



### 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](#)

이학박사학위논문

제주연안에서 흔한가리비, *Chlamys  
nobilis* (Reeve)의 종묘생산과 성장



제주대학교 대학원

해양생명과학과

원 승 환

2007년 8월

Studies on the Seed Production and  
Growth of Noble Scallop, *Chlamys*  
*nobilis* (Reeve) in Jeju Korea

Seung-Hwan Won

(Supervised by Professor Sum Rho)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL  
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE  
DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

DEPARTMENT OF MARINE LIFE SCIENCE  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

August 2007

# 제주연안에서 흔한가리비, *Chlamys nobilis* (Reeve)의 종묘생산과 성장

지도교수 노 섬

원 승 환

이 논문을 이학 박사학위 논문으로 제출함

2007년 8월

원승환의 이학 박사학위 논문을 인준함

심사위원장	이 영 돈	(인)
위 원	이 정 의	(인)
위 원	최 광 식	(인)
위 원	강 정 하	(인)
위 원	노 섬	(인)

제주대학교 대학원

2007년 8월

# 목 차

List of figures .....	iv
List of tables .....	vii
Abstract .....	viii
I. 서론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	4
1. 시험생물 .....	4
2. 생식주기 .....	6
가. 생식소 외부 형태 .....	6
나. 생식소 중량지수 .....	6
다. 조직학적 관찰 및 난경 변화 .....	6
라. 성비 .....	7
3. 산란과 유생사육 .....	8
가. 모패사육 .....	8
나. 산란유발 및 산란 .....	8
다. 수정 및 발생 .....	10
라. 부유유생 사육 .....	10
1) 먹이생물 배양 .....	10
2) 부유유생 사육 .....	12
3) 사육수온별 유생성장 .....	12
4) 사육밀도별 유생성장 .....	12
5) 먹이생물 종류별 유생성장 .....	13
4. 부착률, 부착자패 및 치패성장 .....	15
가. 부착률 및 부착자패 성장 .....	15
나. 초기치패 성장 .....	15
5. 중간 양성 .....	16

가. 환경조사 .....	16
나. 시험구 및 시험장소 .....	16
다. 성장, 일간성장량 및 생존율 .....	18
라. 수온과 염분 내성 .....	18
6. 통계 처리 .....	18
<b>Ⅲ. 결과</b> .....	19
1. 생식소 외부 형태 및 육안적 성비 .....	19
가. 생식소 외부형태와 구조 .....	19
나. 생식소 중량지수 월 변화 .....	20
다. 생식주기 .....	21
1) 분열증식기 .....	21
2) 성장기 .....	21
3) 성숙 및 산란기 .....	21
4) 휴지 및 회복기 .....	22
라. 난경의 월 변화 .....	26
마. 자웅동체 .....	28
바. 성비 .....	29
2. 산란과 유생사육 .....	31
가. 산란유발 방법별 산란반응 .....	31
나. 수정 및 발생 .....	33
다. 수온에 따른 부화율, D상변태율 및 생존율 .....	36
라. 수온별 발생 속도 및 생물학적 영도 .....	38
마. 난 발생 단계별 적산수온 .....	41
바. 부유유생 사육 .....	43
1) 수온별 유생성장 .....	43
2) 사육밀도별 유생성장 .....	46
3) 먹이생물별 유생성장 .....	49
3. 부착자패와 초기치패 성장 .....	53
가. 부착률 .....	53

나. 자패 성장 .....	54
다. 치패 성장 .....	55
라. 각고와 각장 및 전중과의 관계 .....	58
4. 중간양성 .....	60
가. 양성지 환경 .....	60
1) 수온 .....	60
2) 염분 .....	60
3) 용존산소 .....	62
4) 영양염류 .....	62
5) Chlorophyll-a .....	62
나. 중간양성 .....	65
1) 수심별 성장 .....	65
2) 밀도별 성장 .....	72
다. 수온과 염분 내성 .....	77
1) 고수온 내성 .....	77
2) 저수온 내성 .....	77
3) 염분 내성 .....	80
 IV. 고찰 .....	 84
 V. 요약 .....	 101
 VI. 참고문헌 .....	 104

## List of figures

Fig. 1. Schematic diagram of indoor rearing tank for broodstock and juvenile scallop. ....	4
Fig. 2. Map showing off the coastal water hanging culture sites (arrows). ....	5
Fig. 3. Kinds of induction trials with physical factors. ....	9
Fig. 4. Schematic diagrams determining the suitable culture conditions for water temperature (A: 20, 24, 28°C), culture density (B: 1, 2, 4, 8 inds./mL), and live food (C: <i>Chaetoceros calcitrans</i> , I: <i>Isochrysis galbana</i> , P: <i>Pavlova lutheri</i> ). ....	14
Fig. 5. Schematic diagrams of the hanging culture facilities for outdoor intermediate culture. ....	17
Fig. 6. Photo images of matured gonads of <i>C. nobilis</i> . A : male, B : female. ..	19
Fig. 7. Monthly variation of gonadosomatic index (GSI) of <i>C. nobilis</i> . and water temperature at Jigwido culture site. ....	20
Fig. 8. Monthly changes of the frequency of sexual developmental stages. ....	23
Fig. 9. Microphotographic images of ovarian sexual developmental stages for histological observation. ....	24
Fig. 10. Microphotographic images of testicular sexual developmental stages for histological observation. ....	25
Fig. 11. Monthly variations of oocyte diameter in the tissue preparation of ovary from May 2001 to April 2002. ....	27
Fig. 12. Histological photo images of the hermaphroditic gonads of <i>C. nobilis</i> . ....	29
Fig. 13. Monthly variations of the sex ratios of <i>C. nobilis</i> by histological observation from May 2001 to July 2002. ....	30
Fig. 14. Microscopic photo images of the early developmental stages. ....	35
Fig. 15. Comparison of the rates of hatching, D-shape larva, and survival rate at various water temperature conditions. ....	37

Fig. 16. Relationships between water temperature and time in hours to reach distinctive developmental stages after fertilization. ....	40
Fig. 17. Relationships between integral water temperature and time to reach distinctive developmental stages. ....	42
Fig. 18. Comparison of the growth in shell length of <i>C. nobilis</i> larvae reared in three water temperature regimes. ....	44
Fig. 19. Comparison of survival rate of <i>C. nobilis</i> larvae reared in three water temperature regimes. ....	45
Fig. 20. Comparison of the growth in shell length of <i>C. nobilis</i> larvae reared in four different larval densities under the condition of $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . ....	47
Fig. 21. Comparison of survival rate of <i>C. nobilis</i> larvae reared in four different larval densities under the condition of $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . ....	48
Fig. 22. Comparison of the growth in shell length of <i>C. nobilis</i> larvae reared in various food organisms under the condition of $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . ....	50
Fig. 23. Comparison of the survival rate of <i>C. nobilis</i> larvae reared in various food organisms under the condition of $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . ....	51
Fig. 24. Comparison of the Daily shell length increment in juvenile scallop, <i>C. nobilis</i> by three different culture conditions. ....	52
Fig. 25. Growth curve of <i>C. nobilis</i> larvae at an temperature-controlled indoor tank of $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . ....	54
Fig. 26. Monthly growth of <i>C. nobilis</i> spats reared at the hanging culture method in Jigwi site. ....	56
Fig. 27. Daily increment in shell length calculated by the monthly growth of <i>C. nobilis</i> spats reared at the hanging culture method in Jigwi site. ....	57
Fig. 28. Relationship between shell height and shell length of <i>C. nobilis</i> . ....	58
Fig. 29. Relationship between shell height and total weight of <i>C. nobilis</i> . ....	59
Fig. 30. Monthly variation of water temperature and salinity off Jigwido and Ongpori coastal sea from January 2001 to December 2002. ....	61
Fig. 31. Monthly growths in shell length of <i>C. nobilis</i> cultured under different rearing depths off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea. ....	66

Fig. 32. Monthly changes of daily increment in shell length with different rearing depths off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea. ....	67
Fig. 33. Monthly growths in total weight of <i>C. nobilis</i> cultured under different rearing depths off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea. ....	69
Fig. 34. Monthly changes of daily increment in total weight of <i>C. nobilis</i> cultured under different rearing depths off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea. ....	70
Fig. 35. Monthly growths in shell length of <i>C. nobilis</i> cultured with different rearing densities off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea. ....	73
Fig. 36. Monthly growths in total weight of <i>C. nobilis</i> cultured with different rearing densities off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea. ....	75
Fig. 37. Tolerance against the high water temperature of <i>C. nobilis</i> (mean shell length: 40.2 mm) cultured with ambient sea water of 23.5°C mean water temperature. ....	78
Fig. 38. Tolerance against the low water temperature of <i>C. nobilis</i> . (mean shell length: 60.4 mm) cultured with ambient seawater of 14.8°C mean water temperature. ....	79
Fig. 39. Tolerance against the low salinity of <i>C. nobilis</i> (mean shell length: 40.2 mm) under the condition of 15°C. ....	81
Fig. 40. Tolerance against the low salinity of <i>C. nobilis</i> (mean shell length: 40.2 mm) under the condition of 20°C. ....	82
Fig. 41. Tolerance against the low salinity of <i>C. nobilis</i> (mean shell length: 40.2 mm) under the condition of 25°C. ....	83

## List of tables

Table 1. Composition of Conway medium for mass culture of phytoplankton	11
Table 2. Monthly variations of the sex ratios of <i>C. nobilis</i> from April to September in 2002	26
Table 3. Comparison of the spawning response and fertilization rates by four inducing methods	32
Table 4. Elapsed time and size to reach the distinctive early developmental stages under the condition of 25°C	34
Table 5. Time in hours to reach the distinctive embryonic developmental stages after fertilization at various water temperature conditions	39
Table 6. Settling rate of <i>C. nobilis</i> larvae on the various collectors installed indoor rectangular tanks of one ton volume	53
Table 7. Seasonal variation of DO, PO <sub>4</sub> -P, DIN and Chlorophyll-a at Jigwido and Ongpo costal sea	64
Table 8. Comparison of growth and survival of <i>C. nobilis</i> cultured under different depths off Jigwido and Ongpori culture sites	71
Table 9. Comparison of growth and survival of <i>C. nobilis</i> cultured with with different culture densities off Jigwido and Ongpori culture sites	76

## Abstract

Noble scallop, *Chlamys nobilis*, is distributed off the temperate and subtropical coasts including Jeju island, Korea. The scallop is famous for various shell colors in early life stage. Even the scallop has known inhabiting in Jeju coast, the population is very rare.

To investigate its possible aquaculture in Jeju coast, larval and adult *C. nobilis* was imported from Oita Prefecture of Japan in 2001, and performed serial experiments on inducing spawning, larval rearing, and outdoor cultivation in relation to different conditions.

### 1. Reproductive cycle

The matured scallop gonads were slender and convex like a waxing crescent phase of the moon in common, but differed in color: reddish for female and milky for male. Microscopic observation of the gonad tissue confirmed that most of the scallop were dioecious with 4 distinctive stages: multiplication stage, growing stage, mature and spent stage, recovery stage (resting stage), while some were hermaphrodite. Main spawning season were esteemed between May and July.

### 2. Spawning induction and larval culture

Four spawning stimulations were applied for spawning induction. Most effective method was exposure method with sunlight as 100% induction rate in 40 minutes, and followed by the U.V. irradiation method as 100% induction rate in 70 minutes. The working water temperatures for spawning were 15~30°C ( $P < 0.05$ ). The time to the first D-shape larvae were strongly dependent on water temperature. They were 63.5, 31.5, 18.5 and 17.0 hours for 15, 20, 25 and 30°C experiments, respectively. The biological minimum temperature for reproduction was 10.44°C on average.

To find the suitable environmental conditions, D-shape larvae were tested for 12 days. The best water temperature for larval culture was 24°C in which the larval

survival was 58.8% at the size of 192.7  $\mu\text{m}$ . Better growth was achieved at larval culture densities less than 2 inds/mL ( $P < 0.05$ ). The growth and survival were 183.4  $\mu\text{m}$  and 36.7% for 1 ind/mL experiment and 175.6  $\mu\text{m}$  and 37.2% for inds/mL experiment, respectively. The scallop larvae fed on combined foods (*Chaetoceros calcitrans*, *Isochrysis galbana*, and *Pavlova lutheri*) gained better growth over those fed single food (*Pavlova lutheri*) ( $P < 0.05$ ). Larval size fed combined foods was 196.7  $\mu\text{m}$ , while the larvae fed single food was 174.6  $\mu\text{m}$  at the end of the experiment.

### 3. Larval attachment and spat growth

The larval attachment rates were dependent on the substrates with the best result in horizontally-settled polyvinyl plate, followed by light shading screen, onion bag, and polyvinyl plate vertical. The spat growth after the attachment was expressed as the equation of  $SL = 0.1664e^{0.0579D}$  ( $r^2 = 0.924$ ), where SL is shell length and D is day after the attachment. The spat grew to 4.1, 13.0, 23.1, 30.3, and 33.6 mm in 1, 2, 3, 4, and 5 months after installation in the nursery ground, respectively.

### 4. Nursery growth

#### 4-1. Environmental parameters of the nursery ground

The water temperature of two nursery grounds were 13.6~25.9°C for Jigwido and 12.8~26.7°C for Ongpo with lowest in February and highest in August. The salinities of the surface water for both locations were 29.6~34.5 psu with lowest in February and highest in August. The variations in dissolved oxygen for surface and bottom water masses were 6.38~10.91 mL/L and 6.24~8.36 mL/L with the highest in February and lowest in November. The levels of chlorophyll *a* for Jigwido and Ongpo were 1.05~4.61  $\mu\text{g-at/L}$  and 0.21~1.34  $\mu\text{g-at/L}$ , respectively.

#### 4-2. Nursery growth

##### 1) Spat growth by depth

The spats at Jigwido nursery ground gained shell lengths of 76.7 $\pm$ 7.7, 73.3 $\pm$ 7.3, 69.4 $\pm$ 8.4, and 68.7 $\pm$ 8.5 mm by depths of 5, 10, 15, and 20 m for 390 days cultivation,

respectively. The daily gains of the shell length for each depth were 165.6, 154.0 140.0, and 137.4  $\mu\text{m}/\text{day}$  ( $P < 0.05$ ).

## 2) Spat growth by density

The spats at Jigwido nursery ground gained shell lengths of  $77.5 \pm 9.8$ ,  $71.0 \pm 13.0$ ,  $63.0 \pm 8.1$ , and  $59.8 \pm 7.5$  mm by densities of 10, 20, 40, 80 inds/cage for 390 days cultivation, respectively. The daily gains of the shell length for each density were 168.3, 145.8, 115.2, and 101.8  $\mu\text{m}/\text{day}$  ( $P < 0.05$ ). The spats at Ongpo nursery ground gained  $63.8 \pm 6.5$ ,  $62.1 \pm 7.0$ ,  $60.0 \pm 6.0$  mm in shell lengths by the same culture densities for 196 days cultivation. These density-dependent spat growth was similar to those at Jigwido nursery ground.

The relative growth of the spats in the nursery ground were:

$SL = 0.9982SH - 2.8326$ , and  $TW = 0.4 \times 10^{-3}SH^{2.8153}$ , where, SL is shell length, SH is shell height, and TW is total weight.

## 4-3. Spat tolerance to water temperature and salinity

When the spats were exposed to high water temperatures of 28, 30, and 32°C for 20 days, they had shown 13.3% mortality at 28°C condition for the period. And the lethal temperature 50s were calculated as 96 hours at 30°C and 36 hours at 32°C. While the spats were exposed to low water temperature of 7, 10, and 13°C, the lethal temperature 50s were shown 36 hours and 168 hours at 7 and 10°C, respectively. But no mortality was observed at 13°C condition for 10 days.

When the spats were exposed to various salinities at 15°C condition for two weeks, the mortality at 28 psu was shown as 30%. The lethal salinity 50s were 261, 222, 126, 45, and 42 hours at 26, 24, 22, 20, and 18 psu conditions. In salinity tolerance test at 20°C condition, the lethal salinity 50s were 315, 189, 141, 33, and 12 hours at the condition of 26, 24, 22, 20, and 18 psu, respectively. But the spats exposed to 28 psu had shown only 6.7% mortality. In salinity tolerance test at 25°C condition (highest in this salinity tolerance test), the lethal salinity 50s were 246, 156, 120, 30, and 5 hours at 26, 24, 22, 20, and 18 psu

conditions, respectively. But, the spats exposed to 28 psu at 25°C had shown only 6.7% mortality for two weeks.



## I. 서 론

가리비류는 세계적으로 300여종이 서식하고 있고 대부분 한해성으로서 남북위 다같이 34° 30' 보다 고위도 지방에 분포하고 있다. 우리나라에 서식하는 가리비 종류로는 가리비과 Pectinidae에 해가리비 *Amusium japonicum japonicum* 1종과 큰집가리비과 Propeamussiidae에 비단가리비 *Chlamys farreri nipponensis*, 혼한가리비 *Chlamys nobilis*, 큰가리비 *Patinopecten yessoensis* 등 24여종이 분포하고 있다(유, 1979; 노 등, 1997; 한국동물분류학회, 1997; Park, 1998; Park et al., 2005).

우리나라에 분포하는 가리비 중 산업적으로 중요한 양식대상 및 양식가능성이 있는 종으로 취급되는 품종은 혼한가리비, 국자가리비 *Pecten albicans albicans*, 해가리비, 큰가리비, 비단가리비 등 5종이 있다. 우리나라에 서식하는 양식대상 가리비 분포를 보면 국자가리비는 남해안 및 제주연안, 큰가리비는 강원연안 중심으로 주로 동해안 지역, 비단가리비는 남해안 중심으로 우리나라 전역, 혼한가리비 및 해가리비는 제주지역을 중심으로 아열대 수역권에 분포하고 있다(Whang and Kim, 1973; 노 등, 1997; Park, 1998).

혼한가리비는 연체동물문 Mollusca, 이매패강 Bivalvia, 익각목 Pterioida, 큰집가리비과 Propeamussiidae에 속한다. 이 종은 아열대성 품종으로 제주 남부와 일본 중부 이남에 주로 분포한다. 혼한가리비 서식 지역은 조간대 아래 수심 10~20 m 부근의 바위지대에 부착하여 서식하며, 서식환경이 나쁠 경우 스스로 죽사를 끊어 다른 곳으로 이동하는 습성이 있다. 이동 시는 패각을 위아래로 여닫으면서 물을 분사하여 유행한다. 서식수온 범위는 13~28℃이며 적정수온은 20~23℃, 적정염분농도는 30~35 psu 내외이다. 방사능은 20~22개로 크기가 고르고, 방사능 위에 작은 비늘들이 나란히 배열한다. 최대성장은 각장 133 mm, 각폭 40 mm이르고, 패각은 빨강, 주황, 노랑, 보라, 자주색 등 다양한 색깔을 나타낸다(Won and Han, 2004).

가리비류는 산업적으로 중요한 해산 이매패류로서, 그 패주는 세계적으로 애식되는 고가의 기호식품이다. 가리비류에 관한 연구는 굴 및 담치와 필적할 정도로 역사가 깊고, 자연 및 인공산 재료를 통하여 자원, 생리생태 등에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

가리비 생식주기에 관한 연구로서 비단가리비(Liao et al., 1983; Yakovlev and Aafeichuk, 1995; 임 등, 1995; 노 등, 1997; Park et al., 2005), 해가리비(Ha, 1994; Son,

1997), 해만가리비, *Argopecten irradians* (Oh, 2000), 큰가리비(Chang et al., 1997; Uddin et al., 2007) 등에 관한 연구가 있으며, 가리비류의 생식소 발달과 성 성숙에 관한 연구(Turner and Hanks, 1960; Sastry, 1966, 1968; 丸, 1976; Chang and Lee, 1982; Simpson, 1982; Chang et al., 1997) 등이 있다. 성 특성은 육안적으로 자웅이체이나 일부 개체에서 자웅동체 현상이 보고되고 있다(森等, 1977; 川眞, 1983; Komaru, 1988; Chang et al., 1997; Park, 1998)

가리비는 양식 산업적으로 매우 중요한 위치를 차지하고 있으나, 최근 연안오염, 적조, 어장 상실 등으로 산란 가능한 어미와 치패 발생량의 감소로 생산량이 감소하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하고 안정적 양식을 하기위한 연구로서 인공 종묘생산에 관한 기초연구가 수행되고 있다(Pyen and Rho, 1978; Yoo et al., 1981; Na et al., 1995; Son, 1997; Park, 1998). 가리비 종묘생산에 관한 연구로서 비단가리비, 혼한가리비, 해만가리비, *A. irradians* 등을 대상으로 산란 유발과 유생 발생 및 성장에 관한 연구가 있다(Na et al., 1995; Kuang et al., 1997; Kang and Zhang, 2000; Hur et al., 2001; Won and Han, 2004; Park et al., 2005). 그리고 가리비 유생 사육을 위한 먹이생물과 유생사육 수온과 밀도에 따른 영향에 관한 연구들이 수행되었다(Beaumont and Budd, 1982; Whyte et al., 1990; Na et al., 1995).

가리비 양식은 채묘와 중간육성, 양성 등의 단계로 이루어지며, 초기 치패는 외부 환경 변화에 민감하게 영향을 받아 초기에 대량 폐사가 발생하기 때문에 생존율 향상과 성장 촉진을 위해서는 중간육성 단계가 반드시 필요하다(Yamamoto, 1964; Park et al., 2000). 가리비 중간육성에 관한 국내 연구로는 큰가리비를 대상으로 수하양식과 성장에 관한 연구가 있다(이·장, 1977; Yoo et al., 1981; Park, 1998; Park et al., 2001). 그리고 해만가리비를 대상으로 해역별 동절기 성장(Oh and Jung, 1999), 밀도별 성장(Oh et al., 2000), 양성수심에 따른 성장(Oh et al., 2002a, b) 등에 관한 연구가 있다. 국외에서 가리비 양성에 관한 연구로는 해만가리비 밀도별 성장(Rhods and Wildman, 1980), giant scallop, *Placopecten magellanicus*의 밀도별 성장과 생존율 변화(Parsons and Dadswell, 1992; Penney, 1995; Penney and Mills, 2000), iceland scallop *C. islandica* 양성시험(Wallace, 1982; Wallace and Reinesnes, 1985) 등이 있다.

가리비류 양식은 동물성 단백질 생산을 목적으로 하고 있으며, 어류나 갑각류 양식과 차이점은 사료를 주지 않고 자연의 일차 생산을 이용하는 양식의 범주에 속한다. 따라서 생물 경제 관점에서 보면, 가리비류 양식은 동물성 단백질의 생산에 있어 가장 합리

적인 방법 중 하나이다(Mori, 1994). 가리비 양식은 바다에서 사육환경조건이 매우 중요하며, 수온, 용존산소, 염분 등의 변화는 활동 대사와 먹이 이용 및 폐사에도 영향을 미친다(Kinne, 1966; Newell and Kofoed, 1977; Rippingale and Hodgkin, 1977; Choi and Koh, 1990; Widdows and Wang, 1991). 먹이생물의 풍부도와 다양성 그리고 양성 과정 중 사육 밀도와 수심은 성장과 생존을 변화에 영향을 주며(Broom and Mason, 1978; Parsons and Dadswell, 1992; Park, 1998) 먹이 풍부도와 다양성은 지역에 따라 다른 것으로 보고되고 있다(Park et al., 2000).

제주도에서 기르는 어업은 80년대 초반까지는 마을어장을 중심으로 까막전복 *Haliotis discus*, 소라 *Batillus cornutus*, 오분자기, *Haliotis diversicolor aquatilis* 등에 대하여 자원관리적인 어로활동이 주를 이루었고, 80년대 후반부터는 넙치, 까막전복을 중심으로 한 육상수조식 양식방법이 개발되면서 이 두 품종을 대상으로 발달하여 왔다. 제주도는 우리나라에서 가장 수온이 따뜻하고, 연중 평균 수온이 17~18℃가 유지되고 오염되지 않은 천연 지하해수 이용이 가능하기 때문에 해안가를 중심으로 넙치, 까막전복 등 육상 수조식양식이 크게 발달하였다. 그러나 현재 제주도에서는 환경보전 등을 강화하는 정책으로 인해 육상수조식 양식방법은 신규 허가를 억제하고 있는 입장이다. 따라서 마을어장 및 연안을 입체적으로 활용할 수 있는 혼한가리비, 해가리비, 갈맛조개 *Solecurtus divaricatus*, 비단가리비 등 이매패류 양식 가능성을 탐색하는 것은 중요한 의미를 가지고 있다.

이 연구는 제주연안 환경이 수온상승으로 점차 아열대 환경으로 변화할 가능성이 높아짐에 따라 제주연안에서 아열대성 혼한가리비의 양식가능성을 탐색하기 위해 혼한가리비 생식주기, 산란유발 및 산란량 조사, 수정 및 발생 소요시간, 사육 수온·밀도, 먹이생물 종류별에 따른 유생사육, 치패 양성, 수온과 염분에 따른 생존율 변화 등을 조사하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험생물

이 연구에 이용한 혼한가리비는 2001년 4월에 성패 2,000마리(각고  $89.2 \pm 2.3$  mm), 치패 4,500마리(각고  $42.6 \pm 3.7$  mm)를 일본 오이다현 가리비 양식장(Marudo co.)에서 구입 후, 국립수산과학원 북제주수산종묘시험장 실내 생물사육실에서 먹이생물을 배양 공급하면서 순치 사육하였다(Fig. 1). 이후 제주시 한림읍 옹포 연안과 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안에 정사각으로 구멍( $20.5 \times 20.5$  mm)이 뚫린 사각플라스틱 컨테이너( $43.5 \times 43.5 \times H8.5$  cm)를 수하식으로 수용하여 사육 관리하였다(Fig. 2).

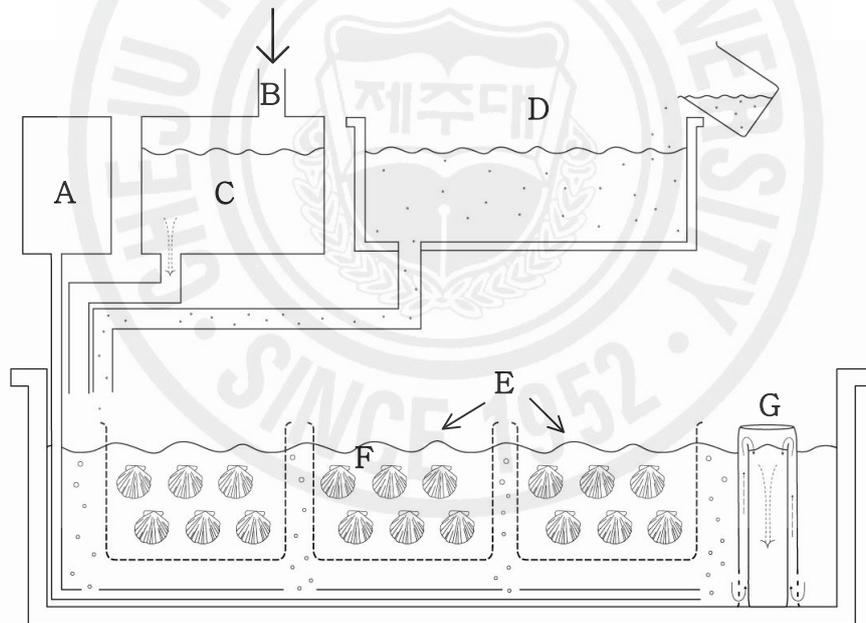


Fig. 1. Schematic diagram of indoor rearing tank for broodstock and juvenile scallop. A: aerator, B: water inflow, C: sand filter, D: feed tank, E: rearing tank, F: broodstock, G: water outflow.

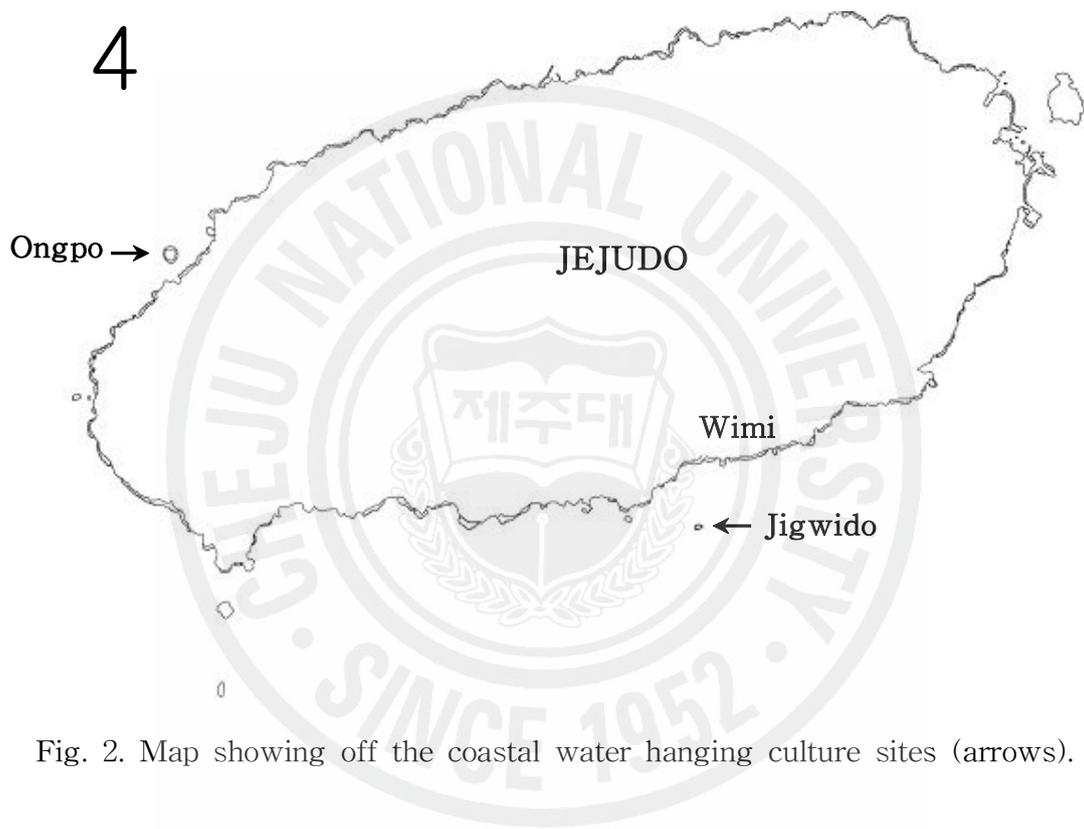


Fig. 2. Map showing off the coastal water hanging culture sites (arrows).

## 2. 생식주기

### 가. 생식소 외부 형태

흔한가리비 생식소 외부 형태와 육안적 성비 조사는 2001년 10월부터 2002년 9월 까지 서귀포시 위미리 지귀도 연안에서 양성중인 성패(87.7±2.2 mm)를 대상으로 조사하였다. 조사방법은 성장도 조사과정에서 외관상 생식소 구분이 가능한 개체를 대상으로 육안으로 암·수를 구분하였다.

### 나. 생식소 중량지수

흔한가리비 생식소 발달 양상을 조사하기 위해 이용된 시료는 2001년 5월부터 2002년 7월까지 서귀포시 위미리 지귀도 연안에서 양성중인 성패(87.7±2.2 mm)를 매월 10마리씩 채집하였다. 채집된 성패는 육중량(Muscle Weight: MW)과 생식소 중량(Gonad Weight: GW)을 전자저울(Sartorius E5500S)을 이용하여 0.01 g까지 측정하였고, 생식소 중량지수(Gonadosomatic Index, GSI)는 아래의 식으로 구하였다.

$$GSI = GW / MW \times 100$$

### 다. 조직학적 관찰 및 난경 변화

생식소 발달에 따른 조직학적 변화를 관찰하기 위해 성패로부터 생식소를 적출하여 Bouin's solution에 24시간 고정하였다. 생식소 조직은 파라핀 절편법에 의하여 5~6 μm 두께의 절편을 만든 후, Harris Heamatoxylin과 0.5% Eosin으로 비교 염색 후 광학현미경하에서 생식소의 발달상태 및 난경 변화를 관찰하였다.

생식소 발달단계는 Komaru and Wada (1988)의 방법을 이용하여 분열증식기, 성장기, 성숙 및 산란기, 회복기로 구분하였다. 난경 변화 조사는 조직학적 관찰에서 알이 성장하고 판별이 가능한 시점에서 광학현미경을 이용하여 각 단계별로 30개체를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

#### 라. 성비

생식소 외부 형태 조사 및 조직학적 관찰을 통해 성비조사를 하였다. 외부형태 관찰에서 생식소 부분이 주황색을 나타내는 것을 암컷, 유백색을 나타내는 것을 수컷으로 구분하였다. 색채가 불분명하거나 조직학적 관찰 과정 중 암·수 구분이 불분명한 것은 성비 구분에서 제외 하였다.



### 3. 산란과 유생사육

#### 가. 모패 사육

이 연구에 이용한 혼한가리비 모패는 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 인근에서 수하양성 중인 것을 이용하였다. 모패 크기는 평균 각장  $87.7 \pm 2.2$  mm, 평균 각고  $89.2 \pm 2.3$  mm 및 평균 전중량  $123.7 \pm 12.1$  g이었으며, 채집 후 북제주수산종묘시험장 실내사육동내 FRP 사각수조( $1.5 \times 2.0 \times 0.4$  m)에서 50마리/ $m^2$  밀도로 2001년 4월부터 7월까지 사육하였다. 실내사육 시 사육수온은 수하양성지(자연수온  $18^\circ\text{C}$  내외)에서 실내사육수조로 옮긴 후 인위적으로 서서히 사육수온을  $20.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$  내외로 상승시켜 사육하였다. 산란기에 외부자극이나 스트레스로 인한 자연산란을 줄이기 위해 실내 사육공간을 10 lux 이하로 차광 하였다. 실내성숙을 위한 사육시 공급먹이는 식물 플랑크톤(*Chaetoceros calsitrans*, *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, 3종 혼합)을 실내에서 배양한 후 30,000~50,000 cell/mL/day 밀도로 먹이를 공급하였다.

#### 나. 산란유발 및 산란

종묘생산 시 효율적인 산란유발방법을 조사하기 위하여 2001년 4월부터 7월까지 북제주수산종묘시험장 실내사육동내에 사육한 모패를 대상으로 산란유발 반응시간과 산란량을 조사하였다. 산란유발자극방법은 햇빛노출수온상승자극, 자외선조사해수자극, 음건자극, 가온자극 등 4가지의 자극방법을 이용하였다.

햇빛노출수온상승자극방법은 직사광선이 비추는 실외에서 2 L 용량의 비이커 10개에 충분한 양의 해수를 채운 후 혼한가리비 모패를 각각 한 마리씩 수용하여 수분~1 시간여를 노출시켰다. 자외선 조사해수자극방법은 실내에서 같은 용량의 비이커에 3 UV mm/h 양의 자외선 조사해수를 넣어 산란유발을 시도하였다. 음건자극은 그늘에서 30분 정도 음건 후 산란용 해수에 모패를 수용하였다. 가온자극방법은 실내에서 30~40분간에 걸쳐 인위적으로 수온을  $6.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$  내외로 상승시킨 후 모패의 산란반응 여부를 조사하였다(Fig. 3).

자극방법별 방란·방정시간은 시험개시 후 방란·방정이 일어나는 시간을 측정하였으며, 산란 반응율은 방란·방정을 보인 개체수의 비율을 계산하였다.

산란량 조사는 산란 완료 후 어미를 별도의 수조로 옮긴 후, 1차로 망목  $100 \mu\text{m}$ 의 세란용ネットで 불순물을 제거하였다. 불순물이 제거된 알을 망목  $15 \mu\text{m}$ 의 2차 세란용넛트

에 수용하여 1  $\mu\text{m}$ 의 여과카트리지로 여과한 해수로 3~5회 세란 한 후 측정용기에 수용하여 3회 무작위 샘플 후 계수한 값을 해수용적으로 환산하여 산란량을 산정하였다. 수정율은 수정 후 4 세포기까지 난할이 진행된 상태의 알을 해부현미경하에서 계수 산정하였다.

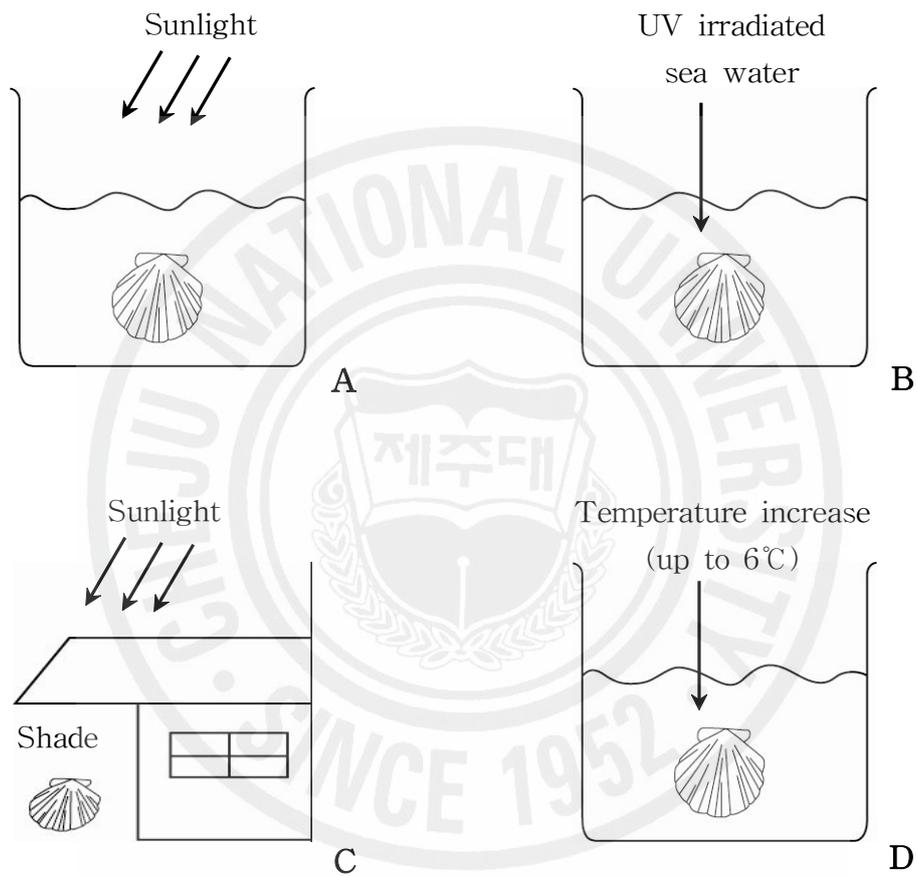


Fig. 3. Kinds of induction trials with physical factors. A: water temperature raise by sunlight, B: U.V. irradiation, C: exposure, D: water temperature raise by heater.

#### 다. 수정 및 발생

수온에 따른 알의 발생 조사는 햇빛 노출방법에 의해 산란시킨 알을 인공수정 하여 사용하였다. 수정 시 알과 정자의 수는 1:10,000~100,000의 비율로 하였으며, 수정 5분 후에 세란 하여 각 수온별 시험구에 수용하였다.

수온에 따른 발생 소요시간의 차이를 조사하기 위하여 수정란을 각각 5, 10, 15, 20, 25 및 30℃의 수온으로 조절된 3L 비이커에 50개/mL 밀도로 수용하여 각 발생단계에 이르기까지 소요시간과 생존율을 30~60분 간격으로 광학현미경하에서 조사하였다.

수온별 초기 난 발생 과정을 조사하기 위한 단계는 수정란, 2세포기, 8세포기, 상질기, 담륜자기, 초기 D형 유생으로 구분하였다. 발생단계별 소요시간은 50% 이상이 각 발생단계에 이르는 시간으로 하였고, 담륜자와 D상 유생은 섬모로 유평하는 것을 생존한 것으로 간주하여 조사하였다.

부화율(부화된 난의 수/수정된 난의 수×100), D상 변태율 및 D상까지의 생존율은 각 수온별 시험구에서 발생과정 관찰 후 D상으로 완전히 변태 후 조사하였다.

수온과 발생단계별 소요시간과의 관계식, 각 발생단계까지의 소요시간 및 적산수온과의 관계식은 Yoo and Kang (1996) 방법으로 구하였다.

#### 라. 부유유생 사육

##### 1) 먹이생물 배양

유생사육 시험을 위한 먹이생물은 이매패류 종묘생산시 먹이 생물로 많이 이용되고 있는 규조류인 *C. calcitrans* 그리고 황갈편모조류인 *I. galbana*와 *P. lutheri* 3종을 먹이로 이용하였다.

먹이생물 배양을 위해 이용되는 모든 배양수는 1 μm의 여과해수를 자외선 조사기로 살균하여 이용하였다. 원종보관을 위한 정치배양은 자외선조사 살균 여과해수를 고압 멸균기에 넣어 121℃, 1.2기압에서 20분간 멸균 후 이용하였다. 500 L의 대량배양에는 여과한 해수를 70~80℃로 가열한 후 열교환기를 이용하여 실온으로 냉각시킨 후 사용하는 열탕살균법을 이용하였다.

먹이생물 실내 배양 온도는 20~22℃, 조도는 배양용기 표면에서 3,000 lux 이상이 되도록 유지하였다. 먹이생물 배양에 이용된 배지는 conway배지 배양법을 이용하였다 (Table 1).

Table 1. Composition of Conway medium\* for mass culture of phytoplankton

Solution	Constituent	Formula weight
Solution A	FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	1.30 g
	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.36 g
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	33.60 g
	EDTA	45.00 g
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	20.00 g
	NaNO <sub>3</sub>	100.00 g
	Solution B	1.00 mL
Solution B	Distilled water	1.00 L
	ZnCl <sub>2</sub>	2.10 g
	CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	2.10 g
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	2.10 g
	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	2.00 g
	Distilled water	100.00 mL
	Solution C	B <sub>12</sub>
B <sub>1</sub> (thiamine)		200.00 mg
Distilled water		100.00 mL

\* Conway medium: (solution A, 1 mL + solution C, 0.1 mL)/seawater 1L.

## 2) 부유유생 사육

부유유생 사육은 수정란을 원통형 플라스틱 용기(20 L)에 20만~30만개 정도로 수용하여 수온이  $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 FRP 2톤 사각수조의 수면에 띄워 놓고, 6시간에 1회 간격으로 물을 교환해주면서 용기 내의 수정란이 부화할 때까지 정치하였다.

부화된 trochophore 유생은 전자식 온도자동조절기(micom SKC-302, Sae Kyung Electronic)를 이용하여 수온  $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 유지된 FRP 2톤 사각수조에 수용하였다. D상 유생으로 변태한 2일째부터 약하게 통기하면서 배양한 먹이생물을 초기에는 10,000 cells/mL에서 성장함에 따라 50,000 cells/mL까지 단계적으로 늘려 하루에 2차례 공급하였다. 유생 사육수는 모래여과조를 1차적으로 통과시킨 여과해수를 2차적으로  $5\ \mu\text{m}$ 의 cartridge filter로 여과한 후 다시  $1\ \mu\text{m}$ 로 정밀 여과한 여과해수를 이용하여 2일에 한번씩 전량 환수하였다.

## 3) 사육수온별 유생성장

혼한가리비 유생의 적정 사육 수온을 조사하기 위하여 20 L 사각 플라스틱 투명용기에 수온을 20, 24 및  $28^{\circ}\text{C}$ 의 3개 수온 시험구를 설정하였다. 사육해수로는  $1\ \mu\text{m}$  여과해수를 채운 후 변태 직후의 D상 유생을 1개체/mL 밀도로 수용하였고, 자동온도조절기를 이용하여 워터베스방식으로 시험하였다(Fig. 4). 사육방법은 지수식으로 하였고 2일에 한번씩 사육수를 전량 교환하였으며, 먹이는 *C. calcitrans*, *I. galbana* 및 *P. lutheri*를 혼합시켜 D상 유생 사육초기에는 10,000 cells/mL로 공급하기 시작하고 3~4일 간격으로 10,000 cells/mL씩 공급량을 늘려 유생부착기 시점에는 50,000 cells/mL까지 먹이공급량을 단계적으로 공급하였다.

시험기간 동안 3일 간격으로 시험구별로 성장 및 생존율을 조사하였다. 성장 조사는 현미경(Olympus, MVX10, Japan) 하에서 micrometer로 각장과 각고의 성장을 측정하였고, 생존율 조사는 유생의 패각 형태, 섬모의 움직임, 먹이 섭취에 의한 유생의 위내부의 색깔의 유무 등으로 생존 여부를 판단하여 생존율을 구하였다.

## 4) 사육밀도별 유생성장

사육밀도가 혼한가리비 유생의 성장과 생존에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수온  $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 조절된 5 L 원통형 수조에 부유유생 1, 2, 4 및 8마리/mL의 밀도로 유생을 수용하였다. 먹이와 사육수의 교환, 성장 측정 및 생존율 조사는 사육수온별

유생성장 시험에서와 같은 방법으로 하였다.

5) 먹이생물 종류별 유생성장

흔한가리비 유생의 적정 먹이생물을 파악하기 위하여 수온  $22.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 조절한 5 L 원통형 수조에 유생을 1마리/mL씩 수용하여 먹이 종류별 사육시험을 실시하였다. 먹이생물 종류는 *C. calcitrans*, *I. galbana* 및 *P. lutheri*를 각각 단독 급이한 시험구와 3종을 혼합한 4개의 시험구로 하였다. 먹이 종류별 유생사육 시험을 위한 사육수의 교환, 성장량 측정 및 생존율의 조사는 사육수온별 유생성장 시험에서와 같은 방법으로 하였다.



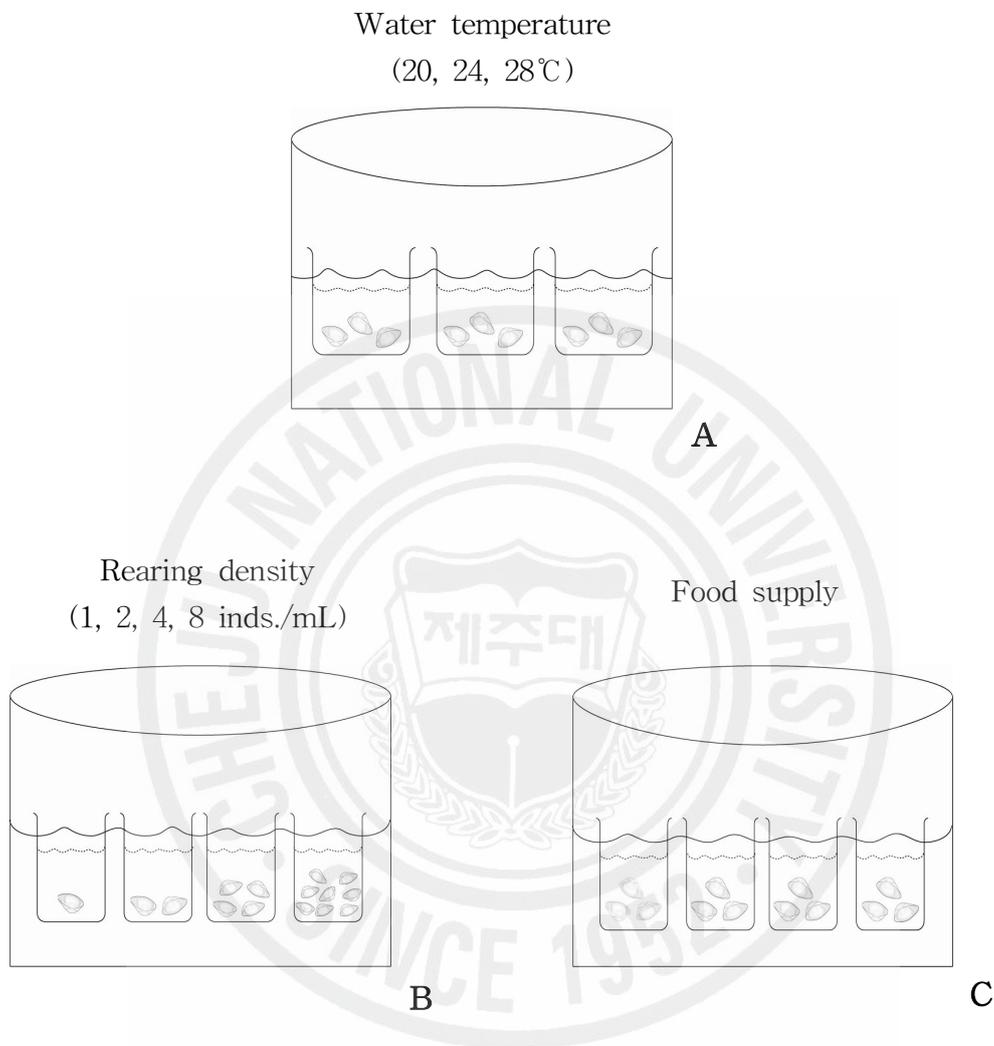


Fig. 4. Schematic diagrams determining the suitable culture conditions for water temperature (A: 20, 24, 28°C), culture density (B: 1, 2, 4, 8 inds./mL), and live food (C: *Chaetoceros calcitrans*, *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*).

#### 4. 부착률, 부착자패 및 치패성장

##### 가. 부착률 및 부착자패 성장

초기 부착자패의 부착기질별 부착률을 조사하기 위하여 2톤 FRP 사각수조에 채묘기 형태와 재질별에 따른 4가지 형태 채묘기를 부착기질로 이용하였다. 부착기질 투여 시기는 각정기 유생 단계에서 안점이 생겼을 때 투입하였다. 부착기질 종류는 까막전복, *Haliotis discus* 채묘용 염화비닐판(30×40 cm), 망목 1mm의 양파망(30×45 cm)에 합성섬유 그물을 넣은 채묘기, 그리고 차광막(검은색, 차광율 50%, 20×50 cm)을 이용하였다. 설치방법은 염화비닐판은 파판홀더에 수평과 수직의 방법으로 설치하고 양파망과 차광막은 FRP수조에 걸이막대를 설치하여 수직으로 설치하였다.

부착 자패 성장은 부화 후 60일간 실내에서 인공으로 배양된 먹이를 공급 사육하여 성장률을 식으로 나타내었다.

##### 나. 초기 치패성장

초기 치패의 성장시험은 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안에서 2001년 7월부터 12월까지 수하식 방법을 이용하여 양성줄에 매달아 시험하였다. 사육방법은 실내사육으로 부착기질에 부착한 치패가 약 1 mm 되는 시점에 수하식 시설로 옮겨 부착기질을 300  $\mu$ m 그물주머니에 넣어 수심 5 m 지점에 매달아 처음 한달은 일주일, 2개월째에는 보름, 3개월 이후는 한달간격으로 청소하였고, 성장함에 따라 그물주머니의 망목크기를 점차 큰 것으로 교체하였다. 성장도의 측정은 매월 조사하였다.

## 5. 중간 양성

### 가. 환경조사

수온과 염분 농도 변화 조사는 2001년 2월부터 2002년 12월까지 치패 사육시험 기간 동안 옹포리에 위치한 제주시 수산종묘시험장과 위미리에 있는 서귀포시 수산종묘시험장에서 매일 10시에 측정된 정지해양관측자료를 이용하여 조사하였다.

양성장의 먹이량과 관계있는 영양염류, Chlorophyll-a량 및 용존산소량은 2001년 2월부터 2002년 12월까지 분기별로 1회씩 8회에 걸쳐 치패사육 시험지 현장에서 직접 채수한 시료를 분석하였다. 용존산소의 분석은 Winkler법의 개량법인 Nakai 변법으로 분석하여 mL/L로 표시하였고, 영양염류 중 인산인은 Strickland and Parsons (1972) 방법으로 분석하여  $\mu\text{g-at/L}$ 로 표시하였다.

용존성무기질소(DIN)는  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 합으로 나타냈으며, 그중  $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 indophenol법,  $\text{NO}_2\text{-N}$ 는 sulfanilamide-NED법,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 Cu-Cd 환원법으로 각각 분석하여 DIN 총량으로 표시하였다.

Chlorophyll-a는 pore size  $0.45 \mu\text{m}$  membrane filter (직경 47 mm) 여과지를 이용하여 현장에서 500 mL의 해수를 여과하고 90% 아세톤으로 추출하여 3,000 rpm에서 10분간 원심 분리 한 후 상등액을 UV-spectrophotometer로 비색정량하여  $\mu\text{g/L}$ 로 표시하였다(Jeffery and Humphery, 1975).

### 나. 시험구 및 시험장소

제주시 한림읍 옹포리 연안 및 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 인근에서 사육수심과 사육밀도에 따른 시험을 실시하였다. 시험에 사용한 수하식 양식의 시설구조는 Fig. 5와 같다.

사육수심은 5, 10, 15 및 20 m의 수심에 채롱 당 20마리씩 수용하였고 사육밀도는 10, 20, 40 및 80마리/cage 밀도로 수용하였다. 시험 종료시까지 매월 1회 각장, 각고를 vernier caliper로 0.01 cm까지 측정하였고, 생존율은 성장도 조사 시 폐사 개체를 직접 전수 계수하여 조사 하였다.

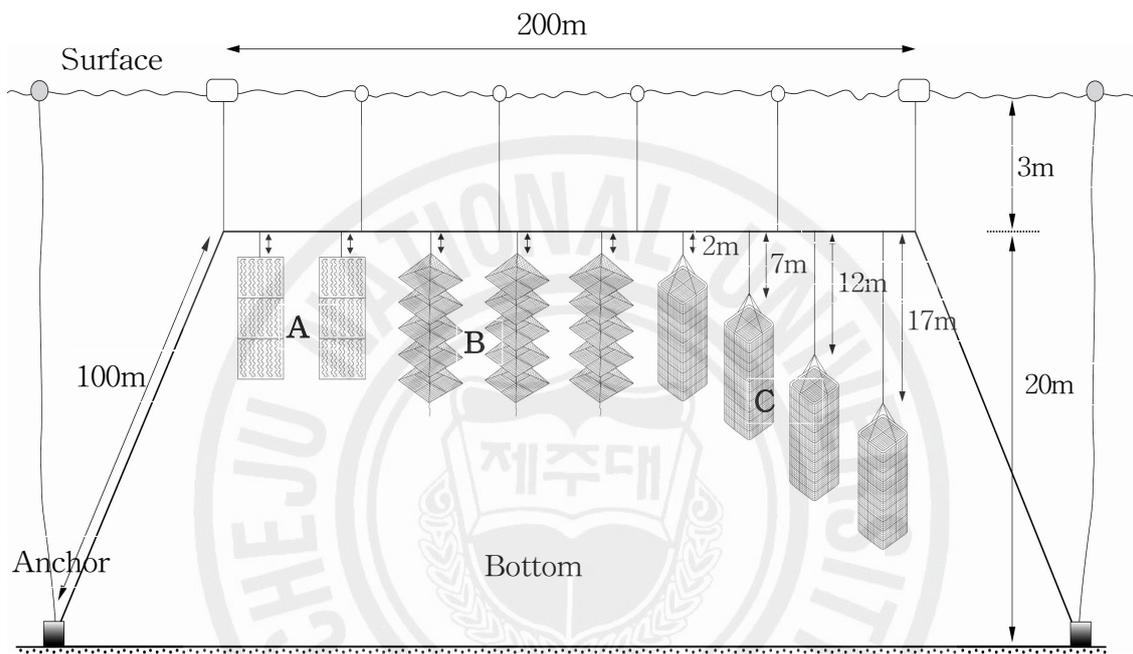


Fig. 5. Schematic diagram of the hanging culture facilities for outdoor intermediate culture. A: rearing cage of attached juvenile, B: rearing cage of young shell, C: intermediate culture.

#### 다. 성장, 일간성장량 및 생존율

흔한가리비의 시간변화에 따른 성장도 조사는 매월 1회 측정하였고, 월별 일간성장량(Daily growth increment)을 구하였다.

사육수심 및 사육밀도별 생존율은 매월 성장도 조사 시 폐사된 개체수를 파악하여 백분율로 표시하였다.

#### 라. 수온과 염분 내성

치패의 수온 및 염분에 대한 내성시험은 각장  $39.9 \pm 3.2$  mm의 치패를 대상으로 시험을 실시하였다. 수온내성 및 염분내성 시험 모두의 시험 장치로는  $2.0 \times 1.0 \times 0.4$  m의 FRP수조에 워터베스 방식으로  $25.0 \times 35.0 \times 27.0$  cm의 사각플라스틱 통을 수표면에 고정하여 이용하였고, 그 안에 치패 10마리씩 수용하여 3반복으로 시험하였다.

수온내성 시험을 위한 고수온 수온조절은 여름철에 자연해수에 자동온도조절기(micom SKC-302H, Sae Kyung Elec.)를 이용하여 수온  $28.0 \sim 32.0^\circ\text{C}$ 까지  $1.0^\circ\text{C}$  간격으로 설정한 후, 각각 시험용기에 치패를 수용하여 시험치패가 반수폐사에 이르는 시간까지 조사하였다. 저수온 수온조절은 겨울에 냉각기(DHI-300)를 이용하여 시험수온  $7.0, 10.0, 13.0^\circ\text{C}$ 로 설정하여 유수상태로 시험치패가 반수폐사에 이르는 시간을 조사하였다.

염분내성 시험은 각각 수온조건  $15.0, 20.0, 25.0^\circ\text{C}$ 에서 염분농도 18, 20, 22, 24, 26, 28 psu에 대한 반수폐사시간을 구하였다. 시험기간 동안의 염분량 조절은 자연해수에 일반 담수로 희석하여 조절하였고 염분농도 측정은 염분측정기(YSI-30)를 이용하였다. 시험시 폐사 개체 판정은 시험개체에 물리적인 자극을 주어 반응하지 않는 것을 폐사체로 인정하였다.

#### 6. 통계처리

모든 사육결과의 통계처리는 ANOVA test를 실시하여 최소 유의차 검정(Least significant difference)으로 평균간의 유의성( $P < 0.05$ )을 검정하였다.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 생식소 외부 형태 및 육안적 성비

##### 가. 생식소 외부 형태와 구조

흔한가리비의 생식소는 내장낭 아래쪽에 시작하여 폐각근의 우측 전방에 소화맹낭 및 위와 분리되어 내장낭 대부분을 차지하고 있다. 생식소의 형태는 초생달 모양이고 신장의 생식공은 생식소의 기부 근처에 위치하였다. 성 성숙이 진행되면서 생식소가 비대해지며 암컷은 주황색, 수컷은 유백색을 띠어 외관상으로 암·수 구분이 가능한 자웅이체였다(Fig. 6).



Fig. 6. Photo images of matured gonads of *Chlamys nobilis*. A: Male, B: female.

Scale bar = 10 mm.

#### 나. 생식소 중량지수 월 변화

흔한가리비 월별 생식소 중량지수는 3월에 암컷  $9.4 \pm 2.1$ , 수컷  $9.7 \pm 1.8$ 에서 5월에 암컷  $12.9 \pm 3.6$ , 수컷  $13.8 \pm 3.0$ 로 점차 증가하기 시작하여 6월에 암컷  $17.1 \pm 4.2$ , 수컷  $16.5 \pm 3.3$ 로 최고값을 보였다. 이 후 7월부터 암컷  $15.5 \pm 4.0$ , 수컷  $14.2 \pm 2.8$ 로 감소하기 시작하여 10월까지 암컷  $7.1 \pm 3.2$ , 수컷  $7.3 \pm 2.5$ 에 최저값을 보였다(Fig. 7).

수온 변화는 2001년 5월에  $16.6^\circ\text{C}$ 였으며 이후 점차 증가하기 시작하여 8월에  $26.7^\circ\text{C}$ 로 최고값을 나타내었으며 이듬해 2002년 2월에  $13.4^\circ\text{C}$ 로 최저값을 나타내었다(Fig. 7).

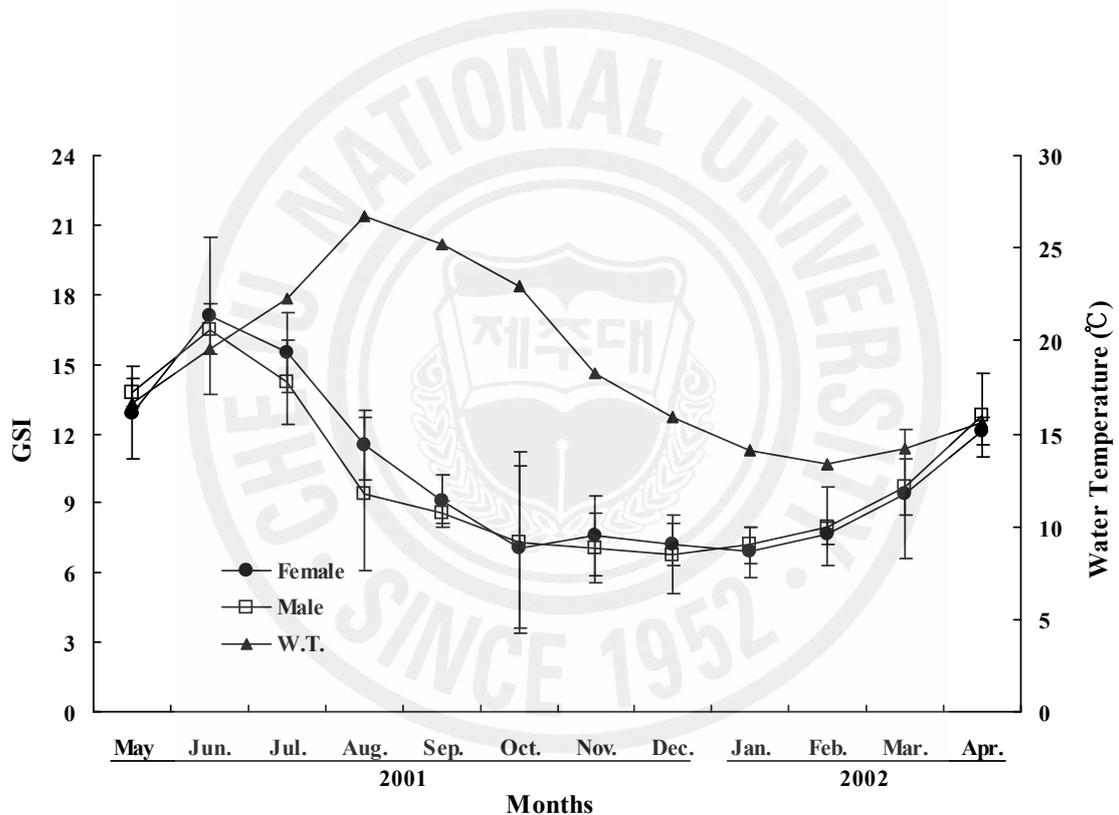


Fig. 7. Monthly variations of gonadosomatic index (GSI) of *Chlamys nobilis* and water temperature at Jigwido culture site. Vertical bars denote standard deviations of means.

#### 다. 생식주기

흔한가리비의 조직학적 관찰을 통한 생식소 발달 양상은 암·수 각각 분열증식기, 성장기, 성숙 및 산란기, 휴지 및 회복기의 4단계로 구분할 수 있었다(Fig. 8).

##### 1) 분열증식기(multiplication stage)

암컷에서는 간층직 조직사이로 작은 난소소낭이 관찰되고, 소엽형태를 따라 난원세포(oogonia)들이 분열증식과 더불어 초기 난모세포들이 난소 내강쪽에 분포하고 있었다(Fig. 9A). 수컷에서는 정소소낭 상피세포층의 생식상피들로부터 정원세포들이 분열증식하고 일부 정모세포로 발달하는 분열증식기의 정소가 관찰되었다(Fig. 10A). 분열증식기 암컷은 1~3월 사이에 주로 관찰되었으며, 수컷은 1~4월 사이에 관찰되었다(Fig. 8).

##### 2) 성장기(growing stage)

암컷은 난자형성 소낭의 벽에서 분열 증식하던 난원세포들이 세포질을 많이 축적하면서 난모세포들은 점차 성장을 하고 내강으로 배열이 시작되었으나 소낭에는 아직까지 빈 공간이 존재하였다. 이 시기의 난모세포의 크기는 20~40  $\mu\text{m}$  전후였다(Fig. 9B). 수컷은 정소 소낭 내에 정모세포군이 수적증가를 보이고, 정모세포 및 정세포가 소낭의 내강을 향하여 여러 층으로 배열되면서 성장하였다(Fig. 10B).

성장기 암컷은 2~5월 사이에 주로 관찰되었으며, 수컷은 5~6월 사이에 관찰되었다(Fig. 8).

##### 3) 성숙 및 산란기(mature and spent stage)

성숙 및 산란기의 난소에는 크게 2그룹의 난모세포로 구분할 수 있었으며, 성숙한 난모세포들 그리고 난황을 형성하기 시작하는 난모세포들이 관찰되었다. 완숙상태의 난소조직으로 난소소낭 내에는 난경 50  $\mu\text{m}$ 이상의 완숙난들이 가득 차있다. 산란 후 암컷은 난소조직으로 소낭 내에 가득 차있던 성숙란들이 빠져나가서 빈 공간에 일부 잔존 난모세포도 관찰되었다(Fig. 9C). 수컷에서는 정소세관에도 변태를 마친 정자들로 가득 차고, 방정으로 인하여 소낭내 밀집되어 있던 정자들이 빠져나가 방정 흔적을 보이는 방정기 정소상태를 보였다(Fig. 10C).

성숙 및 산란기 암컷은 3~7월에 주로 관찰되었으며 일부 10월에도 관찰되었다.

수컷은 3~7월 사이에 관찰되었으며, 일부 10월에도 관찰되었다(Fig. 8).

#### 4) 휴지 및 회복기(resting and recovery stage)

암컷의 휴지기 난소는 소낭 내 생식세포들은 거의 다 흡수되어 소낭은 위축되고, 일부 미 방출된 난이 잔존하고 있었다(Fig. 9D). 수컷의 회복기 정소는 소낭도 극히 위축되고 소낭 내 생식세포는 거의 흡수되고 없으며 일부 잔존 정자들이 생식상피를 따라 분포하고 있었다(Fig. 10D).

휴지 및 회복기 암컷은 주로 7~9월과 11월부터 이듬해 5월 사이에 주로 관찰되었으며 수컷은 6월부터 이듬해 3월 사이에 주로 관찰되었다(Fig. 8).



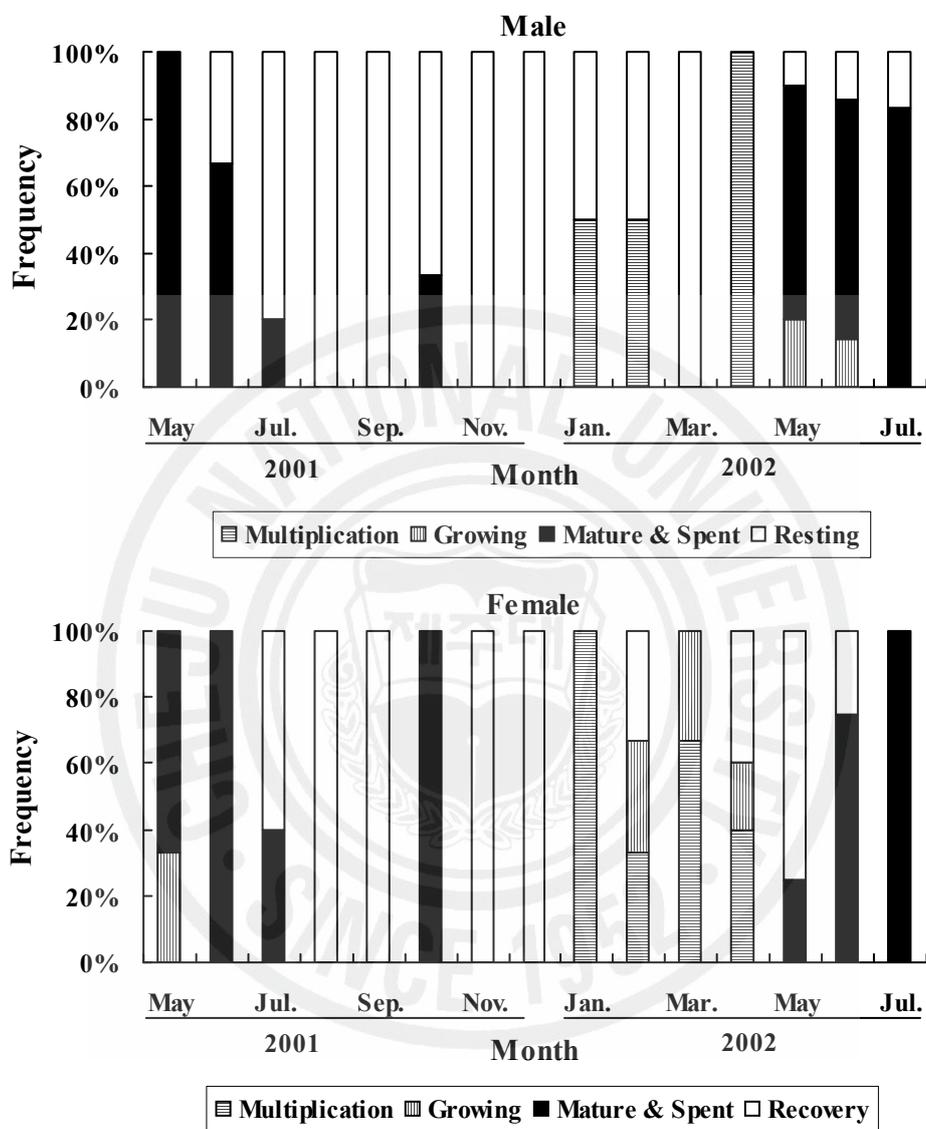


Fig. 8. Monthly changes of the frequency of sexual developmental stages.

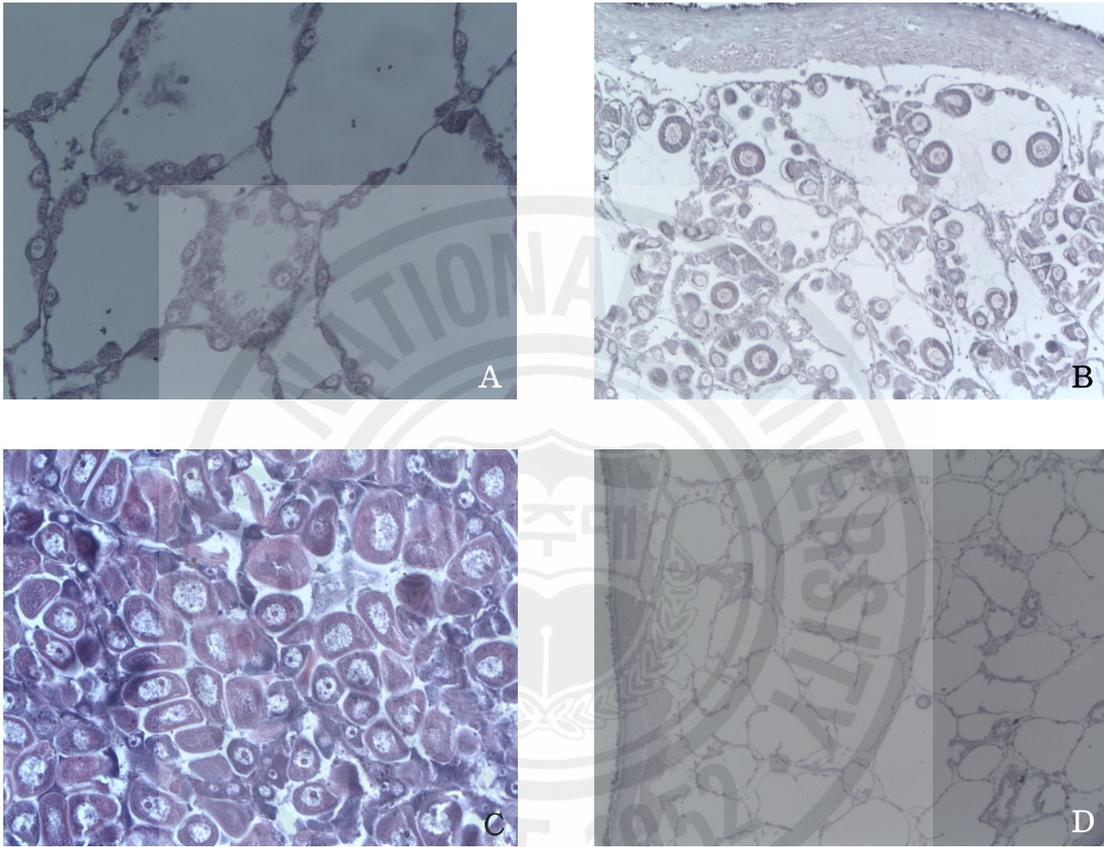


Fig. 9. Microphotographic images of ovarian sexual developmental stages for histological observation. A: multiplication stage, B: growing stage, C: mature and spawning stage, D: recovery stage.

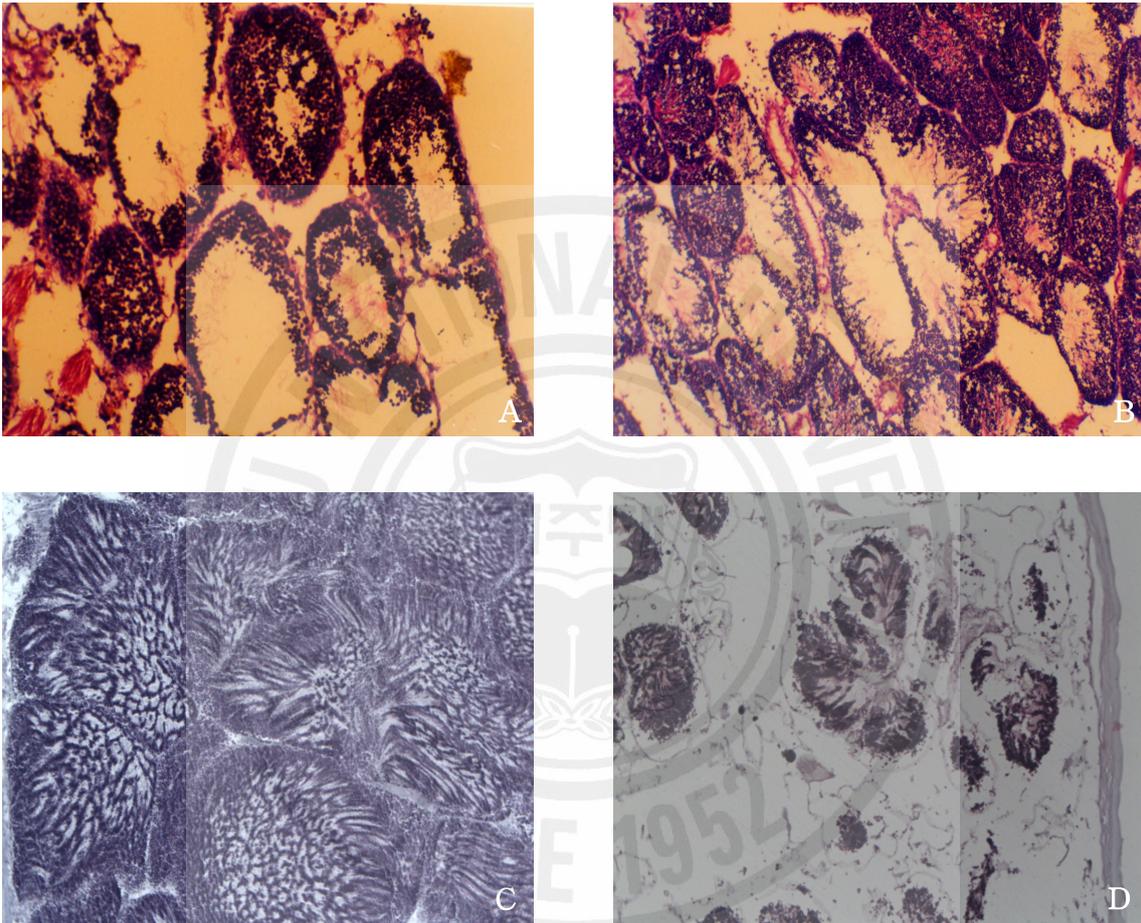


Fig. 10. Microphotographic images of testicular sexual developmental stages for histological observation. A: multiplication stage, B: growing stage, C: mature and spawning stage, D: resting stage.

#### 라. 난경의 월 변화

난경의 월 변화는 2001년 5월부터 이듬해 2002년 4월까지 조사하였다. 2001년 5~6월에는 대부분 40.0~70.0  $\mu\text{m}$  범위 성숙난들로 이루어져 있었으며, 이시기가 주산란기로 추정된다. 7월부터 9월까지 난경이 점차 감소하였고, 대부분 50.0  $\mu\text{m}$  이하 어린난모세포들로 이루어져 있었다. 10월부터 이듬해 1월까지의 암수 구분이 불분명한 개체가 대부분이어서 난경 측정이 불가능 하였다. 2002년 2월 암컷 난경은 대부분 분열증식기 상태의 30.0  $\mu\text{m}$  이하 어린 난모세포들이 분포하고 있었다. 3월 이후부터 성장기 단계 난모세포들이 분포하기 시작하였고, 적은빈도이나 난경크기가 40.0  $\mu\text{m}$  이상부터 70.0  $\mu\text{m}$  크기까지 관찰되었다(Fig. 11).



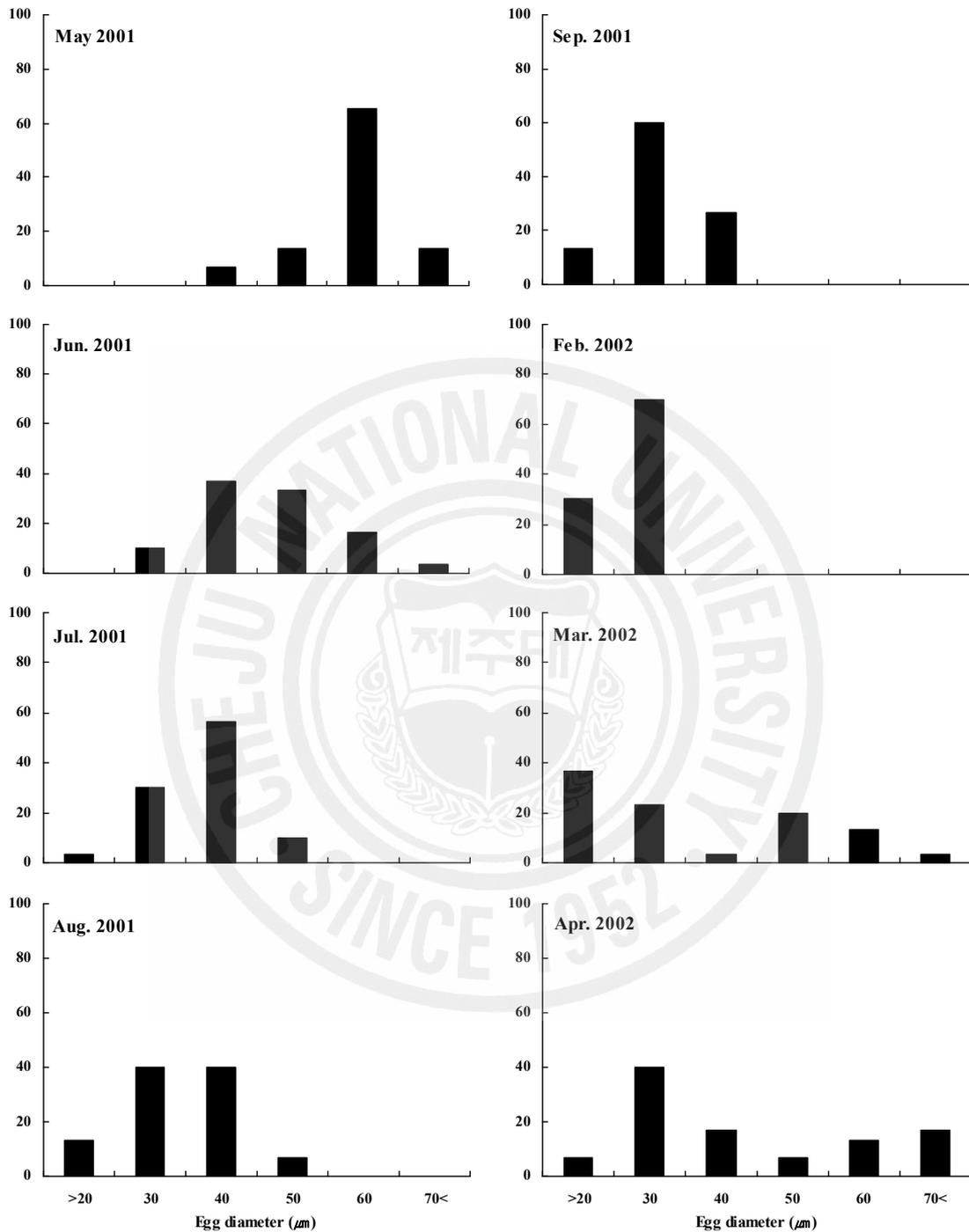


Fig. 11. Monthly variations of oocyte diameter in the tissue preparation of ovary from May 2001 to April 2002.

#### 마. 자웅동체

흔한가리비 생식소 발달 과정을 조직학적 관찰조사 중 일부 자웅동체 개체가 나타났다. 자웅동체 개체는 성숙 및 산란기의 정소조직 내에 난모세포들이 분포하는 양상을 나타내었다(Fig. 12).

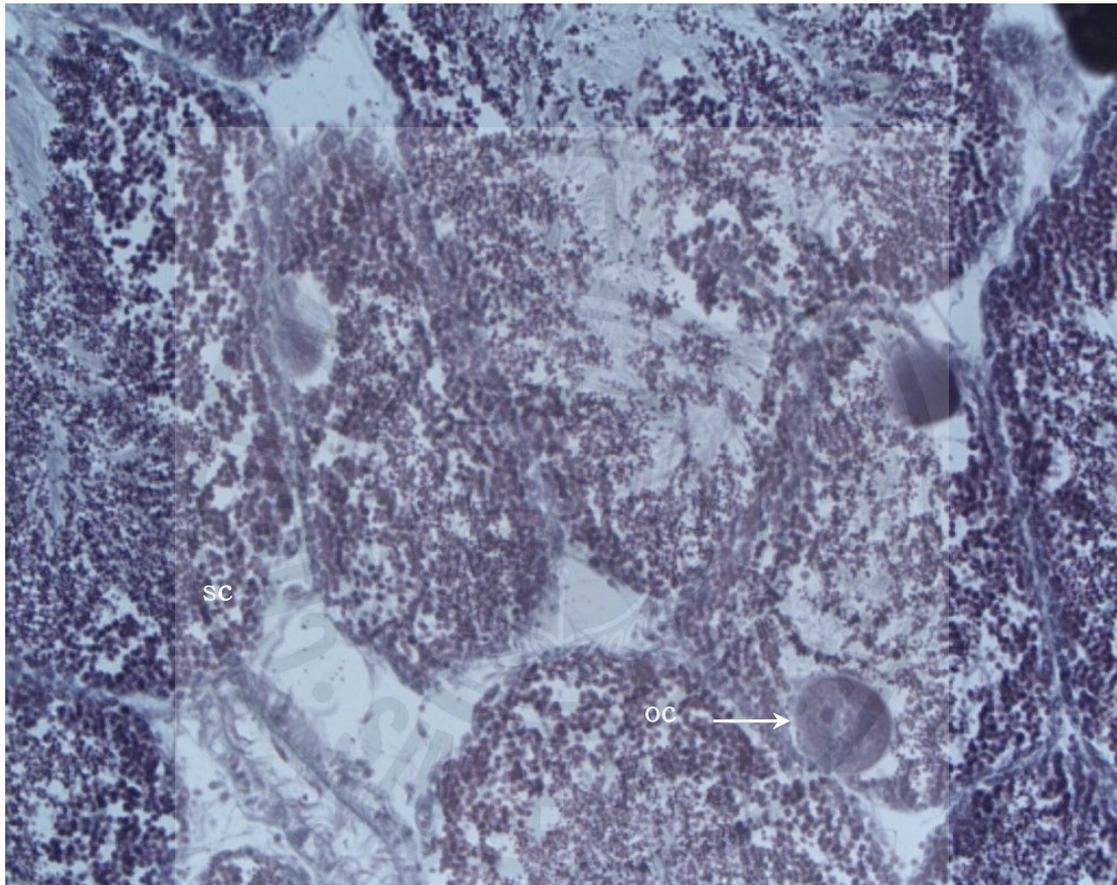


Fig. 12. Histological photo images of the hermaphroditic gonads of *Chlamys nobilis*. oc: oocyte, sc: spermatocyte.

## 바. 성비

혼한가리비 생식소의 육안적 성비 조사결과 2001년 10월부터 2002년 3월까지 암·수의 성구별이 불분명하였다. 암·수의 성구별이 가능한 2002년 4월부터 2002년 9월까지 385마리 개체를 대상으로 암·수의 성비를 조사한 결과 6개월간의 암·수 전 개체의 성비는 Chi square,  $P = 0.16$ 이었고, 4월부터 9월까지 암·수의 성비가 1:1로 유의한 차를 나타내지 않았다( $P > 0.05$ , Table 2).

조직학적 관찰을 통한 조사결과 월별 암·수 성비가 다소 차이가 있었으며, 2001년 10월부터 2002년 5월까지 일부 개체에서 암·수 성구분이 불가능한 개체들이 출현하였다(Fig. 13)

Table 2. Monthly variations of the sex ratios of *Chlamys nobilis* from April to September in 2002

Month	Female (No.)	Male (No.)	Total (No.)	Sex ratio (F/F+M)	$\chi^2$ * (P-value)
Apr.	31	33	64	0.48	0.16
May	30	31	61	0.49	0.15
June	32	35	67	0.48	0.17
July	32	35	67	0.48	0.17
Aug.	32	34	66	0.48	0.16
Sep.	30	30	68	0.50	0.15
Total/Mean	187	198	385	0.49	0.16

\*The critical value for goodness of fit test of equal numbers of females and males was  $\alpha = 0.05$ .

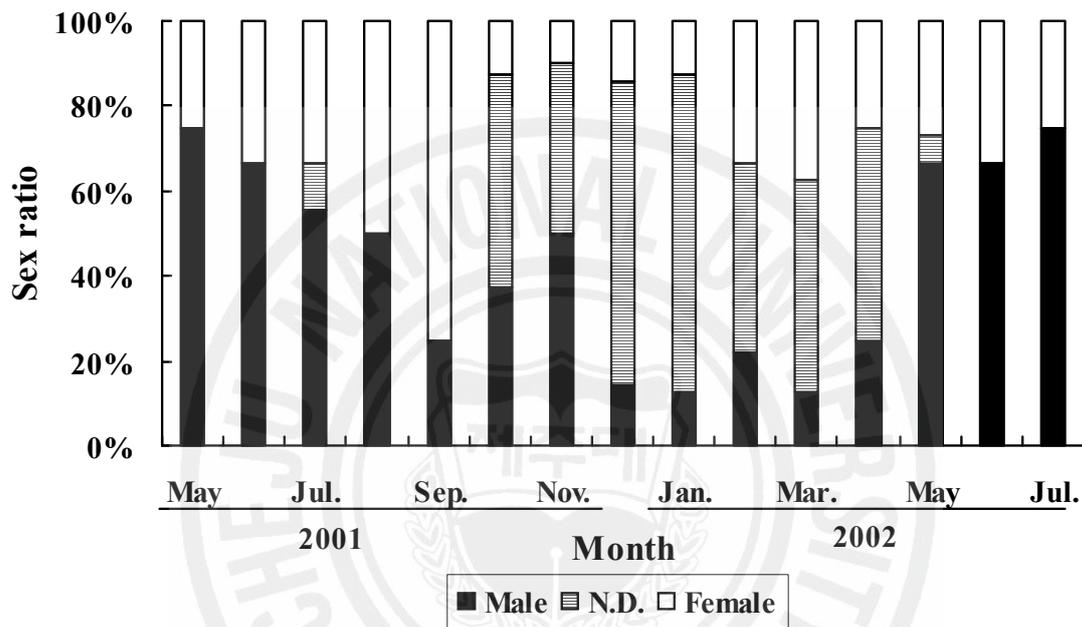


Fig. 13. Monthly variations of the sex ratios of *Chlamys nobilis* by histological observation from May 2001 to July 2002. N.D.: no distinction.

## 2. 산란과 유생사육

### 가. 산란유발 방법별 산란반응

산란유발 자극방법에 따른 산란반응 시간은 4가지 자극방법별 모두에서 수컷이 암컷보다 빠르게 반응하였고, 반응시간은 5~51분 범위였다. 암컷의 산란자극반응 시간은 햇빛노출수온상승자극 방법에서 시험개시 후 40분 이내에 암·수 모두 산란 반응을 보여 가장 빠른 결과를 나타냈고, 가온자극 방법에서는 산란자극 후 50여분 만에 처음 반응을 보여 4가지 시험구중 산란반응이 가장 늦었다(Table 3).

산란유발 자극방법에 따른 모패 반응률은 햇빛노출수온상승자극방법 및 자외선 조사해수자극방법에서 암·수 모두 100% 반응을 보였다. 음건자극에서는 암컷 60%, 수컷 70% 반응을 보였고, 가온자극에서는 암컷 70%, 수컷 80% 반응을 보였다. 성별에 따른 산란유발 반응은 수컷이 암컷에 비해 빨랐다(Table 3).

산란량 조사에 있어서는 햇빛노출수온상승자극 방법에서 암컷 1마리당 산란량이  $1,000\sim3,000\times 10^3$ , 자외선 조사해수자극 방법에서  $500\sim3,000\times 10^3$  범위로 많았고, 음건자극방법은  $100\sim1,300\times 10^3$ 개로 가장 적은 산란량을 나타내었다(Table 3).

산란자극방법에 따른 수정률은 음건자극방법이  $88.6\pm 2.0\%$ 로 가장 높은 수정률을 나타내었고, 가온자극방법  $86.1\pm 2.4\%$ , 햇빛노출수온상승자극방법  $82.8\pm 3.1\%$  순으로 나타났으나 최고와 최저 간의 차이는 10.0% 이내였다(Table. 3).

Table 3. Comparison of the spawning response and the fertilization rates by four inducing methods

Inducing methods	Sex	Response time (min.)	Spawning rate (%)	Eggs spawned (10 <sup>3</sup> /ind.)	Fertilization rate (%)
Water temperature raise by Sunlight	♀	11~39	100	1,000~3,000	82.8
	♂	5~15	100	-	
U.V. irradiation	♀	12~56	100	500~3,000	79.3
	♂	8~17	100	-	
Exposure	♀	43~98	60	100~1,300	88.6
	♂	12~35	70	-	
Temp. raise (up to 6°C)	♀	51~110	70	100~1,500	86.1
	♂	13~51	80	-	

## 나. 수정 및 발생

흔한가리비 알은 구형의 분리 침성란으로 연한 황색을 나타내었고, 평균 난경은  $71.0 \pm 0.4 \mu\text{m}$ 이었다(Table 4, Fig. 14A).

수정 후 35분경에 제1극체가 출현하였으며(Table 4, Fig. 14B) 이어서 제2극체가 출현하였다(Fig. 14C). 수정 후 약 한 시간 30분이 지나면 2세포기(Fig. 14D)로 되고, 2시간 후 4세포기(Fig. 14E), 수정 2시간 30분 후에 8세포기(Fig. 14F)가 되었다. 수정 후 7시간 후에 상실기(Fig. 14G)에 이르고 16시간 후에는 섬모환으로 회전운동과 상하운동 등 비교적 자유로운 유영활동을 하는 담륜자 유생으로 부화되었다(Fig. 14H).

수정 후 17시간 경과 후 유각을 형성하기 시작하였으며, 19.5시간 후에는 평균크기가  $93.0 \times 75.0 \mu\text{m}$ 의 D형 유생으로 되었다(Fig. 14I). 수정 후 8.5일 후에는 평균 크기  $180.0 \times 146.0 \mu\text{m}$ 인 각정기 유생(Umbo stage larvae)으로 성장하며(Fig. 14J) 각정형성이 시작되었다.

수정 13일째에는 각정부가 돌출하면서 투명한 주연각이 형성되고 이때 크기는 평균  $210.0 \times 190.0 \mu\text{m}$ 가 되며(Fig. 14K), 기질에 부착하는 개체가 보이기 시작한다. 수정 20일째에는 주연각이 더욱 성장하여 평균 각장  $400 \mu\text{m}$ , 평균 각고  $368 \mu\text{m}$ 에 달한다. 또한 31일째에는 각장  $1 \text{ mm}$  크기 부착치패로서 족사가 형성된 것을 뚜렷이 관찰할 수 있다. 60일째에는 각장  $5 \text{ mm}$  치패로 성장하였다.

Table 4. Elapsed time and size to reach the distinctive early developmental stages under the condition of 25°C

Developmental stage	Elapsed time after fertilization	Size
Fertilized egg	0	71 $\mu\text{m}$
1 <sup>st</sup> polar body emission	35 minutes	
2 <sup>nd</sup> polar body emission	55 minutes	
2-cell	1 hour 30 minutes	
4-cell	2 hours	
8-cell	2 hours 30 minutes	
Morula	7 hours	
Trochophore	16 hours	
D-shaped larva	19.5 hours	93×75 $\mu\text{m}$
Late D-shaped larva	50 hours	105×84 $\mu\text{m}$
Umbo larva	8.5 days	180×146 $\mu\text{m}$
Attached spat	13 days	210×190 $\mu\text{m}$
Juvenile	31 days	1.0 mm

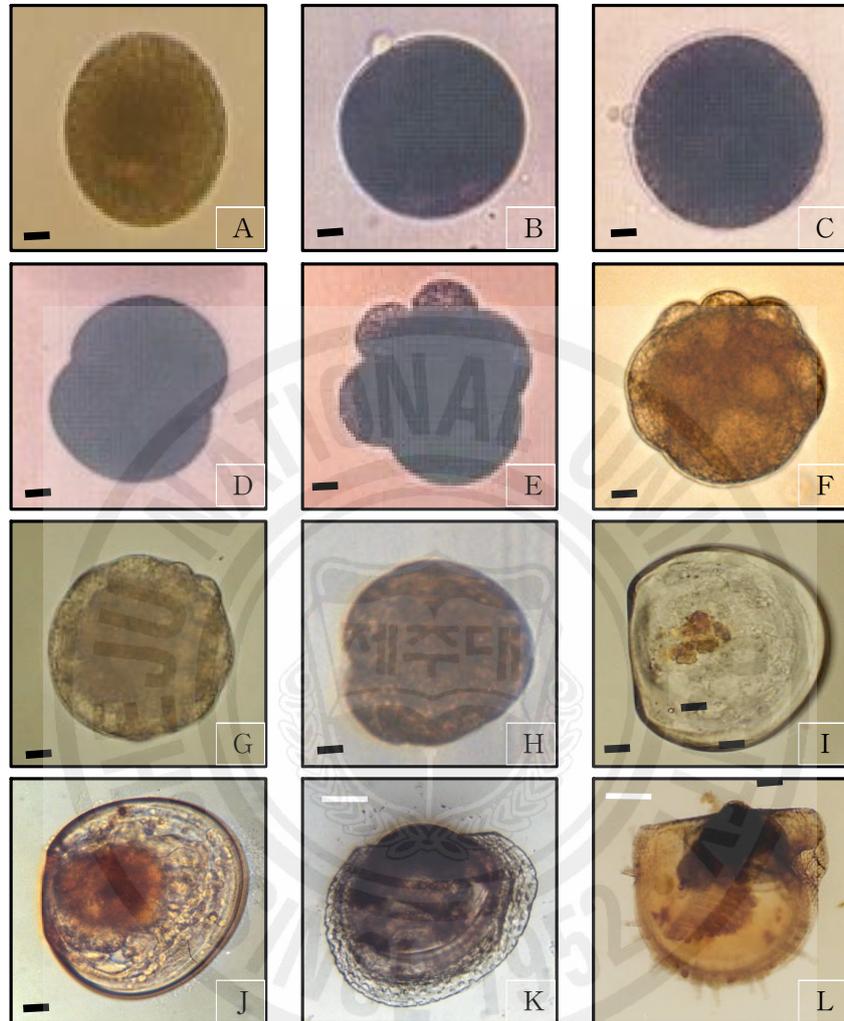


Fig. 14. Microscopic photo images of the early developmental stages. A: fertilized egg, B: 1<sup>st</sup> polar body emission, C: 2<sup>nd</sup> polar body emission, D: 2-cell stage, E: 4-cell stage, F: 8-cell stage, G: morula stage, H: trochophore stage, I: D-shaped larva, J: umbo stage larva, K: attached spat (13 days old), L: attached spat (20 days old). Black scale bar: 10  $\mu\text{m}$ , white scale bar: 50  $\mu\text{m}$ .

#### 다. 수온에 따른 부화율, D상변태율 및 생존율

수정란의 수온에 따른 난 발생 시험에서 수온 5.0~30.0℃ 범위의 시험구 중 발생 가능수온은 15.0~30.0℃ 범위였으며, 수온 5.0, 10.0℃ 시험구에서는 전혀 난 발생이 일어나지 않았다.

수온별 부화율은 25℃ 시험구에서 78.7%로 가장 높았고, 20.0℃ 시험구에서는 74.2%였다. 수온 30.0℃ 시험구에서 부화율은 36.4였으며, 15℃ 시험구는 18.8%로 가장 낮았다( $P>0.05$ , Fig. 15).

각 수온별로 처리한 수정란의 D상 변태율은 25.0℃ 시험구에서 73.6%로 가장 높았고, 20.0℃에서 69.9%, 30.0℃에서 8.2%, 15.0℃에서 4.4% 순이었다( $P>0.05$ , Fig. 15).

생존율 시험결과는 25.0℃ 시험구에서 74.7%로 가장 높았고, 20.0℃에서 71.8%, 30.0℃에서 11.3%, 15.0℃에서 8.8% 순이었다( $P>0.05$ , Fig. 15).

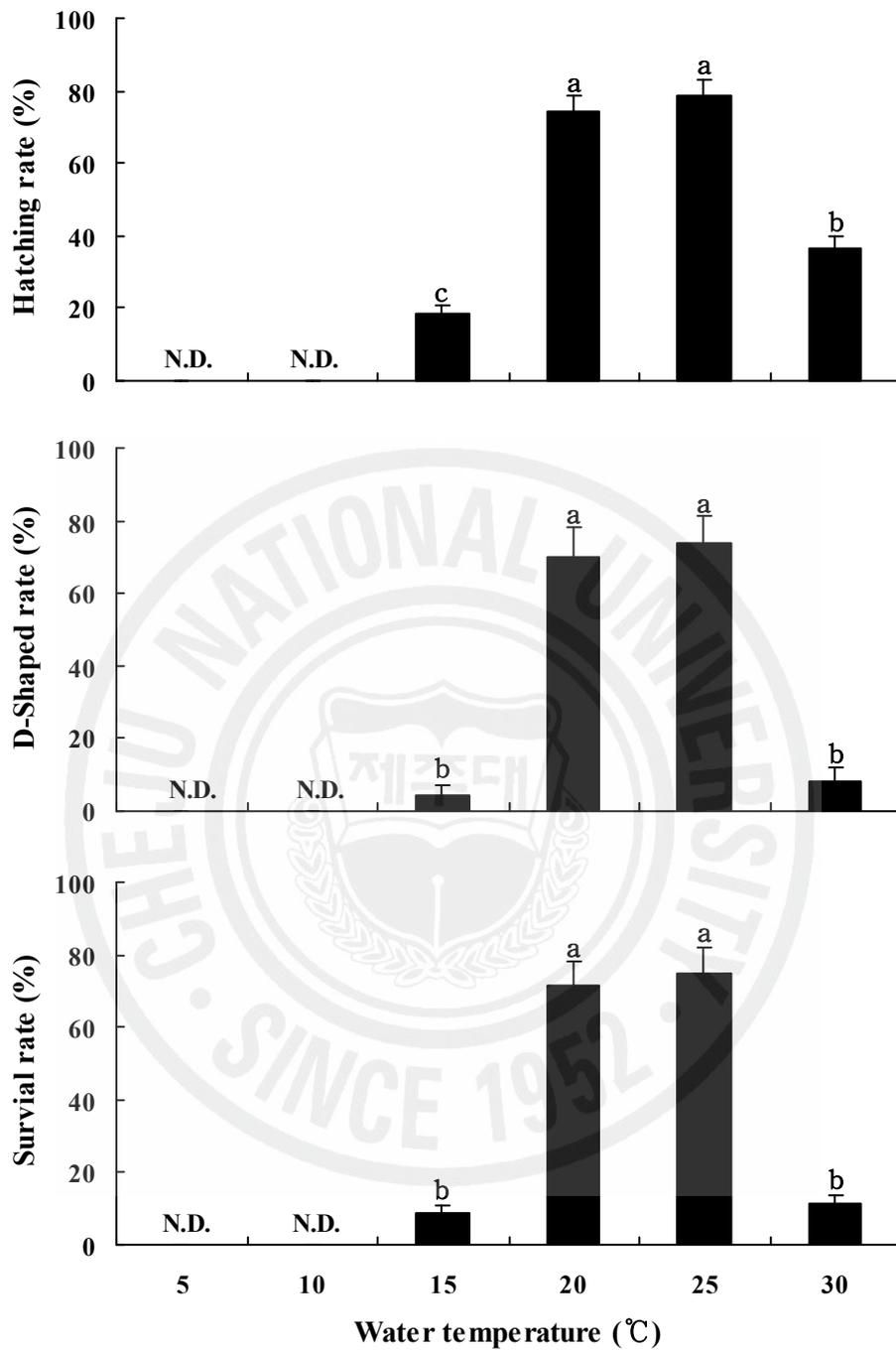


Fig. 15. Comparison of the rates of hatching, D-shape larva, and survival rate at various water temperature conditions. Vertical bars denote standard deviations of means. Superscripts on the bars mean significantly different ( $P < 0.05$ ). N.D.: no development occurs.

#### 라. 수온별 발생속도 및 생물학적 영도

수정란의 각 수온별(15.0, 20.0, 25.0, 30.0℃) 발생속도는 수정 후 2 세포기까지 소요시간은 수온별로 각각 3.0, 1.8, 1.2, 0.8시간으로 모두 3시간 이내에 이루어졌고, 상실기까지는 각각 25.0, 9.0, 7.5, 5.0시간이 소요되었다. D상 유생에 도달하는 시간은 각각 63.5, 32.5, 19.5, 17.0시간이 소요되어, 수온 15.0℃ 시험구에서 상실기 이후 발생속도가 현저히 느려졌다(Table 5).

이상의 결과를 그림으로 나타내면, 수온별 발생속도는 직선적인 관계를 보였다(Fig. 15). Fig. 16에서 X축은 수온, Y축은 시간의 역수를 나타내고, 여기에서 얻어진 발생 단계별 소요시간(t: hour)과 수온(T:℃)과의 관계식은 다음과 같이 표시되었다.

$$\text{2세포기} : 1/t = 0.0606T - 0.6194 \quad (r^2 = 0.9791)$$

$$\text{8세포기} : 1/t = 0.0304T - 0.3453 \quad (r^2 = 0.9941)$$

$$\text{상실기} : 1/t = 0.0100T - 0.1049 \quad (r^2 = 0.9663)$$

$$\text{담륜자기} : 1/t = 0.0058T - 0.0618 \quad (r^2 = 0.9848)$$

$$\text{D상 유생} : 1/t = 0.0030T - 0.0282 \quad (r^2 = 0.9731)$$

위의 관계식을 근거로 Y축이 0일 때 X축에 접하는 수온, 즉 혼한가리비의 초기발생에 있어서 난 발생이 정지하는 생물학적 영도(biological minimum temperature)는 평균 10.44℃ 였다(Fig. 16).

Table 5. Time in hours to reach the distinctive embryonic developmental stages after fertilization at various water temperature conditions

Developmental stages	Water temperature (°C)					
	5	10	15	20	25	30
2-cell	N.D.*	N.D.	3.0	1.8	1.2	0.8
8-cell	N.D.	N.D.	9.0	4.0	2.3	1.8
Morula	N.D.	N.D.	25.0	9.0	7.5	5.0
Trochophore	N.D.	N.D.	36.0	21.0	11.5	9.0
D-shape larva	N.D.	N.D.	63.5	32.5	19.5	17.0

N.D.: No development occurs.

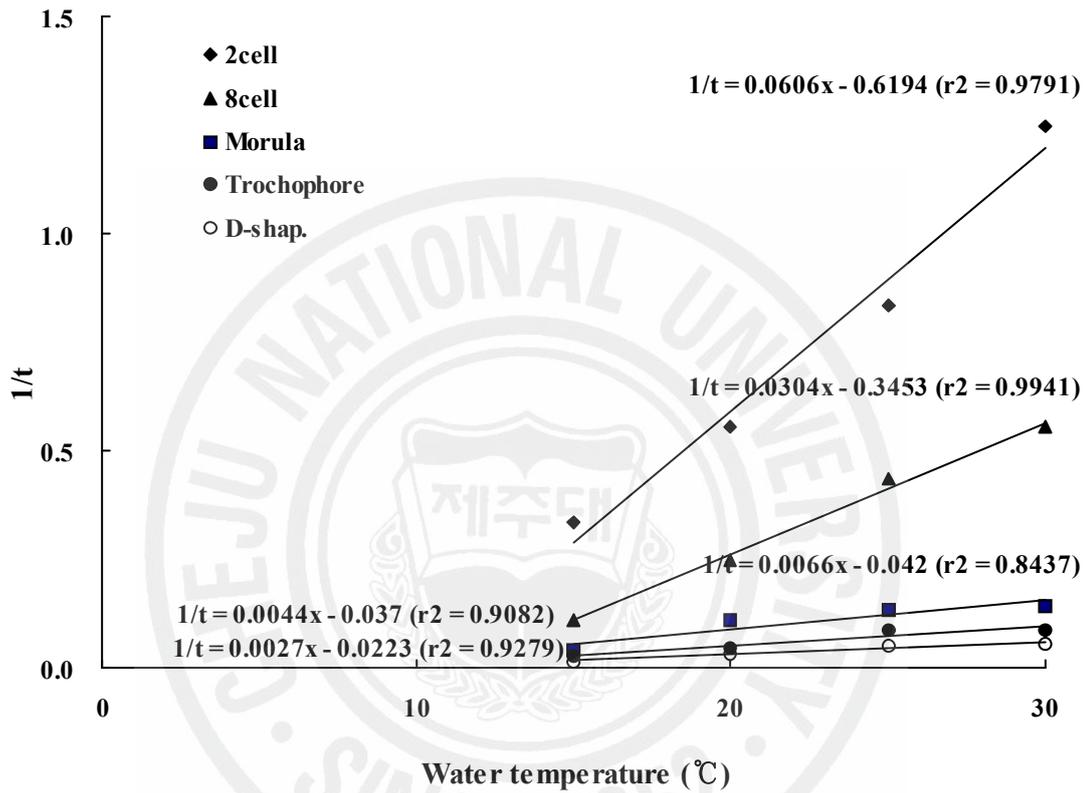


Fig. 16. Relationships between water temperature and time in hours to reach distinctive developmental stages after fertilization.

#### 마. 난 발생 단계별 적산수온

난 발생 단계별 적산수온은 각 발생단계의 수온별 소요시간과 수온에 대한 회귀 직선식과 생물학적 기초수온을 이용하여 도출하였다. 좌측 Y축은 각 발생수온에서 생물학적 기초수온을 뺀 수온의 시간적인 적산치이고, X축은 시간을 나타내었고, 우측 Y축은 각 발생단계 변화를 번호로 표시하였다.

발생단계별에 따라 8세포기, 답륜자기 및 D형 유생까지의 적산수온의 평균은 각각 37.0, 177.1, 304.2시간으로 나타났다(Fig. 17).



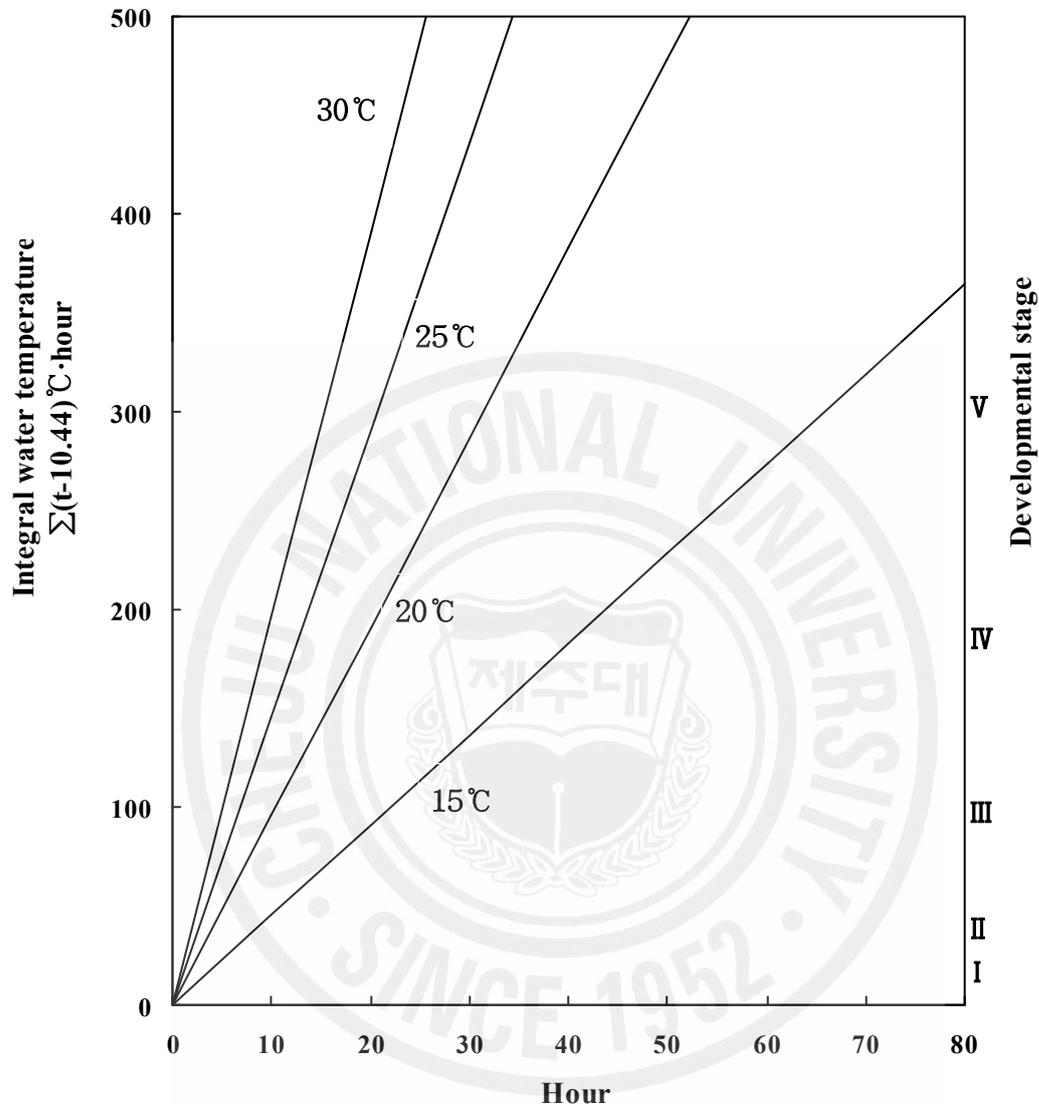


Fig. 17. Relationships between integral water temperature and time to reach distinctive developmental stages. I: 2-cell (16 hrs), II: 8-cell (37 hrs), III: morula stage (102 hrs), IV: trochophore stage (177 hrs), V: D-shape larval stage (304 hrs).

## 바. 부유유생사육

### 1) 수온별 유생성장

20.0, 24.0, 28.0℃에서 3단계로 유생 사육시험을 실시하였을 때, 수온에 따른 유생 성장은 시험 후 3일째부터 성장차가 나타나기 시작하여 시험 6일째의 20.0℃ 시험구는 각장 129.1±13.6 μm, 24.0℃ 시험구 160.0±12.6 μm, 28℃ 시험구 151.8±13.4 μm로 성장하여 24.0℃ 시험구가 20.0℃ 시험구에 비해 30.9 μm의 성장 차를 보였다. 12일째에는 20.0℃ 시험구 163.4±19.6 μm, 24.0℃ 시험구 192.7±15.5 μm, 28.0℃ 시험구는 181.0±21.5 μm의 각장성장을 나타냈다(P<0.05, Fig. 18).

사육수온별 일간 각장 성장률은 수온 20.0℃ 시험구에서 4.6 μm, 24.0℃ 시험구 7.1 μm, 28.0℃ 시험구 6.1 μm로 수온 24.0℃ 시험구에서 가장 높은 성장을 보였다(P<0.05, Fig. 24A).

수온별 시험구에서 경과일수에 따른 생존율은 시험 3일째에는 20.0℃ 시험구가 97.8%, 24.0℃ 96.3%, 28℃ 84.8%로 비교적 높은 생존율을 보였으나 시험 9일째의 생존율은 20.0℃ 71.6%, 24.0℃ 74.5%, 28.0℃ 40.2%로 나타나 수온 28℃ 시험구에서 대량폐사가 나타났다. 최종 생존율은 20.0℃ 54.2%, 24.0℃ 58.8%, 28.0℃ 21.1%로 수온 20.0℃와 24.0℃에는 비교적 안정적인 생존율을 보였으나 시험구 28.0℃에서 가장 낮은 생존율을 나타냈다(Fig. 19).

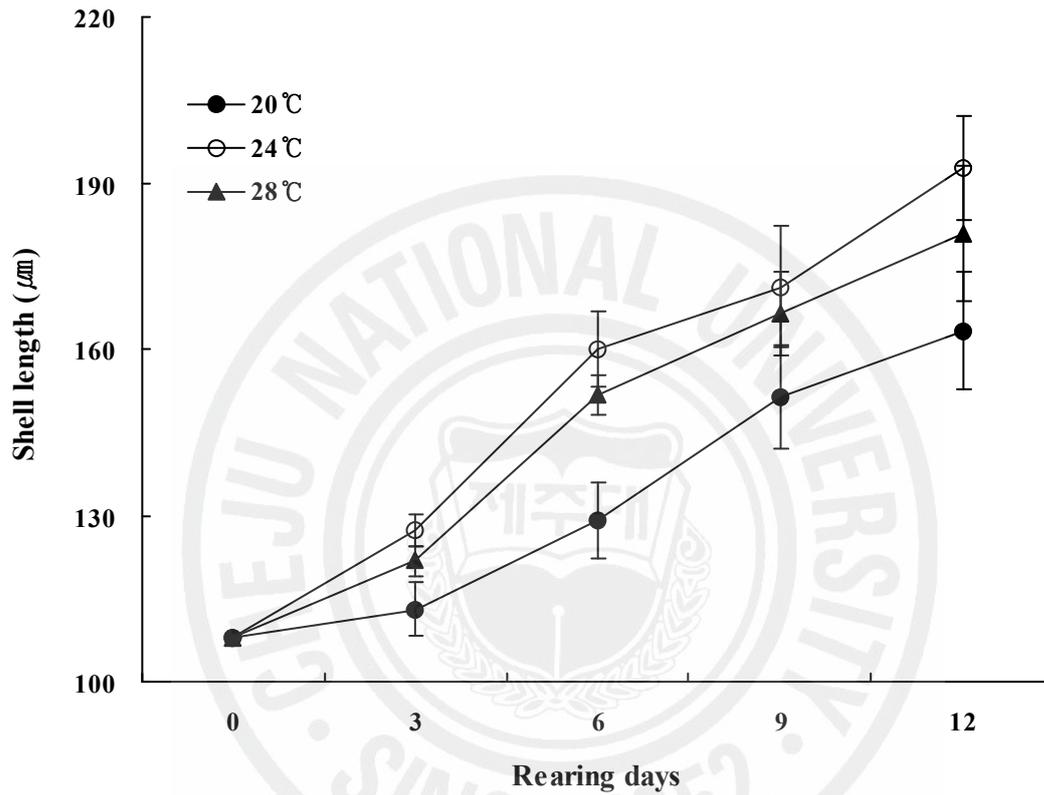


Fig. 18. Comparison of the growth in shell length of *Chlamys nobilis* larvae reared in three water temperature regimes. Vertical bars denote standard deviations of means.

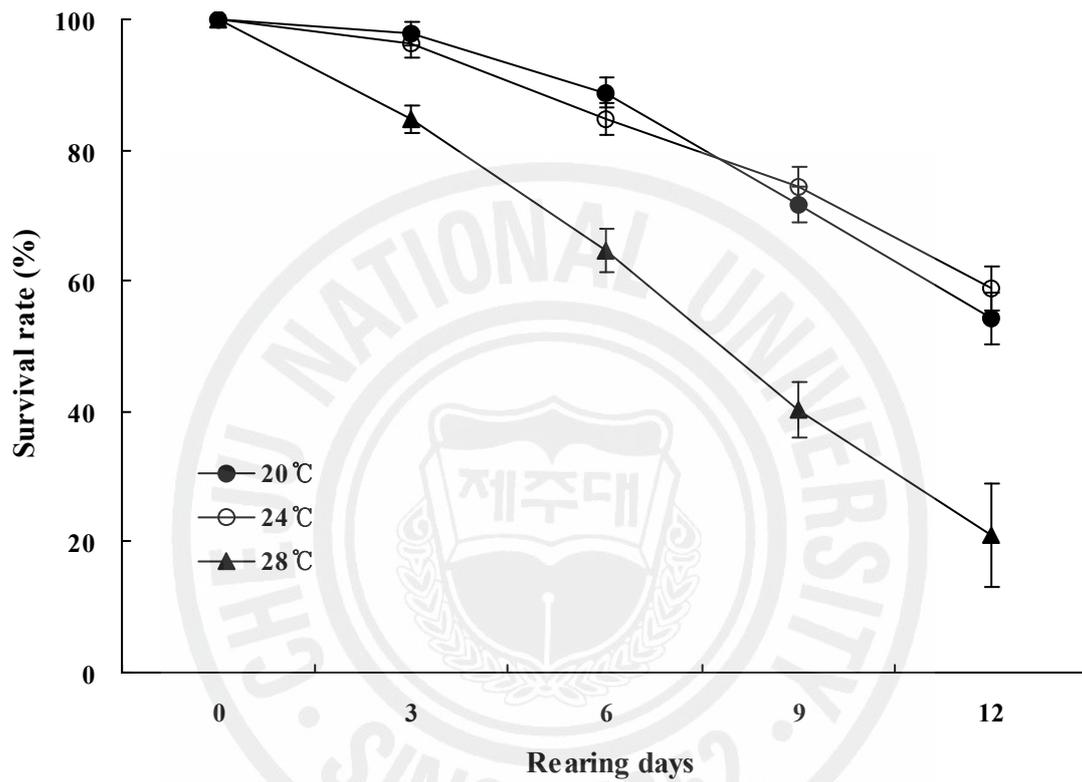


Fig. 19. Comparison of the survival rate of *Chlamys nobilis* larvae reared in three water temperature regimes. Vertical bars denote standard deviations of means.

## 2) 사육밀도별 유생성장

각 시험구의 각장 성장은 유생사육 6일후 1개체/mL 시험구  $136.7 \pm 13.8 \mu\text{m}$ , 2개체/mL 시험구  $128.0 \pm 10.3 \mu\text{m}$ , 4개체/mL 시험구  $123.3 \pm 13.4 \mu\text{m}$ , 8개체/mL 시험구  $121.4 \pm 14.5 \mu\text{m}$ 로 성장차이를 나타나기 시작하였고, 최종 각장성장은 단위 용적 당 1개체/mL 시험구와 2개체/mL 시험구에서 각각  $183.4 \pm 20.5 \mu\text{m}$ 와  $175.6 \pm 18.8 \mu\text{m}$ 로 각장 성장이 나타났으나 8개체/mL 시험구에서는 각장 성장  $148.7 \pm 19.6 \mu\text{m}$ 로 성장이 가장 저조하였다( $P < 0.05$ , Fig. 20).

일간 각장 성장률은 1개체/mL 시험구  $6.3 \mu\text{m}$ , 2개체/mL 시험구  $5.6 \mu\text{m}$ , 4개체/mL 시험구  $4.5 \mu\text{m}$ , 8개체/mL 시험구에서  $3.4 \mu\text{m}$ 로 1개체/mL 시험구가 8개체/mL 시험구에 비해 2배 가까운 일간각장성장량을 나타내었다( $P < 0.05$ , Fig. 24B).

사육밀도별 생존율은 시험 3일째 전시험구에서 90.5%~97.2%로 비슷한 생존율을 보였다. 시험 6일째에는 1개체/mL 시험구와 2개체/mL 시험구에서 각각 82.8%, 87.0%였으며, 4개체/mL 시험구와 8개체/mL 시험구에서는 각각 65.2%와 59.0%이었다. 최종 생존율은 시험구 1개체/mL 시험구, 2개체/mL 시험구, 4개체/mL 시험구에서는 각각 36.7%, 37.2%, 30.4%의 생존율을 나타내었고, 8개체/mL 시험구에서는 10.0%로 가장 저조한 생존율을 나타냈다( $P < 0.05$ , Fig. 21).

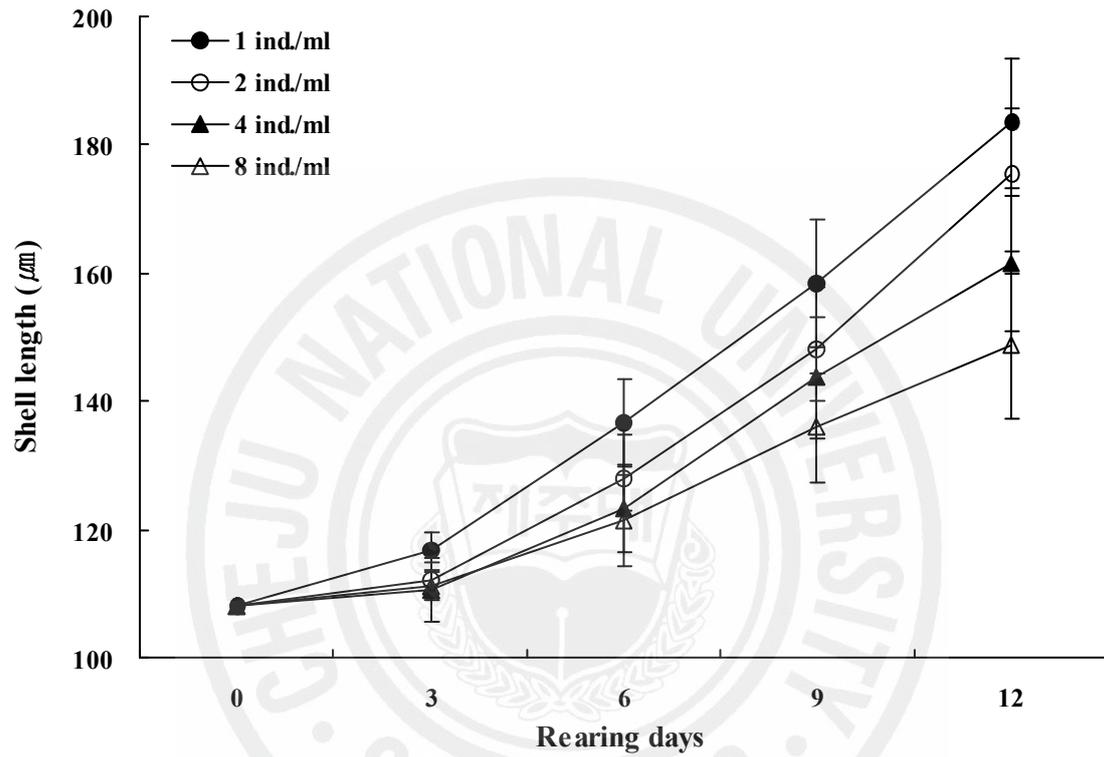


Fig. 20. Comparison of the growth in shell length of *Chlamys nobilis* larvae reared in four different larval densities under the condition of  $22.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . Vertical bars denote standard deviations of means.

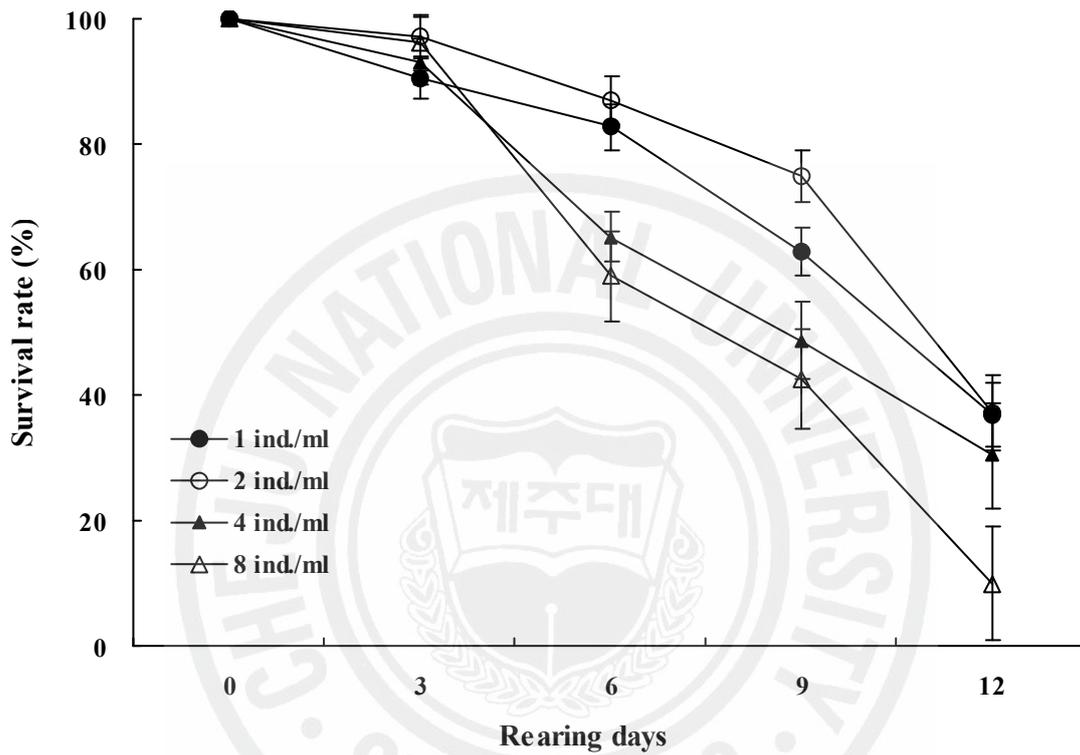


Fig. 21. Comparison of the survival rate of *Chlamys nobilis* larvae reared in four different larval densities under the condition of  $22.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . Vertical bars denote standard deviations of means.

### 3) 먹이생물별 유생성장

먹이생물 종류별로 단독 공급구와 3종을 혼합하여 4개 시험구를 설정하고 부유유생을 사육한 성장 결과는 각 먹이 시험구별로 사육한 부유유생의 각장 성장은 3일째는 *C. calcitrans*+*I. galbana*+*P. lutheri* 공급구가  $128.3 \pm 5.6 \mu\text{m}$ 로 가장 양호하였다. 그리고 *C. calcitrans* 공급구  $123.0 \pm 9.0 \mu\text{m}$ , *P. lutheri* 공급구  $119.0 \pm 6.1 \mu\text{m}$ , *I. galbana* 공급구  $117.3 \pm 17.7 \mu\text{m}$  순으로 나타났다. 시험 9일째에는 *C. calcitrans*+*I. galbana*+*P. lutheri* 공급구  $173.6 \pm 18.7 \mu\text{m}$ , *C. calcitrans* 공급구  $168.7 \pm 23.7 \mu\text{m}$ , *I. galbana* 공급구  $160.3 \pm 14.0 \mu\text{m}$ , *P. lutheri* 공급구  $158.7 \pm 20.1 \mu\text{m}$  순으로 나타났다. 최종 성장은 *C. calcitrans*+*I. galbana*+*P. lutheri* 공급구가  $196.7 \pm 22.9 \mu\text{m}$ 로 가장 성장이 좋았고, *P. lutheri* 공급구가  $174.6 \pm 21.2 \mu\text{m}$ 로 가장 저조하였다( $P < 0.05$ , Fig. 22).

일간 각장 성장은 *C. calcitrans*+*I. galbana*+*P. lutheri* 공급구  $7.4 \mu\text{m}$ , *C. calcitrans* 공급구  $6.5 \mu\text{m}$ , *I. galbana* 공급구  $5.9 \mu\text{m}$ , *P. lutheri* 공급구  $5.6 \mu\text{m}$ 로 나타났다(Fig. 24C).

먹이생물 종류별로 공급된 부유유생의 생존율은 사육경과 일수 3일째 *C. calcitrans*+*I. galbana*+*P. lutheri* 공급구 91.8%, *C. calcitrans* 공급구 82.6%, *I. galbana* 공급구 88.9%, *P. lutheri* 공급구 81.7%로 전체 시험구에서 비교적 안정적인 생존율을 나타내었다. 시험 종료 시인 12일째에서는 *C. calcitrans*+*I. galbana*+*P. lutheri* 공급구 43.3%, *C. calcitrans* 공급구 45.6%, *I. galbana* 공급구 33.3%, *P. lutheri* 공급구 41.0%로 *C. calcitrans* 공급구가 가장 높은 생존율을 보인 반면 *I. galbana* 공급구가 가장 저조하였다( $P < 0.05$ , Fig. 23).

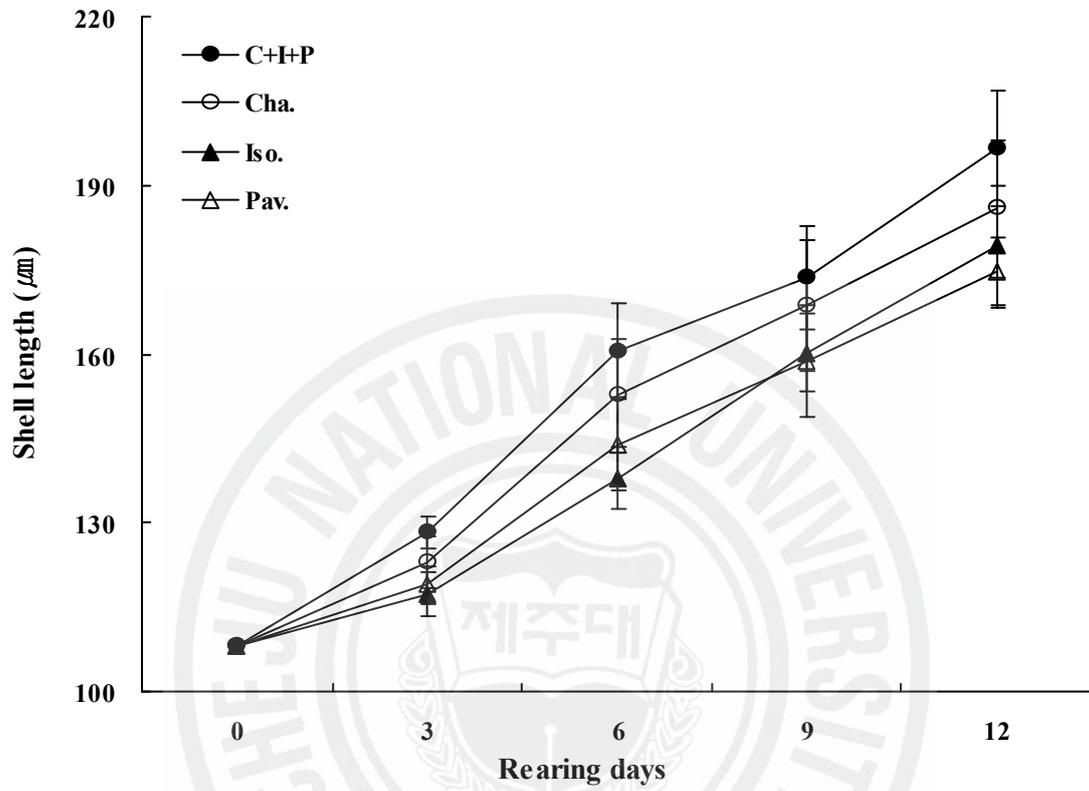


Fig. 22. Comparison of the growth in shell length of *Chlamys nobilis* larvae reared in various food organisms under the condition of  $22.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . C: *Chaetoceros calcitrans*, I: *Isochrysis galbana*, P: *Pavlova lutheri*. Vertical bars denote standard deviations of means.

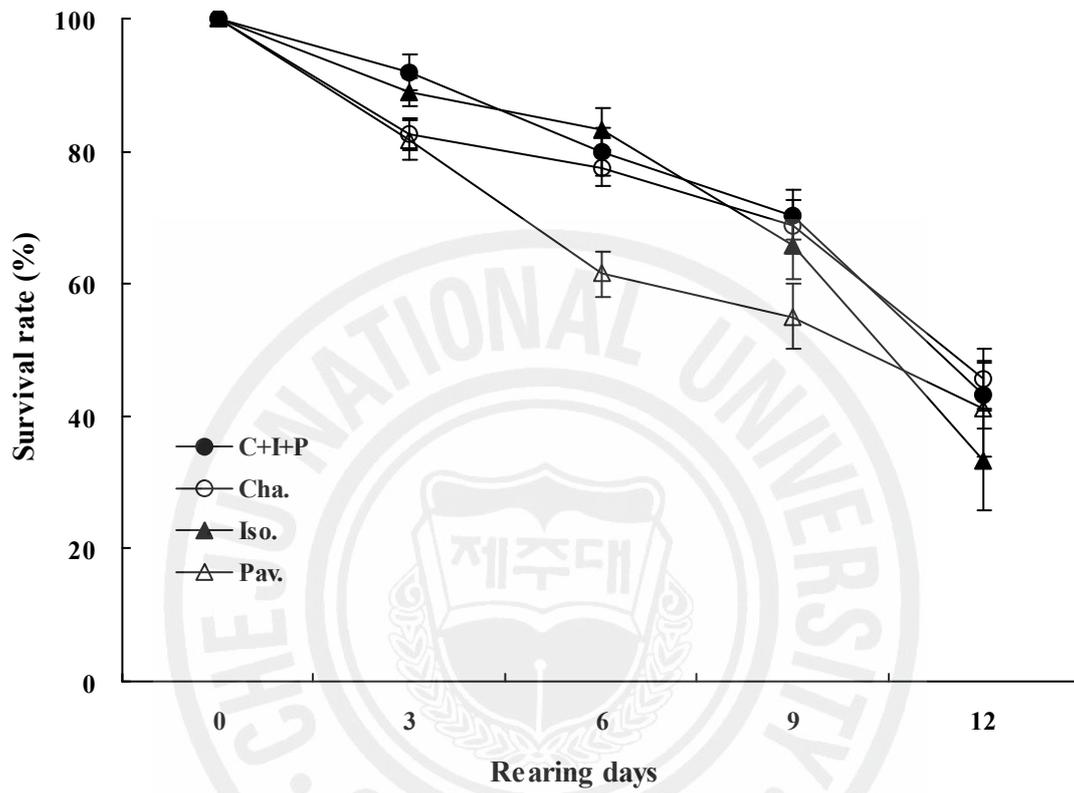


Fig. 23. Comparison of the survival rate of *Chlamys nobilis* larvae reared in various food organisms under the condition of  $22.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . C: *Chaetoceros calcitrans*, I: *Isochrysis galbana*, P: *Pavlova lutheri*. Vertical bars denote standard deviations of means.

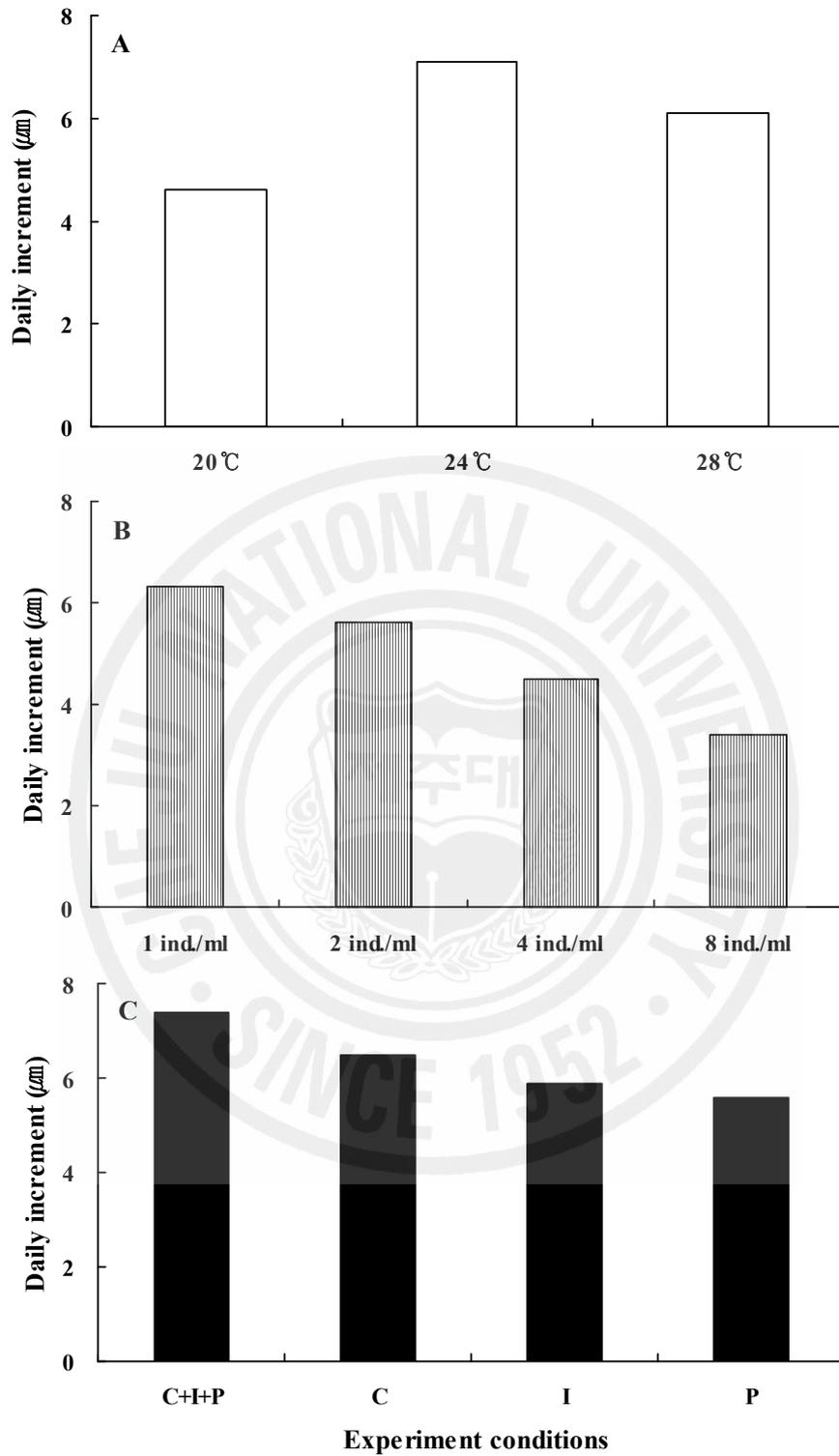


Fig. 24. Comparison of the daily shell length increment in juvenile scallop, *Chlamys nobilis* by three different culture conditions. C: *Chaetoceros calcitrans*, I: *Isochrysis galbana*, P: *Pavlova lutheri*, A: water temperature, B: rearing density, C: food organism.

### 3. 부착자패와 초기치패 성장

#### 가. 부착률

부화 후 12일 후에 부착기질로 염화비닐판, 양과망 및 차광망을 이용하여 부착기 투입 후, 7일 후 부착 시험한 결과, 염화비닐판을 수평으로 놓은 것이 2.93%로 부착률이 가장 높았으며, 다음으로는 차광망이 2.01%, 양과망이 1.86%였고 염화비닐판을 수직으로 설치한 것이 1.48%로 가장 낮았다(Table 6).

Table 6. Settling rate of *Chlamys nobilis* larvae on the various collectors installed indoor rectangular tanks of one ton volume

Collectors	Methods	Floating larval stage		Settling larval stage		
		No. larvae (A)	No. collectors (B)	No. larvae (C)	Rate C/B (%)	Rate (C/A) (%)
Polyvinyl plate	Horizontal	100,000	100	2,934	29.34	2.93
	Vertical	100,000	100	1,483	14.83	1.48
Onion bag	Vertical	100,000	28	1,868	66.71	1.86
Light shading screen (50%)	Vertical	100,000	28	2,011	71.82	2.01

#### 나. 자패 성장

부착 자패 성장은 부화 후 12일째 채묘기에 부착한 부착 자패에서 성장하여 60일째 부착 자패까지 측정함, 부화 경과 일 수(X)에 따른 각장(SL) 성장은  $SL = 0.1664e^{0.0579x}$  ( $r^2 = 0.924$ )의 회귀직선식으로서 나타났다(Fig. 25).

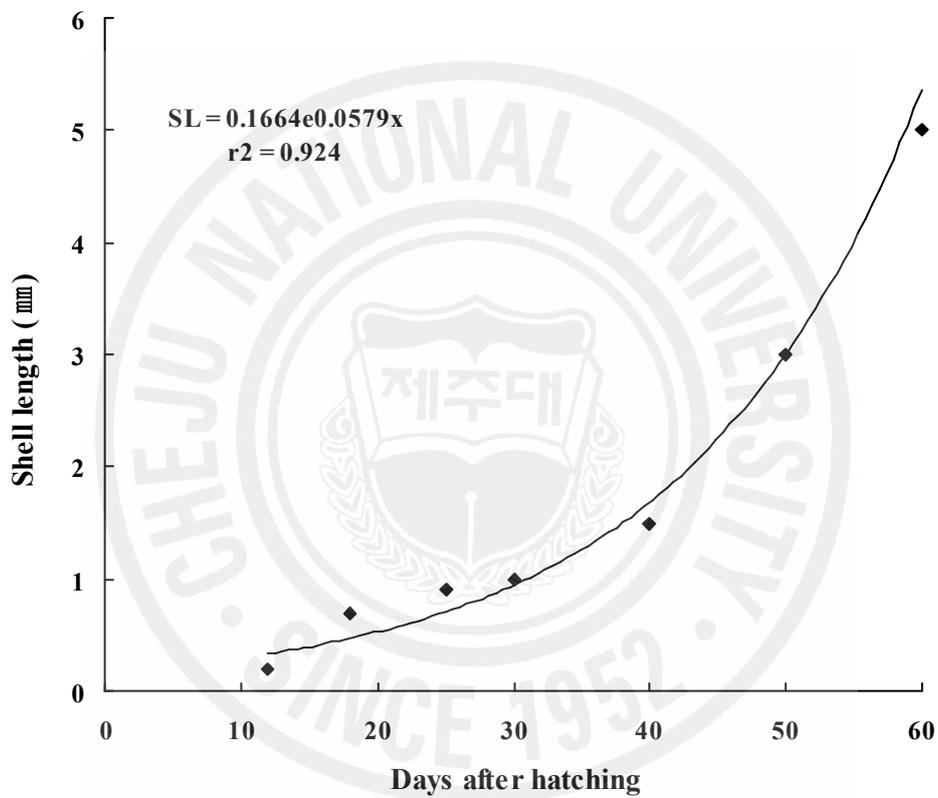


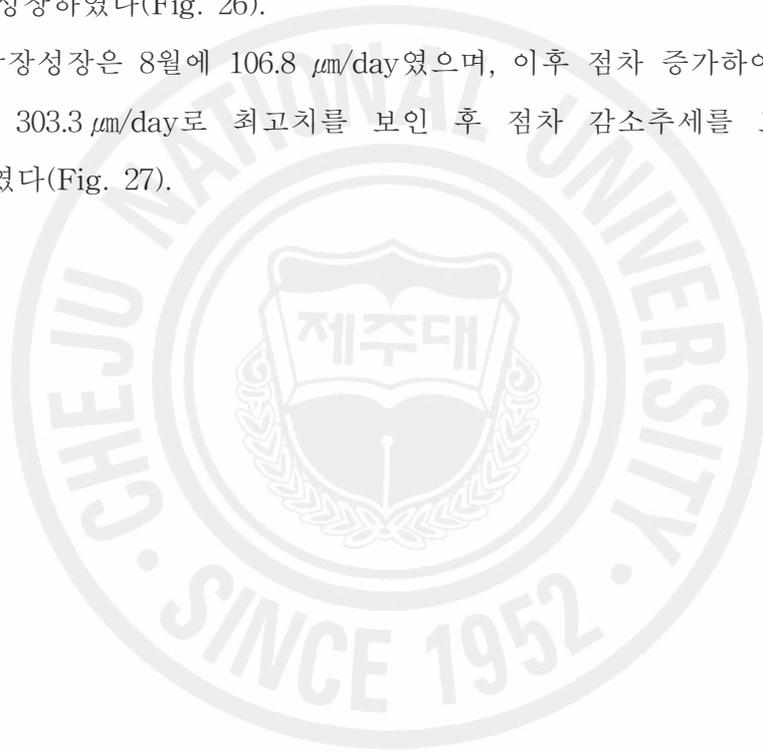
Fig. 25. Growth curve of *Chlamys nobilis* larvae at an temperature-controlled indoor tank of  $22.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ .

#### 다. 치패 성장

치패 양성지인 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안의 수온변화는 시험시작시인 7월에 21.6℃였으며 8월에 25.1℃로 가장 높은 수온을 나타내었다. 이후 수온이 점차 내려가기 시작하여 12월에 14.9℃로 가장 낮은 수온을 나타내었다(Fig. 26).

치패 성장은 지귀도 연안에서 수하한지 1개월 경과한 8월에는 각장 4.1 mm로 성장하였고, 각각 9월, 10월, 11월에는 각장 13.0, 23.1, 30.3 mm로 성장하였으며, 12월에 각장 33.6 mm로 성장하였다. 지귀도 연안에서 치패 성장 조사 결과 5개월 동안 약 32.6 mm 성장하였다(Fig. 26).

월별 일간각장성장은 8월에 106.8  $\mu\text{m}/\text{day}$ 였으며, 이후 점차 증가하여 10월에 일간 각장성장률이 303.3  $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 최고치를 보인 후 점차 감소추세를 보여 12월에는 123.4  $\mu\text{m}/\text{day}$ 였다(Fig. 27).



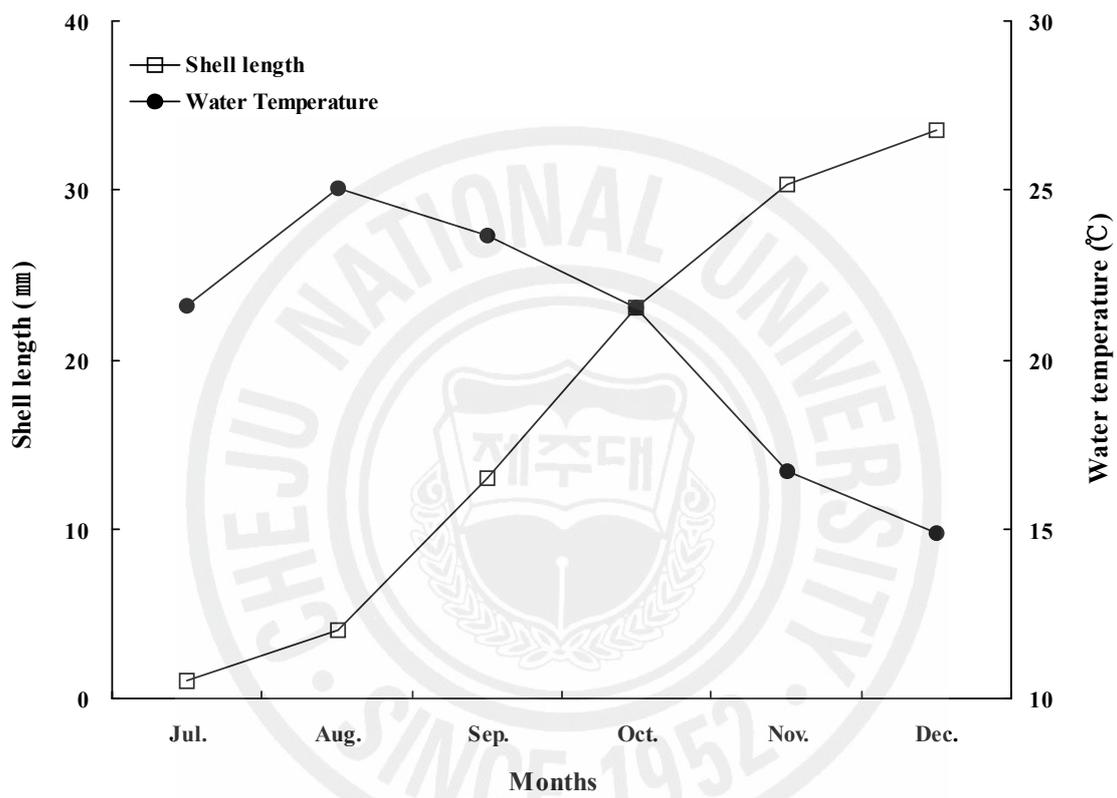


Fig. 26. Monthly growth of *Chlamys nobilis* spats reared at the hanging culture method in Jigwi site

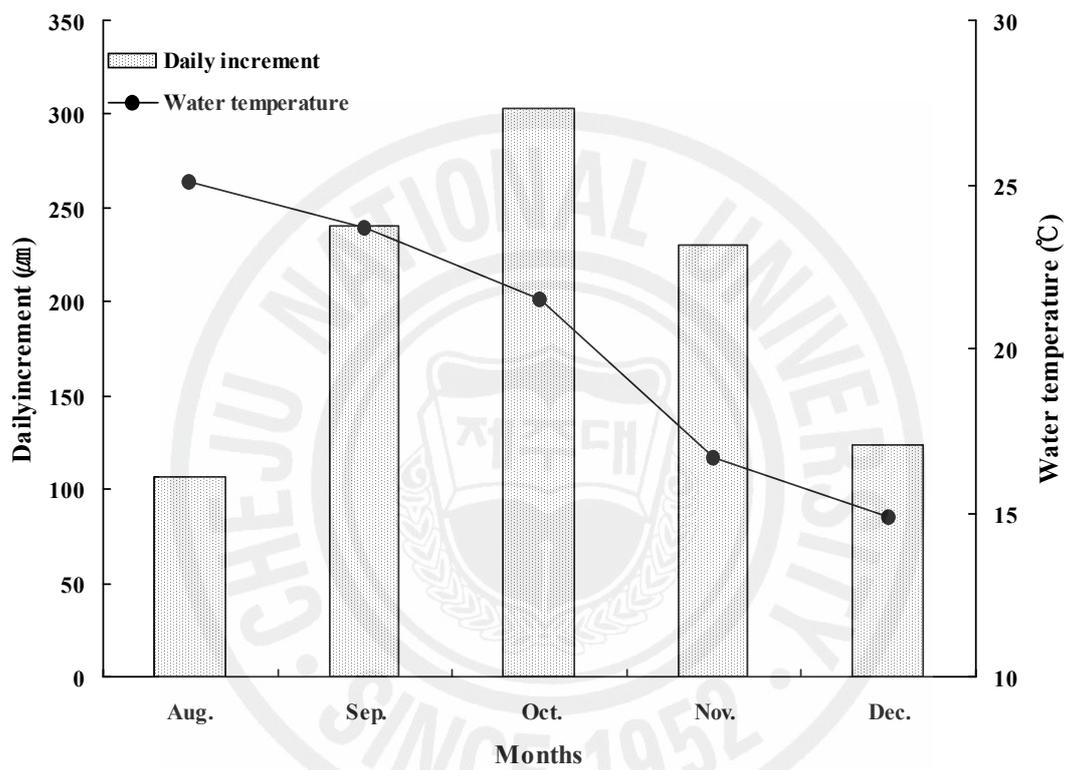


Fig. 27. Daily increment in shell length calculated by the monthly growth of *Chlamys nobilis* spats reared at the hanging culture method in Jigwi site.

라. 각고와 각장 및 전중과의 관계

흔한가리비 314마리를 각고(SH)와 각장(SL) 및 각고(SH)와 전중(TW)과의 상대 성장 조사를 한 결과 각고(SH)에 대한 각장(SL)과의 상대성장식은  $SL = 0.9982SH - 2.8326$ 로 나타났고(Fig. 28) 각고에 대한 전중과의 상대성장식은  $TW = 0.4 \times 10^{-3}SH^{2.8153}$ 의 관계가 있었다(Fig. 29).

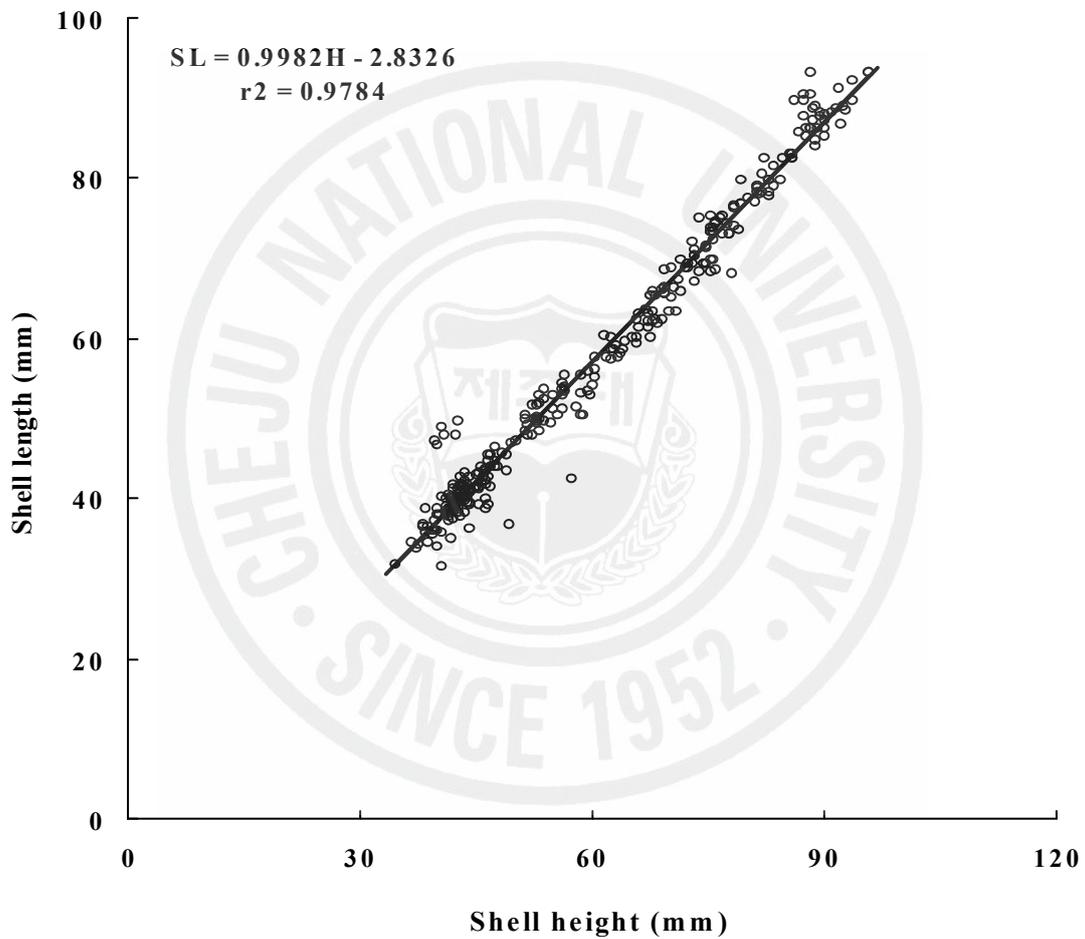


Fig. 28. Relationship between shell height and shell length of *Chlamys nobilis*.

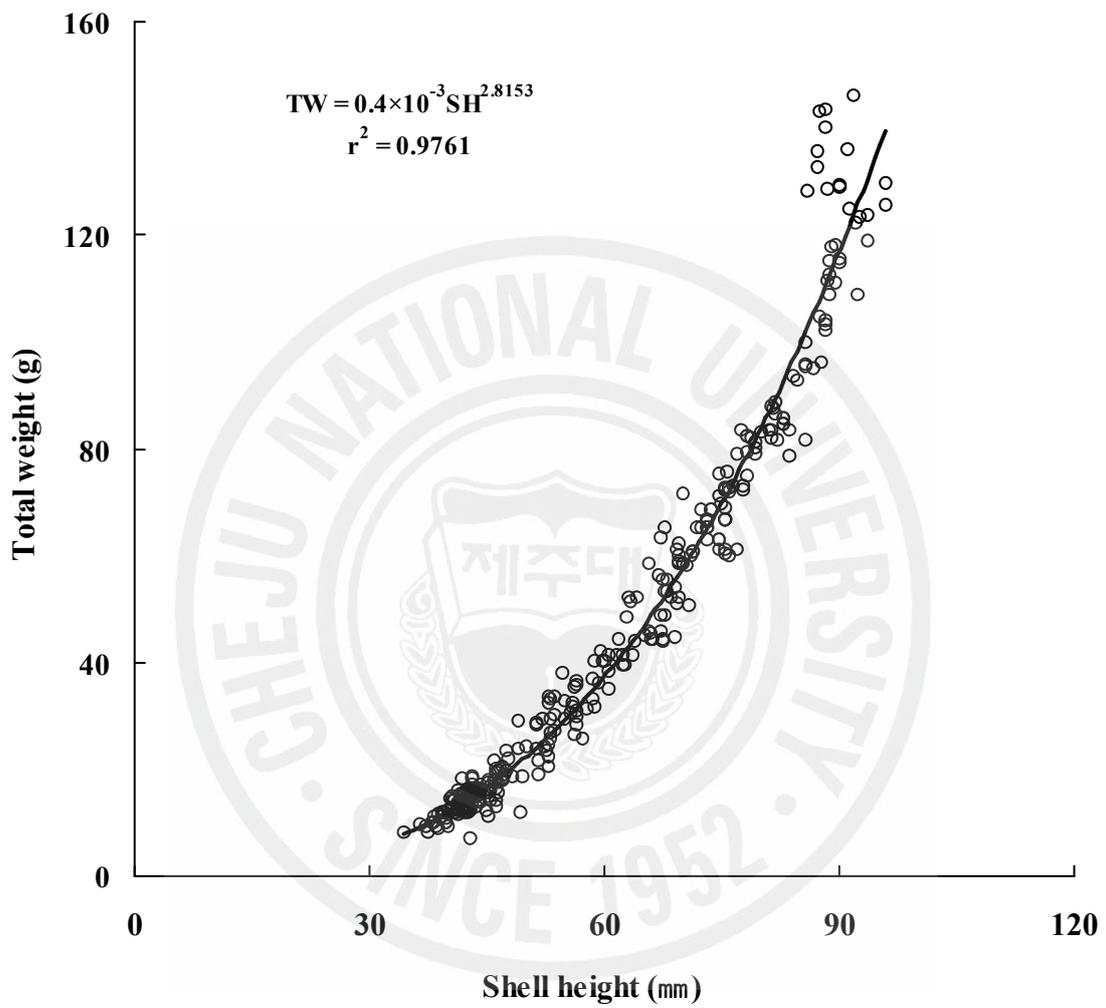


Fig. 29. Relationship between shell height and total weight of *Chlamys nobilis*.

#### 4. 중간양성

##### 가. 양성지 환경

###### 1) 수온

시험장소인 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안과 제주시 한림읍 옹포리 연안의 2001년에서 2002년까지 월별 표층수온 변화는 위미리 지귀도 연안이 13.6~25.9℃ 범위였고, 옹포리 연안은 12.8~26.7℃ 범위였다. 2지역 모두 2월에 가장 낮았고 8월에 가장 높았다. 연중 수온변화 양상은 서귀포시 위미리 지귀도 연안은 12월부터 2월까지 겨울에는 13.6~15.2℃로 수온 분포를 보였고, 4월부터 15.3℃로 서서히 상승하기 시작하여 6월에 18.8℃였고 8월과 9월 두 달 동안 각각 25.6℃와 25.9℃로 높은 수온을 나타냈다. 이후 10월부터 수온이 서서히 하강하였고 11월부터 12월까지는 큰폭으로 하강하였다. 제주시 옹포리 연안은 서귀포시 지귀도 연안보다 겨울 수온이 2~3℃ 낮은 경향을 보였고 그 외의 시기에서는 비슷한 경향을 보였다(Fig. 30).

###### 2) 염분

서귀포시 지귀도 연안의 표층 염분은 연중 29.6~34.5 psu 범위였으며, 여름철인 8월에 29.6 psu로 가장 낮았고, 겨울인 2월에 34.5 psu로 최고값을 나타냈다. 제주시 옹포리 연안의 염분농도에 있어서도 지귀도 연안의 경우와 비슷하게 29.7~34.5 psu의 범위로 8월에 가장 낮았고 2월에 가장 높았다(Fig. 30).

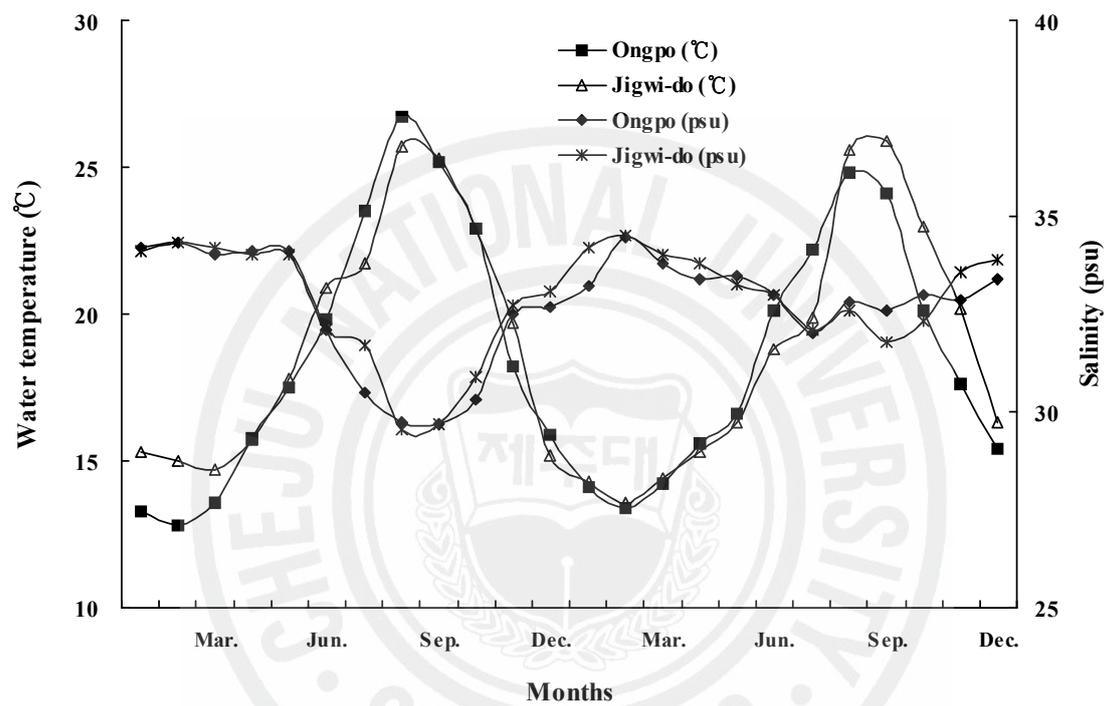


Fig. 30. Monthly variation of water temperature and salinity off Jigwido and Ongpori coastal sea from January 2001 to December 2002.

### 3) 용존산소

2001년 2월부터 2002년 11월까지 위미리 지귀도 연안에서의 계절별 표층 용존산소의 변화는 2001년 2월에 10.91 mL/L로 가장 높고, 2001년 11월에 6.38 mL/L로 가장 낮았다. 옹포리 연안의 경우도 지귀도와 비슷하게 2001년 2월에 9.87 mL/L로 가장 높았고, 2001년 11월에 6.08 mL/L로 가장 낮았다. 지귀도와 옹포리 연안의 지역별 표층 용존산소량은 지귀도 연안에서 다소 높게 나타났다(Table 7).

계절별 저층 용존산소 변화는 지귀도 연안에서는 2002년 2월에 8.65 mL/L로 가장 높았고, 2001년 11월에 6.24 mL/L로 가장 낮았다. 옹포리 연안 저층 용존산소 농도 변화는 2002년 2월에 9.34 mL/L로 가장 높았고, 동년 11월에 5.74 mL/L로 가장 낮았다(Table 7).

### 4) 영양염류

2001년 2월부터 2002년 11월까지 시험기간 동안, 영양염류 중 표층 인산인( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) 농도는 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안 표층의 경우 0.11~2.40  $\mu\text{g-at/L}$  범위로 2001년 2월에 가장 높은 값을 나타내었으나, 2001년 5월에 가장 낮았다. 제주시 한림읍 옹포리 연안 표층의 인산인 농도는 0.11~1.30  $\mu\text{g-at/L}$ 로 2001년 11월에 가장 높았고, 2002년 8월에 가장 낮았다. 지귀도 연안 저층 인산인의 농도는 조사기간 동안 0.28~1.65  $\mu\text{g-at/L}$  범위로 표층과 큰 차이를 보이지 않았으나 옹포리 연안 저층의 인산인 농도범위는 0.01~2.20  $\mu\text{g-at/L}$ 으로 5월에 가장 낮았고 2월에 가장 낮았다(Table 7).

용존성무기질소(DIN)는 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안은 표층에서 4.25~21.06  $\mu\text{g-at/L}$  범위이고 저층에서는 6.81~16.90  $\mu\text{g-at/L}$ 의 농도로 나타났다. 제주시 한림읍 옹포리 연안에서 용존성 무기질소 농도는 표층에서 4.45~48.65  $\mu\text{g-at/L}$  범위이고, 저층에서는 3.70~36.82  $\mu\text{g-at/L}$  농도로 나타났다(Table. 7).

### 5) Chlorophyll-a

조사지역 2개소 Chlorophyll-a의 농도는 서귀포시 지귀도 연안에서는 1.05~4.61  $\mu\text{g-at/L}$  범위로 2001년 11월과 2002년 2월에 각각 1.05, 1.09  $\mu\text{g-at/L}$ 로 낮은 값을 나타냈고, 2000년 2월과 2001년 8월에는 4.61, 3.26  $\mu\text{g-at/L}$ 으로 높게 나타났다. 제주시 한림읍 옹포리 연안에 있어서는 0.21~1.34  $\mu\text{g-at/L}$  범위로 측정조사 전 기간

동안 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안에 비해 전반적으로 낮은 수치를 나타냈다(Table 7).



Table 7. Seasonal variation of DO, PO4-P, DIN and chlorophyll-a at Jigwido and Ongpo coastal sea

Site			2001				2002			
			Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.
DO (mL / L)	Jigwi	Surface	10.91	7.92	6.78	6.38	8.66	8.45	7.03	6.90
		Bottom	8.36	7.60	7.06	6.24	8.65	8.32	6.34	6.80
	Ongpo	Surface	9.87	8.00	6.92	6.08	9.39	7.82	6.81	6.90
		Bottom	8.92	7.92	7.72	5.78	9.34	7.64	6.97	5.74
PO4-P ( $\mu\text{g-at/L}$ )	Jigwi	Surface	1.09	0.29	0.54	1.60	2.40	0.11	0.25	0.57
		Bottom	1.33	0.28	1.65	0.90	1.90	0.57	0.52	0.68
	Ongpo	Surface	0.40	0.38	0.50	1.30	1.10	0.99	0.11	0.84
		Bottom	2.04	0.01	1.16	1.30	2.20	0.84	0.62	1.90
DIN ( $\mu\text{g-at/L}$ )	Jigwi	Surface	13.76	4.25	8.19	21.06	17.69	6.60	8.48	12.53
		Bottom	12.78	8.25	12.87	16.26	16.90	6.81	7.13	11.76
	Ongpo	Surface	7.04	5.53	4.45	48.65	15.74	19.95	4.45	11.19
		Bottom	14.52	5.00	8.62	36.82	14.65	20.72	3.70	17.31
Chloro- phyll-a ( $\mu\text{g-at/L}$ )	Jigwi	Surface	4.61	1.98	2.49	1.05	1.09	2.97	3.26	2.42
	Ongpo	Surface	1.34	0.95	0.60	1.20	0.70	0.70	0.21	0.50

## 나. 중간양성

### 1) 수심별 성장

#### 가) 각장

서귀포시 위미리 지귀도 연안에서 390일 동안 치패 월별 평균 각장과, 제주시 옹포 연안에서 196일의 시험기간 동안 치패 월별 평균 각장 변화를 조사하였다.

서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안에서 390일 동안, 수심 5, 10, 15, 20 m에서 중간양성 결과는 시험 종료 시 평균각장은 각각  $76.7 \pm 7.7$ ,  $73.3 \pm 7.3$ ,  $69.4 \pm 8.4$ ,  $68.7 \pm 8.5$  mm이었다. 치패의 각장성장은 수심 5~10 m 범위에서 다소 높게 나타났으나 각 수심별 치패의 각장성장에 유의한 차이는 없었다( $P > 0.05$ , Fig. 31A, Table 8).

제주시 한림읍 옹포 연안에서 196일 동안 수심 5, 10, 15, 20 m에서의 중간양성 결과는 시험 종료 시 평균각장은 각각  $59.0 \pm 5.7$ ,  $57.7 \pm 7.5$ ,  $54.8 \pm 5.4$ ,  $53.1 \pm 4.8$  mm 이었고, 수심 5~10 m에서 성장이 양호하였고 수심이 깊어질수록 성장은 낮게 나타났다( $P < 0.05$ , Fig. 31B, Table 8).

서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안에서 중간 양성에 따른 일간각장성장은 수심 5~20 m 범위에서 각각 165.6, 154.0, 140.0, 137.4  $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 나타났다(Fig. 32A, Table 8).

제주시 한림읍 옹포 연안에서 중간 양성에 따른 일간각장성장량은 수심 5~20 m의 범위에서 각각 199.6, 188.2, 161.8, 145.8  $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 나타났다(Fig. 32B, Table 8).

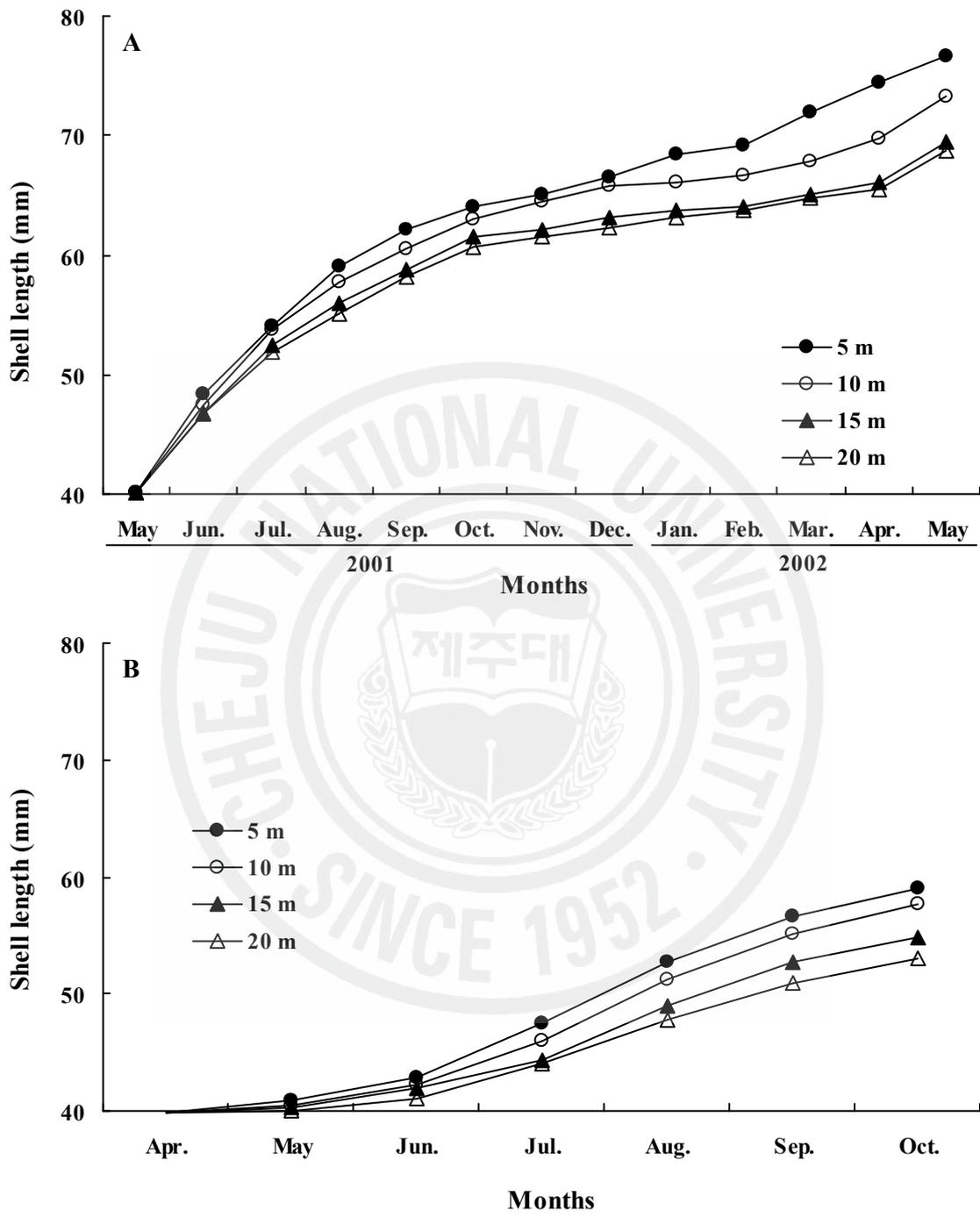


Fig. 31. Monthly growths in shell length of *Chlamys nobilis* cultured under different rearing depths off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea.

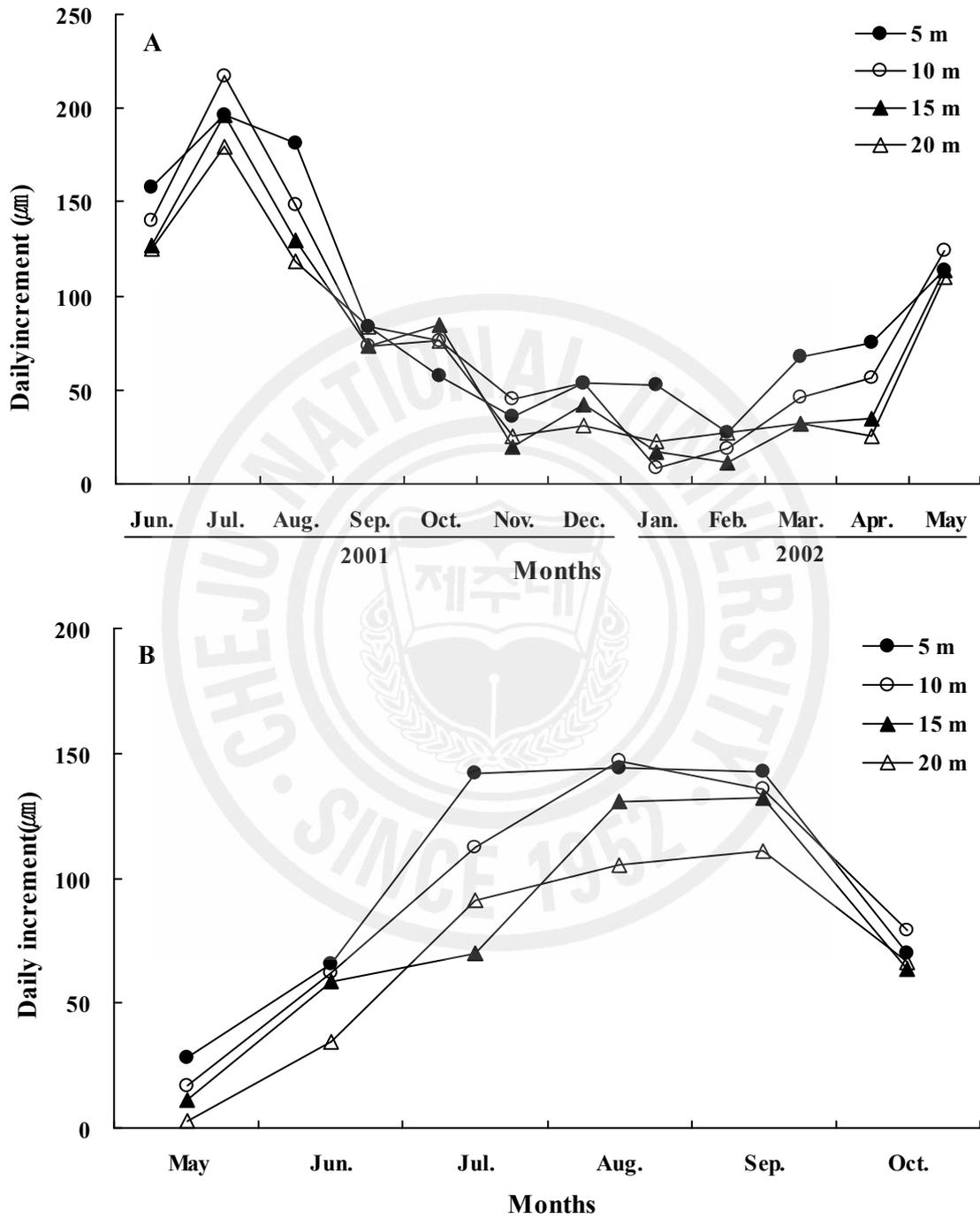


Fig. 32. Monthly changes of daily increment in shell length with different rearing depths off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea.

## 나) 중량

서귀포시 위미 연안의 수심 5, 10, 15, 20 m에서 양성시킨 치패의 평균중량은 시험 종료시 각각  $77.2 \pm 22.6$  g,  $73.2 \pm 16.0$  g,  $66.6 \pm 17.6$  g,  $64.9 \pm 15.3$  g로 성장하였으나, 각 시험구별 유의차는 관찰할 수 없었다( $P > 0.05$ , Fig. 33A).

제주시 옹포 연안의 수심 5 m에서 사육한 치패는 시험 종료시  $44.8 \pm 12.1$  g로 가장 빠르게 성장하였고( $P < 0.05$ ), 수심 10 m와 15 m에서는 각각  $40.2 \pm 13.1$  g,  $32.9 \pm 10.2$  g으로 유의차가 없었고, 수심 20 m에서  $29.5 \pm 8.7$  g으로 가장 느리게 성장하였다( $P < 0.05$ , Fig. 33B).

서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안에서 중간 양성에 따른 전중량의 일간성장량은 각장성장 및 각고성장량과 비슷한 패턴을 보였고, 저 수온시기인 11월부터 이듬해 2월까지의 전중량의 일간성장량이 수심 5~20 m 범위에서  $100 \mu\text{g}/\text{day}$  이하로 나타났고 그 외의 시기에서는  $100.0 \mu\text{g}/\text{day}$  이상이었고, 7월부터 9월에는  $207.4 \mu\text{g}/\text{day} \sim 351.7 \mu\text{g}/\text{day}$ 로 높게 나타났다(Fig. 34A).

제주시 한림읍 옹포 연안에서 중간 양성에 따른 일간증량성장은 시험초기인 5월과 6월에는 수심 5~20 m 범위에서  $34.3 \sim 86.2 \mu\text{g}/\text{day}$ 로 낮았고, 이 후 7월부터 9월까지  $66.7 \sim 342.9 \mu\text{g}/\text{day}$ 로 높아졌으나 지귀도 연안에 비해서는 일간증량성장량이 낮게 나타났다(Fig. 34B).

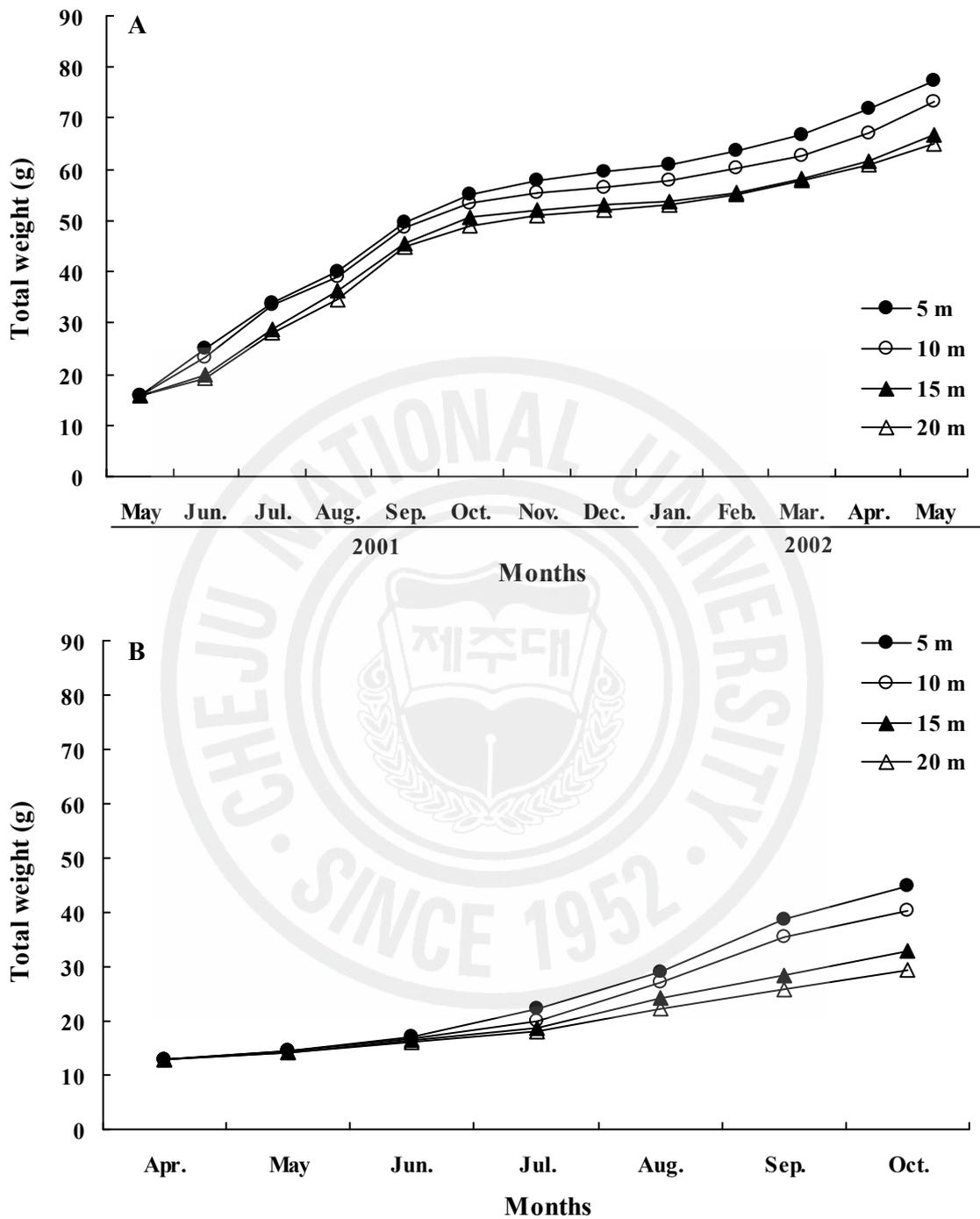


Fig. 33. Monthly growths in total weight of *Chlamys nobilis* cultured under different rearing depths off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea.

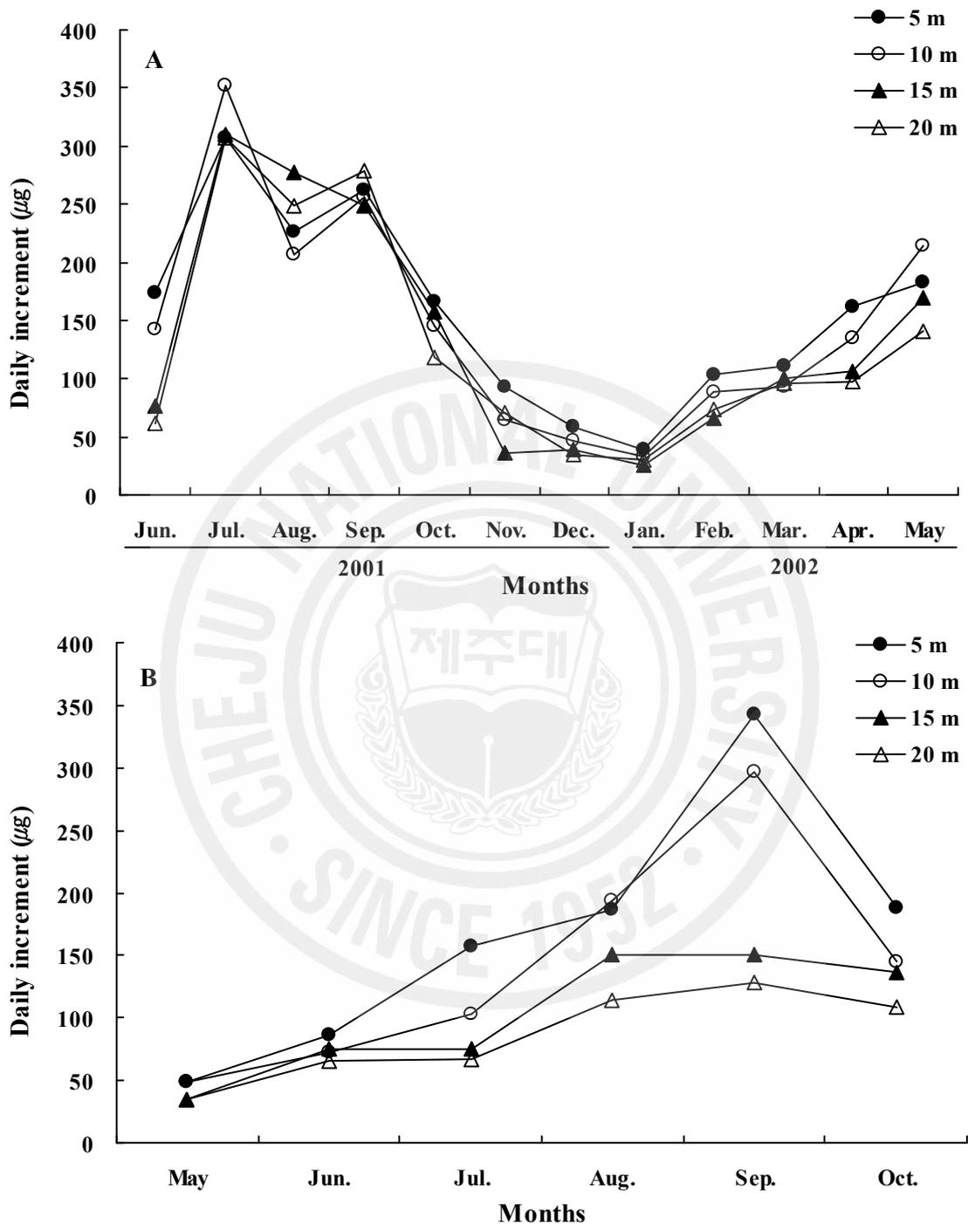


Fig. 34. Monthly changes of daily increment in total weight of *Chlamys nobilis* cultured under different rearing depths off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea.

Table 8. Comparison of growth and survival of *Chlamys nobilis* cultured under different depths off Jigwido and Ongpori culture sites

Culture site	Rearing depth	Initial shell length (Mean±S.D.*mm)	Final shell length (Mean±S.D.*mm)	Daily increment ( $\mu$ m/day)	Survival rate (%)	Rearing days
Jigwido	5 m	40.2±3.8	76.7±7.7	165.6	70.0	390
	10 m	40.2±3.8	73.3±7.3	154.0	70.0	390
	15 m	40.2±3.8	69.4±8.4	140.0	55.5	390
	20 m	40.2±3.8	68.7±8.5	137.4	51.6	390
Ongpo	5 m	39.9±3.2	59.0±5.7	199.6	60.0	196
	10 m	39.9±3.2	57.7±7.5	188.2	65.0	196
	15 m	39.9±3.2	54.8±5.4	161.8	53.5	196
	20 m	39.9±3.2	53.1±4.8	145.8	46.3	196

\*S.D.: standard deviation

## 2) 밀도별 성장

### 가) 각장

서귀포시 위미연안에서 평균 각장  $40.2 \pm 3.8$  mm 치패와 제주시 옹포연안에서 평균 각장  $39.9 \pm 3.2$  mm 치패를 플라스틱 재질의 패류양성용 채롱에 10, 20, 40, 80 마리를 수용하여 수심 5 m의 수층에 수하 후 지귀도에서는 390일, 옹포리 연안에서 196일 동안 양성한 치패 평균 각장 변화를 조사하였다.

서귀포시 위미연안에서 밀도별로 사육한 결과를 보면 10마리 밀도구의 치패는 시험종료시  $77.5 \pm 9.8$  mm로 성장하여 각장의 일간성장량은  $168.3 \mu\text{m}/\text{day}$ 로 가장 빠르게 성장하였다( $P < 0.05$ ). 20마리 밀도구에서 치패는 평균각장  $71.0 \pm 13.0$  mm로 성장하여 각장의 일간성장량은  $145.8 \mu\text{m}/\text{day}$ 였고 40마리 밀도구에서는 시험 종료 시 평균각장  $63.0 \pm 8.1$  mm로 성장하여 각장의 일간성장량은  $115.2 \mu\text{m}/\text{day}$ 였다. 80마리 밀도구에서는 평균각장  $59.8 \pm 7.5$  mm로 성장하여 각장의 일간성장량은  $101.8 \mu\text{m}/\text{day}$ 로 성장이 가장 느렸다( $P < 0.05$ ). 이와 같이 서귀포시 위미리 연안 5 m 수층에서 10~80마리를 수용한 채롱에서 치패의 성장은 밀도가 높을수록 성장이 늦어지는 결과를 얻었다( $P < 0.05$ , Fig. 35A, Table 9).

제주시 옹포연안에서 실시한 10마리 밀도구에서 치패는 평균각장  $63.8 \pm 6.5$  mm로 성장하여 각장의 일간성장량은  $239.5 \mu\text{m}/\text{day}$ 였고, 20마리 밀도구에서 시험 종료시 평균각장  $62.1 \pm 7.0$  mm로 성장하여 각장의 일간성장량은  $225.7 \mu\text{m}/\text{day}$ 였다. 40마리 시험구에서는 시험 종료시 평균각장  $60.0 \pm 6.0$  mm로 성장하여 각장의 일간성장량은  $208.1 \mu\text{m}/\text{day}$ 였고, 80마리 밀도구에서 치패는 시험 종료시 평균각장  $58.5 \pm 7.0$  mm로 성장하여 각장의 일간성장량은  $195.2 \mu\text{m}/\text{day}$ 였다. 4개의 밀도별 시험구에서 시험기간중의 밀도에 따른 치패의 성장은 차이가 없었다( $P > 0.05$ , Fig. 35B, Table 9).

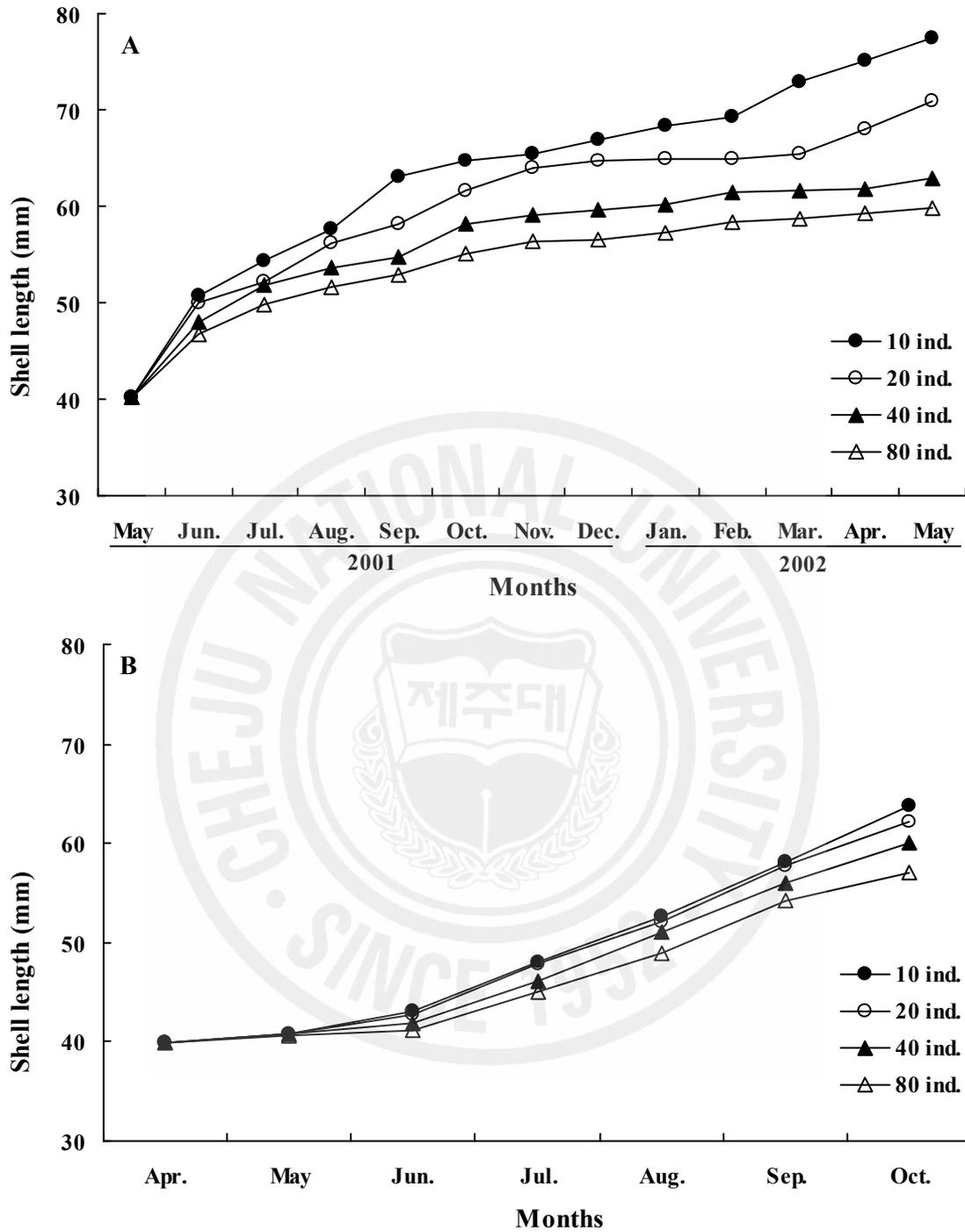


Fig. 35. Monthly growths in shell length of *Chlamys nobilis* cultured with different rearing densities off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea.

#### 나) 전중량

서귀포시 위미연안에서 평균 전중량  $15.9 \pm 1.9$  g 치패와 제주시 옹포연안에서 평균 전중량  $12.9 \pm 1.7$  g 치패를 대상으로 각각 390일과 196일 동안 사육하면서 각 밀도별 시험구의 평균 전중량 변화를 조사하였다.

서귀포시 위미 연안에서 10마리 밀도구에서 치패성장은 시험 종료 시 평균 전중량  $83.2 \pm 23.2$  g로 가장 빠르게 성장하였다( $P < 0.05$ ). 20마리와 40마리 밀도구에서 치패성장은  $71.8 \pm 25.0$  g,  $56.6 \pm 16.8$  g로 성장하였고 80마리 밀도구에서는 평균 전중량 치패는  $49.0 \pm 15.2$  g로 성장이 가장 느렸다( $P < 0.05$ , Fig. 36A).

제주시 옹포리 연안에서 10마리 밀도구에서 치패성장은  $50.1 \pm 11.7$  g이었고, 20마리 밀도구에서는 평균 전중량  $48.7 \pm 14.2$  g이었다. 40마리 밀도구에서 치패성장은  $46.2 \pm 14.8$  g 그리고 80마리 밀도구에서는 평균 전중량  $43.2 \pm 15.1$  g이었다. 4개의 밀도별 시험구에서 시험사육기간중 각 사육밀도 시험구간의 전중량에 대한 유의차는 없었다( $P > 0.05$ , Fig. 36B).

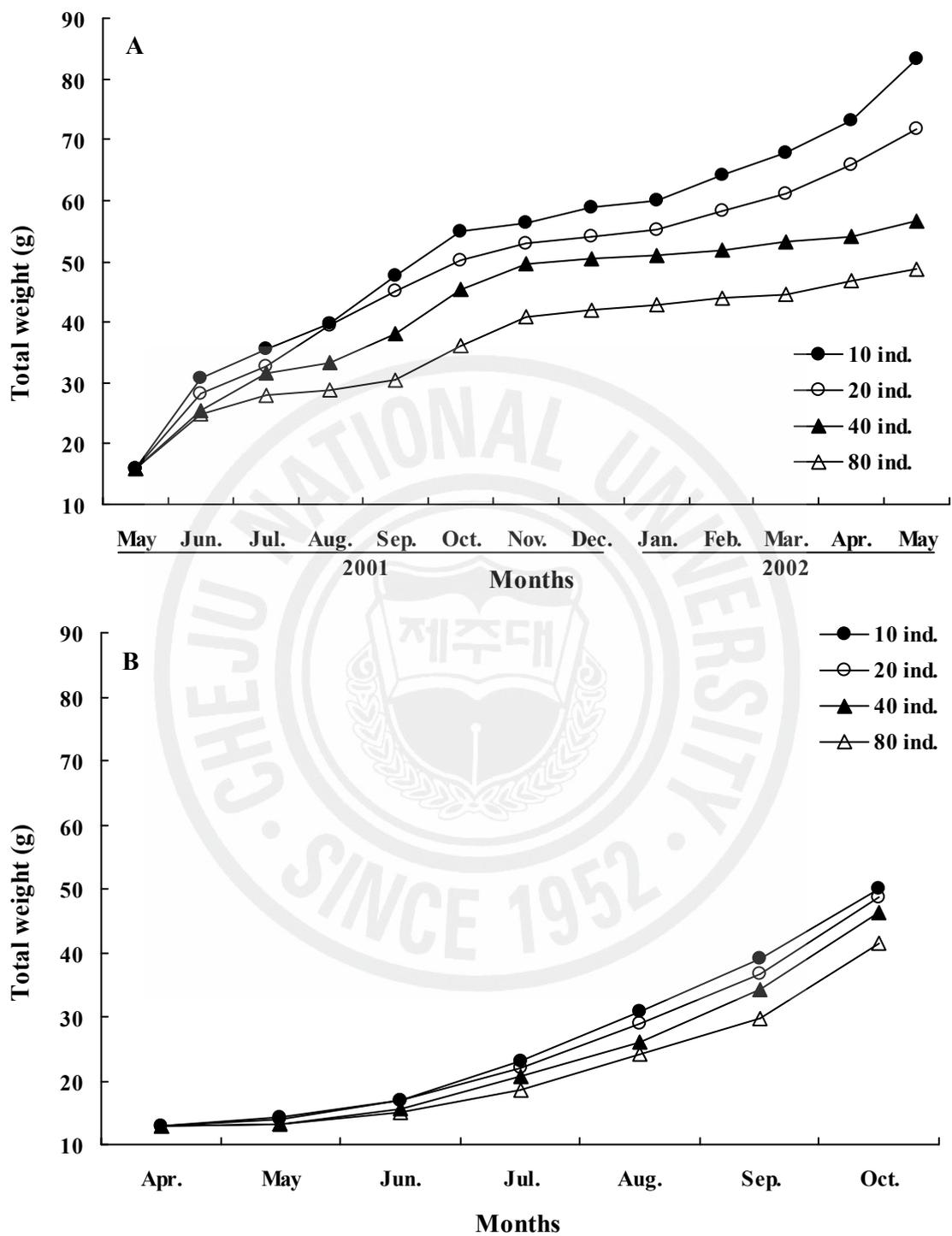


Fig. 36. Monthly growths in total weight of *Chlamys nobilis* cultured with different rearing densities off Jigwido (A) and Ongpori (B) coastal sea.

Table 9. Comparison of growth and survival of *Chlamys nobilis* cultured with different culture densities off Jigwido and Ongpori culture sites

Rearing Site	rearing density (inds.)	Start Mean Shell length (S.D.* ±mm)	Finish Mean Shell length (S.D.±mm)	Daily increment (µm/day)	Survival rate (%)	Finished Rearing days
Jigwido	10	40.2±3.8	77.5±9.8	168.3	60.0	390
	20	40.2±3.8	71.0±13.0	145.8	65.0	390
	40	40.2±3.8	63.0±8.1	115.2	77.5	390
	80	40.2±3.8	59.8±7.1	101.8	53.8	390
Ongpo	10	39.9±3.2	63.8±6.5	239.5	60.0	196
	20	39.9±3.2	62.1±7.0	225.7	55.0	196
	40	39.9±3.2	60.0±6.0	208.1	57.5	196
	80	39.9±3.2	58.5±7.0	195.2	26.3	196

\*S.D.: standard deviation

#### 다. 수온과 염분 내성

##### 1) 고수온 내성

고수온 내성 수온은 28, 30, 32℃ 구간에 대하여 각각의 50% 폐사시간을 조사한 결과 수온 28℃에서는 시험기간 384시간 동안 13.3%의 폐사가 발생하였다. 수온 30℃에서는 51시간까지는 폐사를 보이지 않다가 이 후 폐사개체가 발생하여 96시간 만에 50%가 폐사하였다. 수온 32℃는 36시간 만에 50%가 폐사하였다(Fig. 37).

##### 2) 저수온 내성

저수온내성 시험은 수온 7, 10 및 13℃ 조건에서 실시하였다. 수온 7℃에서는 시험시간 17시간까지는 폐사개체가 나타나지 않았으나 18 시간부터 폐사개체가 나타나기 시작하여 36시간 만에 50%가 폐사하였다. 시험수온 10℃에서는 시험시간 65시간까지는 정상 활동을 보이다가 66시간부터 폐사가 나타난 이 후 168시간 만에 50%가 폐사하였고, 수온 13℃에서는 240시간 동안 폐사 개체가 전혀 나타나지 않았다(Fig. 38).

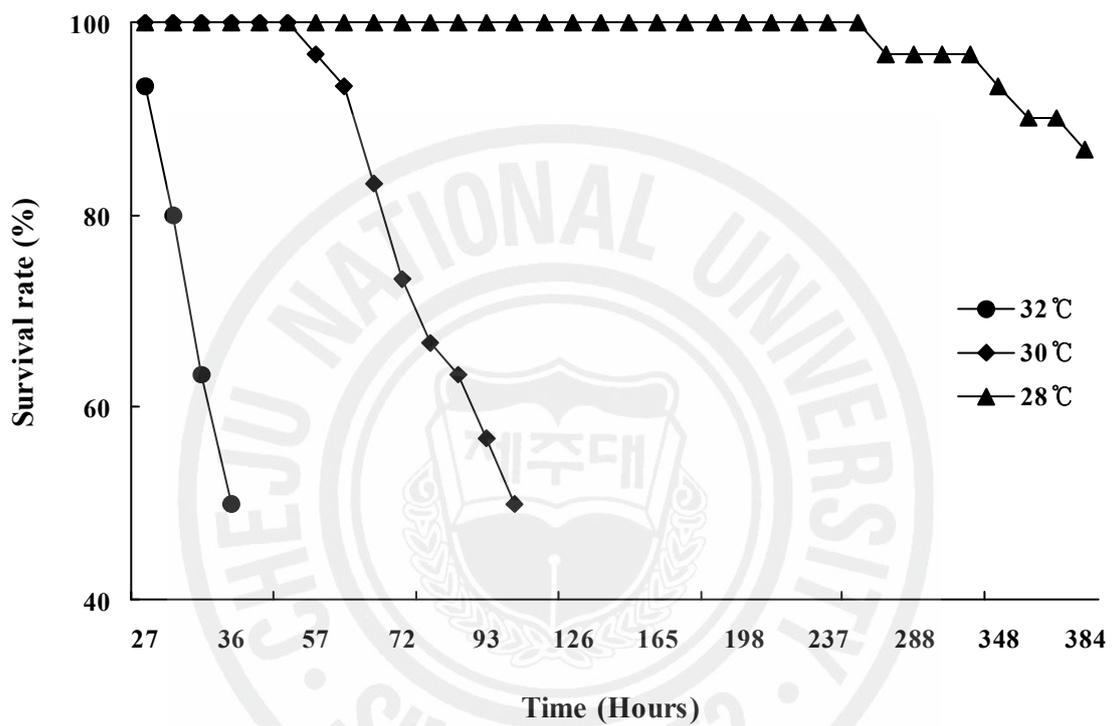


Fig. 37. Tolerance against the high water temperature of *Chlamys nobilis* (mean shell length: 40.2 mm) cultured with ambient seawater of 23.5°C mean water temperature.

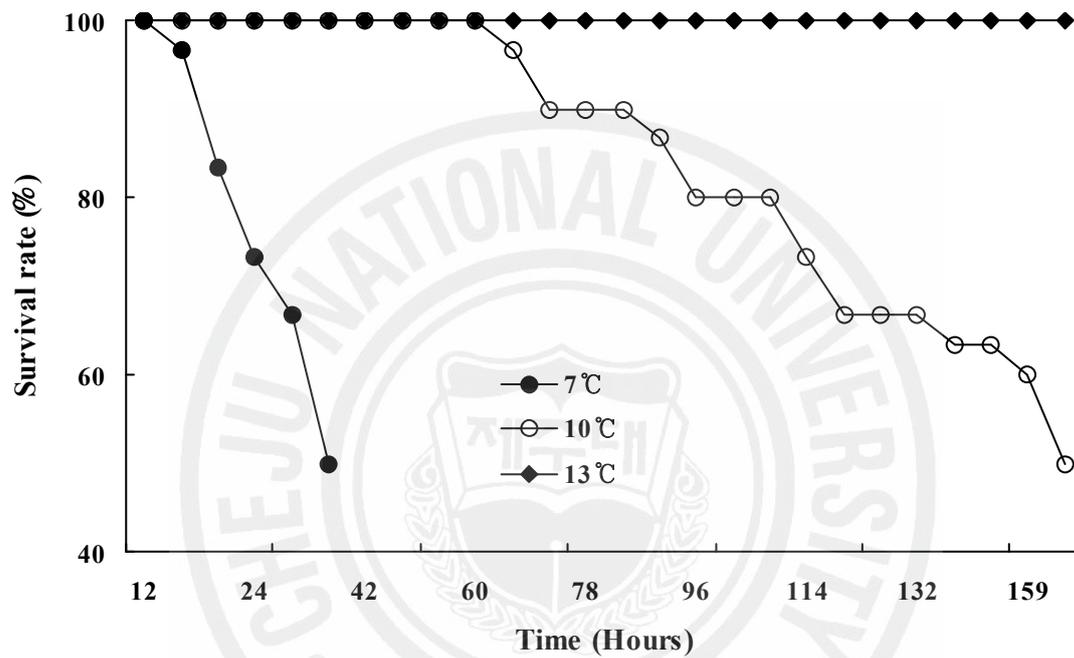


Fig. 38. Tolerance against the low water temperature of *Chlamys nobilis* (mean shell length: 60.4 mm) cultured with ambient seawater of 14.8°C mean water temperature.

### 3) 염분 내성

염분내성 시험은 수온 15, 20, 25℃의 각각의 수온조건에서 염분농도 18, 20, 22, 24, 26, 28 psu에 대하여 시험기간 354시간동안 50%폐사시간을 조사하였다.

시험수온 15℃에서의 염분내성 시험결과 염분농도 28 psu에서는 시험기간 137시간까지는 폐사개체가 없었으나 시험기간 138시간부터 폐사개체가 나타나기 시작하여 시험 종료 시까지(354시간) 30%의 폐사를 나타내었다. 그리고 그 이하의 염분농도 26, 24, 22, 20 및 18 psu 에서는 각각 261시간, 222시간, 126시간, 45시간 및 42시간 만에 50%폐사를 나타내어 염분농도 20 psu, 18 psu에서는 다른 염분농도에 비해 단시간에 50%가 폐사하였다(Fig. 39).

수온 20℃에서의 염분농도 내성시험에서는 정상염분에 가까운 28 psu에서는 315시간 동안 6.7%의 폐사를 나타냈고, 26, 24, 22 psu에서는 315시간, 189시간 및 141시간 동안에 반수폐사를 나타낸 반면 염분농도 20 psu와 18 psu에서의 50%폐사시간은 각각 33시간, 12시간으로 단시간에 나타났다(Fig. 40).

고수온인 25℃에서의 염분내성 시험결과 시험염분 28 psu에서도 339 시간에 50% 폐사를 나타내었고, 염분농도 26, 24, 22 psu에서는 각각 246시간, 156시간, 120시간에 50% 폐사를 나타내었다. 저염분인 20 psu와 18 psu에서는 시험수온 15, 20℃에서와 비슷한 경향으로 50% 폐사시간은 30시간, 5시간으로 단시간에 폐사를 나타내어 고수온일수록 저염분에 약한 결과를 나타냈다(Fig. 41).

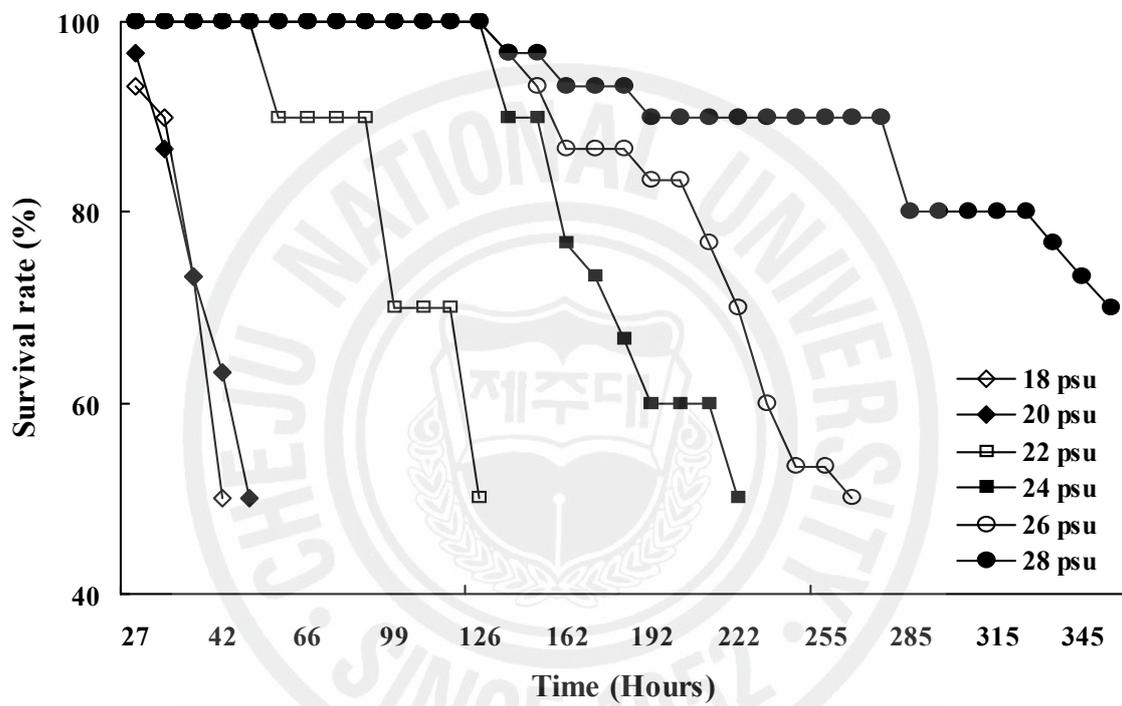


Fig. 39. Tolerance against the low salinity of *Chlamys nobilis* (mean shell length: 40.2 mm) under the condition of 15°C.

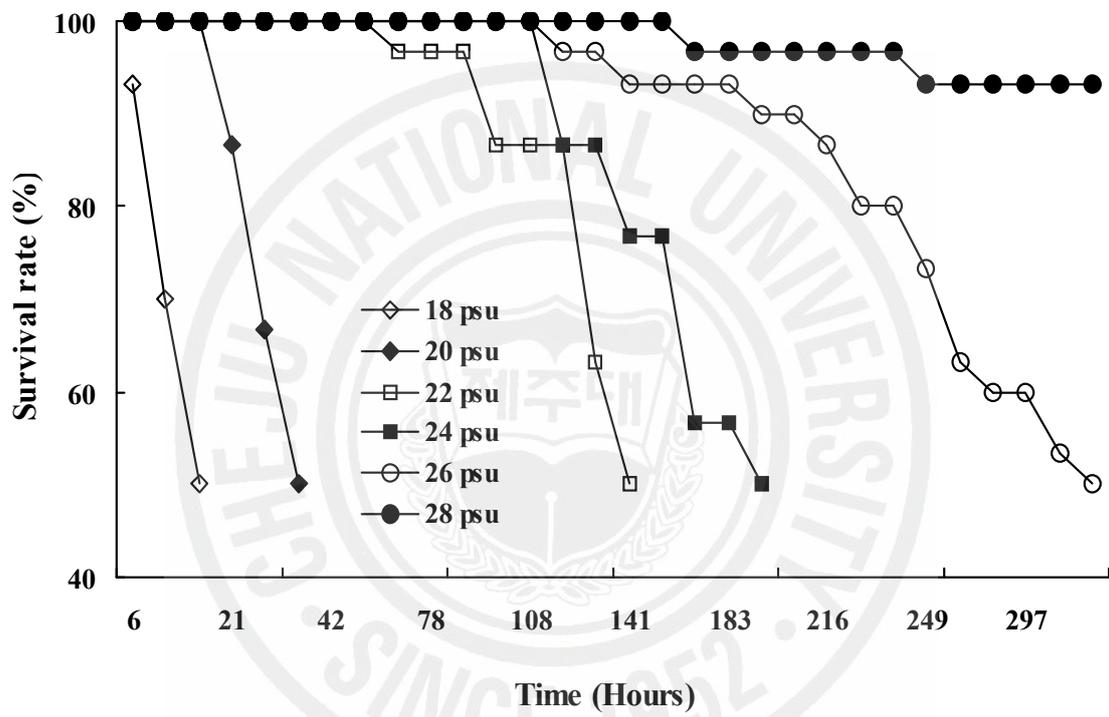


Fig. 40. Tolerance against the low salinity of *Chlamys nobilis* (mean shell length: 40.2 mm) under the condition of 20°C.

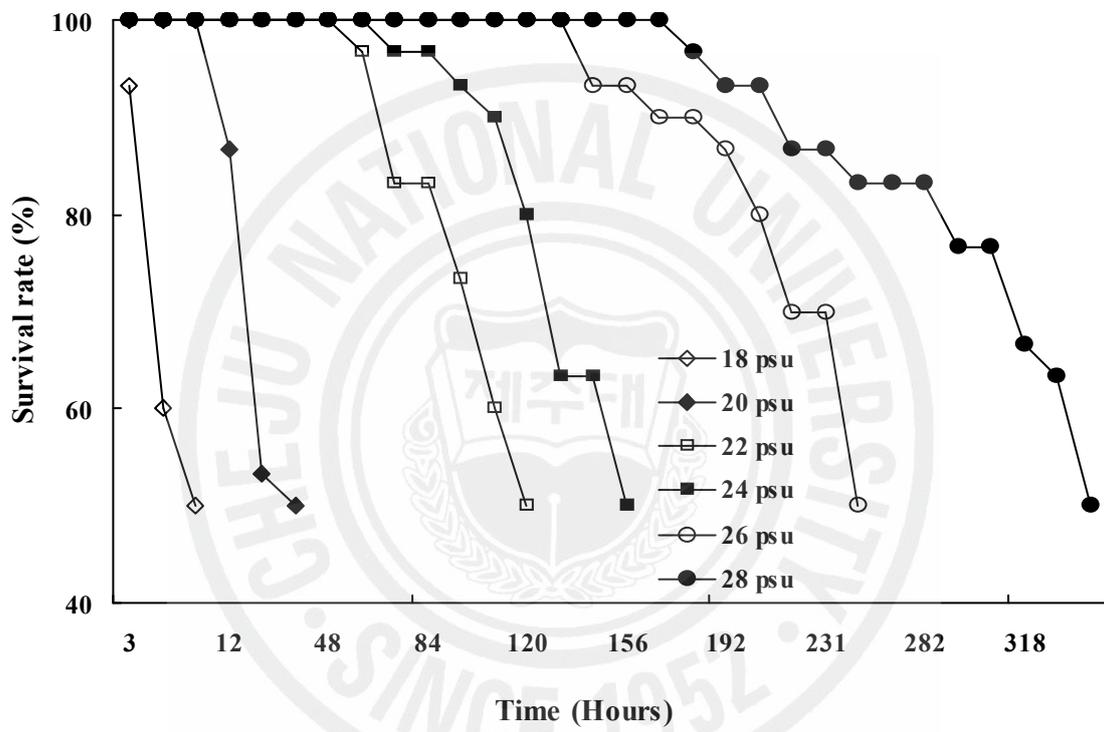


Fig. 41. Tolerance against the low salinity of *Chlamys nobilis* (mean shell length: 40.2 mm) under the condition of 25°C.

## IV. 고찰

### 생식주기

가리비류는 대부분 자웅이체이며 낮은 빈도로 자웅동체 현상이 나타나기도 한다(Naidu, 1970). 동해안 양식산 큰가리비에서 자웅동체 출현빈도는 전체 조사개체 중 2.7%이었다(Chang et al., 1997). 자웅동체 현상은 일본 미에현 양식산 혼한가리비에 대한 생식주기 조사에서 24개체 중 2마리가 자웅동체였으며 혼한가리비 치패시기에 있어서는 웅성전숙이고 성장하면서 암컷으로 성전환 가능성이 있는 것으로 보고하였다(Komaru and Wada, 1988). 큰가리비에서도 치패 시기에는 처음의 개체가 수컷이고, 성장 과정에서 수컷에서 암컷으로 성전환을 하는 것이 추론되고 있고, 자웅동체 개체도 종종 관찰된다(Osanai, 1975). *Pecten maximus*와 *Aequipecten irradians concentricus*는 자웅동체 가리비로서 자가수정이 일어난다(Sastry, 1965; Wilkins, 1978).

자웅이체 조개류 성비는 거의 1 : 1 이지만 암컷이 수컷보다 약간 많은 종이 있고, 종에 따라서 연령, 수온 및 계절적인 요인 등에 의해 성전환이 일어나므로 성비가 달라진다(Naidu, 1970; Mackie, 1984). 국내에 서식하는 민들조개, *Gomphina melanaegis* 성비조사에서 1 : 0.79로 암컷이 수컷보다 많았으나 각장 크기에 따른 성비는 큰 차이를 보이지 않음으로써 연령에 따른 성전환의 가능성은 희박한 것으로 보고하였다(Lee et al., 1999).

이 연구에서는 혼한가리비 성패 220마리를 육안적 관찰 결과 암·수 성비는 1 : 1 이었고, 조직학적 관찰 결과 일부개체에서 자웅동체 개체가 발견되었다. 수컷에서 암컷으로 성전환에 대해서는 이번 조사에서는 성패를 대상으로 조사하였기 때문에 관찰하지는 못했으나, 앞으로 혼한가리비 치패를 대상으로 성장함에 따른 성 현상에 대해서 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

가리비의 산란기를 추정하는 방법으로는 비만도 조사, 생식소 중량지수 조사, 생식소의 조직학적 관찰 및 부유유생 출현량을 조사하는 방법 등이 이용되어 왔다(川眞, 1983; Chang et al., 1985).

일본 미에현 양식산 혼한가리비 생식소 중량지수는 3월부터 증가하기 시작하여 5월에 최대값을 나타낸 이후 급격히 감소 후 다시 10월에 2번째 최고값을 나타내었

다(Komaru and Wada, 1988). 큰가리비 성숙은 수온 하강과 함께 촉진되었다가 수온이 다시 상승하는 4월부터 산란이 이루어지며, 일본 saroma호에서 수하양식한 큰가리비 성숙은 장일조건에서 성숙이 빠르게 진행된다(丸, 1976; Park, 1998). 남해안에 서식하는 왕우럭, *Tresus keenae*은 두 번 산란기를 거치며, 왕우럭과 같이 수온 변화가 큰 천해역에 서식하는 잠입성 조개류 산란기는 수온에 가장 크게 영향을 받는다(Kim et al., 1999). 이 연구에서 혼한가리비 월별 생식소 중량지수는 수온이 상승하기 시작하는 3월에 암컷 9.4, 수컷 9.7에서 점차 증가하기 시작하여 수온 20°C 전후인 6월에 암컷 17.1, 수컷 16.5로 최고 값을 나타낸 이후 감소하는 경향을 보였다. 이러한 점을 고려할 때 혼한가리비 성숙 및 산란에 미치는 수온과 일장과의 관계에 대해서는 앞으로보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

우리나라 가리비 양식산업 중 대표종인 양식산 큰가리비는 분열증식기(10월), 성장기(11~12월), 성숙기(3~4월), 산란기(4~6월) 및 회복기(7~9월)로 5단계 구분하였다(Chang et al., 1997). 우리나라 남서연안에서 양식되는 비단가리비 생식주기는 초기활성기(1~3월), 후기활성기(3~4월), 성숙기(4~8월), 산란기(6~8월) 그리고 휴지기(8~12월) 등의 5단계로 보고하였다(박, 2002). 혼한가리비 생식주기에 있어서 일본 미에현 양식산 혼한가리비 성패는 5~6월에 주 산란기를 거치고 그해 10월에 다시 산란하는 2회 산란패턴을 갖고, 생식주기는 분열증식기, 성장기, 성숙 및 산란기를 거친다고 보고하였다(Komaru and Wada, 1988). 이 연구에서 혼한가리비 생식소를 조직학적으로 관찰한 결과 주 산란 시기는 5~7월로 일본 미에현 혼한가리비와 비슷한 경향을 나타냈다. 생식주기에 있어서도 분열증식기(2~3월), 성장기(3~4월), 성숙기(4~5월) 및 산란기(5~7월)를 거쳐, 긴 휴지기(8~1월)를 거치는 것으로 유사하게 나타났다. 그러나 일본 미에현 혼한가리비는 10월에도 재 산란하는 패턴이 뚜렷하였으나 이 연구에서는 조직학적 관찰결과 각각의 암·수에서 일부개체가 10월에 방란, 방정 개체가 관찰되었으나, 대부분 암·수 구분이 불분명한 개체들이 많았으며, 뚜렷한 산란패턴은 관찰할 수 없었다.

난경 크기 조사에 있어서는 5월부터 이듬해 4월까지 조사한 결과 5월에 60  $\mu\text{m}$  이상의 난경들이 주 분포를 보이고 이 후 6월부터 감소하기 시작하였는데 이것은 생식소지수 조사 결과에서처럼 산란기에 성숙 난을 방출하는데 따른 감소로 판단되고 이것은 난경 크기 조사 결과를 월별 빈도표로 나타낸 Fig. 12에 의해서도 뚜렷이 파악할 수 있었다. 산란기 이후는 이듬해 2월부터 관찰되기 시작하여 3월과 4월 이후 급격한 발달을 나타

냈다. 이와 같은 결과는 우리나라에 1속 1종만 서식하는 부안군 문포 앞바다에서 채취한 계화도조개, *Potamocorbula amurensis*의 난경 조사결과 완숙란의 출현빈도는 산란 시기에 임박하여 높아졌다 추계산란이 시작되면서 급격히 감소한다는 보고와도 일치하였다(Lee, 1999). 따라서 제주연안에서 혼한가리비 종묘생산을 위한 주 산란 시기는 5월에서 7월에 해당되나 산란 이후 종묘생산과 유생사육 기간이 짧게는 한달에서 두 달 정도 소요됨에 따라 종묘생산 이후의 원활한 치폐성장을 위해서는 4월경에 바다에서 양성중인 성패를 실내수조에서 성숙시킨 후 5월경에 산란 유발하여 조기에 종묘생산을 실시하는 것이 수온상승 시에 바다 양성장으로 이동시켜 빠른 성장을 유도하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

## 산란유발

일본에서 혼한가리비 산란유발 방법은 간출자극 또는 간출자극과 가온 자극방법을 혼합한 방법을 사용하여 종묘생산을 하였으나, 오늘날 혼한가리비 양식현장에서의 산란유발 방법은 주로 햇빛노출 자극 방법을 이용하는 것으로 알려져 있다(難波, 1973; Hirata et al., 1978). 그러나 지수 상태에서의 햇빛노출에 의한 자극방법을 이용하여 채란하는 방법은 기상 상태에 따라 원하는 시기에 채란을 할 수 없는 점과 실외로 채란 도구를 옮겨야 하는 단점 등이 있어 이러한 것을 보완하여 종묘생산 시 편리성을 주고자 여러 가지 산란유도 방법을 조사하였다.

일반적으로 패류의 산란유발은 원시복족목 이외의 복족류는 기본적으로 교미를 행하지만 이때패류는 체외수정을 하고(降島·羽生, 1989; Lee et al., 1997; Lee et al., 2002a), 최근 전복류에 공통으로 산란유발효과가 인정된 자외선조사해수 자극법은 이때패류 일부 종에서도 유효한 것으로 보고하고 있다(菊地·浮, 1974; 浮·菊地, 1974).

국내 이때패류 유용종에 대한 산란유발시험결과 비단가리비 종묘생산연구에서는 음건·온도자극에 화학자극(serotonin)을 병행했을 때 90.6%로 가장 높았고(Na et al., 1995), 해가리비와 해만가리비에 있어서는 5~6℃의 가온자극법이 유효하였다(Son et al., 1998, Oh, 2000; Oh et al. 2000)). 꼬끼리조개, *Panope japonica*에서는 간출자극, 자외선조사해수자극, 생식소절개, NH<sub>4</sub>OH용액 해수침가자극 등의 방법에서 생식소절개 자극 방법이 가장 유효하였고, 북방대합, *Spisula sachalinensis*의 경우는 절개법에 의한 방법으로 종묘생산 연구가 이루어졌다(Lee and Rho, 1997; Lee et al., 2002b).

일본 미에현산 혼한가리비 산란유발시험에 있어서 명암자극, 간출자극, 가온자극 등 3가지 복합자극과 음건과 가온자극 병행법, 가온 단독자극 등에 의한 산란유발에서 87.0%, 26.7%, 0%의 산란 반응률을 보였다(Hirata et al. 1978). 국내에서 혼한가리비 산란유발시험에서 직사광선을 받은 상태에서의 간출 25분 후 산란수조에 수용시켜 산란 유도를 하였을 때 60분 이내에 100% 산란하였고, 수정률은 85~90%이었다(Lee, 1991). 이 연구에서는 햇빛노출수온상승자극방법과 자외선 조사해수 자극법의 경우 100% 산란유발 보였으며, 산란반응시간도 햇빛노출 방법을 사용하여 40분 이내로 빠르게 나타났고, 음건자극 60%, 가온자극 70%로 일본 미에현 혼한가리비 산란유발의 병행자극보다 높았다(Hirata et al. 1978). 일본 미에현에서 수온상승 단독자극반응에서는 0%의 산란반응률을 나타내었는데 이것은 산란용 어미를 사육 관리하던 수온에서 직접 가온한 수온(3~4℃)에 수용한 방법을 이용하여 산란반응을 유도하였다. 그러나 이 연구에서는 사육관리수온에서 서서히 5~7℃를 상승시킨 방법으로서 같은 가온자극이어도 수온에서 약 2~3℃ 차이가 있었고, 가온방법에 있어서도 약간의 차이가 있어 산란반응률에 영향을 미친 것으로 사료된다(Hirata et al. 1978).

비단가리비 인위간출자극을 통한 산란량은 방법에 따라 180~3,500천개/마리였다(Na et al., 1995; Park et al., 2005), 혼한가리비 산란량은 3가지 복합자극에서는 평균 4,500천개/마리, 2가지 병행에서는 1,500천개/마리였고, 우리나라에서 평균 산란량은 3,125천개/마리로 보고하였다(Hirata et al., 1978; Lee, 1991). 이 연구에서 최대 3,000천개/마리로서 일본의 4,500천개/마리에서 보다 적은 산란량을 나타내었는데 이는 종묘생산을 위한 어미선택에 있어서 충분히 성숙하고 큰 개체만을 선택해서 사용했다는 보고가 있고, 이 연구에 있어서는 단순히 성숙한 개체만을 선택해서 산란시험에 가입하였기 때문에 이와 같은 산란량 차이가 발생한 것으로 판단된다(Hirata et al. 1978).

수정률에서는 음건자극 방법에서 88.6%로 가장 높았고, 가온자극 86.1%였으며, 자외선조사해수자극 방법 79.3%로 가장 낮았다. 이와 같은 결과는 산란량과 연관관계가 있는 것으로 생각된다. 즉 많은 산란량을 보인 시험구에서는 비교적 낮은 수정률을 보였고 상대적으로 적은 산란량을 보인 음건자극에서 높은 수정률을 보여 산란량은 적지만 성숙상태가 좋은 양질의 난을 산란한 것으로 판단된다.

이 연구에서 혼한가리비에 대한 산란유발방법 결과를 날씨, 산란반응률, 산란량,

산란유발 용이성 측면에서 종합해보면 햇빛노출수온상승자극방법도 유용하나 자외선조사해수자극방법이 날씨가 산란의 용이성 측면에서 보다 유용한 것으로 사료된다.

## 난 발생

혼한가리비의 수정란은 크기가 70.8  $\mu\text{m}$ 로서 큰가리비 77  $\mu\text{m}$ , 해가리비 72  $\mu\text{m}$ 에 비해 작았으나, 비단가리비 69.5  $\mu\text{m}$ , 해만가리비 52  $\mu\text{m}$ 보다는 큰 것으로 나타났다(Chang et al., 1982; Son, 1997; Oh, 2000; 박, 2002).

패류의 발생과 유생 사육시 가장 중요한 환경요인은 수온이고, 유생의 부유기간이 수온에 의해 영향을 가장 많이 받는다(Loosanoff, 1951; Walne, 1974; Kinoshita, 1989). 패류 인공종묘생산을 위해서는 수정에서 유생단계까지 초기 성장과 생존율이 중요하고 종묘생산 기간 중 먹이를 필요로 하지 않는 난 발생 및 부화단계에서는 수온과 염분 등의 환경요인에 따라 유생의 생존율이 달라진다(Immai, 1953). 이때패류 유생 발생속도에 관한 연구는 단일 수온 조건 하에서의 발생에 미치는 수온의 영향을 파악한 연구가 있으나(Lee et al., 1996), 최근 이상 기온현상과 수계의 불안정으로 단일수온조건에서 연구로는 효과적인 발생방법을 밝히기 어려워 산업화의 가능성이 있는 꼬끼리조개, 북방대합 등에 대해서는 다양한 수온에서 난 발생을 파악하여 종묘생산시 직접적인 도움이 가능하게 하였다(Lee and Rho, 1997; Lee et al., 2002).

이때패류의 수정은 대부분이 난핵포가 소실된 후에 정상적인 수정과 발생이 진행되는 것으로 알려져 있으며(Loosanoff and Davis, 1963), 혼한가리비도 수란관을 거쳐 방란 되면서 정자와 만났을 때 수정이 이루어지고 정상적인 발생이 시작된다. 이 연구에서 혼한가리비의 수온별 발생 시험 결과 수온 5~10°C의 범위는 정상적인 발생이 이루어지지 않았고, 15~30°C의 경우는 정상적인 발생을 나타내었다. 초기발생은 대부분의 이때패류와 비슷한 과정을 거치며 변태하였고, 각 시험수온별 부화율, D상 변태율 및 생존율은 25°C 시험구에서 가장 높은 결과를 나타내어 인공종묘생산을 위해서는 단시간 내에 건강한 유생을 확보하는 것이 중요하기 때문에 25°C에서의 유생사육 관리가 효과적일 것으로 생각된다.

초기 D상까지의 소요시간은 각 수온별(15, 20, 25 및 30°C)에 따라 63.5, 32.5, 19.5

및 17.0 시간으로 수온 15℃에서는 발생속도가 느리지만 수온이 높아질수록 난 발생이 빨라지는 것으로 나타났다. 다른 가리비류와의 발생속도 비교에서 수온 18℃ 경우 비단가리비는 40시간으로 유사한 결과를 보였고, 해가리비는 수온 20℃에서 45시간, 해만가리비는 수온 24℃에서 28시간으로 혼한가리비가 다소 빠른 결과를 나타냈다. 또한 D상까지의 생존율에 있어서는 비단가리비 수온 20℃에서 60.5%, 해가리비는 수온 20℃에서 10.4~25.2%, 해만가리비는 수온 24℃일 때 25.2%였고 혼한가리비는 수온 20℃일 때 71.8로 다른 가리비류보다 D상까지의 생존율이 높게 나타났다(Son et al., 1998; Oh, 2000; 박, 2002).

수온과 각 단계별 경과시간과의 관계에서 혼한가리비의 난 발생이 정지하는 생물학적 영도는 평균 10.44℃로 계산되었으며, 한대성인 코끼리조개는 3.82℃였으나 북방대합은 5.5℃보다 높게 나타났고, 온대성인 바윗굴, *Crassostrea nippona*은 10.96℃과는 비슷한 수온에서 발생이 이루어지는 종으로 판단된다(Yoo and Kang, 1996; Lee and Rho, 1997; Lee et al., 2002).

### 부유유생사육

패류의 인공종묘생산에 있어 유생의 성장기에 미치는 중요한 환경요인으로서 수온, 수용밀도, 먹이생물 및 조도 등을 들 수 있으나 그 중에서도 수온은 성장을 지배하는 가장 중요한 요인으로 수온에 따라 먹이생물의 섭취량이 달라지고 유생의 성장도에도 큰 영향을 미친다(Loosanoff, 1951).

이 연구에서 혼한가리비 유생사육 적수온은 25℃로 수온 20℃와 고수온인 28℃보다 빠른 성장을 나타냈고, 사육수온 20, 24 및 28℃에서의 일간각장성장률은 4.6, 7.1 및 6.1  $\mu\text{m}/\text{day}$ 였다. 부착기까지는 12일(평균 각장 205  $\mu\text{m}$ )이 소요되어 해만가리비 15일(평균 각장 298.3  $\mu\text{m}$ ), 해가리비 17일(평균 각장 234.4  $\mu\text{m}$ ), 비단가리비 18일(평균 각장 175.4  $\mu\text{m}$ )보다 빠르게 나타났다(Son et al., 1998; Oh, 2000; 박, 2002).

부유유생기 수온과 성장에 대하여 서부호주에서 *A. balloti*는 25℃ 이상에서는 유생의 폐사율이 높아진다(Cropp, 1993). 이 연구에서 혼한가리비 수온별 생존율을 보면 수온 20, 24, 28℃에서 시험 3일째에는 비교적 높은 생존율을 보였으나 시험 6일째부터 수온 28℃는 폐사율이 높아지고 시험 9일째에는 각각의 수온 28℃에서 생존율 40.2%로 나타나 대량폐사가 나타났고, 시험 종료시인 12일째 시험수온 20℃와

24℃ 생존율은 54.2%와 58.8%였으나 수온 28℃는 21.1%로 낮았다.

패류의 인공종묘생산에 있어 적정 수용밀도를 정하는 것은 매우 중요하고, 성장은 사육밀도에 큰 영향을 받는다. 참굴, *Crassostrea gigas*의 부유유생 사육에서 사육수 1 mL당 1개체에서 5개체로 유생의 밀도가 증가하게 되면 D상유생의 경우에는 성장이 16% 감소하는 반면, 이보다 많은 경우에는 60%가 감소하였다(Helm and Millican, 1977). 참굴 유생을 크기별로 수용밀도를 달리하여 연구한 결과, 수정 후 1~6일째(각장 75~120  $\mu\text{m}$ )에는 사육수 1 mL당 10개체, 7~14일째(각장 130~200  $\mu\text{m}$ )에는 5~10개체 그리고 14일 후 부착단계(각장 200~300  $\mu\text{m}$ )에는 5개체가 적당하다(Breese and Malouf, 1975). 꼬끼리조개 유생 밀도별 사육시험에서 평균 각장 성장은 5개체 이하에서 176.5~188.9  $\mu\text{m}$ 로 가장 빨랐고, 생존율은 3개체 이하에서 25.2~41.5%로 가장 높았다(Lee and Rho, 1997). 비단가리비 유생사육 결과에서는 사육수 1 mL당 1개체구에서 각장 187.9  $\mu\text{m}$ , 5개체구에서 183.3  $\mu\text{m}$ 로 증가한 반면 10개체구와 20개체구에서는 각각 각장 163.2  $\mu\text{m}$ , 158.9  $\mu\text{m}$ 로 성장이 저조하고 생존율에 있어서도 사육수 1 mL당 1개체구와 5개체구에서는 각각 28.7%와 22.3%를 나타내었으나 고밀도인 10개체구, 20개체구에서는 각각 9.8%, 5.6%로 생존율이 저조한 것으로 보고하였다(박, 2002).

이 연구에서는 혼한가리비 유생밀도를 1 mL당 1, 2, 4 및 8개체로 하여 조사한 결과, 시험구 각장 성장은 유생사육 6일 후부터 성장차가 나타나기 시작하여 시험 종료 시에는 사육수 1 mL당/1 개체구에서 183.4  $\mu\text{m}$ , 2개체구에서 175.6  $\mu\text{m}$ 로 증가하였다. 4개체구와 8개체구에서는 156.2  $\mu\text{m}$ , 148.7  $\mu\text{m}$ 로 성장이 저조하였고 이때의 일간 각장성장율은 사육수 1 mL당 1, 2, 4 및 8개체/mL에서 각각 6.3, 5.6, 4.5 및 3.4  $\mu\text{m}$ 로 사육수 1 mL당 1개체구가 8개체구에 비해 2배 가까운 일간각장성장량을 나타내었다. 시험종료시 생존율은 사육수 1 mL당 1개체구에서 36.7%, 2개체구에서 37.2%, 4개체구에서 30.4%의 생존율을 나타냈으나 고밀도인 8개체구에서는 10.0%로 생존율이 저조하였다.

이때패류는 식물부유생물을 여과 섭식하는 식성이므로 이때패류의 인공종묘생산을 위해서는 먹이생물의 확보는 필수적이라 할 수 있다. 또한 이때패류의 부화유생의 사육에는 알맞은 크기와 영양을 갖춘 먹이생물의 대량확보가 중요하며 특히 먹이의 질적 조건은 유생의 생존율과 성장에 대단히 중요한 요소가 된다. 이때패류의 먹이로 주로 이용되는 종은 *C. calcitrans*, *P. lutheri*와 *I. galbana* 등으로 단세포

식물플랑크톤은 세포내에 함유된 영양물질에 따라 유생의 성장, 변태 및 생존에 큰 영향을 미치게 된다(Halland, 1978; O'Connor et al., 1992).

이 연구에서는 3종의 먹이생물을 단독 또는 혼합 공급하여 각장크기 108.0 $\mu\text{m}$ 의 초기 D상 유생부터 12일간 사육한 결과 성장은 *C. calcitrans*+*I. galbana*+*P. lutheri* 공급구가 196.7  $\mu\text{m}$ 로 가장 좋았고, 다음은 *C. calcitrans*, *I. galbana*, *P. lutheri*의 순이었다. 성장은 각각 185.9  $\mu\text{m}$ , 179.3  $\mu\text{m}$  순으로 먹이생물 3종을 혼합 투여한 시험구가 성장이 가장 빨랐으며, *P. lutheri*를 단독 공급한 시험구가 가장 저조하였다. 이때 일간각장성장량은 *C. calcitrans*+ *I. galbana*+*P. lutheri* 공급구가 7.4  $\mu\text{m}$ , *C. calcitrans* 공급구 6.5  $\mu\text{m}$ , *I. galbana* 공급구 5.9  $\mu\text{m}$ , *P. lutheri* 공급구가 5.6  $\mu\text{m}$ 로 나타났다.

생존율에서는 시험 종료 시인 12일째에 *C. calcitrans* + *I. galbana* + *P. lutheri* 공급구 43.3%, *C. calcitrans* 공급구 45.6%, *I. galbana* 공급구 33.3%, *P. lutheri* 공급구 41.0%로 *C. calcitrans* 공급구가 가장 높은 생존율을 보인 반면 *I. galbana* 공급구가 가장 저조하였다. 이는 피조개 및 참담치 유생의 먹이로 단독구 보다는 혼합 공급하는 것이 먹이효율이 좋다고 보고한 것과 일치한다(류 등, 1993a, b).

위의 고찰에서 유생사육조건에 대한 종합적인 검토 결과 혼한가리비에 대한 유생 사육조건은 수온조건은 25 $^{\circ}\text{C}$ , 먹이공급 방법은 *C. calcitrans*, *I. galbana*, *P. lutheri* 등의 3종을 혼합 공급하는 것이 바람직하고 사육밀도에 있어서는 1~2마리/mL 가 적당한 것으로 사료된다.

#### 부착 자패 및 초기 치패 성장

가리비 유생부착은 양식방법에 따라 자연채묘와 인위적인 채묘가 있는데, 동해안 큰가리비는 자연채묘를 선호하고 있다. 자연채묘를 통한 종묘생산 안정화를 위한 조건으로는 부착기 유생의 출현량과 유생 부착을 위한 기질의 종류, 유생의 밀집 수역 및 부착 적정 수심, 채묘시기 정확한 예측 등 채묘의 경제성(채묘기 당 치패부착량 200개체 이상)을 확보할 수 있는 기술이 필요하다(Park, 1998). 특히 유생부착 기질과 수용량은 치패 생산의 효율성 증대에 매우 중요한데, 채묘기의 기질은 monofilament 망사를 그물주머니에 넣어 치패를 식해자로부터 보호할 수 있는 것이 좋으나 물의 흐름을 방해해서는 안된다(Thorarinsdottir, 1991). 그러나 인위적인 채

묘방법에 있어서는 실내에서 채묘한 후 일정기간 실내사육으로 성장시킨 후 바다로 나가 사육시키는 방법을 사용하기 때문에 부착률이 높은 기질을 찾아내어 채묘하는 것이 바람직하다.

비단가리비 경우는 실내유생 사육으로 유생단계에서 표층에서 활발히 유영하다가 각장 176  $\mu\text{m}$  전후에서는 모든 개체가 죽사로 부착한다(박, 2002). 이 연구에서 .혼한가리비 유생은 수중에서 활발히 유영하다가 각장 205  $\mu\text{m}$  전후에서는 모든 개체가 죽사를 내어 부착기질에 부착하는 것이 관찰되었다. 인공채묘 과정에서 채묘기별 부착률은 염화비닐판을 수평으로 놓은 것이 2.93%로 가장 양호하였고, 그 다음이 차광망으로 2.01%, 양파망이 1.86%, 염화비닐판을 수직으로 세워 놓은 것이 1.48%로 가장 낮았다. 이와 같은 결과는 비단가리비 유생이 염화비닐판 수평과 수직채묘, 양파망, 굴패각 등에 대한 채묘기별 유생부착시험에서의 결과와 유사하였으나, 해가리비에 대한 채묘기별 유생사육 결과에서는 양파망이 염화비닐판보다 부착률이 양호하게 나타났다는 결과와는 달랐다(Son, 1997; 박, 2002). 이는 해가리비가 혼한가리비나 비단가리비보다 유생의 죽사의 부착력이 약한 점과 죽사에 의한 부착기간이 대단히 짧은 생태적 특성 때문에 부착 자패가 탈락되기 쉬운 염화비닐 파판 재질과 수직으로 수하한 그물 채묘망보다는 채묘기가 들어있는 양파망 주머니 내로 부착기 유생을 부어 넣은 것이 부착치패의 탈락 방지효과 면에서 좋은 결과를 얻어던 것으로 판단된다.

부화 후 12일째 부착 자패에서 사육 60일째까지 측정된 부착 자패의 경과일수에 따른 각장의 성장은  $SL = 0.1664e^{0.0579x}$  ( $r^2 = 0.924$ )의 회귀직선식으로서 나타났다. 제주연안에서 1 mm 정도의 부착 자패를 대상으로 초기치패의 성장을 조사한 결과 사육수온이 21.5~25.1 $^{\circ}\text{C}$  범위인 8월부터 10월까지 각장크기가 각각 13.0, 23.1, 30.3 mm로 비교적 높은 성장을 나타내었으나 수온이 낮아지는 11월부터는 성장이 둔화되었다. 이때 일간각장성장량에 있어서도 8월부터 10월까지 106.9, 240.5, 306.1  $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 지속적으로 높아지다가 11월 230.2  $\mu\text{m}/\text{day}$ , 12월 123.7  $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 감소하였고 이것은 수온 20 $^{\circ}\text{C}$ 를 기점으로 그 이상일 때는 계속적으로 성장이 증가경향이었으나 수온이 20 $^{\circ}\text{C}$  이하로 내려가는 11월부터는 감소하기 시작했다.

일본에서 혼한가리비 유생의 부착 전 생존율은 평균 31~90% 범위였다. 부착 후 바다로 나가 성장시킨 후 각장 1 mm 크기 생존율은 0.7~8.8%였고, 8톤 콘크리트 수조에서 유생사육시 생존율은 90%였다. 이 후 1 mm 치패의 생존율은 1.9%로 대

형수조에서 부착치패 사육가능성을 시사하고 있다(難波, 1973).

### 서식환경 및 생태

수산생물에 영향을 미치는 환경요인으로는 수온, 염분, 용존산소 등 여러 가지가 있으며, 수온은 대사활동과 성장에 많은 영향을 미치고, 큰가리비 생육과 성장에 가장 큰 영향을 준다(Sanders, 1968; Hong, 1987; Choi and Koh, 1990; Lim et al., 1991). 가리비류 서식수온은 *Amusium balloti*는 호주의 동부와 서부의 19~24°C 수온범위에서 서식하며(Rose et al., 1988), *A. pleuronectes* (Linnaeus, 1758)는 필리핀과 태국 등 더운 지역에 분포하며 적정양식 수온은 26~28°C로 밝혀져 있다(Beldam and del Norte, 1988). 해만가리비는 생존 가능한 수온범위가 -1~31°C로 광범위하고, 성장에 적합한 수온범위는 18~28°C이며 10°C 이하에서는 성장이 지체되고, 5°C 이하에서는 정지된다(YSFRI, 1991). *C. opercularis*의 성장도 수온에 영향을 받는다(Broom and Mason, 1978).

수온 23°C 이상에서는 가리비 점모운동이 지장을 받고 약 5°C 이하 기간이 오랫동안 지속될 때에는 생존에 영향을 미친다(Yamamoto, 1964). 국내에서 큰가리비 양식에 관한 연구에서 강원도 북부 거진 연안의 경우 7월부터 9월까지 수층별 최고 수온이 표층 27.2°C, 10 m 층 25.2°C, 15 m 층 24.4°C로 10~15 m 수층에서는 7월 중순부터 9월 상순까지 서식 한계수온 이상의 고수온이 50일 이상 지속되어 북부해역에서 양식중인 큰가리비의 폐사현상이 크게 발생하였다(Park, 1998).

이 연구에서 제주시 한림읍 옹포리 연안과 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안의 측정수온은 12.0~29.0°C 범위였다. 그리고 치패성장 및 중간육성 시 겨울철 월동이 가능하였으며, 여름철 고수온 시기에 폐사개체가 발생하지 않는 점으로 보아 지역적인 수온범위 내에서 혼한가리비 생존에 직접적인 큰 영향이 없는 것으로 생각된다.

일반적으로 가리비류는 고염분에서 서식하는 종으로 알려져 있으나 염분의 큰 변동은 성장을 저해하는 원인이 됨은 물론 폐사에 이를 수도 있다(Andersen and Nass, 1993). 제주연안에 서식하는 해가리비가 분포하는 서귀포 연안의 계절별 염분 조사에 의하면 연중 31.57~35.14 psu 범위로서 같은 속의 *A. pleuronectes*와 *A. balloti*에 비하여 다소 낮은 염분에서 살고 있지만 안정적으로 서식하고 있다(Son, 1997). 시험기간 중 제주연안의 염분은 전 기간을 통하여 31.5~35.5 psu 범위로 비

교적 안정적이었다.

용존산소는 수산생물의 생존에 제한인자로 작용하여 어패류의 대사에 필요한 농도 4.3 mL/ℓ 이하에서는 생리적 장애를 받고 3.6 mL/ℓ 이하에서는 해저의 정상적인 저서생물 분포를 위협하며, 2.2 mL/ℓ 이하에서는 패류에도 나쁜 영향을 주는 것으로 밝히고 있다. 용존산소량 1.4~2.7 mL/ℓ 에서 어패류를 폐사시킨다고 하였으며 저서생물의 생리적 변화를 일으키는 농도를 2.7~4.3 mL/ℓ 라 하였다(臧本·中田, 1992). 용존산소 결핍현상은 일시적 자연현상으로도 나타날 수 있다. 특히, 1995년 9월에 동한난류를 타고 강원연안까지 북상한 유독성 편모조류, *Cochlodinium* 등과 같은 적조에 양식어장이 일시적으로 노출될 경우 용존산소 결핍현상이 나타났다(Park, 1998). 따라서 조사연안의 용존산소량은 한림읍 옹포리 연안의 경우 표층과 저층이 5.74~9.87 mL/ℓ 이고, 남원읍 위미리 지귀도 연안은 6.24~10.91 mL/ℓ 로 남원읍 위미리 지귀도 연안이 한림읍 옹포리 연안보다 다소 높았고 이들 수치는 혼한 가리비, 서식에 적합한 농도였다.

영양염류 중 이 연구에서 제주연안의 인산인의 농도는 0.01~2.40  $\mu\text{g-at}/\ell$  범위로 1980년대의 연간 0.03~1.76  $\mu\text{g-at}/\ell$  의 결과와 유사하게 나타났으며 수산생물의 서식에 지장이 없는 수질 II등급수의 범위 내에 들어있어 비교적 안정상태를 보이고 있다(Kang et al., 1996).

Chlorophyll-a는 먹이생물 양을 간접적으로 파악할 수 있는 지표로 생각할 수 있다. 해만가리비의 경우 최적성장을 유지하기 위한 Chlorophyll-a 농도는 1.40  $\mu\text{g-at}/\ell$  이상이면 충분하며, 식물성플랑크톤 감소가 해만가리비 성장차이를 일으키는 환경요인으로 작용한다고 보고하였다(Wildman, 1980; Andi, 1993). 제주시 한림읍 옹포리 연안에서 Chlorophyll-a는 2001년 8월에 0.21  $\mu\text{g-at}/\ell$  로 최저치를 2001년 2월에 1.34  $\mu\text{g-at}/\ell$  로 최고치를 보였고, 서귀포시 남원읍 위미리 지귀도 연안에서는 2001년 11월에 1.05  $\mu\text{g-at}/\ell$  농도로 최저치를, 2001년 2월에 4.61  $\mu\text{g-at}/\ell$  로 최고치를 보여, 지귀도 연안의 최저치와 옹포리 연안의 최고치와 비슷한 경향이였다. Chlorophyll-a량의 지역별 비교는 작게는 1배에서 많게는 4배까지 지귀도 연안에서 Chlorophyll-a량이 높았다. 이것은 수심별 및 밀도별 중간양성 결과에도 나타났듯이 지귀도 연안에서의 중간양성 시 치패 성장량이 지귀도 연안에서 높게 나타난 결과가 수온뿐만 아니라 Chlorophyll-a량이 높은 데에도 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

## 중간양성

우리나라에서 가리비양성은 주로 채룽식 양성에 의해 이루어지고 있다. 그러나 채룽식 양성의 경우, 단위 면적당 생산성과 해적생물에 의한 어장관리의 어려움 등으로 생산성을 높일 수 있는 귀매달이 양성이 함께 시도되고 있다. 중간양성의 적정 수용밀도는 본 양성 이식 후의 성장과 생존율에 큰 영향을 미치는데, 성장률과 수용밀도 사이에는 반비례 관계에 있다(Imai, 1977; Ventilla, 1982). 이와 같은 결과는 giant scallop, *P. magellanicus*와 진주담치, *Mytilus edulis* 같은 다른 조개류에서도 나타나고 있다(Parsons and Dadswell, 1992; Rodhouse et al., 1984). 많은 조개류에서 성장률 변화는 온도와 영양조건에 관계가 있으며, 특히 고밀도 수용에 의한 성장률 감소는 한정된 먹이생물의 경쟁과 상호간의 stress에 기인한다(Kirby-Smith and Barber, 1974; Rodhouse et al., 1981; MacDonald and Thompson, 1985; Wilson, 1987).

이 연구에서 제주연안에서 연중 흔한가리비에 대한 양식가능성을 타진하기 위해 제주도 옹포 연안 1개소와 서귀포시 남원읍 지귀도 연안 1개소에서 수심별 및 밀도별에 대해서 성장과 생존율에 대해서 조사 결과 지역별 성장은 서귀포시 남원읍 지귀도 연안에서의 성장이 양호하였다. 제주연안 2개소 Chlorophyll-a 농도는 옹포 연안의 Chlorophyll-a의 농도는 전 조사기간 동안  $0.21 \sim 1.34 \mu\text{g-at}/\ell$ 에 머물러 가리비 성장에 필요한 농도를 충족시키지 못하였다. 그러나 지귀도 연안은  $1.05 \sim 4.61 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 분기별 8회 측정기간 동안 2001년 11월과 2002년 2월 측정 시 Chlorophyll-a 농도가 각각  $1.05, 1.09 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 낮게 나타날 뿐 그 이외의 기간에서는 필요 농도 보다 훨씬 높게 나타나고 있는 것과 관련이 크다고 생각된다. 그리고 조사기간 동안의 수온에 있어서도 옹포 연안에 비해 지귀도 연안에서 겨울철 3~4개월 동안 수온이  $0.5 \sim 1.0^\circ\text{C}$  정도 높게 나타나는 것도 성장 차이를 나타내는데 원인이 있는 것으로 사료된다.

이매패류의 성장은 식물플랑크톤보다는 온도 의존성에 기인한다고 보고하였으나 (Rhodes and Widman, 1980), *Chlamys opercularis*의 성장은 온도와 식물플랑크톤의 농도에 상호 영향을 받는다고 하였다(Broom and Mason, 1978). 수층별 성장은 *C. islandica*의 연구결과에서 표층역인 2~12 m 수층이 40 m 수층보다 빠르성장의

원인은 온도와 먹이 이용성 차이에 의해 발생한다(Wallace and Reinsnes, 1985). 동해안에서 양식하는 큰가리비에 대한 수층별 사육에서는 고수온기인 8~9월에는 20~25 m 수층, 저수온기인 12월~이듬해 3월까지의 12~17 m 수층에서 성장이 좋았으며, 5 m 부근의 상층은 성장이 느렸다(Park et al., 2000). 이와 같이 큰가리비의 성장 수심은 *C. islandica*에 비해 깊었지만 온도와 식물 플랑크톤의 수층별 농도에 영향을 받는 것으로 사료된다(Broom and Mason, 1978).

비단가리비에 대한 수심별 성장 결과, 각장 및 전중량은 표층 시험구의 성장이 저층 시험구보다 좋았고, 사육 종료 시 각장은 표층 시험구가 저층 시험구보다 성장이 양호하였다(박, 2002). 이와 같은 결과는 Sea scallop을 여러 해역에 수심별로 사육한 결과 수심이 얇은 곳이 깊은 곳보다 성장이 양호하였다는 보고와 일치하고 있다(MacDonald, 1984). 제주연안에 서식하는 해가리비 인공치패의 중간육성 결과 수심별 사육에서의 성장차이는 나타나지 않았으나, 각장 41.7~44.7 mm의 자연산 치패를 수심 10, 15, 20 m에서 90일간 사육한 결과, 수심 20 m에서 성장량 및 생존율에서 양호하다고 보고하여 큰가리비의 결과와 유사하였다(Son, 1997). giant scallop, *P. magellanicus*는 바닥양성에 비하여 수하식 양성에서의 성장이 더 빠르다(MacDonard, 1986; Parsons and Dadswell, 1992).

이 연구에서 혼한가리비에 대해 옹포 연안 및 지귀도 연안에서 수심 5, 10, 15, 20 m로 사육한 결과는 2개소 모두 수심 5 m에서 성장이 빠르고, 수심이 깊어질수록 낮아지는 경향을 나타내어, 비단가리비와 *C. islandica*의 결과와 일치하였다(박, 2002). 이와 같은 결과는 용존산소나 기타 환경조사 항목에서 표층에서 높은 수치를 나타낸 것과 관련이 있는 것으로 사료된다. 일본에서의 혼한가리비 6 mm 치패에 대해 61일간 수심별 1.5, 2.0, 2.5 m 성장시험 결과, 수심 1.5 m에서 6.14 mm, 일간 성장량 0.109  $\mu\text{m}$ 이고, 수심 2.0 m에서 일간성장량 0.121  $\mu\text{m}$ , 수심 2.5 m에서의 일간 성장량은 0.124  $\mu\text{m}$ 로 나타나 시험수심에서는 수심이 깊어질수록 성장이 좋은 것으로 나타났다.

밀도별 성장은 채롱식 수하양성에서 고밀도로 수용한 경우의 성장률 감소는 한정된 먹이와 공간의 경쟁에 원인이 있다(Widman and Rhodes, 1991). 생물사육시 밀도별 성장은 저밀도에서 고밀도로 밀도가 높아질수록 성장이 지연되는 것이 일반적인 사항으로 이 때 고려해야 할 점은 사육밀도와 성장량간의 양식경제성을 고려하는 것이 바람직하다고 생각된다. 동해안 양식산 큰가리비에 대한 밀도별 성장 결과,

수용밀도 5개체에서는 일간 성장량이  $0.124 \mu\text{m}/\text{day}$ , 수용밀도 18개체는  $0.098 \mu\text{m}/\text{day}$ 로 밀도가 높을수록 성장이 낮았다. 양성기간 중 수용밀도 12개체까지는 평균 각고 11 cm 내외의 상품성이 있는 개체로 성장하였으나, 수용밀도 16개체 이상에서는 평균 각고 10.3 cm로 낮아져 상품성이 저하되어 양식의 경제성을 확보하기 위해서는 양성 채롱 1칸당 10~15개체 내외로 수용하는 것이 바람직하다(Park, 1998).

일본 오이다현에서 혼한가리비 6 mm 치패에 대해, 100마리/채롱, 200마리/채롱 밀도별로 사육한 결과 100마리구에서 일간평균성장량  $117 \mu\text{m}$ , 200마리구에서 일간 성장량  $100 \mu\text{m}$ 로, 100마리구에서 높게 나타났다(木谷, 1985).

이 연구에서 혼한가리비에 대한 밀도별 사육시험은 10, 20, 40, 80마리/채롱 별로 실시한 결과 옹포연안 및 지귀도 연안 2개소 모두에서 10마리/채롱에서 가장 양호하였고, 이 후 20, 40, 80마리/채롱 별로 성장이 더디게 나타났다. 10마리구와 20마리구에서는 유의차는 없었고 40마리, 80마리구와 차이가 나타나는 것으로 보아 종합적인 측면에서 제주연안에서의 혼한가리비 중간양성시 사육밀도는 10~20마리/채롱으로 사육하는 것이 바람직하다고 생각된다.

## 수온 및 염분내성

일반적으로 변온동물은 환경에 수동적으로 순응하면서 변화된 온도에 장기간 유지되면 대사 작용을 재 조절하는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 온도변화에 대한 대사 작용의 온도보상 또는 온도순화는 이들 동물의 환경적 적응이라고 할 수 있다. 온도는 대사율, 활성도 및 에너지 균형 등에 영향을 미치는 직접적인 요인이며 (Newell and Kofoed, 1977; Venables, 1981), 염분에 의한 삼투조절 능력은 생태적 내성에 영향을 미치므로 해양생물의 분포를 결정하는 중요한 요인 중의 하나이다 (Kinne, 1966; Rippingale and Hodgkin, 1977). 대부분 생물은 환경변화에 대하여 보상할 수 있는 능력을 가지고 있으며, 이러한 능력은 정상적인 환경범위 내에 있다. 이매패류의 수온 및 염분에 대한 내성은 그들의 서식환경에 따라 영향을 받으며, 지리적 분포나 생리적 적응현상에 다양한 영향을 미친다. 온도내성 한계는 생물이 이전에 경험했던 비유전적 적응의 범위와 관련되어 있으며, 반면에 동일한 환경조건하에서 생물이 서로 다른 온도내성 범위를 갖는 것은 그 생물이 가지는 한정된 유전적 범위로서 보고하고 있다(Otto, 1973).

온도내성에 관한 연구는 어류에서 상·하한 온도내성 한계 및 치사온도에 관한 연구가 수행되었으며(Menasveta, 1981; Wiliam, 1997), 패류에서는 계절 및 지리적 분포와 온도변화에 대한 대사반응과 유생의 온도내성 등을 보고하였다(Wilson, 1981; Wright et al., 1983; Hilbish, 1987; Wilson and Elkaim, 1991; Urban, 1994). 패류에 미치는 온도의 영향은 성장, 생존 및 생식특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Calow, 1981; Wilson, 1988).

복족류 3종 치패에 대한 급성온도내성 시험에서 까막전복은 수온 33℃에서 20시간 경과 후 10%의 폐사를 나타내었고, 수온 34℃에서 LT50은 22시간이었고, 오분자기도 수온 34℃까지는 전혀 폐사개체가 나타나지 않았지만 수온 35℃에서는 LT50은 24시간으로 급속한 폐사를 나타내었다. 소라는 수온 36℃에서는 10%의 폐사개체가 나타났으나 수온 37℃에서는 LT50은 28시간으로 전복이나 오분자기보다 비교적 고수온에 강한 것으로 보고하고 있다(Won et al., 2001).

이매패류인 바지락, *Ruditapes philippinarum*에 대해 18℃와 25℃에서 10일간 순응시킨 후, 하루에 1℃씩 수온을 상승시켜 온도내성을 시험한 결과 수온 30.1~33.7℃ 범위에서 반수치사를 나타내고, 순응시킨 온도에 따른 반수치사 온도의 차이는 나타나지 않았으나, 최대 임계온도는 18℃ 순응시험구에서 36℃였으며, 25℃ 순응시험구에서는 37℃로 순응온도가 증가할수록 온도에 대한 내성이 다소 크다는 것을 보고하였다(Shin et al., 2000).

홍합, *Mytilus coruscus*의 고수온에 대한 내성은 수온 20, 25, 28, 30 및 33℃에서 9일 동안 사육시키면서 생존율을 조사한 결과, 30℃ 이상에서는 7일째 모두 사망하였으며, 28℃에서는 25%, 그리고 25℃ 이하에서는 90%이상의 생존율을 나타내었고, 생존율과 반수치사 수온은 27.09℃였으며, 95% 신뢰한계는 26.62~27.52℃ 범위였다(Shin and Wi, 2004).

제주연안의 특성상 중국대륙수 대량유입으로 고수온과 저염분수에 노출되는 경우가 종종 발생하고 있다. 실례로 1996년 8월에는 평년보다 훨씬 낮은 저염분수가 출현하여 제주도 수산업에 큰 피해를 주었다.

이 연구에서 혼한가리비에 대한 수온내성 시험은 수온 28~32℃ 범위에서 조사한 결과 수온 28℃에서는 시험기간 20일 동안 13.3%의 폐사만을 나타냈으나 30, 및 32℃에서는 각각 96시간, 36시간 만에 50% 폐사를 나타내어 이매패류인 바지락과 복족류인 전복, 오분자기, 소라 보다는 고수온에 대한 내성이 낮았으나 홍합과는 비슷

하거나 다소 높은 것으로 나타났다. 저수온내성에 있어서 수온 13℃에서는 정상 활동을 보이고 폐사개체도 발생하지 않았지만 수온 10℃에서는 168시간, 수온 7℃에서는 36시간만에 반수폐사를 나타내어 제주도의 경우 겨울철 수온이 최저 11℃ 정도까지 나타나는 경우가 있으나 폐사에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 나타났다.

다양한 환경변화에 직면한 생물체 변화는 대체로 일시적이거나 외부변화가 그 생물이 수용할 수 있는 항상성을 초과했을 때, 환경변화의 기간이 길어질 때 일어나는 현상이며, 순응이 불안정한 상태가 지속되어 스트레스를 받은 상태, 또는 환경변화에 대한 내성이 감소된 상태를 의미한다(Bayne, 1985; Widdows and Donkin, 1989). 생물에 미치는 스트레스가 커지면 생식이 감소되고 구조적 통합을 보존하려는 보상 반응이 일어나는데 결국 수용할 수 있는 항상성의 범위를 초과하는 스트레스는 죽음을 초래한다(Shin and Wi, 2004). 염분이 낮은 환경에서 생물이 인내할 수 있는 생리적 기작으로는 물에 대한 투과성 및 이온흡수율을 높이고, 혈림프에 아미노산이나 펩티드와 같은 삼투조절능력이 있는 물질의 방출을 증가시켜 환경에 견디게 한다(Hewitt, 1992). 염분내성에 관한 것으로는 패류에서 염분이 삼투조절에 미치는 영향과 염분감소에 따른 생리적 반응에 대한 보고가 있다(Deaton et al., 1989; Maslin, 1989; Navarro and Gonzalez, 1998).

대부분 가리비류는 비교적 고염분 해수에서 서식하는 이매패로 알려져 있다. 그러나 외해에서 서식하는 가리비 종들과는 대조적으로 해만가리비는 매우 얕은 내만이 나 강 하구 연안에서도 살 수 있으며 10~38 psu 범위 염분에서도 서식이 가능하다. 해만가리비 모패는 수온에 따라서 매우 낮은 염분에서도 견딜 수 있어 수온 10℃에서는 완전담수에서 48시간동안 아무 이상 없이 생존하지만 수온 24℃에서는 생존하지 못한다(Belding, 1931; Gutsell, 1931; Castagna and Chanley, 1973; Dugan, 1975).

홍합에 대한 염분내성 시험은 수온 20, 25, 28, 30 및 35℃ 각각의 수온별로 33.5, 26.8, 20.0, 13.4, 6.7 및 0 psu로 염분농도를 설정하여 내성을 조사한 결과, 각 시험 수온에서 염분 0~33.5 psu까지 9일간 노출시킨 홍합의 반수치사 염분은 17.01~21.79 psu였고, 수온 증가에 따라 20.0 psu 이하에서 노출시간이 지속될수록 현저히 생존율은 감소하였으며, 26.8 psu 이상에서는 뚜렷한 증감의 영향을 나타내지 않는다고 보고하였다(Shin and Wi, 2004). 바지락은 20~30 psu의 염분범위 내에서는 산소소비율, 여수율 및 에너지수지가 일정하게 유지된 반면, 20% 이하의 염분에서는

모든 대사가 감소하였다(Widdows, 1985). 그리고 18°C에 순응된 바지락의 경우도 19.2 psu 이하에서는 염분농도 감소에 따라 호흡률 및 여수율의 대사가 감소하였다 (Shin et al., 2000). 해만가리비 여수율은 27.0~30.0 psu에서는 일정하였으나 18~21 psu 에서는 감소하였다(Palmer, 1980). 이와 같은 결과는 이때패류에 있어 대사 능력의 떨어지는 시점이 20 psu를 기준으로 대사능력이 현저히 떨어지고 있어, 급격한 반수폐사 현상을 보이는 것과 관련성이 있는 것으로 생각된다.

이 연구에서 혼한가리비에 대한 염분내성은 수온 15°C에서는 염분농도 28 psu에서는 354시간 동안 30%의 폐사가 나타났으나 그 이하 염분농도 26, 24 및 22 psu 에서는 각각 261시간, 222시간, 126시간만에 50% 폐사가 나타났다. 염분농도 20 및 18 psu에서는 각각 45시간, 42시간으로 단시간에 반수폐사를 나타내었다. 또한 수온 20°C에서의 염분내성조사 결과 28 psu에서는 315시간 동안 6.7%의 폐사를 나타냈으나 20 psu 및 18 psu에서의 반수폐사시간은 각각 33시간, 12시간으로 나타났다. 그리고 비교적 고수온인 25°C에서의 염분내성 시험결과 염분농도 28 psu에서도 339시간에 50% 폐사를 나타냈다. 염분농도 20 psu 및 18 psu에서의 50% 폐사시간은 각각 30시간, 5시간으로 단시간에 폐사를 나타내어 수온이 높아질수록 저염분에 대한 내성이 약한 것으로 나타났고, 앞에서의 홍합이나, 바지락의 염분내성 결과에서와 같이 염분내성의 급격한 치사는 20.0 psu를 기점으로 급격한 치사량을 나타냈다.

제주연안의 겨울과 여름의 수온과 염분의 최저 및 최저조건은 Fig. 30과 같이 수온은 12.8~26.7°C 범위이고 염분은 29.6~34.5 psu 범위로 위의 수온과 염분내성 결과로 볼 때 제주연안에서의 혼한가리비의 양식에는 수온과 염분조건이 가능할 것으로 생각되며 제주연안 환경이 수온상승으로 점차 아열대 환경으로 변화할 가능성이 높아지고, 현재 보다 1~2°C의 수온 상승만으로도 혼한가리비의 성장에는 양호한 조건이 될 것으로 사료된다.

## V. 요약

이 연구는 제주에 분포하나 자원량이 부족한 혼한가리비, *Chlamys nobilis*를 일본 오이다현 가리비양식장(Marudo co.)으로부터 이식한 후, 제주연안에서 양식가능성을 시험하기 위해 생물학적 특징을 구명하고, 제주연안에서의 혼한가리비 종묘생산 및 양성 기술개발을 위한 제반 기초 연구를 수행하였다.

### 1. 생식주기

생식소 형태는 초생달 모양이고 생식소가 비대해지면 암컷은 주황색, 수컷은 유백색을 띠어 외관상 암·수 구분이 용이하였다.

조직학적 관찰을 통한 생식소 발달 양상은 암·수 각각 분열증식기, 성장기, 성숙 및 산란기, 휴지기(회복기)의 4단계로 구분할 수 있었고, 일부 자웅동체 개체도 발견되었다. 조직학적 관찰결과 주 산란기는 암·수 모두 5~7월로 관찰되었다.

### 2. 산란과 유생사육

산란유발방법은 햇빛노출 수온상승자극방법으로 자극 후 40분 이내 100%로 빠르게 반응하였고, 자외선 조사해수자극방법은 70분 이내 100%로 양호하였다.

난 발생 가능수온은 15~30℃ 이었다. 초기 D상 유생에 도달하는 시간은 15, 20, 25 및 30℃에서 각각 63.5, 31.5, 18.5 및 17.0시간이 소요되었다( $P < 0.05$ ).

난 발생이 정지하는 생물학적 영도(Biological minimum temperature)는 평균 10.4℃ 였다.

수온별 유생성장은 수온 24℃ 시험구에서 각장크기 192.7  $\mu\text{m}$ , 생존율 58.8%로 가장 좋았다. 사육밀도별 유생사육은 각장성장 및 생존율이 1개체/mL구에서 183.4  $\mu\text{m}$ , 36.7%와 2개체/mL구에서는, 175.6  $\mu\text{m}$ , 37.2%로 양호하여 혼한가리비 적정 사육밀도는 2개체/mL 이하로 나타났다( $P < 0.05$ ).

먹이생물 종류에 따른 유생 성장은 *Chaetoceros. calcitrans*, *Isochrysis. galbana*, *Pavlova lutheri*를 단독 급이한 시험구와 3종을 혼합 공급하였을 때 시험 종료 후의 각장의 성장은 3종 혼합구가 196.7  $\mu\text{m}$ 로 가장 높았고, *P. lutheri* 시험구가 174.6  $\mu\text{m}$ 로 가장 저조하였다( $P < 0.05$ ).

### 3. 부착자패 및 치패성장

부착기의 종류별 부착률은 염화비닐판 수평 설치구에서 가장 좋았고, 차광망, 양과망, 염화비닐판 수직설치 순이었다( $P < 0.05$ ). 부착 후 60일째까지의 경과일수(X)에 따른 자패의 각장(SL) 성장은  $SL = 0.1664e^{0.0579x}$  ( $r^2 = 0.924$ ) 회귀직선식으로 나타낼수 있었다. 지귀도에서 사육한 각장 1 mm 치패는 1개월후에  $4.1 \pm 0.8$  mm로 성장하였고 2, 3, 4 및 5개월째에는 각각 각장  $13.0 \pm 1.9$ ,  $23.1 \pm 3.1$ ,  $30.3 \pm 4.3$ ,  $33.6 \pm 5.2$  mm로 성장 하였다.

### 4. 중간양성

#### 가. 양성장 환경

시험 양성장의 표층수온은 위미리 지귀도 연안이 연중  $13.6 \sim 25.9^\circ\text{C}$  범위였고, 옹포리 연안은  $12.8 \sim 26.7^\circ\text{C}$  범위였으며, 표층 염분은 2개소에서  $29.6 \sim 34.5$  psu 범위였다.

계절별 표층 및 저층 용존산소는 지귀도 연안에서  $6.38 \sim 10.91$  mL/L와  $6.24 \sim 8.36$  mL/L였다.

조사지역 2개소의 Chlorophyll-a 농도는 지귀도 연안에서  $1.05 \sim 4.61$   $\mu\text{g-at/L}$  범위였고, 옹포리 연안은  $0.21 \sim 1.34$   $\mu\text{g-at/L}$  범위였다.

#### 나. 중간양성

##### 1) 수심에 따른 성장

지귀도 연안에서 390일 동안 수심 5, 10, 15, 20 m에서 양성한 치패의 평균 각장 성장은 시험 종료 시 각각  $76.7 \pm 7.7$ ,  $73.3 \pm 7.3$ ,  $69.4 \pm 8.4$ ,  $68.7 \pm 8.5$  mm였다. 일간각장 성장량은 수심별로 각각 165.6, 154.0, 140.0, 137.4  $\mu\text{m/day}$  순으로 수심이 깊어질수록 성장량은 낮았다( $P < 0.05$ ).

##### 2) 밀도에 따른 성장

사육밀도별로 10, 20, 40, 80마리/cage를 수용하여 지귀도 연안에서 390일간 양성한 치패의 평균 각장은 각각  $77.5 \pm 9.8$ ,  $71.0 \pm 13.0$ ,  $63.0 \pm 8.1$ ,  $59.8 \pm 7.5$  mm 순으로 성장하였고, 각장의 일간성장량에서도 각각 168.3, 145.8, 115.2, 101.8  $\mu\text{m/day}$ 로 사육밀도가 높을수록 성장은 느렸다( $P < 0.05$ ).

동일한 밀도 조건으로 옹포연안에서 196일 동안 사육한 결과는 각각  $63.8 \pm 6.5$ ,

62.1±7.0, 60.0±6.0, 58.5±7.0 mm로 밀도가 높을수록 성장이 느렸다(P>0.05).

혼한가리비의 치패 및 성패에 대한 각고(SH)와 각장(SL)의 상대성장식은  $SL = 0.9982H - 2.8326$ 이었고, 각고(SH)와 전중(TW)의 상대성장식은  $TW = 0.4 \times 10^{-3}SH^{2.8153}$ 였다.

#### 다. 수온 및 염분 내성

수온 28, 30, 32℃에 대한 고수온내성시험 결과, 수온 28℃에서는 시험기간 20일 동안 13.3% 폐사하였고, 수온 30, 32℃에서 50% 폐사 시간은 각각 96시간, 36시간으로 나타났다.

저수온내성 시험 결과, 수온 7℃에서는 36시간 만에, 10℃에서는 168시간에 50% 폐사하였고 수온 13℃에서는 시험기간(10일) 동안 폐사 개체가 없었다.

염분내성 시험결과는 수온 15℃에서 염분 28 psu에서는 시험 종료 시까지(354 시간) 30%가 폐사하였다. 염분 26, 24, 22, 20 및 18 psu 에서는 각각 261시간, 222시간, 126시간, 45시간 및 42시간 만에 50%가 폐사하였다. 수온 20℃에서 염분 28 psu 에서는 315시간 동안 6.7%의 폐사를 나타냈고, 26, 24, 22, 20, 18 psu에서는 각각 315시간, 189시간, 141 시간, 33시간 및 12시간에 50% 폐사 하였다.

수온 25℃에서는 28 psu에서도 339시간에 50%가 폐사하였고, 26, 24, 22, 20, 18 psu에서는 각각 246시간, 156시간, 120시간, 30시간 및 5시간에 50%가 폐사하였다.

## VI. 참고문헌

- Andersen, S. and K. E. Nass, 1993. Shell growth and survival of scallop (*Pecten maximus* L.) in a fertilized, shallow seawater pond. *Aquaculture*, 110, 71~86.
- Andi, A., 1993. Differential growth characteristics of sea scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791) in suspended culture. Degree of master of Science (Biology). Acadia University, pp. 95.
- Bayne, B. L., 1985. Responses to environmental stress: tolerance, resistance and adaptation. In: J. S. Gray and M. E. Christiansen, (Editors), Proc. 18th Eur. Mar. Biol. Symp., Oslo, Norway, 1983. John Wiley, New York, pp. 331~349.
- Beaumont, A. R. and M. D. Budd, 1982. Delayed growth of mussel, *Mytilus edulis* and scallop, *Pecten maximus* veligers at low temperature. *Mar. Biol.*, 71, 97~100.
- Beldam, C. A. and A. C. G. del Norte, 1988. Notes on the induced spawning and larval rearing of the Asian moon scallop, *Amusium pleuronectes* (Linne) in the laboratory. *Aquaculture*, 72, 173~179.
- Belding, D. L., 1931. The scallop fishery of Massachusetts. Commonwealth Massa. Mar. Fish. Ser., 3, pp. 51.
- Breese, W. P. and R. E. Malouf, 1975. Hatchery manual for the Pacific oyster. Oregon State University Sea Grant College Program Publ. No. Oresu-H-75-002. Oreg. State Univ., Corvallis, pp. 22.
- Broom, M. J. and J. Mason, 1978. Growth and spawning in the pectinid *Chlamys opercularis* in relation to temperature and phytoplankton concentration. *Mar. Biol.*, 47, 277~285.
- Calow, P., 1981. Resource, utilization and reproduction. In *Physiological Zoology: an Evolutionary Approach to resource Use* (ed. C. R. Townsend and P. Calow), 245~270. Oxford: Blackwell Scientific Publication.

- Castagna, M. and P. Chanley, 1973. Salinity tolerance of some marine bivalves from inshore and estuarine environment in Virginia waters on the western mid-Atlantic coast. *Malacologia*, 12, 47~96.
- Chang, Y. J., 1993. Identification of blood cells and their physiological functions in the Scallop, *Patinopecten yessoensis*. *J. of Aquaculture*, 6(1), 1~12. (in Korean)
- Chang, Y. J., H. K. Lim and Y. J. Park, 1997. Reproductive cycle of the cultured Scallop, *Patinopecten yessoensis*. in Eastern waters of Korea. *J. of Aquaculture*, 10(2), 133~141. (in Korean)
- Chang, Y. J. and T. Y. Lee, 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). *Bull. Korean Fish. Soc.* 15, 241~253. (in Korean)
- Choi, J. W. and C. H. Koh, 1990. Distribution pattern of polychaete worms on the continental shelf and slope of the East Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25(1), 36~48. (in Korean)
- Cropp, D. A., 1993. Development of large-scale hatchery production techniques for *Amusium balloti* (Bernardi 1861) in Western Australia. *Aquaculture*, 115, 285~296.
- Deaton, L. E., J. G. B. Derby, N. Subhedar and M. Greenberg, 1989. Osmoregulation and salinity tolerance in two species of bivalve mollusc: *Limnoperna fortunei* and *Mytilopsis leucophaeta*. *J. Exp. Mar. Ecol.*, 133, 67~79.
- Dugan, W. P., 1975. Reactions of the bay scallop, *Argopecten irradians* to gradual reductions in salinity. *Chesapeake Sci.*, 6, 284~286.
- Gutsell, J. S., 1931. National history of the bay scallop (*Argopecten irradians*). *Bull. U.S. Bur. Fish.*, 46, 569~632.
- Ha, D. S., 1994. Reproductive ecology and egg development of *Amusium japonicum japonicum* (GMELIN). M. Sc. Thesis Cheju Nat'l. Univ., 39 pp. (in Korean)
- Halland, D. L., 1978. Lipid reserves and energy metabolism in the larvae of

- benthic marine invertebrates. pp. 85~123.
- Helm, M. M. and P. E. Millican, 1977. Experiment in the hatchery rearing of Pacific oyster, *Crassostrea gigas* Thunberg. *Aquaculture* 11, 1-12.
- Hewitt, D. A., 1992. Response of protein turnover in the brown tiger prawn *Penaeus esculentus* to variation in the dietary protein content. *Comp. Biochem. Physiol.*, 103A, 183~187.
- Hilbish, T. J., 1987. Response of aquatic and aerial metabolic rates in the ribbed mussel *Geukensia demissa* (Dillwyn) to acute and prolonged changes in temperature. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 105, 207~218.
- Hirata, H., Shinomiya, A. Kadowaki, S., Nakazono, T. and T. Kasedo, 1978. Seed production of scallop *Chlamys nobilis* (Reeve). 1. Spawning induced by dark stocking. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima-Univ.*, 27(1), 289~294.
- Hong, J. S., 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 22(4), 246~256. (in Korean)
- Hur, Y. B., C. H. Wi, T. I. Kim, C. Y. Chun, M. S. Hwang, Y. O. Kim and S. B. Hur, 2001. Development and growth of larvae of three Scallops, *Patinopecten yessoensis*, *Chlamys farreri* and *Argopecten irradians irradians*. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst.*, 60, 23~31. (in Korean)
- Immai, T., 1953. Mass production of molluscs by means of rearing the larvae in tanks. *Venus*, 25, 157~167.
- Immai, T., 1977. Aquaculture in shallow seas: progress in shallow sea culture. Part II. The evolution of scallop culture. Translation from original Japanese. National Technical Information Service, Springfield, VI, USA, 261~364.
- Kang, T. G. and C. I. Zhang, 2000. A study on the growth and spawning of Korean scallop, *Chlamys farreri* around Wando, Korea. *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 36, 210~221. (in Korean)
- Kim, D. H., H. K. Lim, K. S. Min, Y. J. Chang and T. I. Kim, 1999. Reproductive cycle of surf clam, *Tresus keenae* in Southern Coast of Korea. *J. Korean Fish. Soc.* 32(5), 659~663. (in Korean)

- Kinne, O., 1966. Physiological aspects of animal life in estuaries with special reference to salinity. *Neth. J. Sea. Res.* 3, 222~244.
- Kinoshita, C., 1989, Thermal tolerance of eggs and larvae of Japanese surf clam, *Pseudocardium sachalinensis* (Schrenck). *Suisanzoshoku*, 37(1), 9~14.
- Kirby-Smith, W. W. and R. T. Baber, 1974. Suspension feeding aquaculture system: effects of phytoplankton concentration and temperature on growth of the bay scallop. *Aquaculture* 3, 135~145.
- Komaru, A., and K. T. Wada, 1988. Seasonal changes of gonad in the cultured scallops, *Chlamys nobilis*. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult. Yoshokukenho.* 14, 125~132. (in Japanese)
- Kuang, S., H. Sun, F. Li and J. Fang, 1997. Feeding and growth of scallop *Chlamys farreri* before and after spawning. *Mar. Fish. Res. China*, 17, 80~86.
- Lee, B. H. and S. I. Chang, 1977. A study on the culture of scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay) (1) Experiment on spat collection and culture by hanging in the Eastern Coast of Korea. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, 16, 165~178.
- Lee, C. S. and S. Rho, 1997. Studies on the artificial seedling production of geoduck clam, *Panope japonica* II. Development of egg and larvae. *J. Korean Fish. Soc.*, 30(1), 132~138. (in Korean)
- Lee, J. H., 1999. Histological study on the reproductive cycle of *Potamocorbula amurensis* (Bivalvia: Corbulidae), *J. Korean Fish. Soc.*, 32(5), 629~636. (in Korean)
- Lee, J. H., 1991. Study on the artificial seedling production of *Chlamys nobilis*. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 45, 175~181. (in Korean)
- Lee, J. Y., Y. J. Chang and Y. J. Park, 1996. Spawning induction and egg development of surf clam, *Spisula sachalinensis*. *J. of Aquaculture*, 9(4), 419~427. (in Korean)
- Lee, J. Y., Y. J. Chang, M. J. Chun, H. J. Chang and Y. J. Chang, 2002. Optimal method for fertilization of surf clam, *Spisula sachalinensis*. *J. Korean Fish.*

- Soc., 35(2), 135~139. (in Korean)
- Lee, J. Y., Y. J. Chang, Y. S., Kim, Y. H. Choi and Y. J. Chang, 2002. Influence of water temperature on egg development of sulf clam, *Spisula sachalinensis*. J. of Aquaculture, 15(1), 39~42. (in Korean)
- Lee, J. Y., Y. J. Park and Y. J. Chang, 1999. Gonad development and Reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia; Veneridae), J. Korean Fish. Soc. 32(2), 198~203. (in Korean)
- Liao, C., Y. Xu and Y. Wang, 1983. Reproductive cycle of the scallop *Chlamys farreri* (Jones and Preston) at Qingdao. J. Fish. China, 7, 1~13.
- Lim, H. S., J. G. Je, J. W. Choi and J. H. Lee, 1991. Distribution pattern of macrozoobenthos at Yoja Bay in Summer. Ocean Res. Korea, 13(2), 31~45. (in Korean)
- Linnaeus, C., 1758. System nature per Regna. Tria. Nature, 10th Edi., Vol. 1. Laurentii, Stockholm, pp. 824
- Loosanoff, V. L., 1951. Culturing phytoplankton on a large scale. Ecology, 32, 748~750.
- Loosanoff, V. L. and H. C. Davis, 1963. Rearing of bivalve mollusks. Adv. Mar. Biol., 1, 1~136.
- MacDonald, B. A. and R. J. Thompson 1985. Influence temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magllanicus*. I. Growth rates of shell and somatic tissue. Mar. Ecol. Prog. Ser. 25, 279~294.
- Mackie, G. L., 1984. In the mllusca. Vol. 7 Reproduction. 5. Bivalves, Academic Press, London. pp. 351~418.
- Maslin, J. L., 1989. The salinity tolerance of *Corbula trigona* (Bivalvia: Corbulidae) from a west-African lagoon and its variations. Arch. hydrobiol., 117, 205~223.
- Menasveta, P., 1981. Lethal temperature of marine fishes of the gulf of Thailand. J. Fish. Biol. 18, 603~607.
- Mori, K., 1994. Techniques used in the culture of the scallop in Japan. 1<sup>st</sup> Kore

- a · Japan Aquaculture Symposium, 138~144. (in Japanese)
- Na, G. H., W. G. Jeong and C. H. Cho, 1995. A study on seedling production of Jicon scallop, *Chlamys farreri* 1. Spawning, development and rearing of larvae. J. of Aquaculture, 8(4), 307~316. (in Korean)
- Naidu, K. S., 1970. Reproduction and breeding cycle of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin) in Port Bay, Newfoundland. Can. J. Zool., 48, 1003~1012.
- Navarro, J. M. and C. M. Gonzalez. 1998. Physiological responses of the Chilean scallop, *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. Aquaculture, 167, 315~327.
- Newell, R. C. and L. H. Kofoed, 1977. Adjustment of the components of energy balance in the gastropod *Crepidula fornicata* in response to thermal acclimation. Mar. Biol., 44, 275~286.
- O' Connor, W. A., J. A. Nell and J. A. Diemar, 1992. The evaluation of twelve algal species as food for juvenile Sidney rock oysters, *Saccostrea commercialis*. Aquaculture, 108, 227~283.
- Oh, B. S., 2000. Studies on the seedling production and aquaculture of Bay scallop, *Argopecten irradians* (Lamarck). Ph. D. Thesis Inha Nat'l. Univ., 174 pp. (in Korean)
- Oh, B. S. and C. G. Jung, 1999. Studies on the growth of bay scallop, *Argopecten irradians* in winter season in south sea of Korea. Korean J. of Malacology, 15(2), 71~79. (in Korean)
- Oh, B. S., C. G. Jung, M. H. Yang and S. Y. Kim, 2000. Effect of rearing density in culture cage on the growth of the bay scallop, *Argopecten irradians*. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea, 58, 88~95. (in Korean)
- Oh, B. S., C. G. Jung and S. Y. Kim, 2002a. Growth of bay scallop, *Argopecten irradians* at different rearing depths. J. of Aquaculture, 15(1), 61~68. (in Korean)
- Oh, B. S., M. H. Yang, C. G. Jung, J. I. Kim, Y. S. Kim and S. Y. Kim, 2002b. Effect of selected spat on growth of bay scallop, *Argopecten irradians*

- during aquaculture. J. of Aquaculture, 15(3), 123~129. (in Korean)
- Osanai, K., 1975. Seasonal gonad development and sex alteration in the scallop, *Patinopecten yessoensis*. Bull. Mar. Biol. Stn. Asamushi, Tohoku Univ., XV, 81~88.
- Otto, R. G. 1973. Temperature tolerance of the mosquito fish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard). J. Fish Biol., 5, 575~585.
- Park, K. Y., S. K. Kim, H. C. Seo and C. W. Ma, 2005. Spawning and larval development of the Jicon scallop, *Chlamys farreri*. 18(1), 1~6. (in Korean)
- Park, Y. J., 1998. Biological studies on aquaculture of the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). Ph. D. Thesis Cheju Nat'l. Univ., pp. 187. (in Korean)
- Park, Y. J., S. Rho and C. S. Lee, 2001. Growth of the Scallop, *Patinopecten yessoensis* in suspended culture in the East Coast of Korea, J. of Aquaculture, 14(3), 181~195. (in Korean)
- Park, Y. J., S. Rho and J. Y. Lee, 2000. Intermediate culture of the scallop, *Patinopecten yessoensis* in the East Coast of Korea, J. of Aquaculture, 13(4), 339~351. (in Korean)
- Parsons, G. J. and M. J. Dadswell, 1992. Effect of stocking density on growth, production, and survival of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, held in intermediate suspension culture in passamaquoddy bay, New Brunswick. Aquaculture 103, 291~309.
- Penny, R. W., 1995. Effect of gear type and initial stocking density on production of meats and large whole scallops *Placopecten magellanicus*, using suspension culture in Newfoundland. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., 2079, V-9.
- Penny, R. W. and T. J. Mills, 2000. Bioeconomic analysis of a sea scallop, *Placopecten magellanicus*, aquaculture production system in Newfoundland, Canada. J. Shellfish Res., 19, 113~124.
- Pyen C. K. and Y. G. Rho, 1978. Studies on the early development and spat collection of *Patinopecten yessoensis* (JAY) under laboratory conditions. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 20, 141~155. (in Korean)

- Rhodes, E. W. and J. C. Wildman, 1980. Some aspects of the controlled production of the bay scallop (*Argopecten irradians*). Proc. World Maricult. Soc., 11, 235~246.
- Rippingale, R. J. and E. P. Hodgkin, 1977. Food availability and salinity tolerance in a brackish water copepod. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 28, 1~7.
- Rodhouse, P. G., C. M. Roden, M. P. Hensey, T. McMahon, B. Ottway and T. H. Ryan, 1984. Food resource, gametogenesis and growth of *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture: Killary Harbour, Ireland. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 64, 513~529.
- Rose, R. A., G. R. Campbell and S. G. Sanders, 1988. Larval development of the saucer scallop *Amusium balloti* (Bernardi). Aust. J. Mar. Freshw. Res., 39, 153~160.
- Sanders, H., 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. American Naturalist, 102 (925), 243~282.
- Sastry, A. N., 1965. The development and external morphology of pelagic larval and post-larval stages of the bay scallop, *Aequipecten irradians concentricus* Say, reared in the laboratory. Bull. Mar. Sci., 15, 417~435.
- Sastry, A. N., 1966. Temperature effects in reproduction of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. Biol. Bull., 130, 118~134.
- Sastry, A. N., 1968. Relationships among food, temperature and gonad development of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. Physiol. Zool., 41, 44~53.
- Shin, Y. K. and J. H. Wi, 2004. Effects of temperature and salinity on survival and metabolism of the hard shelled mussel *Mytilus coruscus*, Bivalve: Mytilidae. J. of Aquaculture. 17(2), 103~108. (in Korean)
- Shin, Y. K., Y. Kim, E. Y. Chung and S. B. Hur, 2000. Temperature and salinity tolerance of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*. J. Korean Fish. Soc. 33(3), 213~218. (in Korean)
- Simpson, R. D., 1982. Reproduction and lipids in the sub-Antarctic limpet, *Nacella (Patinigera) macquariensis* Finlay, 1927. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 56, 33~48.
- Son, P. W., 1997. Biological studies on aquaculture of the sun and moon scallop,

- Amusium japonicum japonicum* (Bivalvia : Pectinidae). Ph. D. Thesis Cheju Nat'l. Univ., pp. 128. (in Korean)
- Son, P. W., D. S. Ha, S. Rho and D. S. Chang, 1996. Studies on the age and growth of Sun and Moon scallop, *Amusium japonicum japonicum* (Gmelin). J. of Aquaculture, 9(3), 409~417. (in Korean)
- Son, P. W., D. S. Ha, S. Rho, D. S. Chang, C. H. Lee and D. K. Kim, 1998. Study on spat production of the sun and moon Scallop, *Amusium japonicum japonicum* (Gmelin). J. of Aquaculture, 11(3), 371~380. (in Korean)
- Turner, H. and J. H. Hanks, 1960. Experimental stimulation of gametogenesis in *Hydroides dianthus* and *Pecten irradians* during the winter. Biol. Bull., 119, 145~152.
- Uddin, M. J., K. I. Park, D. H. Kang, Y. J. Park and K. S. Choi, 2007. Comparative reproductive biology of Yezo scallop, *Patinopecten yessoensis*, under two different culture systems on the east coast of Korea. Aquaculture, 265, 139~147.
- Urban, H. J., 1994. Upper temperature tolerance of ten bivalves species off Peru and Chile related to EL Nino. Mar. Ecol. Prog. Ser., 107, 139~145.
- Venables, B. J., 1981. Oxygen consumption in a tropical beach amphipod, *Talorchestia margaritae* Stephenson: Effects of size and temperature. Crustaceana, 41, 89~94.
- Ventilla, R. F., 1982. The scallop industry in Japan. Mar. Biol. 20, 309~350.
- Wallace, J. S., 1982. The culture of the iceland scallop, *Chlamys islandica* (O. F. Muller). I. Spat collection and growth during the first year. Aquaculture, 26, 311~320.
- Wallace, J. S. and T. G. Reisnes, 1985. The significance of various environmental parameters for growth of the iceland scallop, *Chlamys islandica* (Pectinidae) in hanging culture. Aquaculture, 44, 229~241.
- Walne, P. R., 1974. Shell fish culture. In; Sea Fisheries Research. (ed. by Jones, F. R. H.). 426 pp. Elek, London.

- Whang, H. J. and M. N. Kim, 1973. Study on the distribution and ecology *Chalmys farreri nipponensis* Kuroda around the Taehuksan is. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 11, 25~35.
- Whyte, J. N. C., N. Bourne and C. A. Hodgson, 1990. Nutritional condition of Rock scallop, *Crassodoma gigantea* (Gray), larvae fed mixed algal diets. Aquaculture, 86, 25~40.
- Widdows, J., 1985a. The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. In: Gray, J. S. Christiansen, M. E. (Eds.). Marine organism. Wiley-Interscience, 555~566.
- Widdows, J. and P. Donkin, 1989. The application of combined tissue residue chemistry and physiological measurements of mussels (*Mytilus edulis*) for the assesment of environmental pollution. Hydrobiologia, 188/189: 455~461.
- Widdows, J. and W. X. Wang, 1991. Physiological responses of mussel larvae *Mytilus edulis* to environmental hypoxia and anoxia. Mar. Ecol. Prog. Ser., 70, 223~236.
- Wilkins, N. P., 1978. Length correlated in heterozygosity at an enzyme locus in the scallop (*Pecten maximus* L.). Anim. Blood Groups Biochem. Genet., 9, 69~77.
- William, L. S., 1997. Mechanism of temperature acclimation in the channel catfish *Ictalurus punctatus*: Isozymes and Quantitative changes. Comp. Biochem. Physiol., 118A, 813~820.
- Wilson, J. G., 1981. Temperature tolerance of circatidal bivalves in relation to their distribution. J. Therm. Biol., 6, 279~286.
- Wilson, J. G., 1988. Resource partitioning and predation as a limit to size in *Nucula turgida* (Leckenby & Marshall). Func. Ecol., 2, 63~66.
- Wilson, J. G. and Elkain, 1991. Tolerance to high temperature of infaunal bivalves and the effect of geographical distribution, position on the shore and season. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 71, 169~177.
- Wilson, J. H., 1987. Environmental parameters controlling growth of *Ostrea edulis* L. and *Pecten maximus* L. in suspended culture. Aquaculture. 64,

119~131.

- Won, S. W. and S. J. Han, 2004. Effects of Various stimulants on spawning induction and early development at different water temperatures in the Noble scallop, *Chlamys nobilis*. J. of Aquaculture, 17(2), 97~102. (in Korean)
- Won, S. H., S. J. Han, J. W. Kim and B. L. Kim, 2001. The effect of high temperature and low salinity on survivals of Abalones *Haliotis discus*, *Haliotis diversicolor aquatilis*, and *Topshell Batillus cornutus*. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea, 59, 84~89. (in Korean)
- Wright, D. A., V. S. Kennedy, W. H. Roosenburg, M. Castagna and J. A. Mihursky, 1983. Temperature tolerance of embryos and larvae of five species under simulated power plant entrainment condition: A synthesis. Mar. Biol., 77, 271~278.
- Yakovlev, Y. M. and L. S. Afeichuk, 1995. The reproductive cycle of the scallop *Chlamys farreri* in the Sea of Japan. Fisheries, biology and aquaculture of Pectinids, 8th Int. Pectinid Workshop, 17, 193~198.
- Yamamoto, G., 1964. Scallop culture in Mutsu bay. Suisan Zoyoshoku Soshu, (Tokyo), 6, 77pp.
- Yoo, S. K., H. Y. Ryu and K. Y. Park, 1981. The growth of the culture scallop, *Patinopecten yessoensis*. Bull. Korea Fish. Soc., 14, 221~226. (in Korean)
- Yoo, S. K. and K. H. Kang, 1996. Spawning induction according to stimulating treatment and influence of water temperature on egg development and larvae rearing of oyster, *Crassostrea nippona*. Korean J. Malacol., 12, 91~97. (in Korean)
- YSFRI (Yellow Sea Fisheries Research Institute), 1991. Training manual on breeding and culture of scallop and sea cucumber in China. Regional sea farming development and demonstration project (RAS/90/002), 84 pp.
- 降島史夫・羽生功, 1989. 水族繁殖學. 綠書房, 346 pp.
- 菊地省吾. 浮永久, 1974. あわび屬の採卵技術に關する研究. 第2報. 紫外線照射海水産卵誘發效果. 東北水研報, 33, 79~86.

- 難波武雄, 1973. ヒオウギの種苗生産に關する研究. 栽培技研. 2(1), 11~17.
- 木谷益邦, 1985. ヒオウギガイ種苗生産(中間育成)期におけるシェルターの効果. 水産増殖, 33(3), 157~165.
- 浮永久. 菊地省吾, 1974. 紫外線照射海水のホタテガイ, *Patinopecten yessoensis* (Jay) に對する産卵誘發效果. 東北水研報., 34, 87~92.
- 森勝義・長内健治・佐藤降平, 1977. 岩手懸唐丹灣における養殖ホタテガイ生殖巢の周年變化に關する組織學的研究. 日水誌, 43, 1~8.
- 臧本武明・中田喜三郎, 1992. 物質循環モデル. 水産學シリーズ . 87, 85~103.
- 川眞田憲治, 1983. 噴火灣海域における放流ホタテガイの生殖周期. 北水試報, 25, 15~20.
- 丸邦義, 1976. ホタテガイの生殖に關する研究. 第 1報. 養殖ホタテガイの生殖週期. 北水試報, 18, 9~26.
- 노한철・정태준・신남삼・민병주・이옥태, 1997. 비단가리비 자연채묘 및 양성시험 사업. 농림부 특정연구개발사업 연구보고서. 농림부, pp. 126.
- 류호영・박두원・전창영・정춘구・김대희・김경희・임영섭・김민철・김수호, 1993a. 피조개 인공종묘생산에 관한 연구. 경상남도, pp. 221.
- 류호영・박두원・정춘구・김경희・전창영・김대희・명정인, 1993b. 참담치 인공종묘 생산기술에 관한 연구. 경상남도, pp. 156.
- 박기열, 2002. 비단가리비, *Chlamys farreri*의 번식생태와 종묘생산. 순천향대학교 대학원 박사학위논문, pp. 68.
- 유성규, 1979. 천해양식. 새로 출판사, 서울, pp. 605.
- 이채성, 1995. 꼬끼리조개, *Panope japonica*의 번식생물학적연구. 제주대학교 대학원 박사학위논문, pp. 68~76.
- 임영수・고창순・이윤호, 1995. 비단가리비 종묘생산 기술개발 시험. 국립수산진흥원 남해수산연구소 사업보고. 355~360.
- 한국동물분류학회, 1997. 한국동물명집. pp. 116~117.

## 감사의 글

어려운 가운데서도 학위과정을 이끌어주신 노섬교수님께 감사의 말씀을 올립니다. ‘학위는 끝이 아니라 새로운 시작이고 논문을 쓰면서 부족하다고 느꼈던 부분을 마음에 새기고 더 정진하라’는 말씀 가슴깊이 간직하고 노력하는 삶을 살겠습니다.

논문의 체제를 바로잡아 주신 이영돈교수님, 이정의박사님, 최광식교수님, 강정하 박사님께 감사드립니다. 또한 대학시절부터 항상 용기와 격려를 주신 정상철교수님, 이기완교수님, 송춘복교수님께 감사드립니다.

북제주시험장 시절 흔한가리비 시험을 위해 논문의 자료가 될 수 있도록 지원해 준 한석중소장님, 연구진행을 함께 했던 김재우박사님, 김봉래박사님, 먹이배양에 늘 바빴던 진경아님, 김인순님, 배 멀미와 과도를 두려워하지 않았던 김태수님, 이치훈님, 현장자료정리에 도움을 준 고광철님, 김영희님, 장복진님, 강기호님, 김열용님께 고마운 마음을 전합니다.

또한 논문작성에 매진할 수 있도록 배려를 아끼지 않았던 김광수단장님, 어려운 점이나 문제점 해결에 언제나 앞장서서 지원을 아끼지 않았던 이정우박사님, 따뜻한 미소와 조언으로 격려를 아끼지 않았던 이권혁박사님, 김호상박사님, 임영수박사님, 이해영박사님, 고정락박사님, 논문을 빨리 끝내라고 다그치던 정달상박사님, 김숙양박사님, 자료검색과 정리에 도움을 주신 김희진님, 한예순님, 이춘오님, 정윤주님께도 고마운 마음을 전합니다.

학위과정을 진행하면서 내 자신이 많아 부족하다는 것을 느꼈고 주위에 계신 동료와 선후배님들의 많은 도움으로 작은 결실을 맺지 않았나 생각합니다. 논문 작성과 마음고생을 함께한 송영보박사님 학위과정중의 김성훈선배님, 틈틈이 수정을 마다하지 않았던 최영웅박사님, 영문자료 작성에 도움을 주신 조규태박사님, 정석근박사님, 통계분석에 도움을 주신 김현철박사님께 이 지면을 통해서나마 감사드립니다.

늦은 밤 논문을 같이 쓰면서 서로를 격려한 하동수박사님, 양상근박사님, 진행과정을 살피시고 걱정해준 장대수박사님, 격려를 아끼지 않으신 김대권박사님, 김대현박사님께 감사드립니다. 실험실 선후배로 또는 직장 동료로서 배려하고 지원해준 김경민박사, 황형규박사, 김필연연구사님, 현재민박사님, 김성철박사님께도 고마운 마음을 전합니다.

얼굴을 마주칠 때마다 잘 진행되는지 고마운 마음을 보여준 윤성종박사님, 김두남

박사님, 목종수박사님, 고생하신다고 격려를 주신 남명모박사님, 김성연박사님, 임상구박사님, 이진호박사님, 손명호박사님, 황학진박사님, 안철민박사님의 고마움도 간직하겠습니다. 또한 생각날 때마다 지금 뭐하냐고 다그치던 이창훈박사님, 양문호박사님, 윤장택박사님의 얘기가 언젠가 지켜워지기 시작했는데 이제 홀가분합니다.

동생의 일이라면 앞장서서 자청했던 세만형, 상훈형, 용민 삼촌, 윤웅형, 용석님과 많은 관심과 격려를 주셨던 여러 종친회 어른들께도 감사의 말씀을 올립니다.

많은 관심을 보여줬던 고향친구들에게 이제 마쳤다고 얘기하렵니다. 친구들아 고맙다! 그리고 주로를 함께 달리고, 막걸리를 함께 따뜻한 말로 위안을 준 양화선님, 김태경님, 이동주님, 김철용님, 민갑호님, 김철님께 힘!!!하고 외쳐봅니다.

자주는 만나지 못하지만 기회가 닿을 때마다 어찌됐는지 묻고는 승환아, 빨리 마쳐라! 하고, 항상 나태해지지 않도록 충고와 도움을 준 이채일형 고맙습니다.

지금 이 자리에 글로써 나타내지는 못했지만 용기와 격려를 보내준 모든 분들께 감사의 말씀을 올립니다.

고향을 생각할 때면 늘 가슴한쪽이 저리고, 자주 찾아뵙지도 못해 전화로만 안부를 여쭙어도 언제나 자식걱정이 전부이신 어머니, 그리고 언제나 지지자로 남아주시는 큰누나, 둘째누나, 셋째누나와 동생과 이 기쁨을 함께하고 싶습니다.

가족을 사랑으로 감싸고, 언제나 든든한 조연자인 사랑하는 아내 강유정에게 기쁨과 영광, 그리고 사랑한다! 는 말도 함께 전합니다. 엄마와 친구처럼 훌쩍 커버린 사랑스런 혜진이와 우리 집 귀염둥이이자 씩씩한 준호에게 아빠의 조그만 결실이 자랑스러움으로 남았으면 하는 바램입니다.

항상 어느 하늘아래에서라도 지켜봐 주시겠다던 아버님께 조그만 결실을 바칩니다.

이제 늘 마음 한구석에 무겁게 자리하던 물건을 내려놓은 기분입니다. 조그만 결실을 거울삼아 새로운 짐을 안고 다시 출발하렵니다. 항상 지켜봐주시고 충고와 격려를 부탁드립니다. 사랑합니다! 그리고 고맙습니다!