

碩士學位論文

제주 은어, *Plecoglossus altivelis* 의
번식 특성



濟州大學校大學院

水産生物學科

金翰駿

2005年 12月

제주 은어, *Plecoglossus altivelis*의 번식 특성

指導教授 李 榮 敦

金 翰 駿

이 論文을 理學碩士 學位論文으로 提出함

2005年 12月

金翰駿의 理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 이 경 준 (인)

委 員 김 기 영 (인)

委 員 이 영 돈 (인)

濟州大學校 大學院

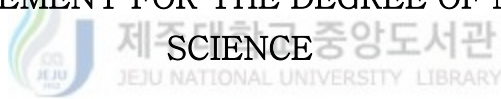
2005年 12月

Reproductive Characteristics of the Sweetfish,
Plecoglossus altivelis of Jeju

Han-Jun Kim

(Supervised by professor Young-Don Lee)

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



DEPARTMENT OF MARINE BIOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

December 2005

목 차

Abstract	i
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 서식처 구조 및 환경	3
2. 실험어	3
3. 외부형태 및 조직학적 관찰	4
4. 월별 전장 변화	4
5. 포란수	4
6. 산란장 및 강하자어	5
7. 통계처리	5
III. 결과	6
1. 제주 은어의 서식 환경	6
1) 하천의 구조와 형태	6
2) 하천의 수서환경	9
2. 제주 은어의 생식 특성	12
1) 제주 은어의 외부 형태 및 생식소 구조	12
2) 생식소중량지수의 월별 변화	14
3) 배우자 형성 과정	16
4) 난모세포 발달단계의 월별 변화	20
5) 생식주기	24

6) 생식소중량지수의 주별 변화 및 생식소 발달	27
7) 난모세포 발달단계의 주별 변화	30
8) 간중량지수의 월별 변화 및 비만도	33
9) 월별 전장 분포	36
10) 포란수	40
3. 강하 자어	44
1) 제주 은어의 산란장	44
2) 제주 은어 자어 출현량	46
IV. 고찰	48
V. 요약	52
VI. 참고문헌	53
감사의 글	56

Abstract

This study was investigated to examine reproductive characteristics of the sweetfish, *Plecoglossus altivelis*, in Jeju(Gangjeong, Yeonoe and Ongpo stream) during from May 2004 to December 2005. External characteristics and structure of gonad, variation of gonadosomatic index (GSI), gonadal development, weekly and monthly changes of oocyte developmental stages and monthly changes of drifting larvae were investigated. *P. altivelis* is a gonochorist and it's gonad has asymmetric shape. Ovary is gymnovarian type and testis is lobule type. The GSI value of female in Jeju stream increased from September and reached a maximum from October and November. GSI values in males showed a maximum peak in Gangjeong from October to November, Yeonoe from November to January and Ongpo stream from September to October. Throughout histological observations of gonad and annual reproductive cycle of *P. altivelis* was classified into the following successive stages: in female, growing stage (from March to October), mature stage (from September to December), spawning stage (from September to January) and degenerating stage (from October to March); and in male, growing stage (from March to October), mature stage (from July to December), spawning stage (from September to January) and degenerating stage (after November). Fecundity of mature females were positively correlated with total length and body weight. Maximum fecundity of females were 25,731 in Gangjeong, 17,462 in Yeonoe and 24,666 in Ongpo stream, when they reached a total length over 15.0 cm. Drifting larvae were collected from October to January. It is suggested from the findings in this study that *P. altivelis* in Jeju streams is a multiple spawner and its main spawning time is from October to November during the spawning season.

I. 서 론

제주도의 하천은 육지와 멀리 떨어져 있는 지리적 특성과 다공질의 화산암지대로 토양의 보수력이 약하기 때문에 물이 땅 속으로 스며들어 중산간 지역이나 바닷가 근처에서 용천수로 솟아나는 지질학적 특성으로 큰 하천이나 연못, 호수들이 육지에 비하여 매우 빈약한 실정이다. 그러나 제주도 주요 하천들은 아름다운 자연경관, 다양한 체험활동의 요소 등 많은 관광과 문화 자원적인 측면을 보유하고 있으며 기반시설 확충 등으로 시민의 휴식 공간 및 체험 공간 등 친환경적인 생태하천으로 탈바꿈되면서 하천에 서식하는 생물도 변화하고 있다(제주도 민속자연사박물관, 1994; 이 등, 1999; 서귀포시, 2005).

이러한 제주도 주요 하천의 우점종인 은어, *Plecoglossus altivelis*는 바다빙어목 바다빙어과에 속하는 어류로 우리나라의 낙동강, 밀양강, 섬진강, 삼척 오십천 그리고 양양 남대천 등 크고 작은 하천에 서식하며, 대만, 일본 그리고 중국 등 동아시아 지역에도 분포한다. 은어는 강 하류에서 산란을 하고 부화된 자어는 연안 해역으로 내려가 자 치어기를 보낸 후 다시 하천으로 소상하는 양측회유성 어류이다(정, 1977; 김 등, 2005; 서귀포시, 2005).

은어의 성 성숙과 산란에는 일장을 비롯한 환경적인 요인과 밀접한 관련이 있고(Shiraishi and Takeda, 1961; Shiraishi, 1965a~e; 이 등, 1996; 최와 노, 1998), 담수에서만 서식하는 육봉형(land-locked) 은어 같이 서식처에 따라 산란시기가 다른 산란특성을 갖는다(최와 노, 1998; 김과 고, 2004; 고 등, 2005). 일본에서 서식하는 은어의 경우, Honshu지역 Yahagi강(강 입구로부터 10~50 km)내에 Aoi-ohashi지역 은어의 산란기는 9월말부터 11월 중순까지, Toyota-ohashi지역에서 은어의 산란은 9월말부터 10월말까지로 두 지역의 부화자어들은 10월부터 강하하기 시작한다(Takahashi and Niimi, 1998). 그러나 Honshu지역의 Yahagi강에서 강하한 부화자어들은 4월부터 7월까지 강으로 소상하지만 Ryukyu지역 Yakugachi강에서 강하한 부화자어들은 이듬해 1월말부터 5월말까지 소상하는 등

지역에 따라 소상시기에 차이가 있다(Takahashi and Niimi, 1999; Kishino and Shinomiya, 2003). 우리나라 육지 하천에서 서식하는 은어의 경우, 9월부터 11월 까지 산란하고 부화자어는 강하하여 바다에서 겨울을 보내고 3월부터 강 상류로 소상한다고 알려져 있다(정, 1977).

동일어종의 은어도 서식장소에 따라 주 산란기와 자어의 강하 및 소상시기가 지역특이성을 가지고 있음을 알 수 있다.

제주도의 하천에 서식하는 은어를 대상으로 한 연구는 형태 측정학적 분석(김, 1970), 식성과 난섭식(김, 1974), 하계개체생산속도(김과 정, 1974) 그리고 비만도와 체장 체중과의 관계(김과 정, 1976)가 있다. 이 등(1999)에 의하면 제주도 하천에 서식하는 어류는 총 31종이었으며, 27개 조사지역 중에서 은어가 채집된 지점은 15개 지점으로, 제주도 하천에서 은어가 가장 널리 분포하는 어종이었다.

따라서 이 연구는 제주에 서식하는 은어를 대상으로 번식특성 및 자어의 생태를 조사하기 위해, 제주도의 대표적인 유수천이자 은어의 주서식지인 3개의 하천(강정천, 연외천, 옹포천)에서 은어의 생식소중량지수의 월별 및 주별 변화와 생식소 발달 과정의 조직학적 관찰을 토대로 생식주기를 조사하였고, 난모세포 발달단계 변화와 산란장, 강하자어 출현량을 기초로 번식생태 및 특성을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 서식처 구조 및 환경

은어가 서식하는 3개 하천(서귀포시 강정천과 연외천, 북제주군 옹포천)의 수심과 유속은 50 m줄자를 사용하여 측정하였고, 하상의 구조와 주변암상은 암반(boulder), 큰돌(cobble), 자갈(gravel), 모래(sand), 땔(mud) 5가지 형태로 구분하여 육안으로 관찰하였다.

3개 하천의 환경 변화를 조사하기 위해 채집기간동안 수온과 용존산소(DO) 및 수소이온농도(pH)를 각각 봉상온도계와 용존산소 측정기(YSI 85, USA) 및 수소이온농도 측정기(HM-12P, Japan)를 사용하여 측정하였고, 광주기는 제주기상대기상관측자료를 이용하였다.

2. 실험어



은어의 번식특성을 조사하기 위해, 제주도 서귀포시 강정천과 연외천 그리고 북제주군 옹포천에서 2004년 5월부터 2005년 12월까지 족대(망목 4×4 mm)와 투망(망목 7×7 mm)을 사용하여 채집하였다. 채집된 은어는 활어 또는 냉장상태로 제주대학교 해양과환경연구소로 운반한 후, 전장과 체중을 0.1 cm와 0.1 g범위까지 측정하였고, 생식소와 간은 0.01 g까지 측정한 후, 비만도(condition factor), 생식소중량지수(gonadosomatic index), 간중량지수(hepatosomatic index)를 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$\text{Condition factor (CF)} = \text{BW} / \text{TL}^3 \times 100$$

$$\text{Gonadosomatic index (GSI)} = \text{GW} / \text{BW} \times 100$$

$$\text{Hepatosomatic index (HSI)} = \text{LW} / \text{BW} \times 100$$

BW: Body weight, GW: Gonad weight, LW: Liver weight, TL: Total length

3. 외부 형태 및 조직학적 관찰

외부 형태학적 관찰과 조직학적 관찰을 위해 은어를 각각 10% 포르말린과 Bouin's solution에 24시간 동안 고정하였고, 고정된 표본은 파라핀 절편법에 의해 두께 4~6 μm 의 절편을 제작한 후, Hansen's haematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하여 광학현미경하에서 관찰하였다.

4. 월별 전장 변화

채집된 실험어의 하천별 전장 변화를 관찰하기 위해, 각각의 하천에서 채집된 실험어의 암·수를 파악한 후, 전장 계급을 1 cm단위로 구분하여 각 계급에 따른 출현빈도를 조사하였다.

5. 포란수



포란수는 성숙에서 산란시기로 추정되는 10월에서 1월까지 조직학적 관찰을 토대로 산란흔적이 보이지 않는 개체를 이용하였다. 포란수(E)는 난소중량(W), 난소의 일부중량(w), 난소 일부의 포란수(e)를 중량비로 다음과 같은 식으로 구하였다.

$$E = \frac{w \times E}{W}$$

6. 산란장 및 감하자어

부화자어의 강하량 조사를 위해, 강정천의 경우, 2004년 11월부터 2005년 2월 까지, 2005년 9월에서부터 10월까지, 옹포천의 경우, 2004년 10월부터 2004년 12월까지 매월 은어 부화자어를 채집하였다. 부화자어의 채집은 원추형 플랑크톤 네트(망구 45 cm, 망장 140 cm, 망목 0.33 mm)를 유심부에 설치하여 오후 7시와 8시에 각각 10분간 실시하였다. 채집된 부화자어는 현장에서 4% 포르말린 용액에 고정한 후 제주대학교 해양과환경연구소로 운반하여, 해부현미경(Zeiss, Stemi 2000-C)하에서 은어 부화자어를 선별 계수하였다.

7. 통계처리

SPSS computer software program을 이용하여 월별 및 주별 GSI는 Duncan multiple range test로 평균간의 유의성을 검정하였으며, 포란수는 T-test로 하천별 유의성을 검정하였다.



III. 결 과

1. 제주 은어의 서식 환경

1) 하천의 구조와 형태

조사지역 3개 하천의 형태와 구조를 보면, 지하수의 용출지점에서 해수의 영향을 받지 않는 하류까지의 길이는 약 780~970 m로 세 지역간에 큰 차이는 없었다.

(1) 강정천

강정천 하천의 길이는 약 950 ± 20 m, 유폭은 1.5~20.0 m, 수심은 0.3~3.0 m 이었다. 수심이 낮은 지점에서는 유속이 빠르고 여울이 형성되었다. 조사지역의 하상 구조는 암반 : 큰돌 : 자갈 : 모래 : 빨의 비율이 2 : 3 : 4 : 1 : 0으로 하천 전체에서 암반, 큰돌, 자갈 등이 대부분을 차지하였고, 모래는 유속이 느린 하천의 가장자리 부근에서 관찰되었으며, 빨은 거의 찾아볼 수가 없었다. 또한 수서 식물들은 거의 관찰되지 않았다(Table 1, Fig. 1A and B).

(2) 연외천

연외천 하천의 길이는 약 816 ± 20 m 였고, 유폭은 9.0~60.0 m로 다른 두 하천보다 상대적으로 넓었다. 수심은 0.3~3.0 m이었고 바닥은 주로 빨로 이루어 졌다. 그리고 유수역의 중류 지역에 높고 낮은 인공 둑이 5개가 형성되어 있었으며 이 지점에서는 비교적 낮은 수심과 모래, 자갈들이 형성되었다. 조사지역의 하상구조의 암반 : 큰돌 : 자갈 : 모래 : 빨의 비율은 1 : 1 : 2 : 2 : 4이었다. 수서 식물들은 거의 관찰되지 않았다(Table 1, Fig. 1C and D).

(3) 옹포천

제주도 북방에 위치한 옹포천은 하천 길이가 805 ± 20 m, 유폭이 1.0~10.0 m로 다른 하천보다 비교적 규모가 작았다. 수심은 0.2~1.0 m 이내였고, 하상구조의 비율은 암반 : 큰돌 : 자갈 : 모래 : 빨의 비율은 1 : 1 : 3 : 3 : 2였으며, 수서 식물들은 하천을 따라 길게 분포하고 있었다(Table 1, Fig. 1E and F).

Table 1. Stream structure of the surveyed Gangjeong, Yeonoe and Ongpo streams

Stream	Water length (m)	Water width (m)	Water depth (m)	Bottom structure *B : C : G : S: M
Gangjeong	950±20	1.5~20.0	0.3~3.0	2 : 3 : 4 : 1 : 0
Yeonoe	816±20	9.0~60.0	0.3~3.0	1 : 1 : 2 : 2 : 4
Ongpo	805±20	1.0~10.0	0.2~1.0	1 : 1 : 3 : 3 : 2

* B, boulder; C, cobble; G, gravel; M, mud; S, sand.





Fig. 1. Sampling area(left side) of *P. altivelis* and underwater(right side) photographs in the surveyed stream. A and B, Gangjeong stream; C and D, Yeonoe stream; E and F, Ongpo stream.

2) 하천의 수서환경

(1) 일장과 수온

조사지역 3개 하천(강정천, 연외천, 옹포천)의 연중 수온 범위는 각각 13.6~20.0℃, 11.8~20.9℃, 13.6~24.0℃ 범위로 유사한 경향을 보였다(Fig. 2).

강정천의 수온은 7월에 최고 수온이 19.8℃로 3개 하천 중 가장 낮게 나타났고, 이후 점차 하강하여 12월에 13.6℃이었다. 연외천에서는 8월에 20.9℃로 연중 최대값을 보였고, 2월에 11.8℃로 3개 하천 중에 가장 낮았다. 옹포천에서는 7월에 3개 하천 중 가장 높은 수온인 23.6℃를 나타내었고, 점차 수온이 하강하여 1월에 13.6℃이었다. 조사한 3개 지역의 일장은 동일하여 고수온기인 6~7월에 14L:10D로 가장 길었으며, 저수온기인 12~1월에 9L:15D로 가장 짧았다(Fig. 2).

(2) 용존산소(DO)와 수소이온농도(pH)

하천별 DO의 범위는 각각 8.8~11.2 mg/ℓ (강정천), 9.1~11.3 mg/ℓ (연외천), 8.1~13.4 mg/ℓ (옹포천)으로 유사하였다. 강정천의 경우 4월에 8.8 mg/ℓ 로 최저값을 보였고 10월에 11.2 mg/ℓ 로 최고값을 보였으며 연외천의 경우, 9월과 12월에 각각 11.3, 9.1 mg/ℓ 로 최고값과 최저값을 나타냈다. 옹포천에서는 7월과 12월에 13.4, 8.1 mg/ℓ 로 최고값과 최저값을 가졌다. 조사된 3개의 하천에서 pH는 각각 7.5~8.0(강정천), 7.3~8.2(연외천), 7.7~8.5(옹포천) 범위로 유사한 경향을 보였다(Table 2).

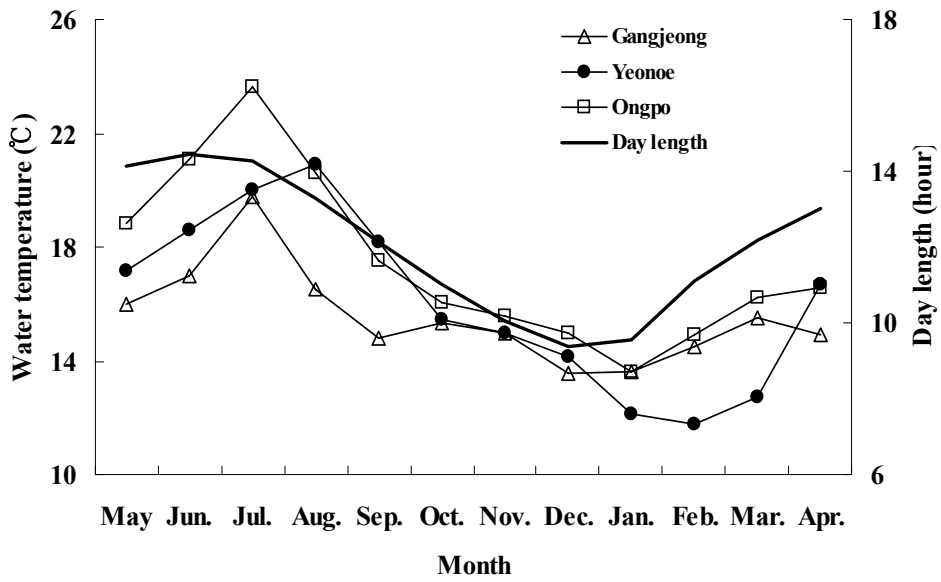


Fig. 2. Monthly changes of water temperature and day length in Gangjeong, Yeonoe and Ongpo streams.

Table 2. Monthly changes of DO and pH in Gangjeong, Yeonoe and Ongpo streams

Month \ Stream	Gangjeong		Yeonoe		Ongpo	
	DO	pH	DO	pH	DO	pH
May	10.5	7.7	10.6	7.7	10.5	8.2
Jun.	10.9	7.8	11.0	7.5	12.3	7.9
Jul.	10.3	7.8	10.5	7.7	13.4	8.2
Aug.	11.0	7.6	10.5	7.6	9.4	7.7
Sep.	10.5	7.5	11.3	7.4	11.1	7.6
Oct.	11.2	7.8	9.3	7.6	10.4	8.0
Nov.	9.8	7.8	9.9	7.3	10.9	7.8
Dec.	9.2	8.0	9.1	7.8	8.1	8.1
Jan.	10.6	7.6	10.7	7.7	9.9	7.8
Feb.	9.8	7.5	9.9	7.5	10.7	7.7
Mar.	9.9	7.8	10.2	7.9	10.3	8.2
Apr.	8.8	8.0	9.7	8.2	10.6	8.5

2. 제주 은어의 생식 특성

1) 외부 형태 및 생식소 구조

은어의 외부 형태적 특징은 성숙하면서 암컷은 복부에 은백색을 띠며, 수컷은 뒷지느러미 전단부 연조가 짧아져 암·수의 구별이 가능하였다(Fig. 3A and B). 그리고 은어는 자웅이체로 난소와 정소 모두 좌엽이 우엽 보다 큰 좌우비대칭형이며 반원의 모양을 하고 있으며, 미성숙 개체의 생식소는 암·수 모두 투명하여 육안식별이 어렵고, 성숙시기에 난소는 진한 담황색을 띠고, 정소는 유백색으로 변화하였다(Fig. 3C and D). 조직학적 관찰을 토대로 은어의 정소는 엽상형(lobule type)이었고, 난소는 난소 실질부가 체강에 직접 노출되어 있는 나상형(gymnovarian type)이었다(Fig. 3E and F).



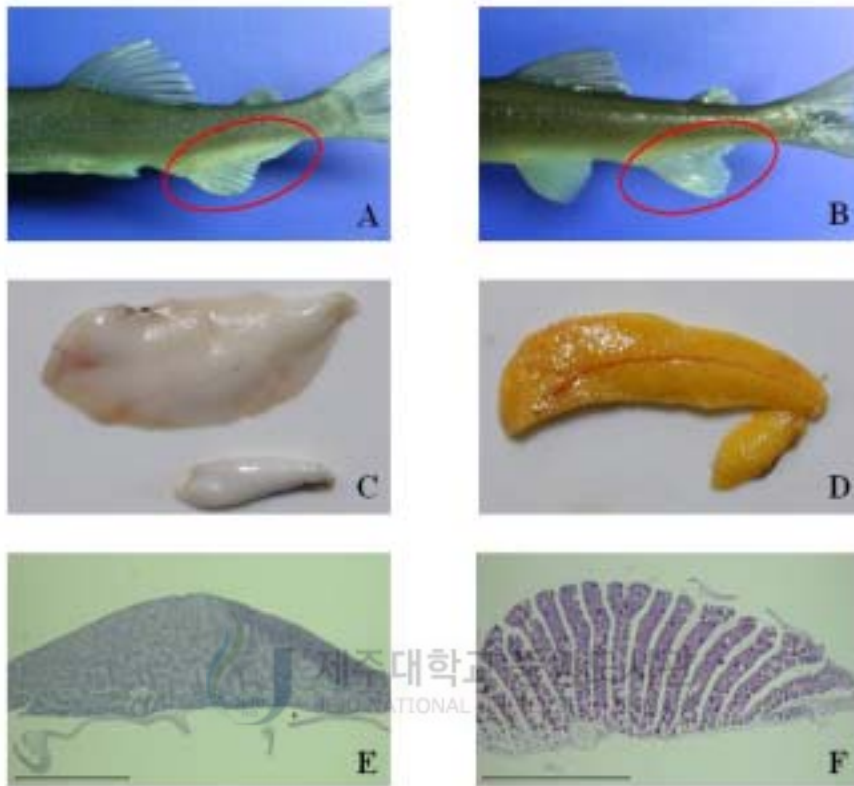


Fig. 3. External characteristics and gonadal shape of *P. altivelis*. A, male; B, female; C, testis; D, ovary; E, lobule type in testis. Scale bar = 170 μm ; F, gymnovarian type in ovary. Scale bar = 700 μm .

2) 생식소중량지수의 월별 변화

암컷의 GSI 월별 변화는 강정천의 경우, 8월까지 0.53 ± 0.07 으로 낮은 값을 유지하다가 9월부터 2.66 ± 0.68 로 점차 증가하기 시작하여 10월에 9.01 ± 1.04 로 최고값을 보였고, 그 후 감소하기 시작하여 12월에 4.77 ± 1.25 로 점차 감소하였다. 연외천의 경우, 5월부터 9월까지 $0.46 \pm 0.06 \sim 0.69 \pm 0.10$ 로 낮은 값을 유지하다가 이후 증가하기 시작하여 11월에 9.91 ± 1.24 로 연중 최고값을 보였으며, 1월에 4.17 ± 1.14 로 서서히 감소하였다. 이 후 2월에는 은어가 채집되지 않았고 3월에 0.15 ± 0.02 로 낮았다. 옹포천의 경우, 9월부터 5.45 ± 0.91 으로 GSI값이 점차 상승하기 시작하여 10월에 11.64 ± 2.46 으로 최고값을 보이고 3월에 0.23 ± 0.05 로 급격히 감소하였다(Fig. 4).

하천별 수컷의 GSI 월별변화도 암컷과 유사한 경향을 보였다. 강정천의 경우, 9월에 0.34 ± 0.12 에서 급격히 증가하여 10월에 5.00 ± 0.22 로 연중 최대값이었다. 연외천의 경우, 9월까지 0.33 ± 0.06 으로 낮은 값을 유지하다가 10월에 급격히 상승하여 11월부터 이듬해 1월까지 $6.23 \pm 0.67 \sim 6.32 \pm 0.52$ 로 연중 최고값이었다. 옹포천에서는 8월까지 0.05 ± 0.01 로 낮은 값을 유지하다가 9월에 급격히 증가하여 5.72 ± 0.55 로 연중 최대값이었고 11월부터 3.29 ± 0.83 으로 서서히 감소하기 시작하였다(Fig. 4).

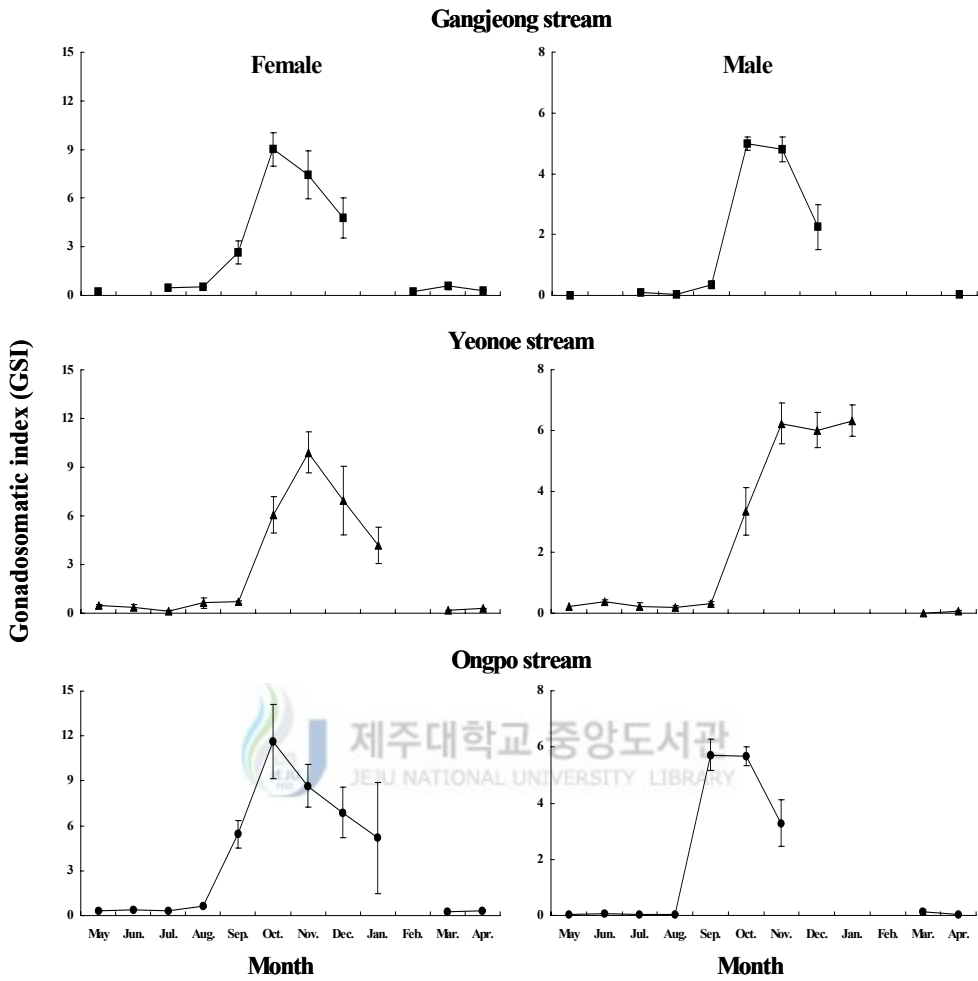


Fig. 4. Monthly changes of gonadosomatic index (GSI) in female and male of *P. altivelis*. Vertical bars represent the standard error.

3) 배우자 형성 과정

(1) 난형성과정

난형성과정은 난모세포 발달을 세포의 크기와 염색성 및 핵의 변화 등 조직학적 관찰로 구분하였다.

염색인기(Chromatin nucleolus oocyte)와 주변인기 난모세포(Peri nucleolus oocyte):

초기 성장기 난소에서는 난경이 약 20 μm 이내의 얇은 세포막과 세포질로 구성된 염색인기 난모세포와 난경이 약 35~50 μm 전후로 성장한 주변인기 난모세포가 관찰되었다. 염색인기 난모세포는 세포질과 핵 내에 인이 haematoxylin에 짙게 염색되며 핵막을 따라 인이 분산되는 주변인기 난모세포로 성장하였다(Fig. 5A).

유구기 난모세포(Oil droplet oocyte):

난모세포가 성장함에 따라 핵과 세포질이 증가하여 난경이 약 180~220 μm 증가하였고 세포질에 공포상의 유구가 출현하였으며, 핵 내에 인들이 증가하였다(Fig. 5B).

난황구기 난모세포(Yolk globule oocyte):

난경이 약 250~500 μm 에 이르면 세포질에 난황구가 축적되고 eosin에 강한 양성반응을 보이는 방사선대(zona radiata)가 형성되었다(Fig. 5C and D). 난경이 480 μm 이상의 성숙한 난모세포로 발달하면 핵막이 거치화되었고 난황구와 유구들은 과립화되었다(Fig. 5E).

핵 이동기 난모세포(Migratory nucleus oocyte):

완숙 및 산란기 난소 내에 난모세포들은 세포질 중심부의 핵이 동물극쪽으로 이동하였고 수화(hydration)현상에 의해 난경이 약 940~1000 μm 이상까지 증대되었다(Fig. 5F).

잔존 여포(Empty follicle) 와 퇴행난모세포(Degenerating oocyte):

산란 후 완숙난을 싸고 있던 여포층이 남아서 산란흔적을 보였고(Fig. 5G), 산란하지 못한 난모세포들이 퇴행되었다(Fig. 5H).

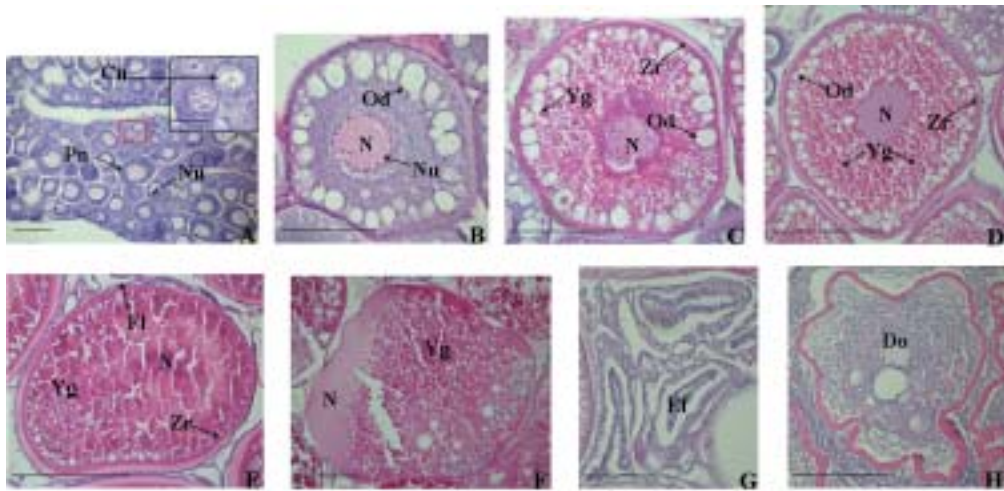


Fig. 5. Photomicrographs of ovarian developmental stages of *P. altivelis*. A, Oocyte of chromatin-nucleolus and peri-nucleolus stage, Scale bar = 40 μm (picture of the right corner magnified a square in picture A, Scale bar = 18 μm); B, Oocyte of the oil-droplet stage, Scale bar = 100 μm ; C, Oocyte of the primary yolk stage, Scale bar = 125 μm ; D, Oocyte of the secondary yolk stage, Scale bar = 200 μm ; E, Oocyte of the tertiary yolk stage, Scale bar = 250 μm ; F, Oocyte of the ripe stage, Scale bar = 320 μm ; G, Empty follicle remained after ovulation, Scale bar = 100 μm ; H, Degenerating oocyte, Scale bar = 240 μm . Cn, chromatin-nucleolus oocyte; Do, degenerating oocyte; Ef, empty follicle; Fl, follicle layer; N, nucleus; Nu, nucleolus; Od, oil-droplet; Pn, peri-nucleolus oocyte; Yg, yolk globules; Zr, zona radiata.

(2) 정자형성과정

초기 성장기 정소에는 타원형의 정소소엽이 산재하였고, 정소 소엽내의 상피를 따라 정원세포들이 분열증식 하였다(Fig. 6A). 이후 정소 소엽 내에 정모 세포군들이 출현하여 발달하였다(Fig. 6B). 정소의 발달과 함께 정소 소엽내에는 정모 세포군, 정세포군, 소수의 정자군이 관찰 되었고(Fig. 6C), 성숙한 정소에서는 소엽이 비대해지고 소엽 내에 변태된 정자군들이 가득차 있었다(Fig. 6D). 또한 일부 개체에서는 수란관을 통해 정자군들이 방정되는 것이 관찰되었고(Fig. 6E), 방정 이 후 정소 소엽 내에 방정하지 못한 일부 정자들이 퇴화하고 소엽 상피가 재배치되었다(Fig. 6F).



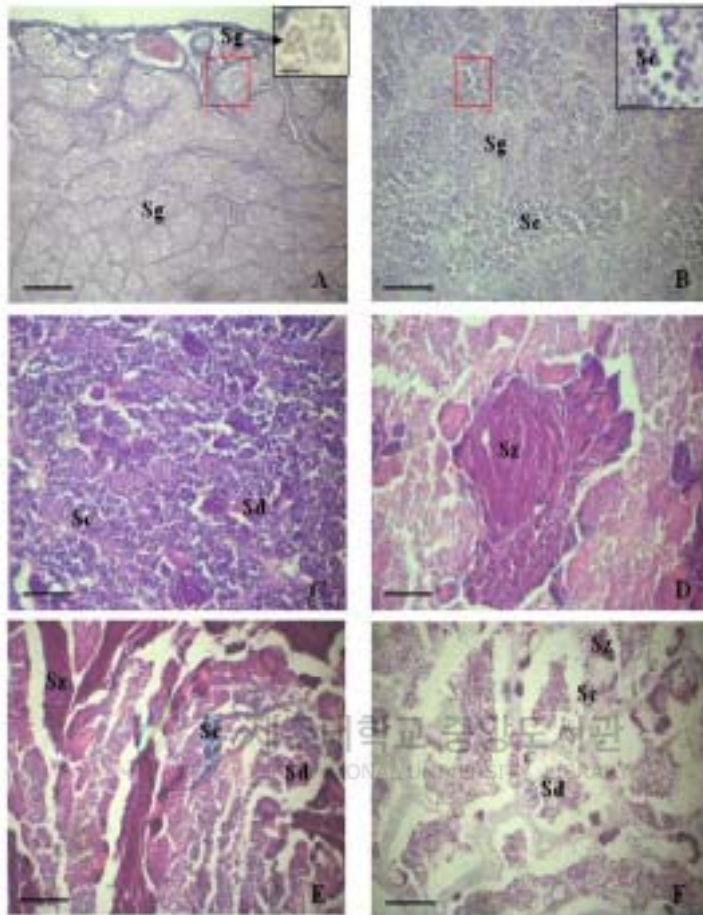


Fig. 6. Photomicrographs of testicular developmental stages of *P. altivelis*. A, Early growing stage; B, Growing stage; C, Early mature stage; D, Mature stage; E, Ripe and spawning stage; F, Degenerative stage. Sc, spermatocyte; Sd, spermatid; Sg, spermatogonia; Sz, spermatozoa. Scale bar = 100 μ m.

4) 난모세포 발달단계의 월별 변화

은어의 난소 내에는 염색인기와 주변인기 난모세포들이 산란기를 제외하고 연중 관찰되었다. 조사기간 동안 난모세포 발달 단계의 월 변화는, 강정천의 개체에서는 유구기 난모세포와 난황구기 난모세포들이 각각 9월에 44%, 8% 비율로 출현하기 시작하였고, 유구기 난모세포들은 11월에 55%까지 증가하였다가 12월에 25%로 감소하였다. 난황구기 난모세포들은 12월(58%)까지 성숙하였으며, 핵 이동기 난모세포는 11월(6%)~12월(5%)에 출현하였다. 그리고 산란흔적을 나타내는 잔존 여포세포층이 10월(10%)부터 관찰되었고 퇴행 난모세포는 12월과 이듬해 2월, 3월에 관찰되었다(Fig. 7).

연외천의 경우, 유구기 난모세포들이 8월(3%)부터 출현하기 시작하여 11~12월에 45% 전후로 증가하였다가 1월(19%)부터 감소하였다. 난황구기 난모세포, 핵 이동기 난모세포, 잔존 여포세포층들은 난소 내에 10월부터 각각 10, 4, 2%로 관찰되기 시작하여 1월에 각각 31, 18, 22%의 높은 비율을 차지하였다. 퇴행 난모세포들은 12~1월에 6~9% 비율로 분포하였다(Fig. 8).

용포천 은어의 유구기 난모세포들은 8~11월까지 22~33% 비율을 차지하였고 난황구기와 핵 이동기 난모세포들은 9~11월까지 각각 26~52%와 5~19%로 분포하였으며 특히, 난황구기 난모세포는 11월에 50% 이상 출현하였다. 잔존 여포세포층과 퇴행 난모세포들은 10월부터 관찰되었고 잔존 여포세포층은 12월에 33%였으며, 1월에는 전 개체의 난소에서 퇴행 난모세포들이 관찰되었으며 이들 퇴행 난모세포들은 이듬해 6월까지 관찰되었다(Fig. 9).

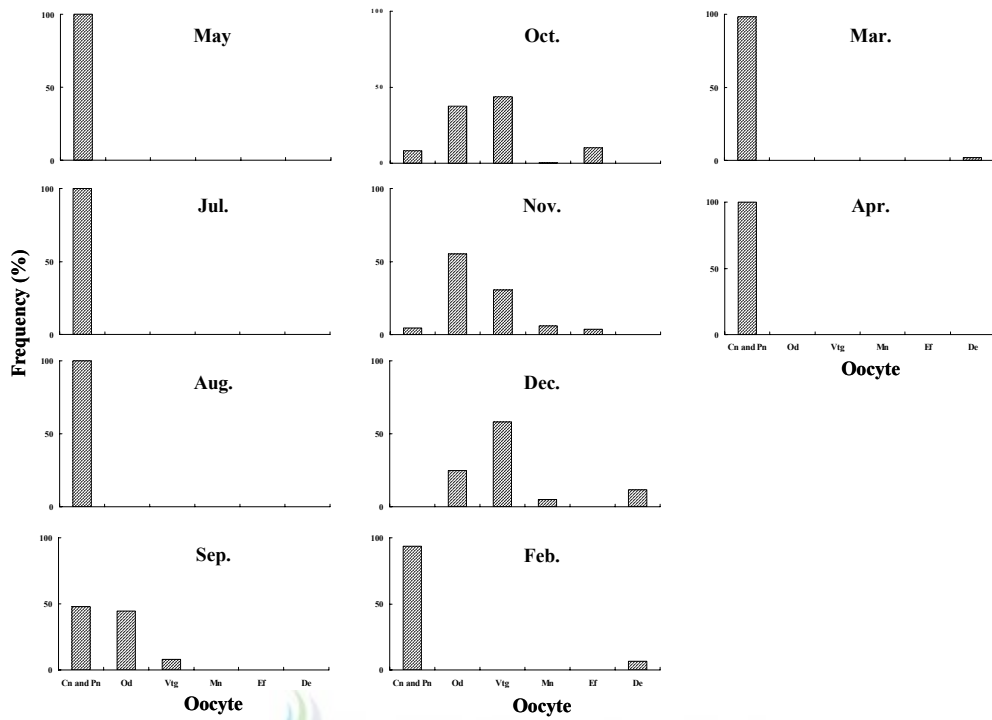


Fig. 7. Monthly changes of oocytes of developmental stages of *P. altivelis* in Gangjeong stream. Cn, chromatin-nucleolus oocyte; Do, dengenerating oocyte; Ef, empty follicle; Mn, migratory-nucleolus oocyte; Od, oil-droplet oocyte; Pn, peri-nucleoluse oocyte; Vtg, vitellogenin.

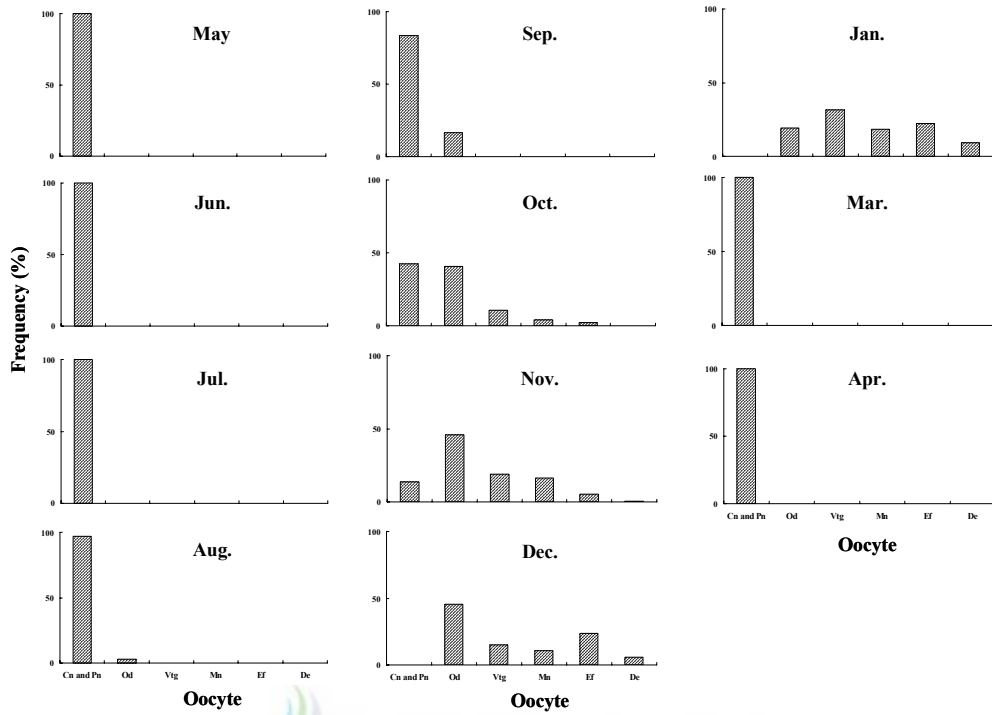


Fig. 8. Monthly changes of oocytes of developmental stages of *P. altivelis* in Yeonoe stream. Abbreviations were as Fig. 7.

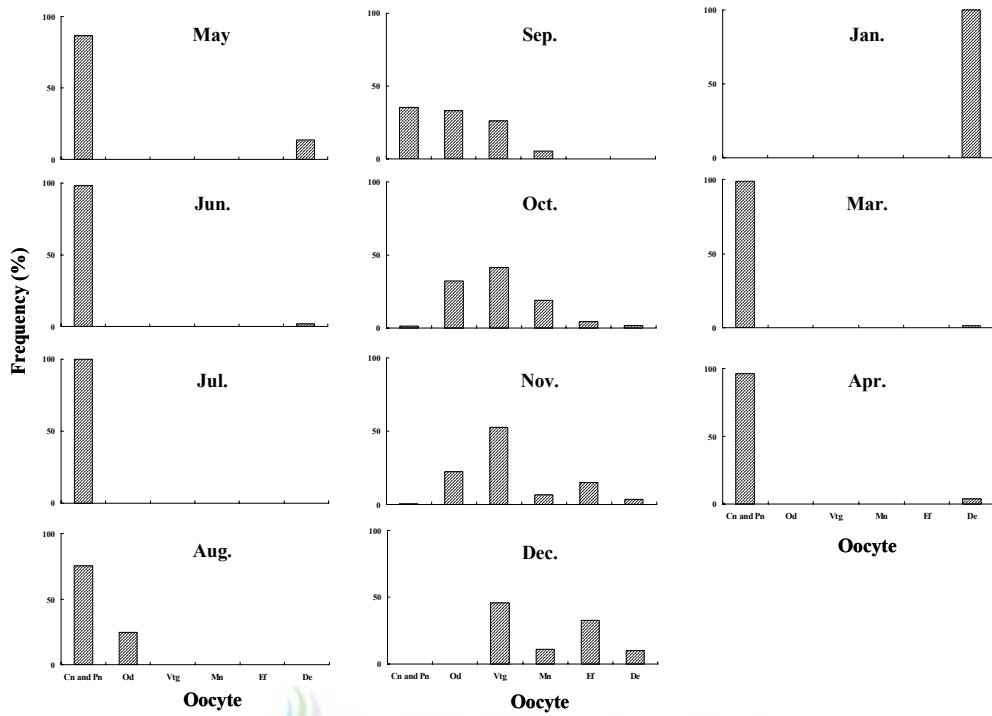


Fig. 9. Monthly changes of oocytes of developmental stages of *P. altivelis* in Ongpo stream. Abbreviations were as Fig. 7.

5) 생식주기

GSI의 월 변화와 생식소 발달과정의 조직학적 관찰과 난모세포 발달단계 월 변화를 기초로, 은어의 생식주기를 암컷은 주변인기와 유구기 난모세포 단계를 성장기, 난황구기 난모세포 단계를 성숙기, 산란혼적인 잔존 여포세포층이 관찰되는 시기를 산란기 그리고 성숙난이 여포세포층에 의해 퇴화 흡수되는 퇴행기로, 수컷은 정원세포들이 정모세포로 발달하는 성장기, 정소 소엽내에 정자들이 대부분을 차지하는 성숙기, 정소 소엽내에서 정자들의 방정혼적을 관찰할 수 있는 방정기, 정소 소엽 내에 미방출된 정자가 관찰되고 생식상피에 정모세포와 정세포가 응축되면서 퇴화되는 퇴행기로 구분되었다. 옹포천을 제외한 강정천과 연외천에서는 수컷이 채집되지 않아 퇴행기를 확인할 수가 없었다(Fig. 10).

(1) 성장기

초기 성장기 단계는 낮은 GSI를 유지하고 난소 소엽 내에 주로 염색인기와 주변인기 난모세포가 분포하였다. 각각의 하천에서 9월부터 암컷의 GSI가 서서히 증가하고 소엽 내에 유구기 난모세포와 일부 난황을 축적하는 난황구기 난모세포들이 관찰되었다. 하천별 암컷의 성장기 단계는 강정천과 옹포천은 3~9월, 연외천에서는 3~10월이었다.

정소에서는 소엽상피를 따라 정원세포들이 정모세포로 발달하면서 수적인 증가가 일어났으며 일부 정세포 무리군들도 출현하였다. 하천별 수컷의 성장기 개체들은 강정천에서 4~8월, 연외천에서 3~10월, 옹포천에서는 3~9월에 나타났다.

(2) 성숙기

생식소가 성숙하면서 GSI가 급격히 상승하였고 난소는 짙은 담황색, 정소는 유백색을 띠었다. 난소 소엽 내에는 성장 중인 어린난모세포, 유구기와 난황구기 난모세포들이 혼재하였다. 특히, 난황구기 난모세포들은 방사선대를 형성하고 세포질 내에 난황이 균일화되기 시작하면서 난경이 500 μm 이상으로 증가하였다. 하천별 성숙기 단계의 개체들은 강정천은 9~12월, 연외천은 10~11월, 옹포천은 9~11월에 관찰되었다.

정소는 정소 소엽이 비대 해지기 시작하면서 정소 소엽 내 정모세포들이 현저

하계 감소하였고 변태된 정자들이 정소 소엽 내강을 가득 메웠다. 하천별 성숙기 단계의 개체들은 강정천에서 7~10월, 연외천에서 9~12월 그리고 옹포천에서는 8~11월에 출현하였다.

(3) 산란 및 방정기

산란기에 GSI는 서서히 감소하였고 난소에는 산란흔적을 나타내는 잔존 여포 세포층과 성장 중인 유구기 난모세포 및 성숙하는 난황구기 난모세포들이 관찰되었다. 하천별로 산란 개체들이 주로 출현하는 시기는 강정천에서 10~12월, 연외천에서 10~1월, 옹포천에서 9~12월에 출현하였다.

정소에서는 가장 자리에 위치한 정소 소엽 내강에 정자들이 기부로 이동하기 시작하였고, 기부막 근처 정소 소엽에는 방정 흔적이 관찰되었다. 하천별 방정기 단계의 정소들은 강정천에서 9~12월, 연외천에서 10~1월 그리고 옹포천에서 9~11월에 관찰되었다.

(4) 퇴행기

퇴행기 단계에 생식소는 GSI가 낮은 값을 보였고, 난소에서는 미방출된 성숙 난들이 소엽 상피 또는 내강에 잔존하여 여포세포층에 의해 퇴화 흡수되고 있었다. 이들 퇴행기 개체들은 강정천에서 12월과 2월 및 3월에 관찰되었고, 연외천은 11~1월, 옹포천은 10월부터 이듬해 6월까지 관찰되었다.

정소에서는 소엽 내에 미방출된 정자가 관찰되었고 생식상피에 정모세포 및 정세포가 응축되면서 퇴화되기 시작하였다. 각각의 하천에서 퇴행되는 시기에 수컷이 채집되지 않아 옹포천을 제외한 강정천과 연외천에서는 퇴행 단계의 정소가 관찰되지 않았으며, 옹포천에서는 퇴행 단계의 수컷이 11월 관찰되었다.

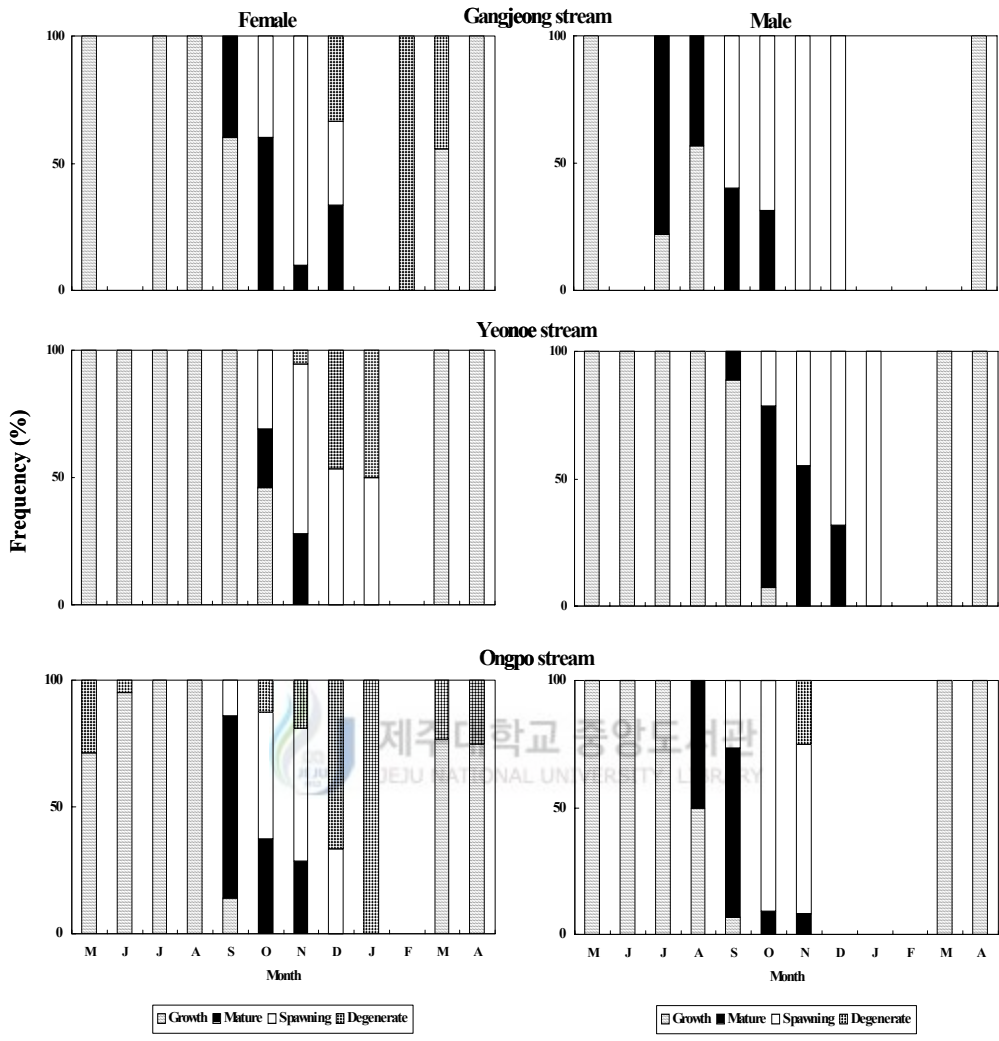


Fig. 10. Monthly changes of reproductive cycle of *Plecoglossus altivelis* in Gangjeong, Yeonoe and Ongpo stream.

6) 생식소중량지수의 주별 변화 및 생식소 발달

산란시기에 산란리듬을 확인하기 위하여 주별 GSI, 산란흔적 및 생식소 발달을 조사하였다.

하천별 암컷의 주별 GSI는 유사한 경향을 보였으며, 채집기간 동안 월주기에 따른 뚜렷한 변화양상이 보이지 않았다(Fig. 11).

강정천의 경우, 암컷의 GSI는 월주기가 하현시기인 9월 23일에 2.66 ± 0.68 로 서서히 증가하기 시작하여 상현시기인 10월 11일부터 11월 8일까지 $8.11 \pm 1.18 \sim 10.24 \pm 6.90$ 으로 높은 값을 유지하였다.

연외천의 경우, 하현인 10월 6일에 5.46 ± 2.18 로 급격히 증가하여 상현인 10월 22일부터 11월 19일까지 $5.93 \pm 1.89 \sim 9.69 \pm 3.44$ 로 높은 값을 유지하다가 하현인 12월 4일에 2.45 ± 0.37 로 급격히 감소하였다.

옹포천에서는 상현 시기인 9월 20일부터 5.71 ± 1.47 로 증가하여 다음 상현 시기인 10월 22일에 18.05 ± 4.74 로 최대값을 보였고, 하현시기인 11월 4일부터 12월 18일까지 $7.01 \pm 1.98 \sim 5.12 \pm 2.22$ 으로 서서히 감소하였다.

생식소 발달단계는 월별 GSI 변화와 밀접한 발달단계를 보였다(Fig. 12). 각각의 하천별 GSI가 상승하는 시기인 9월 중순(강정천과 옹포천)과 10월 초(연외천)에 난모세포는 난황이 축적되면서 성숙하여 난황이 균질화 되었고 난경 $550 \sim 600 \mu\text{m}$ 로 증가하였다(Fig. 12A). 이들 성숙란들은 더욱 성숙 발달하였고 각각의 하천별 10~11월 난소에는 산란 흔적을 나타내는 여포세포층과 난경 $800 \mu\text{m}$ 이상의 완숙란들이 관찰되었다(Fig. 12B). 또한 일부 개체들에서는 재 산란을 하기 위해 난경 $600 \mu\text{m}$ 전후의 성숙란들을 포란하였다(Fig. 12C). 각각의 하천에서 GSI가 급격히 하강하는 시기인 12월부터 퇴화중인 난모세포들이 분포하였다(Fig. 12D).

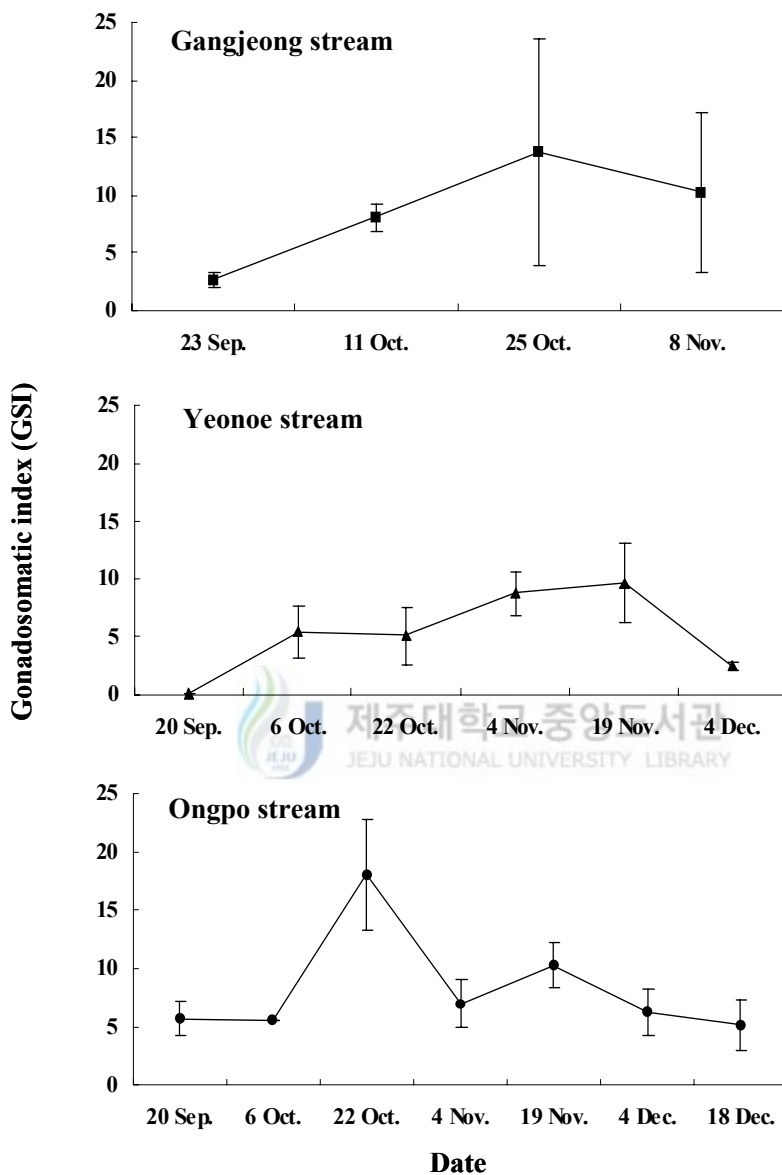


Fig. 11. Weekly changes of gonadosomatic index (GSI) in female of *P. altivelis*. Vertical bars represent the standard error.

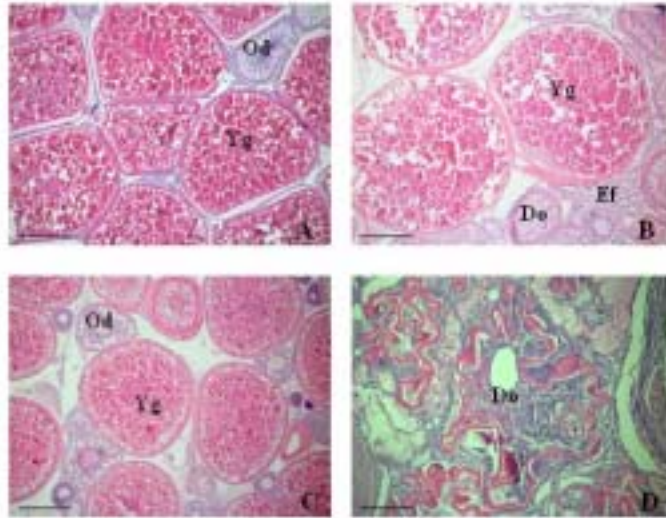


Fig. 12. Weekly changes of ovarian developmental stages of *P. altivelis*. A, Mature stage; B, Spawning stage; C, Growing and Mature stage; D, Degenerating stage. Do, degenerating oocyte; Ef, empty follicle; Od, oil-droplet oocyte; Yg, yolk globule oocyte. Scale bar = 200 μ m.

7) 난모세포발달 단계의 주별 변화

연외친과 옹포친에서는 채집기간 동안 내내 성숙한 난황구기 난모세포들이 분포하였으며, 연외친의 경우 하현 시기인 11월 4일과 12월 4일에만 산란흔적을 나타내는 잔존 여포세포층과 방란되지 못한 퇴행 난모세포가 출현하였다(Fig. 13). 옹포친에서는 연외친과는 다르게 11월부터 12월까지 잔존 여포세포층이 분포하였으며 퇴행 난모세포는 12월 18일에 처음으로 관찰되었다(Fig. 14).



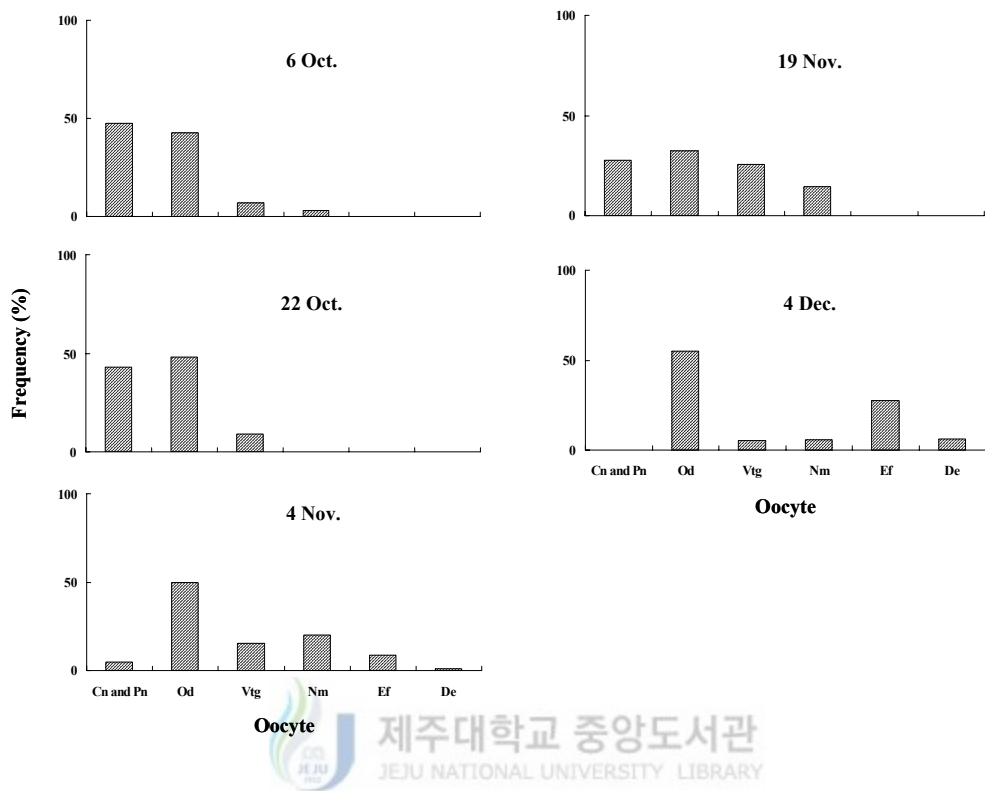


Fig. 13. Weekly changes of oocytes with developmental stages of *P. altivelis* in Yeonoe stream. Cn, chromatin-nucleolus oocyte; Do, dengenerating oocyte; Ef, empty follicle; Mn, migratory-nucleolus oocyte; Od, oil-droplet oocyte; Pn, peri-nucleoluse oocyte; Vtg, vitellogenin.

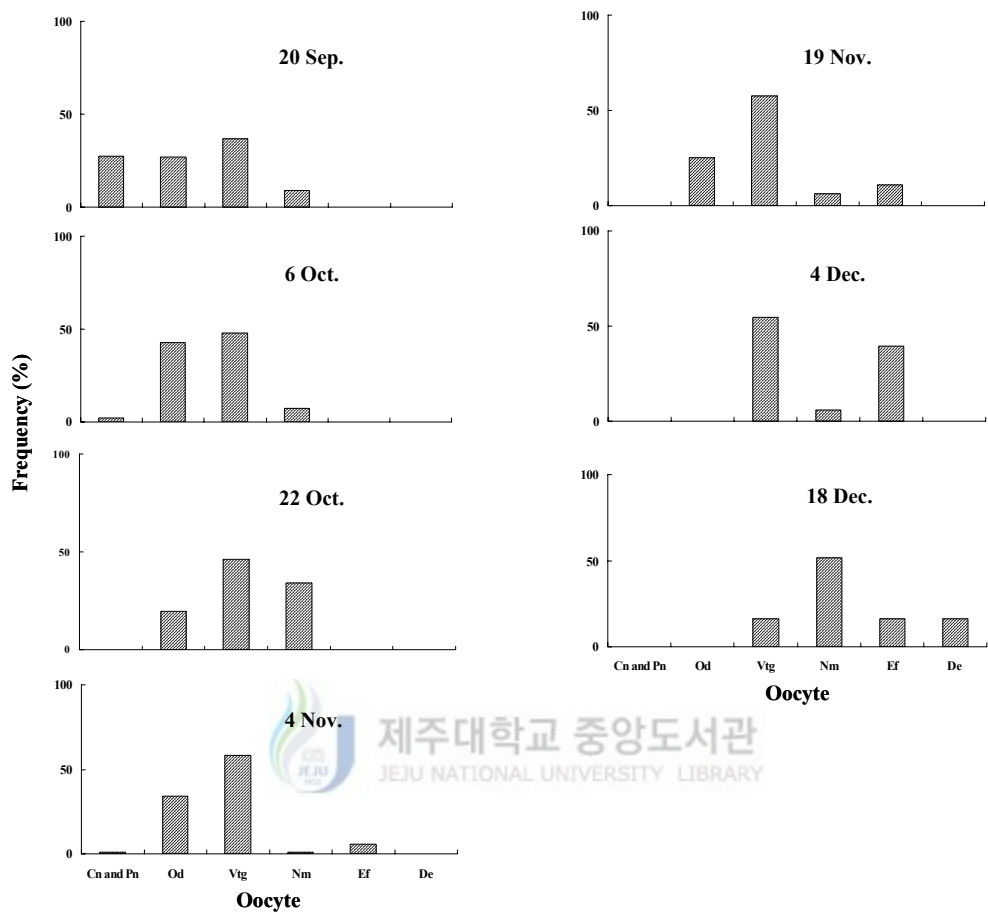


Fig. 14. Weekly changes in frequency of oocytes with developmental stages of *P. altivelis* in Ongpo stream. Cn, chromatin-nucleolus oocyte; Do, dengenerating oocyte; Ef, empty follicle; Mn, migratory-nucleolus oocyte; Od, oil-droplet oocyte; Pn, peri-nucleoluse oocyte; Vtg, vitellogenin.

8) 간중량지수 및 비만도의 월별 변화

하천별 암컷의 HSI 월 변화는 각 하천에서 GSI가 상승하는 9월부터 증가하기 시작하여 12월(강정천)과 11월(연외천과 옹포천)에 각각 2.97 ± 0.29 , 2.45 ± 0.21 , 3.23 ± 0.50 으로 상승하여 이후 감소하는 경향을 보였다. 수컷의 HSI는 하천별 수컷의 GSI가 높은 값을 나타내는 11월(강정천과 연외천)과 10월(옹포천)에 각각 0.57 ± 0.03 , 0.97 ± 0.09 , 0.63 ± 0.03 으로 낮은 값을 보였다(Fig. 15).

강정천의 경우, GSI가 상승하는 9월에 암·수의 비만도는 각각 0.77 ± 0.02 , 0.74 ± 0.02 로 감소하기 시작하여 산란시기인 11월에 각각 0.59 ± 0.03 , 0.64 ± 0.01 로 낮은 값을 보였다. 연외천의 경우, 9월부터 암·수 CF가 각각 0.57 ± 0.03 , 0.56 ± 0.02 로 감소하기 시작하여 GSI가 최대값을 보인 11월에 각각 0.43 ± 0.03 , 0.44 ± 0.03 로 감소하였다. 옹포천의 경우, 9월에 암·수 CF는 각각 0.78 ± 0.04 , 0.82 ± 0.02 로 감소하기 시작하였고 11월에 각각 0.48 ± 0.03 , 0.39 ± 0.03 로 낮은 값을 보였다. (Fig. 16).



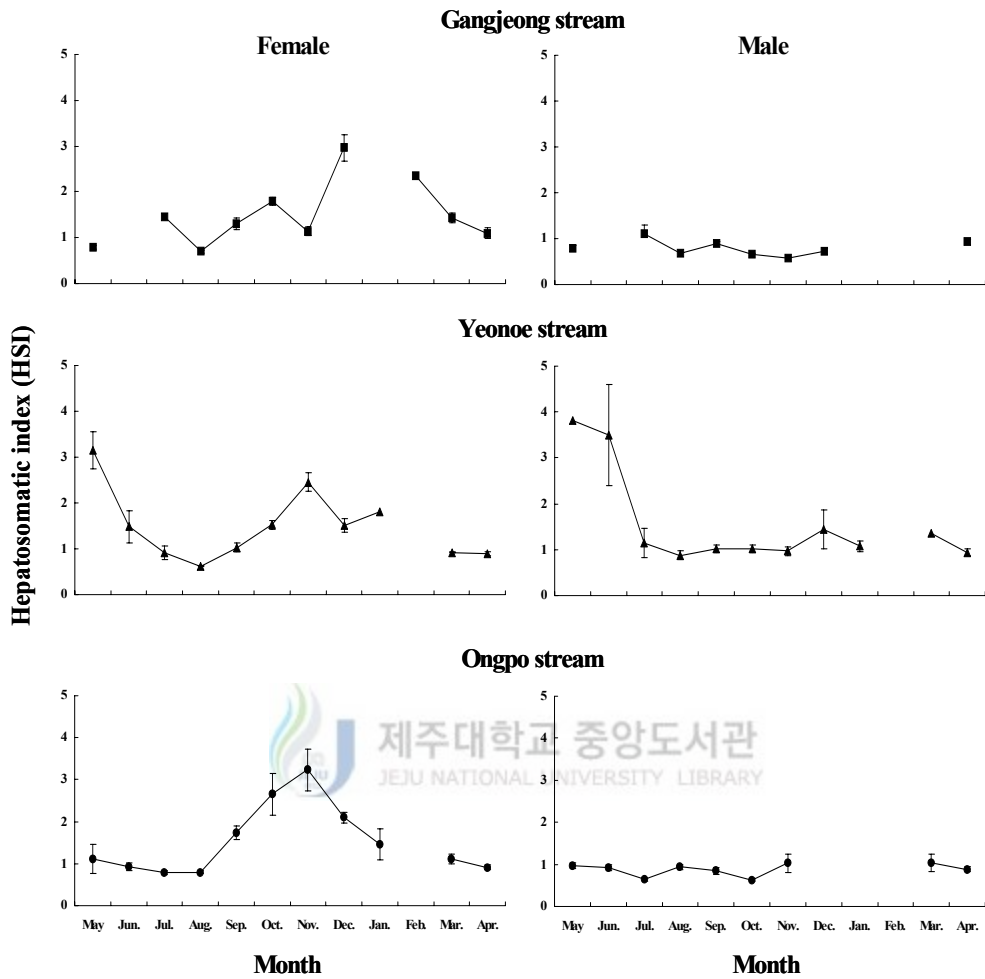


Fig. 15. Monthly changes of hepatosomatic index (HSI) in female and male *P. altivelis*. Vertical bars represent the standard error.

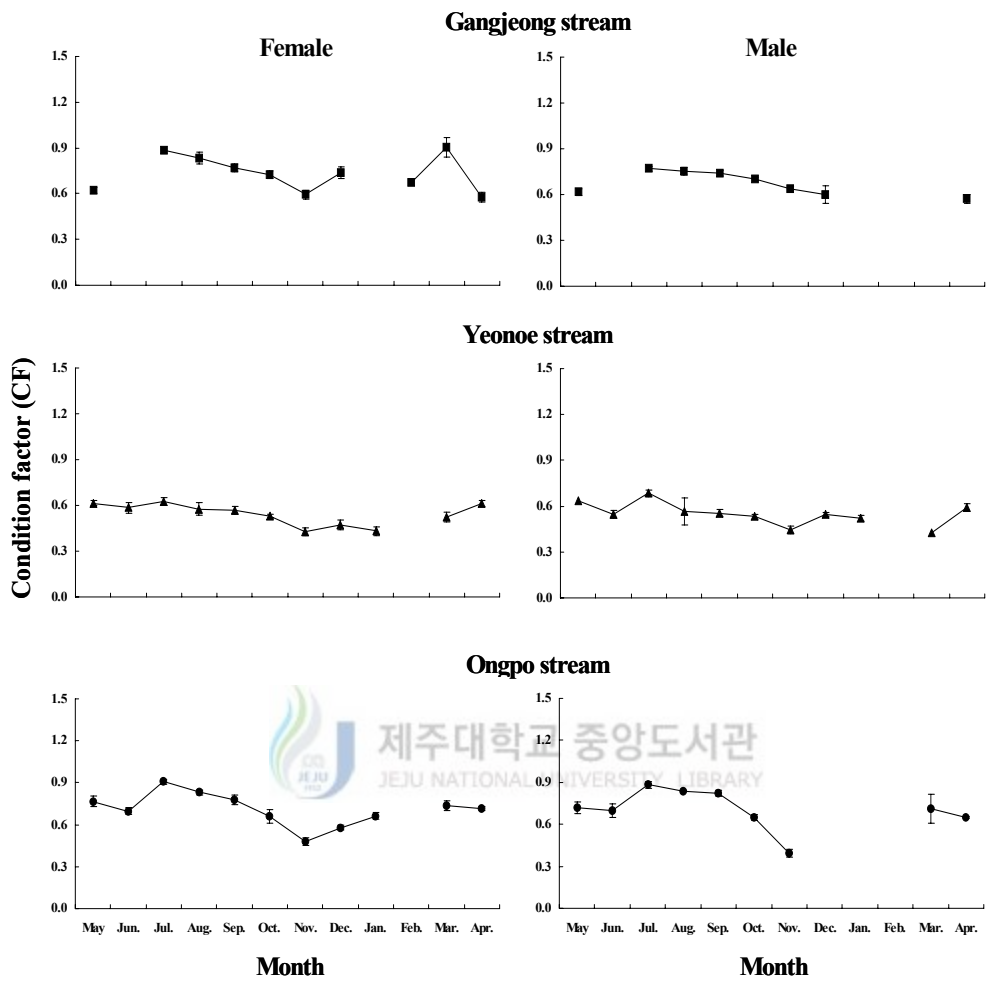


Fig. 16. Monthly changes of condition factor (CF) in female and male *P. altivelis*. Vertical bars represent the standard error.

9) 월별 전장 분포

3개의 하천에서 6 cm 이하의 개체는 채집되지 않았으며, 월별 최대 전장 크기는 강정천 <연외천 <옹포천 순으로 출현하였다(Fig. 17~19). 강정천에서 암·수 모두 GSI가 낮고 생식소가 성장기 단계인 5월에 7~15 cm 은어들이 분포하였고, 그 중 8 cm의 은어가 약 33%를 차지하였다. 7월에는 8~14 cm범위의 은어들이 관찰되었으며 10, 12 cm 은어들은 약 33%였다. 8월에 10~15 cm범위까지 성장한 은어들이 관찰되었고 14, 15 cm 은어들은 8, 15%였다. 암·수 모두 GSI가 상승하고 성숙한 개체가 관찰되며 일부 산란이 시작되는 9, 10월에 주로 10~17 cm 범위의 은어들이 분포하였으며, 16~17 cm의 은어들은 1~4 %였다. 이 시기엔 주로 10~13 cm 범위내의 은어들이 관찰되었고 성숙과 산란이 관찰되는 11월에는 8~13 cm 범위의 은어들이 관찰되었으며, 12월에는 10~12 cm의 개체들이 90%를 차지하였다(Fig. 17).

연외천의 경우, 5월부터 9월까지 6~13 cm 범위의 은어들이 출현하였고 주로 8~12 cm 범위의 은어들이 관찰되었고 특히 7월에는 12 cm 은어가 약 50%를 차지하였으며 이후 성장한 은어들이 10월에는 16 cm(약 2%) 범위까지 관찰되었다. GSI가 높고 생식소 내에 성숙란과 산란 흔적이 관찰되는 11월에는 8~18 cm 범위 내에 은어들이 출현하였고, 10~11 cm의 은어들은 약 48%를 차지하였다. 12월에는 최대 20 cm의 은어들이 출현하였고 12~13 cm의 은어들이 23~26%를 차지하였으며 20 cm의 은어는 약 3%였다. 이듬해 1월에는 9~14 cm의 은어들이 분포하였고 10 cm의 은어가 약 70%였다(Fig. 18).

옹포천의 경우, 6월에서 8월까지 10~17 cm 범위 내에 은어들이 분포하였고, 6월에는 11 cm(약 36%), 7월에는 12, 13 cm(각 30% 전후), 8월에는 11~13 cm(약 67%)은어들이 주로 출현하였다. 이후 성장하여 9월부터 11~19 cm 범위의 은어들이 관찰되었고 13~18 cm 은어들이 약 7~19% 범위였다. 암컷의 GSI가 최고값을 보이고 부분 산란이 일어나는 10, 11월에는 최대 21 cm(13%)의 은어들이 출현하였고 15~20 cm의 은어들이 주로 분포하였다. 암컷의 GSI가 하강하고 생식소 퇴행이 일어나는 12, 1월에는 11~20 cm의 은어들이 관찰되었다. 3월부터 6 cm의 은어들이 출현하였고 8 cm의 은어들은 약 40%를 차지하였다(Fig. 19).

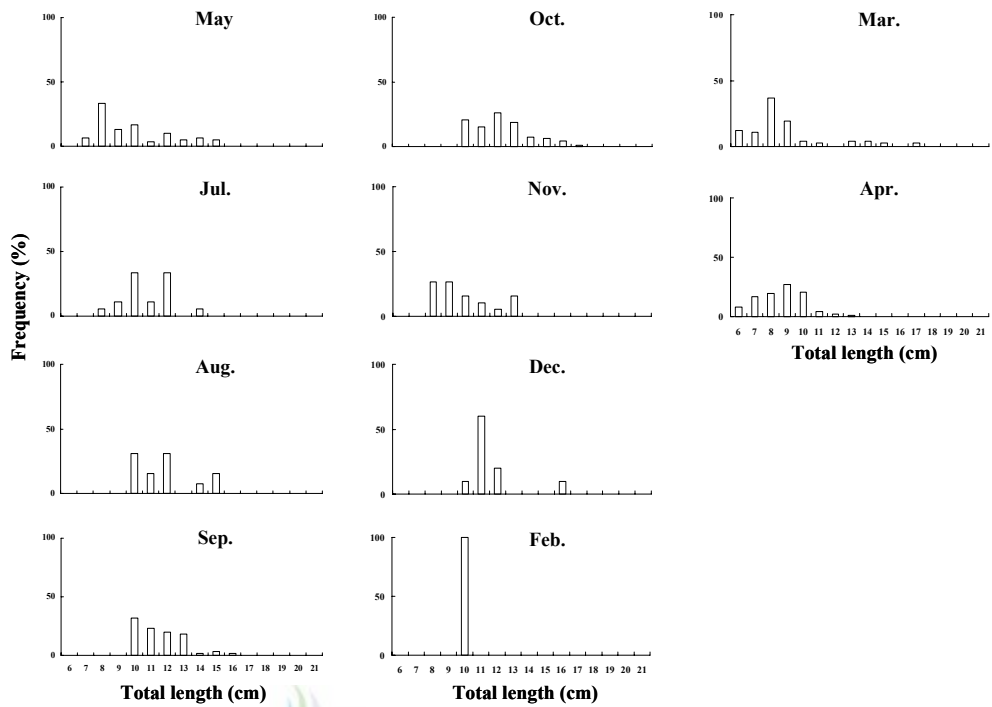


Fig. 17. Monthly changes of frequency of total length (cm) of *P. altivelis* in Gangjeong stream.

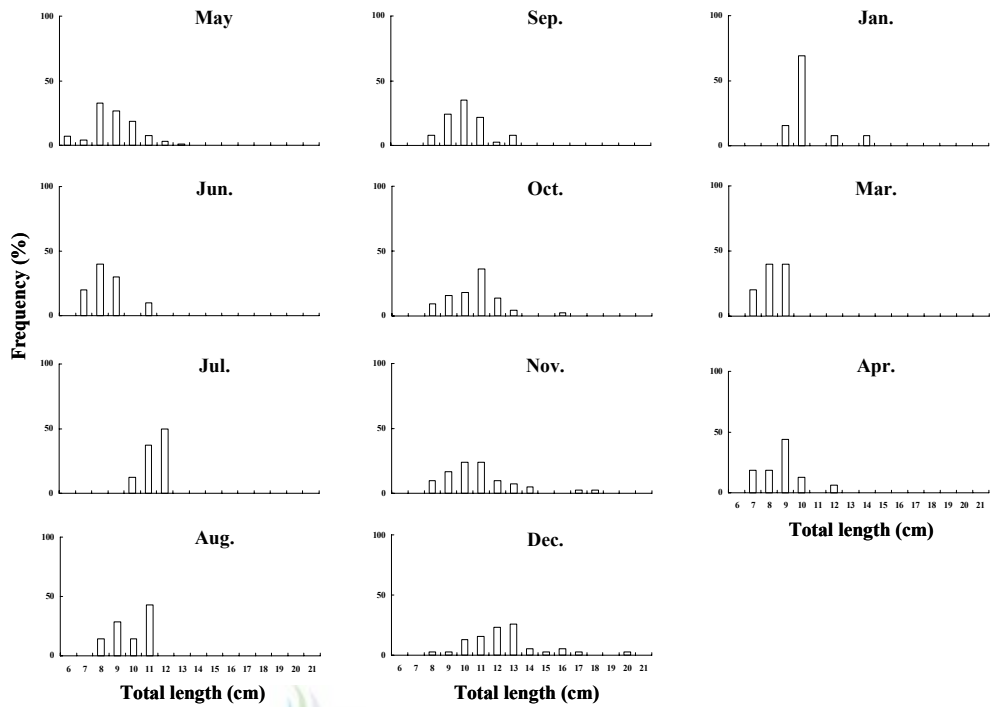


Fig. 18. Monthly changes of frequency of total length (cm) of *P. altivelis* in Yeonoe stream.

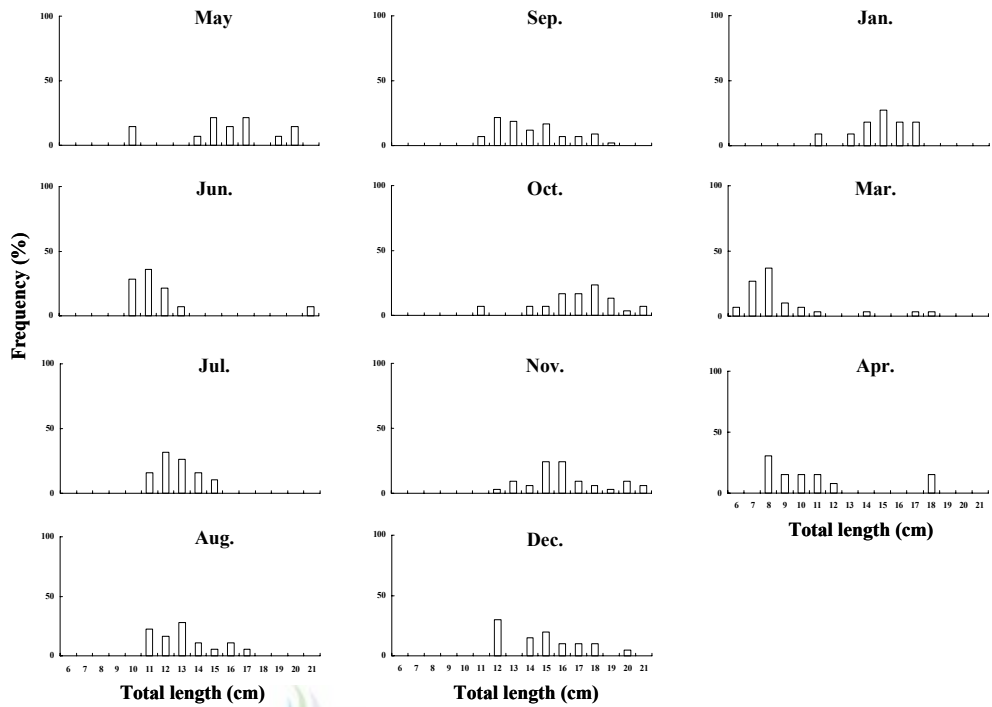


Fig. 19. Monthly changes in frequency of total length (cm) of *P. altivelis* in Ongpo stream.

10) 포란수

은어의 주 산란기인 10~11월에 하천별 암컷 은어 9(강정천), 15(연외천), 8(용포천)개체를 대상으로 전장 및 체중에 따른 총 포란수를 조사하였다(Table 3~5). 각각의 하천에서 전장과 체중의 증가에 따라 포란수도 상대적으로 증가하는 경향을 보였고, 강정천에서 최대 포란수를 가진 개체의 전장과 체중은 각각 15.9 cm, 45 g이었으며 최대 포란수는 25,731개였다(Table 3-1 and 2). 연외천은 다른 두 하천과는 달리 조사된 개체들의 전장과 체중이 비교적 작았으며, 최대 포란수를 가진 개체는 15.3 cm, 16.9 g였고 포란수는 17,462개였다(Table 4-1 and 2). 용포천에서는 15.3 cm, 44.8 g의 개체가 24,666개로 최대 포란수를 가졌다(Table 5-1 and 2).



Table 3-1. Composition of fecundity by total length of *P. altivelis* in Gangjeong stream

Total length (cm)	Number of eggs		Number of fish examined
	Range	Mean	
10.1 ~ 12.0	4,426 ~ 9,702	7,517	3
12.1 ~ 14.0	8,554 ~ 9,180	8,867	2
14.1 ~ 16.0	12,252 ~ 25,731	18,629	4

Table 3-2. Composition of fecundity by body weight of *P. altivelis* in Gangjeong stream

Body weight (g)	Number of eggs		Number of fish examined
	Range	Mean	
5.1 ~ 10.0	4,426	4,426	1
10.1 ~ 20.0	8,424 ~ 9,702	8,965	4
20.1 ~ 30.0	13,265	13,265	1
30.1 ~ 40.0	12,252 ~ 23,225	17,753	2
40.1 ~ 50.0	25,731	25,731	1

Table 4-1. Composition of fecundity by total length of *P. altivelis* in Yeonoe stream

Total length (cm)	Number of eggs		Number of fish examined
	Range	Mean	
8.1~10.0	1,921~3,304	2,528	4
10.1~12.0	3,264~9,332	6,729	7
12.1~14.0	3,679~13,673	7,818	3
14.1~16.0	17,462	17,462	1

Table 4-2. Composition of fecundity by body weight of *P. altivelis* in Yeonoe stream

Body weight (g)	Number of eggs		Number of fish examined
	Range	Mean	
1.0~5.0	1,921~9,332	5,170	5
5.1~10.0	2,406~9,807	5,723	5
10.1~15.0	3,679~13,673	9,223	4
15.1~20.0	17,462	17,462	1

Table 5-1. Composition of fecundity by total length of *P. altivelis* in Ongpo stream

Total length (cm)	Number of eggs		Number of fish examined
	Range	Mean	
10.1 ~ 12.0	5,338 ~ 6,656	5,997	2
12.1 ~ 14.0	3,122 ~ 3,978	3,550	2
14.1 ~ 16.0	24,666	24,666	1
16.1 ~ 18.0	9,250 ~ 24,449	14,478	3

Table 5-2. Composition of fecundity by body weight of *P. altivelis* in Ongpo stream

Body weight (g)	Number of eggs		Number of fish examined
	Range	Mean	
5.1 ~ 10.0	3,122 ~ 5,338	4,230	2
10.1 ~ 20.0	3,978 ~ 9,734	6,789	3
20.1 ~ 30.0	9,250	9,250	1
30.1 ~ 40.0	24,449	24,449	1
40.1 ~ 50.0	24,666	24,666	1

3. 감하자어

1) 제주 은어의 산란장

은어의 산란장은 주로 유속이 빠르고 하상구조가 작은 자갈이나 모래로 구성되어 있으며 수심 30 cm 이내의 얕은 곳이었다(Fig. 20A). 하천 하상이 자갈인 수역에서 은어 부착란이 관찰되었고(Fig. 20B and C), 하천 하류역에서 연안해역으로 강하하는 부화자어가 채집되었다(Fig. 20D and E).



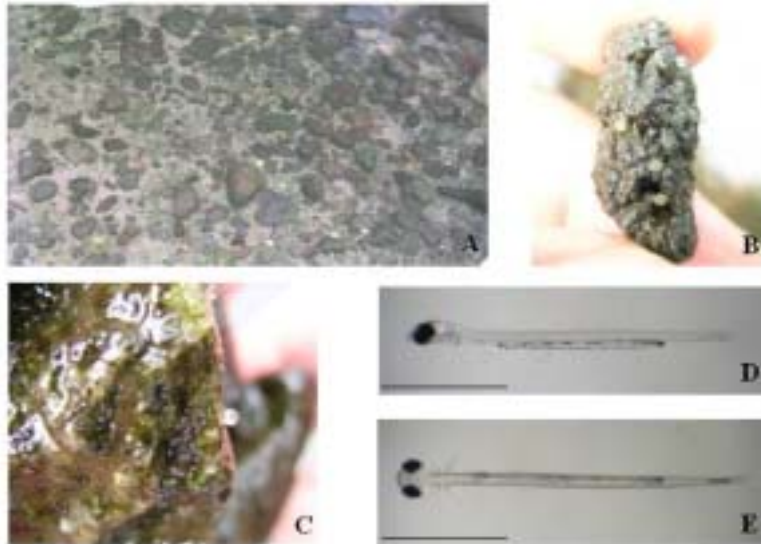


Fig. 20. Spawning ground(A), adhesive eggs(B and C) and hatched larvae(D) of *P. altivelis*. Scale bar = 2000 μm .

2) 제주 은어 자어 출현량

플랑크톤 네트를 이용하여 은어의 부화자어를 채집한 결과, 강정천에서는 총 863개체가 채집되었고, 옹포천에서는 총 887개체가 채집되었다(Tables 6 and 7). 연외천을 제외한 강정천과 옹포천의 은어 부화자어 출현량은 강정천의 경우, 산란시기로 추정되는 2004년 11월에서 2005년 2월까지, 2005년 9월에서 2005년 10월까지 조사하였고, 옹포천에서는 2004년 10월부터 2004년 12월까지 조사하였다. 강정천과 옹포천의 부화자어들은 각각 2005년 10월, 2004년 10월부터 출현하기 시작하였다.

강정천 은어 부화자어의 월별 출현량은 2004년 11월에 689개체가 채집되어 전체의 79.8%를 차지하였고, 2004년 12월에는 47개체(5.4%)로 급격히 감소하였으며, 2005년 1월에는 9개체(1%)만이 채집되었다. 그리고 2005년 10월에는 118개체가 채집되어 전체의 13.7%를 차지하였다. 시간대별 출현양상은 저녁 7시에 총 297개체(34.4%), 8시대에 총 566개체(65.5%)가 채집되었다(Table 6).

옹포천 은어 부화자어의 월별 출현량도 강정천과 유사한 경향으로 2004년 10월에 535개체(60.3%)가 채집되었고 2004년 11월에는 338개체(38.1%)가 채집되었다. 그리고 2004년 12월에는 14개체(1.6%)로 급격히 감소하였다. 시간대별 출현양상은 저녁 7시에 총 546개체가 채집되어 전체의 61.6%를 차지하였고 저녁 8시대에는 총 341개체(38.4%)가 채집되었다(Table 7).

Table 6. Monthly changes of larvae number of *P. altivelis* in Gangjeong stream

Month \ Time	Nov. 29, 04	Dec. 27, 04	Jan. 17, 05	Feb. 25, 05	Sep. 27, 05	Oct. 25, 05	Total
PM 7:00~7:10	186	11	6	0	0	94	297
PM 8:00~8:10	503	36	3	0	0	24	566
Total	689	47	9	0	0	118	863

Table 7. Monthly changes of larvae number of *P. altivelis* in Ongpo stream

Month \ Time	Oct. 12, 04	Nov. 11, 04	Dec. 11, 04	Total
PM 7:00~7:10	258	284	4	546
PM 8:00~8:10	277	54	10	341
Total	535	338	14	887

IV. 고 찰

제주도는 우리나라의 최남단에 위치하며 동경 126°09′~127°00′, 북위 33°10′~34°05′범위이고, 제주도의 분포한 하천들은 대부분 용천수로 중산간 부근이나 바닷가 근처에 형성된다. 이러한 하천들은 제주도의 지질학적 특성상 수심이 낮고 연중 수온이 14.5~25.1℃범위이다(이 등, 1999; 서귀포시, 2005). 은어의 적정수온을 알아보기 위한 사육실험에서 14.8~19.7℃의 조건에서 순치 후 수온을 25.8℃로 증가시킨 실험구와 5.8~9.1℃로 감소시킨 실험구에서 72시간 동안 생존율은 모두 100%였다. 그러나 14.7~22.8℃조건에서 수온을 29.9℃로 증가시킨 실험구와 7.5℃이하로 감소시킨 실험구는 대부분 100%의 사망률을 보였다(Okabe et al., 2003). 또한 최와 노(1998)는 은어의 최적 성장 수온이 13~18℃라고 보고하였다. 이 연구에서 조사된 3개 하천(강정천, 연외천, 옹포천)의 연중 수온 범위는 연중 11.8~23.6℃로 은어가 서식하기에 적절한 조건이었다. 그리고 조사된 3개 하천의 연중 DO와 pH의 범위는 각각 8.1~13.4 mg/l, 7.3~8.5였으며 7~11월에 DO가 10 mg/l 이상인 것은 낮은 수온과 하천에 여울형성과 관련이 있다고 사료된다.

경골어류의 난소는 난소의 생식수관의 구조에 따라 난소 실질부의 일부가 직접 체강에 노출되어 있는 나상형(gynovarian type)과 주머니 모양으로 체벽에 밀착되어 있는 낭상형(cystovarian type)으로 구분된다(Hoar, 1957). 정소는 내부구조에 따라 정소낭에 내강이 있는 lobule type과 내강이 없는 tubule type으로 구분된다(Billard et al., 1982). 해부학적, 조직학적 관찰을 토대로 이 연구에서 은어의 난소는 뱀장어와 연어과 어류와 같은 나상형 이었고, 정소는 대부분의 경골어류와 같은 lobule type에 속하였다(강 등, 2004).

우리나라에서 은어는 1년생으로 자어기를 강 하구 또는 인접한 연안해역에서 보내고 수온이 상승하는 3월부터 7 cm 내외의 치어들이 강 상류로 소상하여 8월까지 성장을 하며 9월부터 30~40 cm의 성숙한 은어들은 산란을 하기 위해 강 하류로 이동하기 시작하는 것으로 보고되었다(정, 1977). 일본에서는 Tosa만

Shimoda강의 은어는 3~6월에 약 4~8 cm 치어들이 소상하였고(Takahashi et al., 1999), Honshu지역 Yahagi강에서는 4~6월에 5~8 cm 치어들이 소상하여 6~9월에 최대 18 cm까지 성장하고 9월말부터 11월말까지 하류에 성숙한 개체가 분포하였다(Takahashi and Niimi, 1999). Ryukyu지역 Yakugachi강과 Kawauchi강의 은어는 1월말부터 3월말까지 약 2~5 cm 크기의 초기 성장기 단계 치어들이 소상하였다(Kishino and Shinomiya, 2003, 2004). 이 연구에서는 정확한 소상 시기를 구분할 수 없었지만, GSI의 월 변화, 생식소 발달 단계, 난모세포 발달단계의 월 변화, 월별 전장 분포를 토대로, 강정천과 연외천에서 성장기 단계의 은어들은 6~17 cm 범위였고, 옹포천에서는 10~21 cm범위였다.

강정천과 연외천의 하상구조는 주로 암반, 자갈, 모래로 구성되었으며 수서 식물이 거의 분포하지 않은 반면 옹포천의 하상구조는 주로 빨로 이루어졌고 수서 식물이 하천을 따라 길게 분포하였다. 은어의 소상시기와 성장은 서식처에 따른 먹이와 밀접한 관련이 있다고 생각된다.

이 연구에서 은어의 산란장은 유속이 빠르며 수심이 얇고 하상이 자갈이나 모래인 수역에서 발견되었다. 일본 Yahagi강에서는 5군데의 산란장이 발견되었는데 모두 강 입구에서부터 30~50 km 범위 이내였으며(Takahashi and Niimi, 1998), 우리나라의 경우 유속이 빠르고 수심이 얇은 강 여울에서 발견되었고 육봉형인 옥정호에서는 하천과 호수의 접경지역 여울부의 자갈지역에 산란장이 관찰된 것(김과 고, 2004)으로 보아 은어의 산란장은 난 특성에 기인하는 것으로 생각된다.

Shiraishi and Takeda(1961), Shiraishi(1965a, d and e)에 의하면 은어는 단일주기 조건에서 성성숙이 일어나고 장일주기는 성 성숙을 저해한다고 하였다. 또한, 빛의 자극은 눈을 통해서 전달되지 않으며 자연 광주기 조건에서 시간 조절을 단일주기 조건으로 앞당기거나 장일주기 조건으로 앞당길 때 성 성숙이 촉진되었다. 또한 산란 시기 동안에 은어들은 일몰 후에 산란장으로 모여 무리를 형성하고 일몰 전에 다회 방란 및 방정을 한다(정, 1977; 최와 노, 1998). 우리나라에서 은어의 산란시기는 수온이 하강하고 일장이 짧아지는 9~11월로 알려져 있고, 삼척산 은어의 주 산란기는 10~11월, 옥정호에 서식하는 육봉형 은어는 9월

중순부터 10월 중순까지, 양식산 은어는 8~10월까지 산란을 한다(정, 1977; 최와 노, 1998; 고 등, 2005; 이 등, 1996). 일본 Honshu지역 Yahagi강의 Aoi-ohashi 지역과 Toyota-ohashi 지역에 은어의 산란 시기는 우리나라와 유사하게 각각 9월말부터 11월 중순까지, 9월말부터 10월말까지였고 두 지역의 주 산란기는 모두 10월 중순이었다(Takahashi and Niimi, 1998, 1999). Ryukyu지역인 경우, 산란기 하천 수온이 20℃ 이하가 아니면 산란을 하지 않는다(Kishino and Shinomiya, 2003). 이 연구에서 3개 하천의 은어 산란기는 수온이 20℃ 이하로 하강하고, 시기적으로 일장이 짧아지는 9~12월(강정천과 옹포천), 10~1월(연외천)였고, 하천별 은어의 주 산란기는 10~11월이었다. 산란시기 동안에 월주기에 따른 GSI와 난모세포의 주별 변화를 관찰한 결과, 옹포천의 경우, 뚜렷한 경향 없이 11월부터 12월까지 상현과 하현 시기에 산란이 일어난 반면 연외천에서는 하현시기인 11월 4일과 12월 4일에만 산란흔적을 나타내는 잔존 여포세포층이 관찰되었다. 따라서 이들 결과들은 종합해 보면, 은어의 생식소 발달 및 산란을 조절하는 환경 요인은 저수온과 단일 광주기가 보상적으로 작용한다고 생각된다.

은어는 1년어로 산란을 끝낸 개체들이 대부분 사망하고 일부 산란에 참가하지 못했거나 크기가 큰 개체들은 다시 강하하여 이듬해 치어들과 같이 소상한다(정, 1977; 최와 노, 1998). 이 연구에서 산란시기 동안에 채집된 개체 수가 적은 이유는 산란 후에 개체들이 사망했기 때문이라 사료되고 옹포천에서 난소에 퇴행 난모세포를 가진 개체가 6월까지 관찰된 것은 일부 산란에 참가하지 못한 개체들이거나 재산란을 하기 위한 개체가 하류로 강하했을 것으로 추정된다.

은어 수정난은 수온 20℃조건에서 부화까지 10일 정도 소요되고 수온 15℃ 조건에서는 17일째에 부화한다(최와 노, 1998). 일본 Shimanto강에서 부화자어들의 강하시기는 10~2월까지였고 수온 15-20℃ 조건인 11월에 가장 많은 부화자어들이 강하 하였으며, 연안 해역으로 강하하는 부화자어들은 수온 20℃이상에서 높은 사망률이 발생하였다(Takahashi and Niimi, 1998, 1999; Takahashi et al., 1999, 2003). Ryukyu지역의 Yakugachi강에서 부화자어들은 11~3월 중순까지 관찰되었고 12월부터 1월말까지 가장 많은 부화자어가 채집되었다. 또한 부화자어들은 수온 약 20℃조건에서 수정 후 부화까지 11일 정도 소요되었다(Kishino

and Shinomiya, 2003). 이 연구에서 부화자어의 강하시기는 강정천은 10~1월, 옹포천은 10~12월이었고, 강정천과 옹포천에서 최대 부화자어 강하 시기는 각각 10월과 11월이었고 수온은 15와 16.3°C였다. 그러므로 수온은 수정난의 부화시간과 부화자어의 생존율을 결정하는 중요한 환경요인으로 사료된다.

정(1977)에 의하면 은어 한 마리의 포란 수는 약 10,000개로 보고 하였는데 조사된 3 지역의 최대 포란수는 전장 15 cm 이상인 개체에서 각각 25,731(강정천), 17,462(연외천), 24,666(옹포천)였다. 각각의 하천에서 전장과 체중이 증가할수록 포란수가 증가하여 밀접한 상관관계가 있다고 판단된다.

제주도의 하천에 서식하는 은어의 하천별 산란 시기는 비슷하였으며, 산란 시기는 9월부터 이듬해 1월까지였고, 주 산란 시기는 10월부터 11월이었다. 산란기 동안에 다회 산란을 한다.



V. 요약

이 연구는 제주도의 은어 주서식지인 제주 하천(강정천, 옹포천, 연외천)에서 은어의 번식 특성을 조사하기 위해 2004년 5월부터 2005년 12월까지 채집하여 생식소 외부 형태 및 구조, 생식소중량지수의 주별 및 월별 변화, 생식소 발달 과정, 난모세포 발달단계의 월별 및 주별 변화와 산란장, 자어 출현량을 조사하였다.

은어는 자웅이체로 생식소는 좌우비대칭형이었으며, 난소는 나상형이고 정소는 lobule type이었다. 각각의 하천에서 은어 암컷의 GSI 월 변화는 수온이 하강하는 9월부터 상승하기 시작하여 10~11월에 최대값을 보였고, 수컷의 GSI 월 변화는 강정천의 경우, 10~11월, 연외천은 11~1월, 옹포천은 9~10월에 최대값을 보였고. 생식소의 조직학적 관찰을 토대로, 각각의 하천에서 은어의 생식주기는 암컷의 경우, 성장기(3~10월), 성숙기(9~12월), 산란기(9~1월), 퇴행기(10~3)로 구분할 수 있었으나 옹포천의 경우 재산란 하기 위해 퇴행되는 난모세포들이 6월까지 관찰되었다. 수컷은 성장기(3~10월), 성숙기(7~12월), 방정기(9~1월), 퇴행기(11월 이후)로 구분할 수 있었다. 3개의 하천에서 성숙한 암컷의 포란수는 전장과 체중이 증가함에 따라 증가하였고, 최대 포란수는 각각 15 cm 이상인 개체에서 25,731(강정천), 17,462(연외천), 24,666(옹포)였다. 또한 부화자어는 강정천과 옹포천에서 10월부터 1월까지 관찰되었다. 이들 결과를 보아, 제주 하천에서 식하는 은어는 산란시기 동안에 주 산란시기는 10~11월이며, 다회 산란하는 종으로 사료된다.

VI. 참고문헌

- Billard, R., Fostier, A., Weli, C. and Breton, B. 1982. Endocrine control of spermatogenesis in teleost fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39, 65~79.
- Hoar, W. S. 1957. The gonads and reproduction. In “The Physiology of Fishes”(ed. M. E. Brown), Vol. 1, Academic Press, New York, pp. 287~321.
- Kishino, T. and Shinomiya, A. 2003. Upstream migration of Ryukyu-ayu *Plecoglossus altivelis ryukyuensis* in the Yakugachi River, Amami-oshima Island, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 69, 624-631. (In Japanese)
- Kishino, T. and Shinomiya, A. 2004. Appearance of upstream migration individuals of Ryukyu-ayu *Plecoglossus altivelis ryukyuensis* at the Kawauchi and Yakugachi River in Amami-oshima Island, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 70, 179-186. (In Japanese)
- Okabe, M., Seki, S., Nishiyama, M., Kuwahara, H., Saheki, A. and Yamaoka, K. 2003. Differences in temperature adaptability among three races of ayu *Plecoglossus altivelis* under the same raising condition. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 69, 717-725. (In Japanese)
- Shiraishi, Y. and Takeda, T. 1961. The influence of photoperiodicity on the maturation of ayu-fish, *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Fresh. Fisher. Reser. Lab.* 11, 69~82. (In Japanese)
- Shiraishi, Y. 1965a. The influence of photoperiodicity on the maturation of ayu-fish, *Plecoglossus altivelis*-II relation between the maturation and the day-length. *Bull. Fresh. Fisher. Reser. Lab.* 15, 59~68. (In Japanese)
- Shiraishi, Y. 1965b. The influence of photoperiodicity on the maturation of

- ayu-fish, *Plecoglossus altivelis*-III the limit of the intensity of light. Bull. Fresh. Fisher. Reser. Lab. 15, 69~76. (In Japanese)
- Shiraishi, Y. 1965c. The influence of photoperiodicity on the maturation of ayu-fish, *Plecoglossus altivelis*-IV the effect of wave length and of conversion of darkness and light on the maturation. Bull. Fresh. Fisher. Reser. Lab. 15, 77~84. (In Japanese)
- Shiraishi, Y. 1965d. The influence of photoperiodicity on the maturation of ayu-fish, *Plecoglossus altivelis*-V the effect of removal of eye on the maturation. Bull. Fresh. Fisher. Reser. Lab. 15, 85~90. (In Japanese)
- Shiraishi, Y. 1965e. The influence of photoperiodicity on the maturation of ayu-fish, *Plecoglossus altivelis*-VI the effect of change of day-length on the maturation. Bull. Fresh. Fisher. Reser. Lab. 15, 91~98. (In Japanese)
- Takahashi, I. and Niimi, K. 1998. Life history of ayu, *Plecoglossus altivelis*, in the Yahagi river-I spawning of ayu and downstream migration of their larvae. Yahagi river Research, 2, 225~245. (In Japanese)
- Takahashi, I. and Niimi, K. 1999. Life history of ayu, *Plecoglossus altivelis*, in the Yahagi river-II. Yahagi river Research, 3, 247~267. (In Japanese)
- Takahashi, I., Azuma, K., Hiraga, H. and Fujita, S. 1999. Different mortality in larval stage of ayu by *Plecoglossus altivelis* birth dates in the Shimanto Estuary and adjacent coastal waters. Fish. Sci. 65, 206-210.
- Takahashi, I., Azuma, K., Fujita, S., Kinoshita, I. and Hiraga, H. 2003. Annual changes in the hatching period of the dominant cohort of larval and juvenile ayu *Plecoglossus altivelis* in the Shimanto Estuary and adjacent coastal waters during 1986-2001. Fish. Sci. 69, 438-444.
- 강석중, 권혁추, 김대중, 김명희, 김 윤, 손영창, 여인규, 전중균, 한창희. 2004. 최신 어류생리학. 진솔서적. pp 158~166.

- 고명훈, 박종영, 이용주, 김익수. 2005. 옥정호에 서식하는 육봉형 은어 *Plecoglossus altivelis*의 생태학적 연구, 2005 한국어류학회 가을학술발표대회 논문요약문. 13~14.
- 김익수, 고명훈. 2004. 옥정호 유입하천에 서식하는 은어 *Plecoglossus altivelis*에 관한 연구, 2004 한국어류학회 가을학술발표대회 논문요약문. 100~101.
- 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 한국어류대도감. 교학사. pp. 151.
- 김을배. 1970. 제주도 및 낙동강산 은어군의 형태 측정학적 분석, 한국수산학회지. 3, 228~232.
- 김을배. 1974. 산란장에 있어서 은어 *Plecoglossus altivelis*의 식성과 난섭식에 대하여, 한국육수학회지. 7, 49~55.
- 김을배, 정상철. 1974. 강정천산 은어, *Plecoglossus altivelis*의 하계개체생산속도에 대하여, 한국수산학회지. 7, 195~203.
- 김을배, 정상철. 1976. 산란기를 전후한 천지천산 은어, *Plecoglossus altivelis*의 비만도와 체장 체중관계, 한국수산학회지. 9, 251~255.
- 서귀포시. 2005. 생태하천 서식어류 분포도 조사-용역 보고서.
- 이계안. 1999. 한국산 은어, *Plecoglossus altivelis*의 생물학적 특성 및 영양생리. 부경대학교 박사학위논문.
- 이우상, 구자현, 이철호. 1996. 광주기 처리에 의한 은어, *Plecoglossus altivelis*의 성장 및 성숙조절, 수진연구보고. 53, p. 31
- 이인균, 전상린, 변화근. 1999. 제주도산 담수어의 분포에 관하여. 상명대학교 자연과학 연구보고지. 1-28.
- 정문기, 1977. 한국어도보. 일지사, pp. 727
- 제주도민속자연사박물관. 1994. 제주도담수어류 연구조사보고서.
- 최광식, 노섬. 1998. 일본의 현대양식 기술. 구덕사, pp. 56-68.

감사의 글

대학을 들어와 1학년 여름 방학부터 석사4학기가 지난 지금까지 벌써 10년이
란 많은 시간이 흘렀습니다. 그 동안 너무나도 부족한 저를 뜨거운 열정과 따끔
한 꾸짖음으로 초심을 잃지 말고 항상 겸손하라고 지도해주신 이영돈 교수님, 감
사합니다, 그리고 건강하십시오. 이제 작은 결실을 맺고 새로운 출발을 준비하려
합니다. 앞으로 더욱 최선을 다하여 노력하며 항상 ‘초심’, ‘겸손’이라는 단어를 마
음에 새기고 의리를 지키며 정진하겠습니다.

이 조그만 결실을 맺도록 정성껏 다듬어주시고, 제자들을 위해 많은 조언을 해
주시는 이경준 교수님, 김기영 교수님 감사드립니다. 그리고 학부과정에서부터
지금까지도 제자들이 항상 똑바로 설 수 있게 충고를 아끼지 않으시는 최광식
교수님 감사드립니다. 그리고 정년퇴임이 얼마 남지 않으신 노섬 교수님, 관상어
사업이 잘 되시길 기원합니다. 그 동안 고생 많으셨습니다. 제자들을 위해 항상
예리한 질타를 아끼지 않으시는 정상철 교수님, 이기완 교수님 감사드립니다.

함덕 해양연구소에 머물면서 항상 많은 관심과 큰 도움을 주신 고성대 선생님,
강태연 선생님, 김봉길 선생님, 그리고 큰형님 같으신 변수철 선배님, 김선희님,
재호에게도 고마움을 전합니다.

석사과정에 들어오면서 물고기와 바다에 관해서 자세하게 조언해주시고, 실험
어 채집등 논문을 완성하는데 적지 않은 도움을 주신 김병직 박사님 감사합니다.
그리고 항상 정확하고 술선수범하시는 강도형, 박경일, 최영웅 선배님 감사합니
다.

어느덧 실험실에 몸을 담은지 10여년, 그 동안 친동생 이상으로 항상 관심을
보여 주시고 많은 조언을 아끼지 않으신 발생생물학실험실 선배님들 감사합니다.
영원한 보스, 김병호 형님과 나오수, 오성립, 김봉원, 고희진 형님과 서종표사장
님 부자 되십시오, 감사합니다. 먼 이국에서 공부하시며 항상 관심과 충고를 해
주시는 박용주 형님 고맙습니다. 실험실 후배들을 위해 항상 몸 바치시는 송영
보, 임봉수, 이치훈 형님, 감사합니다. 그리고 항상 바로 곁에서 때론 선배인양

이 부족함이 많은 선배를 위해 많은 도움을 주며, 잘 따라준 박창범 후배와 고범호, 진영석, 강지웅, 김삼연, 허상우 후배들께도 감사의 마음을 전합니다. 이제 석사과정과 실험실에 막 들어온 후배, 허성표, 류용운, 장민우, 이태진, 김강, 김현주 그리고 이권우, 최정훈, 김재형 후배들께도 그리고 먼 이국땅에서 석사과정에 들어온 히말리에께도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

힘들고 어려울때 곁에서 도와주고, 힘내라는 충고를 굳이 하지 않아도 마음으로 믿어주는 것으로 힘이 되는 든든한 친구들 박근남, 김관신, 오태진, 손성민 그리고 내 어릴적 친구들 강창현, 오성남, 강봉준에게 또한 감사하다는 말 전하고 싶습니다.

마지막으로 30여년 동안 많은 부족함이 있는 저를 항상 믿어주시고 뒷바라지 해주시며 끝없는 사랑으로 키워주신 어머니, 아버지 사랑합니다. 그리고 곁으론 강하고 마음은 부드러운 내유외강의 누님, 둘도 없는 막내 승준에게도 감사하고 사랑하다는 말을 전합니다.

이 조그만 결실을 마음속 모든 분들께 바칩니다. 감사합니다.

