 보였다.

제 3-2 장 무절석회조의 실내배양과 야외 생태 특성

제 1 절 석회조의 수직분포와 포자변무시기

강원도 연안에 서식하고 있는 무절석회조류의 분포 특성을 알아보기 위해서 삼척 갈남 연안을 대상으로 조간대 및 조하대 조사를 실시하였다. 조사기간동안 line-transect를 설정하여 조간대 및 수심 0, 3, 6, 9, 12m에서 방형구(50cm×50cm)를 통한 피도를 매월 측정하였다.

조사는 2001년 9월부터 2002년 4월까지 line-transect를 설정하여 조간대 및 조하대의 수심 3, 6, 9, 12m에 대해 매월 방형구(50cm×50cm) 40개 이상을 표본조사하여 그 경향을 파악하였다.

강원연안에 분포하는 무절석회조류의 종류를 그림 13에 나타내었다. 삼척 갈남 연안 석회조류의 종류는 크게 *Hydrolithon samoëense*, *Lithophyllum okamurae*, *L. yessoense*, *Lithothamnion sonderi* 등으로 구분되었다. 조사해역의 조간대에 우점하는 무절석회조류는 표면에 돌기가 없는 *Lithophyllum* sp.와 *Hydrolithon* sp.(그림 14-A), 그리고 가장자리에 주름을 이루는 *Lithophyllum* sp.(그림 14-B)이었다. *Hydrolithon* sp.가 *Lithophyllum* sp.보다 상부에 서식하였으며, 동일한 생육 공간에서는 대부분 *Hydrolithon* sp.의 조체 위에 *Lithophyllum* sp.가 착생한 형태를 보였다. 각각의 피도는 *Hydrolithon* sp. 84.8%, *Lithophyllum* sp. 14.8%를 나타냈으며, 이러한 비율은 조사기간 동안에도 큰 변화를 보이지 않았다.

조하대에서는 수심 2m 이하부터 엽상 해조류의 군락이 거의 형성되어 있지 않았고, 대부분의 기질에 무절석회조류가 우점하여 피복되어 있었다. 무절석회조류의 수심별 분포는 *Lithophyllum* sp.가 수심 3m까지 관찰되었고, 지름 4~5mm의 돌기를 내는 *Lithophyllum* sp.가 약 6m, 지름 약 2mm의 돌기를 내는 *Lithothamnion* sp.가 약 9m, *Hydrolithon* sp.는 12m 이하까지 분포하는 것을 확인할 수 있었다(그림 15). 동일한 생육 공간에서 이들 무절석회조류는 조간대와 같이 대부분 *Hydrolithon* sp.의 조체 위에 *Lithothamnion* sp., *Lithophyllum* sp., *Lithophyllum* sp.가 착생하여 있는 형태를 취하였다. 각 수심별 무절석회조류의 피도는 수심 3m에서 *Hydrolithon* sp. 59.6%, *Lithothamnion* sp. 10.4%, *Lithophyllum* sp. 10.0%, *Lithophyllum* sp. 20.0%이었으며, 6m에서는 *Hydrolithon* sp. 79.2%, *Lithothamnion* sp. 10.0%, *Lithophyllum* sp. 10.0%, 9m에서는 *Hydrolithon* sp. 88.8%, *Lithothamnion* sp. 10.0%, 12m에서는 *Hydrolithon* sp.가 98.0%로 다른 형태의 무절석회조류는 거의 서식하지 않았다. 조간대와 마찬가지로 조사기간동안 피도의 비율에는 큰 변화가 없었다.

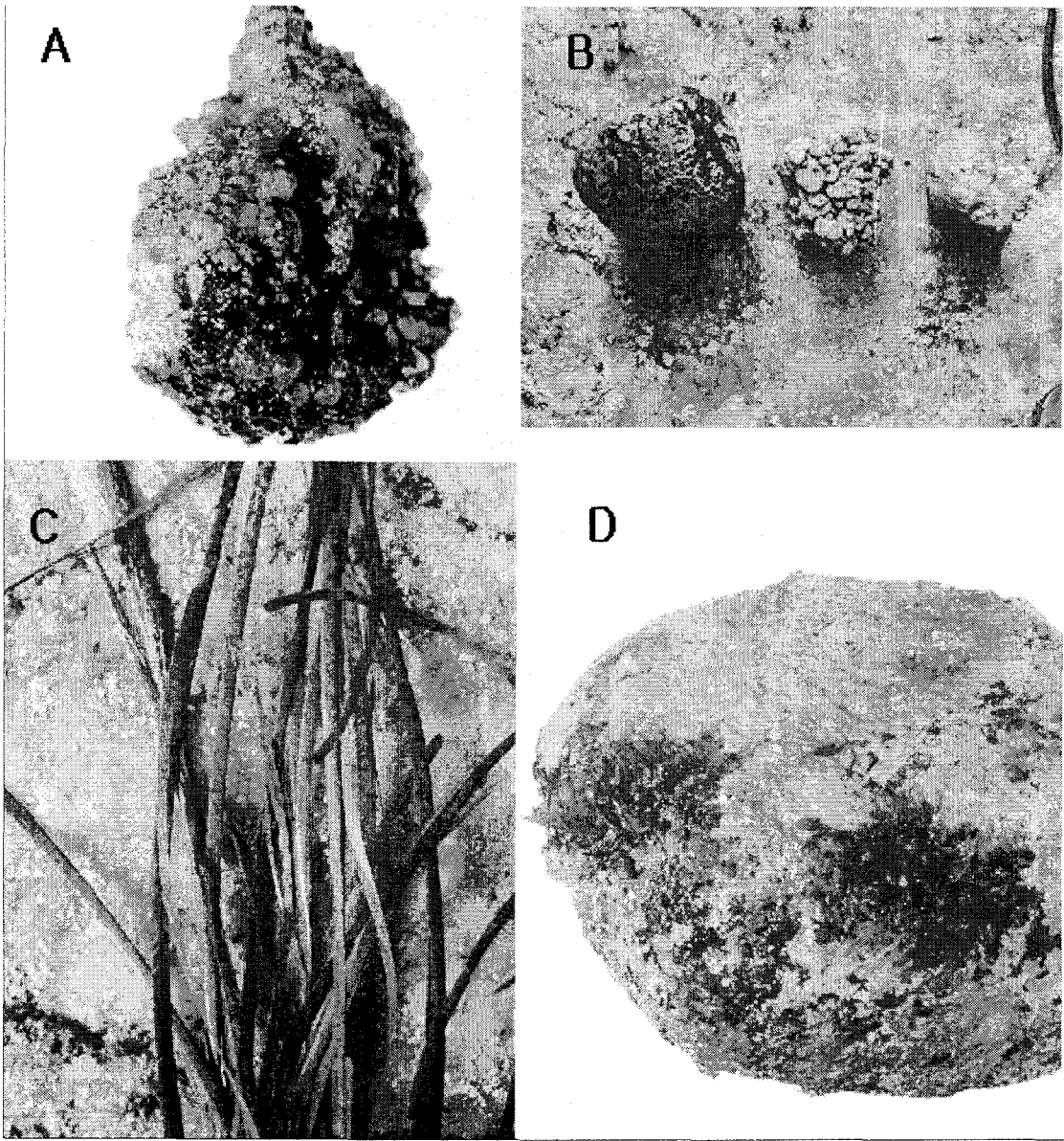


그림 13. 강원도 연안에 분포하는 갯녹음 현상의 무절석회조류

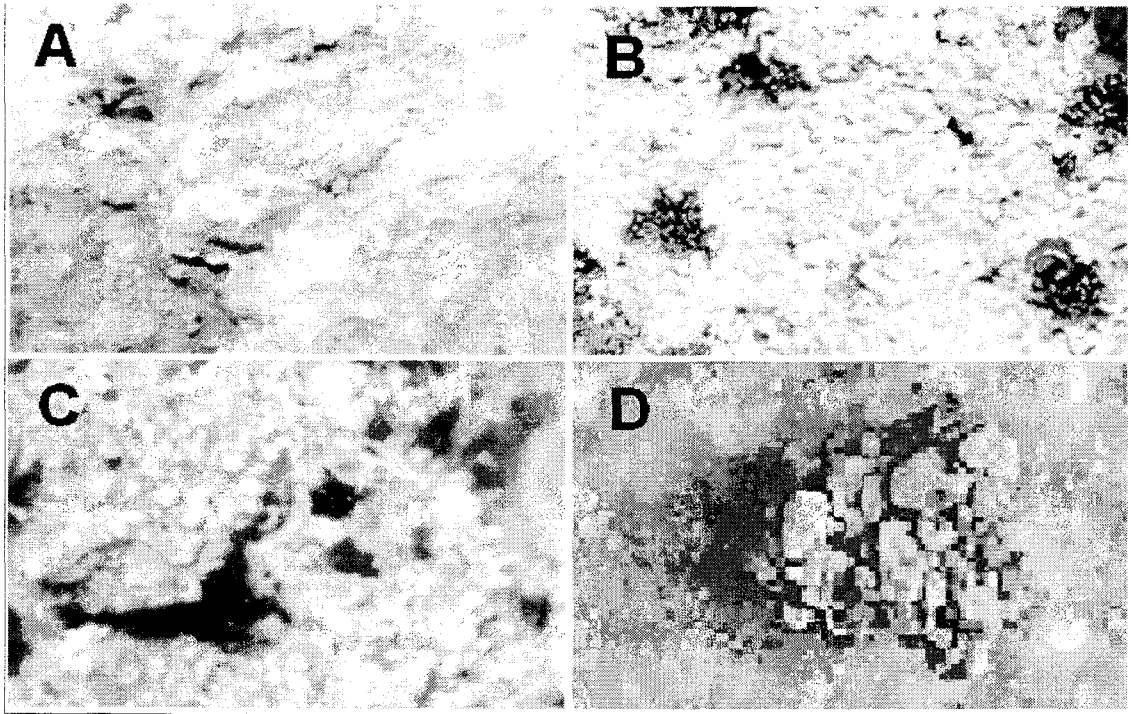


그림 14. 강원도 삼척 연안에 분포하는 무절석회조류의 형태.
 A; 표면에 돌기가 없는 형(LH), B; 가장자리에 주름이 있는 형(LP), C; 지름 2mm의 돌기를 내는 형(LT), D; 지름 4~5mm의 돌기를 내는 형(LI)

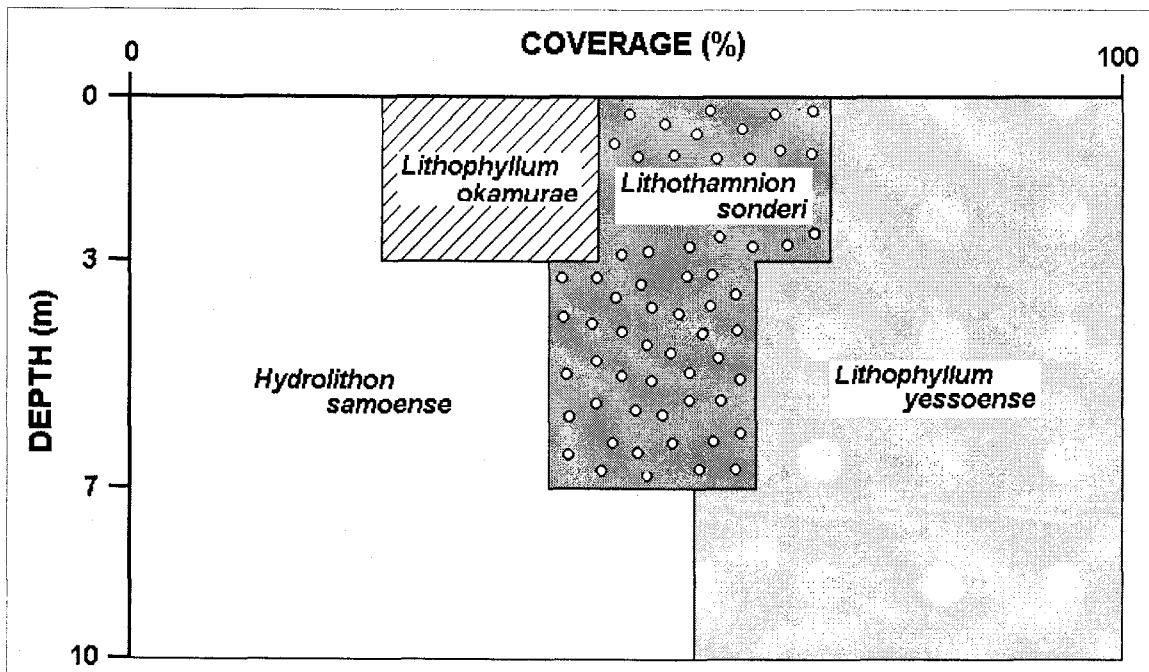


그림 15. 무절석회조류의 종에 따른 분포대 (강원도 삼척).

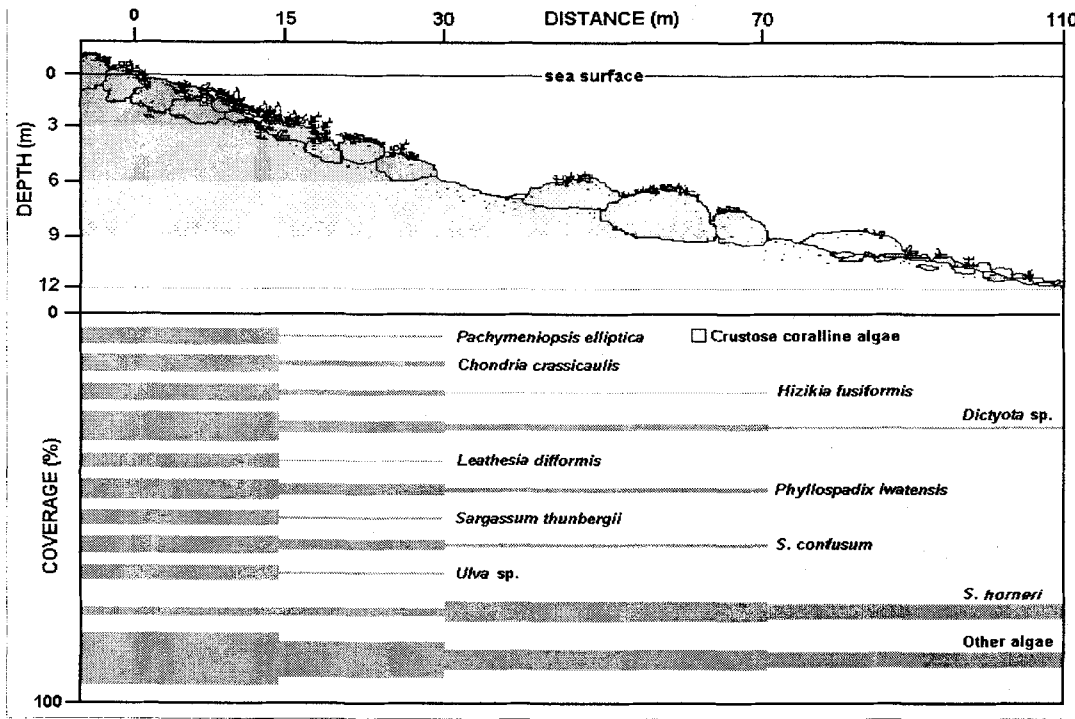


그림 16. 수심에 따른 엽상 해조류와 무절석회조류의 피도.

조간대의 생육환경에 크게 영향을 미치는 대기 및 직사광선에 대한 노출과 건조의 영향으로 조간대 하부에는 수평적 생장이 빠른 *Hydrolithon* sp.가 우점하는 것으로 보여진다. 저조선 아래 수심 6m까지는 여러종류의 무절석회조류가 혼생하여 분포하였으며, 이보다 깊은 수심에서는 다시 *Hydrolithon* sp.가 절대적으로 우점하는 수직분포의 경향을 보였다. *Hydrolithon* sp.는 조간대와 조하대를 통틀어 가장 우점하여 번무하는 특징을 보였다(그림 16).

무절석회조류의 포자방출 분석에서 봄(4~5월)이 되어 수온이 12°C까지 오르면서 무절석회조류는 짙은 분홍빛을 보이며 왕성한 생육을 나타냈다. 이때부터 포자의 방출도 활발하게 이루어지기 시작해서 조하대에 넣어둔 부착기질에 직경 0.3~0.8mm의 분홍색 작은 점들이 육안으로 관찰되었으며, 발아체의 밀도는 5.5개체/cm²이었다. 이 시기에 석회조류의 피도는 32.0%를 나타내었다. 여름(7~9월)에 들어서 수온은 최고 20°C 이상까지 상승하였으며, 가장 왕성한 포자방출과 생장이 관찰되었다. 1개월만에 발아체는 직경 2.4mm까지 성장하였으며, 가장 큰 개체는 5mm 이상되었다. 밀도는 7.1개체/cm²이었다. 활발한 포자 방출에 비해 발아체의 밀도가 높지 않은 것은 빠른 성장으로 개체간 조직융합과 피복이 일어났기 때문이다. 석회조류의 피도는 37.5%까지 높아졌다. 이후 가을(10~11월)이 되면서 수온도 15°C까지 빠르게 낮아졌다. 이때부터 석회조의 포자 방출량이 줄어들고, 특히 발아체의 직경이 1.0mm 이하가 되었다. 상대적으로 개체

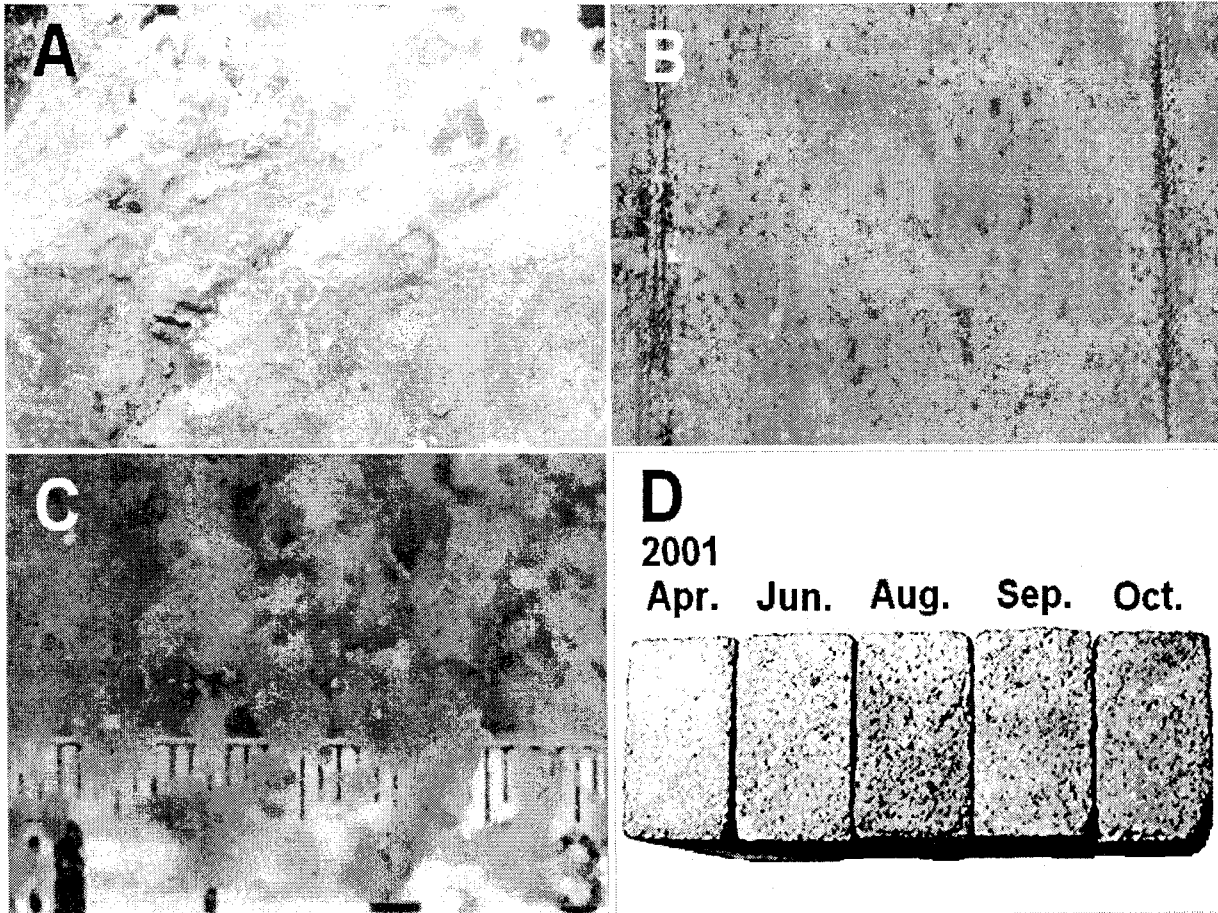


그림 17. 기질에 부착된 무절석회조류.

A; 무절석회조류 형태, B; 폴리에스텔 필름에 부착된 무절석회조류, C; 확대모습, D; 조사시기별 콘 크리트블록에 부착된 무절석회조류의 밀도에 따른 선택(고밀도→진분홍색)

밀도는 10.0개체/cm²로 늘어났다. 석회조류의 피도는 여름에 비해 33.0%로 낮아졌다(그림 17).

겨울부터 초봄(12~3월)까지는 수온이 8℃ 이하까지 내려가고 흑돌잎 종류와 포자 방출이나 발아체의 생육을 현장에서는 육안으로 확인할 수 없었다. 현미경 하에서도 발아체의 생장을 관찰하기가 쉽지 않았지만, 직경 0.1mm 정도의 발아체가 3.5개체/cm²의 밀도를 유지하고 있음을 볼 수 있었다. 석회조류의 피도는 28.1%까지 낮아졌다. 이상의 결과에서 흑돌잎의 일종인 이 종류는 늦봄부터 초가을의 수온이 비교적 높은 15℃ 이상에서 포자의 방출과 생장이 좋았으며(그림 18), 포자는 시기적인 차이는 있었지만 연중 방출되고 있음을 알 수 있었다(표 12).

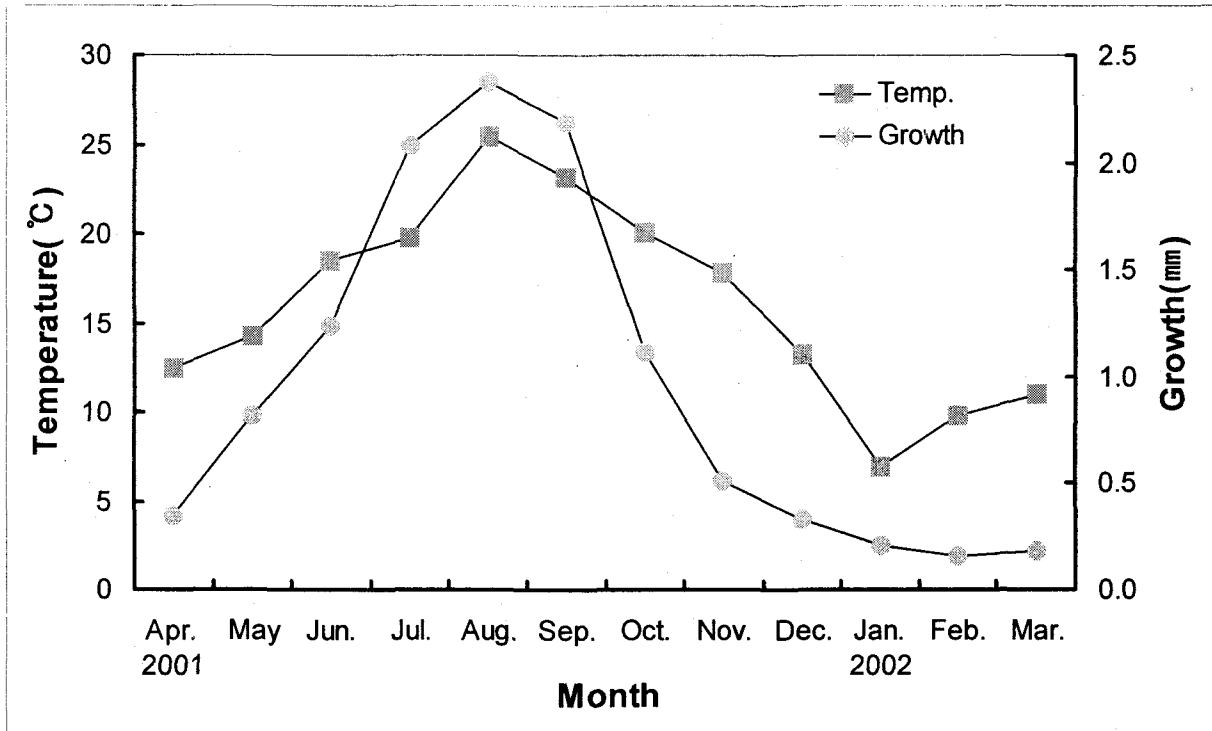


그림 18. 무절석회조류의 수온에 따른 성장경향.

표 13. 조사 기간별 부착기질에 착생한 무절석회조류의 개체수 및 직경

	Month											
	Apr. 2001	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan. 2002	Feb.	Mar.
Individuals. (No./cm ²)	5.80	5.20	6.08	6.55	6.16	8.68	10.28	8.02	8.48	4.05	6.04	6.10
Diameter (mm)	0.35	0.82	1.24	2.08	2.38	2.19	1.11	0.51	0.33	0.21	0.16	0.18

제 2 절 무절석회조, 납작돌잎(*Lithophyllum yessoense*)

사분포자체의 포자방출과 생장

1. 서론

최근 우리 나라 연안의 조간대 및 조하대는 무절석회조류가 급격히 증가하는 갯녹음으로 황폐화되어 가고 있으며 (Chung et al. 1998), 이로 인하여 유용 수산 동물 자원도 감소하고 있는 실정이다. 이러한 갯녹음 현상은 서식지의 환경요인들이 복합적으로 작용하고 있는 생태계의 변화로, 연안의 암반이 석회조류로 피복되며, 이들이 죽어서 하얗게 변해 가는 현상 (正置·秋岡, 1980)으로서, 해중림과 석회조류 군집이 서로의 극상을 반복하는 생태적 현상으로 설명되기도 한다 (谷口, 1996). 일단 석회조류에 의해 우점된 극상을 일반 해조류가 우점하는 상태로 만들어 주기 위해선 인공어초의 투입이나 해조류의 이식과 같은 인공적인 해중림 복원의 노력이 요구된다. 또한 갯녹음의 원인생물로 알려져 있는 무절석회조류의 생태를 파악하여 해중림 복원을 위한 효과적인 인공어초 투입의 시기를 조절하려는 노력도 필요하다.

일본에서도 수산업상 갯녹음 현상의 심각성을 인식하고, 홋카이도의 갯녹음 지역에서 폭넓게 분포하는 *Lithophyllum* 속의 종들 대한 연구가 이루어져 오고 있다. 이들 가운데는 *L. yessoense*의 생리 생태학적인 특성 및 성숙의 주기성을 밝힌 Noro (1976) 와 Noro et al. (1983)의 연구 뿐 아니라 엽체의 계절별 광합성 및 호흡량의 변화 (Fujita, 1988; Ichiki et al., 2001), 배양환경에 따른 포자의 생장 (Notoya, 1976; Ichiki et al., 2000) 등에 대하여도 조사된 바 있으나, 지금까지 무절석회조류에 대한 국내의 연구는 분류학적 위치와 분포를 밝히는데 불과했으며 (Kang, 1966; Park, 1976, 1977, 1978; Kim, 2000), 최근에야 제주도의 갯녹음 현상을 보고한 Chung et al. (1998)의 연구가 있으나, 이 역시 무절석회조류의 분포 실태를 보고하였을 뿐이고, 갯녹음 현상의 대책 강구를 위한 기초연구로서의 무절석회조류의 생장과 포자방출 양상을 구명하기 위한 실내배양 등의 연구는 이루어지지 못하였다.

따라서 이 연구에서는 부산의 기장군 지역 조하대에 폭넓게 분포하는 무절석회조류의 한 종인 납작돌잎을 대상으로 하여 사분포자의 배양환경에 따른 생장과 매월 포자 방출량을 정량화 함으로써 포자방출 패턴을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

배양실험은 2000년 3월에 부산 기장군 인근 해역의 조간대에서 채집된 납작돌잎 사분포자

체로부터 사분포자를 받아 수행되었다. 모든 실험은 광주기 16:8h (L:D)로 하여, 온도는 5 조건 (5, 10, 15, 20, 25°C)과 광량 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 하에서, 광량은 4 조건 (0, 20, 50, 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)과 온도 20°C 조건하에서 각각 이루어졌으며, 이때의 염분농도는 34 ppt를 유지하였고, 염분농도는 6 조건 (0, 9, 17, 25, 34, 43 ppt)과 광량 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 온도 20°C 조건하에서 이루어졌다. 사분포자의 수집은 20°C 및 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조건하에서 10ℓ의 용기에서 포기하면서 포자 방출 여부를 확인하고, 방출된 포자는 cover glass에 착생시켜 각 온도, 조도 및 염분 농도별 실험에 사용하였다. 각 실험구는 직경 6 cm의 멸균된 petri dish를 사용하였으며, 각 실험구별로 포자가 착생된 cover glass 1개를 수용한 후 20 ml의 PES 배양액을 공급하였다. 상대성장률 (relative growth rate)은 아래의 식에 따라 구하였으며, 3반복 실험구에서 각각 성장률을 구하였다.

$$\text{RGR} = (\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1), \text{ L}_1, \text{ L}_2 \text{는 각각 시간 } t_1, t_2 \text{에서 염체의 직경}$$

월별 포자방출의 정량화는 2000년 8월부터 2001년 7월까지 매월 시료를 채집하여 실시하였다. 채집된 기질 표면에 착생된 납작돌잎의 표면적을 계측한 후 투명한 전복 배양용 파판을 5.8 cm 직경의 디스크 모양으로 절단하여 300ml 용기의 배양기 바닥에 깔고, 멸균 해수와 납작돌잎이 피복된 돌을 함께 넣어 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 와 16:8h (L:D), 15°C의 인큐베이터에서 48시간 동안 방출되어 배양기 바닥의 디스크에 부착된 포자의 총 수를 계수하였다. 방출된 포자의 수는 포자가 부착된 디스크를 멸균해수와 함께 6 cm 직경의 petri dish에 넣고, 방안지를 이용하여 구획을 설정한 후, 실체현미경 (Olympus, SZH 10) 하에서 디스크에 부착된 총 포자의 수를 측정하였으며, 이를 기질에 피복된 납작돌잎의 단위면적당 방출된 포자의 수로 환산하였다. 모든 실험구는 5반복 실험하였다. 모든 배양 조건은 인큐베이터 (Twin-room incubators, VS-1203P4N, Korea)를 사용하여 광주기 16:8h (L:D)로 조절하였다. 또한 광량의 측정은 LI-1000 Data Logger (LI-Cor)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

납작돌잎의 사분포자체는 기질 위에 포복하여 분홍색을 띠며 (그림 19-A), 사분포자낭의 개구 부분이 백색으로 뚜렷이 구분되었다. 방출된 사분포자의 직경은 약 40 μm 로 구형 (그림 19-B)이며 붉은 색을 띠었다. 사분포자는 방출 후 즉시 기물에 착생하였으며, 이 시기에는 매우 약한 점액질로 둘러싸여 있어서 조금만 자극을 주어도 포자가 터져버렸으나 착생 1일 후에는 이미 기질에 단단히 부착하여 붓으로 건드려도 탈락되지 않았다. 포자는 매우 빠른 성장을

나타내어 방사상으로 기질 면을 포복하면서 성장하였다 (그림 19-C~F).

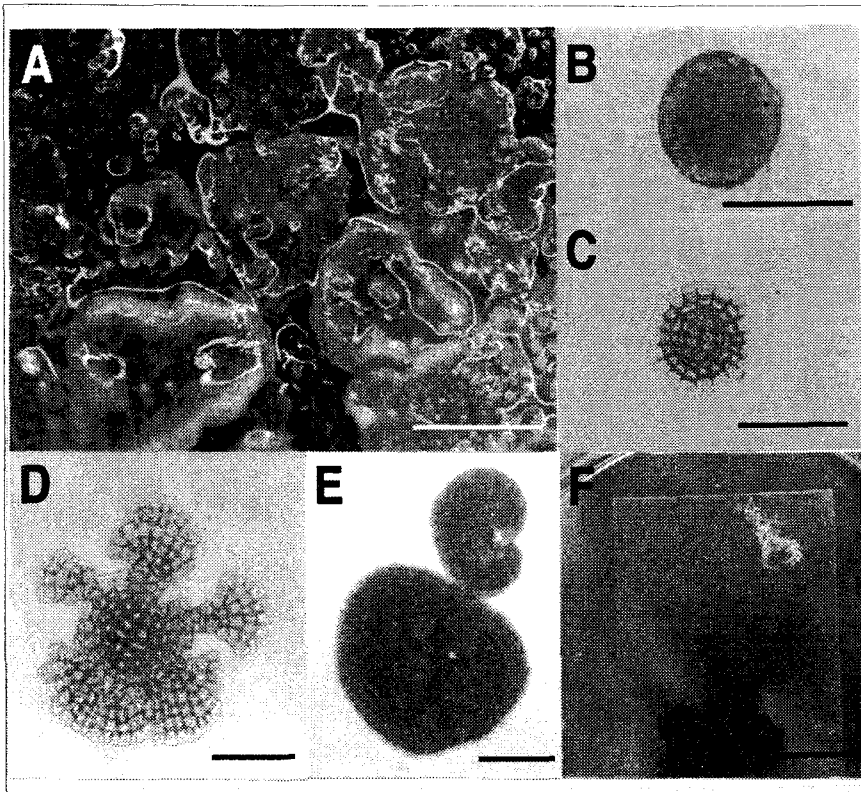


그림 19. *Lithophyllum yessoense*의 성장(광량 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이하, 온도 20°C , 광주기 16:8h (L:D)) A: 성숙한 사분포자체(scale bar 1cm) B: 방출직후의 사분포자(scale bar $50\mu\text{m}$) C: 배양 2일후의 배우체(scale bar $100\mu\text{m}$) D: 배양 7일후의 배우체의 방사성 성장(scale bar $100\mu\text{m}$) E: 배양 40일후의 각상체(scale bar 1mm) F: 플라스틱판에 부착한 배우체(scale bar 1cm)

납작돌잎 포자의 생장은 온도 구간에 따라 큰 차이를 나타내었다. 5°C 및 10°C 구간에서는 배양 20일까지 발아체의 평균 직경은 $200\mu\text{m}$ 이하로 거의 생장이 이루어지지 않았으나 15°C 조건에서는 배양 10일 이후부터 빠른 성장을 나타내어 배양 20일째 최대 직경 $379.0\mu\text{m}$ 에 달하였다. 20°C 구간에서는 전 배양기간동안 최대의 성장을 나타내어 배양 20일째 최대 직경 $607.7\mu\text{m}$ 를 나타내었다. 그러나 25°C 구간에서는 평균 직경 $502.7\mu\text{m}$ 의 성장을 나타내었다. 따라서 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 구간에서는 생장의 저하가 일어나고 $15\sim 20^\circ\text{C}$ 의 수온 조건이 포자의 성장에 최적 수온으로 나타났다. 배양 20일 후 측정된 각 온도구간별 성장률은 5°C 및 10°C 구간에서는 0.019~0.040를 나타내었으며, 15°C 구간에서는 0.085, 20°C 구간에서 0.110으로 최대치를 보였으며, 25°C 구간에서는 0.094를 나타내었다 (그림 20).

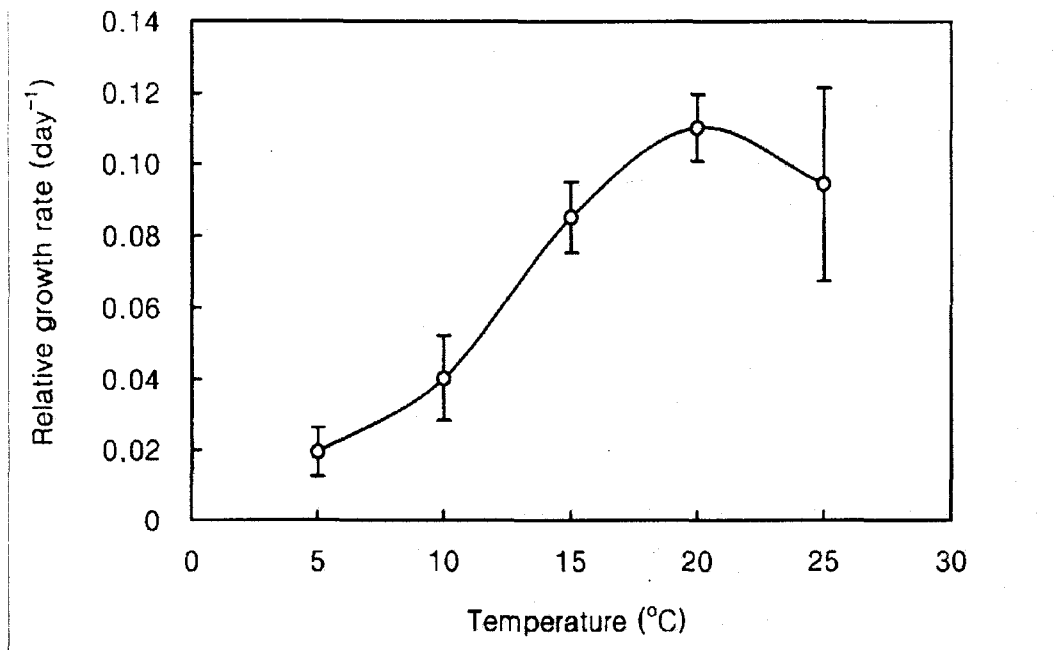


그림 20. 각 온도조건별 배양 20일 후 무절석회조류 사분포자의 성장률.

광량 구간별 납작돌잎 포자의 생장은 암조건에서 배양한 포자의 경우 배양 20일까지 엽체의 평균 직경이 $79\mu\text{m}$ 로 거의 증가하지 않았으며, 많은 수의 포자가 색소를 잃고 고사하였다. 광량 조건 $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서는 배양 10일 이후부터 빠른 성장을 보여 배양 20일 후 엽체의 직경이 평균 $516.5\mu\text{m}$ 를 나타내었다. 50과 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조건에서는 배양 15일까지 광량 조건별 성장의 차이를 나타내지 않았으나 배양 15일 이후 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광량조건에서 엽체의 직경이 $441.7\mu\text{m}$ 로 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건의 평균 엽체 직경 $498\mu\text{m}$ 보다 다소 낮게 나타났다. 납작돌잎 포자는 암조건에서는 생장이 거의 이루어지지 않았으며, $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상의 광량 조건에서는 폭넓은 광 내성을 나타내었다. 광량 구간에 따른 납작돌잎 포자의 성장률은 그림 21과 같이 암조건에서 0.007, $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 구간에서 0.104로 최대치를 보였으며, 50과 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 구간에서는 각각 0.099 및 0.089를 나타내었다.

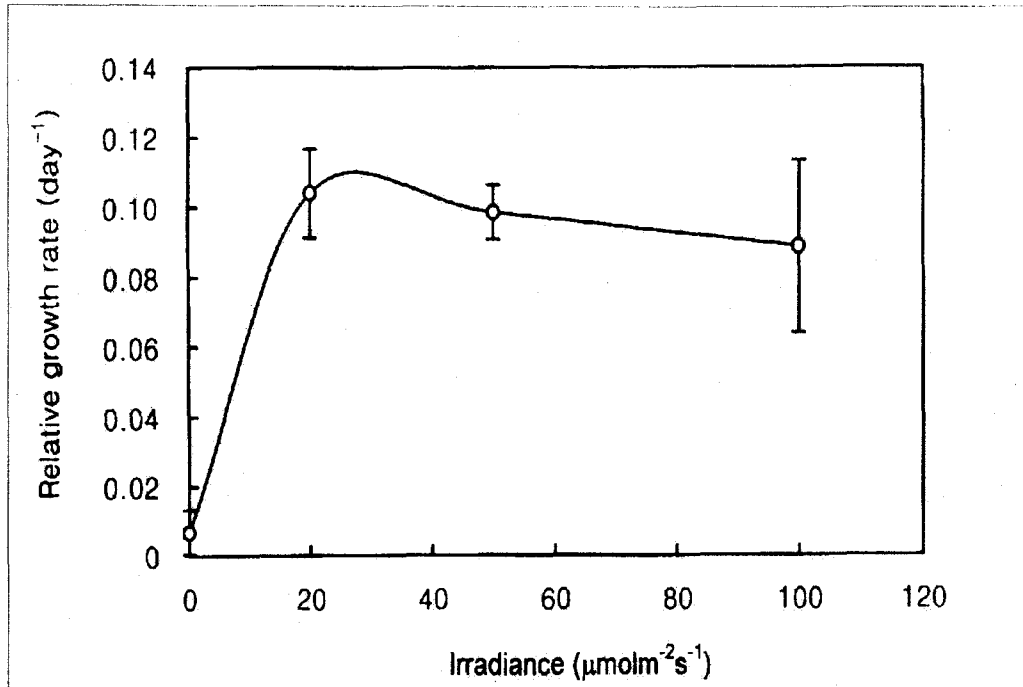


그림 21. 각 조도조건별 배양 20일 후 무절석회조류 사분포자의 성장률.

염분농도 조건별 납작돌잎의 성장률은 그림 22와 같다. 증류수를 사용한 실험 구간에서는 배양 1일 후 모든 포자가 고사하였으며, 9ppt 구간에서도 배양 15일 이후 모든 포자가 색소체를 잃고 고사하였다. 17ppt 구간에서는 포자의 분열이 관찰되었으나 역시 배양 15일 이후 모든 포자가 고사하였다. 25ppt 구간에서는 배양 20일후 성장률이 0.083이었으며, 34ppt 구간에서는 성장률이 0.123으로 최대치를 나타내었으나 43ppt 구간에서는 0.080으로 감소하였다.

매월 채집된 납작돌잎으로부터 측정된 월별 포자 방출량은 그림 23와 같이 9월에 최대 266 개/cm²의 포자를 방출하였다. 이후 10월에서 12월까지는 44~49개/cm²의 포자가 방출되었으며, 1월부터 3월까지의 포자방출이 보이지 않았고, 4월에 9개/cm²로 나타났다.

해조류의 기능형군들 가운데 각상(殼狀)의 형태는 물리적 환경의 교란에 의해 영향받기 쉬운 직립 성장형보다도 환경 적응에 유리하다 (Dethier, 1994). 즉 엽체의 수평적인 확산생장은 잦은 물리적 환경 교란이나 포자를 죽일 수 있는 극심한 생리적 환경의 교란이 있는 지역에서 생존에 유리함을 의미한다. 일반적으로 각상 해조의 환경 교란에 대한 내성은 납작한 형태로부터 기인되며, 각상의 엽체가 기질에 견고히 부착하므로써 기질로부터 완전히 제거되기 어렵고, 일단 손상된 엽체 조직도 효과적으로 재생되는 것으로 알려져 있다 (Slocum, 1980; Kitting, 1980; Littler and Littler, 1983, 1984; Littler et al., 1983; Stewart, 1989; Steneck et al., 1991).

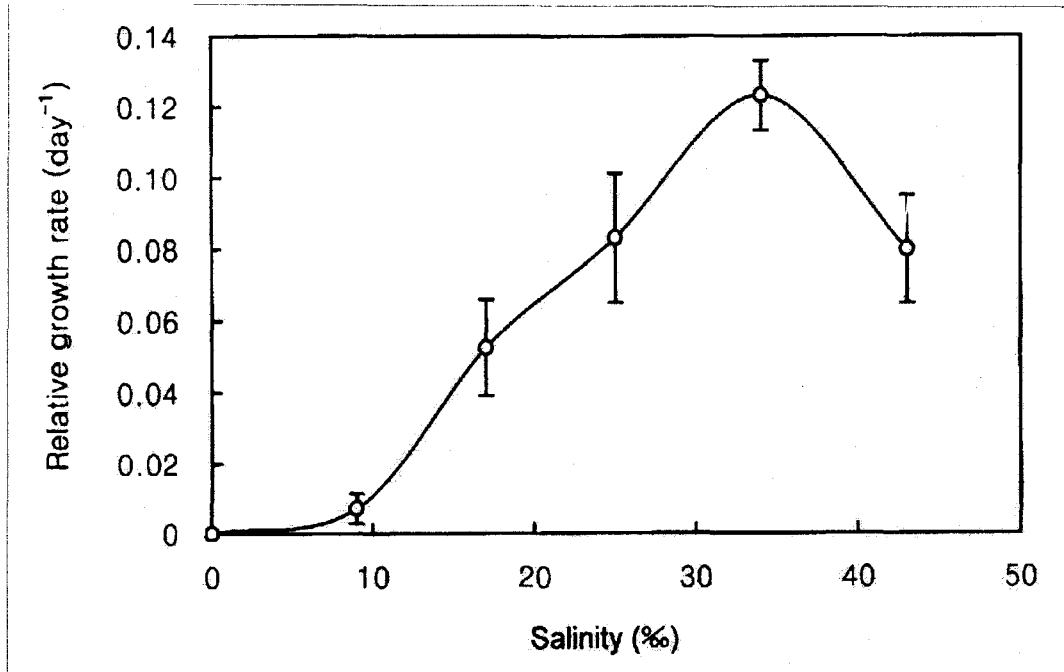


그림 22. 각 salinity 조건별 무절석회조류 사분포자의 성장률.

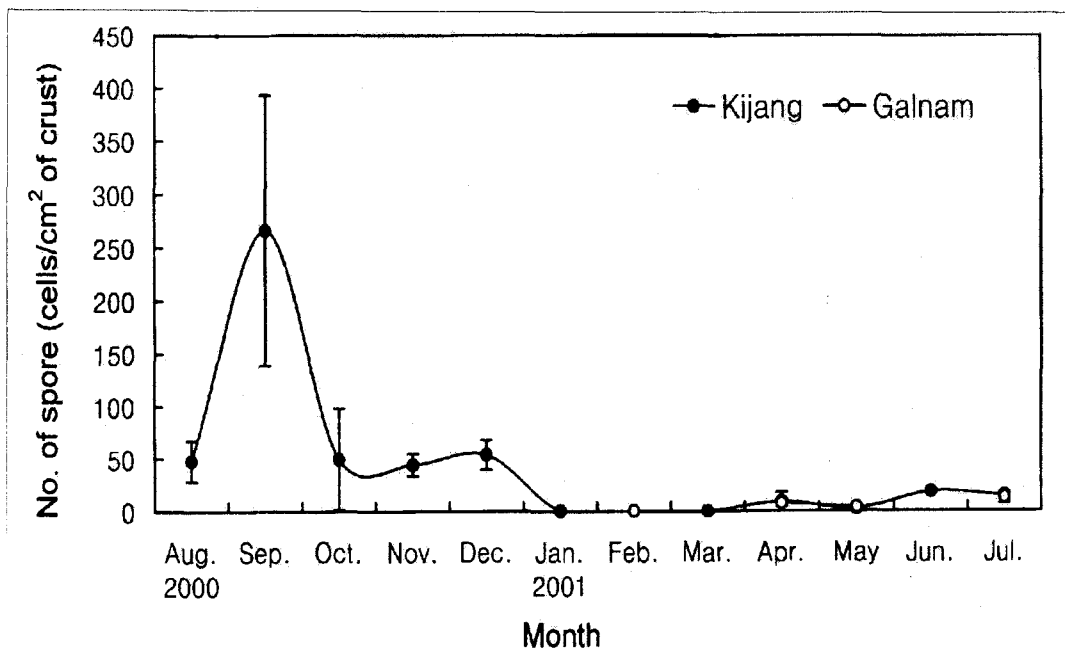


그림 23. 무절석회조류의 월별 포자방출 패턴.

지금까지 무절석회조류의 생장에 관한 연구는 열대지역 또는 한대지역에서 주로 수행되어져 왔으며, 아열대 지역이나 온대지역에서는 연구된 바가 매우 적다. 그러나 최근 온대해역 무절석회조류의 서식 면적 증가는 수산업 상으로도 큰 영향을 미치고 있다. 온대지역에서 보고된 무절석회조류의 성장률에 대한 계절성의 연구도 본래 무절석회조류 군집의 서식환경과는 크게 다른 조간대의 조수웅덩이 또는 얇은 조하대에서 수행되어왔다 (Adey and Mckibbin, 1970; Adey, 1970; Potin et al., 1990; Leukart, 1994). Leukart (1994)에 의하면 무절석회조류의 성장률은 $0.5 \text{ mm} \cdot \text{month}^{-1}$ 이하이거나 일부 두께가 얇은 종에서는 $0.75 \text{ mm} \cdot \text{month}^{-1}$ 이상이 되기도 한다고 보고하였다. 이 연구 결과 납작돌잎의 초기 배양단계에서 나타난 성장률은 $0.12 \mu\text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ 였다. 자연상태에서 측정된 성장률과 실내배양에서 나타난 성장률을 직접 비교하기는 어려우나 각 배양조건에서 나타난 성장률은 환경조건에 따라 큰 변화를 보이지 않았다. Ichiki et al. (2001)은 *L. yessoense* 성엽의 광량과 온도 조건별 광합성을 측정한 연구에서 저수온의 모든 광량 조건에서는 순광합성량이 비교적 높게 나타났으며, 보상광도와 포화광도가 고수온에서 광량 증가에 의존적으로 증가하는 것으로 나타나 *L. yessoense* 는 대형 해조의 조관층 (algal canopy) 아래의 환경에서는 잘 성장할 수 없음을 설명해 준다고 하였다.

또한 이 연구에서 *L. yessoense* 포자의 성장을 위한 적정 수온조건은 20°C 였으며, 25°C 조건에서는 생장이 저하되는 것으로 나타났는데, Ichiki et al. (2000)와 Fujita (1986)의 연구에서도 동일한 결과를 보였다. 포자의 최대 성장을 보이는 광량 조건은 종에 따라 다르게 나타났는데, *L. absimile*은 $4,600 \text{ lux}$ (ca. $92 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에서, *L. neofarlowii*는 $1,000 \text{ lux}$ (ca. $4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에서 최대생장을 보였고 (Notoya, 1976), *L. yessoense* 성엽의 경우 $83 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서, 포자의 경우 $240 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 생장이 포화되었다고 보고하였다 (Ichiki et al., 2000, 2001). 이 연구에서는 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 상대성장률이 가장 높게 나타나 기존의 연구와 비교하여 낮은 광량에서 성장률이 높게 나타났다. 이는 모조로 사용된 엽체의 서식 환경과 관련이 있을 것으로 보여진다. Notoya (1976)는 *L. neofarlowii*의 최적 염분농도가 49 ppt로 나타났으며, *L. absimile*와 *Melobesia pacifica*의 경우 34 ppt의 일반 해수의 염분농도가 최적 염분 농도라고 하였다. 이 연구에서 *L. yessoense*의 경우 역시 34 ppt의 염분농도에서 최대 성장률을 나타내었다.

Chihara (1974)는 석회조류의 포자방출 양상과 포자의 분열 방식, 포자의 발아 특성을 기준으로 하여 석회조류를 일년중 여름철에만 포자를 방출하는 *Lithophyllum* 군과 연중 지속적인 포자방출 양상을 보이는 *Lithothamnium* 군으로 대별한 바 있으나, 무절석회조류들중 많은 종류가 연중 지속적인 생식기집 (conceptacle)의 형성을 보이는 것으로 알려져 있고, *Lithophyllum neoatalayense*, *Titanoderma* sp. 및 *Porolithon* sp. 등은 연중 지속적으로 포자방출을 한다고 하였다 (Taino, 1995). 이러한 특성은 일년중 특정 시기에만 생식세포를 방출하

는 다른 해조류들에 비하여 생태적 우위를 점할 수 있는 잇점이라 할 수 있는데, Noro et al. (1983)은 *L. yessoense* 또한 연중 지속적인 생식기집 형성을 보이는 *Lithothamnium*군에 속한다고 하였고, 이 연구에서도 *L. yessoense*는 연중 계속해서 생식기집을 형성하였으며, 1월부터 3월까지의 시기를 제외한 나머지 기간동안 포자의 방출 양식을 보였다.

이러한 납작돌잎의 포자방출 양식은 갯녹음 지역의 인공어초 조성시 인공 기질을 투입하는 시기를 결정하는데 중요한 자료로 사용될 수 있다. 이는 Serisawa et al. (1998)의 연구에서도 인공 어초를 12월 및 2월에 시설한 경우 무절석회조류의 증식이 적고 유용갈조류의 증식을 유도할 수 있었다고 보고한 바와 같이, 갯녹음 지역의 인공 해중림 조성시 무절석회조류의 포자 방출 패턴을 이용하여, 주 포자 방출 시기를 피하여 인공어초를 투입하고 해중림을 조성하는 것도 인공어초 투입 효과를 높이는 한 방안이 될 것이다.

제 3 절 무절석회조와 엽상해조와의 관계

무절석회조류 이외의 엽상해조류 출현종은 유형별 특성에 따라 구분하여 사진촬영 및 스케치를 병행하였다. 이 조사에서 녹조류 11종, 갈조류 15종, 홍조류 51종, 총 77종의 조류가 분류되었으며 계절의 변화에 따라 종수와 생물량이 많은 차이를 보였다. 특히 수온이 높아질수록 엽상해조의 종수와 생물량이 줄었으며, 이때 상대적으로 무절석회조류가 더욱 번무하였다.

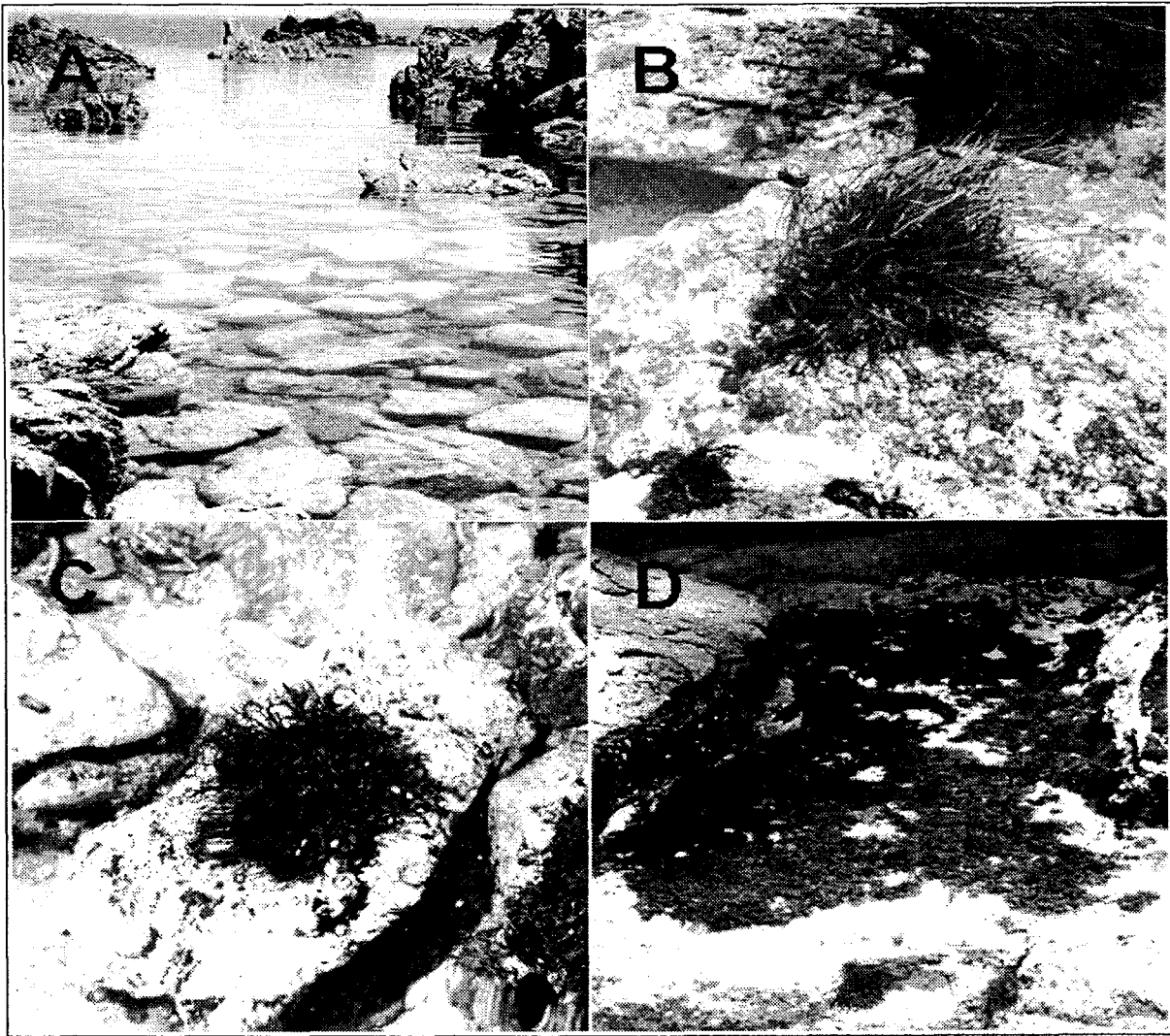


그림 24. 갯녹음 지역(삼척 갈남)에서 우점하는 대표적 해양식물. A; 무절석회조류로 완전히 파괴된 지역, B; 무절석회조류 위에 서식하는 말잘피의 모습, C; 알송이모자반의 모습, D; 참그물바탕말 군락의 모습.

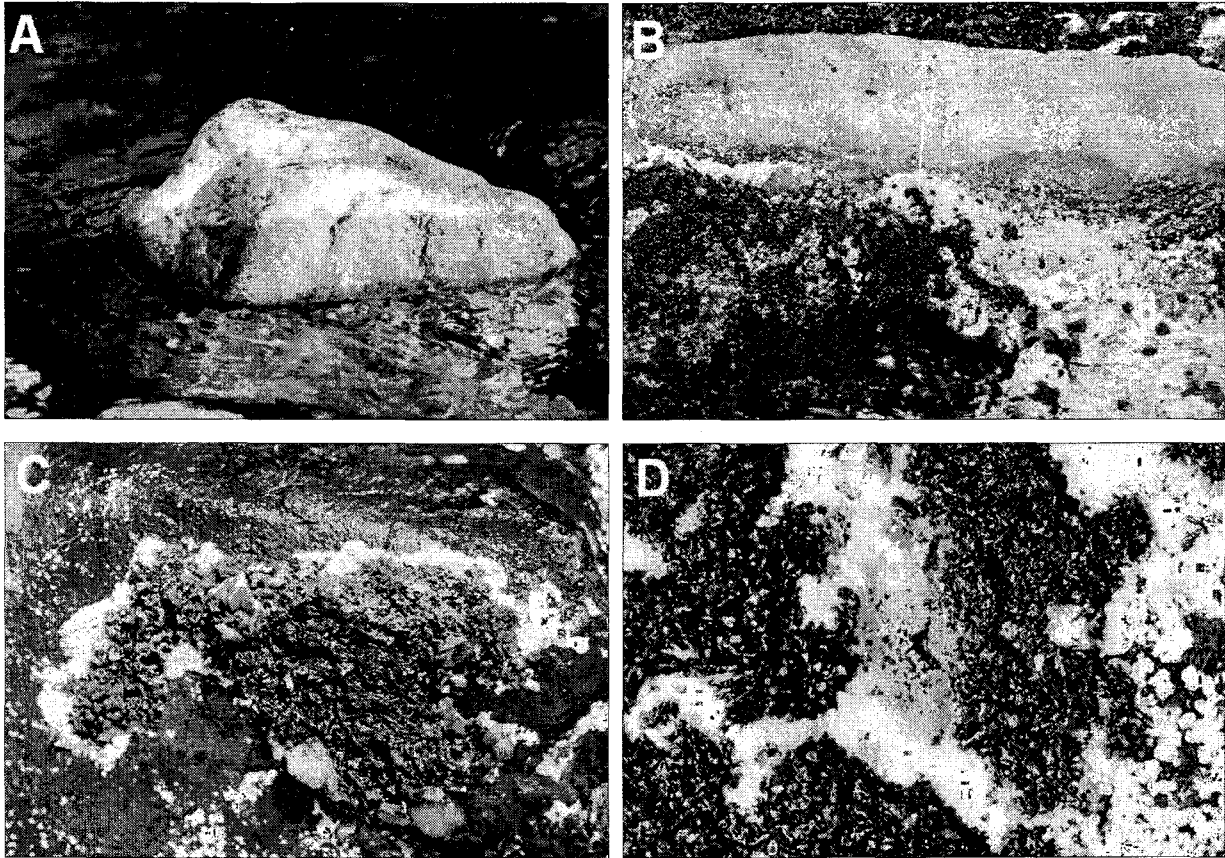


그림 25. 무절석회조류와 공생하는 그물바탕말

- A : 공기중에 노출되어 퇴색된 부분과 해수에 담기어 색택의 경계가 뚜렷한 무절석회조류
 B: 무절석회조류위를 덮고 있는 그물바탕말류 C : 그림 B의 확대모습
 D: 그물바탕말을 긁어낸 부분의 건강한 무절석회조류

갯녹음이 확산된 지역에는 무절석회조류만 분포하는 것이 아니라 소수의 엽상해조류는 석회조위에 잘 서식하고 있다. 그림 24에 A는 무절석회조류로 완전히 피복된 모습을, B는 무절석회조류 위에 말잘피가, C에서는 알송이모자반이, D에는 참그물바탕말이 특징적으로 분포하는 것을 알 수 있다. 여러 해조류 중 이들 종류는 무절석회조와 친근한 관계로 볼 수 있다. 말잘피와 모자반 종류는 생태환경에 잘 적응하는 종류이며 참그물바탕말 종류는 이 종류가 발산하는 어떤 화학물질이 있어서 초식동물에 섭이당하지 않는다고 알려져 있으며 삼척 갈남해역에는 그물바탕말 종류가 넓게 분포되어 있다. 무절석회조류와 그물바탕말의 서식에는 서로 분포에서 밀접한 관계를 보인다. 석회조류가 조간대에 노출되었을 때 홍조색과 흰색으로 뚜렷한 경계를 볼 수 있다(그림 25-A). 석회조위에 서식하는 그물바탕말을 긁어내었을 때 석회조가 홍조색을 띄어 그물바탕말로 덮혀있지 않은 것에 비해 활력이 높은 상태로 존재하고 있음

을 알 수 있다(그림 25-B~D).

무절석회조류에 부착하여 서식하는 엽상해조류의 부착방식을 구분하면 무절석회조류상에만 부착하는 경우는 청각류, 모자반류, 미역류, 그물바탕말류, 우뚝가사리류, 마디잘록이류, 서실류 등이었다. 또한 암반에 무절석회조류와 엉켜 있어서 공간경쟁을 하는 것처럼 보이는 종류는 지누아리류, 까막살류, 도박류 등으로 생각되었다. 그리고 석회조류 위에 다른 엽상해조류가 분포

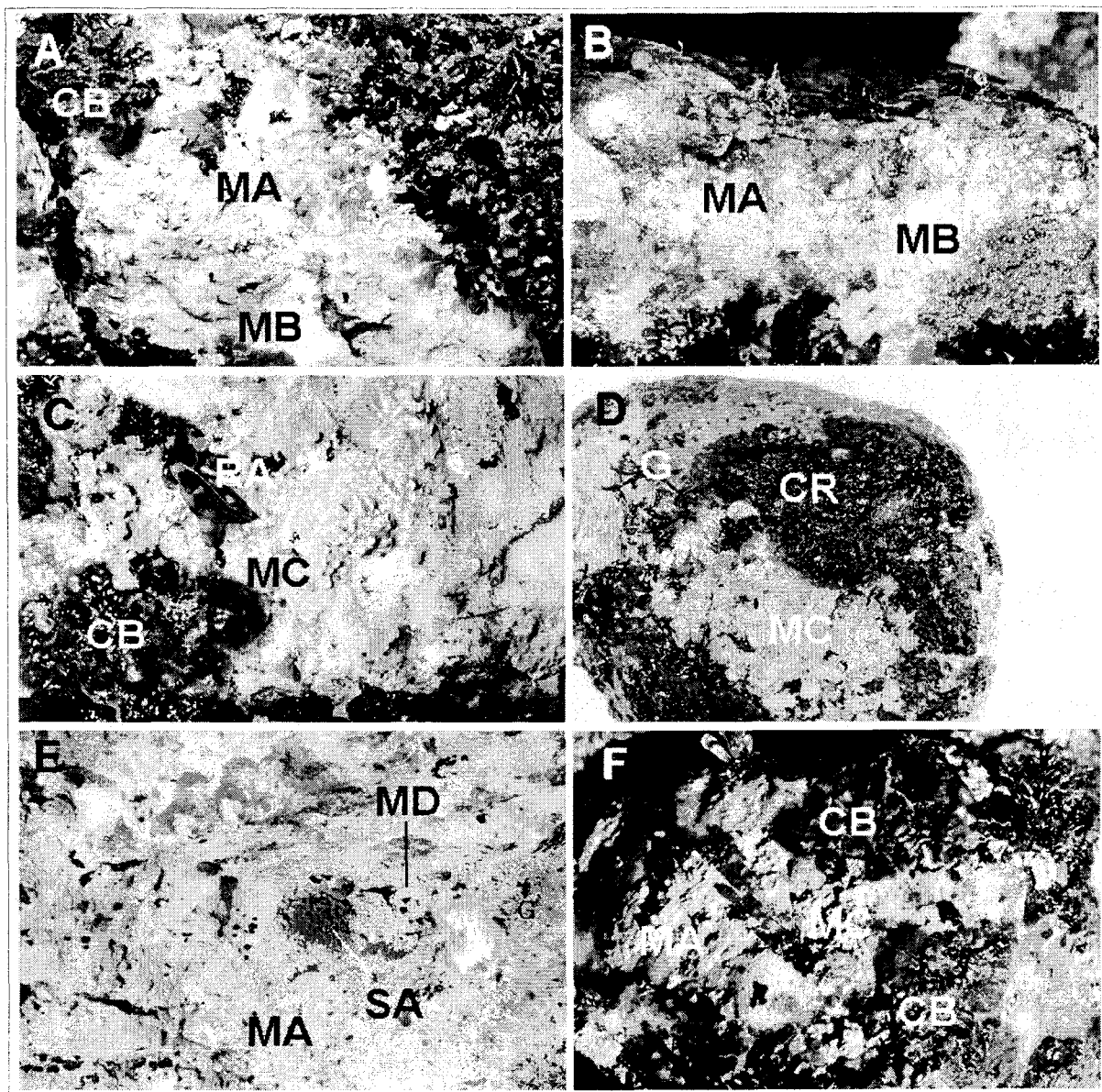


그림 26. 무절석회조류와 타해조류간의 기질의 점유 및 착생 경향.

Melobesioideae A형; MA, B형;MB, C형;MC, D형;MD, *Gigartina* sp.; G, Crustose brown alga; CB, Crustose red alga; CR, Small animal; SA, Red algae; RA.

		<p>Form that other algae are situated on crustose coralline algae that cover perfectly temper</p>
		<p>Form that crustose coralline algae investigates lower part of other algae or other algae cover upside of crustose coralline algae</p>
		<p>Form that crustose coralline algae covers upside of other algae or other algae push out lower part of crustose coralline algae</p>
		<p>Form that crustose coralline algae and position competition of other algae form homeostasis</p>

그림 27. 무절석회조류와 타해조류와의 경쟁관계 모식도.
A; 무절석회조류, B; 엽상해조류, C; 부착기질

하고 그 위에 다시 엽상해조가 부착하는 종류로 파래류, 털말류, 불레기말류, 분홍잎류, 붉은 실류, 비단풀류 등으로 관찰되었다.

생태적으로 무절석회조류와 엽상해조간의 기질점유와 착생경향을 분석하기 위해 그림 26에 나타내었다. 그림 26-A에서는 석회조류 MA와 MB가 같이 혼생하고 있으며, 그 주변에 각상홍조 중 갈색계통인 CB가 같이 서식하고 있다. 그림 26-B에서는 무절석회조류 위에 우뚝가사리의 실모양이 전체 면적을 덮고 있어 무절석회조류라 하더라도 위 우뚝가사리 위에 포자 부착의 가능성이 있음을 알 수 있다. 그림 26-C와 D에서는 무절석회조류, 각상홍조가, 그림 26-E에서는 말미잘이 특징적으로 분포하였다. 그림 26-F에서는 무절석회조류 위에 각상홍조의 분포가 뚜렷하였다. 무절석회조류와 타 해조류간의 관계는 서로 기질을 제공하는 생태적으로 좋은 관계일 수도 있으나 공간 점유의 경쟁관계일 수도 있다.

그림 27은 무절석회조류와 타해조류간 부착기질로서 점유관계를 모식도로 나타내었다. 엽상해조류가 완전히 무절석회조류 위에 분포하는 형, 엽상해조류가 무절석회조류의 저면으로 파고들거나 윗방향으로 밀어올라오는 형이 있으며, 또한 엽상해조류와 무절석회조류가 공간경쟁으로 다른 무절석회조류나 해조류가 서로 격리되어 있는 형태를 보이기도 한다.

제 3-3 장 갯녹음 해역의 초식작용

제 1 절 갯녹음역 조식동물의 분포특성

해조숲에서 갯녹음을 일으키는 생물학적 요인 중 가장 큰 원인은 조식동물의 Grazing에 의한 것으로 볼 수 있는데 일반적으로 조식동물의 Grazing은 어류와 패류 및 극피동물로 크게 나눌 수 있으며, 일본 남부해나 제주도에서는 해조류를 포식하는 어류에 의한 영향이 크게 나타나고 있지만 한국 동해안에서는 패류와 극피동물에 의한 피해가 극심하다. 갯녹음이 발생하면 성게류·고동류등의 대량 유집 현상을 볼 수 있는데 이는 무절석회조에서 발산되는 성게류·고동류의 유생을 유인하고 성장을 촉진하는 물질의 작용에 큰 영향이 있는 것으로 알려져 있다.

동해안에서 해조숲의 가장 큰 포식자로는 성게류의 둥근성게(*Strongylocentrotus nudus*), 북쪽말뚝성게(*Strongylocentrotus intermedius*), 말뚝성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*)와 불가사리(*Asterina pectinifera*), 후새류인 군소(*Aplysia kurodai*), 복족류인 밤고둥(*Chlorostoma lischkei*), 전복(*Haliotis discus hannai*)과 기타 요각류 소형 고동류를 들 수 있다(그림 28).

갯녹음지역의 부착생물을 조사한 결과 일반적으로 무절석회조류가 피복된 암반에는 소형 보라성게가 대표적으로 대량 부착되어 있으며, 소형의 고동류, 진두담치가 군집을 형성하여 있고 암반 틈새에는 우렁쉥이와 말뚝성게가 소량 분포하는 양상을 보이고 있었다. 지역별로는 비교적 갯녹음이 덜 진행된 남해에서는 에페드라게발, 작은구슬산호말, 굵은마디산호말 등 유절석회조와 무절석회조가 암반에 피복되어 있었으며, 수심이 깊어질수록 암반의 대부분이 사멸 또는 생존된 무절석회조류(Meliobesioideae)로 피복되었다. 특히 갯녹음이 심화된 해역은 과거에 미역 같은 한계절성인 1년생 해조가 군락을 형성하던 곳에서 일시적으로 발생하였다. 다년생 해조가 번무하던 곳에서는 그림과 같이 고수온에 의한 stress와 무절석회조의 포자가 대량 번식되어도 기존 서식하고 있는 해조의 부착부에 의해 침식될 수 없어 갯녹음이 발생될 수 없었다. 다만 주변의 한계절성 해조가 서식하던 곳에서만 부분적으로 갯녹음 현상이 발생되고 있었다.

갈남의 갯녹음 지역에는 둥근성게가 1m²당 3월에는 22~35마리, 6월에는 26~42마리, 9월에는 32~40마리가 대량 서식하고 있었으며, 6월을 제외하고는 수심이 낮을수록 부착 밀도가 높았고, 밤고둥은 3m층에서 27~30마리가 분포하므로 가장 밀도가 높게 나타났으며 특히 말뚝성게는 남해 지역에서는 수심 5m 수심에는 분포하지 않았으나 갈남에는 10m수심에서도 서식하는 것으로 확인되었다(그림 29).

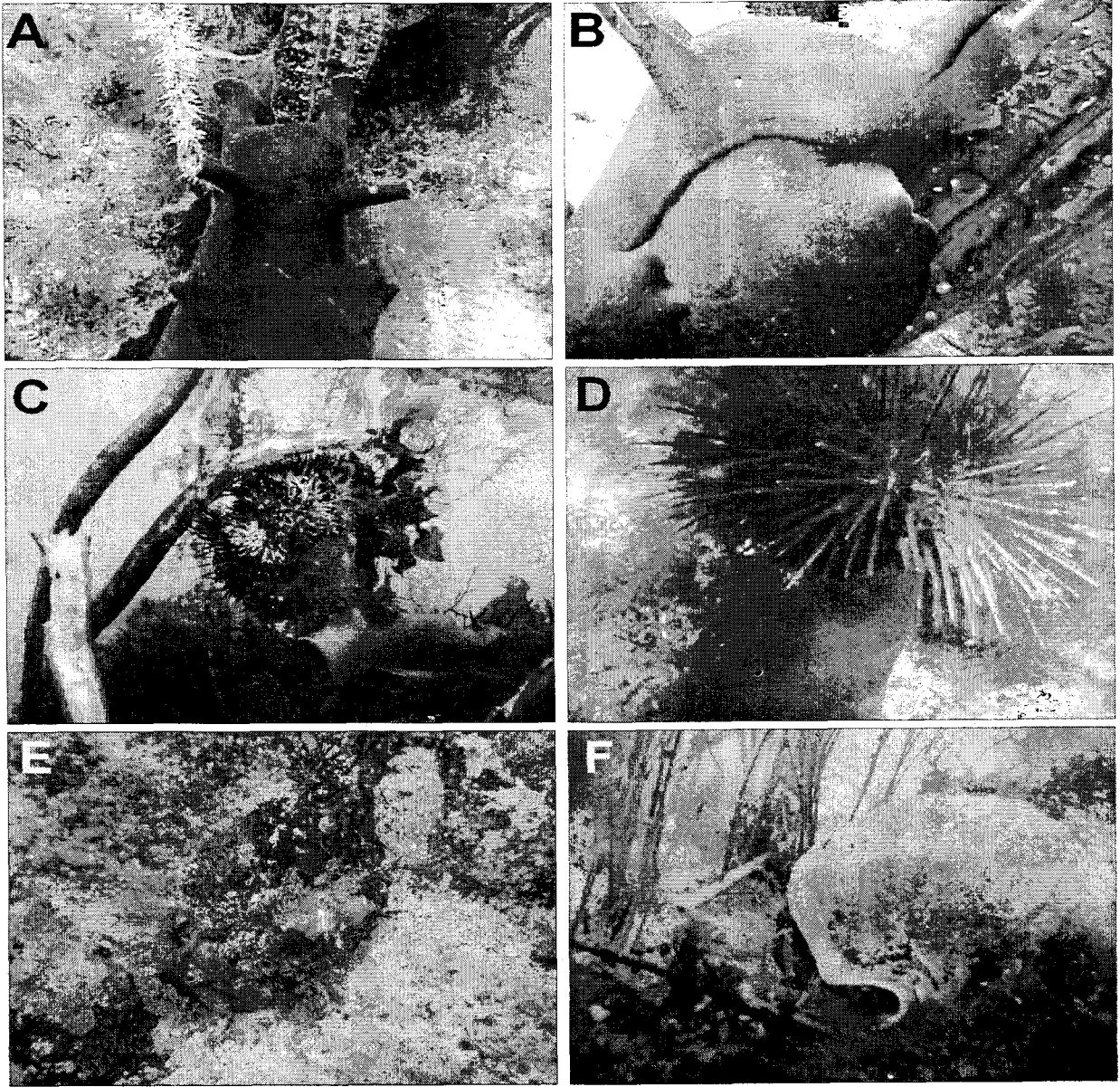


그림 28. 해조를 먹는 여러 초식자

A, B: 쇠미역을 먹고 있는 군소 C, D: 미역을 먹고 있는 성게 E: 전복 F: 고둥류

갯녹음 지역 등근성게의 각경 범위는 2.4~4.8cm의 범위였으며 주 Mode는 2.8~3.8cm 로서 2~3년생 성게가 주축을 이루고 있고, 수심별 평균 각경은 3m에서는 3.3cm, 6m에서는 3.4cm, 10m에서는 3.6cm로 수심이 깊어질수록 증가되므로 성장에 따라 깊은 곳으로 이동되었다.

한편, 양양 앞바다의 해조숲 조성해역과 갯녹음 해역에서 3, 5, 8월의 영양염 및 엽록소-a의 함량을 보면 해조숲 조성해역이 $PO_4\text{-P}$ 는 $0.022\sim 0.033\mu\text{g-at}/\ell$ 가 높았고, $NO_3\text{-N}$ 은 $0.222\sim 0.711$

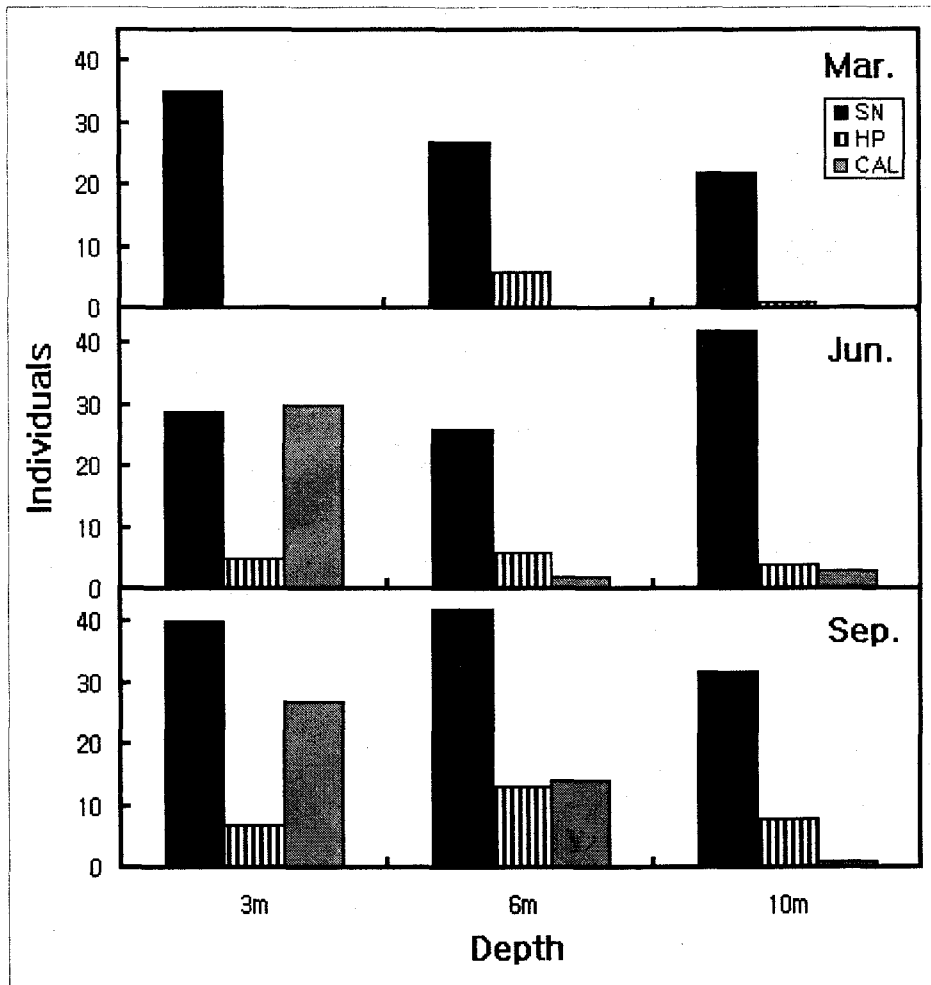


그림 29. 갯녹음 해역의 부착 생물 서식 밀도(갈남)

Chlorostoma argyrostoma lischkei : CAL (밤고둥)

Strongylocentrotus nudus : SN (등근성게)

Hemicentrotus pulcherrimus : HP (말뚝성게)

$\mu\text{g-at}/\ell$ 가 높았으므로 해조숲 조성 해역이 갯녹음 해역보다 영양염이 풍부한 것으로 나타났으며, 엽록소-a는 3월에는 해조숲 조성해역이 높고 5월과 8월에는 갯녹음 해역이 높았으므로 뚜렷한 양상을 나타내지 않았다.

조식동물의 서식 밀도는 등근성게의 경우 갯녹음 지역에서는 수심 4m내외에서는 15~20미/ m^2 , 6m층에서는 12~16미/ m^2 , 10m층이심에는 10미/ m^2 이내로 감소하며 각경의 크기도 수심이 깊을수록 대량 개체가 서식하는 특성 즉, 조간대에서는 주로 1년생 내외가 서식하지만 깊을수록 고령군이 서식을 하고 있고 밤고둥은 조간대에서 8m정도까지만 서식하고 군소는 비교적 깊은 곳에 서식하는 특성을 보였다. 또한 매월 인위적으로 해조숲 조성지역의 조식동물을 제거

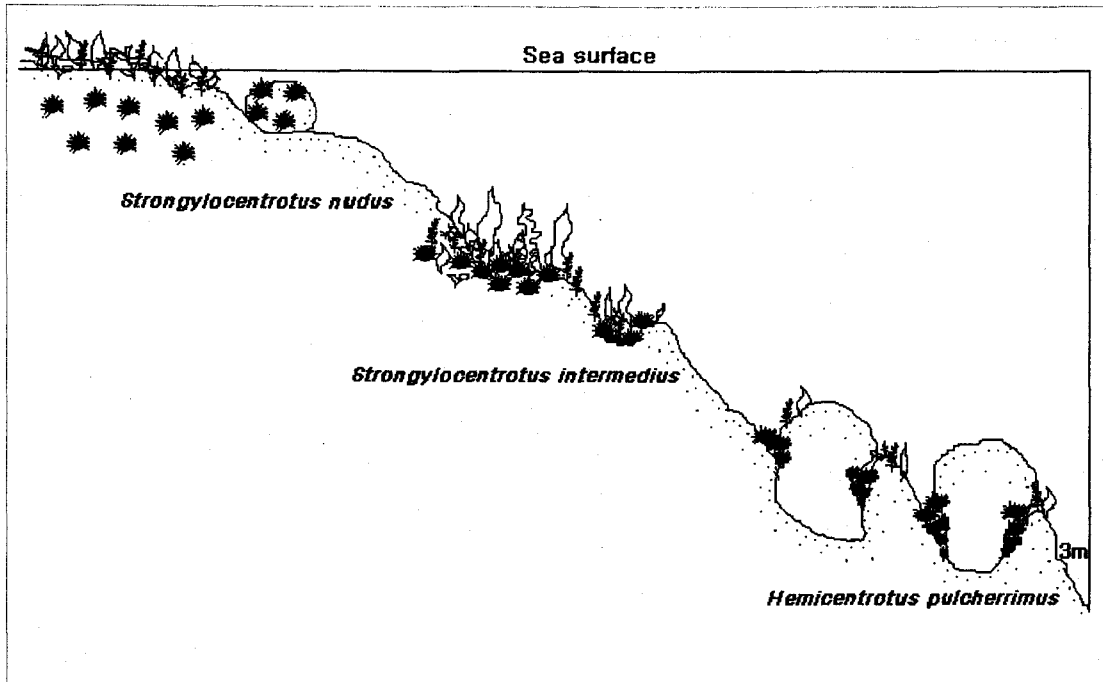


그림 30. 강원도 연안 성게의 섭이형태

Strongylocentrotus nudus: 둥근성게

Strongylocentrotus intermedius: 북쪽말뚝성게

Hemicentrotus pulcherrimus: 말뚝성게

하여도 1개월동안 3~4미가 재유입되는 과정을 겪으므로 갯녹음 연구에 있어서 조식동물의 섭이(Grazing)와 유입은 중요한 부분을 차지하고 있다.

강원도 연안 성게의 섭이형태(그림 30)에서 특히 둥근성게는 그 서식 습성이 노출성이므로 반잠입성이나 잠입성인 북쪽말뚝성게나 말뚝성게와 달리 암반의 표면 전역에 고르게 부착하여 해조류를 대량 섭식하는 가장 문제가 되는 포식자이므로 갯녹음 해역에서 조장 형성 초기에는 절대적으로 구제 및 관리 할 수 있는 방안이 강구되어야 한다. 밤고둥의 섭식량은 적지만 높은 밀도로 서식하여 해조류를 식해하므로 갯녹음을 확산시키는 주범이며, 최근에는 군소류의 과도한 식해가 큰 문제로 대두되고 있다. 군소는 후새류로서 성장과 번식력이 빠르고 포식량이 다른 동물(둥근성게 1미당 약 4g/일)에 비하여 월등히 높으므로 일시에 조장을 훼손시킬 수 있다.

제 2 절 갯녹음과 해조숲에서의 조식동물에 의한 초식압

1. 조식동물에 의한 해조섭식의 선택성과 성장

성게의 초식이 갯녹음의 원인이 된다는 것은 고전적이면서도 일반적인 사실이다. 예로써 남부 캘리포니아에서는 1990년대 초부터 1960년 사이에 대형 갈조류인 *Macrocystis pyrifera*의 숲이 점진적으로 감소하였다(Wilson et al., 1977). 즉 로스엔젤레스 주변인 Palos Verdes에서는 1911년에 약 627 ha의 숲이 있었으나, 1967년에는 전부 소실되었다. 소실의 원인은 연안오염이며, 연안오염이 증가함에 따라 두 종류의 성게인 *Strongylocentrotus fransiscanus*와 *S. purpuratus*의 개체수가 급격히 증가하였다. 즉 국지적인 오염의 증가는 성게 유생의 성장률을

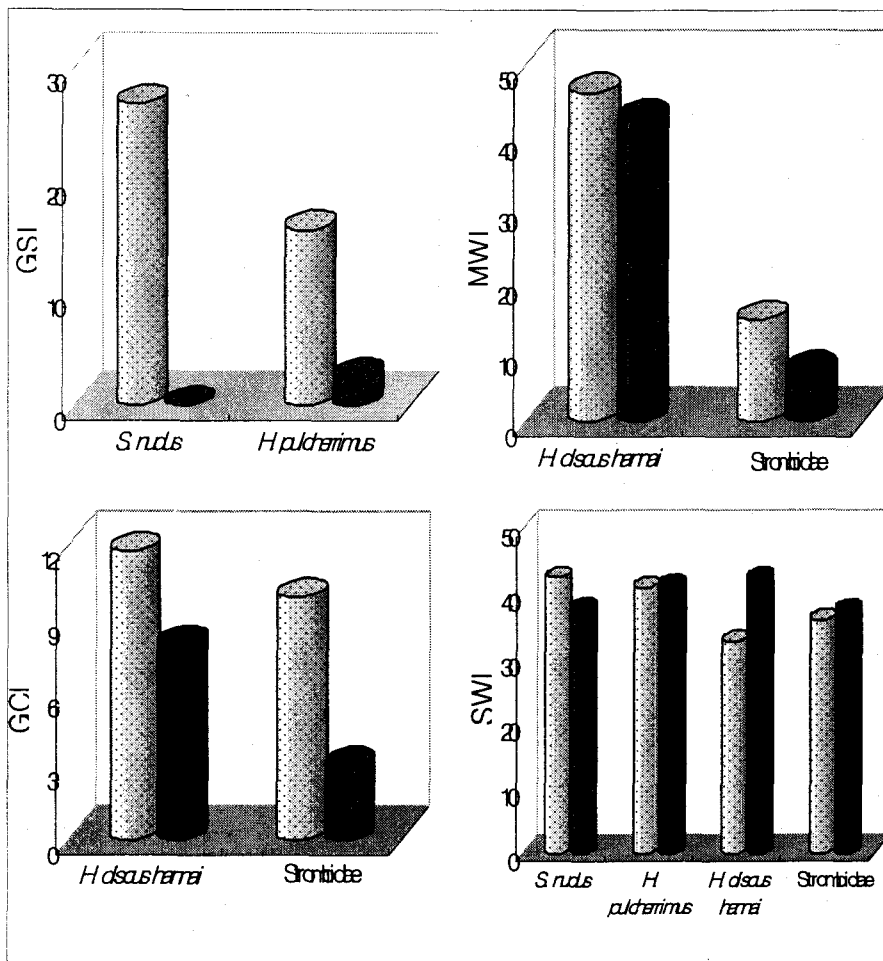


그림 31. 해조숲과 갯녹음 시험구의 조식동물 사육시험 결과.
(□; 해조숲 시험구:왼쪽, ■; 갯녹음 시험구:오른쪽)

높히게 됨으로써 정상적인 개체군 크기이상으로 개체군이 증가함으로써 과도한 초식이 이 대형 해조류의 숲을 소실하였던 주요 원인이 되었다.

실내 수조에서 다시마(엽상형 시험구)와 석회조(갯녹음 시험구)를 먹이로 하여 조식동물의 해조섭식의 선택성과 성장 비교를 위해서 실험하였다. 갯녹음이 진행된 연안과 정상적인 해조 숲 연안에서의 조식동물의 생태 변화를 조사하기 위하여 실내 수조에서 다시마(엽상형 해조류 시험구)와 석회조(갯녹음 시험구)를 먹이로 하여 9개월 간 사육한 결과는 그림 31과 같다.

Strongylocentrotus nudus(등근성게)와 *Hemicentrotus pulcherrimus*(말뚝성게)는 생식소숙도 지수(G,S,I)가 해조숲 시험구에서는 26.8과 15.6으로 나타났으나 갯녹음 시험구에서는 생식소가 없고 빈 알집만 남아 있는 상태였다. 그러나 각종량지수(S.W.I)는 큰 차이를 보이지 않았다.

Haliotis discus hannai(참전복)과 *Strombidae*(밤고둥과)의 소화관중량지수는 해조숲 시험구에서 1.5~3.3배 높았고 각종량지수는 갯녹음 시험구가 높았으며 육중량지수(M.W.I)는 해조숲 시험구가 전복은 1.1배 밤고둥은 2배 높게 나타났으므로 갯녹음 해역 보다 해조숲 해역이 성게의 생식소와 패류의 육질부가 많은 것으로 나타났다.

사육기간 중 폐사율은 그림 31과 같이 등근성게는 사육기간 8개월까지 시험구간 차이가 없었고 등근 성게는 5개월부터 폐사가 시작되었으나 두 시험구 모두 큰 폐사는 일어나지 않았다. 전복은 해조숲 시험구는 20%, 갯녹음 시험구는 83%의 폐사가 일어났고 밤고둥은 해조숲 시험구가 50%, 갯녹음 시험구가 93% 폐사됨으로서 석회 조류를 섭식한 동물은 다시마를 섭식한 동물보다 폐사가 심하고 활력이 없는 것으로 나타났다.

초식동물이 섭이에 대한 영향 분석에서 남해 연안에서 성게의 조류별로 서식하는 습성을 조사하였다. 저질형태에 따른 분포 양상은 노출 암반과 연결된 얕은 암반지대로서 해조가 비교적 번무한 곳에는 등근성게, 새치성게의 소형군과 말뚝성게가 혼합 서식하였고, 직경2~3m정도의 대형 전석(轉石)이 산재하고 해조가 없는 곳에는 등근성게가 대량 서식하였다. 또한 요철형 대형 암반이 연결되고 암반 위쪽에 해조가 소량 서식하는 곳에는 등근성게, 새치성게가 혼합 서식하였으며 모래와 대형암반으로 형성된 지역에서는 보라성게만 서식하였다. 이들 성게의 주요 서식특성을 종류별로 정리하여 도시하면 그림 32와 같이 3개 유형으로 뚜렷하게 구분된다.

2. 탄소안정동위원소에 의한 초식압 분석

동해안 연안의 해조숲 조성 수역과 갯녹음 수역 암반으로부터 채집된 식물에 대한 탄소 안정동위원소 분석결과를 나타내었다. 동물 생체의 탄소 안정동위원소 조성은 그들의 먹이의 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 그대로 반영한다. 어떤 동물 생체의 $\delta^{13}\text{C}$ 값으로부터 그 동물이 실제로 이용·동화한 영양원을 비교적 간단하게 평가하였다.

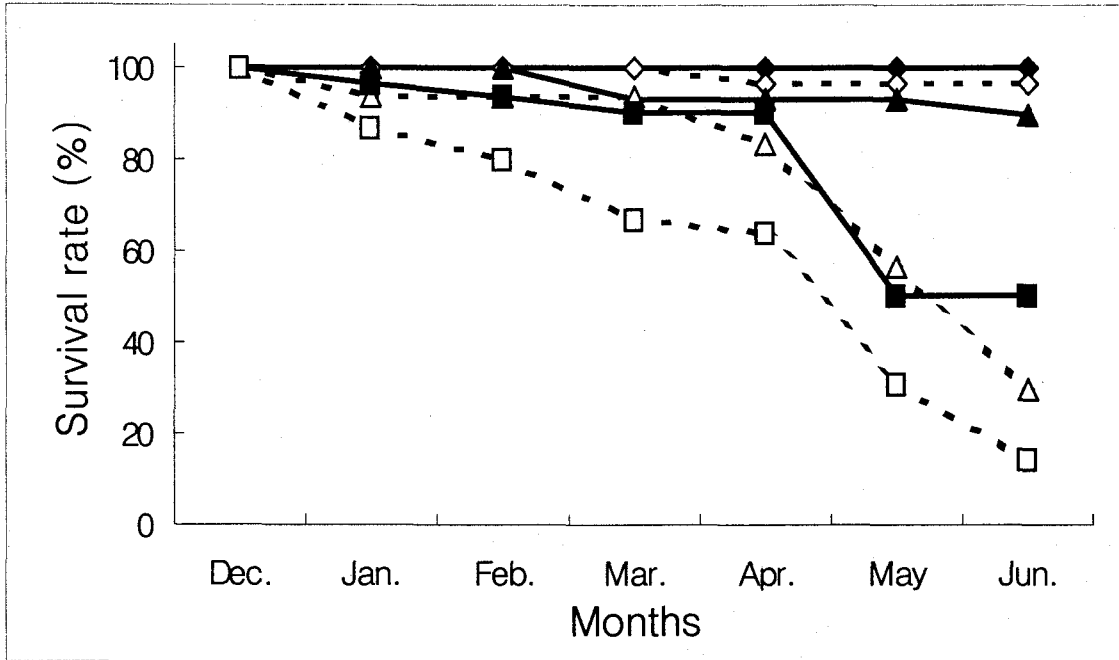


그림 32. 해조숲과 갯녹음 시험구의 조식동물 폐사율.
 해조숲 (◆; *Strongylocentrotus nudus*, ▲; *Haliotis discus hannai*, ■; Strombidae),
 갯녹음 (◇; *Strongylocentrotus nudus*, △; *Haliotis discus hannai*, □; Strombidae)

동해안 연안의 해조숲 조성 수역과 갯녹음 수역 암반으로부터 채집된 식물과 동물에 대한 탄소 안정동위원소 분석결과를 표 14에 나타내었다. 대형 해조류는 탄소 안정동위원소비 ($\delta^{13}\text{C}$)값의 분포는 우뭇가사리의 -34.9% 부터 떡청각의 -7.0% 에 이르는 비교적 넓은 범위를 나타내었다. 식물플랑크톤의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 해양 식물플랑크톤에서 일반적으로 측정되는 범위 내에 포함되는 -20.3% 으로 대형 해조류 값들의 중간에 위치하는 값을 나타내었던 반면, 암반 표면의 부착성 저서미세조류는 -16.3% 로 상대적으로 무거운 원소인 ^{13}C 가 다소 축적된 양상을 나타내었다. 한편, 갯녹음이 일어난 암반의 흑돌잎과 매끈돌잎의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 각각 -6.8 과 -6.1% 로 해조숲의 다른 식물군에 비하여 ^{13}C 의 높은 축적을 나타내어 뚜렷이 구분되었다. 각 영양단계에서 일어나는 안정동위원소 분별효과는 0.9% 이내인 것으로 알려져 있다. 동물이 어떤 먹이를 섭취했을 때, 소화관 내에서 이화와 동화과정을 겪는 동안 그것들의 특성이 완전히 바뀌어 그 기원을 알 수가 없는 반면, 화합물 내에서의 원소조성은 그대로 유지되어 안정동위원소 비값은 그대로 보존된다는데 근거를 두고 있다.

표 14는 본 조사에서 해조숲 조성 해역과 갯녹음 해역의 암반에서 채집된 동물의 탄소 안정동위원소 비값의 분포를 나타낸 것이다. 미더덕, 우렁쟁이 및 군수와 같은 부유물 섭식자 (suspension-feeders)의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 해조숲 조성 암반이나 갯녹음 암반 모두 유사한 값으로 $-22.6 \sim -20.2\%$ 의 범위를 나타내었다. 이 범위는 식물플랑크톤의 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 잘 반영하고 있어, 수중의

부유물을 여과하여 먹이를 섭취하는 이들의 먹이 섭성에 따라 수중의 식물플랑크톤이 이 동물군들에 주로 이용된다는 것을 의미한다. 한편, 밤고등과 성게류와 같은 초식동물 (herbivores) 들의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -17.2 ~ -11.3‰ 범위로 해조숲 조성 암반이나 갯녹음 암반에서 채집된 개체들 사이에 뚜렷한 차이가 발견되지는 않았다. 이들 동물군에서 나타나는 이와 같은 $\delta^{13}\text{C}$ 값 범위는 1) 다양한 대형해조류의 혼합 섭식이나 2) 전형적으로 이 범위값과 유사한 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 갖는 특정 해조류에 대한 높은 섭이율을 반영할 수 있을 것이다.

본 연구에서 나타난 부착 미세조류의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -16.3‰로 나타났고 각 영양단계에서 일어나는 ^{13}C 의 축적효과 0.9‰를 고려한다면 이들 초식동물의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 부착 미세조류에 대한 섭이와 함께 이와 같은 효과를 잘 반영한다고 할 수 있다. 그러나, -11.3‰과 같이 다소 높은

표 14. 해조숲과 갯녹음 암반에 서식하는 주요 식물과 저서동물의 $\delta^{13}\text{C}$ 값 분포.

Site	Species	$\delta^{13}\text{C}$, ‰		Species	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	
		24 March 2001	7 August 2001		24 March 2001	7 August 2001
Seaweed bed (Samchuk)	<i>Gelidium amansii</i>	-18.6	-34.9	Trochidae	-15.1, -17.2	-16.4, -15.1
	<i>Gelidium pusillum</i>	-32.6		<i>Haliotis discus hannai</i>	-19.1, -19.7	-19.1, -19.7
	<i>Cladophora pusilla</i>	-23.9		<i>Strongylocentrotus nudus</i> (viscus)	-18.2, -14.1	-17.1
	<i>Acrosorium polyneurum</i>	-23.3		<i>S. nudus</i> (gonad)	-38.8	-17.7, -18.7
	<i>Sargassum siliquastrum</i>		-20.9	<i>S. intermedius</i> (viscus)	-11.2	-13.5
	<i>Agarum cribrosum</i>		-20.5	<i>S. intermedius</i> (gonad)	-37.1	-17.4
	<i>Sargassum micracanthum</i>	-19.4		<i>Asteriana pectinifera</i>		-14.2
	<i>Undaria pinnatifida</i>	-17.8	-19.2	<i>Styela clava</i>	-22.5, -22.6	-21.2
	<i>Cladophora japonica</i>		-16.2	Aplysiidae	-20.4	
	<i>Dictyota divaricata</i>	-18.5		<i>Halocynthia roretzi</i>	-21.7	-21.5
	<i>Cladophora albida</i>	-18.3				
	<i>Ulva pertusa</i>	-16.7				
	<i>Grateloupia sparsa</i>	-15.9	-17.2			
	<i>Laminaria japonica</i>	-15.5				
	<i>Codium barbatum</i>		-9.9			
	<i>Codium adhaerens</i>	-10.5	-7.0			
	<i>Colpomenia sinuosa</i>	-8.3				
	microalgae		-16.3			
	phytoplankton		-20.3			
	Barren ground	<i>Lithophyllum thuretii</i>		-6.8	Trochidae	-13.6
<i>Lithophyllum yessoense</i>			-6.1	<i>Haliotis discus hannai</i>	-18.4	
				<i>Strongylocentrotus nudus</i> (viscus)		-11.3, -14.9 °
				<i>Strongylocentrotus nudus</i> (gonad)	-15.4	-15.3
				<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> (viscus)		-15.6
				<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> (gonad)		-17.1
				<i>Asteriana pectinifera</i>		-11.6
				<i>Styela clava</i>		-20.2
			<i>Halocynthia roretzi</i>	-20.6		

$\delta^{13}\text{C}$ 값을 갖는 개체에 대해서는 부착 미세조류에 대한 이들의 섭이만으로 설명하기는 어렵고, 그 외에도 더욱 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 갖는 다른 해조류의 일부 기여를 함께 고려해야만 할 것 같다. 결과적으로, 갯녹음 암반과 해조숲 암반 초식동물 사이의 유사한 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 이와 같은 부착 미세조류에 대한 초식동물들의 높은 섭이율을 반영할 것 같다.

성게류의 생식소에서는 다른 체 기관에 비하여 훨씬 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타내었는데, 체성분 중 지방 (lipids)은 단백질과 탄수화물에 비하여 약 6‰ 정도 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타내는 것으로 알려져 있어, 본 연구에서 생식소에서의 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 먹이의 섭이 효과라기보다는 생식소에서의 높은 지방 함량에 따라 나타나는 효과로 판단된다. 한편, 전복의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 다른 초식동물에 비하여 다소 낮은 -19.7 ~ -18.4‰의 비교적 좁은 범위를 나타내었는데, 이와 같은 결과는 전복에 의한 미역류나 모자반류 해조류의 높은 이용을 반영하는 듯 하였다.

제 3-4 장 무절석회조의 색소조성, 색소단백질과 광합성 특성

제 1 절 무절석회조의 색소조성과 색소단백질 분석

1. 서론

조류 광합성에는 엽록소, 피코빌린-단백질, 그리고 카로티노이드라는 세 종류의 색소들이 관여하고 있다 (Lobban and Harrison, 1994).

이중 피코빌린 단백질은 홍조와 남조 및 크립토조의 특징적인 색소이다. 피코빌린 단백질은 색소부분인 피코빌린 (길다란 tetrapyrroles)을 가지고 있는데, 이는 여러 가지 조합방식으로 단백질 복합체와 결합하고 있다. 피코빌린 색소 중 주요한 두가지로는 피코에리스로빌린 (적색)과 피코시아노빌린 (청색)을 들 수 있다. 단백질 복합체는 항상 두 개의 서로 다른 폴리펩티드 사슬 alpha와 beta를 가지는데 보통 1:1의 비율로 들어있으며, 피코빌린단백질 내에는 각각 6개까지의 사슬이 들어 있다. 피코빌린단백질 중 피코에리스린 계열(PE)은 녹색부위 (495-570 nm)를 흡수하고 alpha 사슬에는 두 개의 피코에리스로빌린 분자가 beta 사슬에는 네 분자가 있다 (두개의 PEs에는 세 번째의 피코빌린을 갖는 피코유로빌린이라고 하는 세 번째의 폴리펩티드가 있다). 피코에리스린에는 세 타잎이 있다. R-피코에리스린과 B-피코에리스린은 홍조에 존재하며, C-피코에리스린은 남조류에 존재한다. 피코에리스린의 보결원자단은 피코에리스로빌린으로서 그 구조는 완전히 구명되었다. 피코에리스린은 홍조에서 가장 대표적인 색소이지만 피코시아닌을 유일한 색소로 가지고 있는 *Porphyridium aeruginum*에서는 찾아볼 수 없다. 남조와 크립토조에서는 이들은 피코시아닌 및 알로피코시아닌에 비하여 상대적으로 낮게 나타난다. 그들은 피코빌리솜이라는 작은 입자에 위치하며 이는 엽록체 라멜라와 인접하여 있다.

R- 및 B-피코에리스린은 피코에리스로빌린과 피코유로빌린이라는 두 개의 보결원자단을 가지고 있는 것이 명백하다. 이들은 R-피코에리스린에서는 2:1의 비율로 B-피코에리스린에서는 6:1 정도의 비율로 존재한다. 495에서 500 nm의 부위에서의 흡수의 강도는 존재하는 피코유로빌린의 양을 반영한다. 면역학적인 방법에 의하여 조사한 결과 B-피코에리스린은 다른 식물에서의 피코에리스린과 관계가 있지만, 피코시아닌이나 알로피코시아닌과는 관련이 없다. 원래 C-, B- 그리고 R-과 같은 문자는 각각 Cyanophyceae, Bangiales, 그리고 Rhodophyceae (Bangiales를 제외한)의 머릿글자에서 따온 것이다. 더욱 연구를 한 결과 이 관계는 전적으로

타당한 것은 아니라는 것을 알게되었으며, 위에 논의한 것과 마찬가지로 이제는 서로 다른 특징적인 흡수 스펙트럼을 갖는 색소를 나타내게 되었다(Goodwin, 1974).

피코시아닌에도 세 타잎이 있다. R-피코시아닌은 홍조에 존재하며, 이외에 C-피코시아닌과 알로피코시아닌이 있다.

피코시아닌(PC)과 알로피코시아닌(APC)은 통상적으로 각 단백질 사슬 당 하나의 피코시아노빌린을 갖는다. 피코시아닌은 녹-황색 부위 (550-630 nm)를 흡수한다. 그리고 알로피코시아닌은 오렌지-적색 부위 (650-670 nm) 부위를 흡수한다. 이들 색소의 대표적인 흡수 스펙트럼은 그림 4.1에서 볼 수 있다. 홍조의 R-피코시아닌은 C-피코시아닌과는 함께 나타나지 않는 것이 명백하다. 그것은 결정화되었다. 그것은 피코에리스로빌린과 피코시아노빌린을 동시에 가지며, 553nm에서 극대를 갖는 파장대는 피코에리스로빌린 때문에 615에서 극대를 갖는 파장대는 피코시아노빌린 때문에 나타난다. 한 분자의 색소단백질 당 피코시아노빌린의 양이 피코에리스로빌린에 비해 3배 더 많다.

색소의 배열은 에너지 전달 경로와 병행하는데, 에너지는 파장에 역비례하기 때문에 색소 스펙트럼으로 PE→PC→APC→chlorophyll.로의 전달이 가능하다 (Govindjee and Braun 1974).

갯녹음의 원인종인 무절석회조 매끈찍(*Lithothamnion muelleri*)은 야외관찰 결과 환경과 발생단계에 따라 진한 홍색, 연홍색, 연두색, 백색 등의 다양한 색깔을 띠는 것으로 나타났으며, 이는 색소의 조성이 다르다는 사실을 드러내는 것으로 볼 수 있다.

본 보고에서는 앞으로 광합성 특성에 대해 살펴보기 전에 우선 기준이 되는 색소조성과 특성을 밝히고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 색소의 정제

2001년 7월에 강원도 삼척시 후진에서 돌에 부착한 무절산호류인 매끈찍을 채집하여 액체 질소에 보관한 후 이를 재료로 사용하였다. 갯녹음 원인조류의 분말 3.21g에 7ml의 마쇄용액 (50 mM Bicine, 1 mM EDTA, pH 8.0)을 가하여 막자사발에서 마쇄하였다. 추출액을 12,000g에서 20분간 원심분리하여 얻은 상등액 6.3ml을 얻은 후, 부유물을 제거하기 위하여 다시 12000g에서 15분간 원심분리하여 5ml의 상등액을 얻었다. 상등액은 마쇄용액으로 평형화된 Toyopearl DEAE-650M column(1.5×15 cm)에 얹었다. 염농도의 기울기는 0.1~0.18 M NaCl을 사용하였으며, 1ml씩 분획한 후 565nm에서 흡광도를 측정하였다.

나. 색소의 함량과 분석

엽록소 a의 함량은 원심분리 후 남은 침전물을 DMSO를 이용하여 엽록소를 추출한 후 Harborne(1973)의 방법으로 계산하였다. 피코빌린계 색소의 양은 田宮·渡辺(1965)의 방법에 따라 계산하였다.

색소의 종류를 확인하기 위하여 색소의 흡광도 및 단백질의 함량으로 피크를 확인한 후 각 피크의 흡수 스펙트럼과 형광스펙트럼을 측정하였다. 흡수스펙트럼은 Uvikon 922 spectrophotometer (Kontron Instruments, Italy)을 사용하여 실온에서 300nm에서 700nm까지 주사하여 구하였다. 형광스펙트럼은 F-2000 fluorescence spectrophotometer (Hitachi Instruments, Japan)를 사용하여 측정하였다. 이때 피크1의 경우에는 512nm로, 피크2의 경우에는 545nm로, 피크3의 경우에는 545nm로, 피크4의 경우에는 308nm의 광을 투입하여 방출되는 형광량을 측정하였다.

각 분획의 단백질의 함량은 Bradford(1976)법을 사용하여 측정하였다.

다. 색소의 분자량과 소단위체 구성

각 색소의 자연상태의 분자량을 알아보기 위하여 Sephacryl S-300 겔 크로마토그래피(1.5 × 75 cm)를 이용하였다. 이때 유속은 0.5mL/min로 하여, 1ml씩 분획하였다. 단백질 분자량 표준시약으로는 Sigma사의 MW-GF-1000 KIT를 사용하였다. 표준단백질의 분자량과 V_e/V_o 사이의 회귀분석을 통하여 각 색소의 자연상태의 분자량을 추정하였다.

각 색소의 소단위체 구성은 Laemmli의 방법을 변형한 10% SDS-아크릴아마이드 겔 전기영동을 이용하여 조사하였다. 단백질 분자량 표준시약은 SeeBlue™ Pre-Stained Standard를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

조류 광합성에는 엽록소, 피코빌린-단백질, 그리고 카로티노이드라는 세 종류의 색소들이 관여하고 있다 (Lobban and Harrison, 1994). 이 중 피코빌린 단백질은 홍조와 남조 및 크립토조의 특징적인 색소이다. 피코빌린 단백질은 색소부분인 피코빌린 (길다란 tetrapyrroles)을 가지고 있는데, 이는 여러 가지 조합방식으로 단백질 복합체와 결합하고 있다. 피코빌린 색소 중 주요한 두가지로는 피코에리스로빌린 (적색)과 피코시아노빌린 (청색)을 들 수 있다. 단백질 복합체는 항상 두 개의 서로 다른 폴리펩티드 사슬 alpha와 beta를 가지는데 보통 1:1의 비율로 들어 있으며, 피코빌린단백질 내에는 각각 6개까지의 사슬이 들어 있다.

색소의 배열은 에너지 전달 경로와 병행하는데, 에너지는 파장에 역비례하기 때문에 색소

스펙트럼으로 PE→PC→APC→chlorophyll.로의 전달이 가능하다 (Govindjee and Braun 1974). 갯녹음의 원인종인 무절석회조 *Lithophyllum* sp.은 야외관찰 결과 환경과 발생단계에 따라 진한 홍색, 연홍색, 연두색, 백색등의 다양한 색깔을 띠는 것으로 나타났으며, 이는 색소의 조성이 다르다는 사실을 드러내는 것으로 볼 수 있다.

본 보고에서는 앞으로 환경 및 발생단계에 따른 색소의 조성과 광합성 등 기능을 살펴보기 전에 우선 기준이 되는 색소조성을 밝히고자 하였다. 엽록소는 피코빌리단백질을 추출하기 위한 수용액에서는 전혀 용해되지 않았으며 상등액을 dimethylsulfoxide로 추출한 결과 농도는 122.7 μ g/g으로 나타났다.

수용성 추출액을 이온교환수지를 사용하여 용리시켰을 때, 염농도가 높아지기 시작하면서 윗쪽은 분홍, 아래는 연보라의 두가지 색으로 나뉘어 보이던 band 중 아랫것은 먼저 늘어지면서 떨어졌고, 그 후에 윗쪽의 밴드가 떨어지기 시작하였으며 매우 늘어져서 나왔다. 일반단백질은 염농도 기울기를 주기 이전에 거의 다 떨어져 나왔으나, 색소는 용리되지 않았다. 0-0.225M의 염농도 기울기를 준 뒤 각각 0.058 M, 0.103 M, 0.165 M에 해당하는 31, 55, 88번 분획에서 피크가 검출되었다. 이중 첫번째 피크와 세번째 피크는 비교적 뚜렷하게 검출되었는

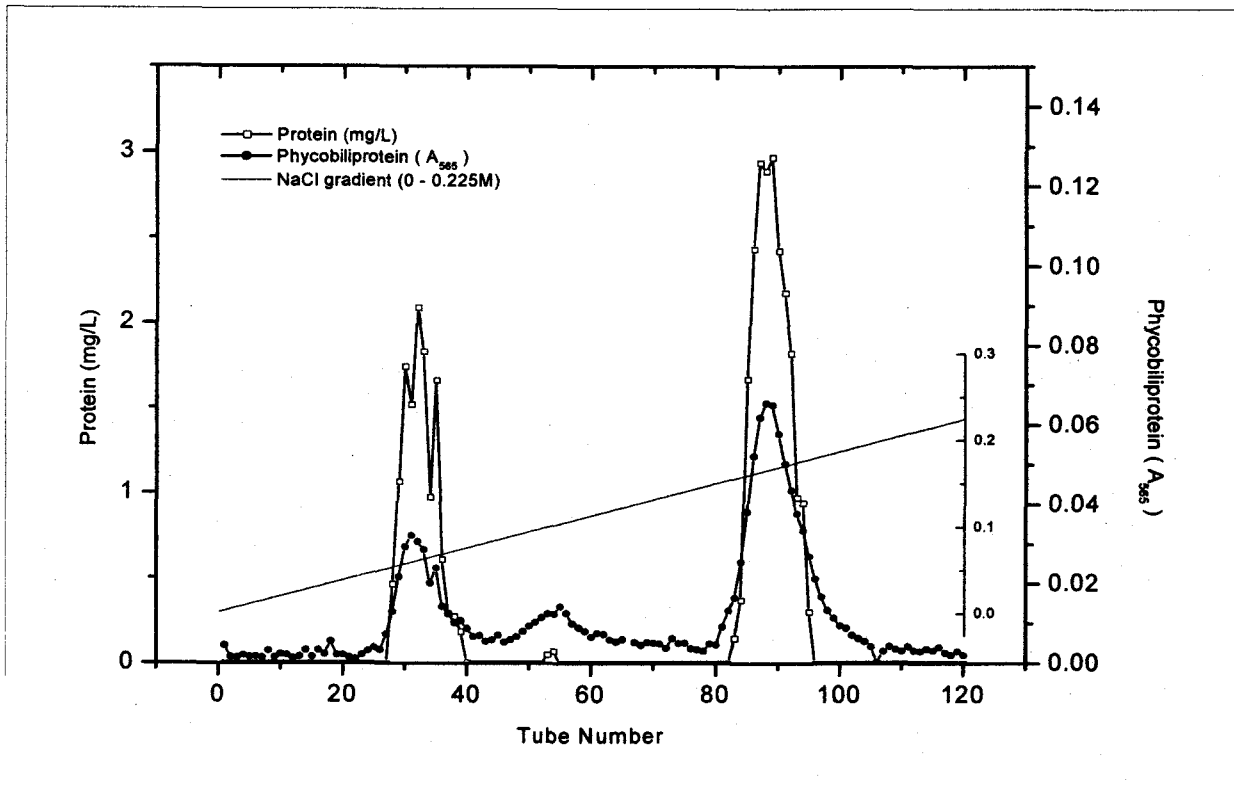


그림 33. 색소단백질의 Toyopearl DEAE-650M 이온크로마토그래피. column의 크기는 1.5×12 cm이었고, 0.1 - 0.225 M NaCl gradient를 사용하여 1ml씩 분획한 후 565nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 분획의 단백질의 함량은 Bradford(1976)법을 사용하여 측정하였다.

데 비해 두번째 피크는 미약하게 검출되었다(그림 33).

첫 번째 피크의 색소단백질은 498nm와 544nm, 그리고 555nm에서 최대흡광도를 나타내었으며, 570 nm에서 최대형광을 나타내었다(그림 34). 이로 미루어보아 이 색소단백질은 B-피코에리스린으로 판단되었다. B-피코에리스린의 최대흡광도는 498nm, 545nm, 및 563nm (Lüning 1990), (500nm), 545nm 및 563nm (Gantt 1990), 498nm, 545nm 및 565nm (Albert et al. 1984)로 보고되었으며, 최대형광은 578nm (Gantt 1990)와 575nm (Albert et al. 1984)에서 나타난다고 보고된 바 있다.

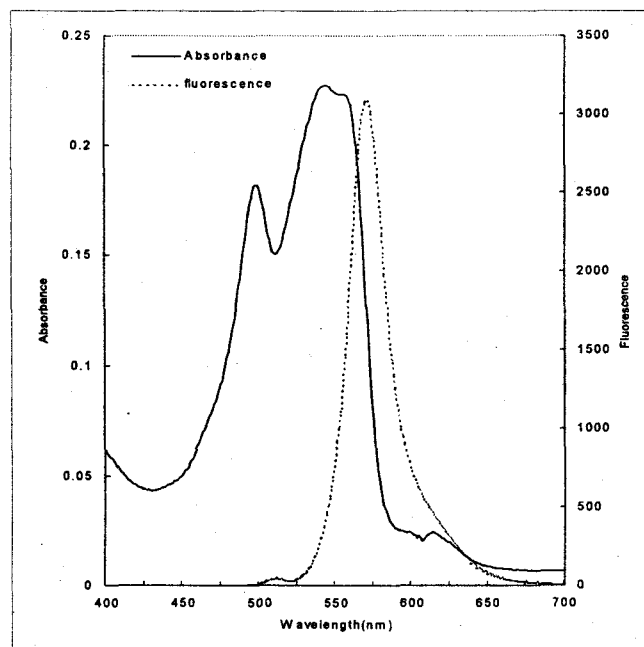


그림 34. Peak 1의 흡수 스펙트럼과 형광 스펙트럼. 첫번째 피크의 색소단백질은 498nm와 544nm, 그리고 555nm에서 최대흡광도를 나타내었으며, 570 nm에서 최대형광을 나타내었다. 이로 미루어보아 이 색소단백질은 B-피코에리스린으로 판단되었다.

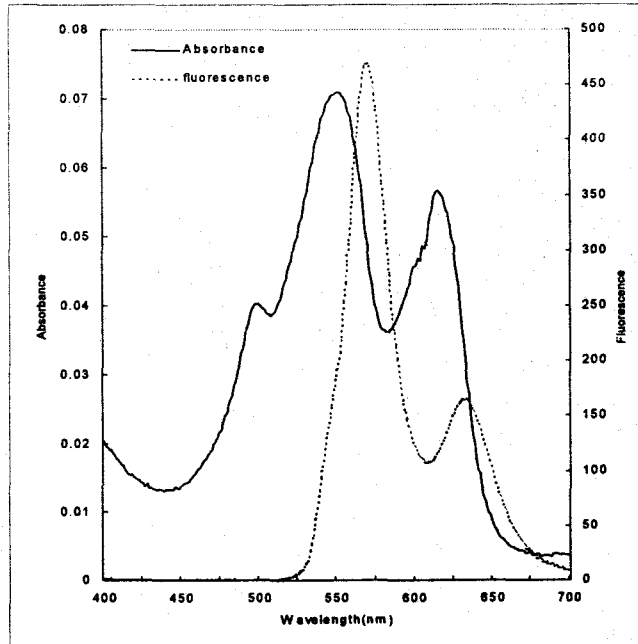


그림 35. Peak 2의 흡수 스펙트럼과 형광 스펙트럼. 두번째 피크의 색소단백질은 498nm의 최대흡광도를 갖는 물질(B-피코에리스틴)로 약간 오염되었으나, 550nm, 615nm에서 최대흡광도를, 그리고 570nm와 630nm에서 최대형광을 갖는 것으로 나타나 R-피코시아닌으로 판단되었다.

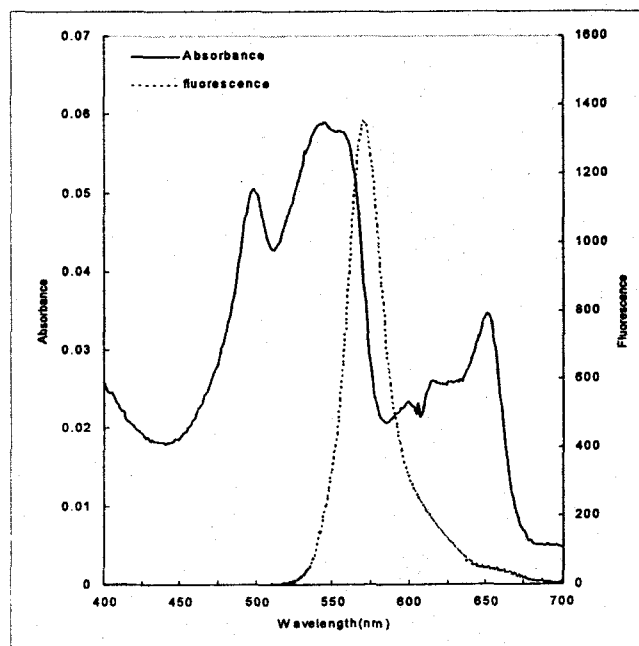


그림 36. Unknown 498, 544, 552nm에서 최대흡광도를 보이는 부분은 B-피코에리스틴으로 추정. 650nm에서 최대흡광도를 보이고, 615에서 솔더를 나타내는 부분은 알로피코시아닌으로 추정. 569nm에서 최대형광을 갖는 것으로 나타남.

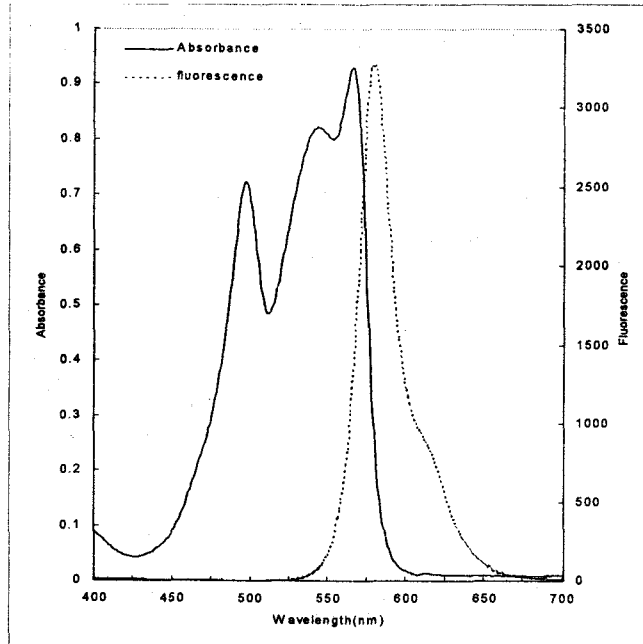


그림 37. Peak 3의 흡수스펙트럼과 형광스펙트럼. 세번째 피크의 색소단백질은 497nm와 544nm, 566nm에서 최대흡광도를, 그리고 580 nm에서 최대형광을 갖는 것으로 나타나 이 색소단백질은 B-피코에리스린보다는 긴 파장의 값을 갖는 R-피코에리스린으로 판단되었다.

두 번째 피크의 색소단백질은 497nm의 최대흡광도를 갖는 물질(B-피코에리스린)로 약간 오염되었으나, 548nm, 614nm에서 최대흡광도를, 그리고 569nm와 630nm에서 최대형광을 갖는 것으로 나타나 R-피코시아닌으로 판단되었다(그림 35). 홍조식물에 소량 존재하는 것으로 알려진 R-피코시아닌의 최대흡광도는 553nm 및 615nm (Lüning 1990), 553nm 및 615nm (Gantt 1990), 553nm 및 615nm (西澤·千原 1979)로 보고되었으며, 최대형광은 640nm (Gantt 1990)에서 나타난다고 보고된 바 있다.

세 번째 피크의 색소단백질은 B-피코에리스린과 알로피코시아닌이 혼합된 양상을 나타내고 있어 현재로서는 판단할 수 없다고 생각된다(그림 36).

네 번째 피크의 색소단백질은 497nm와 544nm, 566nm에서 최대흡광도를, 그리고 580 nm에서 최대형광을 갖는 것으로 나타났다(그림 37). 이 색소단백질은 B-피코에리스린보다는 긴 파장의 값을 갖는 R-피코에리스린으로 판단되었다. R-피코에리스린의 최대흡광도는 498nm, 542nm, 및 565nm (Lüning 1990), 498nm, 542nm 및 565nm (Gantt 1990), 498nm, 542nm 및 565nm (Albert et al. 1984), 498nm, 540nm 및 565nm (西澤·千原 1979)로 보고되었으며, 최대형광은 580nm (Gantt 1990)와 578nm (Albert et al. 1984)에서 나타난다고 보고된 바 있어 타 연구자들의 결과와 대체적으로 일치하는 최대흡광도와 최대형광파장을 보여준다.

R-피코에리스린의 양은 $136\mu\text{g/g}$, R-피코시아닌은 $43.4\mu\text{g/g}$, 그리고 B-피코에리스린은 $52.8\mu\text{g/g}$ 으로 나타났으며, 피코에리스린의 총량은 피코시아닌에 비하여 4배 이상 높은 것으로 나타났다. 또한 엽록소 양에 비하여 보조색소인 피코빌린의 총량은 약 2배에 달하였다. 홍조는 엽록소a만을 가지고 있으나, 이처럼 색소인 피코에리스린의 함량이 높고 흡수극대가 넓은 범위에 걸쳐 있어 갯녹음 원인조류인 *Lithophyllum* sp.는 sub-littoral marine habitat에서 성공적으로 번식하고 있는 것으로 보인다(Govindjee and Braun 1974).

각 색소의 자연상태의 분자량을 알아보기 위하여 Sephacryl S-300 겔 크로마토그래피를 이용하였다(그림 38). Sephacryl S-300 겔 크로마토그래피를 이용하여 측정된 색소의 자연상태의 분자량은 peak 1(B-피코에리스린)의 경우 105kDa, peak 2(R-피코시아닌)의 경우는 124.8kDa, peak 3의 경우는 176.4kDa, peak 4(R-피코에리스린)의 경우는 369.1kDa으로 나타났다(그림 39). SDA-PAGE를 이용한 소단위체의 구성은 B-피코에리스린의 경우 71.6kDa과 9kDa의 두 개의 소단위체로 나타났다. B-피코에리스린 I 은 18.9kDa과 29.2kDa, II는 18.5kDa과 29.9kDa으로 보고되었으며(Koller et al. 1975), 이는 본 실험의 결과와 많은 차이를 나타내고 있다. R-피코시아닌은 36.2kDa과 7.7kDa의 두 개의 소단위체로 나타났으며, 西澤·千原(1979)이 보고한 $(\alpha\beta)_3$ 과 일치하였다.

R-피코에리스린은 50.2, 20.5, 7.9kDa으로 나타나 $(\alpha\beta)_6\gamma$ 으로 생각된다. 西澤·千原(1979)은 R-피코에리스린이 $(\alpha\beta)_6$ 라고 하였으나, Galland-Irmouli et al(2000)은 $(\alpha\beta)_6\gamma$ 의 소단위체로 보고하였다. γ 소단위체는 피코에리스린의 $\alpha\beta$ 의 중심 channel에 위치한 소수성 연결단백질로서 위와 같은 보고로 보아 종에 따라 그 유무가 다른 것으로 보인다.

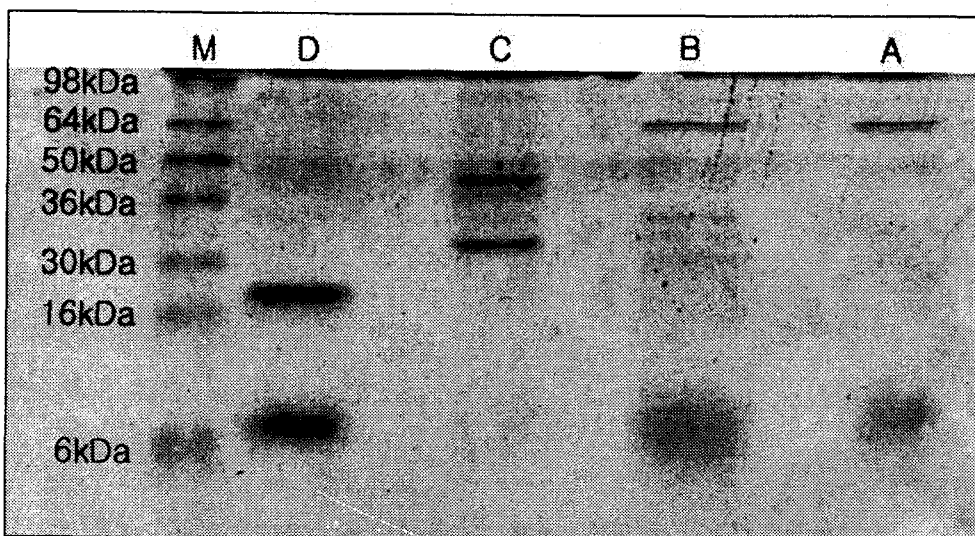


그림 38. 각 peak의 전기영동 패턴(A는 peak 1, B는 peak 2, C는 peak 3, D는 peak 4, M은 Molecular Marker)

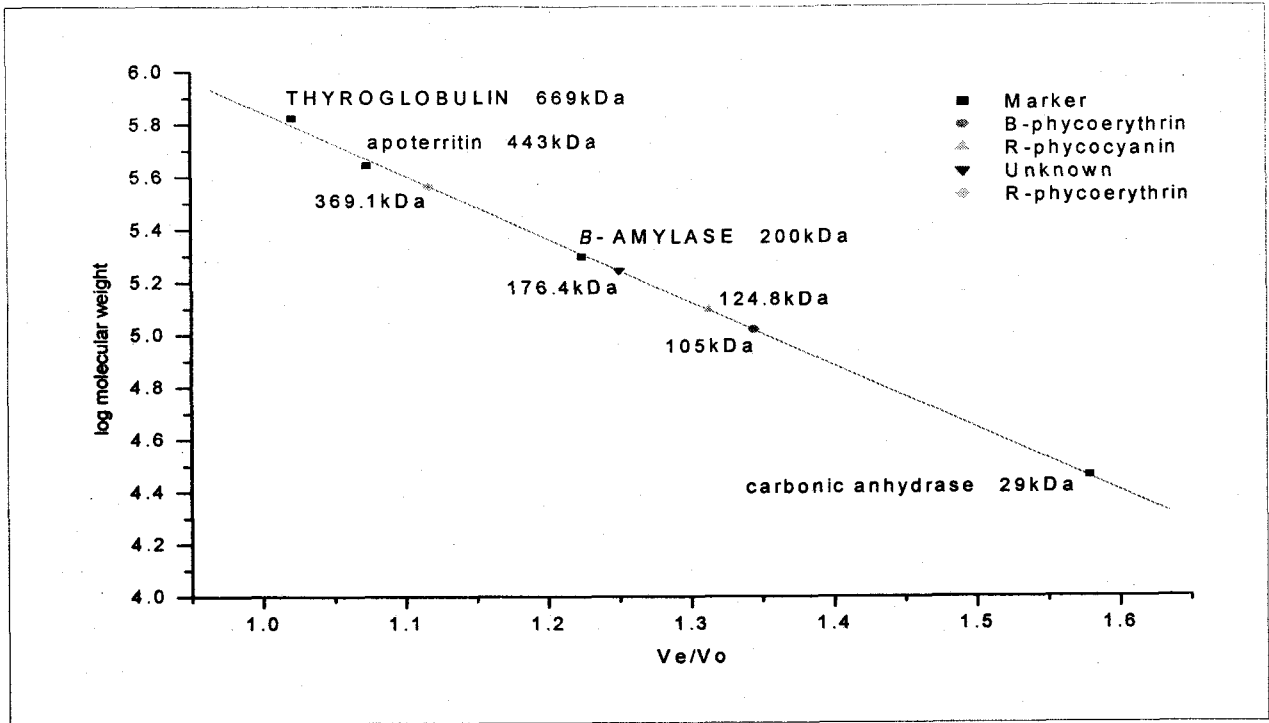


그림 39. Sephacryl S-300 column(1.5×75cm)을 이용한 겔 크로마토그래피에 의한 피코빌린단백질의 분자량 추정. 크로마토그래피는 4℃에서 0.5ml/min의 유속으로 수행되었다.

R-피코에리스린의 양은 8.19mg/g, R-피코시아닌은 29.736 μ g/g, 그리고 B-피코에리스린은 62.644 μ g/g으로 나타났다. 피코에리스린의 총량은 피코시아닌에 비하여 270배 이상 높은 것으로 나타났다. 또한 엽록소 양에 비하여 보조색소인 피코빌린의 총량은 약 650배에 달하였다.

일반적인 홍조는 엽록소a만을 가지고 있으나 갯녹음 원인조류인 매끈찍은 이처럼 보조색소인 피코에리스린의 함량이 높고 흡수극대가 넓은 범위에 걸쳐 있어 sub-littoral marine habitat에서 성공적으로 번식하고 있는 것으로 보인다(Govindjee and Braun 1974).

제 2 절 매끈쩍(*Lithothamnion muelleri*)의 이산화탄소 이용 특성

1. 서론

최근 우리나라의 천해지역은 백화현상으로 연안해역의 일부가 황폐화되고 있으며 그곳에 생육하고 있는 해조류의 일부 또는 전부가 고사, 유실되고 해저는 불모의 상태로 되어 유용해조는 물론 그것을 섭식하는 성게, 전복, 소라 등 초식성 저서동물의 감소와 함께 해조 밭을 기반으로 살아가는 정착성 어류의 생산이 감소하는 현상이 나타나 어촌이 기근에 허덕이게 되는 “바다의 사막화”현상을 초래하고 있다.

최근국내에 발생하고 있는 백화현상의 특성은 조간대로부터 적어도 수심 10m이상의 조하대에 이르기까지 무절(non-geniculate)산호말류로 피복 되는 양상을 띠는데 그 원인은 아직 확실하게 밝혀져있지않다.

과학자들이 추정하고 있는 주요원인으로는 해수의 평균온도 상승(Tenger and Dayton, 1987), 수질오염, 생물에 의한 식해 등을 들 수 있다.

田村(1951)등은 산호말의 왕성한 번식 때문에 백화가 발생한다는 주장을 강조하고 있는데, 우리나라에서 백화원인 산호말이 왕성하게 번식하는 이유는 아직 명확히 규명되고 있지 않다. rubisco(ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase)는 식물체에서 가장 풍부한 효소이다. 이 효소는 CO₂를 5탄당인 ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP)에 투입하여 두 분자의 3-Phosphoglycerate(PGA)를 만드는 반응을 촉매 함으로서 무기 탄소를 광합성에 의해 동화하는데 중심적인 역할을 한다(Andrews and Lorimer, 1987). Rubisco는 소수의 해조에서 순수분리되었는데 분류군에 따라 구조와 기능이 다른 것으로 알려져 있다. 이러한 점들을 감안하여 백화원인산호말 중 우점종인 매끈쩍(*Lithothamnion muelleri*)을 재료로 하여 광합성시 최초로 이산화탄소고정에 참여하며, 그 활성이 생산성과 직접적인 관련을 맺고 있는 rubisco(ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase)효소의 특성을 살펴보고, 이로써 최근 다른 해조에 비해 강원연안에서 왕성하게 번식하여 백화현상을 일으키는 이유를 살펴보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 효소 정제

본 실험에 사용한 매끈쩍(*Lithothamnion muelleri*)은 2001년 1월 30일 강원도 삼척시 후진 해수욕장 옆 해안의 암반 조간대 상부에서 돌에 부착된 상태로 채집하였다. 실험실로 옮긴 매

끈적을 드라이버와 망치를 사용하여 떼어낸 다음 액체질소에 넣어 보관하였다. 질소탱크에 보관한 매끈적 16.74g을 냉각시킨(0~4℃) 막자사발에 넣고 pH8.0 BICINE완충용액(50mM, with 1mM EDTA, 10mM DTT, 1mM PMSF)45ml을 첨가하여 마쇄하였다. 이 마쇄액을 12,000×g로 15분간 원심분리 한 결과 약 38ml의 상등 액을 얻었다. 상등 액을 서서히 교반하면서 60% PEG를 가하여 최종농도가 18%가 되도록 한 후 10분간 더 교반한 후에 다시 12,000×g로 10분간 원심 분리하였다. Pellet은 버리고 이 상등 액에 최종농도가 20mM이 되도록 서서히 교반하며 200mM MgCl₂를 가하였다. 10분간 더 교반한 후에 12,000×g로 15분간 원심 분리하여 얻은 Pellet에 BICINE buffer 1.5ml를 첨가하여 녹여서 2.45ml를 얻었다. 2.25ml의 시료를 이온교환수지(DEAE-650M, 높이16cm, 지름1cm) Column에 loading하여 0-225mM Nacl을 포함하는 완충용액으로 용리시킨다.

이때 유속은 0.6ml/min로 하였고, fraction collector를 사용하여 30방울(약 1.2ml)씩 분획하였다. 각 분획을 280nm로 흡광도를 측정하여 단백질을 정량 한 후, Rubisco 활성을 보이는 157-178번까지의 분획 21.5ml을 모아 효소의 특성조사에 사용하였다.

나. 효소 활성 측정

Rubisco의 활성은 분광 광도법을 이용하여 측정하였으며 그 방법은 다음과 같다.

50ml HEPES(pH 8.0), 20mM NaHCO₃, 20mM MgCl₂, 0.8mM NADH, 5mM ATP, 5mM phosphocreatine, 5 unit creatine phosphokinase, 5 unit G3PDH, 5 unit PGK, 2.5mM RuBP를 하는 활성측정용액에 효소용액을 첨가한 다음, 7분간 배양한 후 RuBP를 첨가하여 30초 간격으로 3분간 측정하였다. NADH의 흡광도 변화로부터 Rubisco의 활성을 환산하였다. BSA를 표준으로 하여 Bradford법으로 단백질함량을 정량 하였다.(Bradford, 1976).

다. Rubisco의 특성

pH에 따른 Rubisco활성변화를 조사하였을 때, 50mM 완충용액(HEPES 7.0, HEPES 7.5, HEPES 8.0, Bicine 8.0, Bicine 8.2, Bicine 8.4, Bicine 8.5, Bicine 8.6, Bicine 8.8, 그리고 Bicine 9.0)을 함유한 활성측정액을 이용하여 반응시켰다. 온도에 따른 활성변화와 안정성을 확인하기 위하여, Bicine완충용액 pH 8.0에서 각각 20, 25, 30, 35, 40, 42, 44, 45, 47, 그리고 50℃에서 활성을 측정하였다. Mg²⁺의 농도에 따른 활성변화를 알아보기 위하여, 각각 0, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 그리고 25mM에서 활성을 측정하였다. NaHCO₃의 농도에 따른 활성변화를 알아보기 위하여, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 그리고 20mM에서 활성을 측정하였다. RuBP의 농도에 따른 활성변화를 알아보기 위하여 0, 0.2, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 그리고 3.5mM에서 활성을 측정하였다. 이 때 나머지 조건들은 20mM Mg²⁺, 20mM NaHCO₃ 그리고 2.5mM RuBP로 처리하

여 30°C에서 반응시켰다.

3. 결과 및 고찰

Rubisco 정제는 매끈쩍(*Lithothamnion muelleri*) rubisco 효소추출액의 활성은 31.782 nmole CO₂/mg protein/min으로 나타났다. 매끈쩍(*Lithothamnion muelleri*) rubisco의 생체량당 효소추출액의 활성은 92.6 nmole CO₂ fixed per g fresh weight per hour로 나타났다.

생체량당 효소추출액의 활성은 녹조 *Chaetomorpha linum*에서는 960, *Cladophora sericea*에서는 2190, *Enteromorpha*에서는 2590, *Ulva fasciata*에서는 2000, *Ulva lactuca*에서는 5740 nmole CO₂ fixed per g fresh weight per hour로 보고되었다.

갈조 *Ascophyllum nodosum*에서는 176.7, *Fucus serratus*에서는 1150과 330, *Fucus spiralis*에서는 466.7, *Fucus vesiculosus*에서는 266.7과 380, *Laminaria saccharina*에서는 216.7nmole CO₂ fixed per g fresh weight per hour로 나타났다.

홍조 *Ceramium rubrum*에서는 2090, *Chondrus crispus*에서는 0.883, 500-666.7 및 5020, *Furcellaria fastigiata*에서는 800, *Gracilaria conferta*에서는 2908 그리고 *Mastocarpus stellatus*에서는 2.257 nmole CO₂ fixed per g fresh weight per hour 의 값을 얻었다.

일반적으로 녹조(평균값 2697 nmole CO₂ fixed per g fresh weight per hour) 홍조(평균 2280 nmole CO₂ fixed per g fresh weight per hour)에서 측정된 값보다 갈조(평균 427 nmole CO₂ fixed per g fresh weight per hour)에서 측정된 값은 상당히 낮은 것으로 나타나는데 본 실험에서 사용한 매끈쩍의 값은 이보다 훨씬 낮은 것으로 드러났다.

이는 석회조류의 특성상 체외에 침적된 탄산칼슘의 무게가 생체량에 상당히 기여하기 때문으로 생각된다. 매끈쩍(*Lithothamnion muelleri*) rubisco의 단백질당 효소추출액의 활성은 31.782 nmole CO₂ per milligram protein per minute로 나타났다.

녹조 *Bryopsis maxima*에서는 4.5, *Enteromorpha prolifera*에서는 15.5, *Ulva lactuca*에서는 9.33, 또한 홍조 *Chondrus crispus*에서는 6.17, *Corallina officinalis* 52.67, *Dumontia incrassata*에서는 24.17, *Porphyra okamurae*에서는 18.33, 그리고 *Porphyra umbilicalis*에서는 18.83 nmole CO₂ per milligram protein per minute 라는 값을 보여 해조의 종류마다 상당한 편차를 보여주었다. 매끈쩍의 단백질당 조효소활성은 같은 석회조류인 *Corallina officinalis*를 제외한다면 제일 높은 것으로 나타났다. 이처럼 석회조류에서 Rubisco 활성이 높은 사실은 흥미롭다.

다음 단계인 PEG-Mg²⁺ 침전법으로 rubisco 가 포함된 단백질을 분획하여 활성을 측정하였더니 38.816 nmole CO₂ per milligram protein per minute로 1.22배 농축된 것으로 판단되었다

(표 15).

PEG-Mg²⁺로 침전된 단백질 분획을 이온교환수지(PEA-650M), 높이 16cm, 지름 1cm) 컬럼에 샘플 2.25ml를 얹어 0-225mM NaCl을 포함하는 완충용액으로 용리시켰을 때 157-178번 분획에서 rubisco 활성을 보였으며(그림 40) 이들을 모아 활성을 측정하였더니 184.382 nmole CO₂ per g milligram protein per minute로 원액에 비하여 5.80배 농축된 것으로 판단되었다.

표 15. 매끈적 Rubisco의 정제

	Total protein (mg)	Total activity (nmole CO ₂ /min)	Specific activity (nmole CO ₂ /mg protein/min)	Recovery (%)	Purification (-fold)
Homogenate	48.758976	1549.678	31.782	100	1
PEG-Mg	12.80466	497.026	38.816	32.07	1.22
Ion-exchange	1.527876	281.712	184.382	18.18	5.80

최근 Choi et al.(2000)은 *Porphyra okamurae*에서 본 논문에서 사용한 것과 동일 방법으로 rubisco를 정제하였는바 PEG-Mg²⁺ 법에서는 3.50배로 본 논문보다 높은 것으로 나타났으나 이온교환수지를 거친 결과는 5.47배로 본 논문보다 다소 낮은 것으로 나타나 본 논문에서 사용한 연구방법이 매끈적 rubisco의 정제에 타당하다는 간접증거를 얻을 수 있었다.

매끈적을 사용하여 rubisco를 분리할 때 16.74g 의 시료에서 1.527876 mg의 효소단백질을 정제할 수 있었으며 0.00913%의 수율을 보이는 것으로 나타났는데, *Porphyra okamurae*(choi et al. 2000)에서는 15g의 시료에서 1.19mg의 효소단백질을 정제하여 0.00793%의 수율을 나타내었다.

조체의 탄산칼슘이 높은데도 *Porphyra okamurae*의 경우보다 높은 수율을 나타낸 것은 본 실험방법이 타당하다는 것을 보여주는 것이라고 사료된다.

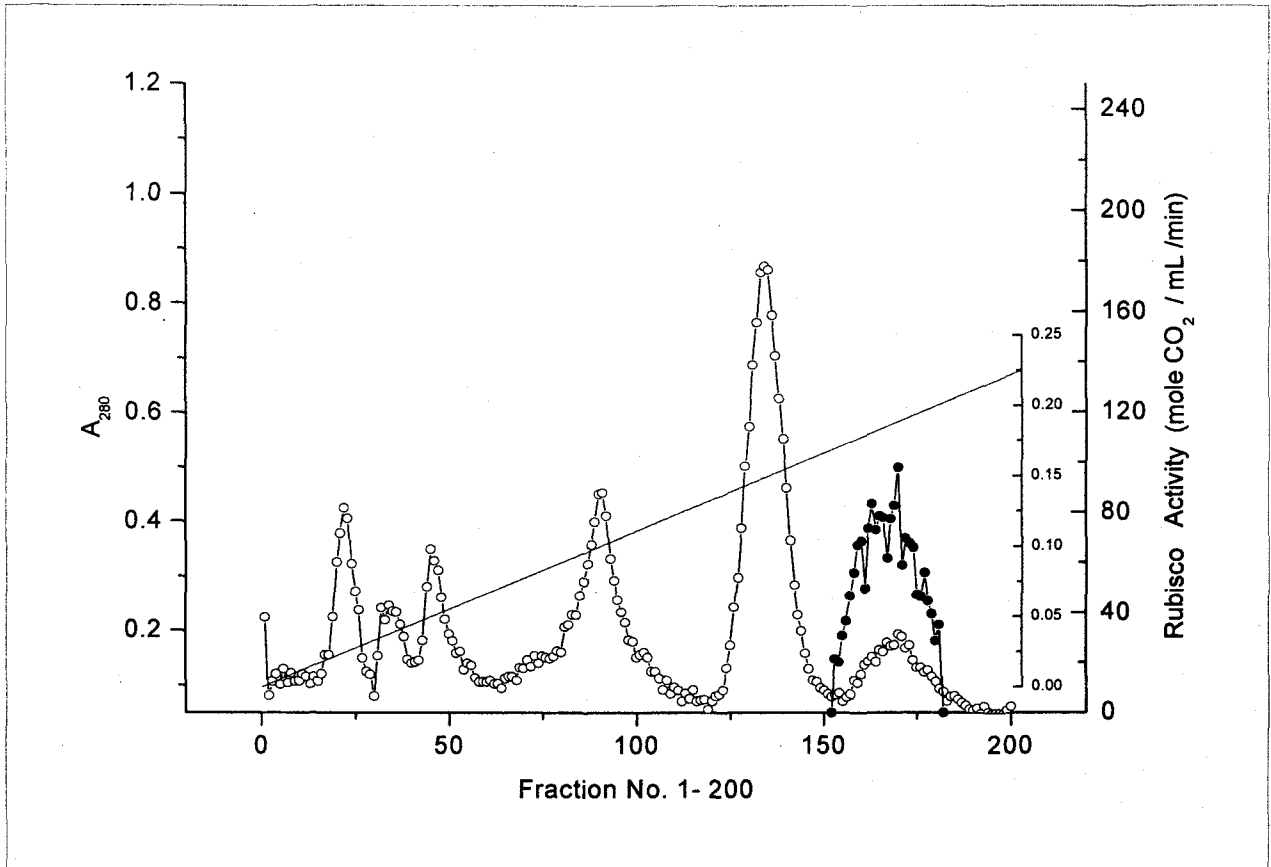


그림 40. DEAE-TOYOPEAR 650을 이용한 이온교환에서의 단백질과 Rubisco 효소의 용해

Rubisco의 특성은 pH에 따른 Rubisco활성변화를 조사하였을때, 50mM 완충용액(HEPES 7.0, HEPES 7.5, HEPES 8.0, Bicine 8.0, Bicine 8.2, Bicine 8.4, Bicine 8.5, Bicine 8.6, Bicine 8.8 그리고 Bicine 9.0)에서 각각 38.4599, 89.3628, 136.872, 162.889, 179.857, 186.644, 195.693, 174.201, 145.922, 123.298nmole CO₂/mg protein/min으로 나타나, HEPES완충용액에서는 pH 8.0에서 가장 높은 값을 보였으며, Bicine완충용액에서는 pH 8.5에서 가장 높은 값을 보였다. 두 완충용액에서 약간 다른 값을 나타내었다(그림 41). 이후의 실험에는 HEPES 8.0을 이용하여 실험하였다.

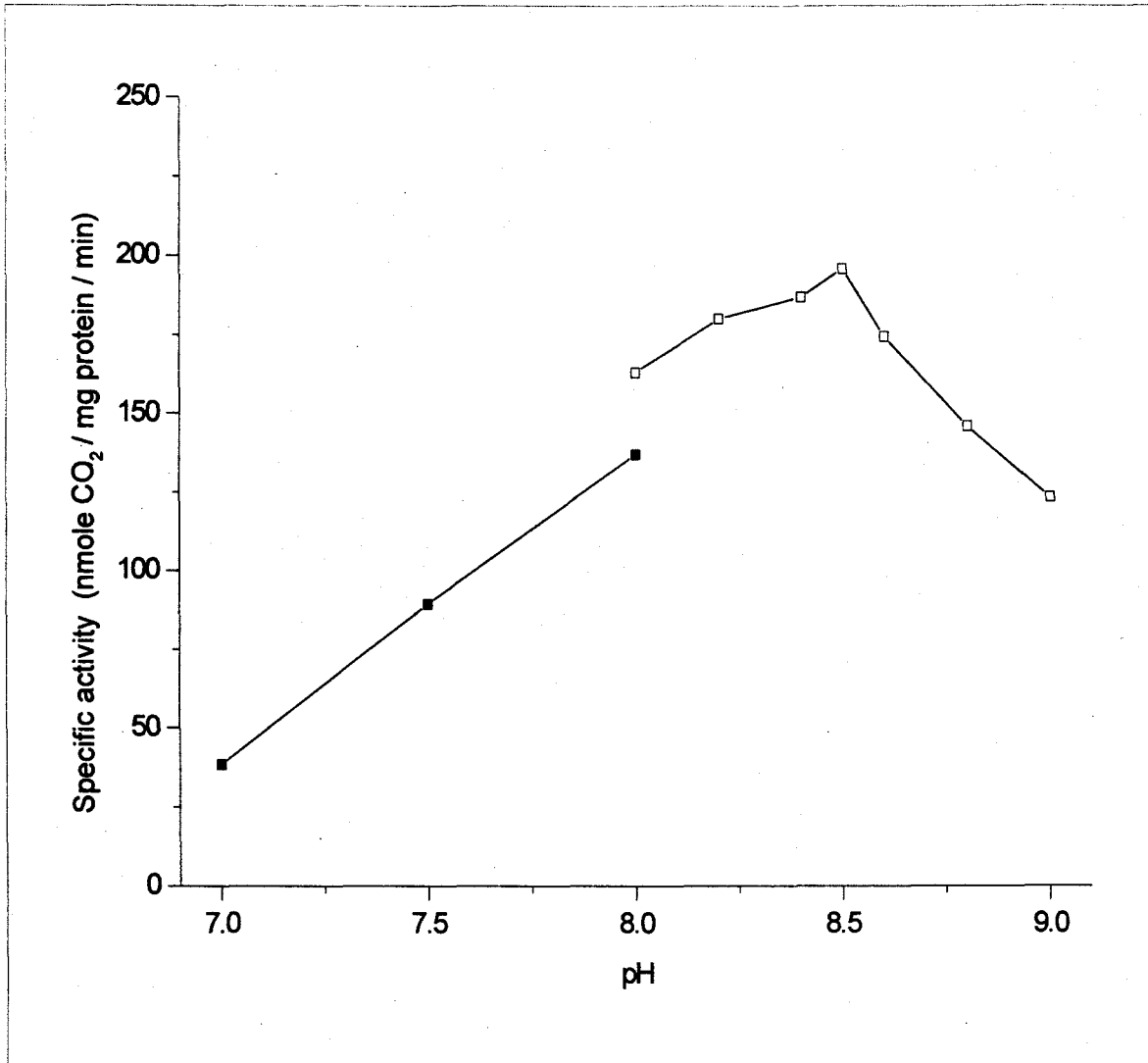


그림 41. Rubisco 효소의 pH (●: HEPES, △: Bicine)

온도에 따른 활성변화와 안정성을 확인하기 위하여, 20, 25, 30, 35, 40, 42, 44, 45, 47 그리고 50°C에서 활성을 측정하였을 때, 각각 19.230, 48.641, 153.840, 196.825, 325.779, 358.583, 371.025, 384.600, 302.024 그리고 136.872nmole CO₂/mg protein/min으로 나타나(그림 42), 45°C에서 가장 높은 값을 보였으며, 그 이상의 온도에서는 급격히 활성을 잃어 안정성에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 이와 같이 최적온도가 높게 나타나는 것은 이례적인 현상으로 최근 Uemura(1997)등은 내고온성 홍조류들은 CO₂ 고정에 대한 특이성이 다른 조류보다 높다고 보고하였다. 이 같은 현상을 매끈찍이 갖는다면 생태계 내의 적응성이 높아질 것으로 사료되나 이에 대하여는 더 조사하지 못했다. Rubisco 단백질의 안정성 확보를 위하여, 이후의 실험은 30°C의 온도에서 활성을 측정하였다.

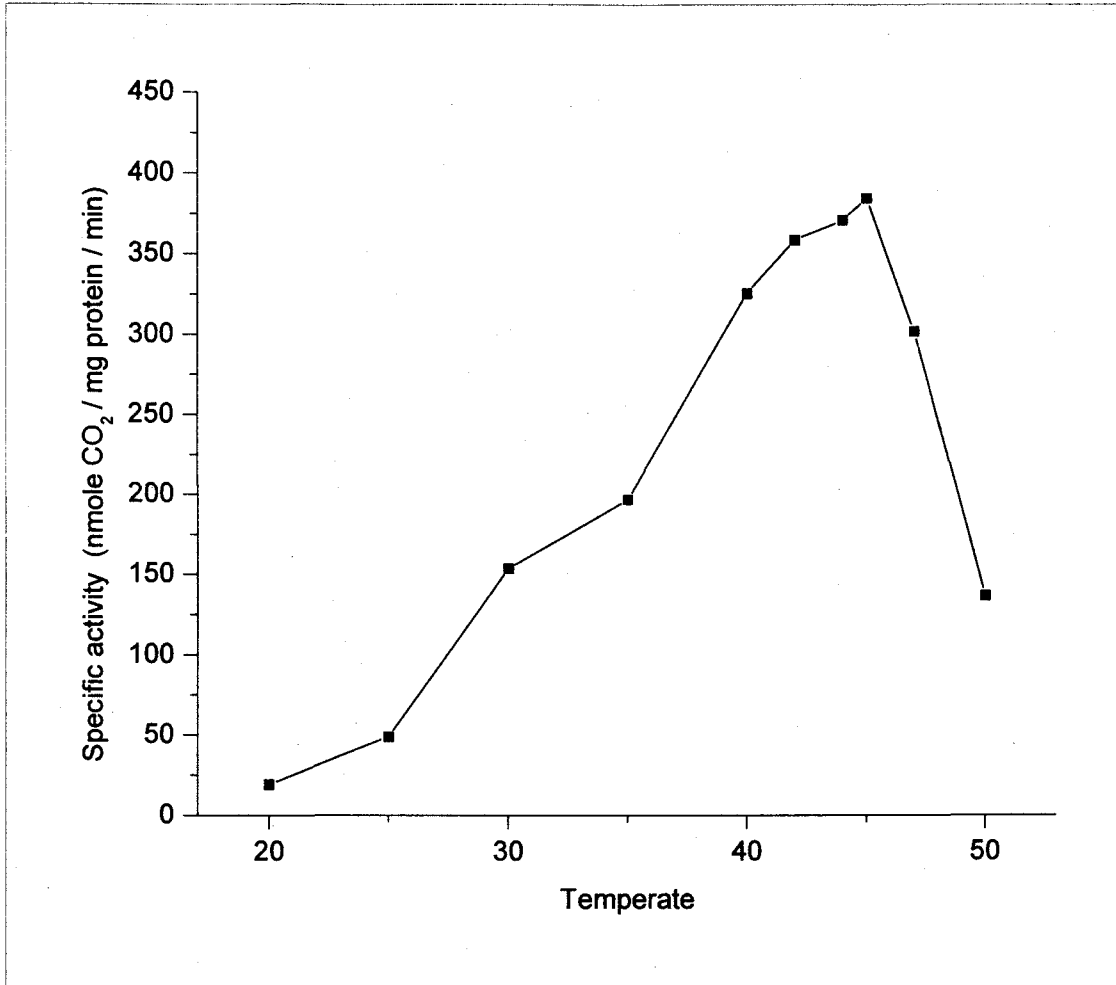


그림 42. Rubisco 효소에 대한 온도의 효과.

Mg²⁺의 농도를 0, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20 그리고 25mM로 하여 활성을 측정하였을 때, 각각 3.394, 26.017, 132.348, 209.267, 230.759, 234.153, 239.809, 225.104, 184.382 그리고 106.330nmole CO₂/mg protein/min으로 나타나(그림 43), 0-5mM에서는 큰 폭의 활성증가를 보이다가, 5-10mM 사이에서 완만한 활성증가를 보였으며, 10-20mM 에서는 완만한 감소를 보였으며, 25mM에서는 급격한 활성의 감소를 보이는 것으로 확인되었다. 곡선형태는 종모양이었으며, Michaelis-Menten식에 적용되지 않았다. Yamada 와 Ikawa(1978)은 *Bryopsis maxima*의 rubisco에 미치는 Mg²⁺의 영향을 조사하여 10mM MgCl₂에서 가장 높은 활성을 나타내며 농도가 증가하면 감소하는 경향을 보여 역시 종 모양을 이루는 것으로 보고하였다.

NaHCO₃의 농도를 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 그리고 20mM로 하여 활성을 측정하였을 때, 각각 31.673, 59.952, 72.395, 81.445, 93.888, 102.937, 125.560, 165.152 그리고 144.790 nmole CO₂/mg protein/min로 나타났으며(그림 44), Lineweaver-Burk plot에 적용시켜 얻은 Km값은

1.306788512 mM이었다. 이를 CO₂의 Km값으로 환산하면 20.37μM이었다.

기질인 CO₂에 대한 Rubisco의 Km값은 rhodobacter와 cyanobacteria와 같은 원핵생물의 경우 100μM 이상이며, 육상식물과 녹조의 경우 10-25μM이 일반적이고 황색조(Chromophyte)인 *Olisthodiscus luteus*와 홍조 *Griffithsia pacifica*의 Rubisco는 각각 45와 41μM로 나타났다고 보고된 바 있다(Newman and Cottolico, 1990). 따라서 매끈찍은 CO₂에 대한 친화도가 높아 해수 내에서 광합성 수행 시 부족한 CO₂를 다른 종에 비해 효율적으로 이용함으로써 경쟁에서 우위를 점하는 것으로 사료된다.

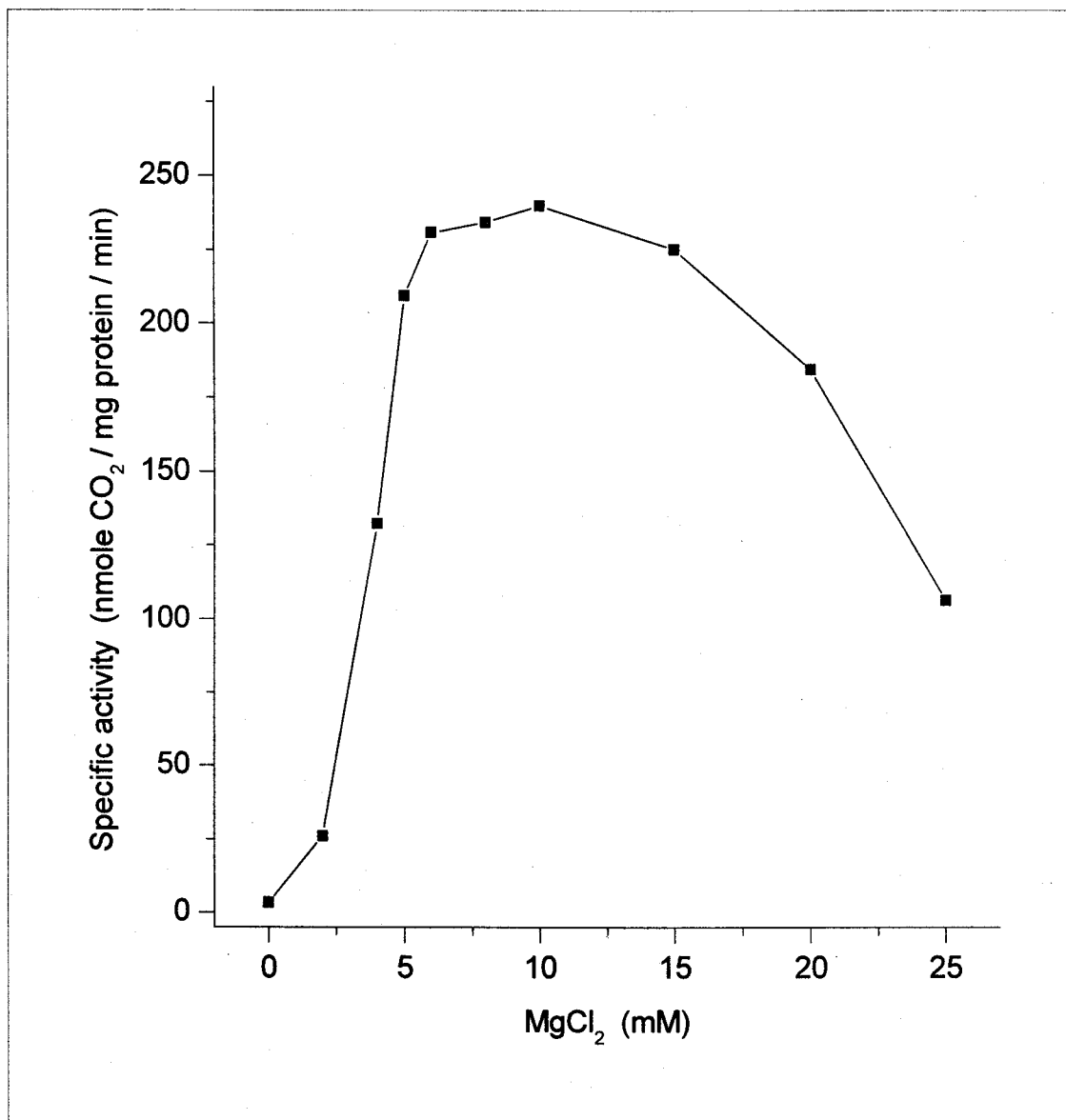


그림 43. Rubisco 효소의 Mg²⁺에 대한 농도효과

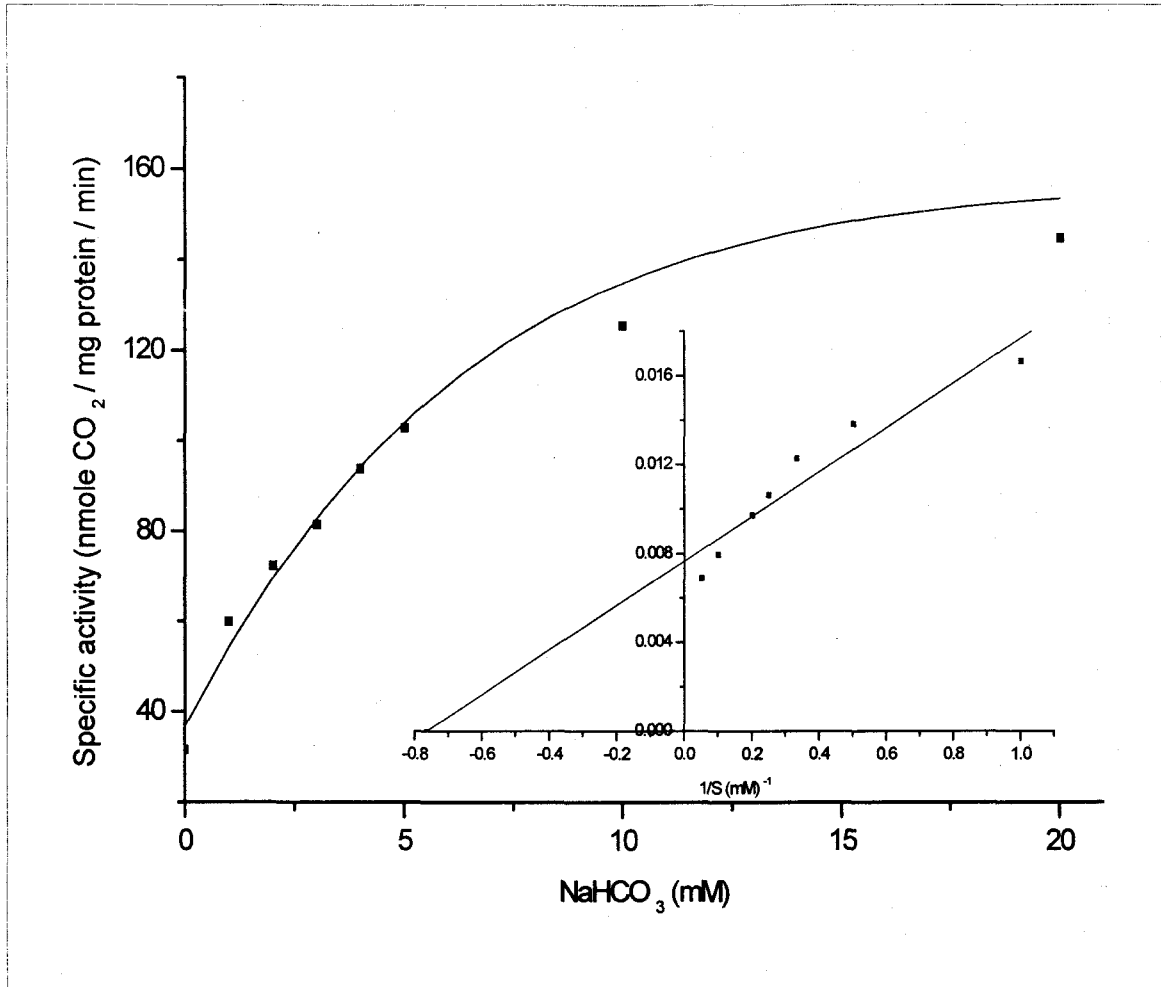


그림 44. Rubisco에 대한 NaHCO_3 의 농도효과

RuBP의 농도를 0, 0.2, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 그리고 3.5mM.에서 활성을 측정하였을 때, 각각 0, 33.935, 71.264, 79.182, 90.494, 101.806, 133.479, 142.528, 149.315 그리고 154.971 nmole CO_2 /mg protein/min으로 나타났으며(그림 45), 이를 Lineweaver-Burk plot에 적용시켜 얻은 K_m 값은 0.8789mM로 나타났다. 시금치 rubisco의 K_m (RuBP)는 0.25mM(Kawashima and Wildman, 1970)으로 보고되었으며 녹조 *Bryopsis maxima* rubisco에서는 0.65mM(Yamada et al. 1978)로 밝혀졌다. 김의 rubisco에서는 1.2mM (Choi et al. 2000)이었으며 본 실험에서 매끈 썩의 rubisco의 K_m (RuBP)는 *Bryopsis maxima* 와 *Porphyra okamurae*의 중간정도의 값을 가지는 것 같다. 하지만 녹조 *Codium fragile* 및 *Ulva* sp.의 K_m (RuBP)는 이보다 훨씬 적은 19 μ M과 17 μ M을 나타낸다. Yeoh et al.(1981)과 Newman and Cattolico(1990)은 rubisco의 K_m (RuBP)값은 상당한 변이를 나타내며 진화적 계통이나 광합성경로와의 상관성을 볼 수 없다고 논의하였다.

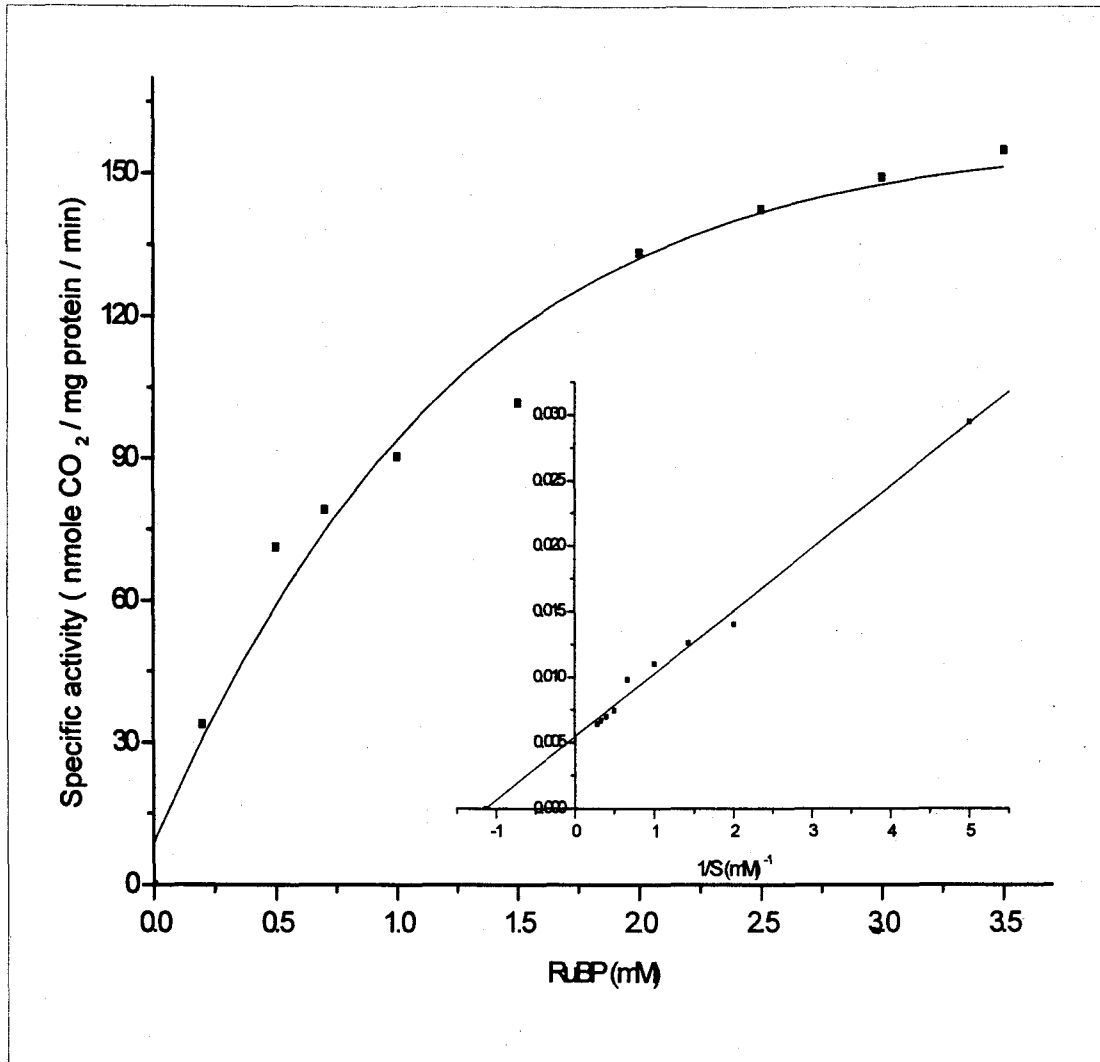


그림 45. Rubisco에 대한 RuBP의 농도효과

일반적으로 기온이 올라가면 해수내의 기체의 용존량은 감소하게 되는데, 이렇게되면 해조는 더욱 극심한 CO₂ 감소에 시달리게 된다.

매끈찍은 $2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 와 같은 석회화 과정을 진행하면서 CO₂ 농도를 조체 주변에 높게 유지할 뿐 아니라 고온에 내성을 갖는 rubisco가 CO₂에 대한 높은 친화력을 가짐으로써 해수환경에서 다른 해조류보다 더욱 잘 번성하고 있는 것으로 사료된다.

제 3-5 장 무절석회조 추출물로부터 포자부착 및 발아억제 물질의 분리 및 그 영향

제 1 절 무절석회조에 착생하는 미생물 탐색

1. 서론

현재 추측되는 갯녹음의 원인으로는 해양 생태계 내에서의 환경변화 및 군집의 동태와 생물학적 작용 등을 들 수 있다. 해양 생태계 내에서의 환경변화는 대기 중 이산화탄소의 증가, 지구 온난화에 의한 수온상승, 그리고 연안역의 오염을 의미하며, 군집의 동태와 생물학적 작용은 엽상형 해조류와 무절석회조류간의 경쟁과 성계를 포함한 초식동물의 초식작용, 질소, 인 등의 결핍이 불러오는 빈(貧)영양화에 의해 일어난다고 추측된다 (Noro et al., 1983 ; Ichiro, 1998 ; <http://analysis.cheju.ac.kr>).

이렇듯 백화현상을 일으키는 원인에 대해 여러 가지를 열거하였지만 어떠한 원인이 우선적으로 작용한다고 단언하기 힘들다. 여러 가지 생물이 모여 사는 생물 군집과 이 군집에 작용하는 여러 가지 무생물학적인 요인이 얽혀있는 생태계 내에서는 한 가지 요인의 변화는 부가적으로 연쇄적인 변화를 유발하는 동시에 백화현상의 원인으로 열거된 인자들이 복합적으로 작용하기 때문에 백화현상에 대해서는 앞으로 많은 연구가 필요하다고 판단된다 (Chung et al., 1998).

우리나라의 백화현상은 1990년대 이전에는 제주도 조간대 상부에서 부분적으로 발생하였으나 1992년 제주도 남부 어장인 서귀포시 연안에서 해조류가 소멸하고 보라성게가 대량으로 번식하는 현상이 인지된 후 발생면적이 계속적으로 확대되고 있으며, 이와 같은 현상은 제주도뿐만 아니라 동해안에서도 발생하고 있어 이에 대한 대책이 시급하다 (하 등, 2000).

본 연구에서는 Chung 등이 백화현상이 일어난 지역에서 해수 및 해조류 시료로부터 한천 분해능을 가지는 박테리아 160여 균주를 분리한 조사 (Chung et al., 1998)를 기초로 하여 무절 석회 조류의 성장을 촉진시키거나 혹은 사멸을 촉진시켜 백화현상을 일으키는 미생물이 있는지 탐색해 보았다.

2. 재료 및 방법

가. 미생물 채집

동해안에서 일어나고 있는 백화현상 중 무절 석회 조류가 사멸, 백화되는 원인이 미생물에 의해서 일어나는지를 확인하기 위하여 강릉 남해, 포항 대보, 부산 기장, 청사포에서 백화가 어느 정도 일어난 무절 석회 조류를 채집하였다.

그리고 이 백화현상이 일어난 무절 석회 조류로부터 미생물을 분리하기 위해서 멸균 해수에 백화가 일어난 무절 석회 조류를 담구어, 18 °C, 150 rpm에서 하루동안 shaking하였다.

나. 미생물의 분리

하루 동안 shaking하여 얻은 미생물이 포함된 해수를 원액, 1/100, 1/1000, 1/10000으로 희석하여 여러 종류의 배지 (Starr, 1981 ; Austin, 1988 ; Table 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)에서 배양하여 백화현상의 원인 미생물을 얻고자 하였다. 고체배지 (1.5% agar)상에 자란 콜로니를 크기나 모양, 색깔별로 구분하여 분리하였다.

다. 무절 석회 조류 채집 및 배양

포항과 부산에서 분홍빛이 선명한 무절 석회 조류를 채집하여 실험실내에서 18 °C, 80 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 변형된 PES 배지 (진, 2001)를 사용하여 배양하고 10일마다 새로운 배지를 첨가하였다.

라. Bioassay

분리한 콜로니가 단일 콜로니임을 확인한 후, 18 °C에서 3일간 각각의 고체배지에 해당하는 액체배지에서 배양하였다. 이것을 변형된 PES 배지에서 배양 중인 무절 석회 조류에 1/100 volume으로 접종하여 일주일 후 무절 석회 조류의 활력을 측정하였다.

마. 활력 측정

분리한 미생물과 함께 1주일을 배양한 무절 석회 조류의 활력은 Nam 등의 방법을 변형하여 석회조의 붉은 색소를 가지고 수치화 하여 확인하였다 (Nam et al., 1998). 우선 15 ml의 cap tube에 0.2 g의 조직과 50 mM Tris - HCl 완충용액 (pH 7.6)을 포함하는 해수에 녹여 만든 0.8% 2, 3, 5 - triphenyltetrazolium chloride (TTC) 용액 2 ml을 넣고 mineral oil (M - 3516, Sigma) 몇 방울을 떨어뜨린 다음 빛을 차단하여 20 °C에서 1시간동안 환원반응을 시킨 후, 조직을 3회 해수로 충분히 씻어서 반응 잔존의 TTC를 제거하였다. 조직 내에 형성된 triphenylformazan (TPF)는 25% ethyl alcohol에 녹인 0.2 N KOH 1 ml로 60 °C에서 15분간 추출한 후, 유기 용매 hexane 1 ml을 첨가하여 흔들면 모든 TPF가 쉽게 hexane층으로 이동하

는 데, 이 붉은 색깔의 hexane 층만을 475 nm에서 흡광도 (CamSpex M1302)로 측정했다.

3. 결과 및 고찰

가. 미생물 분리

무절 석회 조류가 사멸, 백화되는 원인이 미생물에 의해서 일어나는지를 확인하기 위하여 강릉 남해, 포항 대보, 부산 기장, 청사포에서 백화가 어느 정도 일어난 무절 석회 조류를 채집하였다. 이 백화현상이 일어난 무절 석회 조류로부터 미생물을 분리하기 위해 여러 종류의 배지 (표 16-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)에서 배양하였다. 고체배지 상에서 자란 콜로니를 크기나 모양, 색깔별로 구분하여 100여 개의 미생물을 분리하였다. 이렇게 분리한 콜로니가 단일 콜로니임을 확인한 후, 채집한 달 - 배지 번호 - 미생물 번호로 명명하였다. 이 단일 콜로니를 액체배지에서 대량으로 배양하여 무절 석회 조류를 배양 중인 비이커에 1/100 volume으로 접종하여 일주일 후 무절 석회 조류의 활력을 측정하였다.

나. 활력 측정

무절 석회 조류의 활력은 석회조의 붉은 색소로 측정하기로 하고 이 붉은 색소를 측정하기 위해서 여러 가지 유기 용매에서 색소를 우려내 보았으나 붉은 색소가 쉽게 추출되지는 않았다. 그래서 2월 동해에서 채집한 무절 석회 조류와 4월 청사포에서 채집한 무절 석회조류에서 각각 5개, 8개의 콜로니를 분리해서 육안으로 붉은 색소 감소 정도를 확인하였다. 그러나 1주일 이 지나도 육안으로는 쉽게 확인이 되지 않아 최종적으로 TTC assay를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

Nam 등의 TTC assay에서는 홍조류들을 545 nm에서 흡광도를 측정하였지만 (Nam et al, 1998), 무절 석회 조류의 붉은 색소는 scanning 통하여 545 nm보다 475 nm에서 peak가 가장 높은 것을 알 수 있었다. 그래서 무절 석회 조류의 활력은 TTC assay를 이용하여 475 nm에서 흡광도를 측정하게 되었다.

Bioassay를 하기 전 예비 실험으로 건강한 무절 산호 조류와 1%의 formalin이 포함된 해수에서 시간에 따라 인위적으로 상처를 입힌 무절 산호 조류의 활력을 측정하였다. 신선한 무절 석회 조류의 흡광도 A475 수치는 0.119였고, 21일 동안 1% formalin이 포함된 해수에서 배양된 죽은 무절 산호 조류의 흡광도 A475 수치는 0.001로 거의 0에 가깝게 나왔다. 이것을 죽은 조직의 흡광도 수치로 잡아 활력의 상대적인 비율 S-TC/C-TC (S : 샘플조직의 흡광도, TC : 죽은 조직의 흡광도, C : 건강한 조직의 흡광도)를 측정하였다.

우선 건강한 무절 석회 조류와 백화가 일어난 무절 석회 조류를 채집하여 활력의 상대적

인 비율인 S-TC/C-TC 수치를 측정해서 백화가 일어난 무절 석회 조류의 활력 정도를 확인해 보았다. TTC assay 결과 A475에서 싱싱한 무절 석회 조류는 sample 0.2 g당 0.1200 ± 0.0094 로 나왔고, 백화가 일어난 무절 석회 조류는 sample 0.2 g당 0.0392 ± 0.0024 로 나왔다. 그리고 죽은 조직의 흡광도 수치는 formalin을 처리한 sample 값인 0.011로 하여 활력의 상대적인 비율을 계산하였다. 그래서 S-TC/C-TC의 값은 0.26으로 측정되었다.

이 결과를 바탕으로 14번째 분리한 콜로니부터는 TTC assay를 이용하여 무절 석회 조류의 활력을 측정하여 표 17과 같은 결과가 나왔다. 예비 실험의 결과 A475에서 0.2정도의 수치를 가지는 무절 석회 조류는 미생물에 의해 백화가 일어났다고 말할 수 있다. 그러나 지금까지 분리한 100 여 개의 미생물을 테스트한 결과 아직까지는 무절 석회 조류를 사멸시키거나 백화를 일으키는 원인 미생물을 발견하지는 못했다.

표 16-1. Formulation of Zobell's 2216E medium.

Component	Proportion (% w/v)
Bacteriological peptone	0.5
Yeast extract	0.1
Ammonium nitrate	0.00016
Boric acid	0.0022
Calcium Chloride	0.18
Disodium hydrogen phosphate	0.0008
Ferric citrate	0.01
Magnesium chloride	0.88
Potassium bromide	0.008
Potassium chloride	0.055
Sodium bicarbonate	0.016
Sodium Chloride	1.945
Sodium fluoride	0.00024
Sodium silicate	0.0004
Sodium sulfate	0.0324
Strontium chloride	0.0034

Experimental conditions : pH 7.6
sterilize at 121 °C / 15 min

Æ 16-2. 1/10 Dilution of the Zobell's 2216E medium.

Component	Proportion (% w/v)
Bacteriological peptone	0.05
Yeast extract	0.01
Ammonium nitrate	0.000016
Boric acid	0.00022
Calcium Chloride	0.018
Disodium hydrogen phosphate	0.00008
Ferric citrate	0.001
Magnesium chloride	0.088
Potassium bromide	0.0008
Potassium chloride	0.0055
Sodium bicarbonate	0.0016
Sodium Chloride	0.1945
Sodium fluoride	0.000024
Sodium silicate	0.00004
Sodium sulfate	0.00324
Strontium chloride	0.00034

Experimental conditions : pH 7.6
sterilize at 121 °C / 15 min

Æ 16-3. Medium for the recovery of sulphate - reducing bacteria.

Component	Proportion (% w/v)
Ammonium sulphate	0.01
Calcium chloride	0.01
Dipotassium hydrogen phosphate	0.2
Ferric chloride	0.002
Magnesium sulfate	0.01
Sodium thiosulphate	1.0

Experimental conditions : pH 7.8
sterilize at 121 °C / 15 min

Æ 16-4. Formula of lactose broth as used for the enumeration of coliforms

Component	Propotion (% w/v)
Bacteriological peptone	0.5
Beef extract	0.3
Lactose	0.5
Experimental conditions : pH 6.8 - 7.0	
sterilize at 121 °C / 15 min	

Æ 16-5. Isolation medium for Luminescent Photobacterium spp.

Component	Propotion (% w/v or v/v)
Glycerol	0.3
Bacteriological peptone	0.5
Yeast extract	0.3
Aged seawater	75
Distilled water	25
Experimental conditions : pH 7.8	

Æ 16-6. Medium suitable for the cultivation of ciliated protozoa.

Component	Concentration (/ ℓ)
Proteose peptone	20 g
Yeast extract	2 g
Glucose	5 g
Fe : EDTA chelate	90 µg
Prepared in seawater	
Experimental conditions : sterilize at 121 °C / 15 min	

☒ 16-7. ST media

Component	Concentration (/ ℓ)
Bacto trypticase soy broth	30 g
Sodium Chloride	20 g
Prepared in purified water	
Experiment conditions : pH 7.3± 0.2	
sterilize at 121 °C / 15 min	

☒ 16-8. PES media

☒ 17. TTC assay (absorbance 475 nm)

Collection site	Microorganism No.	$\frac{S-TC}{C-TC}$	Collection site	Microorganism No.	$\frac{S-TC}{C-TC}$
Kijang	7-1-1	0.96	Chungsapo	8-1-2	1.18
Kijang	7-1-2	1.15	Chungsapo	8-1-3	1.94
Kijang	7-1-3	0.86	Chungsapo	8-2-1	0.72
Kijang	7-1-4	0.78	Chungsapo	8-2-2	1.0
Kijang	7-1-5	0.70	Chungsapo	8-5-1	0.57
Kijang	7-1-6	0.96	Chungsapo	8-5-2	1.20
Kijang	7-2-1	0.66	Chungsapo	8-5-3	1.06
Kijang	7-2-2	0.75	Chungsapo	8-5-4	0.88
Kijang	7-2-3	0.98	Chungsapo	8-5-5	0.57
Kijang	7-2-4	0.93	Chungsapo	8-5-6	0.89
Kijang	7-2-5	0.70	Chungsapo	8-6-1	1.39
Kijang	7-4-1	1.13	Chungsapo	8-6-2	1.13
Kijang	7-4-2	1.08	Chungsapo	8-8-1	1.68
Kijang	7-4-3	1.12	Chungsapo	8-8-2	0.68
Kijang	7-5-1	0.86	Chungsapo	9-1-1	0.37
Kijang	7-5-2	1.52	Chungsapo	9-1-2	0.54
Kijang	7-5-3	1.39	Chungsapo	9-1-3	0.99
Kijang	7-5-4	1.93	Chungsapo	9-5-1	0.74
Kijang	7-6-1	0.96	Chungsapo	9-5-2	1.47
Kijang	7-6-2	1.23	Chungsapo	9-5-3	1.16

Collection site	Microorganism No.	$\frac{S-TC}{C-TC}$	Collection site	Microorganism No.	$\frac{S-TC}{C-TC}$
Kijang	7-6-3	1.29	Chungsapo	9-6-1	0.88
Kijang	7-6-4	0.82	Chungsapo	9-6-2	0.65
Kijang	7-8-1	0.95	Chungsapo	9-6-3	0.35
Kijang	7-8-2	0.67	Chungsapo	9-7-1	0.97
Chungsapo	8-1-1	0.91	Chungsapo	9-7-2	0.98
Chungsapo	9-7-3	1.39	Chungsapo	10-4-6	0.58
Chungsapo	10-1-1	1.26	Chungsapo	10-5-1	0.70
Chungsapo	10-1-2	1.10	Chungsapo	10-5-2	0.92
Chungsapo	10-1-3	1.59	Chungsapo	10-5-3	1.66
Chungsapo	10-1-4	1.26	Chungsapo	10-5-4	1.8
Chungsapo	10-1-5	0.85	Chungsapo	10-6-1	0.71
Chungsapo	10-1-6	1.18	Chungsapo	10-6-2	1.59
Chungsapo	10-3-1	0.99	Chungsapo	10-6-3	0.66
Chungsapo	10-3-2	0.87	Chungsapo	10-6-4	0.98
Chungsapo	10-3-3	0.62	Chungsapo	10-6-5	1.02
Chungsapo	10-3-4	0.87	Chungsapo	10-6-6	1.07
Chungsapo	10-3-5	1.10	Chungsapo	10-7-1	1.11
Chungsapo	10-4-1	1.33	Chungsapo	10-7-2	0.60
Chungsapo	10-4-2	2.31	Chungsapo	10-7-3	0.56
Chungsapo	10-4-3	1.77	Chungsapo	10-7-4	0.88
Chungsapo	10-4-4	1.29	Chungsapo	10-7-5	1.37
Chungsapo	10-4-5	0.60	Chungsapo	10-7-6	1.96

* Microorganism No. : collection month - medium No. - colony No.

* S-TC/C-TC : S→absorbance of sample tissue, TC→absorbance of dead tissue, C→absorbance of healthy tissue

제 2 절 무절석회조 추출물로부터 타해조류 포자부착 및 발아억제 영향

1. 서론

최근에는 해양 생물로부터 2차 대사 산물의 특성과 분리에 관한 새로운 연구 분야의 발전과 무독한 방어도료제로 가능한 원료로서 자연의 allelopathy chemical에 관심을 가져왔다 (Callow, 1990). 많은 종류의 식물은 다른 종류의 식물의 성장을 억제하는 물질을 분비함으로써 그들의 영역을 유지하거나 확장해왔다 (Kakisawa, 1988). 그러나 allelopathy라고 불리는 이러한 작용은 육상식물에서는 잘 알려져 왔지만 해양식물에서는 알려진 것이 거의 없다.

무절석회조류는 열대지방에서 극지방까지 조간대 하부에 광범위하게 분포하는 석회 홍조류 (Adey, 1966)로 부착생물의 표면이나 바위에 피복하여 생육한다. 무절 석회 조류 위에는 상대적으로 부착생물이 거의 없다. 그에 대한 원인으로 초식동물, antifouling 메카니즘, 환경변화 그리고 해조와의 경쟁에서 석회 조류가 우위를 차지하기 때문이라는 등 여러 연구들이 수행되어져왔다. 우리는 이러한 무절 석회 조류로부터 allelopathy 물질의 분리와 잎파래 (*Enteromorpha linza*, Chlorophyta) 상에서의 효과를 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 무절 석회 조류 채집

포항 대보에서 채집한 무절 석회 조류를 1 min간 3회 sonication 처리를 하고, 술을 이용해 표면의 부착 물질을 제거한 후, 수분을 제거하고 -70 °C에 보관하면서 사용하였다.

나. 추출물 조제

(1) 유기용매 및 물 추출물 조제

무절석회조류 10 g에 유기용매 및 물 1 L를 각각 첨가하여 빛이 차단된 곳에서 하루동안 실온에서 추출하였다 (Jin et al., 1997). 유기용매 및 물 fraction을 회수하였으며, 이 과정을 4 번 반복하여 합쳤다. 이것을 37 °C에서 유기용매 및 물을 증발, 제거시켰다. 추출물 40 mg당 유기용매 및 물 1 mL 비율로 녹인 다음 원심분리시켜 상등액만을 -20 °C에서 보관하면서 사용하였다. 유기용매는 6가지로 n-hexane, diethyl ether, acetone, ethylacetate, acetonitrile, methyl alcohol를 사용하였고, 물은 멸균된 3차 증류수를 사용하였다.

최종적으로 얻어진 유기용매 추출물은 methyl alcohol과 dimethyl sulfoxide (DMSO)에 녹여 (Premnathan et al., 1992) 해조류별로 농도 실험을 하여 해조류가 영향을 덜 받는 DMSO에 추출물을 녹이고 물은 멸균된 3차 증류수에 녹여 assay에 사용하였다.

(2) Conditioned water 조제

건강한 무질 석회 조류를 멸균된 해수에 넣고 아무런 자극 없이 16시간 동안 놓아두었다. 이때 8시간은 빛이 있게 ($15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 8시간은 빛이 없게 하였다. 무질석회조류를 제거하고 상등액만을 회수하여 $0.45 \mu\text{m}$ filter를 이용하여 여과하였다 (Walters et al., 1996). 여기에 PES 배지 (Provasoli, 1968)를 첨가하여 배지 대신 사용하였다.

다. 해조류 채집 및 포자 받기

포자의 발아와 부착 실험을 위하여 부산 근교에서 포자 실험이 가능한 해조류를 종류별로 채집하였다. 하루 정도 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 빛을 차단하여 보관한 후 멸균 해수를 이용하여 여러 번 헹구고, 1분간 2번 sonication시켜 부착물질을 제거하였다. 깨끗하게 된 엽체의 표면을 paper towel로 가볍게 눌러주어 수분을 제거하고 암에서 1시간 정도 지난 후 비이커에 엽체가 잠길 정도의 멸균 해수를 넣어주고 $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $80 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건하에서 1-3일 정도 놓아두고 포자가 방출되었는지 수시로 확인하였다 (Fletcher, 1989 ; Pandey et al., 1985).

라. Bioassay

(1) 부착실험

Assay할 포자가 방출되면 우선 부착하지 않도록 집중할 때까지 얼음 위에 올려놓았다 (Callow et al., 1997). 96 well-plate의 한 well당 $200 \mu\text{L}$ PES 배지에 100개 정도의 포자와 $1 \mu\text{L}$ 추출물 (40 mg mL^{-1})을 넣고, conditioned water는 PES 배지 대신 동량을 넣어주었다. 그리고 $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 하루동안 배양하였다. 대조군은 추출물 대신 DMSO $1 \mu\text{L}$ 를 첨가하였다. 배양 후, 부착하지 않은 포자는 2700 rpm에서 15분간 원심분리시켜 제거하고 새 배지를 넣고 현미경하에서 포자 수를 계측하였다. 해조류 포자에 대한 활성은 추출물을 포함하여 배양한 포자 수를 추출물을 포함하지 않고 배양한 포자 수로 나누어 계산하였다.

(2) 발아실험

부착실험과 같은 방법으로 추출물 없이 하루동안 배양하여 부착하지 않은 포자를 제거한 후, 새 배지를 넣고 현미경하에서 부착한 포자 수를 계측하였다. 그리고 나서 추출물을 첨가해 주었다. 포자가 충분히 발아할 수 있도록 $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $80 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건하에서 1주일동안 배양 (Moss et al., 1975)한 후 현미경하에서 발아한 포자 수를 계측하였다. 해조류 포자에 대한 활

성은 추출물을 포함하여 배양했을 때 발아한 포자 수를 추출물을 포함하지 않고 배양했을 때 부착한 포자 수로 나누어 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

발아실험은 부착실험과 같은 조건으로 추출물 없이 하루동안 배양하고 부착하지 않은 포자를 제거한 후 추출물을 첨가해준다. 포자가 충분히 발아할 수 있도록 1주일동안 배양한 후 현미경하에서 발아한 포자 수를 계측하였다. 해조류 포자에 대한 활성은 추출물을 포함하여 배양했을 때 발아한 포자 수를 추출물을 포함하지 않고 배양했을 때 부착한 포자 수로 나누어 계산하였다.

*Undaria pinnatifida*에서 DMSO는 1%까지 100%이상의 발아율이 나타났으나, Methanol에서는 1%부터는 80%로 발아율이 감소했다. 그래서 모든 추출물은 최종적으로 DMSO에 녹여 사용하였다. 그리고 추출물의 농도는 solubility가 가장 높은 Methanol로 추출물을 만들어 *Undaria pinnatifida*의 유주자의 발아율을 관찰하였다. 20 μ g/ml까지는 74%의 발아율을 보였으나 100 μ g/ml에서 2.6%로 급격히 감소함을 알 수 있었다. 그래서 assay 농도는 100 μ g/ml로 결정하였다.

이렇게 해서 결정된 용매와 농도를 가지고 *Undaria pinnatifida*의 부착율과 발아율을 조사하였다. 부착율은 Acetone 추출물에서 53%로 가장 낮게 나타났으며, 발아율은 Hexnae, Diethyl ether, Acetone, Ethylacetate, Acetonitrile에서 모두 0%로 나타났으며, Methanol에서는 65%로 나타났다. 이것은 우리가 원하는 물질이 Hexnae, Diethyl ether, Acetone, Ethylacetate, Acetonitrile 모두 녹는 물질이든지, 원하는 물질이 각 용매마다 1가지씩 5개 일 수도 있다는 가정을 만들 수 있다. 원하는 물질이 5가지나 된다는 것은 아주 희박하기 때문에 우리가 원하는 물질이 위 용매에 다 녹는다는 가정하게 되었다. 그렇다면 순차적으로 추출물을 만든다면 용매마다 조금씩 추출되어 소실되는 양이 많아지게 되므로 추출 방법을 변형하였다.

Hexnae, Diethyl ether, Acetone, Ethylacetate, Acetonitrile, Methanol, 증류수, conditioned water를 각각 만들어 쉽게 채집이 가능한 해조류를 대상으로 깨끗이 씻어 20 $^{\circ}$ C에서 하루 동안 놓아두어 포자를 받아 96 well-plate에 setting하고 하루 후 부착율을, 일주일 후 발아율을 확인하였다. 그리고 해조류 조직을 가지고 성장 실험을 행하였다. 그 결과는 표 18, 19, 20에서 보는 것과 같이 부착율 실험에서는 부챗살에서 acetone, MeOH 추출물이, 미역에서 MeOH 추출물이 강한 효과를 가짐을 알 수 있고, 발아율 실험에서는 부챗살에서 acetonitrile 추출물에서 강한 효과를 나타냄을 볼 수 있다, 그러나 조직 성장을 실험에서는 별다른 효과를 볼 수 없었다.

납작파래 (*Enteromorpha compressa*)는 diethyl ether와 acetone 추출물에서 0%의 부착율을,

잎파래 (*Enteromorpha linza*)는 diethyl ether 추출물에서 0%의 부착율을, 붉은부챗살 (*Carpopeltis cornea*)은 acetonitrile 추출물에서 2.8%의 부착율을, 꼬시래기 (*Gracilaria verrucosa*)는 acetonitrile 추출물에서 0%의 부착율을, 왕지누아리 (*Halymenia acuminata*)는 acetonitrile 추출물에서 0%의 부착율을, 미역 (*Undaria pinnatifida*)은 methaol 추출물에서 0.34%의 부착율을, 바위수염 (*Myelophycus simplex*)은 diethyl ether 추출물에서 0%의 부착율을 나타냈다. 여기서 알 수 있듯이 무절 석회 조류에서 추출한 추출물들은 해조류마다 다르게 작용하였다. 따라서 각 추출물마다 해조류 포자 부착에 영향을 주는 다양한 물질이 존재하고 있음을 알 수 있었다.

표 18. 석해조 추출물을 첨가한 각 해조의 부착율

sample \ solution	solution							
	Hexane	Diehtyl ether	Acetone	Ethlyacetate	Acetonitrile	MeOH	Water	Conditioned Water
<i>Ulva pertusa</i>	53.8	16.6	38.1	35.4	22.8	25.2	87.1	100.6
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i>	3.3	1.3	0.33	0.98	16.3	0.33	86.1	98.9
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i> 1/10	103.9	77.8	7.6	4.8	83.4	75.8	100.3	97.5
<i>Pachymeniopsis</i> sp.	24.3	14.3	6.9	5.7	15.3	4.6	41.6	80.1
<i>Chondrus ocellatus</i>	0	2.7	0	0	0	0	29.3	84.4
<i>Chondrus ocellatus</i> 1/10	77.0	71.2	13.2	40.8	58.9	30.9	55.1	68.7
<i>Undaria pinnatifida</i>	27.4	43.6	20.8	10.8	17.3	0.34	35.2	57.6
<i>Carpopeltis affinis</i> 1/10	23.8	87.2	72.1	4.7	49.8	47.9	84.4	57.3
<i>Carpopeltis cornea</i>	12.2	20.9	4.6	6.6	2.8	9.9	96.9	96.9

표 19. 석해조 추출물을 첨가한 각 해조의 발아율

sample \ solution	solution							
	Hexane	Diehtyl ether	Acetone	Ethlyacetate	Acetonitrile	MeOH	Water	Conditioned Water
<i>Ulva pertusa</i>	0	0	0	0	0	0	50.3	52.2
<i>Ulva pertusa</i> 1/10	83	78.7	75.3	71.3	66.0	67.0	66.7	74.0
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i>	79.5	41.9	80.8	44.8	0	82.8	40.6	41.6
<i>Pachymeniopsis</i> sp. 1/10	76	74	53	26	7.9	44.7	66.7	65.8
<i>Carpopeltis affinis</i> 1/10	96.7	83.9	87.1	61.3	58.1	71.0	74.2	90.3
<i>Carpopeltis cornea</i> 1/10	77.8	85.7	82.5	65.1	57.1	57.1	84.1	75.2

표 20. 석해조 추출물을 첨가한 각 해조조직의 성장율

sample \ solution	Hexane	Diehtyl ether	Acetone	Ethlyacetate	Acetonitrile	MeOH	Water	Conditioned Water
<i>Corallina pilulifera</i>	89.3	92.2	109.7	90.3	91.3	105.8	106.8	110.7
<i>Ulva pertusa</i>	97.3	103.5	105	92.7	94.2	81.9	146.7	82.6
<i>Carpopeltis cornea</i>	107.4	111.7	96.8	90.4	100	109.6	106.3	109.6
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i>	105	99	93	94	97	103	83	90

제 3 절 무절석회조로부터 잎파래 포자부착 및 발아억제 물질 분리

1. 서론

최근 우리나라의 천해 경성 저질은 백화 (algal whitening) 현상으로 황폐화되고 있으며, 이로 인해 어패류 등 섭식동물의 어업자원이 감소하고 심지어는 해조류와 함께 이들이 모두 폐사하는 심각한 생태계 변화에 직면하고 있다. 지난 97년부터 제주도와 동해 일부 연안에 백화 현상이 발생하였고, 98년부터 남해안 일대에도 백화현상이 나타나 우리나라 수산 자원의 보고가 사해화 (死海化) 우려에 직면하고 있다 (한국해양수산신문, 1999). 우리나라는 그간 백화에 의한 피해가 미비하였던 까닭에 이에 대한 연구가 전혀 시도된 바가 없었다. 그러나 최근 국내에 일어나고 있는 백화현상의 특성은 조간대로부터 적어도 수심 20m 이상의 조하대에 이르기까지 무절석회조류로 피복되는 양상을 띄며, 그 피해 범위 또한 제주도에서 동해안에 이르기까지 광범위하다는 점에 문제의 심각성이 있다 (Chung et al., 1998). 백화현상의 발생원인에 대해서는 여러 가지 견해들이 있으나 지역에 따라 생물 군집의 구성, 지형, 해수 특성 등이 제각기 다르기 때문에 항상 동일시하는 것이 불가능하다. 유용 해조류가 감소하는 지역에서 무절석회조류를 조사한 결과 환경 변화가 있을 때 다른 해조류는 환경에 적응하지 못하여 감소하나 무절석회조류는 환경에 영향을 덜 받아 활발히 성장하여 우점을 한다는 보고도 있었고 (Noro et al., 1983), 신선한 해조류를 먹이로 하는 초식동물에 의해 석회조류가 광범위하게 생긴다는 보고도 있었다 (Adey, 1973 ; Wanders, 1977 ; Steneck, 1983 ; Agateuma et al., 1997). 이와는 대조적으로 무절석회조류 표면은 초식동물이 없더라도 해조류의 성장을 막을 수 있는 antifouling 메카니즘을 가진다는 보고도 있다 (Masaki et al., 1981 ; Masaki et al., 1984 ; Fujika et al., 1986). 또한 대서양 연안에서도 초식동물이 없더라도 무절석회조류는 해조류의 성장을 저해한다는 보고가 있다 (Jhonson et al., 1986). 그리고 Suzuki 등은 대형 갈조류가 철이 부족한 해수에서 잘 자라지 못한 반면 석회 조류는 철이 부족한 해수에서도 잘 자라 해조와의 경쟁에서 우위를 차지하여 석회조류가 번무한다고 하였으나 (Suzuki et al., 1995), Matsuyama (1991)는 생물학적인 철의 이용 감소로 대형 해조류보다 무절석회조류의 성장이 왕성하다고는 하지만 대형 해조류가 급속히 감소하는 것에서 시간과 공간을 고려해보면 대형

해조류의 성장을 억제하는 다른 원인이 있을 것이라고 하였다. Suzuki 등 (1998)과 Black (1999)은 그 감소 원인에 관한 한 가지 가능한 요소로 석회 조류에 의한 allelopathy 물질의 생산을 제시하기도 했다.

초식동물의 성장을 억제하는 화학물질이 어떤 석회 조류에서 발견되었으나 무절석회조류와 대형 해조류 사이의 경쟁에서 allelopathy 물질에 관한 연구 자료가 별로 없었다. 따라서 본 연구에서는 무절 석회 조류로부터 여러 가지 용매를 이용하여 추출한 allelopathy 물질들로부터 여러 해조류 포자의 부착과 발아에 대한 영향을 확인해 보았다.

2. 재료 및 방법

가. 무절 석회 조류 채집

포항 대보에서 채집한 무절석회조류를 5 min간 3회 sonication 처리를 하고, 1%의 Betadine에서 표면의 부착 물질을 제거한 후 (Jin et al., 1997a), 증류수로 깨끗이 헹구어 수분을 제거한 후 -70 °C deep freezer에 보관하면서 사용하였다.

나. Diethyl ether 추출물 조제

무절석회조류 10 g에 diethyl ether를 1 L 첨가하여 빛이 차단된 곳에서 하루동안 실온에서 추출하였다 (Jin et al., 1997b). Diethyl ether 층을 회수하였으며, 이 과정을 4번 반복하여 합쳤다. 이것을 35 °C에서 용매를 증발, 제거시켰다. 추출물은 DMSO 1 mL당 40 mg의 비율로 녹인 다음 원심분리시켜 상등액만을 -20 °C에서 보관하면서 사용하였다.

다. Allelopathy 물질 분리

(1) 극성확인

Diethyl ether를 이용하여 추출한 추출물에 methyl alcohol - H₂O (v : v = 4:1)을 10 volume으로 넣어 추출하였다. 이것을 여과하여 남은 부분 (A)과 여과된 부분 (B)으로 나눴다. 먼저 A는 ethylacetate로 5번 추출하고 이것을 여과하여 남은 부분은 fraction I 이라고 하고 여과된 부분은 fraction II라고 하였다. 그리고 Fraction II는 1/10 volume으로 evaporation 시켰다. B는 2 M의 황산으로 산성화시키고 chloroform으로 3번 추출하였다. Chloroform 추출물은 fraction III이라고 하였다. 그리고 chloroform이 제거된 aqueous acid 층은 암모니아수로 pH10이 되도록 만든다. 이 층을 chloroform으로 추출한다. Chloroform 층을 fraction IV, 남은

층을 fraction V 라고 하였다 (Harborne, 1998). 각 fraction은 methyl alcohol에 녹여 assay에 사용하였다.

(2) TLC 전개

활성이 있는 diethyl ether 층 앞, 뒤의 용해도를 가지는 유기용매를 비율별로 섞어서 TLC plate 상에서 전개시켰다. TLC plate에 diethyl ether 추출물 원액 10 μ L씩 찍고 acetone, acetonitrile, chloroform, ethylacetate, diethyl ether를 각각 비율별로 섞어서 전개용매로 사용하였다. 가장 전개가 잘 된 용매를 silica gel chromatography의 용매로 사용하였고, 이 TLC plate에 전개된 각 부분들은 칼을 사용하여 긁어 eppendorf tube에 모은 후 1 mL의 methyl alcohol을 첨가하여 녹였다, 이것을 원심 분리하여 상등액을 새로운 eppendorf tube에 넣고 건조시킨 후 methyl alcohol에 녹여 assay에 사용하였다.

(3) Silica gel column chromatography

Silica gel (70-230 mesh, Sigma)은 TLC 전개에서 결정된 전개용매 (hexane : ethyl ether : ethylacetate = 1 : 3 : 2)를 이용하여 칼럼 (7×25 cm)에 충전하였다. 각 fraction은 50 mL씩 받아서 methyl alcohol에 녹여 활성을 확인하였다.

(4) Sephadex LH-20 gel filtration

Silica gel column chromatography 후 활성이 가장 좋은 fraction을 Sephadex LH-20 (Pharmacia biotech) gel filtration에 의해 분리하였다. Sephadex LH-20 gel filtration column (2×80 cm)의 용출액은 methyl alcohol로 하였고, 1 mL min⁻¹의 속도로 각 fraction은 10 mL로 나누어 분취하였다.

(5) 고속 액체 크로마토그래피

조정제 추출물은 C18 column (μ Bondapak, 3.9×300 mm)에 적용하여 linear gradient로 50 - 100% acetonitrile를 50분 동안 200 nm에서 1 mL min⁻¹의 유속으로 용출하였다.

라. 잎파래 (*E. linza*) 채집 및 포자 받기

포자의 부착과 발아 실험을 위하여 부산 근교에서 잎파래 (*E. linza*)를 채집하였다. 하루 정도 4 °C에서 빛을 차단하여 보관한 후 멸균 해수를 이용하여 여러 번 행구고, 30초간 2번 sonication시켜 부착물질을 제거하였다. 깨끗하게 된 엽체의 표면을 paper towel로 가볍게 눌러

주어 수분을 제거하고 1시간 정도 지난 후 비이커에 염체가 잠길 정도의 멸균 해수를 넣어주고 18 °C, 80 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건하에서 1-3일 정도 놓아두고 포자가 방출되었는지 수시로 확인하였다 (Fletcher, 1989 ; Pandey et al., 1985).

마. Bioassay

(1) 부착실험

Assay할 포자가 방출되면 우선 부착하지 않도록 접종할 때까지 얼음 위에 올려놓는다 (Callow et al., 1997). 96 well-plate의 한 well당 200 μL PES 배지에 100개 정도의 포자와 1 μL 추출물 (silica gel chromatography, gel filtration, HPLC를 통해 분리한 물질)을 넣은 후, 18 °C에서 처음 3시간 정도는 빛 (60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 가하고 그 후는 빛을 차단하여 하루동안 배양하였다 (Christie et al., 1968). 대조군은 추출물 대신 methyl alcohol 1 μL 를 첨가하였다. 배양 후, 부착하지 않은 포자는 2700 rpm에서 15분간 원심분리시켜 제거하고 새 배지를 넣고 현미경하에서 포자 수를 계측하였다. 해조류 포자에 대한 활성은 추출물을 포함하여 배양한 포자 수를 추출물을 포함하지 않고 배양한 포자 수로 나누어 계산하였다.

(2) 발아실험

부착실험과 같은 방법으로 추출물 없이 하루동안 배양하였다. 부착하지 않은 포자를 제거한 후 새 배지를 넣고, 현미경 하에서 부착한 포자 수를 계측하였다. 그리고 나서 추출물을 첨가해주었다. 포자가 충분히 발아할 수 있도록 18°C, 80 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건하에서 1주일동안 배양 (Moss et al., 1975) 한 후 현미경하에서 발아한 포자 수를 계측하였다. 해조류 포자에 대한 활성은 추출물을 포함하여 배양했을 때 발아한 포자 수를 추출물을 포함하지 않고 배양했을 때 부착한 포자 수로 나누어 계산하였다.

바. 잎파래 (*E. linza*) 배양 조건

Diethyl ether 추출물에 의해 부착과 발아에 모두 강하게 저해를 받는 해조류, 잎파래 (*Enteromorpha linza*, Chlorophyta)를 선택하여 실험실 내에서 배양하면서 포자를 받아 assay에 사용하였다. 배지는 PES 배지를 사용하였고 18 °C, 80 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건하에서 배양하고 10일마다 새로운 배지를 첨가하였다. 잎파래에 부착하고 있는 규조를 제거하기 위하여 이산화게르마늄을 10 mg/L 농도로 첨가하였다 (Miyachi, 1994).

2000년 5월에 동해안 양양면 남애리에서 돌에 부착한 무절산호류인 *Lithophyllum* sp.를 채

집하여 액체질소에 보관한 후 이를 재료로 사용하였다. 갯녹음 원인조류의 분말 1.1g에 3.3ml의 마쇄용액(50 mM Bicine, 1 mM EDTA, pH 8.0)을 가하여 막자사발에서 마쇄하였다. 추출액을 10,000g에서 5분간 원심분리하여 얻은 상등액 1ml를 Toyopearl DEAE -650M column(1.5×12 cm)에서 0.1 - 0.225 M NaCl gradient를 사용하여 1ml씩 분획한 후 565nm에서 흡광도를 측정하였다.

각 분획의 단백질의 함량은 Bradford(1976)법을 사용하여 측정하였다.

엽록소 a의 함량은 Harborne(1973)의 방법으로, 피코빌린계 색소의 양은 田宮·渡辺(1965)의 방법을 따라 계산하였다.

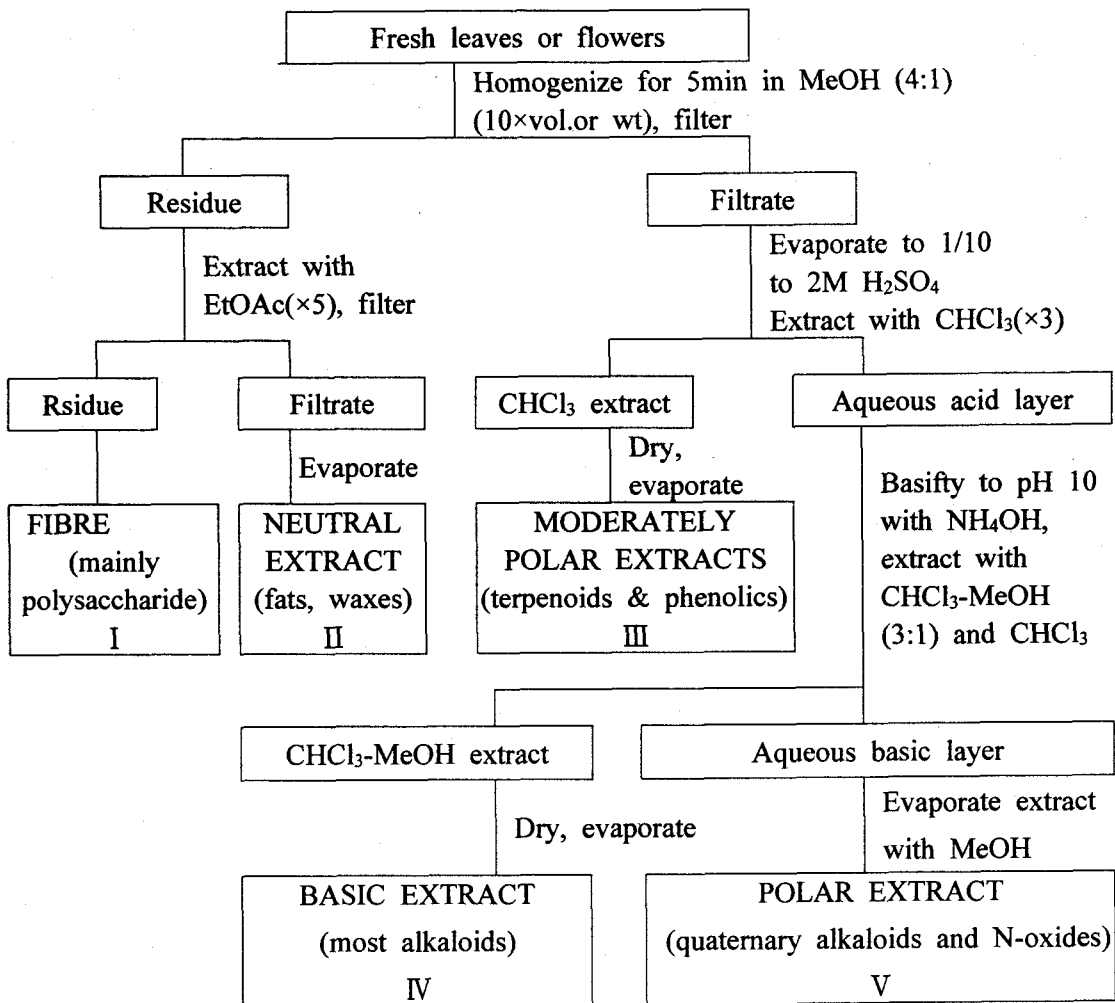


그림 46. 추출물 제작 과정

표 21. 매근떡에서 추출한 추출물이 잎과래의 포자부착에 미치는 영향(대조구 1은 추출물 대신 매탄올을 사용하였다.)

Fraction	Settlement rate	Germination rate
I (Polysaccharide)	124.0±1.9	83.0±3.3
II (Fats, Waxes)	30.8±1.3	21.4±3.4
III (Terpenoids, Phenolics)	0±0	0±0
IV (most alkaloids)	74.5±1.0	108.7±6.5
V (Alkaloids, N-oxides)	86.0±1.4	116.9±13.1
Control	100	100
Control 1	95.2±1.6	101.3±0.8

색소의 흡광도 및 단백질의 함량으로 피크를 확인한 후 각 피크의 흡수 스펙트럼과 형광스펙트럼을 측정하였다. 흡수스펙트럼은 Uvikon 922 spectrophotometer (Kontron Instruments, Italy)을 사용하여 실온에서 300nm에서 700nm까지 주사하여 구하였다. 형광스펙트럼은 F-2000 fluorescence spectrophotometer (Hitachi Instruments, Japan)를 사용하여 측정하였다. 이때 피크1의 경우에는 544nm로, 피크2의 경우에는 547nm로 피크3의 경우에는 480nm의 광을 투입하여 방출되는 형광량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 극성확인

그림 46과 같은 방법으로 diethyl ether 추출물을 4개의 fraction으로 나눴다. Fraction I은 주로 polysaccharide 성분이고, fraction II는 주로 fats이나 waxes 성분, fraction III은 주로

terpenoids나 phenolics 계열의 성분, fraction IV는 대부분 alkaloids 성분, fraction V는 quaternary alkaloids와 N-oxides 계열의 성분이다. 이 5가지 fraction을 최종적으로 methyl alcohol에 녹여 잎파래 (*E. linza*)에서 assay를 해보았다.

표 21에서 보는 것과 같이 fraction III에서 포자 부착율이 0%로 나타났다. 여기서 잎파래의 포자 부착에 영향을 주는 물질이 Terpenoids나 Phenolics 계열의 물질임을 확인할 수 있었다.

극성확인을 위하여 diethyl ether 추출물을 4개의 fraction으로 나눴다. Fraction AI은 주로 polysaccharide성분이고, fraction AII는 주로 fats이나 waxes 성분, fraction BI은 주로 terpenoids나 phenolics 계열의 성분이다. fraction BII는 대부분 alkaloids 성분이나 N-oxide 성분으로 이 4가지 fraction을 최종적으로 methanol에 녹여 잎파래 (*Enteromorpha linza*)에서 assay를 해보았다. 그 결과 fraction BII에서 포자 부착율이 0%로 나타났다. 여기서 잎파래의 포자 부착에 영향을 주는 물질이 alkaloids 혹은 N-oxide 계열의 물질임을 확인할 수 있었다.

*E. linza*에 영향을 주는 allelochemical 물질 분리는 먼저 ethyl ether 추출물을 가지고 TLC를 하였다. Ethyl ether 전후의 용해도를 가지는 유기용매들을 비율별로 섞어서 전개용매를 만들어, 그 중 TLC plate 상에서 가장 분리가 잘 되는 용매를 가지고 전개용매로 하여 Silica gel chromatography에 적용하였다.

나. 잎파래 (*E. linza*)에 영향을 주는 allelopathy 물질 분리

먼저 diethyl ether 추출물을 가지고 TLC를 하였다. Diethyl ether 전후의 용해도를 가지는 유기용매들을 비율별로 섞어서 전개용매를 만들었다. 그 중 n-hexane : diethyl ether : acetone = 1 : 3 : 2로 섞은 것이 TLC plate 상에서 가장 분리가 잘 되었다. 이렇게 만들어진 전개용매를 가지고 Silica gel chromatography에 적용하였다.

Hexane : ethyl ether : acetone = 1 : 3 : 2 전개용매를 가지고 한 Silica gel chromatography에서 한 fraction 당 50 mL씩 추출하였다. Fraction 8-12는 진한 풀색, fraction 13-17은 노랑색, fraction 18-19는 진한 녹색, fraction 20은 진한 풀색, fraction 21-24는 연한 녹색으로 나타났다 (그림 47, 48). 추출된 fraction들에 대하여 활성 실험을 한 결과 fraction 20에서 가장 강한 활성이 나타났다. Fraction 8-12를 100배 농축했을 때, fraction 20과 같은 활성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

먼저 부착과 발아에 모두 강한 활성을 나타낸 fraction 20을 CC1이라 명명하고, 이것을 가지고 Sephadex LH-20에 유속 1 mL min⁻¹으로 적용하여 10 mL씩 받았다. 받은 fraction에서 활성 실험을 한 결과 No. 8, 9, 13에서 강한 부착 저해 활성을 나타내었다. 이것을 각각 A1, A2,

A3라고 명명하였고, 강한 발아 저해 활성을 가진 No. 8, 12, 13을 각각 G1, G2, G3라고 명명하였다 (그림 49, 50). Fraction 8, 9는 포자 부착에 보다 더 강력히 저해하는 것으로 여겨지며 fraction 12, 13은 발아에 더 저해 작용을 보인다. 따라서 우선 포자 부착과 발아에 더 억제 작용을 가지는 fraction 8을 가지고 HPLC에 적용하여 그림 51과 같은 그래프를 얻었다. 두 번째 peak에서 포자의 부착과 발아를 저해하는 활성이 나타났다.

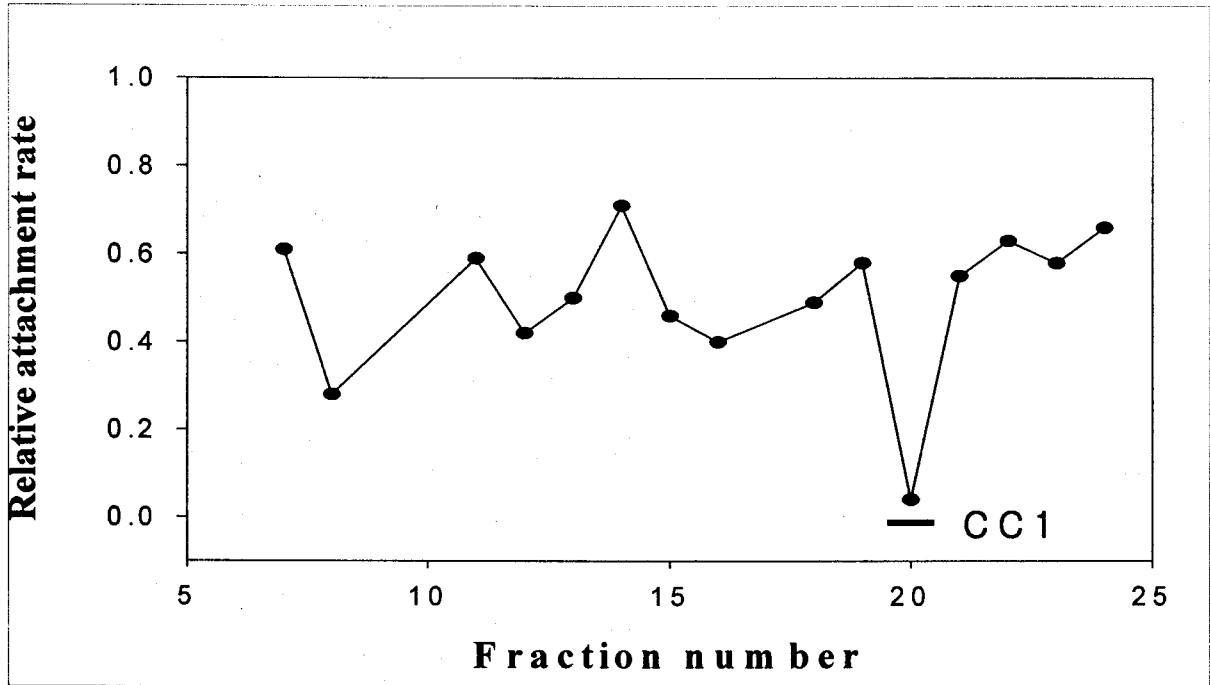


그림 47. 잎파래의 상대 부착율.
hexane-ethyl ether-ethyl acetate (1 : 3 : 2)을 사용한 실리카겔 크로마토그래피

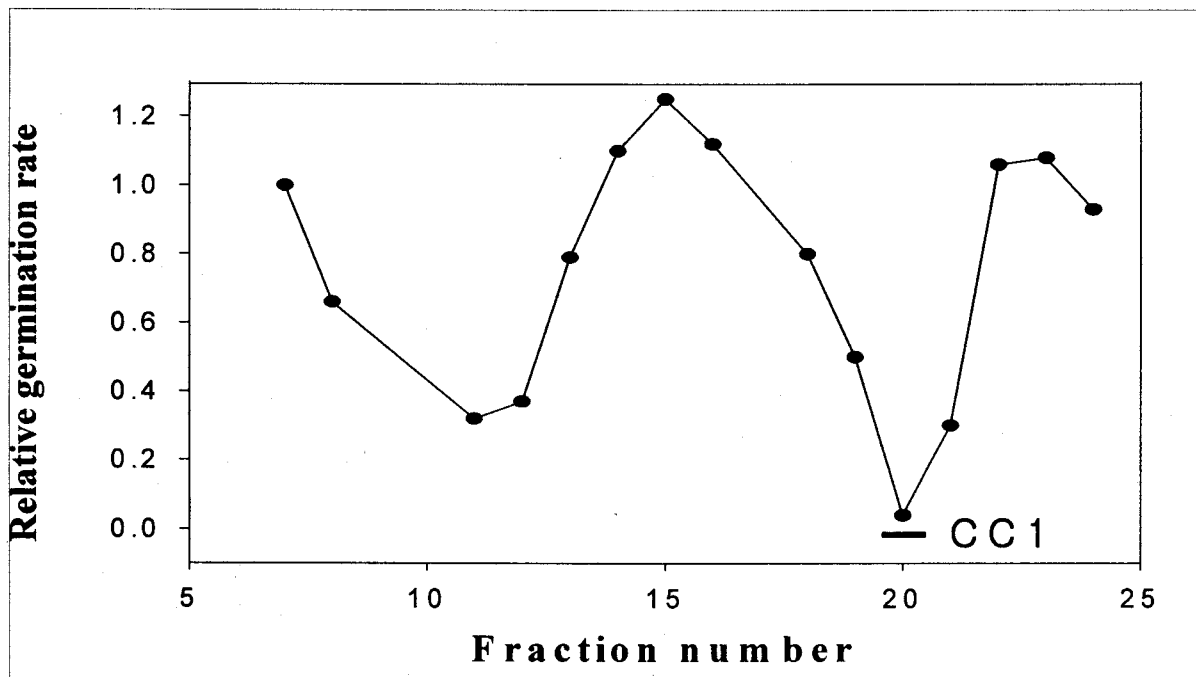


그림 48. 잎파래의 상대 발아율.
hexane-ethyl ether-ethyl acetate (1 : 3 : 2)을 사용한 실리카겔 크로마토그래피

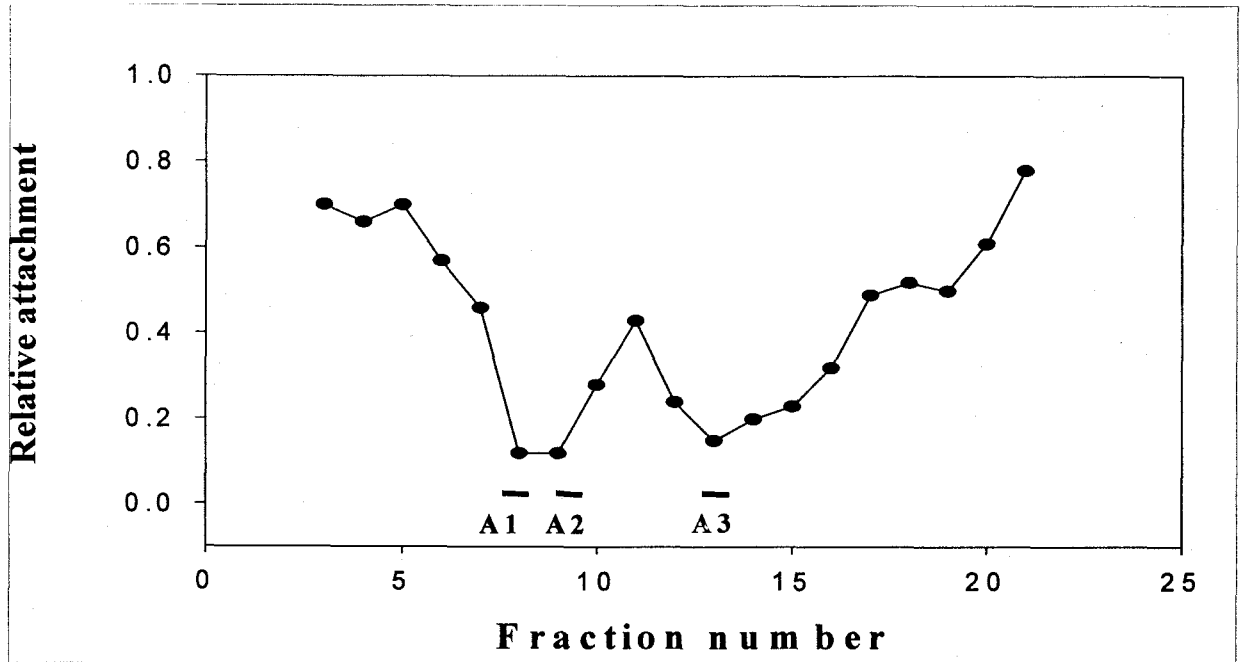


그림 49. 잎과래에서 상대부착율을 위한 메탄올을 사용한 Sephadex LH-20 겔 여과 크로마토그래피

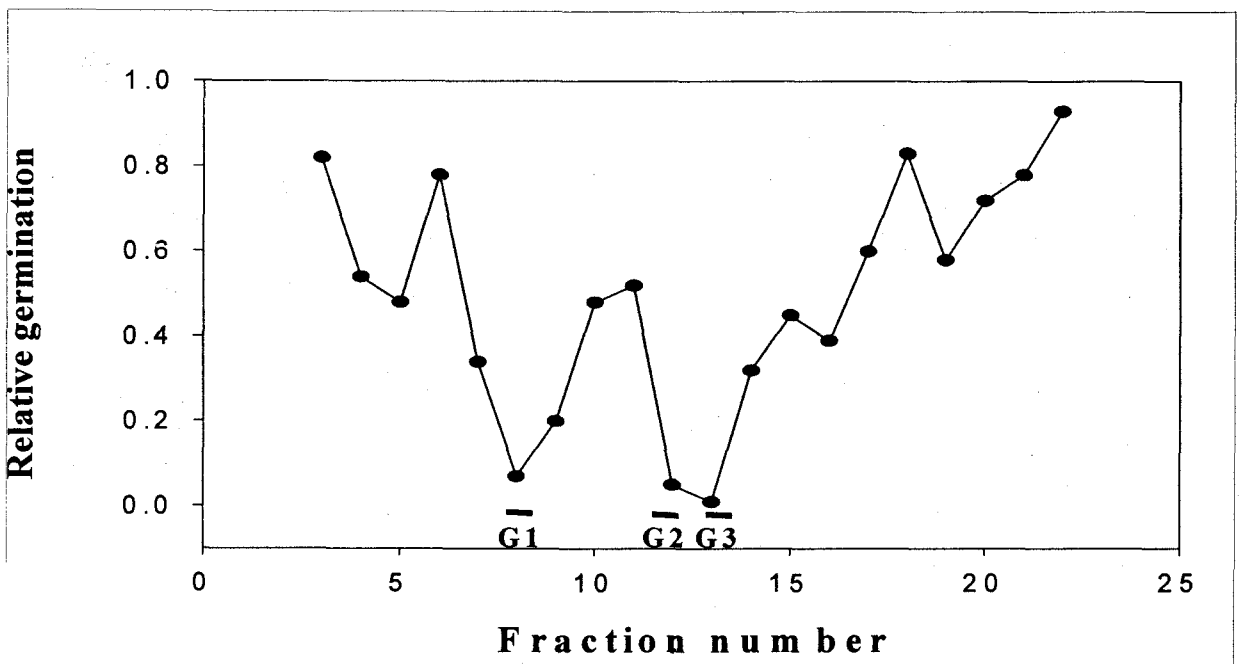


그림 50. 잎과래의 상대발아율 측정을 위한 메탄올을 사용한 Sephadex LH-20 겔 여과 크로마토그래피

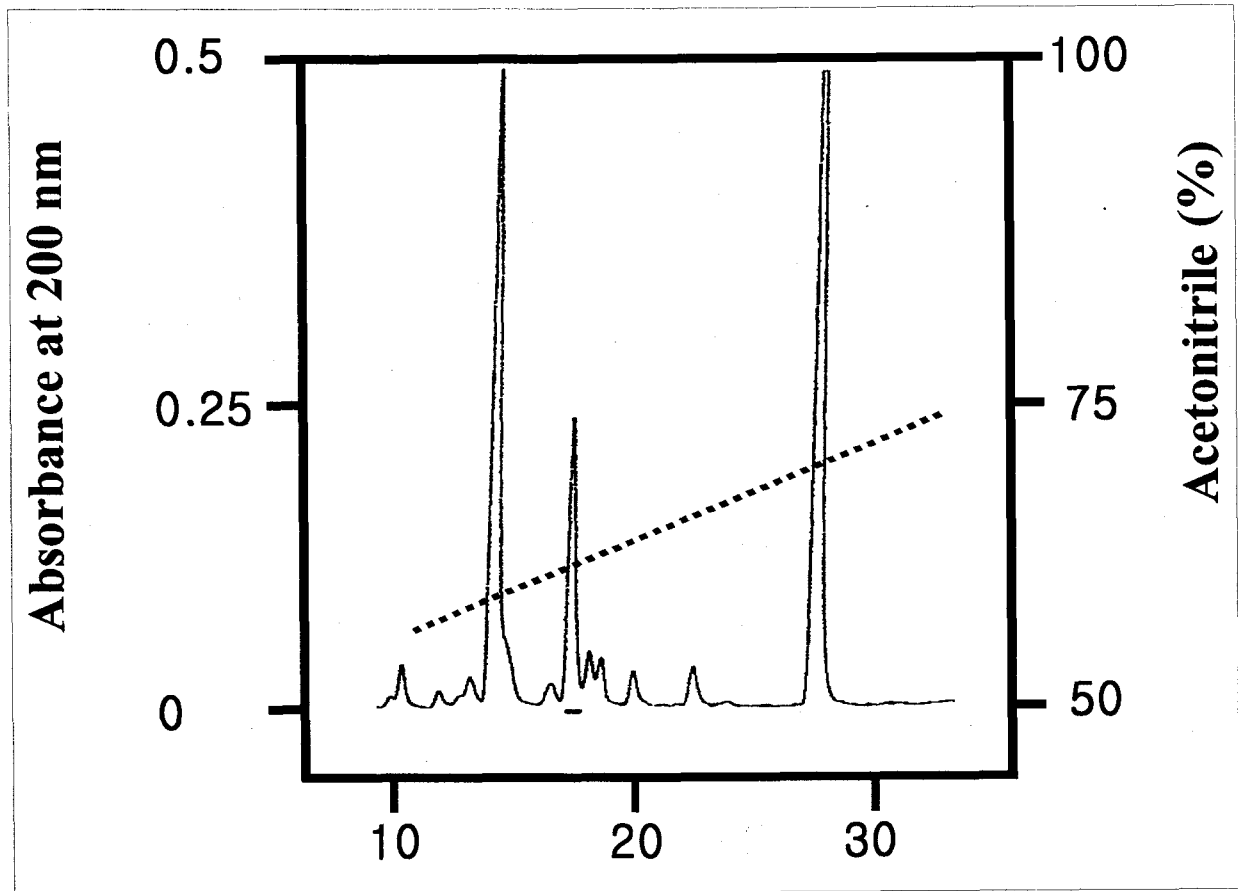


그림 51. 물질의 분리를 위한 HPLC profile.

제 3-6 장 동해연안 생태특성에 의한 갯녹음현상의 원인 및 진단

제 1 절 바다생태계의 변화와 해조숲의 감소

1. 수산생물 생산의 감소

근래 동해연안의 해양생태가 바뀌어 난류성 어종이 증가하고 명태 등 한류성 어족이 감소하고 있다. 오징어, 고등어, 멸치 등 난류성 어종의 어획량이 60년대 이후 점차 증가하고 있으며 오징어의 경우 80년대 겨울철 어획량은 5,000톤에 불과하였으나 95년 이후 최근까지 13,000톤에서 32,000톤으로 증가하였다. 한류성 어종인 명태의 어획량은 99년 1,387톤에서 2000년 975톤으로 감소하였다. 이것은 10여년 전인 1990년대 20,000톤의 어획량과 비교하면 10%도 되지 않는 수치이다.

해조류의 수협위판실적(해양수산부, 2002)에 있어 김, 미역, 다시마, 파래, 톳과 기타 종류의 생산량 추이를 보면 1980년 25만톤에서 1995년에 64만톤으로 증가가 꾸준히 지속되었다. 1998년에는 46만톤, 2000년에는 37만톤으로 감소추세에 있다. 이는 양식 해조류가 중심이 되었으나 해조양식장의 환경악화, 가격하락으로 1990년대 중반부터 생산량이 줄어들고 있는 것으로 보인다. 자연암초에서의 해조의 출현종을 비교하면 삼천포 연안에서 1984~1985년의 조사에서는 121종이었으며 1994~1995년에는 95종, 1999년에는 69종으로 점차 감소 추세를 볼 수 있다(김, 2000)

2. 엽상해조의 감소와 무절석회조의 증가

엽상해조가 감소하고 무절석회조가 증가하는 것으로 말할 수 있는 갯녹음 현상은 세계적으로 아한대에서 아열대에 위치하고 있는 많은 해역에서 보편적으로 발생하고 있다. 대규모의 갯녹음 현상으로 북미의 캘리포니아 연안 1,500km에 걸쳐 다시마 군락이 소멸되어 큰 문제가 된 적이 있다. 또 미국의 메인주에서 캐나다에 이르는 북미의 동부연안에 이르는 2,000km에 걸친 광대한 연안에도 나타난 적이 있다. 구미에서도 갯녹음 현상의 용어로 Coralline flat, Barren ground, Open sea 등 여러 가지로 쓰이는 것으로 알 수 있듯이 그 이해는 지역에 따라 완전히 공통되어 있지 않다. 그러나 바다숲을 구성하는 해조군락이 소멸하고 군락의 최

하층을 구성하고 있던 무절석회조가 우점하게 되는 생태학적인 현상에 대해서는 공통되어 있다고 볼 수 있다.

해조숲과 갯녹음에 대한 의미를 그림 52에 나타내었다. 연안에 무성한 모자반숲(A)과 조간대 저조선에 가까운 곳의 무절석회조가 우점한 모습은 바다의 사막처럼보인다(B, C). 저조선에 가까운 곳은 비교적 식생이 양호하지만 깊은 층으로 갈수록 무절석회조로 바닥이 덮혀 있는 것을 볼 수 있다(D, E, F).

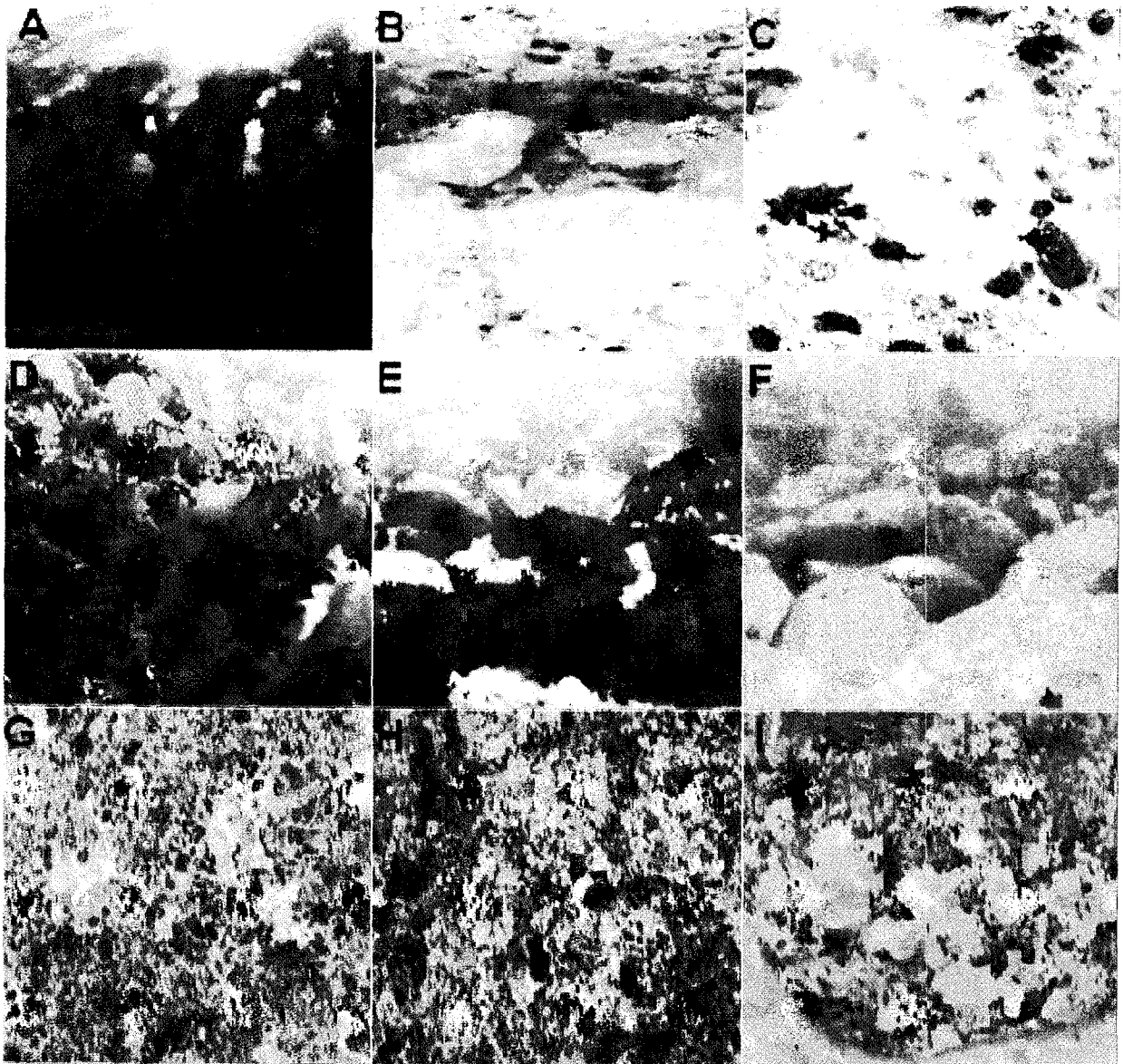


그림 52. 갯녹음의 진행과정(A: 모자반 숲, B: 조하대의 무절석회조 번무, C: 조간대의 석회조 번무, D: 저조선 아래, E: 조하대의 얇은 층, F: 조하대의 깊은 층 G; 석회조의 조도차이에 의한 변색 H: 석회조의 색택저하 I: 석회조의 백화현상)

갯녹음의 확산은 조하대에 우점한 무절석회조의 분포대가 조하대의 상층부 즉, 조간대의 저조선에 가까운 곳으로 확산되는 경향을 보인다. 석회조류는 홍조류 다른 식물과 같이 식생을 형성하고 있다. 무절석회조가 번무한 연안에 벽돌에 비닐을 감아서 유체(G)와 성체(H)에서 빛과 노출에 대한 차이로 색택이 다르게 나타난다. 석회조는 홍조류로 홍색을 나타내지만 노출되거나 활력을 잃게 되면 하얀색으로 변하게 된다(I). 문제가 되는 것은 이 석회조가 급격하게 증가하거나 해조류가 감소하여 결과적으로 연안에 석회조가 번무하여 바다가 사막화되기 때문으로 어업인들은 보통 갯가의 암반이 하얗게 변해버리는 것을 백화현상이라고 부르기도 한다.

갯녹음 현상은 우리나라에서 제주도와 남해안의 외양에 위치한 곳에서 일찍이 알려지기 시작한 것은 크게 보면 쿠로시오 난류의 영향을 직접 받는 곳에 해황의 변동에 의해 해조숲이 축소되며 해조류가 감소하기 때문으로 보고 있다(손 등, 1986). 지형적으로 보면 방파제가 축소되면 해수의 유동이 한곳은 정체되고 그곳에는 석회조류가 번무한 것을 쉽게 볼 수 있다. 또한 육상으로부터 오염된 하수가 유입되는 연안은 해조 식생이 매우 빈약하다. 해조숲이 돌연 사라지는 경우도 종종 나타난다. 연안에 바다풀이 돋아나는 것이 줄어들거나 해조밭이 사라져서 숲속에서 살던 여러 종류의 바다생물이 감소하게 되는 원인은 여러 해양환경요인과 생물적인 관계에 의한다.

해양환경의 변동에 의해 엽상해조류는 감소하고 무절석회조가 증가하는 것은 양쪽 다 식물체이지만 엽상해조는 광합성의 저해로 성장이 둔화되거나 정지상태인 반면 석회조 식물은 광합성에 의한 성장에 있어 아무런 장애를 가져오지 않는다고 볼 수 있다(그림 53). 쿠로시오 난류세력의 접근, 수온상승, 담수의 유입, 영양염의 저하, 탁도의 증가, 해수 흐름의 정체와 같은 외부환경에서 갯녹음이 확산되는 것으로 보고 있다.

谷口(1998)는 그림 54에 의한 것처럼 갯녹음의 현상은 유용해조류는 쇠퇴하고 석회조는 증가하는 상태적인 것으로 이 둘간에는 확대와 축소를 반복적으로 하고 있다고 설명하고 있다. 해조숲이 생태적 순환에 의해 갯녹음으로 되고 다시 갯녹음이 회복되어 해조숲으로 되는 과정은 해양환경과 여러 생물간의 작용에 의하게 된다. 해조숲이 형성될 때의 해양환경은 저수온, 영양염이 높은 조건에서 고수온, 낮은 영양염 조건이 되고 조식동물의 초식압력이 커지게 될 때 갯녹음으로 변하게 된다. 갯녹음에서 해조숲으로 변하게 될 때 해조의 종류 분포는 초기에 계절성인 해조에서 점차 다년생으로 그 구성이 바뀌어 가게 된다. 이와 같은 생태순환의 과정을 이해하여 어떤 지역의 갯녹음 현상은 어떤 방향으로 가게 되는지를 파악하는 것은 연안관리에 있어 매우 의미있는 분석이 될 수 있다.

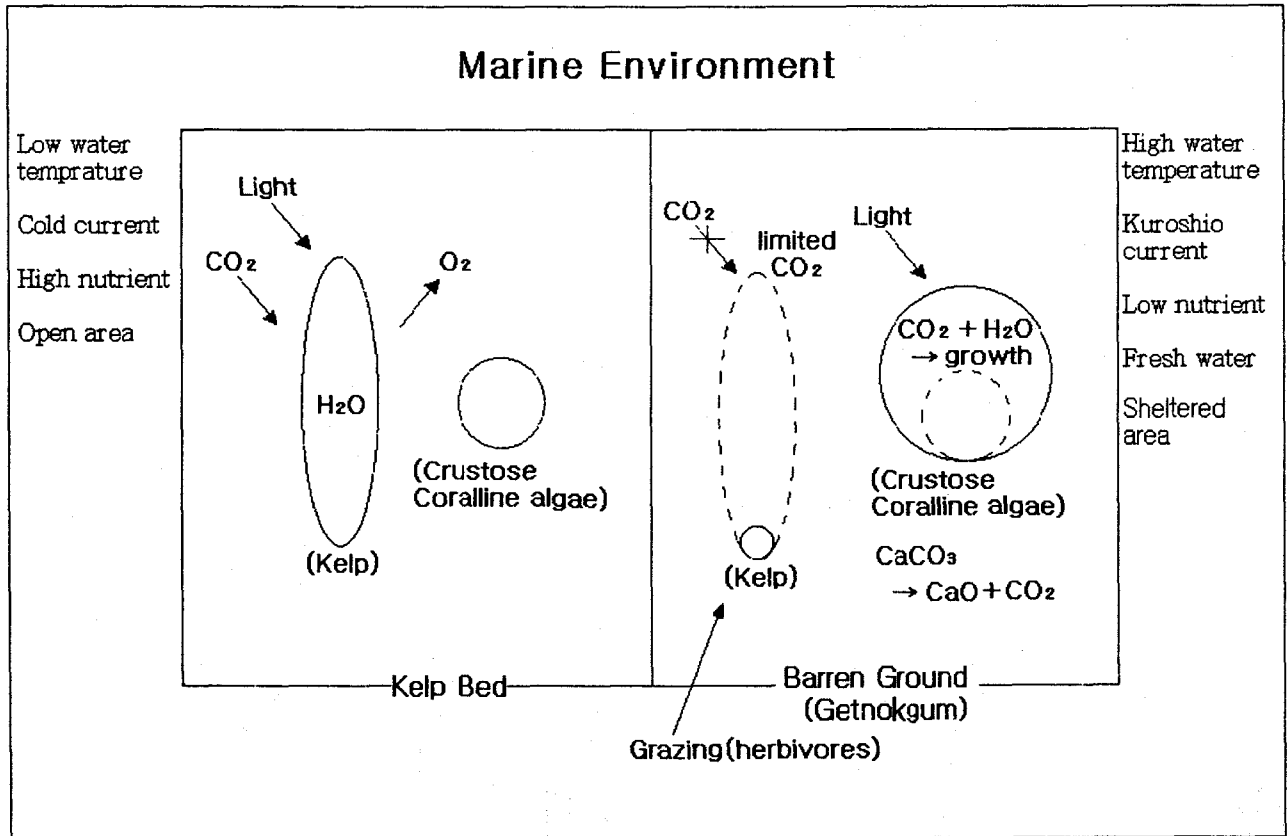


그림 53. 갯녹음이 일어나는 현상을 가설화한 모델

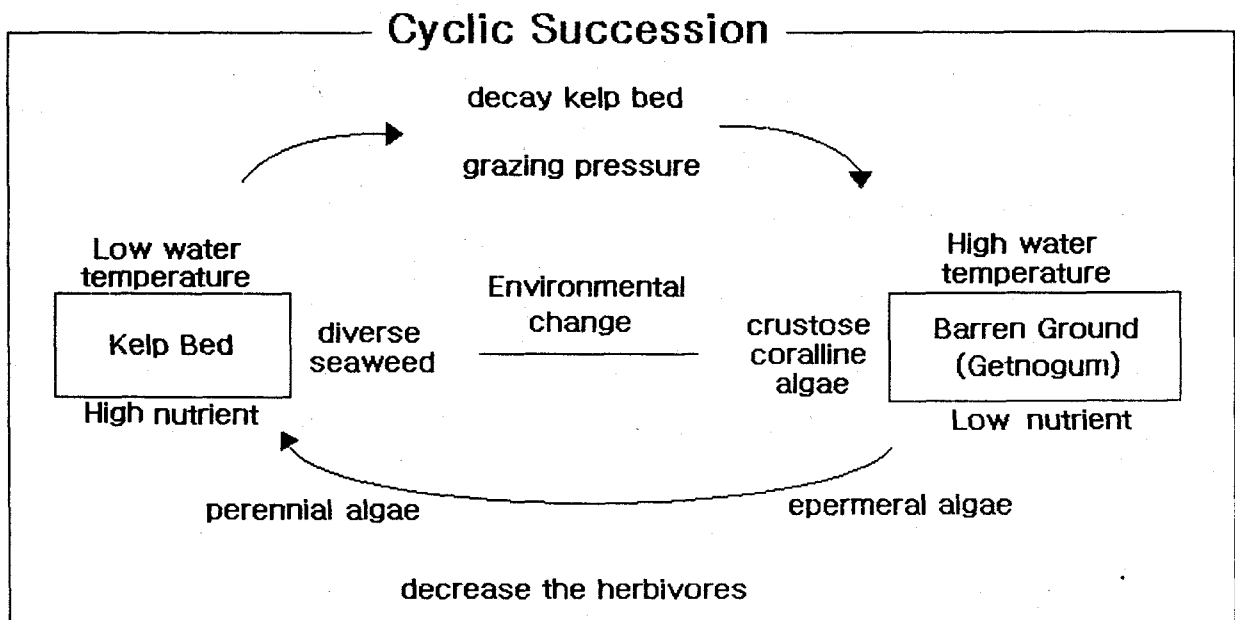


그림 54. 해조숲과 갯녹음의 생태순환 천이 과정(谷口, 1998)

3. 해조숲의 쇠퇴 요인

해조숲의 쇠퇴나 해조류의 감소는 계절변화에 의한 끝녹음과는 구별이 된다. 끝녹음은 줄어든 끝녹음 엽체에서 다시 재생에 의해 엽체가 형성이 이루어지는 데 반해 갯녹음은 연안 암반 해조가 출현종이 줄어들거나 현존량이 줄어드는 현상으로 해조숲이 축소되는 것을 의미하며 이에 비해 딱딱한 시멘트와 같은 홍조 무절석회조는 이와 반대되는 경향을 보인다.

그림 55에 강릉연안 미역의 끝녹음 상태를 나타내었다. 미역의 유체(12월)에서부터 성장이 되어 이듬해 5월에 끝녹음이 되어 엽체가 쇠퇴하는 과정을 볼 수 있다. 해조류는 육상식물과는 반대로 여름에 쇠퇴하고 겨울에 번무하는 것이 보통이다. 보통 해조는 계절적인 것, 1년생의 단년생이나 2~3년생의 다년생 그룹으로 나뉜다. 단년생이나 다년생은 보통은 여름에 끝녹음이 이루어져 엽체가 녹아 나가게 되고 겨울에 엽상체의 형태로 몸체가 가장 크게 나타나게 된다. 다년생이라 하더라도 여름이 되면 부착부 부근까지 엽체가 녹았다가 다시 재생하여 신엽체를

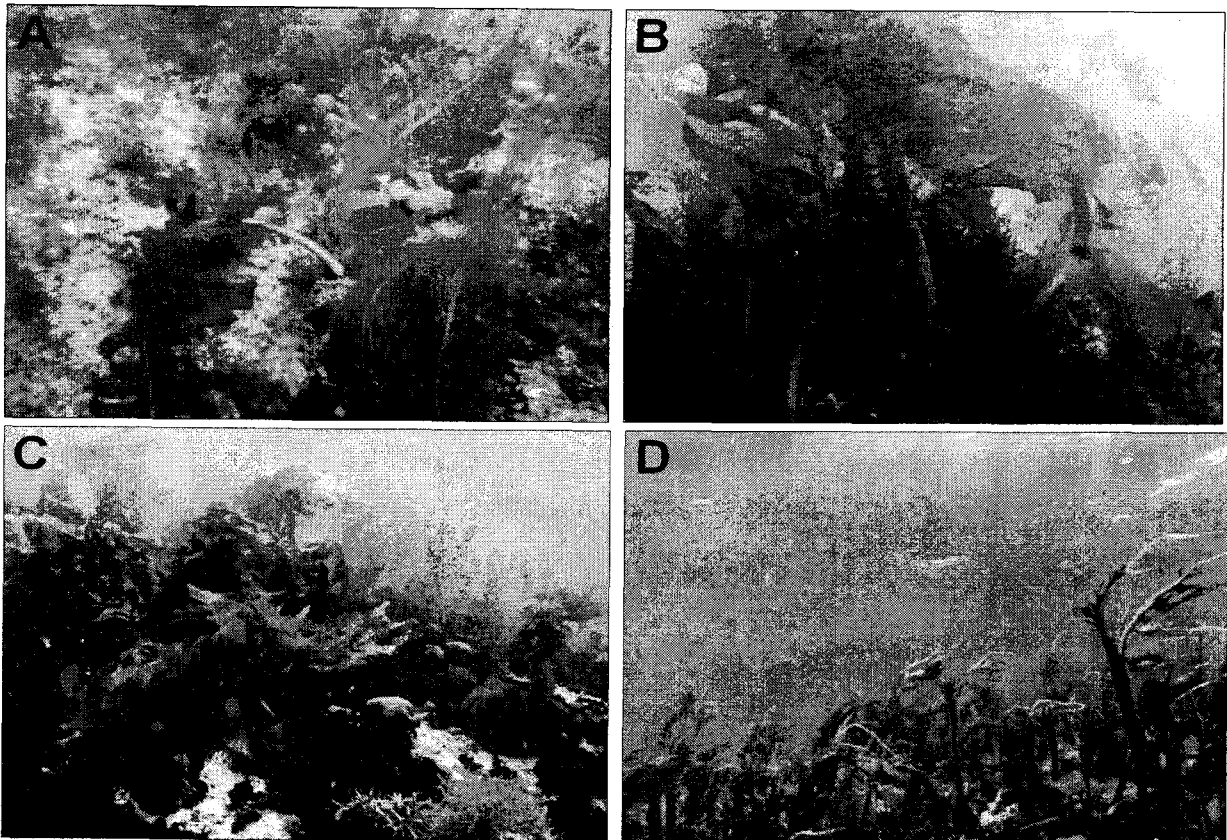


그림 55. 강릉연안 미역의 끝녹음(A: 12월 미역의 유체, B: 1월의 미역성체, C: 5월 미역의 끝녹음, D: 6월 미역의 끝녹음에 의한 엽체 쇠퇴)

표 22. 바다숲의 쇠퇴요인과 형성저해요인(谷口, 1998)

1. 생태학적인 요인

(1) 무기환경의 변화

- 해황변동(수온, 영양염, 파동 등)
- 일시적인 환경변화(해일, 화산폭발, 홍수에 의한 대량의 담수유입 등)

(2) 생물에 의한 영향

- 조식동물의 섭식압
- 석회조에 의한 다른 해조의 착생저해

2. 인위적인 요인

(1) 과잉수확

(2) 해수오염에 의한 투명도의 감소

(3) 부유성의 현탁물, 표사, 토사의 영향

(4) 광산 또는 공장 폐수

(5) 석유 등의 오일(중유 유출사고 등)

(6) 생활폐수 등 계면활성제의 유입

(7) 농약(제초제 등)의 유입

형성하게 되는데 이들의 연령은 줄기의 두께나 부착부의 가지수 등에 의해 연령을 파악할 수 있다. 그러므로 계절성인 단년생과 수 년간 재생에 의해 지속되는 다년생의 구성에 따라 해조류의 식생감소 요인을 분석할 수 있다

해조류의 쇠퇴현상은 생태적인 요인과 인위적인 요인으로 나누고 생태적인 요인은 다시 무기환경의 변화와 생물에 의한 영향으로 크게 나누었다(표 22, 그림 56). 생태적 요인에 의한 해조류의 감소현상은 무기환경의 변화, 석회조에 의한 다른 해조의 착생저해, 초식동물에 의한 섭식압의 3가지로 크게 나누었다. 생태적 요인에 의한 해조의 쇠퇴현상은 자연 환경의 변화로 다시 회복할 수 있는 반면에 과잉수확이나 인위적 오염은 회복되기 어려우므로 해조의 쇠퇴현상의 원인을 나누게 되므로서 대책을 마련하는데 도움이 될 수 있다.

해조숲이 쇠퇴에 의해 수산생물자원이 감소하여 해양생태적으로 바다의 생태환경이 균형이 깨지거나 수산업적으로 어패류의 자원이 감소하여 어업인의 소득이 감소하는 것을 포함하여 포괄적 의미로 갯녹음 현상의 의미로 쓰여지고 있다. 여기에서 해조류의 쇠퇴현상이라 하는 것은 엽상 해조의 감소를 말하며 석회조는 식물이지만 오히려 증가하고 있다.

해조숲을 이루는 모자반, 미역, 다시마, 감태, 대황과 같은 대형해조류가 사라지게 되면 이

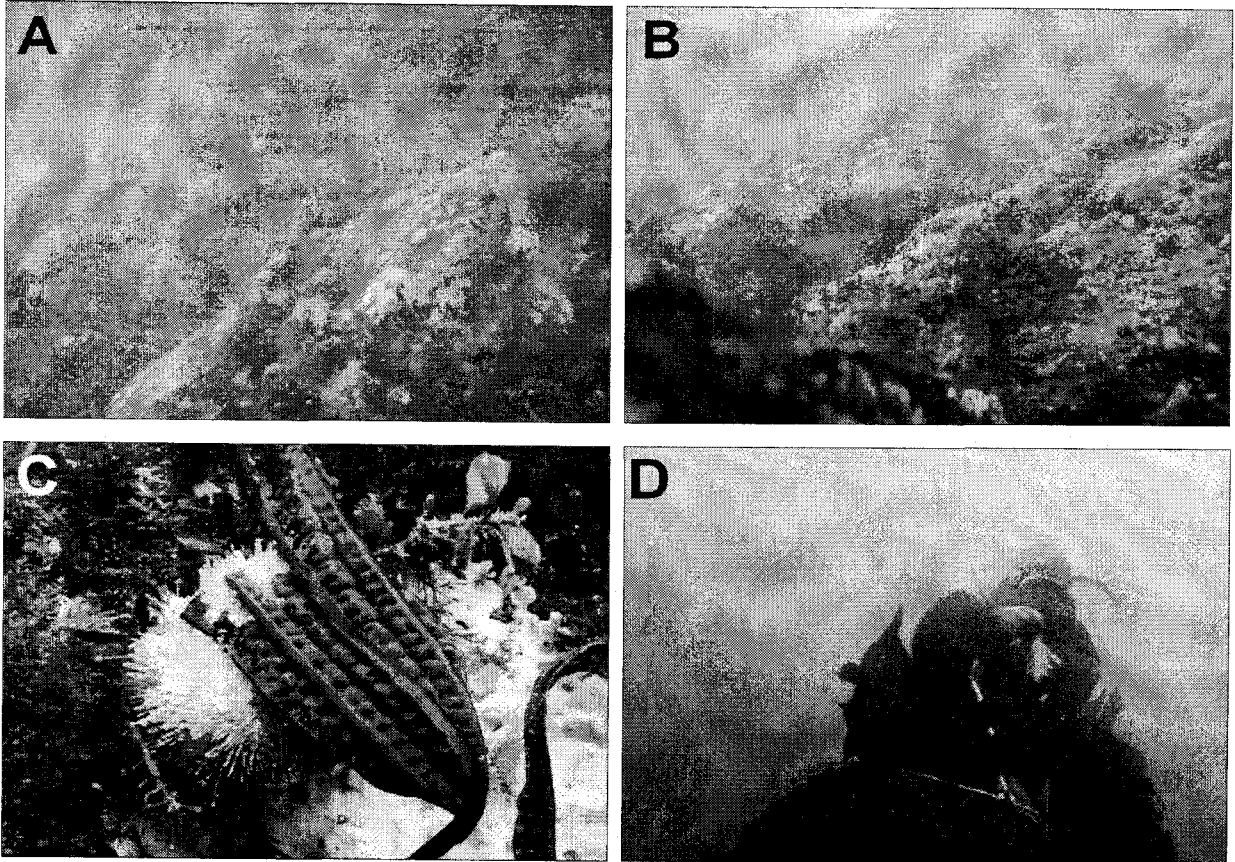


그림 56. 해조식퇴원인(A: 해양환경의 변동, B: 무질석회조의 증가, C: 초식압의 증가, D: 과잉수확)

해조숲에 사는 갑각류, 어패류의 생활공간이 없어지게 되고 먹이사슬이 끊어지게 되어 수산생물자원이 감소된다. 이로 인해 마을어장의 수산자원이 감소하게 되어 어촌의 소득이 줄어들게 된다.

4. 강릉 다시마의 환경적응과 자원 감소

동해안은 부유물질에 의한 탁도가 높지 않아 빛의 투과성이 좋고 청정한 해역으로 바다생물의 서식범위도 매우 깊어서 수심 40~50m 이른다. 다시마의 분포는 연안 가까운 수심 15m 안에는 다시마(*Laminaria*) 속이, 15~25m 에는 개다시마(*Kjellmaniella*) 속이 군락을 이루고 구멍쇠미역(*Agarum*) 종류는 개다시마 종류보다 더 깊은 곳에 서식하고 있다(그림 57). 조간대에는 온대성 해조가 대부분이지만 이들 종류는 모두 한류성 종으로 차가운 해역에 서식하는 대표적인 종류이다. 조간대에서 조하대로 수심이 깊어질수록 수온이나 다른 환경조건이 차이가 나게 되므로 해조의 수심별 서식분포대가 다르게 나타난다.

강릉연안의 다시마는 얇은 곳에 분포하는 다시마와 깊은 곳에 있는 개다시마로 나뉘고 있다. 얇은 곳에 분포하는 다시마는 1970년대 초에 일본 홋카이도에서 양식을 위해 들여온 포자가 분포하게 된 부류이며 깊은 곳에 서식하는 토속종인 우리 다시마는 오랜 옛날부터 자생하고 있는 것으로 강원도에서는 참다시마(강릉) 또는 곤포(고성)라고 부르고 있기도 하다.

개다시마의 형태는 포자엽의 기부가 썩기형에서 아령형으로의 변화가 뚜렷하고 전엽체에 용문상이 나타나며, 자낭반은 한쪽면에만 발생하는 특징을 보이며 배우체의 세포모양은 원형이며 다른 다시마에 비해 크기가 크다. 자낭반은 9월부터 이듬해 1월에 걸쳐 형성되며 재생엽상체는 12월부터 시작되며 5월경에는 구엽이 끝녹음에 의해 모두 소실되고 재생엽이 전체를 차지한다. 고수온기인 여름철에는 엽체가 7월을 고비로 길이성장이 둔화되고 끝녹음이 심하게 일어나며 8월부터는 엽체의 비대성장이 시작된다.

유입된 다시마의 분포는 저조선 아래에서부터 수심 20m 에 이르기까지 폭 넓은 수심 범위에 분포하고 있는데 비해 개다시마의 분포는 광도가 $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이하인 좁은 환경조건에 분포하는 것으로 독특한 환경적응성을 보인다. 두 부류의 다시마 실내배양에서 어린 엽체(아포체) 때의 온도와 조도의 환경조건을 비교 검토하였다(그림 58). 초기 아포체의 온도는 얇은 곳에 서식하는 종류는 5, 10, 15 °C의 어느 온도에서도 성장이 좋았으며 조도는 $120\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 성장이 좋았다. 반면 깊은 곳에 서식하는 개다시마 종류는 10°C, $40\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 성장이 양호하였으며 5°C 또는 15°C에서는 성장이 불량하였다. 또한 고조도에서도 성장이 좋지 않아 이 종류는 서식환경이 독특함을 알 수 있다.

갯녹음과 해조숲의 천이관계로서 해양환경을 분석할 때 생물에 의한 환경지표는 물리, 화학적 환경 수치보다 환경을 총체적으로 표현하므로 종합적으로 나타낸다고 할 수 있다. 개다시마는 온도와 조도로 볼 때 다른 종에 비해 매우 협소한 적응범위를 나타내고 있어서 바다환경의 변화를 매우 잘 나타내주고 있다. 바다환경이 급격한 변화가 올 때 이러한 종류는 성장에 영향을 미치게 될 수 있으므로 갯녹음 환경을 예측하는데 좋은 지표종으로 간주할 수 있다고 본다. 이에 비해 다시마(*Laminaria*, 그림 59-A, B, C)는 환경적응력이 좋아서 점차 우리나라 전 연안에 서식하여 확산되고 있는 경향이다. 동해연안의 분포를 보면 1986년에 조사 당시에는 울진연안이 남방 한계였지만(손, 1987) 최근에는 부산연해에서도 다시마가 자생하게 되었으며 남, 서해안에서도 보편적으로 분포하고 있다. 또한, 강릉연안에서 수심별로 보면 수심이 낮은 곳에서부터 깊은 곳까지 5m(A), 10m(B), 15m(C), 20m(D)에서 다시마의 종류 또는 형태가 다르게 나타나며 토속종은 20m(D)에서 채집이 되었다. 이들 다시마 종류는 환경적응력이 좋아서 점차 서식분포를 확대하고 있으며 오래 전부터 있던 고유종과 자리다툼 등으로 서식 분포에 영향을 주게 되어 생태환경이 바뀌게 된다.

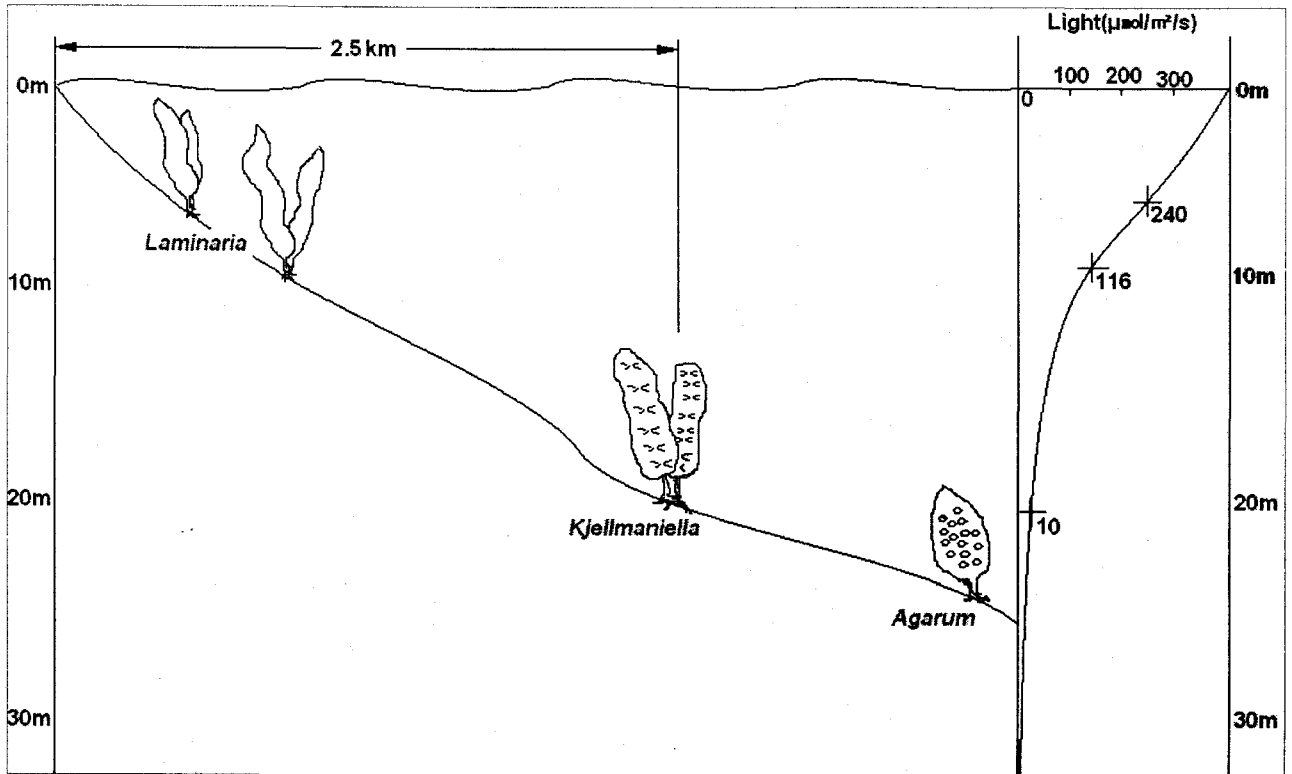


그림 57. 강릉연안 다시마의 광도에 따른 종류별 수심분포

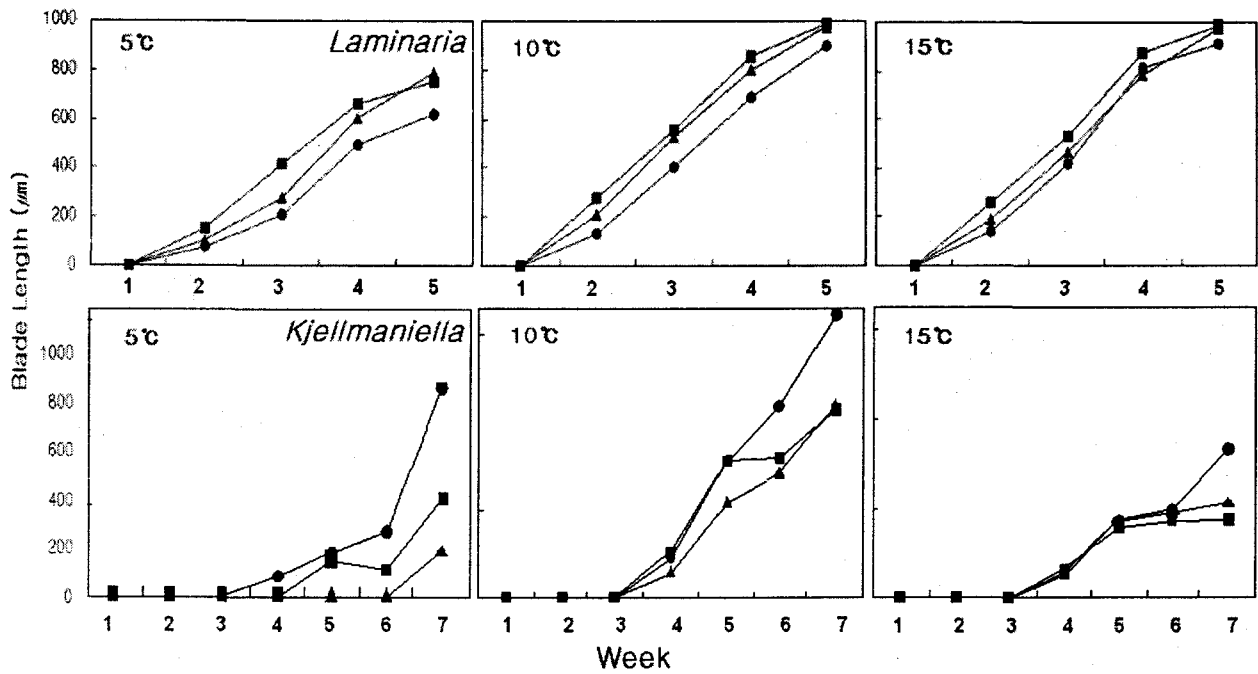


그림 58. 다시마 초기 아포체의 온도·조도별 배양조건에서의 성장경향.

(●: $40\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, ▲; $80\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, ■; $120\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

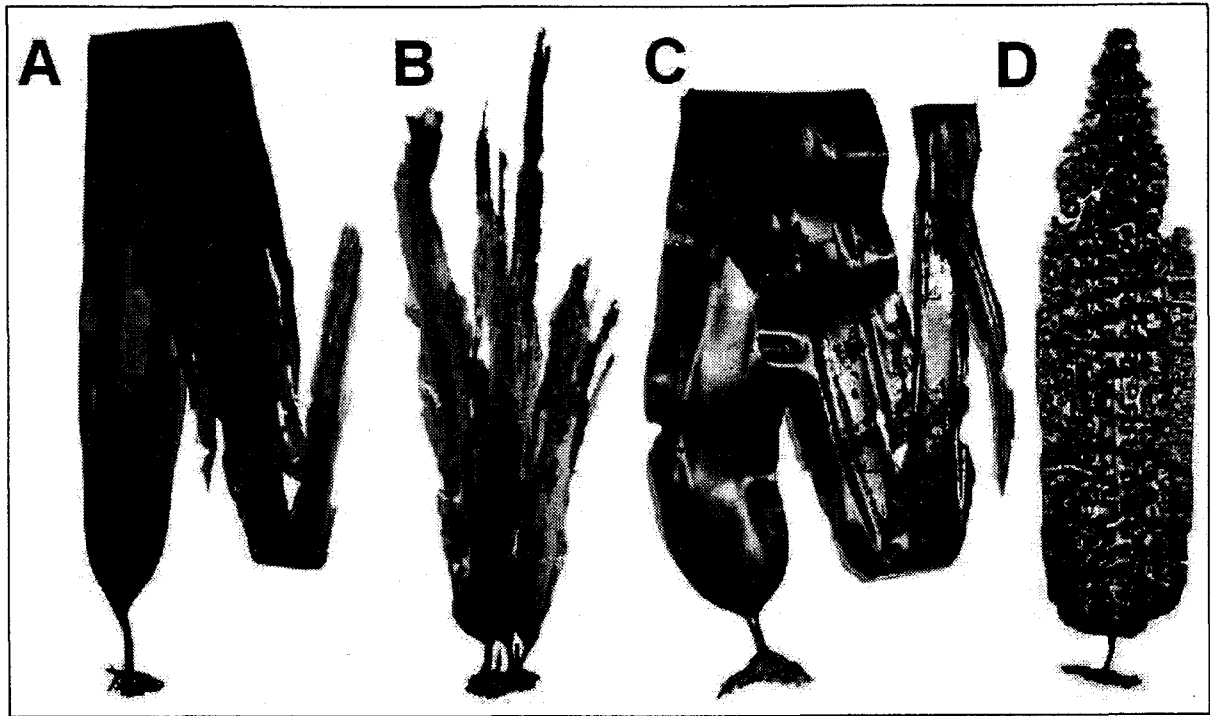


그림 59. 강릉연안에 분포하는 수심별 다시마의 종류(A: 5m, B: 10m, C: 15m, D: 20m)

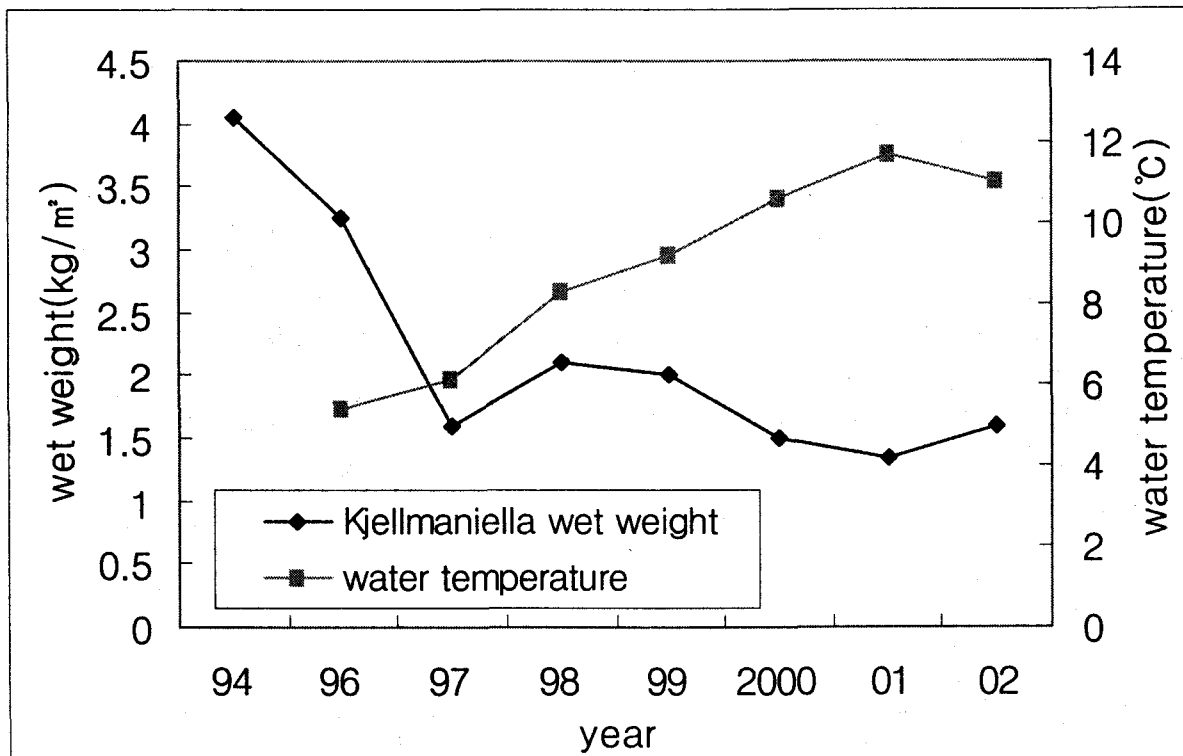


그림 60. 강릉연안 다시마의 현존량(8월) 감소추세와 평균수온(2월)

남, 서해안에서는 수심 10 여m까지만 서식하는데 비해 강릉 앞바다의 경우 해조가 깊은 곳까지 서식하여 연안에서 3~4km에 이르는 마을어장의 생산성이 매우 높다. 해조를 먹는 성게는 이 지방의 주요한 소득원이 되고 있다. 그런데 최근 다시마의 생산이 감소하면서 성게의 자원량이 줄어들게 되어 어장의 소득이 감소하고 있다. 토속종인 다시마는 상품으로 개발되면서 수확량이 기대에 못미치고 있다.

앞바다에서 최근 10 년간에 걸쳐 조사된 조하대 해조의 현존량 추이를 보면 90년대 중반 이후 점차 감소하였다. 토속종인 개다시마(*Kjellmaniella*)의 현존량은 94년도에 4 kg/m²에서 97년~02년에 걸쳐서는 2 kg/m²이하로 낮게 나타났다(그림 60). 특히 2002년 9월 폭우 이후에는 다시마군락이 갑자기 사라지기도 하였다. 이는 97년도에 수온이 2℃ 이상 높아진 해양환경의 변동과 관련이 있다고 본다. 어업인들에 의한 탐문조사에서도 이 시기에 갯녹음 현상이 심하게 나타났음을 입증하고 있다. 2002년 9월에는 강릉연안에 수해가 발생하여 육상으로부터 많은 토사가 유입되어 연안이 매우 투명도가 낮아졌으며 해조의 생육환경이 악화되었다. 11월과 12월에 다시마 개체군을 거의 볼 수 없을 정도로 다시마군락이 갑자기 쇠퇴하여 버렸다. 연안에 서식하는 해조류가 환경의 변화로 갑자기 사라져 버리는 현상도 갯녹음 현상이 하나로 볼 수 있다

5. 어업인에 의한 갯녹음 현상 탐문조사

갯녹음의 발생해역은 넓게 나타나므로 발생실태를 유형화하고자 탐문조사를 수행하였다(표 23). 강원북부에서 남부에 걸쳐 고성군 2곳, 속초 2곳, 양양 4곳, 강릉 5곳, 동해 2곳과 삼척 3곳 모두 18곳을 대상으로 하였다. 갯녹음이 극심하게 발생한 년도는 강원도 남부해역인 동해와 삼척은 1997년에, 양양과 강릉은 1998년, 속초와 일부 양양은 1999년에 발생되었다고 현지 어업인들로부터 청취 조사를 하였다.

갯녹음이 확대는 강원남부에서 북부로 나타나는 경향을 보였으며 분포양상은 항만을 중심으로 갯녹음 발생피해가 크게 나타났다. 삼척지역은 수심 10~20m로 남부지역이 조하대 깊은 곳까지 발생되고 있음을 보여주었다. 강릉과 동해해역은 수심 10m 내외, 속초와 양양지역은 5~10m 정도였다. 무절석회조의 우점종은 엔도흑돌잎, 납짱흑돌잎, 매끈짱, 흑돌잎이 주로 나타났다. 이 현상의 확산으로 쇠퇴하는 종은 주로 다시마, 미역, 쇠미역 종류였다. 갯녹음의 원인으로 어업인들은 근년의 수온상승과 생활하수 및 산업폐수의 영향, 해조류의 섭이압이 크게 작용하였다고 분석하였다.

표 23. 동해연안 각지에서의 갯녹음현상에 대한 어업인 탐문조사

장 소	분포 양상	무절석회조류 우점종	쇠 퇴 해조류	발 생 년 도	원 인	피해 상황
고 성 대 진	항내외 일부(수심 5m)	엔도후돌잎, 후돌 잎, 잘피껍데기	-	-	생활하수	-
고 성 공현진	항내외 일부(수심 5m)	엔도후돌잎, 후돌 잎, 납작후돌잎	-	-	생활하수	-
속 초 대 포	항내외 일부 (수심 5-10m)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	다시마	1999	생활하수, 수온상승	수산물량 다소 감소
속 초 물 치	항외 조하대 일부 (수심 5-10m)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	다시마	1999	생활하수, 수온상승,	수산물량 다소 감소
양 양 수 산	항내외 및 조하대 일부 (수심 5-10m)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1999	생활하수, 수온상승, 탁도증가(대규모 토목공 사)	수산물량 감소 (해조류 및 전 복, 성게)
양 양 기사문	항내 및 항 북쪽 암반 전체, 조하대 암반 일 부 (수심 5-10m)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1998	생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제)	수산물량 다소 감소
양 양 동 산	항내외 및 조하대 암반 일부(수심 10m)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1998	생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제) 해조류섭이압증가(성게)	수산물량 다소 감소
양 양 남 애	항내 및 항 북쪽 암반 전체, 조하대 암반 일 부 (수심 10m)	엔도후돌잎 납작후돌잎 매끈쩍, 후돌잎,	미역 다시마	1998	생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제) 해조류섭이압증가(성게)	수산물량 감소 (해조류 및 전 복, 성게)
강 룡 연 곡	항내외 및 하천 하류 지역 전체(수심 10m)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1998	생활하수, 수온상승, 탁도 증가(산불피해지역 토사 유입),해조류섭이압증가(성게)	수산물량 감소 (해조류 및 전 복, 성게)
강 룡 사 천	항내외 및 조하대 암반 일부(수심 10m내외)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1998	생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제) 해조류섭이압증가(성게)	수산물량 감소 (해조류 및 전 복, 성게)
강 룡 경 포	조하대 암반 일부 (수심 10-15m)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1998	대량생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제) 과도한 산업용 해조채취	수산물량 감소 (해조류 및 전 복, 성게)
강 룡 안 인	항내외 및 조하대 암반 일부(수심 10m내외)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1998	생활하수 산업폐수(어류양식단지), 수온상승(발전소 온배수)	수산물량 감소 (해조류 및 전 복, 성게)
강 룡 정동진	북쪽 암반 전체 및 조 하대 암반 일부 (수심 10m내외)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1998	생활하수급증, 수온상승 해수순환방해(자연만)	수산물량 감소 (해조류 및 전 복, 성게)
동 해 망 상	조하대 암반 상당부분 (수심 10m내외)	엔도후돌잎 매끈쩍, 후돌잎	미역 다시마	1997	생활하수, 수온상승 해조류섭이압증가(성게) 무분별한 해조채취	수산물량 격감 (해조류, 전복, 성게)

장 소	분포 양상	무절석회조류 우점종	쇠 퇴 해조류	발 생 년 도	원 인	피해 상황
동 해 대 진	항내 및 항 북쪽 암반 대부분, 조하대 암반 대부분(수심 10m내외)	엔도흑돌잎 납작흑돌잎 매끈쟁, 흑돌잎	미역 다시마	1997	대량생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제) 해조류섬이압증가(성계)	수산물량 격감 (해조류, 양식 및 자연산 전 복, 성계)
삼 척 근 덕	항내외 및 조하대 암반 대부분(수심 10-15m)	엔도흑돌잎 납작흑돌잎 매끈쟁, 흑돌잎	미역 쇠미역 다시마	1997	생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제) 해조류섬이압증가(성계)	수산물량 격감 (해조류, 양식 및 자연산 전 복, 성계)
삼 척 갈 남	항내 및 항 북쪽 암반 대부분, 조하대 암반 전체 (수심 15-20m)	엔도흑돌잎 납작흑돌잎 매끈쟁, 흑돌잎 잘피겍데기	미역 쇠미역 다시마	1997	생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제) 해조류섬이압증가(성계) 무분별한 해조채취	수산물량 격감 (해조류, 양식 및 자연산 전 복, 성계)
삼 척 호 산	항내 및 항 북쪽 암반 전체, 조하대 암반 전 체(수심 15-20m)	엔도흑돌잎 납작흑돌잎 매끈쟁, 흑돌잎	미역 쇠미역 다시마	1997	생활하수, 수온상승 해수순환방해(방파제) 해조류섬이압증가(성계) 무분별한 해조채취	수산물량 격감 (해조류, 양식 및 자연산 전 복, 성계)

이외에 산불피해로 인해 토사유입으로 인한 탁도의 증가 요인을 지적하였다. 현지 조사에 강원도 연안의 갯녹음 발생실태를 현지 어업인들로부터 탐문조사한 내용으로서 동해안에 위치하고 있는 규모가 작으나 항만 밖의 경우는 해수순환의 방해로 이 현상이 공동적으로 심하게 나타났다.

갯녹음의 현상으로 수산업에 미치는 영향으로 해조류 및 전복과 성계의 자원량 감소를 주로 들고 있다. 연안에 분포하는 해조류의 자원량이 감소하므로 이를 먹이로 하는 초식동물에는 직접적인 피해를 주고 있으며 먹이사슬로 2차 소비자에게 영향을 미치는 것을 고려하면 해양 생태계가 크게 변하고 있음을 알 수 있다.

제 2 절 무절석회조의 환경적응과 조식동물에 의한 초식압

1. 무절석회조의 석회화 과정

무절석회조류에서는 석회화현상이 일어나고 있으며, 이는 광합성 과정의 주된 부산물로 알려지고 있다(그림 61). 석회화는 Ca^{2+} 를 포함하는 물에서 CO_2 나 HCO_3^- 가 흡수될 때 일어날 수 있다. HCO_3^- 의 형태로 무절석회조류에 첨가된 ^{14}C 는 탄산칼슘으로 더욱 잘 투입되는 반면, CO_2 는 유기탄소로 더욱 잘 투입된다. 무기탄소(CO_2 혹은 HCO_3^-)가 흡수될 때 OH^- 의 방출에 의해 세포 외부의 pH가 증가한다. pH가 증가하면 CO_3^{2-} 를 형성하게 되는데 이는 Ca^{2+} 와 반응하여 세포간극내로 확산되어 탄산칼슘을 형성한다. 석회조류에서는 염체에 탄산칼슘이 침적되어 건량을 상당히 증가시킬수 있다. 이들 결과로부터 세포 내에서 두 분자의 HCO_3^- 는 CO_3^{2-} 와 CO_2 로 쪼개진다. CO_3^{2-} 는 탄산칼슘으로 침전되며 CO_2 는 rubisco에 의하여 고정되어 유기탄소를 생산한다.

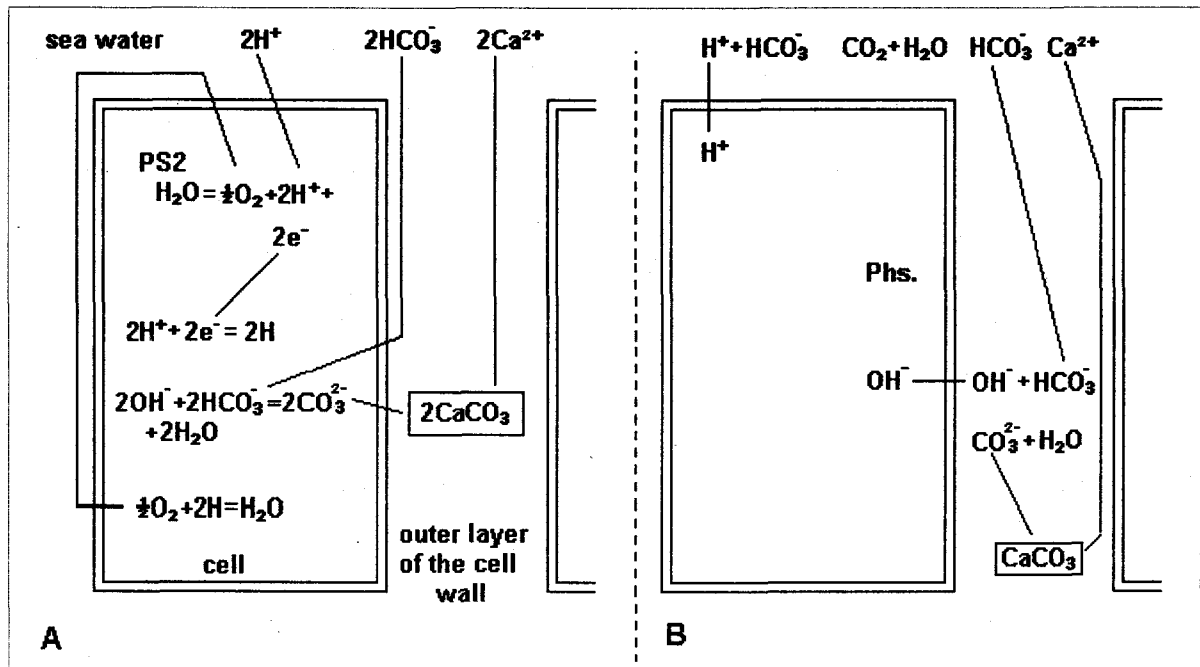
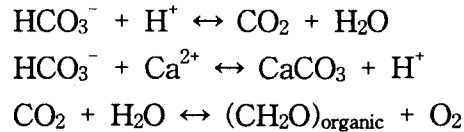


그림 61. 석회화 과정의 모식도

$2(\text{HCO}_3^-) + \text{Ca}^{2+}$ 의 반응에 의하여 여분의 CO_2 가 내부적으로 생겨, 이것이 광합성에서 직접 이용될 수 있는 점은 상당한 잇점이라고 할 수 있다. 특히 해조의 광합성시 CO_2 부족현상은 널리 알려져 있는데 다른 종과의 CO_2 경쟁에서 무절석회조류는 유리한 고지를 점한다고 할 수 있다.

일반적으로 기온이 올라가면 해수내의 기체의 용존량은 감소하게 되는데, 해조는 더욱 극심한 CO_2 감소에 시달리게 된다. 매끈찍은 $2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 와 같은 석회화 과정을 진행하면서 CO_2 농도를 조제 주변에 높게 유지할 뿐 아니라 고온에 내성을 갖는 rubisco가 CO_2 에 대한 높은 친화력을 가짐으로써 해수환경에서 다른 해조류보다 더욱 잘 번성하고 있는 것으로 사료된다. Rubisco(ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase)는 식물체에서 가장 풍부한 효소이다. 석회조의 이 효소는 CO_2 를 5탄당인 ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP)에 투입하여 두 분자의 3-Phosphoglycerate(PGA)를 만드는 반응을 촉매 함으로서 무기 탄소를 광합성에 의해 동화하는데 중심적인 역할을 한다(Andrews and Lorimer, 1987).

무절석회조류의 일종을 야외관찰한 결과 환경과 발생단계에 따라 색소조성이 다르게 진한 홍색, 연홍색, 연두색, 백색 등의 다양한 색깔을 띠는 것으로 나타났다. 이 재료로부터 색소의 정제, 색소의 함량분석, 색소의 분자량과 소단위체 구성을 조사하였다. 흡수스펙트럼과 형광스펙트럼에서 이 색소단백질은 B-피코에리스틴으로 판단되었으며 550nm, 615nm에서 최대흡광도를 570nm와 630nm에서 최대형광을 갖는 것으로 나타나 R-피코시아닌으로 판단되었다. 색소는 엽록소 a 와 피코에리스틴의 함량이 높고 흡수극대가 넓은 범위에 걸쳐 있어 갯녹음의 지표생물인 *Lithophyllum* 종은 sub-littoral marine habitat에서 성공적으로 번식하고 있는 것으로 보였다.

2. 무절석회조의 야외에서의 계절 변동과 실내배양

석회조의 서식생태는 동해연안에서는 수온이 12°C 로 상승하는 5월경에 포자방출이 활발해지기 시작하여 20°C 가 되는 7~9월경 왕성한 포자방출과 함께 1개월 후에 수 mm로 성장하여 다년생으로 서식하고 있다. 우리가 보통 갯녹음이 발생하였다는 것은 갑자기 해양환경의 변동에 의해 해조의 숲이 사라져서 해조가 서식하는 바닥이 보이게 되는 경우이거나 석회조가 수개월에 걸쳐 회복도가 커지게 되는 상태로 적조와 같이 일시적인 현상에 비해서는 다른 상태라고 볼 수 있다. 그러므로 해조숲이 사라지는 갑작스런 변화를 제외하고는 갯녹음이 며칠만에 나타났다가 사라지는 현상이라기 보다는 보다 장기적인 현상이라고 볼 수 있다.

갈남해역 2001년도 4계절의 연안의 조하대 모습으로 자홍색을 띠고 있다(그림 62). 이 일대는 벌건 바닥으로 해조의 착생이 거의 보이지 않은 상태이다. 석회조 식물 *Lithothamnion* 속

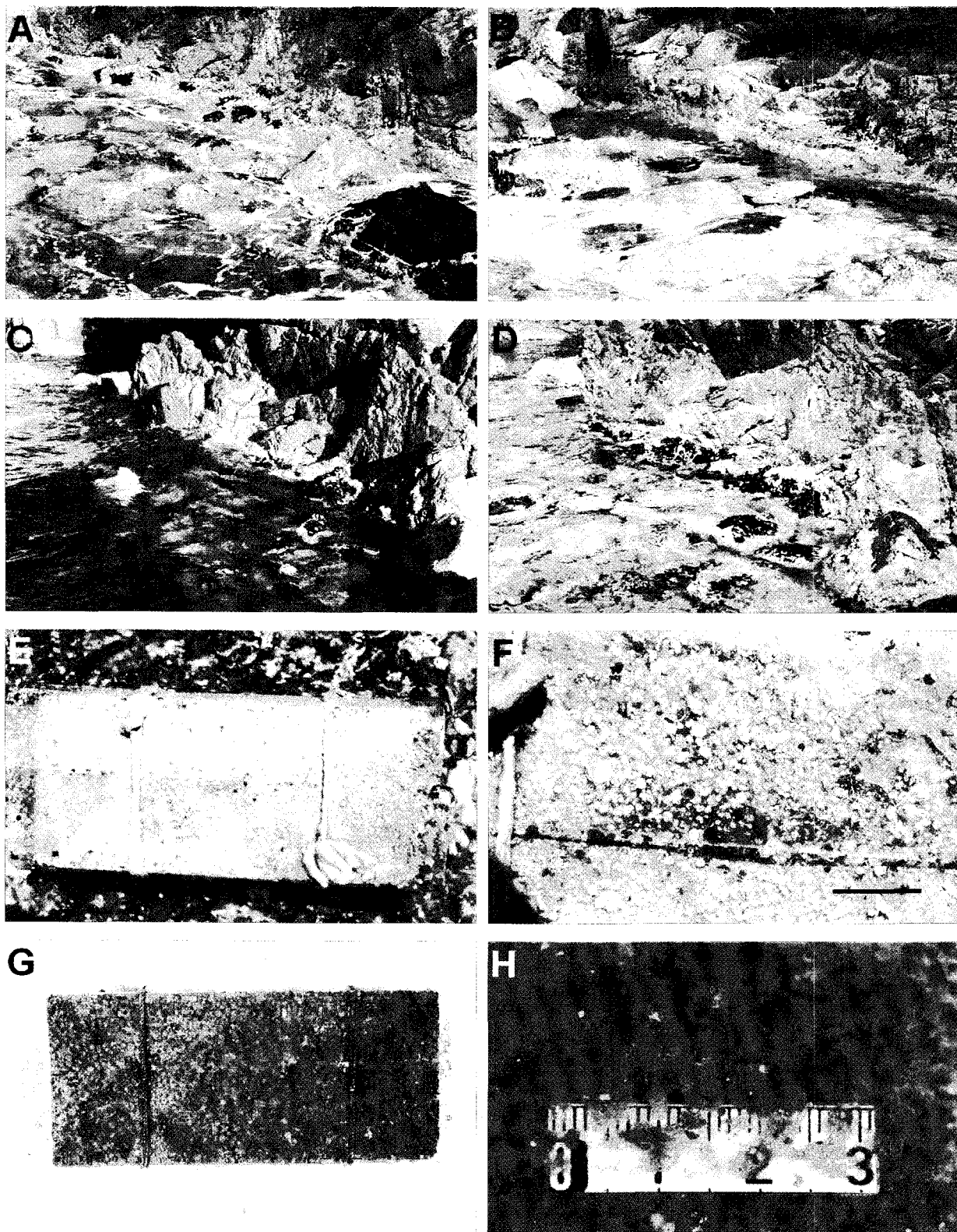


그림 62. A: 2001년 5월, B: 2001년 8월, C: 2001년 11월, D: 2002년 2월
 E, F: 2001년 5월 투입 6월 회수(scale bar=10mm) G, H: 2001년 7월 투입 8월 회수

은 동해연안의 우점종으로 파악이 되는데 조간대와 조하대의 얕은 수심의 색조는 여름과 봄철이 겨울철보다 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있다(그림 62, A, B, C, D). 2001년 5월에 벽돌에 비닐을 감아 투입하여 6월에 회수한 무절석회조의 농도보다 7월에 투입하여 8월에 회수한 것이 석회조 부착이나 성장이 잘 이루어졌다(그림 62 E, F, G, H).

무절석회조의 실내배양 연구에서 *Lithophyllum yessoense* 포자의 성장을 위한 적정 수온 조건은 20℃였으며, 25℃조건에서는 생장이 저하되는 것으로 나타났는데 Chihara (1974)는 석회조류의 포자방출 양상과 포자의 분열 방식, 포자의 발아 특성을 기준으로 하여 석회조류를 일년중 여름철에만 포자를 방출하는 *Lithophyllum* 군과 연중 계속적인 포자방출 양식을 보이는 *Lithothamnium* 군으로 대별한 바 있으나, Noro et al. (1983)은 *L. yessoense* 또한 연중 지속적인 생식기집 형성을 보이는 *Lithothamnium*군에 속한다고 하였고, 이 연구에서도 *L. yessoense*는 연중 계속해서 생식기집을 형성하였으며, 1월부터 3월까지의 시기를 제외한 나머지 기간동안 포자의 방출 양식을 보였다.

이러한 납작돌잎의 포자방출 양식은 갯녹음 지역의 인공어초 조성시 인공 기질을 투입하는 시기를 결정하는데 중요한 자료로 사용될 수 있다. 이는 Serisawa et al. (1998)의 연구에서도 인공 어초를 12월 및 2월에 시설한 경우 무절석회조류의 증식이 적고 유용갈조류의 증식이 유도할 수 있었다고 보고한 바와 같이, 갯녹음 지역의 인공 해중립 조성시 무절석회조류의 포자 방출 패턴을 이용하여, 주 포자 방출 시기를 피하여 인공어초를 투입하고 해중립을 조성하는 것도 인공어초 투입 효과를 높이는 한 방안이 될 것이다.

3. 무절석회조와 엽상해조의 공존관계와 물질추출에 의한 포자발아

무절석회조에는 전혀 엽상해조가 부착하지 못하는 것이 아니라 엽상해조의 종류에 따라서 어떤 부류는 석회조 위에 매우 잘 부착하는 것이 있는 반면 어떤 부류는 서식하지 않는 것을 암반조사에서 쉽게 관찰할 수 있다.

삼척 갈남에서 조사된 무절석회조류 위에 잘 부착하는 종류는 그물바탕말, 우뭇가사리, 모자반, 청각, 미역, 서실, 마디잘록이 종류이었다. 이들 종류는 기질로서 석회조를 이용하기도 하지만 조간대에 서식하는 석회조로서는 이들 엽상해조로 노출을 막아주게 되므로 수분을 유지하며 서로 공생관계에 있음을 알 수 있다.

석회조의 성분에 따라 엽상해조의 포자에 대한 활성을 검토한 결과 납작파래 (*Enteromorpha compressa*)는 diethyl ether와 acetone 추출물에서 0%의 부착율을, 잎파래 (*Enteromorpha linza*)는 diethyl ether 추출물에서 0%의 부착율을, 붉은부챗살 (*Carpopeltis cornea*)은 acetonitrile 추출물에서 2.8%의 부착율을, 꼬시래기 (*Gracilaria verrucosa*)는

acetonitrile 추출물에서 0%의 부착율을, 왕지누아리 (*Halymenia acuminata*)는 acetonitrile 추출물에서 0%의 부착율을, 미역 (*Undaria pinnatifida*)은 methaol 추출물에서 0.34%의 부착율을, 바위수염 (*Myelophycus simplex*)은 diethyl ether 추출물에서 0%의 부착율을 나타냈다. 여기서 알 수 있듯이 무절 석회 조류에서 추출한 추출물들은 해조류마다 다르게 작용하였다. 따라서 각 추출물마다 해조류 포자 부착에 영향을 주는 다양한 물질이 존재하고 있음을 알 수 있었다.

갯녹음 연안을 바다숲으로 조성하기 위한 방안에서 석회조위에 잘 서식하는 종류를 해조류 포자번식이나 이식 대상종으로 하는 것이 바람직하다. 석회조위에 번무하는 종류는 연안의 지점에 따라 각기 다르게 나타날 수 있으므로 해양환경에 따라 석회조와 공존하는 해조의 종류 파악이 먼저 이루어져야 한다.

4. 무절석회조에서의 포자발아억제와 초식작용에 의한 엽상해조의 감소

무절석회조류가 번무한 곳에는 엽상해조가 감소하는 이유로 무절석회조의 표피세포층이 떨어져 나가는 현상과 석회조의 포자발아 억제물질로 해조의 포자 부착을 어렵게 할 수 있다. 그 다음으로 초식동물에 의한 식해에 의한 것을 꼽을 수 있다.

첫번째로 무절석회조의 표피세포층의 탈피와 포자 발아 억제 물질에 의한 엽상해조의 서식을 어렵게 하는 것이 있다. 석회조의 표피세포층이 제거되므로 허물이 벗기는 것과 같은 현상으로 초식자에 의해 부착생물이 제거되는 것과 같이 엽상해조의 서식이 불가능하게 되어 해조군집에 영향을 끼치게 된다. 또한 석회조류는 초식동물이 없더라도 해조류의 성장을 저해한다는 보고가 있으며 석회조류에 의한 해조의 성장억제 allelopathy 물질의 생산을 제시하기도 한다. 이 연구에서는 잎파래의 포자부착에 영향을 주는 물질이 Terpenoids나 Phenolics 계열의 물질임을 확인하게 되었다.

두 번째로 초식작용에 의한 엽상해조의 감소이다. 많은 석회조는 특히 전복과 같은 초식성의 무척추동물의 유생의 정착을 진행하는 화학물질을 내게 된다. 이것은 초식자들이 부착식물들을 제거하여 다른 피복성 생물들을 제거하고 빛을 이용할 수 있는 빈 공간을 갖게 되므로 석회조를 위한 적응이라고 보아진다. 어떤 석회조류는 여러 무척추동물을 위해 미세서식처를 마련해주는 두꺼운 껍질로 발달되기도 한다. 예를 들어 동부 캐나다 연안에서 성체 유생인 키톤과 고둥류는 거의 혹은 아예 아래가 휘어진 석회조류에 의해 방어되지 않는다면 어류의 포식에 의해 100% 사망하게 된다. 이것은 아마 해양생물의 군집안에 초식자의 섭이압에 대한 영향과 분포에 영향을 미치는 중요한 요인이 될 수 있다. *Hydrolithon onkodes* 종류는 유생이 석회조의 홈 안에 파고들어 숨었다가 밤에 석회조의 표면에 섭이하기 위해 나오게 된다. 이

렇게 낮에는 흙 속에 숨었다가 밤에 섭이하는 특별한 성장형태(성안에서 지내는 모양)를 하게 되므로 석회조는 거의 수직적, 불규칙적인 라멜라 곡선을 하고 있는 것으로 석회조와 초식자 사이의 관계가 서로에게 적응현상을 보인다.

동해안에서 갯녹음역의 초식자로 성게류의 둥근성게(*Strongylocentrotus nudus*), 북쪽말뚝성게(*Strongylocentrotus intermedius*), 말뚝성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*)와 불가사리(*Asterina pectinifera*), 후새류인 군소(*Aplysia kurodai*), 복족류인 밤고둥(*Chlorostoma lischkei*), 전복(*Haliotis discus hannai*)과 기타 요각류 소형 고둥류를 들 수 있다. 둥근성게는 그 서식 습성이 노출성이므로 반잠입성이나 잠입성인 북쪽말뚝성게나 말뚝성게와 달리 암반의 표면 전역에 고르게 부착하여 해조류를 대량 섭식하는 가장 문제가 되는 포식자이므로 갯녹음 해역에서 조장 형성 초기에는 절대적으로 구제 및 관리 할 수 있는 방안이 강구되어야 한다. 밤고둥의 섭식량은 적지만 높은 밀도로 서식하여 해조류를 식해하므로 갯녹음을 확산시키는 주범이며, 최근에는 군소류의 과도한 식해가 큰 문제로 대두되고 있다. 군소는 후새류로서 성장과 번식력이 빠르고 포식량이 다른 동물(둥근성게 1미당 약 4g/일)에 비하여 월등히 높으므로 일시에 해조숲을 감소시킬 수 있다.

제 3 절 동해연안 갯녹음 해역의 해양환경 특성

1. 지리적인 동해연안의 해양환경

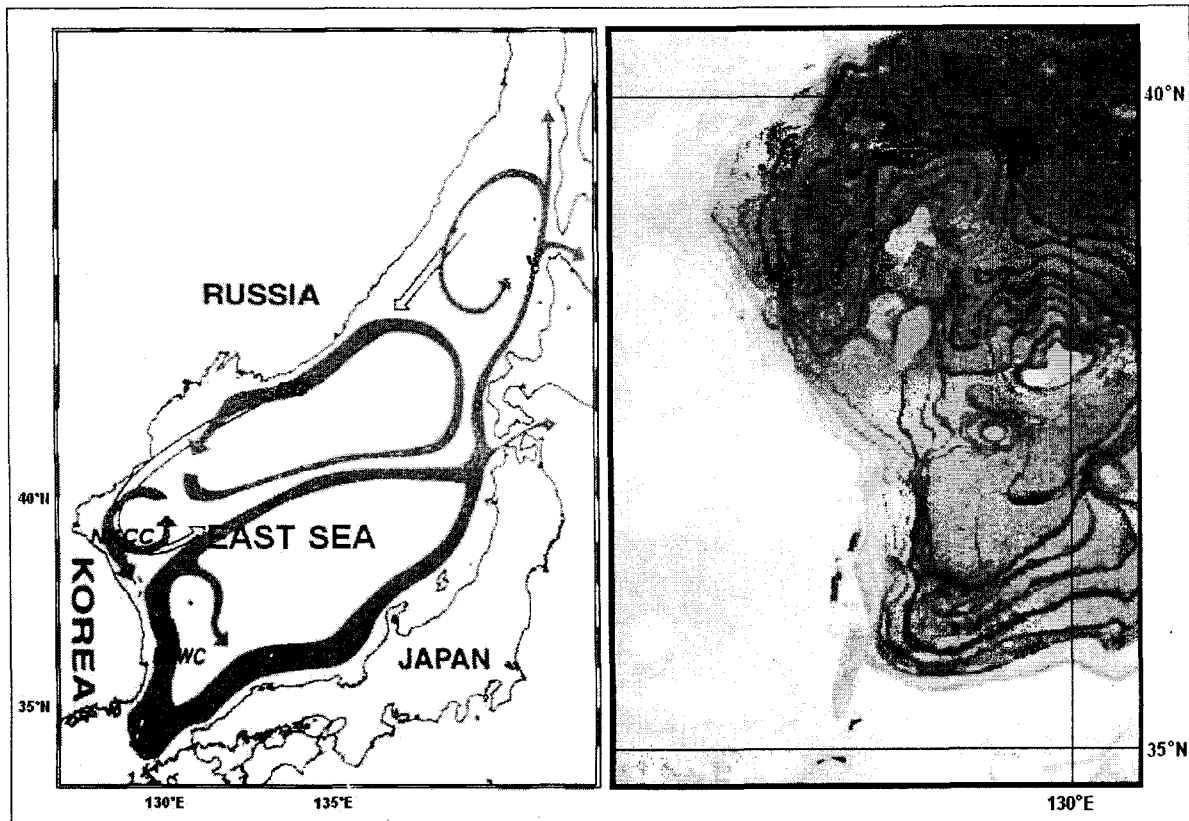


그림 63. A: 동해안의 해류(TC: 쓰시마 해류, LC: 리만 해류, EKWC: 동해난류, NKCC: 북한한류)
B: 동해안의 해저지형

동해안의 100년간 연평균 수온변동 추이를 그림 64에 나타내었다. 동해에서 장주기 수온변동의 또 다른 특징은 1980년대 말부터 수온이 상승한 것인데 이것은 1960년대의 것과는 반대의 위상이다 1940년대에도 비슷한 수온상승이 일어났으며, 이러한 것으로 미루어보아 동해에서도 20년과 약 50년 주기의 변동이 중요한 것으로 사료된다. 표층에서부터 수심 200m까지 평균한 상층 평균수온에도 SST에서의 변동과 비슷한 광주기 특성을 나타내서 1960년대에 평균수온이 낮아져 1980년대 중반에 최소가 된 후 1980년 말부터 수온이 상승하였다(그림 64의 빗금 친 부분, 오와 박, 2003). 동해안 북서부보다는 남부연안에서 수온 상승이 높게 나타났다.

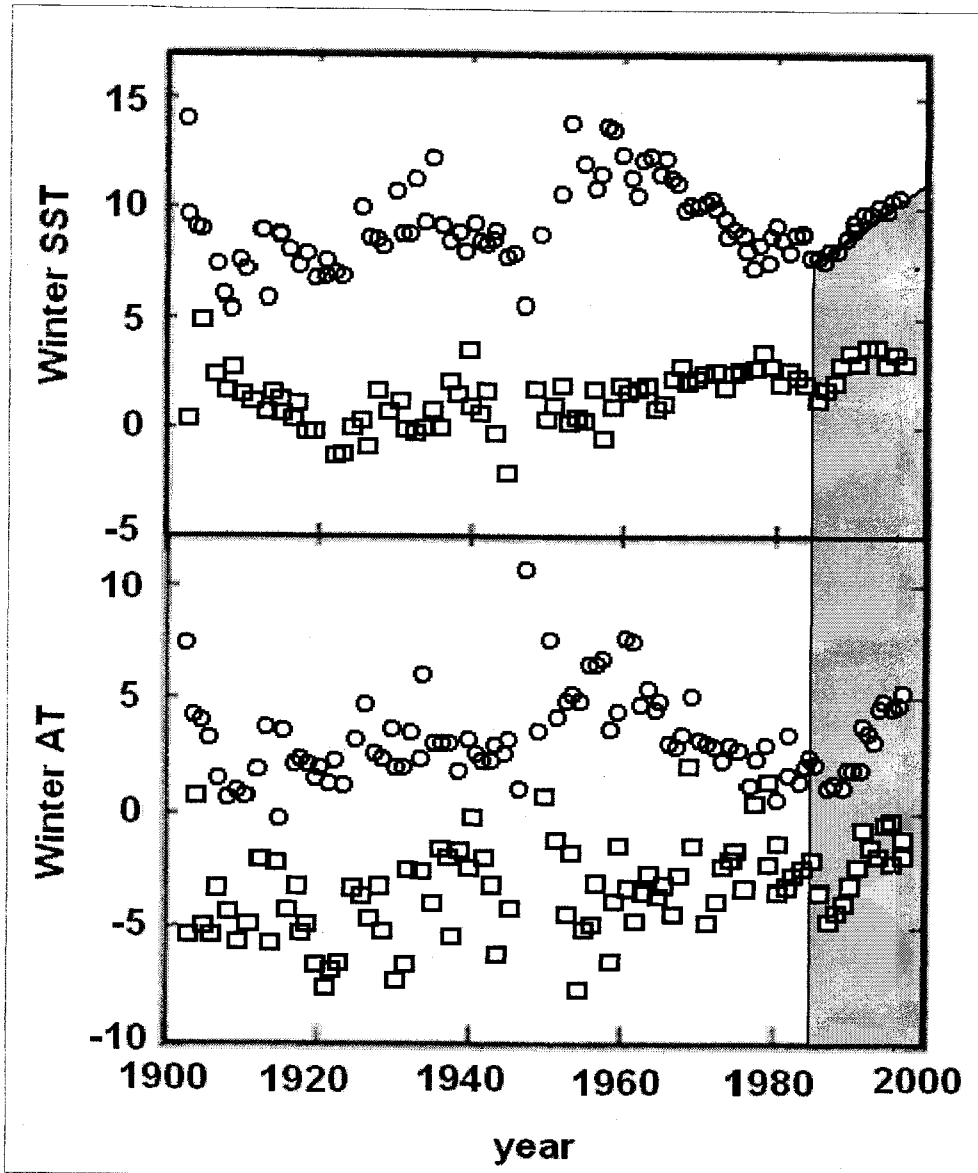


그림 64. 100년간 동해 남부(○) 및 북서부(□)의 수온(SST), 기온(AT)의 겨울철 평균

수온이 상승하기 시작한 1980년대 말은 갯녹음 현상이 확산되기 시작한 시점과 같으며 1990년대에 들어오면서 언론에서도 특집으로 이 문제를 다루게 되었다. 1993년에는 제주 MBC에서 바다의 백색공포의 다큐멘터리 제작으로 백화현상을 소개하기도 하여 일반에게 널리 알려지게 된 것이 이때부터이다. 이는 1980년대에 연화도의 갯녹음 확산 연구(손 등, 1986)에서 무절석회조의 피도가 다른 엽상 해조와 비교할 때 매우 우점도가 증가함을 보고한 바 있는 것을 100년간의 수온변동으로서 1980년대 중반 이후 이 현상이 가속화되고 있음을 알 수 있다.

동해연안 포항, 동해, 속초 지점의 최근 1990년부터 2000년 사이의 10년간 평균수온 변동에

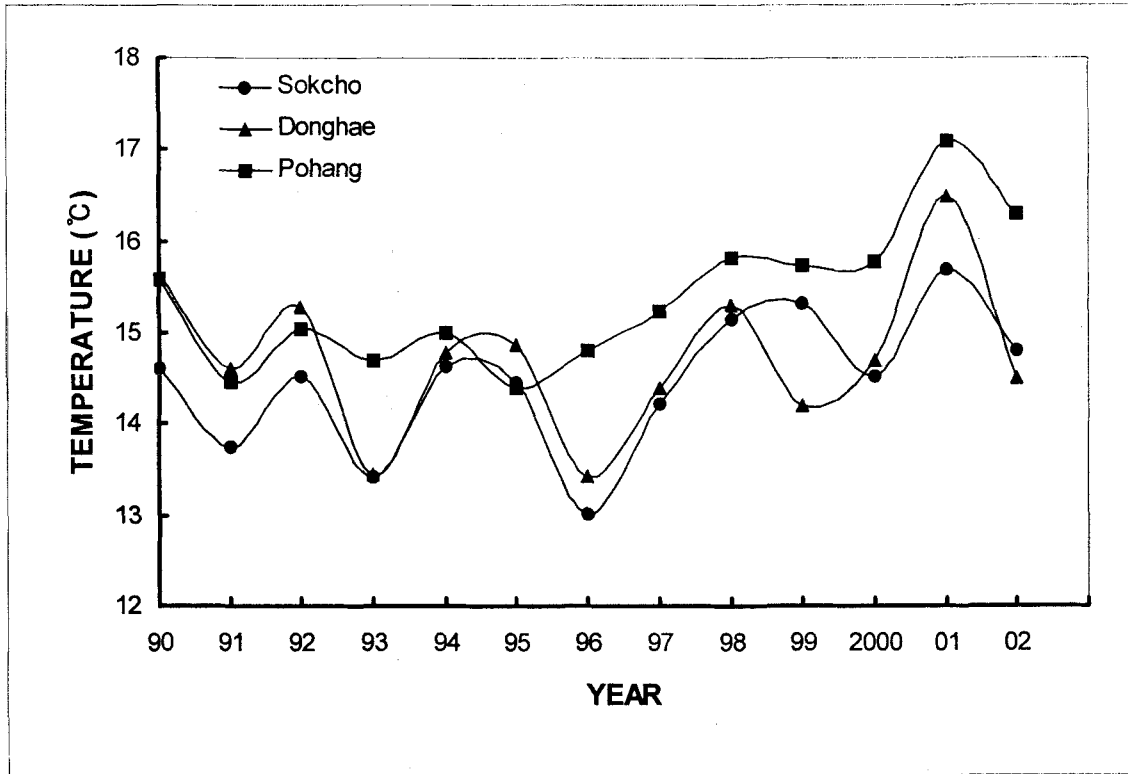


그림 65. 동해안의 10년간 연평균 수온 변화 추이.

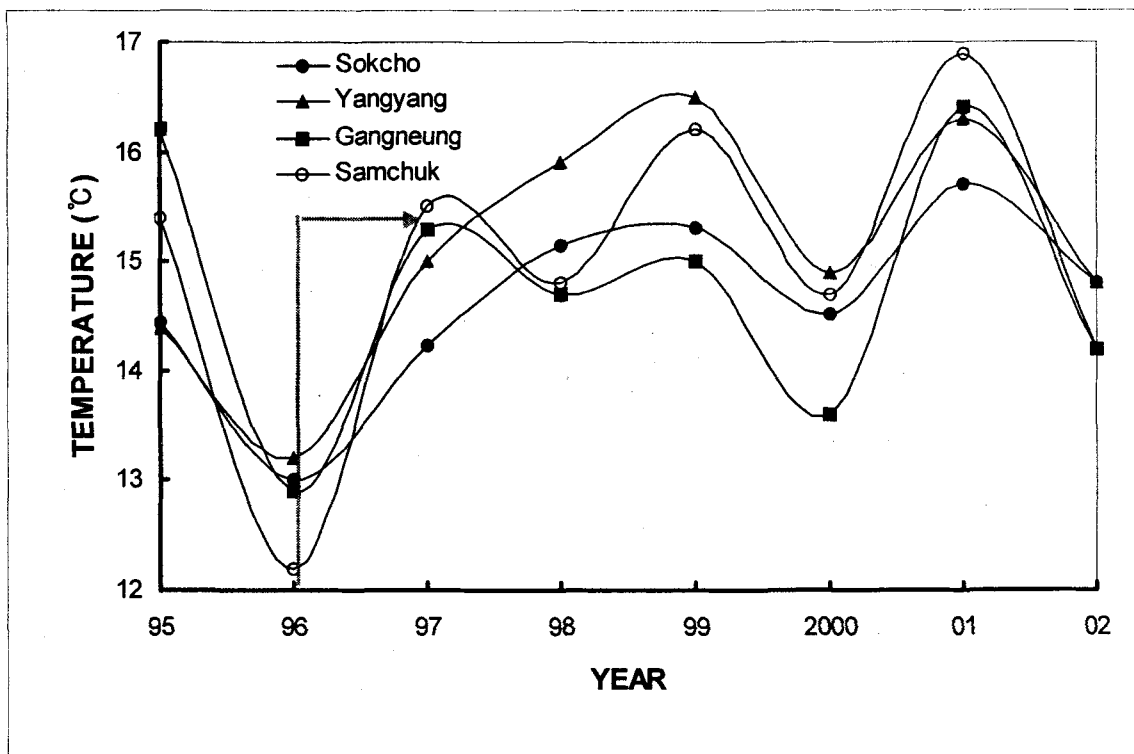


그림 66. 동해안 갯녹음 발생시의 연평균 수온 변화 추이.

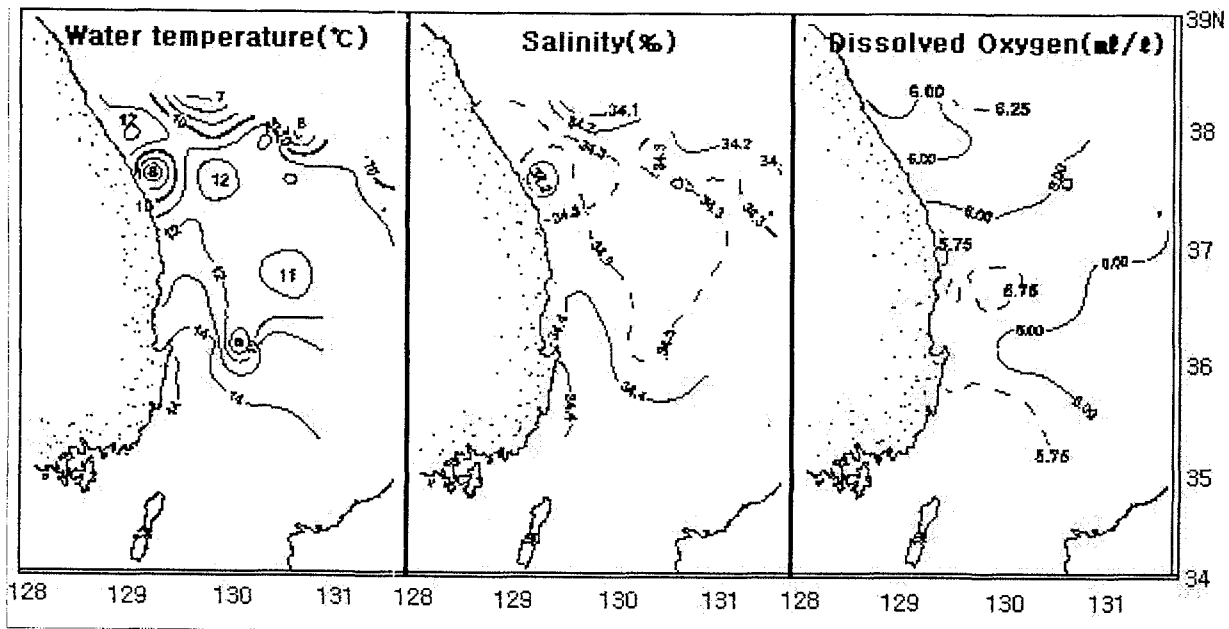


그림 67. 동해안 표층수의 수온, 염분, 용존산소의 수평적 분포(2001.2).

서 점차 수온이 증가하는 경향을 보였다. 그러나 100년의 자료와 비교하면 최근 10년간의 수온변동은 상승기에 해당하는 것임을 알 수 있다. 10년간 동해연안 지점별 수온변동에서 동해 남부인 포항이 수온이 높았으며 동해, 속초 순으로 나타났다(그림 65). 지역간 수온 차는 1996년부터 2002년까지에 걸쳐 크게 나타났다. 특히, 1996년에서 1997년에 걸쳐 수온이 큰 차를 보였는데 동해안 어업인들에 의한 탐문조사에서 동해안 갯녹음의 확산이 1997~1998년에 된 것과 비교해볼 때부터 심하게 발생되었는데 이때의 지점간의 연평균 수온변화를 그림 66에 나타냈다.

1996년 5월 이후 포항 해역까지 평년비 2~3°C 이상의 고수온을 보임으로서 갯녹음이 발생하여 1997년 이후부터는 강원도 삼척시 호산해역부터 시작하여 최근에는 고성군 연안까지 확산 분포되었으며 이는 고수온에 의한 스트레스에 의하여 주로 단년생 엽상형 해조가 소실된 곳에 아열대성 해조인 석회조류가 착생 피복됨으로써 방출된 포자의 재발생을 억제하고 갯녹음이 확산된 것으로 생각된다.

일본 이즈동부해안에 발생한 갯녹음의 경우 1883년부터 1978년까지의 95년간에 걸쳐 전 북의 어획량과 해황의 변동을 밝힌 바 있다. 1900~1902년, 1934~1938년, 1975~1978년 등 3회에 걸쳐 발생하였으며 그 때마다 1~2년 후에는 전 북 어획량의 현저한 감소로 결국은 어업활동을 중단하게 되었다. 해양학의 자료에서 과거 95년간 6회에 걸친 쿠로시오 나류의 대유동이 기록되어 있으며 갯녹음의 발생시기는 이 쿠로시오의 대유동이 규모가 크고 또 기간도 긴 시

기와 일치하고 있다. 가지리 씨 등은 이즈반도 연안에 쿠로시오가 가까워짐에 따라 수온이 높은 상태로 유지되고 이 온도변화에 적응하지 못하는 감태가 고사하여 바다숲이 쇠퇴한 결과 먹이 부족으로 인해 전복이 사망하고 어획량이 극도로 감소한다고 생각했다.

2002년 5월과 2002년 10월의 인공위성 표면해수온 그림 68에 나타내었다. 5월에는 쿠로시오의 난류세력이 강하고 10월에는 한류세력이 크게 나타남을 알 수 있다. 5월의 인공위성 그림에서 삼척, 울진 연안을 중심으로 따뜻한 물과 차가운 물의 경계가 되고 있음을 알 수 있다.

해양환경요인중 2000년, 2001년과 2002년의 수심별 수온의 월별변동을 조사점 인근지역의 죽변과 주문진해역의 조사자료를 인용(동해수연 해양자원조사보고 제39~49호 자료)분석하였다(그림 69). 이 그림에서 보면 월별 수온 변동에서 죽변해역은 주문진해역에서보다 그 변동폭이 적게 나타났다. 특히 겨울 1, 2월의 수온은 죽변해역이 주문진 해역보다 높게 나타났다. 또한 2000 또는 2001년의 평균수온이 평년보다 높게 나타났다.

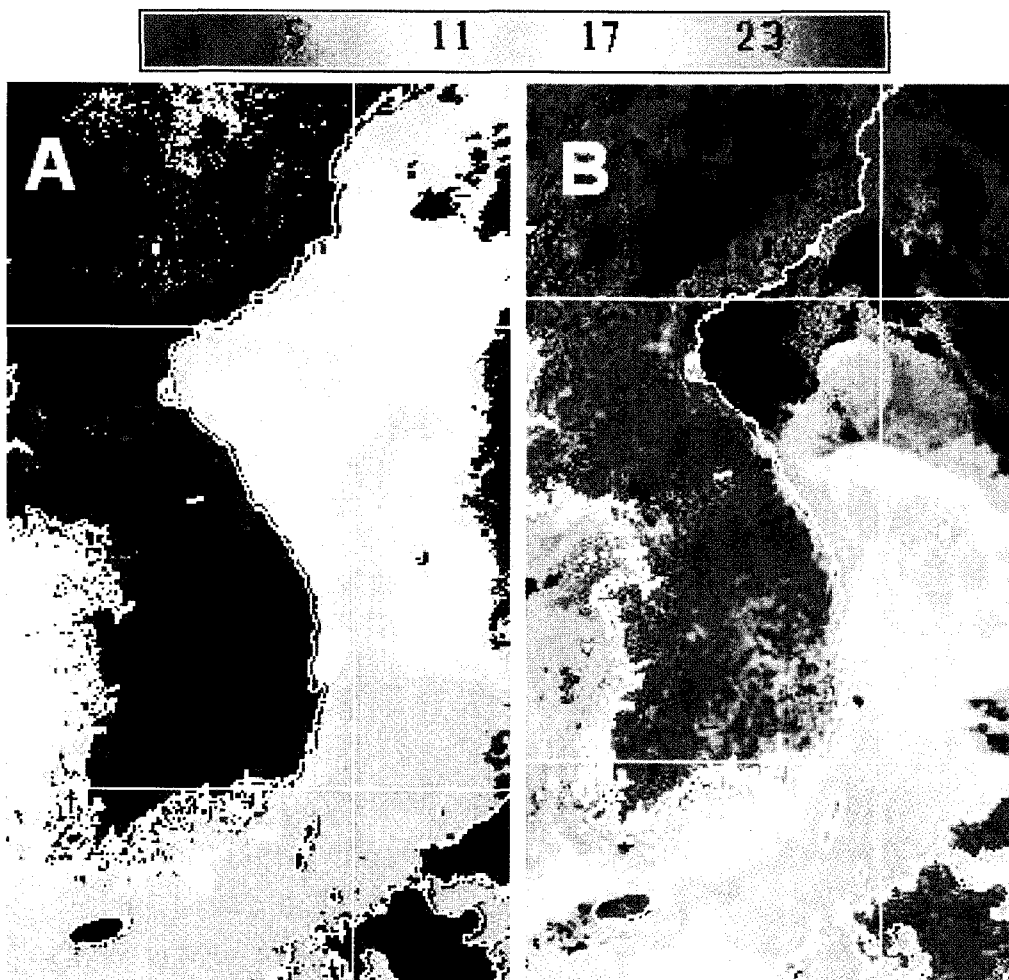


그림 68. 동해안 인공위성 수온사진(A: 2002년 5월, B: 2002년 10월)

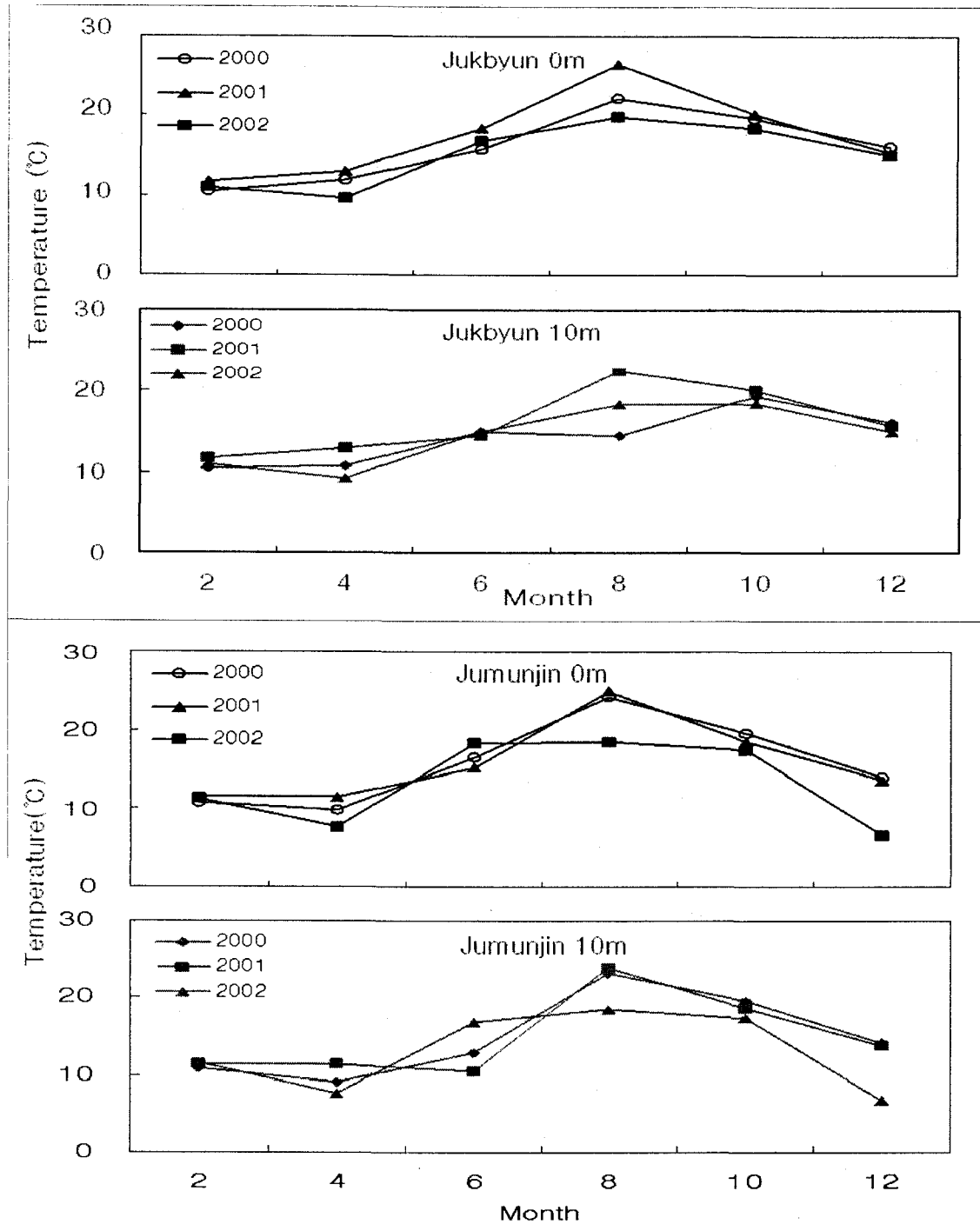


그림 69. 죽변, 주문진 2000년, 2001년과 2002년의 수온의 수심별 및 월별변동

2001년 2월의 조사지점 동해 연안역의 표층수의 수온·염분·용존 산소의 분포를 그림 69에 나타내었다. 수온의 수평분포는 죽변연안에서 8°C 또는 10°C로 주변해역의 12°C나 14°C에

의해 낮게 나타났다. 조사해역은 이 차가운 냉수괴에 연한 곳으로 12°C 정도를 나타내어 크게는 4°C 정도 높게 나타났다. 염분의 수평분포는 해수면 높이(0m)에서 조사지점인 갈남해역이 34.2~34.3‰로 남부해역의 34.4‰에 비해 낮게 나타났다. 용존산소는 해수표면에서 5.50~6.36 ml/l의 범위로 대부분 해역에서 6.0ml/l 내외의 분포를 보였다.

자연생태적인 요인으로는 인간활동에 의한 영향을 제외한 변화들을 생각할 수 있다. 최근 왕돌초의 암반생물상 조사(박, 2002)에서 홍조류와 감태, 쇠미역 종류가 우점하여 제주도 해역 난대역의 대표종인 감태와 한류종인 쇠미역이 공존하는 것으로 나타났다.

동해연안의 해조류 분포에 대해서는 Kang(1966)이 한반도 해양환경의 특성을 고려하여 5개 구역으로 나누면서 동해안은 원산만 이북의 동해북구와 그 남쪽의 울기곶까지 동해남구로 구분한 바 있다. 우리나라에 분포하는 해조류 414종 중에서 동해남구에 분포하는 해조류는 196종으로 이중 북방계가 10% 정도 출현한다고 분석하였다. 이후 손(1987)은 동해연안을 북부, 중부, 남부로 나누어 해조상 특성을 분석하였다. 부(1987)는 강원해역 해조류의 분포에서 남조 9종, 홍조 145종, 갈조 55종, 녹조가 22종 모두 231종이 분포한다고 정리한 바 있다.

울진연안의 바깥측에 위치한 왕돌암에는 25년이 경과한 시점에서 감태 종류가 새로운 종으로 이입되어 분포하게 된 것은 쿠로시오 난류의 영향이 커지고 있다는 것을 단적으로 나타내고 있으며 자연생태적인 요인으로 볼 수 있다.

2. 지형적인 동해연안의 해양환경

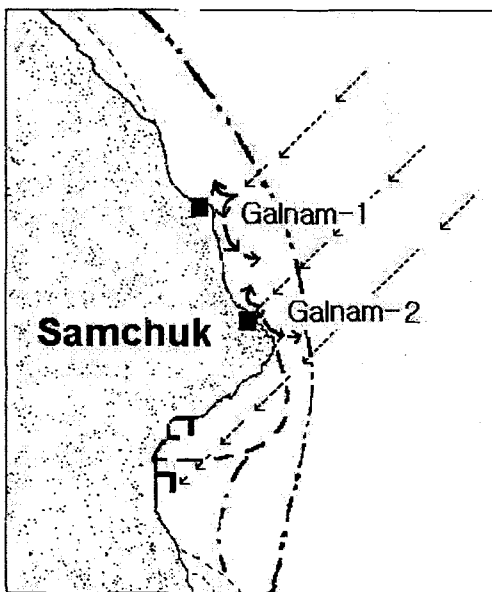


그림 70. 강원 삼척 연안 지형에서 이루어지는 조류의 흐름 모식도.

삼척연안은 수심이 낮고 해류의 흐름이 정체되는 곳에 갯녹음의 발생이 심하게 나타났다. 해류의 흐름방향이 서로 맞부딪쳐 생기는 이안류 부분에 해류의 흐름이 정체되고 있는 곳이다. 해수의 흐름이 빠른 곳은 초식동물이 활동하기에 어려울 수 있으며 느린 곳은 성게나 고등류가 섭이하기에 좋을 수 있다. 어느 정도 이상의 해류 또는 조류의 흐름이 있게 될 경우 섭이활동에 지장을 받게 된다. 초식자의 활동이 왕성할수록 해조의 쇠퇴가 빨라지게 되므로 갯녹음을 일으키는 한 요인이 될 수 있다.

동해연안에 축조된 방파제 바깥에는 갯녹음 현상이 발생이 크게 나타났는데 이는 지형적으로 해류의 순환

이 비교적 정제되기 때문으로 생각된다. 이와 마찬가지로 해저지형에서 보는 바와 같이 동해남부해역에는 해안선에 가까운 연안은 다른 곳에 비해 수심이 낮고 크게 보면 방파제와 같은 환경을 나타낸다고 볼 수 있다고 본다. 그림 70에서 삼척연안지형에서 이루어지는 조류의 흐름에 대해 모식화하였다.

갯녹음 현상으로 유용해조류가 쇠퇴하고 석회조류가 증가하는 것은 이들 모두 식물체이므로 외부환경의 요인에 의해 광합성이 저해를 받아서 성장이 이루어지지 않고 외부환경의 변동이 있더라도 석회조류처럼 자기 몸 속에 있는 탄산칼슘의 분해로 이산화탄소를 이용하고 있다. 외부환경이 변화가 쿠로시오 난류세력의 접근, 수온상승, 담수의 유입, 영양염, 탁도 등 여러 가지 요인을 제기하고 있다. 갯녹음의 현상은 유용해조류는 쇠퇴하고 석회조류는 증가하는 상대적인 것으로 이 둘간에는 생태순환 현상을 보인다고 보고 있다.

삼척 갈남에서 보면 2000년보다는 2001, 2002년에 어느 정도로 해조군락이 복원되는 것으로 나타났다. 그림 71에는 2000년 6월의 해조식생과 2002년 4월에 해조식생이 다소 회복한 모습을 보여주고 있다.

3. 인간활동에 의한 갯녹음 현상의 특성

석회조류와 연관된 해조의 출현종에 있어서도 DMZ 부근의 저도어장의 연안에는 석회조 위에 돌김이나 엽상해조가 잘 부착하고 있으나 갯녹음이 확산된 삼척지역에는 그물바탕말, 우뚝가사리 종류 등의 특정종만이 번무하는 모습을 보여준다.

인간활동에 의한 요인은 연안에서 유입되는 하천, 생활하수, 방파제 축조나 시설물 설치에 의한 해수유동의 방해 등에 의해 갯녹음이 확산되는 경향을 보였다. 이러한 곳에는 무절석회조의 확산 뿐 아니라 지충이, 구멍갈파래 종류의 우점현상이 두드러지게 나타났다(그림 72). 해조의 쇠퇴현상은 오염현상과 자연요인에 의해 복잡하게 나타나므로 이에 대한 대책으로서 어떤 요인에 의해 나타나는지를 구분하는 것이 필요하다.

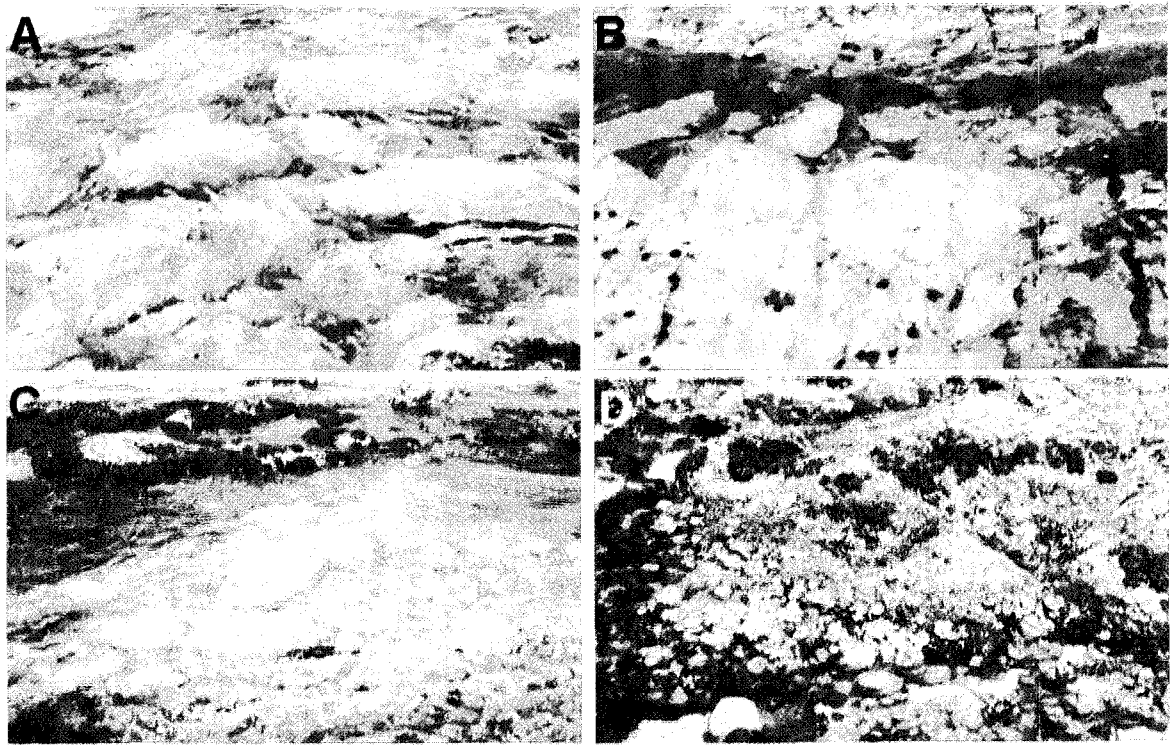


그림 71. 갈남의 갯녹음현상 (A, B: 2000년 6월, C, D: 2002년 4월)

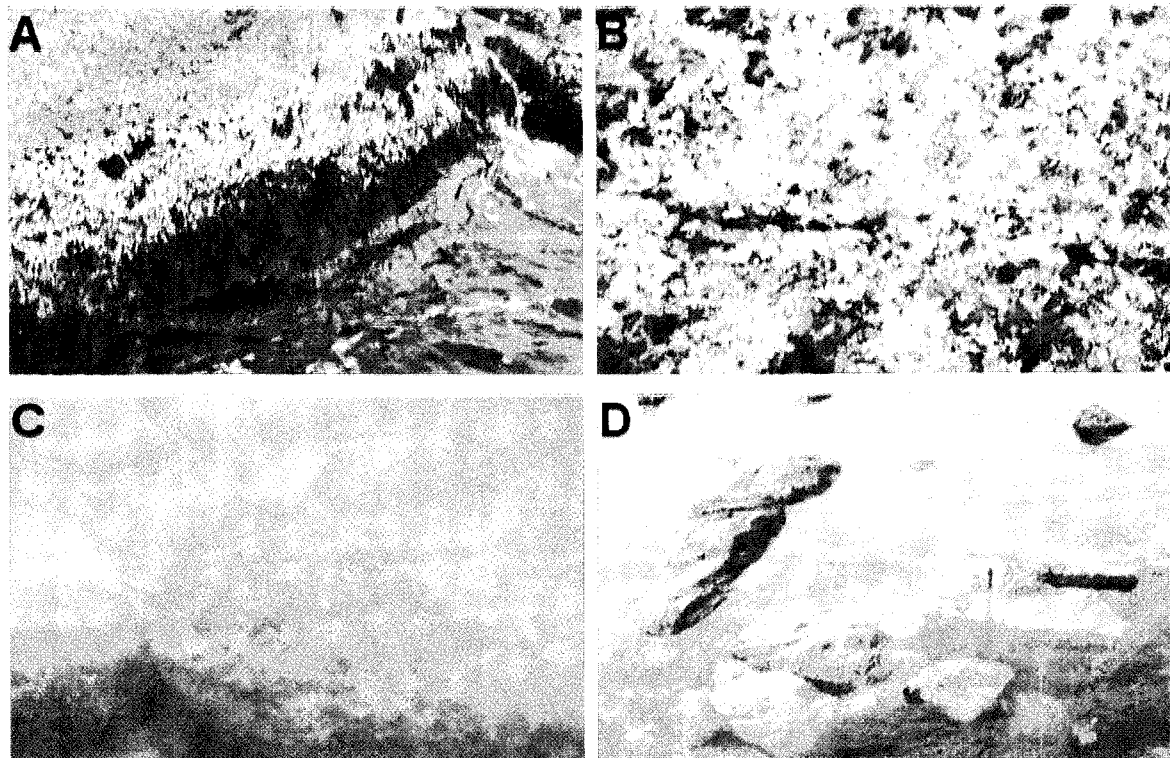


그림 72. 자연생태요인(A와 B)과 인위요인(C와 D)에 의한 해조식생의 모습

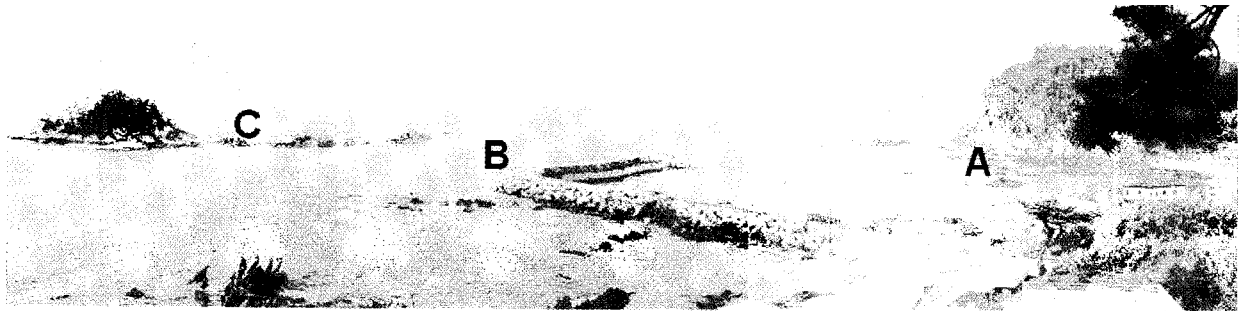


그림 73. 갈남항의 전경과 조사지점 (A:암초내만, B:방파제 측면, C:외양에 면한 곳)

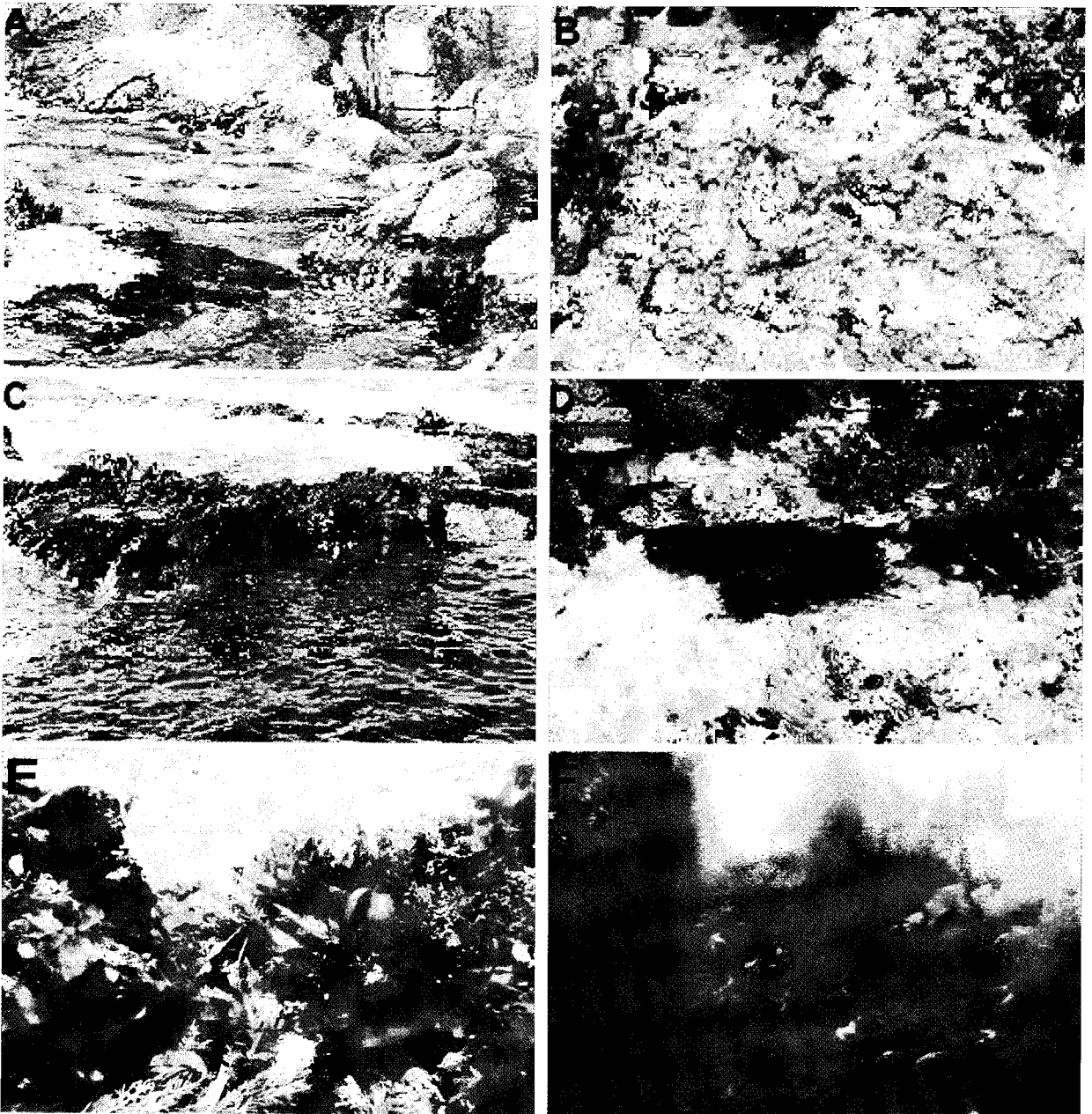


그림 74. 갈남 조사지점별 해조식생(A, B: 암초내만, C, D: 방파제 측면, E, F: 외양에 면한 곳)

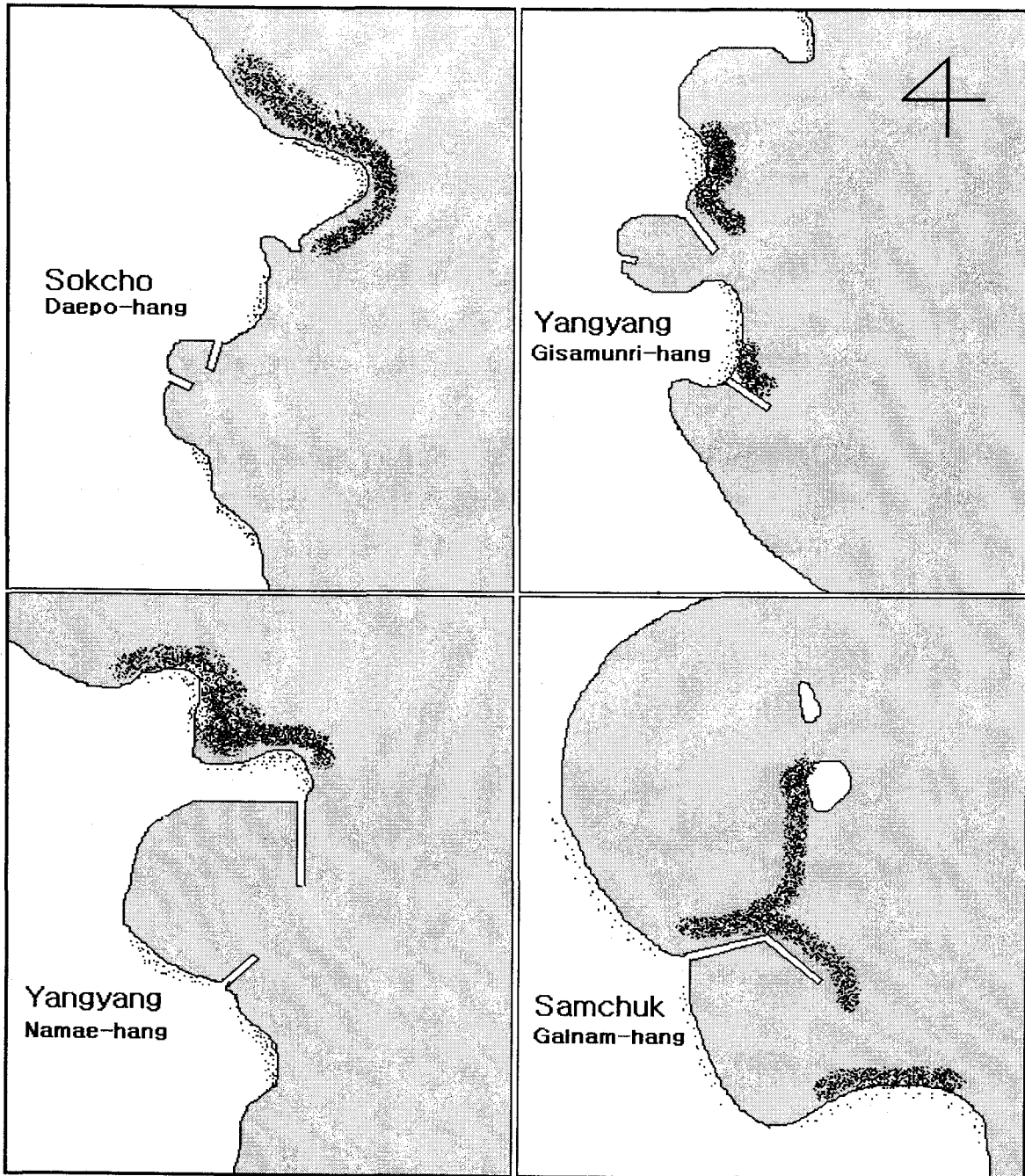


그림 75. 강원도 연안 갯녹음 발생지역의 경향.

갈남지점은 항구를 중심으로 암초가 형성되어 있는 내만, 방파제 측면, 외양에 면하여 떨어진 섬으로 이루어진 곳으로 나누어 조사되었다(그림 73). 항구 안쪽 A와 방파제 바깥 B는 갯녹음해역의 전형적인 곳을 보여준다. 외양에 면한 C 지점은 자연해조군집으로 볼 수 있다. 항구를 중심으로 한 갯녹음 해역이더라고 독특한 해조식생을 보여준다.

표 24. 강원도 연안의 여러 어항 주변에서 조사된 갯녹음(백화) 발생의 실태

조사지역	갯녹음 발생의 특성
삼척 호산항	- 항 좌측 방파제 바깥쪽 분포
삼척 갈남항	- 항 좌측 방파제 및 그 주변에 심하게 분포
삼척 근덕항	- 항 좌측 분포 및 항내 만연
동해 대진항	- 항 방파제 북쪽 암반지역 분포
동해 망상항	- 항 좌측 방파제 및 항내분포
강릉 정동진	- 항 좌측 암반(남쪽방향) 분포
강릉 안인항	- 항 좌측 방파제 바깥쪽 분포
강릉 소돌항	- 항 바깥 방파제 및 항내만연
강릉 사천항	- 항 바깥 방파제
양양 남애항	- 항 좌측 방파제 외해 분포
양양 동산항	- 전체적으로 작은 범위내 분포(특정 분포 확인 안됨) - 조하대 암반의 남쪽 방향에 주로 분포
양양 기사문	- 해군기지 만 남쪽 방향 분포
속초 물치항	- 항 좌측 방파제 외해 분포(항내 모래질, 암반 없음) - 항 내외 비교 안됨
속초 대포항	- 항 좌측 방파제 외해 암반지역 부분적 분포
고성 공현진	- 항내외 부분적 분포(정상적)
고성 대진항	- 항내외 부분적 분포(정상적)

갈남의 경우 수심 3m 이하는 거의 조사면적의 80% 이상 독점적으로 석회조류만이 분포한다(그림 74-A, B). 그러나 조간대에서는 해조식생이 비교적 다양하게 나타났으며 수심 1m까지는 빈약한 식생을 보였다(그림 74-C, D). 그러므로 무절석회조류가 조간대의 저조선에까지 무절석회조의 확산이 이루어진 반면 2000년에 비해 2001년과 2002년에는 저조선 부근의 매우 협소한 부분에서 다소 식생이 회복되었다(그림 74-E, F).

정 등(1991)은 1985년 8월과 1986년 2월, 5월에 해조상 조사에서 녹조 8종, 갈조 22종, 홍조 63종 모두 93종이 확인되었으며 이중 구멍쇠미역(*Agrum cribrosum*), 쇠미역(*Costaria coastata*), 개다시마(*Kjellmaniella crassifolia*), 다시마(*Laminaria japonica*), 삼나무말(*Coccophora langsfordii*)과 모자반류(*Sargassum* spp.)의 해조숲 종류가 조하대에 분포하였다.

강원도 연안에 위치한 속초 대포항, 양양 기사문리항, 남애항, 삼척 갈남항은 작은 포구로 거의 비슷한 모양을 보인다(그림 75). 암반이 길게 발달된 곳에 방파제를 만들어 만과 격리되었는데 이번 조사에서 갯녹음이 공통적으로 항구 방파제 바깥에 많이 확산되었음이 확인되었다. 그러나 강원남부인 삼척지역은 갯녹음이 심한 반면 북부인 고성연안은 부분적으로만 나타나 갯녹음의 확산은 지리적인 영향과 더불어 지형적인 영향이 같이 나타나는 특징을 보였다. 쿠로시오의 난류세력인 해류의 수괴(water mass)의 영향을 받는 곳에서 지형적인 영향에 의해 해류의 흐름 영향이 더욱 크게 미치는 것으로 생각할 수 있다. 지역내 발생 추이로 어항의 방파제가 위치한 곳에서는 대부분 방파제 바깥측에 발생피해가 크게 나타났다(표 24).

제 4 절 삼척 갈남해역 갯녹음 현상의 진단

1. 삼척 갈남해역 갯녹음 현상의 진단

갯녹음 현상이 얼마나 진행되었는가를 파악하는 것은 갯녹음의 원인과 대책에서 가장 중요한 항목이다. 갯녹음의 발생이 확산되는지, 축소되어 해조숲으로 되는 방향인지를 알게 되게 되면 바다숲 조성을 위한 갯녹음 대책 방안에 매우 중요한 정보를 제공할 수 있다.

그림 76에서는 삼척 갈남해역에서 2001년 5월에서 2002년 6월 점차 갯녹음의 지표생물인 무절석회조류의 피도가 40%에서 25% 수준으로 감소하여 갯녹음에서 해조숲으로 회복하는 경향을 보여주었다. 조사 구역중에서 어떤 해조도 부착하지 않은 암반면적을 합하여 나타낸 비율은 50~60% 수준에서 20~30% 정도로 감소하였다. 즉, 엽상해조의 비율은 60%에서 75% 수준까지 차츰 증가하는 현상을 보였다. 여기에서 무절석회조류위에 엽상해조가 분포하는 경우는 무절석회조류를 무시하고 엽상해조의 피도로 나타내었다. 이때 가령, 지난달에 무절석회조류위에 서식하던 엽상해조가 탈락하여 한달후 조사에서 무절석회조류가 피복되어 있는 것을 조사

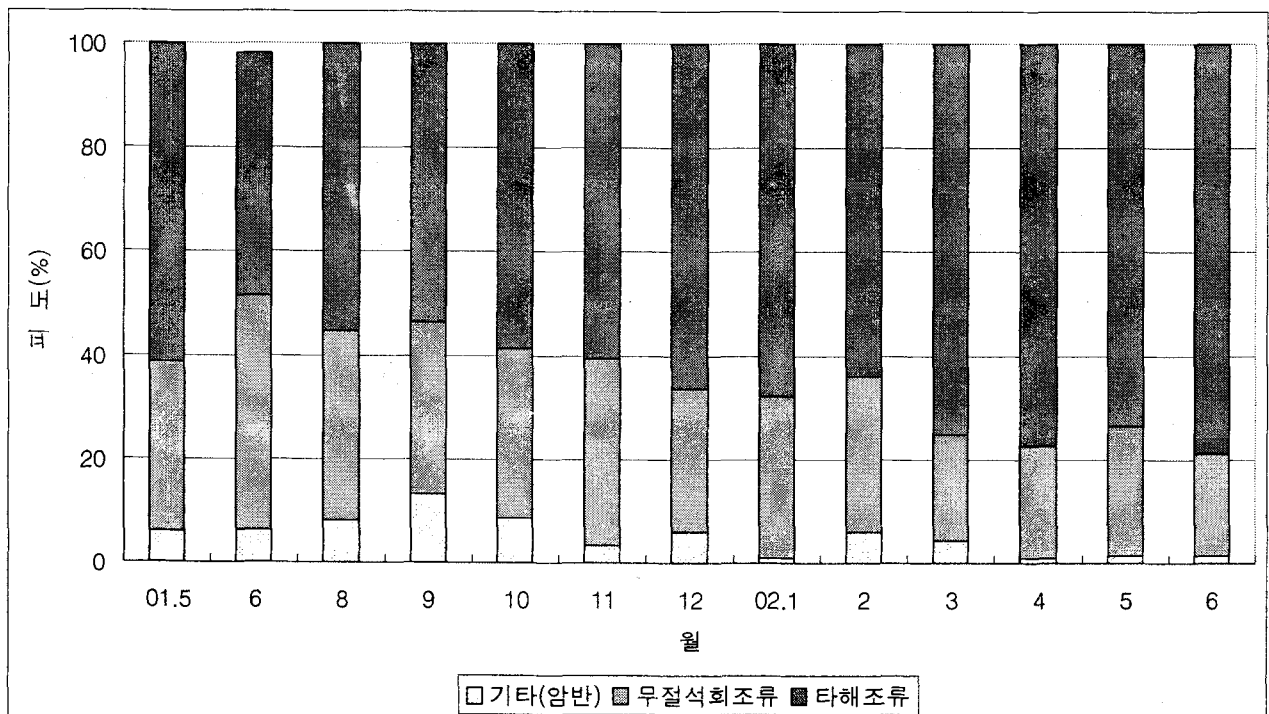


그림 76. 삼척갈남 해역의 무절석회조류와 엽상해조의 피복도

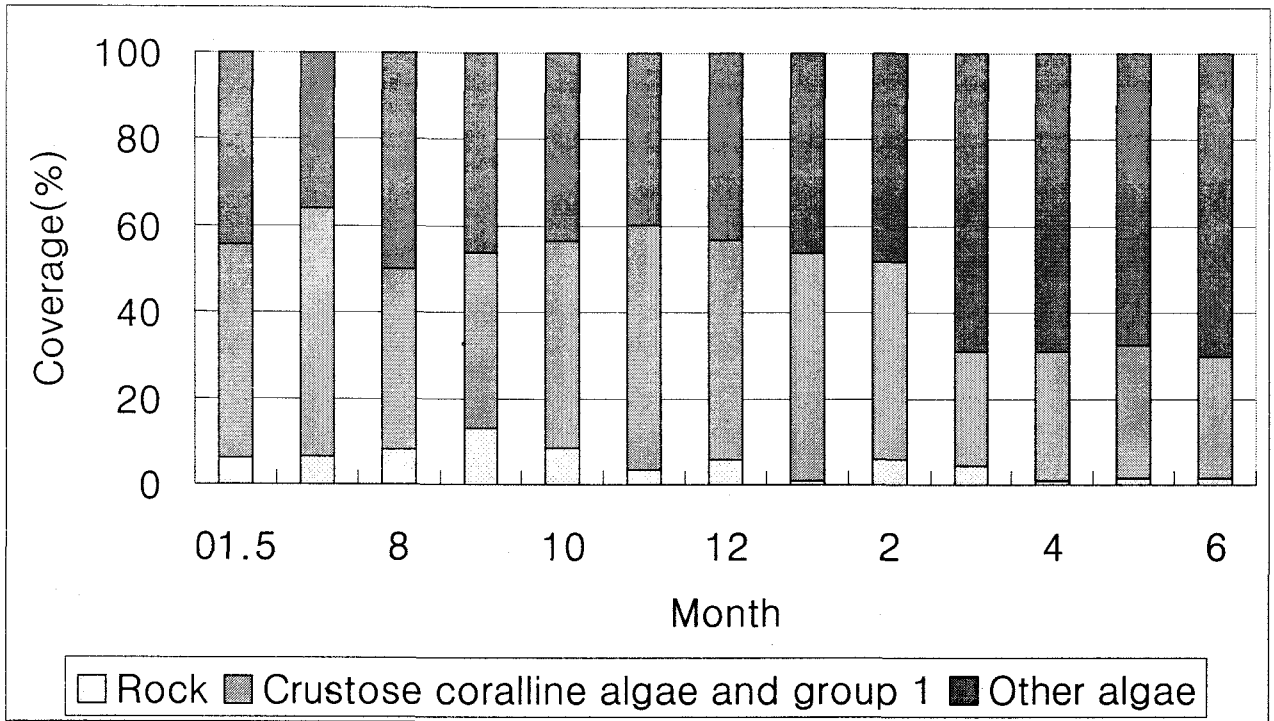
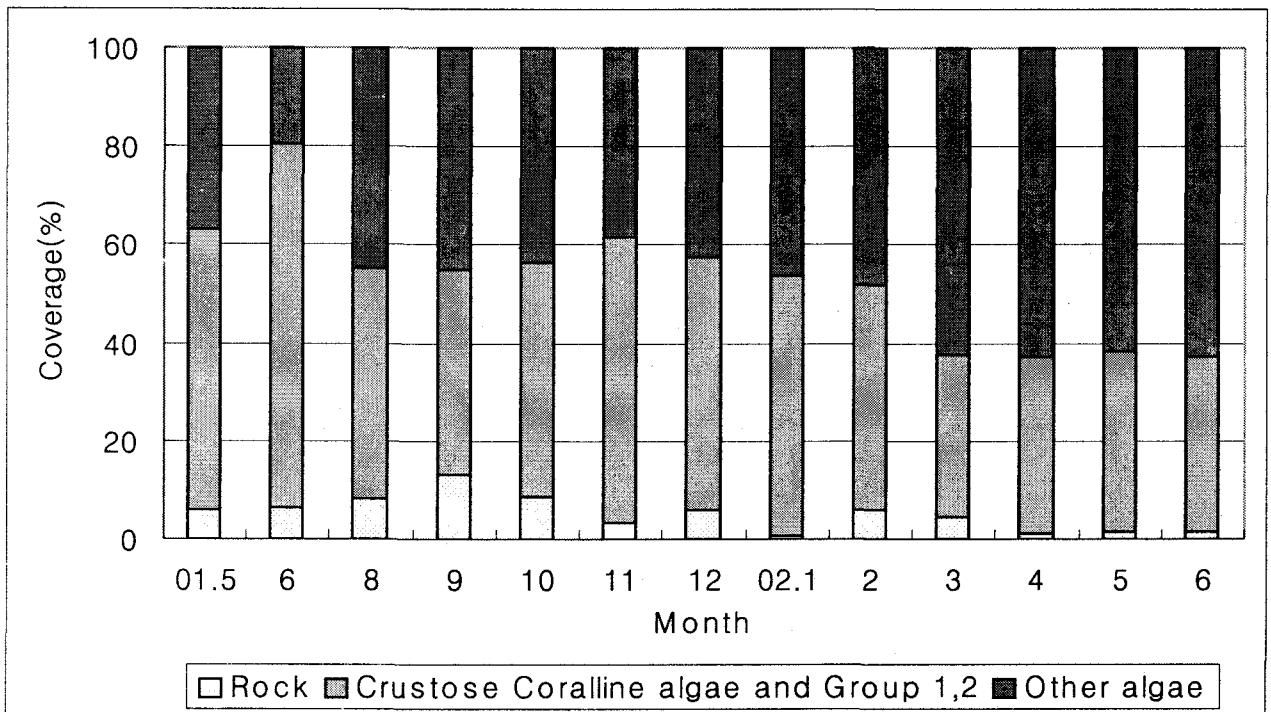


그림 77. 삼척갈남 해역의 무절석회조류 및 제1그룹(그물바탕말과 우뚝가사리)과 엽상해조의 피복도



78. 삼척갈남 해역의 무절석회조류 및 제1, 2그룹과 엽상해조의 피복도

제 1그룹: 그물바탕말, 우뚝가사리, 제 2그룹: 쾡쟁이모자반, 지충이, 구멍갈파래

하게 될 때 실제적으로 한달간에 변한 것은 엽상해조의 감소이고 무절석회조류는 변동없이 공기중에 노출되기만 하는 것이기 때문에 여기에서 무절석회조류의 피도 변화보다는 갯녹음 수준(정도)의 변화로 표현하는 것이 바람직하다.

암반에 서식하는 무절석회조는 이 종류만이 부착하는 경우도 있지만 석회조위에 엽상해조가 부착하는 경우에는 층상구조를 하고 있어 무절석회조의 피도를 산정하는데 어려움이 있다. 그림 77에서는 해조가 없는 암반면적, 석회조류만 있는 피도, 석회조류와 그물바탕말과 우뭇가사리 종류(그룹 1)를 합하여 갯녹음의 정도로 나타내었다. 이때 2001년에서 2002년에 걸쳐서는 대개 갯녹음 55%에서 30% 수준으로 현저히 감소함을 보여주고 있다. 삼척갈남 연안의 그물바탕말은 석회조류 위에 광범하게 분포하여 갯녹음의 정도를 그림 76에서 보다 명확하게 보여주고 있다. 엽상해조는 2001년에 45%에서 70% 수준으로 증가하여 그룹 1 종류는 전체 비율에서 10%대를 점유하고 있다

그림 78에서는 해조가 없는 암반면적, 석회조류만 있는 피도, 석회조류와 그물바탕말과 우뭇가사리 종류(그룹 1)와 팽생이모자반, 지충이, 구멍갈파래(그룹 2)를 합하여 갯녹음의 정도로 나타내었다. 이때 2001년에서 2002년에 걸쳐서는 대개 갯녹음 57%에서 37% 수준으로 감소하

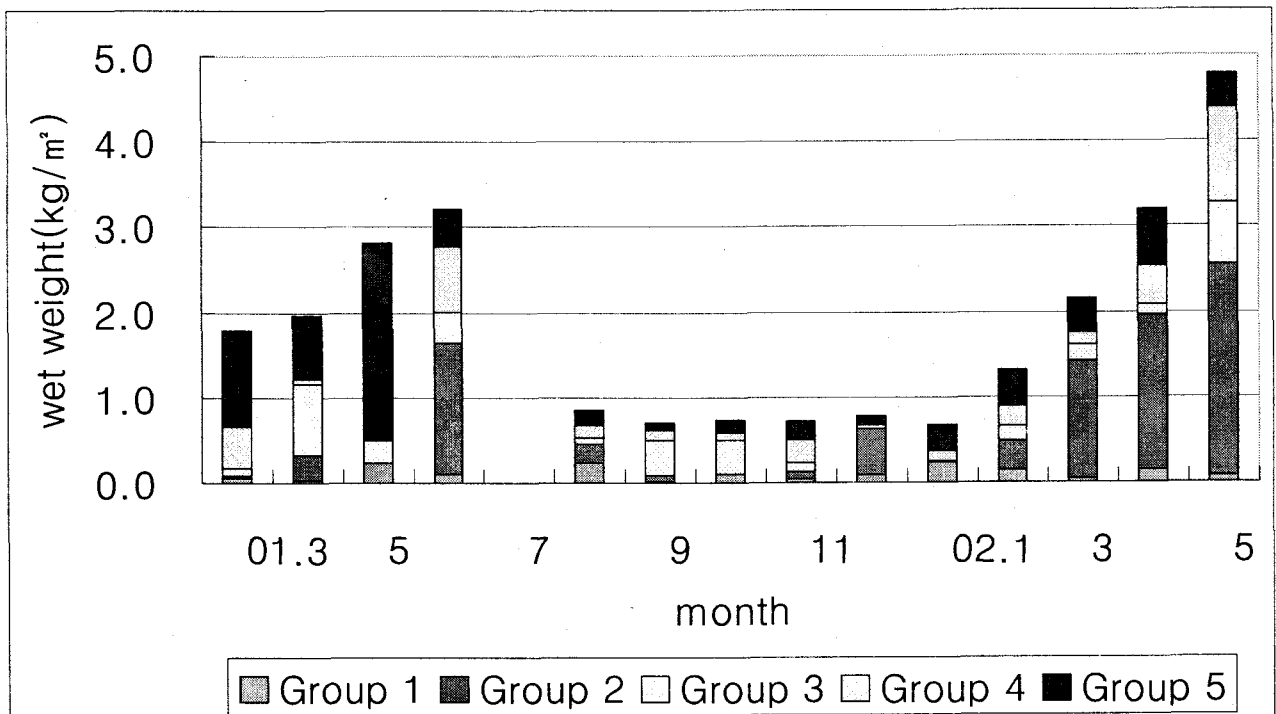


그림 79. 갈남 조간대 주요 우점종의 생중량 변화

제 1그룹: 그물바탕말, 우뭇가사리

제 2그룹: 팽생이모자반, 지충이, 구멍갈파래

제 3그룹: 개서실, 도박, 진두발, 부챗살, 분홍잎

제 4그룹: 모자반, 툇 제 5그룹: 기타출현종

였다. 2001년 6월에는 갯녹음의 정도가 80%를 보인 것은 팽생이모자반의 우점에 의한 결과이다. 엽상해조는 2001년에 45%에서 63% 수준으로 증가하여 그룹 1과 2 종류는 전체 비율에서 10%대를 점유하고 있다.

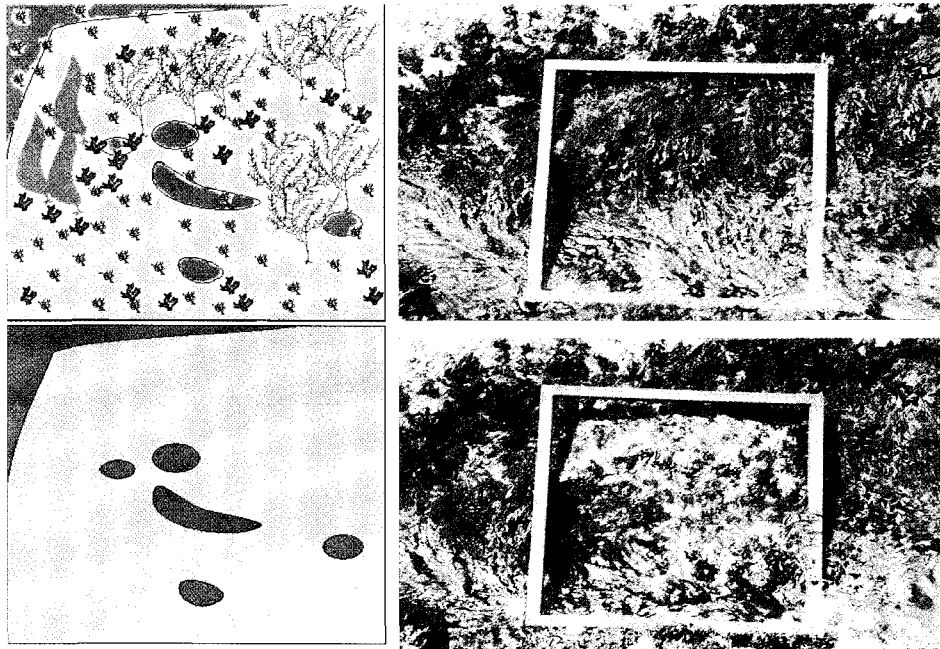
갯녹음의 정도를 표현하는 것으로 무절석회조의 피복도 뿐 아니라 엽상해조의 감소를 측정하는 것은 직접적으로 분석하는 방법이 될 수 있다. 그림 79에서는 월별, 석회조와 친밀한 종류의 그룹별로 나누어 분석하였다. 현존량의 변화는 2001년 3월부터 6월에 걸쳐서는 증가하기 시작하였으며 8월 이후는 2001년 12월까지 1 kg/m² 이하로 낮았다. 2002년 1월 이후 5월까지 4 kg/m² 이상으로 증가하였다. 습중량의 무게는 모자반류가 전체 비중을 많이 차지하고 있으며 엽상해조의 증가는 계절적으로 2001년과 2002년에 모두 3, 4, 5월의 봄철에 이루어졌다. 석회조와 관련한 피도에서는 그물바탕말 종류, 현존량 분석에서는 모자반 또는 지층이 종류를 별도로 산정하는 것이 바람직하다.

2. 삼척갈남 갯녹음해역 면적의 객관적 산정

어떤 해역에 갯녹음의 정도가 어느 정도인가 하는 것을 정확하게 파악하기란 쉬운 문제가 아니다. 갯녹음 현상의 정의에서 일차적으로 1) 해조류가 감소하거나 해조숲이 사라지는 현상, 2) 무절석회조의 피복도 3) 또는 수산생물자원의 변동이나 어획소득을 조사하는 것이 될 수 있을 것이다.

해조의 피도 조사에서 그림과 같이 암반에 무절석회조가 매우 단단히 붙어 있고 그 위에 엽상해조가 서식하게 된다. 엽상해조를 걷어올리면 무절석회조가 서식하는 경우 모든 조사에서 일일이 해조가 놓여 있는 위치별로 산정하기가 곤란하다(그림 80).

해조숲은 수 m에 이르는 크기의 개체가 넓게 분포하기도 하고 하층부에는 포복성이 해조가 서식하기도 한다. 그러므로 수관을 형성하는 상층부의 해조가 사라져도 포복성인 무절석회조가 그대로 변하지 않는 경우도 있을 수 있고 또는 엽상해조가 축소되는 환경에서는 석회조 식물이 증가하는 현상이 나타나기도 한다. 숲을 이루는 해조가 축소된다고 하여 반드시 석회조 식물이 증가한다기보다는 보통은 숲이 사라진 암반의 바닥만이 우리 눈에 보이게 될 때 석회조가 증가한 것처럼 보일 수 있다. 그러므로 석회조의 피복도로 나타내기보다는 갯녹음의 정도로 표현하는 것이 보다 자연현상을 가깝게 표현하게 되는 것이라고 본다.



암반 무절석회조류 엽상해조
 대형다년 소형다년 소형단년

그림 80 무절석회조류와 같이 서식하는 엽상해조류

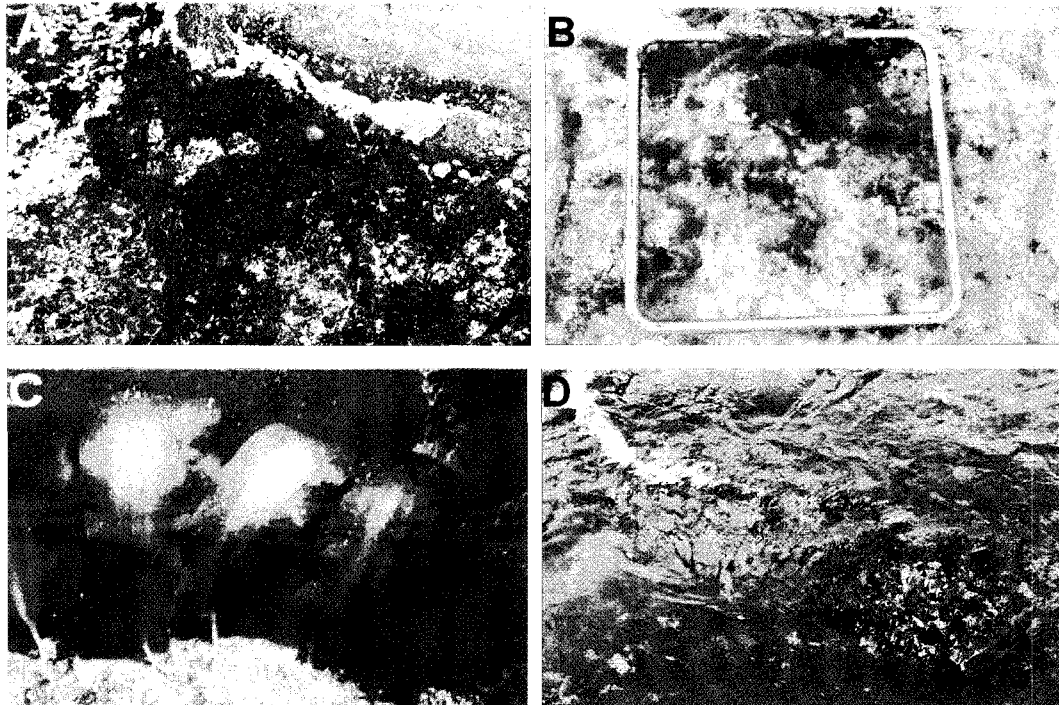


그림 81. 무절석회조와 위에 같이 분포하는 종류(A와 B: 식생 단순, C와 D: 식생 다양)

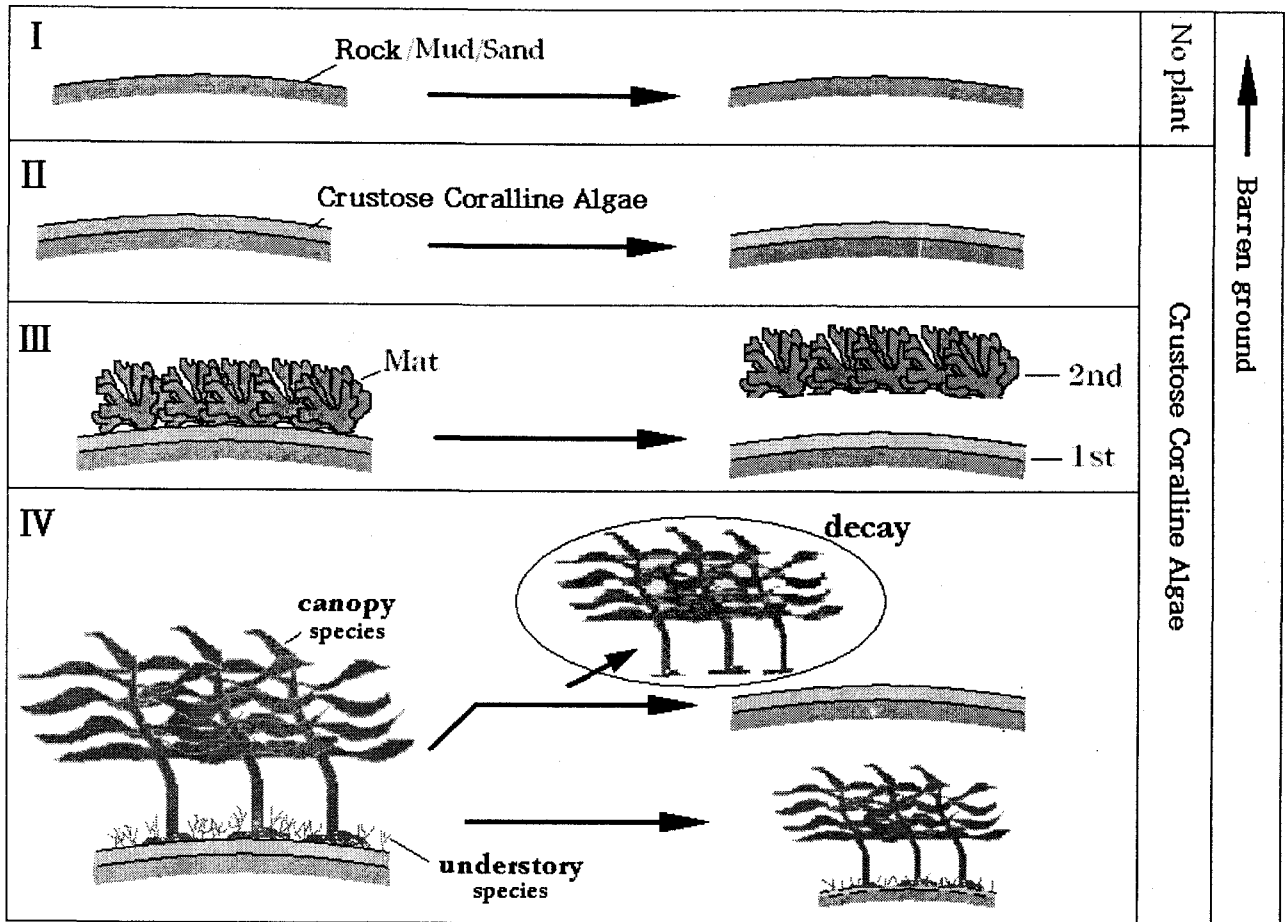


그림 82 . 갯녹음역의 무절석회조와 엽상해조의 서식형을 나타낸 모식도

이때 석회조의 피복도를 계산할 때 석회조위에 착생하는 해조가 여러 다양한 해조로 구성될 때에는 석회조도 다른 해조와 같이 생각할 수 있겠으나 삼척의 경우처럼 석회조만으로 되어 있거나 석회조와 단일종으로 분포하게 되면 여러종류의 다른 해조가 분포하지 않는 경우는 해조숲이 형성되지 않아 수산생물의 서식처가 사라지게 된다. 삼척연안에 분포하는 석회조에도 석회조 위를 피복하는 수 종이 있다. 그물바탕말, 우뭇가사리, 지충이, 파래, 팽생이모자반 종류는 석회조위에 잘 분포하지만 다른 해조의 서식을 방해하고 있다. 이들 종류는 초식자에 의한 섭식압에 견디고 있으므로 섭식당하지 않고 잘 남아 있다. 그림 81에는 무절석회조와 같이 분포하는 형을 2가지로 나누었다. 즉, 석회조와 단일종의 우점으로 분포하는 삼척갈남의 경우처럼 여러 종류의 해조서식을 방해하기 때문에 갯녹음의 지표생물로 간주할 수 있다. 다른 하나는 석회조와 여러종류의 해조가 서식하는 DMZ 저도어장처럼 다양한 식생을 보이는 경우로 나누어 볼 수 있다(그림 82의 모델 III과 IV).

그림 82에 갯녹음 정도의 조사를 하기 위해 석회조가 분포하고 있는 형태를 모델화하여 나타냈다. 1) 암반, 모래, 빨 등으로 식물이 없는 형 2) 암반에 석회조만 분포하는 형 3) 석회조

위에 단일종의 엽상해조가 매트 모양으로 분포하는 형 4) 석회조 위에 다른 엽상해조의 여러 종이 분포하는 형, 이것은 해양환경의 변동으로 석회조위에 서식하던 엽상해조가 탈락하는 것과 그 위에 계속 서식하는 종류 형태로 나눌 수 있다. 그러므로 4)형에서 무절석회조 위에 엽상해조가 분포하게 될 때 엽상해조가 탈락하게 되어 무절석회조류가 드러나게 되어 갯녹음의 정도로 표현할 수 있지만 엽상해조가 탈락하지 않을 때에는 여러 종이 분포하고 있으므로 이 무절석회조류로 인해 갯녹음 현상으로 보지 않는다.

갯녹음의 피해면적을 산정하기 위하여 무절석회조의 피복도를 갯녹음의 지수로 나타낼 수 있다. 석회조의 서식형태는 암반을 덮고 있기 때문에 그 상층부에 엽상해조가 관상으로 분포하는 경우가 있다. 이때 여러 종류의 해조가 분포하여 정상군락을 이룰 때는 갯녹음으로 보지 않고 석회조와 친근성이 매우 높은 종류로 단순한 종구성일 때는 갯녹음으로 산정하는 것이 바람직하다. 석회조와 친근성이 매우 높은 종류는 지역에 따라 다르게 나타날 수 있지만 삼척연안에서는 그물바탕말 종류가 그 대상종이 되었다.

제 3-7 장 바다오염 방지에 의한 갯녹음 현상 대처방안

석회조류는 진화적으로 볼 때 수 억년 전부터 이 지구상에 존재해왔던 생물로 해양환경에 따라 석회조의 확대와 축소가 계속되고 있는 것으로 보고 있다. 바다생태계의 변화는 자연적으로 조절되므로 석회조 군집이 확대되는 현상이 장기적으로 지속되어도 언젠가는 회복되어 바다숲 형성이 가능한 가역적인 상태가 될 수 있다. 그러나 인간오염에 의한 갯녹음 현상의 발생은 생태적 순환과정의 고리를 끊는 것이 되므로 결국은 해조밭이 사라지는 불가역적인 결과를 초래할 수 있다. 석회조류가 있는 것만으로 갯녹음이라고 하기보다는 석회조류에 의해 바다생물의 종다양성을 감소시키게 될 때 수산업적, 해양생태적 문제를 야기시킬 수 있다.

바다에 대해서 우리가 하지 말아야 할 것과 적극적으로 해야 할 것으로 나누어 보면 연안 바다에 오염 부담을 주지 않아야 하고 바다녹화를 통해서 적극적으로 바다숲을 조성하여 연안 관리를 피하는 것이 갯녹음 현상의 대책 방안이 될 수 있다.

제 1 절 바다의 오염 및 연안환경 보호

1. 연안 환경보호 방안

동해 연안은 북에서 남방향으로 곧게 뻗어있다. 태백산맥에서 바다로 이어지는 하천의 길이가 짧아서 산과 하천, 호수, 바다가 한데 어우러진 형상을 하고 있다. 영동지방은 여름에는 시원하고 겨울에는 따뜻한 것은 바다의 영향을 많이 받기 때문이다.

육지에 살고 있는 우리는 이와같이 기온을 조절하는 역할을 하는 바다의 영향을 많이 받고 있을 뿐만 아니라 바다 또한 육지의 영향을 많이 받고 있다. 연안에 미치는 오염의 영향은 육상부에서 흘러들어간 오염원이 크다고 볼 수 있다. 연안에 하천이나 호수에 버린 쓰레기는 연안에서 쉽게 볼 수 있으며 바다의 쓰레기는 다시 연안에 밀려 올라오게 되므로 자기 얼굴에 침을 뱉는 것과 다를 바 없다. 바다 한 개의 암초를 망가뜨리기는 쉬워도 암초를 하나 만드는 데는 막대한 경비가 들어가고 있다. 바다에 목초를 가꾸는 일도 중요하지만 그 이전에 자체 정화력 이상의 오염을 차단하는 일이 바다환경을 보호하는 첫 걸음이다. 바다에 대한 환경보호는 우선 시민들의 각자의 인식전환이 필요하며 그 중요성을 알아야 한다고 본다. 국가 또는 지방자치단체에서 이 중요성을 인식하게 하고 시민들이 동참하게 될 때 깨끗한 바다환경을 이루어

나가게 될 것이다.

2. 바다숲의 파괴에 대한 경제성

영동지역의 경우를 보면 도시는 소규모이기는 하지만 점차 인구의 도시 집중화 현상은 오염 부하량의 증가를 가져오게 되어 미처 처리하지 않은 생활하수가 바다로 대량 유입됨으로서 해양을 오염시키게 된다. 바다 가까운 곳에 공단이 건설되고 도시가 형성되어 이로 인한 산업 폐수가 늘어나고 있고 산업발전에 따라 해상 물동량이 증가되고 있다. 동해안의 경우 항만 밖은 해수순환이 좋아 양호한 수질을 유지하고 있으나 일부지역은 육지 오염물질의 유입으로 오염도가 증가하고 있다. 그림 83은 오염원 유입이 없는 곳은 연안에 모자반 등의 해조식생이 잘 발달되어 있으나 오염된 연안은 황폐화되어 있다.

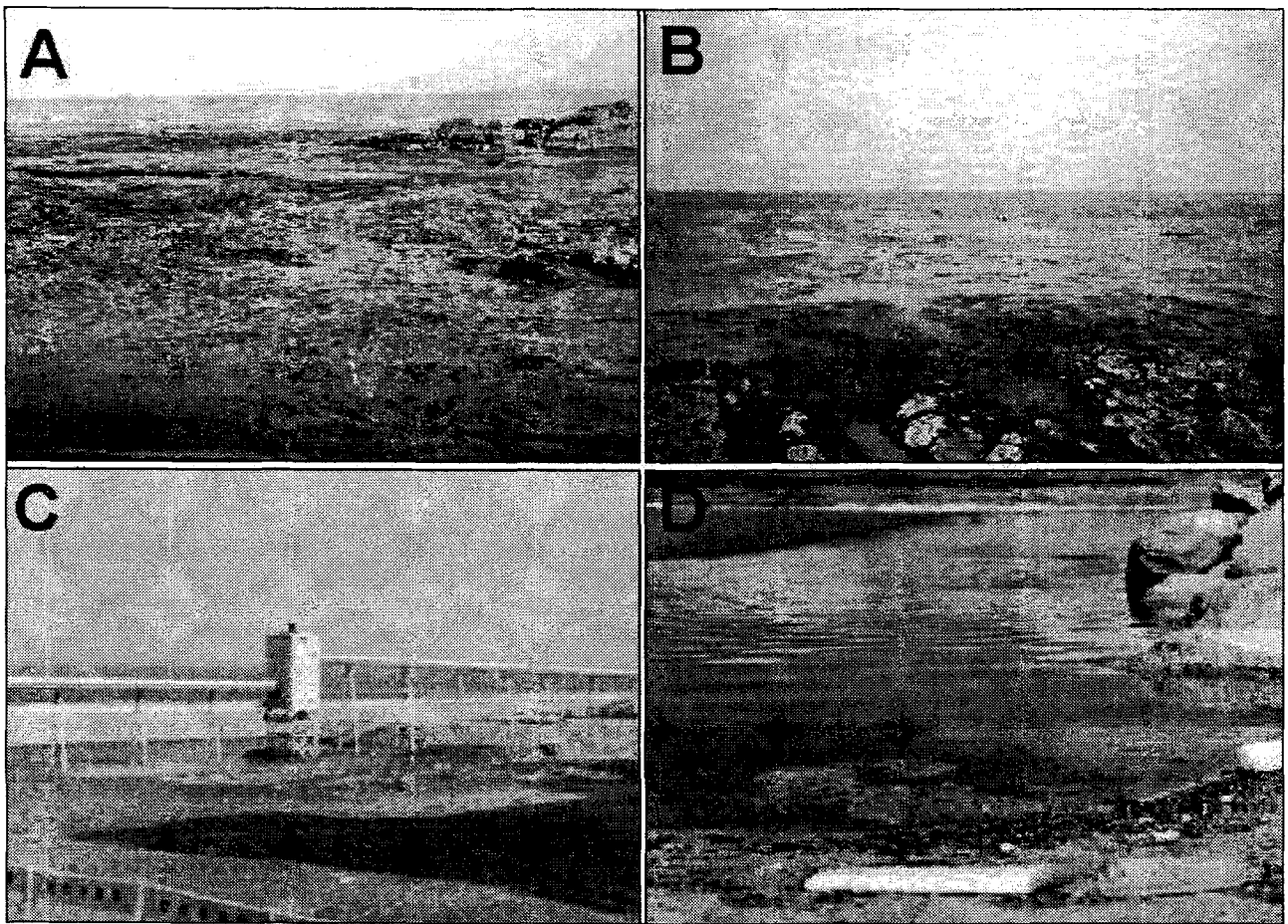


그림 83. 오염원 유입 유무에 따른 해조식생정도(A,B: 강릉 주문진 연안의 모자반숲 C,D: 오염된 연안)

우리는 바다속에서 일어나는 바다숲의 파괴에 대해서 얼마나 등한시하고 있는가를 되새겨 볼 필요가 있다고 본다. 바다의 생산력에서 식물부유생물은 4.5시간마다 현존량에 상당하는 목초가 광합성으로 생산된다. 하루의 기초생산량이 현존량의 5.4배에 달할 만큼 회전기간이 육상 식물에 비해 매우 빠르다. 몸체가 큰 대형갈조 해조숲이 전복, 성게 등의 먹이공간이 마련될 때의 경우 경제성을 계산해보았을 때 약 170,000원/m² 정도라는 계산이 있다(Ohno, 자료). 이는 해조 최대현존량이 3~5kg/m², 최대생산량(현존량이 5배) 25kg/m², 해조이용율 1/3, 먹이전환효율 0.1, 조성면적 1000m², 어획율 0.5 생산액 50,000원, 어획경비를 40%, 타당투자액(소득÷0.072)로 하였을 때이다. 생활하수나 산업폐수의 연안오염에 의한 경제성이 막대함을 인식하여 육상에서 바다로 유입되는 오염원을 차단하거나 정화시켜 방류하는데 노력을 기울여야 할 것이다.

3. 해양오염의 발생원

해양오염의 발생원은 육상과 해양에서 기인하는 2가지로 나누어 볼 수 있다. 육상에서 기인하는 오염원은 우리의 일상생활에서 발생하는 생활하수, 산업활동으로 발생하는 산업폐수, 영농활동에 기인하는 비료, 농약 등의 각종 화학물질과 매립 등 대규모사업으로 인한 부유물질에서 비롯될 수 있다. 그 다음으로 해양에서 기인하는 오염원으로는 선박이나 해양시설에서 발생하는 각종 오염물질이 해양에 유입됨에 따라 발생된다. 이중 가장 주된 오염원이 되는 것은 육상오염원으로서 해양오염의 전체의 80% 이상의 대부분을 차지하고 있다.

연안환경을 오염시키는 요인은 여러 가지가 있으나 도시화 및 산업활동 증가로 생활하수 및 산업폐수가 증가함에 따라 정화처리 되지 않은 하수가 연안수역으로 바로 유입되어 오염부하량이 지속적으로 증가하는 것이 육상기인 오염이 가장 큰 요인이라 할 수 있다. 그림 84에는 육상에서 발생한 연안오염의 여러 가지 형태를 사진으로 나타내었다. 그림 84-A는 민가와 횃집등이 밀집한 기수지역, 84-B는 항만의 오염된 해수, 84-C는 여과없이 항내에 들어가는 생활하수 등 육상 기인 오염원에 의해 연안오염이 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

강원연안에 대한 오염부하량은 인구수가 60만 여명, 산업체는 500여개소, 축산업에서 소와 돼지가 4만여 두, 양식장의 수는 육지에서 40개소 10ha 연안지역이 77개소 488ha로 나타난다. 이중 생활하수 또는 폐수의 발생량이 137.4톤/일로서 산업체의 44.6톤/일 보다 훨씬 높다. BOD 발생부하량에서도 생활하수가 33.5톤/일로서 산업체의 3.4, 소가 3.9, 돼지 1.4, 육상양식 4.7, 연안양식 3.1톤/일에 비해 높게 나타나 생활하수에 의한 오염이 가장 크게 영향을 끼치고 있는 것을 알 수 있다(환동해출장소 자료, 1997).

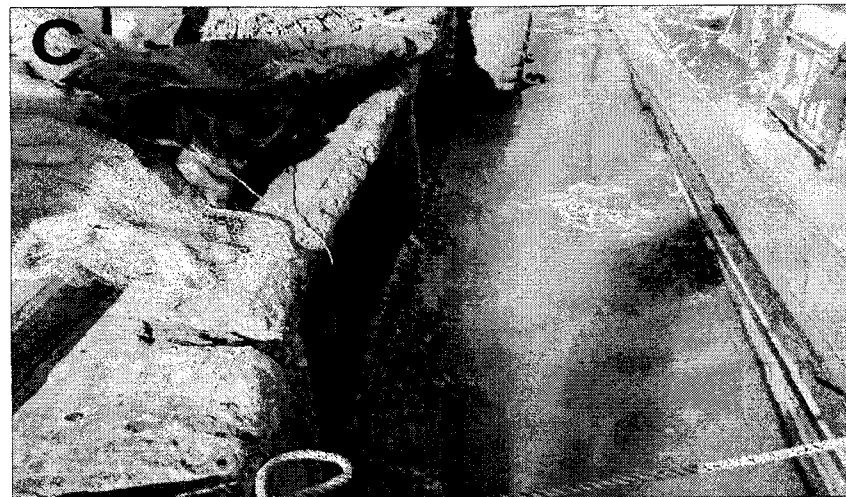
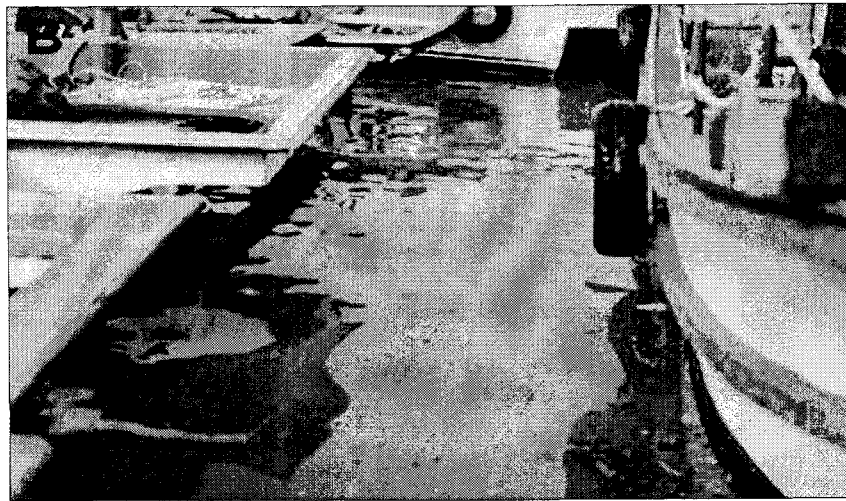
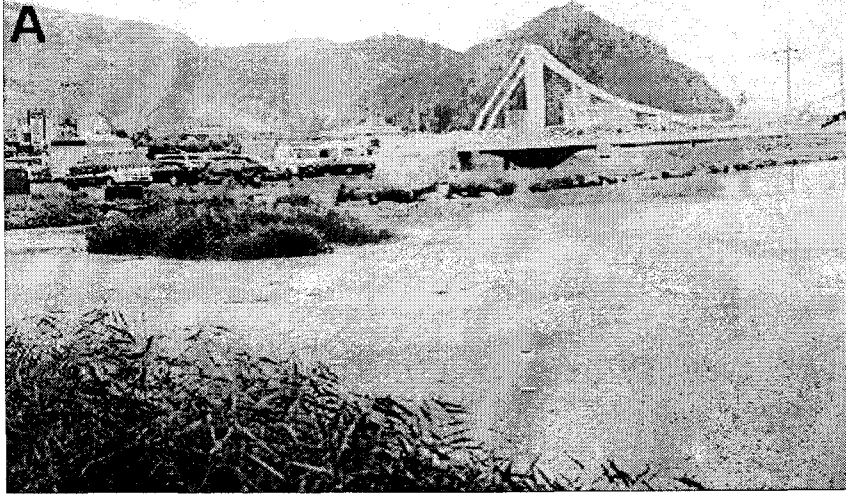


그림 84. A: 바다로 유입되는 정동진의 생활하수
B: 해수순환이 되지 않는 안인항
C: 생활하수가 바로 유입되는 주문진항

해양 기인 오염원으로는 해류에 의한 오염의 이동으로 동해 바다의 여러 수역에 밀접한 영향을 끼치게 된다. 여름철에는 쿠로시오 해류에 의한 남해안 오염물질의 북상과 겨울철에는 북한한류에 의해 영향을 크게 받을 수 있다. 이중 여름철에는 공업단지가 밀집하여 있고 최근 빈번하게 일어나고 있는 대규모 유류 유출사고 등이 발생하고 있는 남해안 영향이 해류를 타고 강원연안까지 영향을 미칠 수 있다. 강원연안에서 발생하는 오염물질이 증가되고 이 뿐만 아니라 난류에 의한 해류의 북상과 한류에 의한 해류의 남하 영향으로 우리나라 뿐 아니라 러시아, 일본, 중국의 주변국들에 의한 영향이 크므로 오염발생 저감을 위한 인접국과의 상호노력이 중요하다.

강원도 해안선의 길이는 212km이며 작은 도서는 26곳, 92개소의 해수욕장(면적 2,594km²)을 갖고 있다. 항만은 6곳으로 90%의 개발율을 보이며 소규모의 어항을 합하여 64개소가 된다. 선박입출항은 연안선이 3,900척, 60,887톤으로 외항선 12척 25,200톤에 비해 입출항 척수에 있어서 매우 많다. 정치어업인 경우 117건에 2,458ha로서 가장 많다. 그 다음으로 구획어업, 증양식어업, 마을어업 순으로 나타났다. 동해안의 경우 큰 선박을 이용한 어업활동 보다는 소규모 어항과 어선을 통한 활동이 중심이 되어왔다. 증양식어업에서는 어류가 23건 15ha, 패류가 61건 421ha, 해조류가 2건 11ha로 패류양식이 어업건수와 면적에서 가장 높다. 어류의 종묘배양에 의한 방류와 축양시설의 확대 등에 의해서 생산성의 향상을 가져오고 있으나 환경용량에 초과하여 밀식하거나 과대생산을 위해 무계획적인 시설을 하게 되면 연안환경을 악화시킬수 있다.

제 2 절 매립 및 방파제 축조에 의한 해조생육 환경의 악화

1. 인간활동에 의한 해양환경의 변화

해양환경의 변동요인은 두가지로 나뉘어 생각해볼 수 있다. 하나는 자연생태적인 요인으로 서 지구생태적인 현상이 하나라고 할 수도 있다. 엘니뇨 현상의 발생과 쿠로시오의 영향 등의 고수온으로 저영양인 해황조건 등이 될 수 있다. 지구의 온난화와 관련하여 세계 여러나라가 이산화탄소의 배출을 억제하는 노력을 기울이기도 한다. 이와 같은 큰 규모로서의 해양환경의 변화에 대해서 연안어업인들의 경우에 대책 방안으로서 육상수조 양식장이나 가두리 양식장 등에서는 적조 발생시에 시설물을 이동한다든지 하는 방법 정도라고 본다.

그러나 자연적인 변화는 하나의 순환과정으로서 갯녹음 현상이 나타나도 해조숲이 형성될 수 있다는 것이다. 연안 바다에 해조숲이 형성되었다가도 들연 해조숲이 사라지는 경우가 있으며 여러 요인들에 의해 예를 들면 수온상승, 저영양염, 초식동물의 식해, 무절석회조의 번무 등과 같은 연유로 엽상형 해조류가 소실되는 경우가 있으나 인간의 오염에 의한 영향이 아니라 고 하면 자연의 천이 현상으로 회복할 수 있다고 하는 것이다. 그러므로 중요한 것은 인간의 활동에 의한 오염으로 바다에 부담을 주지 말아야 하는 것이다. 생활하수나 산업폐수, 기름오염에 의한 영향은 생태적 순환과정의 고리를 끊어주는 결과가 되므로 이를 되돌려 놓는 데는 장기간이 필요하거나 회복이 불가능하게 된다.

우리는 인간활동에 의한 바다오염이 없는 DMZ 연안에서 태고적의 바다를 보는 듯하다. 인간 활동이 거의 없던 오랜 옛날에도 석회조류는 바다에 있었고 다른 여러 해양생물과 좋은 관계를 유지하고 지속되었을 것으로 본다. DMZ 연안은 50년 넘게 인간에 의한 오염부담이 없고 자연생태적인 변화만이 계속되고 있다고 보면 우리에게 바다환경 보호에 대한 메시지를 전해주고 있다. 우리가 생활하고 있는 주변 연안의 오염문제를 생각할 때 보통 인간활동에 의한 것인지 자연생태에 의한 변화인지 구분하는 것이 쉽지 않다. DMZ 연안에서 바다의 생태변화를 자연생태에 의한 것으로 할 때 그 요인을 제외한 나머지는 모두는 인간활동에 의한 요인으로 보면 된다.

삼척연안의 무절석회조와 엽상해조의 관계를 DMZ 해역과 비교해 볼 때 삼척연안은 석회조가 분포하는 곳에는 엽상해조의 착생을 방해하며 단일종 중심으로 식생이 형성된 반면 DMZ 연안은 석회조와 엽상해조가 같이 서식하여 식생이 다양하다. 동해남부의 석회조가 바다에 어떤 영향을 주는지는 이와 같이 DMZ 연안의 석회조와 비교해 볼 때 단순한 식생 또는 바다의 사막화가 진행되고 있는 것이 바다 생태순환의 고리가 끊기고 있는 것이다.

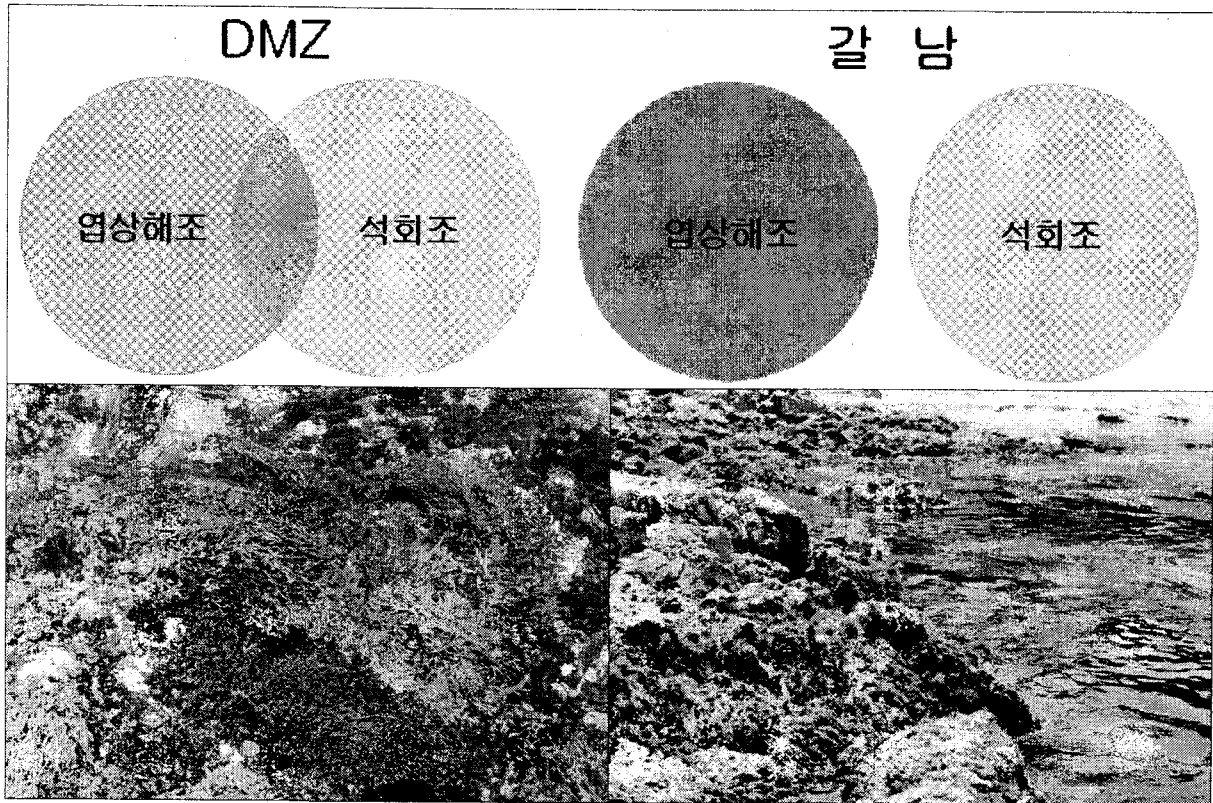


그림 85. DMZ 지역과 갈남지역 무절석회조류와 해조류의 관계 비교 모식도

이러한 바다생태의 문제들에 대해 우리가 올바르게 인식하는 것이 중요하다. 인간이 바다에 할 수 있는 것은 자연생태적 변화들에 대해서는 어쩔 도리가 없지만 연안에 오염을 방지하고 시설물 등의 축조 등이 신중하게 이루어져야 한다.

2. 매립과 방파제 축조에 의한 해조생육 환경악화

해조류는 바다에서 1차 생산자로서 광합성으로 생존하고 성장하게 된다. 연안의 매립 및 방파제의 축조는 해조류의 이러한 1차 생산자로서의 역할을 막아 수질의 악화와 더불어 투명도가 저하된다. 매립으로 천해역이 감소되면 해조류가 생육하는 수역이 감소하게 된다(그림 86-A). 연안개발이 이루어지면서 넓은 범위의 매립이 되고 있으며 해조밭이 감소되고 있는 실정이다. 앞으로 해조류의 생육이 쉬운 환경을 만들고 해조밭을 복원하는 적극적인 연안관리가 이루어져야 한다.

여러 종류 해조류의 생육에는 광량 만이 필요한 것이 아니라 착생기질, 수온, 조석, 염분농도, 해수유동, 다른 해조류와 동물과의 경합 등의 요인이 영향을 미치게 된다. 인간활동 등에 의한 해조류 생육장소의 지형과 기질의 변화 등에 의해 생육이 크게 좌우된다.

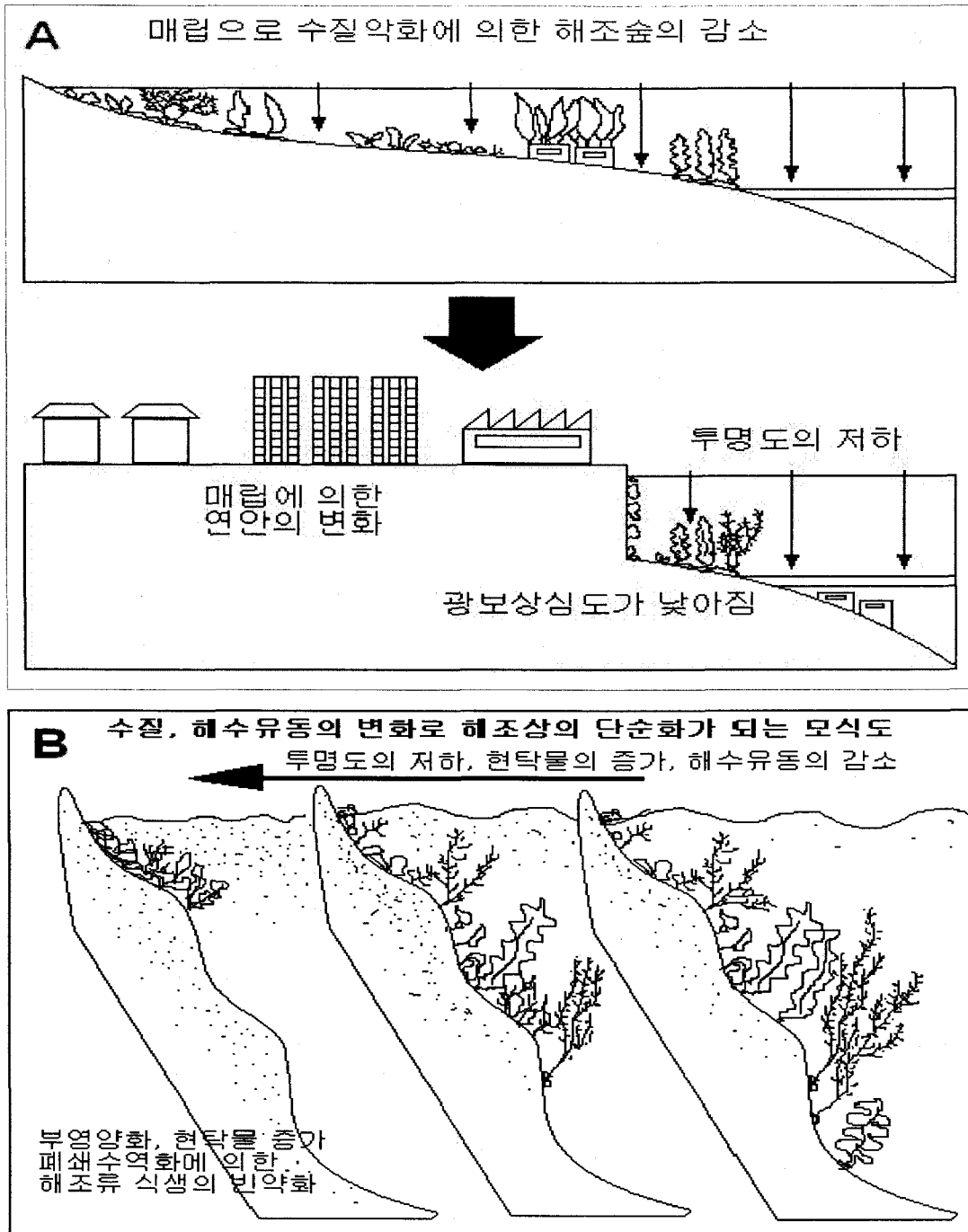


그림 86. A: 연안의 매립에 의한 해조숲의 감소 모식도

B: 수질, 해수유동의 변화로 인한 해조상의 단순화 모식도

자연해안의 매립으로 연안이 소실되거나 감소되는 해안선의 단순화는 부영양화에 의해 투명도가 감소하고 부니 등을 갖는 수중 현탁물의 증가가 이루어져서 이 해역에 생육 가능한 해조류의 종류를 감소하게 한다(그림 86-B).

제 3-8 장 바다녹화에 의한 갯녹음 현상 대처방안

제 1 절 바다목장화를 위한 바다숲 연구

해양의 일차생산자로서 연안에 서식하는 해조류는 생물자원으로서 오랫동안 인간이 이용하여 왔으며, 식용으로서의 용도 외에도 의약품, 공업용, 사료용 및 비료용 등으로 광범위하게 이용되어져 왔다.

다시마류(*Laminaria*)는 엽장이 1미터에서 수 미터까지 성장하며, 점심대에서 큰 군락을 형성하여, 바다 속에서 울창한 삼림의 상태를 이루게 된다. 동일한 다시마과 식물인 대황(*Eisenia bicyclis*)과 감태(*Ecklonia cava*), 곶피(*E. stolonifera*)도 엽장이 1~2미터 정도로 성장하며, 유사한 형태로 밀생된 군락을 형성한다. 모자반류를 포함한 이러한 대형 갈조류가 우점하는 점심대에 형성된 해조 군락을 해중림(*seaweed bed, sea forest*)이라 부른다(그림 87).

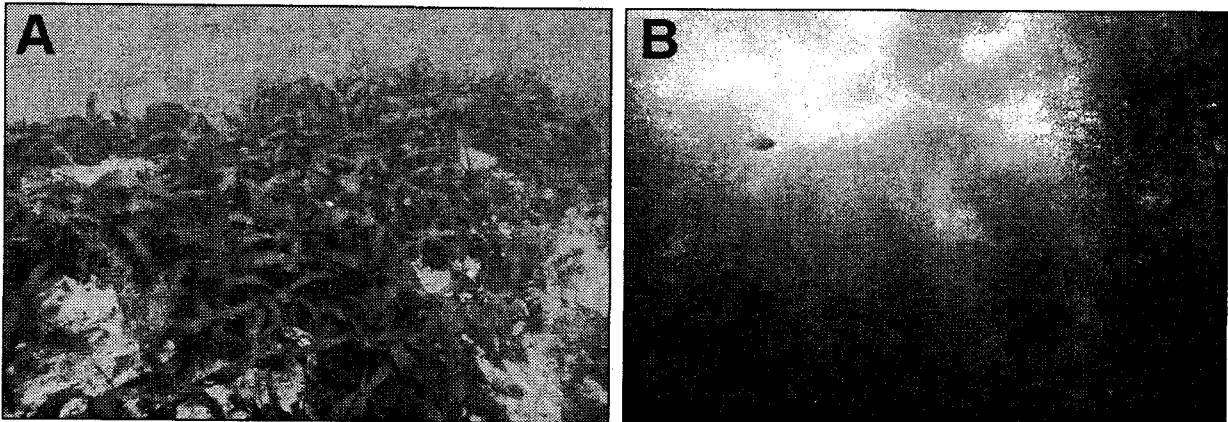


그림 87. 감태(A)와 팽생이모자반(B)으로 구성된 해중림

대형 갈조류로 이루어진 해중림은 가장 주요한 일차 생산이 일어나는 장소일 뿐 만 아니라, 엽상체를 생활기반으로 하는 부착동물 군집부터 시작해서 전복, 성게, 소라 등 초식동물, 불락, 조피불락, 쥐노래미 등 해조군락을 서식지, 산란장, 은신처로 이용하는 어류에 이르기까지 풍부한 생물상을 가지는 고유의 생물사회를 구성하고 있다(그림 88). 특히 전복, 성게, 소라 등은 그 어업생산 자체가 그들의 먹이자원에 의하여 직접 영향을 받는다고 알려져 왔다.

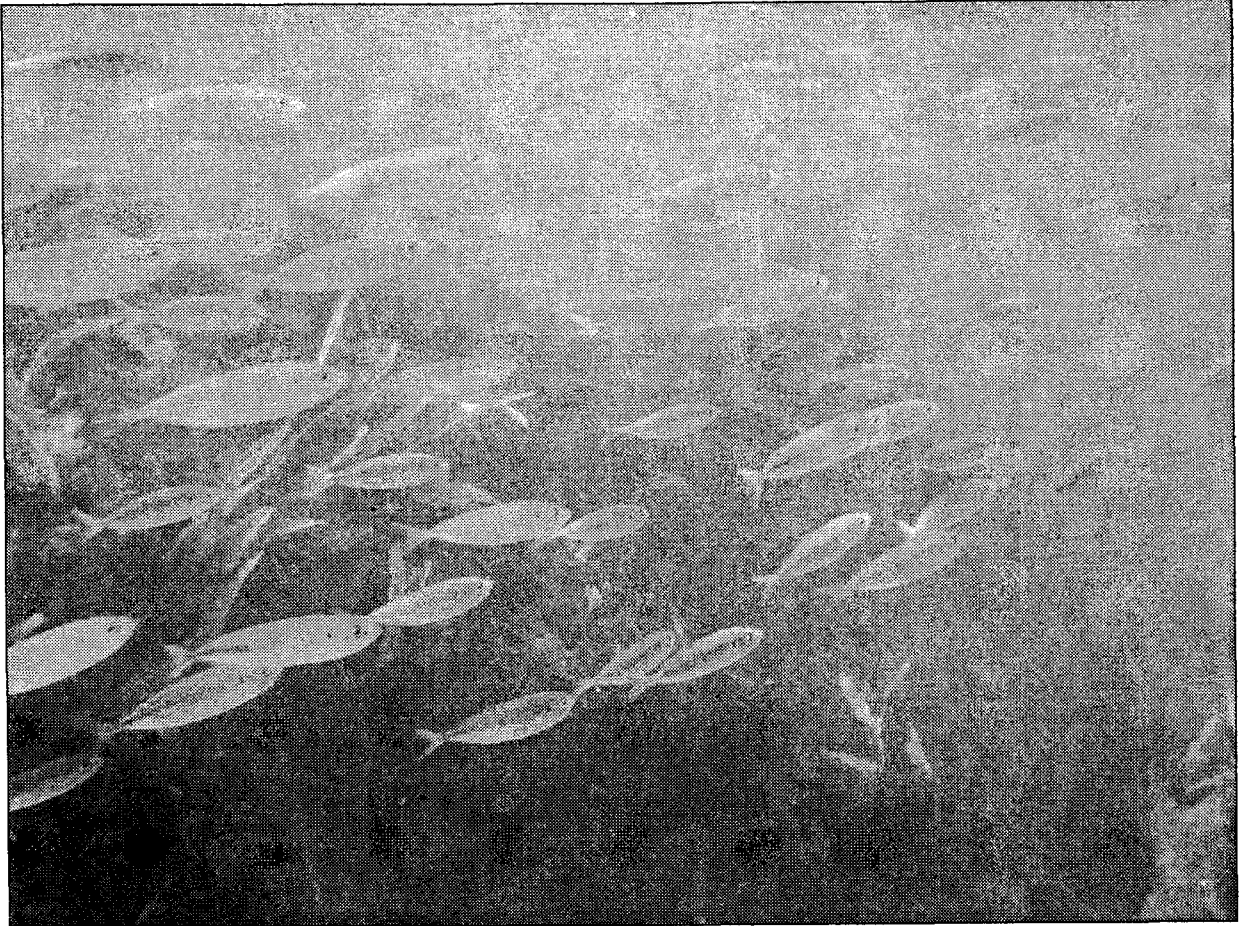


그림 88. 다시마 군락 주변을 유영중인 방어무리

최근 연안어장에서 무분별한 해안개발과 환경오염, 해중림 소실 등에 의해서 해조류가 소실되고 감소함에 따라, 각종 해산 생물 자원이 감소하고 있는 것은 세계적인 추세이다(그림 89). 일본의 경우, 약 10년 간 6,403ha의 해중림이 소실되었다고 하며, 인공 해중림의 조성을 통한 어패류 생육장의 확보가 유일한 대안으로 남아 있다.

우리나라에서도 1960년대부터 연안의 임해공단 건설에 따른 공업화 및 도시의 발달로 인해 공장폐수 및 생활하수 등 오염물질의 유입, 각종 해난 사고 등으로 인해 우리나라 연안은 날로 오염되어 가고 있다. 부영양화에 의한 적조 등도 빈번히 일어나고 있으며, 남획에 의한 자원고갈로 연근해의 어업 생산고는 매년 감소현상을 나타내고 있다. 또한 각종 연안 매립과 간척 사업 등으로 인해 연안어장이 점차 사라져 가고 있는 것도 심각한 실정이다. 원양어업의 생산량도 각국의 200해리 경제수역 분포와 규제 강화로 생산량이 점차 둔화되고 있다.

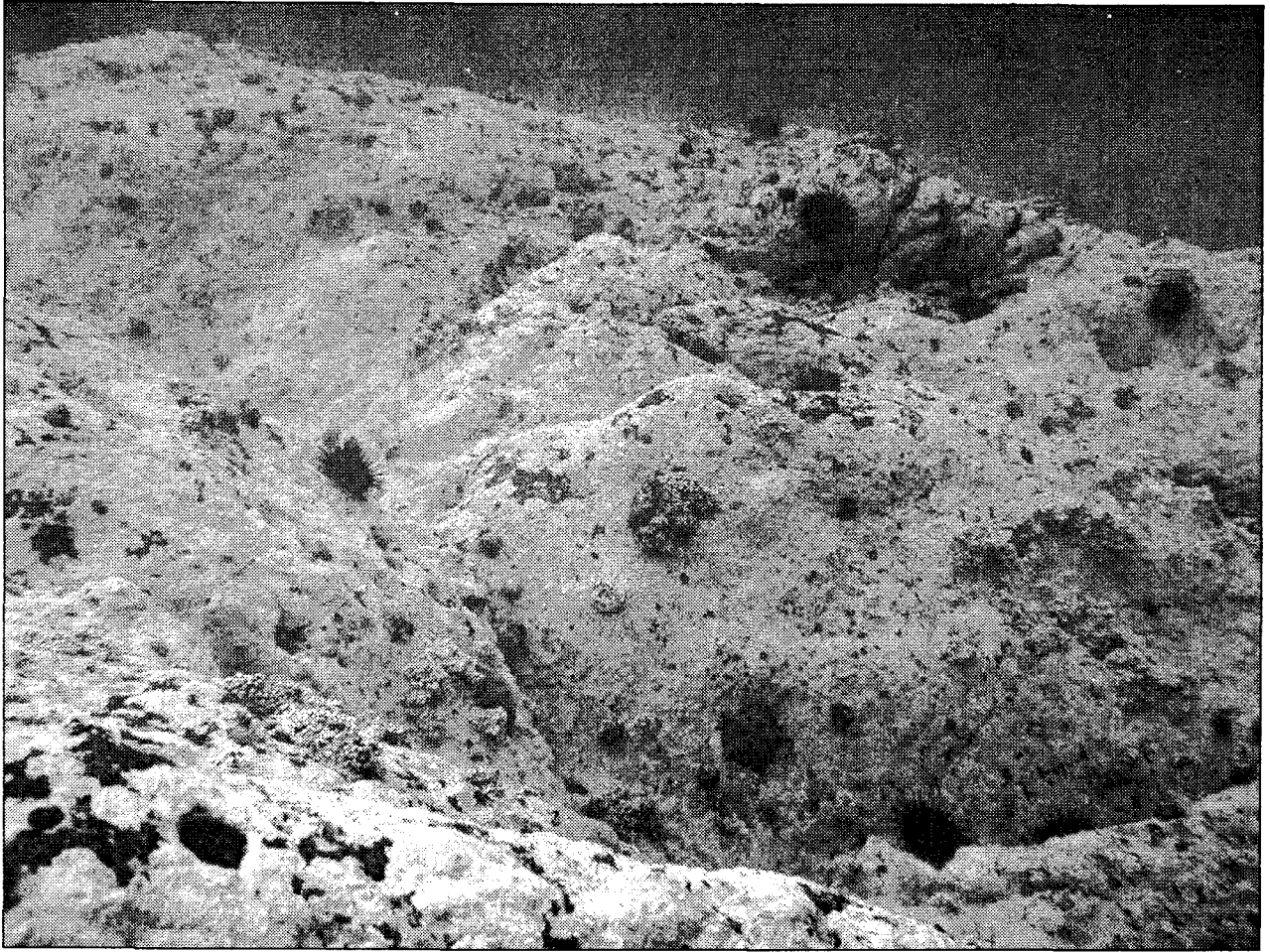


그림 89. 갯녹음에 의해 해조류가 소실된 수중 암반

따라서 앞으로 계속 증가되는 수산물의 수요를 충족하기 위해서는 양식어업 생산량의 획기적인 증대가 불가피한 실정이다. 이러한 현실문제에 입각하여 1970년대부터 잡는 어업에서 기르는 어업으로의 전환이 모색되었고, 이에 대한 환경보전의 견지에서 인공 해중림 조성이 중요시되고 있다. 외국의 많은 생태학자와 수산관련 연구자 및 조류학자들은 인공 해중림 조성을 통한 해중림 복원을 시도하고 있다. 해중림 조성은 수산자원의 증대를 위해 연안역에서 중요하고도 일반적인 기술로 발전하였다. 이러한 해중림 조성은 어류 자원의 증대에 의한 어획량의 증가, 그리고 생물학적 자원량 증가에 의한 자연적인 생산량 증가를 유발하게 된다.

따라서 해중림이 조성되기까지 해조 식생의 천이과정에 대한 연구가 중요시되고 있으며, 유용 어패류의 종묘 생산기술의 진전과 함께, 이들 어종의 생육장이 되는 해중림의 조성과 관리 기술의 개발에 대한 관심이 집중되고 있다.

인위적인 조장조성 및 관리기술의 개발에 대한 연구를 보면, 일본을 대표적으로 꼽을 수 있다. 일본의 해양목장은 역사적으로 몇 단계로 나누어 볼 수 있는데, 1749년 이전에 북해도 연안 어업인들이 연어 산란기 때에 체포를 통제했던 일에서 그 역사적 기원을 찾고 있다. 그 후 일본은 해양목장 진흥을 위해 여러 가지 중요한 대책사업을 추진해 오고 있다. 그러나 본격적으로 법적 테두리 속에서 활성화되는 것은, 1960년대부터 적극적인 자원배양형 어업 개발을 위한 연구를 시작하여 1963년 연안 어업 등 진흥법을 제정하면서부터 이었으며 해양목장도 이 법에 포함된 것이다. 따라서 해양목장을 위하여 많은 법적인 뒷받침이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 1970년대에는 연안 어장정비 및 어업구조 개선 등 천해역 개발과 연어, 송어의 대량 배양 기수개발 사업에 이어, 80년대에 이르러서는 2백해리 시대에 대비한 연근해 유용 생물 자원의 배양을 위해 해양목장 기술개발 연구계획(Marine Ranching Program, 1980~1988)을 추진한 바 있다.

또한, 해중립 소실의 원인과 이에 대한 복원 방법 등에 관한 연구를 위해 많은 투자가 이루어졌고, 해중립 소실이 분명해져 연안해역의 환경보전이나 해산생물자원의 확보를 목적으로 쇠퇴했던 해중립을 회복시키는 연구, 사업을 국립수산연구소, 수산시험장이나, 대학의 교수진이 1980년대부터 시작하여 10년 동안 기본적인 조장조성의 이론이나 기초적 기술을 획득했다.

최근에는 새로운 소재 개발 및 해양 공학기술을 해양생물 자원관리 및 생산시스템에 이용하는 문제도 구체적으로 연구되고 있다. 이러한 일본의 해양목장화 계획은 일본 정부가 거국적으로 추진하고 있는 종합 해양개발 구상의 일부로서 구체적으로 시행되고 있다. 해양 개발 구상은 과학기술청의 Aqua-marine계획, 통상성의 Marine community polis계획 등으로 연근해역의 종합적인 이용을 위한 방대한 미래지향적 계획으로 추진 중에 있다.

현재 일본에서는 인공어초 사업을 활발하게 추진하고 있다(그림 90). 일본 중앙정부에서 연간 약 5억 달러의 예산으로 인공어초를 건설하고 있으며, 동일한 액수인 5억 달러의 예산을 지방 정부가 지원하고 있다. 따라서 보통 50:50의 비율로 투자하고 있는데, 이것은 단순히 콘크리트 어초를 놓기 위한 예산이다. 일본에 있어서의 어초는 대상 생물과 목적에 따라 약 1백 여종의 어초가 현재 만들어지고 있다고 한다.

일본에 있어서 어초사업은 어초 설치전에 현장조사를 통해 저서성 어류 및 저서 무척추동물 등을 조사하고, 아울러 어느 장소에 설치하는 것이 좋은지 어업인과 전문가가 동시에 모여서 결정하게 된다.

따라서 어초의 대상 어종의 선정, 이용하는 어업, 배치계획, 어초종류, 시공방법 등이 결정되게 된다. 이러한 과정을 거쳐서 조성된 어초에서, 어업인들은 어획한 양과 어획장소를 수첩에 보고하며, 이 자료는 어초효과 조사의 기초자료로 인용되며, 목적외에 절대 다른 목적으로

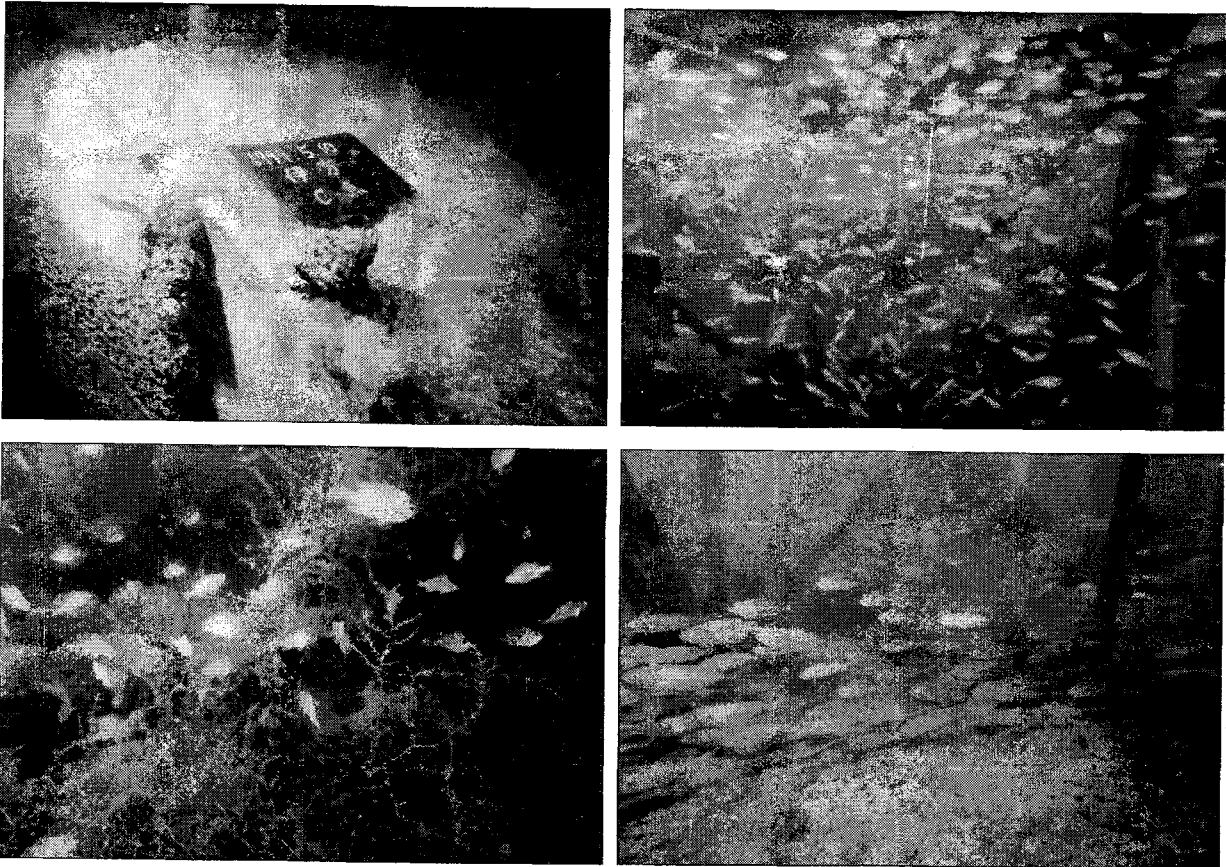


그림 90. 각종 어초에 운집한 소라 및 어류

사용되지 않는다. 앞으로 일본은 전 연안을 인공어초로 덮을 계획을 가지고 있다고 한다.

우리나라의 경우 인공어초 부근에서 어획된 어류의 영향에 대한 조사가 대부분이며, 바다숲을 이루는 주체인 해조류에 대한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있어 해중림 구성에 대한 기초연구는 미흡한 실정이다. 제주와 동해의 일부 연안에서 국립수산과학원 주관으로 일부 시행된 것을 제외하면 아직까지 적극적이고 집약적인 해중림 조성사업을 실시한 사례가 드물다.

국내 수산업의 생산 방식이 잡는 어업에서 기르는 어업으로 전환되기 때문에 양식 생산량의 수적 증가는 물론, 양식기술의 현대화, 과학화가 추진 될 것으로 생각된다. 이러한 발전방향에 따라 안정된 양식기술의 확립은 계속적으로 추진되는 과제가 될 것이며, 특히 해중림 조성 사업은 공업에서 제품생산에 필요한 원료공급에 해당하는 부분처럼 양식산업에 있어서 가장 중요한 부분이다.

해양 목장화라는 측면에서 조하대 해조 군집 특히 해중림을 이루는 대형 갈조군집의 역할은 매우 중요하다. 연안 해역에 형성된 해중림은 생태계의 중요한 기초 생산자로서의 기능은 물론 어류 또는 무척추동물을 포함한 다양한 분류군의 서식공간 또는 산란장으로 이용되고 있

다. 더욱이 이들 해조군집에 의해 생성된 유기물은 초식먹이 연쇄 혹은 잔사먹이 연쇄를 따라 해조표면에 서식하는 동물군을 포함한 여러 종속영양 동물의 에너지원이 되고, 이들 이차 생산자 역시 피식에 의해 더 높은 영양단계로 전이됨으로써 유용 수산자원의 보존과 번식, 증대 등의 연쇄효과를 기대 할 수 있다.

인위적인 해중조립의 형성과 해중립의 증대 시에 기대할 수 있는 효과로는, 해양 생태계의 구조와 기능에 대한 전반적인 정보를 획득하고, 해조숲 조성의 효과 실험 및 적합화 기술의 확립, 주요 어종에 대한 생리 및 유전자원을 파악할 수 있다. 환경 요인별 생물학적 평가기반 확립과 증·양식 등 관련 기술 향상, 수중 작업 기술향상, 해양환경 제어 및 해양 구조물 제작·설치의 기술향상, 연안의 해양환경에 관한 자료를 획득할 수 있겠다.

또한, 수입 대체 효과, 관련 산업(양식업, 연안수산업, 연안 관광, 소재 산업, 해양건축, 토목)의 육성, 시장 개방에 따른 국내 수산물의 국제 경쟁력 강화와 시험목장운영으로 국민에게 해양 개발에 대한 새로운 앞날을 제시하며, 해양과 친근해질 수 있는 국민 교육, 레크리에이션 등의 효과를 기대할 수 있다.

따라서, 우리나라 환경에 알맞은 조성 모델을 제시하여 향후 연안해역에서 증·양식 개발을 위한 모델이 될 뿐 만 아니라, 궁극적으로는 각종 어패류의 산란장, 은둔처, 서식장 제공에 따른 연안 어장 생산성 향상과 자연 자원보존 이라는 수산학적, 생태학적 큰 의미를 갖게 된다.

제 2 절 바다숲 조성

1. 바다숲의 중요성

육상에서 산에 나무를 심어 숲을 조성하게 되면 나무를 목재로 쓰기도 하고 공기도 맑아지게 된다. 또한, 산새나 짐승들이 서식하게 되어 좋은 환경을 마련하게 된다. 바다에도 숲을 만들게 되면 해조자체를 식용으로 하거나 바닷물을 정화시킬 수 있다. 뿐만 아니라 수산동물이 산란하거나 생활하는 서식처로서 이점이 많다. 바다숲은 해조의 경제적 가치 이외에도 바다목초를 형성하게 되면 바다환경이 좋아지게 되어 직, 간접적으로 매우 유익하다.

산에 조림을 하기 위해서는 환경에 맞는 수 종과 많은 묘목이 필요한 것처럼 어떤 지역에 바다숲을 조성하는 것은 그 해역에 맞는 대상해조류의 결정과 종묘생산을 통한 많은 유아 또는 모조 이식 등이 여러 가지 방법이 시도될 수 있다. 또한 해조가 서식할 수 있는 생활공간으로서 인공암초를 넣어주는 일이 매우 중요하다. 국가 또는 지방자치단체에서 바다목장화 사업의 일환으로 어초사업을 수행하고 있다. 갯녹음의 극복방안으로서 바다식물이 서식한 후에 이들을 먹는 어패류가 모이게 하여 연안수산자원을 시킬 수 있다. 이것은 적극적인 환경보호 방안이 될 수 있다.

2. 바다숲 조성 방안

동해 연안에 바다숲을 구성하는 종류는 대형갈조류로서 모자반류, 미역, 다시마, 구멍쇠미역, 쇠미역 등을 꼽을 수 있다. 바다숲 형성을 위해서는 저질이 자갈과 암반 등에 의한 기질의 안정도, 수심에 의한 광조건, 해수유동과 파랑에 의해 노출된 곳과 보호된 곳 등의 생육 조건에 영향을 받게 된다. 조하대의 깊이 20m 까지의 암초지대에 큰 군락을 형성하며 현화식물인 말갈피 또는 잘피류도 바다숲을 이루게 된다.

그럼 91에서는 대형 해조군락의 각 종의 공간적 배치도를 나타내었다. 이들 해조의 개체군 변동의 특성, 또는 성계, 전복이나 어류 등에 의한 식해의 정도를 잘 파악하므로써 해조밭 조성에 충분한 성과를 얻을 수 있다. 그러므로 해조군락을 조성하는 종의 계절적 변화, 생산량 및 개체군 밀도와 해조의 유실과 관계 깊은 포식자(수산동물)와의 관계 등을 고려하여 연안 생태계의 기능적 관리를 피하여야 한다. 인위적으로 연안에 바다숲 조성을 위해서는 표 25와 같은 요소를 생각할 수 있다(口谷, 1998).

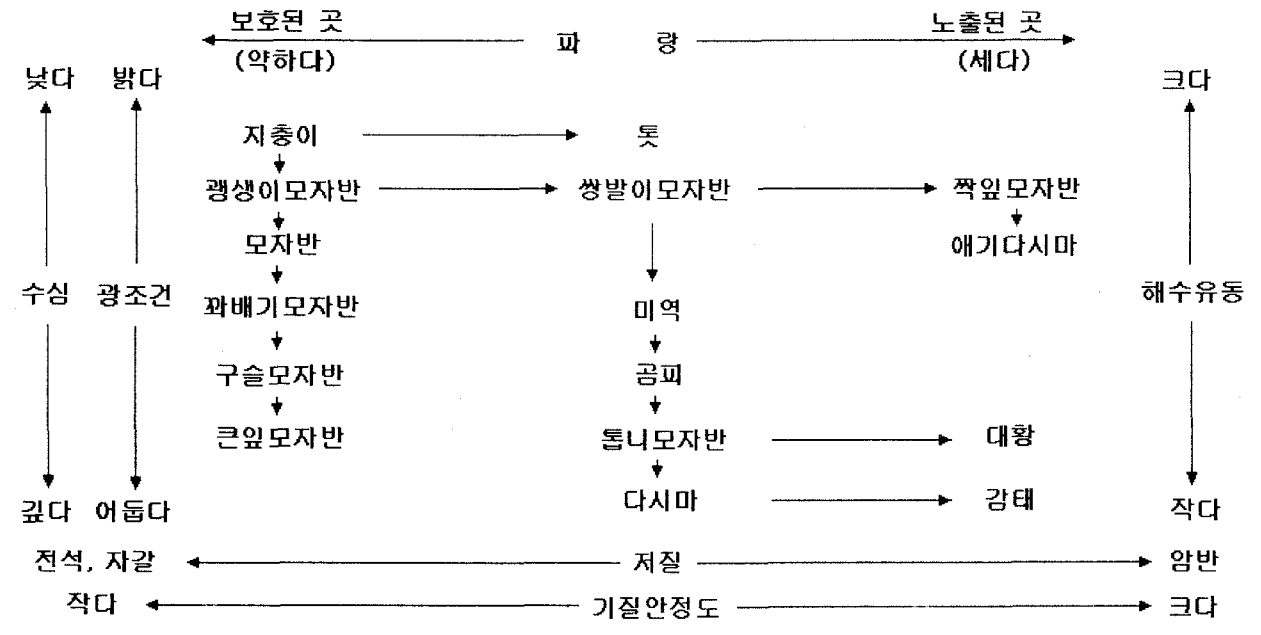


그림 91. 조하대의 해조숲 구성종과 환경관계

표 25. 바다숲 조성의 기술 방안

- 1 종묘의 생산과 공급
 - (1) 모조 이식
 - (2) 유주자, 배우체, 아포체의 대량 생산
 - (3) 인공종묘의 생산 - 로프 양식, 해저이식
- 2 착생기질의 정비
 - (1) 투석, 해조인공암초(藻礁)의 설치
 - (2) 암초 폭파
 - (3) 잡조 구제(성계의 섭식압 이용, 쇠줄돌리기, 압축공기의 분사, 수중 불도저 이용)
- 3 종묘의 보호·육성
 - (1) 조식동물 구제
 - (2) 해조의 대량 투입에 의한 섭식압 흡수
 - (3) 조식동물의 기어오름의 방지
 - (4) 그물을 돌려서 식해 방지
 - (5) 화학물질 이용(천연물, 유기산)

바다숲 조성은 1) 종묘의 생산과 공급, 2) 착생기질의 정비 3) 종묘의 보호와 육성의 3단계로 나뉘어 볼 수 있다. 바다숲 조성이 되면 어패류나 갑각류 등이 서식하게 되어 수산생물 자원이 증가하여 어업인의 소득이 증가되게 된다. 이 뿐 아니라 해양생태계의 일차생산자인 바다식물이 늘어남으로서 해양환경이 좋아져서 안정된 바다생태계를 이루게 된다.

3. 해조밭 조성의 모델

해조밭을 조성하는 것은 해조자체의 조성기술 방안뿐만 아니라 해양환경의 여건, 해조인공 암초에 대한 시설, 공학적인 면 등이 중요하다. 그리고 바다의 목초를 조성하는 일은 궁극적으로 어업인소득과 연관되어야 하므로 어패류의 생산이 증대되어야 한다. 해조밭 조성은 해조자체가 가지는 번식력을 이용하든가 또는 인공적으로 번식을 제한하는 환경요인이나 생태적 조건 등을 개선해서 행하는 방법과 이 두가지 방법을 병행해서 사용하면 효과가 크게 나타날 수 있다.

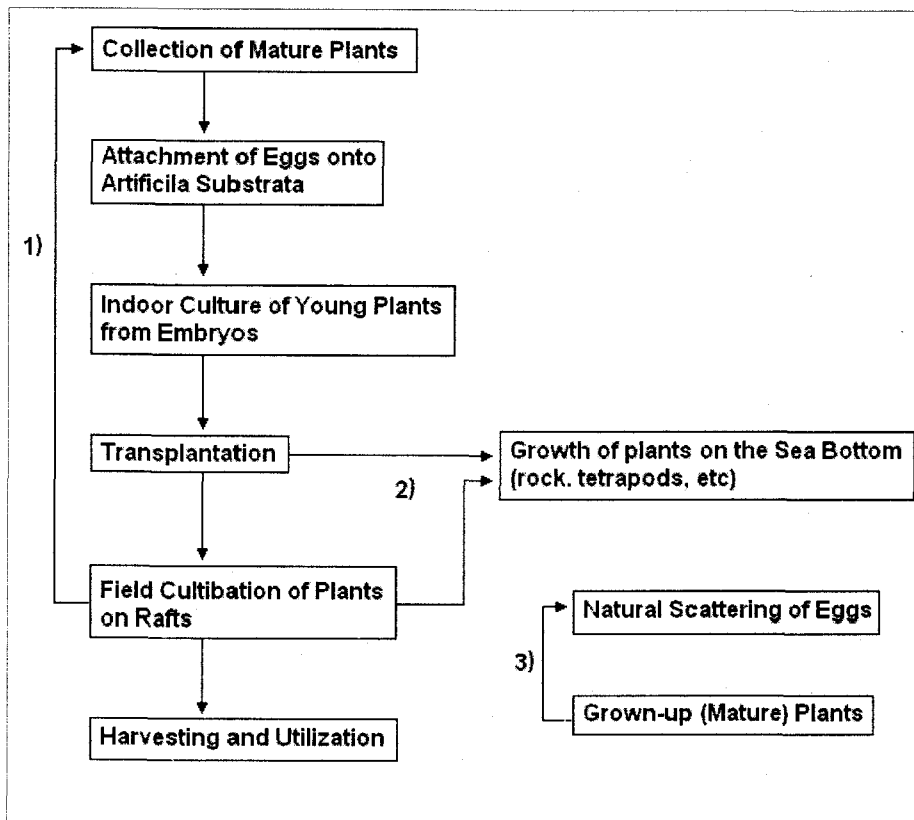


그림 92. 실내배양을 통한 해조밭 조성의 모델

조체이식은 성숙한 모조에서 발아한 유배가 주변에 산란해서 부착, 생육하는 것으로 균락형성이 기대가 되는 이식하는 장소를 잘 선정하여 효과가 크도록 한다. 이식지점은 해수 유동과 같은 환경조건 등에 적절한 종을 선택하는 것이 중요하다. 종묘 이식방법은 실내배양을 통하여 종묘를 만들어 어느정도 야외 양성장애 적응시킨 후 바다에 서식할 수 있도록 착생기질에 부착시킨다. 종류에 따라 또는 채묘기질을 적절히 선택할 수 있으며 여러 가지 조성기술에 대한

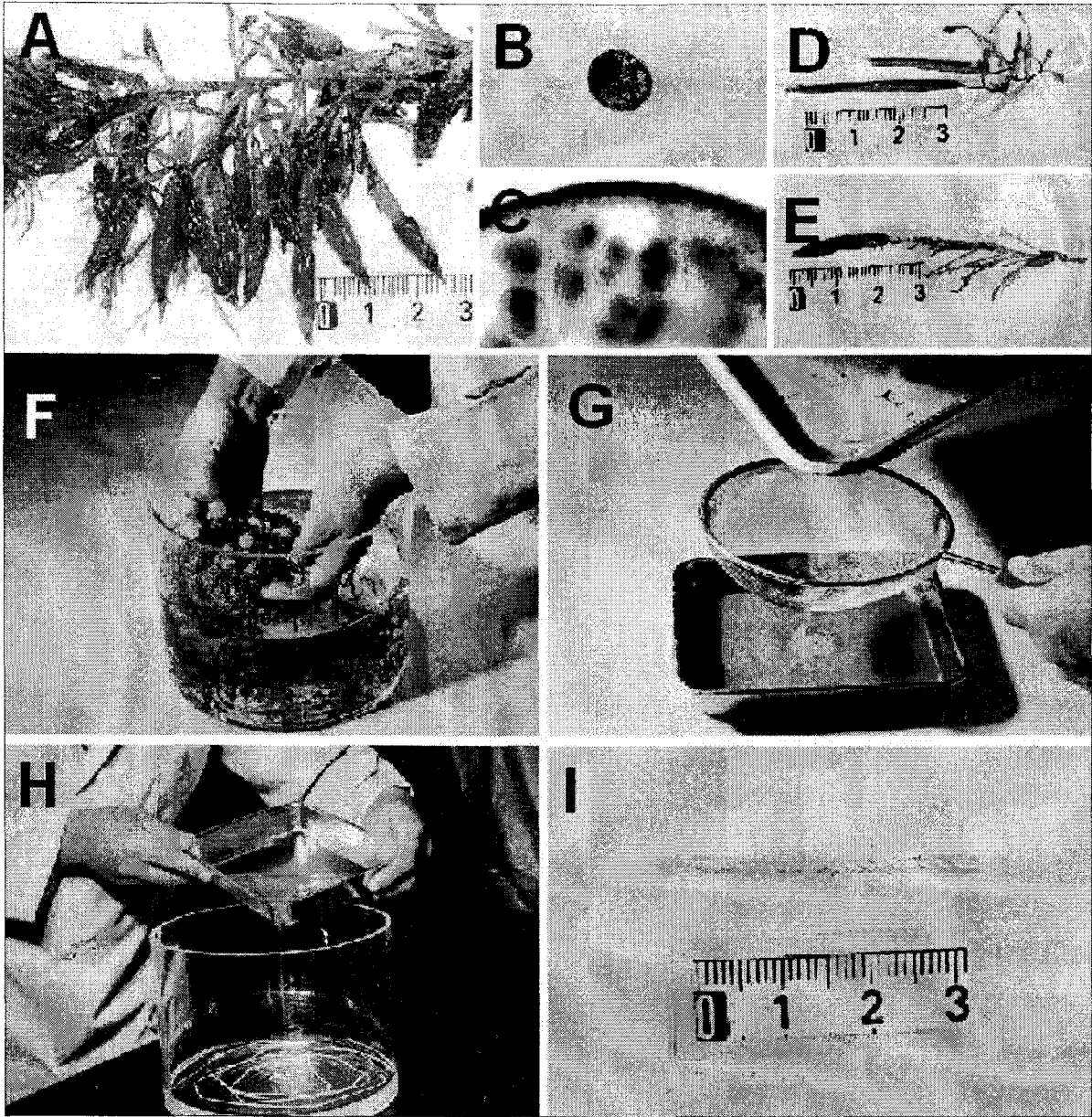


그림 93. 꿩새이모자반의 인공종묘생산을 위한 과정 (A: 수정란이 착생된 엽체, B: 수정란, C: 암생식기의 내부모양 D: 수생식기 E: 암생식기 F: 암수 수정, 수정란을 걸러냄 H: 수정란을 구라론사에 부착 I: 기질에 수정란이 발아)

적응이 가능하다.

모자반의 인공종묘생산은 생활사의 단계별로 1) 실내배양을 통한 종묘의 생산 2) 해역에 이식, 3) 암반이나 인공저층에 해조밭의 조성으로 나뉘어 볼 수 있는데 모식도는 그림 92에 나타내었다. 첫단계로 실내배양을 통한 인공종묘의 확보는 모자반의 경우 성숙한 모조의 생식기 형

성시기와 난발생시기를 파악한다. 성숙한 모조를 수조 내에 1~2일 담가 두었다가 생식기탁에서 탈락한 수정란을 가제 등으로 여과한 다음 씻는다. 이의 수정란을 두께가 3~4mm 정도의 종사와 김발 또는 부착판 등에 살포한다. 통상 유배가 1~5cm가 될때까지 환수하는 옥외수조에서 키우고 그후 해면에 이식한다.

두번째 단계로는 실내배양된 인공종묘를 암반 또는 인공저층에 이식하는 것이다. 이식시기와 부착력과 파도의 세기를 고려한다. 유배는 기질에 따른 가근의 부착정도를 잘 파악한다. 착생기간중에 가근 및 기재의 표면이 부착규조, 부니 등에 의해 오염되고 유배의 착생은 저해될 수 있다. 성체의 이식이나 유배착생에 의하여 해조밭 조성을 하고 초식자에 섭이 당하지 않도록 하는 것이 중요하다.

그림 93에서 모자반의 인공종묘배양을 위해서 수정란을 받아서 실내배양을 위한 준비과정을 나타내었다. 모자반류 중에서 팽생이모자반(*Sargassum horneri*)은 동해연안의 어디에도 바다 숲을 잘 이루는 종이다. 이 종류의 성숙시기는 남해안보다 좀 늦은 6월을 전후하여 모체로부터 수정란을 얻을 수 있다. 이 수정란을 채묘틀에 부착시켜 야외 현장에 이식하여 해조밭을 조성하는 기술적 방안이 일본의 경우에 어느 정도 이루어져 있다고 볼 수 있다.

표 26. 팽생이모자반의 수온과 지점별에 따른 난방출

Temperature (°C)	States					Rate
	1	2	3	4	5	
9	0	6	0	0	0	6
11	0	1	0	0	0	1
13	1	3	2	2	0	8
15	5	10	7	8	8	38
17	6	5	5	7	6	32
19	0	1	1	2	1	5
21	0	1	0	1	0	2
23	0	0	0	0	0	0

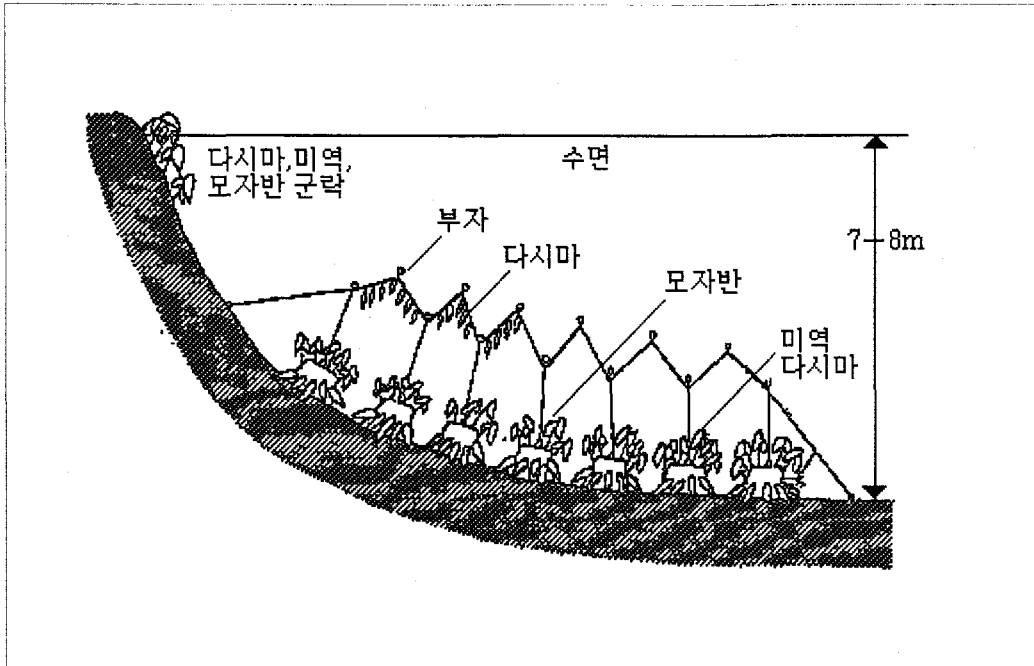


그림 94. 강릉연안 갯녹음 회복시스템의 모식

이 종류의 강릉연안 모자반 식물체에 대한 실내배양에 있어서 난방출에 대한 결과는 표 26에 나타내었다. 난 방출은 수온 12~24℃ 범위에서 8단계로 나누어 일정한 수온이 유지되게 하여 실내수조 내에서 팽생이모자반을 배양한 결과 하근이 12~15℃, 상근이 21~22℃로서 16~18℃에서 가장 많은 난방출을 볼 수 있었고 난방출 적수온은 15~21℃가 가장 좋게 나타났다.

일본 동북대학의 谷口 박사는 아래와 같은 갯녹음 회복 시스템의 모식도로 수산생물 자원을 증가시키는 방안을 제시하고 있다. 여기서 갯녹음의 지속요인인 초식동물의 배제가 가장 큰 문제로 생각되어 해저면에 블록과 해저에 부자를 띄워 다시마를 양식하는 입체적인 양식을 제안하고 있다. 이러한 방법을 응용하여 동해연안에서 수심 10여 m 되는 곳에서 이 입체적인 해저양식 모델로 바다숲을 만드는 노력이 필요하다고 본다.

4. 수산인에 의한 소득증대

바다숲 조성으로 해양환경이 좋아지게 할뿐만 아니라 궁극적으로 연안에서 양식업자에 의한 수산생물 생산도 높아져야 한다. 우리나라에서도 양식업자 자신이 다시마 밭을 만들어 성게나 전복의 생산량을 증가시키는 곳이 있다. 아직 이러한 양식경영자의 노력이 자료화되거나 정량화되지 못하고 있지만 정부의 지원이 없이 개인 스스로 다시마 밭을 만들어 전복의 생산량을 늘리는 것이 이익이 될 수 있다는 것은 우리에게 매우 기대감을 갖게 한다.

갯녹음 현상의 극복 성공사례로 일본에서 조사된 자료를 참고하면 약 1,000m²의 해중립 조성 조사구역에서 평균각장은 5cm, 중량 24g의 전복을 8000개체 이식했을 때 2년후에 전복은 평균각장 9cm 이상의 개체만으로 약 1톤에 가까운 수확이 가능하였다. 대조구인 우량의 어장보다 약간 낮았지만 생산율은 82%를 나타내어 생산성이 높게 나타났다. 또한 어업협동조합의 어업자들에 의해 3 ha에 해중립 조성을 한 경우를 보면 1987년 무인도의 해조 2~30m의 범위에서 천연석 90개와 모조를 네트로 고정한 건축용 콘크리트 블록 60개를 넣은 결과 1992년에 대황의 갈조식물이 자라나 분포역이 확대된 적이 있다.

일본의 예를 보더라도 이러한 수산인 자신들의 손에 의한 바다숲의 조성은 앞으로 연안 수산업의 방향을 나타내는 귀중한 참고가 될 수 있다고 본다.

제 3 절 해중림 조성을 위한 켈생이모자반(*Sargassum horneri*) 유체의 이식효과

1. 서 론

김, 미역, 다시마와 같은 유용 해조류의 전통적인 양식 이외에 수산업 분야 또는 해양 자원으로서의 생산력을 높이기 위한 대황, 감태, 모자반과 같은 거대 해조류의 실험적인 양식이 최근 연안 해역에서 이루어지고 있다(Yamauchi, 1984).

모자반속 식물은 갈조류 모자반과에 속하는 대형 해조류로, 세계적으로 온대, 아열대, 열대해역에 분포하며 우리나라에서는 총 25종이 분포하고 있다(Oak, 1999). 모자반속 식물의 많은 종들은 다년생으로, 부착기에서 매년 새로운 가지를 재생하며 몇몇 종들은 무성생식을 하고 기질에서 떨어진 후에는 바다 위에 떠다니는 부유조(floating seaweeds)로서 생활하며 어류 등의 산란장으로서 역할도 수행한다(Largo and Ohno, 1997).

모자반류와 다시마, 대황, 감태 등 다시마목을 포함한 대형 갈조류가 우점하는 해조 군락인 해중림은 가장 주요한 일차 생산이 일어나는 장소일 뿐 만 아니라, 엽상체를 생활기반으로 하는 부착동물 군집부터 시작해서 전복, 성게, 소라 등 초식동물, 불락, 조피불락, 쥐노래미 등 해조군락을 서식지, 산란장, 은신처(Ohno, 1993; Watanuki and Yamamoto, 1990)로 이용하는 어류에 이르기까지 풍부한 생물상을 가지는 고유의 생물사회를 구성하고 있다(Choi, 2001).

최근 연안어장에서 무분별한 해안개발과 환경오염, 갯녹음 등에 의해서 해조류가 소실되고 감소함에 따라, 각종 해산 생물자원이 감소하고 있는 것은 세계적인 추세이다(Fujita, 1987; Yotsui and Maesako, 1993). 따라서 자연 해중림의 쇠퇴 및 감소 현상이 뚜렷해짐에 따라 인공 해중림에 관한 연구가 많은 생태학자, 수산 관련 연구자 및 조류학자들에 의해 주목되고 있으며(石川, 1983), 인공 해중림 조성을 통한 어패류 생육장의 확보가 유일한 대안으로 남아있다.

이 연구는 인공 해중림의 조성에 관한 연구를 토대로 하여, 모자반속 식물인 켈생이모자반의 수정된 알을 채묘한 뒤 실내에서 배양시킨 종묘를 이식하여 엽체의 착생 및 성장효과를 조사하기 위한 것으로 이를 통하여 인공 해중림 조성의 한 방안을 마련하기 위해서 실시하였다.

2. 재료 및 방법

갈조식물 팽생이모자반의 이식장소는 강원도 삼척시 갈남항 앞 해역을 선정하였다. 이식에 이용한 팽생이모자반은 2001년 5월에 동일 장소에서 암·수 생식기탁을 형성한 성숙 엽체를 채집하여 실시하였다.

성숙 엽체는 멸균해수로 수 회 세척하고 5톤 용량의 수조에 수용하여 부유 상태로 유배만 수조 밑에 설치한 채묘틀로 떨어지도록 하여 채묘하였다. 채묘시 수조의 수온은 20 ~ 24℃로 유지하고 광량은 150 ~ 300 μ mole/m²/s로 하여 2 ~ 3일간 채묘하였다. 수조 내에 공기를 공급하면서 유배의 탈락 정도를 확인하여 70 ~ 80%의 유배가 방출되면 엽체는 건져내고 채묘틀을 여과 해수가 들어있는 수조로 옮겨 매일 채묘틀의 상하 위치를 교체해 주며 배양하였다.

이식은 2001년 5월에 채묘시킨 유배를 실내에서 약 2개월 간 배양하여 2 ~ 3mm 정도로 자란 팽생이모자반 엽체를 이용하여 2001년 7월 갈남항의 수심 5m 해저에 실시하였다. 부착기질은 10×10cm 크기의 건축용 석재타일과 수중 바닥에서 20 ~ 50cm 정도 떨어진 수중에 고정된 해수 취수용 취수파이프를 이용하였다(Table 1). 엽체가 착생하여 성장중인 채묘사는 두 가지 조건으로 이식하였는데, 한 조건은 석재타일에 채묘사를 감은 뒤, 무절석회조류가 피복된 수중 자연 암반에 이식하였고, 다른 하나는 취수파이프에 채묘사를 감아 이식실험을 실시하였다. 시료가 부착된 타일은 주재와 경화제로 구성된 수중본드(Konishi bond E380)를 타일 뒷면에 적당량 바른 후 잠수에 의해 수심 5m의 자연 암반에 압착시켰다.

팽생이모자반의 성장상태와 시료가 부착된 석재타일의 안정성에 대한 조사는 2001년 7월부터 2002년 8월까지 잠수에 의해 실시하였으며, 엽체의 착생상태와 생장은 현장에서 직접 측정하였고, 생태계 변화는 수중카메라(Olympus c-3040z)를 이용하여 촬영 기록하였다.

3. 결 과

대상 지역인 갈남 지역에 인위적인 해중림 조성을 위해 실시한 이식실험은 종묘 이식한 채묘 종사를 기질에 감는 방법을 응용하여 서로 다른 두 가지 기질을 선택하여 실시하였다. 하나는 무절석회조류가 완전하게 피복 되어 있는 수중 암반에 실시하였고, 다른 하나는 해수를 취수하기 위한 취수파이프에서 실시하였다. 거리 상으로 인접한 두 지역에서 이식을 실시하였지만, 이식 2개월 후인 9월부터는 커다란 성장 차이를 보였다. 타일을 부착시킨 수중 암반은 주위에 다른 해조류의 부착 및 생장이 전혀 없는 곳으로 별불가사리, 고동류, 보라성게 같은 조식동물 등이 쉽게 발견되었다. 수중본드를 이용한 석재타일의 부착은 모든 타일이 수중 암반에 완전하게 부착하였지만, 2001년 7월 이식 다음날의 조사 결과 부착시킨 석재타일에는 이식 초기부터 조식동물인 별불가사리, 고동류, 보라성게가 많이 운집하여 모자반 유엽을 섭식하는

모습이 쉽게 관찰되었다. 취수파이프에 이식시킨 모자반에도 고등류가 부착하여 섭식하는 모습이 관찰되었지만, 한, 두 개체 뿐으로 운집 개체수는 석재타일에 비해서 많은 차이가 났다.

이식 2개월 뒤인 9월 조사시 개체의 생장은 석재타일의 경우, 운집한 조식동물의 섭식에 의한 영향으로 모자반 유엽이 모두 소실되었고, 이식 타일에는 부니가 많이 침적되었다. 반면에 취수파이프에 이식시킨 유엽은 양호한 생장을 보이며 몇몇 곳에서 유엽의 생육이 활발하게 일어나 초기 이식시 0.2 ~ 0.3cm 정도에 불과하던 유엽 크기가 0.5 ~ 2.0cm 내외의 크기로 성장하였다. 2001년 10월 취수파이프에 이식한 유엽은 10여 곳 이상에서 활발하게 생육이 일어났고, 크기는 대략 1.5 ~ 5.0cm 내외의 크기로 성장하였다. 이식 초기에 취수파이프에서 성장하던 다른 해조류들은 소실하였지만, 이식된 팽생이모자반의 유엽은 섭식자들의 영향도 크게 받지 않으면서 양호한 생장을 하였다.

이식 7개월 뒤인 2002년 2월 취수파이프에는 팽생이모자반이 무성하게 자랐는데, 취수파이프 곳곳에 1m 이상의 개체가 많이 발견되었다. 모자반의 크기는 11.0 ~ 203.0cm까지 성장하여 평균 122.6cm의 크기를 보였다. 이식 10개월 후인 2002년 5월의 경우에는 팽생이모자반이 해조숲을 구성하였고 평균 228.0cm의 크기로 성장했으며, 이 중에서 최대 엽체 크기를 보인 개체는 313.0cm까지 성장한 엽체였다. 이 팽생이모자반들은 초기 이식했던 채묘사에 단단하게 고정되어 취수파이프에 부착하여 성장하였고, 이식 개체 대부분의 엽체들은 성숙하여 생식기탁을 형성하였다. 하지만, 석재타일에 이식한 개체는 2001년 9월 이후에 완전히 소실한 뒤 다른 변화는 보이지 않았고, 주변 자연 암반에 피복한 무절석회조류가 그들의 생육 면적을 확대시켜 타일 위에도 생육을 하며 빠른 확산 속도를 보였다.

이식 13개월 후인 2002년 8월 조사 결과, 석재타일은 이전의 조사와 동일하게 무절석회조류에 피복 되어 거의 100%의 피도를 보이며 타일 표면을 무절석회조류가 완전히 피복하였다. 타일에 감겨있던 채묘사에는 파래류와 슴털류가 부착하여 성장하였지만 부착 상태나 생육 상태는 불량하였다. 2002년 5월 조사시 취수파이프에서 무성하게 성장하여 숲을 이루었던 팽생이모자반도 모두 소실하여 흔적이 없었고, 이식시 사용했던 채묘사도 중간 중간에 떨어져 소실되었다. 취수파이프 주변 암반에는 모자반 유체가 착생하여 성장하였고, 유체의 크기는 3 ~ 10mm 정도였다. 이들 모자반 유체가 많이 착생한 암반은 마치 잔디처럼 많은 개체가 착생하여 성장하였는데, 취수파이프에서 30 ~ 60cm 정도의 거리에 있는 암반에는 m^2 당 300개체 이상으로 무성하였지만, 2m 이상 떨어진 암반에는 착생밀도가 m^2 당 50개체 이하였다.

4. 고찰

Yamauchi(1984)는 팽생이모자반을 이용한 인공 해중립 실험에서 팽생이모자반 유배를 김발에 채묘시켜 실내탱크에서 81일간 배양시킨 결과 평균 26mm 크기의 유엽을 얻었다. 이 유엽을 바다에 이식시킨 결과, 모자반 유배가 초기에 빠르게 성장하여 그 해 12월 최대 231cm 크기의 개체를 얻었다. 이는 삼척시 갈남항에서 시행하였던 이식 결과와 비교하면 초기 이식시 유엽의 크기는 비슷했지만, 생장은 1, 2개월 정도 빠른 결과를 보였다. 이는 실험지역인 일본 오사카만 부근의 수온이 갈남항에 비해 약 2 ~ 3℃ 정도 높았기 때문으로 여겨진다. 또한, 생식기탁 형성시기도 2월부터 형성되어 4월에 가장 많은 생식기탁을 형성한 후 5, 6월에 걸쳐 소실되었는데 이 점 역시 이번 조사에 비해 1, 2개월 빠르게 나타났다. Yamauchi(1984)는 인위적으로 이식시킨 모자반 인공 해중립은 해수의 여과 및 해양 자원으로서 이용 뿐 아니라, 어류와 같은 유용 수산동물의 산란장 또는 먹이장소로서 그 역할을 훌륭히 수행했다고 하여, 인공 해중립의 중요성을 강조했다.

저서동물 중에서 갯녹음 해역에 우점하는 섭식자는 성게류와 복족류이다(新村, 1983). 이 중 성게는 갈조류를 선호하여 섭이하는데, 30g 내외의 개체는 1일당 체중의 3 ~ 3.5%를 섭이한다. 모자반류의 유엽이 10 ~ 15mm일 때, 엽체의 평균 습중량은 0.01g 정도이다. 성게류의 섭이율이 3%일 때, 해역에 500g/m²의 성게류는 일당 섭이량이 15g 정도 되고, 이는 m²당 모자반류 유엽이 1,500개체에 해당한다. 저서동물의 현존량이 클 경우, 유엽의 생존율을 높이는 것은 이런 조식동물을 구제하여 개체수를 줄이는 것이 가장 효과적이다(新村, 1983).

실험 지역인 갈남항의 경우도, 이식시킨 두 조건에서 커다란 성장차이를 보였다. 석재타일의 경우, 이식 초기부터 섭식자인 고동류와 보라성게가 많이 운집하여 이들 팽생이모자반 유엽을 섭식하여 이식 2개월 뒤 부착시킨 석재타일 위에서 모자반 엽체는 모두 소실되었다. 이 원인은 여러 연구자들에 의해 입증되어진 조식동물의 섭식에 의한 결과라 여겨진다. 반면에 섭식자들의 접근이 어려웠던 취수파이프는 이식 개체들의 생장이 활발하게 일어나, 이식 7개월 뒤인 2002년 2월에는 평균 엽장이 122.6cm를 보여 해조숲을 형성하였다. 이 결과는 갯녹음 지역에서 해조류가 받는 섭식자의 섭이 영향을 줄이거나, 섭이 행동을 받지 않는다면 해조류의 생육과 인공 해중립의 형성이 가능함을 시사하였다. 또한, 해조류 유엽 소실의 원인이 조식동물에 의한 식해를 설명해주며 갯녹음의 주된 원인 중의 하나가 조식동물의 식해에 의한 영향이란 사실을 시사한다.

모자반을 비롯한 대형 갈조류를 이용한 인공 해중립 형성을 위한 이식 과정을 세 단계로 나눠서 정리해 볼 수 있는데, 단계 I 은 자연 상태에서 성숙한 엽체를 채집하여 유배를 얻은 후 이 유배를 이용한 실내 배양을 들 수 있다. 실내 배양을 통한 유엽은 단계 II로 야외에 이식하여 인공 해중립을 형성하는 시기이다. 이런 이식 개체들이 해중립을 형성한 후 자연 상태에서

성숙과정을 거쳐 자연 해중림 형성을 위한 모조의 역할을 하게 된다. 이 성숙 업체들의 생식기
탁에서 성숙한 유배들이 자연 암반이나 자연 기질에 착생하여 생장을 한다면 인공 해중림을
거쳐 자연 해중림을 형성하는 단계Ⅲ으로 단계를 거치게 된다. 2002년 8월 갈남항의 조사 결
과, 이식 지역에 형성되었던 해조숲 주변에 많은 수의 모자반 유엽이 자연 암반에 착생하여 생
장하였다. 이들 개체들이 조식동물의 피해를 받지 않는다면, 단계Ⅲ과 같이 자연 해중림을 형
성할 수 있다. 인위적인 해중림을 조성하려는 목적 대상 지역은 여러 가지 인위적인 해중림 조
성 방법 중에서 그 지역에 적합한 조성 방법을 찾아 조성하여야 한다. 실험 지역인 갈남의 경
우, 지금까지 사용한 방법외에 다른 조성 방법을 병행하여 섭식압을 낮출 수 있는 방법을 응용
한다면 보다 나은 결과들을 성공적으로 도출해 낼 수 있을 것으로 여겨진다.

하지만, 갯녹음 연안은 조식동물의 식해, 환경오염, 수온상승, 담수의 유입 등 여러 원인에
의해 갯녹음이 진행되어 왔기 때문에 단기간에 갯녹음을 극복하기는 어렵다. 그러나 진행되는
갯녹음의 확산 면적을 감소시킨다든지, 식해에 의한 식해압보다 유배에 의한 성장압을 더 높게
해준다면 갯녹음 진행 속도를 늦추는 역할을 충분히 수행할 수 있다고 생각된다. 따라서, 갯녹
음 연안에 1. 포자 흩뿌림(spore dispersal) 방법, 2. 포자주머니(spore bag) 방법, 3. 채묘 로우
프(rope seeding) 방법, 4. 성체이식 방법, 5. 인공 기질 투여방법, 6. 어린 개체 이식방법(Largo
and Ohno, 1993)과 같은 다양한 방법을 수정하거나, 몇 가지 방법을 함께 응용하여 인공 해중
림을 형성시키는 것도 갯녹음을 극복할 수 있는 한 방법이라고 여겨진다.

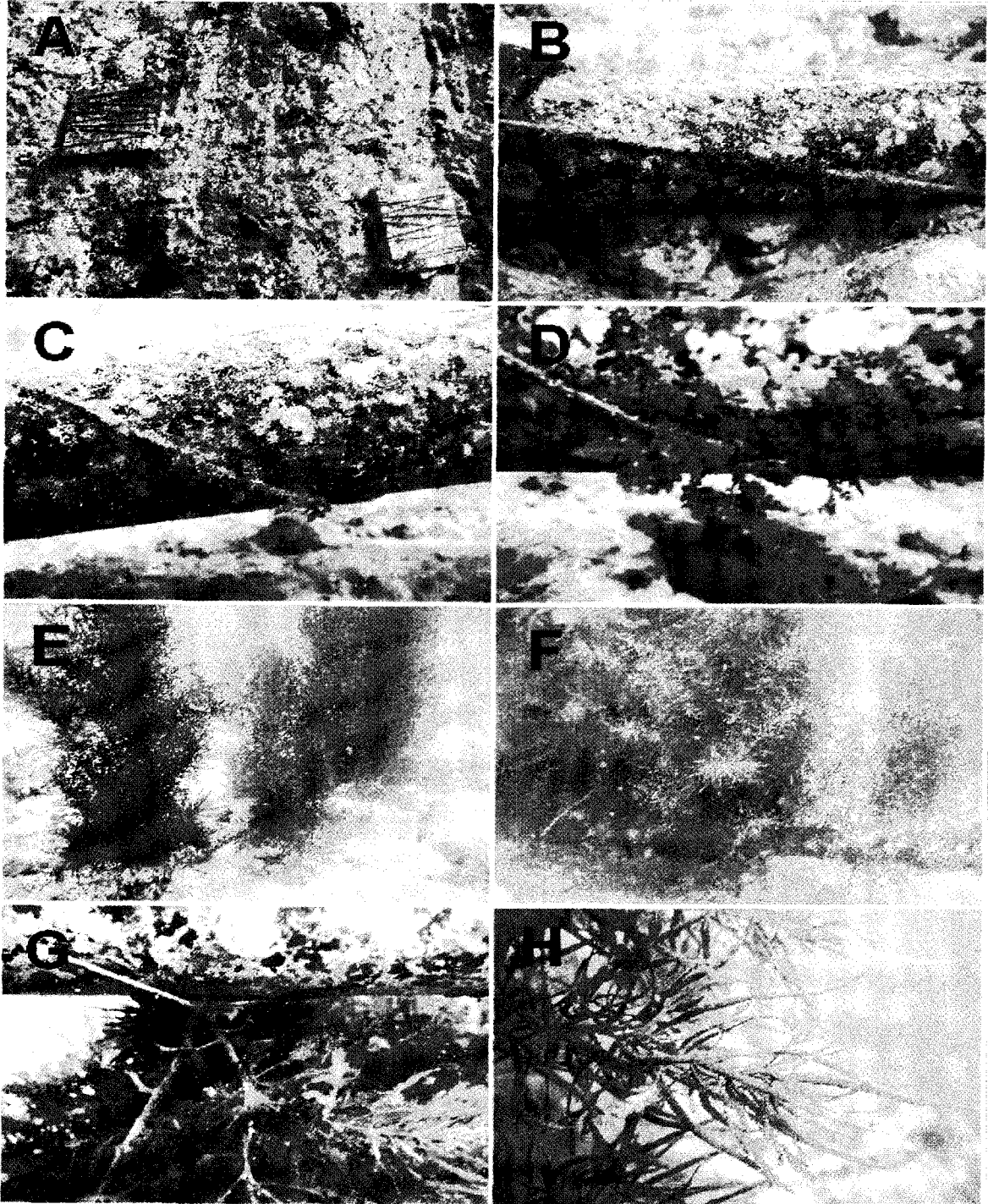


그림 95. 갯녹음 해역에서의 해중립 조성. A; 바위에 부착시킨 석재타일, B; 취수파이프에 이식한 채묘 종사, C; 2001년 9월 취수파이프에서 생육중인 팽생이모자반 유체, D; 2001년 10월 취수파이프에서 생육 중인 팽생이모자반 유체, E; 2002년 2월 취수파이프에서 무성하게 자란 팽생이모자반, F; 2002년 5월 취수파이프에 형성된 팽생이모자반 해조숲, G; 취수 파이프에서 부착하여 성장중인 팽생이모자반, H; 생식기를 형성한 팽생이모자반.

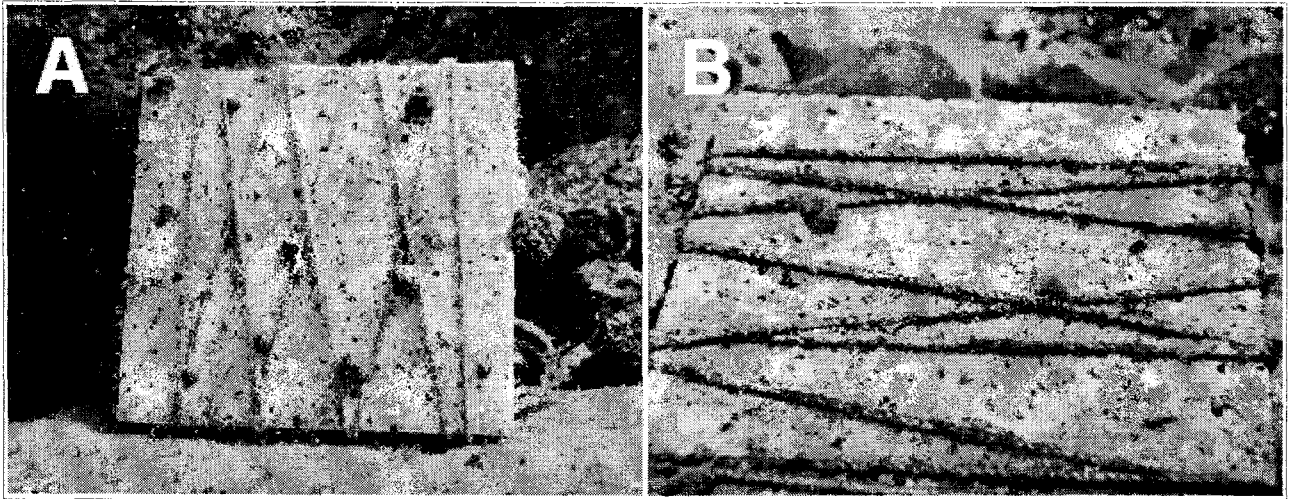


그림 96. 갯녹음 해역에 설치한 해중림 조성용 부착기질.

A; 석재타일에 부착한 섭식동물 사진, B; 무절석회조류로 피복된 석재타일

두 지역에서 이식을 실시하였지만 완전히 상반된 결과를 나타냈다.

수중 암반에 부착시킨 타일은 주위에 다른 해조류의 부착 및 생장이 전혀 없던 곳으로 별 불가사리, 고둥류, 보라성게 같은 조식동물 등이 흔히 발견되는 곳이다. 수중본드를 이용한 석재타일의 부착은 모든 타일이 수중 암반에 완전하게 부착하여 성공적이었지만, 타일을 부착한 다음날의 조사에서 대부분의 타일에 조식동물의 운집이 조사되어 섭식압을 상당히 강하게 받는 것으로 나타났다(그림 96-A).

초기 이식시 취수파이프에는 다른 해조류들이 부착하여 생장 중이었고, 이들 해조류 사이에 채묘 종사를 이식하였다. 초기의 섭식압은 주변에 생육중인 다른 해조류에 의해 감소되어진 것으로 여겨진다.

또한 취수파이프는 바닥에서 20cm 이상 수중에 떠있기 때문에 조식동물의 접근에 어려움이 있었는데, 이러한 원인도 섭식압 감소의 한 요인이라고 여겨진다. 실제 조사에서도 취수파이프에는 조식동물이 아주 낮은 빈도로 출현하였고, 출현량도 낮게 조사되었다.

인위적인 해중림을 조성하려는 목적 대상 지역은 여러 가지 인위적인 해중림 조성 방법 중에서 그 지역에 적합한 조성 방법을 찾아 조성하여야 한다. 조사 지역인 갈남의 경우, 앞에서 설명한 방법들을 사용하여 섭식압을 낮출 수 있는 방법을 응용한다면 보다 나은 결과들을 성공적으로 도출해 낼 수 있을 것으로 여겨진다.

제 4 절 순간접착제를 이용한 곶피(*Ecklonia stolonifera* Okamura)의 이식효과

1. 서론

해중림을 구성하는 대형 갈조 군락은 육상의 온대림을 능가하는 높은 생산력을 가지고 있는 것으로 추정되며(Hirata et al., 1990; Taniguchi, 1996), 해양에서 생물학적 순환의 측면에서 매우 중요한 존재로 인식되고 있다. 그러나 최근 해양오염과 연안 환경의 물리적인 파괴는 해조 군락의 황폐화를 가속시키고 있고, 해양 환경보전 및 수산자원 보호의 측면에서 심각한 문제로 제기되고 있다. 또한 연안어장에서 무분별한 해안개발과 환경오염, 갯녹음 등에 의해서 해조 군락이 감소되거나 파괴되고 있으며(佐藤 等, 1992), 각종 해산 생물자원이 감소하고 있는 것은 세계적인 추세이다(Fujita, 1987).

1960년대부터 연안의 임해공단 건설에 따른 공업화 및 도시의 발달로 공장폐수 및 생활하수 등 오염물질의 유입, 각종 해난 사고 등으로 우리나라 연안은 날로 오염되어 가고 있다. 이러한 현실적인 상황에서 1970년대부터 잡는 어업에서 기르는 어업으로의 전환이 모색되고 있고, 최근에는 이에 대한 환경보전의 차원에서 인공 해중림 조성이 중요시되고 있다(Choi et al., 2000; Ohno, 1993). 일본의 경우, 여러 수산 관련 연구 기관에서 해중림을 복원 또는 확대시키기 위하여 다시마과 또는 모자반과 식물을 이용하여 이식을 시행하고 있다(Yamauchi, 1984; Funano, 1991a, b). 그러나 대부분 이식시킨 성숙 엽체에서 방출된 유주자와 수정란을 기질에 착생시키거나, 채묘시킨 종사를 인공기질에 감거나, 포자주머니를 설치하는 방법을 사용하기 때문에 이식 초기에 조식동물의 식해에 의해 기질에 착생율이 낮음으로 해서 식해에 대한 대책이 최대 과제로 남아있다. 그러므로, 성체 단계까지 성장한 엽체를 기질에 이식시키면 조식동물에 의한 섭식율을 낮출 수 있고, 또 그 가능성이 제시되었다(Ohno et al., 1983).

이 연구는 순간접착제를 이용하여 곶피 엽체를 인공 기질에 부착시킨 후, 수중암반에 이식하여 엽체의 착생 및 성장효과를 조사하기 위한 것으로 이를 통하여 인공 해중림 조성의 한 방안을 마련하기 위하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

갈조식물 곶피의 이식장소는 부산시 해운대구 동백섬의 부경대학교 수산과학연구소 앞 해역을 선정하였다. 이식장소의 해조상은 2000년 12월부터 2001년 10월까지 계절별로 1회씩 조간

대와 조하대에서 시료를 채집하여 ice box에 넣고 즉시 실험실로 운반하여 분류, 동정하였다. 해조류 분류의 어려움을 감안하여 남조류는 제외하였으며, 해조상의 특징을 해석하는 지표로는 (R+C)/P의 값을 적용하였다(Cheney, 1977).

이식에 이용한 곰피는 부산시 남구 용호동 백운포 연안의 수심 5m 해저에서 10 ~ 30cm 사이의 개체를 채집하였으며, 부착기질은 10×10cm 크기의 건축용 석재타일을 이용하였다. 시료는 포복지의 이물질과 물기를 제거하고 젤리상태의 순간접착제(Aron Alpha Gel-10, Toagoseikagakukogyo Co., Ltd.)를 부착기 중앙에 바른 후 기질인 석재타일에 부착시켰다. 이 상태에서 주사기로 경화제(AA Setter)를 접착제 주위에 주사하여 단단하게 고정시켰다(그림 97). 시료가 부착된 타일은 주제와 경화제로 구성된 수증본드(Konishi Bond E380)를 타일 뒷면에 적당량 바른 후 잠수에 의해 수심 6m의 자연압반에 압착시켰다. 곰피의 이식은 2002년 11월에 총 44개의 석재타일에 한 개체씩 부착시켜 실시하였다.

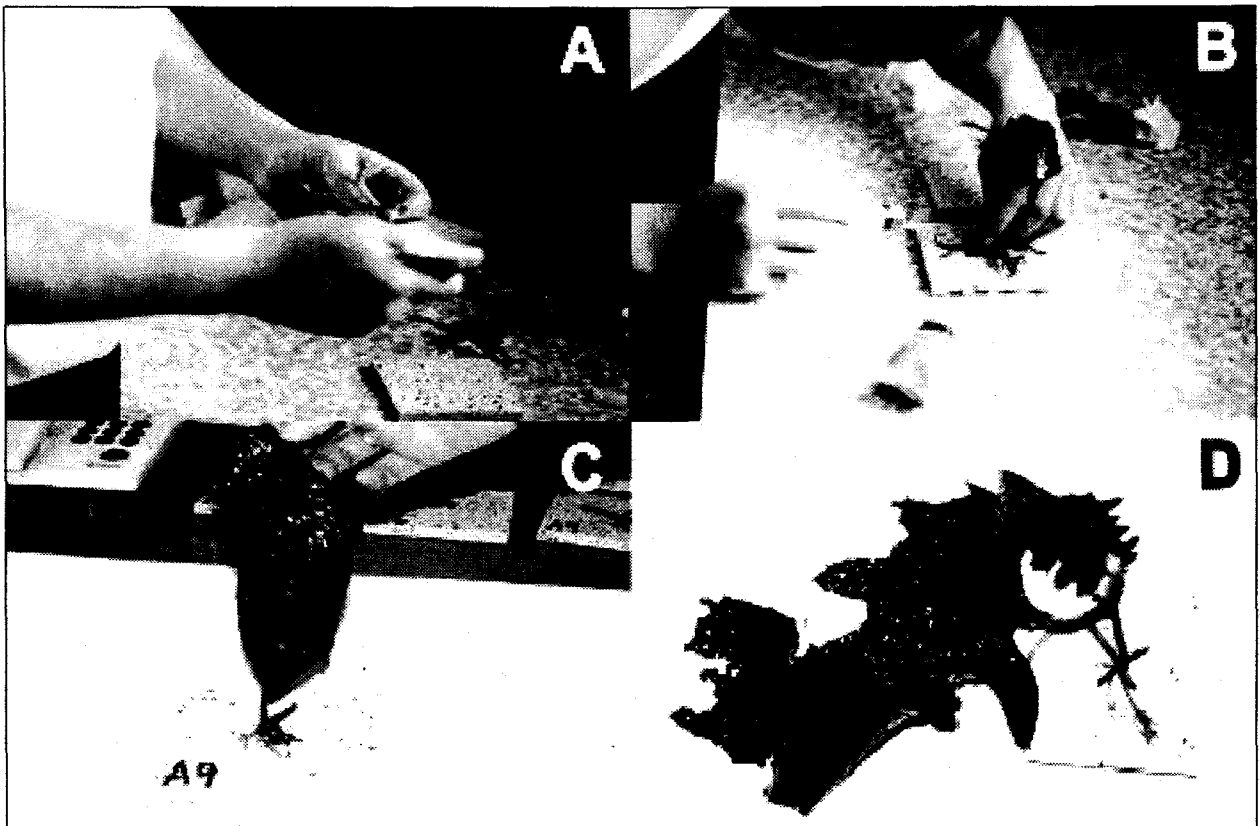


그림 97. 감태의 이식을 위한 고정작업

- A: 순간접착제를 부착기의 중앙에 바른 후, B: 경화제 몇 방울로 단단히 부착시킨다.
C, D: 타일에 부착된 감태

곰피의 성장상태와 시료가 부착된 석재타일의 안정성에 대한 조사는 2000년 11월부터 2001년 8월까지 잠수에 의해 실시하였으며, 엽체의 착생상태와 생장은 현장에서 직접 계수 및 측정하였고, 생태계 변화는 수중카메라(Nikonos V)를 이용하여 촬영 기록하였다.

수중에 이식한 곰피 엽체와 기질인 타일 주변에 운집한 해양 무척추동물 및 부착생물에 대한 조사는 수중에서 이들을 채집한 후, 실험실로 운반하여 분류 및 동정하였다. 인공 기질인 타일에 부착한 해조류의 피도 및 빈도 조사는 2001년 8월에 타일을 수거하여 타일 위에 착생한 해조의 피도와 빈도를 조사한 뒤, 습중량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

이식 지역인 동백섬의 자연 군락에 이식 대상종인 곰피의 생육 유무를 확인하기 위해서 실시한 해조상 조사 결과, 채집 동정된 해조류는 녹조류 8종(16.7%), 갈조류 12종(25.0%), 홍조류 28종(58.3%)으로 총 48종이 출현하였으며(표 27, 28), 계절별로는 동계에 녹조류 6종, 갈조류 7종, 홍조류 21종으로 총 34종이 출현하여 4계절 중 가장 많이 출현하였다. 추계에는 녹조류 1종, 갈조류 4종, 홍조류 15종으로 총 20종이 출현하여 가장 적은 종 수를 나타내었다. 사계절 모두 출현한 종으로는 녹조류 *Ulva pertusa*, 갈조류 *Hizikia fusiformis*, *Sargassum horneri*, *S. thunbergii*와 홍조류 *Gelidium amansii*, *G. divaricatum*, *Corallina pilulifera*, *Carpopeltis cornea*, *Chondria crassicaulis*, *Symphyocladia latiuscula*의 10종이 확인되었다. 한편 (R+C)/P값을 산출한 결과 3.0이었다.

곰피를 자연 암반에 이식한 1개월 후 2000년 12월 조사에서 44개 타일 가운데 33개 타일이 안정된 상태로 남아있어 75.0%의 부착율을 보였다. 그 가운데 시료 22개체가 타일에 성장하여 66.7%의 높은 착생율을 나타내었다. 이식 2개월 후 2001년 1월에는 타일 기질에 엽체의 부착기만 남아 있는 개체와 부착기를 포함하여 완전히 유실된 경우가 발견되었다(그림 98). 기질에 착생한 엽체는 총 6개체였으며, 착생초기에 비하여 새로운 포복지가 많이 재생되어 성장상태는 건강하게 보였다. 이식 7개월 후인 8월에, 6개체였던 곰피는 포복지가 활발하게 재생되어 총 71개체로 개체수의 증가를 보였다(그림 99). 이들 엽체의 크기를 비교하면 2000년 11월의 엽체 길이는 13.5 ± 1.3 cm, 폭은 5.9 ± 0.4 cm였고, 2001년 8월에는 엽체 길이 14.2 ± 2.3 cm와 폭 4.5 ± 0.6 cm로 크기변화는 이식초기와 비교하여 커다란 차이는 보이지 않았다(표 29). 이 중에서 최대 엽체 크기를 보인 개체는 37.9cm까지 성장한 엽체였다.

부착 기질인 타일에서 성장한 착생 해조류의 빈도, 피도 및 습중량은 표 30에 나타났다. 출현 해조류는 녹조류 2종과 홍조류 10종으로 총 12종이었다. 이 중 *Chondrus ocellatus*와 *Melobesioidea*는 타일 전체에 출현하여 100%의 빈도를 보였고, *Carpopeltis cornea*도 84.1%의

높은 빈도를 나타냈다. 녹조류 *Ulva pertusa*도 59.1%의 빈도로 높은 출현 빈도를 보였다. 반면에 피도는 Melobesioidea의 65.4%를 제외하면 대부분 고르게 분포했는데, 그 중에서 *C. ocellatus*와 *U. pertusa*만이 각각 18.8%와 11.2%로 10% 이상의 피도를 보였다. Melobesioidea는 타일 전체에서 출현하면서 높은 피도를 나타냈다. 습중량은 *C. ocellatus*가 4.55g으로 가장 높았으며, *U. pertusa*와 *Pachymeniopsis elliptica*의 각각 1.68g과 1.60g을 제외하면 대부분 1.0g 이하로 낮은 습중량을 나타냈다.

표 27. 조사지역의 계절별 해조 출현종

Species	Winter	Spring	Summer	Autumn
Chlorophyta				
<i>Enteromorpha compressa</i>	+	+		
<i>E. linza</i>		+	+	
<i>Ulva lactuca</i>	+	+		
<i>U. pertusa</i>	+	+	+	+
<i>Urospora penicilliformis</i>	+			
<i>Cladophora rudolphiana</i>	+			
<i>Codium adhaerens</i>	+			
<i>C. fragile</i>			+	
Phaeophyta				
<i>Leathesia difformis</i>		+		
<i>Colpomenia bullosa</i>	+	+		
<i>C. sinuosa</i>	+	+		
<i>Petalonia fascia</i>		+		
<i>Dictyopteris divaricata</i>	+			
<i>D. latiuscula</i>		+		
<i>Dictyota dichotoma</i>	+			+
<i>Dilophus okamurae</i>		+		
<i>Hizikia fusiformis</i>	+	+	+	+
<i>Sargassum fulvellum</i>		+		
<i>S. horneri</i>	+	+	+	+
<i>S. thunbergii</i>	+	+	+	+

계속

Species	Winter	Spring	Summer	Autumn
Rhodophyta				
<i>Porphyra subbiculata</i>	+	+		
<i>Gelidium amansii</i>	+	+	+	+
<i>G. divaricatum</i>	+	+	+	+
<i>Amphiroa dilatata</i>				+
<i>Corallina pilulifera</i>	+	+	+	+
<i>Carpopeltis affinis</i>	+	+	+	
<i>C. cornea</i>	+	+	+	+
<i>C. prolifera</i>	+			
<i>Grateloupia filicina</i>			+	+
<i>G. turuturu</i>	+			
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	+		+	+
<i>P. lanceolata</i>	+	+	+	
<i>Gloiopeltis furcata</i>		+		
<i>Schizymenia dubyi</i>				+
<i>Plocamium telfairiae</i>		+	+	
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i>	+		+	
<i>Chondrus ocellatus</i>	+		+	
<i>C. pinnulatus</i>	+			
<i>Gigartina intermedia</i>	+		+	+
<i>G. teedii</i>		+		
<i>G. tenella</i>		+	+	
<i>Lomentaria hakodatensis</i>	+		+	+
<i>Champia parvula</i>	+	+		+
<i>Centroceros clavulatum</i>	+			
<i>Acrosorium polyneurum</i>	+	+		+
<i>Chondria crassicaulis</i>	+	+	+	+
<i>Polysiphonia morrowii</i>	+			+
<i>Symphyocladia latiuscula</i>	+	+	+	+

표 28. 조사지역의 계절별 출현종수

Division	Winter	Spring	Summer	Autumn	Sum
Chlorophyta	6	4	3	1	8
Phaeophyta	7	10	3	4	12
Rhodophyta	21	15	16	15	28
Total	34	29	22	20	48

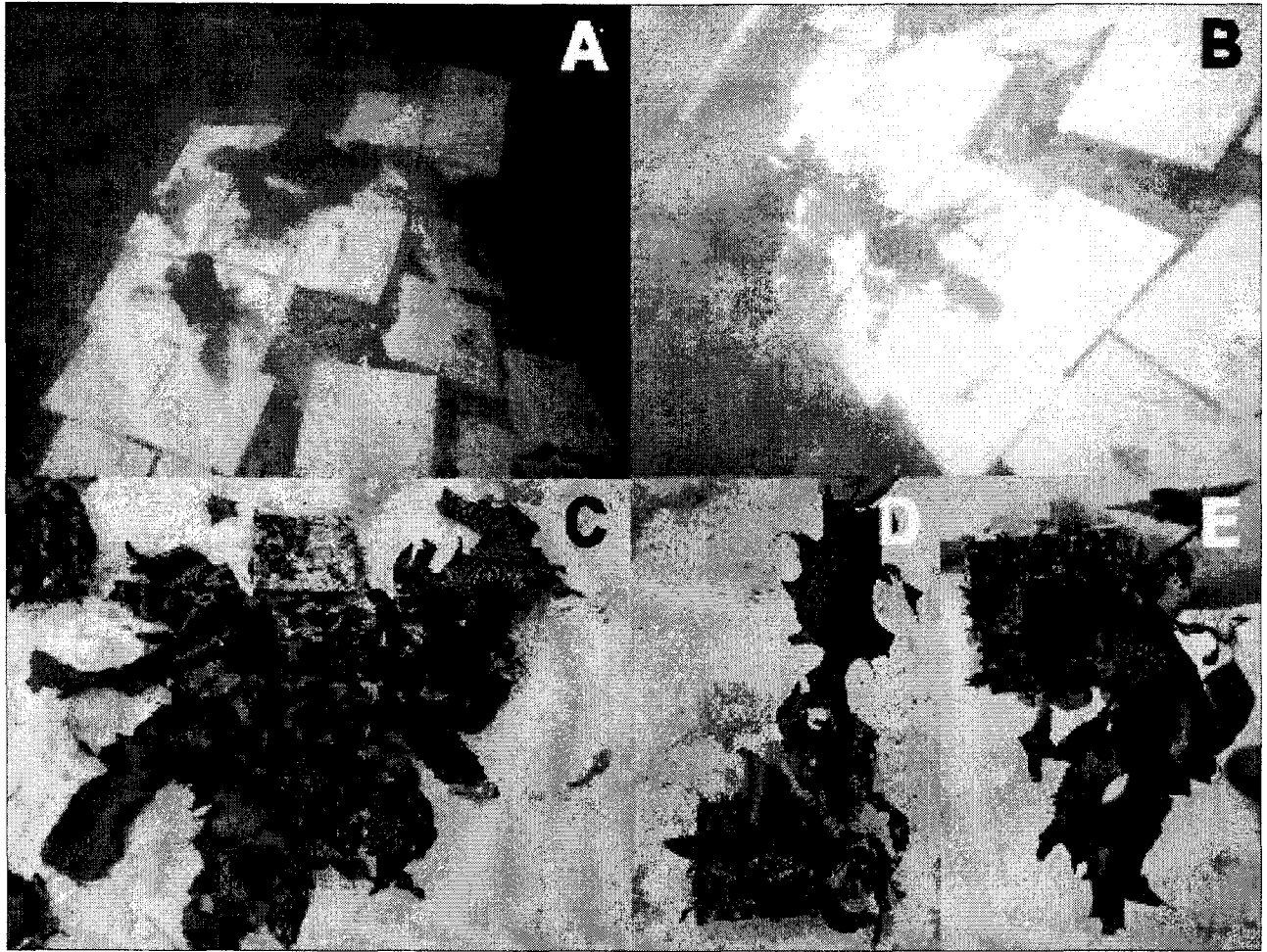


그림 98. 이식 후의 감태의 성장

A, B: 평판위에 이식된 감태와 이식후의 성장

C, D, E: 평판에 이식후 8개월 지나 성숙한 감태

표 29. 2000년 11월부터 2001년 8월에 걸친 감태 개체의 엽장과 생중량의 변화

(Unit : cm)

Date	Blade		Stipe		Wet weight (g/ind.)±S.E.
	length±S.E.	width±S.E.	length±S.E.	diameter±S.E.	
Nov. 2000	13.5±1.3	5.9±0.4	1.8±0.2	3.2±0.1	8.4±4.1
Aug. 2001	14.2±2.3	4.5±0.6	2.1±0.3	3.3±0.2	7.9±4.9

표 30. 부착기질인 타일에 성장한 저서해조류의 빈도, 피도 및 평균습중량

(n=44)

Species	Frequency (%)	Coverage (%)	Biomass (g/ind.)
<i>Ulva pertusa</i>	59.1	11.2	1.68
<i>Cladophora sakaii</i>	2.3	0.2	0.02
<i>Gelidium amansii</i>	36.4	3.8	0.15
<i>Carpopeltis cornea</i>	84.1	6.4	0.32
<i>Grateloupia filicina</i>	4.6	0.6	0.23
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	36.4	9.5	1.60
<i>Plocamium telfairiae</i>	22.7	1.8	0.38
<i>Chondrus ocellatus</i>	100.0	18.8	4.55
<i>Gigartina tenella</i>	18.2	2.1	0.09
<i>Polysiphonia morrowii</i>	4.6	1.1	0.01
<i>Symphyclocladia latiuscula</i>	4.6	0.5	0.06
Melobisioidea	100.0	65.4	

곰피를 부착시킨 타일에 운집한 해양무척추동물은 표 31에 나타냈다. 부착 타일에는 총 4문 10종의 무척추동물이 운집하였다. 이들 무척추동물은 타일을 자연 암반에 부착시킨 후, 하루만에 거의 모든 타일에 운집하였는데, *Homalopoma omussitatum*의 경우 부착 타일 당 최대 14 개체에서 최소 2개체까지 평균 6개체가 운집하였다. 삿갓조개류인 *Macroschisma dilatatum*, *Cantharidus callichroa*는 타일 당 두, 세 개체만이 부착하였다. 주변 자연 암반의 경우, 이들 소형 무척추동물의 개체수는 부착 타일에 비해 현저하게 낮게 운집함을 관찰하였다. *H. amussitatum*은 타일과 곰피 열체에 모두 부착하여 곰피를 섭식하는 모습이 관찰되었지만, *M. dilatatum*과 *C. callichroa*는 타일에만 부착하였다. 또한 포복지 사이에는 불가사리 *Ophiothrix exigua*, *O. koreana*와 갯지렁이 *Lygdamis giardi*, *Halosydna brevisetosa*가 다수 서식하며 이곳을 서식생활 기반으로 이용하는 모습이 관찰되었다.

해운대 동백섬의 해조식생에 관한 연구는 Lee and Kang (1971)이 녹조류 32종, 갈조류 43종, 홍조류 106종으로 총 181종을 기재하였고, Kim (1991)은 부산인근해역 해조식생 연구에서 녹조류 7종, 갈조류 13종 및 홍조류 38종으로 총 58종을 기재하였다. 이는 이 조사에서 채집, 동정된 해조류 48종보다 많은 것으로, 환경오염, 갯녹음 등에 의해서 점차 해조류 종 수가 감소되는 것으로 나타났다. 이번 실험에 사용된 곰피의 경우에도 이전의 두 조사에서는 모두 동

표 31. 곰피를 부착시킨 타일에 운집한 해양무척추동물

Phylum	species
Mollusca	<i>Macroschisma dilatatum</i> <i>Cantharidus callichroa</i> <i>Homalopoma amussitatum</i>
Annelida	<i>Lygdamis giardi</i> <i>Halosydna brevisetosa</i>
Arthropoda	<i>Melita koreana</i> <i>Thalamita sima</i>
Echinodermata	<i>Ophiothrix exigua</i> <i>O. koreana</i> <i>Cucumaria chronhjelmi</i>

백섬에서 생육이 확인되었지만 이번 조사에서는 생육을 확인할 수 없었다.

Cheney (1977)는 (R+C)/P 값이 3 이하일 때는 온대성 내지 한대성 해조상을, 6 이상이면 열대성의 해조상을 나타내고 중간 값이면 혼합성 해조상의 특징을 나타낸다고 하였다. 해운대 동백섬은 조사결과 (R+C)/P 값이 3.0으로 혼합성 해조상의 특징을 나타냈다.

Kang (1968)은 곰피가 동해의 특산이며, 남해도까지 분포한다고 보고하였지만, Sohn (1975)에 의해 전남 고흥반도 남단의 거금도 오천리에서도 분포함이 알려졌다. Terawaki et al. (2001)은 *Eisenia*와 *Ecklonia* 해중립이 난류 특히, 태평양 연안의 쿠로시오 난류의 영향을 받는 곳에서 풍부하다고 하였다. 이에 의하면 곰피는 온대해역에서 생육하고, 분포함을 알 수 있다.

목적 대상 해역에 이식 대상종을 선정시에는 생육적지를 확인하여(Ohno et al., 1983) 대상 지역에서 생육이 가능하거나, 현재는 서식하지 않지만 이전에 분포했었던 종을 이식하는 것이 타당하다. 곰피는 Lee and Kang (1971) 및 Kim (1991)의 보고에서와 같이 이전에 동백섬에서 서식하였던 종이었기 때문에 이식 대상종으로 선정하였다. van Katwijk et al. (1998)은 이식 후에 이식 개체군의 증가, 새로운 환경에서 이식 개체의 생존 및 이식 개체의 성숙 또는 무성 생식에 의한 증가로 이식된 개체의 적합성을 결정한다고 했는데, 이번 연구에서 곰피의 이식결

과 양호한 생장 및 개체수의 증가를 나타냈다. 이상의 결과로 보듯이, 곰피는 동백섬 해역에 이식하는데 생물기후적, 생태학적 관점에서 그 타당성이 충분함을 시사하고 있다.

곰피, 감태 등 다년생 대형 갈조류의 성체를 이용하여 해중립 조성을 실시할 경우, 계절을 고려하여 실시할 필요가 있다. 다년생인 곰피는 매년 엽체 중량이 증가하고 줄기부는 1년 중에서 겨울에서 봄 사이에 생장이 일어난다. 또한 부착기 부위인 포복지도 이 시기에 이전의 오래된 부착기 위로 새로운 포복지가 형성된다(Hirata et al., 1997). 순간접착체를 이용하여 인공 기질에 곰피의 포복지를 부착시킬 경우, 순간접착체의 부착력은 장기간 유지되지 않기 때문에 부착력을 잃기 전에 새로운 포복지가 인공 기질 또는 주변의 자연 기반에 부착해야 한다. 따라서 접착체를 이용하여 곰피 성체를 이식할 경우에는 가을에서 초봄 사이에 실시해야 한다. Hirata et al. (1990)은 대항과 감태 성체를 이식한 후 1개월 내에 새로운 부착기가 형성되어 기질에 이들 부착기 부위가 고착함을 확인하였다. 이들은 여름부터 가을까지 계속된 조사에서 두 종이 모두 여름에는 부착기 부위의 신장 빈도가 저하하여 기반에 고착하는 부착기의 고착 능력이 계절에 따라 차이가 날 가능성을 보고하였다. 해운대에 이식한 곰피는 2001년 1월 조사 시 타일에 착생한 곰피 중에서 유실된 개체가 발견되었는데, 이는 파도 등에 완전히 소실된 것과 끝녹음이나 섭식에 의해서 엽체가 소실된 개체로 여겨진다. Hirata et al. (1990)은 옥외수조에 조식동물 중 성체와 이식 대상종인 감태 성체를 함께 배양했을 때 부착기 부위의 성체에 의한 섭식을 보고하였다. 또한 Ohno et al. (1983)은 조식동물에 의한 섭식은 장소, 시기 및 조식동물의 규모 등에 따라 정도의 차이는 있지만 지속적으로 섭식의 영향을 받는다고 하여 엽체의 소실 원인을 밝힌바 있다.

곰피와 감태 등은 과도한 건조를 피한다면 외부 건조에 5시간 정도 노출되어도 그들의 생장에는 크게 피해를 받지 않는다(Hirata et al., 1990). 이것은 엽체의 이식시 엽체의 확보, 운반, 작업시간 등에 소요되는 시간을 고려하면 크게 제약을 받는 조건이 아니다. 따라서, 접착체를 이용하여 엽체를 육상에서 인공 기질에 부착시킬 경우 노출 시간은 엽체의 생장에 큰 장애가 되지 않는 것으로 여겨진다. 또한, 순간접착체 방법을 이용하여 큰 규모의 해중립 조성을 실시할 경우에도 실현 가능성이 크다고 본다. 곰피는 초기 이식한 개체수에 비하여 파도에 의한 유실이나 섭식에 의해 탈락한 개체수가 많았지만, 건강하게 자란 개체들의 활발한 포복지 재생에 의해서 많은 개체수로 증가함을 보였다. 이 결과는 낮은 착생율을 보일지라도 건강하게 착생한 엽체가 있을 경우, 착생 개체로부터 포복지에 의한 많은 재생이 일어날 수 있음을 시사하였다.

부착 기질인 타일에서 관찰된 착생조류는 대부분 소형조류들로서 대형조류는 거의 출현하지 않았고, 특히 갈조류는 한 종류도 관찰되지 않았다. 해운대 동백섬에서 관찰된 해조류 48종

가운데 갈조류가 12종이 출현하였음을 감안할 때, 약 10개월 간에 걸친 기간은 해조 착생에 따른 종 조성 및 우점종에 관한 군집 양상을 파악하는 데에는 다소 미흡한 것으로 보여진다. Serisawa et al. (1998)은 새로운 기질을 시기별로 투하했을 때 투하시기에 따른 착생 해조 종 수 및 Melobesioidea의 피도에 관하여 보고하였다. Melobesioidea는 고수온기인 4, 6, 8월에 설치한 기질에서 초기단계인 3개월 내에 80% 이상의 높은 피도를 보였고, 10, 12, 2월에 설치한 기질에서는 30% 미만의 피도를 보였다고 하였다. 하지만 해운대 동백섬에서 실시한 연구는 11월에 기질을 설치하였지만 Melobesioidea의 평균 피도는 65.4%를 보여 이들이 보고한 수치보다는 낮게 조사되었다. 한편, Yamada et al. (1992)는 Serisawa et al. (1998)의 연구 결과와 상반된 결과를 나타내었는데, 이는 실험지역의 환경요인 차이에 의해서 이들 결과가 차이가 나는 것으로, 본 실험인 해운대 동백섬의 결과도 이러한 차이에 의한 결과라 여겨진다. Taino (1995)는 Melobesioidea가 연중 포자를 방출하여, 새로운 기질을 투하시 2개월 내에 이들 종이 출현하며 수온이 높을 때 피도가 높다고 하였다. 따라서 기질의 설치 및 투하시기에 따라 우점종의 변화가 관찰된다는 Serisawa et al. (1998)의 결과를 뒷받침해 주고 있다. 동백섬에 설치했던 기질에서도 Melobesioidea가 모두 부착하였으며, 그 위에 다른 해조류가 착생하여 성장하였다.

곰피를 타일에 부착하여 이식한 뒤, 하루 뒤에 관찰한 결과 모든 타일에 고등류와 성게, 불가사리와 같은 조식동물이 운집하여 이들을 섭식하는 모습이 관찰되었다. Foster (1975)는 성게와 조식성 어류에 의한 섭식이 인공 해중림의 조성에 미치는 가장 중요한 요인이라고 보고하였다. Ohno et al. (1990)도 암반지대에서 성게는 해조의 가장 활동적인 섭식자라고 하여 조식동물에 의한 섭식압이 해중림 조성의 가장 커다란 제한요인이라고 지적하였다. 이즈반도 주변의 감태 군락에서 성게와 소형 패류의 운집에 대한 Ohno et al. (1983)의 연구보고에 의하면, 성게는 감태 군락 내에 평균 13개체/m², 감태 군락 외에서는 평균 7개체/m²의 운집을 보고하였다. 또한 소형 패류의 경우는 감태 군락 내에서 평균 39개체/m², 감태 군락 외에서는 28개체/m²로 감태 군락 내에 훨씬 많은 개체수의 운집을 보고하였다. 동백섬에서 실시했던 실험 결과에서도, 삿갓조개류와 고등류는 자연 암반에 비해 곰피를 부착시킨 석재타일에 많은 개체가 운집하였고, Ohno et al. (1983)의 연구결과와 비슷한 경향의 실험결과를 보였다. 이 실험에서 곰피를 이식시킨 타일에 성게와 소형 무척추동물의 운집이 조사되었지만 이들 섭식자에 의한 피해 정도는 확실하지 않아, 이후에 이들 섭식자에 의한 섭식율과 피해 정도 등에 관한 상세한 연구의 필요성이 제기되었다.

제 5 절 해조인공암초의 표면처리에 의한 바다녹화

1. 연구목적

해조류 자원은 해양의 1차 생산자로서 어, 패류의 먹이원이 되고 산란장이나 생활공간을 마련해 주게 됨으로 연안생물자원의 생산성을 높일 수 있다. 그러나 최근들어 여러 가지 요인으로 인해 암초지대에 서식하는 해조숲이 줄어들고 바다가 황폐화되고 있다. 수온상승, 과도한 조식동물의 식해, 오염물질의 연안유입 등으로 해조류가 쇠퇴하고 수산자원이 고갈되어 바다생태계에 심각한 영향을 끼치고 있다.

연안어장에 여러 종류의 바다생물이 살아갈 수 있도록 하려면 우선 바다풀인 해조가 잘 조성이 되도록 바다환경을 가꾸어야 한다. 어초의 효율성을 높이는 것이 요즘 바다연안에는 극심하게 발생하는 갯녹음 현상의 적극적인 대처방안이 될 수 있다. 이 연구에서는 해조증식용제(도료)나 시트로 표면 처리한 해조인공암초 조건이 해조의 서식과 다른 해양생물의 서식환경을 양호하게 하는 가를 분석하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 조사위치

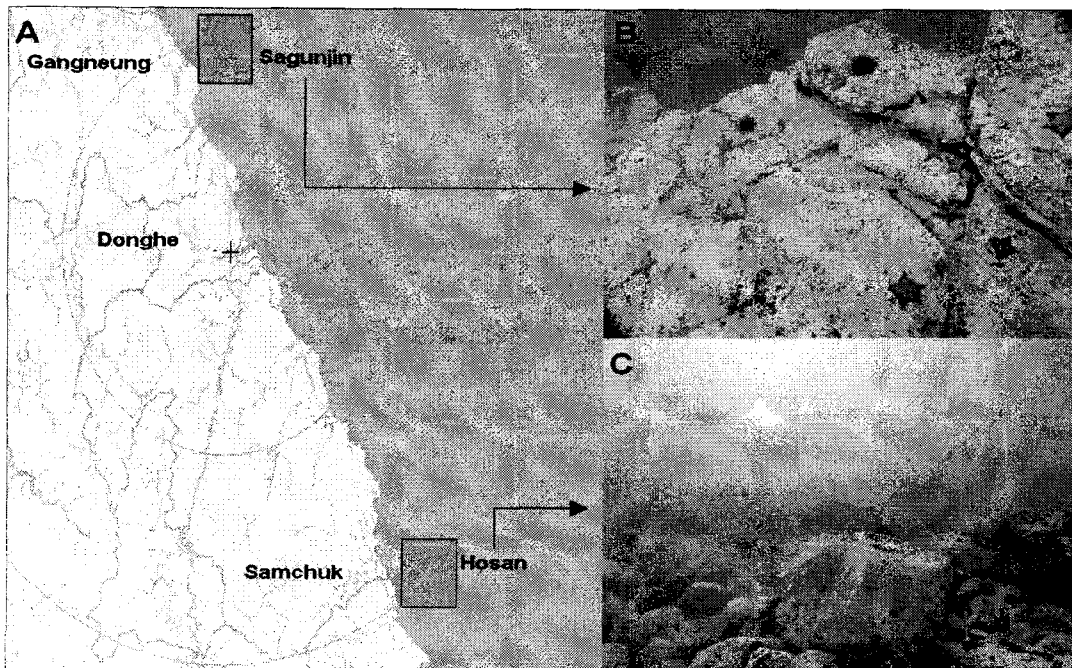


그림 99. 해조초 투하위치

조사는 강릉의 사근진과 삼척의 호산 해역에서 수행되었다(그림 99. A, B, C). 사근진 해역은 강릉연안 십리바위 주변으로 갯녹음 현상이 심한 곳이며 인근에 다시마와 기타 해조가 소량 서식하는 수심 7~10m에 달하는 해역이다.

호산해역은 갯녹음 현상이 극심하여 연안 전역의 암반에 해조의 서식을 거의 볼 수 없고 단지 딱딱한 석회조류만 피복된 수심 12~14m의 해역이다.

나. 해조인공암초 표면처리 방법

표면처리한 해조증식용 용제(도료)는 황산 제 1철, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 수산화동, 수산화바륨, 물로 구성되었으며 콘크리트 구조물은 T.T.P(5톤급)제품 표면에 50 μ m 두께로 3회 도포하였다. 또한 인공구조물에 시트의 처리는 고휘제(ϕ 길이 20mm, 폭 15mm)를 수용성 Film(60 \times 80cm)에 일정한 간격으로 배열하였다.

대조구로서 TTPA(5톤급)콘크리트 구조물을 같은 지역에 투하하여 표면처리한 해조초와 해조의 성장 및 부착효과를 비교하였다(그림 100. A, B, C).

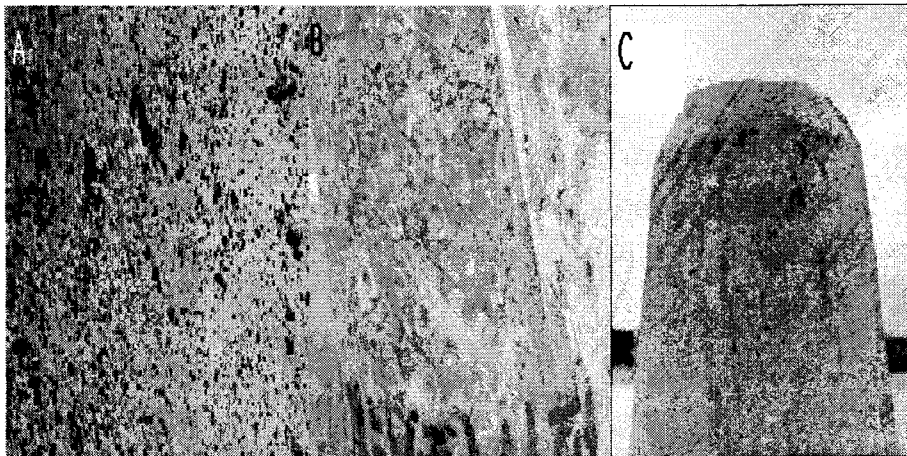


그림 100. 표면처리한 해조인공암초

A: 해조증식용 용제 B: 시트 C: 대조구

사근진과 호산지역의 조하대에 해조인공암초의 투하로 해조의 서식상태를 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

가. 강릉시 사근진 해역

십리바위 안쪽 갯녹음(백화)이 발생한 수심 9~10m 지역에 4개의 시험구 콘크리트 구조물(5톤급)을 투하한 결과 2월에는 대조구를 제외한 3개 시험구에서 엽장 5~15cm 정도의 다시마가 1m²당 200 개체 이상 고밀도로 부착되므로써 해조 포자의 부착 및 초기 성장 가능성이 매우 높게 나타났다. 특히, 직접 조류의 영향을 받는 해안쪽 면에서 다시마의 부착밀도와 성장상태가 양호하였다. 4월에는 대부분 시험구에서 부착 및 성장 상태가 양호하여 다시마의 엽장이 1.5m 정도로 성장되어 해조숲으로 구조물이 완전히 덮이는 정도가 되었다. 시험구별로는 증식용 용제(도료)와 시트 시험구에서 가장 밀도가 높았다. 대조구에서는 구조물의 하부 일부에만 다시마가 부착되었거나 또는 부착 밀도가 매우 낮은 양상을 보였다. 6월에는 증식용 용제(도료)나 시트구에서는 여러종류의 홍조류와 다시마 등의 대형갈조류가 성장되어 해조초로서 성능이 매우 높았다(그림 101).

나. 삼척시 호산해역

1) 해조상 조사

삼척시 호산 해역 시험지의 도료구와 시트구 및 대조구의 해조류의 출현종과 생중량을 보면 다음과 같다(표 32). 투하 1년 4개월이 경과된 2002년 2월의 해조증식용 용제(도료)에서의 1m²당 생중량은 2,041 g/m²으로 시트의 실험구 577 g/m², 대조구의 123 g/m² 보다 높았다. 도료 처리구에서는 청각, 다시마, 명주지누아리, 진두발, 누운분홍잎 종류가 우점하여 나타났다. 특히 진두발 종류는 1,192 g/m²으로 출현종 중 가장 높은 현존량을 보였다. 시트구에서는 청각, 진두발, 외깃풀, 누운분홍잎 종류가, 대조구에서는 주름삐대그물말 종류가 우점하였다.

표 32. 시험구별 해조출현종 및 생중량(g/m²)

Speices	Division	Paint		Sheet		Control	
		2001.4	2002.2	2001.4	2002.2	2001.4	2002.2
Chlorophyta(녹조류)							
<i>Enteromorpha</i> sp.(파래)		4					
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)		15	26	18		4	11
<i>Cladophora albida</i> (큰대마디말)					2		
<i>Codium adhaerens</i> (떡청각)			4		3		
<i>C. fragile</i> (청각)			160		30		

Speices	Division	Paint		Sheet		Control	
		2001.4	2002.2	2001.4	2002.2	2001.4	2002.2
Phaeophyta(갈조류)							
<i>Colpomenia sinuosa</i> (불레기말)		3		9			
<i>Desmarestia ligulata</i> (참산말)			8		3		2
<i>Agarum cribrosum</i> (구멍쇠미역)		75		83			
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)			5		2		
<i>Laminaria japonica</i> (다시마)			39		12		
<i>Dictyopterus divaricata</i> (미끈뺨대그물말)					3		
<i>D. undulata</i> (주름뺨대그물말)							65
<i>Sargassu horneri</i> (괘쟁이모자반)					21		15
<i>S. sagamianum</i> (비틀대모자반)			15				
Rhodophyta(홍조류)							
<i>Delisea fimbriata</i> (나도평꼬리)					7		
<i>Amphiroa ephedraea</i> (에페드라게발)			3				8
<i>Grateloupia sparsa</i> (명주지누아리)			144				
<i>Plocarium telfairiae</i> (참곱술이)			10		5		
<i>Callophyllis crispata</i> (주름붉은잎)			15		25		
<i>Chordrus ocellatus</i> (진두발)			1192		152		
<i>Lomentaria lubrica</i> (가는마디잘록이)					24		
<i>Callitamnion callophyllidicola</i> (외깃풀)			20		216		
<i>Acrosorium yendoi</i> (누운분홍잎)			89		72		22
<i>Polysiponia harlandii</i> (가시붉은실)			11				
Total		75	2041	110	577	4	123

이것은 해조초를 투하한 초기인 2001년 4월과 비교하면, 투하초기에는 규조류와 녹조류 2종, 갈조류 2종만이 관찰된 것과 비교하면 1년이 경과한 2002년 2월에는 15종으로 출현종이 증가하여 해조증식용 용제의 해조 부착에 의한 해조발 형성 가능성을 매우 높여 주고 있다.

시트구에서의 1m²당 출현종은 녹조류 3종, 갈조류 5종, 홍조류 7종으로 총 15종이 관찰되었으며, 생중량은 홍조류, 갈조류, 녹조류 순으로 각각 577g, 41g, 35g으로 나타났다. 이 시험구에 채집된 해조류중에는 홍조류인 외깃풀이 216g이 관찰되어 투하초기의 우점종인 구멍쇠미역과 구멍갈파래에서 홍조류로 변화된 것으로 나타났다.

도료구와 시트구에서의 출현종과 생중량을 비교하여 보면, 출현종에서는 도료구와 시트구에서 15종으로 나타났으나, 생중량은 2041g과 577g으로 큰 차이를 보여 도료구의 해조류 부착 효과가 좋은 것으로 나타났다. 이와 같이 도료구와 시트구가 인접하여 위치하였는데도 현존량이 차이를 보이는 것은 인근 암반의 해조식생, 조류의 방향, 영양성분 방출의 지속 시간 등에 영향이 있는 것으로 생각된다. 무처리한 대조구에서는 구조물 전체에 표 32와 같이 규조와 소량의 구멍갈파래, 주름뺨대그물말, 에페드라게발 외에는 해조가 서식하지 않고 둥근성게나 집게가 다수 부착되었다.

2) 착생 효과

삼척시 호산 해역의 해조초가 투하된 해역은 주변에 해조군락이 형성이 되지 않아 갯녹음(백화)현상이 매우 심한 해역이다. 수심 12~14m에 투하된 구조물에는 2월의 경우 해조증식용 용제(도료)와 시트 시험구에서는 규조류, 구멍갈파래, 떡청각, 불레기말, 구멍쇠미역 등의 부착이 확인되어 해조밭 형성 가능성이 확인되었다. 대조구에서는 규조와 구멍갈파래 만이 소량 분포하여 식생이 빈약하였다. 4월에는 해조증식용 용제(도료)와 시트 시험구에는 구조물 하단에는 불레기말, 구멍쇠미역이 높은 밀도로 부착되었다. 6월에도 이 시험구에서는 구멍쇠미역이 엽장 25cm 정도로 성장이 되었으며 진두발류와 그 외 홍조류가 서식하였다. 그러나 대조구에서는 4, 6월 모두 구멍갈파래만이 소량 부착된 것을 확인 할 수 있었다.

10월에는 점차 구멍쇠미역, 불레기말, 떡청각등이 일시 부착되는 해조가 자취를 감추고 명주도박, 진두발류, 외깃풀등의 홍조가 대량 부착이 시작되었으며 이듬해 2월에는 명주도박, 진두발류, 외깃풀등의 성장에 의하여 도료와 시트 시험구의 구조물에는 정상적인 해조의 천이 과정이 진행되어 종수의 다양화와 다년생의 안정된 조장을 형성할 수 있는 종으로 변화되었다. 특히 TTP중부 이상에서는 진두발류가 안정적으로 높은 밀도로 서식하였고 우렁쟁이등 동물의 부착이 확인되는 등 전형적인 해조초의 모습을 보였으며 인근 자연암반에 비하여 해조의 종수 및 밀도가 월등히 높고 갯녹음(백화)현상도 적게 발생하므로써 영양염으로서 해조증식용 용제(도료)의 효과를 확인할 수 있었다.

호산의 연안해역에 자취를 감춘 다시마가 두 시험구에 동시에 출현한 것은 큰 관심을 가질 수 있고 포자방출을 극대화시킬 경우 해조밭조성의 가능성이 다른 기질에 비해 높게 나타날 수 있는 것으로 생각된다. 또한 이곳에 서식하는 등근성계의 생식소 역시 대조구에 비하여 생식소량이 2~3배 높게 나타남으로써 해조증식에 따른 수산자원증대 효과에 크게 기여할 것으로 기대된다.

해조의 부착밀도(그림 101), 사근진의 수산동물의 생중량 및 개체수(그림 102), 삼척호산의 수산동물의 생중량 및 개체수(그림 103)를 2, 4, 6월별로 나타내어 분석하였다. 해조의 부착밀도는 사근진에서 호산보다 높았다. 계절별로는 사근진은 2월에 호산은 6월에 부착밀도가 높았으며 시트구에서 높게 나타났다. 수산동물의 생중량 및 개체수는 사근진과 삼척 호산의 도료구에서 높게 나타났다.

그림 104에는 삼척 호산 갯녹음해역 계절에 따른 시험구별 해조착생모습을 나타내었다. 도료처리한 시험구의 해조식생은 인공암초를 투하한 8개월후(그림 A와 B)와 1년 4개월 후(그림 C, D, E)에 점차 양호하게 나타나 해조밭 조성의 가능성을 보여주었다.

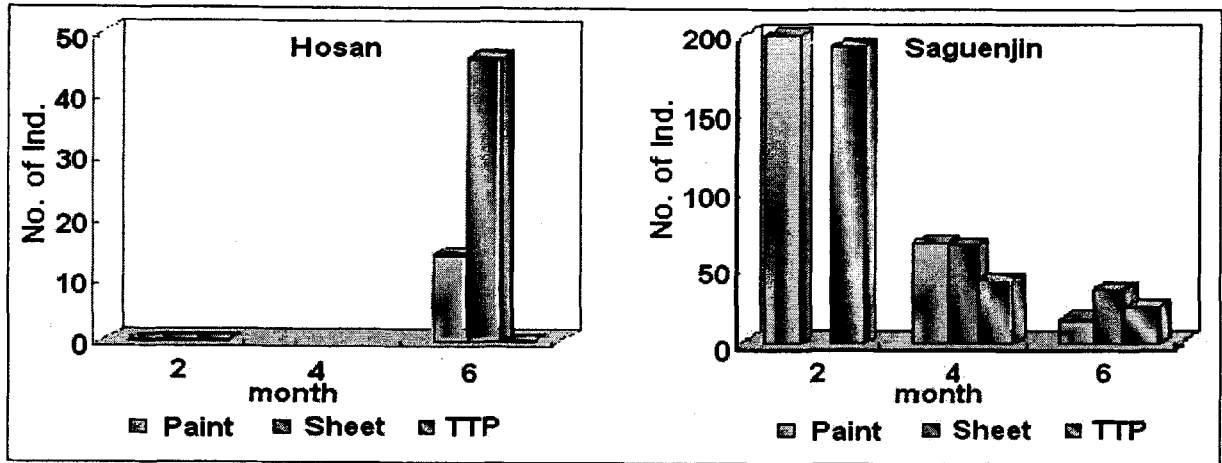


그림 101. 해조의 부착밀도

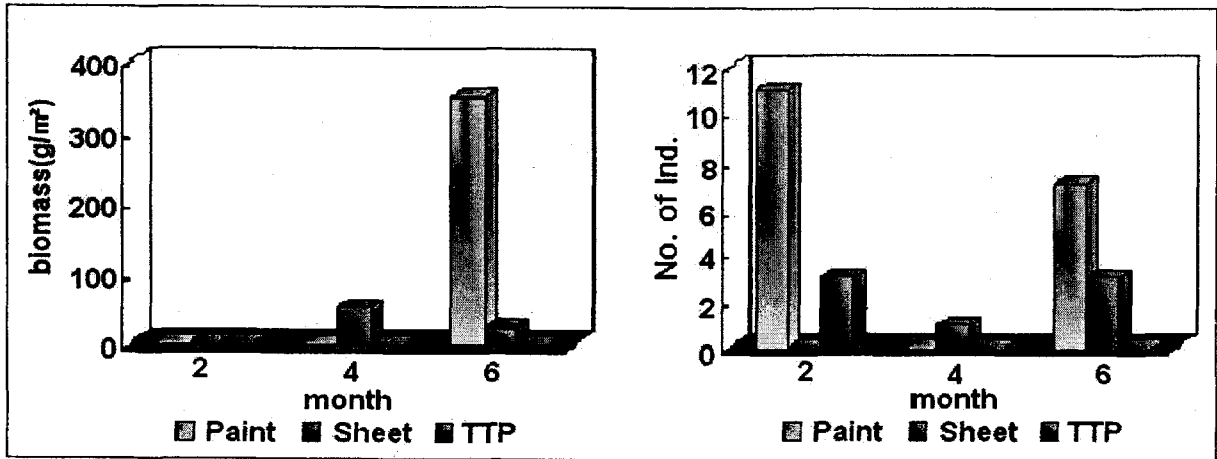


그림102. 수산 동물의 생중량 및 개체수(사근진)

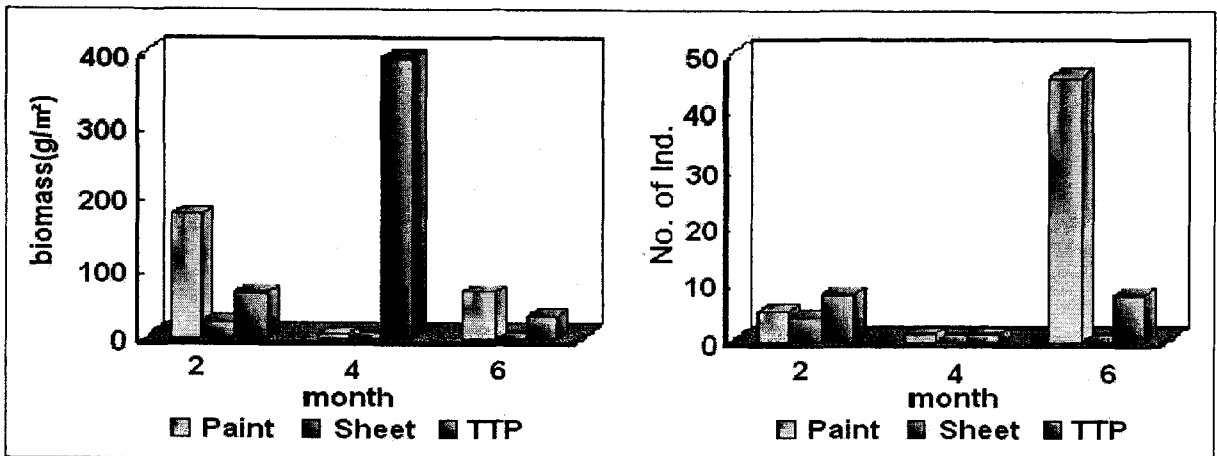


그림 103. 수산 동물의 생중량 및 개체수(삼척 호산)

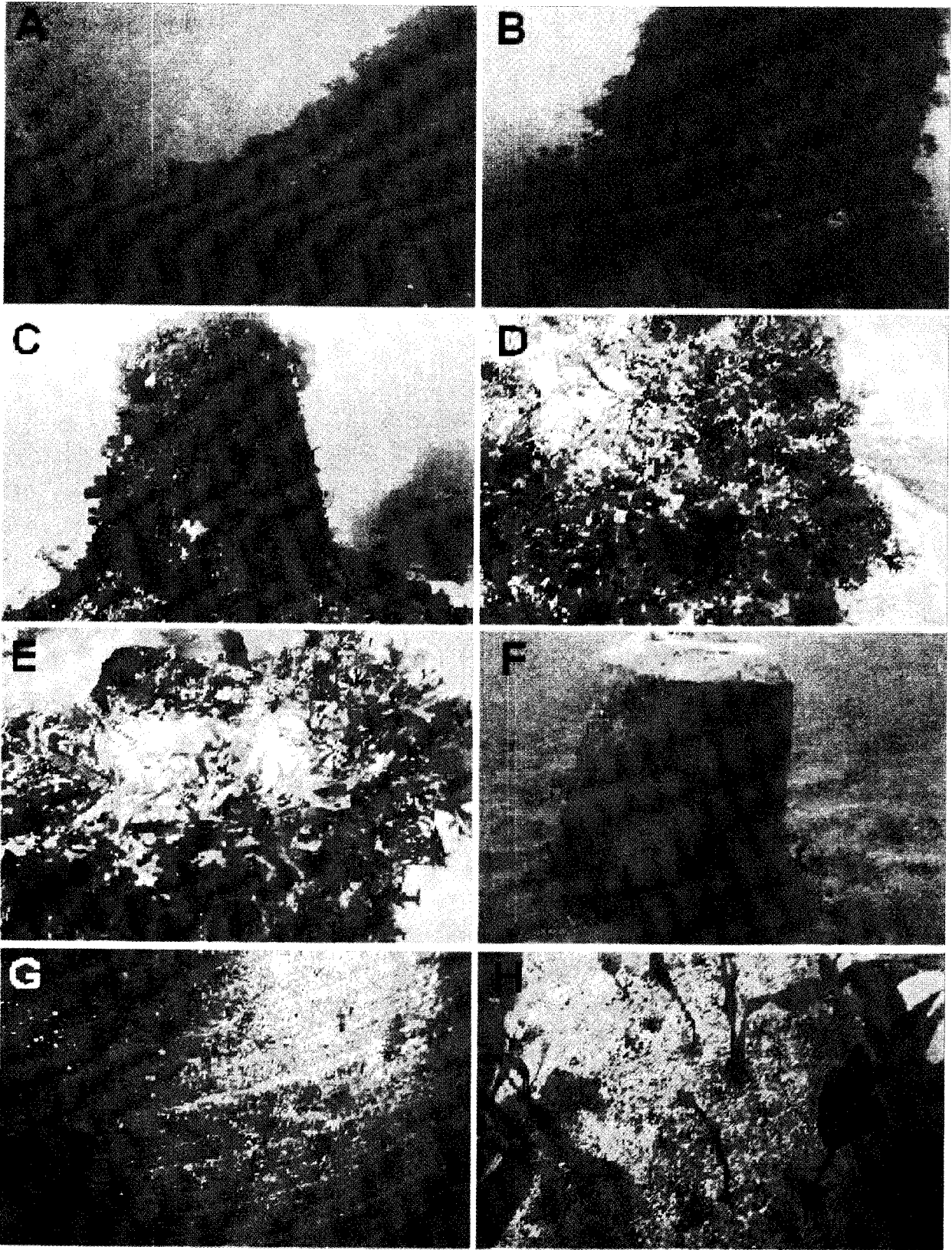


그림 104. 삼척 호산 갯녹음해역 계절에 따른 시험구별 해조착생모습
 (도료처리 8개월 후: A, B; 1년 4개월후: C, D, E; 대조구: F, G, H)

처리하지 않은 대조구(그림 F, G, H)의 인공암초에는 해조류의 식생이 매우 빈약하게 나타났다.

3) 초기착생효과

호산의 시험구에 도료를 도포한 TTP와 미처리한 일반 콘크리트 TTP를 시설하여 초기 해조의 부착과정을 조사한 결과 도료 처리구의 TTP표면에서는 구조와 해조의 유엽이 미처리구에 비하여 현저히 많은 양이 부착되어 있었으며 수심별로는 8m층이 10m층보다 붉은색을 띠는 것으로 나타났으나 철근으로 된 고리처럼 심하게 녹스는 것 같은 형태는 보이지 않았다.

다. 사근진과 호산해역의 해조식생의 변화과정

1) 강릉 사근진의 시험용 TTP에서는 시설 초기에는 미세조류와 1m² 당 200개체 이상의 어린 다시마 유엽이 부착되었으며 중기에는 점차 성숙과 더불어 전 표면적에 확산되어 시설물 형태 파악이 힘들 정도의 높은 피도를 보였으며 성숙기에는 구조물 상에서 모조로서 포자방출 효과와 어, 패류의 먹이자원과 서식처를 제공할 수 있는 인공해조암초의 역할을 할 수 있었으며 1 cycle이 경과하고 재발생시에는 구조물의 모조에서 방출된 포자의 부착으로 주변이 다시 마 밭으로 전환되는 변화과정을 보였다.

2) 호산의 시험구에서 시설초기에 미세조류와 파래류가 부착되었다가 점차 파래류, 불레기말, 떡청각, 구멍쇠미역 등 일시 부착성 해조의 유엽이 분포하였으며 6개월 정도 경과 후에는 불레기말, 파래류는 없어지고, 구멍쇠미역, 모자반류의 성장과 다시마, 미역 등 새로운 해조가 유입되며 구조물의 상단에는 진두발류 등 기타 홍조류가 번무하는 다양한 해조 변화를 나타내었고 재생기에는 진두발류, 명주도박, 외깃풀 등이 우점하여 해조밭을 형성하는 안정된 해조상을 보였다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발목표 및 평가의 착안점

구 분	목 표	착 안 사 항	척 도 (점수)
1차년도 (2000년)	1. 갯녹음(백화)현상 발생현황 2. 주변 해양환경분석 (화학 및 생물학적 환경) 3. 갯녹음현상 발생과 정제시	○ 발생 현황 파악 ○ 해양 환경 분석 ○ 발생 과정 제시	50 % 10 % 40 %
2차년도 (2001년)	1. 갯녹음현상의 화학 및 생물학적 발생원인 규명 2. 원인생물규명(작용효소 및 유기물질의 분리·정제, 구조 파악, 작용기작연구) 3. 무절석회조류와 대형 해조류 간 화학 및 생태적 상관관계	○ 갯녹음 현상의 화학 및 생물학적 발생 원인 ○ 원인생물 규명 ○ 석회조류와 대형 해조류간 화학 및 생태적 상관 관계	30 % 30 % 40 %
3차년도 (2002년)	1. 갯녹음현상의 발생원인 규명(계속) 2. 갯녹음현상의 발생방지 및 극복방안제시	○ 갯녹음 현상의 발생 원인 ○ 발생 방지 ○ 극복 방안 제시	40 % 30 % 30 %

이 연구에서는 갯녹음 현상의 대책방안을 마련하기 위하여 원인이 어떤 것인지를 밝히고자 하였다. 갯녹음이 발생하는 현상에 따라서 그 대처방안이 다르게 될 수 있으므로 원인의 규명은 대처방안을 고려하여 전개하였다.

갯녹음이 일어나는 현상은 크게 2가지로 나누어 자연현상에 의한 것과 인위적 오염에 의한 것으로 볼 수 있다. 이 연구에서는 자연적인 것에 대해서는 해양생태의 순환적인 측면을 잘 이해하여 갯녹음 현상을 진단하고 예측하는 방법 등에 대해 서술하였으며 인위적 오염에 대해서는 오염방지와 바다숲 조성에 의한 바다녹화의 연구방법에 대해 제시하였다.

제 2 절 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체 평가

1. 발생현황 파악

갯녹음 현상에 대한 발생현황은 해역에 따라 3-1의 1~5항에 전개하였다. 1항은 동해연안의 남북방향으로 볼 때 쿠로시오의 영향이 크게 미치는 남부에서 북부로 갈수록 그 영향이 적게 미치는 곳과 비교하였다. 또한 지형적으로 볼 때 외양에 면한 곳과 파도의 영향이 적은 곳, 하천 하구의 오염이 영향이 큰 곳, DMZ 해역과 같이 오염이 거의 없으며 한류의 영향이 가장 크게 미치는 곳 등으로 해역에 따라 갯녹음의 발생현상을 분석하였다. 동해연안은 쿠로시오의 영향이 미치는 구배가 뚜렷하게 나타났다.

2. 해양환경 분석

갯녹음 현상이 발생하는 해양환경에 대한 분석은 3-1에서 갯녹음의 발생과 환경조건, 3-6의 3항에서 지리적인 동해연안의 해양환경과 지형적인 동해연안의 해양환경, 인간활동에 의한 갯녹음 현상의 특성에 대해 분석하였다. 조사기간 중의 갯녹음 현상에 대한 환경분석으로 수온의 변화는 최근 5년, 10년, 100년으로 나누어 장, 단기적으로 비교하였다. 삼척 남부해역에 갯녹음이 매우 심하게 나타난 이유를 수온의 변화와 지리, 지형적인 측면에서 분석하였다.

3. 발생과정 제시

갯녹음의 정의에서 1) 해조류의 감소 2) 무절석회조의 증가 3) 수산생물의 자원감소로 나누어 세가지 측면에서 분석하였으며 갯녹음과 해조숲이 생태 순환적으로 일어나는 모델을 도식화하였다. 또한, 해조숲이 쇠퇴요인으로 무기환경과 생물과의 관계, 오염현상 등의 요인에 대해 나타내었다(3-6의 1항). 해조류의 감소와 무절석회조의 증가는 1차년도에는 동해연안의 여러 지점에서 2, 3차년도에는 삼척 갈남에서 매월 조사를 2년간 계속하였으며 환경 특성에 따라 갯녹음의 차이를 비교하였다. 무절석회조가 증가하는 해양환경의 적응성을 야외와 실내배양에서 파악하였으며 환경에 따른 지속요인에 대해 분석하였다.

4. 갯녹음 현상의 화학 및 생물학적 발생원인

무절석회조의 석회화 과정을 도식화하였으며 석회화 과정중에 이산화탄소의 농도를 조체 주변에 높게 유지하고 고온에 내성을 갖는 rubisco가 이산화탄소에 대한 친화력을 가짐으로서 해수환경에서 다른 해조보다 더욱 잘 번성하게 되는 근거를 제시하였다. 무절석회조의 실내배양에서 성장 적온과 포자방출 양상과 석회조의 추출물질과 포자발아와의 관련성을 분석하였다. 또한 석회조와 엽상해조와의 관계를 생태적으로 물질추출에 의한 성분분석으로 나타내었으며

석회조에 서식하는 초식자의 종류와 섭이압에 대해 분석하였다(3-6의 2항).

5. 원인생물 규명

갯녹음 현상이 발생하는 곳의 지표생물인 무절석회조에 대하여 실내배양과 야외 생태 특성으로는 3-2에서, 무절석회조의 색소조성, 색소단백질과 광합성 특성에 대해서는 3-4, 무절석회조의 추출물로부터 포자부착 및 발아억제 물질의 분리 및 그 영향에 대해서는 3-5에 설명하였다. 3-6에서는 위의 것을 총체적으로 분석하였다.

6. 석회조류와 대형해조류간 화학 및 생태적 상관관계

석회조류와 대형해조류의 화학적인 관계는 3-5의 2와 3항에서 무절석회조 추출물로부터 타해조류 포자부착 및 발아억제 영향에 대해 분석하였다. 생태적인 관계는 3-2의 3항에서 석회조류에 같이 서식하는 해조의 공간경쟁, 서식형태 등에 대해 나타내었다.

7. 갯녹음 현상의 발생원인

동해북부에서 남부로 갈수록 쿠로시오의 영향이 크게 미쳐 갯녹음 현상이 심하게 나타났다. 삼척 남부 갈남 해역의 조하대는 거의 무절석회조로 덮혀 바다의 사막화가 진행되었다. 갯녹음의 진행은 2002년에는 2000년 보다 식생이 점차 회복되었는데 수온이 하강하는 경향과 매우 관련성이 있었다. 자연적인 요인외에도 갈남해역은 방파제의 축조로 해수의 순환이 막히고 유동이 정체되어 갯녹음이 더욱 진행되는 것으로 나타났다. 이와 관련하여서는 3-6의 3항에 나타내었다.

8. 발생방지

갯녹음의 발생방지에 대한 대책으로는 3-7에 바다의 오염 및 연안환경보호와 매립 및 방파제 축조에 의한 해조생육 환경의 악화에서 그 내용을 제시하였다. 인간의 활동으로 인한 갯녹음의 발생은 자연생태적인 순환과정을 중단하게 하는 것으로 식생이 자연적으로 회복이 불가능하게 된다. 바다의 오염부하 요인을 제거하고 매립 또는 방파제 축조 등과 같은 인공시설물의 설치를 신중히 고려해야 한다는 점을 나타내었다.

9. 극복방안제시

갯녹음 현상에 대한 극복방안으로는 적극적인 방법으로 바다녹화 사업을 수행하는 것이다. 바다에 해조숲을 만들어 해수환경을 청정하게 하고 어패류의 먹이원과 서식처를 늘려 수산생물자원의 생산성을 높여 바다목장화를 이루어 나갈 수 있다. 바다숲의 중요성과 바다녹화 방안

에 대해서는 3-8에 제시하였다.

갯녹음의 진행상태를 파악하기 위한 진단방법을 확립하여 갯녹음과 해조숲의 천이관계에서 바다숲 조성의 적기를 분석하는 방안을 제시할 수 있는 근거를 마련하였다. 갯녹음의 진행상태는 무절석회조의 피도로만 표현할 때 불합리한 점을 제시하여 무절석회조의 피도를 갯녹음의 정도(수준)로 표현하여 자연상태를 가장 잘 나타내고자 하였다(3-6의 4항).

해조숲 조성시 이용 가능성이 높을 것으로 예상되는 해조로부터 포자를 받아 무절석회조의 추출물에 어떤 영향을 받는지 테스트하여 갯녹음 해역의 무절석회조에도 잘 서식할 수 있는 종류를 파악하고 관련성을 연구한 것은 해조밭 조성 연구의 기초연구가 될 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 갯녹음 현상의 진단방안을 해역별로 기술확립

갯녹음 현상은 해조숲과 갯녹음역으로 순환되는 생태권이 현상으로 볼 때 어떤 연안의 갯녹음의 진행이 가속화되는지 또는 감소하는지 등에 대한 진단으로 효율적인 바다숲 조성 및 연안관리가 가능할 수 있다. 해역에 따라 무절석회조의 종류와 출현 해조의 종류가 다를 수 있으므로 해역의 특성을 고려하여 갯녹음 현상을 이해하고 진단과 대처방안을 마련할 수 있다.

2. 갯녹음 피해의 발생면적

무절석회조의 분포가 종다양성이 높을 때는 갯녹음으로 볼 수 없고 종 구성이 단순할 때 갯녹음으로 볼 수 있다. 또한 석회조의 서식은 포복형이므로 층상구조를 보이는 엽상형과의 관계를 고려하여 석회조의 피도를 갯녹음의 정도로 나타낼 수 있다. 해역별로 갯녹음의 진행과정의 정도가 비교됨으로서 연안 관리에 도움이 될 수 있다.

3. 갯녹음 진행과정과 바다숲 조성 시기 연계

갯녹음의 진행과정을 진단하여 바다숲 조성의 시기와 방법을 고려한다. 무절석회조의 번무시기는 해조의 포자발아, 부착시기를 피하고 갯녹음의 심한 시기보다는 쇠퇴시기에 바다녹화 사업의 시기를 정하므로써 효율성을 높인다. 산에 조림을 하기 위해서 나무를 심게 되는 바다, 토양의 상태를 고려하는 것과 같은 이치라고 볼 수 있다.

4. 연안보존을 위한 어민, 관광객들의 인식전환

바다를 이용하는 어업인 또는 관광객들이 바다 오염이 해양생태계에 미치는 중요성을 인식하여 연안 보존을 위한 노력을 함께 해야 한다.

5. 바다목장화를 위한 바다숲 조성

바다숲은 바다의 수질환경을 좋게하고, 해조 자체가 식용이나 공업용, 의약용의 자원으로 이용되기도 하며 수산생물자원의 서식처로서 중요하다. 바다에도 숲을 만들어 바다환경을 보존하고 풍부한 해양생물이 서식하여 아름다운 해안환경을 만들게 될 때 바다를 찾는 관광객도 많아져서 부수적으로 소득이 높아지게 되어 어촌의 활성화를 이룰 수 있다.

6. 바다숲 조성을 위한 종묘생산 및 이식

바다숲 조성을 위해 유용해조의 종묘생산과 바다이식은 기본적인 연구사업이 된다. 해조의 생활사가 종류마다 상이하거나 환경적응이 다르게 되므로 생물의 특성을 이해하여 대량생산할 수 있는 종묘생산, 이식의 효율성을 높일 수 있다.

7. 인공암초의 효율성 높임

해조의 생산성을 높이기 위해 바다에 착생기질을 넣어서 해조의 서식면적을 넓힌다. 해조가 서식하기에 알맞은 빛, 영양염, 기질의 요철정도 뿐 아니라 해조인공암초의 크기, 파도에 견딤, 투하수심 등의 여러 환경적인 면을 고려하여 해조생산의 효율성을 높일 수 있다.

8. 지구 온난화 지표생물로서의 환경적응성 연구

무절석회조류는 난대성 해역에 우점하는 종류로 지구의 온난화의 지표생물로서 적합하다. 환경적응성 연구를 통해 지구환경의 변화에 대한 정보를 얻을 수 있다.

9. 갯녹음 지표생물인 석회조의 연구로 해조식태에 대한 예찰

갯녹음 현상은 생태순환의 한 과정으로서 바다생태계의 변화를 예측하고 바다숲을 중심으로 한 해양생물의 거동을 파악할 수 있다.

10. 무절석회조 수조내 배양 기술로 상업화

무절석회조가 살아 있을 때의 홍조색을 이용하여 수조내 암석을 배양하여 관광용으로 이용되기도 한다. 수조내 식물이 배양되므로 수질환경을 양호하게 할 수 있다.

11. 제주성산 해변 리토탄니온 뱅크의 생태 가치 이용

제주 성산의 우도 수도(牛島 水道)의 조하대에는 대규모의 석회조 *Lithothamnion*초(礁)가 발달되어 있고 여기에 넓미역(*Undaria peterseniana*)의 순군락이 공존하고 있다. 우도 섬의 백사장은 *Lithothamnion* 초에 있는 석회조의 파편에 의하여 이루어진 것으로 알려져 있다. 이 리토탄니온 뱅크의 자원생태 가치가 크다.

12. 방파제 축조나 인공구조물에 의한 갯녹음의 피해 예방

갯녹음의 확산은 방파제의 축조에 의해 더 심하게 증가하므로 인공구조물에 의한 바다환경의 변화를 최소화해야 한다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 일본에서의 갯녹음 진단 위원회 구성

일본에서는 연안의 암초지대에 다시마 등의 유용조류가 거의 소멸하고 석회조가 피복된다는 갯녹음 현상이 전 연안에 발생하고 있다. 그 결과 다시마 등의 해조를 먹는 성게 등의 어획이 감소해서 지역의 연안어업에 큰 영향을 미치고 있다. 이러한 배경에서 일본의 수산청에는 전국으로 심각한 문제가 되고 있는 갯녹음 현상에 효율적인 대책으로 1998~2002년에 걸쳐서 갯녹음 진단지침 작성위탁사업을 실시해서 각지의 해조군락 및 갯녹음의 상황을 세밀하게 조사해서 각종의 갯녹음을 생태학적인 면에서 정리, 유형화하고 있다.

갯녹음 진단지침 작성의 내용으로서 이 사업에 갯녹음의 진단 방법, 갯녹음 발생과 지속, 갯녹음의 실태에 대해서 정리하고 또한 1998년부터 2002년에 걸쳐 대황숲, 잘피숲, 다시마숲의 3개 해역에서 현지조사 결과 각 해역의 갯녹음의 진단지침을 작성하고 있다.

일본에서도 갯녹음 현상에 대해서는 다수의 보고가 있으나 발생지역의 과거 자료가 매우 부족한 실정으로 갯녹음의 진행정도를 명확하게 파악하는 것은 어렵다. 대책으로서 해조군락의 변동을 모니터링하여 갯녹음의 정도를 판단하는 기준을 제시할 필요가 제기되고 있으며 갯녹음의 지속요인을 파악하여 지속요인을 정량적으로 평가하고 있다.

갯녹음의 진단지침은 갯녹음의 발생상황을 기초자료와 탐문에 의해서 파악하고 모델 해역을 선정하여 현지조사를 실시하여 조사결과에 의해 해조군락의 분포상황, 생활형 분류, 바다숲 구성종의 연급군 조성 및 조식동물의 서식밀도, 연령구성, 성장, 성숙상황에 대해서 알아보고 갯녹음 현상의 진행판정, 갯녹음의 지속요인을 평가하는 수법을 확립하고 있다.

이 사업은 사단법인 전국 연안어업 진흥개발협회가 수산청에서 위탁을 받아서 갯녹음 진단지침작성 사업 검토위원회를 구성하여 위원회는 이 사업과 관련해서 조사 항목, 현지 조사의 실시 방법 및 조사 결과의 분석 등에 대해서 검토를 하고 있다.

일본의 갯녹음(磯燒) 진단지침 작성사업 검토위원회의 위원장은 동경수산대학 명예교수인 유쇼 아루가(有賀 祐勝) 박사이며 몇 명의 위원으로 이루어져 있다. 사무국은 (사) 전국 연안어업 진흥개발협회이며 조사기관은 독립중앙수산시험장, 수산진흥센터, 국토환경(주)이며 항공사진촬영은 회사에서 수행하고 있다.

2. 미국 캘리포니아 연안위원회와 바다숲 협회의 활동

캘리포니아 연안 위원회는 “연안역 보존활동, 의제 20”의 법률에 의해 1972년 11월에 설립되어 연안보존 활동을 계속해오고 있다. 이 위원회에서는 1,000마일 이상되는 캘리포니아 연안을 보존하고 바다숲을 복원하는 것을 목적으로 위원들은 주정부와 의회에서 함께 구성되어 있다. 캘리포니아 연안 위원을 돕고 있는 바다숲 협회(Marie Forests Society, P.O. Box 5843 Balboa Island, CA 92662 USA)는 뉴포트에 사는 Rudolphe Streicenberger가 비영리단체로 설립하였다. 해조나 패류 등의 바다생물이 서식하기에 좋은 바다숲을 만들어 바다생물의 서식처가 손실되는 것에 대처하고자 하는 것이 가장 큰 목적이다.

특히 바다숲 협회에서는 바다목장화 개발 연구내용의 하나인 바다숲의 조성 방법과 그 경제성을 연구하고 있으며 바다숲의 중요성을 다음과 같이 제시하고 있다.

- 1) 연안 해양생물의 서식처에 이용성이 있는 영양염을 충분히 공급하고 재순환되게 하고,
- 2) 해조나 저서성 동물의 서식하기에 알맞은 환경을 조성해주고
- 3) 바다숲 자체가 어류의 생활공간이나 먹이를 공급해주는 기능을 갖게 하는 것 등의 이로운 점이 있다.

비영리 단체로 1986년에 설립된 바다숲 협회는 캘리포니아 공과 연구소의 Wheeler J. North에 의해 지원받고 있으며 1천명 이상의 지원자가 해조, 패류, 인공어초의 서식처에 대해서 실험에 참가하고 있다.

제 7 장 참고문헌

- 국립수산진흥원. 1977. 울진근해 왕돌암 어장개발 조사. 국립수산진흥원 사업보고 제38호 57pp.
- 국립수산진흥원. 2000. 2000년 하계 한국동해 해,어황 및 오징어 성어기 어황정보. 동해수연 해양자원조사보고. 제35호. pp.76.
- 강제원. 1968. 한국동식물도감 제8권 식물편(해조류). 문교부. pp. 465.
- 강제원. 1981. 동해남부연안 미역 양식장의 병충해. 한수지, 14(3): 169~170
- 강제원 · 손철현 · 이종화, 1980. 서해남부연안 우이도 및 매섬의 하계해조상. 한국자연보존협회 조사보고서. 16: 95-107.
- 강제원 · 이종화. 1979. 경남 거제도 인근 도서의 해조상. 자연보존협회 보고서. 14, 93-101.
- 고철환 1983. 저서식물의 군집구조와생산성(동해안, 죽도) II. 해조류 식생의 계절변화와 대형 갈조류 성장 양상의 관계. 한국식물학회지. 26: 181-190.
- 고철환, 성낙길. 1983. 저서식물의 군집구조와 생산상(죽도, 동해안) I. 해조류의 식생과 환경. 한국식물학회지 26: 119-130.
- 김남길. 2000. 강원동해역의 해양목장화 추진방안 심포지움. 갯녹음 현상과 대책. 강원도립대학 수산과학연구소. 69~130.
- 김병기 외. 2002. 갯녹음현상 복원을 위한 해중조립 연구. 강원도 pp. 156.
- 김영환. 1987. 인공저층을 이용한 해조류의 착생 및 천이에 관한 연구. 한국조류학회지 2: 73-91.
- 김영환. 2000. 발전소 온배수와 해양생태계. 전파과학사. 259pp.
- 김영환 · 남기완 · 손철현. 1997. 동해안 주문진 조간대의 저서 해조류: 해조상, 분포 및 군집구조. 한국조류학회지 12: 117-130.
- 김영환 · 엄희문 · 강연식. 1998. 한국산 내열종 해조류의 정성 · 정량적 분석. 1. 고리원자력발전소. 한국조류학회지. 13: 213-226
- 김정하. 2001. 해조류의 공간경쟁. 한국의 조류, 생태와 응용. 아카데미서적. 205-232.
- 김형근. 1991. 부산인근해역 해조식생의 특성과 환경요인과의 관계. 박사학위논문. 부산수산대학교. pp. 144
- 김형근. 1995. 해양 편, 강원도사. 강원도 141-157.
- 김형근. 1998. 동해안의 해양환경 실태. 강원환경의 이해, 한올아카데미. 155~164.

- 김형근. 2001. 동해안 갯녹음(백화) 해역의 발생실태. 동해의 해양생태계. 수산자원 그리고 한반도 기후 변동의 역학관계. 한국 GLOBEC Symposium. p. 9-7
- 김형근 외. 2002. 해조증식용 용제(도료)의 효과조사 연구. 강릉대 동해안해양생물자원연구센터. 42pp.
- 김형근 · 강래선 · 손철현. 1992. 고리 원자력발전소 연안의 해조군집에 대한 온배수의 영향. 한국조류학회지. 7: 269-279.
- 김형근 · 손용수. 1998. 강원도 양양 연안 조하대의 해조분포. 강릉대 환경과학. 1: 41~47.
- 김형근 · 손철현 · 강제원. 1986. 남해안 신수도와 서해안 월도의 해조군락에 대하여. 한국조류학회지, 1: 169-183.
- 김형근 · 윤이용. 2001. 강릉하천 하구역에 발생하는 갯녹음(백화)현상의 진단. 강원지역환경기술개발센터. 32pp.
- 김형근 · 이주일 · 이승복 · 박중구. 1999. 강릉연안 다시마의 분포와 현존량. 삼척대 환경연구 1(1):153-158.
- 남기완 · 김영식 · 김영환 · 손철현. 1996. 한국 동해 연안역의 저서 해조류: 해조상, 분포 및 군집구조. 한국수산학회지 29: 727-743.
- 명정구. 2002. 왕돌초 주변해역의 해양환경 특성. 동해왕돌초 생태계 세미나. 15-26.
- 문영봉 · 손용수 · 김영대. 2000. 동해안 해조장 조성시험. 동해수산연구소 사업보고. 209-219.
- 문영봉 · 손용수 · 김영대 · 박두언. 1999. 동해안 해조장 조성시험. 동해수산연구소 사업보고. 224-232.
- 민광식 · 손용수 · 박두언. 1998. 동해안 해조장 조성시험. 동해수산연구소 사업보고. 206-217.
- 박정홍. 1977. 한국산 무절산호조에 관한 연구(Ⅱ). 부산수산대학 연구보고(자연과학) 20: 1-30.
- 박정홍. 1980. 한국산 무절산호조에 관한 연구. 부산수산대학 연구보고(자연과학) 17: 59-70.
- 박홍식. 2002. 왕돌초 주변해역의 해양환경 특성. 동해왕돌초 생태계 세미나. 27-30.
- 부성민. 1987. 강원도 해역 해조류의 분포. 한국조류학회지. 2: 223-235
- 성기탁 · 진현국 · 심정민 · 박진일 · 강영실. 2002. 왕돌초 주변해역의 해양환경 특성. 동해왕돌초 생태계 세미나. 3-7.
- 손철현. 1987. 한국해조류의 식물지리학적 특성과 군집의 정량적 분석. 박사학위논문. 전남대학교. pp. 111
- 손철현 · 김형근 · 한현섭. 2002. 갯녹음 연안을 바다숲으로(번역서). 163pp.
- 손철현 · 이인규 · 강제원. 1982. 남해안 돌산도의 해조 I. 부산수대 해양과학연구보고. 14, 37-50.

- 손철현 · 이인규 · 강제원. 1982. 남해안 돌산도의 해조 II. 조하대 해조군락의 구조. 한국수산학회지 16(4): 379-388.
- 손철현 · 이인규 · 강제원. 1986. 한국 남해안 동부해역 해조군집 구조 및 변동의 정량적 분석 1. 연화도. 한국수산학회지. 19: 265-273.
- 이기완 · 강제원. 1971. 해운대 동백섬의 해조상 및 해조군락(예보). 부산수산대학 임해연구소 연구보고. 4: 29-37.
- 이기완 · 손철현 · 정상철. 1998. 제주연안의 해조상과 성계의 섭식효과. 한국양식학회지. 11: 401-419.
- 이용필 · 강서영. 2001. 한국산 해조류의 목록. 제주대학교 출판부. 662pp.
- 이인규 외. 2001. 한국의 조류 생태와 응용. 도서출판 아카데미서적. 342pp.
- 이인규 · 강제원. 1986. 한국산 해조류의 목록. 한국조류학회지 1(1), 311-325.
- 이인규 · 김훈수 · 고철환 · 강제원 · 홍성윤 · 부성민 · 김일희 · 강영철. 1984. 한국 연안해역의 저서생물 군집에 관한 연구. II. 동남해안의 군집구조에 관한 정성, 정량적 분석. 서울대 자연대 논문집 9(1): 71-126
- 이인규 · 최청일 · 유종수 · 이상돈. 1996. 한국생물종목록. (사) 자연보호중앙협의회.
- 이재완. 한국 동해안 조간대의 해조류 군집구조와 지리적 분포. 서울대학교 박사학위논문, 210 pp. (1991).
- 오봉철 · 성기탁 · 박정훈 · 박진일 · 손팔원 · 김복기. 2001. 동해중남부 해역의 환경학적 특성. 동해의 해양생태계. 수산자원 그리고 한반도 기후 변동의 역학관계. 한국 GLOBEC Symposium. p. 7
- 오윤식 · 이인규 · 부성민. 1990. 한국산 유용해조 특히 식용, 약용 및 공업용 해조에 대한 주해. 조류학회지. 5:57-71.
- 박원선 · 오임상. 2001. 한반도의 기후변동과 동해의 물리적 반응. 동해의 해양생태계. 수산자원 그리고 한반도 기후 변동의 역학관계. 한국 GLOBEC Symposium p. 9-7
- 정호성 · 김지희. 1998. 그백화현상의 실체와 극복. 한국해양연구소. 206pp.
- 정호성 · 조기용 · 정경호 · 김지희 · 신종현 · 서영완 · 강재신 · 이인규. 1998. 제주도 서귀포 연안의 백화현상에 대한 생태학적 특성. Algae 13, 361-374.
- 진형주. 2001. 항적조물질을 생산하는 해조류 작은구슬산호말 (*Corallina pilulifera*) 의 조직배양 및 활성물질 분리. 부경대학교 박사학위논문. p. 115.
- 최창근 · 김형근 · 손철현. 2002. 순간접착제를 이용한 고풍(*Ecklonia stolonifera* Okamura)의 이식효과. 한국수산학회지. 35(6):608-613.

- 황은경 · 김은진 · 김형근 · 손철현. 2002. 홍조류 무절석회조, 납작돌잎(*Lithophyllum yessoense*) 사분포자체의 포자방출과 성장. 한국수산학회지. 35(3):242-246.
- 한국해양연구소. 1994. 해양과 인간. 문성인쇄(주). 134pp.
- 한국해양연구소. 1995. 해양개발의 현재와 미래. 상문사. 125pp.
- 한국해양연구원. 2001. 연안개발. 프린팅 올리브. 134pp.
- 한규삼. 2001. 강릉연안 쇠미역사촌(*Costaria costata* Saunders)의 배양연구. 강릉대학교. 32pp.
- 해양수산부. 2000. 해양수산통계연보. 1422pp.
- Agateuma Y., K. Mateuyama, A. Nakata, T. Kawai, and N. Nishikawa, 1997. Marine algal sussesion on coralline flats after removal of sea urchins in Suttsu Bay on the Japan Sea coast of Hokkaido, *Japan. Nippon Suisan Gakkaishi*. 63(5) : 672-680.
- Alan T. Critchley and Masao Ohno. Seaweed resources of the world. JICA. pp431.
- Albert, R.S., Wood, A.M., Kursar, T.A. and Guillard, R.L. 1984. Novel phycoerythrin in marine *Synechococcus* spp. Characterization and evolutionary and ecological implications. *Plant Physiol*. 75: 732-739.
- Andrew, T. J. and G. H. Lorimer. 1987. Rubisco: structure, mechanisms and prospects for improvement. *In The Biochemistry of Plants*, Vol. 10 (M. D. Hatch and N. K. Boardman, eds), 131-218. Academic Press, Inc., New York.
- Galland-Irmouli A. V., L. Pons, M. Lucon, C. Villaume, N.T. Mrabet, J.L. Guéant, J. Fleurence, 2000. One-step purification of R-phycoerythrin from the red macroalga *Palmaria palmata* using preparative polyacrylamide gel electrophoresis, *Journal of Chromatography B*, 739 117-123.
- Barnes, D. J., & B. E. Chalker. 1990. Calcification and photosynthesis in reef-building corals and algae. In Z. Bubinsky (ed.), *Ecosystems of the World* (vol. 25, pp. 109-31). Amsterdam: Elsevier.
- Egan B., A. Vlasto and C. Yarish. 1989. Seasonal acclimation to temperature and light in *Laminaria Longicuris* de la Pyl. (Phaeophyta). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 129: 1~16.
- Black., N. 1999. Abstraction of anti-foulant substance(s) from crustose coralline algae, *Phymatolithon purpureum* and *Lithothamnion glaciale*, and its effect on the brown

- algae, *Fucus serratus* and *Laminaria digitata*. A thesis submitted as a requirement for the degree of BSc Single Honour Biological Sciences, the Queen's university of Belfast. p. 34.
- Boo S.M. 1985. Vertical distribution patterns of the intertidal algal community on a Kangneung rocky shore, east coast of Korea, *Proc. Nat. Sci. Res. Inst. KANU* 1: 46-53.
- Boo S.M. and Lee I.K. 1986. Studies on benthic algal community in the east coast of Korea 1. Floristic composition and periodicity of a Sokcho rocky shore. *Korea J. Phycol.* 1: 107-116.
- Borowitzka, M.A. 1977. Algal calcification. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 15: 189-223.
- Borowitzka, M.A. 1979. Calcium exchange and the measurement of calcification rates in the calcareous coralline red alga *Amphiroa foliacea*. *Mar. Biol.* 50: 339-47.
- Borowitzka, M.A. 1982. Mechanisms in algal calcification. *Prog. Phycol. Res.* 1:137-77.
- Borowitzka, M.A. 1987. Calcification in algae: mechanisms and the role of metabolism. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 6: 1-45.
- Borowitzka, M.A. 1989. Carbonate calcification in algae - initiation and control. In S. Mann, J. Webb, & R. J. P. Williams (eds.), *Biomineralization - Chemical and Biochemical Perspectives* (63-94).
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248-254.
- Brown, V., S.C. Ducker, & K.S. Rowan. 1997. The effect of orthophosphate concentrations on the growth of the coralline algae (Rhodophyta). *Phycologia* 16: 125-31.
- Cabioch, J., & G. Giraud. 1986. Structural aspects of biomineralization in the coralline algae (calcified Rhodophyceae). In B. S. C. Leadbeater & R. Riding (eds.), *Biomineralization in Lower Plants and Animals* (141-56). Oxford: Clarendon Press.
- Callow, M.E., Callow J. A., Pickett-Heaps J.D. and R. Wetherbee. 1997. Primary adhesion of *Enteromorpha* (Chlorophyta, Ulvales) propagules : Quantitative settlements studies and video microscopy. *J. Phycol.* 33 : 938-947.

- Chapman, M.S., S.W. Suh, P.M. G. Curmi, D. Cascia, W. W. Smith and D. Eisenberg. 1988. Tertiary structure of plant Rubisco: domains and their contacts. *Science* 241: 71-74.
- Choi, C.G., Kim, H.G., Sohn, C.H. 2002 Transplantation of *Sargassum horneri* Using the rope seeding method. APPF joint conference. 100.
- Choi D.S. and Lee I.K. 1988. On surface structures of *Amphiroa* (Corallinaceae, Rhodophyta) in Korea. *J. Phycol.* 3: 111-117.
- Chung H.S., Lee H.J and Lee I.K. 1991. Vertical distribution of marine algae on a Gollam rocky shore of the Mid-East Coast of Korea. *Korean J. Phycol.* 6:
- Christopher S. Lobban, Paul J. Harrison. 1994. Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press. 366pp.
- Digby, P.S.B. 1977. Photosynthesis and respiration in the coralline algae *Clathromorphum circumscriptum* and *Corallina officinalis* and the metabolic basis of calcification. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 57:11-24.
- Edwards Peter. 1975. Assessment of possible pollution effects over a century on the benthic marine algae of Co. Durham, England. *Bot. J. Linn. Soc.*, 70: 269~305.
- Falkowski, P.G. and Raven, J. A. 1997. Aquatic Photosynthesis, *Blackwell Science*, Malden, MA, 53-56.
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. *Rev. Alg.* 10: 1-340.
- Fletcher, R.L. 1989. A bioassay technique using the marine fouling alga *Enteromorpha*. *Int. Biodeterior.* 25 : 407-422.
- Fujita, D. and T. Masaki. 1986. The antifouling by shedding of epithallium in articulated coralline algae. *Marine fouling.* 6(1) : 1-5.
- Fujita, D. 1987. The report of interview to fisherman on "Isoyake" in Taisei-cho, Hokkaido. *Suisanzoshoku*, 35(3): 135-138 (in Japanese).
- Ganesan, E. K. 1971. *Amphiroa currae* (Carallinaceae), a new species of marine algae from Venezuela. *Phycologia.* 10(2/3). 155~161.
- Garbary, D. and Veltkamp, C.J. 1980. Observations on *Mesophyllum lichenoides* (Corallinaceae, Rhodophyta) with the scanning electron microscope. *Phycologia.* 19(1), 49~53.

- Gantt, E. 1990. Pigmentation and Photoacclimation. In *Biology of the Red Algae*. (Cole, K.M. and Sheath, R.G. eds) Cambridge University Press, New York, 249-268.
- Gabriel P. Holbrook, Sven Beer, William E. Spencer, Jullia B. Reiskind, Joseph S. Davis, George Bowes. 1987. Photosynthesis in marine macroalgae: evidence for carbon limitation. Department of Botany, University of Florida, Gainesville, FL 32611, U.S.A. 577~582.
- Goodwin, T.D. 1974. Carotenoid and biliprotein. *In Algal Physiology and Biochemistry* (Stewart, W.D.P. ed). University of California Press, Berkeley and Los Angeles, CA, 176-205.
- Govindjee and Braun, B.Z. 1974. Light absorption, emission and photosynthesis. *In Algal Physiology and Biochemistry* (Stewart, W.D.P. ed). University of California Press, Berkeley and Los Angeles, CA, 346-390.
- Hall, N.P. and N.E. Tolbert. 1978. A rapid procedure for the isolation of ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase from spinach leaves. *FEBS Lett.* 96:167-169
- Harborne, J.B. 1973. *Phytochemical Methods*. Chapman and Hall, London, 204-208.
- Harborne J, B. 1998. *Phytochemical methods : A guide to modern techniques of plants analysis*. Chapman & Hall Publishing. p. 302.
- Hilditch, C. M., P. B. Jones, P. Balding, A. J. Smith and L. J. Rogers. 1991. Ribulose biphosphate carboxylase from macroalgae: proteolysis during extraction and properties of the enzyme from *Porphyra umbilicalis*. *Phytochemistry*, 30(3):745-750.
- Hirose Hiroyuki. 1977. Composition of benthic marine algae in relation to pollution in the Seto island Sea, *Japan in Ninth International Seaweed Symposium*, 173~180.
- Johansen. H.W. 1976. Current status of generic concepts in coralline algae (Rhodophyta). *Phycologia.*, 15(2). 221~224.
- Johansen. H. W. 1981. *Coralline Algae, A First Synthesis*. Boca Raton, FL: CRC Press, 233 pp.
- Jordan, D. B. and R. Chollet. 1983. Inhibition of Ribulose biphosphate carboxylase by substrare ribulose-1,5-biphosphate. *J. Biol. Chem.*, 258: 13752-13758.
- Kang J.W. 1966. On the geographical distribution of the marine algae in Korea. *Bull. Pusan. Fish. Coll.* 7: 1-125.

- Kawashima, N. and S. G. Wildman. 1970. Fraction I protein. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 21:325-358.
- Kakisawa, H. 1988. Allelopathic fatty acid from the brown alga *Cladosiphon okamuraus*. *Phytochemistry*, 27(3): 731-735
- Kerby, N. W. and L. V. Evans. 1981. Pyrenoid protein from the brown alga *Pilayella littoralis*. *Planta*. 151: 469-475.
- Kim H.G. 2002. Vegetational Characteristics of barren grounds on the eastern coast of Korea. APPF joint conference. 34.
- Kim J.H., H.A. Lee., and S.W. Park. 2002. the role of crustose coralline algae in the establishment of macroalgae and in algal succession. APPF joint conference. 34.
- K. Lüning. 1969. Growth of amputated and dark-exposed individuals of the brown alga *Laminaria hyperborea*. *Marine Biol.* 2: 218~223.
- Knut Sivertsen. 1997. Geographic and environmental factors affecting the distribution of kelp beds and barren grounds and changes in biota associated with kelp reduction at sites along the Norwegian coast. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 2872~2887.
- Koller. K.P. and Wehrmeyer. W., 1975. B-Phycocerythrin from *Rhodella violaxea*: characterization of two isoproteins, *Archives of Microbiology*, 104(3): 255-261.
- Largo, D. B. and M. Ohno. 1997. Constructing an artificial seaweed bed. In: Ohno, M. and A. T. Critchley. (eds.). *Seaweed cultivation and marine ranching*. JICA. pp. 113-130.
- Lebednik, P. A. 1978. Development of male conceptacles in *Mesophyllum lemoine* and other genera of the Corallinaceae (Rhodophyta). *Phycologia*, 17(4). 388~395.
- Li, L.R. 1997. Structure and properties and assembly of Rubisco. In *Handbooks of photosynthesis*, (M. Pessarakli, eds), pp. 281-293. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Lobban, C.S., P.J. Harrison and M.J. Duncan. 1985. *The physiological ecology of seaweeds*. Cambridge University Press, Cambridge. 242 pp.
- Lobban, C.S. and Harrison, P.J. 1994. *Seaweed Ecology and Physiology*, Cambridge University Press, New York. 129-134.
- Lüning, K. 1990. *Seaweeds. Their Environment, Biogeography, and Ecophysiology*. Wiley-Interscience, New York, 287-296.
- Masaki, T. 1984. Crustose coralline algae. *Jap. J. Phycol.* 32: 71~85.

- Masaki, T., D. Fujita and H. Akioka, 1981. Observation on the spore germination of *Laminaria japonica* on *Lithophyllum yessoense* (Rhodophyta, Corallinaceae) in culture. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* 32(4): 349-356.
- Masaki, T., D. Fujita and N. T. Hagen, 1984. The surface ultrastructure and epithallium shedding of crustose coralline algae in an 'Isoyake' area of southwestern Hokkaido, Japan. *Hydrobiologia.* 116/117: 218~223.
- Matsuyama, K., 1991. Management strategy for Isoyake in Hokkaido, Japan. *Mariculture* 217, 2~12.
- Michael S. Foster, David R. Schiel. 1985. The ecology of giant kelp forests in California: a community profile. Fish and Wildlife Service. pp.151.
- Naylor E. 1965. Effects of heated effluents upon marine and estuarine organisms. *Adv. mar. Biol.*, 3: 63~103.
- Newman, S. M., J. Derocher and R. A. Cattolico. 1989. Analysis of chromophytic ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase indicates extensive structural and functional similarities among evolutionarily diverse algae. *Plant Physiol.* 91:939-946.
- Newman, S. M. and R. A. Cattolico. 1990. Ribulose bisphosphate carboxylase in algae: synthesis, enzymology and evolution. *Photosyn. Res.* 26:69-85.
- Notoya, M. 1976. On the influence of various culture conditions on the early development of spore germination in three species of the crustose corallines(Rhodophyta). *Bull. Jap. Soc. Phycol.*, 24, 137~142.
- Notoya, M. 1984. Phenology of *Eclonia stolonifera* Okamura at Tanosawa, Aomori Prefecture, Japan. *Jap. J. Phycol.*, 32, 94.
- Noro, T.m T. Masaki and H. Akioka. 1983. Sublittoral distribution and reproductive periodicity of crustose coralline algae(Rhodophyta, Cryptothemiales) in southern Hokkaido, Japan. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 34, 1~10.
- Ohno, M. 1993. Succession of seaweed communities on artificial reefs in Ashizuri, Tosa Bay, Japan. *The Korean Journal of Phycology*, 8(2), 191-198.
- Okazaki, M. 1977. Some enzymatic properties of Ca^{2+} dependent adenosine triphosphatase from a calcareous red alga, *Serraticardia maxima* and its distribution in marine algae. *Bot. Mar.* 20:347-54.

- Pentecost, A. 1985. Photosynthetic plants as intermediary agents between environmental HCO_3^- and carbonate deposition. In W. J. Lucas & J. A. Berry (des.), *Inorganic Carbon Uptake by Aquatic Photosynthetic Organisms* (459-80).
- Quatrano, R. S., & D. L. Kropf. 1989. Polarization of *Fucus* (Phaeophyceae) zygotes: investigations of the role of calcium microfilaments and cell wall. In A. W. Coleman, L. J. Goff, & J. R. Stein-Taylor (eds.), *Algae as Experimental Systems* (111-119).
- Rice, E. L. and R. K. Crowden. 1987. An improved method for the extraction and electrophoresis of proteins and active enzymes from fuclean macroalgae (Phaeophyta). *Phycologia* 26:235-246
- Robinson, S. P., V. J. Streusand, J. M. Chatfield and A. R. Portis Jr. 1988. Purification and assay of Rubisco activase from leaves. *Plant Physiol.* 88: 1008-1014.
- Salvucci, M. E., A. R. Portis Jr and W. L. Ogren. 1985. A soluble chloroplast protein catalyzes ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase activation in vivo. *Photosyn. Res.* 7:193-201.
- Salvucci, M. E. 1989. Regulation of Rubisco activity in vivo. *Planta.* 77: 164-171.
- Satoh, H., M. Okada, K. Nakayama and K. Miyaji. 1984. Purification and further characterization of pyrenoid proteina and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase /oxygenase from the green alga *Bryopsis maxima*. *Plant & Cell Physiol.* 25(7):1205-1214.
- Shigeo, I., Hiroyuki, M., Hirotoshi, Y. 2000. Effects of irradiance, water temperature and nutrients on the growth of sporelings of the crustose coralline alga *Lithophyllum yessonense* Foslie (Corallinales, Rhodophyceae). *Phycological Research.* 48. 115~120.
- Simkiss, K. & K.M. Wilbur. 1989. *Biomineralization: Cell Biology and Mineral Deposition.* Orlando, FL: Academic Press, 340 pp.
- Taniguchi, K. 1991. Marine afforestation of *Eisenia bicyclis* (Laminariaceae: Phaeophyta).
- Watanuki, A and H. Yamamoto. 1990. Settlement of seaweeds on coastal structures. *Hydrobiologia.* 204/205: 275-280.
- Weiner, S. 1986. Organization fo extracellularly mineralized tissues: a comparative study of biological crystal growth. *Crit. Rev. Biochem.* 20:365-408.
- Yamada, T., T. Ikawa and K. Nisizawa. 1978. Partial purification and some properties of a green alga, *Bryopsis maxima*. *Jap. J. Phycol.* 26:49-52.

- 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. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 50(7), 1115-1123.
- Yarish C. & G. Wamukoya. 1990. Seaweeds of potential economic importance in Kenya: field survey and future prospects. *Hydrobiologia*. 204/205: 339~346.
- Yarish C., C.A. Penniman & B. Egan. 1990. Growth and reproductive responses of *Laminaria longicuris* (Laminariales, Phaeophyta) to nutrient enrichment. *Hydrobiologia*. 204/205: 505~511.
- Yotsui, T. and N. Maesako. 1993. Restoration experiments of *Eisenia bicyclis* beds on barren grounds at Tsushima Islands. *Suisanzoshoku*, 41(1): 67-70. (in Japanese)
- 有賀 祐勝 外. 2000. 藻類学. 実験・実習. 講談社. pp. 188.
- 富士 昭. 1994. 世界の磯焼け現象. 磯焼け現況と課題 p.5-30
- 藤田 大介. 1990. エゾイシゴロモ (紅藻綱, サングモ目) の培養. 水産養殖. 38(4). 349~352.
- 新村巖. 1993. 海中林造成シリーズ. ⑤南日本における藻場造成技術と問題点. 水産の研究, 2(6): 67-71.
- 川井浩史. 2002. 神戸の海藻. 神戸大学 内海域機能教育研センター. pp.146.
- 石川佑司. 1983. 海中林造成シリーズ. ①ホンダワラ類の藻場造成. 水産の研究, 2(3): 58-63.
- 名畑進一, 阿部英治, 垣内政宏. 1992. 北海道南西部大成町の磯焼け. 北水試研報. 38; 1~14.
- 西澤一俊・千原光雄. 1979. “藻類研究法” 共立出版, 東京, 474-507.
- 能登谷 正浩. 2001. 海苔の生物学. 成山堂書店. pp. 172.
- 大野正夫 1987 海藻資源養殖学, 緑書房 pp.354
- 田宮博・渡辺篤. 1965. “藻類実験法” 南江堂, 東京, 296-303.
- 谷口和也. 1998. 磯焼け海中林. 裳華房. pp.196.
- 正置富太郎, 藤田 大介, 秋岡 英承. 1981. エゾイシゴロモ(紅藻サングモ科) よにおけるマコンブの発芽について. 北大水産彙報. 32(4): 349~356.
- 日本, 全国沿岸漁業振興開発協会. 2000-2001. 磯焼け診断指針作成委託事業報告書