



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

시볼트전복, *Haliotis sieboldii*의  
번식학적 특성 및 치패성장

The seal of Cheju National University is a large, faint watermark in the background. It features a central shield with the Korean characters '제주대' (Jeju National University) and an open book below it. The shield is surrounded by a circular border containing the text 'CHEJU NATIONAL UNIVERSITY' and 'SINCE 1952'.

濟州大學校 産業大學院

海洋生産學科

増殖學 專攻

韓 碩 重

2 0 0 6

碩士學位論文

시볼트전복, *Haliotis sieboldii*의  
번식학적 특성 및 치패성장

指導教授 盧 暹

濟州大學校 産業大學院

海洋生産學科

増殖學 專攻

韓 碩 重

2 0 0 6

# 시볼트전복, *Haliotis sieboldii*의 번식학적 특성 및 치패성장

指導教授 盧 暹

이 論文을 理學碩士學位 論文으로 提出함.

2006年 12月 日

濟州大學校 産業大學院

海洋生産學科 增殖學專攻

韓 碩 重

韓碩重의 理學碩士學位 論文을 認准함.

2006年 12月 日

委員長 이 영 돈 印

委 員 이 경 준 印

委 員 노 섭 印

# 목 차

Abstract .....	1
I. 서 론 .....	3
II. 재료 및 방법 .....	6
1. 실험 재료 .....	6
2. 실험 방법 .....	6
III. 결 과 .....	15
1. GSI 및 비만도의 월변화 .....	15
2. 생식주기 .....	15
3. 산란, 수정 및 부화 .....	15
4. 발생과 생물학적 영도 .....	25
5. 먹이 종류별 치패성장 .....	29
IV. 고 찰 .....	35
V. 요 약 .....	41
VI. 참고문헌 .....	43

## Abstract

To develop an artificial seed production of the cultured abalone, *Haliotis sieboldii* and spat raising techniques, spawning period, number of eggs per spawning by broodstock ages, fertilization rates, hatching rates, egg development, larvae culture and their growth rate by several types diets were studied.

The reproductive cycle was classified into five stages on female: degenerative stage (Jan.~Mar.), multiplicative stage (Apr.~Jun.), growing stage (Jul.~Oct.), and spawning stage (Nov.~Dec.). The number of eggs produced per spawning increased with broodstock age, and the maximum number(2,335,000 eggs) was observed in 6-year age.

The fertilization rate by PSE(put sperm into egg contained tank) was low (10.0%) and the hatching rate was ca. 50%. The fertilization rate with sperm density by PES(put eggs into sperm contained tank) was the maximum (86.5%) at the sperm density of  $2,500 \times 10^4$ .

The relation between the time of egg development (t: hour) and water temperature (T: °C) was as follows:

4 cell stage	$1/h = 0.1346T - 2.1709$ ( $r^2 = 0.89$ )
Morula stage	$1/h = 0.0176T - 0.2184$ ( $r^2 = 0.89$ )
Trochophore	$1/h = 0.0063T - 0.0512$ ( $r^2 = 0.99$ )
Veliger	$1/h = 0.0045T - 0.0295$ ( $r^2 = 0.99$ )
2nd cephalic tentacle	$1/h = 0.0008T - 0.0047$ ( $r^2 = 0.99$ )

The biological minimum temperature was 9.7°C.

The food selection of the cultured abalone by four diets, *Ulva pertusa*,

*Laminaria japonica*, *Navicula* spp. and formulated diet was investigated. The daily growth rate (85.5  $\mu\text{m}/\text{day}$ ) of the cultured abalone was the highest at the formulated diet.



## I. 서 론

산업적으로 중요한 양식대상종인 참전복, *Haliotis discus hannai*에 대한 인공종묘생산은 1970년대 후반에 본격적으로 실시된 이후, 완전양식기술이 확립되면서 남해안의 완도, 진도 지역을 중심으로 활발히 이루어지고 있다.

전복양식 면적은 현재 약 1,560ha로서 2003년도 610ha에 비해 크게 증가하는 경향을 보이는 가운데 양식방법도 채룡식, 가두리식, 육상수조식으로 나누어져 있다. 이중 해상가두리 양식면적은 1,337ha로서 대부분을 차지하고 있으며(옥·김, 2004), 양식 생산량은 1994년 104톤에서, 2005년에는 2,062톤으로 약 20배 정도로 급증하고 있는 실정이다(Fig. 1).

현재까지 양식이 이루어지고 있는 전복류는 참전복, *H. discus hannai*과 까막전복, *H. discus*으로서, 양식산업의 수준을 한단계 향상시키려면 성장이 빠르고, 환경내성이 높은 대형종에 속하는 시볼트전복, *H. sieboldii*과 말전복, *H. gigantea*에 대한 인공종묘생산과 기법을 개발하여 양식기술을 확립할 필요가 있다(한, 1998).

우리나라에서의 전복양식은 1970년에 국립수산과학원에서 인공종묘생산에 성공함으로써 그 이후 비약적으로 발전하였다(卞, 1970; 盧 等, 1974; 노, 1988). 한편, 외국의 경우 전복의 일반적인 양식에 관한 보고(Capinpin et al., 1998; Chen, 1989; Ino, 1951)와 생물학적인 연구(Apisawetakan et al., 2001; Chanpoo et al., 2001; Horiguchi et al., 2002), 초기발생에 관한 연구(關·菅野, 1981), 배합사료에 관한 연구(Mai, 1998; Tan and Mai, 2002) 등 전복류에 관한 연구가 지속적으로 이루어져 왔음을 알 수 있다. 이와 같은 연구의 지속성과 중요성에도 불구하고 양식대상종을 다양화하고, 특히 난류지역에 서식하는 대형종인 시볼트전복의 새로운 품종개발은 중요한 의미를 가지고 있다.

따라서 본 연구는 시볼트전복의 인공종묘 생산기술 확립과 양식산업화를 위하여 생식주기, 모패의 성숙연령별 산란량, 수정률, 부화율을 조사하였고, 적정 정자농도와



수정방법에 따른 수정률의 변화, 난발생 및 생물학적영도(biological minimum temperature)를 구명하는 한편, 평균 각장  $5.0\pm 1.0$  mm인 치패를 박리하여 전복류의 치패 먹이로 이용되고 있는 해조 2종(*Laminaria japonica*, *Ulva pertusa*)과 부착규조류 및 자체 제조한 실험사료를 공급하여 성장 및 생존율을 조사하였다.



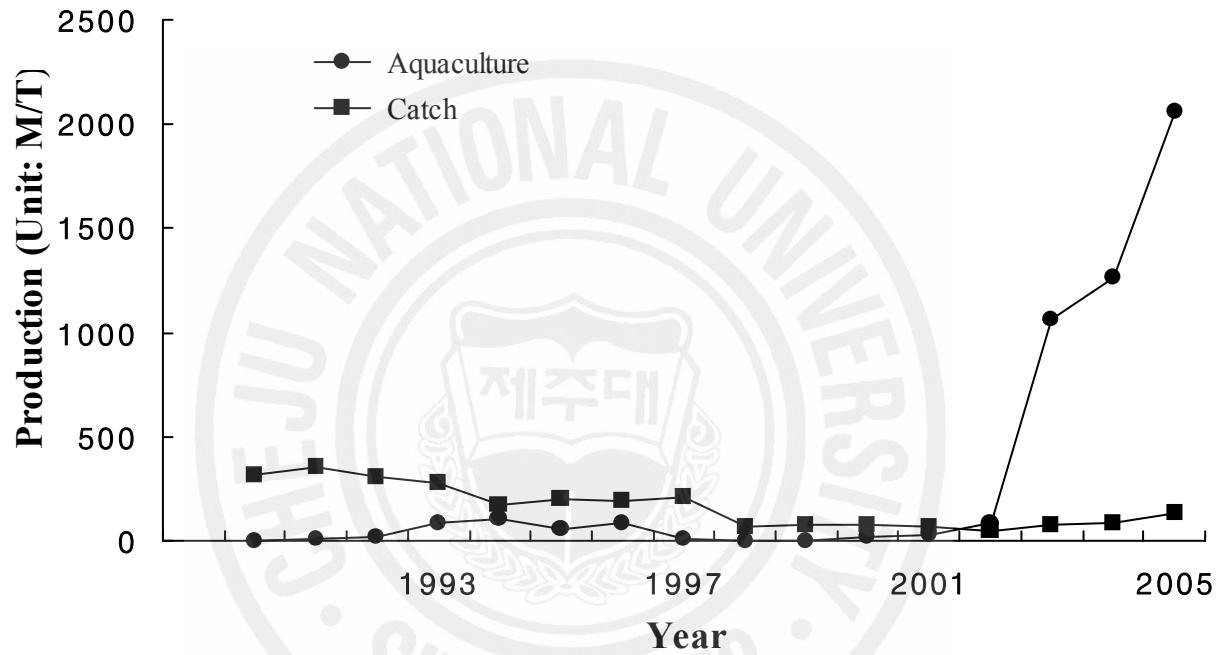


Fig. 1. Annual variation of catch and aquaculture of abalone from 1990 to 2005 in Korea.

## II. 재 료 및 방 법

### 1. 실험재료

실험에 사용한 시볼트전복은 제주도 한림읍 옹포리 국립수산물과학원 패류육종 센터에서 완전양식을 목적으로 어미 성숙관리실에서 사육관리된 개체로서 3~7년간 충분한 먹이를 공급하며 사육관리한 건강하고 활력있는 어미를 선정하였다.

채란용 어미는 성숙 연령별로 3, 4, 5, 6, 7년생으로 Sakai(1960)와 小島(1975)의 방법에 의해 선별한 암수 각각 10마리와 5마리씩을 이용하였으며, 연령별 각장과 전중량 범위는 Table 1과 같다.

### 2. 실험방법

#### 1) 산란유발 및 수정

산란유발은 간출자극실에서 28℃의 온도를 유지하면서 60여분정도 노출시키는 간출자극 방법과, 500 mw·h/L의 자외선조사 해수자극 방법(菊地·浮, 1974a)을 병행하였다. 수정률 조사는 菊地·浮(1974b)의 방법에 준하였으며, 20만~30만/ml 밀도의 정자를 일정량 첨가하는 방법(put sperm into egg contained tank, PSE)과 정자액에 넣는 침지방법(put eggs into sperm contained tank, PES)을 비교하였다. 산란수와 수정란수, 부화유생수 조사는 1 mL의 피펫을 이용하여 무작위로 채취한 후 현미경에서 전수조사를 하였다.

Table 1. Measurement of *H. sieboldii* used in spawning induction test at different growth ages

Age (Year)	Number of Adult	Shell length (cm) ( $\pm$ SD)	Total weight (g) ( $\pm$ SD)
3	15	6.8 $\pm$ 1.9	78.0 $\pm$ 8.1
4	15	9.8 $\pm$ 2.6	95.3 $\pm$ 12.2
5	15	11.0 $\pm$ 3.7	124.2 $\pm$ 18.2
6	15	13.5 $\pm$ 4.3	168.8 $\pm$ 23.3
7	15	15.4 $\pm$ 1.7	207.7 $\pm$ 12.8

## 2) 생식주기

생식소 증량지수(Gonado somatic index : GSI)와 비만도 변화 및 생식세포의 발달단계 등 생식주기 조사는 2001. 6~2002. 5월까지 조사하였으며, GSI는 section한 조직의 횡단면을 해부현미경에서 디지털카메라로 촬영, Image scope software program을 이용하여 생식소와 소화맹랑의 면적비로 계산하였다(Fig. 2).

조직학적 관찰을 위하여 시료는 각장, 각폭, 전중량, 가식부중량, 생식소중량을 측정하고, 생식소는 심장부를 경계로 절취한후 Bouin's액에 고정한 후 3등분하여 상법인 파라핀 절편법에 의해 마이크로톰으로 조직을 5~6  $\mu\text{m}$ 로 절편하여 표본을 제작한 후, Hansen's haematoxylin과 eosin으로 이중염색하여 광학현미경에서 검경하였다.

## 3) 발생과 생물학적 영도

생물학적 영도(biological minimum temperature)를 추정하기 위해 수정란과 유생발생 과정을 수온 범위 17°C, 20°C, 23°C 및 26°C로 설정하여 광학현미경(Olympus BX 60)에서 발생단계를 조사하였다.

유생의 변태에 대한 판정은 關·菅野(1981)의 방법에 준하였으며, 수온별 초기 발생속도를 파악하기 위한 중요한 단계는 수정란, 4세포기, 상실기, 담륜자기, 피면자기 유생 및 제 2 두부축각형성 유생으로 발생단계를 구분하고(Fig. 3), 각 발생단계를 소요시간과 수온에 대한 지수함수식으로 나타내어 생물학적 영도를 추정하였다.

## 4) 먹이종류별 치패성장

실험사료 제조는 단백질과 탄수화물원으로 북양어분, 건조미역 분말, 대두박, 소

$$GSI = \frac{G}{A} \times 100 \quad DDI = \frac{D}{A} \times 100$$

(A: 생식소부위 단면적, G: 생식소, D: 소화맹낭)

$$\text{비만도} = \frac{\text{가식부중량} - \text{생식소부위중량}}{\text{전 중량}} \times 100$$

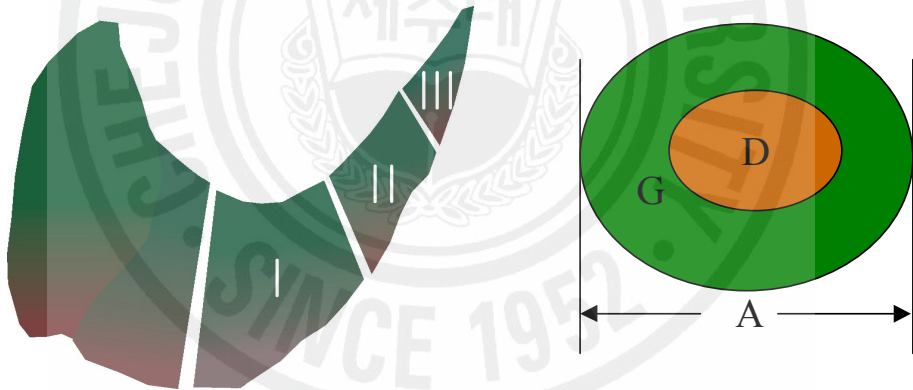


Fig. 2. The calculation of the ratio of partial portion and total gonad.

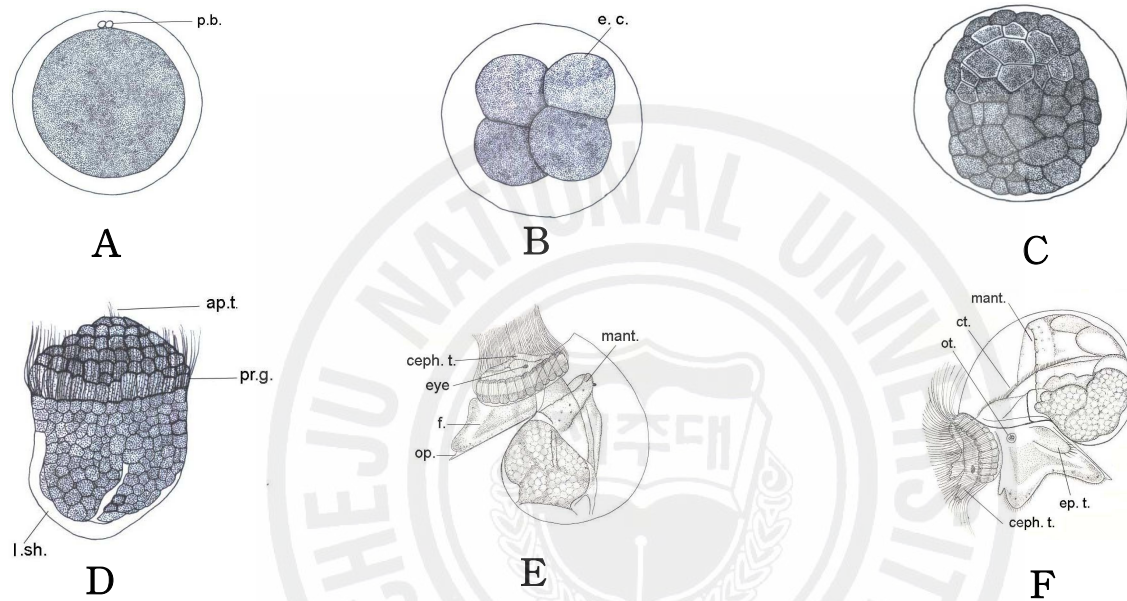


Fig. 3. Early developmental stages of *H. sieboldii*.

A: fertilized egg; B: 4-cell stage; C: morula stage; D: trochophore stage;

E: veliger stage; F: 2nd cephalic tentacle.

ap. t.: apical tuft; ceph. t.: cephalic tentacles; ct: ctenidium; e.c.: endodermal cell;

ep.t.: epipodial tentacle; l.sh.: larval shell; mant. : mantle; op.: operculum;

ot.: otolith; p.b.: polar body; pr.g.: prototrochal girdle.

Table 2. Ingredients of the formulated diet

Ingredient	%
White fishmeal	15.0
Soybean meal	15.0
Sea mustard powder	32.0
Wheat flour	10.0
Sodium alginate	20.0
Squid liver	2.0
Mineral mixture	4.0
Vitamin mixture	2.0



맥분 등을 이용하였고, 지질원으로는 오징어 간유를 첨가하였으며, Uki et al. (1985)의 방법에 준하여 점착제로써 Sodium alginate를 20% 첨가하였다(Table 2).

먹이에 따른 성장실험은 평균각장 5.0±1.0 mm의 크기의 치패를 선별하여 실험수조(52×36×30 cm)에 300마리씩 수용, 3반복으로 실험구를 설정한뒤 부착규조류, 다시마(*Laminaria japonica*), 파래(*Ulva pertusa*) 및 실험사료를 공급하면서 12개월간 조사하였다. 먹이는 충분한 량을 공급하는 것을 원칙으로 하였고, 치패의 성장도는 매월 1회씩 실험종료시까지 각장을 측정하여, 다음과 같은 식에 의하여 일간성장량을 계산하였다.

$$\text{일간성장량}(\mu\text{m}) = \frac{\text{종료시 평균각장(mm)} - \text{개시시 평균각장(mm)}}{\text{사육일수} \times 100}$$

부착규조류는 국립부경대학교 한국 해양미세조류 은행에서 보존 중인 *Navicula pelliculosa*를 연속배양하여 파판에 고밀도로 부착시킨후, 자연조건에서 섭이가 이루어지도록 하면서 2~3일에 1회씩 파판을 교체해주었다.

규조류의 배양을 인위적으로 촉진시키기 위하여 Conwy배지를 사용하였으며(Table 3), 별도로 규산나트륨 용액( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  : 증류수 1 L에 100 g 용해)을 배양수 1 L에 1 mL를 첨가해 주었다. 배양 조건은 大貝 等 (1991)와 河村 等 (1998)의 방법에 준하였으며, 수온은 11.8~26.9℃, 조도는 1,000~35,000 lux, 염분은 30~32범위였다.

## 5) 통계처리

실험 데이터는 Statistical Analysis System SAS Inc.(version 9.2)

program으로 ANOVA를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리 평균간의 유의성을 95% 신뢰한계에서 검정하였으며, ANOVA로 성장에 관한 상관 요인을 분석하였다.



Table 3. Composition of Conwy medium (from Walne, 1974)

A Solution	Na <sub>2</sub> EDTA	45.00 g
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	33.60 g
	NaNO <sub>3</sub> (KNO <sub>3</sub> )	100.00 g
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	20.00 g
	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.36 g
	FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	1.30 g
	B Solution	1.00 ml
	Distilled water(to make)	1000 ml
B Solution (Trace metal solution)	ZnCl <sub>2</sub>	2.1 g
	CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	2.0 g
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.9 g
	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	2.0 g
	Distilled water(to make)	100.0 ml
C Solution (Vitamin mix)	Vitamin B <sub>1</sub>	200 mg
	Vitamin B <sub>12</sub>	10 mg
	Distilled water(to make)	200 ml
- Utilization : 1 ml Conwy medium/liter of seawater		

### Ⅲ. 결 과

#### 1. GSI 및 비만도의 월변화

시볼트전복의 월별 GSI변화(Fig. 4)는 암컷은 6월에 8.78에서 서서히 증가하기 시작하여 8, 9월에 각각 25.32, 78.35의 값을 나타냈고, 11월에 84.13으로 최고치를 보였으며, 그후 감소하기 시작하여 2월에 7.41로 최저치를 보였다. 수컷도 암컷과 유사한 경향을 보여 6월에 10.31에서 10월에 79.0으로 최고치를 나타냈고, 5월에 5.88로 최저치를 보였다.

비만도는 6~8월에 47.6~47.4의 값을 유지 하다가 성숙 및 산란기인 9~12월에 44.0~39.6으로 감소 하였으며, 산란초기인 11월에 39.0로 최소값을 보인 이후 산란 후반기인 12월에 47.7로 서서히 증가하여 1~5월에는 52.0~51.0로 다시 증가 하였다(Fig. 5).

#### 2. 생식주기

월별 생식소의 발달과정을 조직학적 관찰 결과 시볼트 전복의 생식주기는 암컷은 휴지 및 회복기(1~3월), 분열 증식기(4~6월), 성장기(7~10월), 주산란기(11~12월)로 나타났고(Fig. 6), 수컷은 휴지 및 회복기(1~4월), 분열 증식기(5~7월), 성장기(8~9월), 주산란기(10~12월)로 나타났다(Fig. 7).

#### 3. 산란, 수정 및 부화

성숙연령별 어미의 산란유발 실험 결과(Table 4), 3년생 어미에서 산란 반응을 보

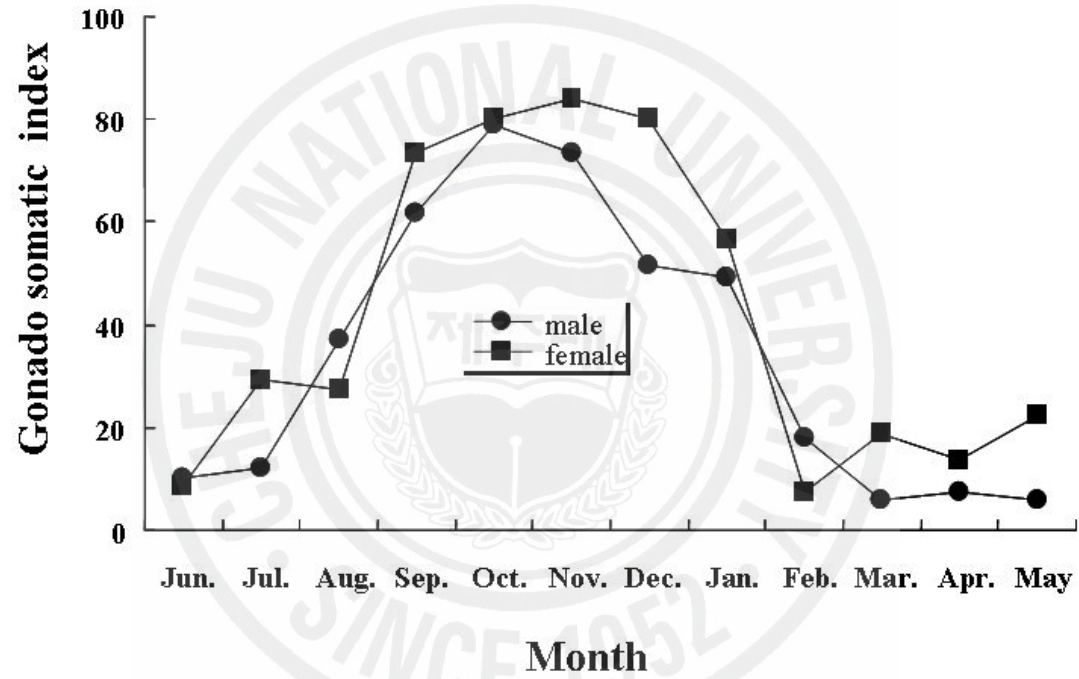


Fig. 4. Monthly variation of gonado somatic index of *H. sieboldii*.

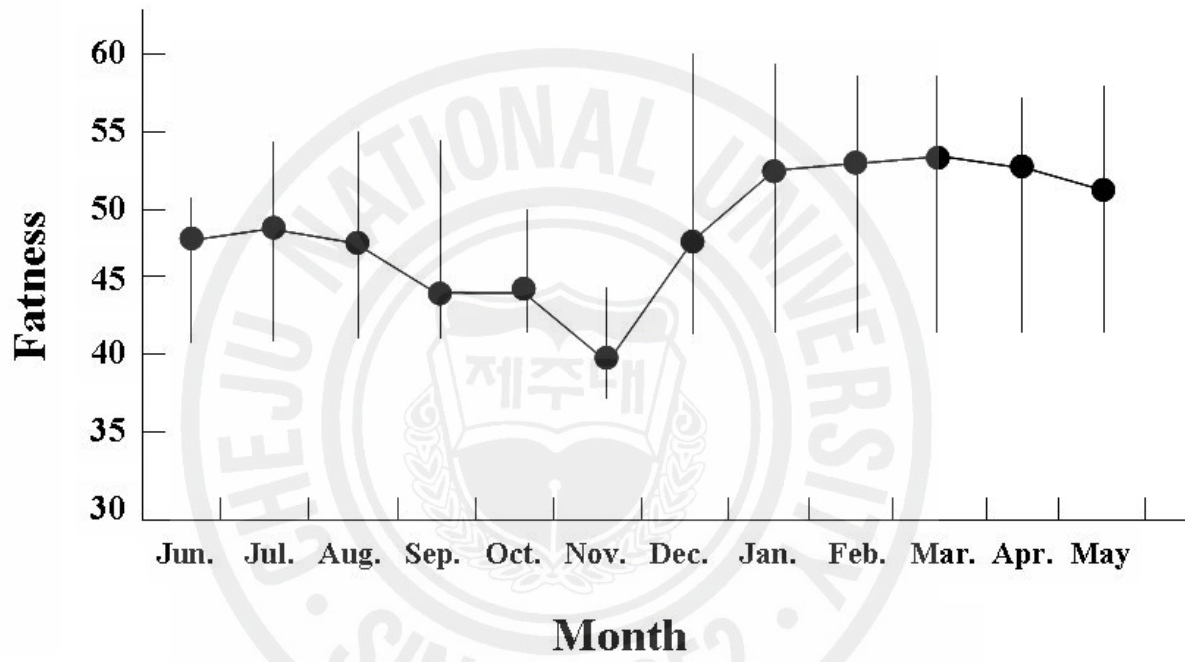


Fig. 5. Monthly variation of fatness of *H. sieboldii*.

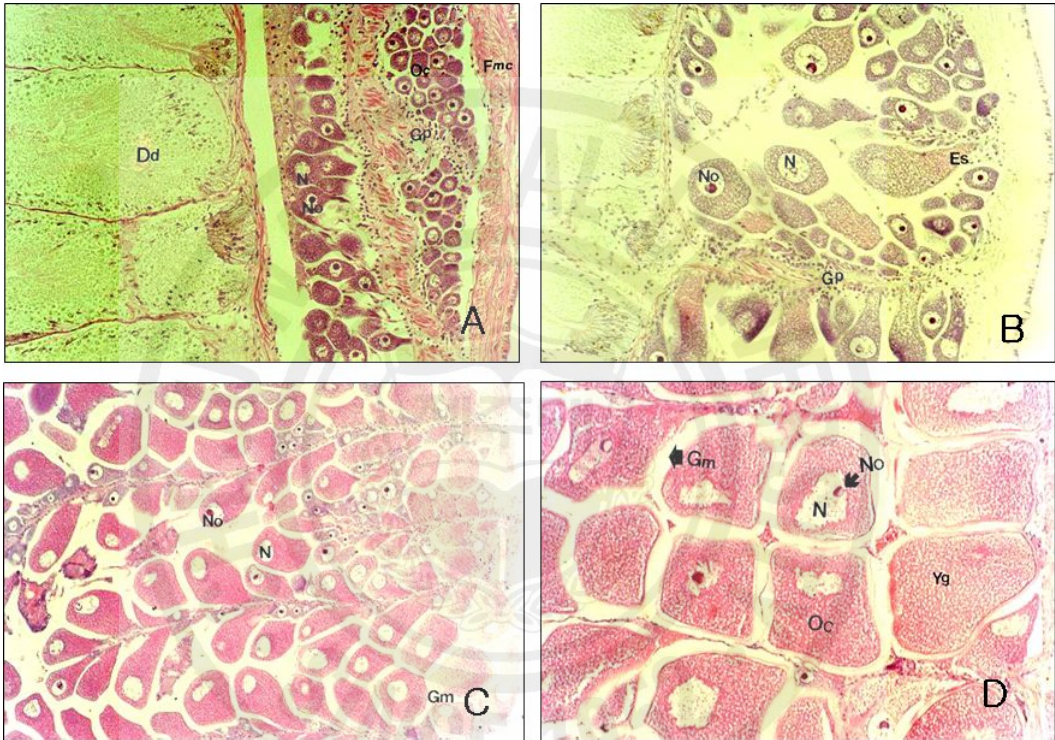


Fig. 6. Developmental stages in the ovary of *H. sieboldii*.

A : degenerative stage; B : multiplicative stage; C : growing stage;  
 D : spawning stage.

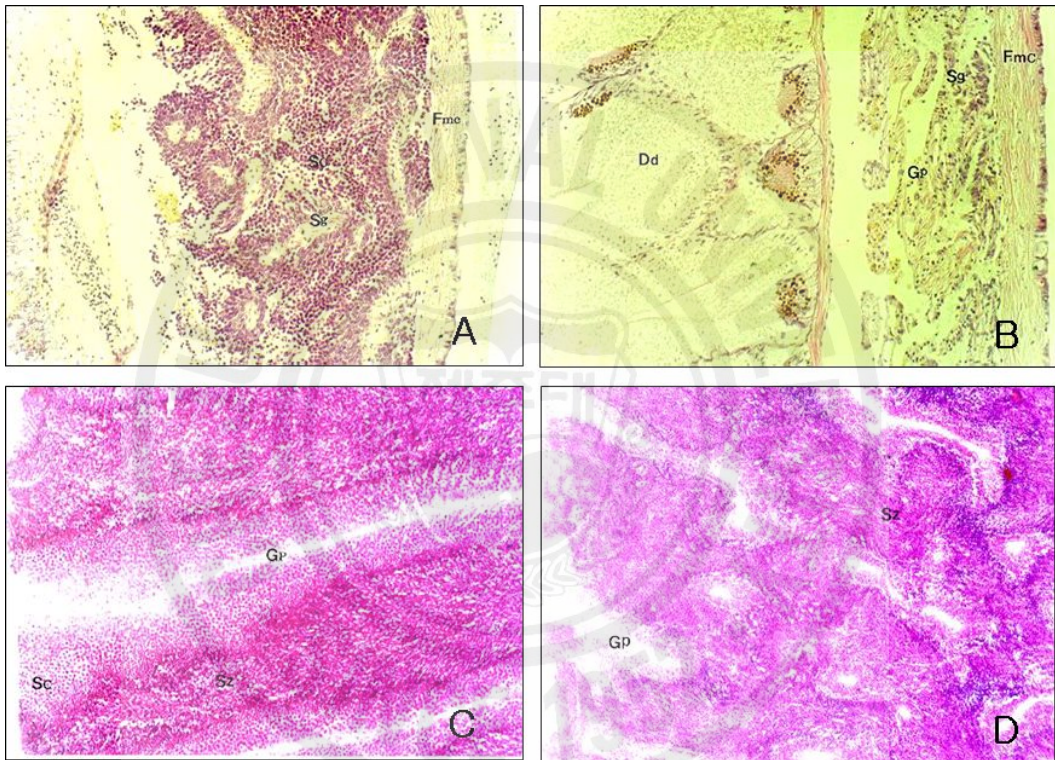


Fig. 7. Developmental stages in the testis of *H. sieboldii*.

A : degenerative stage; B : multiplicative stage; C : growing stage;

D : spawning stage.



인 개체는 암수 각각 4마리씩으로 반응률은 40.0%와 80.0%로 수컷이 반응률이 높게 나타났다. 한편 4, 5, 7년생의 성숙 어미에서도 비슷한 경향을 보였으나, 특히 6년생 어미의 경우, 반응률은 암수 각각 80.0%, 100.0%로 높게 나타났다.

시볼트전복의 연령별 산란수를 조사한 결과(Table 5), 3년생 어미의 산란량은 96,000~247,000개(평균 114,000개)였다. 4년생은 195,000~963,000개(평균 567,000개), 5년생은 187,000~2,363,000개(평균 1,345,000개), 6년생 어미는 1,955,000~3,765,000개(평균 2,335,000개)로 가장 많은 산란량을 보였고, 6년생 어미를 정점으로 7년생 어미의 개체당 평균 산란량은 1,345,000개로 감소하는 경향을 나타냈으며, 성숙연령과 크기에 따라 차이를 보였다.

연령별로 산란한 시볼트전복의 암수 배우자의 수정률과 부화율을 Table 5에 나타내었다. 수정률은 산란수조에 20만~30만/mL 밀도의 정자를 일정량 첨가하는 방법(put sperm into egg contained tank, PSE)으로 조사한 결과 모든 개체에서 10.0% 미만이 매우 저조한 결과를 보이는 특징을 나타냈다. 부화율도 3년산이 평균 55.1%로 비교적 낮게 나타났으며, 다른 실험군에서도 50.0%미만의 부화율을 보여 연령에 관계없이 저조한 결과를 보였다.

PES(put eggs into sperm contained tank) 수정방법에 의한 정자 농도별 수정률은 정자농도  $2,400 \times 10^4$ /mL 에서 80.5%로 가장 높게 나타났고, 고농도인  $4,800 \times 10^4$ /mL의 정자농도에서는 수정률이 13.8%로서 낮은 결과를 보이기도 하였지만 난막용해현상이 높게 나타나 실용적인 수정률 확보가 어려웠다. 비교적 저농도인  $1,200 \times 10^4$ /mL 에서는 69.5%,  $48 \times 10^4$ /mL 농도에서는 2.6%로 매우 낮은 수정률을 보였는데(Table 6, Fig. 8), 이러한 결과는 부화율은 수정률과 비례하는 상관관계를 보였으며, 적정정자농도는 일반적인 전복류의 수정방법인 PSE 방법의 정자농도보다 훨씬 높은 정자농도를 요구하는 결과를 보였다.

Table 4. Spawning rate of *H. sieboldii* by broodstock ages

Broodstock age (year)	Number of adults		Number of spawning		Spawning rate (%)		Method of Stimulation
	Female	Male	Female	Male	Female	Male	
3	10	5	4	4	40	80	U.V Ray + Dry
4	10	5	5	4	50	80	
5	10	5	6	5	60	100	
6	10	5	8	5	80	100	
7	10	5	4	4	40	80	

Table 5. Number of eggs of *H. sieboldii* by broodstock ages and their fertilization and hatching rates by PSE\*

Broodstock age (year)	Number of adults	Number of eggs (individuals)	Fertilization rate (%)	Hatching rate (%)	Method of Fertilization
3	4	96,000~247,000 (114,000)	8.3~8.5 (8.3)	53.2~58.3 (55.1)	PSE
4	5	195,000~963,000 (567,000)	8.3~9.7 (9.0)	49.5~56.9 (52.2)	"
5	6	187,000~2,363,000 (1,345,000)	9.1~9.6 (9.3)	38.5~60.7 (49.8)	"
6	8	1,955,000~3,765,000 (2,335,000)	9.2~9.7 (9.5)	36.3~60.2 (50.6)	"
7	4	836,000~1,832,000 (1,345,000)	7.3~8.2 (7.7)	47.3~56.2 (55.4)	"

\* PSE : put sperm into egg contained tank.

Table 6. Fertilization and hatching rate of *H. sieboldii* with different sperm density by PES\*

Multiple of dilution	Sperm density( $\times 10^4$ )	Numbers of egg observed		Fertilization Rate (%)	Hatching rate(%)	Method of Fertilization
		Normal	Abnormal			
1	4,800	39	243	13.8	-	PES
2	2,400	215	52	80.5	86.3	
3	1,600	167	146	53.4	87.2	
4	1,200	128	216	37.2	65.9	
5	960	104	244	6.3	10.8	
10	480	18	267	2.6	5.3	
30	160	5	304	-	-	
50	96	8	325	-	-	
100	48	-	296	-	-	
300	16	-	353	-	-	
500	9.6	-	286	-	-	
1000	4.8	-	319	-	-	

\* PES : put eggs into sperm contained tank.

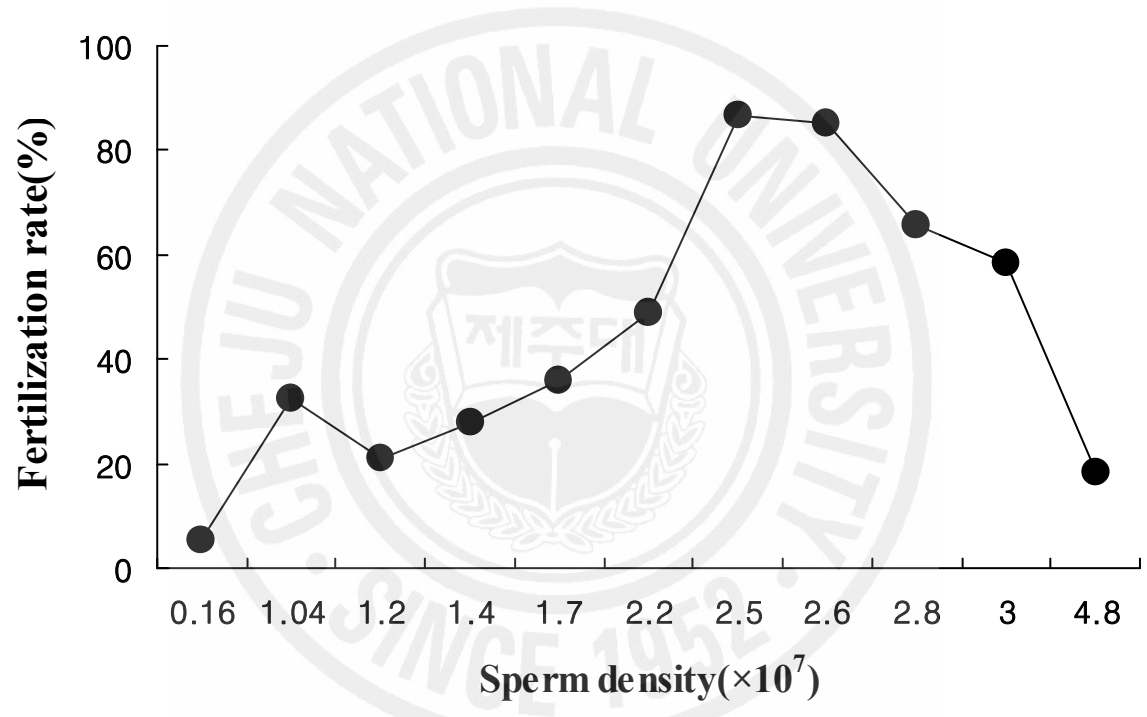


Fig. 8. Fertilization rate of *H. sieboldii* with differnr sperm density by PES.

#### 4. 발생과 생물학적영도

시볼트전복의 수정란부터 제 2 두부촉각형성까지의 발생단계에 대한 수온별 소요시간을 Table 7에 나타내었다.

17℃에서 4세포기까지의 소요시간은 3.6시간 정도가 소요되었으며, 26℃에서는 빠른 진행이 이루어져 0.6시간이 소요되었다. 상실기까지의 소요시간도 마찬가지로 높은 수온에서 발생속도가 빠르게 진행되었으며, 17℃에서 10여시간정도 걸린 반면, 26℃에서는 3.8시간이 소요되었다. 부화유생인 trochophore까지의 소요시간은 26℃에서 8.8시간, 유각이 형성되는 시기인 veliger 단계까지의 소요시간은 17℃에서 21.5시간, 26℃에서는 11.5시간이 소요되었다. 일반적으로 채묘시기로 판단하는 제 2 두부촉각형성 단계까지는 17℃에서 100.2시간, 20℃에서 86.5시간, 23℃에서 70.5시간, 26℃에서 58.8시간이 걸리는 것으로 나타나 수온이 높을수록 발생 소요시간도 짧아지는 경향을 보였다.

각 발생단계별 소요시간은 수온에 대한 지수함수적 관계식으로 나타낼수 있었다(Fig. 8). 즉, Y축은 시간의 역수, X축은 수온을 나타내고 있으며, 이로부터 얻어진 수온(T: ℃)과 발생단계별 소요시간(t: hour)의 관계식은

4 세포기	$1/h = 0.1346T - 2.1709$ ( $r^2 = 0.88$ )
상실기	$1/h = 0.0176T - 0.2184$ ( $r^2 = 0.89$ )
담륜자기	$1/h = 0.0063T - 0.0512$ ( $r^2 = 0.98$ )
피면자기	$1/h = 0.0045T - 0.0295$ ( $r^2 = 0.99$ )
제 2 두부촉각형성	$1/h = 0.0008T - 0.0047$ ( $r^2 = 0.99$ )

으로 표시되었다. 이러한 관계식에 의해 Y축의 값이 0일때 회귀직선식이 X축에 정하는 수온, 즉 시볼트전복의 초기발생에 있어서 난발생이 정지하는 생물학적 영도는 평균 9.7℃로 추정되었다(Fig. 9).

Table 7. Relationships between water temperature and developmental time (hours) with developmental stages

Developmental stage	Water temperature (°C)			
	17	20	23	26
4-cell	3.6	2.6	1.3	0.6
Morula	10.0	8.5	6.1	3.8
Trochophore	17.1	14.1	10.6	8.8
Veliger	21.5	16.3	13.0	11.5
2nd cephalic tentacle	100.2	86.5	70.5	58.8

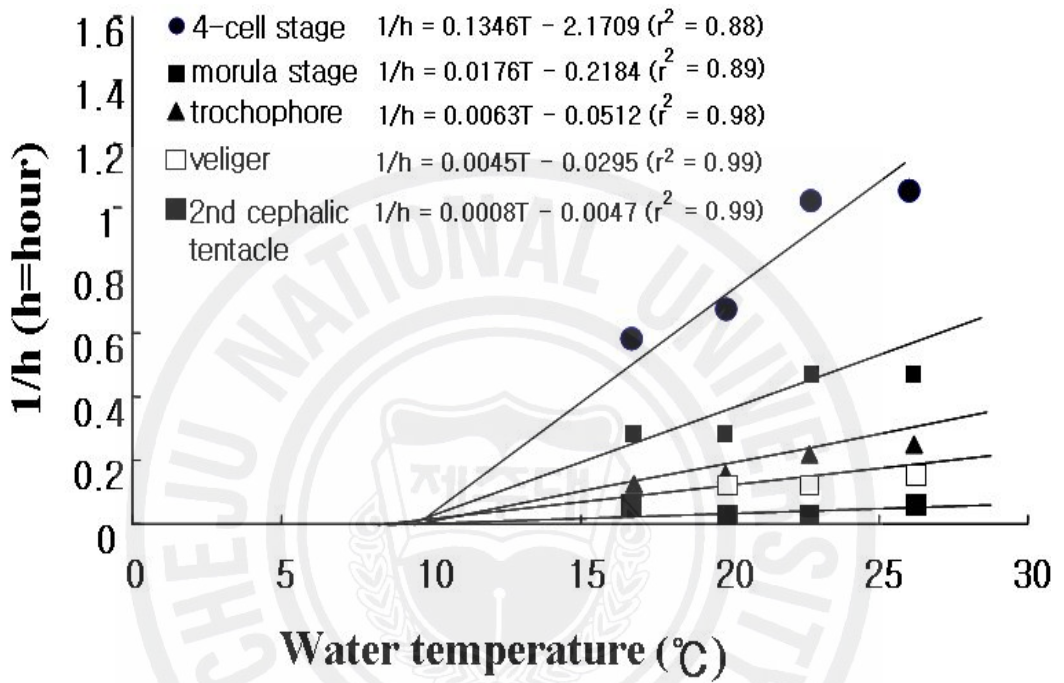


Fig. 9. Relationships between water temperature and developmental time (hours) with developmental stage.



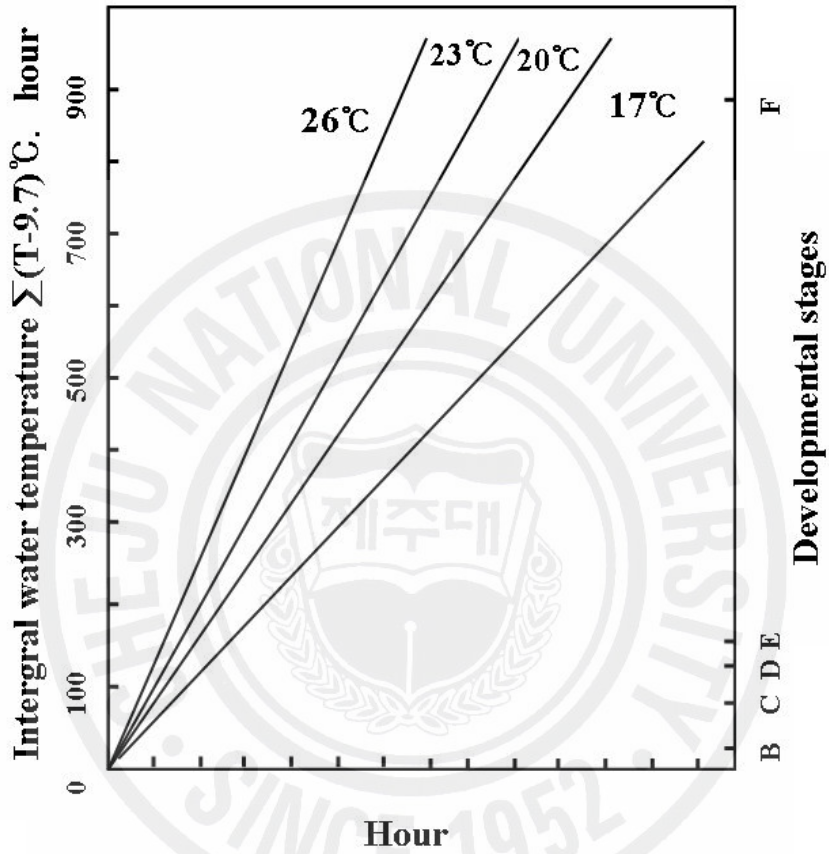


Fig. 10. Relationships between time required to developmental stages and integral water temperature.

B: 4-cell stage; C: morula stage; D: trochophore stage;

E: veliger stage; F: 2nd cephalic tentacle.

수온별로 각 발생단계에 이르기까지 소요시간은 수온에 대한 회귀직선식과 생물학적영도를 넘어선 수온의 시간적인 적산치로 나타낼 수 있었다. X축은 시간을 나타며, 좌측의 Y축은 각 발생수온에서 생물학적 영도를 뺀 수온의 시간적 적산치이고, 우측의 기호는 각 발생단계를 표시하였다(Fig. 10).

## 5. 먹이종류별 치패성장

먹이별 성장 실험에 사용한 실험사료와 파래, 다시마 및 부착규조류의 일반성분과 아미노산 분석결과를 Table 8, 9에 나타내었다.

조단백, 조지방 및 수분의 함량은 실험사료에서 각각 24.2%, 3.3%, 13.6%이었고, 파래는 각각 2.1%, 0.2%, 94.6%, 다시마는 각각 1.9%, 0.2%, 88.7%, 부착규조류는 각각 2.3%, 0.3%, 95.1%로써 실험사료가 높은 단백질 함량을 보였다.

실험사료와 해조류 3종에 대한 Amino acid를 분석한 결과, 실험사료에서 Aspartic acid의 수치가 파래(144.9 mg/100 g)나 다시마(608.2 mg/100 g), 부착규조류(0.9 mg/100 g)에 비하여 월등히 높은 2,205.9 mg/100 g를 보이고 있다. Glutamic acid의 경우도 파래(149.7 mg/100 g), 다시마(571.0 mg/100 g), 부착규조류(16.3 mg/100 g)보다 높은 3,817.6 mg/100 g의 값을 나타내고 있다.

실험사료, 파래, 다시마 및 부착규조류를 먹이로하여 시볼트전복의 각장 성장을 조사한 결과(Table 10, Fig. 10), 실험사료의 경우 6개월 후  $21.3 \pm 2.3$  mm로 성장하여 12개월 후에는  $36.3 \pm 2.5$  mm로 4개 실험구중 유의하게 빠른 성장을 보였다( $P < 0.05$ ). 파래실험구에서 실험종료시 까지 평균 일간 성장량은  $58.6 \mu\text{m}$ 로서 실험종료시에는 각장의 크기가  $26.5 \pm 2.6$  mm로 성장하여 4개 실험구중 가장 낮은 성장상태를 보여 부착규조류를 제외한 나머지 실험구에서 유의차가 인정되었다( $P < 0.05$ ).

다시마는 3개월 후  $8.4 \pm 1.7$  mm로 성장하여 실험종료시에는  $29.2 \pm 1.0$  mm로 성장하였고, 실험기간 중 일간성장량은  $66.0 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 부착규조류의 경우 3개월 후  $8.8 \pm 1.7$  mm로 성장하여 실험종료시에는  $27.4 \pm 2.2$  mm로 성장하였다. 실험기간 중 일간성장량은 파래, 다시마 및 부착규조를 먹이로 한 실험구에서 각각  $58.6 \mu\text{m}$ ,  $66.0 \mu\text{m}$ ,  $61.1 \mu\text{m}$ 로 나타난 반면, 실험사료에서는  $85.5 \mu\text{m}$ 로 가장 높은 일간성장량을 보였다.



Table 8. Proximate composition (%) of the diets used for growth experiment

Kinds of feed	Crude protein	Crude lipid	Water
Formulated diet	24.2	3.3	13.6
<i>Ulva pertusa</i>	2.1	0.2	94.6
<i>Laminaria japonica</i>	1.9	0.2	88.7
Diatom	2.3	0.3	95.1

Table 9. Amino acid content, ratio of essential amino acid (EAA) to total amino acid (TAA) of various diets used in experiment

Amino acids	mg/100 g edible portion (percent in protein)			
	<i>U. pertusa</i>	<i>L. japonica</i>	Formulated diet	Diatom
Alanine	123.0(10.6)	96.2 (4.9)	1,371.3 (6.6)	10.3 (8.1)
Ammonia	19.2 (1.6)	12.4 (0.6)	230.0 (1.1)	2.8 (2.2)
Arginine	79.8 (6.8)	35.4 (1.8)	1,199.9 (5.8)	4.9 (3.9)
Aspartic acid	144.9(12.4)	608.2(31.1)	2,205.9(10.6)	0.9 (13.2)
Cysteine	24.2 (2.1)	13.8 (0.7)	166.2 (0.8)	1.7 (1.4)
Glutamic acid	149.7(12.8)	571.0(29.2)	3,817.6(18.4)	16.3(12.8)
Glycine	75.6 (6.5)	53.5 (2.7)	1,222.9 (5.9)	8.6 (6.7)
Histidine	12.8 (1.1)	15.1 (0.8)	337.4 (1.6)	2.0 (1.6)
Isoleucine	40.2 (3.4)	31.0 (1.6)	777.2 (3.7)	4.8 (3.8)
Leucine	72.6 (6.2)	62.8 (3.2)	1,665.2 (8.0)	9.1 (7.1)
Lysine	38.1 (3.3)	45.8 (2.3)	1,007.5 (4.8)	4.4 (3.4)
Phenylalanine	57.2 (4.9)	41.9 (2.1)	928.2 (4.5)	7.1 (5.6)
Proline	49.8 (4.3)	19.4 (4.7)	1,339.1 (6.4)	6.9 (5.4)
Serine	72.4 (6.2)	58.5 (3.0)	1,011.3 (4.9)	7.4 (5.8)
Taurine	9.4 (0.8)	33.1 (1.7)	36.1 (1.7)	0.9 (0.7)
Threonine	73.2 (6.3)	87.0 (4.4)	982.3 (4.7)	8.1 (6.4)
Tyrosine	34.1 (2.9)	29.0 (1.5)	662.7 (3.2)	4.0 (3.2)
Valine	68.4 (5.9)	49.9 (2.5)	915.6 (4.4)	7.7 (6.1)
Total	1,165.7(100)	1,958.6(100)	2,0803.2 (100)	127.0 (99.9)
EAA/TAA (%)	31.8	17.4	33.1	34.9

Table 10. Shell length (mm) and its growth of *H. sieboldi* reared with various diets for 12 moths

Diets	Rearing time (month)					Daily increment( $\mu\text{m}$ )
	0	3	6	9	12	
<i>Ulva pertusa</i>	5.1 $\pm$ 1.2	7.5 $\pm$ 1.6 <sup>d</sup>	14.7 $\pm$ 2.1 <sup>d</sup>	22.3 $\pm$ 2.5 <sup>c</sup>	26.5 $\pm$ 2.6 <sup>c</sup>	58.6
<i>Laminaria japonica</i>	5.1 $\pm$ 1.2	8.4 $\pm$ 1.7 <sup>c</sup>	16.5 $\pm$ 1.9 <sup>b</sup>	24.7 $\pm$ 2.4 <sup>b</sup>	29.2 $\pm$ 3.1 <sup>b</sup>	66.0
Formulated diet	5.1 $\pm$ 1.2	12.2 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>	21.3 $\pm$ 2.3 <sup>a</sup>	31.3 $\pm$ 2.4 <sup>a</sup>	36.3 $\pm$ 2.5 <sup>a</sup>	85.5
Diatom	5.1 $\pm$ 1.2	8.8 $\pm$ 1.7 <sup>b</sup>	16.3 $\pm$ 2.7 <sup>c</sup>	23.8 $\pm$ 2.7 <sup>bc</sup>	27.4 $\pm$ 2.2 <sup>bc</sup>	61.1

\* Values (mean $\pm$ s.d. of three replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

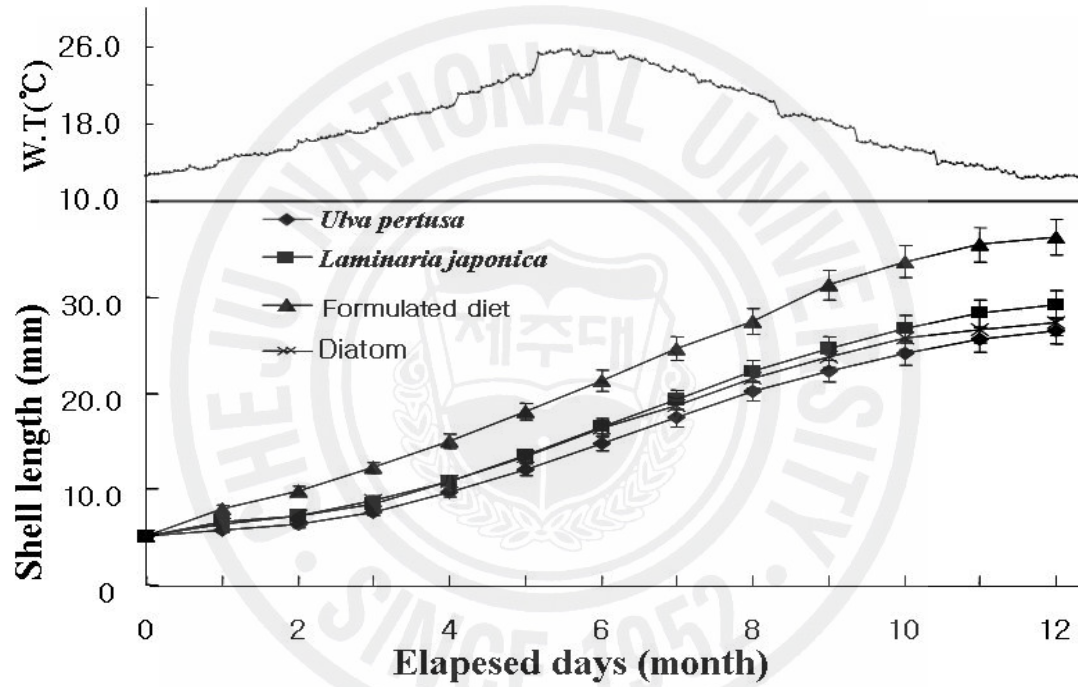


Fig. 11. Growth of *H. sieboldii* with various diet for 12 months.

## IV. 고 찰

중요 해산패류인 전복류의 양식을 위한 인공종묘 생산과정에서 생식주기를 비롯한, 산란유발, 수정 및 부화, 치패사육 관리등의 생물학적인 연구는 매우 중요한 단계로서 계획적인 양식기술을 확립하는데 필수불가결한 요소로 작용한다.

일반적으로 수산생물의 번식은 계절적인 변화와 함께 일정한 생식주기가 관찰되는 경우가 많고, 해산 무척추동물의 성숙에 관여하는 외부환경중 주된 요인은 온도, 광주기, 먹이조건 및 염분 등이다(Giese, 1959).

해산 패류의 산란기는 주년 산란하는 year round breeders, 가을에서 봄까지 산란하는 winter breeders, 봄부터 가을에 걸쳐 산란하는 summer breeders 3개 군으로 나눌수 있다(Booolootain et al., 1962). 원시복족목(原始鰻足目), 중복족목(中鰻足目), 신복족목(新鰻足目)의 산란기는 여름에 산란하는 경우가 많다. 후세아강(後鰻亞綱)의 산란기는 경향은 다소 다르지만 여름보다는 봄에 산란이 이루어지는 경우가 많으며, 일반적으로 각 목강(目綱)에 속하는 종은 거의 일치하는 시기에 산란하며(網尾, 1963), 시볼트전복의 경우 가을에서 봄에 산란하는 winter breeders군에 속한다. 본 실험에서 시볼트전복의 월별 GSI변화는 암컷은 6월에 8.78에서 서서히 증가하기 시작하여 11월에 84.13로 최고치를 보였으며, 수컷도 암컷과 유사한 경향을 보여 10월에 79.0으로 최고치를 나타냈다. 주 산란기는 암컷이 11~12월, 수컷은 10~11월로 추정되며, 이러한 결과는 같은 난류계 전복인 까막전복에 비하여 1~2개월 정도 늦게 나타나는 결과를 보였다(Fig.4).

전복류의 연령별 산란량에 관하여 Kang et al. (2003)은 참전복의 경우, 가장 9 cm 내외인 5년생 어미에서 평균  $1,000 \times 10^3$ 개 이상 산란하였고, 수정과 부화율에서도 가장 좋은 성적을 보였다고 하였다. 본 연구의 경우 연령별 산란수 수를 조사한 결과(Table 5), 3년생 어미의 산란량은 96,000~247,000개(평균 114,000개)였으며, 6년생 어미는 1,955,000~3,765,000개(평균 2,335,000개)



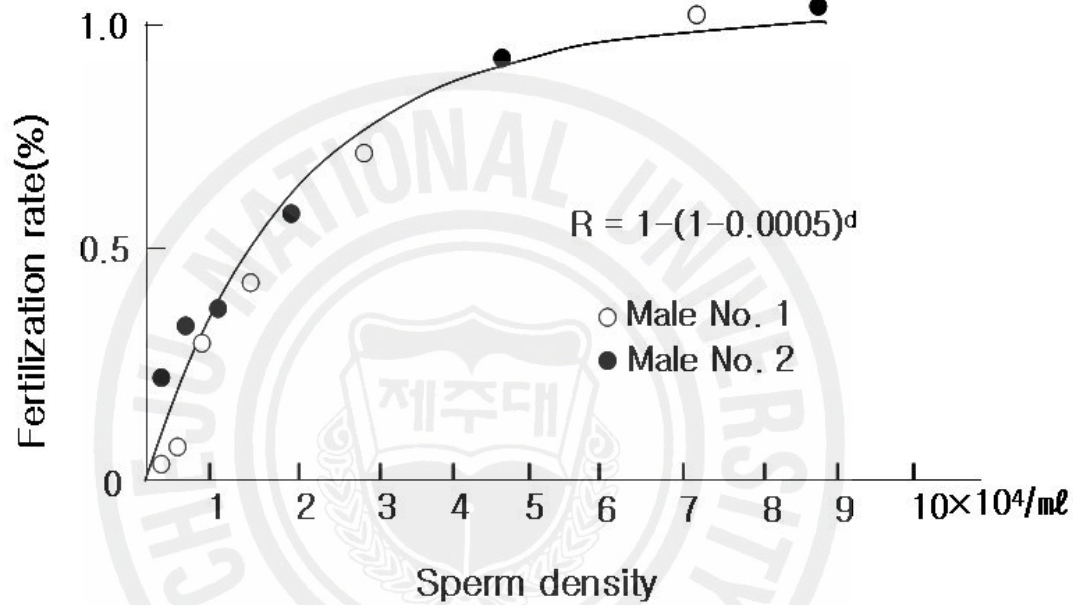


Fig. 12. Relation between numbers of sperm per ml and fertilization rate in lower sperm density(菊地・淳, 1974b)

로 가장 많은 산란량을 보였고, 6년생 어미를 정점으로 7년생 어미의 개체당 평균 산란량은 1,345,000개로 감소하는 경향을 나타냈으며, 성숙연령과 크기에 따라 차이를 보였다. 이러한 결과는 Kang et al. (2003)이 보고한 참전복과는 약간의 차이가 있으나, 시볼트전복이 참전복에 비하여 대형종인 이유와 산란에 관여하는 성숙요인이 작용했기 때문이라 생각된다.

수정은 난세포의 핵과 정자의 접합을 나타내며, 정자는 난표면에 도달하면 선체반응(acrosome reaction)을 일으킨다. 그 선체가 난의 피막을 통과해서 원형질과 접촉하여 수정이 이루어지는데, 정자농도와 수정률과의 관계는 정자농도 200만개/mL 이상에서는 유해작용이 나타나고 난막용해 현상이 관찰된다. 이러한 난막 용해현상은 정자의 선체에 갖고 있는 난막용해물질(egg membrane lysin)의 과잉분비로 발생하는 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 적정 정자농도는 20만개/mL가 적당하다고 보고한 바 있다(菊地·浮, 1974b). 본 실험에서 연령별로 산란한 시볼트전복의 암수 배우자의 수정률(Table 5)은 산란수조에 20만~30만/mL 밀도의 정자를 일정량 첨가하는 방법(put sperm into egg contained tank, PSE)으로 조사한 결과 모든 개체에서 10.0% 미만이 매우 저조한 결과를 보였다. 반면, PES (put eggs into sperm contained tank) 수정방법에 의한 정자 농도별 수정률은 정자농도  $2,400 \times 10^4$ /mL 에서 80.5%로 가장 높게 나타났고, 고농도인  $4,800 \times 10^4$ /mL의 정자농도에서는 수정률이 13.8%로서 낮은 결과를 보이기도 하였지만 난막용해현상이 높게 나타나 실용적인 수정률 확보가 어려웠다. 비교적 저농도인  $1,200 \times 10^4$ /mL 에서는 69.5%,  $48 \times 10^4$ /mL 농도에서는 2.6%로 매우 낮은 수정률을 보였다. 이러한 결과는 菊地·浮, 1974b가 보고한 참전복의 경우 정자농도  $50 \times 10^4$ /mL 개 이상의 농도에서는 90.0% 이상의 수정률을 보이고 난막 용해현상도 일어나지 않는 결과(Fig. 11)와는 큰 차이를 보이고 있을뿐 아니라, 보통 참전복과 까막전복에서 응용하는 PSE 방법의 정자농도보다 훨씬 높은 정자농도를 요구하고 있다. 이처럼 전복류의 인공수정시 일반적으로 사용되고 있는 PSE 방법에서 수정률이 매우 낮게 나타나는 것은 참전복과 까막전복과는 대조적인 현상으로, 시볼트전복에 대한 종묘생산에 장애요인으로 작용하고 있으며, 앞으로 정자와 난자에 대한 활력도 등 수정능력에 대한 보다 근본적인

연구가 필요할 것으로 생각된다.

전복류에 있어서 종의 특성을 나타내는 하나의 기준치로서 초기발생에 관여하는 생물학적 기초수온 즉, 생물학적 영도는 각 종류별 지리적 분포범위를 제한하는 중요한 요인이 된다는 점을 들 수 있는데(關·菅野, 1981), 전복류의 발생에 관여하는 생물학적 영도에 관한 연구는 Seki and Kanno (1977)가 *H. discus hannai*를 대상으로 생물학적 영도를 7.6°C로 구명하였다. 이 외에도 菊地·浮(1974c)는 *H. discus* 를 8.5°C로 산정한 바가 있다. Leighton (1974)는 *H. rufescens*와 *H. corrugata*, 그리고 *H. fulgens*의 생물학적 영도를 각각 8.5°C, 5.7°C 및 9.9°C로 보고한바 있다. 본 실험에서 사용한 시볼트전복의 경우 생물학적 영도는 9.7°C로 나타나 한류계인 참전복에 비하여는 조금 높은 수온이었으나, 난류계인 *H. discus*와 *H. gigantea*와는 비슷한 생물학적 영도를 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 난류역에 속하는 제주도의 겨울철 평균 수온이 12°C 이상인 점과 생물학적 영도인 9.7°C를 감안한다면 자연해수를 이용한 시볼트전복의 인공종묘생산시 제주도 해역의 수온은 적정하다고 판단된다. 본 실험에서 생물학적 영도를 산정하기 위해 수온별 발생실험을 실시한 결과, 수정란에서부터 제 2 두부축각형성까지의 발생단계에 대한 수온별 소요시간은 수온에 따라 차이가 있었다. 4세포기까지의 소요시간은 26°C에서는 빠른 진행이 이루어져 0.6시간이 소요되었고, 상실기까지의 소요시간도 마찬가지로 높은 수온에서 발생속도가 빠르게 진행되었다. trochophore까지의 소요시간은 26°C에서 8.8시간, 유각형성이 완료되는 시기인 veliger 단계까지의 소요시간은 17°C에서 21.5시간 소요되었다. 일반적으로 체묘시기로 판단하는 제 2 두부축각형성 단계까지는 20°C에서 86.5시간, 23°C에서 70.5시간이 소요되었다(Table 7). 이러한 결과는 각 발생단계별 소요시간을 수온에 대한 지수함수적 관계식으로 나타낼수 있었으며, 시볼트전복의 초기발생에 있어서 난발생이 정지하는 생물학적영도를 판정하는 기준자료로 활용될수 있다.

단백질원으로써 북양어분과 casein등을 사용한 인공사료로 전복의 성장도를

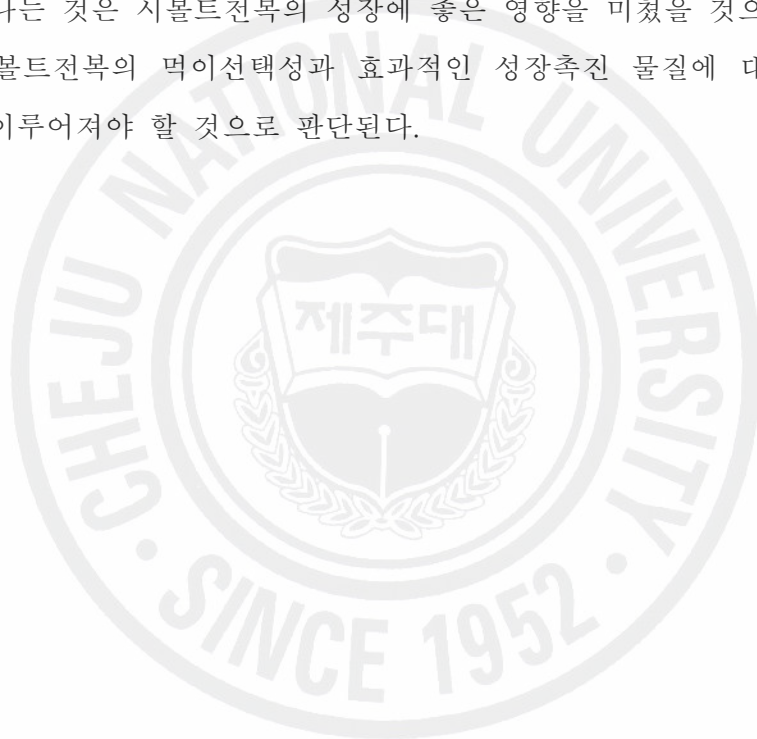
비교하였는데(Viana et al.1993), 북양어분은 소화흡수율이 낮아 성장이 떨어져 전복용 인공사료의 단백질원으로서 카제인이 바람직하다고 하였다. 그러나 Nie et al. 1986은 북양어분이 전복에 의해 잘 섭식되고 또한 경제적이므로 실용사료에서 중요한 위치를 차지한다고 하였다. 따라서 본 실험에 사용한 실험사료의 제조시에도 북양어분을 사용하였으며 조단백질의 조성은 24.2%로 眞岡·中村(1977)이 보고한 전복 배합사료의 최적 단백질함량 20~30%에 부합하는 함량이었다.

사육기간이 동일함에도 불구하고 먹이에 따라 전복의 성장이 차이가 나는 것은 시볼트전복이 선호하는 먹이와 영양성분의 차이에서 기인한 것이라 생각되어진다. 본 실험 결과 실험사료를 공급한 실험구에서 일간성장량이 85.5  $\mu\text{m}$ 로 파래, 다시마, 부착규조류의 58.6  $\mu\text{m}$ , 66.0 $\mu\text{m}$ , 61.1  $\mu\text{m}$ 보다 성장량이 월등히 높았는데, 이는 Viana et al.(1993)이 casein이나 어분 위주의 배합사료가 macroalgae (*Macrocystis pyrifera*)보다 전복의 성장에 더 높은 효과가 있다고 보고(Nie et al. 1986)한 결과와도 일치하였다. 정 등(1994)은 배합사료, 건조미역 및 배추를 0.7 g의 참전복에 공급한 결과 배합사료와 건조미역이 배추보다 높은 성장효과가 있다고 보고하였다. 이와 같이 천연먹이의 저조한 성장효과는 Lee et al.(1998)도 지적한 바 있듯이 해조류의 영양성분 중 단백질이나 지질 등의 함량이 배합사료보다 현저히 낮기 때문으로 해석된다. 반면에 정 등(1994)은 배합사료와 건조 미역 공급구간에 서로 차이가 없었다고 보고하였는데, 본 실험에서 실험사료구는 다시마보다 성장효과가 유의하게 높게 나타났다( $P<0.05$ ).

본 실험에서 실험사료를 공급하여 성장을 측정한 결과 5~6월에 일간 성장량이 최고 110  $\mu\text{m}$ 정도로 가장 높았고, 1~2월의 겨울철에 약 20~30  $\mu\text{m}$ 로 낮았는데, 난류계인 시볼트전복의 경우 제주 연안에서도 수온이 낮은 겨울철에는 성장에 큰 도움을 주지 못하는 것으로 판단된다.

합성 아미노산 실험 결과 가장 높은 결과를 나타낸 L-glutamic acid 는 L-amino acid 형태의 단백질을 구성하는 아미노산으로 특히 이 두 가지 물질

의 공통점은 흥분성 신경 전달 물질로 참전복 유생의 부착을 위한 감각 기관인 촉부 및 제 3촉각을 자극함으로써 부착을 유인하는 것으로 추측되어진다(생물학사전, 1998). 그리고 변태에 있어 L-glutamic acid의 칼륨 전달 작용에 의해 자연해수에 포함된 약 9 mM의 염화칼륨을 중추신경계로 전달하여 변태를 유인하는 것으로 생각된다(川原 等, 1995). 본 실험에서도 실험사료에서 아미노산 조성을 분석하여 비교한 결과, glutamic acid와 aspartic acid 값이 각각 3817.6 mg/100 g, 2205.9 mg/100 g로 높고, 조단백 함량도 24.2%로 높게 나타나는 것은 시볼트전복의 성장에 좋은 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 금후 시볼트전복의 먹이선택성과 효과적인 성장촉진 물질에 대한 체계적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.



## V. 요 약

난류해역에 서식하는 대형종인 시볼트전복, *Haliotis sieboldii*에 대한 인공종묘 생산기술 확립을 위하여 생식주기를 비롯한 산란량, 적정 정자농도와 수정률, 발생과 생물학적 영도, 치패사육에 관한 연구를 수행하였다.

생식주기는 암컷의 경우휴지 및 회복기(1~3월), 분열 증식기(4~6월), 성장기(7~10월), 주산란기(11~12월)로 구분 되었다

성숙 연령별 산란된 알의 수는 6년생 어미의 평균 산란량은  $2,335 \times 10^3$ 개로서, PSE(put sperm into egg contained tank)수정방법에 의한 수정률은 10.0% 미만으로 낮았으며, 부화율도 50%내외로 낮게 나타났다.

PES(put eggs into sperm contained tank) 수정방법에 의한 정자 농도별 수정률은 정자농도  $2,500 \times 10^4$ /mL에서 80.5%로 가장 높았으며,  $480 \times 10^4$ /mL 정자농도에서는 2.6%의 수정률을 보였다.

발생단계별 소요시간은 수온에 대한 지수함수적 관계식으로 나타낼수 있었으며, 수온(T: °C)과 발생단계별 소요시간(t: hour)의 관계식은

4 세포기	$1/h = 0.1346T - 2.1709$ ( $r^2 = 0.88$ )
상실기	$1/h = 0.0176T - 0.2184$ ( $r^2 = 0.89$ )
담륜자기	$1/h = 0.0063T - 0.0512$ ( $r^2 = 0.98$ )
피면자기	$1/h = 0.0045T - 0.0295$ ( $r^2 = 0.99$ )
제 2 두부축각형성	$1/h = 0.0008T - 0.0047$ ( $r^2 = 0.99$ )

으로 표시되었다.

시볼트전복의 초기발생에 있어서 난발생이 정지하는 생물학적 영도 (biological minimum temperature)는 평균 9.7°C로 추정되었다.

실험사료에서 조단백 함량은 24.2%, glutamic acid 값은 3817.6 mg/100 g,

로 높게 나타났고, 치패의 일간성장량도 85.5  $\mu\text{m}$ 로 다른 시험구 보다 높은 성장을 보여 모든 실험구에서 유의차가 인정되었다( $P < 0.05$ ).



## VI. 참고 문헌

- Apisawetakan, S., V. Linthong, C. Wanichanon, S. Panasophonkul, A. Meepool, M. kruatrachue, E.S. Upatham, T. Pumthong, and P. Sobhon, 2001, Ultrastructure of female germ cells in *Haliotis asinina* Linnaeus, Invertebr. Reprod. Dev., pp.67~79
- Booolotain, R. A., A. Farmanfarmaian and A. C. Giese, 1962, On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*, Biol. Bull., 122(2). pp.183~193
- Chanpoo, M., S. Apisawetakan, A. Thongkukiakul, C. Wanichanon, V. Linthong, M. kruatrachue, E. S. Upatham, T. Pumthong, P.J. Hanna, P. Sobhon, 2001, Localization of egg-laying hormone in the gonads of a tropical abalone, *Haliotis asinina* Linnaeus, J. Shellfish Res., 20, pp.725~731
- Chen, H.C., 1989, Farming the small abalone *Haliotis diversicolor supertexta* in Taiwan, In: K.O. Hahn (Editor), Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gastropods, CRC Press, Boca Raton, FL, pp.265~283
- Capinpin Jr, E.C., V.C. Encena II, and N.C. Bayona, 1998, Studies on the reproductive biology of the Donkey's ear abalone, *Haliotis asinina* Linné, Aquaculture, 166, pp.141~150
- Duncan, D. B., 1955, Multiple range and multiple F-tests, Biometrics, 11, pp.1~42
- Giese, A. C., 1959, Comparative physiology iannul reproductive cycles of marine invertebrates, Annv. Rev. Physiol. pp.547~576



- Horiguchi, T., M, Kojima, M, Kaya, T, Matsuo, H, Shiraishi, M, Morita, and Y, Adachi, 2002, Tributyltin and triphenyltin induce spermatogenesis in ovary of female abalone, *Haliotis gigantea*, Mar. Environ, Res., 54, pp.679~684
- Ino, T. 1951, Biological studies of the propagation of the Japanese abalone (genus *Haliotis*), Bul. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 5, pp.29~102
- Kang, K.H., B.H. Kim, Z.F, Zhang, J.M, Kim, J.D, Kim, and Y.H, Kim, 2003, The effect of broodstock age on the spawning performance of cultured *Haliotis discus hannai*, Kor. J. Mal., 19 (2), pp.107~110
- Lee, S. M., Y. S. Lim, Y. B. Moon, S. K. Yoo and S. Rho. 1998, Effect of supplemental macroalgae and spirulina in the diets on growth performance in juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*), J. Aquaculture. 11. pp.31~38
- Leighton, D.L. 1974, The influence of temperature on larval and juvenile growth in three species of southern California abalones, Fish. Bull., 72 (4), pp.1137~1145
- Mai, K. 1998, Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. VII. Effects of dietary vitamin C on survival, growth and tissue concentration of ascorbic acid, Aquaculture, 161, pp.383~392
- Nie, Z. Q., Z. Q. Wang and J. P. Yan. 1986, Experiments on preparing of formulated feed and feeding efficiency of young abalone, *Haliotis discus hannai* Ino, Mar. Fish. Res. 7, pp.53~64
- Sakai, S. 1960, On the formation of annual ring of the shell of the abalone, *Haliotis discus* var. *hannai* Ino, Tohoku J. Agr. Res., 11(3), pp.239~244
- Seki, T. and H, Kanno, 1977, Synchronized control of early life in the abalone, *Haliotis discus hannai*, Bul. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.

38. pp.43~153

Tan, B. and K, Mai, 2002, Effects of dietary vitamin K on survival, growth, and tissue concentrations of phylloquinone (PK) and menaquinone-4 (MK-4) for juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 256, pp.229~239

Uki, N., A. Kimuyama and T. Watanabe. 1985, Development of semipurified test diets for abalone, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51, pp.1825~1833

Viana, M. T., L. M. Lopez and A. Salas. 1993, Diet development for juvenile abalone *Haliotis fulgens*-Evaluation of two artificial diets and macroalgae, Aquaculture, 117. pp.149~156

Walne, P. R. 1974. Culture of Bivalve Molluscs. The White friars Press Ltd, London and Tondridge. 173 pp.

菊地省吾・浮永久. 1974a, アワビ属の採卵技術に関する研究. 第2報. 紫外線照射海水の産卵誘発効果, 東北区水研報, 33, pp.79~86

菊地省吾・浮永久. 1974b, アワビ属の採卵技術に関する研究. 第3報. 精忠濃度と受精率の関係, 東北区水研報, 34, pp.67~71

菊地省吾・浮永久. 1974c, アワビ属の採卵技術に関する研究. 第5報. クロアワビ *Haliotis discus* Reeve の性成との関係, 東北区水研報, 34, pp.77~85

川原逸郎・廣瀬茂・伊勝史郎・宮崎征男・北村等. 1995, アカウニ幼生に対する鹽化カリウムの變態誘起効果, 水産増殖 43. pp.237~244

盧暹・朴春奎・卞忠圭. 1974, 전북 増殖에 관한 研究(1). 麗水近海産 전북 *Haliotis discus hannai* Ino의 春季採苗에 關하여, 水振研報, 13, pp.77~92

眞岡東雄・中村烈. 1977, アワビ稚貝用人共飼料の實用化に関する研究-I. 人共飼料の作成と稚貝の飼育, 城水試研報 21. pp.1~8

- 關哲夫・菅野尚. 1981, エゾアワビ被面子幼生の着底と變態について, 東北區水  
 研報, 42, pp.31~39
- 小島 博. 1975, 徳島縣におけるクロアワビの生長に關する2, 3の知見一 I. 年齢形質  
 と生長, 水産増殖, 23(2), pp.61~66
- 網尾 勝. 1963, 海産夏足類の比較發生學並生物學的研究, 水大交研究報告,  
 12(2,3), pp.15~144
- 大貝政治・若野眞・長井敏. 1991, エゾアワビ幼生の着底と稚貝の成長におよぼ  
 す付着性微細藻類の環境, 水産増殖, 39(3), pp.263~266
- 河村知彦・岡村和磨・高見秀輝. 1998, アワビの好適餌料珪藻 *Cocconeis*  
*scutellum* var. *parva* の増殖特性, 水産増殖, 46, pp.509~516
- 卞忠圭. 1970, 전복의 増殖에 關한 研究, 韓國水産學會, 3(3), pp.177~186
- 노섬, 1988. 참전복, *Haliotis discus hannai* Ino의 종묘생산에 관한 연구. 부산  
 수산대학교 수산학박사학위논문.pp
- 생물학사전. 1998, 아카데미서적, 서울, pp.103~104
- 육영수 · 김봉태. 2004. 전복의 생산전망과 정책시사점, 한국해양수산개발원.  
 27 pp.
- 정성채 · 지영주 · 손팔원, 1994. 참전복 *Haliotis discus hannai* Ino의 육상사육  
 수조에 관한 연구 -II. 먹이별 사육효과. 한국양식학회지, 7:77-87.
- 한석중. 1998, 전복양식, 구덕, 260 pp.