

재도입을 통한 멸종위기종 묵납자루 *Acheilognathus signifer* (Pisces: Cyprinidae: Acheilognathinae)의 복원성과 서식현황

고명훈 · 양 현¹ · 방인철^{2,*}

고수생태연구소, ¹생물다양성연구소(주), ²순천향대학교 생명시스템학과

Recovery Success and Habitat Status of the Reintroduced Endangered Species, *Acheilognathus signifer* (Pisces: Cyprinidae: Acheilognathinae) by Myeong-Hun Ko, Heon Yang¹ and In-Chul Bang^{2,*} (Kosoo Ecology Institute, Seoul 07952, Republic of Korea; ¹Institute of Biodiversity Research, Jeonju 54904, Republic of Korea; ²Department of Life Sciences and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 31538, Republic of Korea)

ABSTRACT This study was conducted from 2017 to 2018 to determine habitat aspects of *Acheilognathus signifer*, an endangered species reintroduced (2010~2012) to Heukcheon Stream, a tributary of the Hangang River, Korea. A total of 329 individuals were collected in 2017 (two surveys) and 723 individuals were collected in 2018 (four surveys) at about 5 km habitat area, including the discharge station. *A. signifer*'s habitat was about 0.4 to 1.2 meters deep in slow water flow upstream of the discharge area. It was a place with many boulders and cobbles. The spawning period was estimated from April to June in terms of spawning behavior and collected juvenile size. Sex ratio of females (438) and males (412) was 1 : 0.94. Estimated age of *A. signifer* based on their total length distribution during the spawning period (April) indicated that 1-, 2-, 3-year old groups and more than 4-year-old group were 32~43 mm, 50~61 mm, 62~75 mm, and 76~89 mm, respectively. Age-specific composition costs differed depending on the timing of the collection. They were relatively high in the order of first-year (juvenile)>third-year> and fourth-year or higher, showing a stable age structure. Thus, *A. signifer* reintroduced to Heukcheon Stream has successfully settled down and formed a stable population, showing a tendency to proliferate.

Key words: *Acheilognathus signifer*, habitat aspects, endangered species

서 론

전 세계적으로 산업화가 진행되면서 빠른 인구증가와 무분별한 개발, 환경오염, 기후변화 등으로 많은 야생동·식물들이 멸종하거나 멸종위험에 처하고 있으며, 다양성이 급격히 감소하는 것으로 보고되고 있다(Chapin *et al.*, 2000; Thomas *et al.*, 2004). 우리나라의 담수어류도 대형 댐과 보, 저수지의 건설과 하천 준설 및 정비공사, 외래종의 도입, 수질오염 등으로 인해 심각한 교란을 받고 있으며, 이로 인해 많은 어류들이 다양성 및 서식지와 개체수가 급격히 감소하면서 멸종위기에 놓이거나 일부 종은 멸종한 것으로 보고되고 있다(Jang *et al.* 2006; Kwater,

2007; Ko *et al.*, 2008; NIBR, 2011; Ko *et al.*, 2017).

우리나라의 멸종위기종은 1998년부터 지정되어 보호받고 있으며, 이 중 어류는 1998년 12종, 2005년 18종, 2012년 25종, 2017년 27종이 지정되었다(ME, 1998, 2005, 2012, 2017). 또한 멸종위기종들의 보전을 목적으로 2002년부터 복원연구가 수행되었고, 지금까지 통사리 *Liobagrus obesus* 등 15종에 이르고, 이 중 13종이 인공증식으로 치어가 생산되고 자연에 방류되었다(ME, 2005, 2006, 2009a, 2009b, 2010, 2011a, 2011b, 2012, 2013, 2014, 2016, 2018; MLTM, 2010, 2011, 2012; CHA, 2012; WPOE, 2017, 2018). 자연에 방류된 멸종위기어종들 중 개체군 크기가 크고 지속적으로 후대가 생산되는 성공의 복원 사례는 많지 않았다(WPOE, 2017; ME, 2013, 2018).

묵납자루 *Acheilognathus signifer*는 잉어목(Cypriniformes),

*Corresponding author: In-Chul Bang Tel: 82-41-530-1286, Fax: 82-41-530-1638, E-mail: incbang@sch.ac.kr

잉어과(Cyprinidae), 납자루아과(Acheilognathinae)에 속하는 소형 어류로 한강수계인 임진강과 한강에만 서식하는 우리나라 고유종이다(Choi *et al.*, 1990; Kim, 1997; Baek, 2005; Kim, 2014). 멸종위기종으로는 2005년 환경부지정 멸종위기야생동식물 II급으로 지정된 후 지금까지 지속되고 있다(ME, 2005, 2012, 2017). 묵납자루에 관한 연구는 Baek (2005)에 의해 지리적 분포와 서식지 특성, 산란생태, 발생과 숙주 적응전략, 연령과 성장, 소화기관 및 먹이생물 등에 대해 연구되었으며 이후 2010년부터 2014년까지 복원사업의 일환으로 산란생태와 산란숙주조개 선호도, 자연잡종 및 유전자 분석, 인공증식기술개발 및 치어방류, 방류 모니터링 등에 대한 연구가 진행되었다(ME, 2010, 2011b, 2012; Kim, 2014). 남한강 지류 흑천은 과거 묵납자루가 서식하였으나 최근에는 서식이 확인되지 않으나(Choi *et al.*, 1990; Baek, 2005; Kim, 2014), 서식지가 양호하여 묵납자루의 서식에 적합하다는 판정을 받아 2010년부터 2012년까지 치어 7,000개체가 재도입(reintroduction)되었다(ME, 2010, 2011b, 2012). 재도입 이후 방류된 묵납자루는 2010년부터 2013년까지는 매년 69~127개체가 채집되었으나(ME, 2014) 이후 2014년과 2015년에 각각 1개체만이 채집되고 2016년에는 채집되지 않아 개체수가 급감하였거나 소멸된 것으로 보고되었다(ME, 2016)

본 연구는 2017년부터 2018년까지 정밀조사를 실시하여 흑천에 재도입된 묵납자루 개체군의 정확한 서식현황을 밝히고 묵납자루 복원사업의 성공가능성과 보전대책에 대해 논의하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사 기간 및 지점

본 연구는 남한강 지류 흑천에서 1차(2017년 5월 2~3일), 2차(2017년 10월 1~2일), 3차(2018년 4월 21~23일)와 4차(2018년 6월 18~20일), 5차(2018년 8월 17~19일), 6차(2018년 10월 4~6일)로 나누어 묵납자루 *A. signifer*와 서식지환경, 동소종을 조사하였는데, 동소종은 2018년 3~6차 조사에서 출현한 어류를 합산하였다. 조사지점은 아래와 같이 흑천의 최상류부터 하류까지 서식지 특성과 보의 위치를 고려하여 1~1.5 km 간격으로 8개 지점을 선정하였다(Fig. 1).

- St. 1: 경기도 양평군 청운면 비룡리 울리교(37°31'48.51"N, 127°41'15.71"E)
- St. 2: 경기도 양평군 단월면 삼가리 선바위교(37°31'15.50"N, 127°40'36.12"E)
- St. 3: 경기도 양평군 단월면 삼가리(37°31'12.54"N, 127°40'3.42"E)
- St. 4: 경기도 양평군 단월면 삼가리 삼가교(37°30'59.72"N,

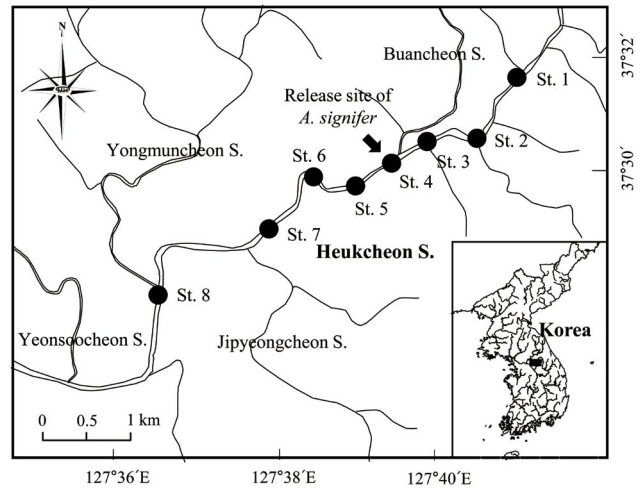


Fig. 1. Monitoring stations of *Acheilognathus signifer* in the Heukcheon Stream, Hangang River, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do, Korea from 2017 to 2018.

127°39'32.42"E)

St. 5: 경기도 양평군 단월면 봉상리 봉상교(37°30'42.59"N, 127°39'4.39"E)

St. 6: 경기도 양평군 용문면 광탄리 돌보(37°30'44.93"N, 127°38'26.48"E)

St. 7: 경기도 양평군 용문면 광탄리 광탄교(37°30'24.04"N, 127°37'57.20"E)

St. 8: 경기도 양평군 용문면 마룡리 화전교(37°29'16.93"N, 127°36'25.02"E)

2. 채집 및 조사방법

멸종위기야생동물 II급의 묵납자루를 포획하기 위해 한강유역환경청의 포획허가(제2017-21호, 제2018-34호)를 받은 후 채집을 실시하였다. 조사 지점별로 200 m 구간에서 여울과 소를 포함하였으며, 정량조사가 되도록 투망(망목 6×6 mm, 10회)과 족대(망목 4×4 mm, 1시간), 일각망(1개, 날개 길이 10 mm, 망목 4×4 mm, 야간을 포함하여 12시간 정지)을 사용하여 채집하였다. 채집된 개체는 현장에서 육안으로 동정·계수한 후 생태계 보전을 위하여 바로 방류하였다. 어류의 동정은 Kim (1997), Kim and Park (2007), Kim *et al.* (2005) 등에 따랐으며 분류체계는 Nelson (2006)에 따라 목록을 정리하였다. 묵납자루의 채집은 정량조사에서 채집된 개체와 St. 4의 뜰채(망목 1×1 mm)와 족대를 이용한 추가조사를 통하여 개체수를 확보하였으며, 채집된 개체는 마취제(MS-222)로 마취한 후 전장과 성별 등을 조사한 후 방류하였다. 채집시기별 전장빈도분포도를 작성하여 성장도와 연령을 추정하였으며(Ricker, 1971), 성비는 채집된 개체의 암컷과 수컷의 비율을 계산하고 χ^2 검정을 통하여 성비 1:1 유

의성을 검증하였다.

서식지 환경은 중 수문학적 환경의 하폭 및 유폭, 수심은 거리 측정용 망원경 (Yardage pro Tour XL, BUSHNELL, Japan)과 줄자를 이용하였으며, 하천형은 Kani (1944)의 방법에 따라, 하상 구조는 Cummins (1962)의 방법으로 구분하였다. 이·화학적 환경 중 기온과 수온은 디지털온도계 (T-250A, ASAHI, Japan)를, 전기전도도 (Conductivity)와 용존산소량 (DO), pH, 염도 등은 수질측정기 (HI-9828, Romania)를 사용하여 측정하였다. 또한 서식지에서 묵납자루의 산란숙주가 되는 석패과 (Unionidae)의 조개를 조사하였으며, Kwan (1993)에 따라 동정하였다.

결 과

1. 서식환경

연구 지역은 3~4차 하천으로 하폭이 70~150 m, 유폭이 30~100 m이고 수심은 0.3~1.5 m였으며 보가 많이 설치되어 있어 보 위는 긴 소가, 보 아래는 긴 여울이 형성되어 있었다. 하상은 주로 돌 (cobble)과 자갈 (pebble), 큰돌 (boulder), 잔자갈 (gravel), 모래 (sand) 등의 순으로 비율이 높았다. 물은 맑았으며 특별한 오염원은 관찰되지 않았다. 전기전도도는 대체로 110~180 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 였고, 염도는 0.05~0.10‰였으며, 용존산소량은 6.3~12 mg/L, pH는 대체로 6.5~7.5이었다. 묵납자루 *A. signifer*가 많이 채집된 St. 3은 정수역의 상류부이며 유폭 30~40 m로 비교적 좁은 편이었고 물은 항상 흐르고 있었으며 하상은 큰 돌 (boulder)과 돌 (cobble)의 비율이 높았다. 수변부는 갯버들류 (pussy willow)와 일부 달뿌리풀 *Phragmites japonica*이 서식하고 있었으며 수중에는 말즘 *Potamogeton crispus*이 유속이 느린 소 (pool) 가장자리 일부에 서식하고 있었다. 전기전도도와 염도는 각각 113~170 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 0.05~0.08‰로 비교적 낮은 편이었고, 용존산소량은 6.4~9.2 mg/L, pH는 6.5~7.3이었다. 묵납자루의 산란숙주로 이용되는 석패과 조개는 작은말조개 *Unio douglasiae sinuolatus*만이 관찰되었다 (Table 1).

2. 동소출현종

2018년 묵납자루가 서식지 인근을 조사한 결과 10과 38종이 채집되었으며, 우점종은 피라미 *Zacco platypus* (35.72%), 아우점종은 참갈겨니 *Z. koreanus* (13.21%)와 긴물개 *Squalidus gracilis majimae* (10.1%)였으며, 그 다음으로 한강납줄개 *Rhodesius pseudosericeus* (9.02%), 돌고기 *Pungtungia herzi* (7.94%), 돌마자 *Microphysogobio yaluensis* (3.40%), 모래무지 *Pseudogobio esocinus* (2.47%), 참마자 *Hemibarbus longirostris* (2.31%), 납지리 *Acheilognathus rhombeus* (2.09%), 참종개 *Iksookimia koreensis* (1.75%) 등의 순이었다. 묵납자루와 같은 법정보호종

Table 1. Physicochemical and hydrological environments at the monitoring stations in the Heukcheon Stream, Hangan River, Korea from 2017 to 2018

Stations	River		Water		River type*	Stream order	Bottom structure (%)**							Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Salinity (%)	DO (mg/L)	pH	Etes
	width (m)	width (m)	depth (m)	depth (m)			M	S	G	P	C	B						
1	130~150	30~100	0.3~1.2	0.3~1.2	Bb	3	20	20	40	40	20	157~185	0.07~0.09	6.9~10.3	6.5~7.0	W, FW		
2	120~130	40~90	0.5~1.5	0.5~1.5	Bb	3	10	20	30	40	40	113~174	0.05~0.07	7.9~12.5	6.5~7.9	W		
3	60~80	30~40	0.3~1.4	0.3~1.4	Bb	3	20	40	40	40	40	113~170	0.05~0.08	6.4~9.24	6.5~7.3	W		
4	130~160	40~110	0.3~1.2	0.3~1.2	Bb	4	10	30	50	10	10	153~172	0.05~0.08	7.9~10.1	6.5~7.2	W		
5	80~100	30~60	0.3~1.2	0.3~1.2	Bb	4	10	30	40	20	20	135~170	0.06~0.08	6.5~9.5	6.5~7.0	W		
6	120~130	50~60	0.3~1.5	0.3~1.5	Bb	4	20	30	10	10	10	140~172	0.06~0.08	6.5~8.5	6.6~7.0	W		
7	100~120	40~60	0.5~1.5	0.5~1.5	Bb	4	20	30	30	20	20	157~187	0.07~0.09	6.5~11.7	6.5~6.9	W		
8	130~150	40~100	0.3~1.2	0.3~1.2	Bb	4	10	10	30	50	50	159~205	0.07~0.10	6.3~8.8	6.4~6.9	W		

*River type: by Kani (1944); **M: Mud (~0.1 mm), S: Sand (0.1~2 mm), G: Gravel (2~16 mm), P: Pebble (16~64 mm), C: Cobble (64~256 mm), B: Boulder (256~mm) ~modified Cummins (1962), W: weir, FW: fishway

Table 2. List of fish species and number of individual fish collected in the Heukcheon Stream, Hangang River, Korea from April to October 2018

Scientific name and Koran name	Stations								Total	RA (%)*	Remarks**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Cyprinidae 잉어과											
<i>Cyprinus carpio</i> 잉어	2				2	4	2	1	11	0.09	
<i>Carassius auratus</i> 붕어	7	3	21	12	5	23	7	2	80	0.63	
<i>Rhodeus ocellatus</i> 흰줄납줄개							2	1	3	0.02	
<i>Rhodeus pseudoericeus</i> 한강납줄개	161	129	221	319	72	183	39	29	1153	9.02	EnII, E
<i>Rhodeus uyekii</i> 각시붕어			1						1	0.01	E
<i>Acheilognathus lanceolatus</i> 납자루	3	15		5	15	16	44	84	182	1.42	
<i>Acheilognathus signifer</i> 묵납자루		3	367	14	3		1		388	3.04	EnII, E
<i>Acheilognathus yamatsutae</i> 줄납자루								17	17	0.13	E
<i>Acheilognathus rhombeus</i> 납지리		1	62	130	10	36	6	22	267	2.09	
<i>Acheilognathus chankaensis</i> 가시납지리								24	24	0.19	
<i>Pungtungia herzi</i> 돌고기	137	101	114	84	116	228	134	101	1015	7.94	
<i>Coreoleuciscus splendidus</i> 쉬리	19	22	16	26	46	3	27	16	175	1.37	E
<i>Squalidus gracilis majimae</i> 긴몰개	158	106	69	182	54	366	194	157	1286	10.06	E
<i>Gnathopogon strigatus</i> 줄몰개								1	1	0.01	
<i>Hemibarbus longirostris</i> 참마자	45	50	15	10	29	65	60	21	295	2.31	
<i>Pseudogobio esocinus</i> 모래무지	53	42	3	17	28	104	55	14	316	2.47	
<i>Microphysogobio yaluensis</i> 들마자	139	51		23	35	81	74	32	435	3.40	E
<i>Microphysogobio longidorsalis</i> 배가사리	53	36	13	35	70		18	3	228	1.78	E
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> 벼들치		15	30	10				3	60	0.47	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> 꼬리			3					2	5	0.04	
<i>Zacco koreanus</i> 참갈겨니	294	315	352	178	216	37	106	191	1689	13.21	E
<i>Zacco platypus</i> 피라미	337	473	314	1518	420	582	462	461	4567	35.72	
Balitoridae 종개과											
<i>Lefua costata</i> 쌀미꾸리				2					2	0.02	
Cobitidae 미꾸리과											
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸리		2	2						4	0.03	
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지		3		1					4	0.03	
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i> 새코미꾸리	2	1	2	2	1	2	6	2	18	0.14	E
<i>Iksookimia koreensis</i> 참종개	43	33	11	8	71	29	17	12	224	1.75	E
<i>Cobitis nalbanti</i> 점줄종개								3	3	0.02	E
Siluridae 메기과											
<i>Silurus asotus</i> 메기				2	4				6	0.05	
<i>Silurus microdorsalis</i> 미유기			1	1					2	0.02	E
Bagridae 동자개과											
<i>Pseudobagrus koreanus</i> 눈동자개	1	3	21	6	24		10	12	77	0.60	E
Amblycipitidae 통가리과											
<i>Liobagrus andersoni</i> 통가리							1	1	2	0.02	E
Centrarchidae 검정우럭과											
<i>Micropterus salmoides</i> 배스								2	2	0.02	Ex
Centropomidae 꺾지과											
<i>Coreoperca herzi</i> 꺾지	12	18	18	13	20	4	10	8	103	0.81	E
<i>Siniperca scherzeri</i> 쏘가리						4	1	1	6	0.05	
Odontobutidae 동사리과											
<i>Odontobutis platycephala</i> 동사리	17	5	9	3					34	0.27	E
<i>Odontobutis interrupta</i> 얼룩동사리	4	3	16	9	6	9	7	4	58	0.45	E
Gobiidae 망둑어과											
<i>Rhinogobius brunneus</i> 밀어	5	10		3	6		14	3	41	0.32	L
Number of species	20	25	22	26	22	18	26	28	38		
Number of individuals	1492	1441	1680	2613	1253	1776	1302	1225	12784		

*RA: relative abundance (%), **Remarks: EnII: endangered species rank II; E: endemic species; L: land-locked species; Ex: exotic species.

은 환경부 멸종위기야생생물 II급에 속하는 한강납줄개가 많이 서식하였다. 납자루아과 어류는 한강납줄개, 묵납자루, 납지리, 납자루 *A. lanceolatus*, 가시납지리 *A. chankaensis*, 줄납자루 *A. yamatsutae*, 흰줄납줄개 *R. ocellatus*, 각시붕어 *R. uyekii* 8종

이 서식하여 많은 종이 서식하고 있었다. 어식성 어종은 꺾지 *Coreoperca herzi* (0.81%), 얼룩동사리 *Odontobutis interrupta* (0.45%), 동사리 *O. platycephala* (0.27%), 쏘가리 *Siniperca scherzeri* (0.05%), 메기 *Silurus asotus* (0.05%), 꼬리 *Opsariichthys*

Table 3. Historical collected record of monitoring of *Acheilognathus signifer* in the Heukcheon Stream, Hangang River, Korea from 2010 to 2018

Years	No. surveys	No. stations	Stations*								Total	Collection method	Reference
			1	2	3	4	5	6	7	8			
2010	2	1				127					127	Bait traps	ME, 2010
2011	8	1				69					69	Bait traps	ME, 2011
2012	8	6		0	0	122	0	0	0		122	Skimming nets, bait traps	ME, 2012
2013	3	4			17	65	0	0			82	Skimming nets, long bag set nets	ME, 2013
2014	4	4	0	0		1		0			1	Skimming nets, cast nets	ME, 2014
2015	2	1				1					1	Skimming nets, cast nets, bait traps	ME, 2016
2016	1	1				0					0	Skimming nets, cast nets, bait traps	ME, 2016
2017	2	7		0	304	23	2	0	0	0	329	Skimming nets, cast nets, long bag set nets	Present study
2018	4	8	0	3	702	14	3	0	1	0	723	Skimming nets, cast nets, long bag set nets	Present study

*Excludes number of individuals by underwater observation (skin diving).

uncirostris amurensis (0.04%), 미유기 *S. microdorsalis* (0.02%), 배스 *Micropterus salmoides* (0.02%)가 채집되었는데, 묵납자루 집단서식지인 St. 3에는 꺾지와 얼룩동사리, 동사리, 미유기 4종이 서식하고 있었다. 지점조사에 묵납자루는 St. 2에서 3개체, St. 3에서 367개체, St. 4에서 14개체, St. 5에서 3개체, St. 7에서 1개체가 채집되어 St. 3이 대부분을 차지하였다(Table 2).

3. 채집개체수

2017년에는 7개 지점에서 2회 조사를 실시하여 방류지점에서 약 850 m 떨어진 상류역 (St. 3)에서 304개체, 방류지점 (St. 4)에서 23개체, 방류지점 아래 약 1,150 m 아래 (St. 5)에서 2개체를 채집하여 약 2 km 구간에서 모두 329개체를 채집하였다. 2018년에는 8개 지점에서 4회 조사를 실시하여 St. 2에서 3개체, St. 3에서 702개체 (추가조사 포함), St. 4에서 14개체, St. 5에서 3개체, St. 7에서 1개체를 채집하여 방류지로부터 상류로 약 1.6 km, 하류로 약 3.4 km까지 약 5 km 구간에서 모두 723개체를 채집하였다(Table 3). 따라서 2017년부터 2018년까지 6회 조사에서 묵납자루는 모두 1,052개체를 채집하였고, 방류지 상류인 St. 3에서 1,006개체 (95.6%)로 대부분을 차지하고 있었으며, 방류지점인 St. 4는 37개체 (3.5%), St. 5는 5개체 (0.5%), St. 2는 3개체 (0.3%), St. 7은 1개체 (0.1%)를 채집하였다(Fig. 2).

4. 산란기 특징 및 연령추정, 성비

4월부터 6월까지 만 2년생 이상의 개체들에서 수컷은 입 주변에 작인 돌기들의 추성이 나타나고 등지느러미와 뒷지느러미, 배지느러미, 체측 등에 혼인색이 나타나고 있었으며(Fig. 2A), 암컷은 산란관이 길게 신장되어 있었고 일부 개체는 배란된 성숙란이 관찰되었다(Fig. 2B). 또한 이 시기에는 산란행동이 관찰되었으며, 6월에는 10~23 mm의 당년생치어가 수심이 얇은 수변부에서 채집되었다. 따라서 산란시기는 4월에서 6월로 추정되었다.

연령과 성장을 추정하기 위해 2017년 5월부터 2018년 10월까

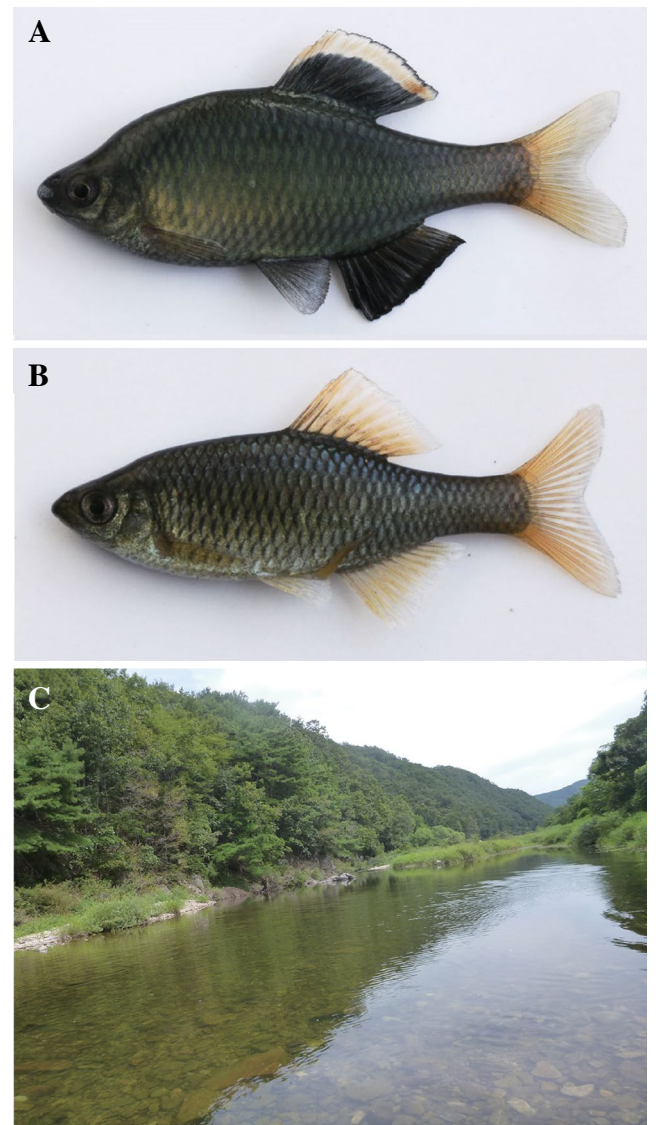


Fig. 2. Photographs of *Acheilognathus signifer* (A: male, B: female) and their habitat (C) in the Heukcheon Stream, Hangang River, Korea, April, 2018.

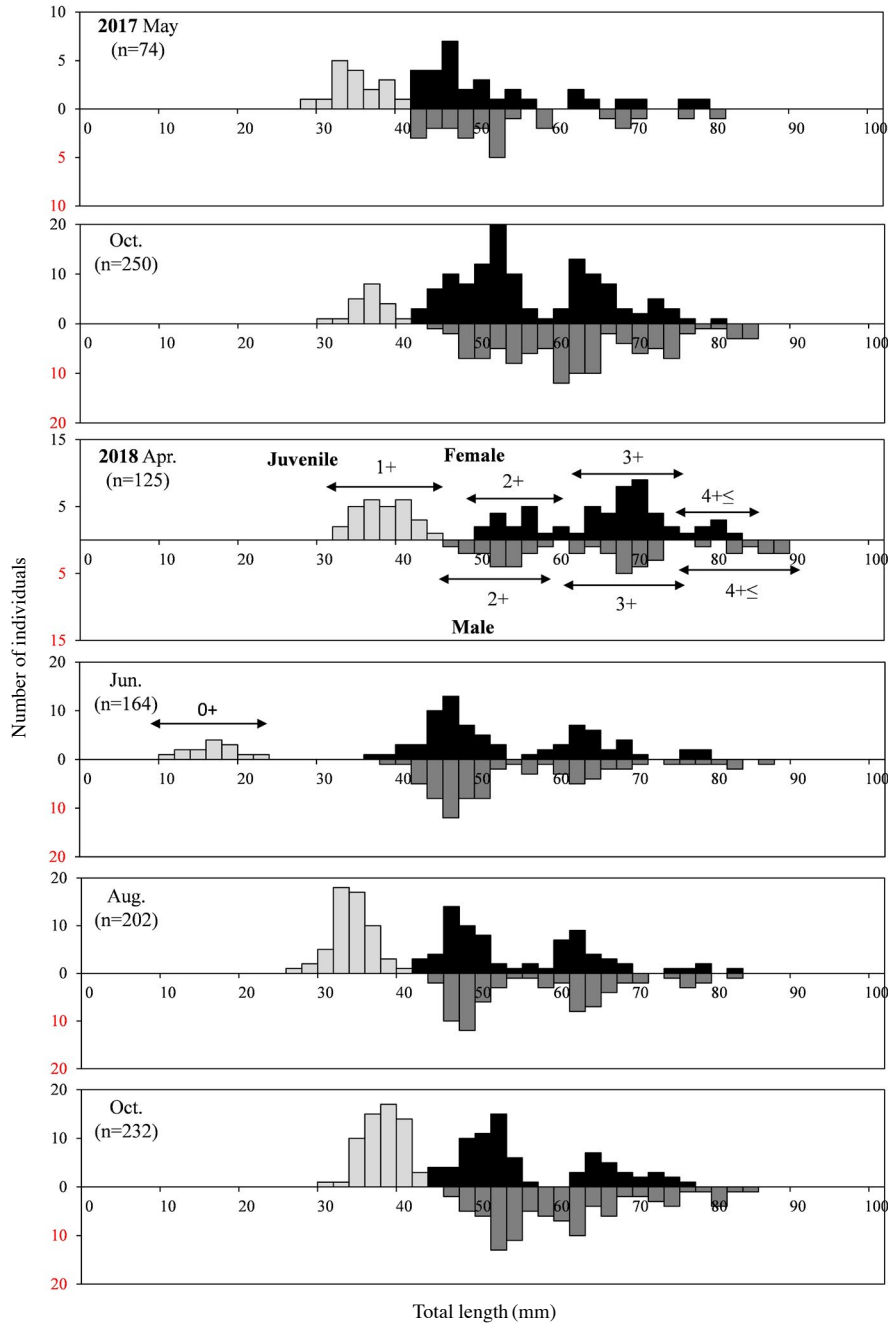


Fig. 3. Total length frequency distribution of *Acheilognathus signifer* in the Heukcheon Stream, Hangang River, Korea from 2017 to 2018.

지 6회 조사를 실시하여 전장빈도분포도를 작성하였다(Fig. 3).
 당년생 치어는 8월에 전장 26~41 mm로, 10월에는 전장 30~43 mm로 성장하였다. 4월에 채집된 가장 작은 피크 그룹인 전장 32~43 mm와 10월에 채집된 당년생의 전장크기는 거의 유사하기 때문에 이 시기에 채집된 가장 작은 그룹은 만 1년생으로 판단되었다. 이 치어들은 6월에 전장 36~53 mm로 성장하고 암컷에 산란관이 작게 나타나 암·수가 구별되었으며, 8월에 전장

42~55 mm로, 10월에는 전장 44~57 mm로 성장하였다. 이러한 10월의 전장범위는 4월의 두 번째 피크 그룹인 전장 50~61 mm와 거의 유사하기 때문에, 4월의 두 번째 피크 그룹은 만 2년생으로 추정되었다. 이러한 성장패턴에 따라 4월의 세 번째 그룹인 전장 62~75 mm는 만 3년생, 네 번째 그룹인 전장 76~89 mm는 만 4년생 이상으로 추정되었다. 암컷과 수컷의 전장범위는 거의 유사하였으나 만 4년생 이상의 개체들에서는 수컷이 암

Table 4. The sex ratio of *Acheilognathus signifer* in the Heukcheon Stream, Hangang River, Korea from 2017 to 2018

Year/Month	Juvenile	Female	Male	Total	Sex ratio	χ^2
2017 May	17	31	26	74	0.84	0.44
Oct.	20	123	107	250	0.87	1.11
2018 Apr.	28	56	41	125	0.73	2.32
Jun.	14	76	74	164	0.97	0.03
Aug.	57	75	70	202	0.93	0.17
Oct.	61	77	94	232	1.22	1.69
Total	197	438	412	1047	0.94	0.80

The critical value for χ^2 goodness-of-fit test of equal numbers of females and males (df = 1) at 95% significance is 3.84.

컷보다 0~8 mm 큰 개체들이 채집되어 약간의 차이를 보였다.

성비(♂/♀)는 본 조사기간에 암컷은 438개체, 수컷은 412개체가 채집되어 0.94였으며 암·수컷에 유의한 차이를 보이지 않아 1:1이었다($P < 0.05$). 또한 시기별로 채집된 묵납자루의 성비는 0.73~1.22로 약간씩 차이를 보였으나 통계적 유의성은 보이지 않았다($P < 0.05$, Table 4).

5. 미소서식지

홍천에 방류된 묵납자루는 St. 3에 많이 서식하고 있었다(Fig. 3C). 성어는 유속이 있는 수심 0.4~1.2 m의 큰돌과 돌 주위에 서식하였고 일부 개체가 수변부의 갯버들이나 달뿌리풀 인근에서 확인되었다. 하지만 당년생 치어는 유속이 느리고 말즘이 서식하는 곳에 무리를 지어 서식하고 있었으며 일부 개체만이 수변부의 달뿌리풀 인근에 서식하고 있어 성어와 차이를 보였다.

고 찰

묵납자루 *A. signifer*는 한국고유종으로 한강수계인 임진강과 한강유역의 중상류 지역에 넓게 서식하고 있는 것으로 알려져 있다(Choi *et al.*, 1990; Kim, 1997; Baek, 2005; Kim, 2014). 이 중 남한강 지류 홍천에서는 Choi *et al.*(1990)과 Baek(2005), Kim(2014)에 의해 서식이 확인되었지만, 최근 연구(Han, 2007; Moon *et al.*, 2010)와 제3차 전국자연환경조사(Song and Jeon, 2009a, 2009b, 2009c; Baek and Kim, 2010; Park and Hong, 2010)에서는 서식이 확인되지 않았다. 2010년부터 2012년까지 홍천에 묵납자루는 환경부의 복원사업의 일환으로 재도입(reintroduction)되어 10월에 모두 7,000개체가 방류되었고, 방류 후 모니터링으로 2011년 69개체, 2012년 122개체가 확인되었다. 2013년 모니터링에서는 4개 지점(3회 조사)에서 모두 82개체가 채집되었는데, St. 3에서 17개체, St. 4에서 65개체로 처음으로 방류지점 외의 지점에서 채집되었다(ME, 2013). 그러나 이후 2014년과 2015년은 방류지점에서만 각각 1개체

가 채집되고 2016년에는 아예 채집되지 않아 묵납자루의 복원사업이 실패한 것으로 알려졌다(ME, 2014; 2016). 본 조사에서는 2017년부터 2018년까지 모니터링을 실시한 결과 2017년 329개체(2회 조사), 2018년 723개체(4회 조사)가 채집되고 5 km 구간(St. 2~St. 7)에 확산 분포하고 있으며, 연령분 석에서도 안정적으로 세대교번이 이루어지는 것이 확인되었다. 따라서 홍천에 방류된 묵납자루는 안정적으로 정착하여 개체군 크기가 크고 점점 확산되고 있어 재도입에 의한 복원사업이 성공적인 것으로 평가되었다. 국내에 재도입으로 방류된 종들 중 웅천천의 감돌고기 *Pseudopungtungia nigra*와 만경강의 통사리 *Liobagrus obesus*, 낙동강(남강)의 열록새코미꾸리 *Koreocobitis naktongensis* (ME, 2018), 오대산의 열목어 *Brachymystax lenok tsinlingensis* (WPOE, 2017) 등 만이 비교적 개체군이 크고 안정적이고 서식하여 성공적인 복원으로 평가된 바 있다. 국외에서도 많은 종들이 재도입되고 있지만 성공적인 복원은 많지 않은데, 납자루아과 어류에서는 일본의 *Tanakia limbata*가 성공으로, *A. longipinnis*, *A. cyanostigma*는 부분성공으로, 그 외의 분류군에서는 미국의 *Coregonus oxyrinchus*, *Etheostoma sitikuense*, *Noturus baileyi*, *Noturus flavipinnis*, *Salvelinus confluentus*와 일본의 *Pseudorasbora pumila* ssp. 등은 성공으로 보고되었다(IUCN, 2011).

2014년부터 2016년까지의 모니터링에서 묵납자루는 거의 채집되지 않은 것으로 보고되었는데(ME, 2014, 2016), 이는 조사지점 선정 및 채집도구 선정에 문제가 있었기 때문으로 추측된다. 즉 조사지점에서 2013년(ME, 2013)과 2017~2018년에 가장 많이 채집된 삼가고 위쪽의 St. 3이 조사지점에서 제외되었으며, 채집도구도 2013년과 2017~2018년에서 가장 많이 포획되는 어구인 일각망이 제외되고 족대와 투망, 유인어망으로만 조사되었다. 따라서 조사지점 및 채집방법에 따라 모니터링 결과에 큰 차이를 보이기 때문에 종의 특성에 따라 조사지점 선정과 채집방법을 신중하게 선택해야 할 것이며 이에 대한 조사 매뉴얼의 제작도 필요하다고 판단되었다.

본 조사 결과 연령은 암·수 큰 차이 없이 만 4년생으로 구분되었지만 자연서식지인 홍천강에서 비늘을 통해 연령을 추정 한 결과 만 1년생 암컷은 체장 33.35(수컷 38.96) mm, 만 2년생 암컷은 39.87(수컷 47.24) mm, 만 3년생 암컷은 43.34(수컷 53.80) mm, 만 4년생 암컷은 49.92(수컷 59.00) mm로 나타나(Baek, 2005) 연령수는 동일하였으나 수컷이 암컷보다 커서 본 결과와 차이를 보였다. 연령별 상대풍부도는 조사시기에 따라 차이를 보였지만 대체로 당년생 또는 1년생이 가장 많았고 2년생, 3년생, 4년생 순으로 안정적인 연령구조를 보였다. 자연분포수역인 홍천강 집단에서는 1년생(암컷 22%, 수컷 18%), 2년생(암컷 49%, 수컷 44%), 3년생(암컷 27%, 수컷 30%), 4년생(암컷 4%, 수컷 8%)의 구성비를 보이는 것으로 보고되어(Baek, 2005) 본 재도입 집단과 유사하였다. 산란은 4월부터 6월까지 관찰되고 치

어가 6월에 전장 10~23 mm, 8월에 전장 25~41 mm의 개체들이 채집되어 산란기는 4월부터 6월까지(산란성기 4~5월)로 추정되어, 괴산집단과 단양집단이 4~7월(산란성기 4~5월)로 보고되어 알려진 것과 유사하였으나 홍천강 집단은 5~6월로(Baek, 2005) 차이를 보였다. 묵납자루의 산란숙주는 본 지역에서 작은말조개 *Unio douglasiae sinuolatus*만이 관찰되었으며 과거조사(ME, 2011b)에서도 작은말조개만이 산란숙주로 보고된 바 있다. 홍천강 및 단양집단(Baek, 2005; Kim, 2014)은 본 결과와 동일하게 작은말조개만을 이용하고 있었으나 괴산집단에서는 곳체 두드럭조개 *Lamprotula leai*와 작은말조개 *Unio douglasiae*를 함께 이용하여 차이를 보였는데, Kim(2014)의 결과에 따르면 이곳에 서식하는 작은말조개와 곳체두드럭조개, 칼조개 *Anodonta arcuiformis flavotincta*, 작은대칭이 *Lanceolaria grayana* 중 조개선택성은 곳체두드럭조개(63.6%)와 작은말조개(2.2%)를 이용하는 것으로 보고되었고 두 종이 혼서할 경우에는 곳체두드럭조개를 더 선호하는 것으로 보고하였다.

묵납자루 방류지점인 St. 4는 보로 형성된 소의 하류이며, St. 3은 이 소의 상류로, 묵납자루는 2017년부터 2018년까지 St. 4에서 37개체, St. 3에서는 1,006개체가 채집되어 하류에 방류된 묵납자루가 상류로 이동하여 정착 번식하였다. 한편 이 지역에는 또다른 멸종위기야생생물 II급의 한강납줄개개 폭넓게 서식하고 있는데(Table 2), St. 3은 221개체, St. 4에 319개체가 채집되어 St. 4에 보다 많은 개체가 서식하고 있었다. 서식지 특징에서 St. 3은 큰돌과 돌로 이루어져 있고 수변부에 수초는 적은 반면 St. 4는 하상이 자갈과 돌로 하상 기질의 크기가 작은 반면 수변부에 수초가 많이 서식하고 있었다. 따라서 묵납자루와 한강납줄개개의 서식개체수의 차이는 미소서식지의 차이로 기인한 것으로 추정되어 이에 대한 연구가 필요하다. 생태적 지위가 유사한 종들은 경쟁을 피하기 위해 하상구조나 유속, 수온적응도, 먹이생물 등을 달리하여 공존이 가능하도록 서식지 분리가 일어나는데, 섬진강에 서식하는 칼납자루와 임실납자루는 숙주조개 선호도(말조개 vs 부체두드럭조개 *Inversiumio verrucosus*, 민납작조개 *Pronodularia seomjinensis*) 및 미소서식지(큰돌과 돌로 이루어지고 유속이 있는 소 vs 수초가 많은 정수역)의 차이로(Yang, 2004), 미꾸리과 어류 중 대부분의 참종개속 어류와 기름종개속 어류가 동소지역에 서식할 경우 유속(비교적 빠른 느린 여울부 vs 유속이 없는 정수역)과 하상(자갈과 돌 vs 모래)의 차이로(Ko, 2005, 2009; Ko et al., 2009), 돌상어와 꾸구리는 유속(빠른 여울 vs 느린 여울)의 차이로(Choi, 2002), 연준모치와 금강모치는 수온의 차이(Baek et al., 2002) 등으로 서식지 분리가 일어나는 것으로 보고되고 있다. 따라서 추후 흑천에 혼서하고 있는 묵납자루와 한강납줄개개의 서식지 특징(수초, 하상구조, 수심, 유속, 먹이생물, 숙주조개)과 미소분포, 공간활용 등을 조사하여, 동서하는 2종의 멸종위기종에 대한 보존방안 수립을 위한 경쟁여부 및 서식지 분리 등에 대한 연구가 시급하게 필요하였다.

요 약

남한강 지류 흑천에 재도입(2010~2012년)된 묵납자루의 서식현황을 밝히기 위해 2017년부터 2018년까지 서식현황을 조사하였다. 조사결과 2017년(2회 조사)에는 329개체를, 2018년(4회 조사)에는 723개체를 채집하였고, 서식범위는 방류지점을 포함하여 약 5 km 구간이었다. 묵납자루의 집단서식지는 방류지역소의 상류부로 유속이 있고 수심 0.4~1.2 m이며 큰돌과 돌이 많은 곳이었다. 산란기는 산란행동 및 당년생 치어 크기로 볼 때 4월부터 6월로 추정되었으며, 성비는 암컷 438개체, 수컷 412개가 채집되어 1:0.94였다. 연령은 4월을 기준으로 전장 32~43 mm는 만 1년생, 50~61 mm는 만 2년생, 62~75 mm는 만 3년생, 76~89 mm는 만 4년생 이상으로 추정되었다. 연령별 구성비는 채집시기에 따라 차이를 보였지만 1년생(또는 당년생), 2년생, 3년생, 4년생 이상의 순으로 높게 나타나 안정적인 연령구조를 보였다. 따라서 흑천에 복원을 위해 재도입된 묵납자루는 성공적으로 정착하여 안정적인 개체군을 이루고 점점 확산되는 경향을 보였다.

사 사

본 연구는 환경부의 ‘멸종위기 담수어류(꼬치동자개) 보전방안 연구’, ‘멸종위기 담수어류(여울마자, 꼬치동자개) 보전 방안 연구’ 및 순천향대학교의 연구비 지원을 받아 연구되었다.

REFERENCES

- Baek, H.M. 2005. Ecological studies on the Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae) in Korea. Doctoral Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, 186pp. (in Korean)
- Baek, H.M. and H. Kim. 2010. The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Yongmun whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Baek, H.M., H.B. Song, J.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: 121-131. (in Korean)
- CHA (Cultural Heritage Administration). 2012. Culture and restoration research of natural monument, *Hemibarbus mylodon*. Soonchunhyang University, Asan, 48pp. (in Korean)
- Chapin, F.S., E.S. Zavaleta, V.T. Eviner, R.L. Naylor, P.M. Vitousek, H.L. Reynolds, D.U. Hooper, S. Lavorel, O.E. Sala, S.E. Hobbie, M.C. Mack and S. Diaz. 2000. Consequences of changing biodiversity. Nature, 405: 234-242.
- Choi, J.S. 2002. Ecological studies of *Gobiobotia brevibarba* Mori

- (Cyprinidae). Doctoral Thesis. Kwagwon National University, 103pp. (in Korean)
- Choi, K.C., S.R. Jeon, I.S. Kim and Y.M. Son. 1990. Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyangmun Publishing Co. Ltd., Seoul, 277pp. (in Korean)
- Cummins, K.W. 1962. An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *Amer. Midl. Nat'l.*, 67: 477-504.
- Han, T.J. 2007. Ichthyofauna in the Heuk stream of Gyenggi Provinc. Master Thesis, Chonnam National University, Yeosu, 29pp. (in Korean)
- IUCN. 2001. IUCN Red list categories and criteria: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission. IUCN, ii + 30pp.
- IUCN. 2011. Global re-introduction perspectives: 2011. 251pp.
- Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. *Ecol. Freshw. Fish.*, 15: 315-320.
- Kani, T. 1944. Ecology of torrent-inhabiting insects, pp. 171-317. In: *Insect I* (Furukawa, J., ed.). Kenkyu-sha, Tokyo. (in Japanese)
- Kim, H.S. 2014. Spawning ecology and conservation of the Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae). Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 158pp. (in Korean)
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 37, Freshwater fishes. Ministry of Education, Yeongi, 518pp. (in Korean)
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, 467pp. (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. Kyohak publishing, Seoul, 615p. (in Korean)
- Ko, M.H. 2005. Ecological studies of *Cobitis tetralineata* and *Iksookimia longicorpa* (Cobitidae) in the Seomjin River, Korea. Master Thesis. Chonbuk National University, 68pp. (in Korean)
- Ko, M.H. 2009. Reproductive mechanisms of the unisexual diploid-triploid hybrid complex between the spined loach *Cobitis hankugensis* and *Iksookimia longicorpa* (Teleostei, Cobitidae) in Korea. Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 160pp. (in Korean)
- Ko, M.H., J.Y. Park and S.H. Kim. 2009. Habitat environment and feeding habitat of *Iksookimia koreensis* and *Cobitis lutheri* (Pisces: Cobitidae) in the Mangyeong River, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 21: 253-261. (in Korean)
- Ko, M.H., Y.S. Kwan, K.L. Lee and Y.J. Won. 2017. Impact of human activities on changes of ichthyofauna in Dongjin River of Korea in the past 30 years. *Anim. Cells Syst.*, 21: 207-2016.
- Kwan, O.G., G.M. Park and J.S. Lee. 1993. Coloured Shells of Korea. Academi publishing, Seoul, 445pp. (in Korean)
- Kwater. 2007. A guidebook of rivers in South Korea. Kwater, Daejeon, 582pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 1998. Natural environment conservation act (Law No. 5392). (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2005. Species conservation, restoration and development of propagation technique for the endangered endemic species among the freshwater fishes from Korea. Gunsan University, Gunsan, 537pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2006. Studies on the genetic diversity, artificial propagation and restoration of a threatened national monument Fish *Hemibarbus mylodon*. Soonchunhyang University, Asan, 520pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2009a. Development of genetic diversity analysis, culture and ecosystem restoration techniques for endangered fish, *Iksookimia choii*. Soonchunhyang University, Asan, 537pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2009b. Culture and restoration research of *Pseudobagrus brevicorpus*. Inland Culture Research Center, National Institute of Fisheries Science, 75pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2010. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Institute of Biodiversity Research, Jeonju, 86pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2011a. Development of culture techniques and construction of monitoring system for released seedlings of endangered fish *Koreocobitis naktongensis*. Soonchunhyang University, Asan, 250pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2011b. Culture and restoration research of endangered freshwater fish (four species include *Liobagrus obesus*). Soonchunhyang University, Asan, 359pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2012. Culture and restoration research of endangered freshwater fishes (five species including *Liobagrus obesus*). Soonchunhyang University, Asan, 269pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2013. Post-monitoring of culture and restoration research of endangered Freshwater Fish. Soonchunhyang University, Asan, 204pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2014. Monitoring of endangered freshwater fish and a study on the post-management Plan. Halla University, Wonju, 402pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2016. A study on the establishment of master plan of endangered freshwater fish. Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 379pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2017. Conservation and management laws of wildlife (amendment of enforcement regulations) (Law No. 10977). (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2018. A study on conservation plan of endangered freshwater fish (*Pseudobagrus brevicorpus*). Soonchunhyang University, Asan, 204pp. (in Korean)
- MLTM (Ministry of Land & Transport and Maritime Affairs). 2010. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Soonchunhyang University, Asan, 489pp. (in Korean)
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2011. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages II. Soonchunhyang University, Asan,

- 363pp. (in Korean)
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2012. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages III. Soonchunhyang University, Asan, 423pp. (in Korean)
- Moon, W.K., J.H. Han and L.G. An. 2010. Fish fauna and community analysis in Heuck Stream watershed. Korean J. Limnol., 43: 69-81. (in Korean)
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World. John Wiley & Sons, Inc., 601pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. Red data book of endangered fishes in Korea. Ministry of Environment, Incheon, pp. 59-60. (in Korean)
- Park, S.C. and G.S. Hong. 2010. The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Jije whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Ricker, W.E. 1971. Methods for assessment of fish production in freshwater. IBP hand book, 3: 112-13.
- Song, H.B. and J.S. Jeon. 2009a. The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Sinjeom whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Song, H.B. and J.S. Jeon. 2009b. The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Yangdukwon whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Song, H.B. and J.S. Jeon. 2009c. The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Cheongun whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. Jaarsveld, G.F. Midgley, L. Miles, M.A. Ortega-Huerta, A.T. Peterson, O.L. Phillips and S.E. Williams. 2004. Extinction risk from climate change. Nature, 427: 145-148.
- WPOE (Wonju Provincial Office of Environment). 2017. Culture and restoration research of endangered wildlife (*Brachymystax lenok tsinlingensis*). Kangwon Univeristy, Chuncheon, 45pp. (in Korean)
- WPOE (Wonju Provincial Office of Environment). 2018. Culture and restoration research of endangered wildlife (*Rhodeus pseudosericeus*) (Second year). Kangwon Univeristy, Chuncheon, 45pp. (in Korean)
- Yang, H. 2004. Ecolgoy and speciation of *Acheilognathus koreensis* and *A. somjinensis*. Doctoral Thesis. Chonbuk National University, 100pp. (in Korean)