

# 낙동강 수계 감천에 서식하는 멸종위기어류 흰수마자 *Gobiobotia naktongensis* (Pisces: Gobioninae)의 개체군 생태

김형수 · 양 현\* · 홍양기<sup>1</sup>

(주)생물다양성연구소, <sup>1</sup>순천향대학교 생명시스템학과

**Population Ecology of Endangered Fish *Gobiobotia naktongensis* Inhabiting the Gamcheon Stream, Nakdonggang River (Pisces: Gobioninae) by Hyeong-Su Kim, Hyun Yang\* and Yang-Ki Hong<sup>1</sup>** (Institute of Biodiversity Research, Jeonju 561-211, Korea; <sup>1</sup>Department of Life Sciences and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea)

**ABSTRACT** Population ecology of *Gobiobotia naktongensis* was investigated at the Gamcheon stream, Nakdonggang River in Korea from March to November in 2010 and June in 2012. It mainly inhabited on the slow-flowing waters 0.11 ~ 0.44 m/s (mean: 0.32) and shallow depth 11 ~ 69 cm (mean: 28). As a result of the sieve analysis, size of the particles in the stream bottom beds consisted of 1.71% (>3.35 mm), 71.3% (>0.500 mm) and 26.9% (>0.106 mm). The standard length of the population indicated that the age for 25 ~ 30 mm group is one 31 ~ 41 mm group is two and longer than 42 mm group over three (May in 2010). The spawning period was from June to July with water temperatures ranging from 28.0 to 31.0°C. The sex ratio of female to male was 1 : 0.64 while the number of eggs in the ovaries was 1,067 ~ 7,298 (mean: 2,827). The number of matured eggs size in ovaries was 0.71 ~ 1.04 mm (mean: 0.79) and the stomach contents were mainly Chironomidae. The individual number of stomach contents was increased at noon and showed the highest rate from noon to 3 pm.

**Key words :** *Gobiobotia naktongensis*, population ecology, Gamcheon stream, endangered fish

## 서 론

잉어과 (Cyprinidae) 모래무지아과 (Gobioninae) 흰수마자 *Gobiobotia naktongensis*는 전장 6 ~ 10 cm인 소형 어류로서 Mori (1935)가 낙동강의 영주와 함양에서 채집하여 신종으로 보고한 한국고유종이다. 본 종에 대해서는 Uchida (1939)에 의해서 형태적 특징이 매우 자세하게 기록되었고 경북 영주와 경남 함양 (Mori, 1935), 경북 안동 (Uchida, 1939)에서 서식이 알려진 후 낙동강 본류와 지류, 금강, 임진강, 한강에서도 서식함이 보고되었다 (손, 1983; 김, 1985; 최, 1985; 양과 권, 1992; 채, 1996; 채와 이, 1999a, b; 변, 2001; 장 등, 2001; 홍과 박, 2001; 강 등, 2004; 손과 박,

2004; 국립생물자원관, 2011).

흰수마자는 환경부에서 야생동식물보호법 (2005년 2월 10일 발효)에 근거하여 멸종위기야생생물 I급 (담수어류)으로 지정·보호되고 있고 한국의 멸종위기 야생동식물 적색자료집 (Red Data Book of Endangered Fishes in Korea)에서 취약종 (VU)으로 포함되어 (국립생물자원관, 2011) 보호대책이 절실한 종이다. 최근에는 멸종위기에 처한 종들에 대한 보호와 자원 유지를 위해서 기초적인 생물학적 연구, 인공 증식·복원 방법 개발과 서식지의 종 보존의 필요성이 부각되고 있다 (김 등, 2011).

개체군 (population)은 같은 시기, 같은 지역에서 함께 살아가는 동일한 생물종들의 집단을 의미하며, 개체군 생태학 (population ecology)은 그 개체군이 시간이 지남에 따라 어떻게 변화하는지를 밝히고, 그 개체군과 그들 주변의 환경 사이에서 다양한 상호작용 관계를 연구하는 학문이다

\*Corresponding author: Hyun Yang Tel: 82-63-246-8600, Fax: 82-63-246-8610, E-mail: bitterling@hanmail.net

(Campbell *et al.*, 2006; Sahotra and Plutynski, 2010). 어류의 개체군 생태에 관한 연구는 종에 대한 이해와 다양한 생물학적 지식을 축적할 수 있기 때문에 종의 증식·복원·보존·보호 등의 다방면으로 활용이 가능하며(송과 백, 2005), 종의 증식·복원을 위해서 개체군 생태에 대한 연구가 선행되고 있다(국토해양부, 2010).

그러나 본 종에 대해서는 주로 출현여부 또는 물리적 미소서식처(Seo *et al.*, 2009)에 대한 연구가 주 진행되었고 생태에 관해서는 Uchida(1939)와 채(2004)에 의한 전반적인 특징이 보고된 바 있다. 현재 흰수마자의 서식환경은 하천 공사나 골재채취로 인해 그 서식처가 축소되거나 개체수가 급격히 감소하고 있는 추세이기 때문에 본 종에 대한 보호 대책 마련이 시급하지만 기초 생물학적 연구 자료는 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 멸종위기에 처하여 감소되고 있는 흰수마자의 복원 및 보호 대책 수립을 위한 기초 자료를 마련하고자 실시하였다.

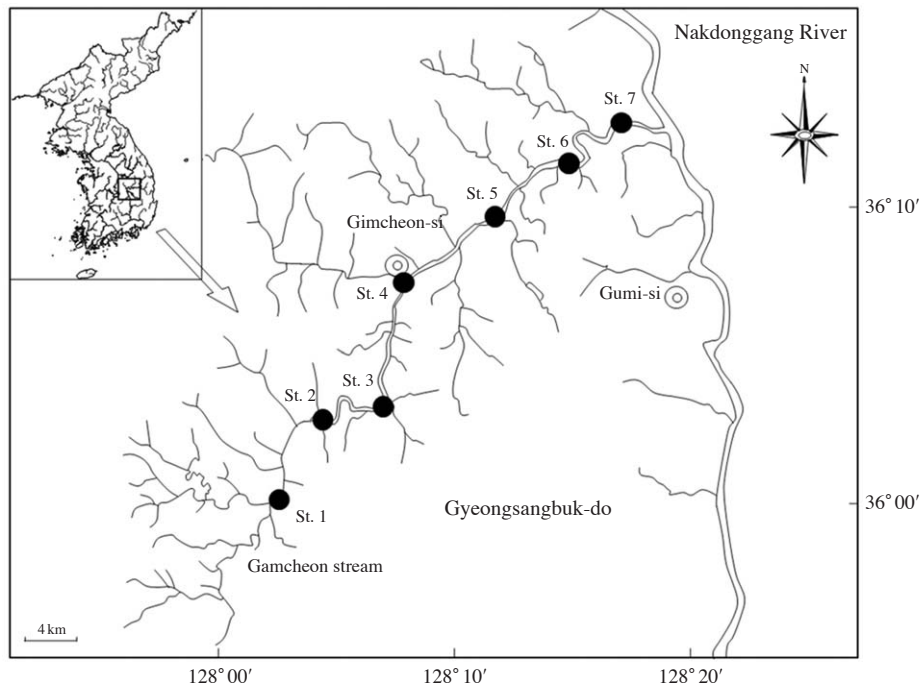
## 재료 및 방법

### 1. 연구장소 및 서식지 환경

흰수마자 연구는 본 종이 멸종위기야생생물 I급으로 지정되어 있기 때문에 대구지방환경청의 포획허가(2010-04호)를 받아서 2010년 3~11월, 2012년 6월에 경상북도 구

미시 산산읍 감천 일대에서 실시하였고, 개체군 생태는 St. 7(N: 36° 13' 31.71", E: 128° 20' 9.09")에서 조사하였다(Fig. 1). 채집은 족대(망목, 2×2 mm)를 이용하여 매월 10~15일 사이에 1회를 기준으로 하였고 산란기 추정을 위해서 3~8월에는 매달 2~3회까지 조사하였다. 흰수마자의 미세 분포와 주요출현지점을 확인하기 위해서 감천 7개 지점을 선정하여 5월과 10월에 하천형태, 하상구조, 동소출현종을 분석하였다. 하폭과 유폭은 디지털거리측정기(Bushnell Sports 600, USA) 유속은 Tachometer(Swoffer Model 2100, USA) 수심은 줄자를 이용하여 측정하였다. 하천형태는 Kani(1944), 하상구조는 Cummins(1962)의 기준에 따랐다. 동소출현종의 조사는 투망 10회, 족대 30분을 기준으로 하였고 동정과 분류는 김과 박(2002), 김 등(2005)에 따랐다.

흰수마자의 선호 미소서식처를 분석하기 위해서 해당 지점에서 하상의 모래를 사각통 가로(40)×세로(30)×높이(20) cm을 이용하여 채취하였고, 0.106, 0.250, 0.500, 0.710, 1.00, 1.40, 2.00, 2.36, 2.80, 3.35 mm 망목 크기의 체(sieve)를 이용하여 하상 입자 크기를 분석하였다. 연령에 따른 선호서식처 양상을 파악하기 위해서 흰수마자가 가장 많이 출현한 St. 7에서 2010년 10월 20일에 당년생과 1년생 이상을 구분하여(체장 기준) 수심과 유속은 30지점, 하상입자 크기는 흰수마자가 출현한 각 1지점씩을 조사하였다. 기온과 수온은 디지털 온도계를 사용하였고 DO, pH, Conductivity는 수질측정기(Orion, Model 830)을 이용하여 13~14시



**Fig. 1.** A map showing the study sites of *Gobiobotia naktongensis* in the Gamcheon stream, Gyeongsangbuk-do, Korea. St. 1: Dogok-ri, Jiryemyeon, Gimcheon-si; St. 2: Sangjwawon-ri, Guseong-myeon, Gimcheon-si; St. 3: Jangam-ri, Joma-myeon, Gimcheon-si; St. 4: Jijwa-dong, Gimcheon-si; St. 5: Dongbu-ri, Gaeryeong-myeon, Gimcheon-si; St. 6: Hoengsan-ri, Goa-eup, Gumi-si; St. 7: Won-ri, Seonsan-eup, Gumi-si.

사이에 측정하였다.

2. 연령, 성장 및 산란기

흰수마자의 연령은 현장에서 채집된 모든 개체의 전장과 체장을 1/20 mm dial caliper로 0.1 mm까지 측정하여 체장 빈도분포법 (Ricker, 1971)으로 분석하였다. 본 종의 산란기는 체중을 측정하여 비만도지수 (Condition index,  $K = \text{body weight} / \text{standard length}^3 \times 10^5$ )를 Anderson and Neumann (1966)의 방법으로 산출하였고 복부 생식공을 압박하여 알 및 정액이 육안으로 관찰 가능한 기간과 출현 개체수의 비율로 산란기를 추정하였다. 성비의 분석은 암컷과 수컷의 구분이 가능한 기간 동안만을 대상으로 분석하였고, 산란성기에 복부가 팽대하여 압박시 성숙난이 확인되는 암컷 9개체는 10% formalin 용액에 고정하여 포란수와 난경을 분석하였다.

3. 섭식생태

흰수마자의 주요 먹이섭식 시간과 먹이생물을 분석하고자 2010년 4월 14~15일 동안 24시간을 3시간씩으로 나누어 3개체씩 (체장 30~40 mm) 모두 24개체를 채집하여 소화관 내용물을 분석하였다. 표본은 채집 즉시 10% formalin에 고정하였고, 연구실로 이동한 후 해부현미경과 광학현미경상에서 수서곤충은 윤(1995), 원 등(2005)에 따라 분류 동정하였다.

결 과

1. 서식지 환경

흰수마자가 서식하는 감천 일대에서 7개 지점을 선정하여 각 지점별 하폭, 유폍, 수심, 하상구조를 분석한 결과는 Table 1과 같다. St. 1과 St. 2는 자갈 (P)과 잔자갈 (G)의 비율이 높게 나타났고 여울과 소가 반복되었으며 하천형은 Aa-Bb형의 하천형태를 보였다. 하류방향으로 내려갈수록 잔자갈과 모래 (S)의 비율이 증가하고 유속이 감소하며 경사가 완만해지는 Bb-Bc형의 하천형태로 변화되었다. 흰수마자가 가장 많이 출현하고 개체군 생태연구를 시행한 St. 7은 유속이 느리고 하상이 대부분 모래로 구성되어 있는 하천 형태였으며 하천의 규모는 하폭 200~300 m, 유폍 30~70 m, 수심 10~100 cm 사이였다.

연중 기온과 수온의 변화는 3월에 기온과 수온이 8.1°C, 8.0°C로 가장 낮게 나타났으며 기온은 8월에 29.0°C, 수온은 6월에 31.0°C로 가장 높게 나타났다. 용존산소는 조사기간 중 4.3~11.5 mg/L, pH는 6.1~9.1, 전기전도도는 157.0~374.9 µmhos/cm로 나타났으며 조사 시기에 따라 이화학적 수환경의 측정치는 큰 폭의 차이를 보였다 (Table 2).

2. 동소어류상

조사지점에서 출현하는 어종을 조사한 결과 채집된 전체 어류는 총 3목 5과 18종이며, 이 중 잉어과 어류가 13종으

Table 1. The environmental characters at the each study sites of the Gamcheon stream in 2010

Study sites	Stream width (m)	Water width (m)	Water depth (cm)	River type	Bottom structure (%)*				
					B	C	P	G	S
1	100~150	10~50	10~60	Aa-Bb	10	10	15	30	35
2	100~150	20~50	10~60	Bb	5	10	10	25	50
3	150~250	30~70	20~80	Bb-Bc	-	5	5	10	80
4	150~250	20~80	20~80	Bb-Bc	-	-	-	10	90
5	200~300	20~60	30~80	Bb-Bc	-	-	-	10	90
6	200~300	20~60	20~80	Bb-Bc	-	-	-	5	95
7	200~300	30~70	10~100	Bb-Bc	-	-	-	5	95

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

Table 2. Some chemical characters at the study site 7 of the Gamcheon stream from March to November in 2010

Month	Air temp. (°C)	Water temp. (°C)	DO (mg/L)	pH	Conductivity (µmhos/cm)
Mar.	8.1	8.0	11.5	8.3	170.9
Apr.	10.0	10.2	11.1	7.7	196.8
May	22.0	20.0	9.8	7.7	338.9
Jun.	28.5	31.0	9.7	9.1	374.9
Jul.	28.0	25.0	7.6	6.1	228.5
Aug.	29.0	29.0	4.3	7.5	309.0
Sep.	27.0	24.0	6.6	7.5	157.0
Oct.	21.0	19.0	8.03	8.2	244.5
Nov.	10.0	11.0	10.8	8.7	241.9

**Table 3.** Fish fauna of cohabitation fishes with *Gobiobotia naktongensis* at the each study sites of the Gamcheon stream in May and October 2010

Species	Study sites							Total	RA (%)	RE
	1	2	3	4	5	6	7			
<b>Cypriniformes</b>										
<b>Cyprinidae</b>										
<i>Cyprinus carpio</i>			1					1	0.04	
<i>Carassius auratus</i>	1				6		2	9	0.40	
<i>Pungtungia herzi</i>	18	4						22	0.99	
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	32	3	4					39	1.75	K
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	69	31						100	4.49	K
<i>Hemibarbus labeo</i>							2	2	0.09	
<i>Pseudogobio esocinus</i>		12	2	2		3	6	25	1.12	
<i>Gobiobotia naktongensis</i>			2		8	9	37	56	2.51	E, K
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	28	2						30	1.35	K
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	21	57						78	3.50	
<i>Zacco koreanus</i>	271	233						504	22.61	K
<i>Zacco platypus</i>	132	197	253	147	119	175	82	1,105	49.57	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>			35	49	33	38	32	187	8.39	
<b>Cobitidae</b>										
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	8	5	1		1			15	0.67	
<i>Cobitis hankungensis</i>	32	8	8	1				49	2.20	K
<b>Siluriformes</b>										
<b>Bagridae</b>										
<i>Leiocassis ussuriensis</i>					1			1	0.04	
<b>Perciformes</b>										
<b>Odontobutidae</b>										
<i>Odontobutis platycephala</i>		2	1					3	0.13	K
<b>Gobiidae</b>										
<i>Rhinogobius brunneus</i>			1				2	3	0.13	
No. of family/No. of species	2/10	3/11	4/10	2/4	3/6	1/4	2/7	5/18		
No. of individual	612	554	308	199	168	225	163	2,229		

E: Endangered species, K: Korean endemic species, RA: Relative abundance, RE: Remark

로 가장 다양하였고 미꾸리과 2종, 동자개과, 동사리과, 망둑어과 어류가 각각 1종씩 출현하였다 (Table 3). 출현종의 상대풍부도는 피라미 *Zacco platypus* 49.5%, 참갈겨니 *Z. koreanus* 22.6%, 끄리 *Opsariichthys uncirostris amurensis* 8.3% 등의 순이었으며 흰수마자는 2.5%가 채집되었다. St. 2에서 11종으로 가장 많은 종이 채집되었고 St. 4와 St. 6에서는 4종으로 가장 빈약한 어류상을 보였다. 흰수마자가 가장 많이 출현한 지점은 St. 7이었고 37개체가 채집되었는데 유속이 느리고 모래톱이 형성되는 지점에서 주로 출현하였다. 한국고유어종은 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus*, 흰수마자, 돌마자 *Microphysogobio yaluensis*, 긴물개 *Squalidus gracilis majimae*, 참갈겨니, 기름종개 *Cobitis hankungensis*, 동사리 *Odontobutis platycephala*의 7종이 출현하였다.

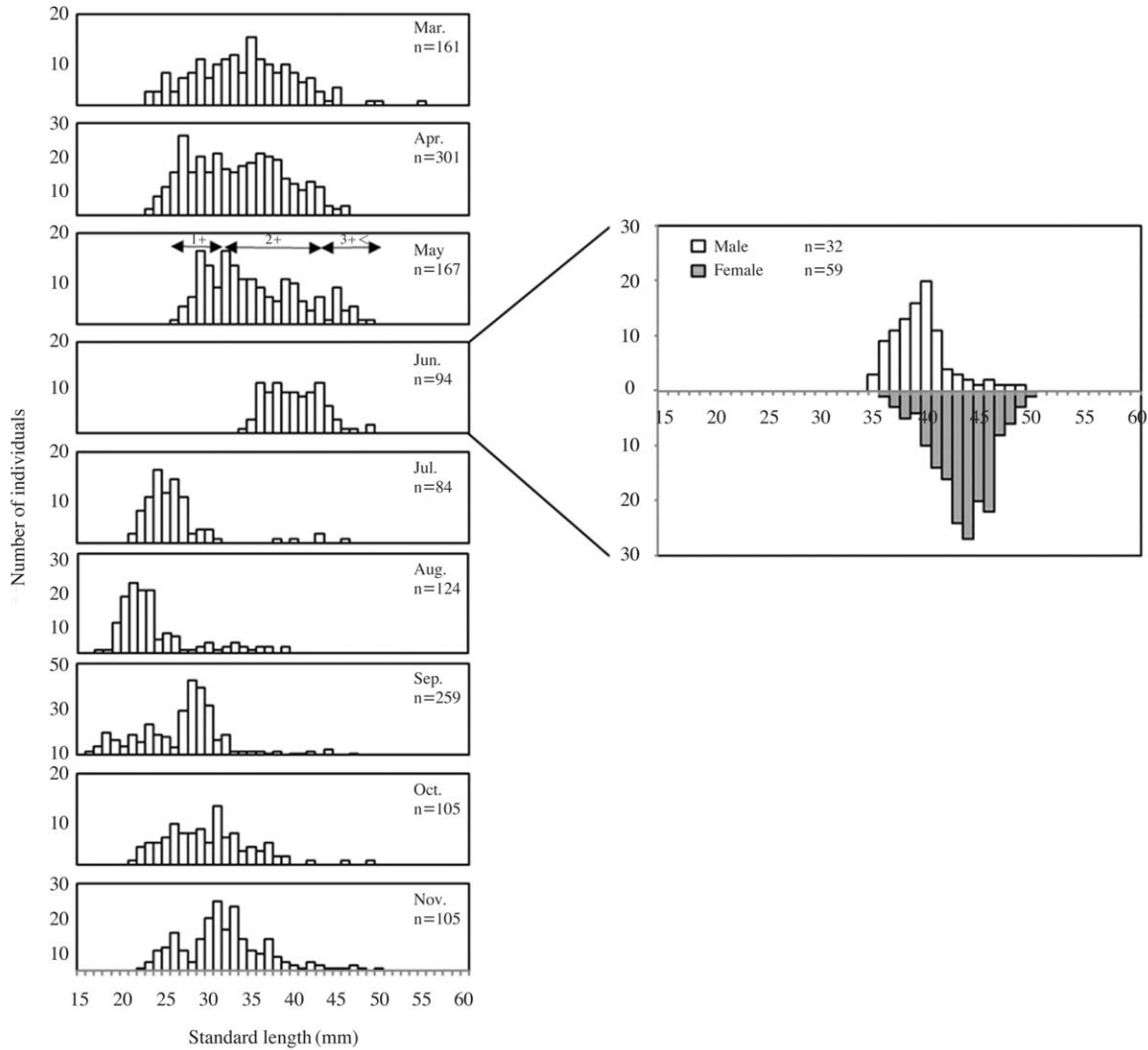
### 3. 연령 및 성장

체장빈도분포법 (Ricker, 1971)을 이용하여 흰수마자의 연령을 추정하였다. 흰수마자는 산란기를 제외하고는 외부형

태적으로 암수가 구분되지 않았고 채집된 모든 개체를 대상으로 진행하였다. 체장빈도분포 그래프를 분석한 결과 3개의 정점이 나타났는데 각 정점에 속한 군을 각각의 연령군으로 추정하였다. 산란기 전인 5월의 그래프를 기준으로 체장 25~30 mm은 1년생, 31~41 mm은 2년생, 42 mm 이상은 3년생 이상으로 추정되었다. 성별구분이 가능한 6월 14, 30일에 채집된 개체들의 체장빈도분포 그래프를 분석한 결과 수컷보다 암컷에서 체장이 큰 개체들이 많이 출현하였다 (94개체 중 3개체는 암수 구분이 불가능하였다). 9월부터 채집된 체장 16~21 mm의 당년생 개체군은 11월에는 22~28 mm, 만 1년생은 29~40 mm, 만 2년생은 41~45 mm까지 성장하였다 (Fig. 2). 채집된 개체 중 가장 큰 개체의 체장은 수컷이 49.94 mm (체중, 1.41 g), 암컷이 57.75 mm (2.60 g)이었다.

### 4. 흰수마자의 미소서식처 분석

흰수마자의 서식분포를 조사한 결과 St. 1과 St. 2에서는



**Fig. 2.** Length frequency distribution of *Gobiobotia naktongensis* at the study site 7 of the Gamcheon stream from March to November in 2010.

흰수마자가 전혀 관찰되지 않았으며 St. 3에서부터 흰수마자가 출현하였다 (Table 3). 흰수마자가 가장 많이 출현한 St. 7의 미소서식처 환경은 유속 0.11~0.44 (0.32±0.06) m/s, 수심 11~69 (28±14.4) cm 내외인 곳이었다.

연령에 따른 흰수마자의 미소서식처를 분석한 결과(0 year old, n=21 vs 1+ < year old, n=52) 당년생 치어는 1년생 이상 성어와는 유속 0.11~0.28 (0.30±6.73) vs 0.22~0.44 (0.32±5.89) m/s, 수심 11~47 (28±11.0) vs 11~69 (29±15.6) cm로 최소값과 최대값에서는 차이가 나타났으나 평균값에서는 유사하였다 (Fig. 3). 하상입자크기에서는 당년생 치어는 1년생 이상 성어가 출현하는 곳보다 입자크기가 작은 곳에서 주로 서식하는 것으로 나타났다(1:15:18:27:22:10:3:2:1:1 vs 0:5:10:23:27:18:6:4:3:2:1) (Fig. 4).

흰수마자가 출현하지 않은 St. 1과 St. 2를 제외하고 흰수마자가 출현하기 시작한 St. 3에서부터 하류방향으로 St. 7

까지의 하상의 모래입자크기의 비율은 하류쪽으로 내려가면서 점점 작아졌으며 흰수마자의 출현 개체수는 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 5; Table 3).

### 5. 산란기 및 성비

흰수마자의 암수 구분이 가능한 기간 외에는 암수 개체를 합하여 비만도지수를 측정하였는데 3월부터 증가와 감소를 반복하다 6월 14일에 1.30±0.17, 7월 9일에 1.38±0.16로 가장 높았고 7월 16일에 1.03±0.09로 감소하였으며 8월 23일에 0.92±0.07로 가장 낮은 값을 보였다. 6월 14일부터 7월 9일까지 조사에서는 채집된 개체의 복부 생식공을 통해서 알 또는 정액이 관찰되었고 암수 구분이 가능한 개체는 95%이상으로 나타났으나 7월 16일부터는 암수 구분이 가능한 개체가 10%미만으로 급격히 감소하였고

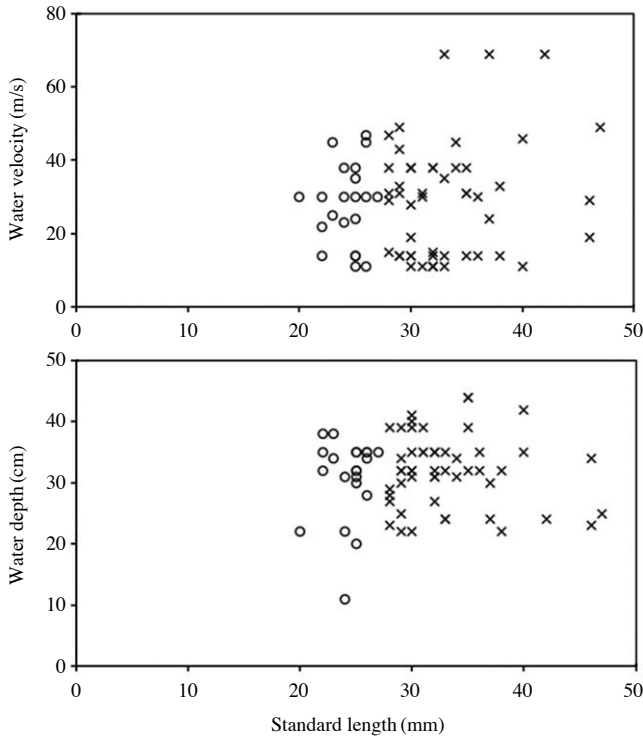


Fig. 3. The relationship of water depth and velocity for standard length of *Gobiobotia naktongensis* at the study site 7 of the Gamcheon stream in May 2010. ○ indicates 0 year old, × indicates 1+< year old.

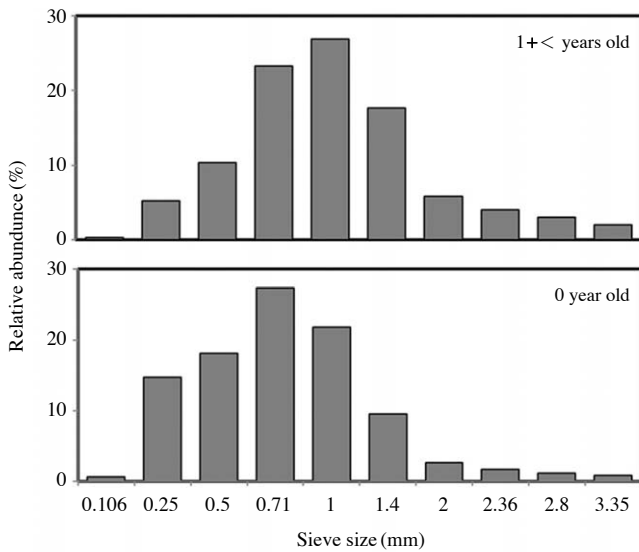


Fig. 4. Relative abundance for sieve size of *Gobiobotia naktongensis* at the study site 7 of the Gamcheon stream in October 2010.

8월 23일 조사부터 암수 구별이 불가능하였다(Fig. 6).

흰수마자의 성비는 암컷이 192개체, 수컷이 123개체가 채집되어 1:0.64로서 수컷에 비해서 암컷의 수가 많았다(Table 4).

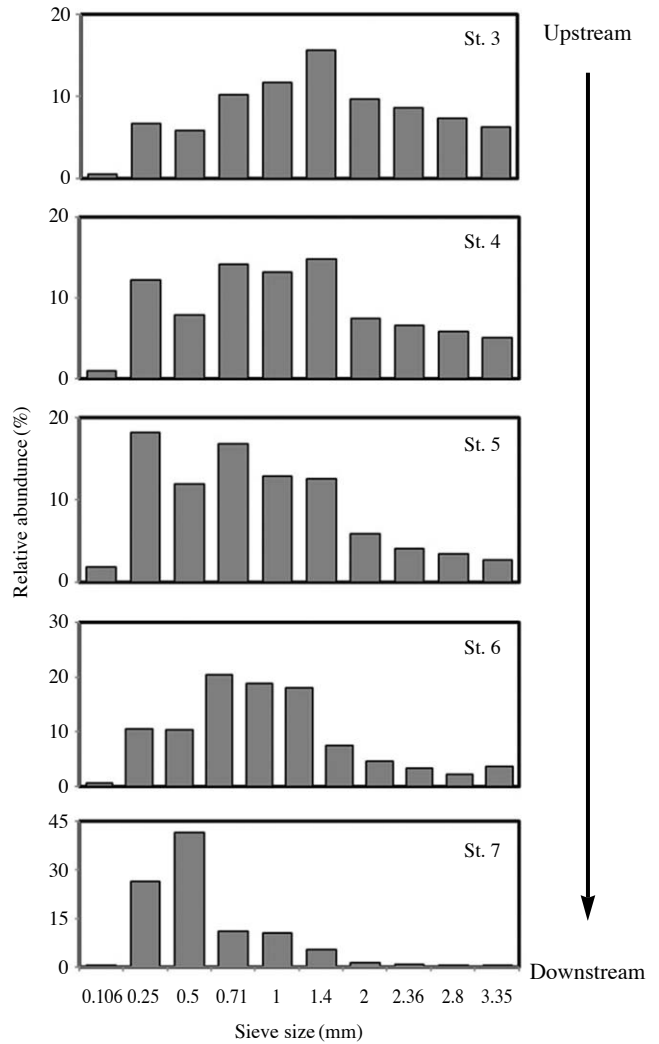
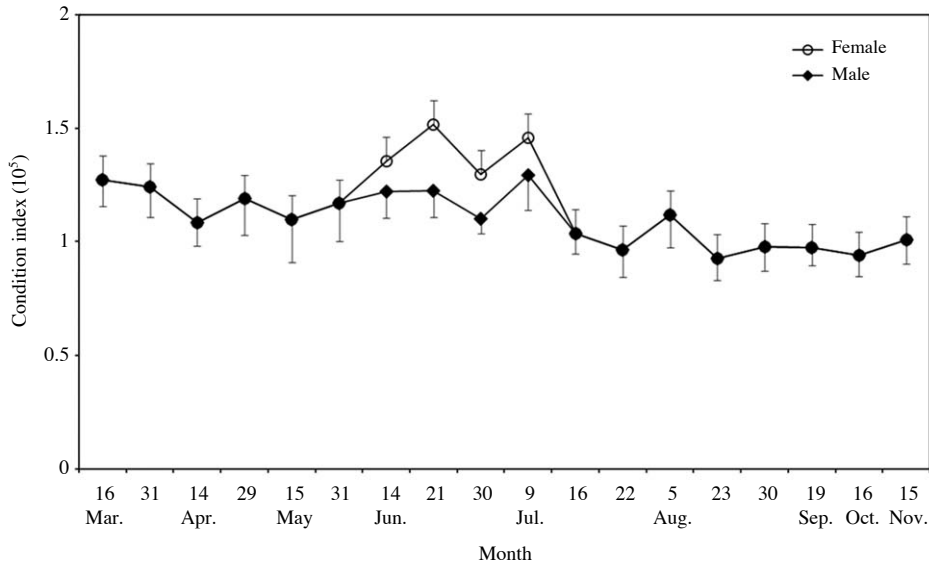


Fig. 5. Relative abundance for sieve size of *Gobiobotia naktongensis* at the each study sites of the Gamcheon stream in October 2010.

### 6. 성숙연령, 난경 및 포란수

산란기로 추정되는 6월부터 7월까지의 체장 35 mm 이상의 개체들만 채집이 되었는데 이들은 체장빈도분포법을 이용한 결과 2년생 이상인 것으로 추정되었고, 복부를 압박하여 난 및 정액을 관찰한 결과 암컷과 수컷 모두 2년생 이상부터 산란에 참여할 것으로 판단된다(Fig. 2).

동일시기에 채집된 9개체를 대상으로 포란수를 계수해 본 결과 평균  $2,827 \pm 1,849$  (1,067~7,298)개로 나타났고 체장이 증가함에 따라 포란수와 GSI는 증가하는 경향이 나타났다(Table 5). 전체 포란된 알 가운데 성숙된 알의 비율은 12.6~53.8% ( $41.0 \pm 14.1$ ) 범위였고 난경의 크기가 두 개의 정점을 이루었으며(Fig. 7), 성숙한 난의 크기는 0.71~1.04 ( $0.79 \pm 0.05$ ) mm ( $n=50$ )이며 구형이었다.



**Fig. 6.** Condition index ( $BW/SL^3 \times 10^5$ ) of *Gobiobotia naktongensis* at the study site 7 of the Gamcheon stream from March to November in 2010.

**Table 4.** The sex ratio of *Gobiobotia naktongensis* at the study site 7 of the Gamcheon stream in June, July 2010 and June 2012

Year	Data	Female	Male	Sex ratio (♀:♂)
2010	June 14	58	32	1:0.55
	June 30	85	46	1:0.56
	July 9	24	17	1:0.70
2012	June 12	25	28	1:1.12
Total		192	123	1:0.64

**Table 5.** The relationship among the standard length, GSI, fecundity and maturation eggs of *Gobiobotia naktongensis* at the study site 7 of the Gamcheon stream from June to July 2010

	Standard length (mm)	GSI (%)	Fecundity	Maturation eggs	Relative abundance (%)
1	43.1	9.4	1,566	198	12.6
2	52.2	5.0	1,067	220	20.6
3	52.5	14.2	1,671	875	52.3
4	54.6	14.8	2,000	766	38.3
5	55.8	11.5	2,498	980	39.2
6	55.9	15.3	3,077	1,565	50.9
7	58.3	17.9	3,522	1,896	53.8
8	59.4	11.1	2,741	972	35.4
9	66.1	22.1	7,298	2,955	40.5
Mean			1,067~7,298 (2,827 ± 1,849)	198~2,955 (1,158 ± 868)	12.6~53.8 (41.0 ± 14.0)

7. 섭식생태

흰수마자의 소화관 형태는 위와 장이 뚜렷이 구별되었고 장은 위의 아래에서 2번 회전하여 항문과 연결된 형태였다. 본 종의 위 내용물의 먹이생물 개체수는 정오인 12:00시부터 증가하기 시작하여 자정인 0:00시에 60개체로 가장

많았다. 03:00시에는 45개체의 먹이생물이 확인되어 2번째로 많았고 06:00시부터는 감소하기 시작하여 09:00시에 4개체로 가장 적었다(Fig. 8).

24시간 동안 채집한 흰수마자에서 확인된 먹이생물은 모두 2문 2목 3과 176개체였다. 환형동물문 1과, 절지동물문 2과로 조사되었고 깔다구과가 96.6% (170개체)로 대부분을

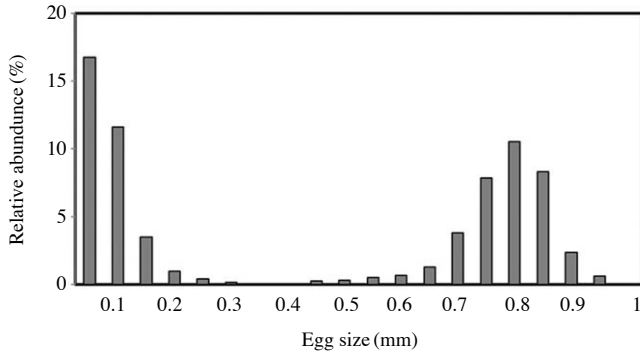


Fig. 7. The relative abundance of egg size of *Gobiobotia naktongensis* at the study site 7 of the Gamcheon stream in June 2010.

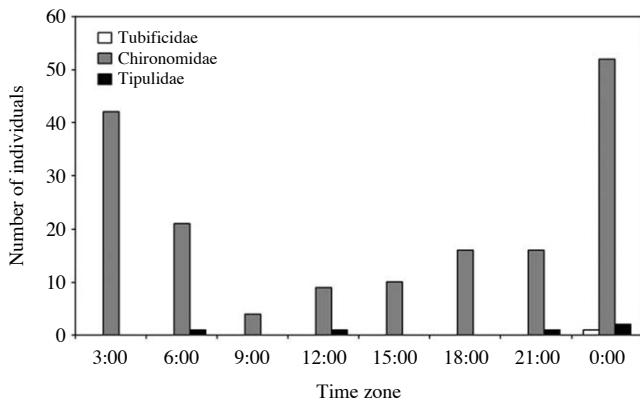


Fig. 8. Number of individuals of the stomach contents of *Gobiobotia naktongensis* at the study site 7 of the Gamcheon stream in April 2010, at the study site 7 of the Gamcheon stream in June 2010.

차지하였으며 각다귀과가 2.8% (5개체), 실지렁이과가 0.6% (1개체)으로 분석되었다.

## 고 찰

멸종위기야생생물 I급 (담수어류)으로 지정되어 있는 흰수마자는 1 mm 이하인 모래입자가 90% 이상을 차지하는 곳에 주로 서식하였고 분포역은 감천의 상류지점보다는 하류지점으로 내려올수록 서식밀도가 증가하는 경향을 나타냈다. 흰수마자의 서식처에 관한 연구에서 Uchida (1939)는 얇은 물이 흐르는 모래바닥의 여울에서 주로 서식한다고 하였고, 강 등 (2004)은 유속이 0.43~0.67 m/s로 상당히 빠르고 하상구조는 모래만 있는 곳, 잔자갈과 모래의 비율이 20:80 및 40:60인 곳에도 출현하지만 자갈의 비율이 그 이상 높은 곳에서는 출현하지 않는다고 하였다. Seo *et al.* (2009)는 본 연구의 St. 4 인근 지점에서 2007, 08년에 채집된 57개체를 대상으로 유속은 0.239~0.585 (평균 0.437)

m/s이고 수심은 0.14~0.46 (평균 0.30) m인 곳을 선호하며 그 지점의 하상입자크기의 비율은 1% (>4.47 mm), 83.4% (>0.425 mm), 15.6% (>0.075 mm)라고 보고한 바 있는데 이는 본 연구결과와는 차이점을 보였다. 이는 본 종이 서식하는 하상이 주로 모래로 이루어져 있고 강우나 주변환경의 변화에 의해 매우 급격하게 변하는 환경요인을 보이기 때문에 조사자의 조사시기 또는 서식처에 따른 차이점으로 생각되며 흰수마자는 금강본류와 미호천, 낙동강 본류와 같이 모래하상이 넓게 펼쳐진 여울부에서 주로 서식하는 것으로 판단된다.

흰수마자는 7개의 조사지점 중 St. 3부터 출현하였고 가장 많은 개체는 모래입자(S)의 비율이 95%가 넘는 St. 7에서 출현하였다. 조사 수역 중 St. 1~St. 3는 10종 이상이 채집되어서 St. 4~St. 7까지의 6종 이하보다 다양한 종이 출현하였는데 St. 1~St. 3의 하상구조가 큰돌(B), 호박돌(C), 자갈(P), 잔자갈(C)의 비율이 높아서 긴물개, 돌마자, 쉬리, 참갈겨니와 같이 하상구조가 자갈을 선호하는 종들이 추가적으로 출현하였기 때문으로 생각된다.

연령에 따른 흰수마자의 미소서식처의 유속과 수심은 최소값과 최대값에서当年생보다 1년생 이상 성어에서 넓은 범위를 나타냈는데 연령이 높아지면서 서식가능한 유속과 수심의 범위가 넓어지기 때문으로 판단된다. 흰수마자가 주로 출현하는 지점은 유속이 다소 느리고 가는 모래가 층층이 쌓여 모래톱과 모래톱이 만나는 지점으로 흰수마자가 쉽게 파고들 수 있는 하상구조로 이루어진 지점이었고 동일한 유속과 수심에서도 하상의 입자크기에 따라 흰수마자의 출현유무가 매우 극명하게 나타나 하상구조가 본 종의 서식에 매우 중요한 제한요인(limit factor)으로 작용하는 것으로 생각된다.

흰수마자는 산란기를 제외하고는 성적이형이 나타나지 않았는데 이는 동일속의 꾸구리 *Gobiobotia macrocephala*, 돌상어 *G. brevibarba*와 유사하였다 (국토해양부, 2010; 고 등, 2012). 국토해양부 (2010)에서는 5월 체장 기준으로 꾸구리와 돌상어의 연령을 추정하였는데 꾸구리 1년생은 24~44 mm, 2년생 45~56 mm, 3년생 이상은 56 mm 이상, 돌상어 1년생은 30~45 mm, 2년생은 45~60 mm, 3년생은 60~80 mm, 4년생 이상은 80 mm 이상으로 흰수마자는 두 종에 비하여 연령별 체장이 작게 나타났다. 또한 꾸구리와 돌상어의 포란수가 각각 평균 2,061±706개 (659~4,188), 평균 1,256±706개 (406~3,035)로 흰수마자보다는 적게 나타났는데, 이는 모래 하상으로 이루어져서 수중 환경이 안정되지 않고 급격히 변할 수 있는 곳에서 서식하는 본 종이 크기 성장보다는 산란수를 증가시켜 자손의 생존율을 높이는 방향으로 진화하였을 가능성이 있다고 생각된다 (Geoffrey and Wotton, 1984).

흰수마자의 산란기는 암컷과 수컷의 복부 생식공을 통해



서 성숙난과 정액이 관찰 가능하였고 비만도가 가장 높았던 기간인 6월 중순~7월 중순까지인 것으로 생각된다. 본 연구에서 흰수마자 성숙난의 난경은 평균 0.79 mm로 나타나고 등(2013)에서 보고한 평균 0.74 mm와 유사하였고(수정 26시간 후 부화), 동일속의 꾸구리(난경 0.89 mm, 수정 107시간 후 부화), 돌상어(난경 1.24 mm, 수정 120시간 후 부화)와는 큰 차이점을 보였으며 모래로 이루어진 하상에서 주로 서식하는 모래무지(난경 1.98 mm, 수정 164시간 후 부화)와도 많은 차이점을 보였다(이 등, 2008). 미호종개 *Cobitis choii*는 유속이 완만하고 수심이 얕으며 하상이 모래로 이루어진 곳에서 주로 서식하며, 난경은 평균 1.2 mm로 수정 24시간 후에 부화한다고 보고되어 있는데(송 등, 2008) 흰수마자와 미호종개의 산란기는 6~7월로 수온이 매우 높아지는 시기이다. 이에 본 종들은 난의 사망율을 낮추고자 부화 시간을 매우 빠르게 하는 전략을 선택한 것으로 생각된다(고 등, 2013).

흰수마자의 성어 9개체를 대상으로 난경을 측정된 결과 여러 단계의 난이 확인되었지만 산란이 가능한 0.7 mm 이상 성숙난의 상대풍부도가 12.6~53.8% 범위로 높게 나타났고 난경이 두 개의 정점을 이루는 것으로 판단할 때 1회 산란종으로 생각된다(Marza, 1939). 그러나 수조 내에서 성숙한 흰수마자 암컷을 대상으로 실험한 결과 1회 산란 후 약 15일 만에 1차 산란 때보다는 산란수가 적었지만 산란이 이루어진 적이 있어서 주기적인 조직학적 실험을 통한 추가 검토가 필요하다(unpublished data).

흰수마자의 산란기가 끝난 후인 7월 중순 이후에 채집된 개체는 체장 32 mm 이상의 개체군이 거의 채집되지 않았는데 이러한 결과는 산란을 위해 이동했을 가능성이 높다고 생각된다. 국토해양부(2010)의 AFLP에 의한 집단 유전학적 분석에서는 내성천, 감천, 황강집단의 개체들이 서로 집단의 구분 없이 혼재되어 있는데 이는 물리적 거리가 있지만 유전적 이동이 잘 이루어진 것으로 흰수마자의 생태학적 이동성과 관련된 특성이 있다고 보고한 바 있다. 감천 채집지와 내성천 채집지간의 수로거리가 약 80 km, 감천 채집지와 황강 채집지와는 105 km, 황강과 내성천은 185 km 떨어져 있는데도 불구하고 흰수마자의 분자적 거리가 매우 가깝게 나타난 점은 본류로 이동하여 산란한 후 부화된 치어들이 각 지류하천으로 소상하면서 성장했기 때문일 가능성이 높다고 생각된다. 2010년 6월과 7월 조사에서 암컷은 체장 50 mm 이상, 수컷은 체장 40 mm 이상의 산란에 참여할 것으로 판단되는 많은 개체들이 포획되지 않았으나 2012년 6월 조사에서는 동일 크기의 개체군이 대량으로 포획되었다. 이는 여러 요인을 고려해 볼 수 있으나 감천하류와 낙동강 본류가 만나는 지점에 설치된 낙차공으로 인해서 본 종이 산란을 위한 하류로의 이동이 어려워져서 낙차공 상류 수역인 St. 7 인근에서 많은 개체들이 포획되었다

고 생각된다. 채(2004)는 임진강 하류의 실뱀장어 그물에서 흰수마자 치어 3개체가 포획되었고 이곳은 수심이 5~6 m 정도 깊이며 바닷물이 혼합되는 기수역으로 기존의 서식처와 전혀 다른 곳이라고 보고한 바 있어 흰수마자가 산란기에 강 본류의 하류수역으로 이동할 가능성이 있다고 추정된다. 하지만 본 연구에서 흰수마자의 자연산란 광경이나 집단 이동의 모습을 직접 확인한 바 없기 때문에 보다 지속적인 연구가 필요하다.

흰수마자는 위와 장이 뚜렷하게 구분되고 장은 위에서 2번 회전하고 짧아서 초식성어류보다는 육식성 어류에서 보이는 소화관의 형태를 보였는데 흰수마자의 주요 먹이생물은 깔다구과로 나타났고 주요 먹이활동 시간은 위 내용물의 먹이생물개체수가 60개체로 가장 많았던 자정 전후로 판단되어 야간에 주로 먹이활동을 하는 것으로 추정된다.

흰수마자가 선호하는 주요 서식처는 잔잔한 여울이 흐르며 하상의 모래입도(1 mm 이하)의 비율이 95% 이상으로 매우 높고 먹이생물인 깔다구 유충이 많은 곳이다. 그러나 본 종의 서식처는 하천의 중류나 중하류 지역으로 모래채취, 하천공사와 같은 인위적 간섭의 가능성이 매우 높은 지점이고(채, 2004) 수심이 깊어지거나 유속이 느려져 하상에 토사가 쌓이고 정수역으로 변할 가능성이 높은 곳이기 때문에 급격한 서식지 교란은 본 종의 서식에 매우 큰 위협 요소가 될 수 있다고 판단된다. 흰수마자 분포조사는 국토해양부(2010)에 이루어진 바 있으나 2013년 현재 시점에서는 서식환경이 크게 변화되었을 가능성이 높기 때문에 서식 분포에 대한 자세한 연구 수행이 시행되어야 한다.

낙동강 수계 감천 유역은 흰수마자가 집단 서식하는 곳으로 흰수마자 보호를 위하여 매우 중요한 지점으로 낙동강 본류로 합류되는 감천 하류 유역부터 흰수마자가 지속적으로 확인되는 중부내륙고속도로 선산감천교까지를 부여·청양 지천 미호종개 서식지(천연기념물 제533호)와 같은 법적 보호지로 지정해서 서식지가 더 이상 훼손되지 않도록 보다 적극적인 보전대책이 필요하다고 생각된다.

## 요 약

2010년 3월부터 11월, 2012년 6월에 낙동강 수계 감천 일대에서 흰수마자의 서식지 환경특성 및 개체군 생태를 조사하였다. 흰수마자의 미소서식처의 환경조건은 유속 0.11~0.44 (0.32±0.06) m/s, 수심 11~69 (28±14.4) cm 내외인 곳이었으며, 하상입자크기의 구성비율은 1.71% (>3.35 mm), 71.3% (>0.500 mm), 26.9% (>0.106 mm)이었다. 1년생은 체장 25~30 mm, 2년생이 31~41 mm, 3년생이 42 mm 이상으로 추정되었다(5월 기준). 산란기는 6월과 7월 사이(수온 28.0~31.0°C)였고 성비는 1:0.64로서 암컷이 우세

하였다. 포란수는 1,067~7,298 (평균 2,827)개였고 난경은 0.71~1.04 (0.79±0.051) mm였다. 흰수마자의 주요 먹이생물은 깔다구과였고, 먹이생물 개체수는 정오인 12:00시부터 증가하기 시작하여 0:00~03:00 사이에 가장 많았다.

## 사 사

본 연구는 국토해양부 “4대강 수계 멸종위기어종 증식 및 복원” 연구비에 의해 수행되었습니다. 연구의 진행 방향에 대해 조언해 주신 손영목 교수님, 홍영표 박사님, 이완옥 박사님, 변병섭 박사님, 서진원 박사님, 자료 해석에 대해 첨언해주신 김병직 박사님, 최승호 박사님과 공동으로 연구를 도와주신 방인철 교수님, 현장 채집과 데이터 정리를 도와준 장준호, 이강식 연구원에게 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

고명훈 · 송하윤 · 홍양기 · 방인철. 2012. 멸종위기 어류 꾸구리 *Gobiobotia macrocephala* (Pisces: Cyprinidae)의 번식생태. 한국하천호소학회지, 45: 190-199.

고명훈 · 이일로 · 방인철. 2013. 멸종위기어류 흰수마자 *Gobiobotia naktongensis* (Pisces: Cyprinidae)의 난발생 및 초기생 활사. 한국어류학회지, 25: 9-16.

국립생물자원관. 2011. 한국의 멸종위기 야생동식물 적색자료집 (어류). 국립생물자원관, 219pp.

국토해양부. 2010. 4대강 수계 멸종위기어종 증식 및 복원. 국토해양부, 489pp.

강영훈 · 서준원 · 금지돈 · 양홍준. 2004. 낙동강 중류(구미지역)의 어류군집구조. 한국어류학회지, 37: 227-235.

김익수 · 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 465pp.

김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 한국어류대도감. 교학사, 615pp.

김치홍 · 이완옥 · 이종하 · 백재민. 2011. 고유종 칼납자루의 재생 산 기초 연구. 한국어류학회지, 23: 150-157.

김재엽. 1985. 감천(낙동강)의 어류상과 잉어과 어류의 형질 측정치 분석. 경북대학교 교육대학원 석사학위논문, 82pp.

변화근. 2001. 선산 · 김천, 갑장산 일대의 담수어류. 환경부 제2차 전국자연환경조사보고서, 50pp.

손영목, 박병현. 2004. 성주 · 김천, 압축산 일대의 담수어류. 환경부 제2차 전국자연환경조사보고서, pp. 136-153.

송하윤 · 김우중 · 이완옥 · 방인철. 2008. 미호종개 *Ikooskimia choii* (Cobitidae)의 난 발생 및 자어 형태 발달. 한국어류학회지, 41: 104-110.

송호복 · 백현민. 2005. 밀어, *Rhinogobius brunneus* (Pices: Gobiidae)의 개체군 생태. 한국어류학회지, 17: 195-204.

양홍준 · 권오택. 1992. 내성천의 어류상과 어류군집 구조. 경북대학교 환경과학연구소 환경과학논문집, 6: 15-29.

원두희 · 권순직 · 전영철. 2005. 한국의 수서곤충, (주)생태조사단, 415pp.

이성훈 · 오광남 · 김 석. 2008. 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*)의 난발생 및 자치어 형태 발달. 한국발생생물학회지, 12: 283-288.

윤일병. 1995. 수서곤충검색도설. 정행사, 서울, 218pp.

장민호 · 조가익 · 주기재. 2001. 낙동강 본류의 어류상. 한국어류학회지, 34: 223-238.

전상린 · 손영목. 1983. 한국산 흰수마자 *Gobiobotia naktongensis* Mori의 분포에 관하여. 한국어류학회지, 16: 21-26.

최기철. 1985. 경기의 자연 (담수어편). 경기도교육위원회, 361pp.

채병수. 1996. 낙동강생태보고서. 낙동강의 어류상과 군집구조. 영남자연생태보존회. 대구, pp. 287-402.

채병수 · 이윤호. 1999a. 봉화 · 영월, 선달산 일대의 담수어류. 환경부 제2차 전국자연환경조사보고서, pp. 1-19.

채병수 · 이윤호. 1999b. 안동 · 예천, 학가산 일대의 담수어류. 환경부 제2차 전국자연환경조사보고서, pp. 1-19.

채병수. 2004. 흰수마자, *Gobiobotia naktongensis* Mori (Cyprinidae, Pisces)의 현황과 보호대책. 2004년 한국어류학회 추계학술발표대회 심포지엄 발표요약집, pp. 47-57.

홍영표 · 박경서. 2001. 합천 · 고령, 오도산 일대의 담수어류. 환경부 제2차 전국자연환경조사보고서, pp. 1-13.

Anderson, R.O. and R.M. Neumann. 1996. Length, Weight, and Associated Structural Indices. In: Murphy, B.R. and D.W. Willis (eds.), Fisheries Techniques. American Fisheries Society Bethesda, Bethesda Maryland, pp. 447-482.

Campbell, N.J., J.B. Reece, M.R. Taylor and E.J. Simon. 2006. Biology - concepts and connections (5th edition). Benjamin Cummings, 912pp.

Cummins, K.W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special on lotic waters. Amer. Midl. Nat., 67: 477-504.

Geoffrey, W.P. and R.J. Wootton. 1984. Fish reproduction: strategies and tactics. Academic Press, 410pp.

Kani, T. 1944. Ecology of torrent-inhabiting insects, In: Furukawa, J. (ed.), Insect I. Kenkyu-sha, Tokyo, pp. 171-317. (in Japanese)

Marza, V.D. 1938. Histophysiology de l'ovogenese. Paris, Hermanu and Cie Editeurs, p. 81.

Mori, T. 1935. Descriptions of two new genera and seven species of Cypinidae from Korea. Ann. Zool. Japn., 15: 161-166.

Ricker, W.E. 1971. Methods for assessment of fish production in freshwater. IBP hand book, 3: 112-113.

Sahotra, S. and A. Plutynski. 2010. A companion to the philosophy of biology. Wiley-blackwell, pp. 302-320.

Seo, J., H.S. Kim, H.S. Yi and S.A. Jeong. 2009. Preference of physical microhabitat on the 1st-class endangered species, *Gobiobotia naktongensis* inhabiting the Gam stream, tributary of the Nakdong River. Korean J. Limnol., 42: 495-501.

Uchida, K. 1939. The fishes of Työsen (Korea). Part 1. Nematognathi and Eventognathi. Bull. Fish. Exp. Sta. Gov. Gener. Työsen. 6., 458pp. (in Japanese)