

공학석사 학위논문

볼락, *Sebastes inermis* Cuvier의 초기성장과  
생식소 발달과정에 관한 연구

*Study on the Early Growth and Gonadogenesis  
of Rockfish, Sebastes inermis Cuvier*

지도교수 박인석

2004년 12월

한국해양대학교 해양관리기술대학원  
해양환경·생물공학기술전공

최희정

공학석사 학위논문

볼락, *Sebastes inermis cuvier*의 초기성장과  
생식소 발달과정에 관한 연구

*Study on the Early Growth and Gonadogenesis  
of Rockfish, Sebastes inermis Cuvier*

지도교수 박 인 석

2004년 12월

한국해양대학교 해양관리기술대학원  
해양환경·생물공학기술전공

최 희 정

본 논문을 최희정의 공학석사 학위논문으로 인준함.

2004년 12월

주 심 이 학 박사 조 성 환 (인)

위 원 수 산 학 박사 최 철 영 (인)

위 원 수 산 학 박사 박 인 석 (인)

한국해양대학교 해양관리기술대학원

# 목 차

	<i>Page</i>
목 차 .....	iii
<i>Abstract</i> .....	iv
<i>List of Tables</i> .....	vi
<i>List of Figures</i> .....	vii
I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	5
1. 실험어 .....	5
2. 초기 사육과 종묘생산 및 표본 .....	5
3. 전장 성장 및 체중 성장 조사 .....	8
4. 두부 계측형질 성장 조사 .....	9
5. 생식소발달과정 및 성분화 조사 .....	11
6. 성비 조사 .....	11
7. 통계분석 .....	11
III. 결 과 .....	12
1. 전장 성장 및 체중 성장 .....	12
2. 두부 계측형질 성장 .....	14
3. 생식소발달과정 및 성분화 .....	19
4. 성비 .....	26
IV. 고 찰 .....	29
V. 국 문 요약 .....	37
VI. 감사 의 글 .....	39
VII. 참 고 문 헌 .....	40

*Study on the Early Growth and  
Gonadogenesis of Rockfish, *Sebastes inermis*  
Cuvier*

Hee Jung CHOI

*Graduate School of Maritime Management and Technology,  
Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea  
(Supervised by professor In -Seok PARK)*

**Abstract**

The objective of this study was to examine the early growth of rockfish *Sebastes inermis* Cuvier from a series of reared specimens for provide information to fisheries biology and more information on the aspect of aquaculture in the larvae of this species. Rockfish were reared in farm and sampled preiodically for developmental study until 1,350 days after parturition.

An increase in total length of fish indicated continuous growth, described by the growth expression of the type  $TL=0.0217X$  ( $r^2=0.8867$ , where TL is total length and X is at days after parturition) and  $BW=0.0001X^2+0.0713X$  ( $r^2=0.9858$ , where BW is body weight and X is at days after parturition), respectively. The expression for the relationship of body weight and total length is  $BW=0.0072TL^{3.4373}$  ( $r^2=0.9945$ , where BW is body weight and TL is total length). The expression for the relationship of eye diameter and days after parturition is  $ED=-0.0000X^2+0.0326X$  ( $r^2=0.9886$ ,

where ED is eye diameter and X is days after parturition). Relationship of head length (HL), snout length (SL), eye diameter (ED) and postorbital head length (PHL) with total length (TL) expressed the type of HL=0.2652TL ( $r^2=0.9758$ ), SL=0.0613TL ( $r^2=0.9602$ ), ED=0.0752TL ( $r^2=0.9715$ ) and PHL=0.2652TL ( $r^2=0.9501$ ), respectively.

The early gonadal development and sexual differentiation of rockfish was described from parturition stage to 400<sup>th</sup> day after-parturition. During this period, the average total length (TL) of their body grew from 0.57 cm to 13.18 cm. The primordial germ cells (PGCs) was remarkably observed at 0.68 cm TL larva (10<sup>th</sup> day after-parturition). At 1.52 cm TL (50<sup>th</sup> day after-parturition), initial ovarian differentiation was identified by PGCs containing condensed chromatin, and their transformation into meiotic oocytes. Finally, at 10.23 cm TL (300<sup>th</sup> day after-parturition), the ovaries gradually developed to the oocytes in the primary yolk stages. While ovaries grew rapidly after sex was differentiated, testis continued to multiply, but not undergo growth until at 6.97 cm TL (200<sup>th</sup> day after-parturition). Testis contained, at 6.97 cm TL (200<sup>th</sup> day after-parturition), the spermatocytes occurring the meiotic activity, spermatogonia, and cyst cell. The result shows that sex differentiation type of rockfish belongs to the differentiated gonochorism. The sex ratio of rockfish at 400<sup>th</sup> and 800<sup>th</sup> day after-parturition both showed higher percentage of male appearance ( $P<0.05$ ).

---

A thesis submitted to the committee of the Graduate School of Maritime Management and Technology, Korea Maritime University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in October 2004.

## **List of Tables**

	<b>Page</b>
Table 1. Proximate analysis value of the experimental diets used in this experiment .....	7
Table 2. Average growth in total length and body weight of rockfish, <i>Sebastes inermis</i> at each sampling day after parturition .....	13
Table 3. Sex ratio of the rockfish, <i>Sebastes inermis</i> at 400 and 800 days after parturition .....	28

## List of Figures

	<b>Page</b>
Fig. 1. Definitions of the rockfish, <i>Sebastes inermis</i> head dimensions regressed against total length .....	10
Fig. 2. Average growth in total length (TL) and body weight (BW) of rockfish, <i>Sebastes inermis</i> larvae in this experiment .....	15
Fig. 3. The relationship between body weight (BW) and total length (TL) in rockfish, <i>Sebastes inermis</i> larvae .....	16
Fig. 4. Average growth in eye diameter (ED) of rockfish, <i>Sebastes inermis</i> larvae in this experiment .....	17
Fig. 5. Relationship of head length (HL), snout length (SL), eye diameter (ED) and postorbital head length (PHL) with total length (TL) for rockfish, <i>Sebastes inermis</i> larvae in this experiment .....	18
Fig. 6. Early gonodogenesis of rockfish, <i>Sebastes inermis</i> (H-E stain) (Figs. a~d) .....	20
Fig. 7. Early gonodogenesis of rockfish, <i>Sebastes inermis</i> (H-E stain) (Figs. a~e) .....	23
Fig. 8. Diagram of gonadal development and differentiation of the rockfish, <i>Sebastes inermis</i> in relation to body size .....	27

# I. 서 론

우리나라 양식산업은 1980년대 초부터 본격화되어 넙치, *Paralichthys olivaceus*를 위시하여 현재까지 10 여종이 양식대상 어종으로 개발된 바 있다 (김 등, 2001). 이럼에도 불구하고 우리나라 2005년 현재의 양식 생산 여건은, 넙치와 조피볼락, *Sebastes schlegel* 등 몇 종에만 편중되어 있고 더욱이 저가의 중국산 양식어류의 범람으로 인하여 양식 산업계는 2중고를 겪고 있는 실정이다. 이러한 우리나라 양식산업의 난국을 타개하기 위하여 양식대상 어종의 다변화를 위한 노력과 더불어 우리나라에 특화된 양식대상 어종의 개발이 절실히 요구된다. 특히 최근의 산업화 과정에서 야기되는 각종 오염물질로 인한 연안 오염과 무분별한 어족 자원 남획으로 인한 연안 어장 황폐화에 기인된 수산생물 자원의 급격한 감소를 고려시, 수산생물 자원의 조성 및 증대를 위한 연안 정착성 어류의 방류 또한 시급한 실정이다.

볼락(Rockfish, Dark-banded rockfish), *Sebastes inermis* Cuvier은 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes)의 양볼락과(Scorpaenidae)에 속하며, 우리나라의 동해안과 제주도 해역을 포함한 전해역, 일본 홋카이도 이남에 분포한다. 본 종은 연안 바위지역에서 10~20 마리씩 무리지어 생활하는 난태성 경골어류로서 11~12월에 0.4~0.5 cm 의 자어를 산출한다(정, 1997; 최 등, 2002). 이러한 볼락은 생활력이 강한 경제성 어종으로 양식 대상종으로서의 가치성이 충분히 있고, 그 자원량 또한 풍부하여 남해안 연안에서는 연중 채집이 가능한 종으로서(정, 1977; 이와 김, 1992), 그 생태학적 특성상 연안 수역에서의 목장화를 비롯한 자원 조성용 어종으로도 유망하다(고 등, 1998).

지금까지의 볼락에 관한 연구로는 정소의 계절적 변화양상 조사(Mizue,

1958), 연령과 성장 및 성숙에 관한 연구(Mio, 1960), 교미습성 구명(Shinomiya and Ezaki, 1991), 성 성숙과 체내 발달과정 파악(이와 김, 1992), 난 발생과정과 산출 자어 형태 조사(김과 한, 1993) 및 산출 자치어의 외부 형태 및 골격 발달(김 등, 2001) 등의 생식학적, 발생생물학적 및 양식생물학적 연구가 이루어진 바가 있어, 조만간 불락의 완전양식에 의한 양식산업화 및 종묘 방류와 관리에 의한 그 자원 조성이 기대된다.

불락을 포함한 *Sevastes* 속의 어류는 난생어류와 달리 어미의 체내에서 부화하고, 약 3~4일간 어미의 생식소내에서 물질대사를 하며, 머문 뒤 산출을 하는 번식 특성을 지니고 있다(Shimizu *et al.*, 1991). 이와 같이 불락은 자어를 산출하는 어종으로 저수온에 강하며, 우리나라 전해역에서 월동이 가능한 어종으로서 그 연안정착 특성상, 각종 오염물질의 연안 유입과 치어의 무분별한 남획 등에 노출되어 그 자원량이 급격하게 줄어들어 종묘생산을 위한 어미 확보 조차 어려운 현상이므로 자원증대를 위한 종묘의 대량생산과 성장 관련 자료에 대한 연구가 절실한 실정이다(Personnal communication). 성장과 관련하여, 안경(Eye diameter) 측정은 어체의 Fork장 크기를 간접적으로 확인할 수 있는 방법으로서(Crane *et al.*, 1987), Serafy *et al.* (1996)은 Red drum, *Sciaenops ocellatus* 을 대상으로 하여 두부 관련 특이 형질과 전장과의 관련 모델을 설정하여 Red drum 두부 관련 형질 파악만으로 손쉽게 전장 크기 파악이 가능하게끔 하였다.

어류를 대상으로 한 계측형질 파악은 기본적으로 3가지의 연구 측면에서 시도되고 있다. 첫째, 성(Sex)과 종에서의 구별(Quellette and Qadri, 1968; Park *et al.*, 2001a) 및 불확실한 잡종(Hybrid)과 같은 미확인 종의 확인(Neff, 1987; Park *et al.*, 2003); 둘째, 집단과 종에서의 형태 변이 양상 구명(Winans, 1985; Park *et al.*, 2001b); 그리고 셋째, 생물계통적 연관관계의 확인 및 분류

이다.

본 연구는 비록 현재까지 불락 초기 성장이 연구는 되어있으나(김 등, 1993) 그 연구가 단기간에 걸친 전장 성장 조사에만 국한되고 장기간을 통한 초기 성장 전반에 관한 면밀한 조사는 이루어지지 않음을 고려하여, 불락의 초기 성장 관련 항목들을 사육과정과 연관시켜 조사하였다. 또한 불락 속은 유사종이 많은 분류군으로, 이들 불락 속 어종 초기의 분류가 어려우므로 두 부극의 형성과정, 계수형질, 체형, 출산시의 자어의 크기 및 색소체 형성 등의 두부관련형질(*Head parameter*)들이 분류상의 중요 *key*가 될 수 있음을 고려하여(冲山, 1983), 본 연구에서는 불락을 대상으로 두부 관련 형질과 전장과의 상관관계를 아울러 파악하였다.

어류에서의 생식소분화(*Gonadal differentiation*)는 개체에서 정소(*Testis*)나 난소(*Ovary*)가 발달되어 최종 성숙기에 정소나 난소로 작용하는 자웅이체(*Gonochoresism*)로부터 동시에 기능적인 수컷과 기능적인 암컷 조직이 존재하는 동시성숙형 자웅동체(*Synchronous hermaphroditism*)까지 다양하게 나타난다(Yamamoto, 1969; Devlin and Nagahama, 2002; Park et al., 2004). 어류에서의 이러한 생식소분화 양상 파악은 어류 초기발생시의 생식소발달과정(*Gonadogenesis*) 조사에 의하여 이루어질 수 있는 것으로, 일부 경골어류에서 성분화 양상이 파악된 바 있다(Yamamoto, 1969; Devlin and Nagahama, 2002).

우리나라 남해안산 불락에 대하여 군성숙 및 개체군 생식생리학적 측면에서의 난자형성과정과 정자형성과정을 이와 김(1992)은 연구한 바 있으나, 이러한 불락에서의 산출후 성장에 따른 정확한 생식소 발달과정 파악은 아직도 그 연구가 이루어진 바 없다. 이러한 성분화 과정 조사는 차후 양식 산업성이 있는 단성집단으로의 성전환시 성전환 최초 처리시간과 처리기간을 결정할 수

있는 기본 자료로 활용될 수 있음을 고려, 본 연구에서는 불락을 대상으로 성분화과정 조사 및 성분화 양상을 구명 하였다.

이와 더불어, 포유류에서는 일단 성이 결정되면 성분화는 정소는 난소로 완벽하게 안정적으로 진행되는 반면에 어류인 경우는 이와같은 규칙을 벗어나는 예외들이 많이 있어 오염, 내분비 호르몬, 수온과 같은 외부적인 환경적 요소들이나 성장, 행동과 같은 내부적 요소들에서의 변동에 의하여 어류 생식소 발달이 영향을 받을 수 있다(Devlin and Nagahama, 2002). 이러한 점을 고려하여 불락의 성분화 이후의 생식소 발달 양상을 파악하기 위하여 본 연구에서는 불락의 산출후 550일, 그리고 산출후 800일에서의 성비를 조사하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험어류

실험어 생산을 위하여, 1998년 경남 통영시 해역에서 채집된 볼락, *Sebastes inermis* Cuvier 치어를 인근 해역의 조도에 설치된 한국해양연구원 해상 가두리에서 5년 동안 사육하여 성숙시킨 친어 집단을 사용하였다.

이들 친어 집단 중 복부가 불러 산출 직전에 다다른 것으로 판단되는 암컷 친어 250 마리를 선별한 후 2003년 1월 4일에 경남수산자원연구소의 50톤 용량의 콘크리트 원형수조에 옮겨 수용하였다. 원형수조 수용 1일 후인 다음날인 1월 5일에 최초 산출이 관찰되었으며, 산출량이 최대인 것으로 판단되는 2004년 1월 7일에 산출된 자어를 대상으로 종묘 생산한 후 실험에 사용하였다.

### 2. 초기사육, 종묘생산 및 표본

#### 1) 초기사육과 종묘생산

어미로부터 산출된 자어는 50톤 용량의 콘크리트 원형 수조에 5천마리/톤의 밀도로 수용하였고, 최초 2일간은 지수식으로 약하게 공기를 주입하면서 관리하였다. 사육중인 자어 수조의 수질 안정을 위해 산출 직후부터 10일까지 시판되는 해산 *Chlorella* sp.를 매일 아침에 공급하는 방법으로 하루 중 40~80만 cell/ml로 유지시켰다.

난황 흡수가 완료되기 전인 산출 후 2일부터 9일까지 100~350  $\mu\text{m}$  크기의

로티퍼, *Brachionus calyciflorus*를 1일 2~3회 공급하여 하루 중 5~7개체/ml가 유지되도록 하였다. 이후 자어가 성장함에 따라 산출 후 10일부터 알테미아, *Artemia nauplius*를 1일 2회 공급하여 하루 중 1개체/2ml이 유지되도록 하였다. 산출 후 30일부터는 Table 1과 같은 일반성분의 시판용 배합사료(이화사료, 한국)를 자어 입크기를 고려하여 적당 입자 크기로 1일 5회와 알테미아를 1일 2회를 병행하여 공급했으며, 알테미아 공급이 완료된 산출 후 80일령부터 배합 사료만을 1일 6회 공급하였다.

적절한 수질 유지를 위해 자어 수조에 공급된 해수는 고압 여과기로 여과한 자연 해수로 부화2일 까지 지수 식으로 사육했으나, 부화 후 3일부터 10일까지는 1일 0.5회전 환수시켰고, 이후 자어가 성장함에 따라 그 공급량을 차츰 늘렸다. 산출 2일째 수조 바닥에 침전된 어미 배설물과 죽은 자어를 사이폰 방식으로 제거하였으며, 이후 3일 간격으로 바닥 청소를 실시하였다.

부화 및 종묘 생산 기간 동안의 사육 수온은 자어의 성장을 고려하여 평균 15.8 °C를 유지하였다. 산출 160일에 육상 수조에서 사육 중인 실험어를 경남 통영시 소재 한국해양연구원 해상 가두리(크기; 6×3×3 m)로 옮겨 수용하였으며, 사료는 Table 1과 같은 일반성분의 시판되는 배합사료(이화사료, 한국)를 자어 입크기를 고려하여 적정 입자 크기로 공급하여 사육하였다.

## 2) 표본

표본은 표본 하루전의 공복 후에 하였다. 표본은 오전 10시 전후에 사육 수조 중층을 회유하는 실험어를 대상으로 실시하였으며, 매번 무작위로 50마리를 채집하였다.

Table 1. Proximate analysis value of the experimental diets (% of dry matter basis) used in this experiment

<i>Compositions</i>	<i>%</i>
<i>Moisture</i>	10.0
<i>Crude protein</i>	46.7
<i>Crude fat</i>	6.4
<i>Crude ash</i>	13.1
<i>Crude fiber</i>	1.3
<i>Gross energy (Cal/g)</i>	4786.8

불락 표본은 산출 후부터 산출 후 30일까지는 2일 간격으로 16회, 산출 후 35일 부터 산출 후 100일까지는 5일 간격으로 14회, 그리고 산출 후 110일 부터 200일까지는 10일간격으로 10회, 산출 후 230일부터 최종 표본 시점인 산출 후 1,350일까지는 30일 간격으로 25회 표본하였다. 채집 즉시 300 ppm 염산리도카인(Lidocaine-HCl, 흥성제약, 한국)/1,000 ppm 중탄산나트륨( $\text{NaHCO}_3$ , Sigma, USA)으로 마취시켜 죽였다. 죽은 쓸종개를 냉장 상태의 10% 중성 포르말린(100 ml Formalin, 6.5 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , 4.5g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 900 ml DW)에 고정하였으며, 고정 1일 후 동일한 시약으로 재고정하여 냉장보관 하였다.

### 3. 전장 성장 및 체중 성장 조사

매번의 표본시 표본된 모든 개체를 대상으로 산출 일수 경과에 따른 전장 (Total length) 및 체중 (Body weight)의 성장을 조사하였다. 전장은 산출 후 60 일까지는 해부현미경 (Stemi DV4, Zeiss, Germany)의 Eyepiece micrometer 하에서 그리고 산출 후 70일부터 산출 후 1,350일까지는 Digital vernier calipers (Mitutoyo, Japan)를 사용하여 1/100 cm 단위까지 측정하였으며, 체중은 전자저울 (Acom, Korea)을 사용하여 1/100 g 단위까지 측정하였다.

성장 추정을 위하여 전장은 Von Bertalanffy 성장식(장, 1991) 그리고 체중은 Robertson 성장식(장, 1991)을 적용하였다. 아울러 전장 및 체중 성장을 기초로 하여 전장과 체중간의 상관관계식을 구하였다. 전장에 대한 체중의 관계식을 구하기 위하여  $W=aL^b$  식을 사용하였으며 파라미터  $a$ ,  $b$ 를 추정하기 위하여 양변에 자연대수를 취하여  $\ln W = \ln a + b \ln TL$  공식과 같이 선형화 하였다.

#### 4. 두부 계측형질 성장 조사

각 표본시 마다 표본된 모든 개체를 대상으로 *Serafy et al.* (1996)의 방법에 의거, Fig. 1에 나타난 모식도와 같이 두장(Head length), 주둥이장(Snout length), 안경(Eye diameter) 및 안와 이후 두장(Post-orbital head length)을 초기 자어 시기(산출 후 60일 까지)에는 해부현미경(*Stemi DV4, Zeiss, Germany*)의 *Eyepiece micrometer*로 계측하고, 산출 후 70일 부터 산출 후 1,350일까지는 *Digital vernier calipers (Mitutoyo, Japan)*를 사용하여 1/100 cm 단위까지 측정하였다. 성장에 따른 어류학적인 외부 형태의 관찰은 김 등 (1993)의 방법에 따라 해부현미경을 사용하여 관찰하였다.

산출 후부터 산출 후 1,350일까지의 안경 성장은 *Von Bertalanffy* 성장식 (장, 1991)을 적용하여 조사 하였으며, 안경과 전장과의 상관관계식을 구하였다. 아울러 파악된 각각의 두장, 주둥이장, 안와 이후 두장의 성장을 전장과의 상관관계로 역시 파악하였다.

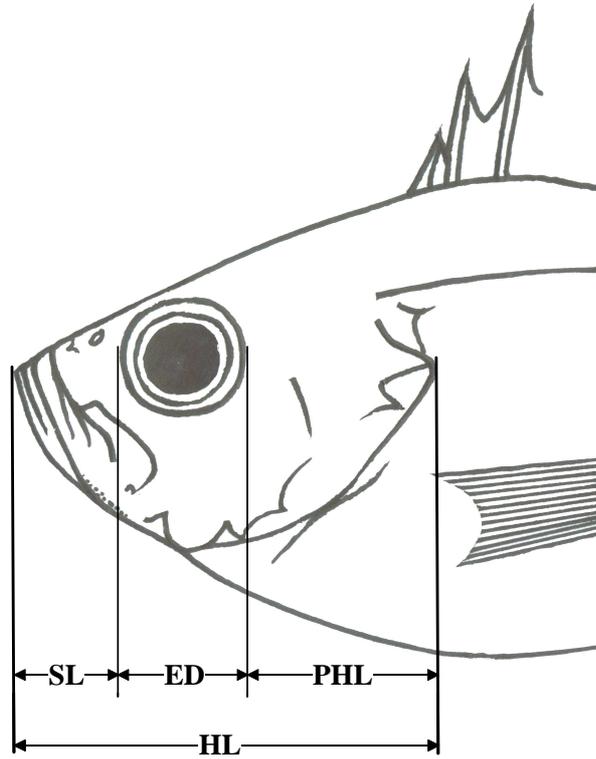


Fig. 1. Definitions of the rockfish, *Sebastes inermis* head dimensions regressed against total length: head length (HL), postorbital head length (PHL), snout length (SL) and eye diameter (ED).

## 5. 생식소 발달과정 및 성분화 조사

표본된 실험어 각 10마리씩을 대상으로 생식소 발달 과정과 성분화를 조사하였다. 고정된 표본의 머리 부위 그리고 항문 이후의 꼬리 부위를 제외한 몸통 부위를 Bouin's 용액에 24시간 재고정 하였다. 아울러 고정된 표본을 Formic acid와 Sodium citrate로 탈칼슘화 하였다. 기존의 Paraffin 절편법을 사용하여 조직 절편 두께를 4~6  $\mu\text{m}$ 로 연속적으로 종단 절단하였으며 Harris's hematoxylin과 Eosin-phroxine B로 병행 염색하였다.

작성한 조직 절편 Slide를 생물현미경(Axiostar, Zeiss, Germany) 하에서 검경하여 생식소 발달 과정과 암·수로의 생식소 성분화 양상을 조사하였다. 생식소 발달 과정 및 성분화에서의 각 단계 결정은 각 표본시의 전체 개체중 80% 이상이 각 단계에 해당할 경우로 하였으며, 아울러 각 단계별 특징적인 조직상을 생물현미경(Axiostar plus, Zeiss, Germany)으로 사진 촬영하였다.

## 6. 성비 조사

암·수로의 성분화가 충분히 이루어진 것으로 판단 되어지는 산출후 400일과 산출후 800일의 개체 각 90마리를 대상으로 성비를 조사하였다. 각 표본단계의 50마리 표본과 산출후 400일과 산출후 800일의 각 표본 90마리를 대상으로 기존의 Paraffin 절편법을 사용하여 절편 두께를 4~6  $\mu\text{m}$ 로 생식소 존재 부위의 어체를 종단 절편 하였으며, Harris's hematoxylin과 Eosin phroxine B로 병행 염색하였다. 작성된 조직 절편 Slide를 생물현미경(Axiostar plus, Zeiss, Germany)하에서 검경하여 암·수를 판별하였다.

## 7. 통계분석

성비는  $\chi^2$ -test를 적용하여 1♀:1♂에 대한 유의성을 검정하였다.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 전장 성장 및 체중 성장

블락, *Sebastes inermis* Cuvier 산출은 이른 새벽 부터 시작하여 해뜨기 전에 산출이 끝났으며, 산출 직후 자어의 평균 전장은  $0.57 \pm 0.04$  cm, 평균 체중은  $0.0001 \pm 0.00001$  g으로 난황이 존재하였다(Table 2). 입은 산출시 이미 열린 상태였으며, 초기먹이로 사용한 로티퍼, *Brachionus calyciflorus*를 먹기 시작한 시기는 산출 약 6시간 경과부터 였으며, 산출 1일 후에서 부터는 로티퍼를 활발히 먹기 시작했다. 산출 후 4일째 난황은 완전히 소실되었고, 외부(Exogeneous) 영양원에 의 존하여 성장하였다. 산출 후 20일째에는 완전한 자어의 형태로 발육 하였으며, 산출 후 25일째 부터 일부 성장이 빠른 개체에서 는 치어의 형태에 도달하였다. 이후 산출 후 30일째로 접어들면서 어체는 평균 전장  $0.94 \pm 0.13$  cm, 평균 체중  $0.006 \pm 0.003$  g의 크기로, 대부분의 개체가 치 어기로 전환되었다(Table 2).

생물 사료공급이 중단되고 배합사료만 공급되기 시작한 산출 후 80일경의 치어는 평균 전장이  $2.80 \pm 0.31$  cm, 평균 체중이  $0.30 \pm 0.10$  g 이었으며, 산출 후 100일의 치어는 평균 전장이  $3.78 \pm 0.25$  cm, 평균 체중  $0.76 \pm 0.17$  g 이었다 (Table 2). 육상사육이 종료되고 해상 가두리에로의 입식시기인 산출 후 160일 치어기의 평균 전장은  $5.69 \pm 0.03$  cm, 평균 체중  $3.24 \pm 0.05$  g 이었다. 해상 가두 리에 수용후 부터 블락 치어는 매우 빠른 성장을 보여, 산출 후 200일에 평균 전장  $6.97 \pm 0.21$  cm, 평균 체중  $6.60 \pm 0.70$  g 이었던 치어는 최종표본 시점인 산 출 후 1350일에 평균 전장  $23.51 \pm 1.03$  cm, 평균 체중  $320.15 \pm 1.19$  g으로 각각 성장하였다(Table 2).

Table 2. Average growth in total length and body weight of rockfish, *Sebastes inermis* at each sampling day after parturition

Days after parturition	Total length (cm)	Body weight (g)
0	0.57±0.04	0.0001±0.00001
10	0.68±0.04	0.002±0.0004
20	0.84±0.07	0.004±0.001
30	0.94±0.13	0.006±0.003
40	1.11±0.13	0.01±0.005
50	1.52±0.25	0.03±0.02
60	1.56±0.24	0.04±0.02
70	1.88±0.36	0.07±0.05
80	2.80±0.31	0.30±0.10
90	3.13±0.20	0.41±0.10
100	3.78±0.25	0.76±0.17
120	4.84±0.26	1.86±0.35
140	5.50±0.36	2.93±0.66
160	5.69±0.03	3.24±0.05
180	6.19±0.04	4.35±0.11
200	6.97±0.21	6.60±0.70
250	8.49±0.39	13.21±2.18
300	10.23±0.86	25.62±5.83
350	11.75±0.79	32.75±7.00
400	13.18±0.55	41.43±8.83
450	14.49±1.04	57.68±12.38
500	15.44±0.88	61.74±14.71
550	16.46±1.12	82.30±7.81
650	17.12±1.10	100.02±2.68
750	18.02±0.32	150.12±4.12
850	18.79±2.16	184.21±1.89
950	19.16±2.14	200.12±2.22
1,050	20.20±1.89	235.14±2.10
1,150	21.46±2.54	254.10±1.74
1,250	22.05±1.10	276.23±2.13
1,350	23.51±1.03	320.15±1.19

The values are mean±SD ( $n=50$ ).

볼락의 산출 후 1,350일 까지의 각 표본시기에서의 평균 전장과 평균 체중 측정 결과로 부터의 전장 성장식은  $TL=0.0217X$  ( $r^2=0.8867$ ) (TL: Total length; X: Days after parturition) 이었다(Fig. 2). 전장은 산출 시기 경과에 비례하여 연관성 있게 성장하여 직선 성장방정식을 보였다. 체중 성장은 곡선성장을 보였으며 해상 가두리 입식시기인 산출 후 160일 이후부터 성장이 양호하였고, 이러한 체중 성장식은  $BW=0.0001X^2+0.0713X$  ( $r^2=0.9858$ ) (BW: Body weight; X: Days after parturition) 이었다(Fig. 2). 볼락 산출후 1,350일 까지의 이러한 전장 성장과 체중 성장간의 상관관계는  $BW=0.0072TL^{3.4373}$  ( $r^2=0.9945$ ) (BW: Body weight; TL: Total length)로 나타났다(Fig. 3). 비례 성장을 비교시 전장 10 cm와 체중 20~30 g 이전의 성장은 전장과 체중이 연관있게 성장 하였으나, 전장 10 cm와 체중 20~30 g 보다 큰 개체들에서는 체중성장 보다는 전장 성장이 크게 나타났다.

## 2. 두부 계측형질 성장

산출 후 1,350일 까지의 안경 성장은  $ED=0.0000X^2+0.0326X$  ( $r^2= 0.9886$ ) (ED: Eye diameter; X: Days after parturition)로 안경은 산출 후 600일까지는 직선적인 성장을 다소 보였다(Fig. 4). 안경 성장과 전장 성장간의 상관관계는  $ED=0.0752TL$  ( $r^2=0.9715$ ) (ED: Eye diameter; TL: Total length)로 산출기일 경과에 따라 직선 성장을 보였다(Fig. 5). 산출 후 1,350일까지의 두장 성장과 전장 성장간의 상관관계식은  $HL=0.2652TL$  ( $r^2=0.9758$ ) (HL: Head length; TL: Total length) 이었고(Fig. 5), 주둥이장과 전장과의 상관관계식은  $SL=0.0613TL$  ( $r^2=0.9602$ ) (SL: Snout length; TL: Total length) 이었으며(Fig. 5), 안와 이후 두장과 전장과의 상관관계식은  $PHL=0.1152TL$  ( $r^2=0.9501$ ) (PHL: Postorbital head length; TL: Total length) 이었다(Fig. 5).

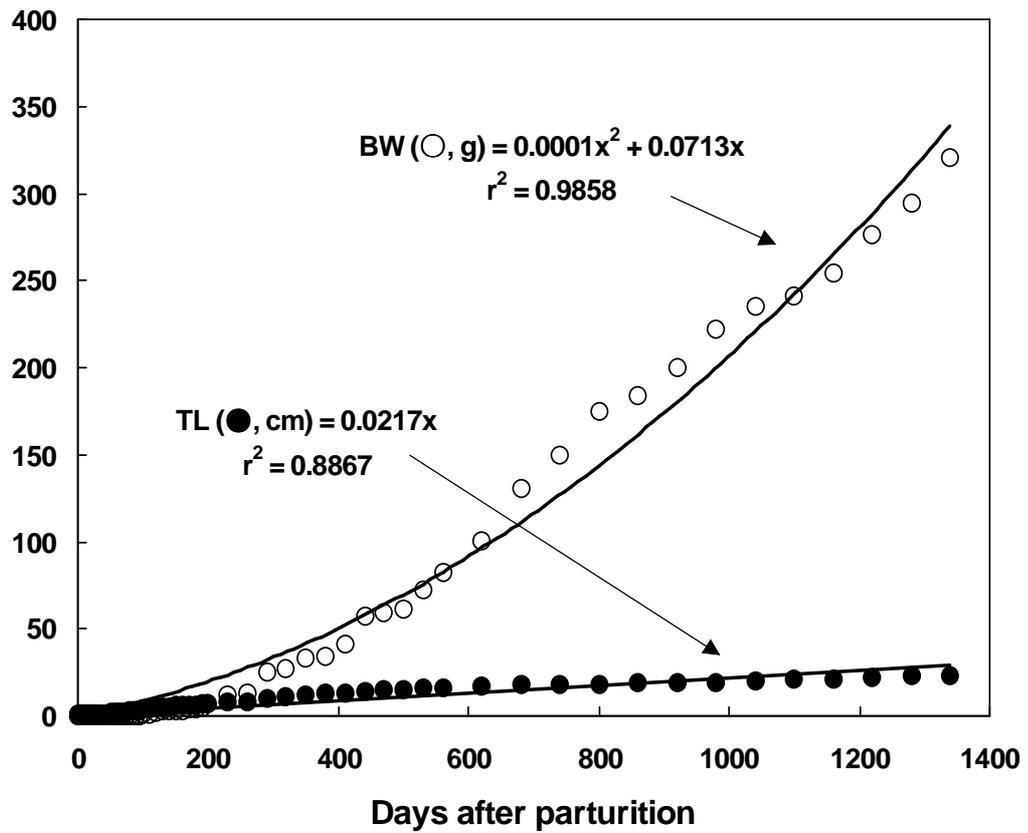


Fig. 2. Average growth in total length (TL) and body weight (BW) of rockfish, *Sebastes inermis* larvae in this experiment.

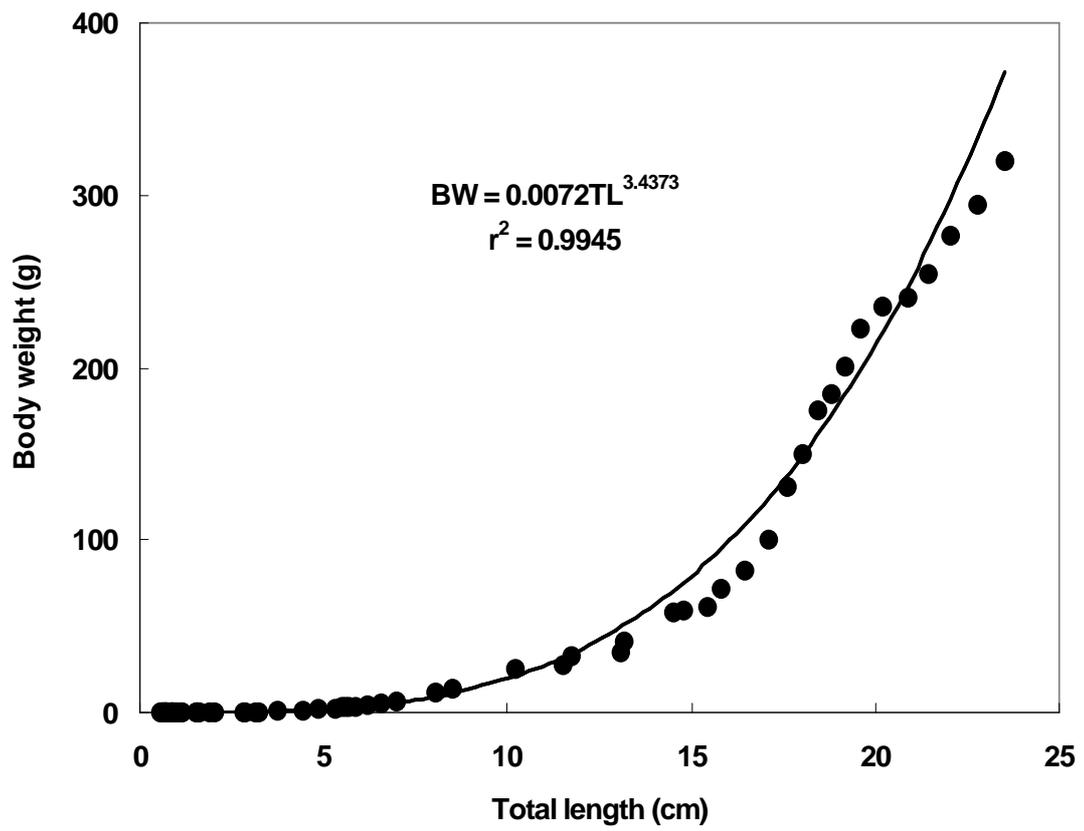


Fig. 3. The relationship between body weight (BW) and total length (TL) in rockfish, *Sebastes inermis* larvae.

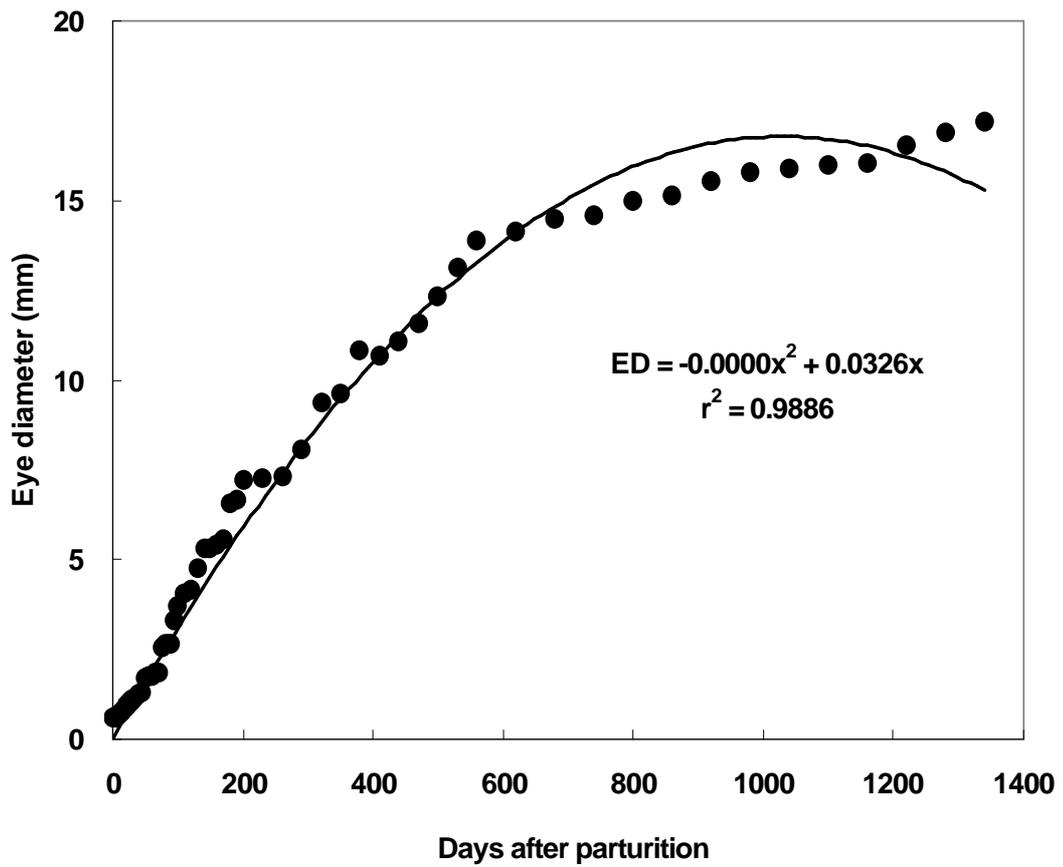


Fig. 4. Average growth in eye diameter (ED) of rockfish, *Sebastes inermis* larvae in this experiment.

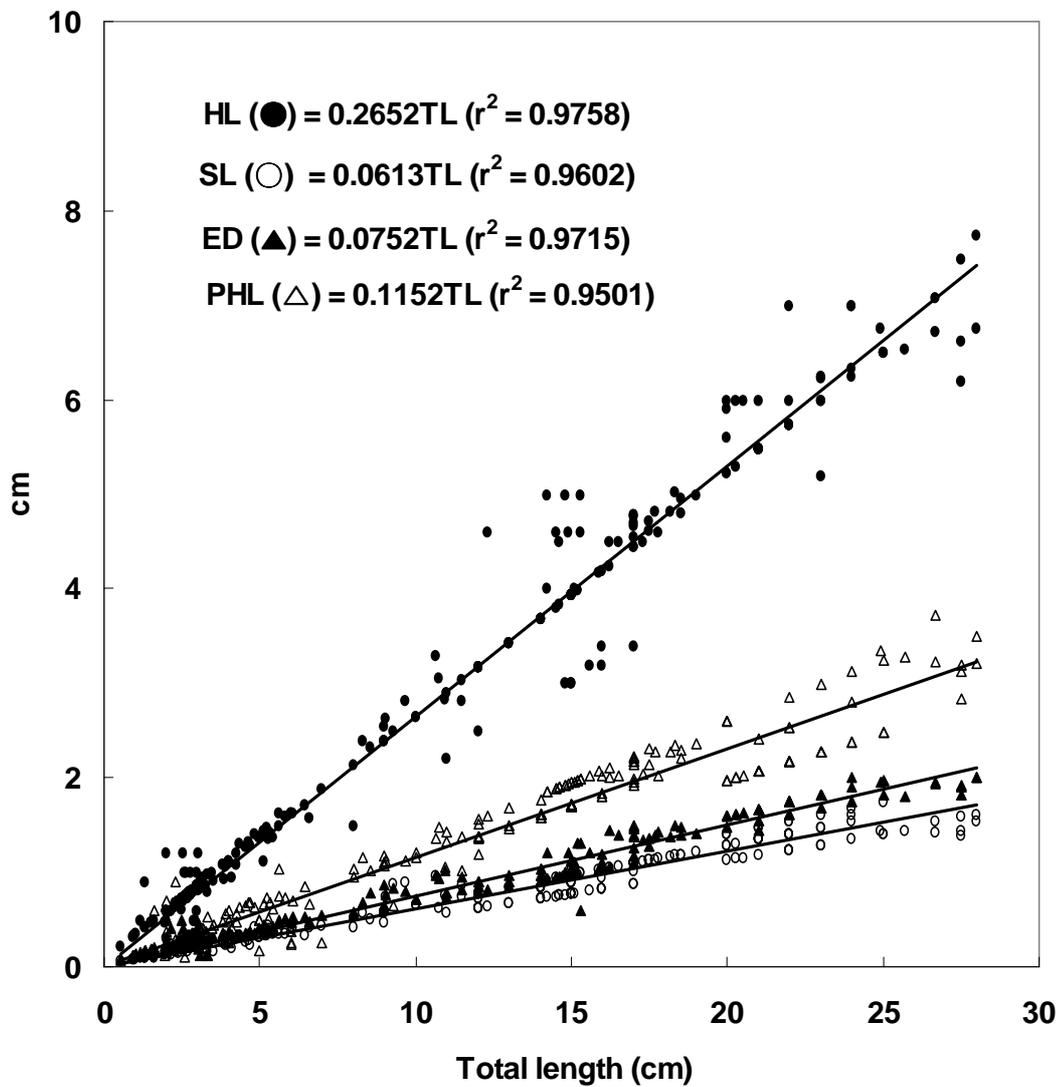


Fig. 5. Relationship of head length (HL), snout length (SL), eye diameter (ED) and postorbital head length (PHL) with total length (TL) for rockfish, *Sebastes inermis* larvae in this experiment.

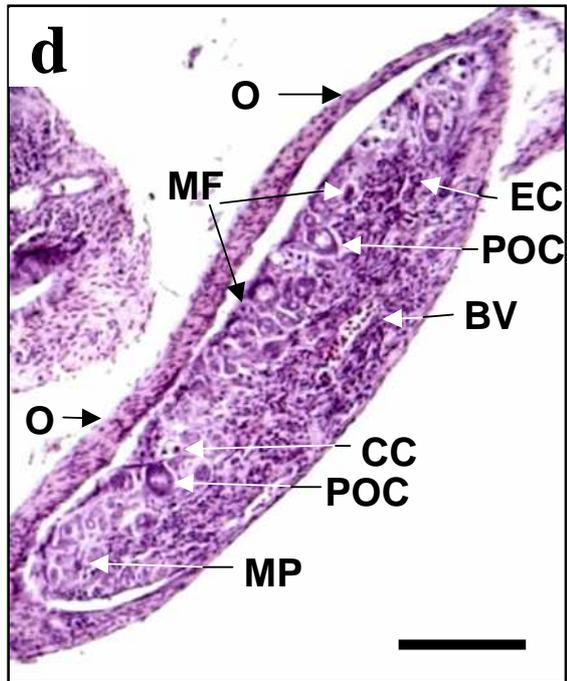
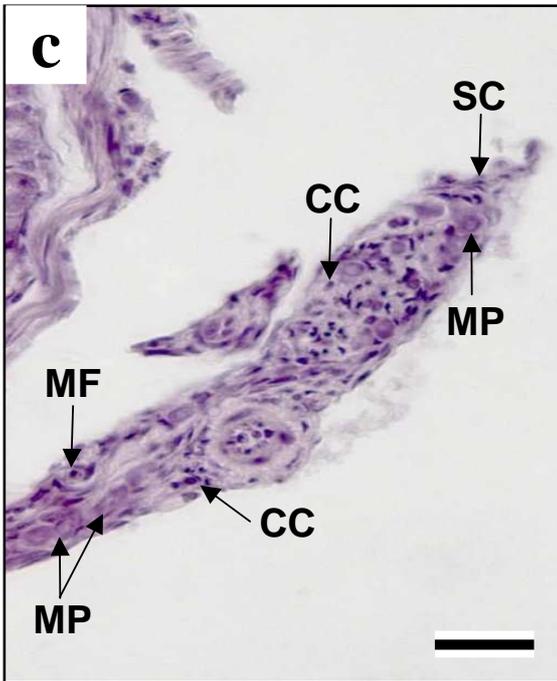
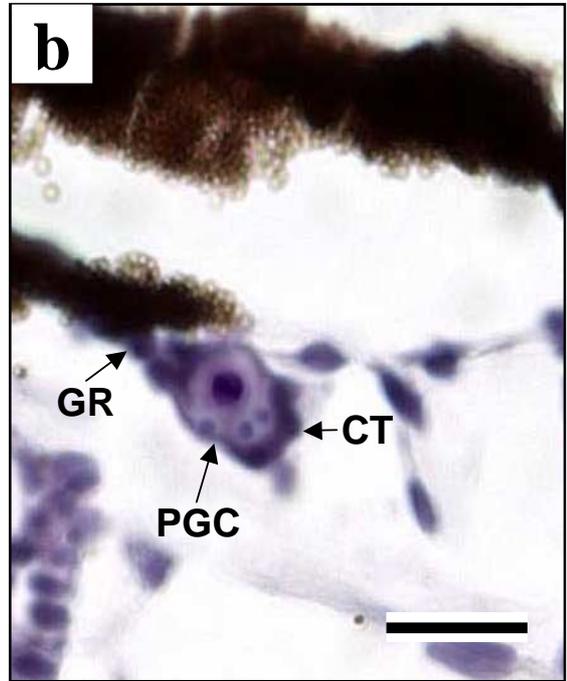
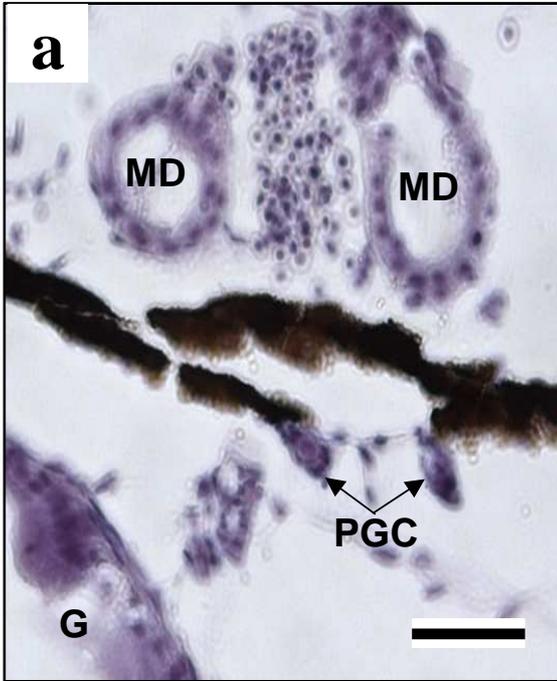
두장, 주둥치장, 안경 이후 두장의 각 계측형질은 전장과 상관관계에서 일직선의 연관을 보였으며, 안경, 두장, 주둥치장, 안와 이후 두장은 전장과의 상관관계에서 전장 5 cm 내외 이하의 개체들에서 더욱 밀접한 1:1 대응관계를 보였다. 전장에 대한 각 두부관련 계측항목의 성장 순위는 두장, 안경 이후 두장, 안경, 주둥치장 순이었다.

### 3. 생식소발달과정 및 성분화

볼락의 초기생식소는 중신관(*Mesonephric duct*) 아래부위의 양측면에 존재하였으며 복강 등쪽의 생식용기(*Genital ridge*)에 부착되어 있었다(Fig. 6a). 초기생식소의 아래에는 장(*Gut*)이 존재하였으며(Fig. 6a) 생식소의 시원생식세포(*Primordial germ cell*)는 큰 난형의 세포로 직경이 5~6  $\mu\text{m}$ 이며 느슨한 결합조직(*Connective tissue*)으로 둘러싸여 있었다(Fig. 6b). 시원생식세포는 *Hematoxylin*으로 옅게 염색되는 세포질과 직경 1~2  $\mu\text{m}$ 의 둥근 핵을 포함하고 있었으며 전체 생식소는 복강 상피세포로 둘러싸여 있었다(Fig. 6b).

볼락에서의 초기생식소 출현은 산출후 10일의 전장 0.68 cm, 체중 0.002 g 인 개체들 이었다(Table 2). Figure 6c는 전장 1.52 cm, 체중 0.03 g인 볼락 자어(산출후 50일)의 초기 분화난소상이다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 성분화가 일어나기 시작하여, 일부 시원생식세포가 응축 염색질(*Condensed chromatin*)을 포함하고 있었고 감수분열 전기(*Meiotic prophase*)의 난모세포(*Oocyte*)가 직경 3~6  $\mu\text{m}$ 로 존재하였으며 일부 감수분열상(*Meiotic figure*)이 나타났다. 또한 시원생식세포와 난모세포가 체세포(*Somatic cell*)로 둘러싸여 있었고 조밀한 결합조직으로 연결되어 있었다. 이때의 초기 분화 난소는 장에 인접하여 복강상피세포 가까이에 존재하였다.

Fig. 6. Early gonadogenesis of rockfish, *Sebastes inermis* (H-E stain). (a) Transverse section of gonad on the 10th day post-parturition. Note the gonad consists of a genital ridge adjacent to the mesonephric duct and contains primordial germ cells (scale bar, 20  $\mu\text{m}$ ). (b) Primordial germ cell viewed under high power of Fig. 6-a (scale bar, 10  $\mu\text{m}$ ). (c) Transverse section of the early differentiated ovary on the 50th day post-parturition. Note the primordial germ cell in meiotic prophase to become oocyte (scale bar, 20  $\mu\text{m}$ ). (d) Transverse section of the early differentiated ovary on the 100th day post-parturition. Note the presence of primary oocyte in the chromatin-nucleolus stage. Meiotic figures become common (scale bar, 100  $\mu\text{m}$ ). BV: blood vessel, CC: condensed chromatin, CT: connective tissue, EC: endoovarian canal, G: gut, GR: genital ridge, MD: mesonephric duct, MF: meiotic figure, MP: meiotic prophase, O: ovolemma, PGC: primordial germ cell, POC: primary oocyte in the chromatin-nucleolus stage, SC: somatic cell, WSB: wall of swim-bladder.

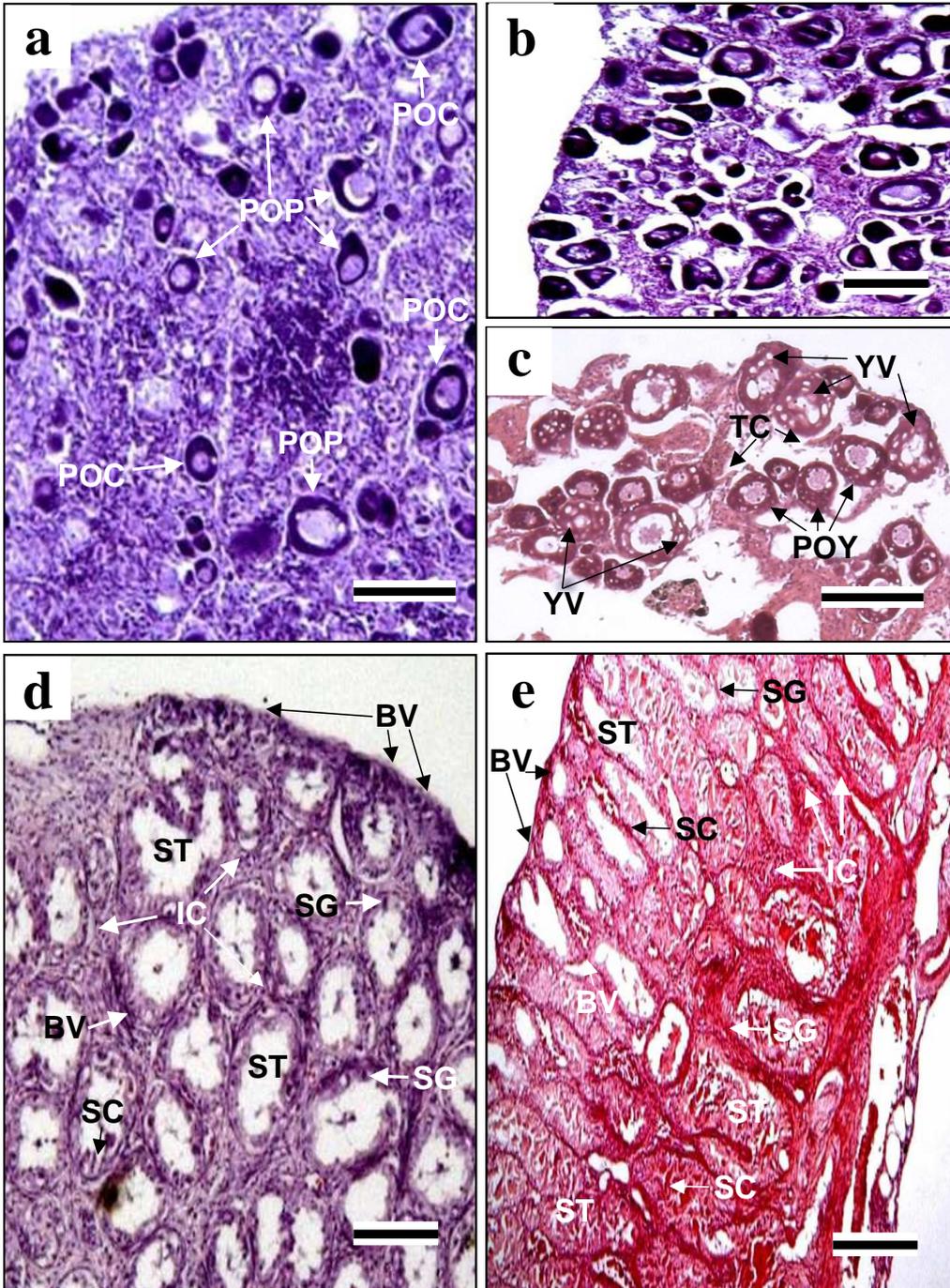


전장 3.78 cm, 체중 0.76 g인 불락(산출후 100일)에서는 혈관(Blood vessel)이 다수 존재하였으며 암컷으로 뚜렷이 구분할 수 있는 난소내관(Endoovarian canal)이 존재하였다(Table 2, Fig. 6d). 또한 감수분열 전기(Meiotic prophase)의 난모세포 수가 증가 하였으며 많은 감수분열상(Meiotic figure)을 나타내었고 여전히 응축 염색질을 포함한 시원생식세포가 존재하였으며, 또한 염색인기 난모세포(Primary oocyte in the chromatin-nucleolus stage)가 일부 존재하였다(Fig. 6d). 난소내에는 많은 소낭이 존재하였으며 각각의 소낭에는 소낭 상피세포에서부터 난원세포들이 분열증식하고 있었고 난소막(Ovlemma)이 발달하였으며 난소내관(Endoovarian canal)의 크기가 난모세포의 증가로 좁아졌다(Fig. 6d).

Fig. 7a는 전장 6.97 cm, 체중 6.60 g인 불락(산출후 200일)의 난소로 왕성한 주변인기(Primary oocyte in the peri-nucleous stage) 이었으며 난모세포의 직경은 40~60  $\mu\text{m}$ 로 증가하였다(Table 2). 염색인기 난모세포의 핵질은 짙게 염색되는 입자들로 이루어진 Pallial layer에 의해 세포질과 뚜렷이 구별 가능하였다. 또한 난모세포의 수와 크기 증가로 난소내관은 좁아졌다. 주변인 전기부터 왕성한 주변인기까지 난소발달은 점진적이며 비동시적으로 주변인기로 이어졌다(Fig. 7a). Figure 7b는 산출후 250일의 전장 8.49 cm, 체중 13.21 g의 난소로 주변인기의 1차 난모세포의 세포질에 난황포(Yolk vesicle)가 출현하기 시작하였다(Table 2).

Figure 7c는 전장 10.23 cm, 체중 25.62 g인 산출후 300일의 난소로 난모세포는 제 1 성장기 (Primary growth phase)에 도달하여, 약한 Basophilic한 세포질 특성을 지닌 난황포(Yolk vesicle)가 난모세포로 존재하였다(Table 2). 또한 난황구가 핵주위에 작은 과립으로 나타나기 시작하는 제 1 난황구기 난모세포(Primary oocyte in the yolk vesicle stage)가 존재하였다.

Fig. 7. Early gonadogenesis of rockfish, *Sebastes inermis* (H-E stain). (a) Transverse section of an ovary on the 200th day post-parturition. Numerous primary oocyte in the chromatin-nucleolus stage and perinucleolus stage are present (scale bar 100  $\mu\text{m}$ ). (b) Transverse section of an ovary on the 250th day post-parturition. Note the yolk vesicle starts to appear in the cytoplasm of primary oocyte in the perinucleolus stage (scale bar, 100  $\mu\text{m}$ ). (c) Transverse section of an ovary on the 300th day post-parturition. Note the primary oocyte in intermediate stage between chromatin-nucleolus to yolk vesicle stage (scale bar, 100  $\mu\text{m}$ ). (d, e) Transverse section (d) and longitudinal section (e) of the early differentiated testis on the 200th day post-parturition. Note the cyst composed of spermatogonia and spermatocystes (scale bars, 100  $\mu\text{m}$ ). BV: blood vessel, EC: endoovarian canal, IC: interstitial cell, POC: primary oocyte in the chromatin-nucleolus stage, POP: primary oocyte in the perinucleolus stage, POY: primary oocyte in the yolk vesicle stage, SC: spermatocyte, SG: spermatogonia, ST: seminiferous tubule, TC: thecal cell, YV: yolk vesicle.



난황포기 난모세포와 제 1 난황구기 난모세포는 직경이 50~80  $\mu\text{m}$ 로 외부에는 불규칙한 형태와 짙게 염색되는 세포질이 특징인 협막세포(Thecal cell)가 존재하였다. Figure 7d와 7e는 전장 6.97 cm, 체중 6.60 g인 산출후 200일의 불락 정소의 횡단절단(Fig. 7d)과 종단절단(Fig. 7e)상이다(Table 2).

정소 내부에는 많은 곡정세관(*Seminiferous tubule*)이 존재하였으며 곡정세관 사이에는 간질세포(*Interstitial cell*)들이 잘 발달하였다. 각 곡정세관 내에는 감수분열의 중간기(*Interkinesis*)로 진전되어, 활발히 분열증식 중인 정원세포(*Spermatogonia*)들이 존재하였으며 정원세포는 짙은 세포질이 특징인 Cyst 세포로 둘러싸였다. 감수분열의 중간기에 정지되며 핵질이 다소 호염성을 보이는 정모세포(*Spermatocyte*)들이 성장하여 발달하고 있었다(Fig. 7d, 7e). 또한 정원세포사이에 섬유상 조직들이 조밀하게 존재하였으며 혈관이 정소 상피부위와 정소내에 산재하였다. 정소는 곡정세관으로 이루어졌으며 해부학적으로 긴 정소관(*Sperm duct*)이 존재하는 *Tubular structure* 이었다(Fig. 7d, 7e).

불락의 성분화 과정 양상을 Fig. 8에 나타내었다. 전장 0.68 cm (산출후 10일)에 시원생식세포가 나타난 후, 전장 1.52 cm (산출후 50일)에 성분화가 일어났다. 이 시기의 난소에는 감수분열 전기의 난모세포와 응축 염색질을 함유한 시원생식세포가 존재하였고, 전장 3.78 cm (산출후 100일)에 난소에는 염색인기 난모세포가 존재하였다. 전장 6.97 cm (산출후 200일)에 난소에는 왕성한 주변인기 난모세포가 존재하였으며 전장 10.23 cm (산출후 300일)에 난소에는 난황포기 난모세포와 제 1 난황구기 난모세포가 존재하였다. 전장 6.97 cm (산출후 200일)에 정소에는 정원세포와 정모세포가 존재하였다. 이상의 결과, 불락의 성분화 시기는 암컷에 비해 비록 수컷이 늦게 나타나지만, 그 성분화 양상은 미분화 생식소에서 암컷 혹은 수컷으로 직접 분화하는 분화형 자웅이체(*Differentiated gonochorism*)이었다.

#### 4. 성비

산출 후 400일과 800일에서 조직학적 방법에 의한 암·수 성비(%)는 각각 37.8:62.2, 40.0:60.0 이었다(Table 3). 산출후 400일과 800일에서 공통적으로 암컷에 비하여 수컷이 유의하게 높은 성비를 보였다( $P<0.05$ ).

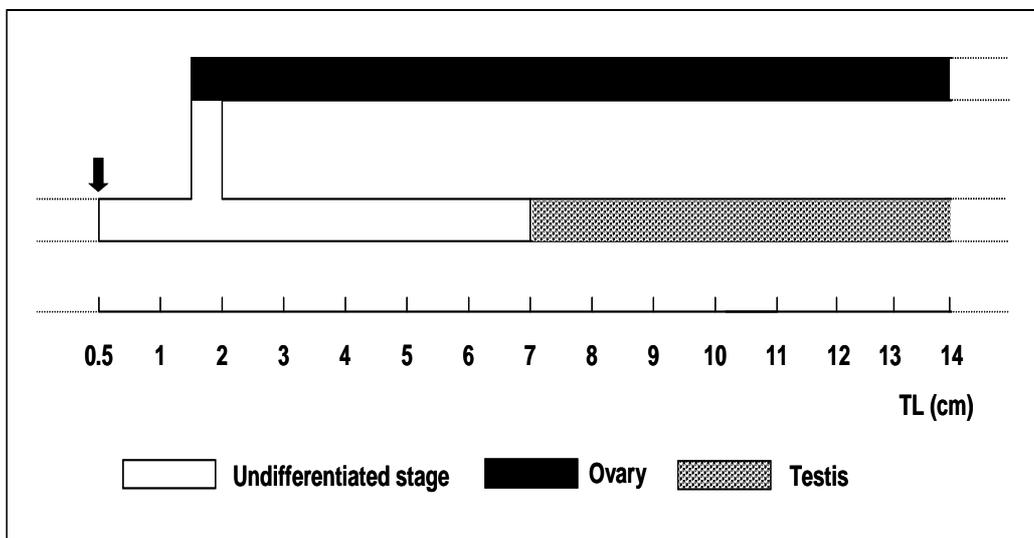


Fig. 8. Digram of gonadal development and differentiation of the rockfish, *Sebastes inermis* in relation to body size. TL: total length. Arrowhead indicates the time of primordial germ cell appearance.

Table 3. Sex ratio of the rockfish, *Sebastes inermis* at 400 and 800 days after parturition. Parenthesis is sex ratio percentage

Sex ratio (%)	Day post parturition	
	400th	800th
Female	34/90(37.8)	36/90(40.0)
Male	56/90(62.2 <sup>a</sup> )	54/90(60.0 <sup>a</sup> )

<sup>a</sup> Sex ratios significantly different from expected 50:50% ( $P < 0.05$ );  $n=90$ .

## IV. 고 찰

볼락속은 동일속 내에서도 유사종이 많은 분류군으로 볼락속 어류 초기의 분류가 어려우므로 두부극의 형성과정, 계수형질, 체형, 출산시의 자어의 크기 및 색소포 형성 등이 분류상의 중요 형질이 되며(冲山, 1983; 김 등, 1993), 어류의 난이나 자치어의 형태, 계수형질, 초기성장 및 분포는 초기생활사의 중요한 자료로 활용된다.

본 연구에서 나타난 산출 후 자어의 평균 전장은 0.57 cm으로 김 등(1993)이 보고하였던 0.59 cm와 유사한 크기를 나타내었다. 산출 직후의 볼락 전장을 여타 어류들과 비교시, 자연산출한 양볼락과 어류인 우럭볼락, *Sebastes hubbsid* 전장 0.44 cm (庄島, 1958), 탁자볼락, *S. taczanowski* 0.50 cm (Sasaki, 1974), 쏨뱅이, *Sebastiscus marmoratus* 0.40 cm (大上 등, 1978)보다는 조금 컸으며, *S. pachycephalus nigricans* 0.70 cm (Fujita, 1957), 조피볼락, *S. schlegeli* 0.68 cm (星合, 1977) 및 황점볼락, *S. oblongus* 0.74 cm (Fujita, 1958) 보다는 작았고, 흰꼬리볼락, *S. longispinis* 0.59 cm (Takai and Fukunaga, 1971)와 개볼락, *S. pachycephalus pachycephalus* 0.56 cm (水戸, 1966)와 비슷한 것으로 나타났다. 이러한 최초 초기 자어의 크기는 친어의 영양상태, 건강도, 나이, 환경조건 등에 기인되어 나타나는 차이일 수 있으며, 또한 전적으로 종간의 차이인 것으로도 생각된다.

김 등(2001)에 의하면 볼락의 종묘생산을 위한 적정 사육수온은 15℃, 먹이는 산출 후 1일부터 산출 후 50일까지 로티퍼와 알테미아를 혼합공급, 적정 초기사육 밀도는 15~25마리/L로 유지하는 것이 성장과 생존율에서 적정하다고 보고하였다. 그러나 초기 산출 후 5일 이전에 대량폐사가 발생하므로 이것

은 다른 환경요인에 의한 것이라고 추정하였다. 본 연구에서 산출 후 16일째와 70일째 평균 전장은 각각 0.75 cm와 1.88 cm로 김 등(1993)이 보고하였던 산출 후 16일째와 70일째 각각의 전장 0.75~0.81 cm와 비교시 1.86~2.08 cm와 유사한 경향을 보였다. 또한 본 연구의 산출 후 50일째 평균 전장은 1.52 cm로 김 등(2001)이 보고하였던 15℃에서의 전장 1.40 cm 보다는 다소 큰 것으로 나타났다. 김 등(1993) 보고에서는 자치어기로 넘어가는 크기는 전장 1.85 cm로 보고하였는 바, 본 연구에서는 산출 후 70일 즉, 전장 1.88 cm 이후 빠른 전장 성장을 나타내 이시기가 자치어기로 넘어가는 시기로 판단되었다.

산출 후 70일 전, 후에 나타난 특징은 배지느러미 1개의 가시와 5개의 줄기, 가슴지느러미 16~18개의 줄기, 등지느러미 13개의 가시 12~15개의 줄기, 뒷지느러미 3개의 가시 7~9개의 줄기 및 꼬리지느러미 7개의 줄기에 5~7개의 마디가 형성되어 각 지느러미가 정수에 달하며, 자치기로 이행되었다. 또한 성어의 체형과 유사하며, 두부 부분의 발달이 현저해지는 것이 특징이었다. 이러한 특징은 김 등(1993)이 보고하였던 것과 매우 유사한 형태를 보여주었다. 다른 양볼락과의 어류의 자치어기로 넘어가는 크기는 조피볼락(Kim and Han, 1991)이 전장 1.52 cm, 황점볼락(Fujita, 1958)이 전장 1.40 cm, 흰꼬리볼락(Takai and Fukunaga, 1971)이 전장 0.75 cm, 개볼락(水戸, 1966)이 전장 0.80 cm로 나타났는데, 본 연구에서도 김 등(1993)이 보고한 것과 같이 유사한 경향으로 다른 어류에 비하여 느리게 나타났다. 그러나 이후 다른 연구에서는 성장에 대한 결과가 보고되어 있지 않은 이유로 본 연구 결과와는 상대 비교할 수 없었다.

본 연구에서 전장은 산출시기 경과에 비례하여 연관성 있게 성장하여 직선 성장방정식을 보인 반면, 체중 성장은 곡선성장을 보였으며, 해상 가두리 입식

시기인 산출 후 160일 이후부터 전장과 체중에서 동일하게 성장이 양호하게 나타났다. 산출 후 전장에 대한 체중의 상대성장식은  $BW=0.0072TL^{3.4373}$  ( $r^2=0.9945$ ) (BW: Body weight; TL: Total length)로 지수값이 3을 넘어서 지수 곡선의 성장형태를 보였다. 산출 후 일수 경과에 따른 자어의 전장, 전중, 체세포중량의 성장형태는 S자형의 곡선으로 성숙된 어류의 성장을 일반적으로 나타내는 성장식인 Von Bertalanffy의 성장식을 주로 사용하며, 어류의 초기성장에는 Gompertz 성장식을 사용한다(장, 1991). 따라서 본 연구에서는 초기 성장을 포함한 최종 표본일인 1,350일까지 성장을 조사하였기 때문에 Von Bertalanffy의 성장식을 사용하였다. 성장의 완급을 나타내는 지수인 성장계수(결정계수) K를 고려시 성장계수의 크기는 초기에는 체세포중량(Somatic weight), 체중 및 전장의 순으로 나타난다고 함을 고려시(장 등, 1995), 본 연구에서 전장에 대한 체중의 상대로 한 성장계수(결정계수) K가 0.9945(99.4%)를 나타내 전장에 대한 체중의 성장이 정상적으로 일치된 상대성장 형태를 나타남을 알 수 있었다.

본 연구 결과, 일차원의 길이에 대한 차원(Dimension)을 나타내는 전장에 대한 체중의 상대성장의 지수는 3.4373으로서 보통 자어에서 나오는 지수 1.0인 1차원 대 1차원의 관계를 벗어나 3승에 가까운 값을 보여주었다. 장 등(1995)의 보고에 의하면 연어, *Oncorhynchus keta*의 자어기 성장은 상대성장의 지수가 0.9529로 거의 1차원 대 1차원 의 관계를 나타낸다고 하였으며, 성어에서는 3승 관계를 나타낸다고 하였다. 본 연구에서 상대성장 지수가 연어, *Oncorhynchus keta*의 성어와 유사하게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 연어의 경우, 전장과 체세포중량간의 지수는 6승에 가까운 값을 보이는데 이는 전중은 체세포중량의 성장과 동시에 난황중의 감소에 따라 실제 성장량을 잘 나타내지 못하는 반면, 체세포 중량은 난황중의 감소에 전혀 영향을 받지 않으므

로 실제 성장량을 반영한다고 하였다.

산출 일수에 대한 안경의 성장은  $ED = -0.0000X^2 + 0.0326X$  ( $r^2 = 0.9889$ )로 나타났으며, 결정계수가 거의 100%에 가까운 98.8%를 나타내 산출일수와 안경과 전장과의 상대성장이 매우 잘 일치됨을 나타내었다. 역시 두장, 주둥치장, 안와 이후 두장의 각 계측형질은 전장과 상관관계에서 일직선의 연관을 보였으며, 안와, 두장, 주둥치장, 안와 이후 두장은 전장과의 상관관계에서 전장 5 cm 내외 이하의 개체들에서 더욱 밀접한 1:1 대응관계를 보였다. 이는 전장에 대비하여 두장의 상대성장이 일정한 비율로 성장함을 나타내어 준다. 또한 두장 각 부위의 결정계수의 범위는 95.0%~97.5%를 나타내 전장에 대한 두장 성장이 일정한 형태로 성장함이 파악되었다.

본 연구 결과 도출된 볼락에서의 산출 기일에 따른 전장과 체중 성장 그리고 이들의 상대성장 결과 및 전장에 대한 안경, 두장, 주둥치장, 안경 이후 두장 결과는 차후 볼락 양식산업의 활성화시 그 기초 성장자료로 활용될 수 있을 것이다. 특히 본 연구 결과 볼락에서의 파악된 전장에 대비한 두장 관련 형질은, 전장의 측정없이 단지 본 연구에서 다루어진 두장 관련 형질의 파악만으로도 전장의 크기 파악이 가능할 수 있다는 차원에서 그 의의가 있을 수 있다.

대다수의 경골어류는 자웅이체로서, 이러한 자웅이체 개체는 성숙시기들을 포함한 일생을 통하여 일정한 성(Sex)을 유지하며 직접 수컷과 암컷으로 분화하는 직접분화(Differentiated)형과 초기에는 자웅동체의 생식소로 발달한 후 기능적인 정소와 기능적인 난소로 되는 기능적 자웅동체(Functional hermaphroditism)형이 존재한다(Devlin and Nagahama, 2002). 본 연구 결과 볼락, *Sebastes inermis*의 성분화 양상은 Primary gonochorism (Atz, 1964)라고 일컬어지는 분화형 자웅이체(Differentiation gonochorism)으로서 미분화 생식소에서

직접 정소나 난소로의 생식소분화가 이루어진다(Devlin and Nagahama, 2002) [즉, 은연어 *Oncorhynchus kisutch*, Bream *Abramis brama*, Muskellunge *Esox masquinongy*, Rockfish *Sebastes schlegeli* 및 잉어 *Cyprinus carpio*].

본 연구에서 불락의 초기 생식소발달과 성분화 조사에서 생식소발달 단계 조사시 그 기준을 부화후 경과 일수에 따른 전장 및 체중으로 한 바, 유럽뱀장어 *Anguilla anguilla*와 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*인 경우 생식소의 발달과 분화가 부화후 경과 일수에 따른 단순 연령보다 체성장과 더 밀접한 관계가 있다는 보고(Colombo and Grandi, 1995; Park et al., 2004)를 고려시, 단순한 부화후 경과 일수 보다는 부화후 경과 일수에 따른 전장 및 체중을 기준으로 불락의 생식소발달 단계를 조사한 것이 더 정확한 것으로 사료된다.

불락의 시원생식세포 출현은 전장 0.68 cm, 체중 0.002 g인 산출후 10일로, 이러한 시원생식세포 출현시기는 Pejerrey *Odontesthes bonariensis*와 *Salaria (=Blennius) pavo*에서는 부화 직후 시원생식세포가 발견되고 있으며(Patzner and Kaurian, 1997). *Tilapia zillii*, *T. mossambics* 그리고 *Dreochromis niloticus*에서는 부화후 15일, 부화후 8~10일 그리고 부화후 9일에 각각 시원생식세포가 발견되고 있다(Nakamura and Takahashi, 1973; Yoshikawa and Oguri, 1978; 김 등, 1988). 이러한 시원생식세포 출현시기는 종 특이성을 나타내며, 냉수성 어류인 산천어 *O. masou*인 경우 부화후 24일에 출현하고 있다(박 등, 1997).

불락에서 최초로 난소로의 분화 확인은 전장 1.52 cm, 체중 0.03 g인 산출후 50일에 감수분열 전기를 나타내는 난모세포의 출현으로 알 수 있었다. 은연어 *O. kisutch*의 경우 이 시기에 특징적으로 염색체의 연결사복합체(Synaptonemal complex) 형성을 볼 수 있으며 응축된 염색질을 가진 시원생식세포가 나타난다고 보고된 바 있다(Foyle, 1993). 이러한 성분화 시기는 어종에 따라 달라, 산천어에서는 부화후 40일(적산수온 326℃)에(박 등, 1997) 그리

고 동자개에서는 부화후 12일에 일어나며(Park et al., 2004), 무지개송어 *O. mykiss* (Walbaum)에서는 난황이 완전히 흡수되고 첫 먹이를 먹는 시기가 성분화 시기에 해당하였으며(Van den Hunk and Solf, 1981), 은연어에서는 부화후 적산수온 270°C가 성분화 시기에 해당한다(Piferrer and Donaldson, 1989). 더욱이, 경골어류는 종(Species)이나 과(Family) 수준에서 이러한 성분화 시기가 특징되고 있어(Yamazaki, 1976; Shelton and Jensen, 1979; Pandian and Sheela, 1995) Chchlid는 부화후 10~40일에, Cyprinodontid는 부화후 10일~30일에, 그리고 Anabandtid는 부화후 30일~40일에 성분화가 일어나고 있다.

본 연구 결과 Fig. 8과 같이 볼락은 전장 1.52 cm, 체중 0.03 g인 산출후 50일에 난소로 성분화가 일어난 반면, 정소에서는 전장 6.97 cm, 체중 6.60 g인 산출후 200일에 비로소 정소에서 특징적으로 나타나는 정원세포를 기준으로 성분화를 파악할 수 있어 볼락의 성분화 양상은 분화형 자웅이체이었으며, Yamamoto (1969)가 언급한 바와 같이 분화형 자웅이체 경골어류에서는 난소가 정소에 비해 일찍 분화한다는 경향을 역시 반영하였다.

성분화 이후, 전장 10.23 cm, 체중 25.62 g인 산출후 300일까지, 볼락의 난소는 동자개에서의 결과(Park et al., 2004)와 유사하게 점진적으로 발달하여 주변인기 난모세포, 난황포기 난모세포 그리고 제 1 난황구기 난모세포가 나타났다. 본 연구 결과의 주변인기, 난황포기 및 제 1 난황구기 난모세포는 1994년 9월에 우리나라 가두리에서 사육한 남부 해역산 3년생 볼락의 난소 조직에서 다양하게 나타나고 있으며(고 등, 1998), 본 연구에서의 제 1 난황구기 난모세포 난경 50~80  $\mu\text{m}$ 는 이와 김(1992)이 보고한 난자형성과정 중의 난모세포들의 난경과 동일하였으며 유사한 난모세포 특성을 나타내었다.

전장 6.97 cm, 체중 6.60 g인 산출후 200일 볼락 정소는 정원세포, 정모세포가 다수 나타났고, 시원생식세포를 둘러싼 체세포로부터 분화된 곡정세포관과

지지 역할의 간질세포로 구성되었다. 이와같이 불락의 난소가 다소 점진적으로 발달하는 반면, 정소는 성분화 이후 단기간에 정원세포, 정모세포로 발달하는 양상을 나타내었는데, 이러한 양상은 *Salaria (=Blennius) pavo*와 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* 및 동자개 정소에서도 보고된 바 있다(Patzner and Kaurin, 1997; 박 등, 1998; Park et al., 2004)

불락은 중성(Intersex)을 나타내지 않는 분화형 자웅이체로서 생식소발달 양상이 유럽뱀장어와 같고 미분화형에 비해 안정적일 것이라 생각된다(Colombo and Grandi, 1995; Park et al., 2004). 자웅이체 어류에서의 미분화형과 분화형의 성분화는 수컷 유도물과 암컷 유도물에 의해 이루어지며, 자웅이체 어류에 있어서 인위적인 성전환은 생식소의 성분화과정 중에 외생적 성 Steroid의 투여로 유도될 수 있으며(Yamamoto, 1969; Hunter and Donaldson, 1983), Yamazaki (1983)는 분화형 자웅이체 어류에서 성공적인 성호르몬 처리가 성전환 대상 어류의 생식소발달과정 중에 실시 되어야만 성공적일 수 있다고 제안한 바 있다.

이러한 점을 고려시, 본 연구 결과는 불락이 다른 양식 어종에 비하여 성장이 더디어 상품크기까지의 양식 기간이 길다는 단점을, 성장이 상대적으로 우수한 일정 성(Sex)으로의 단성집단(Mono sex population) 생산 즉, 성전환에 의한 해결시 처리 성전환 호르몬의 최초 처리시기와 처리 지속시간을 결정할 수 있다는 관점에서 유용할 것이다. 비록 본 연구는 산출후 400일까지의 불락 생식소발달과정 및 생식소분화 양상을 구명하였으나, 차후 조금 더 산출시기에 접근한 생식소 발달과정에 대한 생식생물학적 연구가 필요하며 성분화는 유전적 요인, 환경적 요인 및 여타 변이에 의해 영향을 받으므로(Devlin and Nagahama, 2002) 수온을 비롯한 환경적 요인에 의한 생식소발달과정의 변화 양상 파악도 흥미로울 것으로 사료된다.

어류의 성비는 성이 결정되면 성분화에 의하여 안정적으로 정소, 난소로 발달

을 하나, 어체의 외부적 요인과 내부적 요인에 의하여 그 성비가 암·수 동일 비율에서 벗어나는 예외들도 많다(Devlin and Nagahama, 2002). 본 연구에서의 정확한 암·수 1:1인 비율과는 차이를 보인 암·수 성비 결과는 불락 사육시의 수온, 광주기를 비롯한 환경 요인에 기인 되었음을 유추할 수 있으며, 표본시 부정확한 표본으로 인한 무작위 표본이 이루어지지 않음으로 인한 결과일 가능성도 배제할 수 없다.

이와 김(1992)은 자연산 불락의 생식과 체내 자어 발달을 조사한 결과, 채집 개체중 전장 21.1 cm 이상의 대형 개체들은 거의 암컷이었으며 고령어로 갈수록 암컷의 비율이 높아지는 경향을, Mio (1960)의 연구 결과와 유사하게 보고하였다. 이러한 결과들과 비교시 본 연구 결과는 다소 상반되게 나타나 차후, 산출 후 정확한 연령별 암·수 규명과 아울러 불락에서 우수한 성장을 보이는 단일 성에 의한 생산성 향상을 위한 성전환 연구의 일환으로서 불락을 대상으로 한 암·수 성장 비교 역시 필요하리라 사료된다.

## V. 국 문 요 약

본 연구의 목적은 사육중인 볼락, *Sebastes inermis* Cuvier 자어·치어의 초기성장을 조사하여, 본 종의 수산생물학과 양식 측면에서의 정보를 제공함이다. 산출 후부터 1,350일까지 성장을 조사하였다.

전장의 증가는 지속적인 성장을 보였으며, 산출 일수에 대한 전장의 성장식은  $TL=0.0217X$  ( $r^2=0.8867$ , TL은 전장, X는 산출 후 기일), 체중의 성장식은  $BW=0.0001X^2+0.0713X$  ( $r^2=0.9858$ , BW는 체중, X는 산출 후 기일)로 나타났다. 전장과 체중의 상대성장식은  $BW=0.0072TL^{3.4373}$  ( $r^2=0.9945$ , BW는 체중, TL는 전장)로 나타났다. 산출 후의 안경 성장은  $ED=0.0000X^2+0.0326X$  ( $r^2=0.9886$ , ED는 안경, X는 산출 후 기일) 이었다. 전장에 대한 두장, 주둥치장, 안경, 안와 이후 두장과의 관계는 두장인 경우  $HL=0.2652TL$  ( $r^2=0.9758$ , HL은 두장, TL는 전장), 주둥치장인 경우  $SL=0.0613TL$  ( $r^2=0.9602$ , SL은 주둥치장, TL은 전장), 안경인 경우  $ED=0.0752TL$  ( $r^2=0.9715$ , ED는 안경, TL은 전장) 그리고 안와 이후 두장인 경우  $PHL=0.2652TL$  ( $r^2=0.9501$ , PHL은 안와 이후 두장, TL은 전장)로 각각 나타났다.

평균전장 0.57 cm를 나타내는 산출 직후부터 평균전장 13.18 cm를 나타내는 산출후 400일까지의 볼락을 대상으로 초기 생식소 발달과 성분화를 조사하였다. 전장 0.68 cm 자어(산출후 10일)에서 시원생식세포가 뚜렷이 나타났고, 전장 1.52 cm 개체(산출후 50일)에서 시원생식세포가 응축 염색질을 포함하고 감수분열성 난모세포로 전환되어 난소로의 분화가 최초로 확인되었다. 전장 10.23 cm (산출후 300일)까지 암컷 생식소는 점진적으로 발달하였으며 성숙단계에 나타나는 제 1 난황구기 난모세포가 존재하였다. 성분화 이후 난소는 점

진적으로 빠르게 발달하는 반면, 정소는 정원세포만 증가 하였으며 전장 6.97 cm 개체(산출후 200일)에서 정소는 정원세포와 감수분열이 활발하게 일어나는 정모세포가 존재하였다. 본 연구 결과 볼락의 성분화 양상은 분화형 자웅이체 (*Differentiation gonochorism*) 이었다. 산출후 400일과 800일에서의 암·수 성비는 수컷이 암컷에 비해 높게 나타났다( $P<0.05$ ).

## VI. 감사의 글

## VII. 참고문헌

- Atz JW, 1964. *Intersexuality in fishes*. Armstrong CN and Marshall AJ (eds.), *In Intersexuality in Vertebrates Including Man*. Academic Press, London, pp. 145-232.
- Colombo G and G Grandi, 1995. Sex differentiation in the European eel: histological analysis of the effects of sex steroids on the gonad. *J Fish Biol* **47**: 394-423.
- Crane SA, JM Fenaughty and RW Gauldie, 1987. The relationship between eye diameter and fork length in the spiny dory, *Allocyttus* sp. *New Zealand J Marine Fresh Res* **21**: 641-642.
- Devlin RH and Y Nagahama, 2002. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture* **208**: 191-364.
- Foyle TP, 1993. A histological description of gonadal development and sex differentiation in the coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) for both untreated and oestradiol immersed fry. *J fish biol* **42**: 699-712.
- Fujita, S. 1957. On the larval stages of a scorpaenid fish, *Sebastes Pachycephalus nigricans* (Schmidt). *Japan J. Ichthyol.*, **6**: 91-93.
- Fujita, S. 1958. On the egg development and larval stages of a viviparous scorpaenidae fish, *Sebastes oblongus* Günther. *Bull. Japan Soc. Sci. fish.*, **24**: 475-479.
- Hunter GA and EM Donaldson, 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture. Hoar WS, Randall DJ and Donaldson EM (eds.), *in Fish Physiology*, Vol. IX, Academic Press, New York, pp. 223-303.
- Kim Y. U. and K. H. Han. 1991 The early life history of rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Korean J. Ichthyol.*, **3(2)**: 67~83.

- Min BS, 1988. Maturation and spawning of flounder (*Paralichthys olivceus*) under captive conditions. *J Aquaculture* **1**: 25-39.
- Mio S, 1960. Studies on population biology of coastal fishes in Kyushu. I. Biology of *Sebastes inermis* (Cuvier et Valenciennes). *Oceanographic Works in Japan* **5**: 419-436.
- Mizue K, 1958. Studies on a scorpaenous fish *Sebastes marmoratus* (Cuvier et Valenciennes). II. The seasonal cycle of mature testis and the spermatogenesis. *Bull Fac Fish Nagasaki Univ* **6**: 27-38.
- Nakamura M and H Takahashi, 1973. Gonadal sex differentiation in *Tilapia mossambica*, with special regard to the time of estrogen treatment effective in inducing complete feminization of genetic males. *Bull Fac Fish Hokkaido Univ* **24**: 1-13.
- Neff KC, 1987. Staining amphibian peripheral nerves with sudan black B: progressive vs. regressive methods. *Copeia* **1987**: 489-491.
- Pandian TJ and SG Sheela, 1995. Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture* **138**: 1-22.
- Park I-S, CI Zhang and YD Lee, 2001a. Sexual dimorphism in morphometric characteristics of cocktail wrasse. *J Fish Biol* **58**: 1746-1749.
- Park I-S, JH Im, DK Ryu, YK Nam and DS Kim, 2001b. Effect of starvation on morphometric change in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). *J Apply Ichthyol* **17**: 277-281.
- Park I-S, J-H Kim, SH Cho and DS Kim, 2004. Sex differentiation and hormonal sex reversal in the bagrid catfish *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson). *Aquaculture* **232**: 183-193.
- Park I-S, YK Nam, SE Douglas, SC Johnson and DS Kim, 2003. Genetic characterization morphometrics and gonad development of induced interspecific hybrids between yellowtail flounder, *Pleuronectes ferrugineus* (Storer) and winter flounder, *Pleuronectes americanus*

- (Walbaum). *Aquacult Res* **34**: 389-396.
- Patzner RA and G Kaurin, 1997. Sexual differentiation in *Salaria* (= *Blennius*) *pavo*. *J Fish Biol* **50**: 887-894.
- Piferrer F and EM Donaldson, 1989. Gonadal differentiation in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, after a single treatment with androgen or estrogen at different stages during ontogenesis. *Aquaculture* **77**: 2-3.
- Poss SG and RR Miller, 1983. Taxonomic status of the plains killfish, *Fundulus zebrinus*. *Copeia* **1983**: 55-67.
- Quellette RP and SV Qadri, 1968. The discriminatory power of taxonomic characteristics in separating Salmonid fishes. *Cyst Zool* **17**: 70-75.
- Sasaki, T. 1974. On the Larvae of three species of rockfish (Genus : *Sebastes*) in Hokkaido. *Bull. Fac. Hokkaido Univ.*, **25(3)**: 169-173.
- Serafy JE, CM Schmitz, TR Capo, ME Clarke and JS Ault, 1996. Total length estimation of red drum from head dimensions. *Prog Fish Cult* **58**: 289-290.
- Shelton WL and GL Jensen, 1979. Production of reproductively limited grass carp for biological control of aquatic weeds. *WRRRI Bull (Auburn Univ)* **39**: 1-174.
- Shimizu M, M Kusakari, MM Yoklavich, GW Boehlert and J Yamada, 1991. Ultrastructure of the epidermis and digestive tract in *Sebastes* embryos, with special reference to the uptake of exogenous nutrients. *Environ Biol Fish* **30**: 155-163.
- Shinomiya A and O Ezaki, 1991. Mating habits of the rockfish, *Sebastes inermis*. *Environ Biol Fish* **30**: 15-22.
- Strauss RE, 1985. Evolutionary allometry and variation in body form in the South American catfish genus *Corydoras* (Callichthyidae). *Syst Zoo* **34**: 381-396.

- Strauss RE, 1986. National hybrid of the freshwater sculpins *Cottus bairdi* and *Cottus cognatus* (Pisces: Cottidae): electrophoretic and morphometric evidence. *Amer Mid Nat* **115**: 87-105.
- Takai, T. and T. Fukunaga. 1971. The life history of a ovoviviparous scorpaenoid fish, *Sebastes longispinis* (Matsubara). I. Eggs and larval stages. *Simonoseki Univ. of Fish.*, **20(2)**: 25-29.
- Taylor JN, DB Snyder and WR Courtenay, Jr, 1986. Hybridization between two introduced, substrate-spawning tilapias (Pisces; Cichlidae) in Florida. *Copeia* **1986**: 903-909.
- Van den Hurk R and GA Slof, 1981. A morphological and experimental study of gonadal sex differentiation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Cell Tissue Res* **218**: 487-497.
- Winans GA, 1985. Geographic variation in the milkfish (*Chanos chanos*). II. Multivariate morphological evidence. *Copeia* **1985**: 890-898.
- Yamamoto T, 1969. Sex differentiation. Hoar WS and Randall DJ (eds.), in *Fish Physiology*, vol. III. Academic Press, New York, pp. 117-175.
- Yamazaki F, 1976. Application of hormone in fish culture. *J Fish Res Bd Can* **33**: 948-958.
- Yamazaki F, 1983. Sex control and manipulation in fish. *Aquaculture* **33**: 329-354.
- Yoshikawa H and M Oguri, 1978. Sex differentiation in a cichlid, *Tilapia zillii*. *Bull Jap Soc Sci Fish* **44**: 313-318.
- 장덕영 · 홍경표 · 노충환 · 오승룡 · 민병화, 2003. 볼락, *Sebastes inermis* 자어의 초기 발달동안 갑상선의 분화 및 발달. *한국어류학회지*, **15**: 241-247.
- 고창순 · 장영진 · 임한규 · 김종현 · 조기채, 1998. 수온과 광주기에 의한 볼락(*Sebastes inermis*)의 번식주기 조절. *한국수산학회지*, **31**: 713-720.
- 김동수 · 방인철 · 김인배, 1988. 나일틸라피아의 성분화와 호르몬에 의한 성

- 전환. 한국양식학회지, **1**: 53-66.
- 김용익 · 한경호, 1993. 볼락, *Sebastes inermis*의 초기생활사에 관한 연구. 1. 인위적 방법에 의한 수조내에서의 난발생과정과 부화자어의 형태. 한국수산학회지, **26**: 458-464.
- 김용익 · 한경호 · 변순규, 1993. 볼락, *Sebastes inermis*의 초기생활사에 관한 연구. 2. 산출 자치어의 외부형태 및 골격발달. 한국수산학회지, **26**: 465-476.
- 김중현 · 이윤호 · 문영봉 · 고창순, 2001. 수온, 먹이계열 및 사육밀도에 따른 볼락(*Sebastes inermis*)의 초기생존율과 성장. 수진연구보고, **59**: 31-44.
- 박인석 · 김정혜 · 방인철 · 김동수, 1998. 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* 초기 생식소 발달과 성분화에 관한 조직학적 연구. 발생과 생식, **2**: 69-74.
- 박인석 · 이영돈 · 정의영, 1997. 산천어, *Oncorhynchus masou*의 성분화. 제주대 해양연구논문집, **21**: 1-9.
- 이택열 · 김성연, 1992. 난태성 경골어류 볼락, *Sebastes inermis*의 생식과 체내 자어 발달. 한국수산학회지, **25**: 413-431.
- 장창익, 1991. 수산자원 생태학, 우성문화사, 서울, 399 pp.
- 장창익 · 손명호 · 성기백 · 박인석. 1995. 연어, *Oncorhynchus keta* 전기자어의 난황흡수 및 초기성장. 한국수산학회지, **28**: 539-548.
- 정문기, 1977. 한국어도보, 일지사, 서울, pp. 398-399.
- 최윤 · 김지현 · 박종영, 2002. 한국의 바닷물고기. 교학사, 서울, 645 pp.
- 大上皓久 · 大瀧高明 · 片野登 · 佐佐木正. 1978. 카사코의种苗生産に關する研究; I, 産仔生態について. 靜銅水試研究報, **12**: 37-44.
- 星合應一. 1977. クロソイ仔稚魚について. 魚, **24(1)**: 35-42.
- 水戸 敏. 1966. 日本海洋プラソクトソ圖鑑, 第7卷, 魚卵 · 稚魚. 蒼洋社, 63p.
- 庄島洋一. 1958. 日本産魚類の仔稚魚期の研究. 九州大學農學部水産學第2教室 第1集; 86p

沖山宗雄, 1983. 稚漁分類學入門 カヅカ目幼期と浮遊適應. 海洋と生物 **25**:  
111-117.