



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

환경변화에 따른 제주도 오분자기(*Haliotis  
diversicolor aquatili*)의 자원변동 및  
기초 생리학적 특성 분석



濟州大學校 大學院

海洋生命科學科

康 景 弼

2011 年 2 月

환경변화에 따른 제주도 오분자기(*Haliotis  
diversicolor aquatili*)의 자원변동 및  
기초 생리학적 특성 분석

指導教授 呂寅圭

康景弼

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

2011 年 2 月

康景弼의 理學碩士 學位論文을 認准함

審査委員長 李濟熙 (印)

委員 許文洙 (印)

委員 呂寅圭 (印)

濟州大學校 大學院

2011 年 2 月

Studies on the Population Changes and Basic Physiological  
Characters due to Climate Change on Small Abalone  
(*Haliotis diversicolor aquatili*) in Jeju Island

Kyung-pil Kang  
(Supervised by professor In-Kyu Yeo)

A thesis submitted in partial fulfillment  
of the requirement for the degree of  
Master of Science

Department of Marine life science  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

February, 2011

## 목 차

목차 .....	i
List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	vi
I. 서론 .....	1
II. 서식 환경변화에 따른 제주도 오분자기( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> )의 자원 변동 조사 .....	6
1. 서론 .....	7
2. 재료 및 방법 .....	9
1) 자원생태 기반조사 .....	9
2) 환경조사 .....	10
3) 서식생물상 조사 .....	11
3. 결과 .....	12
1) 전복류의 어획상황 및 자원회복 사업실태조사 .....	12
가. 오분자기의 연도별 어업생산현황 .....	12
나. 전복류의 자원회복 사업 실태 .....	15
2) 수심별 오분자기 분포특성 및 자원밀도 조사 .....	18
3) 해역환경조사 .....	21
4) 저서동물 종조성 및 우점종 .....	24
5) 해조류 종조성, 생체량 및 우점종 .....	27
4. 고찰 .....	31
III. 수온, 염분변화에 따른 제주도 오분자기( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> )의 기초 생리학적 특성 분석 .....	34
1. 서론 .....	35
2. 재료 및 방법 .....	38
1) 실험 전복 .....	38
가. 수온 변화 .....	38
나. 염분 변화 .....	38
다. 고수온 저염분 변화 .....	39

2) 생존율 측정 .....	39
3) 혈림프(Hemolymph) 수 측정 .....	39
4) 항산화 효소 측정 .....	40
5) Phenoloxidase activity 측정 .....	40
6) Lysozyme activity 측정 .....	41
7) 통계처리 .....	41
3. 결과 .....	42
2-1) 오분자기의 수온변화에 따른 생존 및 생리적 특성 분석 .....	42
2-1-1) 생존율 측정 .....	42
2-1-2) 혈림프 수 변화 .....	43
2-1-3) 항산화효소 변화 .....	44
2-1-4) Phenoloxidase activity 변화 .....	46
2-1-5) Lysozyme activity 변화 .....	47
2-2) 오분자기의 염분변화에 따른 생존 및 생리적 특성 분석 .....	48
2-2-1) 생존율 측정 .....	48
2-2-2) 혈림프 수 변화 .....	49
2-2-3) 항산화효소 변화 .....	50
2-2-4) Phenoloxidase activity 변화 .....	52
2-2-5) Lysozyme activity 변화 .....	53
2-3) 오분자기의 고수온 저염분변화에 따른 생존 및 생리적 특성 분석 .....	54
2-3-1) 생존율 측정 .....	54
2-3-2) 혈림프 수 변화 .....	55
2-3-3) 항산화효소 변화 .....	56
2-3-4) Phenoloxidase activity 변화 .....	58
2-3-5) Lysozyme activity 변화 .....	59
4. 고찰 .....	60
IV. 종합 고찰 .....	66
V. 요약 .....	72
VI. 참고 문헌 .....	74

## List of Tables

Table 1. Annual changes of production in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ). .....	13
Table 2. Annual changes of production in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ). .....	14
Table 3. The propulsive situation of the discharge of industrial marine species in Jeju Island. ....	16
Table 4. The propulsive situation of the discharge of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) in Jeju Island. ....	17
Table 5. Population density and size of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) at August 2009. ....	19
Table 6. Population density and size of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) at October 2009. ....	20
Table 7. Results of water analysis of surface layer in four areas for investigation at August 2009. ....	21
Table 8. Results of water analysis of mixed layer in four areas for investigation at October 2009. ....	22
Table 9. Results of deposit analysis in four areas for investigation. ....	23
Table 10. Appearance pattern of benthic fauna in four areas for investigation at October 2009. ....	25
Table 11. Appearance pattern of marine algal flora in four areas for investigation at August 2009. ....	28
Table 12. Appearance pattern of marine algal flora in four areas for investigation at October 2009. ....	29
Table 13. Variations of hemolymph factors of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water temperature stress. ....	43
Table 14. Variations of hemolymph factors of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water salinity stress. ....	49
Table 15. Variations of hemolymph factors of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. ....	55



## List of Figures

Fig. 1. Fact finding survey on the small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) in Jeju Island. ....	9
Fig. 2. Survival rate of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water temperature stress. ....	42
Fig. 3. Change of superoxide dismutase (SOD) activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water temperature stress. ....	45
Fig. 4. Change of catalase(CAT) activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water temperature stress. ....	45
Fig. 5. Phenoloxidase activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water temperature stress. ....	46
Fig. 6. Lysozyme activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water temperature stress. ....	47
Fig. 7. Survival rate of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water salinity stress. ....	48
Fig. 8. Change of superoxide dismutase (SOD) activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water salinity stress. ....	51
Fig. 9. Change of catalase(CAT) activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water salinity stress. ....	51
Fig. 10. Phenoloxidase activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water salinity stress. ....	52
Fig. 11. Lysozyme activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute water salinity stress. ....	53
Fig. 12. Survival rate of small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. ....	54
Fig. 13. Change of superoxide dismutase (SOD) activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. ....	57
Fig. 14. Change of catalase(CAT) activity in small abalone ( <i>Haliotis diversicolor aquatili</i> ) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. ....	57



Fig. 15. Phenoloxidase activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*)  
exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. .... 58

Fig. 16. Lysozyme activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed  
to acute high water temperature and low water salinity stress. .... 59



## Abstract

In conducting this experiment, *Haliotis diversicolor aquatilis* was used to physiological functional change characters by the change of environmental water.

The experiment was executed from 3 experimental condition(water temperatures stress, water salinity stress, high water temperature and low water salinity stress). This study was conducted to investigate survival rate, hemolymph, antioxidant enzyme activity (CAT and SOD), phenoloxidase activity, lysozyme activity in blood of abalone(*Haliotis diversicolor aquatilis*). Abalone initially average shell length  $4.17 \pm 0.03$  mm, shell width  $2.82 \pm 0.02$  mm, weight  $12.0 \pm 0.36$  g were obtained from abalone culture farm and maintained at about 20°C, 33 psu in indoor water tank.

Water temperatures stress experiment, survival rates of small abalone were 100% at 15, 20 and 25°C experimental group. However, that was 91% in abalone at 10°C experimental group. Also all the small abalone died at 30°C experimental group. The SOD and CAT activity was increased immediately after exposure to water temperature at 15°C experimental group. Phenoloxidase activity of 10°C experimental group was increased by 24 hr compared to 20°C experimental group. Also 10, 15 and 25°C experimental groups were increased by 48 hr compared to 20°C experimental group. Lysozyme activity of 10 and 25°C experimental groups was increased by 6, 24 and 48 hr compared to 20°C experimental group.

Water salinity stress experiment, survival rates of small abalone were 100% at 30, 33 and 35 psu experimental group. However, that was 98% in small abalone at 25 psu experimental group. SOD activity of 25 psu experimental group was increased by 48 hr compared to 33 psu experimental group. Lysozyme activity of 25 psu experimental groups was increased by 24 hr compared to 33 psu experimental group.

High water temperature and low water salinity stress experiment, survival rates of abalone were 6% at 33 and 30 psu experimental group. However, that was died at 27, 24 and 21 psu experimental group. SOD activity of 24 psu experimental group was increased by 6 hr compared to 20°C and 33 psu experimental group. CAT activity of 33 psu, 30 psu, 27 psu and 24 psu experimental group was increased by 3 hr compared to 20°C and 33 psu experimental group. Also 33 psu experimental groups were increased by 12 and 24 hr compared to 20°C and 33 psu experimental group. Phenoloxidase

activity of 24 psu experimental group was increased by 3, 6 hr compared to 20°C and 33 psu experimental group. Also 27 psu experimental groups were increased by 6, 12 hr compared to 20°C and 33 psu experimental group. Lysozyme activity of 21 psu experimental groups was increased by 3 hr compared to 20°C and 33 psu experimental group. Also 24 psu experimental groups were increased by 12 hr compared to 20°C and 33 psu experimental group.



## 1. 서론

최근의 수산 산업은 빠르게 양식 산업으로 전환되고 있고 많은 수산 생물 종들이 양식화 되고 있으며 그 중 대부분을 어류가 차지하고 있다. 어류를 제외하면 전복, 굴 등과 같은 패류 및 새우류와 같은 갑각류가 양식되고 있다. 우리나라는 1980년대까지는 어업생산량이 500톤을 상회하였으나, 그 이후 계속 감소하여 1990년대 초에는 300여 톤, 그리고 1997년도에는 214톤이 생산되어 1980년대 초의 50% 수준에 머물고 있다.

전복은 예로부터 값비싼 수산물의 대명사로 알려져 왔는데, 그 이유는 많은 영양분을 고루 함유하고 있고 맛이 좋은 보양식으로 상품가치가 높았는데 반해, 이동성이 별로 없어 포식동물이나 인간에게 쉽게 잡히고 성체로 자라는데 오랜 시간이 걸려 희소하기 때문이다. 따라서 전복 양식에 대한 관심은 높았으나 그 동안 주로 마을 어장 등에 종패를 뿌린 후 일정 기간 뒤에 채취하는 바닥식에 의존해 왔다. 여기서 채취한 전복은 대부분 자연산으로 취급되어 이 방법을 양식으로 보기에 한계가 있었다. 따라서 1970년대 후반 제주도와 일부 남해안 연안에서 해상 채종식 양식법을 도입한 것이 본격적인 전복 양식의 효시로 볼 수 있으며, 그 후 1980년대 후반 육상 수조식과 가두리 양식시험이 성공하여 가두리양식 면허를 받을 수 있도록 수산업법을 개정하여 지난 2001년부터 시행할 수 있게 되었다.

제주도에 서식하는 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*)의 생산량은 지난 2005년 15톤으로 1994년 200t보다 무려 13배 이상 급감했다. 이에 따라 제주특별자치도가 오분자기 종묘생산시설 확충 계획을 세워서 어민 소득증대를 위해 노력하고 있다. 하지만 종묘의 생존율은 50% 수준에 머물고 있어서 큰 실효를 보지 못하고 있는 형편이다. 오분자기 종묘의 생존율이 이렇게 낮은 데에는 방류시기, 방류장소, 방류 시 종묘의 크기, 방류량, 방류방법, 오분자기 종묘를 먹이로 하는 생물들, 수온 변화, 염분 변화 등에 이유가 있다.

양식환경에서 주로 받는 스트레스로는 크게 화학적 요인과 물리적 요인 등으로 나눌 수 있는데, 이들 중 물리적 요인으로는 염분(Singley and Chavin, 1971), 사육 밀도(Wedemeyer and Mcleay, 1981), 수온(Fryer, 1975) 등이 있으며, 화학적 요인으로는 어류의 기생충 구제제로 사용되는 포르말린(Cho and Yang, 1996) 및 황

산동(Varanka et al., 2001)과 같은 소독약제 투여 등이 있다. 이러한 환경변화에서 발생하는 물리적 스트레스 및 화학적 스트레스는 사육 시 성장, 번식, 대사, 삼투압조절 등 어류의 생리적 변화를 유발시켜 양식 생산성에 큰 영향을 미친다.

스트레스를 받게 되면, 1차적으로 신경계와 내분비계가 자극을 받고, 2차적으로는 삼투압 조절(Robertson et al., 1988) 및 대사에너지 동원증가(Barton and Schreck, 1987)등이 일어나며, 3차적으로 성장 감소(Clarke et al., 1981), 번식억제(Carragher and Sumpter, 1990), 면역력 저하(Maule et al., 1987; Pickering, 1992)에 따른 질병 감염률 증가로 결국 폐사에 이를 수 있는데(Strange et al., 1977; Wedemeyer and Mcleay, 1981) 이런 현상은 동시다발적으로 일어난다고 보고되어 있다(Mazeaud et al., 1977; Schreck, 1981; Smith, 1982).

수온은 변온동물(Poikilotherms)의 대사율을 결정하는 주요한 환경 조절인자이며(Fry, 1971), 먹이섭취(Peck, 1989), 암모니아 배설(Lyon, 1995), 산소 소비(Barkai and Griffiths, 1988; Lyon, 1995), 성장(Hahn, 1989; Peck, 1989) 및 생존(Hahn, 1989)등에 직접적으로 영향을 미친다. 특히 생물에 있어 온도에 대한 순화(Acclimation)는 환경변화에 대한 적응현상이지만 각 생물들은 그들만의 최적 생활 수온을 가지고 있다(Shamseldin et al., 1997). 따라서 생물들은 그들의 최적생활 수온 범위를 벗어나면 온도에 보상하려는 현상을 보이게 되고, 심하면 스트레스(Stress)를 받게 된다. 이러한 스트레스는 양식어류에 생리적 불균형을 가져온다.

최근, 수온의 변화는 연안해역의 대규모 산업 시설인 발전소, 제철공장, LNG 저장 기지로부터 냉·온배수의 연안해역 방류에 의해서도 수산생물상의 변화 및 수산 자원량에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며(Kim and Kim, 2001), 이러한 수온 변화에 의해서 해양생물들은 대사율이 변하고 동시에 산소 소모량도 변화하는 것으로 알려져 있다. 그 중 성장촉진을 위하여 고수온에 순치된 어류는 저수온에 약한 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다(Horning and Pearson, 1973). 또한 고수온에서는 항체 형성시간이 빠르며 항체가도 높게 나타나는 반면, 저수온에서는 항체 형성이 늦어지고 항체가도 낮아진다고 보고되고 있다(Avtalion et al., 1976; Salati et al., 1988; Pang and Park, 1994). 이처럼 수온은 어체의 면역 및 기초 생리학적인 변화를 초래하는 주요한 인자로 여겨지고 있다.

특히, 급격한 수온 변화는 어류에게 있어 스트레스로 작용하여 어류의 건강도를

저하시켜 질병을 유발시키는 요인으로 작용한다(Wedemyer and Mcleay, 1981). 또한 여름철 우리나라 동해안에서 발생하는 냉수대로 인한 급격한 저수온 변화는 어류의 성장을 느리게 하고 질병을 발생시키는 요인으로 알려져 있다.(Park, 1978; Schreck, 1981).

염분도는 복족류의 생장에 영향을 끼치는 중요한 요소(Chen et al., 1984)로써 우리나라처럼 계절적인 변화로 인하여 여름철 장마기간 동안 저염분 현상이 나타나는 경우에는 전복 생산에 있어서 많은 문제가 발생된다. 우리나라의 장마철인 6~8월 사이의 염분변화는 해양예보시스템(<http://kops.kordi.re.kr>)에 따르면 10 psu 이하로 내려가는 일수가 5일 이상 지속되거나 반대로 35 psu 이상 염분도가 올라가는 경우도 나타났다.

1 psu의 변화는 삼투압으로 2/3기압에 해당하므로 염분도의 변화는 해양동물의 삼투압에 상당한 영향을 끼칠 수 있다. 특히 경골어류와 달리 해양 무척추동물은 삼투 순응형 동물이므로 체내 삼투압의 조절 능력이 없어 체내의 삼투압을 외계의 삼투압과 함께 변화 시키게 된다. 이 경우 삼투 조절 실패로 인하여 치사에 이르게 된다.

제주도 연근해는 쿠로시오의 영향과 대마난류의 영향을 강하게 받는다. 쿠로시오와 대마난류는 열과 염 및 해양중의 각종물질과 생물을 분배·이동시킴으로써 제주도 연근해의 물리특성과 해양생태환경에 큰 영향을 미친다. 또한 제주도 연근해는 한반도 연안역과 중국 대륙으로부터 유입되는 물질이 상호 교환되는 해역이며, 고염의 대양 해수와 저염의 연안수가 혼합됨으로써 해양생물의 다양성이 매우 강하게 나타나는 해역이다. 하지만 21세기에 들어서 기후변화에 따른 해양환경 변화가 심해지고 있어서 해양 생태계에 큰 영향을 미치고 있다.

제주도의 수온, 염분의 분포 범위는 각각 9~30℃와 27.3~34.6 psu로 나타난다. 이들은 크게 4개의 수형으로 구분할 수 있는데 대마난류 상층수(고온 고염), 대마난류 저층수(저온 고염), 황해저층냉수(저온), 양자강희석수(고온 저염)이다. 4개의 수형의 발달과 감소가 제주도 연근해의 수온, 염분에 큰 영향을 미치고 있지만 기후변화로 인해서 그 변화를 예측하기 힘들어지고 있다.

년 변화의 경우 2006년 제주도 연근해의 최저 수온은 2월 달의 12℃였고 최고 수온은 8월 달의 30.1℃였다. 2007년에는 최저 수온은 3월 달의 12.7℃, 최고 수온은



8월 달의 29.3℃였다. 염분의 경우에는 2003년도 여름철에 26.6 psu로 낮았고 2004년 겨울철에 33.4 psu를 보였다.

일변화의 경우에는 조석의 영향을 받아서 봄과 여름철에 해수면의 상승과 함께 큰 진폭으로 수온은 감소, 염분은 증가하며, 가을철에는 수온과 염분이 모두 감소하는 특징을 가지며, 겨울철에는 수온과 염분이 증가하는 특징을 보인다.

해수의 염분농도가 30 psu 이하일 경우에 저염분수로 정의하며 28 psu 이하가 되면 수산생물들이 영향을 받게 된다. 제주도에서는 2003년 8월과 2004년 8월에 저염분수 주의보가 내려졌었다. 2004년 8월경에 제주도 서부해역에서 26 psu 이하의 저염분수가 나타난 적이 있었다. 2003년 8월초에 32 psu에 달하던 염분 값이 15일 경에는 약 26 psu로 내려간 적이 있었다. 이는 양자강에서 유출된 저염분수의 영향 때문인 것으로 보인다.

이러한 수온, 염분의 변화는 제주도 수산업에 크고 작은 피해를 끼치는데 특히, 1996년 여름에는 제주도 서부해역의 염분이 26 psu 이하로 낮아졌다. 이는 대량의 양자강 저염수가 제주해협을 통과하여 지나가면서 나타난 것으로 이로 인해서 제주도 서부 연안 양식생물을 모두 폐사시켜 약 60억 원에 이르는 막대한 손실을 입혔다. 1998년의 경우에도 피해규모는 1996년도에 비해 적었지만 제주도 수산업에 큰 피해를 입혔다.

기후변화와 중국의 산사댐 건설로 인해서 제주도 연근해에 영향을 미치는 4개의 수형들의 변화를 미리 예측하기 힘들어졌다. 매년 태풍의 세기는 강해져가고 있고 태풍의 발달빈도도 증가하고 있다. 또한 산사댐의 건설로 양자강수의 동중국해 유입이 감소하고 있으며 집중호우로 인한 저염분수의 갑작스런 유입이 있을 수 있다.

급격한 환경 변화는 오분자기의 스트레스 요인으로 작용하여 급격한 생리적인 변화를 초래하게 된다. 이러한 환경 변화에 대한 오분자기의 생리학적인 반응 및 적응 메카니즘에 대한 연구가 절실하게 요구되어진다.

스트레스에 의해 발생하는 활성산소는 어떤 유해물질이나 약물 등에 폭로되었을 때 superoxide radical, hydroxyl radical 및 hydrogen peroxide와 같은 oxygen free radicals이 과다하게 생성되어 지질 과산화반응, 단백질 파괴, 염색체 이상 및 적혈구 파괴등 조직에 손상을 입힐 수 있다(Goldberg and Stern, 1977; Simon et al., 1981; Moody and Hassan, 1982; Junqueira et al., 1986) 그러나, 정상적



인 조직은 내인성 제거제(endogenous scavengers)를 함유하고 있어 oxygen free radicals 손상으로부터 조직을 보호하는 작용을 하는데, 내인성 제거제인 SOD는 superoxide radical ( $O_2^-$ )을  $H_2O_2$  와  $O_2$  ( $2O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$ )로 전환시키며, 이 전환된  $H_2O_2$ 를 CAT가  $O_2$ 와  $H_2O$  ( $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ )로 분해하여 활성산소를 형성하기 전에 생체에 무해한 분자들로 전환시킨다(Forman and Fridovich, 1973; Wendel and Feuerstein, 1981).

무척추동물의 면역계는 대부분 선천성 면역계로 이루어져 있다(Mullen and Goldsworthy, 2003). 면역반응의 초기 단계는 호흡폭발로 알려져 있는 phagocytic activity로 이 때, 혈구세포에서  $H_2O_2$ 와  $O_2^-$ 와 같은 활성산소종이 발생한다(Pipe, 1992). Phagocytosis와 라이소자임 활성측정은 환경오염이 면역 독성에 미치는 영향을 측정하기 위한 좋은 도구로 활용되어 왔으나(Anderson et al., 1992; Cheng and Sullivan, 1984), 납에 직접 노출시켜 혈구세포에서 호흡폭발을 측정한 보고는 거의 없다. Phenoloxidase는 구리를 함유하는 산화효소의 일종으로 세균이나 기생충과 같은 병원성 미생물 및 이물질이 체내에 들어왔을 때 이에 필요한 멜라닌의 합성과 상처 부위의 치유에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다(Jonhson et al., 2003).

따라서, 본 실험에서는 제주도에서 생산되는 오분자기의 자원 변동을 알아보고 급격한 수온, 염분 스트레스 및 고수온 저염분에 대한 오분자기의 기초 생리학적 특성을 분석하고자 했다.

II. 서식 환경변화에 따른 제주도 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatili*)의 자원 변동 조사



## 1. 서론

제주도에 서식하는 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*)의 생산량은 지난 2005년 15톤으로 1994년 200t보다 무려 13배 이상 급감했다. 이에 따라 제주특별자치도가 오분자기 종묘생산시설 확충 계획을 세워서 어민 소득증대를 위해 노력하고 있다. 하지만 종묘의 생존율은 50% 수준에 머물고 있어서 큰 실효를 보지 못하고 있는 형편이다. 오분자기 종묘의 생존율이 이렇게 낮은 데에는 방류시기, 방류장소, 방류시 종묘의 크기, 방류량, 방류방법, 오분자기 종묘를 먹이로 하는 생물들, 수온 변화, 염분 변화 등에 이유가 있다.

제주도 연근해는 쿠로시오의 영향과 대마난류의 영향을 강하게 받는다. 쿠로시오와 대마난류는 열과 염 및 해양중의 각종물질과 생물을 분배·이동시킴으로써 제주도 연근해의 물리특성과 해양생태환경에 큰 영향을 미친다. 또한 제주도 연근해는 한반도 연안역과 중국 대륙으로부터 유입되는 물질이 상호 교환되는 해역이며, 고염의 대양 해수와 저염의 연안수가 혼합됨으로써 해양생물의 다양성이 매우 강하게 나타나는 해역이다. 하지만 21세기에 들어서 기후변화에 따른 해양환경 변화가 심해지고 있어서 해양 생태계에 큰 영향을 미치고 있다.

제주도의 수온, 염분의 분포 범위는 각각 9~30℃와 27.3~34.6 psu로 나타난다. 이들은 크게 4개의 수형으로 구분할 수 있는데 대마난류 상층수(고온 고염), 대마난류 저층수(저온 고염), 황해저층냉수(저온), 양자강희석수(고온 저염)이다. 4개의 수형의 발달과 감소가 제주도 연근해의 수온, 염분에 큰 영향을 미치고 있지만 기후변화로 인해서 그 변화를 예측하기 힘들어지고 있다.

년 변화의 경우 2006년 제주도 연근해의 최저 수온은 2월 달의 12℃였고 최고 수온은 8월 달의 30.1℃였다. 2007년에는 최저 수온은 3월 달의 12.7℃, 최고 수온은 8월 달의 29.3℃였다. 염분의 경우에는 2003년도 여름철에 26.6 psu로 낮았고 2004년 겨울철에 33.4 psu를 보였다.

일변화의 경우에는 조석의 영향을 받아서 봄과 여름철에 해수면의 상승과 함께 큰 진폭으로 수온은 감소, 염분은 증가하며, 가을철에는 수온과 염분이 모두 감소하는 특징을 가지며, 겨울철에는 수온과 염분이 증가하는 특징을 보인다.

해수의 염분농도가 30 psu 이하일 경우에 저염분수로 정의하며 28 psu 이하가 되면 수산생물들이 영향을 받게 된다. 제주도에서는 2003년 8월과 2004년 8월에 저염

분수 주의보가 내려졌었다. 2004년 8월경에 제주도 서부해역에서 26 psu 이하의 저염분수가 나타난 적이 있었다. 2003년 8월초에 32 psu에 달하던 염분 값이 15일 경에는 약 26 psu로 내려간 적이 있었다. 이는 양자강에서 유출된 저염분수의 영향 때문인 것으로 보인다.

이러한 수온, 염분의 변화는 제주도 수산업에 크고 작은 피해를 끼치는데 특히, 1996년 여름에는 제주도 서부해역의 염분이 26 psu 이하로 낮아졌다. 이는 대량의 양자강 저염수가 제주해협을 통과하여 지나가면서 나타난 것으로 이로 인해서 제주도 서부 연안 양식생물을 모두 폐사시켜 약 60억 원에 이르는 막대한 손실을 입혔다. 1998년의 경우에도 피해규모는 1996년도에 비해 적었지만 제주도 수산업에 큰 피해를 입혔다. 따라서 제주도 연근해의 환경변화에 따른 제주도 오분자기의 자원 변동조사를 통해 환경변화가 제주도 오분자기에 미치는 영향에 대해 파악하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 1) 자원생태 기반조사

오분자기의 자원 생태 기반조사를 위하여 잠수에 의한 직접조사와 청취조사, 자료 및 문헌분석에 의한 어획상황 및 자원회복 사업실태조사, 조업해녀수 등에 관한 간접조사를 실시하였다. 수심별 자원분포 밀도조사를 위해서는 애월, 비양도, 보목, 사계리의 4개 해역에 대하여 조사 정점을 수심 10 m 이내에 각 2개의 조사정점을 정하고 5m × 5m 방형구에 의한 오분자기 밀도를 조사하였다(Fig. 1).

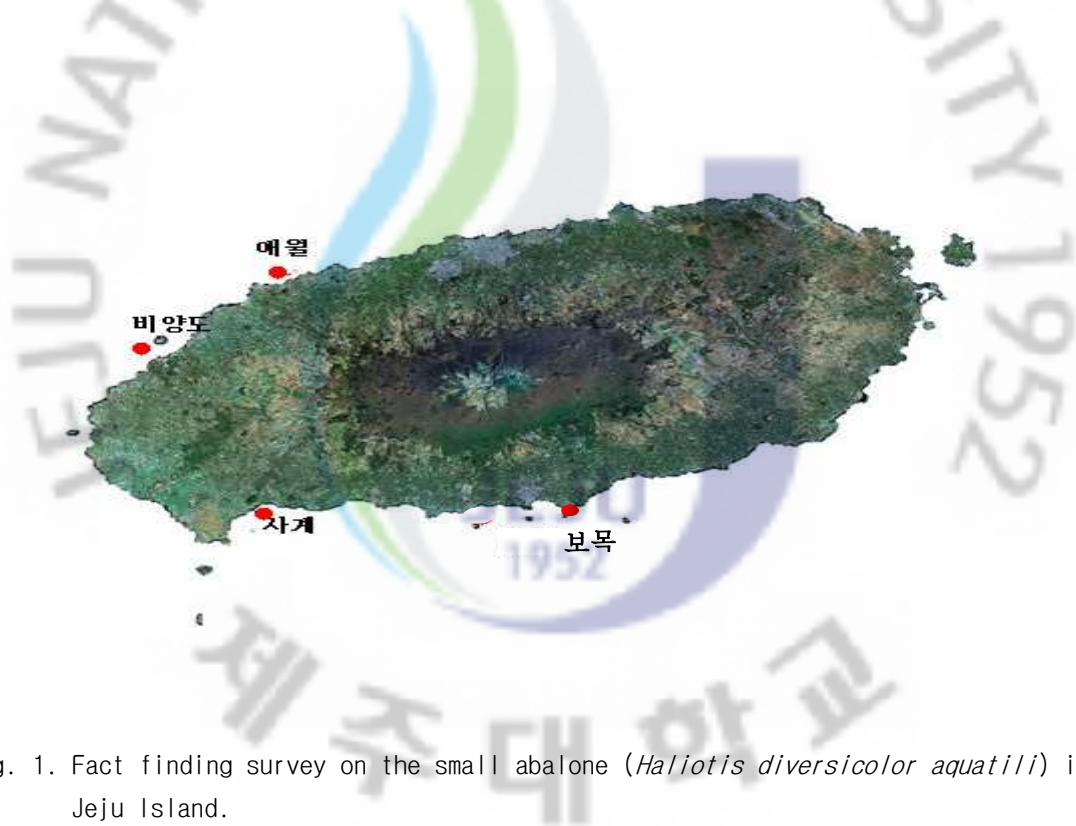


Fig. 1. Fact finding survey on the small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) in Jeju Island.

## 2) 환경조사

해역별 어장 환경조사를 위하여 6월~11월동안 수온, DO, COD, TN, DIN, TP, DIP, SiO<sub>2</sub>-Si, SS, 투명도, Chl-a (수온 및 염분은 센서를 이용한 일관측) 및 퇴적물조사를 실시하였다.

### 가. 기초환경조사

기초 환경조사는 수심, 수온, DO(용존산소) 등을 측정하였다. 서식환경조사는 Multi-Parameter Analyzer (YSI-556)를 이용하여 표층 및 저층을 대상으로 현장에서 직접 측정하였고, 투명도는 투명도판을 이용하여 현장에서 측정하였다.

### 나. 입도분석

각 정점에 따라 전문잠수원으로 하여금 수중 비디오카메라로 해저지형을 촬영하며 퇴적물 샘플을 채취하였으며, 현장에서 각 정점별로 채취한 표층퇴적물 시료는 실험실로 옮긴 후 Ingram (1971)의 분석법에 따라 약 5 g을 500 ml 비이커에 담아 조개껍데기 등의 탄산염 성분 물질에 의한 오차를 없애기 위해 0.1 N 염산(HCl)으로 반응시켜 탄산염을 제거하였으며 유기물을 제거하기 위하여 15 % 과산화수소수(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)로 24시간 이상 반응시켰다. 유기물이 제거가 된 후 입도분석이 준비된 시료는 63 μm 체를 이용하여 습식체질(wet sieving)에 의해 조립질과 세립질 퇴적물로 분리 하였다. 조립질 퇴적물은 건조시켜 표준 체질 분석법(Standard dry-sieve analysis)에 의해 분석하였다.

### 다. 수질분석

모든 시료는 해양수산부에서 발행한 한국해양환경공정시험방법(2005)에 의거하여 분석하였다. COD (Chemical Oxygen Demand), SS (Suspend Solid), DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen), DIP (Dissolved Inorganic Phosphorus), Si(OH)<sub>4</sub>-Si, TP (Total Phosphorus), TN (Total Nitrogen), 여기에서 DIN은 NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N의 합으로 나타내었으며, DIP는 PO<sub>4</sub>-P의 값으로 나타내었다.



Chlorophyll-a 경우는 해수 500 ml를 membrane filter(pore size; 0.45  $\mu\text{m}$ ; diameter; 47 mm)로 흡입 여과한 후 여과지를 90% 아세톤 10 ml에 추출 시킨 후 원심분리기(3,000 rpm)를 이용하여 상등액을 분리 하여 UV spectrophotometer (Kontron Co. Ltd, Model Uvikon 922)를 이용하여 흡광도를 측정하는 SCOR-UNESCO (1996) 분광광도방법에 의한 값으로 보정하여 사용하였다.

### 3) 서식생물상 조사

생물상 조사는 SCUBA 잠수부에 의해 이루어졌으며, 각 해역별로 영상촬영 잠수부 2명, 시료채집 잠수부 1명이 동시에 투입되어 조사를 실시하였다.

서식 생물상 조사는 잠수부가 생물의 분포구역 내에서 조사지역을 대표할 수 있는 지점을 현장에서 정하고 정량적으로 파악하기 위하여 방형구(크기 = 50 cm  $\times$  50 cm)를 설치하여 방형구내 시료를 전량 채집하는 방법을 각 지점별로 4회씩 실시하여 실험실로 운반 후 동정 작업을 실시하여 종 분류 및 습중량을 측정하였고, 우점종은 개체수와 습중량을 기준으로 분석하였다.

해조군락의 분석을 위한 현존량은 방형구내의 해조류를 전량 채취하여 1  $\text{m}^2$ 에 대한 종별 습중량으로 환산하여 측정하였다. 또한, 조사 정점의 주변 해역기질을 자세히 조사하면서 그 곳에 서식하고 있는 해조류를 정성적으로 채집하여 조사하였다.



### 3. 결과

#### 1) 전복류의 어획상황 및 자원이회복 사업실태조사

문헌조사를 통한 제주도내 전복류의 어획상황 및 자원이회복 사업 실태조사 결과는 다음과 같다.

##### 가. 오분자기의 연도별 어업생산현황

오분자기 어업생산통계는 1993년부터 분리 등재되기 시작하였으며 2005년 이후의 생산통계량은 해양수산부(2008년 이후 통계청)와 제주자치도의 자체 통계량에 차이를 보이고 있으나, 1993~1997년에는 연간 150톤 이상의 생산을 보이다 최근(2005~2007년)에 60톤 내외의 생산실적을 기록하여 생산량이 급감하였다. 특히 제주의 경우 1997년과 1998년 사이 생산량이 급감하여 이후 지속적으로 감소하고 있는 추세를 나타내었다(Table 1).

오분자기의 생산량 통계는 비계통 출하로 인하여 조사를 실시하는 기관마다 약간의 차이를 보이고 있는 실정이다. 따라서 정확한 생산통계량 및 집중관리를 위하여 성산어촌계를 대상으로 꾸준한 방류 및 관리, 생산량 조사를 실시해 오고 있다. 2002년부터 오분자기의 방류를 수행해오고 있는 성산어촌계의 연도별 및 월별 어획상황을 보면 2002년부터 꾸준히 생산량 증가를 보이다가 2004년 2,300 kg으로 최고의 생산량을 기록하였으나 이후 점차 감소추세를 나타내며 2008년에는 300 kg의 수확에 그쳤다(Table 2). 특히 2007년 여름에는 대량 폐사현상이 나타나 해수 수질 분석, 병원체 분석 등을 실시하였으나 그 원인에 대한 정확한 구명을 할 수 없었다.

Table 1. Annual changes of production in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*)  
 Source : Fishery production survey(Ton)

Year	National(A)	Jeju(B)	Ratio(B/A, %)
1993	182	182	100
1994	201	200	100
1995	159	159	100
1996	161	158	98
1997	203	203	100
1998	175	86	49
1999	43	43	100
2000	37	35	95
2001	38	37	97
2002	26	26	100
2003	21	21	100
2004	19	19	100
2005	66	66	100
2006	54	54	100
2007	62	62	100
2008	20	20	100

Table 2. Annual changes of production in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) Source : seongsan fishing village cooperatives(kg)

Year \ month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
2002	24.5	25.1	54.5	39.7	117.2	84.7	162.8	246.2	202.2	154.2	111.8	119.2	1341.8
2003	105.7	63.5	64.7	47.6	23.5	221.5	151.3	410.9	130.7	300.7	138.6	340.9	1999.4
2004	78.2	62.6	72.3	81.4	230.2	146.5	388.3	311.8	152.2	257.7	313.7	205.0	2299.5
2005	123.8	64.2	110.0	62.1	117.4	42.6	187.5	261.4	154.4	222.6	183.6	159.4	1688.8
2006	90.9	81.6	80.5	57.7	97.1	52.6	31.1	350.4	134.6	160.4	-	105.0	1241.8
2007	124.0	29.4	59.8	58.8	48.4	15.1	19.4	-	31.6	52.5	51.8	47.4	538.0
2008	62.1	8.4	25.1	36.5	25.4	2.7	13.4	-	14.4	58.0	33.6	20.2	299.6
2009	7.1	15.5	8.2	13.3	5.2	8.4	-	-	21.35	31.75	-	-	57.7

## 나. 전복류의 자원회복 사업 실태

제주특별자치도에서는 매년 수산종묘 매입방류를 통하여 수산자원 증강에 힘써오고 있다. 특히 전복의 경우 마을어장내의 주요 소득원으로서 중요시 취급되고 있는 종으로 해녀들에 의한 선호도가 높아 1997년부터 2001년까지는 수산종묘 매입방류의 주 대상종으로 수행되었으며, 2002년부터 어류도 함께 종묘매입방류가 이루어지고 있다. 그러나 여전히 주 방류 대상종으로서는 전복이 실시되고 있다. 그동안 실시되어온 방류사업비 105억원 중 66%가 전복 매입방류에 사용되었고 그 외 어류 및 홍해삼 등을 방류하였다.

최근 몇 년간의 방류 실적을 보면 2006년에는 15억여원으로 도내 41개 어촌계에 100만미의 전복 종묘가 방류되었고, 2007년의 경우에는 14억여원으로 도내 60개소에 125만미의 전복 종묘가 방류되었다. 2008년의 경우에는 도내 44개 어촌계에 12억여원으로 100만미의 전복종묘를 방류했다(Table 3). 제주특별자치도내 오분자기의 연도별 방류 현황을 보면 2002년도 5만마리를 시작으로 2008년도까지 총 126만마리를 방류하여 왔다(Table 4).

Table 3. The propulsive situation of the discharge of industrial marine species in Jeju Island

Year	Kind	Discharge (Thousand)	Project cost(1000 won)		
			Total	Government expenditure	Local expenditure
Total	Total	12,773	10,472,948	7,091,614	3,381,334
	(Abalone)	5,693	6,881,722	4,856,197	2,025,525
	(Fish)	6,363	3,042,478	1,990,341	1,052,137
	(Sea cucumber)	717	548,748	245,076	303,672
1997	Abalone	20	20,000	16,000	4,000
1998	Abalone	50	50,000	40,000	10,000
1999	Abalone	50	50,000	40,000	10,000
2000	Abalone	80	80,000	64,000	16,000
2001	Abalone	190	190,000	152,000	38,000
2002	Abalone	150	148,500	103,950	44,550
	Kurosoi	72	100,000	70,000	30,000
2003	Abalone	554	553,519	387,463	166,056
	Flatfish	512	254,803	87,968	166,835
2004	Abalone	546	709,268	496,488	212,780
	Rock bream	400	226,400	109,480	116,920
2005	Abalone	733	1,025,812	718,068	307,744
	Black porgy	200	65,700	45,990	19,710
	Rock bream	679	372,571	260,800	111,771
2006	Abalone	1,076	1,502,925	1,052,048	450,877
	Rock bream	1,410	701,695	491,187	210,508
	Sea cucumber	80	36,000	25,200	10,800
2007	Abalone	1,254	1,370,693	959,477	411,216
	Rock bream	1,262	565,426	395,798	169,628
	Black porgy	300	113,550	79,485	34,065
	Sea cucumber	100	78,000	54,600	23,400
2008	Abalone	990	1,181,005	826,703	354,302
	Rock bream	1,188	577,561	404,293	173,268
	Tiger puffer	10	9,000	6,300	2,700
	Black porgy	330	121,472	85,030	36,442
	Sea cucumber	537	434,748	165,276	269,472

Table 4. The propulsive situation of the discharge of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) in Jeju Island

Year	Discharge (Thousand)	Size (cm)
2002	50	2
2003	60	2
2004	-	2
2005	170	2
2006	240	2
2007	350	2
2008	220	2
Total	1,260	-

## 2) 수심별 오분자기 분포특성 및 자원밀도 조사

오분자기의 수심에 따른 서식밀도분포를 알아보기 위하여 애월, 비양도, 보목리, 사계리에 대한 잠수조사를 실시하였다. 조사해역을 대표할 만한 곳에서 5m×5m 방형구를 수심 3 m, 6 m 각각의 두 곳에 설치하고 방형구안을 세밀하게 조사하였다. 조사결과 오분자기의 경우 갯녹음이 진행된 장소로 갈조류인 해조류가 거의 서식하지 않은 곳에서는 오분자기의 껍질이 드물게 관찰되기는 하나 생존하는 개체는 관찰되지 않았다. 또한 동일해역이라 할지라도 부유물이 쌓여있는 곳에서는 오분자기를 관찰할 수 없었으나 해류의 흐름이 좋아 부유물이 쌓이지 않는 곳에서 개체들이 존재하였다. 이러한 곳은 대체로 모자반류의 갈조류가 서식하는 장소로 암반지대나 암반을 둘러싼 모래지대들이었다. 그러나 전반적으로 오분자기 개체들을 관찰할 수 있는 곳은 수심이 3~6 m사이로 이 수심내에서의 분포에 대해서는 Table 5 에서 보는 바와 같이 해역에 따라 다소 차이를 보였다. 8월조사의 경우 오분자기 개체수 파악을 위하여 조사 장소에서의 임의의 두 곳에 대하여 방형구를 설치하고 반복 조사를 실시하였다. 애월리의 경우 수심 3 m에서 평균  $3.5 \pm 2.1$ 마리의 오분자가 서식하고 있었으며, 비양도의 경우 수심 6 m에 평균  $11.5 \pm 7.8$ 마리의 오분자가 서식하고 있었으며, 보목리의 경우 수심 3 m에서  $4.5 \pm 0.7$ 마리, 사계리에서는 수심 6 m에  $7.5 \pm 3.5$ 마리의 오분자기 서식이 확인되었다(Table 5).



Table 5. Population density and size of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) at August 2009

Item	Area	Aewol-Ri		Biyang-Do		Bomok-Ri*		Sagye-Ri	
		3 m	6 m	3 m	6 m	3 m	6 m	3 m	6 m
Population density		3.5 ±2.1	-	-	11.5 ±7.8	4.5 ±0.7	-	-	7.5 ±3.5
Shell length(mm)		34.63 ±8.63	-	-	50.97 ±6.07	37.58 ±3.71	-	-	47.23 ±5.92
Shell width(mm)		23.87 ±6.89	-	-	27.35 ±3.87	25.31 ±3.14	-	-	26.45 ±3.70

\*Release area of small abalone at 2008

10월조사에서는 애월리의 경우 수심 3 m에서 10마리의 오분자기가 서식하고 있었으며, 비양도의 경우 수심 3 m 및 6 m에서 각각 14마리, 29마리의 오분자기가 서식하고 있었다. 보목리의 경우 수심 3 m에서 12마리, 사계리에서는 수심 6 m에 12마리의 오분자기 서식이 확인되었다. 본 결과에 따르면 비양도에 대한 오분자기의 밀도가 다른 조사해역에 비하여 비교적 서식밀도가 높은 것으로 나타났다(Table 6).

Table 6. Population density and size of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) at October 2009

Item	Area	Aewol-Ri		Biyang-Do		Bomok-Ri*		Sagye-Ri	
		3 m	6 m	3 m	6 m	3 m	6 m	3 m	6 m
Population density		10	-	14	29	12	-	-	12
Shell length(mm)		42.29 ±4.38	-	54.90 ±6.83	44.04 ±7.40	37.40 ±2.91	-	-	47.65 ±7.45
Shell width(mm)		28.41 ±3.10	-	37.98 ±5.16	30.24 ±5.55	25.63 ±3.27	-	-	34.07 ±6.35

\*Release area of small abalone at 2008

### 3) 해양환경조사

해양별 조사지점의 표층과 저층에서 수온, DO, CO, COD, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, SS, DIN, DIP, Si(OH)<sub>4</sub>-Si, TN, TP, Chl-a 조사를 실시하였다. 투명도의 경우, 조사수심이 3m, 6m로 모두 조사수심까지의 투명도가 확보되었다.

각 조사해역의 수질분석 결과 각 조사지점의 수심별 조사 값에서 큰 편차를 나타내지는 않았다(Table 7-8).

Table 7. Results of water analysis of surface layer in four areas for investigation at August 2009

Item	Area			
	Aewol-Ri	Biyang-Do	Bomok-Ri	Sagye-Ri
Water temperature (°C)	27	26	27	27
DO (mg/L)	7.49	7.15	8.71	7.85
COD (mg/L)	0.28	0.06	0.65	0.88
NH <sub>4</sub> -N	0.008	0.078	0.058	-
NO <sub>2</sub> -N	0.002	0.001	0.004	-
NO <sub>3</sub> -N	0.054	0.042	0.145	-
SS (mg/L)	1.7	2.1	0.207	2.20
DIN (μg-at/L)	0.064	0.120	0.473	3.59
DIP (μg-at/L)	0.002	0.003	0.007	0.01
Si(OH) <sub>4</sub> -Si	0.423	0.254	0.438	10.49
TN (ppm)	0.306	0.339	0.473	0.291
TP (ppm)	0.014	0.010	0.012	0.005
Chl-a (μg/L)	3.62	0.73	2.11	1.88

Table 8. Results of water analysis of mixed layer in four areas for investigation at October 2009

Item	Area			
	Aewol-Ri	Biyang-Do	Bomok-Ri	Sagye-Ri
Water temperature (°C)	26	25	26	26
DO (mg/L)	6.52	6.25	8.69	7.78
COD (mg/L)	0.15	0.44	0.52	0.72
NH <sub>4</sub> -N	0.005	0.009	0.069	-
NO <sub>2</sub> -N	0.000	0.001	0.003	-
NO <sub>3</sub> -N	0.044	0.042	0.144	-
SS (mg/L)	1.8	2.3	4.1	5.60
DIN ( $\mu\text{g-at/L}$ )	0.050	0.053	0.216	4.56
DIP ( $\mu\text{g-at/L}$ )	0.005	0.003	0.009	0.42
Si(OH) <sub>4</sub> -Si	0.411	0.276	0.392	9.62
TN (ppm)	0.421	0.436	0.296	0.347
TP (ppm)	0.014	0.010	0.013	0.002
Chl-a ( $\mu\text{g/L}$ )	4.19	0.75	2.99	2.15

퇴적물 분석 결과, 4개 해역의 조사정점은 분석 입자의 크기가 전체 조사정점에서 최소 63  $\mu\text{m}$  이상으로 조사되어 저질의 형태가 대부분 사질(모래, Sand)로 구성되어 있는 것으로 분석되었다. 함수율, 감열감량 및 COD의 함량은 비양리가 가장 높게 나타났다(Table 9).

Table 9. Results of deposit analysis in four areas for investigation

Item	Area			
	Aewol-Ri	Biyang-Do	Bomok-Ri	Sagye-Ri
Moisture content(%)	31.22	41.02	32.01	-
Lgnition loss(%)	3.11	4.39	2.59	-
COD(mg O <sub>2</sub> /Kg dry)	4,703.7	7,712.8	5,237.6	-
Granularity	kind	Sand	Sand	Sand
	%	99.52	87.32	61.16

#### 4) 저서동물 종조성 및 우점종

각 조사해역에서의 8월의 저서동물 출현종 및 개체수는 각각 애월리가 5종 23개체, 비양도가 6종 33개체, 보목리 해역이 10종 28개체, 사계리에서 28종 116개체였다. 조사해역에서 저서동물의 총 습중량은 애월의 경우 13.80 g, 비양리가 149.05 g, 보목리 해역에서 161.7g, 사계리에서 680.3 g으로 나타났다.

조사해역에서의 8월의 출현한 동물 중 개체수 및 습중량 기준 상위 3위까지의 우점종을 보면, 애월리의 경우 무늬무룩(*Euplica scripta*), 유리고둥(*Phasianella solida*), 복털조개(*Barbatia virescens*)가, 비양도의 경우 바퀴고둥(*Asrtalium haematragum*), 탐뿔고둥(*Ergalatax contracta*), 분홍멍게(*Herdmania momus*)가, 보목리의 경우 빨간등거미불가사리(*Ophiomastix mixta*), 바퀴고둥(*A. haematragum*), 비단군부(*Onithochiton hirasei*)가, 사계리에서는 바퀴고둥(*A. haematragum*), 거품돌산호(*Alveopora japonica*), 긴팔불가사리(*Ophidiaster cribrarius*)가 우점종으로 나타났다. 10월의 저서동물 출현종 및 개체수는 각각 애월리가 6종 23개체, 비양도가 4종 36개체, 보목리 해역이 12종 48개체, 사계리에서 6종 37개체였다. 조사해역에서 저서동물의 총 습중량은 애월의 경우 1,389.8 g, 비양도가 483.17 g, 보목리 해역에서 236.97 g, 사계리에서 495.1 g으로 나타났다.

조사해역에서의 10월의 출현한 동물 중 개체수 및 습중량 기준 상위 3위까지의 우점종을 보면, 애월리와 비양도의 경우 소라(*Batillus cornutus*), 바퀴고둥(*A. haematragum*), 탐뿔고둥(*E. contracta*)이, 사계리에서는 소라(*B. cornutus*), 바퀴고둥(*A. haematragum*), 거품돌산호(*A. japonica*)가 우점종으로 나타났다(Table 10).

Table 10. Appearance pattern of benthic fauna in four areas for investigation at October 2009

Depth of water		3 m		6 m		10 m		15 m	
Area	species name	Gross weight(g)	Population density	Gross weight(g)	Population density	Gross weight(g)	Population density	Gross weight(g)	Population density
Bomok -Ri	<i>Purpuradusta gracilis</i>					0.94	2		
	<i>Alveopora japonica</i>					89.43	9		
	<i>Arca boucardi</i>			0.56	1				
	<i>Asrtalium haematragum</i>	42.85	5	11.08	2	20.83	6		
	<i>Trochus sacellus</i>			3.78	1				
	<i>Tristichotrochus unicus</i>							0.59	1
	<i>Anthocidaris crassispina</i>					10.82	1		
	<i>Herdmania momus</i>					36.27	13	2.11	2
	<i>Onithochiton hirasei</i>			3.77	1				
	<i>Ceratostoma fournieri</i>					12.28	1		
	<i>Lithophaga curta</i>			0.49	2				
	<i>Ergalatax contractus</i>					1.17	1		
		Total	42.85	5	19.68	7	171.74	33	2.7
Biyang -Do	<i>Thais clavigera</i>	10.54	2						
	<i>Asrtalium haematragum</i>	39.03	6	38.13	5	27.28	4	17.18	2
	<i>Batillus cornutus</i>	2.4	1	63.92	2	145.88	3	107.31	2
	<i>Ergalatax contractus</i>	10.57	3	14.42	4	6.51	2		
	Total	62.54	12	116.47	11	179.67	9	124.49	4



Table 10. Consecutive

Depth of water		3 m		6 m		10 m		15 m	
Area	species name	Gross weight(g)	Population density	Gross weight(g)	Population density	Gross weight(g)	Population density	Gross weight(g)	Population density
Sagye -Ri	<i>Alveopora japonica</i>							66.15	7
	<i>Euplicea scripta</i>	1.25	2						
	<i>Asrtalium haematragum</i>	51.12	15	3.03	2			14.11	5
	<i>Herdmania momus</i>							2.76	1
	<i>Batillus cornutus</i>	109.29	1					167.74	1
	<i>Ergalatax contractus</i>	2.44	2	1.97	1				
	Total	164.1	20	5	3			250.76	14
Aewol -Ri	<i>Euplicea scripta</i>	0.99	6	0.29	2				
	<i>Pyrene testudinaria</i>	0.57	2						
	<i>Asrtalium haematragum</i>			7.23	2	9.34	3		
	<i>Batillus cornutus</i>					52.44	1	70.24	1
	<i>Phasianella solida</i>	0.12	1						
	<i>Ergalatax contractus</i>			1.21	1	2.04	1	6.33	3
	Total	1.68	9	8.73	5	63.82	5	76.57	4
Total	271.17	46	149.88	26	415.23	47	454.52	25	

## 5) 해조류 종조성, 생체량 및 우점종

각 조사해역에서의 8월의 해조류 출현종 및 생체량은 각각 애월리가 7종 206.90 g, 비양도가 9종 1,748.95 g, 보목리 해역이 8종 223.58 g, 사계리에서 10종 1,529.8 g이었다. 분류군별 출현종수는 애월리의 경우 녹조류 1종, 홍조류 6종, 비양도에서 갈조류 3종, 홍조류 6종, 보목리 해역에서 녹조류 3종, 홍조류 5종, 사계리에서 녹조류 1종, 갈조류 2종, 홍조류 7종으로 나타났다.

또한 조사해역에 8월에 출현한 해조류의 상위 3위까지의 우점종을 보면, 애월리의 경우 개우무(*Pterocladia tenuis*), 모란갈파래(*Ulva conglobata*), 흑개서실(*Chondrophycus undulata*)이, 비양도의 경우 방황게발혹(*Marginisporium aberrans*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 큰열매모자반(*Sargassum macrocarpum*)이, 보목리의 경우 개우무(*P. tenuis*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 애기게발(*Amphiroa pusilla*)가, 사계리의 경우 큰열매모자반(*S. macrocarpum*), 감태(*Ecklonia cava*), 갈색대마디말(*Cladophora wrightiana*)이 우점하는 것으로 나타났다(Table 11).

10월의 조사해역별 해조류 출현종 및 생체량은 각각 애월리가 11종 5,592.0 g, 비양도가 10종 1,517.78 g, 보목리 해역이 13종 924.17 g, 사계리에서 10종 1,529.8 g이었다. 분류군별 출현종수는 애월리의 경우 녹조류 2종, 홍조류 9종, 비양도에서 갈조류 3종, 홍조류 7종, 보목리 해역에서 녹조류 3종, 홍조류 10종, 사계리에서 녹조류 1종, 갈조류 3종, 홍조류 10종으로 나타났다.

또한 조사해역에 10월에 출현한 해조류의 상위 3위까지의 우점종을 보면, 애월리의 경우 넓적게발(*Amphiroa anceps*), 갈색대마디말(*C. wrightiana*), 개우무(*P. tenuis*)가, 비양도의 경우 큰열매모자반(*S. macrocarpum*), 방황게발혹(*M. aberrans*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*)이, 보목리의 경우 방황게발혹(*M. aberrans*), 주름가시돌잎(*Lithothamnion cystocarpideum*), 넓적게발(*A. anceps*)이, 사계리의 경우 큰열매모자반(*S. macrocarpum*), 감태(*E. cava*), 갈색대마디말(*C. wrightiana*)이 우점하는 것으로 나타났다(Table 12).

Table 11. Appearance pattern of marine algal flora in four areas for investigation at August 2009

Depth of water		3 m(1)		3 m(2)	
Area	Species name	Population density	Gross weight(g)	Population density	Gross weight(g)
Bomok -Ri	<i>Cladophora wrightiana</i>			18	11.47
	<i>Ulva conglobata</i>	9	1.56	13	21.14
	<i>Cladophora japonica</i>			1	0.48
	<i>Pterocladia tenuis</i>	43	58.35	11	23.21
	<i>Amphiroa misakiensis</i>	24	19.61		
	<i>Amphiroa pusilla</i>	26	21.05		
	<i>Corallina pilulifera</i>	33	21.24	5	9.6
	<i>Lithothamnion cystocarpideum</i>	1	28.23	5	7.64
	Total	136	150.04	53	73.54
Biyang -Do	<i>Ecklonia cava</i>			1	8.34
	<i>Sargassum patens</i>	1	35.47	3	108.53
	<i>Sargassum macrocarpum</i>	6	552.16	5	606.32
	<i>Amphiroa misakiensis</i>	6	11.48	4	6.81
	<i>Marginisporum aberrans</i>	33	163.11	38	210.99
	<i>Carpopeltis angusta</i>			1	0.85
	<i>Peyssonnelia caulifera</i>			2	7.39
	<i>Corallina pilulifera</i>	8	14.22	12	16.94
	Total	55	782.78	66	966.17
Aewol -Ri	<i>Ulva conglobata Kjellman</i>	21	21.3	5	2.8
	<i>Chondrus nipponicus</i>			4	10.3
	<i>Pterocladia tenuis</i>	36	38.4	29	72.5
	<i>Jania adhaerens</i>	11	2		
	<i>Caulacanthus okamurai</i>	8	8.2	3	1.8
	<i>Gelidium amansii</i>			12	28
	<i>Chondrophyucus undulata</i>	14	15.7	4	5.9
	Total	90	85.6	57	121.3
	Total	281	1018.42	176	1161.01

Table 12. Appearance pattern of marine algal flora in four areas for investigation at October 2009

Depth of water		3 m		6 m		10 m		15 m	
Area	Species name	Population density	Gross weight (g)	Population density	Gross weight (g)	Population density	Gross weight (g)	Population density	Gross weight (g)
	<i>Codium coarctatum</i>							49	461.11
	<i>Codium arabicum</i>			4	7.41				
	<i>Cladophora sakaii</i>			3	14.03				
	<i>Acanthopeltis longiramulosa</i>			1	8.14				
	<i>Amphiroa misakiensis</i>	1	2.19			4	12.15		
	<i>Lithothamnion cystocarpideum</i>					1	0.79		
Bomok-Ri	<i>Amphiroa anceps</i>					6	30.31		
	<i>Marginisporum aberrans</i>	26	161.48			11	75.41		
	<i>Carpopeltis angusta</i>					1	4.8		
	<i>Amphiroa pusilla</i>	2	14.04						
	<i>Corallina pilulifera</i>	9	21.18						
	<i>Hydrolithon craspedium</i>	4	17.56						
	<i>Hydrolithon masakii</i>			6	91.47	1	2.1		
	Total	42	216.45	14	121.05	24	125.56	49	461.11
	<i>Ecklonia cava</i>			1	11.36	2	39.42	1	19.82
	<i>Sargassum patens</i>	1	29.87						
	<i>Sargassum macrocarpum</i>	4	482.67	2	304.89				
	<i>Amphiroa misakiensis</i>	10	17.98			3	7.44		
	<i>Lithothamnion cystocarpideum</i>					3	2.79		
Biyang-Do	<i>Amphiroa anceps</i>							7	41.44
	<i>Marginisporum aberrans</i>	30	148.76	35	176.42	23	98.4		
	<i>Carpopeltis angusta</i>			3	3.24	5	7.69		
	<i>Peyssonnelia caulifera</i>			4	10.29	4	12.96	6	20.42
	<i>Corallina pilulifera</i>	9	16.42	13	21.98	7	19.76	8	23.76
	Total	54	695.7	58	528.18	47	188.46	22	105.44

Table 12. Consecutive

Depth of water		3 m		6 m		10 m		15 m	
Area	Species name	Populat ion density	Gross weight (g)	Populat ion density	Gross weight (g)	Populat ion density	Gross weight (g)	Populat ion density	Gross weight (g)
Sagye -Ri	<i>Ecklonia cava</i>	4	370.99					6	1351 .68
	<i>Dictyopteris divaricata</i>	1	36.12	1	6.12				
	<i>Sargassum macrocarpum</i>	2	52.56	1	45.85	5	509.1		
	<i>Cladophora wrightiana</i>			11	89.7	6	45.84	4	5.93
	<i>Amphiroa beauvoisii</i>					3	2.1		
	<i>Lithothamnion cystocarpideum</i>			1	2.41			1	0.22
	<i>Amphiroa anceps</i>	1	9.98	5	49.61	7	21.89	4	19.13
	<i>Marginisporum aberrans</i>	22	144.2	11	31.53	4	5.78	8	7.14
	<i>Padina arborescens</i>	1	2.39						
	<i>Carpopeltis angusta</i>							4	8.72
	<i>Amphiroa pusilla</i>	7	14.65						
	<i>Peyssonnelia caulifera</i>							7	19.66
	<i>Corallina pilulifera</i>	4	2.82	10	23.18				
	<i>Plocamium telfaiririae</i>			6	17.78	2	1.32	3	0.56
	Total		42	633.71	46	266.18	27	586.03	37
Aewol -Ri	<i>Cladophora wrightiana</i>					4	37.62	1	1.48
	<i>Ulva conglobata</i>	18	20.52						
	<i>Pterocladia capillacea</i>	32	36.47						
	<i>Lithothamnion cystocarpideum</i>							2	0.68
	<i>Amphiroa anceps</i>			3	25.42	8	20.53		
	<i>Carpopeltis angusta</i>							5	9.08
	<i>Ceylon moss</i>	8	26.94						
	<i>Peyssonnelia caulifera</i>							8	18.54
	<i>Corallina pilulifera</i>			3	2.76	11	22.95		
	<i>Plocamium telfaiririae</i>			4	15.21	2	2.47		
<i>Chondrophyucus undulata</i>	7	10.42							
Total		65	94.35	10	43.39	25	83.57	16	29.78
Total		203	1640 .21	128	958.8	123	983.62	124	2009 .37

## 4. 고찰

제주특별자치도에서는 수산자원의 증대 및 어업인 소득향상을 목적으로 지난 1997년부터 매년 20여억원의 사업비를 들여 수산종묘 매입방류사업을 지속적으로 추진하고 있다. 이러한 방류사업의 80%가 전복임에도 불구하고 어업생산량이 크게 증대하는 현상은 보이지 않았다. 더욱이 제주특산종인 오분자기의 경우 자원량 급감에 따른 회복방안 마련이 더욱 절실히 필요한 실정이어서 향후 보다 많은 량의 종묘를 방류할 방침을 세우고 있다. 그러나 이러한 사업들이 효과를 거두기 위해서는 종묘 대상종에 대한 생리·생태적 특징을 구명하고 서식환경을 파악함으로써 대상종에 적합한 방류가 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 오분자기 자원실태를 파악하고자 제주연안 마을어장에 대한 오분자기의 생산량 및 전복생산량, 자원회복사업의 추진실태, 서식분포밀도, 서식환경에 대한 조사를 실시하였다.

제주특별자치도에서는 매년 수산종묘 매입방류를 통하여 수산자원 증강에 힘써오고 있다. 특히 전복의 경우 마을어장내의 주요 소득원으로서 중요시 취급되고 있는 종으로 해녀들에 의한 선호도가 높아, 1997년부터 2001년까지는 수산종묘 매입방류의 주 대상종으로 수행되었으며, 2002년부터 어류도 함께 종묘매입방류가 이루어지고 있다. 그동안 실시되어온 방류사업비 105억원 중 66%가 전복 매입방류에 사용되었고 그 외 어류 및 홍해삼 등을 방류하였다. 그러나 여전히 주 방류 대상종으로서 전복이 방류되고 있으며, 매년 100만미 이상의 종묘가 도내 100개의 어촌계 중 40~60개 어촌계에 방류되고 있다.

오분자기의 서식밀도 조사는 종묘를 인위적으로 방류한 어촌계와 방류를 하지 않은 어촌계를 대상으로 실시하였다. 그 결과 인위적으로 종묘방류를 실시한 보목리와 그 외의 지역간에 오분자기의 서식밀도에는 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 오히려 방류를 실시하지 않았던 비양도, 사계리 등에서 상대적으로 높은 밀도를 나타내었다. 그러나 이러한 서식밀도는 25 m<sup>2</sup> 당 5~12마리의 서식을 나타내어 실제 자원량 증가를 위해서는 보다 높은 수준의 서식 개체수가 필요할 것으로 예상된다. *Haliotis laevigata*의 경우 암수의 밀집분포가 2 m 떨어지면 수정율이 50% 저감된다고 보고하였다(西洞, 2002; 高見, 2002). 오분자기의 경우에서도 자연환경에서의



재생산에 적절한 서식밀도를 알아보기 위한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

또한 오분자기의 서식에 영향을 미치는 먹이가 되는 해조류 및 경쟁자관계의 동물 분포에 대하여 알아보려고 서식 생물상 조사를 실시한 결과, 조사해역별 서식해조류는 다소 차이를 나타내어 서식 개체수가 상대적으로 많이 나타났던 비양도, 사계리가 애월리 및 보목리에 비해 종수 및 생체량이 약간 풍부하게 나타났다. 오분자기 서식장에서의 출현 해조류는 주로 개우무(*P. tenuis*), 모란갈파래(*U. conglobata*), 흑개서실(*C. undulata*), 방황게발혹(*M. aberrans*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 큰열매모자반(*S. macrocarpum*), 애기게발(*Amphiroa pusilla*), 감태(*E. cava*), 갈색대마디말(*C. wrightiana*) 등이 우점적으로 분포하였다. 일본의 경우 자연 서식장인 해양에서의 오분자기의 먹이가 되는 해조류는 대황의 유연, 부착규조, 미역 등으로 조사되었다(Won et al, 2008). 본 연구에서도 사계리 해역을 보면 감태(*E. cava*), 갈조류의 모자반류 서식이 있는 곳에서 오분자기의 서식이 관찰되었다. 또한 동물상의 경우 무늬무룩(*E. scripta*), 유리고둥(*P. solida*), 바퀴고둥(*A. haematragum*), 탐뿔고둥(*E. contracta*), 긴팔불가사리(*O. cribrarius*) 등이 관찰되어 서로 경쟁 및 포식의 관계를 이루고 있는 것으로 추정된다. Won et al., (2008)의 보고에 따르면 오분자기의 경쟁종으로서 삿갓조개류, 해삼류, 단각류를, 포식종으로는 별불가사리 등의 육식성의 권패류를 보고하였다.

이상의 결과를 종합하여 보면 4개 해역의 물리적 환경에는 별다른 차이가 없었으나 오분자기의 서식밀도에서는 차이를 나타내고 있었다(Table 5,6). 오분자기 인공종묘를 방류하지 않은 비양도 해역 수심 3 m와 6 m에서는 모두 오분자기를 관찰할 수 있었고 특히 6m에서 높은 오분자기 서식밀도를 나타내었다. 오분자기 인공종묘를 방류한 보목리 해역의 경우 수심 3 m에서는 오분자기가 발견되었으나 수심 6 m에서는 발견하지 못한 것은 수심 3 m에서는 해조류의 개체수가 많은 반면 수심 6 m에서는 해조류의 개체수가 낮았기 때문으로 파악되어진다. 애월리 해역 역시 동일한 이유로 오분자기가 서식하지 못하는 것으로 파악되어 지며, 사계리 해역에서 수심 3 m에서 오분자기가 발견되지 않은 것은 경쟁종인 저서동물의 개체수가 많기 때문으로 파악되어진



다. 따라서 제주해역의 오분자기 자원량 증대를 위해서는 각 해역에서의 오분자기의 먹이관계, 경쟁종 및 포식종간의 생태적 지위 및 환경에 대한 연구가 수행되고 이에 따른 적절한 방류방법에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.



Ⅲ. 수온, 염분변화에 따른 제주도 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatili*)의 기초 생리학적 특성 분석



## 1. 서론

최근의 수산 산업은 빠르게 양식 산업으로 전환되고 있고 많은 수산 생물 종들이 양식화 되고 있으며 그 중 대부분을 어류가 차지하고 있다. 어류를 제외하면 전복, 굴 등과 같은 패류 및 새우류와 같은 갑각류가 양식되고 있다. 우리나라는 1980년대까지는 어업생산량이 500톤을 상회하였으나, 그 이후 계속 감소하여 1990년대 초에는 300여 톤, 그리고 1997년도에는 214톤이 생산되어 1980년대 초의 50% 수준에 머물고 있다.

전복은 예로부터 값비싼 수산물의 대명사로 알려져 왔는데, 그 이유는 많은 영양분을 고루 함유하고 있고 맛이 좋은 보양식으로 상품가치가 높았는데 반해, 이동성이 별로 없어 포식동물이나 인간에게 쉽게 잡히고 성체로 자라는데 오랜 시간이 걸려 희소하기 때문이다. 따라서 전복 양식에 대한 관심은 높았으나 그 동안 주로 마을 어장 등에 종패를 뿌린 후 일정 기간 뒤에 채취하는 바닥식에 의존해 왔다. 여기서 채취한 전복은 대부분 자연산으로 취급되어 이 방법을 양식으로 보기에 한계가 있었다. 따라서 1970년대 후반 제주도와 일부 남해안 연안에서 해상 채종식 양식법을 도입한 것이 본격적인 전복 양식의 효시로 볼 수 있으며, 그 후 1980년대 후반 육상 수조식과 가두리 양식시험이 성공하여 가두리양식 면허를 받을 수 있도록 수산업법을 개정하여 지난 2001년부터 시행할 수 있게 되었다.

양식환경에서 주로 받는 스트레스로는 크게 화학적 요인과 물리적 요인 등으로 나눌 수 있는데, 이들 중 물리적 요인으로는 염분(Singley and Chavin, 1971), 사육 밀도(Wedemeyer and Mcleay, 1981), 수온(Fryer, 1975) 등이 있으며, 화학적 요인으로는 어류의 기생충 구제제로 사용되는 포르말린(Cho and Yang, 1996) 및 황산동(Varanka et al, 2001)과 같은 소독약제 투여 등이 있다. 이러한 환경변화에서 발생하는 물리적 스트레스 및 화학적 스트레스는 사육 시 성장, 번식, 대사, 삼투압 조절 등 어류의 생리적 변화를 유발시켜 양식 생산성에 큰 영향을 미친다.

스트레스를 받게 되면, 1차적으로 신경계와 내분비계가 자극을 받고, 2차적으로는 삼투압 조절(Robertson et al., 1988) 및 대사에너지 동원증가(Barton and Schreck, 1987)등이 일어나며, 3차적으로 성장 감소(Clarke et al., 1981), 번식억제(Carragher and Sumpter, 1990), 면역력 저하(Maule et al., 1987; Pickering, 1992)에 따른 질병 감염률 증가로 결국 폐사에 이를 수 있는데(Strange et al.,

1977; Wedemeyer and Mcleay, 1981) 이런 현상은 동시다발적으로 일어난다고 보고되어 있다(Mazeaud et al., 1977; Schreck, 1981; Smith, 1982).

수온은 변온동물(Poikilotherms)의 대사율을 결정하는 주요한 환경 조절인자이며(Fry, 1971), 먹이섭취(Peck, 1989), 암모니아 배설(Lyon, 1995), 산소 소비(Barkai and Griffiths, 1988; Lyon, 1995), 성장(Hahn, 1989; Peck, 1989) 및 생존(Hahn, 1989)등에 직접적으로 영향을 미친다. 특히 생물에 있어 온도에 대한 순화(Acclimation)는 환경변화에 대한 적응현상이지만 각 생물들은 그들만의 최적 생활수온을 가지고 있다(Shamseldin et al., 1997). 따라서 생물들은 그들의 최적생활수온 범위를 벗어나면 온도에 보상하려는 현상을 보이게 되고, 심하면 스트레스(Stress)를 받게 된다. 이러한 스트레스는 양식어류에 생리적 불균형을 가져온다.

최근, 수온의 변화는 연안해역의 대규모 산업 시설인 발전소, 제철공장, LNG 저장기지로부터 냉·온배수의 연안해역 방류에 의해서도 수산생물상의 변화 및 수산 자원량에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며(Kim and Kim, 2001), 이러한 수온 변화에 의해서 해양생물들은 대사율이 변하고 동시에 산소 소모량도 변화하는 것으로 알려져 있다. 그 중 성장촉진을 위하여 고수온에 순치된 어류는 저수온에 약한 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다(Horning and Pearson, 1973). 또한 고수온에서는 항체 형성시간이 빠르며 항체가도 높게 나타나는 반면, 저수온에서는 항체 형성이 늦어지고 항체가도 낮아진다고 보고되고 있다(Avtalion et al., 1976; Salati et al., 1988; Pang and Park, 1994). 이처럼 수온은 어체의 면역 및 기초 생리학적 변화를 초래하는 주요한 인자로 여겨지고 있다.

특히, 급격한 수온 변화는 어류에게 있어 스트레스로 작용하여 어류의 건강도를 저하시켜 질병을 유발시키는 요인으로 작용한다(Wedemeyer and Mcleay, 1981). 또한 여름철 우리 나라 동해안에서 발생하는 냉수대로 인한 급격한 저수온 변화는 어류의 성장을 느리게 하고 질병을 발생시키는 요인으로 알려져 있다.(Park, 1978; Schreck, 1981).

염분도는 복족류의 성장에 영향을 끼치는 중요한 요소(Chen et al., 1984)로써 우리나라처럼 계절적인 변화로 인하여 여름철 장마기간 동안 저염분 현상이 나타나는 경우에는 전복 생산에 있어서 많은 문제가 발생된다. 우리나라의 장마철인 6~8월 사이의 염분변화는 해양예보시스템(<http://kops.kordi.re.kr>)에 따르면 10 psu 이

하로 내려가는 일수가 5일 이상 지속되거나 반대로 35 psu 이상 염분도가 올라가는 경우도 나타났다.

1 psu의 변화는 삼투압으로 2/3기압에 해당하므로 염분도의 변화는 해양동물의 삼투압에 상당한 영향을 끼칠 수 있다. 특히 경골어류와 달리 해양 무척추 동물은 삼투 순응형 동물이므로 체내 삼투압의 조절 능력이 없어 체내의 삼투압을 외계의 삼투압과 함께 변화 시키게 된다. 이 경우 삼투 조절 실패로 인하여 치사에 이르게 된다.

이러한 수온, 염분의 변화는 해조류의 분포 및 서식생물상 조사를 통하여 정해진 방류해역에서 오분자기의 생존에 영향을 미칠수 있다. 해조류가 풍부하고 저서동물의 개체수가 적더라도 급격한 수온 및 염분의 변화에 의해 오분자기가 폐사하게 되면 오분자기의 생산량 증대와 자원회복은 불가능하다. 따라서, 본 실험에서는 급격한 수온, 염분 변화 및 고수온 저염분 변화에 따른 오분자기의 기초 생리학적 특성을 분석하고자 했다.

## 2. 재료 및 방법

### 1) 실험 전복

#### 가. 수온 변화

실험에 사용된 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*)는 제주수산연구소 패류육종연구센터에서 분양받아 사용하였다. 오분자기의 평균 각장은  $4.17 \pm 0.03$  cm, 각폭  $2.82 \pm 0.02$  cm, 전중량  $12.0 \pm 0.36$  g인 개체를 사용하였다. 실험에 사용된 오분자기는 미리 20℃에서 2주간 사육하며 순치시킨 후 순환여과가 가능한 30 L 규모의 수조로 옮겨 10, 15, 20(대조구), 25 및 30℃의 수온 스트레스를 각각 주었으며, 이 때 염분은  $33.4 \pm 0.4$  psu을 유지하였고 PVC 파이프(∅ 20 cm, L 20 cm)를 세로로 절단한 은신처(shelter)를 넣어서 공기를 공급하였다. 예비사육기간에 먹이는 다시마를 충분히 공급하였으며, 실험구는 45마리의 전복을 실험에 사용하였으며, 오분자기를 수조로 옮기고 5분이 경과 한 후를 0 h로 정하여 0, 6, 12, 24 및 48 h째에 각각 3마리의 전복으로부터 혈구와 아가미 조직, 간부위의 조직 샘플을 채취하여 -70℃로 보관하며 분석에 이용하였다.

#### 나. 염분 변화

실험에 사용된 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*)는 제주수산연구소 패류육종연구센터에서 분양받아 사용하였다. 오분자기의 평균 각장은  $4.14 \pm 0.05$  cm, 각폭  $2.72 \pm 0.03$  cm, 전중량  $12.0 \pm 0.46$  g인 개체를 사용하였다. 실험에 사용된 오분자기는 미리 33 psu에서 2주간 사육하며 순치시킨 후 순환여과가 가능한 30 L 규모의 수조로 옮겨 25, 30, 33(대조구) 및 35 psu의 염분 스트레스를 각각 주었으며, 이 때 수온은 20℃을 유지하였고 PVC 파이프(∅ 20 cm, L 20 cm)를 세로로 절단한 은신처(shelter)를 넣어서 공기를 공급하였다. 예비사육기간에 먹이는 다시마를 충분히 공급하였으며, 실험구는 45마리의 전복을 실험에 사용하였으며, 오분자기를 수조로 옮긴 후 5분 경과 후를 0 h로 정하여 0, 6, 12, 24 및 48 h째에 각각 3마리의 전복으로부터 혈구와 아가미 조직, 간부위의 조직 샘플을 채취하여 -70℃로 보관하며 분석에 이용하였다.



#### 다. 고수온 저염분 변화

실험에 사용된 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*)는 제주수산연구소 패류육종연구센터에서 분양받아 사용하였다. 오분자기의 평균 각장은  $4.18 \pm 0.05$  cm, 각폭  $2.88 \pm 0.07$  cm, 전중량  $12.2 \pm 0.25$  g인 개체를 사용하였다. 실험에 사용된 오분자기는 미리 20°C 33 psu에서 2주간 사육하며 순치시킨 후 순환여과가 가능한 30 L 규모의 수조로 옮겨 20°C 33psu(대조구), 30°C 33 psu, 30°C 30 psu, 30°C 27 psu, 30°C 24 psu 및 30°C 21 psu 의 고수온 저염분 스트레스를 각각 주었으며, PVC 파이프(∅ 20 cm, L 20 cm)를 세로로 절단한 은신처(shelter)를 넣어서 공기를 공급하였다. 예비사육기간에 먹이는 다시마를 충분히 공급하였으며, 실험구는 50마리의 전복을 실험에 사용하였으며, 오분자기를 수조로 옮긴 후 5분 경과 후를 0 h로 정하여 0, 3, 6, 12 및 24 h째에 각각 3마리의 전복으로부터 혈구와 아가미 조직, 간부위의 조직 샘플을 채취하여 -70°C로 보관하며 분석에 이용하였다.

#### 2) 생존율 측정

실험 개시 후 각 샘플링 시간에 폐사한 개체를 각각 조사하였다. 폐사 개체의 계수는 은신처(shelter)와 수조 벽면에 부착 능력이 없고, 유리봉으로 발과 촉수를 자극하여 반응이 없는 개체를 선택하여 조사하였다.

#### 3) 혈림프(Hemolymph) 수 측정

혈림프 수 측정은 실험개시 후 0, 6, 12, 24 및 48 h째에 전복의 심장 옆 혈관으로부터 바늘 규격 26GX 1/2인 1 ml 주사기를 이용하여 혈액을 채취한 후 0.9% 생리 식염수로 10배 희석하여 혈구 계산판을 이용하여 살아있는 혈구를 계수하였다.



#### 4) 항산화 효소 측정

항산화효소는 간부위를 적출하여 SOD 및 CAT를 각각 분석하였다. 간부위를 적출 후 약 0.1 g을 0.9% NaCl에 3회 세척한 다음 KCl (1.17%)을 함유한 100 mM phosphate buffer (pH 7.4)를 첨가하여 균질화 하였고, 균질화된 시료는 원심분리 (1,000 rpm, 15 min, 4°C)에 의해 지방 및 침전물을 제거하였다. 균질액은 다시 원심분리(13,000 rpm, 20 min, 4°C)한 후 상등액을 항산화 효소 측정용 시료로 사용하였다. 단백질 함량은 Lowry et al. (1951)의 방법에 따라 표준 단백질효소 BSA(bovine serum albumin)를 사용하여 spectrophotometer를 이용 750 nm에서 측정하였다. SOD는 pyrogallol의 자동 산화율이 억제되는 양을 측정하는 Marklund and Marklund (1974)의 방법으로 측정하였으며, 50 mM phosphate buffer (pH 8.24) 1.3 ml에 간장 균질액 25  $\mu$ l을 넣은 후 45  $\mu$ l의 3mM progallol 용액을 첨가하여 spectrophotometer를 이용하여 325 nm의 파장에서 측정하였고, 효소활성의 1 단위는 반응액 중의 pyrogallol의 산화를 50% 억제하는 효소의 양으로 정하였다. CAT활성도 측정은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 기질로 사용하여 spectrophotometer에 의해 240 nm파장에서 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>가 환원되어 감소하는 흡광도로서 효소 활성도를 측정하는 Nelson and Kiesow (1972)의 방법에 의하여 측정하였으며, 효소 활성도의 단위는 1분간 1 mg의 단백질이 반응하여 환원시킨 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 nmol로 나타내었다.

#### 5) Phenoloxidase activity 측정

Phenoloxidase activity은 Ashida and Dohke (1980)의 방법을 응용하여 측정하였다. 96 well plate에 0.1M phosphate buffer (pH 6.0) 150 $\mu$ l에 혈청 15 $\mu$ l를 넣고 잘 혼합한 뒤 0.01M L-DOPA 150 $\mu$ l를 넣은 후 25°C 배양기에서 10분 동안 반응 시킨 후 490nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소의 최종 값은 흡광도 값이 0.001 unit/ml 감소한 값을 1unit으로 표시하였다.

## 6) Lysozyme activity 측정

혈청 내 Lysozyme activity 은 Parry (1965)의 방법에 따라 Turbimetric assay로 조사하였다. *Micrococcus lysodeikticus* (0.1 mg/ml PBS, pH 6.8)현탁액 90 $\mu$ l와 혈청 100 $\mu$ l를 96 well plate에 혼합하여 25 $^{\circ}$ C 배양기에서 5분 동안 반응 시킨 후 530 nm에서 흡광도를 측정하였다. Lysozyme activity은 흡광도 값이 0.001 min/ml 감소한 값을 1unit으로 표시하였다.

## 7) 통계처리

각 실험에서 얻어진 자료에 대한 값의 유의차 유무는 SPSS 통계 패키지에 의한 ANOVA로 분석하여,  $P$ 값이 0.05보다 작은 경우를 유의하다고 판정하였다. 반복 실험의 결과는 평균 $\pm$ 표준편차 평균으로 나타내었다.

### 3. 결과

#### 2-1) 오분자기의 수온변화에 따른 생존 및 생리적 특성 분석

##### 2-1-1) 생존율 측정

급격한 수온 스트레스에 따른 오분자기의 생존율에서는 대조구(20℃)를 비롯한 15, 25℃ 실험구에서는 실험 종료 시 까지 폐사된 개체가 발견되지 않아 100%의 생존율을 나타내었으나, 10℃ 실험구에서는 24h 짜에 폐사된 개체가 발견되었고, 실험종료 시 91%의 생존율을 보였다. 30℃ 실험구에서는 6h 짜부터 폐사된 개체가 발견되다가 24h 짜에 모든 개체가 폐사하였다(Fig. 2).

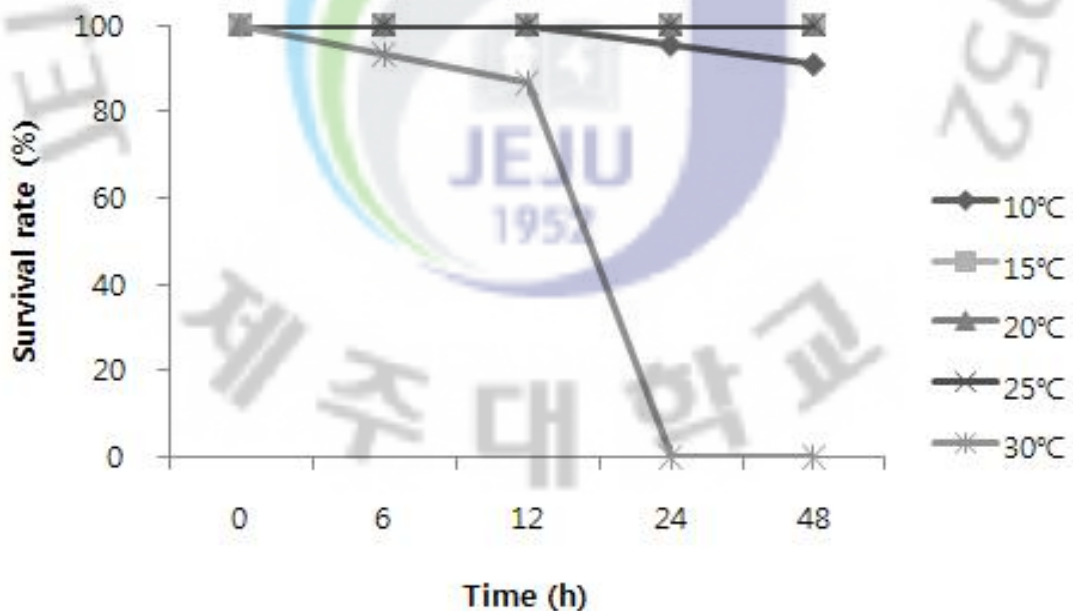


Fig. 2. Survival rate of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water temperature stress.

## 2-1-2) 혈림프 수 변화

급격한 수온 스트레스에 따른 오분자기의 혈림프 수의 변화는 유의적인 차이가 없었으나 시간이 지날수록 혈림프 수가 증가하다가 감소하는 경향을 나타내었다.

15, 20 및 25℃ 실험구의 경우 0h의 혈림프 수와 48h의 혈림프 수가 비슷하게 나타났지만 10℃ 실험구의 경우 0h보다 48h의 혈림프 수가 증가된 것을 확인할 수 있다 (Table 13).

Table 13. Variations of hemolymph factors of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water temperature stress

	Time (h)	Experimental groups				
		10℃	15℃	20℃	25℃	30℃
	0	1.10±0.22	1.14±0.35	1.13±0.33	1.18±0.25	1.15±0.21
	6	1.25±0.41	1.41±0.08	1.33±0.43	1.28±0.46	1.17±0.21
Hemolymph counts ( $\times 10^5$ cell/mm <sup>3</sup> )	12	1.33±0.44	1.33±0.43	1.33±0.37	1.20±0.13	1.25±0.23
	24	1.33±0.15	1.28±0.46	1.14±0.21	1.13±0.13	-
	48	1.30±0.23	1.17±0.21	1.13±0.19	1.11±0.29	-

### 2-1-3) 항산화효소 변화

급격한 수온 스트레스에 따른 항산화 효소인 SOD와 CAT 효소를 확인하였다(Fig. 3, 4). 수온 변화에 따른 SOD효소는 6h 째에 대조구(20℃)에 비하여 저수온인 15℃ 실험구에서 유의적인 증가를 나타내었으며 24, 48h 째에도 대조구(20℃)에 비하여 유의적인 증가를 나타내었다. 고수온인 30℃의 실험구를 제외하고 모든 실험구에서 48h 째에 대조구(20℃)보다 SOD효소가 증가하는 것을 확인하였다. 고수온인 30℃의 실험구에서는 SOD효소 활성이 급격히 저하되어 생리적인 방어 기작이 작용되지 않는 것으로 판단된다.

수온변화에 따른 CAT효소는 6h 째에 대조구(20℃)에 비하여 저수온인 15℃ 실험구에서 유의적인 증가를 나타내었으며 48h 째에도 대조구(20℃)에 비하여 유의적인 증가를 나타내었다. 고수온인 30℃의 실험구를 제외하고 모든 실험구에서 48h 째에 대조구(20℃)보다 CAT효소가 증가하는 것을 확인하였다. 고수온인 30℃에서의 CAT 효소 활성은 SOD와 동일하게 급격히 저하되는 현상을 나타내고 있으며, 이는 내부 스트레스에 대한 방어 체계의 작동이 가동되지 않고 있을 가능성이 큰 것으로 판단된다.

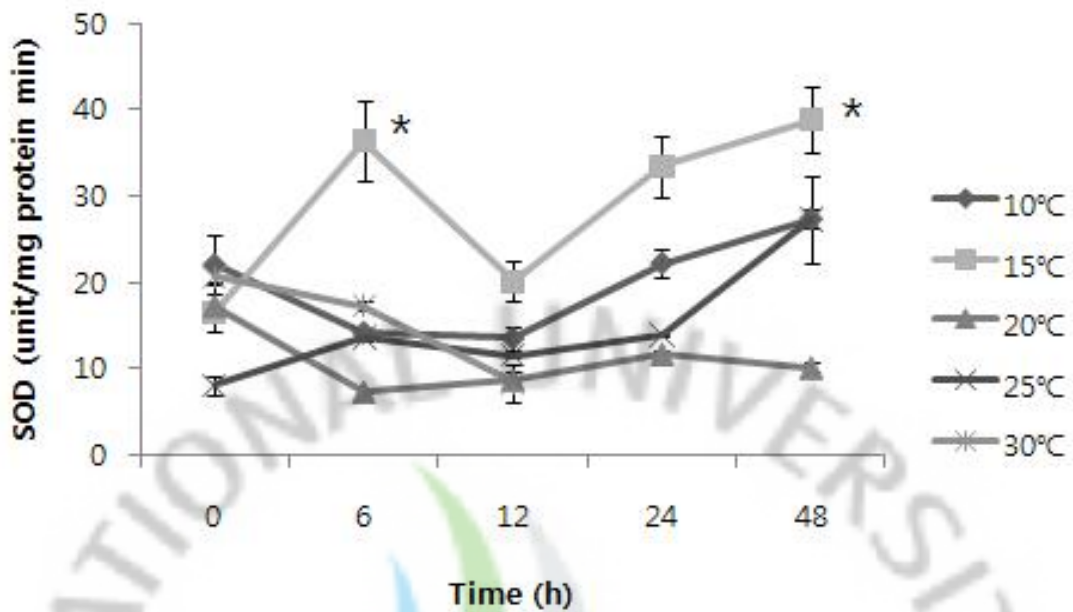


Fig. 3. Change of superoxide dismutase (SOD) activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water temperature stress. \* $P < 0.05$  as compared to 20°C

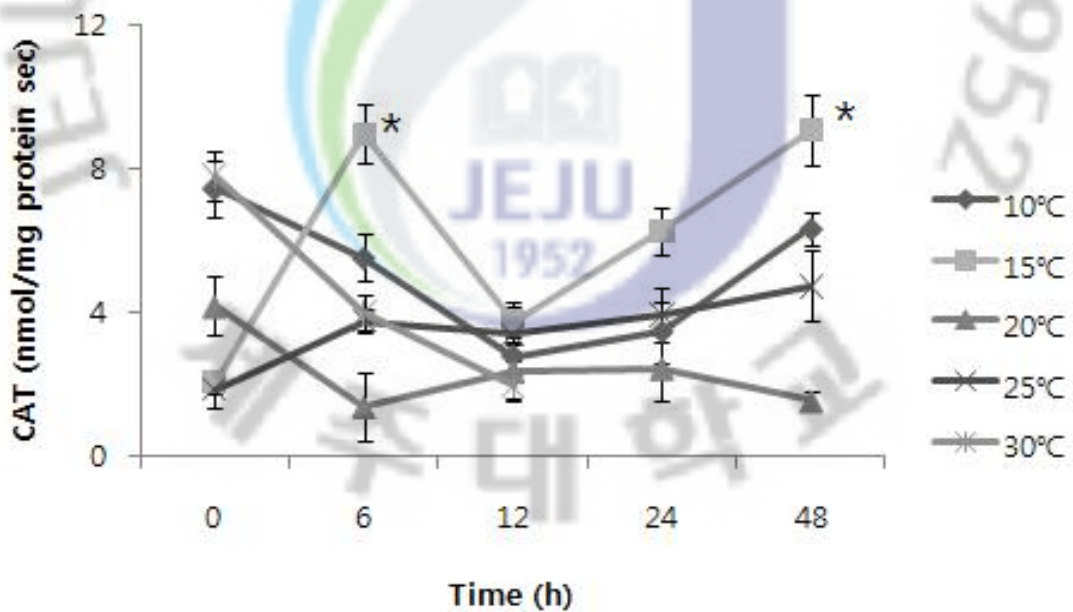


Fig. 4. Change of catalase(CAT) activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water temperature stress. \* $P < 0.05$  as compared to 20°C



#### 2-1-4) Phenoloxidase activity 변화

급격한 수온 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity 변화를 알아보기 위하여 전복의 혈액을 채취하여 분석하였다. 수온변화에 따른 Phenoloxidase activity 변화는 24h 짜에 대조구(20°C)에 비하여 저수온인 10°C 실험구에서 유의적인 증가를 확인할 수 있었으며 48h 짜에는 대조구(20°C)에 비하여 저수온인 10°C 실험구와 고수온인 25°C 실험구에서 유의적인 증가를 확인할 수 있었다(Fig. 5). 30°C 실험구에서는 항산화 효소의 결과와는 달리 12h 짜에 증가하는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 급격한 수온 변화가 오분자기의 면역력의 저하를 가져오고 이를 극복하기 위한 생체 방어 작용의 하나로써 Phenoloxidase가 증가한다는 사실을 알 수 있다.

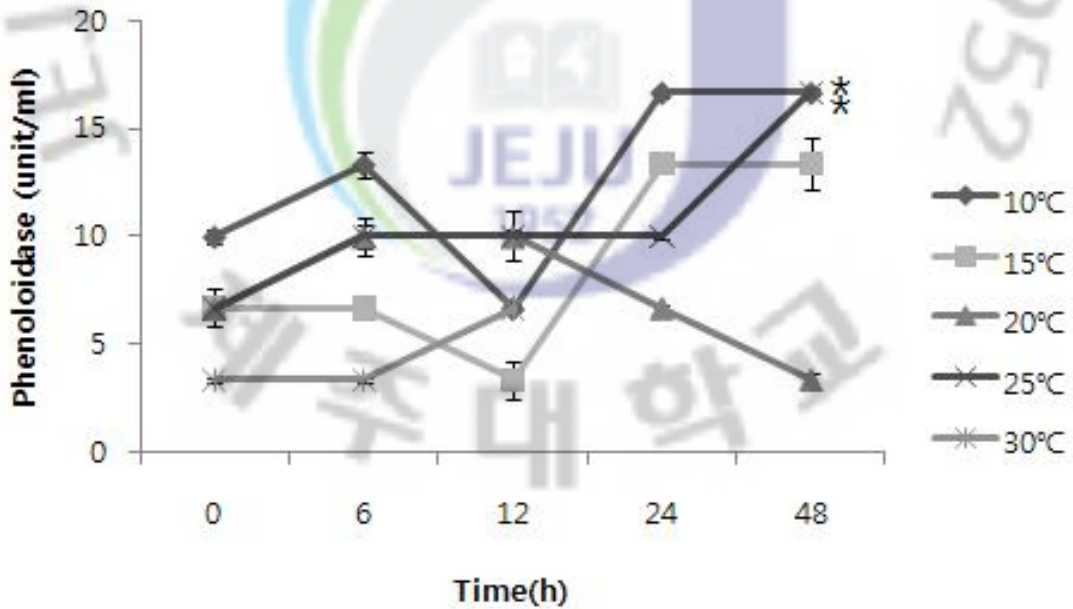


Fig. 5. Phenoloxidase activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water temperature stress. \* $P < 0.05$  as compared to 20°C



## 2-1-5) Lysozyme activity 변화

급격한 수온 스트레스에 따른 Lysozyme activity 변화를 알아보기 위하여 전복의 혈액을 채취하여 분석하였다. 수온변화에 따른 Lysozyme activity 변화는 대조구 (20°C)에 비하여 저수온인 10°C 실험구에서 6h부터 실험종료 시까지 유의적인 증가를 나타내었고, 고수온인 25°C 실험구에서는 6h, 48h에서 유의적인 증가를 나타내었다(Fig. 6). 30°C 실험구에서는 항산화 효소의 결과와 같이 실험개시 후 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 급격한 수온 변화에 Lysozyme이 민감하게 반응하여 생체 방어 작용을 하고 있음을 확인할 수 있었다.

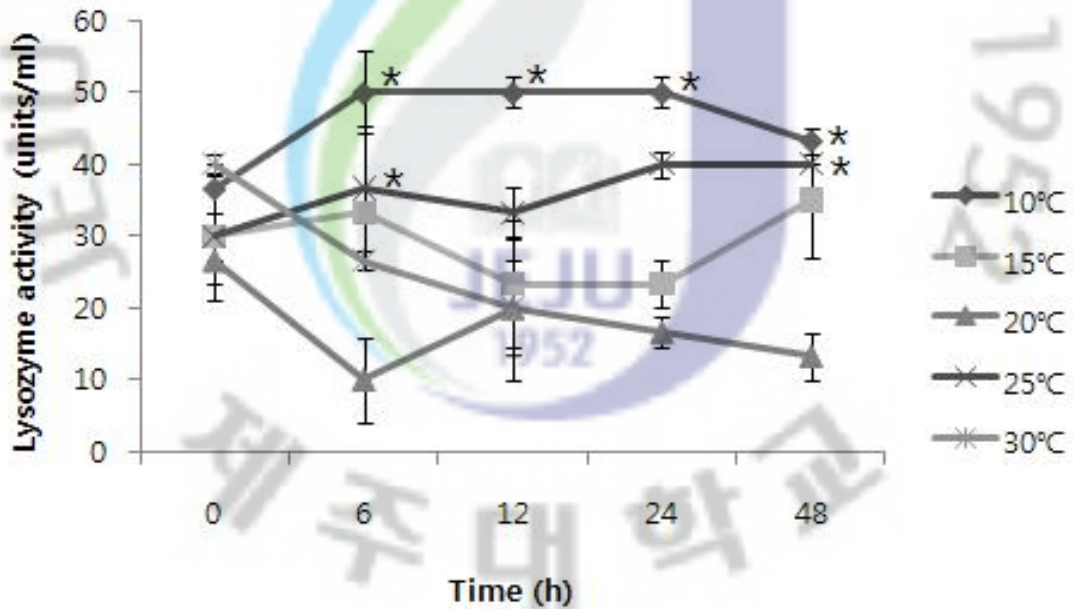


Fig. 6. Lysozyme activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water temperature stress. \* $P < 0.05$  as compared to 20°C

## 2-2) 오분자기의 염분변화에 따른 생존 및 생리적 특성 분석

### 2-2-1) 생존율 측정

급격한 염분 스트레스에 따른 오분자기의 생존율에서는 대조구(33 psu)를 비롯한 30, 35 psu에서는 실험 종료 시 까지 폐사된 개체가 발견되지 않아 100%의 생존율을 나타내었으나, 25 psu 실험구에서는 12h 짜에 폐사된 개체가 발견되었고, 실험 종료 시 98%의 생존율을 보였다(Fig. 7).

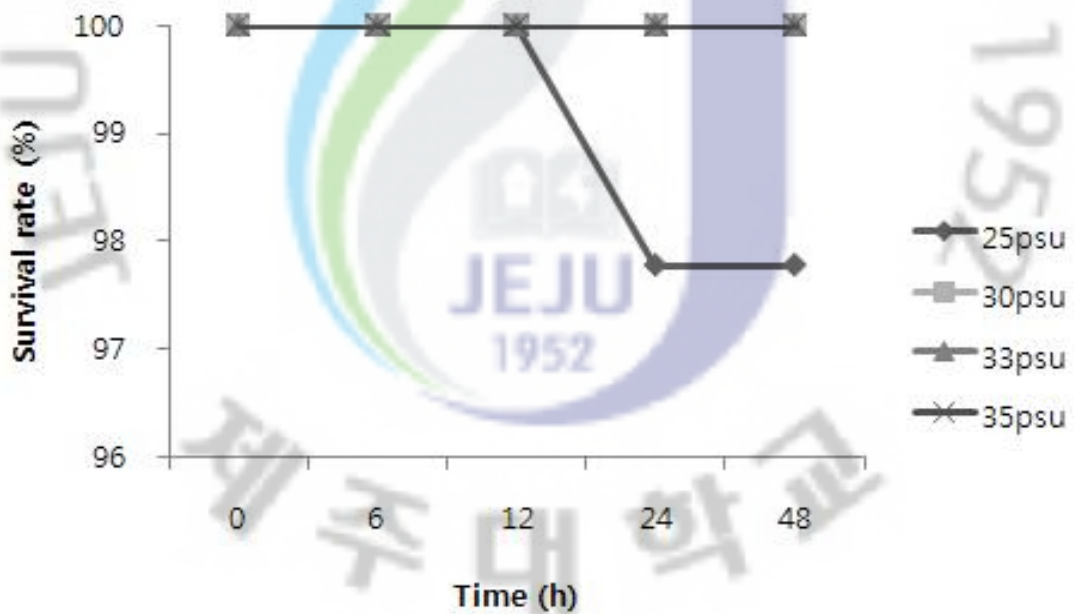


Fig. 7. Survival rate of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water salinity stress.

## 2-2-2) 혈림프 수 변화

급격한 염분 스트레스에 따른 오분자기의 혈림프 수의 변화는 6h에서 25 psu 및 33 psu 실험구에서 높은 수치를 나타내었으며 48h 때에는 33 psu 실험구에서 급격히 낮은 수치를 나타냈다. 전체적으로 시간이 지날수록 혈림프 수가 증가하다가 감소하는 경향을 나타내었다(Table 14).

Table 14. Variations of hemolymph factors of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water salinity stress

	Time (h)	Experimental groups			
		25 psu	30 psu	33 psu	35 psu
Hemolymph counts ( $\times 10^5$ cell/mm <sup>3</sup> )	0	1.28 $\pm$ 0.33	1.29 $\pm$ 0.29	1.33 $\pm$ 0.38	1.32 $\pm$ 0.18
	6	1.39 $\pm$ 0.18	1.58 $\pm$ 0.15	1.55 $\pm$ 0.17	1.51 $\pm$ 0.24
	12	1.33 $\pm$ 0.44	1.38 $\pm$ 0.28	1.43 $\pm$ 0.16	1.45 $\pm$ 0.18
	24	1.33 $\pm$ 0.15	1.24 $\pm$ 0.32	1.34 $\pm$ 0.31	1.32 $\pm$ 0.33
	48	1.30 $\pm$ 0.23	1.25 $\pm$ 0.13	1.06 $\pm$ 0.30	1.28 $\pm$ 0.35

### 2-2-3) 항산화효소 변화

급격한 염분 스트레스에 따른 항산화 효소인 SOD와 CAT 효소를 확인하였다(Fig. 8, 9). 염분 변화에 따른 SOD효소는 0h 짜에 대조구(33 psu)에 비하여 모든 실험구에서 낮은 활성을 나타내었으나 48h 짜에는 30psu 실험구를 제외한 나머지 실험구에서 대조구보다 높은 활성을 나타내었다. 특히 저염분인 25 psu 실험구에서는 대조구에 비해 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 이러한 결과는 염분의 변화가 오분자기의 활성산소를 증가시키고 이에 대한 생체 방어기작으로써 SOD효소 활성을 증가시키는 것으로 파악된다.

염분변화에 따른 CAT효소는 0h 짜에 대조구(33 psu)에 비하여 25 psu 및 35 psu 실험구에서 낮은 활성을 나타내었다. 특히 고염분인 35 psu 실험구에서 유의적으로 낮은 활성을 나타내었다. 12h 짜에는 모든 실험구에서 대조구보다 높은 활성을 나타내었다. 이러한 결과 역시 SOD 효소와 같이 생체 방어기작의 일부로 파악된다.

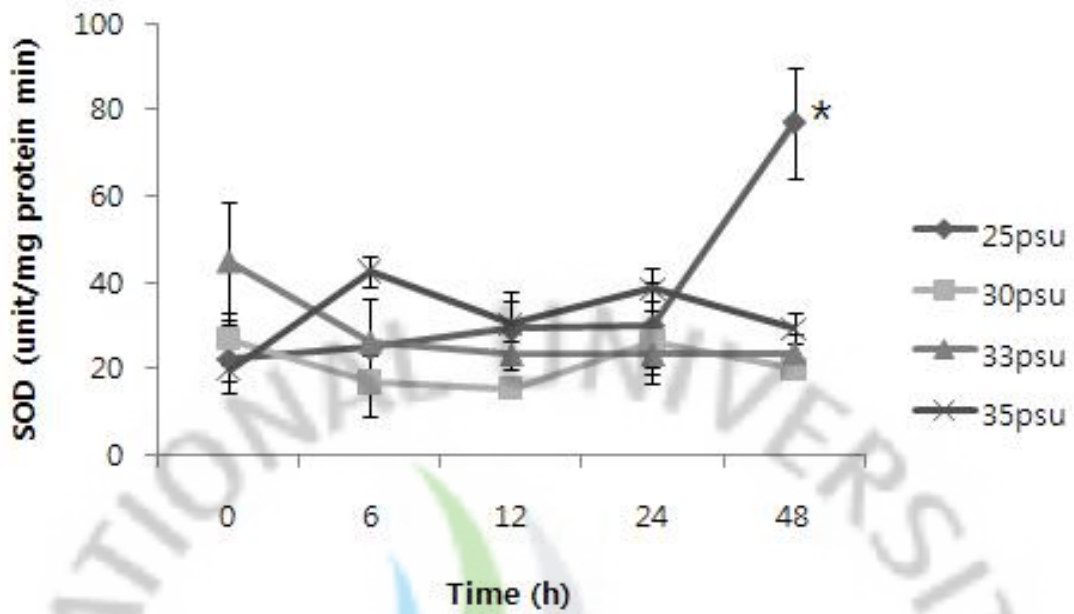


Fig. 8. Change of superoxide dismutase (SOD) activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water salinity stress. \* $P < 0.05$  as compared to 33 psu

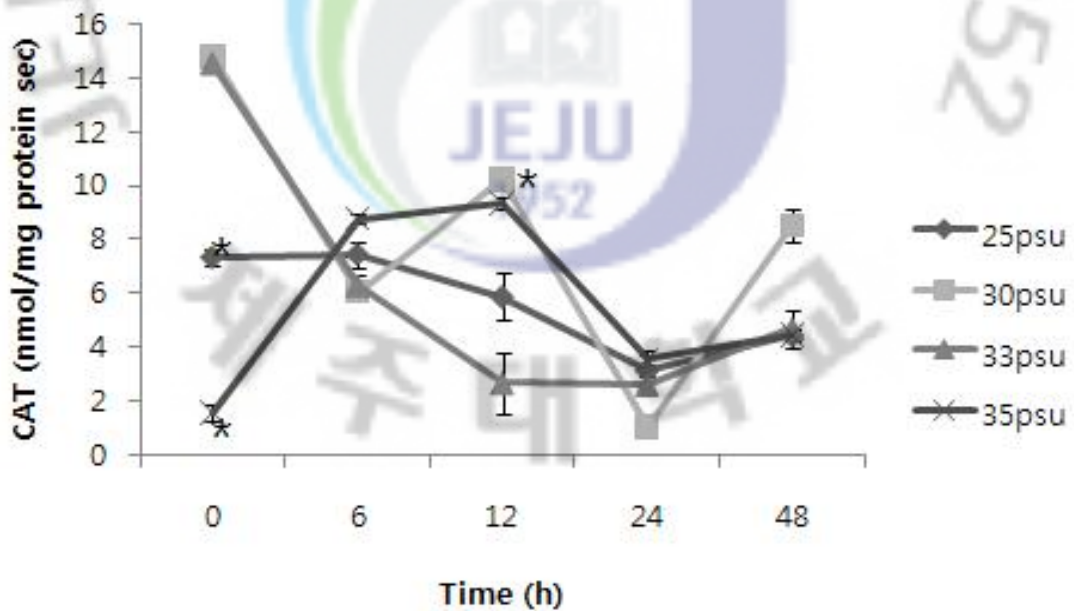


Fig. 9. Change of catalase(CAT) activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water salinity stress. \* $P < 0.05$  as compared to 33 psu

#### 2-2-4) Phenoloxidase activity 변화

급격한 염분 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity 변화를 알아보기 위하여 전복의 혈액을 채취하여 분석하였다. 염분변화에 따른 Phenoloxidase activity 변화는 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 48h 때에는 모든 실험구에서 대조구보다 높은 활성을 나타내었다(Fig. 10). 이러한 결과는 염분 변화로 인한 면역력의 저하에 대한 생리적인 적응 기작으로 파악된다.

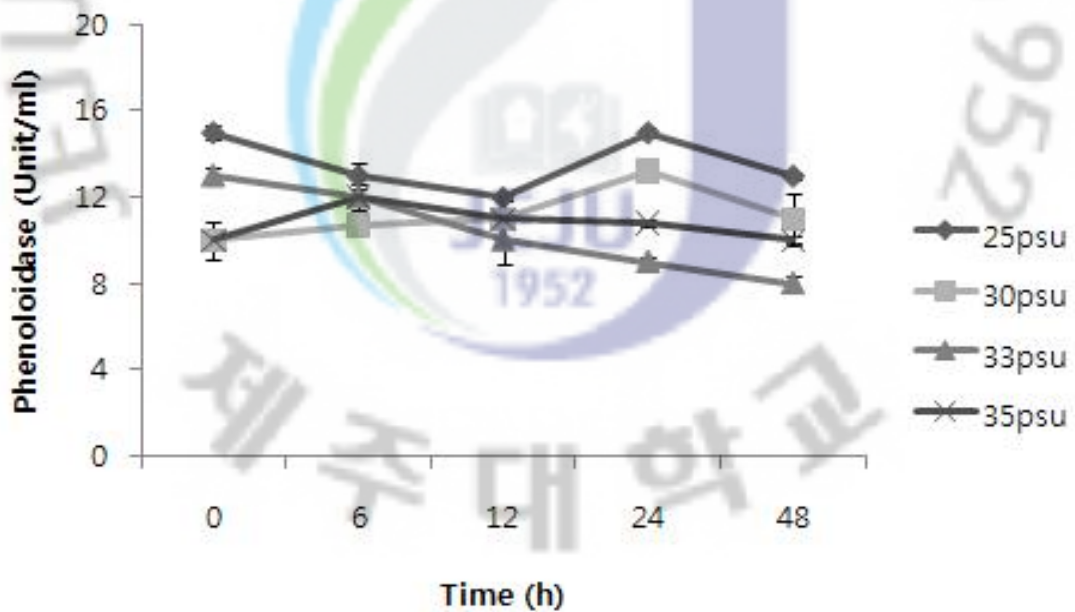


Fig. 10. Phenoloxidase activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water salinity stress.

## 2-2-5) Lysozyme activity 변화

급격한 염분 스트레스에 따른 Lysozyme activity 변화를 알아보기 위하여 전복의 혈액을 채취하여 분석하였다. 염분변화에 따른 Lysozyme activity는 0h째 모든 실험구에서 대조구(33 psu)보다 낮은 활성을 나타내었고 실험 종료시인 48h 째에도 낮은 활성을 나타내었다(Fig. 11). 염분 변화에 대한 Lysozyme activity 변화는 수온 변화에 따른 Lysozyme activity의 결과와는 차이를 나타내는 것으로 이에 대해서는 추가적인 검토가 필요할 것으로 파악된다.

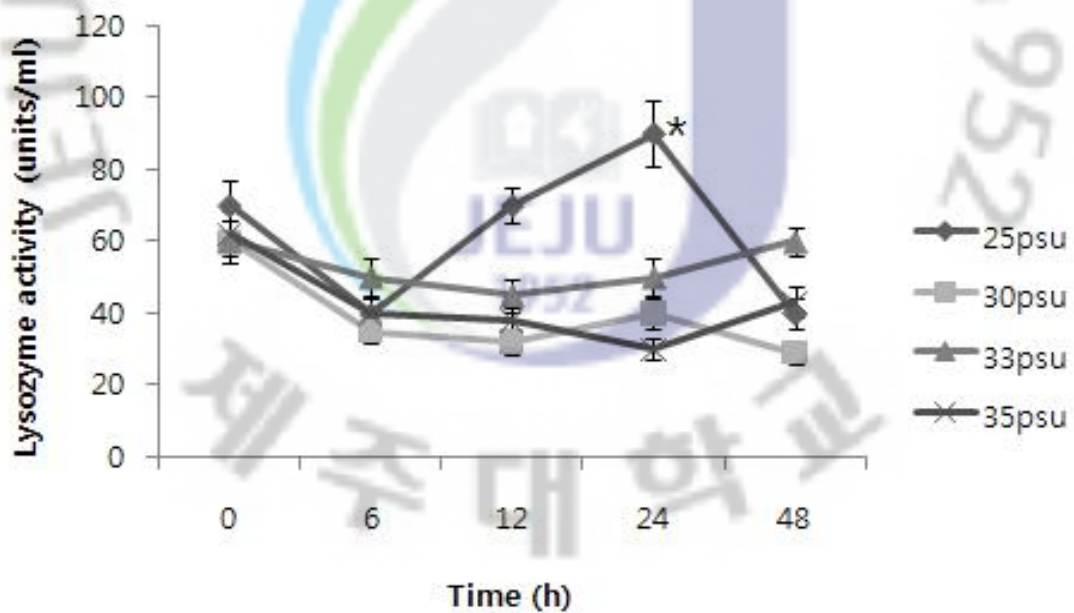


Fig. 11. Lysozyme activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute water salinity stress. \* $P < 0.05$  as compared to 33 psu



## 2-3) 오분자기의 고수온 저염분변화에 따른 생존 및 생리적 특성 분석

### 2-3-1) 생존율 측정

고수온 저염분 스트레스에 따른 오분자기의 생존율에서는 6h까지는 폐사된 개체가 발견되지 않았으나 12h 때에 각 실험구별로 폐사된 개체가 발견되었다. 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구에서는 12h 때에 94%의 생존율을 나타내었고 27 psu 실험구에서는 91%의 생존율을 나타내었다. 24 psu 실험구에서는 86%의 생존율을 나타내었으며 가장 낮은 염분실험구인 21 psu 실험구에서는 80%의 생존율을 나타내었다. 실험 종료시인 24h 때에는 33 psu 및 30 psu 실험구에서 6%의 생존율을 나타내었고, 나머지 실험구에서는 전부 폐사하였다(Fig. 12).

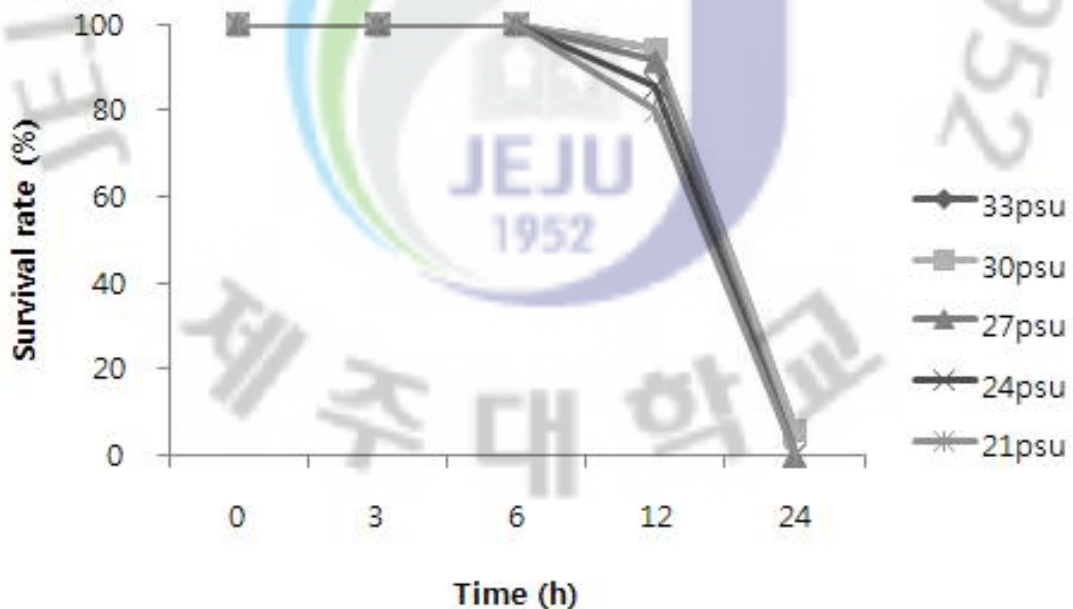


Fig. 12. Survival rate of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress.

### 2-3-2) 혈림프 수 변화

고수온 저염분 스트레스에 따른 오분자기의 혈림프 수의 변화를 살펴보면 대조구 (20°C 33 psu)의 경우 시간이 경과함에 따라 혈림프 수가 증가하였다가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 33 psu 실험구의 경우 0h 때에 혈림프의 수가 대조구보다 높은 수치를 나타내지만 대조구와 같이 시간이 경과함에 따라 증가하였다가 감소하였다. 30 psu 실험구에서는 혈림프 수의 유의적인 변화를 나타내지 않았다. 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21 psu 실험구에서는 다른 실험구와는 달리 시간이 경과함에 따라 혈림프 수가 감소하는 것을 확인할 수 있었다(Table 15).

Table 15. Variations of hemolymph factors of small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress

Time(h)	Experimental groups					
	Control	33 psu	30 psu	27 psu	24 psu	21 psu
0	1.14±0.31	1.25±0.18	1.24±0.23	1.26±0.21	1.18±0.17	1.16±0.23
3	1.29±0.33	1.29±0.25	1.25±0.13	1.24±0.25	1.17±0.28	1.11±0.17
Hemolymph counts (x10 <sup>5</sup> cell/mm <sup>3</sup> )						
6	1.32±0.31	1.30±0.21	1.28±0.21	1.23±0.18	1.12±0.23	1.13±0.27
12	1.23±0.27	1.28±0.27	1.28±0.16	1.20±0.15	1.10±0.18	1.10±0.13
24	1.18±0.24	1.15±0.14	1.26±0.12			

### 2-3-3) 항산화효소 변화

고수온 저염분 스트레스에 따른 항산화 효소인 SOD와 CAT 효소를 확인하였다(Fig. 13, 14). 고수온 저염분 변화에 따른 SOD효소는 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구에서 감소 후 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21 psu 실험구에서는 0h 짜에 높은 SOD 활성을 나타내었다가 3h 짜에 활성이 저하되고 이후 6h 짜에 활성이 증가한 후 12h 짜에 활성이 내려가는 경향을 나타내었다. 특히 24 psu 실험구에서는 6h 짜에 높은 SOD활성을 나타내었다.

염분변화에 따른 CAT효소는 모든 실험구에서 3h 짜에 대조구(20℃ 33 psu)보다 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 6h 짜에는 모든 실험구에서 활성이 감소하였고 12h 짜에는 33 psu 실험구, 30 psu 실험구 및 27psu 실험구에서 증가하는 경향을 나타내었으나 24 psu 실험구와 21 psu 실험구에서는 감소하였다.

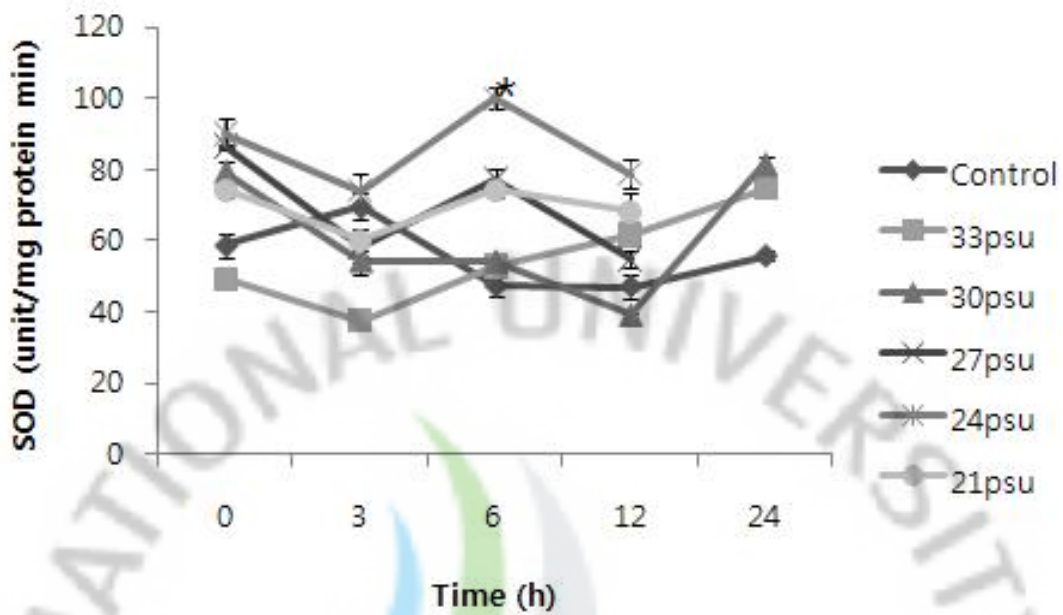


Fig. 13. Change of superoxide dismutase (SOD) activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. \* $P < 0.05$  as compared to control (20°C 33 psu)

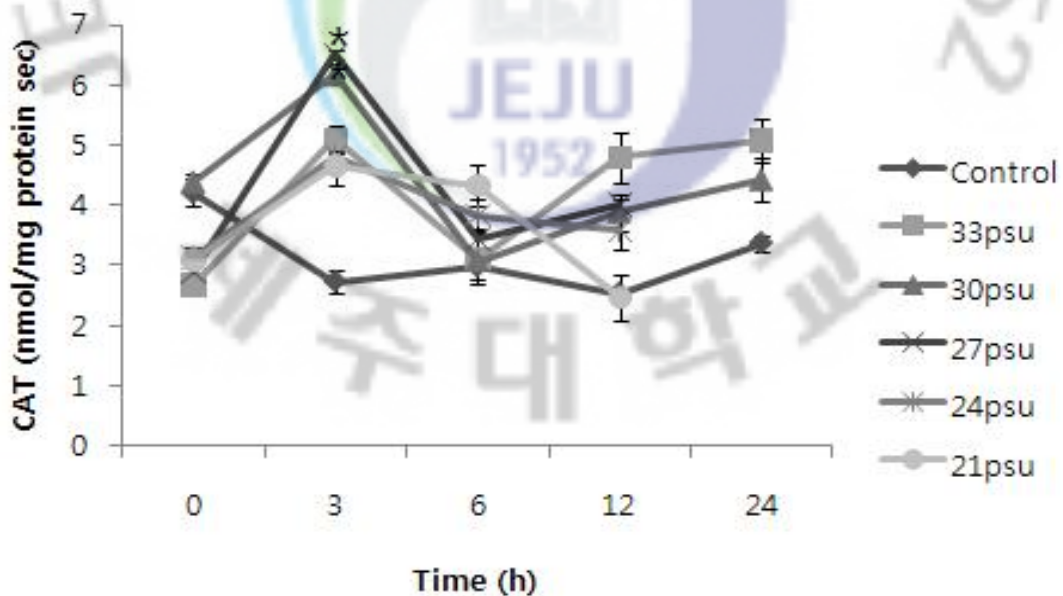


Fig. 14. Change of catalase (CAT) activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. \* $P < 0.05$  as compared to control (20°C 33 psu)

## 2-3-4) Phenoloxidase activity 변화

고수온 저염분 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity 변화를 알아보기 위하여 전복의 혈액을 채취하여 분석하였다. 3h 짜에 24 psu 실험구에서 다른 실험구에 비해 유의적으로 높은 활성을 나타내었고 6h 짜에 27 psu 실험구 및 24 psu 실험구에서 대조구(20°C 33 psu)에 비해 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 12h 짜에는 33 psu 실험구를 제외한 모든 실험구에서 Phenoloxidase activit가 감소하는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 15).

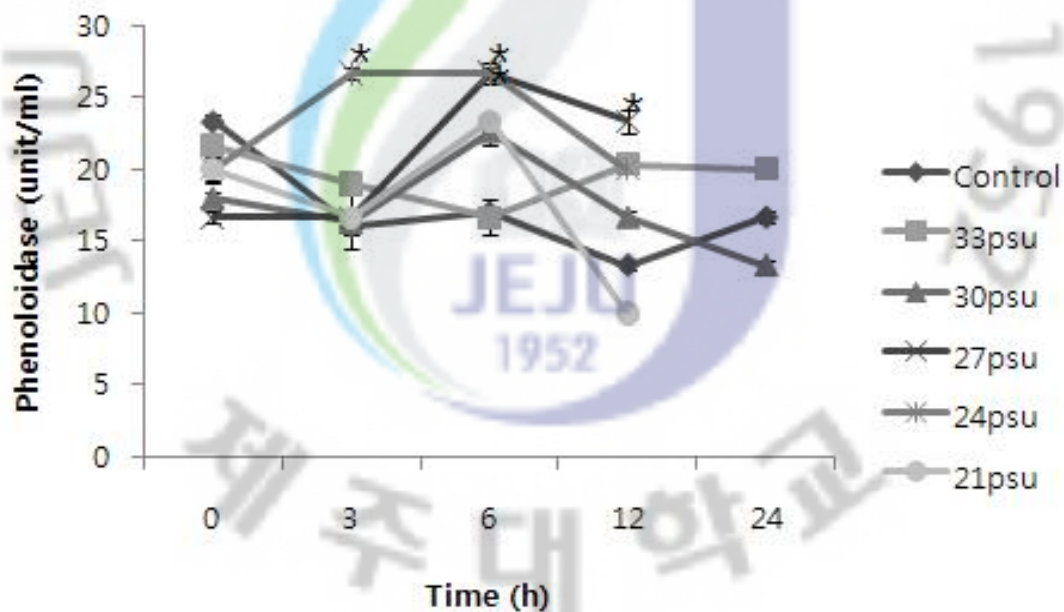


Fig. 15. Phenoloxidase activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. \* $P < 0.05$  as compared to control(20°C 33 psu)

### 2-3-5) Lysozyme activity 변화

고수온 저염분 스트레스에 따른 Lysozyme activity 변화를 알아보기 위하여 전복의 혈액을 채취하여 분석하였다. 3h 짜에 30 psu 실험구를 제외한 모든 실험구에서 Lysozyme activity가 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 이후 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21 psu 실험구에서 증가하였다 12h 짜에 감소하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 16).

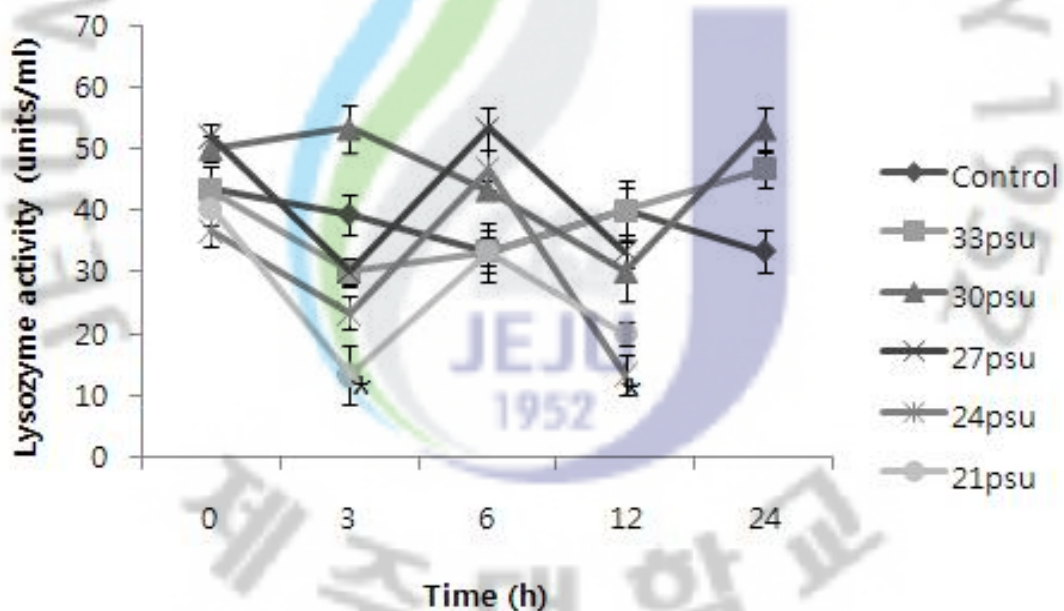


Fig. 16. Lysozyme activity in small abalone (*Haliotis diversicolor aquatili*) exposed to acute high water temperature and low water salinity stress. \* $P < 0.05$  as compared to control (20°C 33 psu)



#### 4. 고찰

급격한 수온 변화가 패류인 오분자기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 20℃에서 2주간 순치시킨 오분자기를 10, 15, 20, 25 및 30℃의 수조에서 0, 6, 12, 24 및 48h에 혈구와 아가미, 간부위의 샘플을 채취하여 수온 스트레스에 대한 생리학적 변화를 조사하였다. 급격한 수온 변화로 인한 오분자의 생존율은 10, 30℃에서 변화를 보였는데 10℃ 실험구의 경우 24h 째에 처음으로 폐사된 개체가 발견되기 시작하여 지속적으로 폐사가 이루어져 48h 째에는 91%의 생존율을 나타내었다. 30℃ 실험구의 경우에는 0h부터 폐사된 개체가 발견되기 시작하여 24h 째에는 전부 폐사되었다. 이는 오분자가 저수온보다는 고수온에 더 취약하기 때문인 것으로 파악된다. 또한 오분자의 수온에 따른 저항력이 12h 째에 한계에 도달하는 것으로 파악된다. 15, 25℃ 실험구에서 폐사된 개체가 나타나지 않은 것으로 보아 오분자는 급격하게 수온이 변하더라도 적은 변화 폭을 보이면 오분자는 항상성 유지를 위하여 생리적인 변화를 일으켜서 수온에 적응해 나가는 것을 알 수 있다.

스트레스와 대사의 지표로 많이 사용되는 혈액 샘플을 전복의 심장 옆 혈관에서 주사기를 이용하여 채취한 뒤, 혈림프를 계수하여 급격한 수온 스트레스에 따른 오분자의 혈림프 수의 변화를 조사하였는데 대조구(20℃)와 비교했을 때 모든 실험구에서 시간에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 하지만 15℃ 실험구의 경우에는 6h 째에 급격하게 혈림프 수가 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 수온의 변화에 적응하기 위하여 혈림프 수를 증가시키는 반응으로 보인다. 반면 10, 30℃ 실험구의 경우에는 혈림프 수의 변화가 다른 실험구에 비하여 적는데 이는 급격하게 수온이 변화하여 생리적인 활성이 떨어졌기 때문으로 여겨진다. 또한 10℃ 실험구에서는 12h 째의 혈림프 수가 48h까지 미미한 변화를 보이는데 이는 12h 째에 10℃ 오분자기에서 폐사가 일어나기 시작하는 것과 관계가 있는 것으로 보인다. 즉, 10℃ 오분자의 경우 12h 전까지는 혈림프 수를 증가시켜 수온 변화에 적응하려 하지만 12h 이후에는 더 이상 혈림프 수를 증가시키지 못하고 이로 인해 폐사가 일어나기 시작하는 것으로 여겨진다. 15, 20 및 25℃ 실험구의 경우 혈림프 수가 증가하였다가 48h에 0h의 혈림프 수와 비슷하게 되는데 이는 일정한 시간이 지남으로 인해 수온에 적응하였기 때문인 것으로 여겨진다.



생물에서는 각종 스트레스에 의해 생성된 활성산소는 어떤 유해물질이나 약물 등에 노출되었을 때 병적 상태에서는 이들이 과다하게 생성되어 조직에 치명적인 손상을 입힐 수 있다(Goldberg and stern, 1977; Simon et al., 1981; Moody and Hassan, 1982). 이러한 활성산소에 대하여 체내에서는 항산화효소인 superoxide dismutase (SOD)와 catalase(CAT) 등을 생성하여 세포기능 손상을 막는 것으로 알려져 있으며, 그 중 SOD는 superoxide radical ( $O_2^-$ )를  $H_2O_2$ 와  $O_2$  ( $2O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$ )로 전환시키며, 이 전환된  $H_2O_2$ 를 CAT가  $O_2$ 와  $H_2O$  ( $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ )로 분해하여 활성산소를 형성하기 전에 생체에 무해한 분자들로 전환시킨다(Forman and Fridovich, 1973). 급격한 수온 변화에 대한 오분자기의 SOD와 CAT효소 변화를 조사하였는데 급격한 수온 변화에 따른 SOD효소는 6h 짜에 대조구(20℃)에 비하여 15℃ 실험구에서 유의적인 차이를 나타내었으며 24, 48h 짜에도 대조구(20℃)에 비하여 유의적인 차이를 나타내었다. 30℃의 실험구를 제외하고 모든 실험구에서 48h 짜에 대조구(20℃)보다 SOD효소가 증가하는 것을 확인하였다. 15℃ 실험구에서 SOD효소가 대조구(20℃)에 비하여 높게 나타나는 것은 수온 스트레스에 의한 활성산소를 억제 시키기 위해서 인 것으로 파악되며 10℃ 실험구에서는 12h 이후 급격하게 SOD효소가 증가하는데 이는 12h 이후 폐사된 개체가 발생하는 것과 연관성이 있는 것으로 보인다. 30℃ 실험구의 경우 SOD효소가 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 고수온으로 인하여 오분자기의 생리활성이 급격하게 떨어져서 체내의 활성산소를 억제하기 위한 반응을 하지 못하기 때문으로 여겨진다.

급격한 수온 변화에 따른 CAT효소는 6h 짜에 대조구(20℃)에 비하여 15℃ 실험구에서 유의적인 차이를 나타내었으며 48h 짜에도 대조구(20℃)에 비하여 유의적인 차이를 나타내었다. 30℃의 실험구를 제외하고 모든 실험구에서 48h 짜에 대조구(20℃)보다 CAT효소가 증가하는 것을 확인하였다. 15℃ 실험구에서 CAT효소가 대조구(20℃)에 비하여 높게 나타나는 것은 SOD효소와 같은 이유때문인 것으로 여겨진다. 즉, 수온 스트레스에 의한 활성산소를 억제 시키기 위해서 오분자기 체내에 CAT효소가 많이 발생하는 것으로 여겨진다. 또한 10℃ 실험구에서는 SOD효소의 경우와 비슷하게 12h부터 CAT효소가 증가하게 되는데 이 역시 12h 이후 폐사된 개체가 발생하는 것과 연관성이 있는 것으로 보인다. 30℃ 실험구의 경우에도 SOD효소와 같이 CAT효소가 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 고수온으로 인하여 오분자기의 생

리활성이 급격하게 떨어져서 체내의 활성산소를 억제하기 위한 반응을 하지 못하기 때문으로 여겨진다.

무척추동물의 면역계는 선천성 면역계가 주를 이루고 있으며, pro-phenoloxidase를 매개로 하는 멜라닌 자극계는 방어 수단에서 중요하다. Phenoloxidase는 hemolymph 내 hemocyte에 의해 합성되며, 초기에는 pro-phenoloxidase로 합성되었다가 체내에 세균이나 기생충과 같은 미생물이나 기타 이물질이 침입하면 phenoloxidase로 활성화 된다. 급격한 수온 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity 변화는 24h 짜에 대조구(20°C)에 비하여 10°C 실험구에서 유의적인 차이를 확인할 수 있었으며 48h 짜에는 대조구(20°C)에 비하여 10, 25°C 실험구에서 유의적인 차이를 확인할 수 있었다. 10°C 실험구의 경우 12h부터 급격한 증가를 보이는 데 이는 12h 이후 폐사된 개체가 발생하는 것과 연관성이 있는 것으로 파악된다. 또한 30°C 실험구에서는 12h 짜에 증가하는데 이는 24h에 전부 폐사하는 것과 관련이 있는 것으로 보인다.

Lysozyme은 살균 및 항염증성 성질을 지니고 있어 옴소닌 및 항기생충 작용, 항바이러스 작용 및 오염물질의 작용 등에 관여함으로써 생체의 방어기작에 다양한 역할을 담당하는 것으로 알려져 있다 (Mohandas, 1985). 급격한 수온 스트레스에 따른 Lysozyme activity 변화는 6h 짜에 대조구(20°C)에 비하여 10, 25°C 실험구에서 유의적인 차이를 나타내었으며 12h 짜에는 대조구(20°C)에 비하여 10°C 실험구에서 유의적인 차이를 나타내었다. 24, 48h 짜에는 대조구(20°C)에 비하여 10, 25°C 실험구에서 유의적인 차이를 나타내었다. 10°C 실험구의 경우 Lysozyme 활성이 모든 실험 구간에서 높게 나타나는데 이는 급격한 수온의 변화로 인해 저항력이 낮아져서 이를 회복시키기 위하여 Lysozyme 활성이 높게 나타나는 것으로 여겨진다. 30°C 실험구의 경우 Lysozyme 활성 역시 감소하는 것을 보여주는데 이는 고수온으로 인해 오분자기의 생리 활성이 떨어졌기 때문으로 파악된다.

급격한 수온 변화에 따른 오분자기의 기초 생리적인 특성과 변화는 혈액에서의 변화, 항산화 효소의 변화, phenoloxidase 활성 변화, Lysozyme 활성 변화를 확인하였다. 이러한 실험의 결과를 토대로 20°C에서 순치된 오분자기는 15°C와 25°C로의 수온 변화에는 생리적인 반응을 통하여 적응을 할 수 있지만 10°C와 30°C로의 수

온 변화에는 생리적인 반응이 한계를 보이는 것으로 파악된다. 즉, 저수온이나 고수온 스트레스 모두 오분자기의 생리 활성을 저해하는 효과를 가져오는 것으로 여겨진다.

급격한 염분 변화가 패류인 오분자에게 미치는 영향을 알아보기 위하여 33 psu에서 2주간 순치시킨 오분자기를 25, 30, 33 및 35 psu의 수조에서 0, 6, 12, 24 및 48h에 혈구와 아가미, 간부위의 샘플을 채취하여 염분 스트레스에 대한 생리학적 변화를 조사하였다. 급격한 염분 변화로 인한 오분자기의 생존율은 25 psu 실험구에서 변화를 보였는데 25psu 실험구의 경우 12h 때에 처음으로 폐사된 개체가 발견되기 시작하여 지속적으로 폐사가 이루어져 48h 때에는 98%의 생존율을 나타내었다. 이는 오분자가 염분의 변화에 영향을 받기는 하지만 염분의 변화가 생존에 큰 위협이 되지 않는 것으로 보인다.

급격한 염분 스트레스에 따른 오분자기의 혈림프 수의 변화를 조사하였는데 대조구(33 psu)와 비교했을 때 모든 실험구에서 시간이 지남에 따라 혈림프 수가 증가하였다 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 외부의 스트레스에 의해 일시적으로 증가하였던 혈림프 수가 시간이 경과함에 따라 염분 변화에 적응하여 안정 상태로 되돌아가려는 현상으로 파악된다.

급격한 염분 변화에 대한 오분자기의 SOD와 CAT효소 변화를 조사하였는데 급격한 염분 변화에 따른 SOD효소는 0h 때에 대조구(33 psu)에 비하여 모든 실험구에서 낮은 활성을 나타내었으나 48h 때에는 30 psu 실험구를 제외한 나머지 실험구에서 대조구보다 높은 활성을 나타내었다. 특히 저염분인 25 psu 실험구에서는 대조구에 비해 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 이러한 결과는 염분의 변화가 오분자기의 활성산소를 증가시키고 이에 대한 생체 방어기작으로써 SOD효소 활성을 증가시키는 것으로 파악된다.

염분변화에 따른 CAT효소는 0h 때에 대조구(33 psu)에 비하여 25 및 35 psu 실험구에서 낮은 활성을 나타내었다. 특히 고염분인 35 psu 실험구에서 유의적으로 낮은 활성을 나타내었다. 이러한 결과 역시 SOD 효소와 가이 생체 방어기작의 일부로 파악된다.

급격한 염분 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 염분의 변화가 오분자기 Phenoloxidase activity에 큰

영향을 미치지 않지만 지속적인 염분의 변화는 면역력의 저하를 가져올 것으로 파악된다.

염분변화에 따른 Lysozyme activity는 0h째 모든 실험구에서 대조구(33 psu)보다 낮은 활성을 나타내었고 실험 종료시인 48h 째에도 낮은 활성을 나타내었다. 염분 변화에 대한 Lysozyme activity 변화는 수온 변화에 따른 Lysozyme activity의 결과와는 차이를 나타내는 것으로 이에 대해서는 추가적인 검토가 필요할 것으로 파악된다.

이러한 실험의 결과를 토대로 33 psu에서 순치된 오분자기는 급격한 염분 변화 스트레스에 적응하는 것으로 파악된다. 스트레스에 대한 항산화 효소의 활성을 살펴보면 고염분 및 저염분 스트레스에 변화를 보이는 것을 확인할 수 있으며 오분자기의 면역력을 측정할 수 있는 항목인 Phenoloxidase activity 및 Lysozyme activity에서는 유의적인 차이를 나타내지 않아 급격한 염분 변화는 오분자기의 생존에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 파악된다.

고수온 저염분 변화가 패류인 오분자기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 20℃ 33 psu에서 2주간 순치시킨 오분자기를 30℃ 33, 30℃ 30, 30℃ 27, 30℃ 24 및 30℃ 21 psu의 수조에서 0, 6, 12, 24 및 48h에 혈구와 아가미, 간부위의 샘플을 채취하여 고수온 저염분 스트레스에 대한 생리학적 변화를 조사하였다. 고수온 저염분 변화로 인한 오분자기의 생존율은 6h 까지는 폐사된 개체가 발생하지 않았으나 12h 째에 폐사된 개체가 발생하였고 24h 째에는 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구에서 6%의 생존율을 나타내었고 나머지 실험구에서는 전부 폐사하였다. 이는 오분자기가 고수온 저염분의 변화에 영향을 받아 폐사가 이루어진 것으로 보이며 특히 같은 수온이라도 염분이 떨어질수록 더욱 큰 영향을 받는 것으로 파악된다.

고수온 저염분 스트레스에 따른 오분자기의 혈림프 수의 변화를 조사하였는데 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구에서는 시간이 경과함에 따라 증가하였다가 감소하는 경향을 나타내었지만 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21 psu 실험구에서는 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 고수온에서 염분의 변화가 적을 때에는 일시적으로 혈림프 수가 증가하였다가 시간이 경과함에 따라 안정상태로 되돌아가려는 현상으로 파악되며, 염분의 변화가 크게 일어나게 되면 외부의 스트레스에 적응하지 못하고 생리적 활성이 떨어져 혈림프 수가 감소하는 것으로 파악된다.

고수온 저염분 변화에 따른 SOD효소는 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구에서 감소 후 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21 psu 실험구에서는 0h 때에 높은 SOD 활성을 나타내었다가 3h 때에 활성이 저하되고 이후 6h 때에 활성이 증가한 후 12h 때에 활성이 내려가는 경향을 나타내었다. 특히 24 psu 실험구에서는 6h 때에 높은 SOD활성을 나타내었다.

염분변화에 따른 CAT효소는 모든 실험구에서 3h 때에 대조구(20℃ 33 psu)보다 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 6h 때에는 모든 실험구에서 활성이 감소하였고 12h 때에는 33 psu 실험구, 30 psu 실험구 및 27 psu 실험구에서 증가하는 경향을 나타내었으나 24 psu 실험구와 21 psu 실험구에서는 감소하였다. 이러한 결과는 고수온 저염분에 의해 활성산소가 발생하였고 이를 막기 위해 생체 내에서 SOD 및 CAT 효소가 활성화 되는 것을 확인 할 수 있다.

고수온 저염분 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity는 3h 때에 24 psu 실험구에서 다른 실험구에 비해 유의적으로 높은 활성을 나타내었고 6h 때에 27 psu 실험구 및 24 psu 실험구에서 대조구(20℃ 33 psu)에 비해 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 12h 때에는 33 psu 실험구를 제외한 모든 실험구에서 Phenoloxidase activity가 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

고수온 저염분 스트레스에 따른 Lysozyme activity 변화를 살펴보면 3h 때에 30 psu 실험구를 제외한 모든 실험구에서 Lysozyme activity가 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 이후 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21 psu 실험구에서 증가하였다 12h 때에 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 고수온 저염분 스트레스로 인해 오분자기의 면역력이 감소한다는 것을 확인할 수 있다.

이러한 실험의 결과는 급격한 수온의 변화가 오분자기의 생존에 악영향을 미치는 것으로 파악되었으며, 급격한 염분의 변화에는 오분자기가 적응할 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 하지만 고수온의 해수에서 염분의 감소는 오분자기의 폐사를 더욱 촉진시키는 것으로 파악된다.



## IV. 종합고찰

본 연구에서는 오분자기 자원실태를 파악하고자 제주연안 마을어장에 대한 오분자기의 생산량, 서식분포밀도, 서식환경에 대한 조사를 실시하였다.

오분자기의 서식밀도 조사는 종묘를 인위적으로 방류한 어촌계와 방류를 하지 않은 어촌계를 대상으로 실시하였다. 그 결과 인위적으로 종묘방류를 실시한 보목리와 그 외의 지역간에 오분자기의 서식밀도에는 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 오히려 방류를 실시하지 않았던 비양리, 사계리 등에서 상대적으로 높은 밀도를 나타내었다. 그러나 이러한 서식밀도는 25 m<sup>2</sup> 당5~12마리의 서식을 나타내어 실제 자원량 증가를 위해서는 보다 높은 수준의 서식 개체수가 필요할 것으로 예상된다.

또한 오분자기의 서식에 영향을 미치는 먹이가 되는 해조류 및 경쟁자관계의 동물 분포에 대하여 알아보하고자 서식 생물상 조사를 실시한 결과, 조사해역별 서식해조류는 다소 차이를 나타내어 서식 개체수가 상대적으로 많이 나타났던 비양리, 사계리가 애월리 및 보목리에 비해 종수 및 생체량이 약간 풍부하게 나타났다. 오분자기 서식장에서의 출현 해조류는 주로 개우무(*P. tenuis*), 모란갈파래(*U. conglobata*), 흑개서실(*C. undulata*), 방황게발혹(*M. aberrans*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 큰열매모자반(*S. macrocarpum*), 애기게발(*Amphiroa pusilla*), 감태(*E. cava*), 갈색대마디말(*C. wrightiana*) 등이 우점적으로 분포하였다. 동물상의 경우 무늬무룩(*E. scripta*), 유리고둥(*P. solida*), 바퀴고둥(*A. haematragum*), 탐뿔고둥(*E. contracta*), 긴팔불가사리(*O. cribrarius*) 등이 관찰되어 서로 경쟁 및 포식의 관계를 이루고 있는 것으로 추정된다. Won et.,(2008)의 보고에 따르면 오분자기의 경쟁종으로서 삿갓조개류, 해삼류, 단각류들, 포식종으로서는 별불가사리 등의 육식성의 권패류를 보고하였다. 이와 같이 제주해역의 오분자기 자원량 증대를 위해서는 각 해역에서의 오분자기의 먹이관계, 경쟁종 및 포식종간의 생태적 지위 및 환경에 대한 연구가 수행되고 이에 적절한 방류가 이루어져야 할 것이다.

그러나 오분자기의 생존에는 수온 및 염분의 변화가 큰 영향을 미치는 것으로 보고되어져 있다. 특히 오분자기는 이동성이 극히 적은 복족류로서 급격한 환경변화에서 도피행동을 나타내지 못하여 직접적인 영향을 받게 된다. 이러한 수온 염분에

대한 복합적인 오분자기에 대한 생리학적 특성분석은 거의 이루어지지 않고 있어 본 연구에서는 급격한 수온 및 염분 변화에 대한 연구를 진행하였다.

급격한 수온 변화, 염분 변화 및 고수온 저염분 변화에 따른 오분자기의 생존율을 살펴보면 급격한 수온 변화에 의해서는 10℃ 실험구 및 30℃ 실험구에서 폐사된 개체가 발생하였고, 특히 30℃ 실험구에서는 24h 짜에 전부 폐사하였다. 급격한 염분 변화에 의해서는 25 psu 실험구에서 폐사된 개체가 발생하였으나 98%의 생존율을 나타내어 급격한 수온 변화에 의한 폐사에 비해 매우 낮은 폐사율을 나타내었다. 고수온 저염분 변화에 의한 생존율의 경우 모든 실험구에서 폐사가 발생하였고, 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구는 24h 짜에 6%의 생존율을 보였고 나머지 실험구에서는 전부 폐사하였다. 따라서 오분자기는 수온의 변화에 민감하게 반응하며 급격한 수온의 변화는 오분자기의 생존율에 악영향을 미치는 것으로 파악된다. 특히, 여름철 고수온 저염분수인 양쯔강 저염분수의 유입은 오분자기의 생존에 막대한 악영향을 미칠 것으로 파악된다.

스트레스와 대사의 지표로 많이 사용되는 혈액 샘플을 전복의 심장 옆 혈관에서 주사기를 이용하여 채취한 뒤, 혈림프를 계수하여 급격한 수온 변화, 염분 변화 및 고수온 저염분 변화에 따른 오분자기의 혈림프 수의 변화를 조사하였다. 급격한 수온 변화에 의한 혈림프 수의 변화를 살펴보면 10, 30℃ 실험구에서 혈림프 수의 변화가 다른 실험구에 비하여 적는데 이는 급격하게 수온이 변화하여 생리적인 활성이 떨어졌기 때문으로 여겨진다. 15, 20 및 25℃ 실험구의 경우 혈림프 수가 증가하였다가 48h에 0h의 혈림프 수와 비슷하게 되는데 이는 일정한 시간이 지남으로 인해 수온에 적응하였기 때문인 것으로 여겨진다. 급격한 염분 변화에 의한 혈림프 수의 변화를 살펴보면 대조구(33 psu)와 비교했을 때 모든 실험구에서 시간이 지남에 따라 혈림프 수가 증가하였다 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 고수온 저염분 변화에 의한 혈림프 수의 변화를 살펴보면 고수온 저염분 스트레스에 따른 오분자기의 혈림프 수의 변화를 조사하였는데 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구에서는 시간이 경과함에 따라 증가하였다가 감소하는 경향을 나타내었지만 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21 psu 실험구에서는 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 오분자기가 외부의 스트레스에 대해 혈림프 수의 증가를 통해 스트레스를 극복해 나가려는 생리적 작용을 나타내고 있음을 알 수 있다. 하지만 외부의 스트



레스가 강하게 작용하게 되면 혈림프 수를 증가시키지 못하고 혈림프 수가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

생물에서는 각종 스트레스에 의해 생성된 활성산소는 어떤 유해물질이나 약물 등에 노출되었을 때 병적 상태에서는 이들이 과다하게 생성되어 조직에 치명적인 손상을 입힐 수 있다(Goldberg and stern, 1977; Simon et al., 1981; Moody and Hassan, 1982). 이러한 활성산소에 대하여 체내에서는 항산화효소인 superoxide dismutase (SOD)와 catalase(CAT) 등을 생성하여 세포기능 손상을 막는 것으로 알려져 있으며, 그 중 SOD는 superoxide radical ( $O_2^-$ )를  $H_2O_2$ 와  $O_2$  ( $2O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$ )로 전환시키며, 이 전환된  $H_2O_2$ 를 CAT가  $O_2$ 와  $H_2O$  ( $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ )로 분해하여 활성산소를 형성하기 전에 생체에 무해한 분자들로 전환시킨다(Forman and Fridovich, 1973). 급격한 수온 변화에 대한 오분자기의 SOD와 CAT효소 변화를 살펴보면 10°C 실험구에서는 12h 이후 급격하게 SOD효소가 증가하는데 이는 12h 이후 폐사된 개체가 발생하는 것과 연관성이 있는 것으로 보인다. 30°C 실험구의 경우 SOD효소가 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 고수온으로 인하여 오분자기의 생리활성이 급격하게 떨어져서 체내의 활성산소를 억제하기 위한 반응을 하지 못하기 때문으로 여겨진다. CAT효소의 경우에는 활성산소를 억제 시키기 위해서 CAT효소가 많이 발생하는 것으로 여겨진다. 10°C 실험구에서는 SOD효소의 경우와 비슷하게 12h부터 CAT효소가 증가하게 되는데 이 역시 12h 이후 폐사된 개체가 발생하는 것과 연관성이 있는 것으로 보인다. 30°C 실험구의 경우에도 SOD효소와 같이 CAT효소가 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 고수온으로 인하여 오분자기의 생리활성이 급격하게 떨어져서 체내의 활성산소를 억제하기 위한 반응을 하지 못하기 때문으로 여겨진다. 급격한 염분 변화에 대한 오분자기의 SOD와 CAT효소 변화를 살펴보면 0h 짜에 대조구(33 psu)에 비하여 모든 실험구에서 낮은 활성을 나타내었으나 48h 짜에는 30 psu 실험구를 제외한 나머지 실험구에서 대조구보다 높은 활성을 나타내었다. 특히 저염분인 25 psu 실험구에서는 대조구에 비해 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 이러한 결과는 염분의 변화가 오분자기의 활성산소를 증가시키고 이에 대한 생체 방어기작으로써 SOD효소 활성을 증가시키는 것으로 파악된다. CAT효소는 0h 짜에 대조구(33 psu)에 비하여 25 및 35 psu 실험구에서 낮은 활성을 나타내었다. 특히 고염분인 35 psu 실험구에서 유의적으로 낮은 활성을 나타내었다. 12h 짜

에는 모든 실험구에서 대조구보다 높은 활성을 나타내었다. 이러한 결과 역시 SOD 효소와 같이 생체 방어기작의 일부로 파악된다. 고수온 저염분 변화에 대한 오분자기의 SOD와 CAT 효소 변화를 살펴보면 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구에서 감소 후 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21 psu 실험구에서는 0h 때에 높은 SOD 활성을 나타내었다가 3h 때에 활성이 저하되고 이후 6h 때에 활성이 증가한 후 12h 때에 활성이 내려가는 경향을 나타내었다. 특히 24 psu 실험구에서는 6h 때에 높은 SOD 활성을 나타내었다. CAT 효소는 모든 실험구에서 3h 때에 대조구(20°C 33 psu)보다 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 6h 때에는 모든 실험구에서 활성이 감소하였고 12h 때에는 33 psu 실험구, 30 psu 실험구 및 27 psu 실험구에서 증가하는 경향을 나타내었으나 24 psu 실험구와 21 psu 실험구에서는 감소하였다. 이러한 결과는 고수온 저염분에 의해 활성산소가 발생하였고 이를 막기 위해 생체 내에서 SOD 및 CAT 효소가 활성화 되는 것을 확인 할 수 있다.

무척추동물의 면역계는 선천성 면역계가 주를 이루고 있으며, pro-phenoloxidase를 매개로 하는 멜라닌 자극계는 방어 수단에서 중요하다. Phenoloxidase는 hemolymph 내 hemocyte에 의해 합성되며, 초기에는 pro-phenoloxidase로 합성되었다가 체내에 세균이나 기생충과 같은 미생물이나 기타 이물질이 침입하면 phenoloxidase로 활성화 된다. 급격한 수온 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity 변화는 10°C 실험구의 경우 12h부터 급격한 증가를 보이는 데 이는 12h 이후 폐사된 개체가 발생하는 것과 연관성이 있는 것으로 파악된다. 또한 30°C 실험구에서는 12h 때에 증가하는데 이는 24h에 전부 폐사하는 것과 관련이 있는 것으로 보인다. 급격한 염분 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity 변화는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 염분의 변화가 오분자기 Phenoloxidase activity에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 파악된다. 고수온 저염분 스트레스에 따른 Phenoloxidase activity는 12h 때에 33 psu 실험구를 제외한 모든 실험구에서 Phenoloxidase activity가 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

Lysozyme은 살균 및 항염증성 성질을 지니고 있어 옫소닌 및 항기생충 작용, 항바이러스 작용 및 오염물질의 작용 등에 관여함으로써 생체의 방어기작에 다양한 역할을 담당하는 것으로 알려져 있다 (Mohandas, 1985). 급격한 수온 스트레스에

따른 Lysozyme activity 변화는 10℃ 실험구의 경우 Lysozyme 활성이 모든 실험 구간에서 높게 나타나는데 이는 급격한 수온의 변화로 인해 저항력이 낮아져서 이를 회복시키기 위하여 Lysozyme 활성이 높게 나타나는 것으로 여겨진다. 30℃ 실험구의 경우 Lysozyme 활성 역시 감소하는 것을 보여주는데 이는 고수온으로 인해 오분자기의 생리 활성이 떨어졌기 때문으로 파악된다. 급격한 염분 스트레스에 따른 Lysozyme activity 변화는 0h째 모든 실험구에서 대조구(33 psu)보다 낮은 활성을 나타내었고 실험 종료시인 48h 째에도 낮은 활성을 나타내었다. 염분 변화에 대한 Lysozyme activity 변화는 수온 변화에 따른 Lysozyme activity의 결과와는 차이를 나타내는 것으로 이에 대해서는 추가적인 검토가 필요할 것으로 파악된다. 고수온 저염분 스트레스에 따른 Lysozyme activity 변화를 살펴보면 3h 째에 30 psu 실험구를 제외한 모든 실험구에서 Lysozyme activity가 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 이후 27 psu 실험구, 24 psu 실험구 및 21psu 실험구에서 증가하였다 12h 째에 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 고수온 저염분 스트레스로 인해 오분자기의 면역력이 감소한다는 것을 확인할 수 있다.

급격한 환경 변화에 따른 오분자기의 기초 생리적인 특성과 변화는 혈액에서의 변화, 항산화 효소의 변화, phenoloxidase 활성 변화, Lysozyme 활성 변화를 확인하였다. 이러한 실험의 결과를 토대로 20℃에서 순치된 오분자기는 15℃와 25℃로의 수온 변화에는 생리적인 반응을 통하여 적응을 할 수 있지만 10℃와 30℃로의 수온 변화에는 생리적인 반응이 한계를 보이는 것으로 파악된다. 즉, 저수온이나 고수온 스트레스 모두 오분자기의 생리 활성을 저해하는 효과를 가져오는 것으로 여겨진다. 33 psu에서 순치된 오분자기는 급격한 염분 변화 스트레스에 적응하는 것으로 파악된다. 스트레스에 대한 항산화 효소의 활성을 살펴보면 고염분 및 저염분 스트레스에 변화를 보이는 것을 확인할 수 있으며 오분자기의 면역력을 측정할 수 있는 항목인 Phenoloxidase activity 및 Lysozyme activity에서는 유의적인 차이를 나타내지 않아 급격한 염분 변화는 오분자기의 생존에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 파악된다. 고수온 저염분 스트레스는 오분자기의 생존에 막대한 영향을 미치며 특히 면역력의 저하는 고수온 저염분의 해수가 유입되었을 때 세균, 바이러스 등의 침입이 있다면 오분자기의 집단 폐사로 이어질 수 있다는 사실을 알려준다.

본 연구결과 오분자기는 외부의 환경 변화에 민감하게 반응하고 있으며 특히 고수

온 저염분수의 유입은 오분자기의 생존에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제주연근해에서는 보이는 환경변화와 오분자기 서식 및 생존, 재생산 등과의 상호관련성, 재생산력을 높일 수 있는 자원의 밀도, 생태적 특징 및 환경변화에 따른 오분자기의 생리적 적응력에 대한 향후 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.



## V. 요약

제주도에 서식하는 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*)의 생산량은 지난 2005년 15톤으로 1994년 200t보다 무려 13배 이상 급감했다. 이에 따라 제주특별자치도가 오분자기 종묘생산시설 확충 계획을 세워서 어민 소득증대를 위해 노력하고 있다. 하지만 종묘의 생존율은 50% 수준에 머물고 있어서 큰 실효를 보지 못하고 있는 형편이다. 본 연구에서는 오분자기 자원실태를 파악하고자 제주연안 마을어장에 대한 오분자기의 생산량 및 전복생산량, 자원회복사업의 추진실태, 서식분포밀도, 서식환경에 대한 조사를 실시하였다. 또한 환경 변화에 대한 오분자기의 생리학적 변화에 대한 연구를 진행하였다.

오분자기의 서식밀도 조사는 종묘를 인위적으로 방류한 어촌계와 방류를 하지 않은 어촌계를 대상으로 실시하였다. 그 결과 인위적으로 종묘방류를 실시한 보목리와 그 외의 지역간에 오분자기의 서식밀도에는 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 오히려 방류를 실시하지 않았던 비양리, 사계리 등에서 상대적으로 높은 밀도를 나타내었다. 그러나 이러한 서식밀도는 25 m<sup>2</sup> 당5~12마리의 서식을 나타내어 실제 자원량 증가를 위해서는 보다 높은 수준의 서식 개체수가 필요할 것으로 예상된다. 또한 오분자기의 서식에 영향을 미치는 먹이가 되는 해조류 및 경쟁자관계의 동물 분포에 대하여 알아보하고자 서식 생물상 조사를 실시한 결과, 조사해역별 서식해조류는 다소 차이를 나타내어 서식 개체수가 상대적으로 많이 나타났던 비양리, 사계리가 애월리 및 보목리에 비해 종수 및 생체량이 약간 풍부하게 나타났다.

급격한 수온 변화, 염분 변화 및 고수온 저염분 변화에 따른 오분자기의 생존율을 살펴보면 급격한 수온 변화에 의해서는 10℃ 실험구 및 30℃ 실험구에서 폐사된 개체가 발생하였고, 특히 30℃ 실험구에서는 24h 짜에 전부 폐사하였다. 급격한 염분 변화에 의해서는 25 psu 실험구에서 폐사된 개체가 발생하였으나 98%의 생존율을 나타내어 급격한 수온 변화에 의한 폐사에 비해 매우 낮은 폐사율을 나타내었다. 고수온 저염분 변화에 의한 생존율의 경우 모든 실험구에서 폐사가 발생하였고, 33 psu 실험구 및 30 psu 실험구는 24h 짜에 6%의 생존율을 보였고 나머지 실험구에서는 전부 폐사하였다. 따라서 오분자기는 수온의 변화에 민감하게 반응하며 급격한 수온의 변화는 오분자기의 생존율에 악영향을 미치는 것으로 파악된다. 특히,

여름철 고수온 저염분수인 양쯔강 저염분수의 유입은 오분자기의 생존에 막대한 악 영향을 미칠 것으로 파악된다.

본 연구결과 오분자기는 외부의 환경 변화에 민감하게 반응하고 있으며 특히 고수온 저염분수의 유입은 오분자기의 생존에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제주연근해에서는 보이는 환경변화와 오분자기 서식 및 생존, 재생산 등과의 상호관련성, 재생산력을 높일 수 있는 자원의 밀도, 생태적 특징 및 환경변화에 따른 오분자기의 생리적 적응력에 대한 향후 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.





## VI. 참고문헌

- Aksnes, A. and L. R. Njaa, 1981. Catalase, Glutathione peroxidase and superoxide dismutase in different fish species. *comp. Biochem. Physiol.*, 69B:893-896.
- Anderson RS, Brubacher L, Galvo LR, Unger MA, Burreson EM, 1998. Effects of tributyltin and hypoxia on the progression of *Perkinsus* infections and host defence mechanisms in oyster, *Crassostrea Virginica* (Gmelin). *J Fish Dis* ;21:371-80.
- Anderson RS, 1996. Interactions of *Perkinsus marinus* with humoral factors and hemocytes of *Crassostrea virginica*. *J Shellfish Res* ;15:127-34.
- Amro M. H., D. P. Cheney and G. N. Cherr, 2003. Phenotypic plasticity of HSP 70 and HSP 70 gene expression in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): Implications for thermal limits and induction of thermal tolerance. *Biol. Bull.*, 205, 160-169.
- Ashida M. Soderhall K. 1984, The prophenoloxidase activating system in crayfish. *Comp Biochem Physiol* ;77B:21-6.
- Avtalion, R. R., E. Weiss and T. Moalem, 1976. Regulatory effects of temperature upon immunity in ectothermic vertebrate. In comparative immunology. Marchalonis, J., Blachwell Scientific Publication, Oxford, pp. 227~238.
- Barkai, R. and C.L. Griffiths. 1980. An energy budget for South African abalone *Haliotis midae* Linnaeus. *J. Mollusc. Stud*, 54 : 43-51.
- Barracco MA, Medeiros ID, Moreira FM, 1999. Some haemato-immunological parameters in the mussel *Perna perna*. *Fish Shellfish Immunol* ;9:387-404.



- Brown, P. B., K. A. Willson, J. E. Wetzel II and B. Hoene, 1995. Increased densities result in reduced weight gain of crayfish *Orconectes virilis*. Journal of the World Aquaculture Society, 26, 165-171.
- Chance, B. B. and K. A. Boveris, 1979. Hydroperoxide metabolism in mammalian organs. Physiology Review, 59, 527-605.
- Chen, H. C. 1984. Recent innovations in cultivation of edible molluscs in Taiwan with special reference to the small abalone *Haliotis diversicolor* and the hard clam *Argopecten irradians*. Aquaculture, 39, 11-27.
- Chen, J. C. and W. C. Chen, 2000. Salinity tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. Aquaculture, 181, 191-203.
- Cho, J. K. and H. C. Yang, 1996. Determination of formaldehyde residue and histopathological observation in formalin and neutral-formalin treated Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). J. Fish Pathol., 9(2): 157-168.
- Choi, C. M., 1989. A study on the origin of coastal waters in the southwestern seas of Korea. MS Thesis, Cheju Nat'l. Univ., 44 pp.(in Korean).
- Drew, B., D. Miller, T. Toop and P. Hanna, 2001. Identification of expressed HSP's in black abalone (*Haliotis rubra leach*) during heat and salinity stresses. J. Shellfish. Research, 20(2), 695-703.
- Ellis AE. Lysozyme assays. In: Stolen JS, Fletcher DP, Anderson BS, Roberson BS, editors. Techniques in fish immunology. Fair Haven, USA: SOS Publication; 1990. p. 101-103.
- Ferraris, M., S. Radice, P. Catalani, M. Francolini, L. Marabini and E. Chiesara, 2002. Early oxidative damage in primary cultured trout hepatocytes a time

- course study. *Aquatic Toxicology*, 59, 283-296.
- Forman, H. J. and I. Fridovich, 1973. Superoxide dismutase : A comparison of rate constant. *Arch. Biochem. Biophys.*, 158: 396.
- Fry, F.EJ. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: *Fish Physiology*, Vol.9, W.S. Hoar and D.J. Randall, ed, Academic Press, New York, 1-98.
- Fryer, J. N., 1975. Stress and adrenocorticosteroid dynamics in the goldfish *Carassius auratus*. *Can. J. Zool.*, 53: 1011-1020.
- Goldberg, B. and A. Stern, 1977. The role of the superoxide anion as a toxic species in the erythrocyte. *Arch. Biochem. Biophys.*, 178: 218-225.
- Hahn, K.O. 1989. *Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gastropods*. CRC Press. Boca Raton, FL., 348 pp.
- Han, S. J., B. R. Kim, S. H. Won and J. W. Kim. 2003. Effect of Urea on the exfoliation of juvenile abalone, *Haliotis discus reeve*. *J. Aquaculture*. 16(4), 223-228. (in Korean).
- Harris, J. O., G. B. Maguire, S. J. Edwards and S. M. Hindrum, 1998. Effect of ammonia on growth and oxygen consumption rate for juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevigata* Donovan. *Aquaculture*, 160, 259-272.
- Harris, J. O., G. B. Maguire, S. J. Edwards and D. R. Johns, 1999. Low dissolved oxygen reduces growth rate and oxygen consumption rate of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevigata* Donovan. *Aquaculture*, 174, 265-278.
- Horning, W. B. I. and R. E. Pearson, 1973. Growth temperature requirement and lower lethal temperature for juvenile smallmouth bass (*Micropterus*

- dolomieu*). J. Fish. Res. Bd. Can., 30: 1226~1230.
- Kim, B. H., S. M. Lee, C. S. Go, J. W. Kim and J. I. Myeong. 1998. Optimum stocking density of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) fed the formulated diet or macroalgae (*Undaria*). Journal of Korea Fishery Science and Technology, 31, 869-874.
- Kim, I. O. and Rho, H. K., 1994. A Study on China Coastal Water appeared in the Neighbouring Seas of Cheju Island. Bull. Kor. Fish. Soc., 27(5), 515-528.
- Kim, J. K. and J. H. Kim, 2001. Diffusion modelling of cold discharge on coastal waters. Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., 13(2): 132~145 (in Korean).
- Kim, T. H., M. H. Yang, M. G. Choe, S. J. Han and I. K. Yeo. 2005. Physiological studies on acute water-temperature stress of abalone (*Haliotis discus hannai*). Kor. J. of aquaculture, Vol. 18, 7~12.
- Ko, J. C., Kim, J. T. Kim, S. H., and Rho, H. K., 2003. Fluctuation Characteristic of Temperature and Salinity in Coastal Waters around Jeju Island. Jour. Korean Fish, 36(3); 306-316.
- Laughlin, R. B. and J. M. Neff, 1981. Ontogeny of respiratory and growth responses of larval mud crabs *Rhithropanopeus harristii* exposed to different temperature, salinities, and naphthalene concentration. Marine Ecology-progress Series, 5, 319-332.
- Laughlin, R. B. and O. Linden, 1983. Oil pollution and Baltic mysid: Acute and chronic effects of the water soluble fractions of light fuel oil on the mysid shrimp *Neomysis integer*. Marine Ecology-progress Series, 12, 29-41.
- Lee, S. M. and H. G. Park. 1998, Evaluation of dietary lipid sources for juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). Journal of Aquaculture, 11, 381-390.

- Lim, D. B., 1976. The Movement of the waters off the South Coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 11(2): 77-88.
- Liu, P.C., Y.C. Chen., C.Y. Huang and K.K. Lee. 2000. Virulence of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from cultured small abalone *Haliotis diversicolor supertexta*, with wither-in syndrome. Lett. Appl. Microbiol., 31, 433-7.
- Lowry O. H., N. J. Rosenbrought., A. L. Farr and R. J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin-phenol reagent. J. Biol. Chem., 193, 265-275.
- Lyon, G. 1995. Aspects of the physiology of the South African abalone *Haliotis midae* L., and implications for intensive abalone culture. M.Sc. thesis, Rhodes University. Grahamstown, 85 pp.
- Mai, K., J. P. Mercer and J. Donlon, 1995a. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. III. Responses of abalone to various levels of dietary lipid. Aquaculture, 134, 65-80.
- Mai, K., J. P. Mercer and J. Donlon, 1995b. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. IV. Optimum dietary protein level for growth. Aquaculture, 136, 165-180.
- Moody, C. S. and H. M. Hassan, 1982. Mutagenicity of oxygen free radicals. Proc. Natl. Acad. Sci., 79: 2855 ~ 2859.
- Moriyasu, S., 1972. The Tsushima Current. In Kuroshio, its physical aspects. edited by H. Stommel and K. Yoshida. Univ. of Tokyo Press, Tokyo, 353-369.
- Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China

Sea and the Yellow Sea. J. Fac. mar. Sci. Technol. Tokai Univ.: 199-367.

Nelson D. P. and L. A. Kiesow, 1972. Enthalpy of decomposition of hydrogen peroxide by catalase at 25°C (with molar extinction coefficients of H<sup>2</sup>O<sub>2</sub> solutions in the UV). Anal Biochem, 49, 474-478.

Ordas MC, Ordas A, Beloso C, Figueras A, 2000. Immune parameters in carpet shell clams naturally infected with *Perkinsus atlanticus*. Fish Shellfish Immunol ;10:597-609.

Peck, L.S. 1989. feeding, growth and temperature in the ormer, *Haliotis kamtschatkana*. J. Shellfish. REs., 17 : 743-745.

Ryu, S. K., 1989. Shallow-sea Aquaculture. Sae-ro publishing Group. Busan, pp. 309-368.

Rho, H. K., 1985. Studies on marine environments of fishing ground in the waters around Cheju Island, Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo, pp. 255.

Salati, F., K. Kawai and R. Kusuda, 1988. Immune response of ayu against *Vibrio anguillarum* lipopolysaccharide. Nippon Suisan Gakkaishi., 55(1): 45-49.

Shamseidin, A.A., J.S. Clegg, C.S. Friedman, G.N. Cherr and M.C. Pillai. 1997. Induced thermotolerance in the pacific oyster, *Crassostrea gigas*. J. Shellfish. Res., 16: 487-491.

Simon, R. H., C. H. Scoggin and D. Patterson, 1981. Hydrogen peroxide causes the fatal injury to human fibroblasts exposed to oxygen radicals. J. Biol. Chem., 256: 7181~7186.

Singley, J. A. and W. chavin, 1971. Cortisol levels of normal goldfish, *Carassius auratus* L., and response to osmotic change. Am. Zool., 11: 653.

- Song, Y. L., Hsieh YT, 1994. Immunostimulation of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) hemocytes for generation of microbicidal substances: analysis of reactive oxygen species. *Dev Comp Immunol* ;18:201-9.
- Tsuchiya, M., 1983. Mass mortality in a population of the mussel *Mytilus edulis* L. caused by high temperature on rocky shores. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 66, 101-111.
- Uki, N., A. Kemuyama and T. Watanabe, 1985a. Development of semipurified test diets for abalone. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 51, 1825-1833.
- Uki, N., A. Kemuyama and T. Watanabe, 1985b. Nutritional evaluation of several protein sources in diets for abalone *Haliotis discus hannai*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 51, 1835-1839.
- Varanka, Z., I. Rojik. I. Varanka, J. Nemcsok and M. Abraham, 2001. Biochemical and morphological changes in carp (*Cyprinus carpio* L.) liver following exposure to copper sulfate and tannic acid. *Comp. Biochem. Physiol.*, 128C: 467-478.
- Walter Chavin, John A. Singley, 1971. Adrenocorticoids of the goldfish, *Carassius auratus* L. *Biochemistry and Molecular Biology*, 15, 547-562.
- Wedemeyer, G. A. and D.J. Mcleay, 1981. Methods for determining The tolerance of fishes to environmental stressors. In *Stress and Fish* A. D. Pickering (ed.), Academic Press, London, pp. 247-275.
- Wendel, A. and S. Feuerstein, 1981. Drug-induced lipid peroxidation in mice-1. Modulation by monooxygenase activity, glutathione and selenium status. *Biochemical Pharmacology*, 30, 2513-2520.



- Won N-I, Kawamura T, Takami H, Onitsuka T, Hayakawa J, Horii T, Watanabe Y(2008) Estimation of ontogenetic changes in the feeding habits of wild abalone *Haliotis discus hannai* and *H. diversicolor*. Annual Meeting of JSFS (Mar 2008) (in Japanese).
- Yanagi, T., T. Shimizu, and H. J. Lie. 1998. Detailed structure of the Kuroshio frontal eddy along the shelf edge of the East china Sea, continental Shelf Research, 18: 1039-1056.
- Yang, J. H. and I. K. Yeo, 2004. Physiological studies on acute water-temperature stress of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). Kor. J. Ichthyol., 16, 19-26.
- Zhang, Q. L and A. C. Weng, 1996. Analysis of water masses in the south Yellow Sea in spring. The Yellow Sea, 2(1): 74-82.
- 河村知彦・高見秀輝 (2005) アワビ類の生態と加入量変動. 海の生物資源. 東海大學出版会. 神奈川. pp.286-303.
- 河村知彦・高見秀輝・西洞孝広会 (2002) アワビ類の天然稚貝発生量?決める要因は何か? お 月刊海洋 34(7):529-534.
- 西洞孝広 (2002) 岩手県におけるエゾアワビ資源の回復とその要因. 月刊海洋 34(7):571-586.
- 高見秀輝 (2002) エゾアワビの生活史初期における食性, 生残, 成長に関する研究. 東京大學博士論文. pp.1-220.
- 제주특별자치도 (2009) 해양수산현황. 56-60.
- 해양수산부 (2005) 어업생산통계.



해양수산부 (2007) 어업생산통계.

통계청 (2008) 어업생산통계.



## 감사의 글

본 논문은 지나간 세월 속에 얻은 결실이기에 모두에게 감사하는 마음을 가지며, 이 논문이 완성되기까지 혼자만의 힘으로는 불가능한 부분들을 도와주시고, 지도해 주신 모든 분들께 감사의 마음을 전하고자 합니다.

부족한 저의 대학 및 대학원 생활을 이끌어 주시고 다양한 경험을 할 수 있는 기회를 제공해 주셨을 뿐 아니라 이 논문이 완성되기까지 많은 깨달음 및 지도해 주신 여인규교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 바쁘신 가운데에도 저의 논문을 심사해주시고, 귀중한 조언과 따뜻한 격려를 아끼지 않으셨던 이제희 교수님과 허문수 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 늘 관심과 조원으로 격려해주신 송춘복 교수님, 전유진 교수님, 최광식 교수님, 이영돈 교수님, 이경준 교수님, 김기영 교수님, 정준범 교수님 그리고 최미경 박사님께도 진심으로 감사드립니다.

실험실 생활을 하며 저의 가족보다 더 많은 시간을 같이 보내고 항상 제 2의 가족처럼 같이 생활하며 많은 도움을 준 실험실 식구인 창수, 한솔, 혜나, 혁재, 은란, 남궁진 졸업하셨습니다. 항상 찾아와주셔서 따뜻한 격려를 해주신 문휴형, 정환이형, 태형이형, 경주형, 민석이형에게도 감사드리고 저희 어류분자생리학 실험실을 거쳐서 졸업한 이들에게도 감사드립니다. 아울러 많은 일을 공유하며 도움을 주었던 해양 병원 미생물 실험실, 분자유전육종 실험실, 분자유전학 실험실, 해양생물자원이용공학 실험실, 발생생물학실험실 식구들에게도 감사드립니다. 또한, 대학원 생활동안 항상 믿고 의지하며 많은 시간을 함께 하고, 모든 것을 함께 나누던 대학원 동기인 용재형, 진우형, 유철이형, 주영이누나, 민철, 숙경, 아름다슬에게도 고맙고 수고했다는 말을 하고 싶습니다. 그리고 대학 및 대학원 생활을 하면서 많은 조언과 격려를 아끼지 않았던 김성훈 박사님, 김이경 박사님, 맹진이형, 상우형, 용운이형, 상혁이형, 승민이에게도 감사드립니다.

길고 긴 대학 생활과 대학원 생활동안 많은 뒷바라지를 해주셨던 부모님과 누나, 매형에게 감사드리고 앞으로 더욱더 날아지는 모습 보여 드리겠습니다.

이분들이 계시기에 이렇게 무사히 졸업을 할 수 있는 것이라 생각하고 다시 한번 모든 분들께 머리 숙여 진심으로 감사드립니다.