

어천 용천수에 서식하는 연준모치 *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae)의 생태 특성¹

변화근^{2*}

Ecological Characteristics of *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae) at the Spring Water in Eocheon Stream, Korea¹

Hwa-Keun Byeon^{2*}

요약

어천 용천수에 서식하는 연준모치(*Phoxinus phoxinus*)의 생태적 특징을 연구를 위하여 2016년 1월부터 12월까지 조사를 실시하였다. 수온은 9.7~14.3℃로 연중 15℃ 이하를 유지하였다. 연준모치 공서종은 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*, 70.14%), 독중개(*Cottus koreanus*, 13.63%), 벵들치(*Rhynchocypris oxycephalus*, 3.16%), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*, 0.97%), 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 0.49%), 참중개(*Iksookimia koreensis*, 0.24%) 등 이었다. 암수의 성비는 1:0.86 이었고 전장이 30~50 mm 집단은 만1년생, 50~65 mm는 만 2년생, 65~75 mm는 만 3년생, 75 mm 이상은 만 4년생으로 추정되었다. 암컷은 전장의 길이가 50 mm 이상이, 수컷은 60 mm 이상이 되어야 성적 성숙이 이루어졌다. 산란시기는 4월부터 7월이었으며 산란 성기는 6월에서 7월 이었다. 산란시기의 수온은 12.3~14.3℃ 이었고 산란 성기는 13.8~14.3℃ 이었다. 포란수는 평균 508개로 이었고 성숙란은 노란색으로 구형이었고 직경은 1.58±0.13 mm 이었다. 전장-체중과의 상관관계식은 $BW=0.000007TL^{3.09}$ 로 상수 a는 0.000007를, 매개변수 b는 3.09 이었고, 비만도 평균 0.99(0.76~1.32) 이었다.

주요어: 공서어종, 산란시기, 성비, 포란수, 전장-체중 상관관계

ABSTRACT

We investigated the ecological characteristics of *Phoxinus phoxinus* in the spring water in Eocheon stream from January to December 2016. The water temperature was 9.7~14.3℃ and remained below 15℃ throughout the year. The fishes cohabiting with minnow were *Rhynchocypris kumgangensis* (70.14%), *Cottus koreanus* (13.63%), *Rhynchocypris oxycephalus* (3.16%), *Oncorhynchus mykiss* (0.97%), *Zacco koreanus* (0.49%), and *Iksookimia koreensis* (0.24%). The sex ratio of female to male was 1:0.86. The frequency analysis of total length indicated that the fishes with the total length of 30 - 50 mm were one year old, those of 50 - 65 mm were two years old, those of 65 - 75 mm were three years old, and those of 75 mm or more were four years old. The sexually mature fishes were 50 mm or longer for female and 60 mm or longer for male. The spawning season was from April to July, and the water temperature was 12.3 - 14.3℃ during the period. The prosperous spawning season

1 접수 2019년 4월 5일, 수정 (1차: 2019년 4월 19일), 게재확정 2019년 4월 30일
Received 5 April 2019; Revised (1st: 19 April 2019); Accepted 30 April 2019

2 서원대학교 생물교육과 교수 Dept. of Biology Education, Seowon Univ., Chungju(28674), Korea(cottus@seowon.ac.kr)

* 교신저자 Corresponding author(cottus@seowon.ac.kr)

was from June to July, and the water temperature was 13.8 - 14.3 °C during the period. The average number of eggs in the ovaries was 508 per matured female, and the matured eggs were yellowish and spherical with a mean diameter of 1.58±0.13 mm. The length-weight correlation of *P. phoxinus* was $BW=0.000007TL^{3.09}$ with the constant a as 0.000007 and the parameter b as 3.09. The condition factor (K) was 0.99 (0.76 - 1.32) in average.

KEY WORDS: COHABITATION FISHES, SPAWING SEASON, SEX RATIO, NUMBER OF IN THE OVARY, LENGTH-WEIGHT RELATION

서론

연준모치는(*Phoxinus phoxinus*)는 잉어과(Cyprinidae) 황어아과(Leuciscinae) 연준모치속(*Phoxinus*)에 속하는 어종이다. 연준모치는 Linnaeu가 1758년에 신종으로 기재한 종으로(Linnaeu, 1758) 분포 범위가 매우 넓어 Berg (1949)는 3개의 아종으로 구분하였으며 한국산 표본은 미병장에 대한 미병고의 백분비가 36.2~42.6%로 *Phoxinus p. phoxinus*로 분류하였다. 연준모치는 Eurasia 대륙의 북부에 널리 분포하며(Gunther, 1963) 유럽, 시베리아, 중국, 한국 등에 분포하는 북방 계통의 어류로 우리나라 분포역은 연준모치 분포의 최남한지에 해당되므로 동물지리적 분포의 입장에서 볼 때 중요한 의미가 있다(Kim, 1997). Howes (1985)는 *Phoxinus* 속과 관련된 근연 속에 관하여 정리하였으며 국내에 분포에 관해서는 Uchida (1939), Mori (1952), Chyung (1977), Choi *et al.* (1990), Kim (1997) 등의 보고가 있었으며 본 종의 학명을 *Phoxinus phoxinus*로 적용하였다. Jeon (1989)은 국내에는 분포하는 버들치속(*Rhynchocypris*)과 연준모치의 분포, 형태적 특징을 기준으로 분류학적 검토를 하였으며 남한강 상류와 삼척오십천에 매우 제한적이고 소규모로 분포한다고 하였다. 국내에서는 여름에 수온이 낮은 최상류역에 국한된 지역에 제한적으로 분포하나(Uchida, 1939; Kim, 1997; Jeon, 1989; Baek *et al.*, 2002; Song and Son, 2002) 유럽에서는 하천 전역과 호수 등에도 서식하는 것으로 보고되어 있다(Mills, 1987; Peter *et al.*, 1992).

국내에 서식하는 연준모치에 대한 분자생물학적 연구로 Kim *et al.* (1985)과 Min *et al.*(1995)에 의해 이루어졌으며 Lee *et al.*(1986)은 핵형분석을 하였다. 광범위하게 다량으로 분포하는 유럽에서는 생태적 연구가 많이 이루어진 상태(Frost, 1943; Wotton and Mills, 1979; Rasotto *et al.*, 1987. Mills, 1987, 1988; Garner, 1997)이나 국내에서는 미소소식지와 먹이생물(Baek *et al.*, 2002), 성숙 및 생식생태(Song and Son, 2002) 이외에는 생태에 관한 연구가 없다. 어류의 서식지 환경과 개체군 생태에 관한 연구는 종의 생활사와 생태적 특징을 이해하고 더불어 다양한 생물학적 지식을 축적할 수 있다. 이를 토대로 개체군 보호 및 어족자

원을 고려한 하천관리에 필요한 기초자료로 이용될 수 있다. 최근 들어 하천정비와 수질오염, 기후온난화에 따른 수온 상승, 서식지 파괴 등으로 인해 분포역과 개체수가 급격히 감소하여 2017년에 환경부에서 멸종위기 야생생물 II급(ME, 2017)으로 지정하여 관리하고 있다. 국내에서 냉수성인 연준모치는 여름철 수온이 20°C 이하를 유지 하는 최상류역이나 복류되는 하천에서 물이 솟아나는 부분이 서식지이며 용천수에서의 생태적인 연구는 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 복류 하천 중 물이 솟아나는 용천수에서 서식지 수환경, 공서어종, 산란시기, 포란수와 난의 크기, 성장도, 전장-체중 상관관계 등 생태적 특징을 밝혀 본 종의 자원 증식과 보전을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

연구방법

1. 조사지점 및 시기

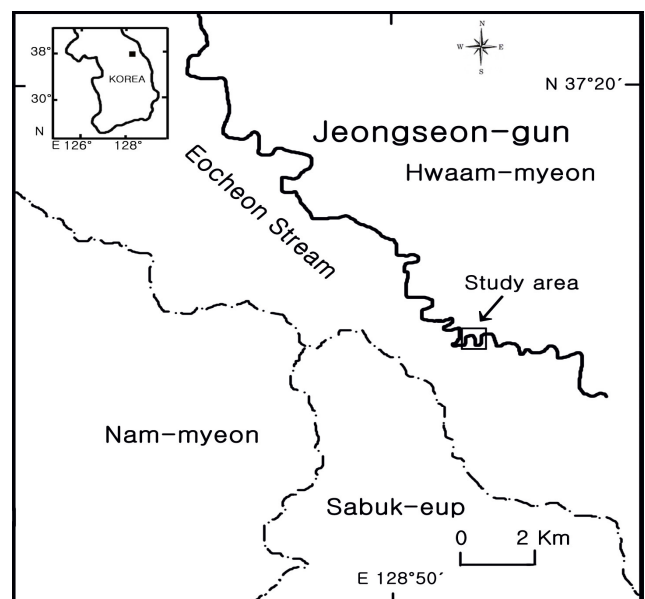


Figure 1. Map showing the sampling station of *Phoxinus phoxinus* at the spring water in Eocheon Stream.

본 연구는 연준모치가 환경부 멸종위기 야생생물 II 급으로 지정되기 이전인 2016년 1월부터 2016년 12월까지 강원도 정선군 화암면 호촌리에서 실시 하였다(Figure 1). 조사 수역은 남한강 어천 상류역에 위치한 수역으로 하천 상류역이며 석회암 지대로 물이 복류되는 구간은 건천화되어 있었고 본 조사 지역에서 썩이 솟아 용천수가 발생하였다.

2. 채집 및 동정

어류의 채집은 투망(망목, 7×7 mm), 족대(망목, 5×5 mm) 등을 사용하였고, 연준모치와 공서종의 종 동정은 Kim (1997)과 Kim *et al.* (2005) 등의 검색표를 이용하였다. 채집된 표본들은 현장에서 10% formalin에 고정하였다.

3. 서식지의 수환경

이화학적 환경요인의 조사를 위하여 유속, 수심, 하상구조 등의 물리적 환경요인과 기온과 수온, 용존산소(dissolved oxygen, DO), 전기전도도(electrical conductivity, EC), 수소이온농도(pH) 등의 화학적 환경요인을 측정하였다. 유속과 수심은 디지털유속계(FP-211)를 사용하여 측정하였고, 하상구조는 Cummins (1962)에 의거하여 현장에서 육안으로 관찰하였다. 기온과 수온의 측정은 봉상 알콜 온도계를 사용하였고, DO, EC, pH는 수질측정기(LUTRON, WA-2017SD)를 이용하여 측정하였다. 모든 측정은 매일 20~25 일 15시를 기준으로 실시하였다.

4. 성비와 산란시기 추정

매일 채집한 전 개체를 해부 후 생식소를 확인하여 암·수를 구분하였다. 체중(Weight, W)과 생식소의 무게(Gonad weight, G_w)는 전자저울을 이용하여 0.01 g 단위까지 측정하여 생식소 중량지수(Gonadosomatic index (%))=G_w/W×100, GSI)를 구하여 산란시기를 추정하였다(Miller, 1986). 성적으로 성숙하여 생식이 가능한 전장 범위의 조사를 위하여 생식소 중량지수가 가장 높은 달인 4~6월에 채집한 개체의 체장을 1/20 mm vernier calipers를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였다.

5. 포란수 및 성숙난의 크기

포란수(clutch size)를 조사하기 위하여 생식소 중량지수가 가장 높은 달인 6월에 채집한 표본 중 생식소 지수가 8.0% 이상이고 체장이 60 mm 이상인 10개체를 선택하여 난의 수를 계수하였다. 성숙난의 직경은 1/20 mm vernier calipers를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였다.

6. 성장도 및 연령추정

본 종의 성장도 및 연령추정을 위하여 산란 성기로 추정되는 4~5월에 채집한 전 개체의 전장(Total length, T_L)을 1/20 mm vernier calipers를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였고, Peterson method (Bagenal, 1978)에 의한 전장빈도분포(Total length frequency distribution)를 이용하였다.

7. 전장-체중 상관관계 및 비만도 지수

주어진 환경의 차이에 따른 연준모치의 생육상태와 생식능력 정도를 파악하기 위해 전장-체중과의 상관관계(Total length-Weight relationship)와 비만도 지수(condition factor, K)를 산란시기인 4~6월에 채집된 개체를 대상으로 조사하였다. 전장-체중과의 관계는 Anderson and Gutreuter (1983)을 ($W=aT_L^b$ (W : Weight, T_L : Total length, a, b : parameter)), 비만도 지수는 Anderson and Neumann (1996)을 ($K=W/T_L^3 \times 10^5$ (W : Weight, T_L : Total length)) 따랐다.

결과 및 고찰

1. 서식지 환경

어천은 지방하천을 유로 연장이 41 km이며 강원도 정선군 애산리에서 남한강으로 합류된다(Kwater, 2007). 상류역은 복류하천으로 평상 시에는 물이 하천 바닥으로 스며들어 건천화되어 있고 복류가 끝나는 지점에서 용승류가 발생한다. 용천수는 수온이 연중 큰 변화가 없이 일정하며 투명도가 매우 높아 맑은 상태를 유지하며 용승류 발생 지점에는 소가 형성되어 있고 하방으로 급여울이 발달되어 있었다. 조사 지점의 하폭은 20~60 m, 유폭은 5~20 m로 하천 우안으로 도로가 위치하고 있었다. 용승류가 솟아나는 지점은 유폭이 넓고(20 m) 수심이 깊은(2 m) 웅덩이가 형성되어 있으며 하방으로 수심이 30 cm 이내로 얕았고, 유속이 빠른 급여울이 발달되어 있어 수심은 0.3~1.5 m 이었다. 하상구조는 바위(boulder), 큰돌(cobble), 조약돌(pebble), 자갈(gravel)로 구성되어 있었으며 모래(sand)는 분포하지 않았다. 여울부에는 바위와 큰돌이 풍부하였고 소 부위에는 자갈과 조약돌이 풍부하였다(Table 1). 유속은 0.24~1.28 m/sec로 용천수가 흘러나오는 곳은 수심이 깊은 소를 형성하고 평균 유속이 0.36±0.1 m/sec로 느렸으며 소와 이어지는 하방은 급여울을 형성하며 평균 유속이 1.18±0.1 m/sec로 매우 빨랐다. 연준모치는 급여울 보다는 소를 중심으로 다량 서식하고 있었다.

Table 1. The environmental conditions at the studied in Eocheon Stream, from January to December 2016

Stream width (m)	Water width (m)	Water depth (m)	Stream velocity (m/sec)	Stream type
20 ~ 60	5 ~ 20	0.3 ~ 2.0	1.24 ~ 0.28	Riffle, Pool
Bottom structure (%)**				
B	C	P	G	S
40	20	10	30	0

*Cummins (1962) : B(boulder, >256 mm), C(cobble, 256~64 mm), P(pebble, 64~16 mm), G(gravel, 16~2 mm), S(sand, 0.1~2 mm)

2016년 1월부터 12월까지의 기온과 수온의 월 변화는 Figure 2와 같다. 기온은 1월에 최저로 -5.7℃ 이었고 이후 지속적으로 상승하여 8월에 32.1℃까지 상승한 후 다시 감소하였다. 수온은 1월에 9.7℃로 최저를 나타내었고 이후 상승하기는 시작하여 7월 말에 최고인 14.3℃에 도달한 이후 다시 감소하였다. 수온은 9.7~14.3℃로 변화폭이 매우 적고 연중 15℃ 이하를 유지하였는데 이는 지하에 스며들었던 물이 분출하는 용천수이기 때문에 수온 변화가 매우 적었다. 남한강 지류인 동대천 상류역 연준모치 서식지에서는 1월에 2.0℃ 이었고 8월에는 20.0℃ 상승하여 계절적 변화가 뚜렷하였으나(Song and Son, 2002) 본 조사수역은 이에 비해 겨울에 수온이 매우 높았고 여름에는 수온이 매우 낮은 상태를 유지하여 수온의 변화폭이 매우 적어 계절적 변화가 거의 없었다. 유럽에 서식하는 연준모치는 용존산소가 매우 높고 수온이 12~20℃인 수역에 서식하므로(Mills, 1987; Kottelat and Freyhof, 2007) 남한강 상류에 서식하는 수온과 조건과 다소 유사하였다. 용존산소(DO)는 10.7~16.2 mg/L로 연중 매우 높은 상태를 유지하였는데 이는 수질이 양호하고 수온이 낮은 원인으로 생각된다. 수소이온농도(pH)는 6.3~7.8로 월별 계절별 변화가 크지 않았으며 어류의 서식에 적합한 범위(pH 6~8)를 나타내었다.

전기전도도(EC)는 276~406 μmhos/cm으로 다소 높았는데 이는 주변지역이 석회암지역으로 무기이온이 다량으로 용출된 원인으로 판단된다(Figure 2).

2. 공서어종

2016년 4~5월 어천 상류역 용천수에 서식하는 연준모치 공서어종은 총 4과 7종 411개체가 채집되었다(Table 2). 공서어종을 분류군(Family)별로 살펴보면 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 어류가 3종(48.9%)으로 가장 다양하였고, 미꾸리과(Cobitidae), 연어과(Salmonidae), 독중개과(Cottidae)에 각각 1종(14.3%)이 출현하였다. 잉어과에 속하는 어류가 풍부하였는데 이는 한반도의 서해와 남해로 유입되는 하천에서 볼 수 있는 담수어류상의 공통된 특징과 일치하였다(Jeon, 1980). 총 7종의 담수어류 중에서 한국고유종은 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 참중개(*Iksookimia koreensis*), 독중개(*Cottus koreanus*) 등 4종으로 고유종 빈도는 57.14%로 나타났다. 한반도 평균 고유종 빈도인 22.5%(Nam, 1996) 보다 높게 나타났다.

조사된 담수어류의 상대풍부도(Relative abundance)를 살펴

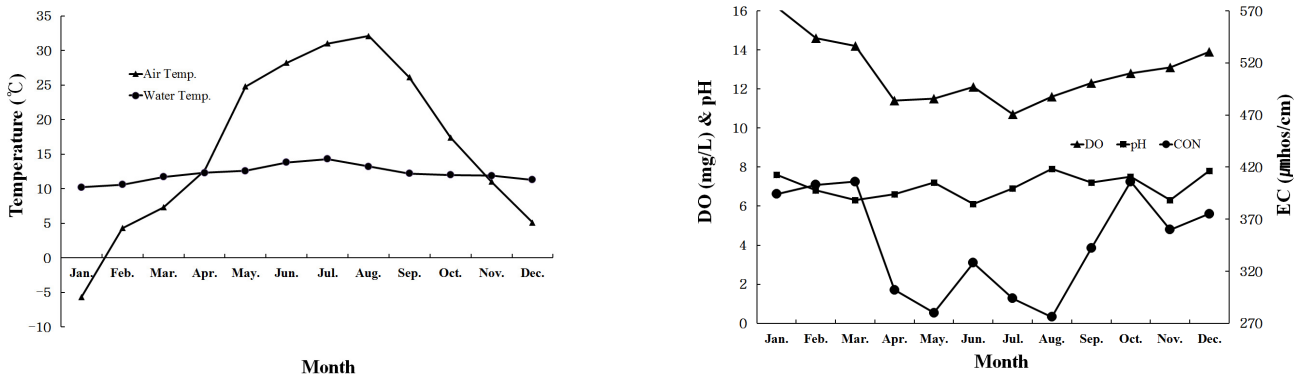


Figure 2. Monthly changes of the air and water temperature, DO, EC (CON) and pH at the spring water in Eocheon Stream, from January to December 2016.

Table 2. The list and individual number of cohabitation fishes of *Phoxinus phoxinus* at the spring water in Eocheon Stream

Species	Individual number	Relative abundance(%)
Cyprinidae (잉어과)		
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (버들치)	13	3.16
※ <i>Rhynchocypris kumgangensis</i> (금강모치)	198	48.18
<i>Phoxinus phoxinus</i> (연준모치)	137	33.33
※ <i>Zacco koreanus</i> (참갈겨니)	2	0.49
Cobitidae (미꾸리과)		
※ <i>Iksookimia koreensis</i> (참종개)	1	0.24
Salmonidae(연어과)		
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (무지개송어)	4	0.97
Cottidae (독중개과)		
※ <i>Cottus koreanus</i> (독중개)	56	13.63

※ : Endemic species of Korea

보면 금강모치가 70.14%로 가장 풍부하였으며, 그 다음으로 연준모치(33.33%), 독중개(13.63%), 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*, 3.16%), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*, 0.97%), 참갈겨니(0.49%), 참종개(0.24%) 등으로 무지개송어, 참갈겨니, 참종개 등은 1% 미만으로 매우 희소하였다. 연준모치 서식지에서 공서어종에 대해 Song and Son (2002)은 총 6과 12종이 출현하였다고 보고되어 있다. 이에 비해 본 조사 수역에서는 공서어종이 매우 빈약하였는데 본 조사 수역은 용천수로 수온이 매우 낮아 대부분의 어종은 서식지로

적합하지 않았고 일부 어종만 서식이 가능하였기 때문인 것으로 생각된다. 금강모치, 독중개와 높은 공서율 보이는 것은 Song and Son (2002)의 결과와 일치하였다. 용천수에서 연준모치가 금강모치, 독중개와 높은 공서율을 보이는 것은 이들 어종이 모두 여름에 수온이 낮은 수역을 선호하기 때문인 것으로 판단된다.

Table 3. The number of sex ratio of *Phoxinus phoxinus* at the spring water in Eocheon Stream

Month	Female	Male	Sex ratio	X ²
Jan.	16	15	1 : 0.94	0.03
Feb.	23	18	1 : 0.78	0.61
Mar.	30	26	1 : 0.87	0.29
Apr.	22	17	1 : 0.77	0.64
May	33	25	1 : 0.76	1.10
Jun.	31	27	1 : 0.87	0.28
Jul.	21	16	1 : 0.76	0.68
Aug.	26	25	1 : 0.96	0.02
Sep.	22	17	1 : 0.77	0.64
Oct.	32	29	1 : 0.91	0.15
Nov.	42	40	1 : 0.95	0.05
Dec.	18	16	1 : 0.89	0.12
Total	316	271	1 : 0.86	3.45

3. 성비

암·수 구분은 성적 성숙이 이루어지는 만 1년생 이상의 개체에서 수컷은 혼인색과 생식적돌기가 발달되어 쉽게 구분되며 해부하여 정소와 난소를 확인한 후 구별하였다. 조사 기간 동안 암컷은 316개체, 수컷은 271개체로 성비 (female:male)는 1:0.86로 암컷이 다소 많았다(Table 3). 남한강 상류에 서식하는 연준모치 개체군에 있어 1:0.85로 암컷이 우세하다는 Song and Son (2002)의 보고와 일치하였다. 용천수에 서식하는 개체군과 하천 상류역에 서식하는 연준모치의 암수 구성비는 동일하였다.

4. 성장도 및 연령추정

산란시기에 채집된 개체의 전장을 측정하여 Peterson method (Bagenal, 1978)에 의한 전장빈도분포(Total length frequency distribution)를 이용하여 성장도와 연령을 추정하였다. 전장은 30.1~83.4 mm 이었으며 전장빈도분포에 있어 4개의 무리로 나누어지며 전장이 30~50 mm 집단은 만1년생, 50~65 mm는 만 2년생, 65~75 mm는 만 3년생, 75 mm 이상은 만 4년생으로 추정되었다(Figure 3). 유럽산 연준모치는 전장이 보통 70 mm이고 최대 140 mm까지 성장하며 낮에 먹이활동을 하며(Kottelat and Freyhof, 2007), 국내에 서식하는 연준모치 집단에 비해 크기가 큰 것이 특징 이다.

유럽에서 연준모치 분포포역은 국내 보다 위도가 높고 수온 높아 먹이활동이 왕성한 시기인 여름에 낮의 길이가 국내 보다 길다. 따라서 여름에 먹이 활동 시간이 길어 성장에 보다 긍정적인 요인으로 작용한 것으로 생각된다. 남한강 상류에 서식하는 집단은 40~65 mm이 만 1년생, 65~85 mm은 만 2년생, 85 mm 이상은 만 3년생으로 성장하는 것으로 알려져 있다(Song and Son, 2002). 암·수의 성장도 차이가 없는 점은 Song and Son (2002) 일치하였고 남한강 상류 용천수에 서식하는 집단은 유럽산과 남한강 상류역 하천에 서식하는 집단에 비해 성장도가 낮았다. 남한강 상류역 용천수는 여름인 7월과 8월에 15℃ 이하를 유지하였으나 유럽의 서식지와 남강한 상류역에서는 20℃에 달하였다. 용천수에서 성장도가 낮았던 것은 여름에 서식지 수온이 낮아 생리적 활성을 저해하여 성장에 영향을 미친 것으로 생각된다.

5. 성적 성숙 연령 및 생식가능 전장범위

성적 성숙 연령 및 생식가능 전장범위를 확인하기 위해 산란시기 중 생식소 중량지수(GSI)의 평균지수가 높은 4~6월에 채집된 개체를 대상으로 하였고 전장별 생식소 중량지수를 비교하였다. 생식소 중량지수는 암컷(n=91)이 5% 이상을 넘는 개체에서 성숙난이 확인되었고 수컷(n=67)은 1.0% 이상이 되어야 정소가 성숙하여 혼인색과 추성이 나타났다. 생식가능 전장의 범위는 암컷이 53.3 mm(생식소

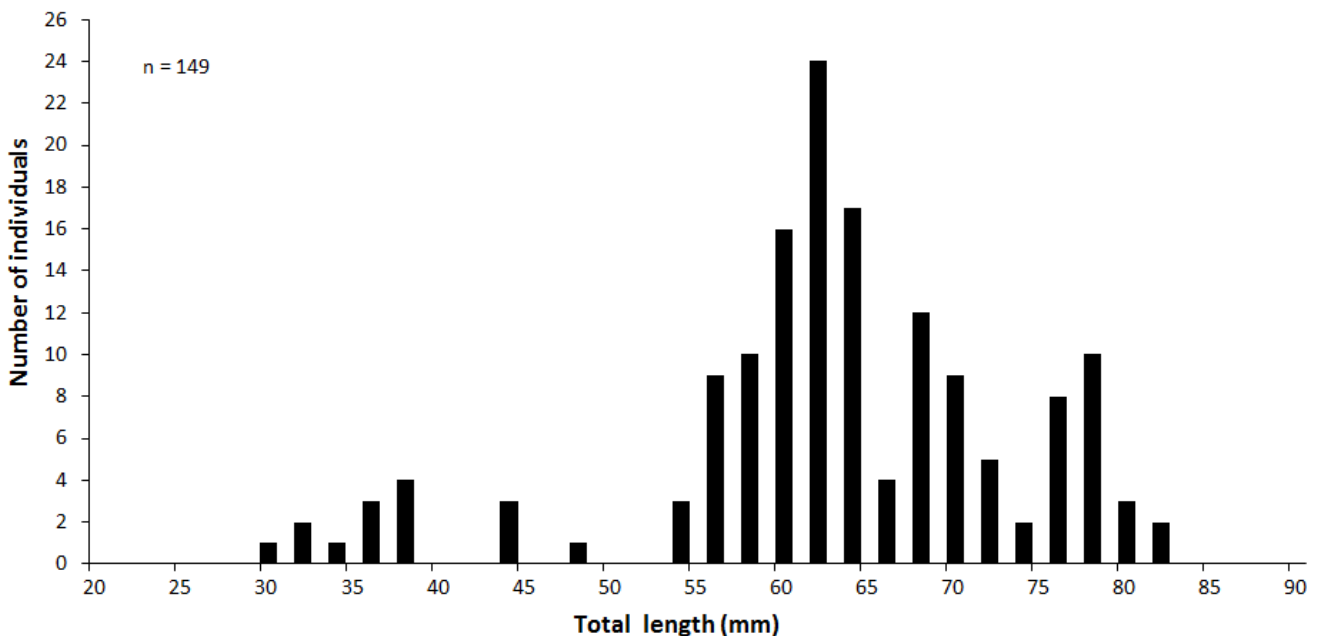


Figure 3. Length frequency distributions of *Phoxinus phoxinus* at the spring water in Eocheon Stream, from January to December 2016.

지수 9.55%) 이상, 수컷은 61.0 mm(생식소 지수 2.45%)로 나타나 암컷은 전장이 50 mm 이상, 수컷은 60 mm 이상이 되어야 성적 성숙이 이루어졌다(Figure 4). 전장빈도분포로 추정된 연령에 근거하여 만 2년생(50~65 mm)부터 성적 성숙이 이루어졌으며 암컷은 만 2년생 모든 개체에서 성적 성숙이 이루어진 반면 수컷은 크기가 큰 일부 개체에서만 성적 성숙이 이루어져 암컷에 비해 성적 성숙이 다소 늦게 이루어졌다. 암컷과 수컷 모두 전장이 50 mm 이상이 되면 성적 성숙이 이루어지며 산란에 참여 한다는 Song and Son (2002)의 결과에 비해 본 조사수역에서는 수컷이 보다 전장이 큰 상태에서 성적 성숙이 이루어지고 있었다. 수컷의 성적 성숙이 늦어진 원인에 대해서 추후 연구가 더 필요한 것으로 생각된다.

6. 산란시기 추정

연준모치의 산란시기를 알아보기 위하여 매월(20~25일) 채집된 표본을 대상으로 평균 생식소 중량지수를 조사하였다(Figure 5). 암·수가 모두 3월부터 급격히 증가하여 4월에 암컷은 13.33%, 수컷은 5.43%로 가장 높았으며 점진적으로 감소하며 7월 말까지 높은 수치를 유지하다가 8월에 급격히 감소하기 시작하며 9월에 최저를 나타내었다. 따라서 본 조사 수역에서는 산란이 4월 말부터 시작되어 7월 말에 끝났으며 산란 성기는 6월에서 7월로 이었다. 산란시기의

수온은 12.3~14.3℃ 이었고 산란 성기인 6~7월의 수온은 13.8~14.3℃ 이었다. 4월과 5월에는 전장이 큰 일부 개체가 산란을 하였으며 6월과 7월에는 전장이 작은 만 2년생 개체를 중심으로 산란을 하였다. 전장이 작은 개체는 4월과 5월 까지 성장한 후 성적 성숙이 이루어졌으며 전장이 60 mm 이하 일부 개체는 8월에 성숙란을 보유하고 있었다. 수온이 낮고 변동이 심하지 않은 용천수에서는 산란기간이 길었으며 수온이 최대로 상승하는 7월(14.3℃)에 산란이 많이 이루어지고 있었다. 수컷은 8월까지 일부 개체에 있어 혼인색과 추성을 유지하고 있었다. Kim (1997)은 산란시기를 4월로 추정하였고 남한강 상류에 서식하는 집단의 산란성기는 4월초(수온 10~12℃)이며 5월에는 생식소 지수가 급격히 감소한 상태로 기록되어 있다(Song and Son, 2002). 유럽산 연준모치는 산란성기 이후 어린 개체의 극히 일부가 6, 7, 8월에 후기산란을 하는 경우가 있는 것으로 보고되어 있다(Mills, 1987, 1988). 본 조사 수역에서는 산란 시기가 길었고 산란성기 또한 6~7월로 늦었으며 각 개체당 산란은 한 번에 이루어졌다. 용천수의 경우 여름에도 수온이 급격히 상승하지 않아 산란에 적합한 수온을 오래 동안 유지하고 있는 수환경 특성에 따라 성장을 하면서 일부 개체는 늦게까지 산란을 하는 것으로 판단된다. 유럽에서의 산란시기의 수온은 18℃로 국내 보다 높은 수온에서 산란을 하고 있었다(Kottelat and Freyhof, 2007).

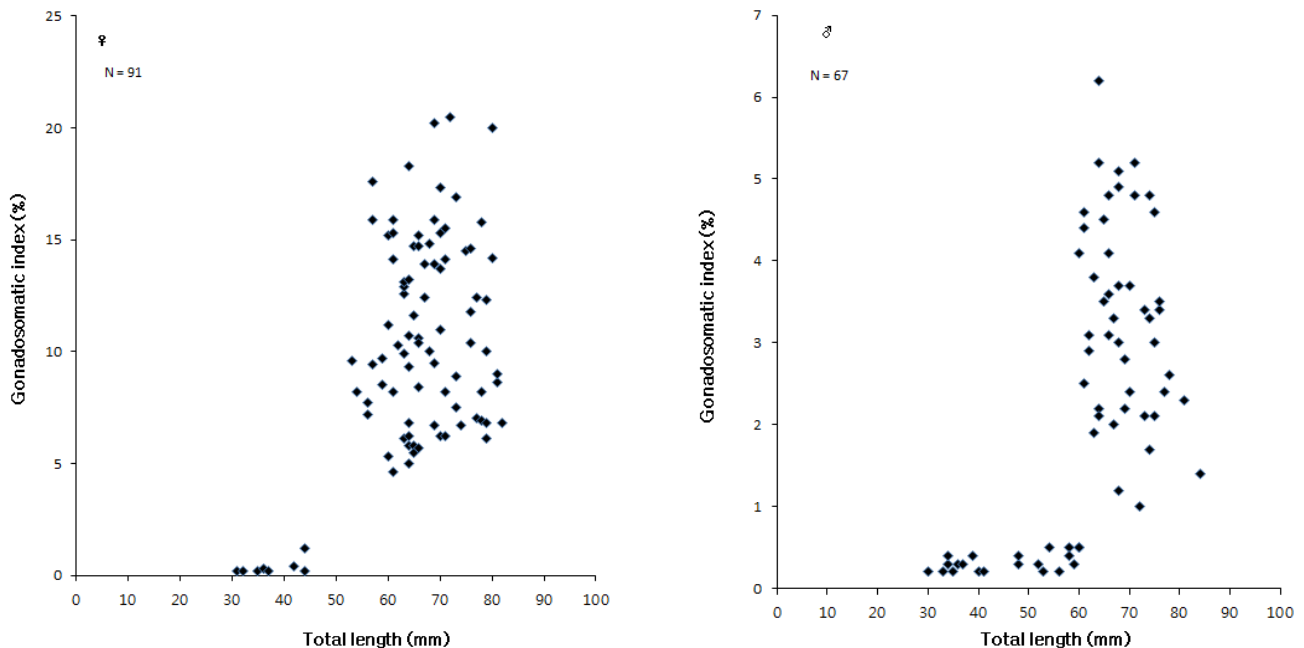


Figure 4. Change of gonadosomatic index with increasing of total length of *Phoxinus phoxinus* at the spring water in Eocheon Stream, from April to June 2016.

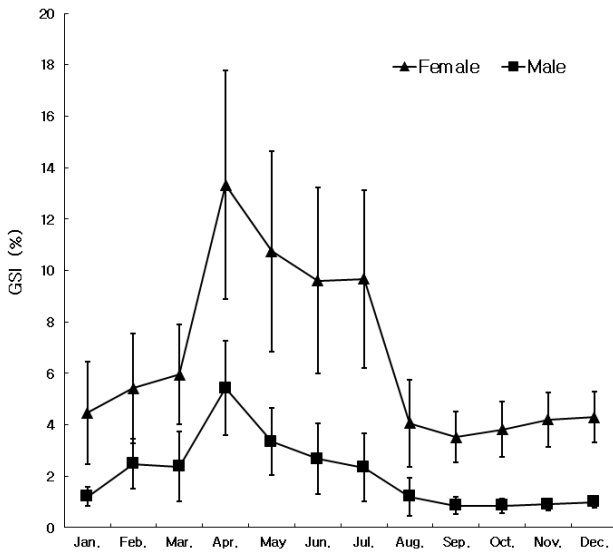


Figure 5. Monthly change of gonadosomatic index (GSI) of *Phoxinus phoxinus* at the spring water in Eocheon Stream from January to December 2016.

7. 포란수 및 성숙난의 크기

포란수와 성숙난의 크기를 조사하기 위하여 생식소 중량 지수가 가장 높은 4월에 채집된 암컷($n=10$)을 대상으로 조사하였다. 암컷 전장의 범위는 61.2~79.5 mm 이었으며, 포란수는 236~787개로 평균 508개이었다(Table 4). 전장과 체중이 증가할수록 포란수가 증가하였다. 성숙란은 노란색을 띠고 구형으로 크기는 평균 직경이 1.58 ± 0.13 mm 이었다.

남한강 상류에 서식하는 연준모치의 포란수는 평균 1,280개로 본 조사 수역 보다 많았다(Song and Son, 2002). 본 조사 수역은 수온이 낮게 유지되어 먹이 활동과 성장에 악영향을 미쳐 생식능력이 저하된 것으로 생각된다.

8. 전장-체중의 상관관계 및 비만도 지수

어류의 전장과 체중을 활용한 연구는 개체군의 변화, 어류자원의 관리, 건강성 등의 연구분야에서 폭넓게 이용되고 있다(Ecoutin *et al.* 2005; Nowak *et al.* 2009). 연준모치의 생육상태와 생식능력 정도를 파악하기 위해 산란시기인 4~6월에 채집된 개체를 대상으로 전장-체중과의 상관관계와 비만도 지수를 조사하였다. 전장-체중과의 상관관계식은 $BW=0.000007TL^{3.09}$ 로 상수 a는 0.000007를, 매개변수 b는 3.09 이었다(Figure 6). 일반적으로 매개변수 b가 3.0 보다 작으면 길이의 증가만큼 개체가 비대하지 않으며 영양상태가 좋지 않음을 의미하고 3.0 보다 크면 반대로 길이에 비해 비대하다는 것을 뜻하는 경우이다. 어천 용천수에 서식하는 연준모치는 길이가 성장에 비해 체중이 증가가 높았다. 비만도 지수는 전장-체중의 상관관계에서 a와 b 보다 좀 더 쉽게 설명되고 비교되는데 분석결과 평균 $K=0.99(0.76\sim1.32)$ 이었고 기울기(Slope)에서 0.0015로 양의 값을 나타내어 개체의 길이가 커질수록 비만도는 증가하였다(Figure 7). 연준모치에 대한 전장-체중의 상관관계와 비만도에 대한 기존 자료가 없어 비교분석이 불가능 하였으며 근연종인 금강모치는 남한강 상류 봉산천에서 $BW=0.000004TL^{3.21}$ 로 비만도 기울기는 0.0033, 태화강 상류에서는 $BW=0.000002TL^{3.44}$ 로 비만도 기울기는 0.000002(Lee *et al.*, 2008; Byeon, 2016) 등으로 양의 상관관계로 나타나 연준모치와 유사하

Table 4. The Number of eggs from ovaries of *Phoxinus phoxinus* at the Eocheon Stream in June 2016

No.	Total length (mm)	Weigth(g)	GSI (%)	Egg number
1	61.2	2.36	15.25	236
2	64.4	3.01	12.94	349
3	66.2	2.88	10.84	332
4	68.2	3.38	11.54	456
5	68.4	3.46	10.4	462
6	70.9	5.49	10.6	586
7	73.6	3.94	9.85	574
8	75.2	4.02	8.97	682
9	76.5	4.21	8.49	618
10	79.5	4.80	12.29	787
Average				508

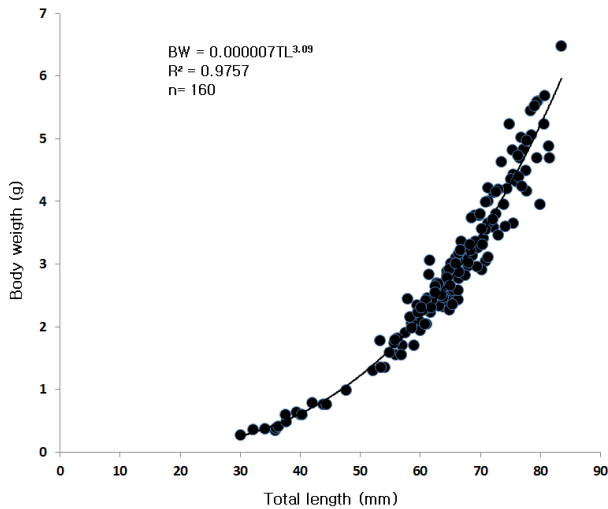


Figure 6. Total length-weight relationship of *Phoxinus phoxinus* in the Eocheon Stream.

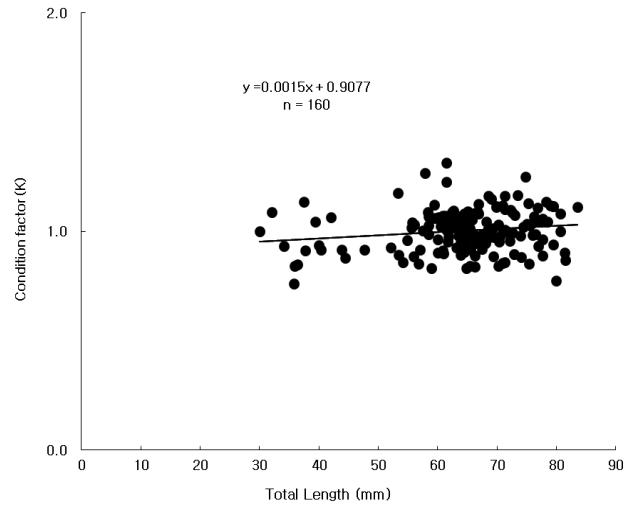


Figure 7. Condition factor (K) of *Phoxinus phoxinus* in the Eocheon Stream.

였다. 본 연구장소는 수온이 연중 15℃ 이하를 유지하고 있는 용천수로 기후온난화로 수온이 상승하는 직접적인 영향을 받고 있지 않아 냉수성 어종인 연준모치 개체군이 지속적으로 서식할 수 있는 최적지의 수환경을 유지하고 있다. 따라서 본 서식지를 보전하기 위해서는 주변지역의 지하수 개발을 금지하고, 상류역을 중심으로 수로와 유로를 변경하는 하천정비 사업을 억제하여야 한다.

REFERENCES

- Anderson, R.O. and R.M. Neumann(1996) Length, weight and associated structural indices. Pages 447-482 in B.R. Murphy and D.W. Willis, editor. Fisheries Techniques, 2nd edition. American, pp. 447-482.
- Anderson, R.O. and S.J. Gutreuter(1983) Length weight and associated structural indices. L. A. Johnson. Fisheries techniques. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland, pp. 283-300.
- Baek, H.M, H.B. Song, H.S. Sim, Y.G. Kim and O.K. Kwon(2002) Habitat segregation and prey selectivity on Cohabitation fishes, *Phoxinus phoxinus* and *Rhynchocypris kumgangensis*. Korean J. Ichthyol. 14(2): 121-131. (in Korean with English abstract)
- Bagenal, T.(1978) Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. Blackwell Scientific, pp. 48-116.
- Berg, L.S.(1949) Freshwater fishes of the USSR and adjacent countries III. Guide Fauna U.S.R. Nors. 30: 929-1382. (in Russian)
- Byeon, H.K.(2016) The first record on the *Rhynchocypris kumgangensis* from Taehwa River, Korea. Kor. J. Env. Eco. 30(4): 745-750. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.C., S.S. Choi and Y.P. Hong(1990) On the microdistribution of freshwater fish. *Coreoleuciscus splendidus* (Gobioninae) from Korea. Korean J. Ichthyol. 2(1): 63-76. (in Korean with English abstract)
- Chyung, M.K.(1977) The fishes of Korea. Iijisa, Seoul. 727pp. (in Korean)
- Cummins, K.W.(1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. The American Midland Naturalist 67: 477-504.
- Ecoutin, J.M., J.J. Albert and S. Trape(2005) Length-weight relationships for fish populations of a relatively undisturbed tropical estuary: The Gambia. Fisheries Research 72: 347-351.
- Frost, W.E.(1943) The natural history of the minnow, *Phoxinus phoxinus*. J. anim. Ecol., 12: 139-162.
- Garner, P.(1997) Effects of variable discharge on the velocity use and shoaling behaviour of *Phoxinus phoxinus*. J. of Fish Biol. 50: 1214-1220.
- Gunther, S.(1963) Freshwater fishes of the world. Viking Press Inc., New York, 425pp.
- Howes, G.J.(1985) A revised synonymy of the minnow genus *Phoxinus* Rafinesque, 1820 (Teleostei: Cyprinidae) with comments on its relationships and distribution. Bull. Br. Mus. Zool. V. 48(1): 57-74.
- Jeon, S.R.(1980) Studies on the distribution of fresh-water fishes

- from Korea. Doctoral thesis of Chungang University, pp. 14-49. (in Korean with English abstract)
- Jeon, S.R.(1989) Studies on the key and distribution of the genus *Tribolodon*, *Phoxinus* and *Moroco* (Pisces : Leuciscinae) from Korea. J. Basic Science. 3: 17-36. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S.(1997) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education, 518pp. (in Korean)
- Kim, I.S., G.Y. Lee and S.Y. Yang(1985) Systematic study of subfamily Leuciscinae (Cyprinidae) from Korea. Bull. Korea Fish. Soc. 18(4): 381-400. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim(2005) Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-Hak, 615pp. (in Korean)
- Kottelat, M. and J. Freyhof(2007) Handbook of european freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin, 646pp.
- Kwater(2007) A guidebook of river in South Korea. Kwater, Daejeon, 582pp. (in Korean)
- Lee, G.Y., S.I. Jang and M.J. Yun(1986) Karyotypes of nine species in the family Cyprinidae fishes from Korea. Korean J. Limnol. 19: 59-69. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.Y., J.S. Choi, J.K. Kim, Y.S. Jang, K.Y. Lee and B.C. Kim(2008) Ecological Effects of Kumgang fat minnow (*Rhynchocypris kumgangensis*) on Turbid Water. Korean J. Env. Eco. 22(2): 184-191. (in Korean with English abstract)
- Linnaeus, C.(1758) Systema Naturae, Ed. X. 1. Laurentii Salvius, Stockholm, 824pp.
- ME(Ministry of Environment)(2017) Conservation and management laws of wildlife (Law No. 737). (in Korean)
- Miller, P.J.(1986) Reproductive biology and systematic problems in Gbioidei fishes. Indo-Pacific Fish Biology, pp. 640-647.
- Mills, C.A.(1987) The life history of the minnow *Phoxinus phoxinus* (L.) in a productive stream. Freshwater Biol. 17: 53-67.
- Mills, C.A.(1988) The effect of extreme northerly climatic conditions on life history of minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.). J. of Fish Biol. 33: 545-561.
- Min, M.S., Y.J. Kim and S.Y. Yang(1995) mtDNA analysis of species of the genera *Moroco* and *Phoxinus* (Pisces, Leuciscinae). Korean J. Zool. 38: 87-95. (in Korean with English abstract)
- Mori, T.(1952) Check list of the fishes of Korea. Mem. Hyogo Univ. Agr. 1(3). Biol. Ser. 1. 288pp.
- Nam, M.M.(1996) Present status of Korean freshwater fish. In 1996 Symposium of Korean Journal of Limnology Proc, pp. 31-45. (in Korean with English abstract)
- Nowak, M., W. Popek, W. Jagusiak, S. Deptula, J. Popek, K. Tatoj, K. Kleczar and P. Epler(2009) Weight-length relationships for three fishes (*Leuciscus leuciscus*, *Phoxinus phoxinus*, *Salmo trutta*) from the Strwiaz River (Dniester River drainage). Arch. Pol. Fish. 17: 313-316.
- Peter, S., P.S. Maitland and R.N. Campbell(1992) The new naturalist, Freshwater fishes of the British Isles. Harper Collins Pub., Somerset, UK., pp. 206-210.
- Rasotto, M.B., P.Cardellini and E. Marconato(1987) The problem of sexual inversion in the minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.) J. of Fish Biol. 30: 51-57.
- Song, H.B. and Y.M. Son(2002) Maturity and reproductive ecology of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae) in the upper South Han River, Korea. Korean J. Ichthyol. 14(4): 262-268. (in Korean with English abstract)
- Uchida, K.(1939) The fishes of Tyosen. Part 1. Nematognathi, Eventognathi. Bull. Fish. Exp. Sta. Gov. Gener. Tyosen. 6., 459pp.
- Wootton, R.J. and L.A. Mills(1979) Annual cycle in female minnow *Phoxinus phoxinus*.