

초강천에서 어류의 최적 생태유량 산정

Estimation of Optimal Ecological Flowrate of Fish in Chogang Stream

허준욱^{1*} · 김대희² · 강형식³

¹정회원, 생물모니터링센터 대표

²국립수산과학원 중앙내수면연구소 연구사

³정회원, 한국환경정책평가연구원 부연구위원

Hur, Jun Wook^{1*}, Kim, Dae Hee² and Kang, Hyeongsik³

¹Member, Bio-Monitoring Center Director

²Inland Fisheries Special Research Institutes, National Fisheries Research and Development Institute Researcher

³Member, Environmental Strategy Research Group, Korea Environment Institute Researcher Fellow

ABSTRACT: In order to establish fundamental data for stream restoration and environmental flow, we investigated optimal ecological flowrate (OEF) and riverine health condition in the Chogang Stream, a tributary to Geum River, Korea. The number of fish individuals sampled in this period were 4,669 in 36 species of 9 families. The most abundant species was Korean chub (*Zacco koreanus*, 34.0%) followed by pale chub (*Z. platypus*, 22.6%) and Korean shinner (*Coreoleuciscus splendidus*, 13.3%). Index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI) values decreased from upstream to downstream along the stream. The estimated IBI value ranged from 27.9 to 38.6 with average 32.2 out of 50, rendering the site ecologically fair to good health conditions. OEF was estimated by the physical habitat simulation system (PHABSIM) using the habitat suitability indexes (HSI) of three fish species *Z. koreanus*, *C. splendidus* and *Pseudopungtungia nigra* selected as indicator species. In *Z. koreanus*, HSI for flow velocity and water depth were estimated at 0.1 to 0.4 m/s and 0.2 to 0.4 m, respectively. In *P. nigra*, HSI for flow velocity, water depth and substrate size were estimated at 0.2 to 0.5 m/s and 0.4 to 0.6 m and fine gravel to cobbles, respectively. OEF values increasing from up to downstream was found to increase, weighted usable area (WUA) values increased accordingly.

KEYWORDS: Chogang Stream, Fish, Optimal ecological flowrate, Weighted usable area

요 약: 하천복원과 환경유량을 위한 기초자료를 확립하고자 금강수계의 초강천에서 생물학적 건강성 및 최적 생태유량에 대하여 조사하였다. 출현한 어종은 총 9과 36종 4,669개체였으며, 잉어과가 66.7%(24종)로 가장 높았다. 참갈겨니가 1,588개체로 34.0%로 우점종이었으며, 아우점종은 피라미로 22.6%, 우세종은 쉬리 13.3%로 나타났다. IBI와 QHEI는 상류로부터 하류로 내려갈수록 값이 감소하는 것으로 나타났으며, IBI 값은 27.9~38.6으로 평균 32.2로 양호상태를 나타냈다. 참갈겨니, 쉬리 및 감돌고기에 대하여 서식도적합도지수(HSI) 및 최적 생태유량을 산정하였다. 참갈겨니의 경우, 유속과 수심의 HSI 값은 각각 0.1~0.4 m/s와 0.2~0.4 m 였다. 감돌고기는 유속이 0.2~0.5 m/s, 수심이 0.4~0.6 m 및 하상재료가 가는자갈~호박돌로 나타났다. 이를 기초로 하여 각 지점의 최적 생태유량은 하류로 내려갈수록 값이 증가하는 것으로 나타났으며, 이에 따라서 WUA 값도 증가하는 것으로 나타났다.

키워드: 초강천, 어류, 최적 생태유량, 가중가용면적

*Corresponding author: junwhur@hanmail.net

서론

우리나라에서 환경유량은 하천유지유량이라는 개념에서 시작하였고, 현재도 하천법에서는 하천유지유량으로 정의하고 있다 (최지용, 2007). 하천관리를 위한 하천유지유량 및 관리유량은 기본적으로 이수관리와 하천환경관리를 바탕으로 하천개발과 이용을 위한 인위적 기능, 하천의 환경과 생태계 보전 등을 위한 자연적 기능을 유지하고 관리하는 데 필요한 하천유량이다.

자연적 기능은 하천이 갖는 고유한 유량에 의해 유지가 가능한 것으로서 하천고유의 갈수량 유지, 어류 등과 같은 수생생물의 생태계 보호, 정서함양 공간으로서의 하천경관, 그리고 하류부 지하수 취수를 위한 지하수위 유지 등이다.

인위적인 기능은 하천이 갖는 고유의 유량만으로는 실질적으로 인간이 필요에 의해 요구하는 하천의 기능을 유지하기 어렵기 때문에 인위적인 요인으로 하천의 기능을 강화하거나 특정 목적으로 이용하기 위해 설정된 기능이다. 이는 하천관리를 위해 개발된 각종 시설물의 보호, 하천을 교통 및 관광수단으로 이용하는 하천주운, 악화된 수질을 개선하기 위한 수질보전, 하구에서 조류침입에 따른 염수침입 방지, 하구에서 유사퇴적에 의한 하구 막힘 방지 및 유수점용 허가에 따른 이수유량 등이다 (건설교통부, 1999).

한편, 2006년에 보완된 국가 수자원장기종합계획에 자연·사회 환경 개선을 위한 용수의 필요성과 확보를 위한 기본방향이 제시되어 있다. 이 보고서에는 그동안 주로 큰 하천 하류에 한정되어 계획된 하천유지유량의 대상 하천을 지류하천, 도시하천 등으로 확대하고 수질, 생태계 및 친수환경 개선 등을 종합적으로 고려해야 할 필요성이 강조되고 있다 (건설교통부, 2006). 또한, 최근 통과된 하천법에서는 유지유량을 생활, 공업, 농업, 환경개선 및 발전 등 유수사용을 고려하여 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 유량으로 정의하고 있다. 이러한 새로운 움직임은 최근 도시하천의 수질, 친수공간 및 경관 등 생활환경 또는 자연환경의 유지 및 개선을 위한 지자체의 신규수량의 요구가 증가함에 따라 하천관리에서 이를 적극적으로 반영해 주기 위한 것이다.

위와 같이 환경에 대한 사회적 관심이 높아지면서 생태계를 고려한 하천유지유량의 중요성이 증가하게 되었다. 하천에서 생태계를 고려한 유지유량은 여러 생물을 대상으로 이루어 질 수 있겠으나, 어류는 하천생태계에서 고등 소비자이자 하천생태환경의 주요 지표생물로 활용 가능성을 갖는다 (Tamai et al., 2000). 또한 어류는 국내 대부분의 하천에서 출현, 손쉽게 포획 및 동정 가능, 인위적 교란 등에 관련하여 검증 대상 분류군으로 유용하게 활용된다 (Wootton, 1990). 국내에서 아직까지 생태유량에 대한 정의는 명확하지 않으나, 각각의 하천을 대표할 수 있는 어종을 선정하여 그 어종이 물리적 서식지 조건 (수심, 유속 및 하상재료 등) 및 살 수 있는 서식지 면적 (가중가용면적)을 최적으로 만족하는 유량을 생태유량으로 보면 될 것 같다.

국내에서 어류를 이용한 생태유량 산정 관련 보고로는 생태 환경을 고려한 유지유량에 대한 연구는 금강에 어류 서식지를 고려한 유량 연구 (우효섭 등, 1998), 괴산 달천에 유량 및 수질을 고려한 유량 연구 (김규호 등, 2000), 낙동강 유역 어류 서식환경을 고려한 유량 연구 (성영두 등, 2005), 한강 지류에 어류서식 조건을 고려한 유량 연구 (오국열 등, 2008), 최적 생태유량 산정 (허준욱과 김정곤, 2009; Lee et al., 2013; 허준욱 등, 2013)) 및 어류 서식지 평가 및 유량 산정에 대한 자료 (허준욱 등, 2009; 허준욱 등, 2010; 허준욱과 김정곤, 2011 a, b, c; 허준욱과 서진원, 2011; 허준욱 등, 2011) 등이 있다.

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

조사 및 방법

조사지역

초강천은 금강의 제1지류로 충청북도 영동군 상촌

면 물한리 민주지산 (1,242 m)에서 발원한다. 하천 길이는 66.3 km, 유역면적은 665.2 km²이며, 고자천, 궁촌천, 추풍령천 및 석천 등과 합류하여 금강에 유입된다. 이 하천은 상류로부터 하류까지 하천 주변부에 레크레이션 활동을 할 수 있는 고수부지가 풍부하고 관광지가 많다.

본 조사는 2008년 4월부터 2009년 10월까지 동절기를 제외한 매월 1회씩 서식 어류를 직접 채집하였다. 또한 2011년과 2012년에 산란시기 (4~6월) 및 갈수기 (10월)에 일부 추가조사를 실시하였다. 조사 지점은 초강천의 상류로부터 하류까지 7개 지점을 선정하였다 (Fig. 1). 조사지점의 행정구역명, 하천차수 및 위치는 다음과 같다.

- St.1 : 충청북도 영동군 상촌면 물한리 현수교 (1차하천, N36°03'48", E127°52'44")
- St.2 : 충청북도 영동군 상촌면 물한리 계제교 (2차하천, N36°04'27", E127°52'46")
- St.3 : 충청북도 영동군 상촌면 물한리 황점교 (3차하천, N36°05'33", E127°52'51")
- St.4 : 충청북도 영동군 상촌면 돈대리 돈대교 (4차하천, N36°09'26", E127°55'23")
- St.5 : 충청북도 영동군 황간면 신흥리 월유교 (5차하천, N36°14'06", E127°54'03")

St.6 : 충청북도 영동군 용산면 울리 송천교 (6차하천, N36°13'36", E127°48'15")

St.7 : 충청북도 영동군 심천면 심천리 심천교 (6차하천, N36°13'47", E127°43'20")

조사방법

생태유량 산정을 위한 기초자료를 얻고자 어류를 각각의 지점에서 상류 및 하류 200 m 구간에서 60분씩 실시하였다. 소 (pool), 여울 (riffle) 및 흐름이 있는 곳 (run)을 모두 포함하여 조사하였다. 투망 (망목, 6×6 mm)은 정량적 조사를 수행하기 위하여 15~20 회씩 동일하게 투척하였으며, 족대 (망목, 4×4 mm)는 하천 좌우안 수초와 호박돌 주변에서 채집하였다. 투망 및 족대 채집지점에서 샘플 후에 유속계를 사용하여 유속 및 수심을 기록하였으며, 육안으로 하상재료를 확인하였다.

하상재료 조사를 기초로 하여, 우효섭 (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 (cobble, Co, 64.0~256.0 mm) 및 전석 (boulders, Bo, >256.0 mm)으로 분류하였다. 하상재료는 어류 채집시 육안으로 우세한 입자를 기록하는 방식으로 하였고, 시기는 봄 (2~3월)과 가을 (10~11월)에 2회 실시하였다.

건강성 평가

어류채집 결과에 의해 생물통합지수를 기반으로 한 하천 건강도 평가모델을 적용하였다. 하천 건강도 평가모델은 북미에서 최초 개발된 어류의 다변수 생물지표 지수와 질적 서식 조건을 이용한 수생태계를 평가하고 진단하는 기법으로 생물보전지수 (Index of biological integrity, IBI)와 정량적 서식지 평가 (Qualitative habitat evaluation index, QHEI) 모델을 기초로 하여 산정하였다.

생물보전 지수는 생태지표 4개, 먹이습성지표 3개, 풍부도 및 건강성지표 3개로 구성된 총 8~10개의 지표를 사용하였으며, 각 지표에 대한 점수분류 (1~5점) 및 기준 선정 (하천차수 및 어류 습성 등)은

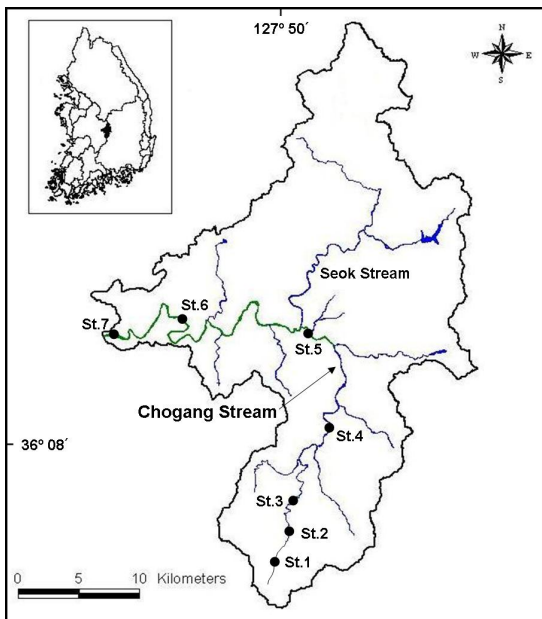


Fig. 1. A map showing the survey stations in the Chogang Stream

Karr (1981)와 안광국 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 지수는 Plafkin et al. (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.

서식지 적합도 지수 및 물리적 서식지 모의 시스템 모의

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 (Petts and 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 최대 개체수와 하천 단면정보를 조합하여 최대값을 1.0으로 하고, 나머지는 최대값에 대한 상대비율로 설정하였다. 본 조사에서는 어류 채집 이전에 각 지점에서 하천 특성과 단면정보를 조사하여 HSI 산정에 이용하였다. HSI를 작성하는 방법으로는 이분법 및 단일변량곡선 (univariate curve)을 주로 사용하였다. 본 연구에서는 하상재료에 대하여는 이분법을 수심과 유속에 대하여는 단일변량곡선을 적용하여 HSI를 산출하였다. HSI와 생태유량 산정을 위한 자료는 허준욱과 김정곤 (2009)이 제시한 방법으로 실시하였다. 첫째, 조사지점을 선정하여 사전 답사 및 조사 위치를 확인한다. 또한 횡단면에 물의 흐름

을 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 적합도를 산정하고, 다른 연구자의 참고문헌 또한 어류 전문가와 논의를 통해 최종적으로 지수를 산정하였다. 이러한 과정에 의해 나타난 각 지수값은 생태유량산정에 적용시켰다. 본 조사지점에서는 St. 3~7에서 유량을 산정하였으며, 참갈겨니 (*Zacco koreanus*), 쉬리 (*Coreoleuciscus splendidus*) 및 갑돌고기 (*Pseudopungtungia nigra*)를 대표어종으로 선정하여 평가하였다.

결과 및 고찰

조사지역의 하천 특성

하천 특성은 물의 흐름에 따라 상류보다는 하류의 하폭이 넓고, 수심이 깊어지는 것으로 나타났다 (Table 1). 그러나 유속은 1차 및 2차 하천을 제외한 모든 지점에서 차이를 보이지 않았는데, 이는 여울, 우수역 및 소를 모두 포함한 지점에서 조사를 실시하였기 때문으로 판단된다. 하천형태는 B3~B4의 형태로 하상재료는 가는자갈 (16.0~64.0 mm)~호박돌 (64.0~256.0 mm)이 혼합된 구성을 보였다.

어류상

채집된 어류는 총 8과 35종 4,669개체였다 (Fig. 2). 본 조사에서 채집된 36종 중 개체수 구성비가 가장 높은 종은 참갈겨니로 34.1% (1,593개체)를 차지하여 우점종으로 나타났다. 다음은 피라미 (*Z. platypus*)로 22.6% (1,053개체), 쉬리 13.3% (623개체), 버들치 (*Rhynchocypris oxycephalus*) 7.8% (364

개체) 등의 순으로 나타났다. 한국고유종은 칼납자루 등 20종으로 55.6%를 차지하여 높은 출현율을 보였다. 멸종위기야생동물 (endangered species)로 I급에 갑돌고기와 II급에 꾸구리 (*Gobiobotia macrocephala*)와 돌상어 (*G. brevibarba*)가 출현하였다. 갑돌고기 (*P. nigra*)는 금강 중·상류와 일부 지류에서만 서식하는 종으로 하천생태계의 교란으로 개체수가 감소하여 법적으로 보호하고 있다. 따라서 본 연구에서 생태유량 산정을 위하여 대표어종으로 참갈겨니, 쉬리 및 갑돌고기로 선정하였다. 멸종위기종인 꾸구리와

돌상어는 여울에만 서식하는 어류이므로 전체를 대표할 수 없어 선정하지 못하였다. 또한 갑돌고기는 금강 대청댐 상류 지역과 각 지류에 서식하는 멸종위기종으로 대표어종으로 선정하였다.

건강도 분석

IBI 분석결과, St.1과 St.2를 제외하고 하류로 내려갈수록 점수는 낮아지는 것으로 나타났다 (Table 2). St.1과 St.2는 초상류 하천으로 출현 어류 종수가 적

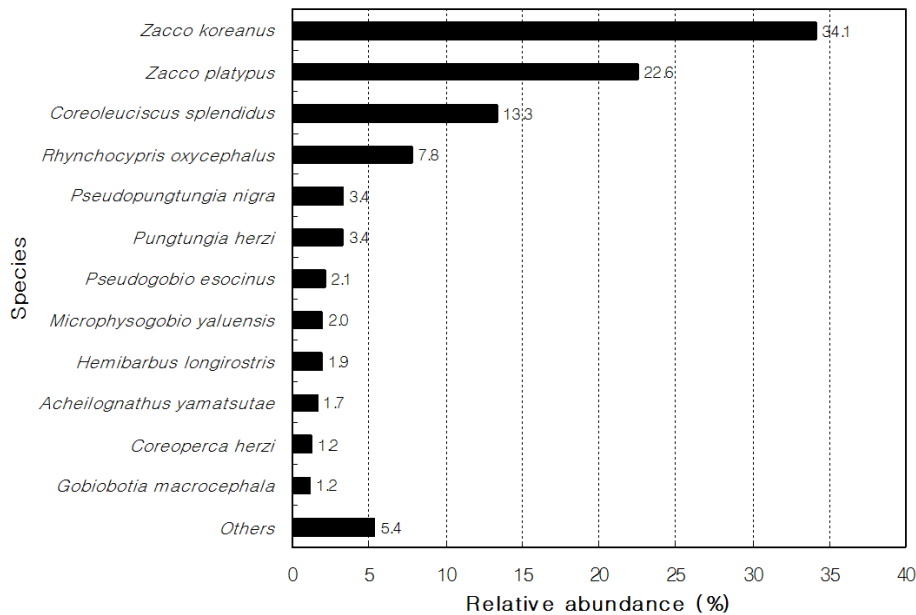


Fig. 2. Relative abundance of collected fish (Numbers in parenthesis total number of individual species)

Table 1. The environmental characteristics of survey stations in the chogang stream

Stations	Division	Width (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	River type*	Substrate size**
1		3~5	0.2~0.7	0.1~0.5	B1~B2	5~6
2		2~4	0.2~0.5	0.1~0.4	B1~B2	5~6
3		10~20	0.1~1.0	0.1~0.9	B3~B4	4~5
4		30~40	0.1~0.9	0.1~1.6	B3~B4	3~5
5		30~40	0.1~1.3	0.1~1.2	B3~B4	3~5
6		100~120	0.1~1.1	0.1~1.5	B3~B5	3~5
7		200~250	0.1~1.2	0.1~1.9	B3~B5	2~5

*B1 : meandering river-bedrock, B2 : meandering river-boulder, B3 : meandering river-cobble, B4 : meandering river-gravel, B5 : meandering river-sand.

**1 (silt) : <0.062 mm, 2 (sand) : 0.062~2.0 mm, 3 (fine gravel) : 2.0~16.0 mm, 4 (coarse gravel) : 16.0~64.0 mm, 5 (cobbles) : 64.0~256.0 mm, 6 (boulders) : >256.0 mm.

Table 2. Metric scores and indices of IBI of survey stations in the chogang stream

Months \ Stations	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
Mar.	29.5	29.0	40.0	40.0	30.0	34.0	32.0
Apr.	31.0	30.0	34.0	38.0	32.0	30.0	28.0
May	31.0	32.0	42.0	34.0	35.0	30.0	24.0
Jun.	31.0	32.0	40.0	38.0	35.0	31.0	29.0
Jul.	32.0	31.0	38.0	36.0	22.0	30.0	24.0
Aug.	29.0	29.0	38.0	38.0	34.0	30.0	28.0
Sep.	30.0	31.0	39.0	35.0	28.0	28.0	32.0
Oct.	30.5	29.5	38.0	36.0	26.0	33.0	26.0
Nov.	31.0	31.0	38.0	34.0	34.0	32.0	28.0
Average	30.6±0.9	30.5±1.2	38.6±2.2	36.6±2.1	30.7±4.6	30.9±1.8	27.9±2.9
	fair	fair	good	fair~good	fair	fair	fair~poor

IBI scores : 47~0 (excellent), 43~6 (Good~xcellent), 38~2 (good), 35~7 (fair~ood), 29~4 (fair), 26~8 (fair~oor), 18~5 (poor), 14~7 (poor~ery poor), <13 (very poor).

Table 3. Metric scores and indices of QHEI of survey stations in the chogang stream

Metric \ Stations	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
M1	19.0	19.0	19.0	18.0	18.0	18.0	14.0
M2	19.0	18.0	19.0	19.0	18.0	16.0	16.0
M3	18.0	18.0	16.0	18.0	16.0	19.0	15.0
M4	18.0	18.0	18.0	15.0	16.0	18.0	13.0
M5	15.0	17.0	16.0	15.0	17.0	15.0	15.0
M6	15.0	13.0	15.0	10.0	15.0	16.0	15.0
M7	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	15.0
M8	18.0	18.0	17.0	20.0	16.5	16.0	16.0
M9	18.0	18.0	17.5	18.0	18.0	16.0	14.0
M10	18.0	18.0	14.5	18.0	18.0	16.0	18.0
Average	176.0±1.4	175.0±1.6	170.0±1.6	169.0±2.9	170.5±1.1	168.0±1.3	151.0±1.4
	excellent	excellent	excellent	excellent	excellent	excellent	good

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

어서 IBI 점수가 낮게 나타났다. St.1에서는 버들치 1종만이 채집되었으며, St.2에서는 버들치와 참갈겨니 2종이 채집되었다.

QHEI도 IBI와 비슷한 경향으로 조사지점에서 상류로부터 하류로 내려갈수록 점수가 낮아지는 것으로 나타났다 (Table 3).

각 지점에서 대표어종의 HSI 및 생태유량 산정

유속, 수심 및 하상에 대한 HSI의 경우, 참갈겨니는 유속 0.1~0.4 m/sec, 수심 0.2~0.4 m, 하상재료 굵은자갈~호박돌로 나타났다 (Fig. 3). 쉬리는 유속 0.4~0.6 m/sec, 수심 0.3~0.5 m, 하상재료 가는자

갈~굵은자갈로 나타났다. 감돌고기는 유속 0.2~0.5 m/sec, 수심 0.4~0.6 m, 하상재료 가는자갈~호박돌로 나타났다. 유속은 주로 여울에서 서식하는 쉬리가 참갈겨니 및 감돌고기보다 빠른 것으로 나타났으며, 수심은 조사하천의 하류에서 서식하는 감돌고기가 깊은 곳에 서식하는 것으로 나타났다. 하상재료는 초강천이 굵은자갈과 호박돌로 이루어져 3종 모두 비슷한 것으로 나타났다. 이 3종이 초강천의 대표어종으로 선택된 것은 감돌고기의 경우, 멸종위기종으로 금강수계 일부지역에서만 서식하고 있어 선택하였으며, 참갈겨니와 쉬리는 초강천 전체에서 서식하고 환경변화 및 유량에 민감한 종으로, 상류에서는 참갈겨니 하류는 쉬리로 선정하였다.

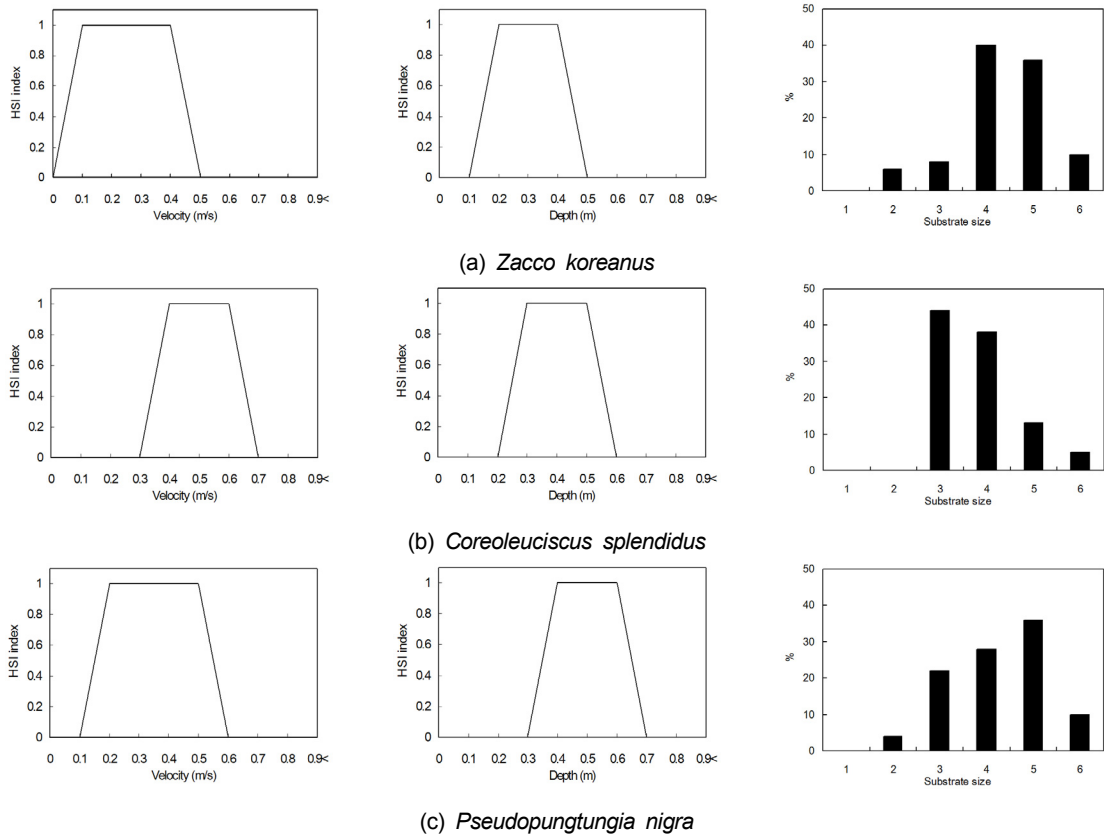


Fig. 3. Variations of HSI of velocity, depth and substrate size. substrate size : 1 (silt) : <0.062 mm, 2 (sand) : 0.062~2.0 mm, 3 (fine gravel) : 2.0~16.0 mm, 4 (coarse gravel) : 16.0~64.0 mm, 5 (cobble) : 64.0~256.0 mm, 6 (boulders) : >256.0 mm

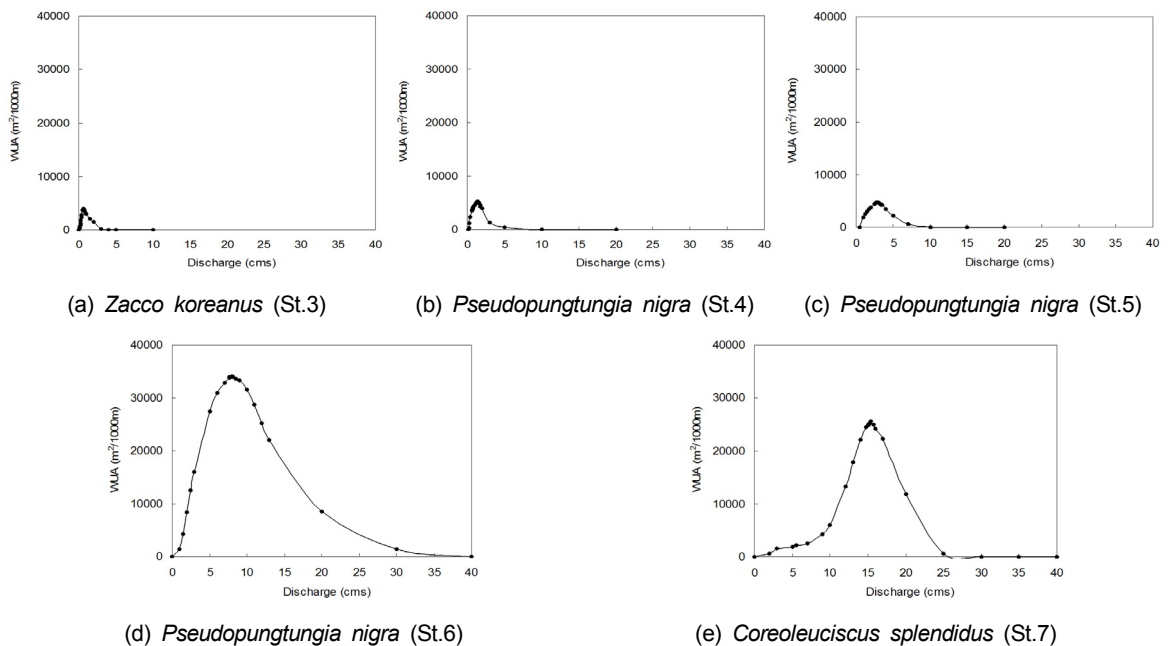


Fig. 4. Variations of WUA to discharge of survey stations in the chogang stream

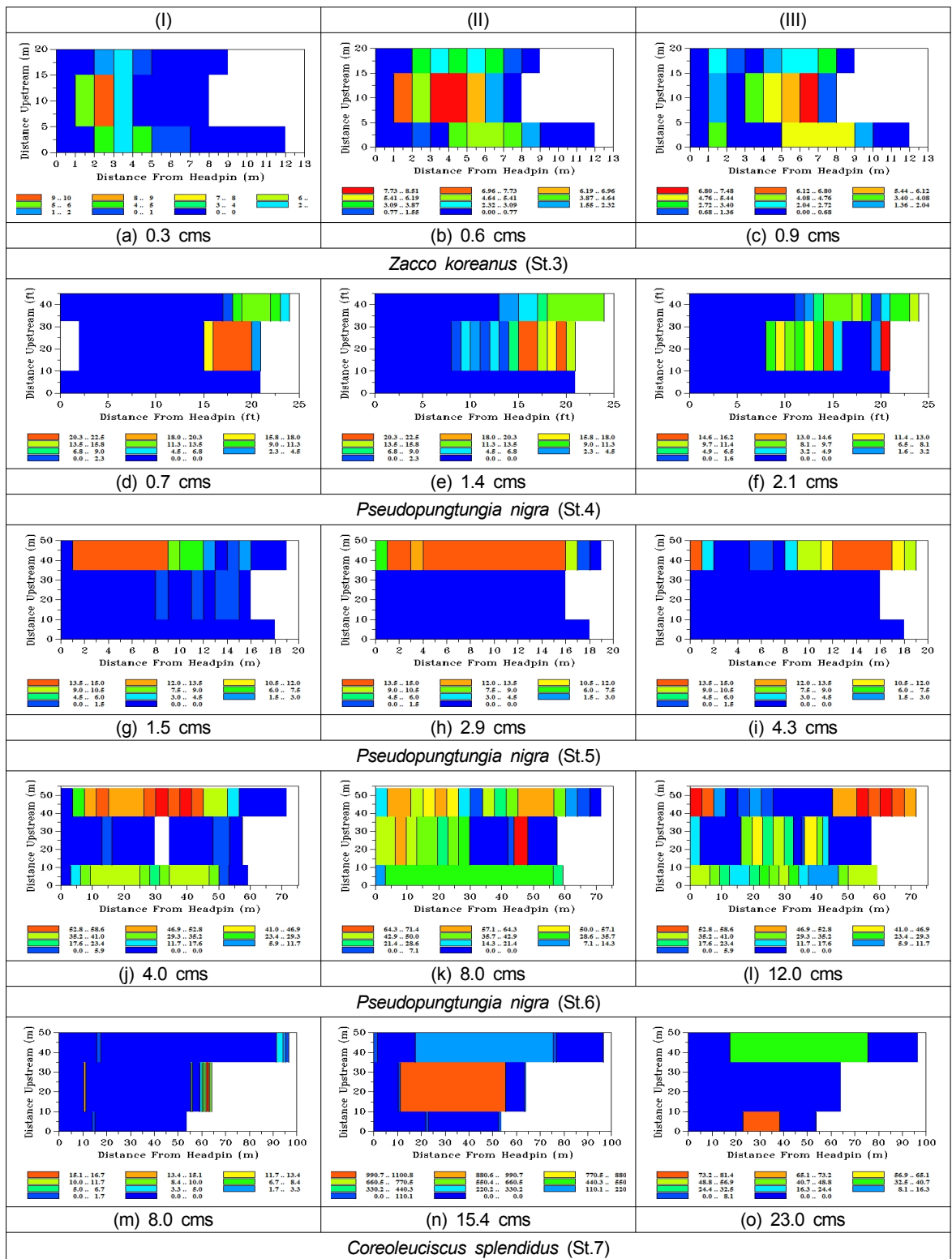


Fig. 5. Variations of WUA ($m^2/1,000 m$) for each species as flowrate increase and decrease of survey stations in the Chogang Stream. (I) 50% reduction in the Optimal ecological flowrate (OEF), (II) OEF, (III) 50% increase in the OEF

각 지점에서 대표어종의 PHABSIM에 의해 산정한 각 지점에 대한 유량-WUA (가중가용면적) 관계를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4는 최적 생태 유량 일 때 유량과 WUA의 관계를 나타냈다. 또한 Fig. 5는 최적 생태유량과 최적 생태유량으로부터 유량을 각각 50% 감소 및 증가시킬 때 서식지 변화를 2차원적으로 나타냈다. 최적 생태유량은 WUA는 상류로부터 하류로 내려갈수록 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 유량과 관계가 있어 하류로 갈수록 유량이 증가하여 나타나는 현상이다. 그러나 St.7 (Fig. 5n)에서는 St.6 (Fig. 5k)보다 WUA가 낮은 것으로 나타났는데 이것은 St.7의 쉬리가 살 수 있는 면적이 감소하여 나타난 결과로 추측된다. St.7은 유량은 증가하나 하천 중앙부에 하중도가 있어 한쪽은 급여울이며, 다른 한쪽은 소와 비슷한 형태를 나타내어 소 부근에서 쉬리가 살 수 있는 면적이 감소된 것으로 판단된다. 쉬리의 미세서식지는 평여울보다는 급여울에 서식하므로 유량에 민감하여 나타난 결과로 추측하여 볼 수 있다. St.7에서 최적 생태 유량으로부터 50% 감소시 여울이 감소하여 쉬리가 살 수 있는 서식지가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. St.3에서 참갈겨니의 경우, 최적 생태유량으로부터 유량이 50% 증가시에는 각 셀에서 서식지에 큰 차이를 보여주지 않았으나, 유량을 감소하였을 경우에는 서식지가 많이 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 St.4에서도 유사하게 나타났다.

결 론

하천복원과 환경유량을 위한 기초자료를 확립하고자 금강수계의 초강천에서 생물학적 건강성 및 최적 생태유량에 대하여 조사하였다. 출현한 어종은 총 9과 36종 4,669개체였으며, 잉어과가 66.7% (24종)로 가장 높았다. 참갈겨니가 1,588개체로 34.0%로 우점종이었으며, 아우점종은 피라미로 22.6%, 우세종은 쉬리 13.3%로 나타났다. IBI와 QHEI는 상류로부터 하류로 내려갈수록 값이 감소하는 것으로 나타났으며, IBI 값은 27.9~38.6으로 평균 32.2로 양호 상태를 나타냈다. 참갈겨니, 쉬리 및 감돌고기에 대하여 서식도적합도지수 (HSI) 및 최적 생태유량을 산정하였다. 참갈겨니의 경우, 유속과 수심의 HSI 값

은 각각 0.1~0.4 m/s와 0.2~0.4 m 였다. 감돌고기는 유속이 0.2~0.5 m/s, 수심이 0.4~0.6 m 및 하상 재료가 가는자갈~호박돌로 나타났다. 이를 기초로 하여 각 지점의 최적 생태유량은 하류로 내려갈수록 값이 증가하는 것으로 나타났으며, 이에 따라서 WUA 값도 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 하천에서 유량이 증가 및 감소될 경우, 어류가 살 수 있는 미세 서식지가 변화 될 수 있어 이에 대한 각 어종의 HSI와 최적 생태유량을 산정하기 위한 기초자료를 확보해야 할 것으로 판단된다.

References

- An, G. K., Jung, S. H., and 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.*, Vol. 34. pp. 153-165.
- Choi, J. W. (2007). "Function of Environmental Flows for Sustainable Water Resources Management." *J. of Environmental Policy.*, Vol. 6, No. 2, pp. 47-70.
- Hur, J. W., Kang, H. S. and Jang, M. H. (2011a). "Investigation on physical habitat condition and fish fauna in Dal stream of Han river basin." *Korean Soc. Environ. Eng.*, Vol. 33, No. 8, pp. 564-571.
- Hur, J. W., Kang, H. S., Jang, M. H. and Lee, J. Y. (2013). "Fish Community and Estimation of Optimal Ecological Flowrate in Up and Downstream of Hoengseong Dam" *J. of Korean Environ. Sciences Society.*, Vol. 22, No. 8, pp. 925-935.
- Hur, J. W. and Kim, J. K. (2011a). "Applications and fish monitoring guidelines for calculating ecological flow: Pre-survey." *Magazine of Korea Water Resources Association.*, Vol. 44, No. 1, pp. 82-86.
- Hur, J. W. and Kim, J. K. (2011b). "Applications and fish monitoring guidelines for calculating ecological flow: field investigation." *Magazine of Korea Water Resources Association.*, Vol. 44, No. 2, pp. 43-56.
- Hur, J. W. and Kim, J. K. (2011c). "Applications and fish monitoring guidelines for calculating ecological flow: result." *Magazine of Korea Water Resources Association.*, Vol. 44, No. 3, pp. 25-42.
- Hur, J. W., Park, J. W., Kang, S. U. and Kim, J. (2009a). "Estimation of fish fauna and habitat suitability index in the Geum river basin." *Korean J. Env. Eco.*, Vol. 23, No. 6, pp. 516-527.
- Hur, J. W., Park, S. Y., Kang, S. U. and Kim, J. (2009c). "Physical habitat assessment of palechub (*Zacco platypus*) to stream orders in the Geum river basin."

- Korean J. Environ. Biol.*, Vol. 27, No. 4, pp. 397-405.
- Hur, J. W. and 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.*, Vol. 20, No. 2, pp. 206-214.
- Hur, J. W. and 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.*, Vol. 42, No. 6, pp. 481-491.
- Karr, J. R. (1981). "Assessment of biotic integrity using fish communities." *Fisheries.*, Vol. 6, pp. 21-27.
- Kim, K. H., Cho, W. C. and 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.*, Vol. 33, pp. 3-14.
- Lee, S. H. and Yang, D. C. (2010). "A Study on the Disturbance and the Rehabilitation of Stream by Using Evaluation of Ichthyofauna to Disturbed Ecosystem." *Korean Journal of Ecology and Environment.*, Vol. 43, No. 2, pp. 242-254.
- Lee, S., Kim, J. C. and Hur, J. W. (2013). "Assessment of ecological flowrate by flow duration and environmental management class in the Geum River." *Korea. Environmental Earth Sciences.*, Vol. 68, pp. 1107-1118.
- Ministry Construction & Transportation. (2000). "Development of a method for determining the instream flow and its application, Application and result."
- Ministry Construction & Transportation. (2006). "Water Vision 2020."
- Oh, K. Y., Jung, S. M., Lee, J. H., Choi, K. H. and 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.*, Vol. 8, pp. 117-123.
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K. and Hughes, R. M. (1989). "Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish." EPA/444/4-89-001, *Office of Water Regulations and Standards, U. S. EPA*, Washington, DC, USA.
- Sung, H. D., Park, B. J., Ju, K. J. and Jung, K. S. (2005). "The estimation of ecological flow recommendations for fish habitat." *J. Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 38, pp. 545-554.
- Tamai, N., Okuda, S. and Nakamura, S. (2000). "Assessing riverine environments for habitat suitability on the basis of natural potential." *Univ. Tokyo Press*, pp. 1-270.
- Wentworth, C. K. (1922). "A scale of grade and class terms for clastic sediments." *J. Geol.*, Vol. 30, pp. 377-392.
- Woo, H. S. (2001). "River hydraulics." *Changmoon Publishing Co., Ltd.* pp. 363.
- Woo, H. S., Lee, J. W. and 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.*, Vol. 18, pp. 339-350.
- Wootton, R. J. (1990). "Ecology of teleost fishes. Chapman and Hall." London., pp. 1-404.