

수산학석사 학위논문

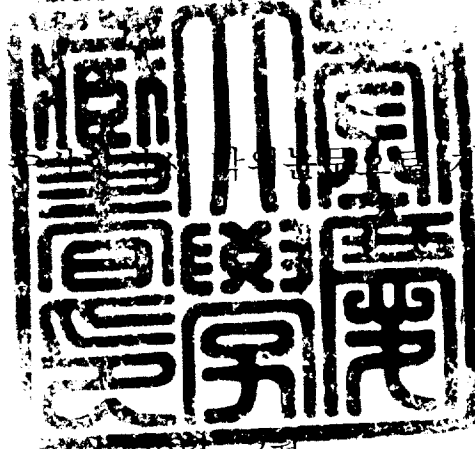
참전복(*Haliotis discus hannai*)

종묘생산을 위한 부착 구조의

먹이효율과 배양환경

지도교수 허 석 변

이 논문을



과학도서관에 출함

2005년 2월

부경대학교 산업대학원

수 산 양 식 학 과

박 세 진

박세진의 수산학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월 일

주 심 이학 박사 손 철 현



위 원 농학 박사 장 영 진



위 원 이학 박사 허 성 범



목 차

목 차	i
Abstract	iii
List of Tables	v
List of Figures	vii
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 부착 규조에 대한 참전복 치패의 먹이 효율	3
1.1 부착 규조	3
1.2 실험 조건 및 성장 측정	3
1.3 부착 규조의 먹이 효율 조사 및 영양 분석	4
2. 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율 조사	6
2.1 부착 규조에 따른 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율	6
2.2 부착 규조 단일종과 혼합종에 따른 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율	9
3. 부착 규조의 성장에 미치는 온도, 염분, 조도의 영향	10
3.1 온도에 따른 부착 규조의 성장	10
3.2 염분에 따른 부착 규조의 성장	11
3.3 조도에 따른 부착 규조의 성장	11
4. 통계분석	13
III. 결 과	14
1. 부착 규조에 대한 참전복 치패의 먹이 효율	14
2. 부착 규조의 영양 분석	14

3. 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율 조사	18
3.1 부착 규조에 따른 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율	18
3.2 부착 규조 단일종과 혼합종에 따른 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율	27
4. 부착 규조의 성장에 미치는 온도, 염분, 조도의 영향	36
4.1 온도에 따른 부착 규조의 성장	36
4.2 염분에 따른 부착 규조의 성장	36
4.3 조도에 따른 부착 규조의 성장	40
IV. 고 찰	43
V. 국문 요약	49
VI. 감사의 글	51
VII. 참고 문헌	53

Dietary value and cultural environment of benthic diatom for seeding production of abalone *Haliotis discus hannai*

Se Jin Park

*Department of Aquaculture, Graduate School,
Pukyong National University
Busan 608-737, Korea*

Abstract

This study was carried out to select the suitable benthic diatom species for seeding production of abalone *Haliotis discus hannai*. The effect of temperature, salinity and light on the growth of these microalgae was also examined.

For abalone spat that was fed each algal of eleven benthic diatom species, *Caloneis schroederi* was the best in survival (%) and *Cocconeis californica* (large type), *Achnanthes* sp. and *Amphora* sp. showed high growth in shell length and meat weight. But, for abalone larvae, *C. californica* (large type) and *Rhaphoneis* sp. showed the highest survival, growth and metamorphosis.

With regard to culture environmental factor such as temperature, salinity

and light on the growth of four benthic diatom species (*C. schroederi*, *C. californica* (large and small type) and *Rhaphoneis* sp) that were selected as useful microalgae for abalone larvae, these microalgae were euryhaline in the salinity ranging from 24 to 30‰. However, these microalgae showed the different growth character in temperature. Whereas *C. schroederi* grew well in high temperature above 26°C, *Rhaphoneis* sp. did well in low temperature below 23°C. The optimum light intensity for these benthic diatom species was about 20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Higher intensity over 20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ resulted lower growth rate of the microalgae.

List of Tables

Table 1. Microalgae for the experiment of <i>Haliotis discus hannai</i> spat	5
Table 2. Microalgae for the experiment of <i>Haliotis discus hannai</i> larvae	8
Table 3. Microalgae for the experiment on the effect of temperature and salinity	12
Table 4. Microalgae for the experiment on the effect of temperature and light intensity	12
Table 5. Dietary values of microalgae for the growth and survival (%) of the spat of <i>Haliotis discus hannai</i>	15
Table 6. Nutrition analysis of microalgae	16
Table 7. Crude lipid and protein of abalone meat	17
Table 8. Percent of settlement of <i>Haliotis discus hannai</i> larvae fed on microalgae	21
Table 9. Percent of metamorphosis of <i>Haliotis discus hannai</i> larvae fed on microalgae	22
Table 10. Survival (%) of <i>Haliotis discus hannai</i> larvae from veliger stage to attachment before metamorphosis	23
Table 11. Mean daily growth increment in shell length of <i>Haliotis discus hannai</i> larvae fed on each microalgal species	26
Table 12. Percent of larval attachment of <i>Haliotis discus hannai</i> fed on microalgae	30

Table 13. Percent of larval metamorphosis of <i>Haliotis discus hannai</i> fed on microalgae	31
Table 14. Survival (%) of <i>Haliotis discus hannai</i> larvae from veliger stage to attachment before metamorphosis	32
Table 15. Survival (%) for <i>Haliotis discus hannai</i> larvae fed on microalgae after metamorphosis	33
Table 16. Mean daily growth increment of <i>Haliotis discus hannai</i> larvae fed on microalgae	35

List of Figures

Fig. 1. Survival (%) for <i>Haliotis discus hannai</i> larvae fed on microalgae after metamorphosis.	24
Fig 2. Growth in shell length of <i>Haliotis discus hannai</i> larvae fed on microalgae from veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.	25
Fig. 3. Larval growth in shell length of <i>Haliotis discus hannai</i> fed on microalgae after metamorphosis.	34
Fig. 4. Specific growth rate (SGR) of microalgae with different temperatures.	37
Fig. 5. Specific growth rate (SGR) of micoralgae in low temperatures ranging from 16°C to 22°C at 30 ‰.	38
Fig. 6. Specific growth rate (SGR) of microalgae in high temperatures ranging from 24°C to 28°C at 30 ‰.	38
Fig. 7. Specific growth rate (SGR) of microalgae with different salinities.	39
Fig. 8. Specific growth rate (SGR) of microalgae with different illumination intensities ranging from 20 to 140 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in low and high temperatrue at 30 ‰.	41
Fig. 9. Specific growth rate (SGR) of microalgae with different illumination intensities ranging from 10 to 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in low and high temperature at 30 ‰.	42

I. 서 론

전복의 인공 종묘 생산 기술이 확립되면서 종묘의 대량 생산이 가능하게 되었지만, 유생의 낮은 부착률과 생존율은 여전히 종묘 생산의 가장 큰 문제점으로 남아있다(Uki, 1995). 전복 유생 초기에 부유 생활에서 부착 생활로 전환할 때에 부착을 유도하는 물질로는 박테리아, 미세조류 또는 점액 물질 등으로 구성된 생물막이 효과적이며(Seki and Kan-no, 1981), 이는 전복의 변태와 패각의 성장에도 효과적이라고 보고가 되었다(Yang and Wu, 1995). 또한, 홍조류인 무절석회조류 역시 자연 환경에서 전복 유생의 부착 기질로 이용되고 있다(Saito, 1981; Ebert and Houk, 1984).

무절석회조류와 부착 규조를 대상으로 전복의 초기 부착률을 조사한 결과 초기 부착률은 자연 환경에서와 마찬가지로 무절석회조류에서 높게 나타났지만, 부착 이후의 성장률은 부착 규조에서 높다는 보고가 있다(Daume et al., 2000). 전복 인공 종묘 배양장에서는 자연 해수를 흘려주어 플라스틱 파판에 규조를 부착시킨 후 유생의 부착 기질로 사용하고, 전복 초기의 먹이로 사용한다(Kikuchi, 1965; Seki, 1980; Ebert and Houk 1984; Slattey, 1992).

부착 규조는 대형 해조류를 섭취할 수 없는 크기 이하의 후기 유생의 먹이로 중요하며(Ino, 1952), 전복 유생이 부유 생활을 마치고 부착기로 들어가는 시기에서 각장 약 3 mm가 되는 시기까지의 주된 먹이 또한 부착 규조다. 따라서 전복의 종묘 생산에서 부착 규조의 양과 질적 확보가 가장 중요하며, 전복 배양장에서 전복 유생의 부착과 변태 이후의 성장률에 있어서도 실질적인 핵심 과제이다(Hahn, 1989; Kawamura et

al., 1998b). 또한, 각 부착 구조 종에 따라서도 전복 초기 유생의 부착 선호도와 부착 치패의 성장 및 생존에 차이가 있는 것으로 보고 되어 있다(Todd and Keough, 1994).

세계적으로 후기 유생의 먹이 효율에 관해서 많은 연구가 이루어져 있지만(Ohgai et al., 1991; Ishida et al., 1995; Kawamura et al., 1998b; Roberts et al., 1999), 부착 직후 유생의 초기 성장 및 생존에 관한 연구는 부족하다. 또한 전복에 의한 부착 구조의 선택성에 대한 연구 결과 역시 빈약하다(Seki and Kan-no, 1981; Norman-Boudreau et al., 1986; Matthews and Cook, 1995).

전복의 유생 단계에 있어서 효율적인 부착 구조의 탐색이 이루어지고, 선택된 종의 성장에 양호한 배양 환경, 부착 구조의 대량 생산 기술 개발이 이루어지면 전복 양식 기간의 단축으로 경제적인 대량 생산이 가능하게 되어, 산업적으로도 큰 파급 효과가 기대된다.

따라서 이 연구는 전복 양식 산업을 위한 유용 부착 구조를 선별하기 위하여 참전복의 유생 및 치패를 대상으로 유생의 부착률, 변태율, 생존율과 치패 생존율 및 성장률에 대한 먹이 효율을 조사하고, 여기에 적합한 부착 구조를 선별하고자 실시하였다. 또한 선별된 부착 구조를 대상으로 이들의 최적 배양 환경 조건을 규명하기 위하여 빛, 온도, 염분에 따른 성장을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 부착 규조에 대한 참전복 치패의 먹이 효율

1.1 부착 규조

실험에 사용된 샘플은 부경대학교 한국해양미세조류은행(KMCC)에서 보관중인 부착 규조 중에서, 크기, 부착력, 영양분석 및 채집 해역 등에 관한 결과를 참고하여, 총 11종의 부착 규조를 선택하였다(Table 1).

1.2 실험 조건 및 성장 측정

평균 각장 약 7 mm의 참전복 치패를 2002년 12월 해림 수산에서 분양 받아 자외선 멸균해수 8 ℓ를 채운 10 ℓ의 사각수조에 70개체씩 수용하였고, 실험구는 3반복으로 실시하였다. 먹이 공급은 부착 규조가 부착된 플라스틱 파판(8×7 cm)을 3장씩 수조에 넣어 주었으며, 환수 시 새로운 파판 3장을 넣어주거나, 배양중인 부착 규조를 공급하였다. 환수는 주 2회, 1/2과 전량 환수를 교대 반복하였고, 공기를 공급하며 지수식으로 배양하였다. 실험 기간 동안 수온은 20℃를 유지하였고, 빛의 밝기는 $40 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 광주기는 8(L):16(D)으로 하였다. 매일 폐사한 개체를 수거하여 각장, 각폭을 측정하였다. 실험 종료 시에는 실험에 사용한 전복 치패를 모두 수거하여 각장 및 체중을 측정하였다.

1.3 부착 규조의 먹이 효율 조사 및 영양 분석

실험에 사용한 부착 규조 11종에 대한 먹이 효율은 각 종을 대상으로 한 참전복의 최종 생존율, 각장과 각폭의 성장, 총중량, 육중량을 측정하였다. 그 중 치패의 성장과 생존율에 효과적이었던 6종의 미세 조류를 선택하여 일반성분, 지방산, 구성 아미노산의 영양 분석을 실시하였고, 실험을 종료한 후에 수거한 전복 육질의 일반성분 분석을 실시하였다.

Table 1. Microalgae for the experiment of *Haliotis discus hannai* spat

KMCC* No.	Microalgae	Cell Length (μm)
B-564	<i>Achnanthes</i> sp.	26.6 $\pm$ 3.9
B-105	<i>Navicula</i> sp.	15.8 $\pm$ 4.2
B-304	<i>Amphora</i> sp.	23.3 $\pm$ 3.3
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	23.8 $\pm$ 9.1
B-394	<i>Navicula</i> sp.	15.1 $\pm$ 1.2
B-48	<i>Navicula elegans</i>	13.7 $\pm$ 1.2
B-102	<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffeaeformis</i>	18.8 $\pm$ 3.0
B-122	<i>Navicula</i> sp.	10.8 $\pm$ 1.2
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	23.9 $\pm$ 1.0
B-411	<i>Cylindrotheca closterium</i>	33.6 $\pm$ 4.0
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	21.0 $\pm$ 2.5

* KMCC: Korea Marine Microalgae Culture Center

2. 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율 조사

2.1 부착 규모에 따른 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율

앞의 참전복 치패 실험 결과를 참고하여 먹이 효율이 양호한 4종의 부착 규모를 대상으로 참전복 유생의 부착률과 먹이 효율을 조사하였다 (Table 2). 부착 규모는 각 종별로 플라스틱 petri dish (8.5×1.3 mm)에 얇은 막을 형성할 수 있도록 배양기에서 20℃, 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 하에서 일주일 동안 배양하였다. Petri dish의 배양액은 실험 시작 전에 제거한 뒤, GF/C 필터로 여과한 해수를 넣었다. 21℃ 수온에서 수정 후, 84 시간이 경과한 veliger 유생을 대상으로 실험 하였다. 전복유생 밀도는 용기별로 90±10개체(3개체/ $\text{m}\ell$) 수준으로 하였고, 5반복으로 실시하였다.

실험은 20℃, 40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 광주기는 8(L):16(D)으로 하였고, 환수는 모든 유생이 부착 후 배양액의 50%를 환수하였으며, 1회 /1일 하였다. 실험은 3주간 실시하였다.

유생의 관찰은 실험 초기에 6, 12, 24시간에, 이후의 관찰은 하루에 1회 실시하여 유생의 부착률과 변태율을 측정하였다. 유생의 관찰은 해부 현미경을 이용해서 부착 기질 면을 면밀히 관찰하여 유생의 수를 계수하고 크기를 측정하였다. 유생의 부착은 면반으로 부착 기질에 부착하였을 때의 유생을 부착 개체로 결정하여 측정하였다. 변태한 개체는 부착 유생의 유각이 없어지고 주구각이 생기는 시점을 기준으로 측정하였다. 유생의 변태가 진행되기에 충분한 시간이 경과한 뒤에도, 변태가 일어나지 않은 유생은 모두 제거하였다. 유생의 부착률과 변태율의 계산식은 다음과 같다.

- 유생 부착률(%) = (부착 개체수 / 초기 개체수) × 100

- 유생 변태율(%) = (변태 개체수 / 초기 개체수) × 100

유생의 생존 여부는 매일 점검하였고 10초 동안 움직임 없이 고정되어있는 개체는 폐사 개체로 간주하여 즉시 제거하였으며, 생존율은 변태 전과, 후로 구분하여 측정하였다. 유생의 성장은 매일 실험구마다 5개체씩 총 25개체의 각장을 측정하였다. 생존율과 성장률 계산식은 다음과 같다.

- 초기 생존율(%) = (살아있는 개체수 / 초기 개체수) × 100

- 후기 생존율(%) = (살아있는 개체수 / 변태 개체수) × 100

- 일간 성장량 = (실험종료 시 각장 - 초기 각장) / 실험기간

Table 2. Microalgae for the experiment of *Haliotis discus hannai* larvae

KMCC No.	Microalgae	Cell Length (μm)
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	21.0 $\pm$ 2.5
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	23.9 $\pm$ 1.0
B-304	<i>Amphora</i> sp.	23.3 $\pm$ 3.3
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	23.8 $\pm$ 9.1

2.2 부착 규조 단일종과 혼합종에 따른 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율

참전복 치패를 대상으로 한 앞의 실험에서 참전복 유생의 성장에 효율적이라고 판단되는 부착 규조 2종과 먹이 효율이 우수한 것으로 보고된(고, 2003) *Rhaphoneis* sp. (KMCC B-41, $8.8 \pm 1.7 \mu\text{m}$)와 *Cocconeis californica* (small type, KMCC B-482, $4.0 \pm 0.6 \mu\text{m}$)를 대상으로 참전복 유생의 부착률과 변태율, 생존율 및 초기 성장을 조사하였다. 실험에 사용한 유생은 해림 수산에서 분양받았고, 수정 후 88 시간이 경과한 veliger 유생을 사용하였다.

실험에 선정된 4종의 부착 규조는 7일간 6-well cell chamber에서 배양하여 얇은 막을 형성하도록 하였다. 4종 혼합구는 각 실험 종을 같은 비율로 혼합하여 배양하였고, 대조구는 부착 규조의 첨가 없이 여과해수만 채웠다. 배양조건은 20°C , $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 연속 조명 하에서 실시하였다.

부착 규조를 배양한 chamber에 유생을 넣기 전에 남아있는 배지의 성분을 제거하기 위해서 여과해수를 사용하여 2~3회 세척한 후, 10 ml의 GF/C 여과해수를 채워 30 ± 10 개체(3개체/ml)의 유생을 넣어주었다. 수온 18°C , $40 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 광주기 8(L):16(D)의 조건으로 16일간 실험하였다. 부착이 완료된 후에는 여과해수를 하루에 5 ml씩 교환하였고, 실험은 5반복으로 실시하였다.

유생의 부착, 변태, 생존율 및 성장률의 측정은 이전의 실험과 동일한 방법으로 실시하였다.

3. 부착 규조의 성장에 미치는 온도, 염분, 조도의 영향

3.1 온도에 따른 부착 규조의 성장

전복 치패와 유생을 대상으로 한 실험에서 전복의 먹이 생물로 적합하다고 판단되는 부착 규조 5종을 선정하여(Table 3), 온도와 염분에 따른 성장률을 조사하였다.

부착 규조의 성장 실험은 온도 23, 25, 27℃, f/2 배지(Guillard and Ryther, 1962)를 사용하였으며, 3 ml를 접종 후 배양용기는 6-well cell chamber에 저온 배양기(B1-1000M, Korea)에서 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조도로 연속 조명 하에 6일 동안 배양하였다. 온도별 염분 조건은 각각 24, 26, 28, 30‰로 하였고, 온도 구간별 배양 규조는 매일 cell chamber당 1 hole을 수거하여 원심분리 하였다.

원심분리 후 위 상층액을 버린 후, 90%의 아세톤 10 ml을 넣고, 24시간 냉장 보관 뒤, -80℃의 초저온 냉동고에 저장하였다. 규조의 성장 측정은 분광광도계로 chlorophyll-a를 측정하였으며, 실험은 3반복으로 실시하였다.

23℃에서 성장이 양호한 *Rhaphoneis* sp., *Navicula* sp., *Caloneis schroederi*를 대상으로 16, 18, 20, 22℃의 온도 조건에서 성장을 재 측정하였다. 26℃이상에서 성장이 양호한 *Cocconeis californica* (large type), *Cocconeis californica* (small type), *Caloneis schroederi*는 24, 26, 28℃의 온도 조건으로 성장을 측정하였다. 염분은 30‰로 하였고, 이외의 배양 조건 및 성장 측정은 앞의 실험과 동일하게 실시하였다.

3.2 염분에 따른 부착 규조의 성장

염분 조건별 부착 규조의 성장을 24, 26, 28, 30‰에서 조사하였고, 각 실험구의 온도 조건은 23, 25, 27℃로 하여 성장을 측정하였다. 실험 방법은 앞의 실험과 동일하게 하였다.

3.3 조도에 따른 부착 규조의 성장

온도와 염분에 따른 성장이 양호했던 규조 4종(Table 4)을 선택하여 온도와 조도에 대한 부착 규조의 성장을 조사하였다.

18, 26℃에서 20, 60, 100, 140 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 1차 실험한 뒤 각각 2 실험구로 실시한 후 10, 20, 40, 50, 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 재 실험 하였다. 모든 실험은 2실험구로 하였고, 기타 배양 조건 및 성장 측정은 앞의 실험 조건과 동일하게 실시하였다.

Table 3. Microalgae for the experiment on the effect of temperature and salinity

KMCC No.	Microalgae	Cell Length (μm)
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	21.0 $\pm$ 2.5
B-41	<i>Raphoneis</i> sp.	8.8 $\pm$ 1.7
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	23.8 $\pm$ 9.1
B-394	<i>Navicula</i> sp.	15.1 $\pm$ 1.1
B-482	<i>Cocconeis californica</i> (small type)	4.0 $\pm$ 0.6

Table 4. Microalgae for the experiment on the effect of temperature and light intensity

KMCC No.	Microalgae	Cell Length (μm)
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	21.0 $\pm$ 2.5
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	8.8 $\pm$ 1.7
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	23.8 $\pm$ 9.1
B-482	<i>Cocconeis californica</i> (small type)	4.0 $\pm$ 0.6

4. 통계 분석

모든 자료의 통계 처리는 SPSS (version 11) 통계 패키지를 이용하였고, 실험 결과는 one-way ANOVA (Duncan's multiple range test)로 분석하였다.

III. 결 과

1. 부착 규조에 대한 참전복 치패의 먹이 효율

참전복 치패를 대상으로 규조에 대한 먹이 효율을 실험한 결과(Table 5), 생존율은 *Caloneis schroederi*가 37.1%, *Nitzschia* sp. 35.0%, *Navicula* sp.가 31.4%로 높았지만, *Navicula elegans*는 6.4%, *Cylindrotheca closterium*.은 10.7%로 낮았다. 실험 종료 후 전복 각장을 측정한 결과, *Cocconeis californica*가 9.33 mm, *Achnanthes* sp., 9.27 mm, *Amphora* sp., 9.22 mm로 대체로 높은 성장을 나타냈다. 이에 반해, *Nitzschia* sp.는 생존율은 높았지만 성장에서는 8.74 mm로 낮았다. *N. elegans* 역시 8.60 mm로 낮았다. 전복 육질은 *Amphora* sp.을 공급한 실험구에서 전중과 육중은 각각 8.77 mg, 3.52 mg으로 높았으며, *C. californica*와 *Achnanthes* sp. 실험구에서 각각 8.47~8.77 mg, 3.23~3.52 mg으로 높게 나타났다. 그러나 *N. elegans*는 가장 낮은 먹이 효율을 보였다.

2. 부착 규조의 영양분석

참전복 치패의 성장과 생존에 효과적이었던 6종의 규조를 선택하여 일반성분, 지방산, 구성 아미노산을 측정한 결과는 Table 6과 같다. 또 각 11종의 부착 규조를 먹인 전복 육질의 일반성분 분석 결과는 Table 7과 같다.

Table 5. Dietary values of microalgae for the growth and survival (%) of the spat of *Haliotis discus hannai*

KMCC No.	Microalgae	Final survival (%)	Shell length (mm)	Total weight (mg)	Meat weight (mg)
B-39	<i>Caloneis schroderi</i>	37.14±4.04 ^a	9.14±0.43 ^a	8.06±1.21 ^a	2.69±0.49 ^{bc}
B-48	<i>Navicula elegans</i>	6.43±1.01 ^b	8.60±0.62 ^c	6.71±1.95 ^c	2.67±0.88 ^{bc}
B-102	<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffeaeformis</i>	23.57±7.07 ^{ab}	9.00±0.68 ^{ab}	7.75±1.55 ^{ab}	3.17±0.81 ^{ab}
B-105	<i>Navicula</i> sp.	20.00±4.04 ^{ab}	9.18±0.48 ^{ab}	8.05±1.00 ^a	2.99±0.56 ^{ab}
B-122	<i>Navicula</i> sp.	31.43±10.10 ^{ab}	9.07±0.69 ^{ab}	7.69±1.63 ^{ab}	2.79±0.68 ^{bc}
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	35.00±1.01 ^a	8.74±0.71 ^c	7.20±1.83 ^{ab}	2.73±0.75 ^{bc}
B-304	<i>Amphora</i> sp.	27.14±4.04 ^{ab}	9.22±0.40 ^a	8.77±1.27 ^a	3.52±0.43 ^a
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	28.57±14.14 ^{ab}	9.33±0.26 ^a	8.77±1.11 ^a	3.23±0.43 ^{ab}
B-394	<i>Navicula</i> sp.	12.86±2.02 ^{ab}	8.98±0.83 ^{ab}	7.77±1.87 ^{ab}	3.06±1.14 ^{ab}
B-411	<i>Cylindrotheca closterium</i>	10.71±1.01 ^{ab}	8.76±0.66 ^c	7.32±1.91 ^{ab}	2.87±1.04 ^{bc}
B-564	<i>Achnanthes</i> sp.	17.86±5.05 ^{ab}	9.27±0.44 ^a	8.47±1.07 ^a	3.44±0.52 ^a

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 6. Nutrition analysis of microalgae

Microalgae (KMCC No.)	Nutrition	Proximate chemical composition (%)		Fatty acid (%)		Total amino acid (%)
		crude lipid	crude protein	EPA	DHA	
<i>Caloneis schroederi</i> (B-39)		11.21	16.75	6.351	0.228	29.190
<i>Navicula</i> sp. (B-122)		6.52	19.08	9.223	0.172	18.596
<i>Nitzschia</i> sp. (B-129)		36.68	31.21	10.328	0.260	36.748
<i>Amphora</i> sp. (B-304)		7.61	31.02	4.078	0.624	37.680
<i>Cocconeis californica</i> (B-326)		2.49	25.72	15.775	0.446	33.082
<i>Navicula</i> sp. (B-394)		5.11	21.82	10.991	0.451	22.692

Table 7. Crude lipid and protein of abalone meat

Microalgae (KMCC No.)	Crude lipid	Crude protein
<i>Caloneis schroederi</i> (B-39)	3.83±0.33	53.0±0.33
<i>Navicula elegans</i> (B-48)	14.4±0.29	-
<i>Amphora veneta</i> var <i>coffeaeformis</i> (B-102)	4.72±0.15	-
<i>Navicula</i> sp. (B-105)	16.9±0.24	63.7±0.62
<i>Navicula</i> sp. (B-122)	4.16±0.80	62.8±0.00
<i>Nitzschia</i> sp. (B-129)	4.23±0.97	-
<i>Amphora</i> sp. (B-304)	17.3±0.77	66.6±0.69
<i>Cocconeis californica</i> (B-326)	10.4±0.43	66.3±0.63
<i>Navicula</i> sp. (B-394)	14.1±0.34	-
<i>Cylindrotheca closterium</i> (B-411)	21.4±0.58	-
<i>Achnanthes</i> sp. (B-564)	5.73±0.67	-

3. 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율 조사

3.1 부착 구조에 따른 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율

참전복 유생의 부착률은 실험 시작 6시간 후부터 점차 증가하다가 변태가 일어날 무렵인 96시간 후부터 감소하는 경향을 보였다(Table 8).

실험시작 후 6시간째, *Nitzschia* sp.에서 26.4%로 가장 높은 부착률을 보였고, 나머지 실험구에서는 별다른 차이를 보이지 않았다. 12시간 후 역시 *Nitzschia* sp.에서 42.0%, *C. californica* (large type)는 32.7%로 다른 실험구에 비해서 유의하게 높은 부착률을 보였다($P<0.05$, Table 9). 반면 *C. schroederi*는 17.6%로 모든 실험구와 비교해서 부착 초기에 상대적으로 낮은 부착률을 보였다.

24시간부터 *C. californica* (large type)에서 56.7%로 높은 부착률을 보였고, 72시간째 93.8%로 가장 높은 부착률을 보이다가 96시간째 다소 부착률이 떨어졌지만 47.3%로 다른 실험구에 비해서 가장 높은 부착률을 보였다(Table 8). 이에 반해 부착 초기에 가장 높은 부착률을 보였던 *Nitzschia* sp.는 96시간이 지난 후 24.0%의 부착률로 *C. schroederi* 실험구와 같이 유의하게 낮은 부착률을 나타내었다($P<0.05$, Table 8).

참전복 유생의 변태율은 부착이 거의 완료된 시점인 4일 후부터 높았다. 실험 시작 후 4일째 실험구 *Amphora* sp.에서 61.9%로 다른 실험구에 비해서 유의하게 높은 변태율을 보였고, *C. californica* (large type)는 60.2%, *Nitzschia* sp.는 47.0%의 변태율을 보였다. 그에 반해 *C. schroederi*는 39.1%로 유의하게 가장 낮은 변태율을 보였다($P<0.05$, Table 9).

변태가 완료될 시점인 실험 6일째의 변태율은 실험 시작 4일째와 비교하여 *C. californica* (large type)에서 98.5%로 가장 높았고($P<0.05$), *Amphora* sp. 역시 90.7%로 다소 높은 변태율을 보였다. *Nitzschia* sp.는 82.3%, *C. schroederi*는 72.2%로 다른 실험구에 비해 낮은 변태율을 보였다. 참전복 유생의 변태율은 실험기간 전반에 걸쳐서 *C. californica* (large type)와 *Amphora* sp.에서 유의하게 높은 변태율을 나타냈다($P<0.05$, Table 9).

유생의 생존율은 변태 전과 후로 나누어 변태 전 생존율은 24시간과 48시간이 지난 후에는 실험구별로 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 또한 72시간이 지난 후에도 각각의 실험구가 유의한 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), 변태가 시작된 실험 96시간 후부터 유의한 차이를 보였다($P<0.05$, Table 10).

C. californica (large type)는 96시간째 44.9%로 가장 높은 생존율을 보였다. *Amphora* sp.는 37.6%의 생존율을 보였으나, *Nitzschia* sp., *C. schroederi* 실험구는 유의한 차이를 보이지 않았다.

변태가 진행된 후 유생의 생존율은, 15일 후 *C. californica* (large type)에서 35.9%로 가장 높았고, *Amphora* sp.는 21.2%의 생존율을 나타내었다. 그에 반해 *C. schroederi*와 *Nitzschia* sp.는 15일째 모든 개체가 사망하였다(Fig. 1).

유생의 성장은, 변태 전인 약 실험 4일째까지 성장의 변화를 보이지 않다가 변태를 시작한 4일 이후부터 먹이를 먹기 시작하며 성장하여 실험구별로 성장의 차이를 나타내었다(Fig. 2).

C. californica (large type)는 실험 18일째 779.0 μm 까지 성장하여 다른 실험구에 비해서 유의하게 높은 성장률을 보였고($P<0.05$), *Amphora* sp.

는 647.0 μm 으로 다소 높은 성장률을 보였다. 그에 반해 *Nitzschia* sp.는 557.6 μm 으로 다른 실험구에 비해서 가장 낮은 성장률을 보였다.

실험구별 일간 성장을 보면, *C. californica* (large type)에서 25.4 μm 로 다른 실험구에 비해서 유의한 차이를 보이며 가장 높은 성장률을 나타냈다. *Amphora* sp.는 21.0 μm 을 나타내었고, *C. schroederi*와 *Nitzschia* sp. 실험구는 각각 16.9 μm , 13.9 μm 을 보이면서 다른 실험구에 비해 유의하게 낮은 성장률을 보였다($P < 0.05$, Table 11).

Table 8 . Percent of settlement of *Haliotis discus hannai* larvae fed on microalgae

KMCC No.	Microalgae	Elapsed times*					
		6 h	12 h	24 h	48 h	72 h	96 h
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	12±2.9 ^b	17.6±5.6 ^c	35.8±8.1 ^b	69.8±10.5 ^c	78.0±6.9 ^c	23.8±10.6 ^c
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	26.4±8.0 ^a	42.0±10.5 ^a	58.2±13.3 ^a	95.3±5.5 ^a	83.1±15.0 ^b	24.0±18.6 ^c
B-304	<i>Amphora</i> sp.	10.9±4.0 ^b	30.0±4.5 ^b	48.9±6.0 ^b	80.2±7.1 ^b	82.9±3.9 ^b	31.1±14.2 ^{bc}
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	12.0±2.9 ^b	32.7±6.2 ^a	56.7±11.5 ^a	87.1±8.4 ^a	93.8±4.8 ^a	47.3±4.2 ^a

*Hours after inoculation of veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 9. Percent of metamorphosis of *Haliotis discus hannai* larvae fed on microalgae

KMCC No.	Microalgae	Elapsed days*		
		4 days	5 days	6 days
B-39	<i>Caloneis Schroederi</i>	39.1±10.9 ^c	51.5±8.1 ^{bc}	72.2±9.7 ^{bc}
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	47.0±20.5 ^{bc}	59.3±27.1 ^b	81.25±41.8 ^{ab}
B-304	<i>Amphora</i> sp.	61.9±9.6 ^a	81.2±3.3 ^a	90.7±8.3 ^a
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	60.2±6.7 ^{ab}	92.9±4.9 ^a	98.5±2.0 ^a

*Hours after inoculation of veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 10. Survival (%) of *Haliotis discus hannai* larvae from veliger stage to attachment before metamorphosis

KMCC No.	Microalgae	Elapsed times*			
		24 h	48 h	72 h	96 h
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	98.2±2.3 ^a	92.2±6.5 ^a	85.6±6.6 ^a	24.0±11 ^b
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	99.1±0.9 ^a	95.3±3.7 ^a	84.4±11.7 ^a	31.6±23.1 ^b
B-304	<i>Amphora</i> sp.	97.3±2.2 ^a	94.0±2.7 ^a	85.6±5.2 ^a	37.6±9.5 ^b
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	98.9±1.1 ^a	96.0±2.3 ^a	87.3±1.9 ^a	44.9±6.5 ^a

*Hours after inoculation of veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

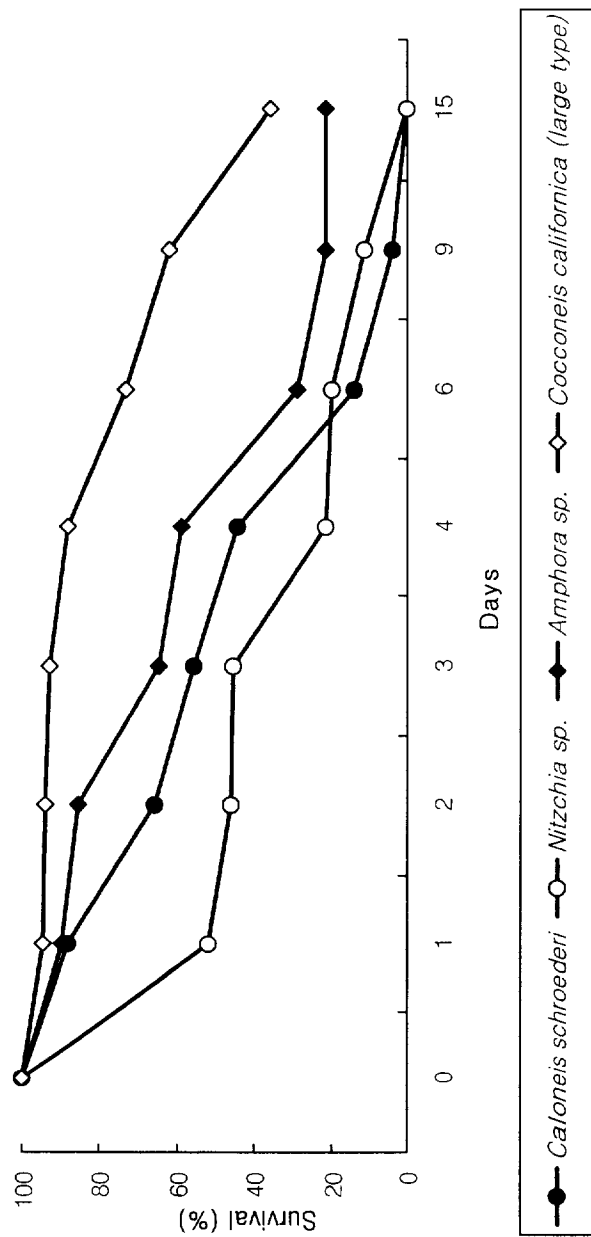


Fig. 1. Survival (%) for *Haliotis discus hannai* larvae fed on different microalgae after metamorphosis.

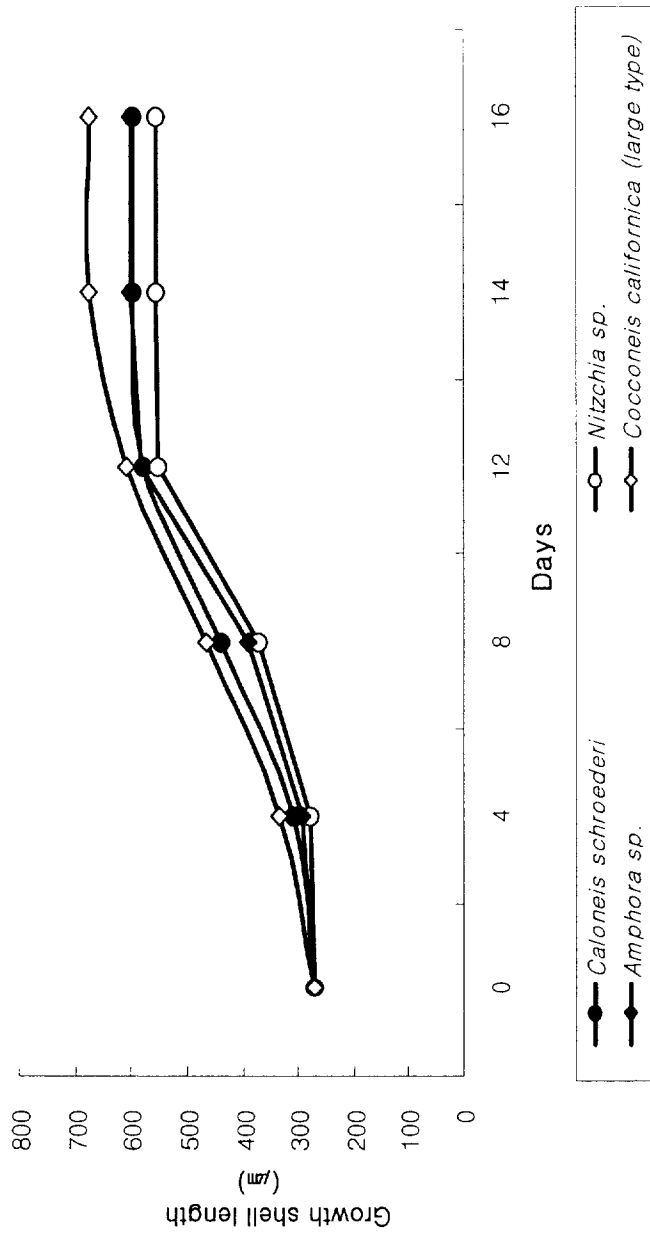


Fig. 2. Growth in shell length of *Haliotis discus hannai* larvae fed on microalgae from veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.

Table 11. Mean daily growth increment in shell length of *Haliotis discus hannai* larvae fed on each microalgal species
(unit : μm , N=50)

KMCC No.	Microalgae	Increment (μm)
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	16.9 ^b
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	13.9 ^b
B-304	<i>Amphora</i> sp.	21.0 ^{ab}
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	25.4 ^a

Data in columns followed by different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

3.2 부착 규조 단일종과 혼합종에 따른 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이 효율

참전복 유생의 부착률은 실험 시작 6시간 후 먹이를 공급하지 않은 실험구가 11.6%, 먹이 혼합구가 24.4%로 낮은 부착률을 보였고, *C. californica* (large type)에서 39.3%로 다른 실험구와 유의한 차이를 보이면서 가장 높은 부착률을 나타내었다($P < 0.05$, Table 12). 실험 12, 24시간 후 점차 먹이를 공급하지 않은 실험구는 먹이를 공급한 실험구에 비해 부착률이 매우 저조하였다. 반면 *C. californica* (large type)는 실험 24시간 후 73.7%로 다른 실험구와 비교하여 가장 높은 부착률을 보였고, *Rhaphoneis* sp.도 59.4%로 다소 높은 부착률을 보였다. 모든 실험구에서 실험 48시간까지는 부착률이 높아지다가 변태 개체가 보이기 시작한 실험 72시간에서는 낮은 부착률을 보였다.

실험 96시간째 역시 *C. californica* (large type)가 76.9%로 가장 높은 부착률을 보였고, *Rhaphoneis* sp.는 75.4%로 높은 부착률을 보여 *C. californica* (large type)와 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). *C. schroederi*는 67.5%로 다소 높은 부착률을 보였고, *C. californica* (small type)는 36.4%로 실험 대상종 중에서 유일하게 먹이 혼합구 49.7%의 부착률에 비해 낮은 값을 보였다.

참전복 유생의 변태율은 실험 시작 4일 후와, 변태가 완료된 시점인 6일을 각각 측정하였다. 실험 4일째 유생의 변태율은 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.에서 각각 34.8%, 32.8%로 높았고, 먹이를 공급하지 않은 실험구에서는 1.0%로 가장 낮았다($P < 0.05$, Table 13). 6일째 역시 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.가 49.5%, 45.5%

로 가장 높은 변태율을 보였고, *C. schroederi* 실험구는 37.6%로 다소 높았다. 4종을 혼합한 실험구는 *C. californica* (large type), *Rhaphoneis* sp., *C. schroederi*를 단독으로 공급한 실험구보다 유의하게 낮은 변태율을 보였고, 대조구는 4일째와 마찬가지로 가장 낮았다.

변태 전 유생의 생존율은 실험 24시간 후 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.에서 각각 94.3%, 94.7%로 다른 실험구와 유의하게 높은 생존율을 보였다($P < 0.05$, Table 14). *C. schroederi*는 93.3%로 다소 높은 생존율을 보였다. 실험 시작 48시간 후, *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.에서 역시 87.5%, 84.4%로 24시간 후 보다는 다소 떨어졌지만 높은 생존율을 보였다. 실험 72시간, 96시간 후부터는 실험구별로 생존율의 경향이 뚜렷하며, 초기 성장률이 높았던 *C. californica* (large type), *Rhaphoneis* sp.와 *C. schroederi*는 62~69% 수준의 높은 생존율을 보였고, 반면, *C. californica* (small type)는 72시간과 96시간 후의 생존율이 각각 33.3%, 26.8%로 단독으로 먹이를 공급한 실험구 중에서 가장 낮은 생존율을 보였고, 4종의 먹이를 혼합한 실험구 역시 40.8%로 비교적 낮았다. 먹이를 공급하지 않은 실험구는 24시간 후 다른 실험구와 비교해서 큰 차이를 보이지 않았지만 실험 48시간 후에는 36.6%로 급격히 감소하기 시작하여 96시간 후에는 7.0%으로 다른 실험구와 비교하여 유의하게 가장 낮은 생존율을 나타내었다.

변태가 진행되고 난 후 유생의 생존율은 변태전과 유사하였다. 실험 기간 내내 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.에서 유의하게 가장 높은 생존율을 보였고, *C. schroederi* 실험구와 4종 먹이 혼합 실험구는 유의한 차이를 보이지 않았지만 높은 생존율을 보였다($P > 0.05$, Table 15). 먹이를 공급하지 않은 실험구는 변태 10일 후 14.0%로 가장

낮은 생존율을 보였다.

유생의 성장은 실험 4일째까지 뚜렷한 차이를 보이지 않다가 8일째부터 실험구별로 뚜렷한 차이를 보였다(Fig 3). 변태율과 성장률이 높았던 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.에서 실험 16일째 최종 생존 개체의 평균 각장 크기는 각각 782.3 μm , 762.9 μm 까지 성장하여 높았고, 먹이를 공급하지 않은 실험구에서는 452.7 μm 로 가장 저조하였다. 또한 *C. californica* (small type)는 609.8 μm 로 4종을 혼합한 실험구 592.4 μm 와 비교 시 변태율과 생존율 낮지만 성장은 거의 차이가 없었다(Fig 3).

유생의 일간 성장률은, *C. californica* (large type)에서 33.7 μm , *Rhaphoneis* sp.는 32.5 μm 로 유의하게 가장 높은 값을 보였고, *C. schroederi*는 29.0 μm 로 비교적 높았다($P < 0.05$, Table 16). 반면, *C. californica* (small type)와 4종 혼합구는 22.9 μm , 21.8 μm 로 다소 낮았고, 먹이를 공급하지 않은 실험구는 13.4 μm 로 가장 저조하였다.

Table 12. Percent of larval attachment of *Haliotis discus hannai* fed on microalgae

KMCC No.	Microalgae	Elapsed times*					
		6 h	12 h	24 h	48 h	72 h	96 h
	Non-fed	11.6±7.3 ^c	14.9±2.5 ^c	21.5±4.7 ^c	20.7±15.0 ^c	15.0±9.1 ^c	11.0±9.2 ^c
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	32.8±6.0 ^{ab}	35.3±8.4 ^b	44.8±13.1 ^{bc}	57.3±14.3 ^b	57.9±24.3 ^b	67.5±13.8 ^a
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	31.7±7.5 ^{ab}	44.7±8.4 ^b	59.4±8.7 ^b	82.2±6.5 ^a	76.7±11.8 ^a	75.4±17.5 ^a
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	39.3±5.8 ^a	57.7±7.7 ^a	73.7±10.1 ^a	80.5±7.6 ^a	77.6±4.4 ^a	76.9±8.5 ^a
B-482	<i>Cocconeis californica</i> (small type)	28.8±15.4 ^{ab}	33.4±12.6 ^b	39.6±12.5 ^c	69.2±7.7 ^{ab}	65.2±4.9 ^{ab}	36.4±12.3 ^{bc}
	Mixed microalgae	24.4±11.9 ^b	35.7±4.1 ^b	47.8±10.9 ^{bc}	60.4±20.1 ^b	57.4±16.0 ^b	49.7±10.1 ^b

*Hours after inoculation of veliger larvae grown for 88 hours after fertilization.

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 13. Percent of larval metamorphosis of *Haliotis discus hannai* fed on microalgae

KMCC No.	Microalgae	Elapsed days*	
		4 days	6 days
	Non-fed	1.0±1.4 ^b	1.9±1.2 ^d
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	12.8±6.5 ^b	37.6±12.5 ^{ab}
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	32.8±16.5 ^a	45.5±8.8 ^a
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	34.8±4.9 ^a	49.5±5.9 ^a
B-482	<i>Cocconeis californica</i> (small type)	6.1±5.6 ^b	16.1±14.4 ^{cd}
	Mixed microalgae	10.8±7.3 ^b	28.4±15.2 ^{bc}

*Hours after inoculation of veliger larvae grown for 88 hours after fertilization.

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 14. Survival (%) of *Haliotis discus hannai* larvae from veliger stage to attachment before metamorphosis

KMCC No.	Microalgae	Elapsed times*			
		24 h	48 h	72 h	96 h
	Non-fed	82.9±10.7 ^{ab}	36.6±31.0 ^c	15.5±15.1 ^c	7.0±7.3 ^d
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	93.3±6.3 ^{ab}	84.4±8.3 ^a	72.7±9.0 ^a	62.3±12.1 ^{ab}
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	94.7±3.3 ^a	87.5±2.2 ^a	80.8±3.9 ^a	69.5±10.6 ^a
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	94.3±1.9 ^a	86.5±6.4 ^a	74.2±15.3 ^a	67.7±15.3 ^a
B-482	<i>Cocconeis californica</i> (small type)	77.9±10.6 ^b	71.5±11.4 ^{ab}	33.3±11.6 ^{cd}	26.8±11.0 ^{cd}
	Mixed microalgae	75.1±5.4 ^{ab}	68.8±5.4 ^{ab}	47.1±8.6 ^{bc}	40.8±10.6 ^{bc}

*Hours after inoculation of veliger larvae grown for 88 hours after fertilization.

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 15. Survival (%) for *Haliotis discus hannai* larvae fed on microalgae larvae after metamorphosis

KMCC No.	Micoralgae	Days after metamorphosis				
		2 days	4 days	6 days	8 days	10 days
	Non-fed	60.0±54.8 ^a	39.3±37.4 ^b	31.3±30.1 ^c	27.3±30.0 ^c	14.0±21.9 ^b
B-39	<i>Caloneis schroederi</i>	76.3±8.8 ^a	70.9±4.1 ^{ab}	70.0±4.5 ^a	66.2±11.1 ^{ab}	58.0±18.1 ^{ab}
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	84.8±9.7 ^a	76.0±20.6 ^{ab}	66.8±24.5 ^{ab}	66.8±23.6 ^{ab}	61.0±23.9 ^a
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	94.8±4.2 ^a	86.5±5.7 ^a	78.9±9.7 ^a	76.7±9.2 ^a	69.0±13.4 ^a
B-482	<i>Cocconeis californica</i> (small type)	91.0±9.2 ^a	67.0±29.1 ^{abc}	65.3±27.6 ^{ab}	56.8±23.9 ^{ab}	36.1±31.8 ^{bc}
	Mixed microalgae	82.5±15.8 ^a	73.3±19.1 ^{ab}	64.0±14.6 ^{ab}	57.4±8.9 ^{ab}	55.6±8.2 ^{ab}

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

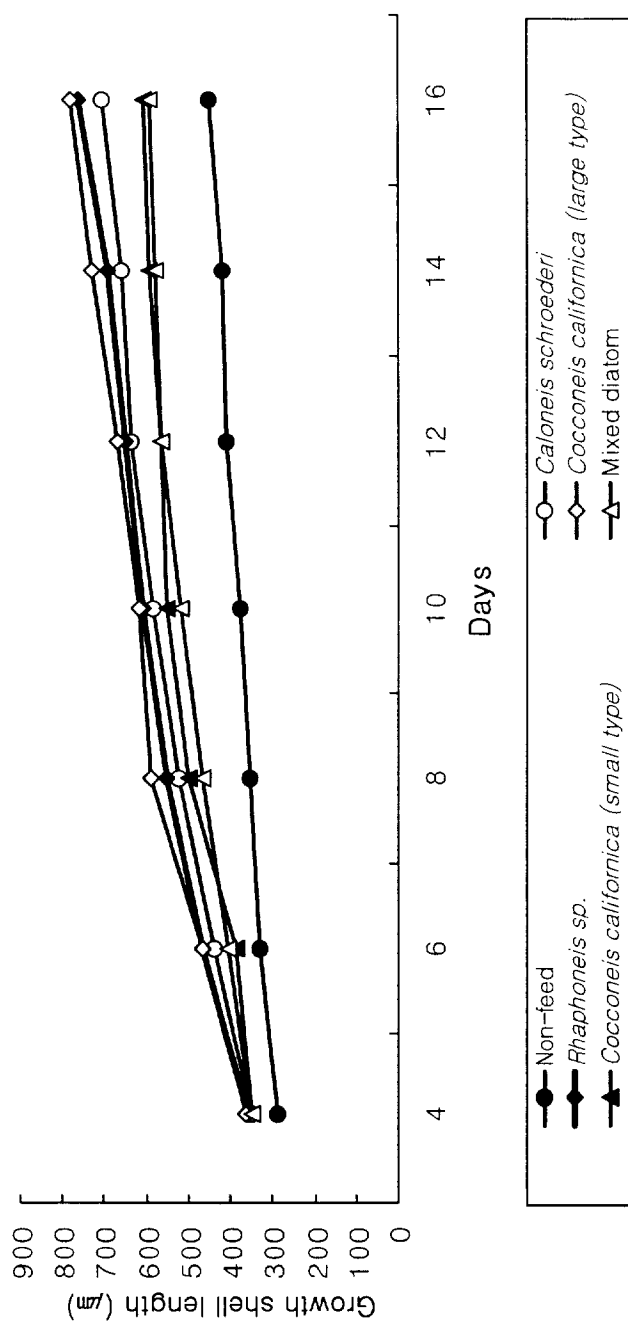


Fig. 3. Laval growth in shell length of *Haliotis discus hannai* fed on microalgae after metamorphosis.

Table 16. Mean daily growth increment of *Haliotis discus hannai* larvae fed on microalgae
(unit: μm , N=25)

KMCC No.	Microalgae	Daily increment
	Non-fed	13.4 $\pm$ 3.8 ^d
B-39	<i>Caloneis Schroederi</i>	29.0 $\pm$ 1.8 ^b
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	32.5 $\pm$ 1.3 ^a
B-326	<i>Cocconeis californica</i> (large type)	33.7 $\pm$ 1.8 ^a
B-482	<i>Cocconeis californica</i> (small type)	22.9 $\pm$ 1.4 ^c
	Mixed microalgae	21.8 $\pm$ 1.6 ^c

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

4. 부착 규조의 성장에 미치는 온도, 염분, 조도의 영향

4.1 온도에 따른 부착 규조의 성장

부착 규조의 온도와 염분에 따른 성장은 *C. schroederi*의 경우 26, 28℃에서 성장이 양호했지만 유의한 차이는 없었다(Fig. 4, 6). *C. californica* (large type)는 약 26℃까지 배양 온도가 높을수록 성장이 양호했지만 26℃이상에서는 성장이 급격히 감소하였다(Fig. 4, 6). *Rhaphoneis* sp.는 23℃까지 배양 온도가 높을수록 성장이 양호하였고, 그 이상의 수온에서는 성장이 저조하였다(Fig. 4, 5). *C. californica* (small type)는 온도별 실험구에 따른 성장의 차이가 뚜렷하지 않았고, 위의 3종에 비해 성장이 상대적으로 낮았다(Fig. 4, 6). 따라서 *C. schroederi*, *C. californica* (large type)는 상대적으로 고온에서 성장이 좋았고, *Rhaphoneis* sp.는 23℃ 이상에서는 부적합한 것으로 판단된다(Fig. 4, 5, 6).

4.2 염분에 따른 부착 규조의 성장

염분에 따른 부착 규조의 성장은 배양 온도에 따라 좌우되었다. *Rhaphoneis* sp.는 23℃일 때 염분 30‰에서, 온도가 26℃이면 염분 24‰에서 성장이 양호하였다. 즉 배양 온도가 높아질 경우, 다소 낮은 염분 농도에서 성장이 좋았다(Fig. 7). *C. californica* (large type)와 *C. californica* (small type)는 염분에 따른 성장의 차이가 뚜렷하지 않았다(Fig. 7).

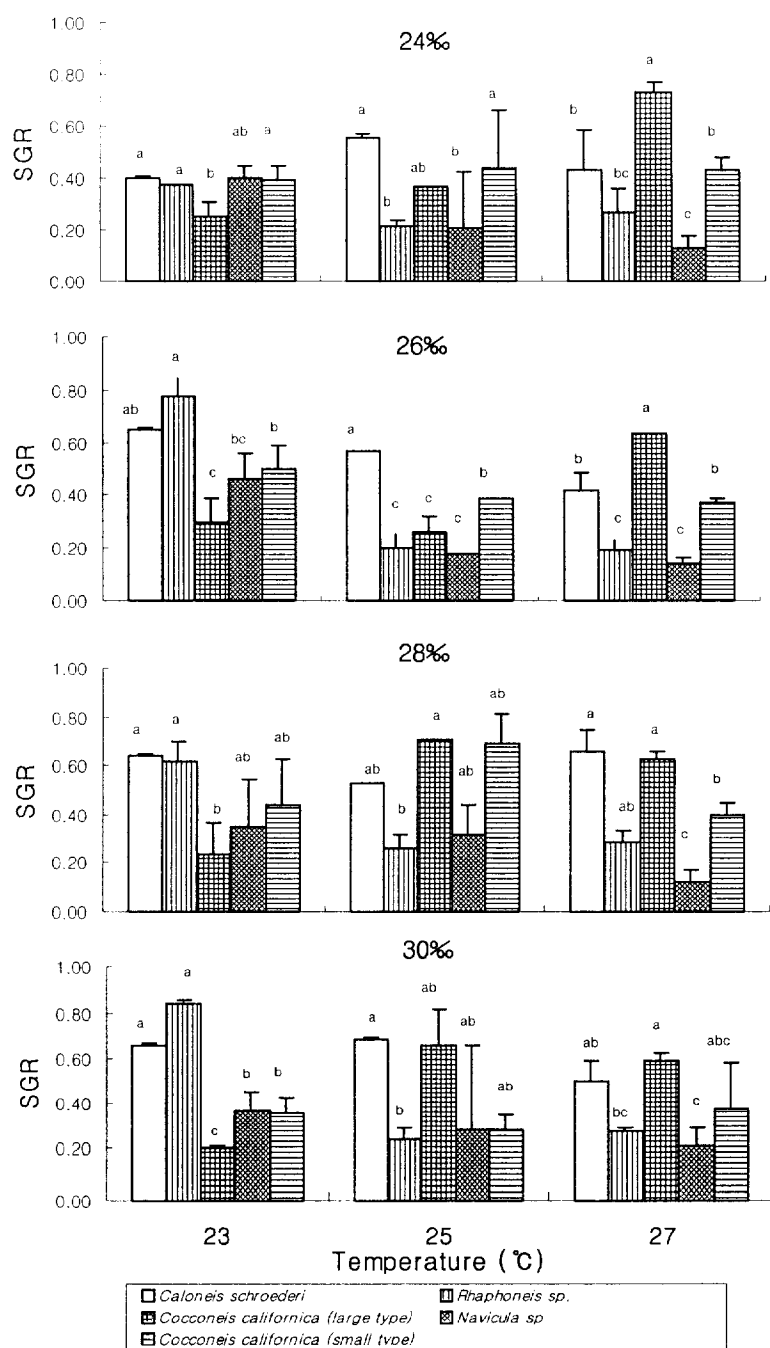


Fig. 4. Specific growth rate (SGR) of microalgae with different temperatures.

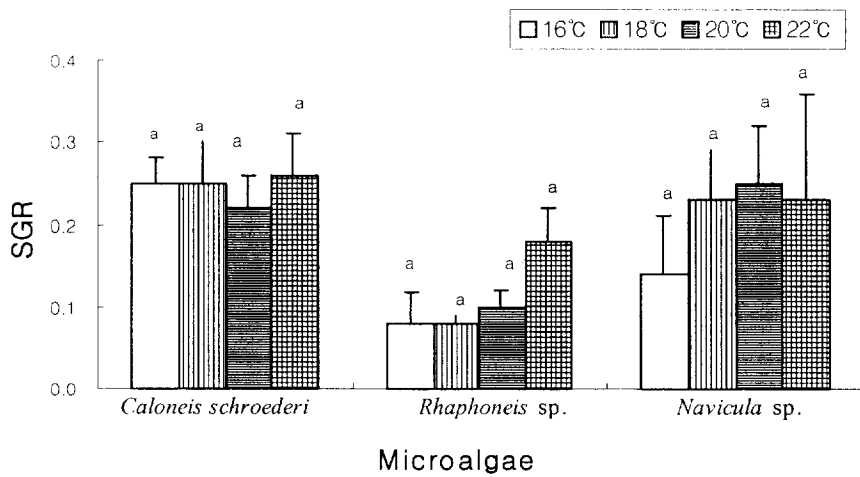


Fig. 5. Specific growth rate (SGR) of micoralgae in low temperatures ranging from 16°C to 22°C at 30 ‰.

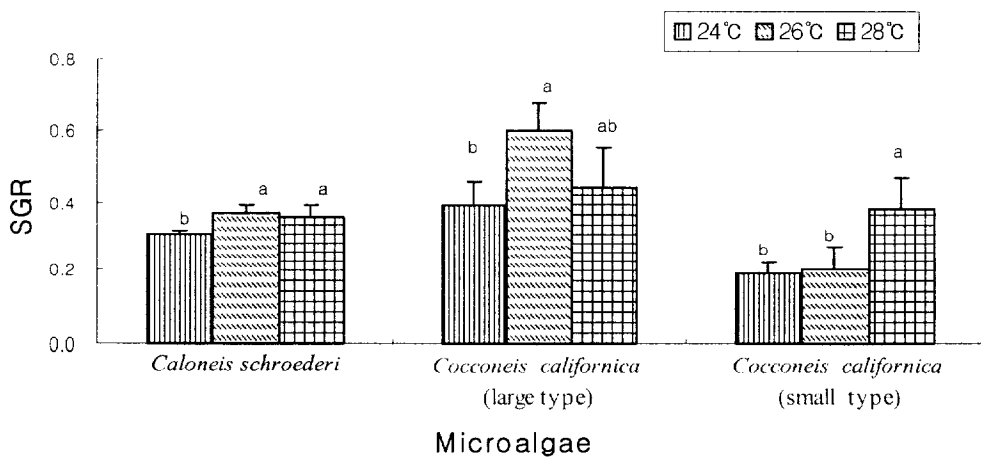


Fig. 6. Specific growth rate (SGR) of microalgae in high temperatures ranging from 24°C to 28°C at 30 ‰.

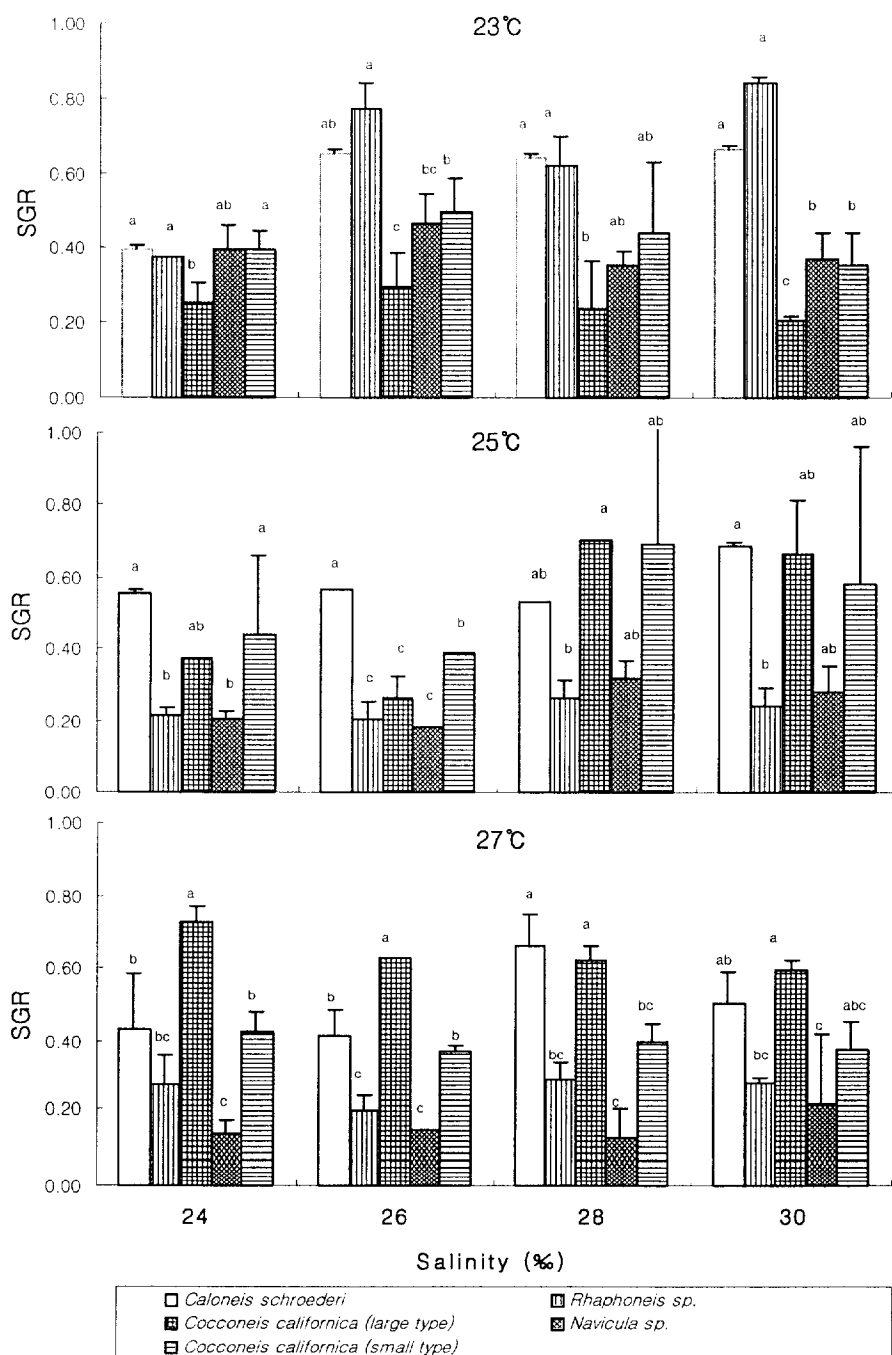


Fig. 7. Specific growth rate (SGR) of microalgae with different salinities.

4.3 조도에 따른 부착 규조의 성장

18℃와 26℃에서 실시한 조도에 따른 부착 규조의 성장은 4종 모두 20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 가장 높았다. 조도가 60, 100, 140 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 높아질수록 성장이 감소하였다($P<0.05$, Fig. 8).

조도 10~60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 부착 규조의 성장도 4종 모두 20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 성장률을 보였다($P<0.05$, Fig. 9). 저온에서 성장이 양호한 *Rhaphoneis* sp.의 경우 18℃에서는 20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 성장이 가장 높았고, 조도가 높아짐에 따라 성장이 완만하게 감소했지만, 26℃의 고온에서는 50, 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 높아질수록 성장이 급격히 감소하였다 (Fig. 9). 비교적 고온에서 성장이 양호한 *C. californica* (large type)의 경우 18℃에서는 조도별로 큰 성장 차이를 보이지 않았고, 26℃에서는 50, 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 성장이 급격히 감소하였다($P<0.05$, Fig. 9).

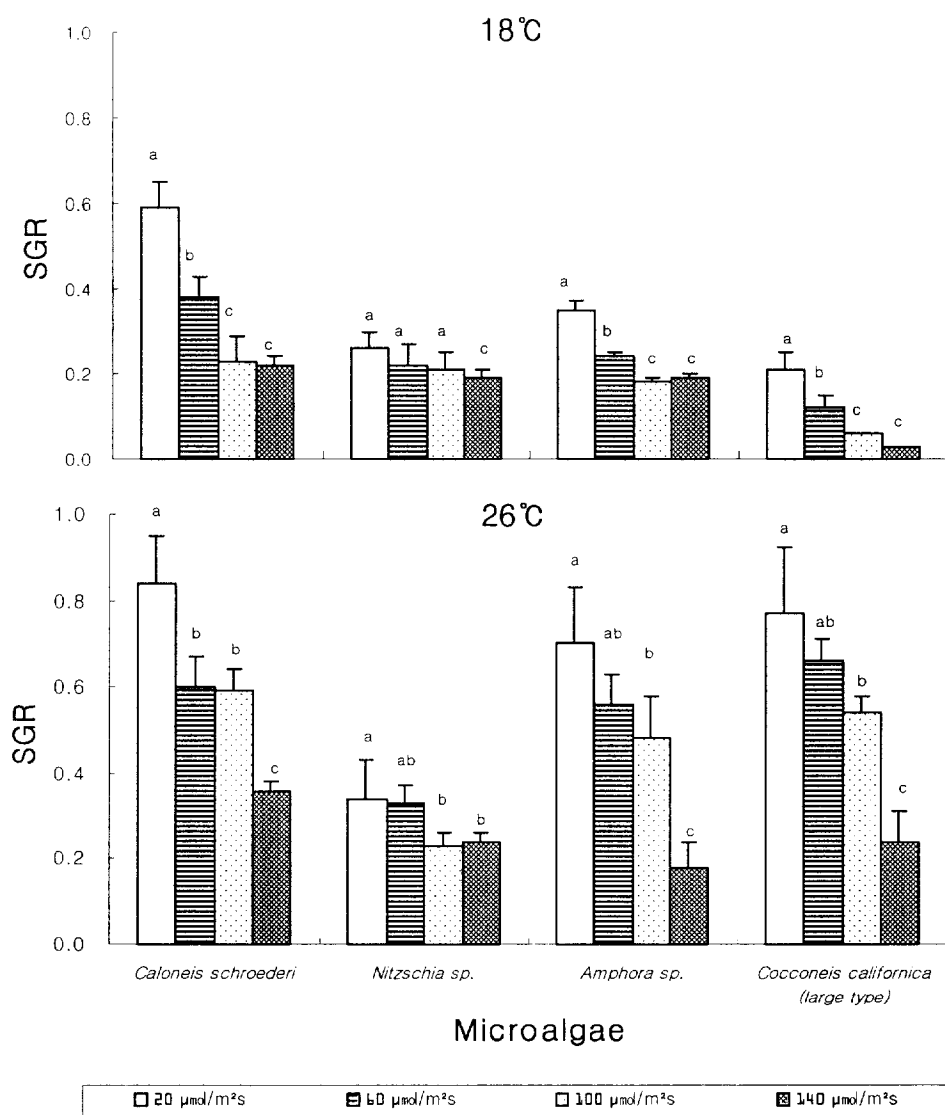


Fig. 8. Specific growth rate (SGR) of microalgae with different illumination intensities ranging from 20 to 140 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in low and high temperature at 30 ‰.

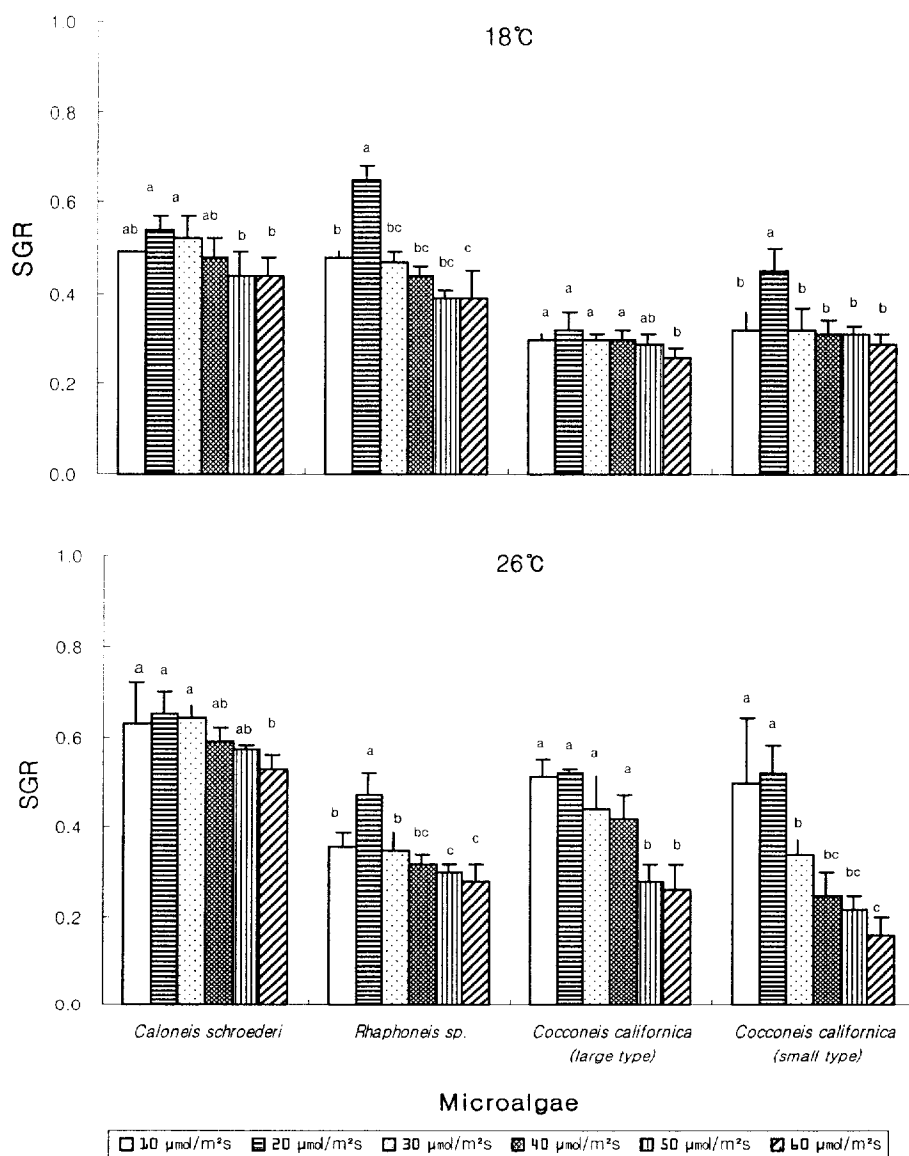


Fig. 9. Specific growth rate (SGR) of microalgae with different illumination intensities ranging from 10 to 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in low and high temperature at 30 %.

IV. 고 찰

전복 양식의 경우, 양성 기간을 단축하여 보다 짧은 시간에 상품 크기의 전복을 생산하면 경제적으로 매우 유리하다. 이러한 전복 양성 기간의 단축을 위해서는 전복의 성장 단계에서 영양과 성장에 효율적인 먹이에 대한 연구가 필요하다. 전복 부화장에서는 전복이 부유 유생에서 저서 생활로 들어갈 시기에 낮은 부착율이 문제 되고(Uki, 1995), 또한 부착 규모의 발생량이 자연 환경에 따라 변화폭이 커서 안정적인 종묘의 확보에 어려움이 되기도 한다. 전복의 초기 부착률과, 변태율, 성장률, 생존율을 향상시키는 부착 규모가 결정되고, 전복 인공 양성장애 안정적으로 공급된다면, 양질의 건강 종묘를 대량 생산할 수 있을 것이다.

규모막은 참전복(*H. discus hannai*) (Seki and Kan-no, 1981)과 *H. rufescens* (Slattery, 1992)에 있어서 부착과 변태를 진행시킨다고 보고 되었고, 부착 규모는 전복의 유생과 치패의 성장 및 생존율을 향상시키는 데 있어서 중요한 초기 먹이 생물로 보고 되었다(Keough and Raimondi, 1995; Kawamura, 1996).

전복 유생은 착저 2일 후부터 먹이를 먹기 시작하는데, 초기에는 먹이에 대한 선택성을 가지고 있다(Norman-Boudreau et al., 1986). 전복 유생의 부착률을 결정하는 요인은 전복의 종류와 규모 종, 규모 종의 밀도 등에 따라 달라진다고 한다(Daume et al., 1999). *Cocconeis*, *Navicula*, *Nitzschia*을 파판에 배양한 후, 전복의 성장과 생존을 조사한 Ohgal et al. (1991)의 실험에서 *Cocconeis*을 먹은 전복 유생은 착저 후 부착, 성장 및 생존에서 가장 좋은 결과를 보였다. *Cocconeis* spp.는 단

독으로도 전복 유생의 부착, 변태 유도에 효과적이다(Kawamura and Kikuchi, 1992). 각 부착 구조와 부착성 녹조류 등 미세 조류를 대상으로 참전복 유생의 부착과 생존을 조사한 고와 허(2002)의 실험 결과 *Rhaphoneis* sp.가 가장 효과적인 결과를 보였다.

이 연구에서 참전복(*H. discus hannai*) 유생을 대상으로 부착 구조에 대한 먹이 효율을 조사한 결과 *C. californica* (large type)에서 초기 부착률, 변태 전 생존율, 변태 후 생존율 및 일간 성장률 등 모든 면에서 유의하게 높게 나타났고, *Rhaphoneis* sp. 역시 *C. californica* (large type)와 유의한 차이 없이 참전복 유생 단계에서 높은 먹이효율을 보였다 ($P>0.05$).

Kawamura et al. (1998)은 전복의 유생 단계에서 먹이 효율을 결정짓는 주요한 인자를 다음 3가지로 설명하였다. 주요 인자로는 부착 구조의 부착력, 구조막의 세기, 구조의 세포 형태 및 크기이며, 이 인자들로 인해서 어떤 구조들을 전복의 어린 유생이 효과적으로 이용하지 못해 유생의 성장이 달라질 수 있다고 보고하였다(Kawamura et al., 1998b; Roberts et al., 1999). 또한 전복 유생의 먹이 효율은 유생의 크기와도 상관관계가 있다. 전복 유생은 각장의 크기가 800 μm 에 이르기까지 영양원으로써 구조류의 세포내 물질을 섭취하지는 못하고, 세포의 점액질 분비물을 영양원으로 이용한다는 보고가 있다(Kawamura and Takami, 1995).

전복 유영 시기의 유생은 난황을 이용하며, 부착 구조가 적합하지 않아 유생이 부착 하지 못해, 유영기간이 길어질 경우, 그 기간 동안 난황을 모두 소모시켜 생존율이나 변태율, 성장률에서 나쁜 영향을 받는다고 한다(Lucas et al., 1979; Nielsen, 1981; McEdward et al., 1998;

Woollacott et al., 1989; Pechenik et al., 1993; Maldonado and Young, 1999).

각장의 크기가 약 800 μm 에 도달한 참전복 전기 유생을 대상으로 *Cocconeis scutellum*을 먹인 결과 급속한 성장을 일으켰다는 보고가 있다 (Kawamura et al., 1995; Takami et al., 1997). *H. rubra*의 전기 유생은 부착 후 18일 이후에 *C. scutellum*을 섭이하기 시작했다는 보고와 (Daume et al., 1997), *Achnanthes longipes*은 각장의 크기가 1500~2000 μm 에 도달한 참전복 유생과, 각장이 750~1300 μm 에 도달한 *H. iris*의 전기유생에서 소화율이 높게 나타났다는 보고가 있다(Kawamura et al., 1995).

이 실험에서 사용된 전복 유생은 각장의 크기가 약 300 μm 인 유생을 대상으로 하였는데도 불구하고 각 구조 중에 따른 부착률에서 뚜렷한 차이를 볼 수 있었고, 실험 시작 후 96시간째 부착률이 높았던 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp. 실험구에서 변태율, 생존률 및 성장률이 높게 나타났다. 이것은 전복이 구조내의 내용물을 영양분으로 이용하기보다 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.의 세포막 자체에서 분비되는 점액질이 유생의 영양분으로 효과적이었다고 생각된다 (Kawamura and Takami, 1995).

Kawamura and Hirono (1992)는 부착 방식, 독립형, 군체형, 운동성 및 점착력에 근거하여 부착성 구조의 성장형태를 7가지로 분류하였다. Kawamura et al. (1995)의 실험에서 *Cocconeis scutellum* var. *parva*는 높은 부착력 때문에 전복이 치설을 이용하여 갉아먹게 되고, *Amphora angusta* var. *ventricosa*, *Navicula ramosissima*, *Nitzschia* sp.의 종들은 낮은 부착력 때문에 세포의 변형 없이 전복에 의해서 쉽게 섭취되었다.

높은 부착력을 가진 종의 경우는 전복이 세포 내용물을 영양분으로 해서 높은 성장률을 보였고, 낮은 부착력을 가진 종들은 상대적으로 낮은 성장률을 보였다고 보고하였다.

이 실험에서 *Nitzschia* sp. 실험구에서 참전복 유생의 부착률은 다소 높게 나타났지만, 유생의 변태가 시작되는 실험 96시간째의, 생존율이 저조하였고, 변태율 및 성장률 역시 다른 실험구에 비해서 매우 낮게 나타났는데, 이것은 *Nitzschia* sp.의 구조 자체의 부착률이 낮아서 전복 유생이 세포 내용물을 영양분으로 공급받지 못함에 기인한다고 생각되어진다.

이 실험을 통해서 참전복 유생의 적합한 부착 구조로는 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.이 적합하다고 판단된다.

전복 치패의 생존과 성장은 파판에 부착된 치패의 수와 부착 구조의 질과 양, 사육 수조내의 유수량, 사육수의 영양염, 일사량 등의 복합적인 환경 요인에 의하여 달라진다. 동일 수조 내에서의 치패의 성장 차이는 치패의 밀도와 피포식자인 부착 구조의 질과 양에 따라서 크게 좌우된다(한과 허, 2000).

동일한 개체군에서 성장이 늦은 소형 치패를 선별하여 7종의 구조를 먹이로 사육한 성장회복 실험 결과(한과 허, 2000), *C. schroederi*, *Navicula incerta* 등에서 높은 부착률과 생존율 및 일간 성장률을 나타내었고, 부착 구조 중에서 *C. schroederi*와 미역(*Undaria pinnatifida*)을 먹이로 실험한 결과, 미역보다 *C. schroederi*를 먹은 치패가 2배 정도의 높은 성장을 보였다.

이 실험에서도 7 mm 참전복 치패를 대상으로 11종의 부착 구조를 실험한 결과 구조의 종에 따른 생존과 성장은 현저한 차이를 보였는데,

*C. schroederi*에서 유의하게 가장 높게 나타났다($P<0.05$).

Uki and Kikuchi (1979)는 각장 10 mm의 치패를 단일종의 규조로 사육한 결과, *Platymonas* 보다 *Navicula*와 *Nitzschia*를 먹은 치패의 일간 성장량이 10배 이상 차이가 날 정도로 높았다고 했다. 그러나 Nie et al. (1984)은 각장 4.5 mm 치패의 경우 *Navicula*나 *Nitzschia* 보다 *Platymonas*를 먹은 치패가 성장이 양호하다는 상반된 보고를 했다. 이 실험에서는 치패에 효과적이었던 *C. schroederi*는 유생 단계에서는 부착률, 변태율, 일간 성장률이 저조하였다. 이와 같은 결과를 볼 때, 전복의 성장 단계 즉 유생과 치패, 치패에서도 그 단계의 크기에 따라서 선호하는 부착 규조가 다를 것으로 생각되며 이에 대한 구체적인 연구가 필요하다.

전복의 대량 인공 종묘생산을 위해서는 일차적으로 전복의 유생과 치패에 적합한 부착 규조가 대량으로 확보되어야 한다. 참전복 유생과 치패에서의 효과적인 부착 규조를 이 실험을 통해서 알아보았고, 대상종들의 대량 확보를 위해서는 대상종의 적합한 최적 온도, 염분, 조도 등 배양에 대한 기초적인 연구가 바탕이 되어야 한다. 배양 환경을 조사한 결과 각 종에 따라 온도에 따른 성장이 뚜렷하게 차이가 났고, 염분에 대한 성장은 큰 차이점을 찾지 못했다. 조도는 모든 종들이 $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 성장이 양호하였다.

26°C 에서 성장이 양호한 *C. californica* (large type)와 *C. schroederi*의 경우 조도가 $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 까지 높아짐에 따라서 성장이 급격하게 감소하였고, 온도 18°C 에서는 $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 까지 높아짐에 따라 성장에 큰 차이를 보이지 않았다. 즉 26°C 에서 성장이 양호한 종을 18°C 에서 배양할 경우 조도를 높게 해주면 26°C 에서 배양하는 효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다. *Rhaphoneis* sp.의 경

우는 배양 온도에 상관없이 모두 구간에서 $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 성장이 양호하였지만, 대부분 부착 규조는 적정 배양 온도에서 적정 조도보다 높아질 경우 그에 따라 성장이 매우 저조한 결과를 보였다.

염분에 따른 부착 규조의 성장은 대부분 각 종의 배양 온도에 따라 좌우되었다. *Rhaphoneis* sp.는 23°C 일 때는 염분 30‰에서 성장이 양호하였고, 온도가 26°C 이면 염분 24‰에서 성장이 양호하였다. 즉 배양온도가 높아질 경우, 다소 낮은 염분에서 성장이 좋았다. *C. californica* (large type)와 *C. californica* (small type)는 염분에 따른 성장의 차이가 뚜렷하지 않았다.

자연환경에서 조류의 성장을 좌우하는 인자로 온도가 매우 중요하며 (Lund, 1949; Talling, 1955), 조류에 따라서 온도 변화에 따른 성장의 차이가 나타난다(Harris 1986). 그 종이 서식 가능한 온도 범위 내에서 온도가 높아질수록 조류의 성장은 높아진다(Reynolds, 1984). Suzuki and Takahashi (1995)는 온도에 따른 규조의 성장차이는 그 종이 서식 하던 환경과 연관이 있다고 보고하였다. 이 실험에서 *C. californica* (large type)과 *C. schroederi*는 $26\sim 28^{\circ}\text{C}$ 에서 성장이 양호하여 이 종들의 서식 환경이 다른 실험 종에 비해 다소 높은 온도인 것으로 생각되며, *C. californica* (small type)는 온도에 따른 성장차이가 뚜렷하지 않은 것으로 보아 이 종의 서식 환경 온도 범위가 넓은 광온성 조류로 생각된다. *Rhaphoneis* sp.종은 23°C 까지 배양 온도가 높을수록 성장이 양호한 것으로 보아, 23°C 가 성장률에 있어서 가장 효과적이고, 위 종 들에 비해서는 다소 낮은 온도에서 서식하던 종으로 생각된다.

따라서 이와 같은 부착 규조의 온도별 성장 특성을 고려하여 전복 종묘생산에 적용하면 보다 효율적인 생산이 가능할 것이다.

V. 국문 요약

이 연구는 전복 종묘 생산을 위한 유용 부착 규조를 선별하기 위하여 참전복 치패와 유생을 대상으로 먹이 효율을 조사하여 적합한 규조를 선별하고자 실시하였다. 선별된 부착 규조를 대상으로 이들의 최적 배양 환경을 규명하기 위하여 빛, 온도, 염분에 따른 성장을 조사하였다.

규조 11종을 대상으로 약 7 mm 참전복 치패의 먹이 효율을 조사한 결과, *C. schroederi*에서 가장 높은 생존율을 보였고($P<0.05$), 각장의 크기는 *C. californica* (large type), *Achnanthes* sp., *Amphora* sp.에서 높았다. 실험 종료 후, 육질의 무게는, 생존율 및 성장률에서 저조했던 *Navicula elegans*에서 가장 낮은 증육을 보였다.

참전복 유생을 대상으로 먹이 효율을 실험한 결과, 대체로 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.에서 유생의 부착률, 변태율, 성장률이 양호하였고($P<0.05$), 일간성장률 역시 매우 효과적이었다.

부착 규조의 온도, 빛, 염분에 따른 성장 조사를 실시한 결과, 대체로 *C. schroederi*는 26, 28℃에서 성장이 양호하였고, *C. californica* (large type)은 26℃까지 배양 온도가 높을수록 성장이 양호하였지만, 26℃이상에서는 성장이 급격히 감소하였다. *Rhaphoneis* sp.는 23℃에서 성장이 가장 양호하였다. 염분에 따른 성장은 배양 온도가 높을 경우, 다소 낮은 염분에서 성장이 양호하였고 배양 온도가 낮을 경우 높은 염분에서 성장이 양호하였다. 빛은 모든 실험구에서 $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 성장을 보였다.

이 연구를 통하여 참전복 치패 단계에서는 *C. schroederi*가 좋은 먹이 생물로 판단되며, 유생 단계에서는 *C. californica* (large type)와

Rhaphoneis sp.가 적합하다고 판단된다. 배양 환경에서는 각 종마다 적합한 배양 온도의 차이가 있으며, 빛은 약 $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 내외가 적합하였고, 염분은 24~30‰ 범위에서 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 성장 환경 특성을 고려하여 전복 부화장에 적용하면 경제적인 종묘 생산이 가능할 것이다.

VI. 감사의 글

논문을 쓰면서 많은 사람들의 얼굴을 떠올렸습니다. 글로 고마움을 표현할 수는 없지만, 그분들에게 감사드리는데 저의 마음이 전달되었음 합니다.

먼저 부족한 제가 이 논문을 쓰기까지 많은 관심과 사랑을 주시고, 넓은 사고의 폭을 갖게 지도하여 주신 허성범 교수님께 깊이 감사드립니다. 학부부터 지금까지 항상 밝은 모습으로 저를 격려해주신 손철현 교수님, 바쁘신 와중에도 세심한 조언으로 부족한 논문을 다듬어주신 장영진 교수님 진심으로 감사드립니다. 또한 많은 가르침을 주신 조재윤 교수님, 배승철 교수님, 김창훈 교수님, 김동수 교수님, 김종명 교수님, 남윤권 교수님께도 감사드립니다.

철없던 제가 실험실 생활을 시작하면서 공부하는데 많은 도움을 주고, 힘에 벅찰 때 위로하고 격려해주신 김미정님, 누군가와 편한 이야기를 나누고 싶을 때 항상 시간을 내어 주신 이계안님, 세심한 배려와 사랑을 주신 배진희님, 저의 든직한 버팀목이 되어 주신 조현경님, 항상 도움을 주신 민병희님께도 감사드립니다. 자주 뵙지는 못하지만, 동백섬에서의 추억을 떠올릴 때 빼놓을 수 없는 윤지현님, 김해영님, 고수근님, 학부생 모두 저에게 힘을 주셨습니다. 그리고 아버지처럼 항상 따뜻하게 대해 주시고, 모든 투정을 너그럽게 받아주신 이기복님께도 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

저에게는 아무런 대가 없이 힘이 되어주고, 제 옆을 지켜준 친구들이 있어 행복합니다. 고등학교 시절부터 저와 함께하고, 우정이라는 단어의

뜻을 깊이 느끼게 해 준, 박중기님, 임소형님, 대학생활에 빼놓을 수 없는 박선영님, 박지은님, 박은아님 모두 저에게 고맙고 사랑스런 친구들 제 보물입니다.

마지막으로 저의 가족들, 당신의 몸이 부서져라 열심히 일하셔서 저희들 뒷바라지하시고, 항상 가족을 우선으로 4자매를 훌륭히 키워내신 아버지, 남자 못지않은 강인함으로 어머니의 힘을 보여주시기도 하지만, 때론 소녀 같으신 어머니, 저에게 너무나 소중한 두 분, 정말 사랑합니다. 제가 하는 일을 언제나 믿어주고 격려해주신 큰언니와 큰 형부, 작은언니와 작은 형부 정말 감사드립니다. 그리고 든든한 내 동생, 조카 민지, 수지, 태환이 모두 사랑하고, 이 기쁨을 같이 했음 합니다.

VII. 참고 문헌

- Daume, S., S. Brand-Gardner and W.J. Woelkerling. 1997. Effects of post-larval abalone, *Haliotis rubra* grazing on the epiphytic diatom assemblage of coralline red algal surfaces. Moll. Res., 18: 119-130.
- Daume, S., S. Brand-Gardner and W.J. Woelkerling. 1999. Preferential settlement of abalone larvae diatom films vs. non-geniculate coralline algae. Aquaculture, 174: 243-254.
- Daume, S., A. Krsinich, S. Farrell and M. Gervis. 2000. Settlement, early growth and survival of *Haliotis rubra* in response to different algal species. J. Appl. Phycol., 12: 479-488.
- Ebert, E. and J. Houk. 1984. Elements and innovations in the cultivation of red abalone, *Haliotis refescens*. Aquaculture, 39: 375-392.
- Hahn, K. O. 1989. Handbook of culture of abalone and other marine gastropods. CRC Press, Boca Raton, Florida, 348pp.
- Harris, P. H. 1986. Phytoplankton Ecology. Chapman and Hall, London. 384pp.
- Ino, T. 1952. Biological studies on the propagation of the Japanese abalone (Genus *Haliotis*). Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 5: 29-102.
- Ishida, T., T. Akutsu and K. Torisawa. 1995. Effects of monocultured benthic diatom on the metamorphosis of veliger larvae and on the growth on juveniles of abalone, *Haliotis gigantea*. Bull. Shizuoka Pref. Fish. Exp. Stn., 30: 17-21.
- Kawamura, T., R.D. Roberts and H. Takami. 1998b. A review of the feeding and growth of post-larval abalone. J. Shellfish Res., 17: 615-625.

- Kawamura, T. 1996. The role of benthic diatoms in the early life stages of the Japanese abalone, *Haliotis discus hannai*. In: Y. Watanabe, Y. Yamashita and Y. Oozeki. (Eds.), Survival Strategies in Early Life Stage of Marine Resources. Balkema, Rotterdam, 355-367pp.
- Kawamura, T. and R. Hirono. 1992. Seasonal changes in benthic diatom communities colonizing glass slides in Aburatsubo Bay, Japan. *Diatom Res.*, 7: 227-239.
- Kawamura, T. and S. Kikuchi. 1992. Effects of benthic diatom on settlement and metamorphosis of abalone larvae. *Suisanzoshoku*, 40: 403-409.
- Kawamura, T., T. Saido, H. Takami and Y. Yamashita. 1995. Dietary value of benthic diatoms for the growth of post-larval abalone, *Haliotis discus hannai*. *J. Exp. Marine Biol. Ecol.*, 194: 189-199.
- Kawamura, T. and H. Takami. 1995. Analysis of feeding and growth rate of newly metamorphosed abalone, *Haliotis discus hannai* fed on four species of benthic diatom. *Fish. Sci.*, 61: 357-358.
- Keough, M.J. and P.T. Raimondi. 1995. Responses of settling invertebrate to bioorganic films: effects of different types of films. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 207: 59-78.
- Kikuchi, S. 1965. Study of the culture of abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Papers Presented at the Peking Symposium, Agricultural Science II. Science and Technical Association of People's Republic of China. Peking, 861-878pp.
- Lucas, M.I., G. Walker, D.L. Holland and D.J. Crisp. 1979. An energy budget for the free-swimming and metamorphosis larvae of *Balanus balanoides* (Crustacea: Cirripedia). *Mar. Biol.*, 55: 221-229.
- Lund, J. W. G. 1949. Studies on *Asterionella*. I. The origin and nature of

- the cells producing seasonal maxima. J. Ecol., 37: 389-419.
- Maldonado, M. and C.M. Young. 1999. Effects of the duration of larval life on postlarval stages of the demosponge *Sigmadocia caerurlea*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 232: 9-21.
- Matthews, I. and P. A. Cook. 1995. Diatom diet of abalone post-larvae, *Haliotis midae* and effect of pre-grazing the diatom overstorey. In: Shepherd, S.A., R.W., Day and A.J. Butler (Eds.), Progress in Abalone Fisheries Research. Marine and Freshwater Res., 46: 545-548.
- McEdward, L.R., S.F. Carson and F.S. Chia. 1998. Energy content of larvae, and juveniles of *Florometra serratissima* and the implication for the evolution of crionoid life history. Int. J. Invertebr. Reprod. Dev., 12: 9-22.
- Nie, Z. Q., W.H. Chen and M.F. Ji. 1984. Studies on rearing condition of abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. I. the effects of temperature and food on the growth of larvae and young. Mar. Fish., 6: 35-40.
- Nielsen, C. 1981. On morphology and reproduction of *Hippodiplosia insculpta* and *Fenestrulina malusii* (Bryozoa Cheilostomata). Ophelia, 20: 91-125.
- Norman-Boudreau, K., D. Burns, C.A. Cooke and A. Austin. 1986. A simple technique for detection of feeding in newly metamorphosed abalone. Aquaculture, 51: 313-317.
- Ohgai. M., M. Wakanho and S. Nagal. 1991. Effect of attached microalgae on the settlement of larvae and growth of juvenile in abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Suisanzoshoku, 40: 403-409.
- Pechenik, J.A., D. Rittschof and A.R. Schmidt. 1993. Influence of delayed metamorphosis on survival and growth of juvenile barnacles *Balanus amphitrite*. Mar. Biol., 115: 287-294.

- Reynolds, C. S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, 384pp.
- Robert, R.D., T. Kawamura and C.M. Nicholson. 1999. Growth and survival of post-larval abalone, *Haliotis iris* in relation to development and diatom diet. J. Shellfish Res., 18: 243-250.
- Saito, K. 1981. The appearance and growth of 0 year-old Ezo abalone. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 47: 1393-1400.
- Seki, T. and H. Kan-no. 1981. Induced settlement of the Japanese abalone, *Haliotis discus hannai* veliger by the mucus of the juvenile and adult abalones. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 43: 29-36.
- Seki, T. 1980. An advanced biological engineering system for abalone seed production. International Symposium on Coastal Pacific Marine Life. Western Washington University, Bellingham, 45-54pp.
- Slattery, M. 1992. Larval settlement and juvenile survival in the red abalone, *Haliotis rufescens* an examination of inductive cues and substrate selection. Aquaculture, 102: 143-153.
- Suzuki, H and K. Takahashi. 1995. Growth responses of several diatom species isolated from various environments to temperature. J. Phycol. 31: 880-888.
- Takami, H., T. Kawamura and Y. Yamashita. 1997. Survival and growth rates of post-larval abalone, *Haliotis discus hannai* fed conspecific trail mucus and/or benthic diatom *Cocconeis scutellum* var. *parva*. Aquaculture, 152: 129-138.
- Talling, J. F. 1955. The relative growth rates of three plankton diatoms in relation to underwater radiation and temperature. Ann. Bot. N. S., 19: 329-341.
- Todd, C.D. and M.J. Keough. 1994. Larval settlement in hard substratum

- epifaunal assemblages a manipulative field study of the effects of substratum filming and the presence of incumbents. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 181: 159-187.
- Uki, N. 1995. Reproductive physiology and seed production of abalone species. In: Uki, N., M. Omori, I. Kawahara, K. Ishida and T. Yanagisawa. (Eds.), Techniques of Seed Production of Abalone Species. Japan Sea-Farming Association, Tokyo, 92pp.
- Uki, N. and S. Kikuchi. 1979. Food value of six benthic micro-algae on growth of juvenile abalone *Haliotis discus hannai* Ino. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 40: 47-52.
- Wollacott, R.M., J.A. Pechenik and K.M. Imbalzano. 1989. Effects of duration of larval swimming period on early colony development in *Buguta stolonifera* (Bryozoa: Cheilostomata). Mar. Biol., 102: 57-63.
- Yang, Y., and B. Wu. 1995. Induction of larval settlement and metamorphosis of *Haliotis discus hannai* Ino. Gastropoda Mollusca. Chin. J. Oceanol. Limnol., 13: 71-77
- 고수근. 2004. 참전복 유생 사육을 위한 먹이 생물. 부경대학교 석사학위논문 43pp.
- 한형균, 허성범. 2000. 성장이 늦은 소형 참전복 치패의 성장회복을 위한 부착성 규조류의 먹이 효율. 한국양식학회지, 13: 163-168.