

녹조 구멍 갈파래 (*Ulva pertusa*)의 해수 정화능과 환경교육 방안에 관한 연구

김석갑*, 홍승호**

〈 목 차 〉

- I. 서 론
- II. 재료 및 방법
 - 1. 시료의 채취 및 수조 제작
 - 2. 수질 분석
 - 2-1. 화학적 산소 요구량 (COD)
 - 2-2. 부유물질 (SS)
 - 2-3. 총인 (T-P)
 - 2-4. 총질소 (T-N)
 - 3. 구멍 갈파래의 성장 분석
- III. 실험 결과
 - 1. SS 변화량
 - 2. COD 변화량
 - 3. T-P 변화량
 - 4. T-N 변화량
 - 5. 파래의 성장 조건
- IV. 토 의
- V. 결론 및 제언
 - * 참고문헌

* 제주교육대학교 대학원 석사과정 (화북초등학교 교사)

** 제주교육대학교 과학교육과 책임강사

I. 서 론

제주도는 우리나라 최남단에 위치하여 난류의 영향을 가장 많이 받는 지역으로 해조류상의 특징이 매우 뚜렷한데, 제주도산 해조류는 녹조류 34종, 갈조류 51종, 홍조류 117종 및 남조류 3종 등 총 205종이 기재되어 한국산 해조류의 절반에 이르는 종이 생육하고 있다 (이용필,1986). 파래는 녹조류에 속하는 해조류로서 몸은 둥근 대롱 모양이고 외줄로 된 것, 곁가지가 많이 난 것, 다소 납작한 것 등 모양이 다양하고 굵기도 차이가 있다. 이들은 동일종이라도 서식처에 따라 차이가 많이 난다. 대체로 내만 담수의 영향이 있는 곳에서 많이 자라고 있으나 종류에 따라서는 바깥 바다에서도 자란다. 뿐만 아니라 바위, 말뚝, 배 밑바닥에도 붙는다. 파래는 김처럼 넓고 길게 생긴 갈파래류와 머리카락처럼 가늘고 긴 홑파래류의 두 무리로 크게 나누어진다 (강제원,1989; 이종화,1992; 김영환, 1996).

갈파래류는 갈파래속에 속하는 조류로 두껍고 단단한 쟁반처럼 생긴 헛뿌리가 나와 바위 위에 붙어 자란다. 크기는 10~100cm 정도의 길이로 다양하다. 한국에는 6종이 자생하고 있는 것으로 알려져 있으며 주로 사료나 비료로 사용한다. 한편, 홑파래류는 홑파래속에 속하는 조류로 갈파래류와 같이 쟁반모양의 헛뿌리가 나와 바위에 붙어 자란다. 길이는 10~20cm까지 자라며 한국에는 8종이 자생하고 있는 것으로 알려져 있다 (문교부,1968;1989).

최근에 이르러 제주도에는 육상에 설치된 어류, 어초 및 패류 양식장들이 증가하고 있는 실정이며 (김경민, 1995), 양식장에서 배출되는 배출수를 정화해서 바다로 보내고 있는 있으나 많은 비용이 들어가기 때문에 대다수 양식장에서는 이 문제를 소홀히 하고 있다. 따라서 현재 사회적 문제로 대두되고 있는 해양 환경 오염이 점차적으로 심각해지고 있는 실정이고, 바다의 어족자원이 사라져가고 있어 바다를 생업으로 하고 있는 어민들에게도 심각한 문제를 야기하고 있다. 이에 본 연구는 파래를 이용하여 양식장 배출수에 대한 정화작용이 있는지에 대해 살펴보고, 이를 활용하여 교육에 있어서 해양생물에 대한 호기심과 환경교육에 보탬이 되는 등 1석 2조의 효과를 내는데 그 목적을 두었다.

II. 재료 및 방법

1. 시료의 채취 및 수조 제작

시료의 채취는 3월 4일에 6회, 5월에 5회 등 총 11회에 걸쳐 실시하였다. 시료에 사용되었던 사료의 주성분은 조단백질 48.0% 이상, 조지방 3.0% 이상, 조섬유 5.0% 이하, 조회분 17.0% 이하, 칼슘 1.1% 이하, 인 2.7% 이하가 포함되었다. 이외에도 해산여류의 성장을 촉진하거나 양식조 이동 등의 환경 변화에 따른 스트레스를 예방하기 위해서 아쿠아·프레믹스라는 비타민을 투여하였다. 가로 60cm, 세로 30cm, 높이 45cm 크기의 용적량 84 l 인 아크릴 수조를 제작하여 7.1 l/h 양으로 양식장 배출수가 흘러 나오도록 하고 12시간이 지나면 물이 교환되도록 장치한 다음, 실험 수조에 지름이 3.5cm 인 파래 30개를 넣었다.

2. 수질 분석

화학적 산소 요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD), 부유 물질 (Suspended Solide, SS), 총질소 (Total-Nitrogen, T-N), 총인 (Total-Phosphorus, T-P)을 측정하여 파래의 수질 정화 능력을 조사하였다. 실험 장치내 수질 분석은 2일 간격으로 4월에 6회, 5월에 5회 등 11회에 걸쳐 수질변화를 측정하였다. 구체적인 측정 방법을 살펴보면,

2-1. 화학적 산소 요구량 (COD)

300ml 등근 바닥 플라스크에 적당량의 시료를 취하여 전량이 100ml 되도록 물을 가하고, 황산 10ml과 황산은 분말 시약 1g을 넣어 세계 흔들어 준 다음 수분간 방치하고 0.025N-과망간산칼륨 용액 10ml를 넣고 등근 바닥 플라스크에 냉각관을 붙이고 수욕의 수면이 시료의 수면보다 높게 하여 끓는 수욕중에는 30분간 중탕하였다. 냉각관의 끝을 통하여 약간의 물로 씻어준 다음 냉각관을 떼어내고 수산화나트륨 (0.025N) 10ml을 넣고 60°C ~ 80°C를 유지하면서 0.025N-과망간산칼륨 용액을 사용하여 액의 색이 옅은 홍색을 나타낼때까지 적정하였다. 대조군으로 물 100ml을 사용하여 같은 조건으로 실험을 행하였다. 위에서 측정된 값을 갖지고 COD량을 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{COD (mg/l)} = (B-A) \times F \times 1000/V \times 0.2$$

A : 대조실험 적정에 소비된 0.025N-과망간산칼륨용액 (ml)

B : 시료의 적정에 소비된 0.025N-과망간산칼륨용액 (ml)

F : 0.025N-과망간산칼륨용액 역가 (factor)

V : 시료의 양 (ml)

2-2. 부유물질 (SS)

유리 섬유 여지 (GF/C)를 미리 정제수로 씻고 105~110°C의 건조기 안에서 2시간 동안 건조시키고 난 후, 황산데시케이터에 넣어 30mm~40mm 방냉한 후 무게를 재었다. 시료 적당량을 여과기에 주입하여 흡인 여과시키고, 여과기의 기벽과 여지성의 잔류물을 물로 수 회 씻었다. 핀셋으로 유리 섬유성 여지를 주의하면서 여과기에서 끄집어 내고 105~110°C의 건조기 안에서 2시간 건조시켰다. 이렇게 건조 시킨 것을 황산데시케이터에 넣어 30mm~40mm 방냉 시킨 후 무게를 재었다. 위에서 측정된 값을 기초로 SS량은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{SS (mg/l)} = (B-A) \times 1000/V$$

(B : 여과후, A : 여과전)

3) 총인 (T-P)

전처리한 시료의 상등액 25ml를 취하여 마개가 있는 시험관에 넣고 폴리브덴산암모늄·아스코르빈산혼 용액 2ml를 넣고 흔들어 섞은 다음 20~40°C에서 15분간 방치하였다. 이 용액의 일부를 10mm 흡수셀에 옮겨 검액으로 하고 대조군으로 물 50ml를 취하여 시료의 실험방법에 따라 880nm에서 검액의 흡광도를 측정하고 미리 작성한 검량선으로부터 인의 양을 구하여 다음식으로 농도(mg/l)를 산출하였다.

$$\text{인 (mg/l)} = a \times 60/25 \times 1,000/50$$

a : 검량선으로부터 구한 인의 양(mg)

4) 총질소 (T-N)

전처리한 시료가 들어있는 분해병에 염산(1+1) 10ml를 넣고 흔들어 섞은 다음 100

ml 용량 플라스크에 옮겼다. 분해병의 안쪽을 소량의 물로 수 회 씻어 용량플라스크에 합하고 염화암모늄-암모니아 용액 10ml를 넣어 물로 표선을 채워서 환원용 시료액으로 사용하였다. 이 용액 5ml를 환원칼럼의 상부로부터 매분당 약 10ml의 속도로 흘러 보내 유출액은 버리고 이 조작을 한 번 더 반복하였다. 그리고 난 후 환원용 시료액 약 80ml를 위와 같은 속도로 보내 처음 유출액 20ml는 버리고 다음 유출액 50ml를 수기에 받아 측정용 시료로 사용하였다. 측정용 시료 적당량을 취하여 시험하고 대조군으로 물 50ml를 취하여 시료의 시험방법에 따라 시험하여 검액의 흡광도를 보정한 다음 미리 작성한 검량선으로부터 환원용 시료 100ml중의 총질소양을 구하고, 다음식으로 농도(mg/l)를 산출하였다.

$$\text{총질소 (mg/l)} = a \times 1,000/V$$

a : 환원용시료 100ml중의 총질소(mg)

V : 전처리에서 취한 시료량(ml)

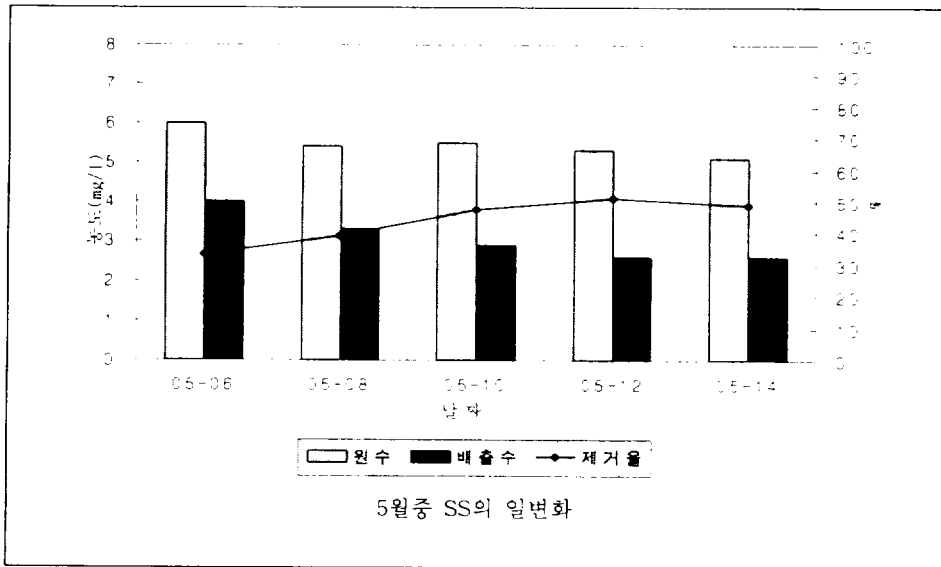
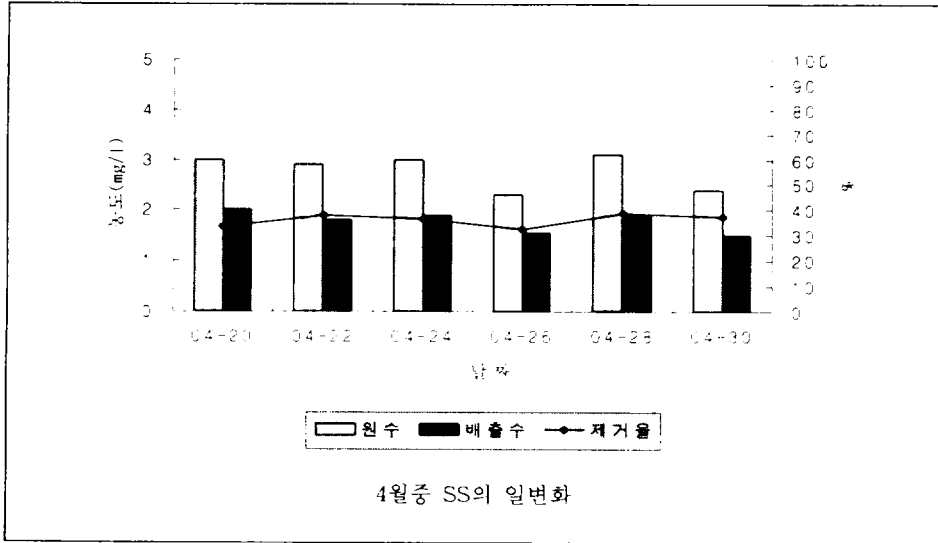
3. 구멍 갈파래의 성장 분석

구멍 갈파래의 성장 조건을 알아보기 위해 조천과 성산 두 지역의 수온의 변화와 성장 상태를 월별로 조사하였다.

Ⅲ. 실험 결과

1. SS 변화량

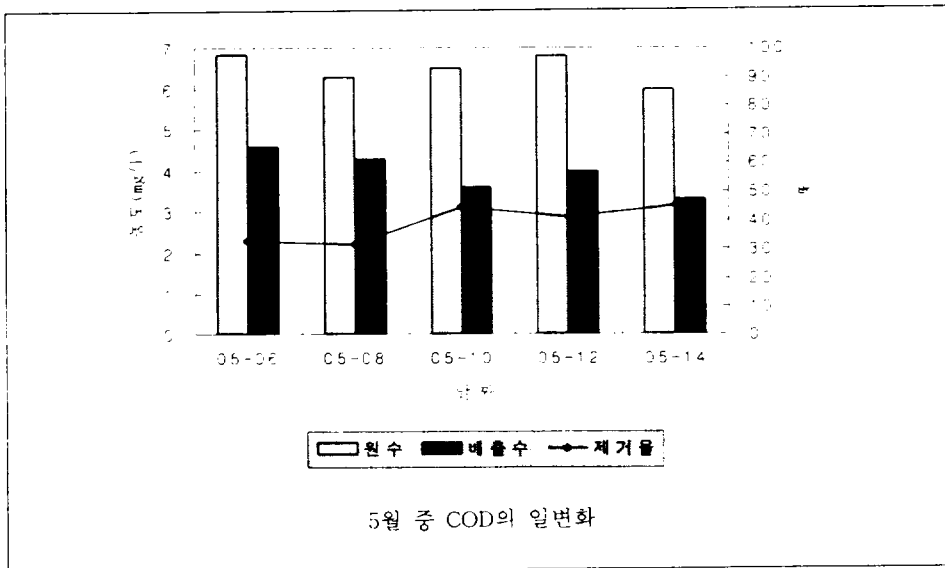
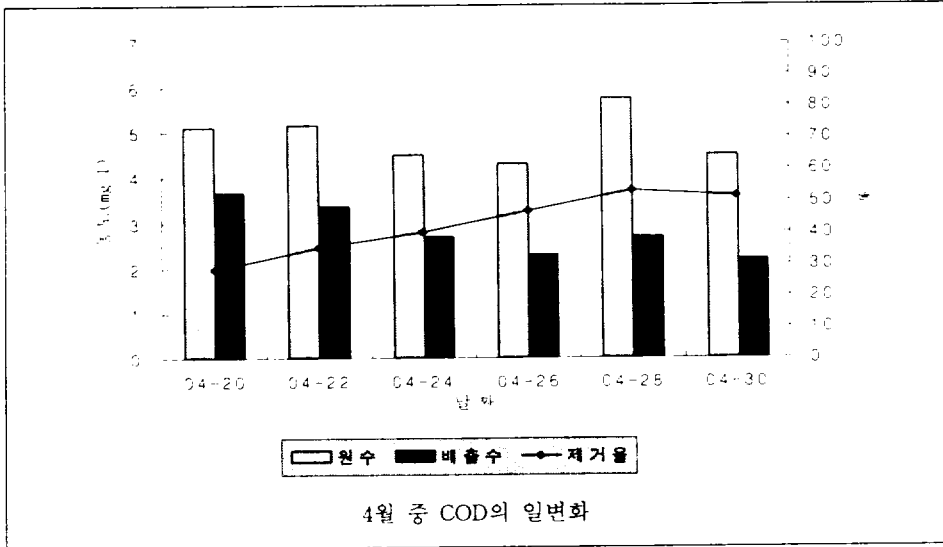
양식장에서 먹이로 사용하는 사료를 이용하여 SS가 3~6mg/l 정도 되게 원수를 만들어 SS 변화량을 측정된 결과, 배출수는 1.5~4mg/l의 농도로 배출되었다. 4월과 5월로 나누어 실험을 행한 결과, 5월의 경우가 평균적으로 SS가 많이 제거되었다(그림 1).



<그림 1> SS의 일변화 비교

2. COD 변화량

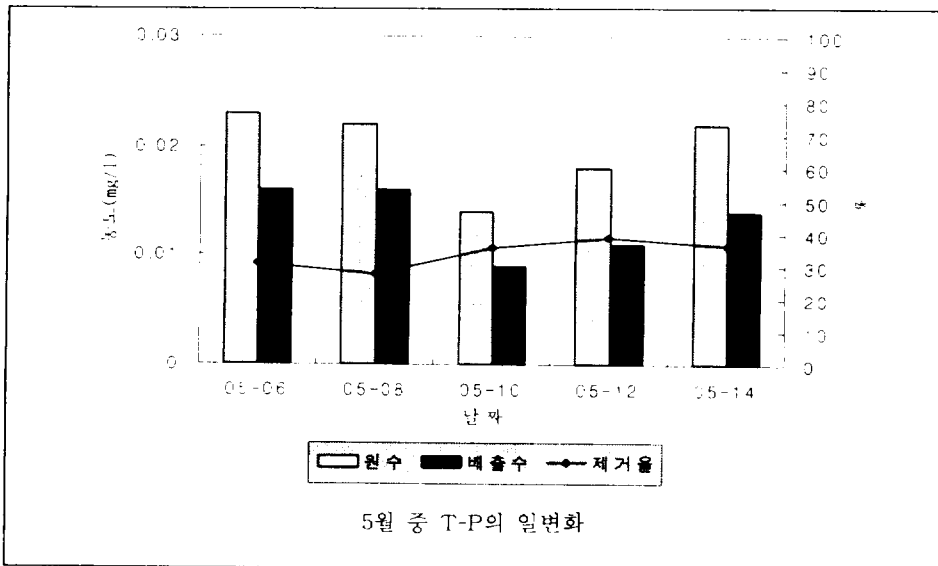
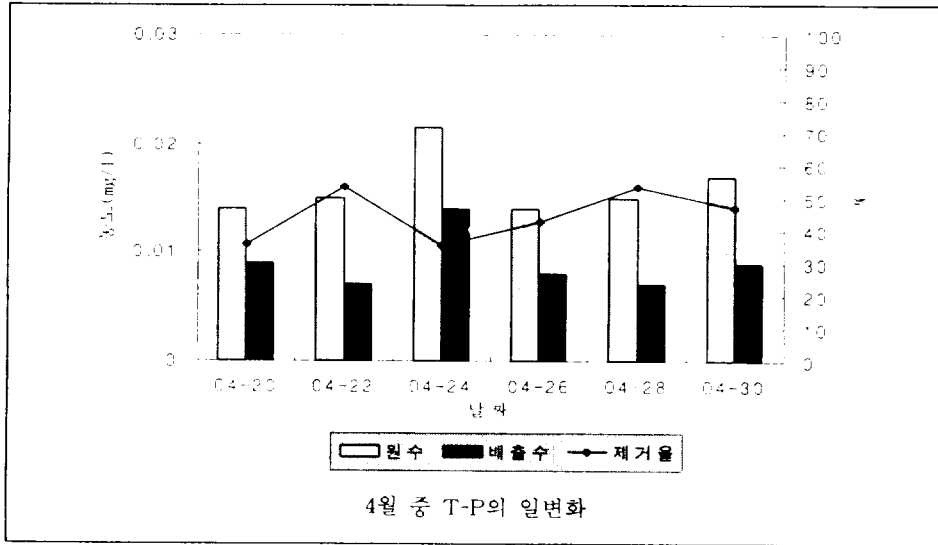
COD 원수의 농도를 5.1~6.8mg/l 정도 되게 만들어 COD의 변화량을 측정 한 결과, 배출수는 2.2~4.6mg/l의 농도로 배출되었다. 그리고 4월과 5월로 나누어 COD 변화량을 분석한 결과 각각 42.3%와 39%가 제거되었다 (그림 2).



〈그림 2〉 COD의 일변화 비교

3. T-P 변화량

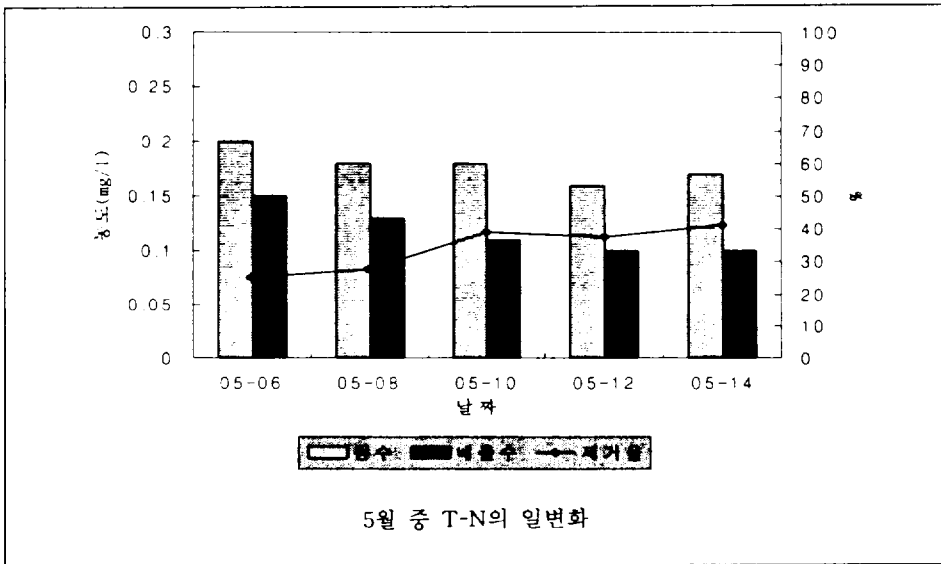
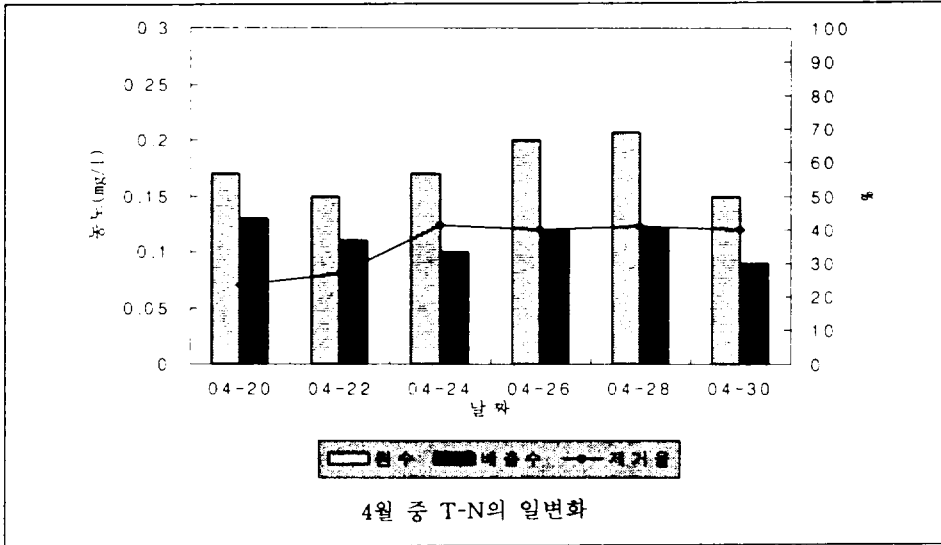
원수의 농도를 0.014~0.22mg/l 정도 되게 만들어 T-P의 변화량을 측정 한 결과, 배출수는 0.007~0.16mg/l의 농도로 배출되었다. T-P의 경우에는 4월에는 평균 44.6%의 제거율을 보였고, 5월달에는 33.7%의 제거율을 나타내었다 (그림 3).



〈그림 3〉 T-P의 일변화 비교

4. T-N 변화량

원수의 농도를 0.16~0.21mg/l 정도 되게 만들어 T-N의 변화량을 측정된 결과, 배출수는 0.1~0.15mg/l의 농도로 배출되었다. T-N의 제거율은 4월에 35.4%, 5월에 34.1%로 나타났다 (그림 4).



<그림 4> T-N의 일변화 비교

5. 파래의 성장 조건

파래가 집중적으로 채취되는 조천 연복정 부근과 성산 내만의 월별 바다 평균 수온과 파래의 일일 성장속도를 표 1에 제시하였다. 성산과 조천 두 지역의 파래 성장속도와 수온과의 관계를 살펴볼 때, 성산지역인 경우 월별 수온의 변화가 크지만 파래의

평균 성장속도는 조천에 비해 훨씬 높게 나왔다. 파래는 보통 수온이 14°C ~ 17°C 사이에서 최적의 성장 조건을 보였다. 이러한 온도 범위내에서 빨리 자랄 때에는 하루에 7 ~ 8cm까지 성장하였다. 하지만 수온이 20°C가 넘어가면 오히려 성장 속도가 감소되면서 녹아 먼지처럼 소멸해 버렸다 (성산 파래생장의 8월과 9월 참조).

〈표 1〉 수온 및 파래 성장 속도 비교

(단위 °C, cm)

지역 \ 월		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
성산	수온	12.8	13.2	14.1	15.9	17.7	19.1	20.9	22.8	21.3	19.3	16.9	14.2	17.35
	파래 성장	0.8	2.1	4.3	5.7	6.5	7.1	3.8	·	·	3.1	4.7	1.2	3.93
조천	수온	14.1	14.9	16.0	16.9	18.1	18.8	19.7	20.9	18.8	17.3	16.2	14.9	17.22
	파래 성장	2.0	2.1	2.8	3.5	4.3	5.8	3.9	2.6	4.2	3.8	2.7	1.6	3.27

IV. 토 의

구멍 갈파래를 이용한 정화능을 연구한 결과, 배출수의 SS 변화량은 4월인 경우 0.75~1.2mg/l, 5월인 경우 2~2.7mg/l가 제거됨으로써 파래성장에 이용되었다. 이러한 결과는 SS가 시간이 지날수록 좀 더 많이 파래에 흡착되어 양분으로 흡수되었거나, 침전으로 인해 배출량이 적은 것으로 추정된다. 또한 배출수의 COD 변화량을 측정한 결과 4월에는 42.3%, 5월에는 39%가 제거되었다. 이러한 결과는 SS의 침전에 의한 영향도 있겠지만, 파래의 성장에 필요한 영양소로 이용되었음을 알 수 있다. T-P 변화량은 4월에 평균 35.4%, 5월에 33.7%가 제거되어 부영양화 방지에 도움이 되었다. T-P는 수역의 부영양화를 초래하는 원인물질이므로 해역으로 방류되는 T-P의 농도를 최대한 줄여야 할 필요가 있다. 배출수의 T-N은 원수와 비교할 때 4월 35.4%, 5월에 34.1%가 감소되어 침전과 파래의 성장에 필요한 영양소로 이용된 것 같다. 이러한 유기물질의 요소가 되는 T-N과 T-P에 대한 파래의 제거 효과는 공간을 확대한 실제

해양 환경에서 체내 흡수를 통한 유기물의 합성을 도와 물질대사에 이용될 수 있을 뿐만 아니라 1, 2차 소비자의 배설물 또는 사체의 인, 질소 성분들을 제거함으로써 해양 환경에서의 인과 질소의 순환에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

성산과 조천 지역의 파래 성장 속도와 수온과의 관계를 비교해 볼 때 성산지역인 경우 월별 수온의 변화가 크지만 파래의 평균 성장속도는 조천에 비해 훨씬 높게 나왔다. 이것은 파래가 성장하는데 온도 요인 외에 부영양화와 담수의 유입, 조류의 흐름 등의 요인들이 조천에 비해 성산 지역이 유리하기 때문으로 추측된다. 즉 파래는 바닷가의 조간대 상부, 특히 민물이 흘러 들어오는 곳에서 잘 자라며, 조용한 조수 웅덩이 따위에서 큰 군락을 이룬다. 종류에 따라 생육시기가 다르지만 보통 늦은 가을부터 초여름까지 번무하기 때문이다.

연구 보고에 의하면 파래는 단백질, 무기염류, 탄수화물 등 17가지의 영양소로 구성되어 있다 (농촌진흥청 생활연구소, 1996). 다른 해양식물과 비교해 볼 때 특히 칼슘, 인, 철, 비타민 A 등의 무기질이 풍부하여 성장기에 있는 어린이, 40~50대의 여성, 골다공증 환자, 빈혈을 갖고 있는 사람에게 좋은 음식이라 할 수 있다. 현재 다양한 파래중 식용과 사료용으로 수출되는 파래는 구멍 갈파래로서 일본에서는 다양한 식품 개발이 이루어져 과자류나 부침, 스낵, 조미료 심지어 의약품에까지 사용되고 있지만 우리 나라에서는 과자류에만 소량 사용되고 있는 실정이다 (차규대, 1997). 제주도에서 생산된 파래는 색깔이나 성분이 우수하여 일본에서 많은 호평을 받고 있으나 계절에 따른 색깔의 변화와 채취량의 차이로 주기적인 원료 생산이 이루어지지 못하고 일본에서 필요로 하는 양을 충족하지 못하고 있는 실정이다. 파래의 상품화를 이루어지는 데는 이물질 제거가 가장 중요한데, 도내 가공 공장에서는 자본 및 기술력의 부족으로 일본에서처럼 완벽한 제거가 이루어지지 않아 일본 현지의 가공 공장에서 다시 한 번 이물질 제거가 이루어진 후 식용으로 사용되고 있다. 불행하게도 우리 나라에서 소비되는 가공용 파래는 일본에서 전량 역수입하고 있는 실정이다. 따라서 이물질 제거에 대한 기술 개발이 빠른 시일내에 이루어져야 하겠다.

지금까지 제주도내 자연환경에 관한 연구는 도민들의 생활에 직접적으로 영향을 미치는 면을 중심으로 추진되어 왔으나 해조류와 같이 영향이 적다고 생각되는 주제에 대해서는 관심이 부족하였다. 해조류는 해양동물의 먹이나 사람들에게 건강 식품으로서 생태계에서 1차 생산자 역할을 하고, 해수 정화 작용 등 해양환경에 크나큰 역할을 담당하고 있다 (강제원, 1977). 이러한 중요한 역할을 가진 해양 1차 생산자에 대한 해

양오염은 장래에 인류의 생존을 위협할 수도 있다. 따라서 환경교육적인 측면에서 개발과 보전이라는 함수적 고리를 잘 연결해야 할 필요가 있다. 인구의 증가와 산업의 발달로 인하여 개발이라는 불가피한 현실에서 보다 효율적이면서 지속적인 환경, 생태에 대한 인식이 절실히 필요하다. 이러한 일은 우선 해양 생태계의 기능과 가치를 바르게 이해하지 못하고 있는 공장주나 양식업자 등에서부터 시작하여 점차 전체 국민으로 확산해 가는 환경교육의 당위성을 주지시켜야 한다. 지금이 바로 이러한 시점이며 지역개발 또한 환경보존을 위한 친환경적인 체계를 확립하여 지속적인 관심과 연구를 해나갈 때 자연과 더불어 살아가는 지혜를 터득할 수 있다고 본다. 후일의 우리 자손들이 청정하고 아름다운 해양환경을 만끽하려면 현재의 우리세대들의 노력이 너무나 중요함은 명백하다. 21세기는 첨단 과학, 정보 통신, 물질 문명의 시대라고 한다. 따라서 우리에게 새로운 희망을 줌과 동시에 책임을 강조하고 있다. 물질 문명이 발달함에 따라 인간에게 주어지는 중요한 책임은 자연을 보다 더 적극적으로 활용하면서 생태계의 균형을 유지하는 것이다. 기하급수적으로 늘어나고 있는 인구 증가에 따른 식량 부족의 문제를 바다를 통해 해결하기 위한 노력이 점차 많아지고 있다. 특히 제주도 1970년대부터 잡는 어업에서 기르는 어업으로의 전환으로 육상에 양식장을 설치하여 여러 종의 어류, 패류 및 어초 등의 양식을 통해 많은 해산물을 생산해 내고 있다 (월간 양식산업, 1995; 월간 양어, 1996). 그러나, 이에 따른 배출수의 증가로 인하여 바다가 오염되고 있어 해양 생태계를 위협하고 있다. 따라서 본 연구 결과로 비추어 제주도 해안에 많이 자생하는 파래를 보호하여 해수 정화에 기여하고 적정량을 수확하여 수출함으로써 어민의 수입증대에도 기여할 수 있으리라 사료된다.

V. 결론 및 제언

본 연구 결과 양식장 배출수를 바다로 바로 흘러 보내는 방식의 정화 수조에 파래를 이용하여 배출수의 유기물과 영양염류를 감소시킴으로써 수질을 개선하고 양식장 주변 생태계 보호는 물론 적조, 백화 현상을 예방할 수 있는 좋은 자료가 되리라 생각한다. 뿐만 아니라 다른 해조류의 바다 정화능을 고려할 때, 적절한 해조류 보호대책을 수립하고 아울러 환경교육 측면에서 계도해 나감으로서 생태계의 유지에 이바지할 수 있을 것이다. 본고에서 정체된 수조에서의 배출수에 대한 파래 정화 결과가 비

생물학적 요소가 많이 가미된 해양의 유수 상태에서도 동일하게 일어날 수 있는가와 해조류를 섭생하는 패류, 어류 등의 1, 2차 소비자에 의한 해양 환경 정화능에 대해서도 좀 더 많은 연구가 필요하다. 갈수록 심해지고 있는 해양 자원의 고갈과 환경 오염을 작은 측면에서부터 자각하여 실천해 나감으로서 인간을 포함한 생태계를 살리고 보존하는 길일 것이다. 개발과 보존의 상극적인 문제에서 무엇이 먼저이고 나중인가를 떠나 적절한 상호보완책을 수립되어 생태계의 균형이 잘 유지되게 한다면 그것은 곧 후일에 우리 자손에게 물려줄 영원한 재산일 듯 싶다.

❖ 참 고 문 헌 ❖

- 강제원 역 (1989), 해산식물학, 대한교과서주식회사.
강제원 (1977), 해조양식, 태화출판사.
김경민 (1995), 넓치종묘 양산 시험, 제주대학교 석사학위 논문.
김영환 역 (1996), 해산식물학, 형설출판사.
농촌진흥청 생활연구소 (1996), 식품성분포 제5개정판, 208-309.
문교부 (1968), 한국 동식물도감 식물편 해조류, 국정교과서.
문교부 (1989), 한국동식물도감 해조류편, 국정교과서.
월간 양어 (1996), 대진미디어.
월간 양식산업 (1995), 수산출판사.
이용필 (1986), 제주도의 해조상 한국조류학회지 제1권 제1호, 157~167.
이중화 (1992) 해양생물학, 동화기술.
차규대 (1997), 양식공학, 부경대학교 출판부.