



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

터봇, *Scophthalmus maximus*의  
性成熟 誘導와 受精卵 生産

濟州大學校 産業大學院

海洋生産學科 增殖學專攻

徐 鐘 表

2017年 2月

터봇, *Scophthalmus maximus*의  
성成熟 誘導와 受精卵 生産

指導教授 李 榮 敦

徐 鐘 表

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

2017年 2月

徐鐘表의 理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長           허 문 수           ①

委 員           이 승 헌           ①

委 員           이 영 돈           ①

濟州大學校 産業大學院

2017年 2月

Induced sexual maturation and fertilized egg  
production of turbot, *Scophthalmus maximus*

Seo jong pyo  
(Supervised by professor Lee Young-Don)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE

2017. 2.

DEPARTMENT OF MARINE LIFE SCIENCES  
GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

List of Figures .....	i
List of Tables .....	ii
Abstract .....	iii
I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	3
1. 친어선발과 사육환경 .....	3
1) 친어 선발 .....	3
2) 사육환경 .....	4
2. 성 성숙 유도 .....	7
3. 수정란 생산과 자치어 발달 .....	11
1) 수정란생산 .....	11
2) 수온별 난 발생과 무급이 생존일수 .....	11
3) 자치어 발달 .....	12
III. 결과 .....	14
1. 성 성숙유도 .....	14
2. 수정란 생산과 자치어 발달 .....	18
1) 수정란 생산 .....	18
2) 수온별 난 발생과 무급이 생존일수 .....	19
3) 자치어 발달 .....	23
IV. 고찰 .....	26
V. 요약 .....	29
VI. 참고문헌 .....	30

## List of Figures

Fig. 1. Shape of abnormal turbot ( <i>Scophthalmus maximus</i> ) .....	3
Fig. 2. Process of PIT chip transplantation .....	4
Fig. 3. House-made water quality monitoring equipment .....	5
Fig. 4. Water quality control devices for breeding tank .....	6
Fig. 5. Photoperiod and water temperature stimulation schedule to induce sexual maturation of broodstock .....	7
Fig. 6. Control of light cycle .....	8
Fig. 7. House-made LED lamp to induce sexual maturation .....	9
Fig. 8. The feeding class of turbot larvae .....	13
Fig. 9. Changes in gonadosomatic index (GSI) .....	14
Fig. 10. Development of testis .....	15
Fig. 11. Development of ovary .....	16
Fig. 12. Expression level of FSH $\beta$ and LH $\beta$ mRNA in female .....	17
Fig. 13. Expression change of FSH $\beta$ and LH $\beta$ mRNA in male .....	17
Fig. 14. Egg development stage in rearing water temperature 17 $^{\circ}$ C .....	20
Fig. 15. Embryo development time required according to water temperature .....	22
Fig. 16. The larvae and juveniles of turbot, <i>Scophthalmus maximus</i> .....	25

## List of Tables

Table 1. Water quality analysis of supply water and rearing water .....	6
Table 2. Environmental conditions to induce artificial sexual maturity .....	7
Table 3. Spawning rate after mature .....	18
Table 4. Embryo development time required according to water temperature .....	21
Table 5. Growth larvae and juveniles of turbot, <i>Scophthalmus maximus</i> .....	25

## ABSTRACT

In order to culture turbot (*Scophthalmus maximus*) completely, it is absolutely necessary to produce fertilized egg and maintain brood stocks. To meet the purpose, it was studied how to induce sexual maturation and then how to produce the fertilized egg constantly. The sexual maturation was induced by submarine sea water (maintained approximately 17°C) which was only obtainable under coastal line of Jeju island. Temperature and photoperiod control was artificially conducted because it was impossible to produce healthy fertilized eggs by culturing with only submarine sea water.

240 turbot (male 120 and female 120 fishes) were selected as brood stock. The turbot (37 ~ 47 cm and 1,500 ~ 3,500 g) were divided into experimental and control tanks (5×6×1.5 m) with 60 fishes each, from July to November, 2015. In order to induce spawning, temperature was decreased from 17°C to 8°C and then maintained at 14°C, photoperiod was maintained from 2L: 22D to 16L: 8D.

It was observed that spawning was induced by both temperature and photoperiod. There were no changes in control group, GSI was changed in experimental group, in which results showed matured sperm and oocytes. In addition, FSH $\beta$  and LH $\beta$  mRNA were increased in experimental group.

With these conditions, a total of 11,000 cc of spawned eggs was collected for over 10 times and a total of 1,550 cc of fertilized eggs were collected. The size of spawned eggs was 1.040±0.19mm and fertilization rate was 14.1%. It takes 78 hours at 17°C from the fertilized eggs to hatching, and the hatching rate no differences were found at temperature from 13°C to 19°C.

The hatched larvae survived for 8 days at 19°C but 14 days at 13°C without feeding.

## I. 서 론

터봇(*Scophthalmus maximus*)은 유럽의 대서양과 지중해는 물론 흑해에도 서식하는 어종으로서, 최적수온이 16℃ 내외이며, 유럽연안의 수심 100m 이내에서 서식하는 저서성 어류이며 저지방 고단백의 흰색 생선으로 인기 있는 어종이다 (Bauchot, 1987; Larrazabal, 1992; Muss and Nielsen, 1999).

1970년대 초 프랑스와 영국에서 본격적으로 터봇 양식연구가 시작 되었으며 현재는 유럽에서는 스페인, 프랑스, 포르투갈 등에서 양식되고 있다. 중국은 2002년 이후 꾸준한 증가 추세로 2013년에는 64,000톤(FAO, 2016) 이상을 양식하고 있는 것으로 파악되고 있으며, 터봇의 최대생산국이며 소비국이 되었다. 이는 터봇의 상품성이 뛰어나 선호도가 높기 때문에 넙치류 중에서 가장 많이 양식되고 있다.

한국의 경우 1998년 국립수산물과학원이 영국에서 도입하여 양식연구를 시작하였고, 2002년부터 민간에서도 양식이 허용되면서 프랑스 등지에서 수정란을 수입하여 본격적인 양식이 시작 되었다. 넙치보다 살이 단단하고 맛도 있어 새로운 대체품목으로 각광을 받기도 하였지만 정착에는 실패하였다(Park. *et al.*, 2006).

초창기 국내양식장들이 양식하는 과정에서 넙치와 비슷한 환경으로 양식하였는데, 이러한 방식은 여름철 고수온기에 질병에 의한 대량폐사로 이어졌다(Park. *et al.*, 2006). 또한 후대를 생산하는 친어를 양성하지 못했고, 결국 자체적으로 수정란 생산과 종묘생산, 양성으로 이어지는 연속성의 중단으로 실패하였다.

그렇지만 2010년부터 제주도 양식어민들은 자연해수를 전혀 사용하지 않고 제주에 풍부한 지하해수만 이용하여 양식하는 방법으로 성공하였다. 제주의 지하해수는 청정자원으로 연중 17℃ 전후의 수온과 해수와 유사한 염도(25 ~ 34 ppt)을 가지고 있으며 안정적인 수질을 유지하고 있다(Jang *et al.*, 2016).

국내의 터봇 양식은 자연해수를 이용하는 외국의 일반적인 양식사례와 다르지만 풍부한 천연자원인 제주의 지하해수를 이용하여 안정적인 양식을 하고 있으며 성장이나 관리에서도 충분히 국제경쟁력을 확보할 수 있는 어종으로 인식되고 있다. 그래서 국내 해산어 양식산업의 문제점인 넙치 단일품목 위주의 양식에서 품

종의 다변화를 할 수 있는 경제성을 가진 어종으로 자리 잡아 가고 있다. 또한 조 리용으로 각광받는 터בות은 현재 미국, 캐나다, 대만, 홍콩 등으로 수출하고 있어 일본위주의 넙치 수출을 다변화할 수 있는 품목으로 인식되고 있다(Kim, 2016).

어류의 성 성숙은 호르몬에 의해 조절되고, 이들의 성숙조절을 유도하는 것은 대부분 환경요인이다. 환경요인 중 가장 중요한 것은 수온과 빛의 영향이며 다른 환경요인보다 절대적이다(de Vlaming, 1972a, b, 1975; Asahina and hanyu, 1983, Joo, 2012). 따라서 본 논문에서는 터בות을 수온과 광주기 조절을 통해 성 성숙을 유도하고 수정란을 생산하는 방법을 제시하였다. 터בות의 친어를 관리하고 성성숙 유도를 통하여 양질의 수정란을 생산하는 방법에 따른 부화시간, 무급이 생존지수 등을 조사하고 부화자어의 발달단계와 형태 등을 조사하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 친어선발과 사육환경

#### 1) 친어 선발

실험어는 2013년 6월 영어조합법인 해연(제주특별자치도 제주시 구좌읍 한동리 해맞이해안로 866)에서 자체 사육한 터봇종묘 20,000미를 이용하였다. 터봇 친어후보는 2014년 11월중 3,500를 선발하였고, 최종후보는 2015년 7월 500미를 선발하였다. 여기에서 다시 암컷 120미와 수컷 120미를 선발하여 수조마다 암수 각 60마리씩 실험구 수조와 대조구 수조에 수용하였다. 선발 할 때는 그룹에서 성장이 좋은 것, 색상은 밝은색을 띄는 개체를 선발하였다. 체형의 선발을 위해서 기형은 제거하였다. 터봇의 경우 가장 흔한 기형으로 아가미뚜껑부위의 탈락, 눈윗부분이 함몰되어 상품성을 떨어뜨리는 것, 체형자체가 둥글지 못하고 각이 지거나 비뚤어진 기형 등이 대표적인 것이다(Fig.1).



Fig. 1. Shape of abnormal turbot (*Scophthalmus maximus*).

개체 식별을 위하여 작업대에서 PIT Chip을 삽입하고 ID와 체장, 체폭, 체중을 측정 하였다(Fig. 2). 선발된 친어의 전장은 37~47 cm, 체중은 1500~3500g이었다.



Fig. 2. Process of PIT chip transplantation,

- A, Put the fish on the table; B, Injection of chip; C, Size and weight measurement;  
D, Sampling for DNA analysis.

먹이는 주로 냉동된 전갱이(*Trachurus japonicus*)를 배합사료와 혼합하여 자체 제조한 모이스트 펠렛(moist pellet)을 1회/1일, 어체중의 2 ~ 3%를 공급하였다.

## 2) 사육환경

실험어는 콘크리트 사각수조(5×6×1.5 m, 유효수량 30 톤)에 수용하여 지하해수(1일 15 회전)를 사용하였다. 친어의 사육밀도는 10 kg/m<sup>2</sup>로 하였다. 지하해수 수온은 DS18B20 온도센서(Maxim Intergrated, San Jose, CA)를 Arduino 환경(www.arduino.cc)하에서 1-wire protocol을 이용 매 시간 메모리 저장장치에 기록하여 측정하였다.

DO는 dissolved oxygen probe (AtlasScientific, Brooklyn, NY)와 DO EZO 보드(AtlasScientific, Brooklyn, NY)를 이용하여 Arduino 환경(www.arduino.cc)하에서 IIC protocol을 이용, 매 시간 메모리 저장장치에 기록하여 측정하였다. 또

한 Handy Polaris(Oxyguard, Farum, Denmark)를 이용 계측한 값을 이용하여 보정하였다(Tabel. 1).

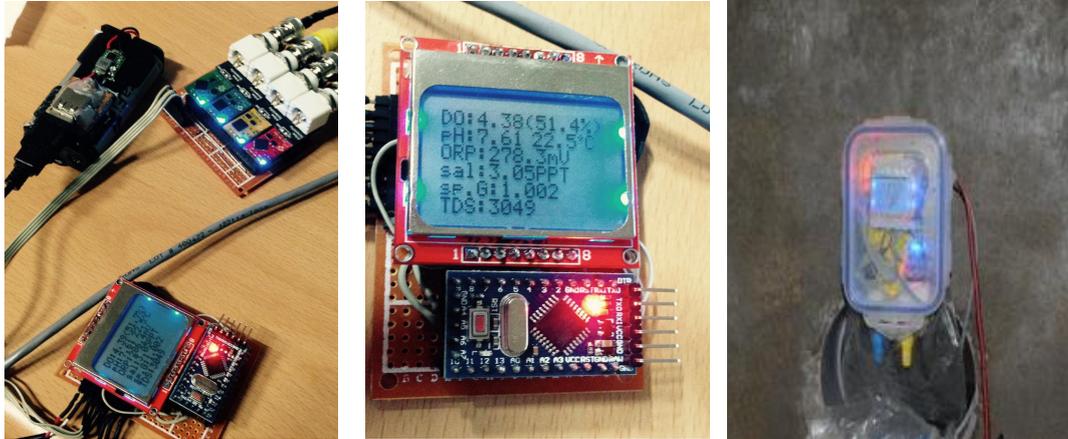


Fig. 3. House-made water quality monitoring equipment.

수소이온농도(pH), 암모니아성 질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), 아질산성 질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 각 Test Lab제품(Red Sea, Houston, Texas)으로 습식 분석 하였으며, 수질검사 공인기관인 제주대학교 생명과학기술혁신센터의 검사 성적을 이용 보정하여 이용하였다. 일반세균의 colony forming unit(CFU)는 제주대학교 생명과학기술혁신센터에 의뢰하여 검사 성적을 얻었다(표1).

지하해수는 용존산소가 낮아(2 ~ 5 ppm) 산소발생장치(미래시스템, 제주, 한국)를 사용하여 7 ~ 9 ppm을 유지하여 사육하였다(Fig. 4-A). 수온은 7 ~ 20°C로 조절할 수 있도록 히트펌프(일진E-Plus, 김해, 한국)를 사용하였다(Fig. 4-B).

터봇 사육수조의 광주기를 인위적으로 조절하기 위하여 검정 비닐로 빛을 차단하고 LED 등을 설치하였으며 조도는 350 ~ 700 lux를 유지하도록 하였고 타이머를 설치하여 광주기를 조절하였다(Fig. 4-C, 4-D).

Table 1. Water quality analysis of supply water and rearing water

Test item	Supply water	Rearing water
water temperature	16.7°C (16.2~17.2°C)	16.7°C (16.2~17.2°C)
pH	7.9	7.9
DO	7~9 ppm	7~8 ppm
Bacteria	3.3 CFU/mL	4.3 CFU/mL
NH <sub>3</sub> -N	0.05 ppm	0.07 ppm
NO <sub>2</sub> -N	N.D.	N.D.
NO <sub>3</sub> -N	0.03 ppm	N.D.



A



B



C



D

Fig. 4. Water quality control devices for breeding tank.

A, Oxygen generator; B, Heat pump; C, LED Light; D, Timer of Light.

## 2. 성 성숙 유도

대조구는 자연광주기와 16.5 ~ 17.0℃의 수온을 유지하고, 실험구는 8℃ 까지 냉각 후 14℃로 환원하는 온도 조건 및 인위적인 광주기(2L/22D → 16L/8D) 조건으로 하였으며, 실험어는 구분하여 암수 60마리씩 120마리를 수용하여 성성숙을 유도하였다(Table 2, Fig. 5).

Table 2. Environmental conditions to induce artificial sexual maturity

Experimental Group	Environmental condition		Remark
	W.T. (°C)	Day length	
Control	16.5~17.0	Natural photoperiod	Underground seawater
Treatment	17→8→14	Regulation (2L:22D)→(16L:8D)	Cold underground seawater with heat pump



Fig 5. Photoperiod and water temperature stimulation schedule to induce sexual maturation of broodstock.

성성숙 친어용 LED 등은 2가지의 기능을 구현하도록 제작하였으며, 그 첫째는 성성숙을 위한 일광시간 변화 스케줄을 매일 자동으로 점등 시각 및 소등 시각을 계산하여 동작토록 프로그램 하였고, 둘째는 점등, 소등시 급격한 광량 변화로 스트레스를 받으므로 점등, 소등시 30분 이상 밝기가 서서히 변화도록 프로그램 하였다.

조명용 보드는 DS1307 real time clock(Maxim integrated products, Sunnyvale, CA)을 통해 현재 시각을 확인 한 후 현재 출력될 광량을 연산하여 매초 지정된 PWM 출력을 약 0.5% 단위로 조정함으로서 매 초 변화된 밝기를 나타내므로 급격히 밝아지거나 어두워짐으로 인한 친어의 스트레스를 줄여주기 위하여 제작하였다(Fig 6, 7).

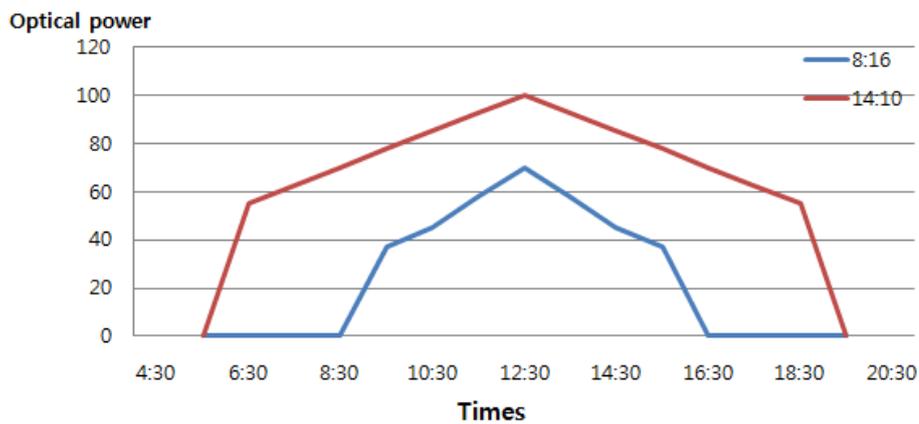


Fig. 6. Control of light cycle.



A



B

Fig. 7. House-made LED lamp to induce sexual maturation.

A, Lamp; B, Light-on.

광주기 조건에 따른 실험어의 생식소 발달과 성성숙 효과를 조사하기 위해 2015년 7월 초순 ~ 10월 초순에 7 ~ 10마리씩을 무작위로 채집하여 2-phenoxyethanol (Sigma - Aldrich, St. Louis, MO)로 마취 후 생식소를 적출하여 생식소중량지수(GSI, gonadosomatic index)의 변화를 측정하고 생식소 발달 양상을 조직을 만들어 조사하였다. 생식소중량지수는 다음과 같은 방법으로 구하였다.

$$\text{생식소 중량 지수(GSI)} = \frac{\text{생식소 중량}}{\text{어 체 중량}} \times 100$$

생식소의 발달상태를 조직으로 만들어 관찰하고 생식소는 적출한 후, Bouin's solution에 24시간 고정 하였고, 이후 70% 에탄올로 치환시켜 주었다. 고정된 생식소는 조직을 만드는 단계별 탈수 과정을 거친 후 파라핀으로 포매하여 절편법에 의해 4 ~ 5  $\mu\text{m}$ 의 두께로 조직표본을 만들었다.

만들어진 조직표본을 Harry's haematoxylin과 0.5% eosin으로 비교염색을 실시하여 광학현미경에서 검경하였다. 생식소 내 난경의 변화는 난소의 절편을 촬영하고, Motic Image plus 2.0으로 난모세포의 크기를 측정하여 조사하였다.

광주기 처리에 따른 터봇의 성성숙관련 인자 거동 탐색을 위해 뇌하수체에서 생식소자극호르몬인 여포자극자극호르몬(FSH)과 황체형성호르몬(LH)을 분석 하였다. 각각의 관련 인자 분석을 위해 2015년 7월 ~ 10월에 각각 처리구별 7 ~ 10 마리씩 무작위로 채집하여 2-phenoxyethanol (Sigma - Aldrich, St. Louis, MO)로 마취 후 뇌, 뇌하수체를 적출한 후 분석 전까지 -80 $^{\circ}\text{C}$ 에서 보관하였다.

사육환경의 조절에 따른 실험구들간의 생식생리인자의 활성변화를 조사하였다. 실험어에서 뇌와 뇌하수체를 분리하여 적출 한 후, RNA iso (TaKaRa Bio, Otsu, Japan)를 이용하여 total RNA를 추출하였다. 추출된 total RNA는 NanoVue (GE Healthcare, Ver.1.0.1, UK)를 사용하여 농도를 측정하였다.

Total RNA 0.5  $\mu\text{g}$ 을 주형으로 하여 Transcriptor First Strand cDNA Synthesis Kit (Roche Diagnostics, Mannheim, Germany)를 이용하여 cDNA를 합성한 후, 각 유전자들의 발현은 정량적 real-time PCR 방법을 이용하여 정량

적 분석 및  $\beta$ -actin normalization 등을 통해 분석하였다.

### 3. 수정란 생산과 자치어 발달

#### 1) 수정란생산

성숙한 암컷 28개체에 대해 복부 압박을 실시하여 산란작업대에서 채란을 실시하였다. 채란 시기는 10월 중순 ~ 11월중순까지 한달 동안 2 ~ 3일 간격으로 10 차례에 걸쳐 실시하였다. 수컷에서 정액을 채정하여 건식법으로 수정을 유도하였으며, 세란은 깨끗한 14°C 물을 이용하였다. 부상란은 해연의 실험실에서 수온별 난발생 시간 및 부화율 조사 등을 시험하였다

#### 2) 수온별 난 발생 및 무급이 생존일수

터봇 수정란의 최적 부화 조건을 확인하기 위하여 발생단계를 10 단계(J. Iglesias, 1995)로 하여  $13 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,  $15 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,  $17 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,  $19 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 의 수온별 난발생 시간 및 부화율을 조사하였다. 터봇 수정란의 발달 단계는 다음과 같다.

- 1 stage: 2-16 cellular divisions
- 2 stage: Morula stage
- 3 stage: Blastula stage
- 4 stage: Gastrula stage
- 5 stage: First embryonic vestige
- 6 stage: Embryonic stage E
- 7 stage: Embryonic stage F
- 8 stage: Larval stage G
- 9 stage: Well-formed larval stage H
- 10 stage: Hatching stage

실험구당 3개의 1L 비이커에 150 개의 부상란을 수용하고 폭기하여 산소 공급과 물의 순환을 도모하였으며, 매일 14시에 50%의 환수와 동시에 사란을 제거하였다. 부화자어의 발달단계는 Axiostop (Zeiss, Germany) 광학 현미경과 Stemi

2000-C (Zeiss, Germany) 입체현미경으로 관찰 사진 촬영 후 Imagescope ver. 12.1 (www.leicabiosystems.com) 프로그램을 이용하여 조사하였다.

수정란의 질을 판단하기 위하여 부화자어에 대해 먹이생물을 굵이하지 않은 상태에서 생존하는 기간을 조사하였다. 실험구는 13°C, 15°C, 17°C, 19°C의 수온 별로 3 반복구, 3 개의 1 L 비이커에 50 마리씩의 부화자어를 수용하고 폭기하여 산소 공급과 해수의 순환을 도모하였으며, 매일 14 시에 50%의 환수와 동시에 죽은 자어를 제거하였다.

### 3) 자치어 발달

터봇의 수정란을 부화자어의 특징 관찰, 사육기술 검증 및 종자 생산 등을 위하여 부화를 시도하였다. 터봇의 수정란은 분리 부상란이어서 가라앉은 사란을 제거하여 육란조에서 2일간 육란 후 종묘생산수조(5×5×1 m)에 입식하였다. 입식 후 14°C의 수온을 4~5일 정도의 시간을 거쳐서 서서히 18°C로 올려주고 바닥에 가라앉은 사란을 제거하였다. 수용밀도는 8,000 립/m<sup>3</sup>으로 지수식으로 관리하였다.

부화자어의 발달단계를 관찰하기 위해 Axiostop (Zeiss, Germany) 광학 현미경과 Stemi 2000-C (Zeiss, Germany) 입체현미경으로 관찰 사진 촬영 후 Imagescope ver. 12.1 (www.leicabiosystems.com) 프로그램을 이용하여 조사하였다.

부화 7 일 이후 카트리지필터(공구경 5 μm)로 사육수를 여과하여 10% 환수하다가 점차 환수량을 늘려주었다. 수질안정과 부유물질 제거를 위하여 부화 9일부터 숯가루(300 mesh)를 살포하였으며, 그 후 2~3 일에 한 번씩 사이폰으로 바닥을 청소하였다.

초기먹이는 부화 3 일째부터 농축클로렐라로 배양한 로티퍼(Rotifer, *Brachionus rotundiformis*)를 해수산 클로렐라와 영양강화제 에스프레소로 약 20 억 개체/L 사용하여 10~12 시간 영양 강화한 후, 세척하여 공급하였으며, 공급량은 초기 cc당 3 개체에서 섭이량에 따라 12 개체까지 늘려주었다.

부화 13 일부터는 부화시킨 알테미아 유생 5 억 개체당 A1 셀코 500~600 g을

혼합하여 12 시간 영양 강화 후, 세척하여 공급하였으며 초기에는 cc당 1 개체에  
서 이후 10 개체로 증가시키고 부화 23 일째부터 초기배합사료를 공급하였다.

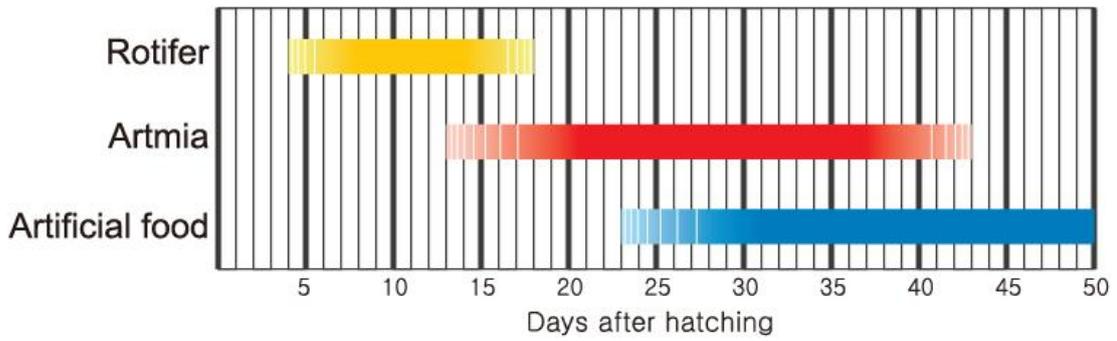


Fig 8. The feeding class of turbot larvae.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 성 성숙 유도

실험 시작시(2015년 7월) 실험어의 생식소중량지수 값은 수컷인 경우  $0.32 \pm 0.02$ , 암컷인 경우  $0.54 \pm 0.37$  이었으나 실험 종료시(2015년 10월) 자연광주기 조건인 대조구의 경우 수컷  $0.11 \pm 0.05$ , 암컷  $0.46 \pm 0.09$  이었으며, 인위적 광주기 조건인 처리구의 경우 수컷  $0.50 \pm 0.13$ , 암컷  $12.1 \pm 1.85$ 으로 증가하였다 (Fig 9와 10).

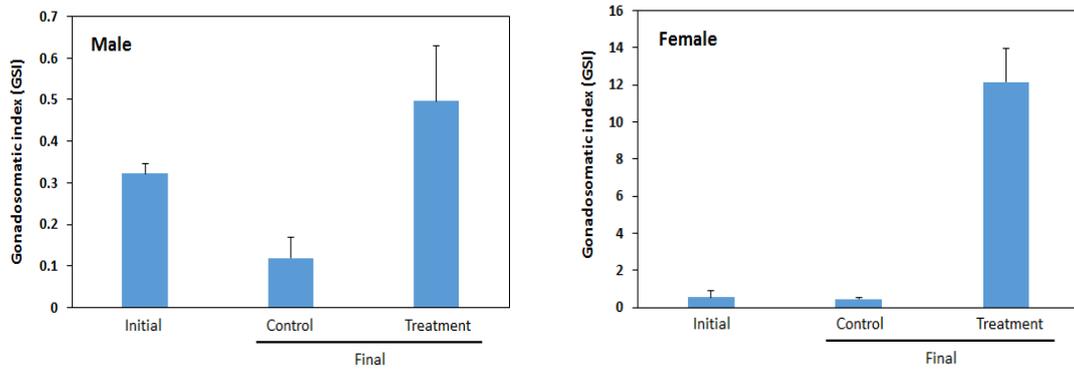


Fig. 9. Changes in gonadosomatic index (GSI).

A, Male; B, Female.

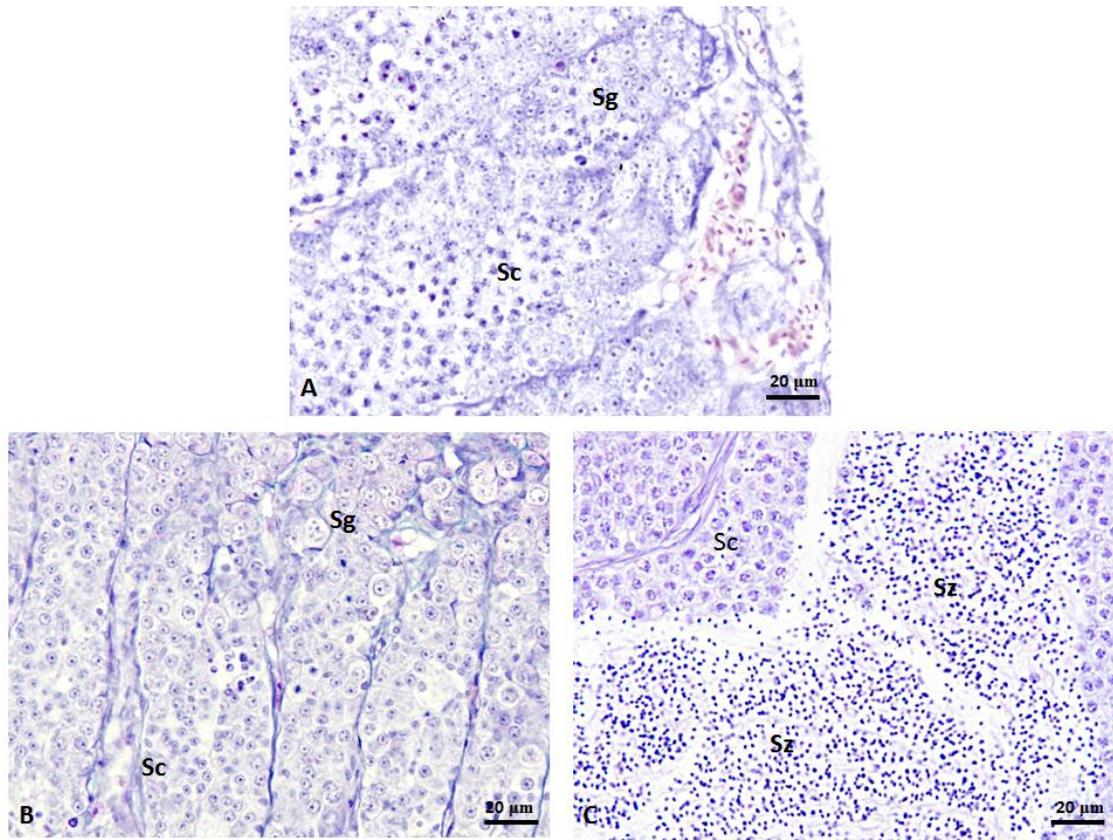


Fig 10. Development of testis.

A, Initial stage; B, Control; C, treatment. Sc, spermatocyte; Sg, spermatogonia; Sz, spermatozoa.

실험 시작시(2015년 7월) 터봇 수컷의 생식소는 방정 후 휴지기 단계의 생식소로 정소 소엽내 미 방출된 잔존 정자가 관찰되며, 생식상피를 따라 정원세포들이 발달하고 있다(Fig. 10A). 실험 종료시(2015년 10월) 대조구 터봇 수컷의 생식소는 생식상피를 따라 정원세포들이 분열증식하고 있으나(Fig. 10B), 처리구 터봇 수컷의 생식소는 정소소엽내 정모세포 및 정세포 무리들이 관찰되며, 정소소엽 내강에 변태를 마친 정자무리들이 관찰되었다(Fig. 10C).

실험 시작시 터봇 암컷의 생식소는 난경 10 ~ 80  $\mu\text{m}$ 의 주변인기 난모세포와 난경 80 ~ 140  $\mu\text{m}$ 의 유구기 난모세포가 관찰되는 초기 성장단계의 생식소이다 (Fig. 11A). 실험종료시 대조구 터봇 암컷의 생식소는 초기 성장단계로 대부분 50 ~ 150  $\mu\text{m}$  크기의 어린 난모세포들이 대부분을 차지하고 있으나 (Fig. 11B), 처리구 터봇 암컷의 생식소는 성숙 단계로 난소내에는 150  $\mu\text{m}$  이하의 어린 난모세포들도 존재하나 대부분 200 ~ 500  $\mu\text{m}$  이상의 성숙 난모세포들이 존재하였다 (Fig. 11C).

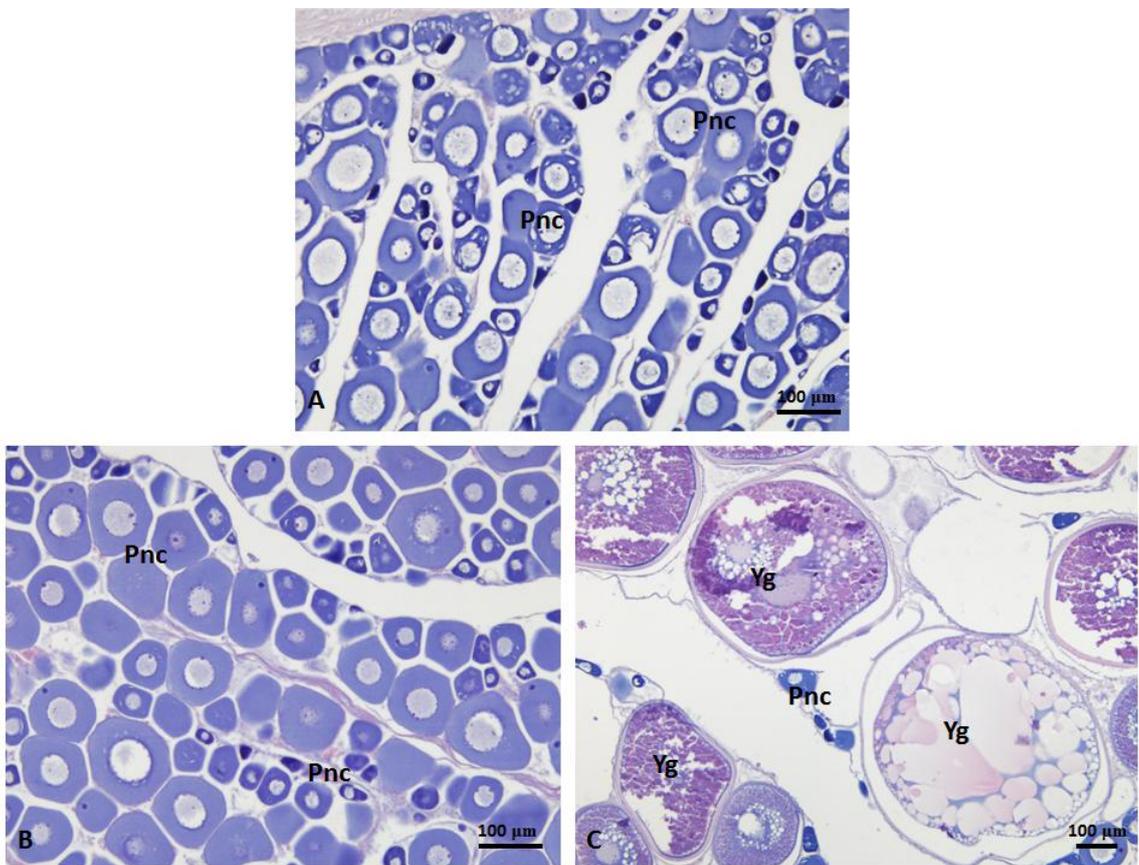


Fig. 11 Development of ovary.

A, Initial stage; B, Control; C, treatment. oil-droplet stage oocyte; Pnc, pre-nucleolus stage oocyte; Yg, Yolk stage oocyte.

생식소자극호르몬인 여포자극호르몬 FSH $\beta$ 와 황체형성호르몬 LH $\beta$  mRNA의 발현량은 암컷과 수컷 모두 유사한 경향을 보였다. 대조구(자연조건)에서 암컷과 수컷 모두 FSH $\beta$ 와 LH $\beta$  mRNA의 발현량은 실험 시작시과 실험 종료시(2015년 10월)와 비교하였을때, 유의적인 차이가 없었으나, 실험구(광주기 및 수온 조절구)에서 FSH $\beta$ 와 LH $\beta$  mRNA의 발현량은 실험 시작시와 비교 하였을때 실험 종료시에는 발현이 증가하는 경향을 보였으며, 대조구와 비교시 급격히 증가하였다 (Fig. 12, 13).

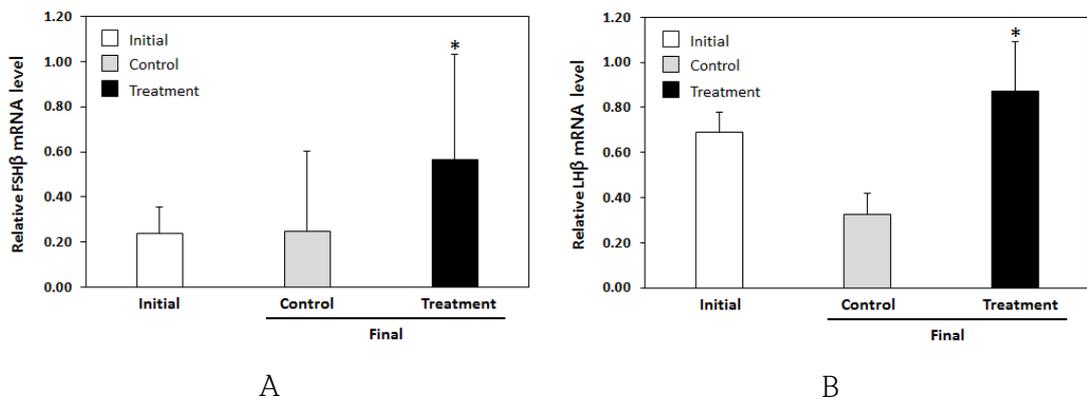


Fig. 12. Expression level of FSH $\beta$  and LH $\beta$  mRNA in female.

A, FSH $\beta$  mRNA; B, LH $\beta$  mRNA.

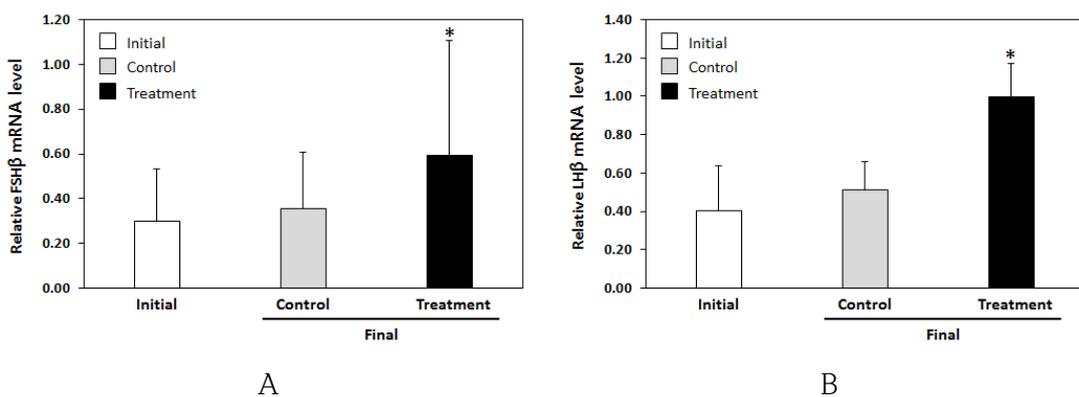


Fig. 13. Expression change of FSH $\beta$  and LH $\beta$  mRNA in male.

A, FSH $\beta$  mRNA; B, LH $\beta$  mRNA.

## 2. 수정란 생산과 자치어 발달

### 1) 수정란 생산

10월 중순 ~ 11월 중순 한달 동안 2 ~ 3 일 간격으로 10 차례에 걸쳐 11,000 cc 를 채란하였다. 이중 수정된 부상란은 1,550 cc였다.

수온과 광주기를 이용하여 인위적 성성숙을 유도한 결과 실험구의 36.7%의 암컷에서 산란이 이루어 졌으며, 산란한 개체들은 1 개월 동안 개체별 평균 3.3 회의 산란이 이루어 졌다. 10 회에 걸쳐 누적 74 개체의 산란을 통해 얻어진 부상란은 약 1,550 cc 로서 1 개체당 1 회 약 21.1 cc, 1 개월간 평균 70.1 cc의 부상란을 얻었다(Table 3).

전반적으로 암컷에 있어서는 란의 부상률(수정률)이 14.1% 였다. 수정란은 무색투명하고 부상하였으며 미수정란은 백색을 띄고 침하하였다. 수정란의 크기는  $1.04 \pm 0.19$  mm (n = 30)이다.

Table 3. Spawning rate after mature

Item	Population(♀)	Total rate(%)	Remarks
Configure experiment	60	100	
Sexual maturity	28	46.7	
Participation in spawning(female)	22	36.7	
accumulate spawning	74	123.3	Spawning 3.3 times per individual

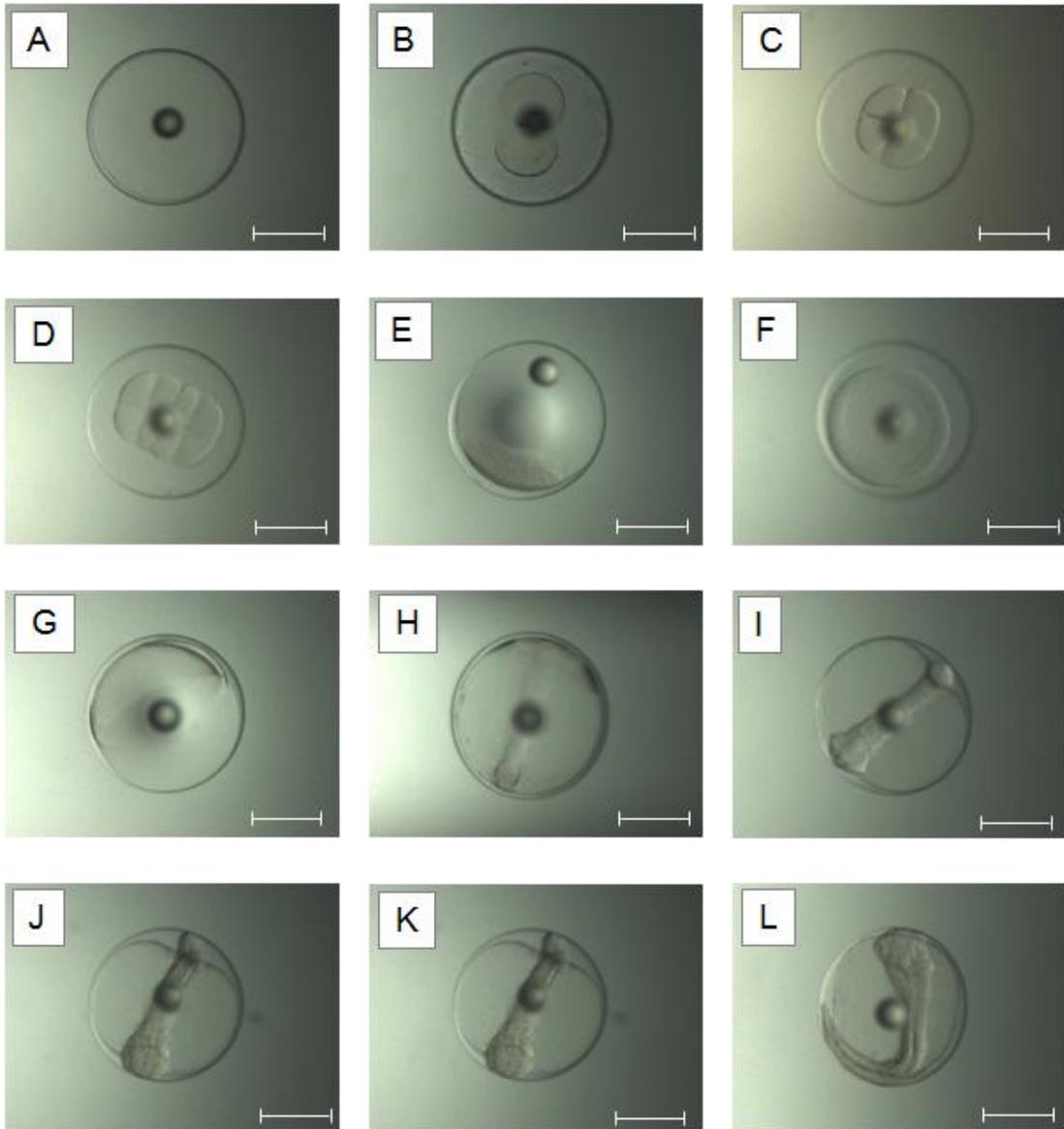
## 2) 수온별 난 발생 및 무급이 생존일수

인공수정 한 터봇의 난은 구형이며, 분리 부상하였다. 유구는 대부분 1개를 가지고 있었다. 수정란은 수정 후 2 시간 후에 2 세포기가 되었으며 Fig. 14-B, 3 시간 후에는 4 세포기가 되었다(Fig 14-C). 4 시간후 8 세포기, 18 시간 후에는 상실기를 지나 포배기가 되었다.

22 시간후에는 낭배기(Fig. 14-G), 26 시간 후에는 배체형성이 시작 되었다(Fig. 14-H). 31 시간후에는 kupffer 형성되고 안포가 보이기 시작하였다. 34 시간 후에는 초기 배체형성이 되어 kupffer가 소실되고 렌즈가 출현하였다. 42 시간 후에는 중기배체기로 색소포가 보이고 심장이 보이며, 54 시간 후에는 심장이 박동하였다.

60 시간 후에는 후기 배체기에 이르렀고 70 시간 후에는 꼬리와 난황이 분리되어 움직임이 보였으며, 흑색소포가 증가하였다. 78 시간 후에는 부화가 시작되어 난막을 터뜨리고 부화하는 개체가 보였다. 아직 부화하지 않은 배체는 심한 움직임으로 요동치고 잠시 멈추는 동작을 반복하였다.

개체에 따른 부화차이는 있으나 81 시간에는 대부분의 개체가 부화하였다(Fig. 14).



**Scale bar=500  $\mu$ m**

Fig 14. Egg development stage in rearing water temperature 17°C.

A, Fertilized egg(0h); B, 2 cell stage(2h); C, 4 cell stage; D, 8cell stage; E, Morula stage(6h); F, Blastula stage(18h); G, Gastrula stage(22h); H, Embryo formation(26h); I, Myotomes stage(34h); J, Myotomes stage(42h); k, Myotomes stage(60h); L, before hatching(78h).

수온별 부화시간은 13℃일때는 19℃인 경우보다 2 배 이상의 부화시간이 필요하였다. 부화율은 수온에 다른 유의차가 없었다(Table 4, Fig. 15).

실험에서는 수온별 부화시간은 13℃일 때는 19℃인 경우보다 2 배 이상의 부화시간이 필요하는 등 온도가 낮을수록 장시간이 필요하다는 것을 알 수 있었으나, 최종 부화율은 설정한 수온에서는 유의차가 없었다.

Table 4. Embryo development time required according to water temperature

W.T	Stage										Hatching rate (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
13℃	2hr	10hr	26hr	30hr	40hr	60hr	72hr	94hr	110hr	146hr	16.51
15℃	2hr	10hr	22hr	26hr	32hr	46hr	60hr	74hr	82hr	102hr	20.94
17℃	2hr	6hr	18hr	22hr	26hr	34hr	42hr	54hr	66hr	78hr	15.74
19℃	2hr	6hr	14hr	18hr	22hr	26hr	34hr	42hr	52hr	62hr	20.07

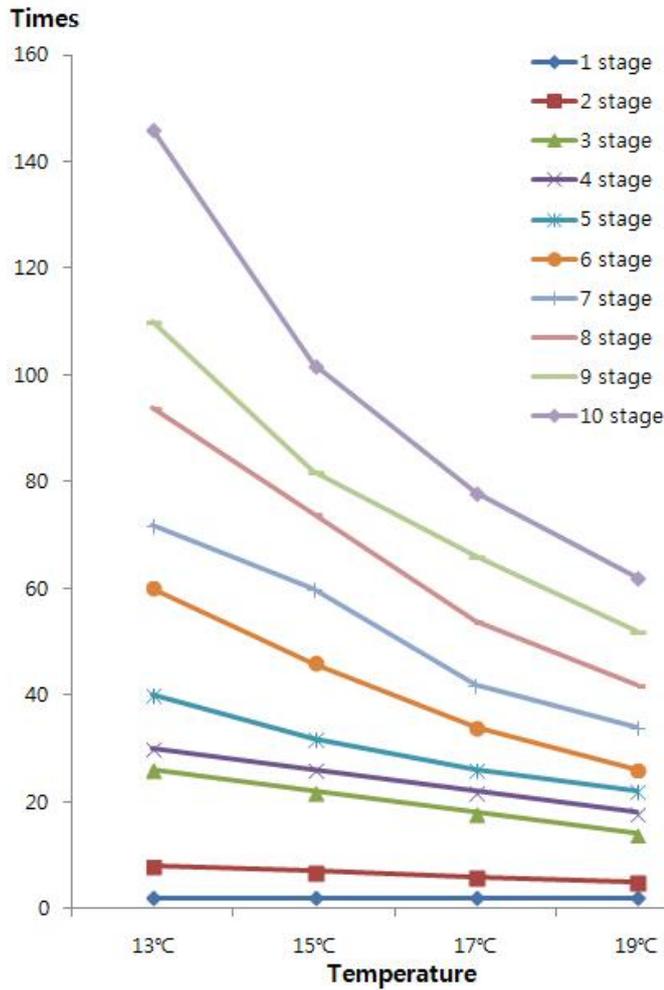


Fig. 15. Embryo development time required according to water temperature.

부화자어에 대해 먹이생물을 급이 하지 않은 상태에서 생존하는 기간을 조사하였다. 생산된 자치어는 무급이 상태에서 난황이 소진되는 기간은 13°C에서는 6 ~ 7 일, 15°C 실험구가 5 일, 17°C 실험구 4 일, 19°C 실험구가 3 일이 소요 되었다. 17°C, 19°C 실험구에서는 8 일차에 최종 개체까지 폐사하였으며, 15°C 실험구에서는 11 일, 13°C 실험구는 14 일차에 마지막 자치어가 폐사하였다.

### 3) 자치어 발달

부화직후 자어의 전장은  $2.46 \pm 0.19$  mm이며 큰 낭황은 투명에 가까우며 안구와 머리부분은 연한 색소포가 분포하고 유구는 뚜렷하게 난황 뒷부분에 위치한다. 입은 개구되지 않았고 안구도 형태만 갖추고 있다.

시간이 흐를수록 난황은 작아지고 색소포의 분포는 많아져간다. 부화 4일부터는 대부분의 난황은 흡수되고 유구는 대부분 보이지 않고 개구가 되어 있다. 소화기관도 발달하기 시작한다. 안구도 또렷한 모양을 갖추고 있다.

부화 후 5일째 자어는 전장이  $3.02 \pm 0.38$  mm로 섭이활동을 활발하게 하고 소화기관은 장이 돌아가는 모습을 볼 수 있다. 색소포는 분포가 점점 늘어나고 유영력도 활발하다.

부화 후 16일째는 대부분의 지느러미가 발달하였고 색소포는 꼬리 지느러미를 제외한 대부분에 출현 되어 있다. 릿피와 알테미아를 동시에 섭식하며 체형은 넓어지기 시작한다.

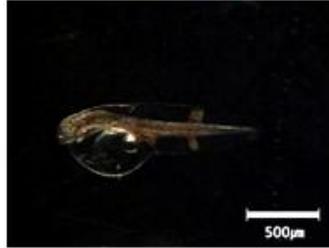
부화 후 30 일에는 완벽한 터봇의 모양을 갖추고 전장은  $8.26 \pm 1.35$  mm이며 색상도 어미의 체색을 갖추어 간다.

부화 후 40 일 후에는 전장이  $14.21 \pm 2.76$  mm로 착저하여 지느러미와 모든 형태가 완벽한 어미의 모양을 가지고 있으며 색상도 어미와 같다(Fig. 16).

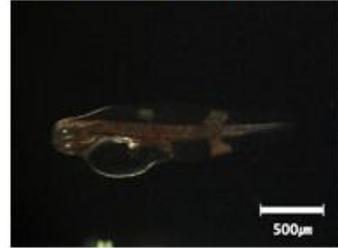
New hatching larva



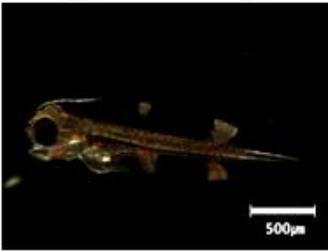
1 days after hatching



2 days after hatching



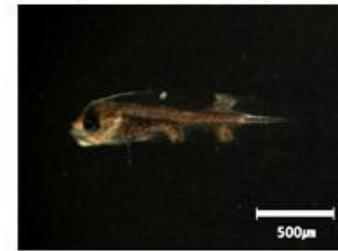
3 days after hatching



4 days after hatching



5 days after hatching



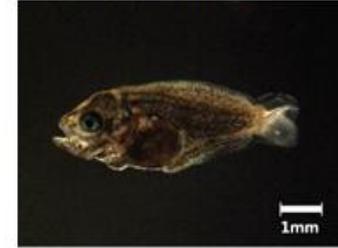
8 days after hatching



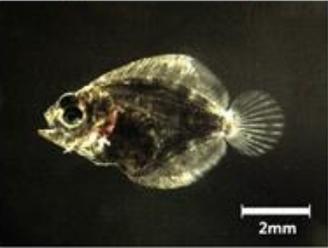
13 days after hatching



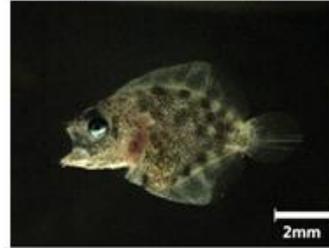
16 days after hatching



26 days after hatching



33 days after hatching



38 days after hatching



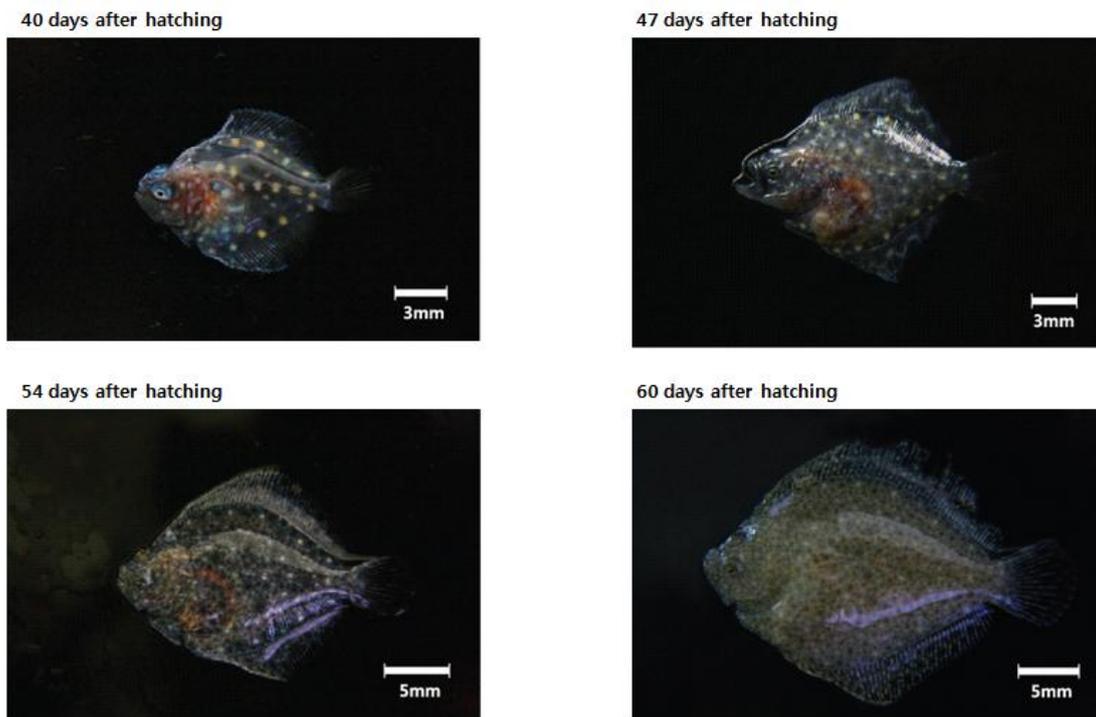


Fig. 16. Growth larvae and juveniles of turbot, *Scophthalmus maximus*.

Table 5. Growth larvae and juveniles of turbot, *Scophthalmus maximus* (n=30)

Day	Length(mm)	Day	Length(mm)
Immediately after hatching	2.46 ± 0.19	30 Days	8.26 ± 1.35
5 Days	3.02 ± 0.38	40 Days	14.21 ± 2.76
10 Days	5.14 ± 0.58	50 Days	21.59 ± 3.25
20 Days	6.84 ± 0.92	60 Days	30.31 ± 5.62

## IV. 고 찰

친어의 선발은 후대의 능력을 결정하는 것이기 때문에 중요하다. 먼저는 육안으로 건강하고 성장이 우수하며 질병에도 강한 경제성이 뛰어난 개체를 선발한다. 또한 유전적 능력이 우수한 개체를 선발하기 위하여 유전자분석과 세대관리를 지속적으로 하면서 계획된 관리가 필요하다. 선발강도를 높이는 것도 중요한 요인이다. 친어는 몇 번의 단계를 거쳐서 계속적으로 선발을 하여야하며 많은 개체에서 소수의 우수개체가 선발되도록 하여야 한다(Seo, 2007).

실험에서 친어는 2년산 이상을 사용하였다. 생물학적 최소형을 수컷은 3.5 kg, 3년이상, 암컷은 2 kg, 2년 이상이라고 하였으나(Park. *et al.*, 2006) 연령은 2년 이상이면 암수 모두 친어로 가능하다. 암컷은 2.5 kg 이상이면 친어로 사용이 가능하고 수컷은 1.5 kg 이상이면 무난한 것으로 판단된다. 단, 개체의 크기나 연령이 너무 작은 경우 생산된 난의 량도 적고 질도 떨어지는 경우가 많으므로 2년 이상 된 개체를 사용하는 것이 적합하다 할 수 있다. 암수의 비율은 1:1로 하였다. 대부분의 자료에서는 2:1의 비율이 일반적이거나 인공산란을 하기 때문에 정자 확보가 쉬우리라 판단하였기 때문이다(Leclercq, 1994).

어류의 성 성숙과 산란은 수온과 광주기의 영향이 절대적이다 (Nishi and Takano, 1979). 자연에서 터봇은 수온과 광주기의 환경요인에 따라 성 성숙이 유도되고 산란한다(Iglesias *et al.*, 1995). 수온이 17°C가 유지되는 지하해수에서 터봇의 성 성숙을 유도하기 위한 수온관리는 8°C 까지 내려 저수온기를 거친 후 산란적수온인 14°C를 유지하였을 때 가능하였다. 지하해수(17°C)만 사용하여 일정한 수온에서 사육시 난소의 성숙은 보였으나 인공수정을 유도하여도 정상적인 수정란은 생산하지 못하였다. 이는 터봇의 경우 산란적수온인 12~14°C의 수온 범위를 넘어가기 때문으로 생각된다. 국내에서 양식하는 넙치의 경우 대부분 지하해수에서 친어관리를 하며 연중 수정란 생산이 가능하다. 이는 수온이 산란적수온인 15~17°C의 범위에 있기 때문에 광주기 조절만으로 가능하다(Seo, 2007). 그러나 능성어류나 돌돔 등이 제주의 지하해수에서 장기간 사육하는 경우 최적산

란수온(20~23℃) 범위보다 수온이 낮은 지하해수에서도 정상적인 수정란을 생산하였다. 터봇의 경우도 세대를 거쳐 장기간 양식하면 지하해수만으로도 건강한 수정란이 생산 될 수 있다고 생각되나 더 많은 연구가 필요하다.

광주기는 인위적으로(2L:22D., 16L:8D) 변화를 주었다. 넙치나 능성어류의 경우 대부분 광주기를 (10L:14D., 14L:10D) 조절하여 성 성숙을 유도한다(Song, 2004). 터봇의 경우 처음 시작할 때 2시간에서 시작한 것은 주서식지인 유럽의 대서양 연안이나 북해 등이 겨울철에는 일조량이 극히 적기 때문에 여기에 맞추어 설계하였다. 그러나 터봇도 지속적으로 국내에서 사육한다면 넙치와 같은 시간표(10L:14D., 14L:10D) 로 조절하여도 무난하리라 생각된다.

성 성숙을 유도하는데 있어서 수온과 빛의 상호 작용에서 수온조건을 벗어나면 최적의 광주기 조건을 제공하여도 성 성숙이 유도되기 어렵고 유도된다고 하여도 정상적인 난은 획득하기 어려울 것으로 생각된다. 그러나 수온조건이 성 성숙에 최적의 조건인 경우 빛은 제한적으로 작용하여도 정상적인 난의 획득이 가능하리라 추정된다.

양질의 수정란 생산은 완전양식을 위한 시발점으로 종묘생산과 양성에 의한 생산량에 절대적인 영향을 미친다. 수정란의 부상율이 14.1%로 저조한 원인은 정확히 알 수 없으나 과숙란이 많은 것으로 판단할 때 채란시기의 부적절이나 지하해수만의 친어관리를 정확히 파악하지 못한 원인이라 판단된다. 양질의 난을 얻기 위해서는 친어의 안정적인 관리가 따라야한다. 이를 위해서 친어의 사육환경과 영양관리는 물론 산출시기도 중요하다(Kashiwage *et al.*,1984 ; Watanabe, 1985). 친어의 상태에 따라 난의크기, 산란량, 부화율과 생존율 등에 영향을 준다(Hardy, 1985; Springate *et al.*, 1985 ; Eskelinen, 1989). 좋은 난이란 종묘생산의 성공여부를 판가름하는 중요한 요인으로 부화율이 높고 일정한 시간에 부화하며 기형이 없고 자어의 상태가 활력이 있어야 한다.

수정란의 난경  $1.04 \pm 0.19\text{mm}$ 로 넙치의 난경  $0.93 \pm 0.3\text{mm}$  보다는 크다. 부화시간은 온도에 따라 차이를 보이며, 15℃에서 102시간이 소요되었고 17℃에서는 78시간이 소요되어 넙치의 52시간보다는 늦은 경향을 보였다 (Lee, 1990). 최종 부화율은 15~20% 내외로 저조하여 난질의 개선이 필요하다. 13℃에서 19℃까지의 수

온에서 부화율은 수온에 따른 유의차가 없는 것으로 판단되며 이 온도에서의 난 입식은 적정범위에 있으나, 수온이 낮은 경우 종묘시기가 너무 길어 경제성에 문제가 있고 수온이 높은 경우 슛컷의 비율이 높아지고 질병에 노출될 위험성이 있다. 수정란 입식시 적정온도는 14~16℃ 범위가 시간이나 질병 등 여러 사항을 종합 할 때 부화시 가장 적합하다고 생각된다. 향후 제주의 지하해수만으로 사육하여 산란을 유도하는 부분에 있어서 수정율을 높이는 것과 조절하는 연구가 필요하다.

부화자어의 무급이 실험은 난질을 평가하기 위한 지표 중 하나이지만 친어의 관리 상태도 확인 할 수 있다(Lee, 1998). 무급이 상태에서의 터벗은 수온이 높을 수록 신진대사가 빨라져 난황의 소비 속도도 빠르며 폐사도 빨리 일어났다. 이는 모든 물고기들의 일반적인 현상이라 할 수 있다(Murray, 1971; Choi, 2001). 발생된 자어들이 최종적으로 폐사된 시간들을 볼 때 부화된 자어는 정상적으로 건강한 것으로 판단된다.

이상의 연구를 통하여 일정한 수온이 유지되는 지하해수를 이용하여 양식하는 국내의 터벗에서 친어를 선발하고 관리하여 수온과 광주기 조절로 성 성숙을 유도하여 수정란을 생산하였다. 이는 한 어종이 산업적으로 가는 첫 단추를 매는 시작에 불과하다 생각한다. 국내에서 처음 터벗양식을 시작하여 정착하지 못하고 실패했던 경험을 되풀이 하지 않고 산업적인 수준에 이르기 위해 양식현장에서는 친어관리, 종묘생산, 사양관리 등을 향상시키고 발전시키는 연구가 더 요구된다

## V. 요약

국내에서 터봇의 완전 양식을 위해서는 안정적인 친어관리와 수정란 생산이 필요하다. 이를 위해서 터봇의 성 성숙 유도과 수정란 생산에 관한 연구를 하였다. 제주의 지하해수(연중 17°C 내외)를 이용하여 터봇의 성 성숙을 유도하였다. 지하해수만 사육시 정상적인 수정란을 얻지 못하기 때문에 수온과 광주기를 인위적으로 조절하였다.

친어관리는 터봇 친어 240미(암컷 120미, 수컷 120미)를 선발하여 실험구 수조와 대조구 수조에 암수 60미(전장 3747, 체중 1500~3500g)씩 각각 수용(5×6×1.5) 하여 2015년 7월부터 2015년 11월까지 사육하였다. 수온은 17°C에서 8°C까지 내린 후 14°C도에 고정하였다. 광주기는 2L:22D에서 16L:8D로 고정하여 성 성숙을 유도하였다.

성 성숙 유도는 수온과 광주기의 조절로 성 성숙이 유도 되었다. 대조구는 변화가 거의 없으나 실험구에서는 생식소중량지수(GSI)의 변화가 일어나 정자와 성숙된 난모세포들이 존재하였다. FSH $\beta$ 와 LH $\beta$  mRNA 도 실험구에서는 증가하였다.

수정란 생산은 10차례에 걸쳐 11,000 cc를 채란하여 수정란 1,550 cc를 얻었다. 수정란은 1.040±0.19 mm이었다. 배란율은 36.7%이고 수정율은 14.1% 였다. 부화시간은 17°C에서 78시간이 소요 되었으며 13°C~19°C의 수온에서 부화율의 차이는 없었다. 부화자어의 무급이 실험에서는 19°C에서 8일, 13°C에서는 14일 까지 생존하였다.

## VI. 참고문헌

- Asahina K and Hanyu I. 1983 Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull Japan Soc Sci Fish 49, 61-67.
- Bauchot ML. 1987. Poissons osseux. Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche.(rev. 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche, 37, 891-1421.
- Choi YU. 2002. Growth of Red Drum, *Sciaenops ocellatus* (Sciaenidae) with the Water Temperature and the Rearing Density. Department of Marine Biology Graduate School Jeju National University.
- De Vlaming VL. 1972. Environmental control of teleost reproductive cycles : a brief review. J Fish Biol 4, 131-140.
- De Vlaming VL. 1975. Effects of photoperiod and temperature on gonadal activity in the cyprinid teleost, *Notemigonus rymoleucas*. Biol Bull 148, 402-415.
- Eskelinen P. 1989. Effects of different diets on egg production and egg quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture, 79(1), 275-281.
- FAO Fishes & Aquaculture. 2016. Fishstat-software for fishery statistical time series <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>
- Hardy RW and Shearer KD. 1985. Effect of dietary calcium phosphate and zinc supplementation on whole body zinc concentration of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Can J Fish Aquat Sci. 42(1), 181-184.
- Iglesias J, Rodríguez-Ojea G and Peleteiro JB. 1995. Effect of light and temperature on the development of turbot eggs (*Scophthalmus*

- maximus* L.). In ICES Marine Science Symposia (Vol. 201, pp. 40-44). Copenhagen, Denmark: International Council for the Exploration of the Sea, 1991-.
- Jang DH, Hang KW, Pack SH and Kang DH. 2016. A Study on the Possibility of Construction of Live Marine Biotechnium (LMB) by using Jeju Lava Seawater : Focused on the Patent Analysis. p. 25-29.
- Joo HS. 2012. Characteristics of reproductive physiology in blacktip grouper, *Epinephelus fasciatus*. Doctoral dissertation, Jeju National University, Jeju. p.76-79.
- Kashiwagi M, Yamada N, Okada Y, Nakamura F, Kimura, S and Iwai T. 1984. Some effects of temperature and salinity on developing eggs of the threeline grunt, *Paraplistipoma trilineatum* (Pisces: Haemulidae). Bull Fac Fish Mie Univ.
- Kim JT. 2016. A Study of the Export Promotion Proposals of Jeju Flatfish under Korea-China FTA. Department of International Commerce Logistics, The Graduate School Pukyung National University p.20-24
- Larrazabal G. 1992. Aquaculture in Spain. World aquaculture. 23(4):10-16
- Leclercq D. 1994. Turbot broodstock management: a key point to mid-term progress of the turbot industry. European Aquaculture Society Special Publication (Belgium).
- Lee BI, Nam MM, Byun SG, Kim YC and Lee JH. 2008. Effect of Water Temperature and Culture Density on Growth and Survival of Juvenile Turbot *Scophthalmus maximus* during Summer Season. J Aquaculture, 21(4), 265-271.
- Lee CG. 1998. Reproduction and larval survivals of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. Department of Fisheries Biology, Graduate School,

- Pukyong National University. Busan. p.3-6.
- Lee YD and Lee TY. 1990. Sex differentiation and development of the gonad in the flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). Bull Mar Sci Inst Jeju Nat Univ. 14, 61-86.
- Murray RW. 1971. 5 Temperature Receptors. Fish physiology. 5, 121-133.
- Muus BJ and Nielsen JG. 1999. Sea fish. Scandinavian Fishing Year Book.
- Nishi K and Takano K. 1979. Effects of photoperiod and temperature on the ovary of the bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull Fac Fish Hokkaido Univ.
- Park MW, Lee JH, Lee JK and Byun SK. 2006. Study on transplantation of exotic aquaculture species. National Fisheries Research & Development Institute. p.266-270
- Seo JP. 2007. Flounder Broodstock field guide book, Vision 21 Aquaculture. p.18-21
- Song YB. 2004. Induction of Sexual Maturation and Early Development of The Sevenband Grouper, *Epinephelus septemfasciatus*. Doctoral dissertation, Jeju National University, Jeju. p.74-75
- Springate JR C, Bromage NR, and Cumaranatunga PRT. 1985. The effects of different ration on fecundity and egg quality in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). In Nutrition and feeding in fish. 371-393.
- Watanabe, T. 1985. Importance of the study of broodstock nutrition for further development of aquaculture. Nutrition and feeding in fish, 395-414.

## 감사의 글

양식현장에서 일하며 부족함을 느끼면서도 다시 학업을 시작하리라 생각도 못하는 저를 격려와 가르침으로 지도해주신 이영돈 교수님께 먼저 감사드립니다. 평소에 후진양성을 위하여 연구하며 노력하는 이승현 교수님, 허문수 교수님께도 감사를 드립니다. 지금도 수산양식인의 길을 본으로 보이시고 계신 노섬 교수님을 비롯하여 송춘복 교수님, 최광식 교수님, 이제희 교수님, 전유진 교수님, 이경준 교수님에게도 고마움을 전합니다.

해양동물번식학연구실의 이치훈 박사님을 비롯하여 현장에서, 연구소에서, 각자의 자리에서 열심히 일하고 있는 모든 실험실 학우들에게 감사드립니다.

이 논문이 완성되기 까지 함께 실험하고 자료를 만드는데 수고한 오태현님, 윤영석님, 정수진님, 김성훈님, 김주행님을 비롯하여 양식현장에서 땀흘리는 해연의 동료직원들에게 감사를 드립니다.

터בות의 기술발전을 위하여 같이 노력한 블루젠일동, 이우재 박사님, 정태성 교수님, 수산종자사업단과 김성연 단장님, 농기평과 한영준 실장님에게도 감사의 마음을 전합니다.

현장의 고민을 함께하며 도움주신 제주광어의 한용옥 대표님과 김성석 이사님을 비롯한 임원진, 김주환 대표님, 박병연 대표님, 김창유 대표님을 비롯한 양식을 함께 하며 도움주신 많은 주변의 양식어민들과 제주도 해양수산연구원의 관계연구진에게 고마움을 전합니다. 앞으로도 수산양식이 나에게 주어진 달란트로 알고 함께 협력하고 더욱 노력하겠습니다.

저를 지금까지 사랑으로 이끌어주시고 기도해주신 어머니와 지금은 천국에 계시는 아버지, 큰형님 내외를 비롯한 형제와 자매들의 응원이 있었기에 부족한 제가 여기까지 올 수 있는 원동력이 되었습니다. 고마움과 감사를 드립니다..

힘들고 지칠 때 마다 용기를 주고 믿음으로 격려해준 사랑하는 아내 미화와 사랑하는 자녀들 샤론, 보근, 푸른, 은총에게 진심으로 감사의 마음을 전합니다.