

ORIGINAL ARTICLE

호성댐 상·하류의 어류군집 구조와 최적 생태유량 산정

허준욱* · 강형식¹⁾ · 장민호²⁾ · 이정열³⁾

생물모니터링센터, ¹⁾한국환경정책평가연구원, ²⁾공주대학교 생물교육과, ³⁾군산대학교 해양생명과학과

Fish Community and Estimation of Optimal Ecological Flowrate in Up and Downstream of Hoengseong Dam

Jun-Wook Hur*, Hyoeng-Sik Kang¹⁾, Min-Ho Jang²⁾, Jeong-Yeol Lee³⁾

Bio-Monitoring Center, Daejeon 300-805, Korea

¹⁾Environmental Strategy Research Group, Korea Environment Institute, Seoul 122-706, Korea

²⁾Department of Biology Education, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

³⁾Department of Aquaculture and Aquatic Science, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

Abstract

In this study, a comprehensive field monitoring was conducted to understand habitat conditions of fish species in up and downstream of Hoengseong Dam. Based on the monitoring data, riverine health conditions such as composition ratio of fish species, bio-diversity (dominance index, diversity, evenness and richness), index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI) were assessed, and optimal ecological flowrates (OEF) were estimated using the habitat suitability indexes (HSI) established for three fish species *Coreoleuciscus splendidus*, *Pungtungia herzi* and *Microphysogobio longidorsalis* selected as icon species using the physical habitat simulation system (PHABSIM). The total number of species sampled was 20 species, and two species of *Zacco platypus* (30.4%) and *C. splendidus* (20.9%) dominated the fish community. As a result, it was revealed that IBI and QHEI values decreased from upstream to downstream along the river. The estimated IBI value ranged from 24 to 36 with average being 30.9 out of 50, rendering the site ecologically fair to good health conditions. HSI for *C. splendidus* were determined according to three different month in terms of season: Spring (April), Summer (August) and Autumn (October). HSI for flow velocity were estimated at 0.7 to 0.8 m/s for the Spring, 0.5 to 1.0 m/s for the Summer and 0.8 to 0.9 m/s for the Autumn. HSI for water depth were estimated at 0.3 to 0.5 m for the Spring; 0.3 to 0.5 m for the Summer; and 0.3 to 0.4 m for the Autumn. OEF was estimated at 4.2 and 6.5 m³/s for the Spring and Autumn, and 12.0 m³/s for the Summer. Overall, it was concluded that the Hoengseong Dam has been relatively well protected from the anthropogenic disturbance for the legally protected species including the endemic species studied in this study.

Key words : Hoengseong Dam, Fish, HSI, PHABSIM

1. 서론

하천의 자정 능력을 향상시키고 정상적인 기능을

회복하기 위해서는 수생물의 서식환경 조성, 오염원 차단, 적정 하천 유량 유지 등의 다양한 조건이 요구된다(Gore 등, 1989). 이 중 하천 유량의 유지는 기타 서식

Received 30 October, 2012; Revised 18 March, 2013;

Accepted 17 April, 2013

*Corresponding author : Jun Wook Hur, Bio-Monitoring Center, Daejeon 300-805, Korea
Phone: +82-42-638-6845
E-mail: junwhur@hanmail.net

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

환경 조성에 있어 기본이 된다고 할 수 있다(Arthington 등, 2006; Bunn과 Arthington, 2002; Nilsson과 Svedmark, 2002;). 유지 유량의 산정은 갈수량, 생태계 및 수질을 고려한 유량 등 8가지 측면에서 시행되고 있다. 환경에 대한 사회적 관심이 증가하면서 하천 생태계를 고려한 유지유량의 중요성이 증가함에도 불구하고, 아직까지 생태계에 필요한 유량산정 및 평가방법, 정량화 및 기초 자료 등의 객관적 자료는 부족하다.

국내 하천은 여울과 소를 형성하여 다양한 물리적 서식지를 제공하여, 부유 및 저서성 어류 등이 다양한 수심, 유속 및 하상재료에 따라 민감하게 반응하여 종의 서식을 가능하게 한다. 그러나 홍수방지를 위한 정비 및 유량감소 등의 교란요인으로 직선화되어 수환경이 단순화되고, 생물 서식 측면에서 종 다양성은 감소하고 있다. 또한 갈수기에 해당되는 4~6월이 어류의 산란기가 집중되는 시기이지만, 비효율적인 용수 공급으로 어류의 산란에 영향을 미칠 수 있다. 국내 어류조사는 해당수계 및 하천의 어류분포 현황 파악을 중심으로 이루어져 왔기 때문에 어류를 이용한 생태유량 산정 시 기초자료로 활용하거나, 직·간접적인 교란요인으로 변화하는 생물상 변화 원인을 분석하는 자료로 활용하기에는 어려움이 있다.

국내에서 어류를 이용한 생태유량 산정 관련 보고로는 생태 환경을 고려한 물리적 서식지 평가 및 유지유량에 대한 연구는 금강에 어류 서식지를 고려한 유량 연구(우 등, 1998), 괴산 달천에 유량 및 수질을 고려한 유량 연구(김 등, 2000), 낙동강 유역 어류 서식 환경을 고려한 유량 연구(성 등, 2005), 한강 지류에 어류서식 조건을 고려한 유량 연구(오 등, 2008), 금강 용담댐 하류 최적 생태유량 산정(허와 김, 2009), 하천 차수에 따른 금강수계 피라미(*Zacco platypus*)의 물리적 서식지 평가(허 등, 2009a), 금강수계 어류상 및 서식지적합도지수 산정(허 등, 2009b), 한강수계 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*)의 물리적 서식지 평가(Hur 등, 2009), 하상재료에 따른 어류의 종다양성 및 서식지 평가(허 등, 2011a), 참갈겨니(*Z. koreanus*)의 물리적 서식지 평가(허와 서, 2011), 달천의 어류상과 물리적 서식지 평가(허 등, 2011b) 및 금강에서 환경 등급에 따른 생태유량 산정(Kim 등, 2012) 등이 있다. 그러나 아직까지 수문학적 조건과 생물생태학

적 조건을 복합적으로 고려한 생태유량 산정 결과는 미흡한 실정에 있다.

이전의 연구에서 어류 서식환경을 고려한 생태유량 산정과 관련하여 수리 및 수문학적인 조건과 어류 생물학적인 조건에서 학제간의 상호연계가 잘 이루어지지 않은 부분이 많았다. 본 연구에서는 어류에 필요한 생태유량 산정 지점에 대하여 수문 및 생물학적인 상호연계로 모니터링을 실시하였으며, 이를 기초로 하여 하천 건강성 평가 및 생태유량을 모의하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상지점

본 연구의 대상지점은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 섬강중류에 위치한 황성댐 상류에 1개 지점(St. 1), 하류에 3개 지점(St. 2~4)에서 조사를 실시하였다. 황성댐은 황성군 갑천면 대관대리에 1993년 착공하여 2000년에 준공된 저수량 8,600백만 m^3 , 유역면적 209 km^2 의 다목적 댐이다. 황성호는 섬강 중하류 지역의 생활상수원, 공업, 농업 및 하천 유지 용수를 공급하고 있으며, 하류부의 홍수피해 경감 등의 기능을 담당하고 있다. 섬강은 남한강의 지류로 강원도 황성군 태기산(1,261 m)에서 발원하며, 황성과 원주를 지나 한강과 합류한다. 각 조사지점의 행정구역명, 하천차수, 위도 및 경도는 다음과 같다.

- St. 1 : 강원도 황성군 청일면 유평리 무명교
(N37°33'57", E128°08'13")
- St. 2 : 강원도 황성군 공근면 수백리 수백교
(N37°31'57". E128°00'42")
- St. 3 : 강원도 황성군 황성읍 내지리
(N37°30'03", E127°59'45")
- St. 4 : 경기도 여주군 강천면 강천리 섬강교
(N37°14'30". E127°44'50")

2.2. 조사방법

어류채집은 방법에 따라 조사구간은 상·하류 각각 200 m 구간에서 60분씩 실시하였으며, 소(pool), 여울(riffle) 및 흐름이 있는 곳(run)을 모두 포함하여 조사하였다. 하천특성에 따라 어류의 채집은 투망(망목, 7×7 mm) 및 족대(망목, 4×4 mm)를 사용하였다.

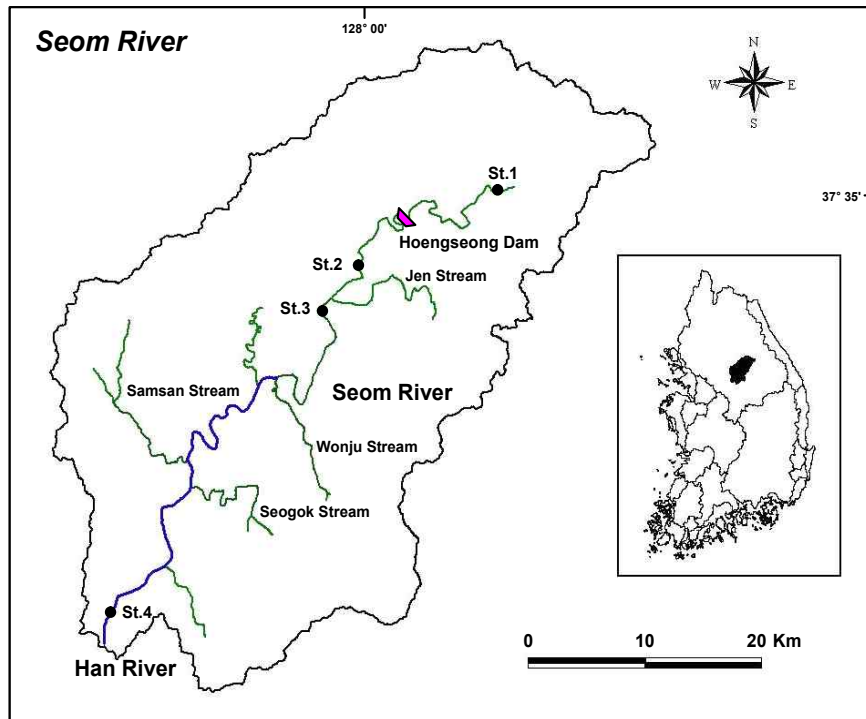


Fig. 1. Location map of the study station.

투망으로 채집은 정량적 조사를 수행하기 위하여 지점별로 15~20회씩 동일하게 투척하였으며, 족대는 하천 좌·우안 수초와 호박돌 주변에서 채집하였다. 투망 및 족대 채집 지점에서 포획 후에 유속계를 사용하여 유속 및 수심을 기록하였으며, 육안으로 하상재료를 확인하였다. 조사는 하류로부터 상류로 올라가면서 하천을 지그재그(zigzag)로 이동하며 조사하였다. 현장에서 채집된 어류는 동정이 가능한 종은 현장에서 확인한 후 방류하였으며, 채집된 어류 중에서 분류 및 동정이 모호한 표본은 10% 포르말린 용액에 고정하여 연구실로 운반한 후 동정하였다. 어류의 동정은 김과 박(2002)의 문헌을 참고하였으며, 분류체계는 Nelson (1994)을 따랐다.

하상재료 조사를 기초로 하여, 우(2004)와 Wentworth (1922)의 사립자 크기 등급에 따라 실트(silt, Si, <0.062 mm), 모래(sand, Sa, 0.062~2.0 mm), 가는자갈(fine gravels, Fg, 2.0~16.0 mm), 굵은자갈(coarse gravels, Cg, 16.0~64.0 mm), 호박돌(cobbles, Co, 64.0~

256.0 mm) 및 전석(boulders, Bo, >256.0 mm)으로 분류하였다. 하상재료 조사는 봄(2~3월)과 가을(10~11월)에 2회 실시하였다. 조사방법은 50×50 cm 방형구를 사용하여 카메라로 지점 당 30개 이상 촬영한 후, 컴퓨터 화면에서 각각의 하상재료 크기를 측정 및 계수하여 면적비율로 하상분포도를 산출하였다. 또한 사진촬영으로 구분되지 않는 모래이하의 크기는 상법에 따라 D_{50} 으로 분석하였다.

2.3. 건강성 평가방법

어류상 및 우점도 분석을 위해서 채집어류의 출현 개체수에 따라 상대풍부도를 분류하였으며, 이를 근거로 하여 우점종(dominant species) 및 아우점종(subdominant species)을 확인하였다. 채집된 어류에 대해서 채집당시 수심 및 유속의 분포 범위를 분석하였다. 군집분석은 어종의 개체수를 기준으로 우점도(dominance index, Simpson, 1949), 종다양도(diversity index, Pielou, 1975), 균등도(evenness index, Pielou, 1975) 및 풍부도(richness index, Margalef, 1968)를

산출하였다.

생물보전 지수(index of biological integrity, IBI)는 생태지표 4개, 먹이습성지표 3개, 풍부도 및 건강성지표 3개로 구성된 총 8~10개의 지표를 사용하였으며, 각 지표에 대한 점수분류(1~5점) 및 기준 선정(하천 차수 및 어류 습성 등)은 Karr (1981)와 안 등(2001)이 제시한 방법을 이용하였다. 각각의 지표점수를 합산하여 최적(50~47), 최적-양호(46~43), 양호(42~38), 양호-보통(37~35), 보통(34~29), 보통-악화(28~26), 악화(25~18), 악화-최악(17~14) 및 최악(<13)으로 분류하였다.

정량적 서식지 평가 지수(qualitative habitat evaluation index, QHEI)는 Plafkin 등(1989)의 방법에 10개의 항목을 선택하여 적용하였다. 각 변수는 최적(200~162), 최적-양호(161~149), 양호(148~104), 양호-보통(103~91), 보통(90~46), 보통-악화(44~33) 및 악화(<32)상태로 구분하였으며, 각 10개의 점수를 합산하여 하천의 물리적 건강성을 평가하였다.

2.4. 생태유량 산정방법

물리적 서식지 모의 시스템(physical habitat simulation system, PHABSIM)을 이용하여 흐름특성(유량-유속, 수심 등)의 변화에 대한 하도구간내 대상어종의 물리적 서식지 변화를 예측하여 대상어종에 대한 유량-가용서식지면적(weighted usable area, WUA) 관계를 통해 서식에 필요한 최적 유량을 산정하였다(Petts와 Maddock, 1998). 어류를 중심으로 하는 생태유량의 산정은 수위, 유량 및 하천단면 등의 현장 조사 결과와 본 조사에서 작성한 서식지적합도 지수(Habitat suitability index, HSI) 및 PHABSIM에 적용하여 어종별 WUA-유량관계 곡선을 작성하였다.

HSI는 특정 조사지점이나 구간에서 출현한 어종의 개체수를 기준으로 작성된다. 조사기간 동안 출현한 개체수와 하천 단면정보를 조합하여 최대값을 1.0으로 하고, 나머지는 최대값에 대한 상대비율로 설정하였다. 본 조사에서는 어류 채집 이전에 각 지점에서 하천 특성과 단면정보를 2회 이상 조사하여 HSI 산정에 이용하였다. HSI를 작성하는 방법으로는 이분법 및 단일변량곡선(univariate curve)을 사용하였다. 본 연구에서는 하상재료에 대하여는 이분법을 수심과 유속

에 대하여는 단일변량곡선을 적용하여 HSI를 산출하였다. HSI와 생태유량 산정을 위한 자료는 허와 김(2009)이 제시한 방법으로 실시하였다. 첫째, 조사지점을 선정하여 사전 답사 및 조사 위치를 확인한다. 또한 횡단면에 물의 흐름을 방해하는 구조물이 없는 곳으로 선정하고, 여울, 소 및 우수역이 적당히 배열된 장소로 한다. 둘째, 하천 횡단면과 폭을 측량한다. 측량시 수심과 유속을 조사하여 유량을 산정한다. 셋째, 하천 정보를 컴퓨터로 저장하여 전체면적에 대한 해당 수심, 유속 및 하상재료 범위가 차지하는 면적을 백분율로 산정한다. 넷째, 하천 횡단면 측량 지역에서의 어류 채집을 실시한다. 어류 채집은 상법에 따라 실시하며, 현장에서 즉시 동정, 크기 및 마리수를 계수한다. 다섯째, 각 단면적별 관측기대치를 산정한다. 여섯째, HSI를 산정한다. 최종 HSI는 조사시 이러한 순서를 반복하여 산정하고, 다른 연구자의 참고문헌을 인용하여 최종 HSI를 산정하였다. 이러한 과정에 의해 나타난 각 값을 PHABSIM에 적용하여 모의하였다. 본 조사지점에서는 황성댐 하류 St. 2에서 유량을 산정하였으며, 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 돌고기(*Pungtungia herzi*) 및 배가사리를 대표어종으로 선정하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 어류상 및 우점종

한강수계인 황성댐 상류 및 하류의 섬강에서 채집된 어류는 총 6과 20종 579개체였다(Table 1). 과(family)로는 잉어과(Cyprinidae) 어류가 13종으로 전체 채집된 어종의 65.0%로 가장 많이 출현하였다. 한국고유종(Korean endemic species)은 쉬리 등 12종(60.0%)이었으며, 멸종위기종은 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*) 및 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*)가 출현하였다. 개체수 구성비가 가장 높은 종은 피라미로 30.4%였으며, 다음은 쉬리(20.9%), 돌고기(7.3%), 참갈겨니(6.7%) 및 배가사리(6.2%)였다. 잉어과 어류 출현율이 높은 특징은 우리나라의 서해와 남해로 흐르는 하천의 공통된 특징으로 알려져 있다(전, 1980). 이전에 섬강에서 채집된 어류상의 보고는 황성댐 건설전 7과 29종(송 등, 1995), 댐 건설후 10과 39종(최

Table 1. The list and individual number of collected fishes at each station in up and downstream of Hoengseong Dam

Species	Sites				Total	
	St.1	St.2	St.3	St.4	Number	RA(%)
Cyprinidae						
<i>Pungtungia herzi</i>	4	34	3	1	42	7.25
° <i>Coreoleuciscus splendidus</i>	8	89	11	13	121	20.90
° <i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>			1		1	0.17
<i>Hemibarbus labeo</i>			6	1	7	1.21
<i>Hemibarbus longirostris</i>	4	15	3	3	25	4.32
<i>Pseudogobio esocinus</i>	2	2	6	2	12	2.07
° <i>Gobiobotia macrocephala</i>		1		27	28	4.84
° <i>Gobiobotia brevibarba</i>		3	1		4	0.69
° <i>Microphysogobio yaluensis</i>	4	2	3	2	11	1.90
° <i>Microphysogobio longidorsalis</i>	6	24	5	1	36	6.22
° <i>Zacco koreanus</i>	7	23	9		39	6.74
<i>Zacco platypus</i>	9	71	36	60	176	30.40
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>			1	1	2	0.35
Cobitidae						
° <i>Iksookimia koreensis</i>	1	8	1		10	1.73
° <i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	3	12			15	2.59
Amblycipitidae						
° <i>Liobagrus andersoni</i>	4	13			17	2.94
Centropomidae						
<i>Siniperca scherzeri</i>		1			1	0.17
° <i>Coreoperca herzi</i>		2	1		3	0.52
Odontobutidae						
° <i>Odontobutis platycephala</i>		1			1	0.17
Gobiidae						
<i>Rhinogobius brunneus</i>	6	21			1	4.84
Number of family	4	6	3	1	6	
Number of species	12	17	14	11	20	
Number of individual	58	322	87	112	579	

° : Korean endemic species ~ : endangered species RA : relative abundance

등, 2005)이 출현하였다. 댐 건설후 증가된 종은 9종으로 주로 정수역을 선호하는 부유성 어종이라고 하였다(최 등, 2005).

3.2. 채집어류의 유속 및 수심 분포

4개 지점에서 채집된 어류의 수심 및 유속의 분포 범위를 Table 2에 요약하였다. 평균적으로 저서성 어종인 모래무지(*Pseudogobio esocinus*)와 참종개(*Iksookimia koreensis*)는 유속이 거의 없는 곳에서 채집되었다. 이와 반대로 꾸구리와 돌상어는 여울의 바닥에 서식하고 있어 빠른 유속을 나타냈다. 돌상어와 꾸구리는 멸종위기종으로 서식지의 하상재료, 수심 및 유속 등 물리적 서식지 조건에 매우 민감한 어종으

로 하천 교란 등에 영향을 많이 받는다. 특히 St. 4는 한강과 합류부근으로 꾸구리가 출현하여 4대강 공사로 인한 멸종위기종의 대체 서식지 관련 심도 있는 조사가 필요할 것으로 사료된다. 피라미는 0~1.2 m/s를 나타내어 여울, 소 및 유수역의 모든 서식지 유형에서 광범위하게 서식하는 것으로 나타났다. 수심은 주로 서식지 유형 중 여울부근에 서식하는 어류에서 낮은 것으로 나타났으며, 여울은 유량과 민감하여 감소하였을 경우 수심이 낮아지는 특징을 잘 반영한 것으로 판단된다. 섬강에서 채집된 어류중 대형종인 누치는 0.7 m로 가장 깊은 곳에 서식하는 것으로 나타났으며, 피라미는 수심에서도 광범위한 장소에 서식하는 것으로 나타났다.

Table 2. Velocity and depth distributions of collected fish species in up and downstream of Hoengseong Dam

Species	Velocity (m/s)			Depth (m)		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
<i>Pungtungia herzi</i>	0	1.0	0.4	0.2	1.0	0.4
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	0.2	1.4	0.7	0.2	0.8	0.3
<i>Hemibarbus labeo</i>	0	0.7	0.3	0.4	1.4	0.7
<i>Hemibarbus longirostris</i>	0	0.7	0.2	0.3	1.0	0.4
<i>Pseudogobio esocinus</i>	0	0.4	0.1	0.1	1.2	0.5
<i>Gobiobotia macrocephala</i>	0.5	1.3	0.9	0.2	0.5	0.3
<i>Gobiobotia brevibarba</i>	0.5	1.4	0.9	0.2	0.3	0.3
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	0	0.4	0.2	0.2	0.4	0.3
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	0	0.9	0.5	0.2	0.7	0.4
<i>Zacco koreanus</i>	0	0.9	0.4	0.2	0.8	0.4
<i>Zacco platypus</i>	0	1.2	0.5	0.1	1.3	0.4
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	0	0.6	0.3	0.5	1.0	0.8
<i>Iksookimia koreensis</i>	0	0.3	0.1	0.1	0.4	0.3
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	0.4	1.3	0.8	0.1	0.4	0.3
<i>Liobagrus andersoni</i>	0.3	1.0	0.6	0.1	0.4	0.3
<i>Coreoperca herzi</i>	0.3	0.8	0.6	0.3	0.5	0.4
<i>Rhinogobius brunneus</i>	0	0.9	0.4	0.1	0.5	0.3

3.3. 생물다양도

Table 3의 생물다양도 분석결과 우점도 지수는 평균 0.51로 군집안정도에서 불량상태로 나타났다(0.9~1.0: 매우불량, 0.7~0.9: 불량, 0.5~0.7: 다소양호 및 안정, 0.25~0.5: 양호 및 안정, <0.25: 매우양호 및 고안정). St.1을 제외한 모든 지점에서 군집안정도에서 불량을 나타내었다. 다양도 지수는 2.25로 불량상태를 보여주었다(<1.0: 매우불량, 1.0~2.0: 불량, 2.0~3.0: 다소양호, 3.0~4.0: 양호, >4.0: 매우양호). 출현어종의 다양성을 나타내는 다양도 지수와 한 종이 우점을 나타내는 우점도 지수는 서로 상반관계의 개

념으로서 본 연구에서 나타난 결과로는 환경이 불량한 것으로 사료된다. 한편 균등도 지수는 0.75로 나타나 비교적 어종이 고르게 분포하는 것으로 나타났으며, 종풍부도 지수는 2.99로 나타났다. 최 등(2005)은 황성호 일대에서 2000~2004년도에 우점도와 다양도 지수를 각각 0.33~0.48 및 2.48~2.73으로 보고하였다. 본 조사 결과와 비교하여 평균적으로 우점도 지수는 유사하게 나타났으나, 다양도 지수는 낮게 나타났다. 최 등(2005)은 다양도가 낮아지는 것은 댐 준공후에 어족자원을 확보하기 위해 잉어, 붕어, 메기 및 빙어 등의 정수역에 서식하는 어류를 대량 방류함으로써

Table 3. Bio-diversity analysis of collected fish in up and downstream of Hoengseong Dam

Species	Sites				Average
	St.1	St.2	St.3	St.4	
Dominance	0.29	0.50	0.54	0.78	0.50
Diversity	2.36	2.17	2.17	1.38	2.25
Evenness	0.95	0.76	0.82	0.57	0.75
Richness	2.71	2.77	2.91	2.12	2.99
IBI	36.0	36.4	27.0	24.0	30.9
QHEI	170.0	166.0	165.0	150.0	162.8

IBI scores : very poor (<13), poor (13~25), fair (29~34), good (38~42), excellent (47~50).

QHEI scores : poor (<32), fair (90-46), good (148-104), excellent (>162).

써 우점도가 높아지는 반면에 다양도가 감소한다고 보고하였다.

3.4. IBI 및 QHEI

10개의 평가지표를 이용한 IBI 점수는 24~36까지 나타냈다(Table 3, Fig. 2). IBI의 낮은 점수는 조사 시 생태지표 중 여울성-저서종수가 낮고, 잡식성 빈도가 비교적 높게 출현하여 상대적으로 낮은 평가점수를 얻었다. 또한 봄철인 4월에 비교적 다른 조사시기보다 유량이 적어 상대적으로 유속이 느리고, 수심이 낮아 어류서식 등 조건에 영향을 미친 것으로 판단된다. 활동성이 많은 어류는 유량이 감소하여 여울형성 등이 비교적 적어, 본 조사지점 범위를 벗어나 이동하였을 가능성도 추측하여 볼 수 있다. 전체 평균 점수는 30.9 점으로 보통으로 생물다양도 분석결과와 유사하게 나타내었다. QHEI는 평균 162.8점으로 최적 조건을 나타내었으며, 상류로부터 하류로 내려가면서 약간 감소하는 경향을 보여주었다.

생물다양도에서 우점도와 다양도, IBI 및 QHEI 점수를 지수화 하였을 때 비교는 Fig. 2에서 보는 것과 같다. QHEI는 모든 지점에서 양호 이상을 보여주었는데, 이유는 최근 하상정비 및 주변의 공사 등으로 하천 좌안과 우안은 안정화되어 QHEI를 평가할 수 있는 항목에서 높은 점수를 나타낸 것으로 판단된다. IBI는 St.1과 2에서는 양호를 나타내었으나, 하류지점으로 갈수록 낮아졌다. 다양도와 우점도는 생물다양도에서 불량으로 나타나 상관성 분석에서도 유사한 경향을 보여주었다.

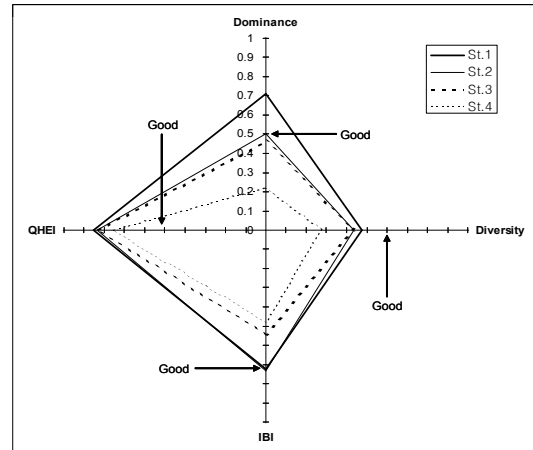


Fig. 2. Correlations among QHEI, IBI, dominance and diversity at the 4 sites in up and downstream of Hoengseong Dam.

3.5. 서식지적합도 지수(HSI) 산정

전체어류를 대상으로 HSI를 평가하기는 채집 개체수의 양이 적어 산정할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 이 지점의 대표어종으로 쉬리, 돌고기 및 배가사리로 선정하였다(Table 4). 유속의 HSI는 유량이 가장 많았던 8월(여름)에 0.5~1.0 m/sec (쉬리), 0.7~0.9 m/sec (돌고기), 0.0~0.7 m/sec (배가사리)로 가장 광범위한 범위를 나타냈다. 3종에서 수심은 계절과 관계없이 0.2~0.5 m에서 HSI를 나타내었다. 하상의 경우, 쉬리가 가는자갈(3.0)~호박돌(5.0)로 나타났으며, 돌고기와 배가사리는 모래~호박돌로 나타났다.

한강 하천유지유량 산정 결과에 의하면 쉬리의 경우, 치어에서 성어기까지 유속과 수심이 0.1~0.8 m/s

Table 4. Season variations of HSI of velocity, depth and channel index

Species	Season (Month)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Substrate size (mm)*
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	Spring (April)	0.7~0.8	0.3~0.5	4.0~5.0
	Summer (August)	0.5~1.0	0.3~0.5	4.0~5.0
	Autumn (October)	0.8~0.9	0.3~0.4	3.0~5.0
<i>Pungtungia herzi</i>	Spring (April)	0.0~0.6	0.2~0.5	2.0~5.0
	Summer (August)	0.7~0.9	0.3~0.4	3.0~4.0
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	Autumn (October)	0.0~0.4	0.2~0.3	2.0~5.0
	Spring (April)	0.0~0.9	0.3~0.4	3.0~5.0
	Summer (August)	0.0~0.7	0.4~0.5	2.0~4.0
	Autumn (October)	0.4~0.5	0.2~0.3	3.0~4.0

*1.0 (silt) : <0.062 mm, 2.0 (sand) : 0.062~2.0 mm, 3.0 (fine gravel) : 2.0~16.0 mm, 4.0 (coarse gravel) : 16.0~64.0 mm, 5.0 (cobble) : 64.0~256.0 mm, 6.0 (boulders) : >256.0 mm.

와 0.1~0.5 m, 돌고기는 0.1~0.5 m/s와 0.1~0.5 m, 배가사리는 0.3~0.8 m/s와 0.3~0.8 m로 보고하였다 (국토해양부, 2009). 본 조사와 이전 조사와는 다소 차이를 나타내고 있으나, 서식 범위 내에서는 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 이전 보고에서는 한강수계를 전체에서의 평균이므로 본 지점과는 차이를 나타낸 것으로 판단된다. 또한 이전 보고에서 생활사로 구분하였으나, 그 범위 값이 모두 같아 본 조사에서 계절별로 구분한 것과는 차이를 보일 수 있다. 이러한 구분은 어류의 생활사(life cycles)로 볼 때, 연어과와 같은 어류는 일생에 1회의 산란을 하고 폐사하기 때문에 치어기(juveniles), 미성어기(immature), 성어기(adult), 산란기(spawning)로 구분을 할 수 있으나, 우리나라 대부분 어류는 다회(몇 개월에 걸쳐 산란을 함)산란을 하고 폐사하는 것이 아니라 부화한 어린 치어와 함께 복합적으로 서식 및 성장을 한다. 즉 모든 생활사의 어류들이 하천의 제한된 공간 내에서 함께 공존을 한다는 것이다. 따라서 이전의 다른 연구자들이 생활사별로 구분하는 것은 우리나라 어종에서는 제고해야 할 것으로 판단된다.

3.6. 물리적 서식지 모의 시스템(PHABSIM)에 의한 생태 유량 산정

PHABSIM에 의해 산정한 쉬리에 대한 계절별 유량-가용서식지면적(WUA) 관계를 Fig. 3과 4에 나타내었다. 또한 쉬리, 돌고기 및 배가사리의 성어기 유량-WUA 관계를 Fig. 5에 나타내었다. Table 5에 쉬리의 계절에 따른 최적 유량 및 WUA를 요약하였다.

Fig. 4에서 보는 것과 같이 쉬리의 경우 4월에 4.2 m³/s로부터 8월 12.0 m³/s와 10월에 6.5 m³/s로 유량이 증가되었을 때, 각 셀(cell)에 대한 WUA가 4월보다 8월과 10월에 증가된 것으로 나타났다. 증가된 각 셀은 유량이 증가됨에 따라 1과 2단면에서 WUA가 늘어나는 것으로 나타났다. 또한 하천 중앙부보다는 좌안과 우안에 WUA가 증가되는 것으로 나타났다. 6월 이후에 많은 유량이 필요한 것으로 나타나는데, 이는 우리나라의 계절 특성상 4월의 경우 갈수시기로 유량이 감소하였다가 우기인 여름철에 유량이 증가하게 되고, 대부분 어류가 이에 맞추어 5~6월에 산란행동을 하는 것과 일치한다고 판단된다. 6월 이후 쉬리는

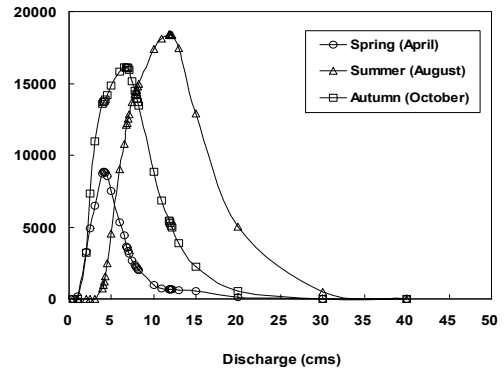


Fig. 3. Variations of WUA to discharge.

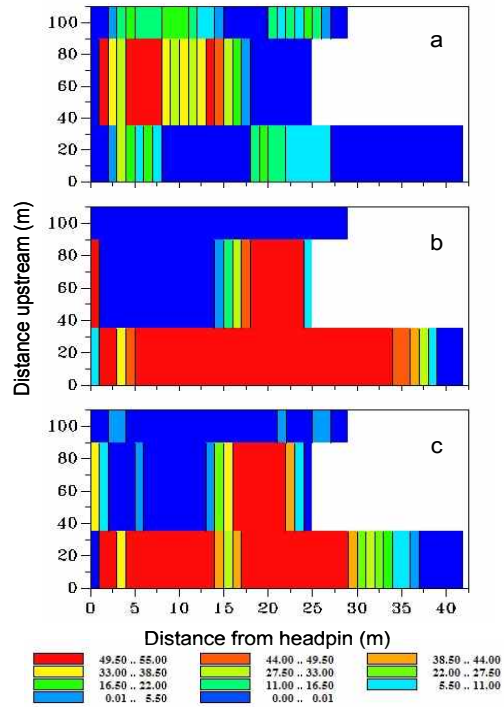


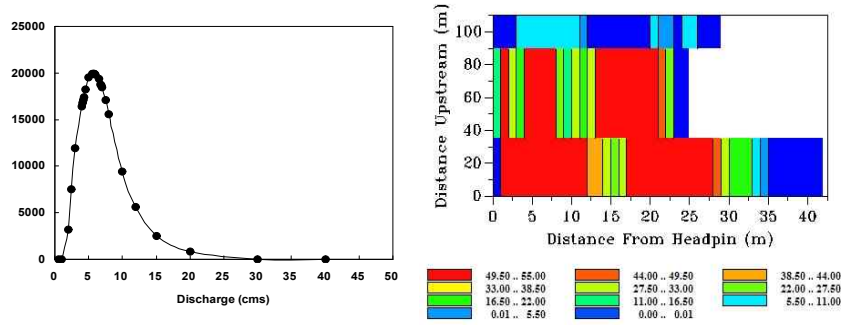
Fig. 4. Variations of WUA (m²/1000m) to discharge of *Coreoleuciscus splendidus* the 2 monitoring sites. a: Spring (April), b: Summer (August), c: Autumn (October).

산란 및 부화되는 시기로 치어와 성어가 함께 서식한다.

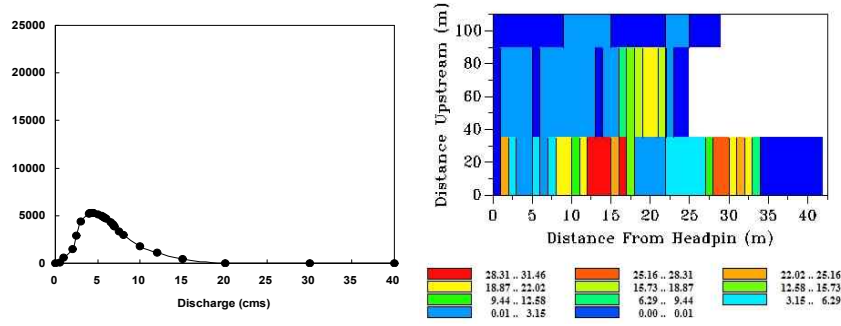
이러한 시기에 하천의 주변부에 서식지 범위가 넓어진다는 것은 어린 치어가 살아가기에 좋은 조건을 제공하며, 다른 치어보다 큰 포식성 어류로부터 도피

Table 5. Seasonal variations of flow rates for optimal WUA values

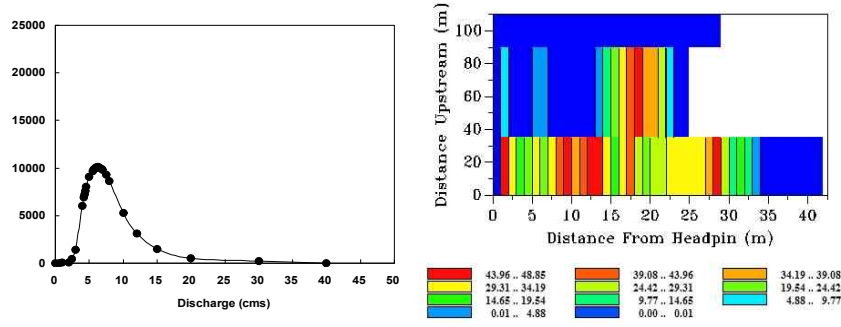
Species	Discharge (m ³ /s)			WUA (m ² /1000m)		
	Spring (April)	Summer (August)	Autumn (October)	Spring (April)	Summer (August)	Autumn (October)
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	4.2	12.0	6.5	8856.9	18400.3	16140.1



(a) *Coreoleuciscus splendidus* (5.7 cms)



(b) *Pungtungia herzi* (4.3 cms)



(c) *Microphysogobio longidorsalis* (6.3 cms)

Fig. 5. Changes of WUA(m²/1000m) for each species to discharge.

에도 도움이 될 것이다. 또한 이시기에 좌·우안의 개방형 및 폐쇄형 하도습지에 1년생 및 다년생 초목류가 자라나 친어가 산란하기 좋은 장소를 제공하며, 부화된 어린 치어가 살아가기에 좋은 조건을 제공한다고 하였다(허와 김, 2009). 10월 조사에서 대표어종으로 선정된 쉬리는 여울 부근의 유속이 느린 지점, 수심이 얕은 지점에서 채집되어 성어보다는 수심과 유속 조건이 다소 감소된 곳에서 서식하여 좌안과 우안의 각 셀이 증가된 것으로 판단된다.

성어기에 3종 쉬리, 돌고기 및 배가사리의 WUA는 쉬리가 두 어종보다는 높게 나타났다. 조사지점에서 HSI에서 수심은 3 어종에서 큰 차이를 보이지 않으나, 유속에서 배가사리 및 돌고기보다 쉬리가 빠른 유속에서 서식하는 것으로 나타나 이러한 경향이 나타난 것으로 판단된다.

본 지점에서 조사된 자료를 기초로 하여 PHABSIM으로 생태유량을 산정한 결과 계절에 따라 최적 유량의 차이를 보여주었으며, 이에 따라서 WUA도 변화를 보여주었다. 이 지점에서 쉬리, 돌고기 및 배가사리로 생태유량을 산정하였으나, 추후 군집 및 다른 어종에도 적용하여 생태유량을 제시해주는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 한강수계중 섬강의 횡성댐 상류와 하류지점에서 어류생태 모니터링을 통한 어류종별 서식환경 특성을 파악하고 DB화하여, 건강성 평가와 생태계에 필요한 유량을 산정하였다. 하천 생태 모니터링을 통하여 어류상, 생물다양도, 건강성 평가, 생물보전지수(IBM) 및 정량적서식지평가(QHEI)를 분석하였으며, 하천단면과 어류자료를 이용하여 서식지 적합도 지수(HSI)를 산정한후 물리적 서식지 모의 시스템(PHABSIM)으로 쉬리, 돌고기 및 배가사리에 대한 최적 유량을 산정하였다.

본 지점에서 채집된 어류는 6과 20종 579마리였으며, 우점종은 피라미(30.4%), 아우점종은 쉬리(20.9%)로 나타났다. IBM과 QHEI는 하류지점으로 내려갈수록 감소하는 경향을 보였다. IBM은 24~36(평균 30.9점)점으로 양호상태이며, 평균 QHEI는 162.8점으로

최적상태를 보였다. 유속의 HSI는 유량이 가장 많았던 8월(여름)에 0.5~1.0 m/sec(쉬리), 0.7~0.9 m/sec(돌고기), 0~0.7 m/sec(배가사리)로 가장 광범위한 범위를 나타냈다. 3종에서 수심은 계절과 관계없이 0.2~0.5 m에서 HSI를 나타내었다. 하상재료는 쉬리가 가는자갈(3.0)~호박돌(5.0)로 나타났으며, 돌고기와 배가사리는 모래~호박돌로 나타났다. 쉬리의 경우 4월에 4.2 m³/s로부터 8월 12.0 m³/s와 10월에 6.5 m³/s로 유량이 증가되었을 때, 각 셀(cell)에 대한 WUA이 4월보다 8월과 10월에 증가된 것으로 나타났다. 본 지점에서 조사된 자료를 기초로 하여 PHABSIM으로 생태유량을 산정한 결과 계절에 따라 최적 유량의 차이를 보여주었으며, 이에 따라서 WUA도 변화를 보여주었다. 이 지점에서 쉬리, 돌고기 및 배가사리로 생태유량을 산정하였으나, 추후 군집 및 다른 어종에도 적용하여 생태유량을 제시해주는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- An, G. K., Jung, S. H., Choi, S. S., 2001, An evaluation on health conditions of Pyong chang river using the index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI), Korean J. Limnol., 34, 153-165.
- Arthington, A. H., Bunn, S. E., Poff, N. L., Naiman, R. J., 2006, The challenges of providing environmental flow rules to sustain river ecosystem, Ecol. Appl., 16, 1311-1318.
- Bunn, S. E., Arthington, A. H., 2002, Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity, Environ. Manage., 30, 492-507.
- Choi, J. K., Choi, J. S., Sin, H. S., Park S. C., 2005, Study on the dynamics of the fish Community in the lake Hoengseong region. Korean J. Limnol., 38, 188-195.
- Gore, J. A., Nestler, J. M., Layzer J. B., 1989, Instream flow predictions and management options for biota affected by peaking-power hydroelectric operations, Regul. Rivers, 3, 35-48.
- Hur, J. W., Kang, H. S., Jang, M. H., 2011a, Investigation on physical habitat condition and fish fauna in Dal stream of Han river basin., Korean Soc. Environ.

- Eng., 33(8), 564-571.
- Hur, J. W., In, D.S., Jang, M.H., Kang, H.S., Kang, K.H., 2011b, Assessment of inhabitation and species diversity of fish to substrate size in the Geum river basin. *J. Environ. Imp. Asses.*, 20(6), 845-856.
- Hur, J. W., Park, J.W., Kang, S.U., Kim, J., 2009a, Estimation of fish fauna and habitat suitability index in the Geum river basin, *Korean J. Env. Eco.*, 23(6), 516-527.
- Hur, J. W., Park, J.W., Kim, J., 2009b, Physical habitat assessment of *Microphysogobio longidorsalis* in the Han River Basin, *J. Hydrol. Environ.*, 5(1), 49-56.
- Hur, J. W., Park, S.Y., Kang, S.U., Kim, J., 2009c, Physical habitat assessment of palechub (*Zacco platypus*) to stream orders in the Geum river basin, *Korean J. Environ. Biol.*, 27(4), 397-405.
- Hur, J. W., Seo, J. W., 2011, Investigation on physical habitat condition of Korean chub (*Zacco koreanus*) in typical streams of the Han river, *J. Environ. Imp. Asses.*, 20(2), 206-214.
- Hur, J.W., Kim, J., 2009, Assessment of riverine health condition and estimation of optimal ecological flowrate considering fish habitat in downstream of yongdam dam, *J. Korea Water Resour. Assoc.*, 42(6), 481-491.
- Jeon, S. R., 1980, Studies on the distribution of freshwater fishes from Korea, Ph.D. Thesis, Choongang Univ., 91 pp.
- Karr, J. R. 1981, Assessment of biotic integrity using fish communities, *Fisheries*, 6, 21-27.
- Kim, I. S., Park, J. Y., 2002, *Freshwater Fishes of Korea*, Kyohak Publishing Co., Ltd. 465 pp.
- Kim, K. H., Cho, W.C., Jeon, B.H., 2000, Estimation of suitable flow needs for maintaining fish habitat conditions using water quantity and quality simulation, *J. Korea Water Resour. Assoc.*, 33, 3-14.
- Lee, S., Kim, J. C., Hur, J.W., 2013, Assessment of ecological flowrate by flow duration and environmental management class in the Geum River, Korea. *Environ. Earth Sci.*, 68, 1107-1118.
- Margalef, R. 1968, *Perspectives in Ecological Theory*, Chicago, 111 pp.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009, *Flow Rate Calculation Considering the natural and social environment to improve regional river maintenance and Procurement (Han River Basin)*. Han River Flood Control Office, 928 pp.
- Nelson, J. S., 1994, *Fishes of the world*, John Wiely and Sons, New York, 600 pp.
- Nilsson, C., Svedmark, M., 2002, Basic principles and ecological consequences of changing water regime: riparian plant communities, *Environ. Manage.*, 30, 468-480.
- Oh, K. Y., Jung, S. M., Lee, J. H., Choi, K. H., Kim, D. H., 2008, Estimation of optimum flow needed for fish habitat by application of one and two dimensional physical habitat simulation model-focused on *Zacco platypus*, *J. Korean Soc. Hazard Mitiga.*, 8, 117-123.
- Petts, G. E., Maddock, I., 1998, Flow allocation for in river needs, *The river handbook hydrological and ecological principles*, 2, 289-307.
- Pielou, E. C., 1975, *Ecological Diversity*, Wiley, New York, 165 pp.
- Plafkin, J. L., Barbour, M.T., Porter, K.D., Gross, S. K., Hughes, R. M., 1989, Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish, A/444/4-89-001, Office of Water Regulations and Standards, U.S.EPA, Washington, DC, USA.
- Simpson, E. H., 1949, Measurement of diversity, *Nature*, 163, 688 pp.
- Song, H. B., Kwon, O. K., Jeon, S. H., Kim, H. J., Cho, K. S., 1995, Fish fauna of the upper sum river in Hoengsong, *Korean J. Limnol.*, 28, 255-232.
- Sung, H. D., Park, B. J., Ju, K. J., Jung, K. S., 2005, The estimation of ecological flow recommendations for fish habitat. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, 38, 545-554.
- Wentworth, C. K., 1922, A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, 30, 377-392.
- Woo, H. S., 2001, *River hydraulics*, Changmoon Publishing Co., Ltd. pp. 363.
- Woo, H. S., Lee, J. W., Kim, K. H., 1998, Development of a method for determination of instream flow needs required for fish habitat conservation-application to the Keum river, *Korean Soc. Environ. Eng.*, 18, 339-350.