

Research Paper

환경오염에 의해 급감하는 멸종위기 1급 어종인 미호종개의 대체 서식지 마련을 위한 미소서식지 분석

김지윤 · 안광국

충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과

Microhabitat Analysis of Endangered Species (I), *Cobitis choii* with Rapid Decreases of Population by Environmental Pollution for a Habitat Replacement

Jiyeon Kim · Kwangguk An

Department of Biological Science, College of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea.

요약 : 본 연구는 금강 수계 일부 지역에서 한정적으로 서식하는 멸종위기 1급 어종인 미호종개 (*Cobitis choii*)의 서식 현황과 적합한 서식지 환경 조건을 파악하기 위하여 실시하였다. 미호종개 (*Cobitis choii*)는 미호천의 인근 수계 및 금강 일부 지역에 한정적으로 서식하는 한국 고유종으로 미호종개를 법적으로 보호하기 위해서 환경부 멸종위기종으로 지정하여, 현재 천연기념물 (제454호)로 지정되어 있다. 조사는 백곡천, 유구천, 감천에서 각각 실시하였으며, 미호종개 (*Cobitis choii*)의 개체수는 평균 2.6 개체가 채집되어 극히 희소하게 분포되어 있는 종으로써 종 보존이 아주 시급한 것으로 나타났다. 미호종개가 출현한 지역의 하상구조는 60% 이상이 가는 모래로 이루어져있고, 평균 1mm 크기의 모래입자에서 가장 높은 빈도로 출현하는 것으로 분석되었다. 또한, 최적 서식지 조건으로 최적 수심은 20 - 60 cm로 비교적 얇고, 최적 유속은 0.4 m³/s 이하의 느린 흐름과 소가 반복적으로 나타나 최적 유량 범위가 0 - 2 m³/s 인 구간에서 주로 서식하는 것으로 나타났다. 미소서식처는 하천정비 등의 인위적인 요인과 도심과 농경지로부터의 영양 염류 유입에 민감하게 반응하여 직접적인 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 따라서, 멸종 위기종인 미호종개의 보존을 위해서 향후 대체서식지를 마련되어야 될 것으로 사료된다.

주요어 : 대체서식지, 멸종위기종, 미소서식지, 미호종개

Abstract : The objectives of this research were to analyse the microhabitat of *Cobitis choii* which is designated as an endangered fish species (I) and national monument species in Korea (No. 454), and provide valuable information of suitable replacement habitat in the future for a conservation of the population with rapid decreases by environmental pollution. Sampling and microhabitat analysis in three streams such as Baegkok, Yugu and Gap Stream, known as one of the least habitats in Korea

showed that the mean number of *Cobitis choii* observed was 2.6. This result indicated that the richness was too low, so the species conservation was very urgent. Optimal physical microhabitat of the population was determined as environmental conditions with > 60% sand with 1 mm particle size, optimal water depth of 20 - 60 cm in the habitats, and the optimal current velocity of < 0.4 m/s. Under the circumstances of the microhabitat, optimal water volume (discharge) was 0 - 2 m³/s in the each sectional analysis and this reach was mainly composed of the stream section with intermittent slow runs and pools. These microhabitats were largely disturbed by physical modifications of habitat and chemical pollutions due to direct influences of nutrient-rich water inputs from the urban area and intensive agricultural pollutants. For these reasons, optimal habitat replacement are required in the future for the conservation of the species.

Keywords : Habitat replacement, Endangered species, Microhabitat, *Cobitis choii*

I. 서론

최근, 우리나라에서는 국제 생물 다양성 보존 및 종 보존 협약 등에 의해 지역적인 종의 보존에 노력을 기울이고 있다. 이들 중 가장 핵심적인 국제적인 규약은 “국제 생물다양성 협약(CBD)”으로서 생물의 종 보전과 지속가능한 이용을 위한 국가전략의 수립, 생물다양성 구성 요소의 조사 및 감시, 보호지역 설정 및 교란된 생태계 대체 등을 통한 종 보존을 목적으로 제정되었다. 또한, 멸종위기에 처한 야생 동·식물을 보호하기 위해 무역을 제한하는 협약인 “멸종위기 야생동·식물종의 국제거래 협약(CITES)” 등이 체결되면서 각 나라들에서는 멸종위기종들의 분포, 생태 특성, 및 종 보전 대책이 수립되고 있다. 이와 같은 국제협약들을 이행하기 위해 우리나라에서는 2012년 “생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률”을 제정하였고 이에 따라 멸종위기에 처한 다양한 생물의 종 보존(Species conservation) 및 급감하는 종들에 대한 대책 마련을 하는데 고심하고 있는 상황이다.

우리나라 수생태계에서 어류의 경우 환경부에서 지정된 멸종위기 I급 어종은 본 연구 대상종인 미호종개(*Cobitis choii*)를 포함하여 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*), 흰수마자(*Gobiobotia naktongensis*), 꼬치동자개(*Pseudobagrus brevicorpus*), 통사리(*Liobagrus obesus*) 외 4 종으로써 분포지의 제한, 환경오염에 의한 개체수의 급감은 종 보존의 가장 큰 문제점으로 제기되고 있다. 실제, 최근 급속한 경제 성장, 도시개발 및 산업화로 인해 각종 유기

물 및 인(P), 질소(N)와 같은 영양 염류 등이 수체내로 유입되고, 댐 건설 및 하천정비 등의 인위적인 요인으로 인해 수생태계의 오염 및 교란 현상이 빠르게 진되면서 일반적인 어종의 감소는 물론이고, 멸종위기 I급 및 II급 어류들의 개체수 감소 등이 빠르게 일어나는 것으로 보고되고 있다(Hong, 2004; NIBR, 2011).

본 연구 대상종인 미호종개(*Cobitis choii*)는 잉어목, 미꾸리과(Cobitidae)에 속하는 어종으로 금강수계의 일부 지역에서 제한적으로 서식하는 한국고유종이다. 최근 서식지 훼손 및 개체군의 감소에 따라 환경부지정 멸종위기야생생물 I급으로 지정되었으며, 미호종개 서식지로 알려진 부여·청양일대의 지천(천연기념물 제533호)과 함께 천연기념물 제454호로 지정된 법정보호어종이다(Kim and Park, 2002; Lee and Noh, 2006). 또한, 적색자료집(Red Data Book, RDB)에는 위기종(Endangered, EN) 범주에 속해 야생에서 매우 높은 절멸 위기에 직면한 종으로 평가된 어종이다(NIBR, 2011). 미호종개는 Kim and Son(1984)에 의해서 *Cobitis choii*로 처음 신종으로 기재되었으며, 이후 Nalbant(1993, 1994)에 의해서 *Iksookimia* 속으로 분류되었다가 Kim (2009)의 연구에서 표피 반문 배열과 뒷지느러미 연조수의 차이점을 재확인하여 *Cobitis choii*로 다시 변경되었다.

미호종개의 현황 및 보존에 관한 많은 연구가 이루어져 있으며, 미호종개의 서식지가 매우 제한적이고, 지속적인 환경 변화와 개발에 따라 서식지가 감소되고

있는 추세를 보이고 있어 2007년부터 인공 증식한 미호종개 치어를 음성 초평천 수계에 4200마리, 진천 백곡천 수계에 7000마리, 진천 미호천 및 공주 유구천에 각각 4000마리를 방류함으로써 미호종개 복원에 관한 연구도 많이 이루어지고 있다(MEK, 2009, 2010).

최근 정보의 종 보존대책에 따르면, 종 보전·복원을 위해 대상종의 적합한 대체서식지를 선정하기 위해서는 대상종의 생태적 특성과 대상지역의 생물다양성 정보를 종합적으로 분석하여 평가가 이루어져야 하며, 이중 대상종의 생태적 특성의 반영 역시 중요한 것으로 보고되고 있으며, 이런 연구는 외국에서도 활발히 이루어지고 있다(Box, 1996). 대체서식지는 생태계를 구성하는 동·식물을 포함하여 서식지에 공존하는 종의 서식 요구조건도 동시에 고려해야한다(이동근 등, 2004). 또한, 대체서식지는 대상 종이 이주된 지역에 잘 적응하여 지속적인 생존이 가능하도록 갖추어져야 하며, 이주된 대상 종의 생존뿐만 아니라 인근지역에서 서식하는 다른 개체군의 상호 연결성이 높아지도록 설계되어야한다(Pryke & Samways, 2001).

본 연구에서는 멸종위기 1급 어종인 미호종개의 종 보존을 위해 서식하기에 적합한 대체 서식지 마련이 시급할 것으로 사료되어 현존 분포지의 미소서식지(Microhabitat)의 연구를 수행하였다. 이를 위해 미호종개가 출현하는 지점의 물리적 서식지 구조특성 분석, 유속 등의 수리수문학적 특성을 분석하였고, 이들과 함께 공서하는 어류의 길드특성 분석들을 통해 멸종위기 1급 어종인 미호종개의 대체서식지의 최적 특성을 분석하고자 하였다. 본 연구에서 수행된 미호종개의 생태학적인 기초자료 분석 및 미소 서식지 분석 결과는 수질오염 및 다양한 환경오염에 의해 빠르게 사라져가는 미호종개의 서식지 복원 및 대체 서식지 마련에 중요한 자료로서 활용될 것으로 사료된다.

II. 재료 및 방법

1. 조사기간 및 조사대상 하천

본 연구에서는 미호종개의 미소서식지 분석을 위해 우리나라 전역 중 지극히 제한적으로만 분포하는

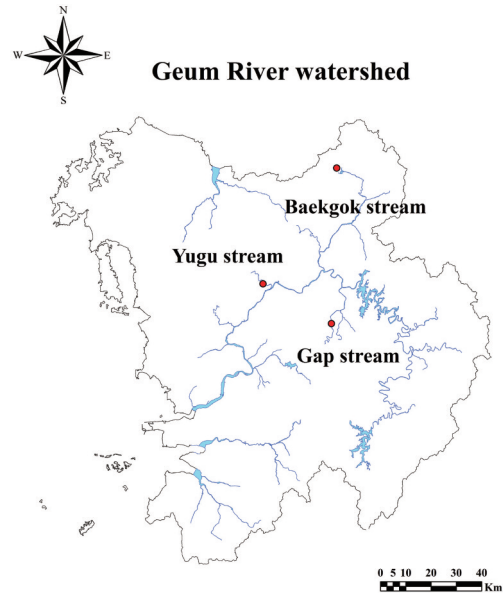


Figure 1. Map of the Geum River and sampling sites.

것으로 알려진 금강수계의 백곡천, 유구천 및 갑천을 대상으로 2013년 8월부터 10월까지 1, 2차로 나누어 각각 2회씩 집중적 현장조사를 실시하였다. 조사 지점은 과거 미호종개가 출현한 자료 분석을 토대로 선정하였고(Hong, 2004; Ko et al, 2012a), 아래와 같이 3개의 하천을 선정하였다(Fig. 1). 또한, 미호종개 미소서식지의 특성을 비교·분석을 위하여 각 하천의 조사지점을 중심으로 상·하류 약 500 m 떨어진 지점을 상류, 하류 지점으로 설정하여 각각 조사를 실시하였다.

- 백곡천(충청북도 진천군 백곡면)
 - 상류(B-U): 36° 52'54.36"북, 127° 22'47.23"동
 - 중류(B-M): 36° 53'63.92"북, 127° 22'36.30"동
 - 하류(B-D): 36° 52'42.08"북, 127° 22'49.28"동
- 유구천(충청남도 공주시 우성면)
 - 상류(U-U): 36° 27'58.91"북, 127° 04'55.56"동
 - 중류(U-M): 36° 28'01.31"북, 127° 05'13.90"동
 - 하류(U-D): 36° 27'50.29"북, 127° 05'24.58"동
- 갑천(대전광역시 서구 도안동)
 - 중류(G-M): 36° 19'34.62"북, 127° 21'17.06"동

2. 조사방법

(1) 미호종개 미소서식지의 하상구조 분석

본 연구대상 하천에서 미호종개의 출현 분석은 각 하천별로 100 m 구간을 설정하였으며, 각 구간은 미소서식지를 분석하기 위해 20 m 씩 5개의 구획(Section)으로 구분하여 현장측정을 실시하였다. 각 하천의 하폭 및 유폭 측정은 줄자를 이용하였고, 동시에 수심(Water depth) 측정 및 하상기질의 입자크기를 분석하였다. 하상구조 및 기질 분석은 Cummins (1962)의 입자분석 기준에 의거하여, 바위(Boulder, > 256 mm), 큰 자갈(Cobble, 64 - 256 mm), 자갈(Pebble, 16 - 63 mm), 작은 자갈(Gravel, 2 - 15 mm), 모래(Sand, 0.06 - 1 mm), 진흙(Silt and Clay, < 0.059 mm)의 6개 범주로 구분하여 측정하였다. 각 하천에서 유속(Flow)은 디지털 유속측정기(Flowwatch, Switzerland)를 이용하였다.

(2) 미호종개 채집 및 타 공서 어류의 현장조사

미호종개는 현장의 3개 하천에서 족대 및 투망을 이용하여 채집하였고, 또한 공서하는 어종의 채집을 위해 An *et al.* (2006)에 의해 개발된 환경부의 “물환경 종합평가개발 조사연구(MEK, 2006)” 및 “수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침(MEK, 2007)”을 기반으로 어류 조사를 실시하였다. 조사지점 내 여울(riffle), 소(pool), 흐름(run) 등 모든 서식지 유형을 포함하였으며, 조사지점 내 각 구획(Section)별로 20분씩 조사를 실시하였다. 채집 도구로는 투망(망목, 7×7 mm)과 족대(망목, 4×4 mm)를 이용하였으며, 미호종개 채집을 위해 제작한 망목이 좁은 족대(망목, 2×1 mm)를 함께 이용하였다. 각 지점에서 채집된 어류는 현장에서 동정하였으며, 비정상어종의 감별은 U.S. EPA(1993)의 방법에 따라 기형(Deformity), 지느러미 짓무름(Erosion), 피부 조직 손상(Lesion) 및 종양(Tumor) 등 4개 유형으로 구분하여 개체 수 산정을 한 후 어류를 분류하였다(Nelson, 1994; Kim and Park, 2002).

(3) 미호종개 서식지의 생태건강도 모델 분석 및 현장 적용

하천 생태건강도 평가 모델은 북미에서 최초 개발

된 어류의 다변수 메트릭인 IBI(Index of Biological Integrity)모델을 기반으로(Karr, 1981), 미국 환경부(US EPA)와 Barbour *et al.* (1999)에 의해 재정립된 Rapid Bioassessment Protocol(RBP) 모델을 국내 하천의 특성에 맞게 수정·보완한 환경부의 수생태계 건강성 조사 및 평가의 평가법을 기초로 한 An *et al.* (2006)의 다변수 모델을 적용하였다. 하천의 생태건강도를 평가하는 모델의 등급산정을 위해 총 8개의 메트릭(M)을 사용하였다. 사용된 메트릭은 M1: 총 본토종수(Total number of native species), M2: 여울성 저서종수(Number of riffle-benthic species), M3: 민감성 생태 지표종수(Number of sensitive species), M4: 내성 지표종의 개체수빈도(Proportion of tolerance species), M5: 잡식성종의 상대빈도(Proportion as a number of omnivore species), M6: 본토 충식성 종의 상대빈도(Proportion as a number of insectivore species), M7: 총개체수(Total number of individual), M8: 개체의 비정상도 빈도(Proportion as a number of abnormal individual)로서, 이들 중 M1 - M3 및 M7은 하천차수(Stream order)에 의거하여 Karr(1991)와 Rankin and Yoder(1999)의 경험적 방법 및 1차 회귀분석을 통한 MSRL(Maximum species richness line)기법을 적용하였다(An *et al.*, 2006). 모델 평가는 각 메트릭에 “5”, “3”, “1”의 메트릭값을 적용한 뒤, 모델값을 최종적으로 산정하여 최적상태(A: Excellent, 40 - 36), 양호상태(B: Good, 35 - 26), 보통상태(C: Fair, 25 - 16), 불량상태(D: Poor, ≤ 15)의 4개 등급으로 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 미호종개(*Cobitis choii*)의 개체수 분석과 조사구획별 공서 우점종 현황

본 연구에서는 미호종개가 서식하는 금강수계 하천으로 알려진 백곡천, 유구천 및 갑천의 3개 하천 분석에 따르면, 미호종개가 채집된 지점에서 미호종개의 개체 수 분포 범위는 1 - 8 로 나타났으며, 평균 개체수는 2.6으로 나타났다(Table. 1). 백곡천에서

Table 1. Individual density of *Cobitis choui*, based on the catch per unit efforts(CPUE), and other dominant species co-occurring with *Cobitis choui* in three streams.

Stream	Reach	Section	<i>Cobitis choui</i>	1st dominant sp.(%)	2nd dominant sp.(%)	3rd dominant sp.(%)
Baegkok	Upstream	S1	-	<i>Tridentiger brevispinis</i> (45.71)	<i>Zacco platypus</i> (24.76)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (18.1)
		S2	-	<i>Tridentiger brevispinis</i> (45.04)	<i>Zacco platypus</i> (22.14)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (16.03)
		S3	-	<i>Tridentiger brevispinis</i> (56.18)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (12.36)	<i>Hemibarbus longirostris</i> (6.74)
		S4	-	<i>Tridentiger brevispinis</i> (46.67)	<i>Zacco platypus</i> (20.95)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (19.05)
		S5	-	<i>Tridentiger brevispinis</i> (59.29)	<i>Zacco platypus</i> (22.12)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (11.5)
	Midstream	S1	-	<i>Zacco platypus</i> (27.14)	<i>Tridentiger brevispinis</i> (15.71)	<i>Micropterus salmoides</i> (14.29)
		S2	1	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (39.68)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (22.22)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (7.94)
		S3	-	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (53.66)	<i>Zacco platypus</i> (21.95)	<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i> (7.32)
		S4	-	<i>Zacco platypus</i> (21.28)	<i>Pseudorasbora parva</i> (17.02)	<i>Micropterus salmoides</i> (12.77)
		S5	8	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (26.32)	<i>Zacco platypus</i> (23.68)	<i>Cobitis lutheri</i> (19.74)
	Downstream	S1	-	<i>Tridentiger brevispinis</i> (45.19)	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (19.26)	<i>Zacco platypus</i> (14.07)
		S2	1	<i>Tridentiger brevispinis</i> (59.77)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (13.79)	<i>Cobitis lutheri</i> (6.9)
		S3	-	<i>Tridentiger brevispinis</i> (65.91)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (14.77)	<i>Zacco platypus</i> (14.77)
		S4	-	<i>Tridentiger brevispinis</i> (53.25)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (25.97)	<i>Zacco platypus</i> (16.88)
		S5	2	<i>Tridentiger brevispinis</i> (48.94)	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (32.62)	<i>Zacco platypus</i> (7.09)
Yugu	Upstream	S1	-	<i>Pseudogobio esocinus</i> (41.67)	<i>Zacco platypus</i> (33.33)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (12.5)
		S2	-	<i>Acheilognathus lanceolatus</i> (27.03)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (21.62)	<i>Zacco platypus</i> (21.62)
		S3	-	<i>Zacco platypus</i> (34.78)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (21.74)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (15.94)
		S4	1	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (50.62)	<i>Zacco platypus</i> (11.11)	<i>Acanthorhodeus gracilis</i> (9.88)
		S5	-	<i>Zacco platypus</i> (41.3)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (21.74)	<i>Hemibarbus longirostris</i> (17.39)
	Midstream	S1	-	<i>Pseudogobio esocinus</i> (26.32)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (21.05)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (21.05)
		S2	-	<i>Zacco platypus</i> (34.29)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (28.57)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (25.71)
		S3	1	<i>Pseudogobio esocinus</i> (21.95)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (19.51)	<i>Pungtungia herzi</i> (14.63)
		S4	-	<i>Zacco platypus</i> (30.67)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (22.67)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (18.67)
		S5	2	<i>Pseudogobio esocinus</i> (27.03)	<i>Zacco platypus</i> (24.32)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (16.22)
	Downstream	S1	-	<i>Pseudogobio esocinus</i> (62.5)	<i>Zacco platypus</i> (25)	<i>Hemibarbus longirostris</i> (8.33)
		S2	5	<i>Zacco platypus</i> (29.41)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (27.45)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (13.73)
		S3	-	<i>Pseudogobio esocinus</i> (58.82)	<i>Zacco platypus</i> (31.37)	<i>Hemibarbus longirostris</i> (9.8)
		S4	-	<i>Pseudogobio esocinus</i> (33.33)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (22.22)	<i>Zacco platypus</i> (15.56)
		S5	-	<i>Zacco platypus</i> (33.33)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (31.67)	<i>Hemibarbus labeo</i> (11.67)
Gap	Midstream (Only)	S1	-	<i>Rhinogobius brunneus</i> (26.27)	<i>Zacco platypus</i> (23.73)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (16.1)
		S2	-	<i>Rhinogobius brunneus</i> (41.43)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (20)	<i>Zacco platypus</i> (10)
		S3	-	<i>Zacco platypus</i> (36.78)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (13.79)	<i>Hemibarbus longirostris</i> (12.64)
		S4	-	<i>Rhinogobius brunneus</i> (35.19)	<i>Zacco platypus</i> (20.37)	<i>Pungtungia herzi</i> (9.26)
		S5	-	<i>Pseudogobio esocinus</i> (70.11)	<i>Zacco platypus</i> (16.09)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (4.6)

미호종개의 밀도분석에 따르면, 평균 개체수는 3개체로 나타났다. 백곡천 중류 지점과 하류 지점에서는 각각 2개의 구획에서 서식이 확인되었으나 상류 지점에서는 출현하지 않았다. 미호종개의 출현이 확인된 구획(Section, S)을 기준으로 할 때, 백곡천 중류

역의 S2구획에서 1개체, S5에서는 8개체로 나타났으며, 하류역의 S2구획에서는 1개체, S5에서는 2개체로 나타났다. 유구천에서 확인된 미호종개의 평균 개체수는 2.3개체로 나타났다. 유구천 상류역과 하류역에서는 각각 1개의 구획에서만 출현하였으며 중류

지점에서는 2개의 구획에서 출현하였다. 미호종개의 출현이 확인된 구획의 분석에 따르면, 상류 지점의 S4에서 1개체, 중류 지점의 S3에서 1개체, S5에서 2개체로 나타났으며, 하류역의 S2에서는 5개체로 많은 개체수가 출현한 것으로 나타났다. 갑천에서는 미호종개가 서식할 것으로 예상되는 지역을 중심으로 구획 내 조사를 실시하였으나 미호종개의 출현이 확인되지 않았다.

미호종개의 출현이 확인된 지점에서 미호종개와 공서하는 종의 서식 요구조건 정보를 종합적으로 분석하기 위하여 미호종개와 함께 서식하는 공서 어류의 분석 결과는 Table. 1과 같다. 본 멸종위기종이 출현한 지점의 어류 구성분석에 따르면, 23종 중 13종이 잉어과 어종으로 가장 많았으며(62%), 망둑어과(26%), 미꾸리과(9%) 순으로 나타나 미호종개와 공서하는 어종으로 잉어과 어류가 가장 많이 나타났다. 이런 결과는 이전의 Hong(2004)의 문헌과도 유사한 경향을 보였다. 조사대상인 3개 하천의 미호종개의 밀도 비교분석에 따르면, 백곡천 중류 지점 중에서 미호종개가 출현한 지점에서 가장 많이 출현한 어종으로는 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*)와 피라미(*Zacco platypus*)로 나타났으며, 하류 지점에서는 주로 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*)이 많이 출현하여 우점하는 것으로 분석되었다. 유구천에서는 상류 지점부터 하류 지점까지 미호종개가 출현한 지점에서 많이 출현한 우점종으로는 모래무지(*Pseudogobio esocinus*)와 피라미, 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*) 등으로 나타났다.

2. 미호종개 서식지의 수리수문학적 특성

미호종개가 출현한 백곡천 중류부의 서식환경 분석에 따르면, 백곡천은 미호천 수역 생태계 중에서도 비교적 안정되고 미호종개의 대량 서식이 확인된 지점으로써 미호종개의 생태 복원 시 최적의 모델서식지로 분석되었다. 백곡천 중류역의 수리수문학적 분석에 따르면, 수심은 여울부인 S1을 제외한 지점에서 평균 50 cm 정도로 수심이 얇고, 이런 수심특성은 하류로 갈수록 증가하는 것으로 분석되었다(Fig. 2).

본 구간의 평균 유속은 0.12 - 0.16 m/s의 비교적 느린 유속범위를 보였고, 구간의 하류로 갈수록 유속이 감소하였다. 또한 하상의 자갈의 크기가 하류로 갈수록 약 60 mm에서 20 mm로 작아져 큰 자갈(Cobble)보다 자갈(Pebble)이 많이 분포하는 것으로 나타나 유속의 감소가 하상 구조물의 분포에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 백곡천 중류의 수리수문학적 특성으로는 여울부인 S1지점에서 하류로 갈수록 수심이 깊어지고, 흐름이 감소하여 하상 침식에 비하여 퇴적작용의 영향력이 더 클 것으로 판단되며, 이러한 퇴적 작용으로 미호종개가 서식할 수 있는 최적 서식환경이 제공되기 때문에 많은 개체가 분포하고 있는 것으로 판단된다. 미호종개의 서식범위는 수심이 50 cm 정도의 비교적 얇고, 유속이 약 0.15 m/s 이하의 유속에서 이들의 서식이 확인되었으며, 이 때 백곡천 중류의 하상구조물의 크기는 모래와 함께 38 - 51 mm 정도의 자갈(Pebble)이 잘 발달된 특성을 보였다. 갈수기인 2차 조사에 따르면, 유속은 유량의 감소로 인하여 평균 0.05 m/s로 나타났고, 이는 약 60% 감소된 것으로 나타났으나 수심은 56 cm로 1차 조사와 유사하게 나타났다. 반면, 하상구조물의 입자크기는 더 작아진 것으로 나타나 계절적, 시기적으로 미소서식 환경이 변화되는 것으로 분석되었다. 이는 유량에 따른 유속의 변화가 미소서식환경 변화에 밀접한 관련성으로 보이는 것으로 판단된다.

백곡천 하류부의 서식환경은 큰 자갈(Cobble)이 잘 발달된 여울이 많이 분포하여 20 - 30 cm의 얇은 수심과 0.50 - 0.60 m/s의 비교적 빠른 유속범위를 보였다. 반면, 미호종개가 출현한 구간의 경우 작은 자갈(Gravel)과 모래(Sand)가 잘 발달되어 있는 것으로 보아 큰 자갈(Cobble)이 많이 분포한 지역이라도 미호종개가 활동 할 수 있는 반경 2 m 정도의 면적만 모래로 이루어져도 미호종개가 서식할 수 있는 것으로 사료되었다. 백곡천 하류부의 2차 조사에서는 미호종개의 출현이 확인되지 않았다. 이는 백곡천 하류 지점의 하천 주변 공사로 인해 하상구조의 변화에 따라 미호종개의 서식에 영향을 미친 것으로 판단되었다.

유구천의 경우, 작은 자갈(Gravel)과 모래(Sand)

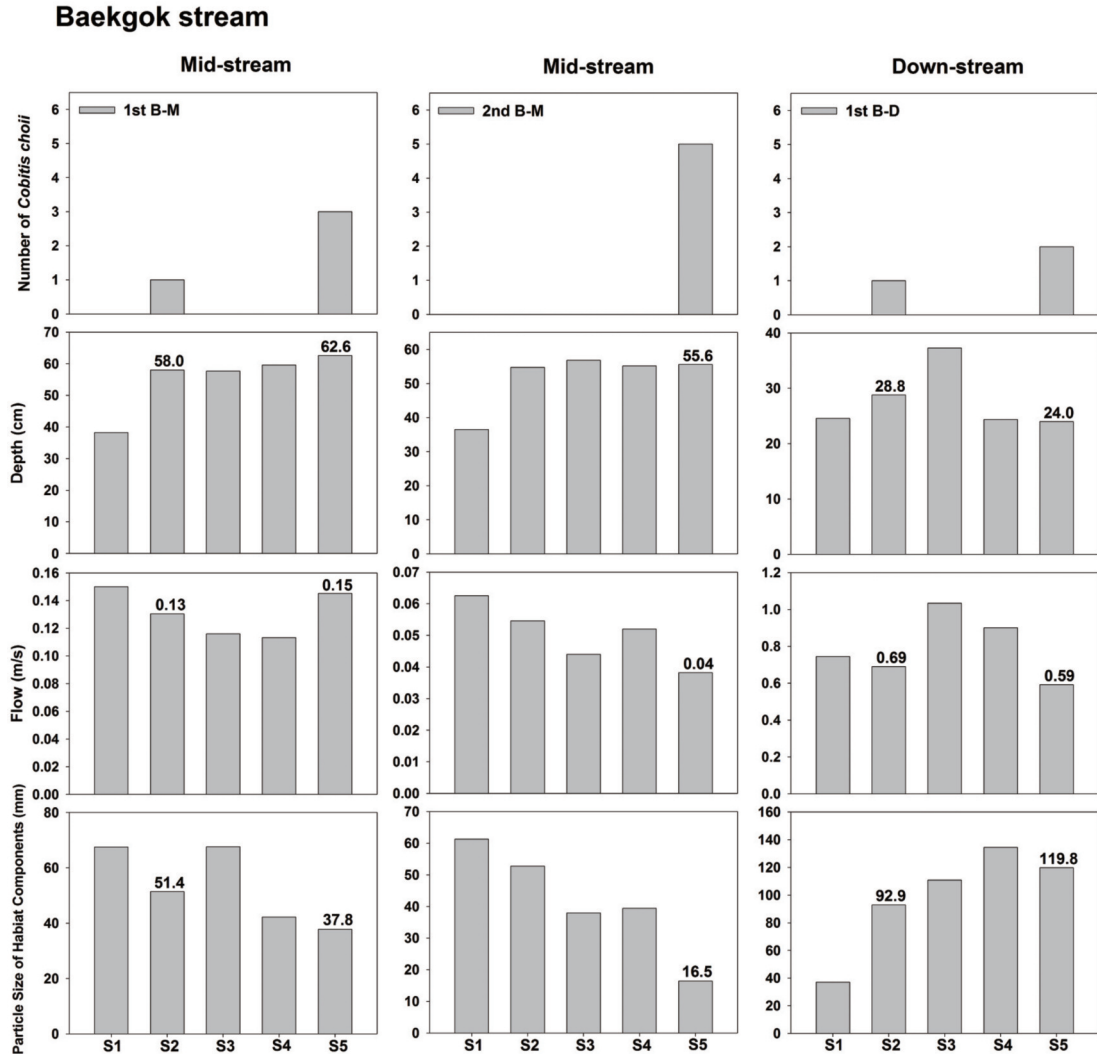


Figure 2. The distribution Status of *Cobitis choii* and physical habitat characteristics of appearance sites of *Cobitis choii* in Baegkok stream of Gum River.

가 잘 발달된 하천으로 나타났다(Fig. 3). 전체적으로 약 1 mm 크기의 모래 입자가 잘 발달되어 있고, 미호종개가 출현한 구간의 수심은 평균 20 - 30 cm 정도로 나타났다. 유속은 0.22 m/s의 느린 유속범위에서 미호종개가 많이 출현하였고, 0.40 - 0.70 m/s의 유속에서도 미호종개가 서식하는 것으로 나타나 비교적 빠른 유속에서도 서식할 수 있는 것으로 판단되었다.

갑천에서는 앞서 언급한 바와 같이 과거 미호종개가 출현한 기록이 있는 지점을 중심으로 조사를 실시

하였으나 미호종개의 출현이 확인되지 않았다. 이는 하천 주변 공사로 인해 하상구조의 변화에 따라 64 mm 이상의 큰 자갈(Cobble)의 비율이 늘어나고 15 mm 이하의 작은 자갈(Gravel)과 모래(Sand)의 비율이 급격히 줄어들었으며, 수심이 약 1 m 정도 이상으로 깊어져 미호종개가 서식하기에 열악한 조건으로 변해 미호종개의 출현이 사라진 것으로 판단된다. 따라서 갑천의 서식환경은 미호종개의 서식에 적합하지 않은 대조하천으로써 비교·분석이 가능할 것으로 사료되었다.

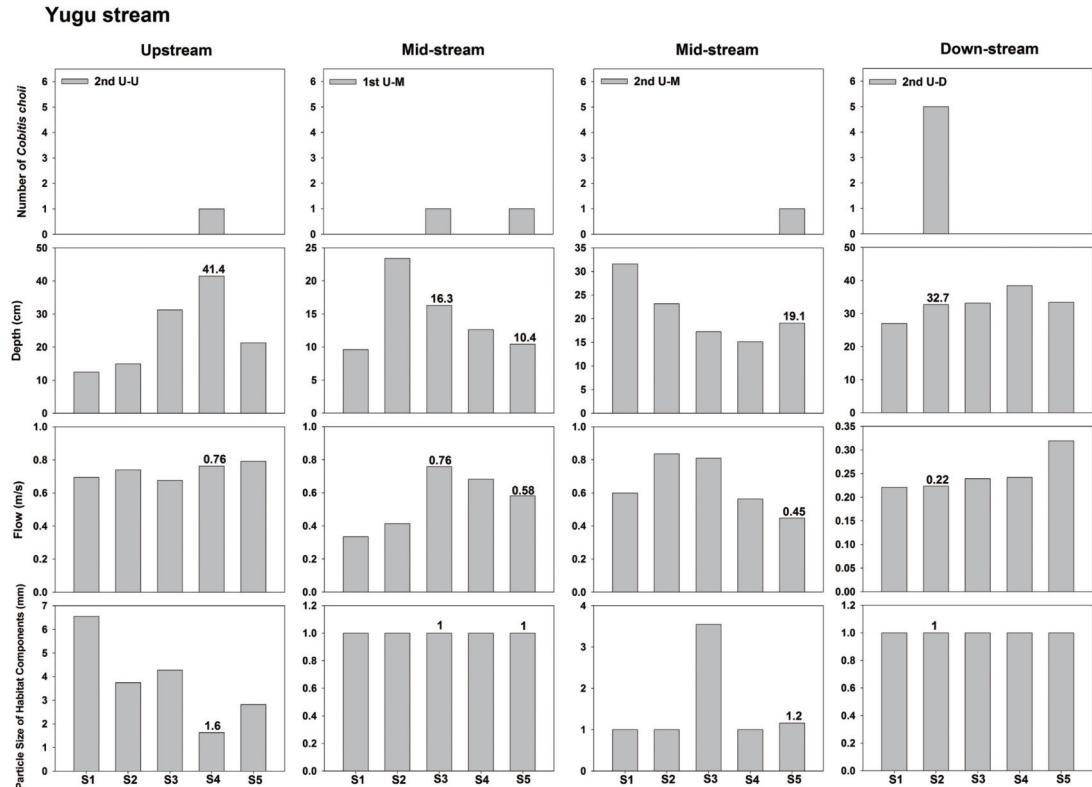


Figure 3. The distribution Status of *Cobitis choii* and physical habitat characteristics of appearance sites of *Cobitis choii* in Yugu stream of Gum River.

상기 결과를 종합한 결과, 미호종개의 서식에는 하상구조물의 입자크기가 가장 큰 영향을 주는 것으로 판단되며, 얕은 수심과 느린 유속 범위가 미호종개가 잘 서식할 수 있는 적합한 환경조건인 것으로 사료되었다.

3. 물리적 요인에 따른 미호종개의 미소서식지 분포 특성 및 최적 분포 범위

미호종개의 미소서식지(Microhabitat) 특성 분석을 위해 실시한 지점별 구획의 물리적 요인 평가에 따르면, 미호종개는 수심(Water depth), 유속(Flow), 유량(Discharge) 등의 최적 물리적 환경범위를 요하는 것으로 나타났다(Fig. 4).

미호종개의 수심별 분포 분석에 따르면, 서식 수심 범위는 10 - 70 cm으로 나타났고, 최적 서식 수심(Optimal water depth)은 20 - 60 cm으로 분석되었다. 수심이 10 cm 미만으로 얕은 환경이나 70 cm

이상의 깊은 환경은 본 개체가 서식하기 힘든 열악한 (poor)조건으로 사료되었다. 유속의 경우, 0 - 0.8 m/s의 범위에서 분포하는 것으로 확인되었으며, 최적 분포는 유속이 거의 없거나 느린(0.0 - 0.4 m/s) 환경으로 나타났다. 반면, 0.8 m/s 이상의 빠른 유속에서는 미호종개의 서식이 확인되지 않았다.

유량의 경우 유속과 유사한 분포 양상을 보였다. 0 - 2 m³/s 정도로 유량이 적게 흐르는 구간이 미호종개가 서식하기에 적합한 최적 환경으로 사료되었으며, 4 m³/s 이상의 많은 유량이 흐르는 환경에서는 미호종개가 서식하기에 열악한 조건인 것으로 판단되었다.

따라서 향후 미호종개의 대체 서식지를 인공적으로 조성할 경우, 수심은 20 - 60 cm로 깊지 않고, 유속은 0.0 - 0.4 m/s, 유량은 2 m³/s 이하인 환경을 조성해주어야 할 것으로 사료되었다.

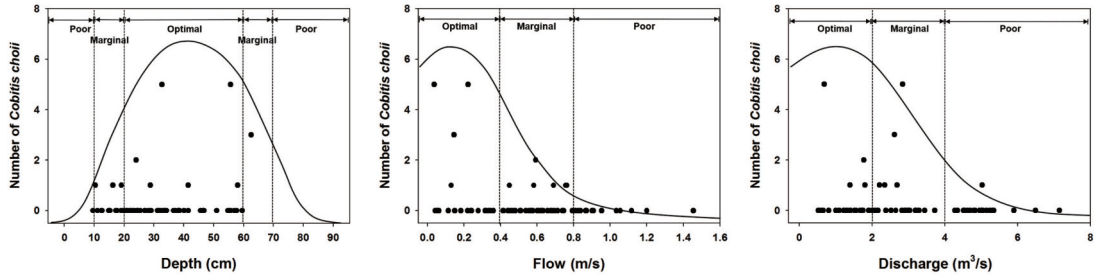


Figure 4. The optimal ranges of water depth, flow velocity, and discharge in the microhabitat of *Cobitis choii*.

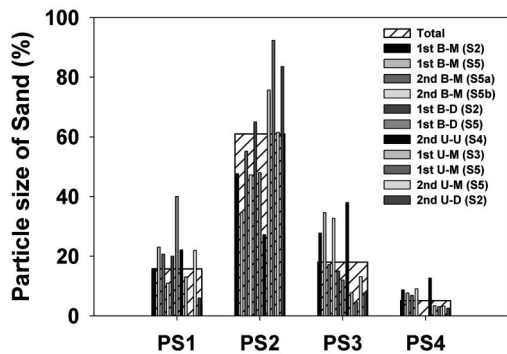


Figure 5. The particle sizes of sand as a four different categories of PS1(2mm), PS2(1mm), PS3 (0.5mm), and PS4(0.25mm) in the microhabitat of *Cobitis choii*.

4. 미호종개 서식지의 하상구조 특성

본 연구에서 미호종개가 출현한 지점의 모래 입자 크기 분석결과는 Fig. 5와 같으며, 이는 미호종개의 대체서식지 복원 시 적합한 서식지 환경 분석을 위해 실시하였다.

미호종개가 출현한 각 지점의 입자크기 분석에 따르면, 유구천 상류 4 구획(2nd U-U(S4))에서와 같이 PS3(0.5 mm)이 약 38%로 가장 많이 채취된 지점도 있으나, 미호종개가 출현한 지점 중 대부분의 지점에서 PS2(1 mm)가 가장 많이 채취되었다. 특히, 유구천 중류 5 구획(1st U-M(S5))의 경우 1 mm 크기의 모래 입자가 약 90%로 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 이로 보아 평균 1 mm(PS2) 크기의 모래입자로 이루어진 하상구조가 미호종개의 최적 서식지 환경으로 판단된다. 모래의 입자크기가 가장 작은 PS4(0.25 mm)는 가장 적게 분포하는 것으로 나타났다. PS4의 경우, 진흙(Silt)이 대부분을 차지

하는 지점에서 주로 채취되었으며 진흙이 많이 분포한 지점의 경우 미호종개가 출현하지 않아 본 종이 서식하기에는 적합하지 않는 것으로 사료되었다.

미호종개 채집지점의 모래입자에 대한 종합적 분석에 따르면, 1 mm 크기인 PS2 입자는 약 60%로 가장 높게 나타났고, PS1과 PS3은 각각 약 15%를 상회하는 것으로 나타났다. 이런 결과는 미호종개의 대체서식지 생태 복원 시 서식지를 구성하는 하상 구조를 선택하는데 있어 중요한 자료로 이용 할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 미호종개가 출현한 서식지의 다변수 생태 건강도 모델 평가

3개 하천에서 어류군집을 이용한 생태 건강도 모델(IBM) 평가에 따르면(Fig. 6), 생태 건강도는 보통-양호상태(Fair-Good)로 나타났다. 한편, 백곡천 중류 평가에서는 피라미와 참붕어(*Pseudorasbora parva*), 배스(*Micropterus salmoides*) 등과 같은 내성종이 우점하여 건강도 모델 값이 상대적으로 낮게 나타났다. 또한, 유구천과 갑천 수계 역시 내성종과 잡식종 어류의 비율이 높게 나타나고, 상대적으로 중간종의 비율이 높아 민감종의 비율이 낮게 나타나 좋은 등급을 받지 못한 것으로 사료된다. 특히, 유구천의 경우에는 여울성-저서종의 개체수가 적게 나타나 IBM 값이 낮게 나타난 것으로 사료된다. 하상구조가 거의 모래로만 이루어져 미호종개가 서식하기에는 적합한 서식지 환경으로 판단되었으나, 다른 지역과 비교하여 상대적으로 단순한 서식지 환경으로 인해 다양한 종의 서식지 환경으로는 적합하지 않는 것으로 판단된다. 따라서, 앞서 보여준 결과들에서 언급

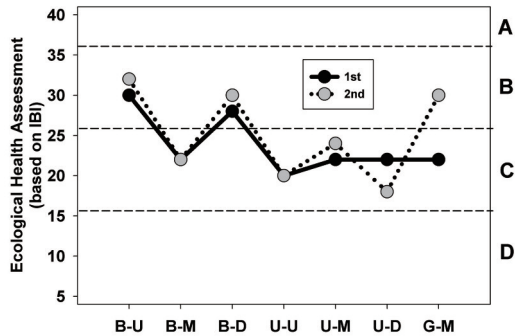


Figure 6. Ecological Health Assessment (IBI) in the sampling sites (A: Excellent, B: Good, C: Fair, D: Poor).

한 바와 같이 미호종개의 최적 서식지를 평가하는데 있어 물리적 서식지 조건이 미호종개의 서식에 더 큰 영향을 끼치는 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구 대상종인 미호종개(*Cobitis choii*)는 금강 수계의 극히 일부 미소서식지에 한정적으로 서식하는 멸종위기 1급 어종은 보전 및 대체서식지 마련이 시급한 것으로 나타났다. 본 연구를 종합해 보면, 미호종개가 채집된 지역의 미호종개 개체수는 평균 2.6 개체가 채집되어 극히 희소하게 분포되어 있는 종으로써 종 보전이 아주 시급한 것으로 나타났다. 현재 환경부의 국가 지정 멸종위기생물 1급 어종인 미호종개는 국내에서도 극히 국부적인 분포 양상을 보이는 어종으로써 시급하게 대체서식지를 마련되어야 될 것으로 사료되었다.

본 연구결과와 이전의 연구자인 Hong(2004)과 Ko et al.(2012b)의 문헌 비교검토에 따르면, 공서하는 우점종은 피라미 및 모래무지 등으로서, 잉어과 어종의 비율이 높게 나타났다. 또한, 미호종개가 출현한 지점에서 채취한 모래 중 1 mm 크기의 모래입자가 60% 정도로 가장 많이 나타났으며, 2 mm 크기와 0.5 mm 크기는 각각 15% 정도 씩 분포하는 것으로 나타났다. 이로 보아 미호종개는 평균 1 mm 크기의 모래입자가 많이 분포한 지역에서 잘 서식하는 것으로 판단된다. 본 결과는 약 0.6 mm 정도의 모래입자에서 주로 서식한다고 보고한 환경부(2009)의 결

과와 0.5 - 2 mm 크기의 모래입자에서 75% 이상 발견된다고 보고한 Hong(2004)의 결과와 비슷한 수치를 보여 주로 작은 모래가 분포한 서식지 환경이 미호종개의 서식에 적합한 것으로 판단된다. 따라서, 미호종개의 대체서식지 마련 시 하상구조 및 하상구조에 따른 공서 어종의 어류상을 지속적인 모니터링과 함께 꾸준한 관리가 이루어져야 할 것으로 사료되었다.

본 연구에서는 미호종개의 최적 서식지 환경 (Optimal habitat range) 분석을 위해 미호종개의 수심(Water depth), 유속(Flow), 유량(Discharge)과 연계하였고, 이런 물리적 요인들은 미호종개의 분포에 아주 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 최적수심(Optimal depth range)은 20 - 60 cm 정도로 비교적 수심이 얇은 조건으로 수심이 깊은 환경에서는 미호종개의 서식이 확인되지 않았다. 미호종개의 최적유속(Optimal current velocity)은 0.4 m/s 이하로 나타났고, 최적유량(Optimal discharge range)은 0 - 2 m³/s 로 분석되었다. 따라서, 수심이 깊고, 평균유속이 1.0 m/s를 상회하는 갑천에서는 미호종개의 서식이 제한되는 것으로 사료되었다. 이는 하천정비 등의 인위적인 요인으로 하상구조의 변화와 하천의 직선화에 따른 유속의 변화로 인해 미호종개의 서식에 영향을 준 것으로 사료된다.

미호종개가 서식하기 적합한 대체서식지를 평가하기 위해서 실제 미호종개가 출현한 지점과 비출현 지점의 물리적 서식지 환경조건 및 생태건강도 평가를 비교·분석해 본 결과에 따르면, 미호종개가 주로 출현한 지역은 1 mm의 작은 모래 입자가 주로 분포한 지역이지만 단순한 서식지 환경으로 인해 생태건강도 평가에서는 보통 상태(Fair)로써 최적상태가 아닌 것으로 나타났다. 반면, 많은 자갈로 이루어져 여울이 많이 분포한 지점은 비록 미호종개가 출현하지 않았으나 다양한 서식지 환경으로 인해 다양한 어류종들이 많이 서식하였고 이에 따라 생태건강도가 좋게 나타났다.

본 연구의 상기결과를 종합해 보면, 본 종은 미소 서식지의 구조가 타종과 아주 다르게 나타났다. 특히, 최적의 모래 입자크기, 최적 유속 및 유량 등의

환경이 제공될 때 서식이 가능한 것으로 분석되었다. 현재 본 종이 서식하는 이런 하천들은 이미 도심하천으로부터의 인(P)과 질소(N)와 같은 화학 물질에 의한 부영양화에 노출되어 있고, 또한 인근의 하천정비 공사 등으로 토사유입에 의한 모래의 입자크기 변경과 같은 직·간접적인 하상구조 교란이 예상됨에 따라 대체 서식지 마련이 시급한 것으로 나타났다. 현재의 결과에 따르면, 대체 서식지 선정 시 대상종의 생태적 특성 반영뿐만 아니라 공서종의 먹이사슬(Food chain) 연계성 또한 중요하게 반영하여야 할 것으로 분석되었다.

사사

본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단에서 시행한 기초연구사업(과제번호: 2013R1A1A4A01012939)의 지원에 의해 수행되었습니다.

인용문헌

- 고명훈, 이일로, 방인철. 2012a. 멸종위기어류 미호종개 *Cobitis choui*(Pisces: Cobitidae)의 분포양상 및 서식개체수 추정. 한국어류학회. 24(1), 56-61.
- 고명훈, 문신주, 이상준, 방인철. 2012b. 금강 수계 지천의 어류군집 구조 및 멸종위기종 미호종개 *Cobitis choui*와 흰수마자 *Gobiobotia naktongensis*의 서식현황. 한국하천호수학회. 45(4), 356-367.
- 김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사.
- 손영목, 송호복, 변화근, 최재석. 1997. 팔당호의 어류군집 동태. 한국어류학회. 9, 141-152.
- 안광국, 이재연, 배태열, 김자현, 황순진, 원두희, 이재관, 김창수. 2006. 우리나라 주요하천 수계에서 다변수모형을 이용한 생태학적 수환경 평가. 한국물환경학회지. 22(5), 796-804.
- 이동근, 김명수, 구분학, 김경훈, 김동성, 나정화, 윤소원, 이명우, 전성우, 정홍락, 조경두, 제종길, 홍선기. 2004. 경관생태학. 보문당.
- 이완옥, 노세윤. 2006. 특징으로 보는 한반도 민물고기. 지성사.
- 홍영표. 2004. 멸종위기종 미호종개의 현황과 보존. 2004년 한국어류학회 추계학술대회. 59-75.
- Abdoli, Asghar, Pooya Rasooli and Hossein Mostafavi. 2008. Length-weight relationships of *Capoeta capoeta capoeta*(Gueldenstaedt, 1772) in the Gorganrud River, South Caspian Basin. J. Appl. Ichthyol. 24, 96-98.
- Barbour, Michael T., Jeroen Gerritsen, Blaine D. Snyder, and James B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C. 313pp.
- Box, John. 1996. Setting objectives and defining out puts for ecological restoration and habitat creation. Restoration Ecology. 4, 427-432.
- Cummins, Kenneth W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. 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.
- Karr, James R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries. 6, 21-27.
- Karr, James R. 1991. Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource

- management. *Ecological Applications*. 1(1), 66-84.
- Kim, Ik Soo and Yeong Mok Son. 1984. *Cobitis choui*, A new cobitid fish from Korea. *Korean Journal of Zoology*. 27, 49-55.
- Kim, Ik Soo. 2009. A review of the spined loaches, Family Cobitidae(Cypriniformes) in Korea. *Korean Journal of Ichthyology*. 21, 7-28.
- MEK(Ministry of Environment, Korea). 2006. Researches for integrative assessment methodology of aquatic environments (III): Development of aquatic ecosystem health assessment and evaluation system. National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon, Korea.
- MEK(Ministry of Environment, Korea). 2007. Establishment of monitoring network for survey and evaluation of aquatic ecosystem health(III). National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon, Korea.
- MEK(Ministry of Environment, Korea). 2009. Development of genetic diversity analysis, culture and ecosystem restoration technique for endangered fish, *Iksookimia choui*. National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon, Korea.
- MEK(Ministry of Environment, Korea). 2010. Culture and restoration of endangered species freshwater fish. Gongju National University, Gongju, Korea.
- Nalbant, Teodor T. 1993. Some problems in the systematics of genus *Cobitis* and its relatives(Pisces: Ostariophysi, Cobitidae). *Revue Roumaine Biologie-Biologie Animale*. 38, 101-110.
- Nalbant, Teodor T. 1994. Studies on loaches(Pisces: Ostariophysi, Cobitidae), I. An evaluation of valid genera of Cobitinae. *Travaux du Museum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*. 34, 375-380.
- National Institute of Biological Resources. 2011. Red Data Book of Endangered Fishes in Korea. Ministry of Environment, Incheon, Korea.
- Nelson, Joseph S. 1994. *Fishes of the world*(3th ed.). John Wiley & Sons, New York.
- Pryke, Sarah R. and Michael J. Samways. 2001. Width of grassland linkages for the conservation of butterflies in South African afforested areas. *Biological Conservation*. 101, 85-96.
- Rankin, Edward T. and Chris O. Yoder. 1999. Methods for deriving maximum species richness lines and other threshold relationships in biological field data, in Simon, T.P.(ed.). *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*. CRC Press, USA, 611-621.
- US EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluation the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory-cincinnati office of Modeling, Monitoring systems and quality assurance Office of Research Development. U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268.

References

- Abdoli, Asghar, Pooya Rasooli and Hossein Mostafavi. 2008. Length-weight relationships of *Capoeta capoeta capoeta*(Gueldenstaedt, 1772) in the Gorganrud River, South

- Caspian Basin. J. Appl. Ichthyol. 24, 96-98.
- An, Kwang Guk., Jae Yon Lee, Dae Yeul Bae, Ja Hyun Kim, Soon Jin Hwang, Doo Hee Won, Jae Kwan Lee and Chang Soo Kim. 2006. Ecological assessments of aquatic environment using multi-metric model in major nationwide stream watersheds. Journal of Korean Society on Water Quality. 22(5), 796-804.
- Barbour, Michael T., Jeroen Gerritsen, Blaine D. Snyder, and James B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington. D.C. 313pp.
- Box, John. 1996. Setting objectives and defining out puts for ecological restoration and habitat creation. Restoration Ecology. 4, 427-432.
- Cummins, Kenneth W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. 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.
- Hong, Young Pyo. 2004. The present status and conservation of the critically endangered species, *Iksookimia choii*, in Korea. Abstract 2004 autumn meeting of the Ichthyological Society of Korea. 59-75.
- Karr, James R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries. 6, 21-27.
- Karr, James R. 1991. Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management. Ecological Applications. 1(1), 66-84.
- Kim, Ik Soo and Jong Young Park. 2002. Freshwater fish of Korea. Kyo-Hak Publishing Co. Ltd. Seoul, Korea.
- Kim, Ik Soo and Yeong Mok Son. 1984. *Cobitis choii*, A new cobitid fish from Korea. Korean Journal of Zoology. 27, 49-55.
- Kim, Ik Soo. 2009. A review of the spined loaches, Family Cobitidae(Cypriniformes) in Korea. Korean Journal of Ichthyology. 21, 7-28.
- Ko, Myeong Hun, Ill Ro Lee and In Chul Bang. 2012a. Distribution Status and Estimation of Population Size of the Endangered Species, *Cobitis choii*(Pisces: Cobitidae) in Guem River, Korea. Kor. J. Ichthyol. 24(1), 56-61.
- Ko, Myeong Hun, Shin Joo Moon, Sang Jun Lee and In Chul Bang. 2012b. Community Structure of Fish and Inhabiting Status of Endangered Species, *Cobitis choii* and *Gobiobotia naktongensis* in the JI Stream, a Tributary of the Geum River Drainage System of Korea. Korean J. Limnol. 45(4), 356-367.
- Lee, Dong Geun, Myoung Soo Kim, Bon Hak Goo, Kyoung Hun Kim, Dong Sung Kim, Jung Hwa Na, So Won Yoon, Myoung Woo Lee, Sung Woo Jeon, Hong Lak Jung, Kyoung Doo Cho, Jong Gil Je, Sun Ki Hong. 2004. Landscape ecology. Bomoondang, Seoul, Korea.
- Lee, Wan Ok and Se Yoon Ro. 2006. The freshwater fish of Korean peninsula-with looking characteristics. Jisung Publishing

- Co., Seoul, Korea.
- MEK(Ministry of Environment, Korea). 2006. Researches for integrative assessment methodology of aquatic environments (III): Development of aquatic ecosystem health assessment and evaluation system. National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon, Korea.
- MEK(Ministry of Environment, Korea). 2007. Establishment of monitoring network for survey and evaluation of aquatic ecosystem health(III). National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon, Korea.
- MEK(Ministry of Environment, Korea). 2009. Development of genetic diversity analysis, culture and ecosystem restoration technique for endangered fish, *Iksookimia choii*. National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon, Korea.
- MEK(Ministry of Environment, Korea). 2010. Culture and restoration of endangered species freshwater fish. Gongju National University, Gongju, Korea.
- Nalbant, Teodor T. 1993. Some problems in the systematics of genus *Cobitis* and its relatives(Pisces: Ostariophysi, Cobitidae). *Revue Roumaine Biologie-Biologie Animale*. 38, 101-110.
- Nalbant, Teodor T. 1994. Studies on loaches (Pisces: Ostariophysi, Cobitidae), I. An evaluation of valid genera of Cobitinae. *Travaux du Museum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*. 34, 375-380.
- National Institute of Biological Resources. 2011. Red Data Book of Endangered Fishes in Korea. Ministry of Environment, Incheon, Korea.
- Nelson, Joseph S. 1994. *Fishes of the world*(3th ed.). John Wiley & Sons, New York.
- Pryke, Sarah R. and Michael J. Samways. 2001. Width of grassland linkages for the conservation of butterflies in South African afforested areas. *Biological Conservation*. 101, 85-96.
- Rankin, Edward T. and Chris O. Yoder. 1999. Methods for deriving maximum species richness lines and other threshold relationships in biological field data, in Simon, T.P.(ed.). *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*. CRC Press, USA, 611-621.
- Son Yeong Mok, Ho Bok Song, Hwa Kun Byeon and Jae Seok Choi. 1997. Study on the Dynamics of Fish Community in the Lake Paldang. *Korean. J. Ichthyol.* 9, 141-152.
- US EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluation the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory-cincinnati office of Modeling, Monitoring systems and quality assurance Office of Research Development. U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268.