

# Physical habitat simulation system (PHABSIM) 을 이용한 금강의 두드럭조개 (*Lamprotula coreana*) 서식지 평가

김대희, 김경환, 이완옥, 허준욱<sup>1</sup>

국립수산과학원 중앙내수면연구소, 생물모니터링센터<sup>1</sup>

## Habitat assessment of *Lamprotula coreana* by using physical habitat simulation system (PHABSIM) at the Guem River

Dae-Hee Kim, Kyeong-Hwan Kim, Won-Ok Lee and Jun-Wook Hur<sup>1</sup>

Inland Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Gapyeong 12453, Korea

<sup>1</sup>Bio-Monitoring Center, Daejeon 34576, Korea

### ABSTRACT

This study sampled endangered species, *Lamprotula coreana*, and surveyed its habitat at the Guem River with three times from June to August 2013. To assess the habitat, this study conducted field survey considering diverse physical conditions of stream, such as pool, run and riffle, and measured transect, water depth, water velocity, substrate structure, and habitat type. When *L. coreana* collected, length, weight and age were measured. Water velocity, water depth and substrate structure were recorded to develop HSI (habitat suitability index) and performed PHABSIM (physical habitat simulation) to estimate the optimum flow discharge. Water level, flow discharge and transect data were used for habitat assessment, and PHABSIM was applied to calculate WUA (weighed usable area). Shell length was  $73.1 \pm 18.4$  mm (28.5-102.0 mm), shell weight was  $131.6 \pm 72.3$  g (28.0-281.0 g) and age was two to seven years from *L. coreana* collected at the upstream of the Guem River. Developed HSI indicated that the optimal habitat for *L. coreana* was 0.4-0.5 m for water depth, 0.3-0.5 m/s for water velocity and sand to boulder for substrate structure. The optimum ecological flow discharge for *L. coreana* was 2.1 cms and WUA was 3,730 m<sup>2</sup>/1000 m by the result of PHABSIM. Recently, river construction work and habitat disturbance have caused negative impact on the distribution of *L. coreana*. The result of this study would provide fundamental data for habitat restoration and management of *L. coreana*.

**Key words** : *Lamprotula coreana*, velocity, depth, ecological flow

### 서론

우리나라의 하천은 여울 (riffle) 과 소 (fool) 를 형성하고 있어 수심, 유속 및 하상재료에 따라 다양한 물리적 서식지를

제공하여 이러한 환경에 수생생물이 적응하여 여러 종이 서식 가능하게 한다. 그러나 홍수방지를 위한 정비 및 유량감소 등의 교란요인으로 직선화되어 수환경이 단순화되고, 생물 서식 측면에서 종 다양성은 감소하고 있다. 하천생태계는 여러 가지 요인들에 의하여 생물상의 변화를 유발할 수 있으며, 특히 인위적인 교란에 의해 환경변화는 심각하다 (Rutherford *et al.*, 1987). 환경변화는 수생생물뿐만 아니라 다른 모든 생물들에게 서식지 및 산란장 등에 영향을 줄 수 있다. 이러한 요인들에 의해 하천생태계에서 패류를 비롯한 수생생물의 먹이사슬 및 서식환경이 좋은 조건보다는 나쁜 조건으로 변화하여 종다양도 및 서식환경이 협소해지는 결과를 초래한다.

우리나라에 서식하는 연체동물은 1,560여종이며, 이중 담수에 서식하는 패류는 약 200여종으로 수생태계내에서 여과섭

Received: November 18, 2015; Revised: December 22, 2015; Accepted: December 30, 2015

Corresponding author : Dae-Hee Kim

Tel: +82 (31) 589-5130 e-mail: kdh3717@korea.kr  
1225-3480/24600

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

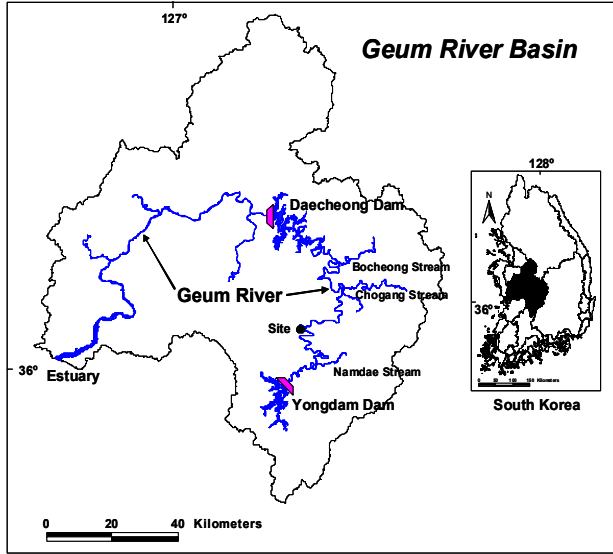


Fig. 1. Location map and pictures of the study site.

식, 납자루 및 중고기과 어류의 산란숙주 역할을 수행하고 있다 (Lee & Min, 2002). 본 조사를 실시한 두드럭조개는 이매패각 (Bivalvia) 석패목 (Unionoida) 석패과 (Unionidae) 두드럭조개속 (*Lamprotula*) 에 속하는 패류로 알려져 있다. 이 종은 최와 최 (1965), 최 등 (1967) 및 김 (1969) 의 생태학적 연구를 통하여 한강 중류지역에 서식하는 것으로 보고하였다. 최근에는 국립수산물과학원에서 2009년부터 전국 수계에 서식 여부를 조사하여, 금강 중상류 지역에도 서식하는 것으로 확인하였으며, 또한 2014년 국립생태원 조사에서도 금강 중상류 지역에 서식하는 것으로 보고하였다.

두드럭조개의 서식지는 수질이 좋고 유량이 풍부하며 모래와 자갈이 혼합되는 지점에서 생활하는 것으로 보고되고 있는데, 한강수계는 이러한 화학 및 물리적 조건이 이전보다 많이 교란되어 그 서식지가 감소하여, 현재에는 서식하지 않는 것으로 보여 진다. 최근 하천 공사 등으로 금강을 비롯한 다른 하천들도 많은 교란이 발생되어 두드럭조개와 같은 보호 및 관리되어야 할 종들이 개체수와 미소서식지가 감소하고 있다. 이 종은 환경부지정 멸종위기야생생물 I 급 종으로 복원을 위해서는 현재 서식하고 있는 지점을 잘 보호 및 관리를 실시해야 할 것이다.

따라서 본 연구조사는 환경부 멸종위기야생생물 채취, 보관 승인을 받아 2013년 6월부터 8월까지 3회에 걸쳐 두드럭조개가 서식하고 있는 금강 중상류 지역 (천내습지) 에서 서식지 평가를 위하여 하천의 물리적 구조인 하천단면, 수심, 유속, 하상재료 및 서식지 유형 등을 조사하였다. 또한 두드럭조개의 크기, 무게 및 연령을 기록하였으며, 이러한 자료를 기초로 하여, 두드럭조개의 서식지적합도지수 (Habitat suitability

index, HSI) 와 물리적서식지모의시스템 (physical habitat simulation system, PHAMSIM) 에 의한 최적 생태유량을 산정하여, 이 종의 복원을 위한 생물학적 기초자료를 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지역

조사지역은 충청북도 금산군 제원면 천내리에 위치한 금강 중상류에 위치하고 있다 (Fig. 1). 이 지점의 유속은 완만하며, 하상재료는 모래, 자갈, 호박돌 및 전석으로 구성되어 있다. 조사구간은 2개의 여울과 우수역 및 소가 형성되어 있으며, 하천 좌안과 우안에 다년생 초목류와 버들류가 서식하고 있다. 여름철 수생식물의 번식이 발달되고 있으며, 주변에 습지가 잘 보존되어 있어 인위적 교란이 많지 않은 지점이다. Surfer 8 프로그램을 이용하여 조사지역의 수심 및 유속 분포도를 작성하였다 (Fig. 2).

### 2. 조사 및 분석 방법

조사지역에서 두드럭조개를 잠수 및 휴대용 수경을 이용하여 직접 채집하였다. 채집된 개체는 현장에서 즉시 vernier caliper로 각장 (shell length: SL), 각고 (shell height: SH), 각폭 (shell width: SW) 을 0.01 mm 까지 측정하고, 전자저울로 전중 (total weight: TW) 을 0.01 g 까지 측정하였다. 연령은 패각의 윤곽을 이용하여 사정하였으며 조사 후 채집지에 즉시 재방류 하였다.

두드럭조개 개체가 채집된 각각의 지점에 대하여 휴대용 유속계를 이용하여 수심 (m) 및 유속 (m/s) 을 측정하였으며, 저질은 크기별로 실트 (silt, < 0.062 mm), 모래 (sand, 0.062-2.0 mm), 가는자갈 (fine gravels, 2.0-16.0 mm), 굵은자갈 (coarse gravels, 16.0-64.0 mm), 호박돌 (cobble, 64.0-256.0 mm) 및 전석 (boulders, > 256.0 mm) 으로 구분하여 비율 (%) 을 기록하였다. 현장에서 측정된 자료를 기초로 하여 각장에 대한 각고, 각폭 및 전중의 상대성장식을 구하였다. 또한 각장 크기별 수심과 유속관계를 산정하였다.

### 3. 서식지적합도지수 및 생태유량 산정

서식지적합도지수 (habitat suitability index, HSI) 는 조사구간에서 두드럭조개 채집시 측정된 수심, 유속 및 하상재료에 대하여 채집된 개체수를 기준으로 산정하였다. 조사기간 동안 채집된 개체수와 하천 단면정보를 조합하여 최대값을 1.0으로 하고, 나머지는 최대값에 대한 상대비율로 설정하였다. 하천 특성과 단면측정 자료를 2회 이상 조사하여 HSI 산정에 이용하며, 산정방법으로 이분법 및 단일변량곡선 (univariate

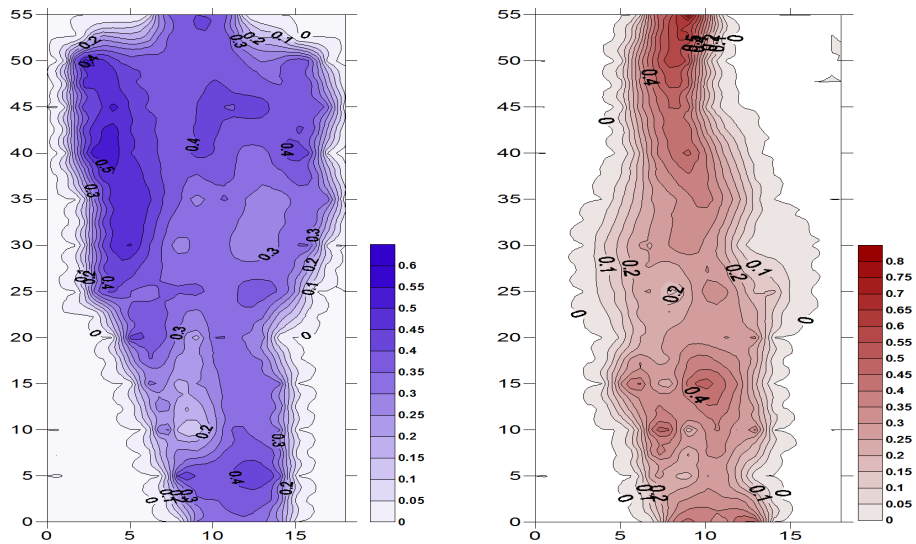


Fig. 2. Diagram of velocity and depth distributions in the study site.

curve) 을 사용하였다. 따라서 본 연구에서는 하상재료에 대하여는 이분법을 수심과 유속에 대하여는 단일변량곡선을 적용하여 HSI를 산출하였다. HSI 기준은 미국 워싱턴주 어류 및 야생동물국에서 제시한 "Instream flow study guidelines (1995)" 를 기초로 하여 지수로 산정하였다. HSI는 하천의 수심, 유속 및 하상재료에 대하여 산정하였다.

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 유수역이 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 두드럭조개 채집을 실시한다. 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 전문가와 논의를 통해 최종적으로 지수를 산정하였다. 이

러한 과정에 의해 나타난 각 지수값은 생태유량산정에 적용시켰다.

물리적서식지모의시스템 (physical habitat simulation system, PHABSIM, 2002) 을 이용하여 흐름특성 (유량-유속, 수심 등) 의 변화에 대한 하도구간 내 두드럭조개의 물리적 서식지 변화를 예측하여, 두드럭조개에 대한 유량-가용서식지면적 관계를 통해 서식에 필요한 최적 유량을 산정하였다 (Petts and Maddock, 1998). 두드럭조개를 중심으로 하는 생태유량의 산정은 수위, 유량 및 하천단면 등의 현장 조사 결과와 본 조사에서 작성한 HSI 및 PHABSIM에 적용하여 두드럭조개 가용서식지면적 (WUA) -유량관계 곡선을 작성하였다.

## 결 과

### 1. 채집 개체의 크기 및 상대성장

조사지점에서 채집된 두드럭조개는 총 34개체였으며, 평균 각장은  $73.1 \pm 18.4$  mm (28.5-102.0 mm), 각고는  $66.3 \pm 16.6$  mm (27.0-91.5 mm), 각폭은  $35.7 \pm 9.5$  mm (12.3-49.8 mm), 전중은  $131.6 \pm 72.3$  g (15.2-281.0 g) 및 연령은  $4.8 \pm 1.3$  (2.0-7.0) 이었다 (Table 1).

Table 1. Sampling numbers and measuring characteristics of *Lamprotula coreana* in the study site

Number of shellfish	Shell length (mm)	Shell height (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)	Age (years)
34	$73.1 \pm 18.4$	$66.3 \pm 16.6$	$35.7 \pm 9.5$	$131.6 \pm 72.3$	$4.8 \pm 1.3$

The values are mean  $\pm$  SD (n = 34)

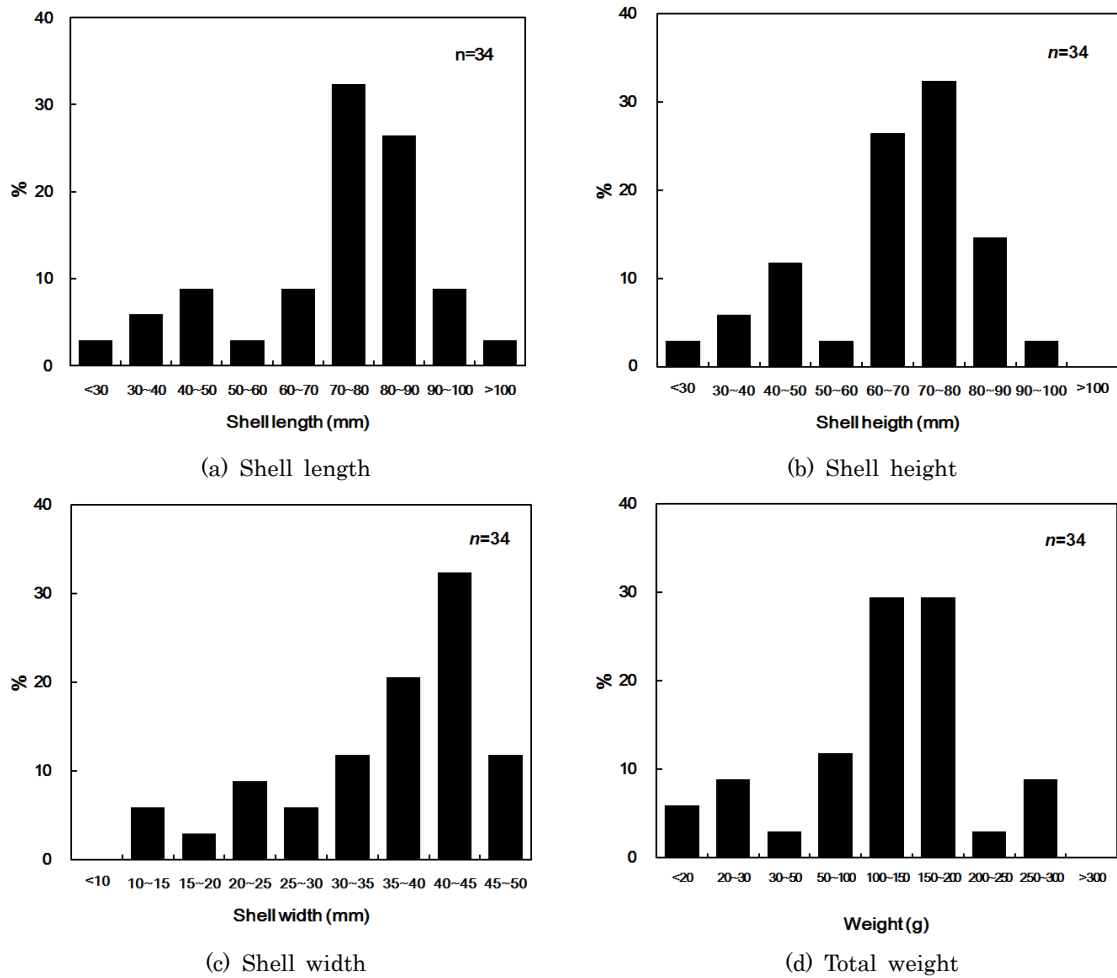


Fig. 3. Distribution of shell length (a), shell height (b), shell width (c) and weight (d) in the study site.

두드럭조개 채집 개체의 각장 분포는 70-80 mm 에서 32.4%로 가장 높게 나타났고, 다음으로는 80-90 mm 에서 26.5%였다. 각고는 70-80 mm 에서 32.4%였으며, 60-70 mm 에서 26.5%였다 (Fig. 3). 각폭은 40-45 mm 에서 32.4%로 가장 많이 채집되었다. 전중은 100-150 g 및 150-200 g 이 각각 29.4%로 가장 높게 나타났다.

두드럭조개의 각장 (SL) 에 대한 각고 (SH) 의 상대성장식은  $SH = 0.9059 SL (R^2 = 0.9835)$  이었으며, 각장에 대한 각폭 (SW) 은  $SW = 0.4895 SL (R^2 = 0.9462)$  이었고, 각장에 대한 전중 (TW) 은  $TW = 0.0018 SL^{2.5790} (R^2 = 0.9725)$  이었다 (Fig. 4).

각장에 대한 수심 및 유속 분포는 Fig. 5와 같이 나타났다. 각장에 따른 수심은 0.3-0.5 m 에 서식하는 것으로 나타났으며, 각장에 대한 유속은 수심과는 다르게 분포범위가 넓은 것으로 조사되었다. 수심과 유속관계는 수심은 일정한 범위를 보였으나, 유속은 다양하게 나타났다. 본 채집지점에서 두드럭조

개의 선호 하상재료는 모래부터 호박돌이 혼합된 지역에서 서식하고 있는 것으로 확인되었다.

## 2. 서식지적합도지수 및 생태유량 산정

조사지점의 단면 측정 결과, 0.3-0.4 m 에 해당되는 수심의 단면적이 63.2%로 가장 많았고, 다음으로 0.4-0.5 m 로 18.7%로 나타났다. 대부분 수심 범위는 0.3-0.5 m 로 나타났다 (Fig. 6). 유속의 범위는 0 m/s 의 단면적이 31.4%로 가장 높았고, 나머지 0.1-0.5 m/s 까지 비슷한 비율로 조사되었다. 이러한 자료를 기초로 하여 두드럭 조개의 HSI 값은 수심 0.4-0.5 m, 유속 0.3-0.5 m/s 및 하상재료는 모래-굵은자갈로 나타났다.

산정된 HSI를 적용하여 PHABSIM 모의 결과, 최적 생태유량은 2.1 cms 로 나타났으며, 이때 가용서식지면적 (weighted usable area, WUA) 은 3,730 m<sup>2</sup>/1000 m 로 모의되었다 (Fig. 7). 최적 생태유량에서 횡단면의 각 셀에 대한

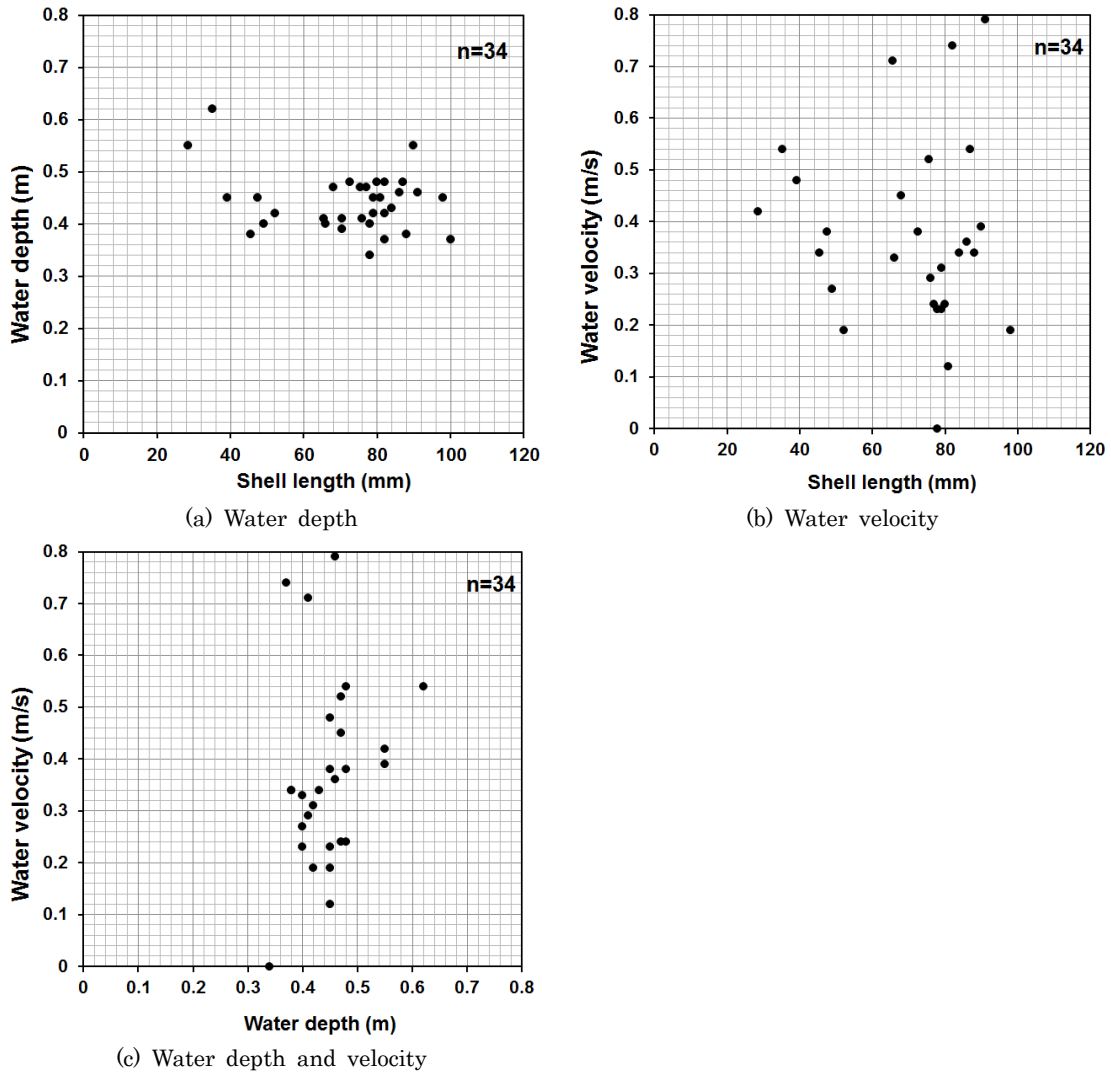


Fig. 4. Relationship between water depth (a), velocity (b) and shell length, water depth and velocity (c) in the study site.

서식지 면적을 2차원적으로 표현하였을 때 조사지점에서 파란색은 두드럭조개가 서식하기에 좋지 않은 조건이며, 주황색은 두드럭조개가 서식하는 조건이 좋아진다는 것을 의미한다. 따라서 본 조사지점에서는 2.1 cms 일 때 하루 중앙부근에 두드럭조개가 서식하기에 적당한 물리적 조건이 조성되는 것으로 모의되었다.

### 고찰

두드럭조개는 멸종위기야생생물 I 급 종으로 1960년대 말까지는 고급 단추 및 진주핵을 만드는 산업종으로 한강에 많이 분포했지만, 한강에서는 최근에 발견되지 않아 멸종된 것으로 추정하고 있다. 이에 따라 국립수산물과학원은 두드럭조개 종 복

원을 위해 2009년부터 조사를 실시하여, 금강 및 섬진강 수계의 극히 한정된 지역에 소량 분포하는 것을 확인하였다. 자연 상태에서 이 종의 서식 개체 및 서식지가 점차적으로 감소되고 있는 추세로 볼 때, 두드럭조개에 대한 종묘생산을 실시하여 인위적 방류를 통한 서식 개체수 증가 필요성이 있다. 종묘생산을 실시하기 위해서는 자연 상태에서 서식조건을 비롯한 생태학적 연구가 진행되어야 하나, 이 종은 1960년대 조사하여 발표한 연구논문 (최와 최, 1965; 최 등, 1967; 김, 1969) 만이 있을 뿐 최근까지 전무한 실정이다.

조사지점의 물리적 서식지 환경은 금강 본류 내에 있으면서 하중도를 중심으로 유량이 갈라지는 모양을 이룬다. 본류는 유량이 많고 수심이 깊고, 유속이 빠른 형태를 보이지만, 본 조사지점은 본류보다는 셋강 형태를 이루고 있는 지점이다. 이 지

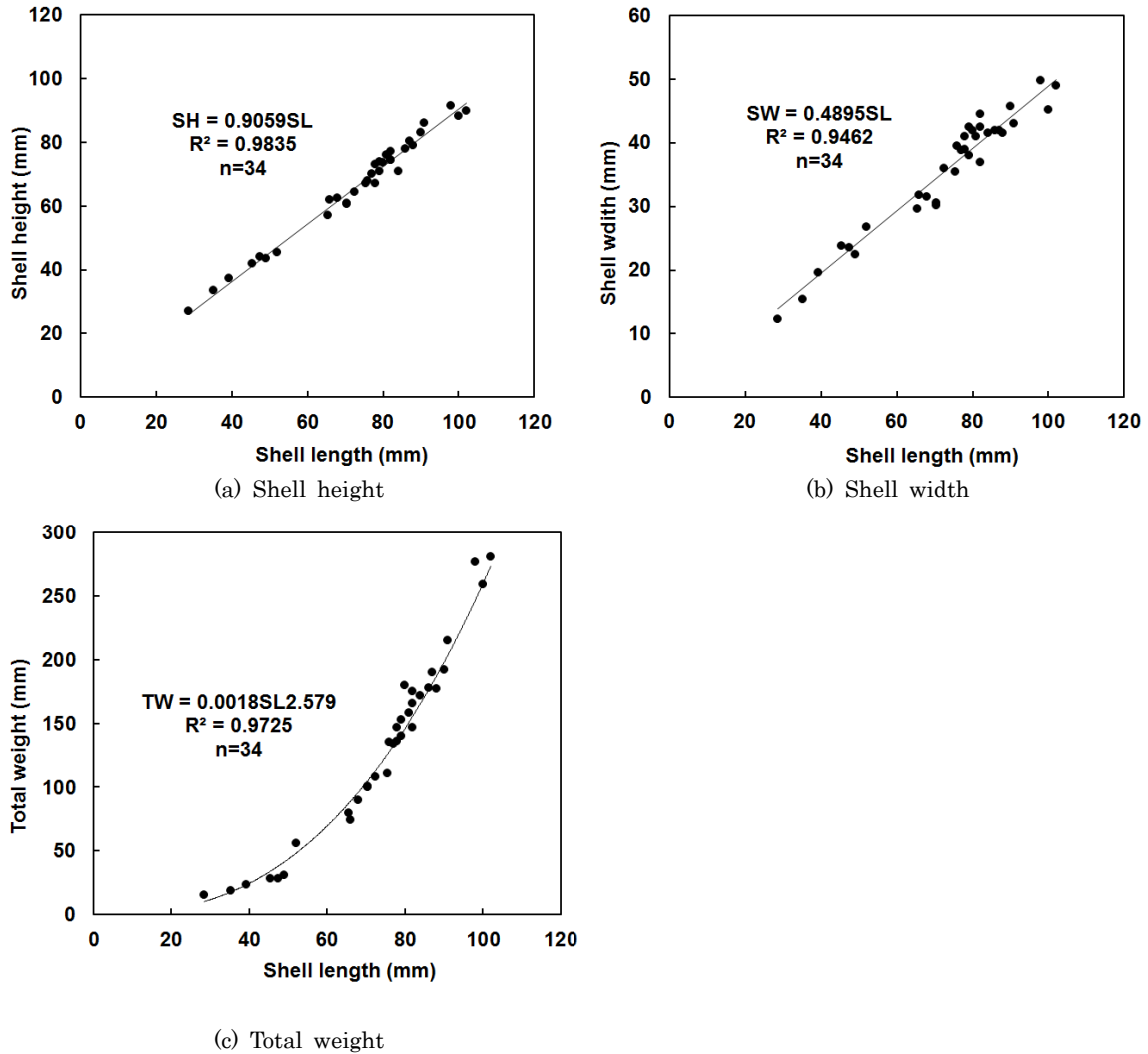


Fig. 5. Relationship between shell height (a), shell width (b), total weight (c) and shell length in the study site.

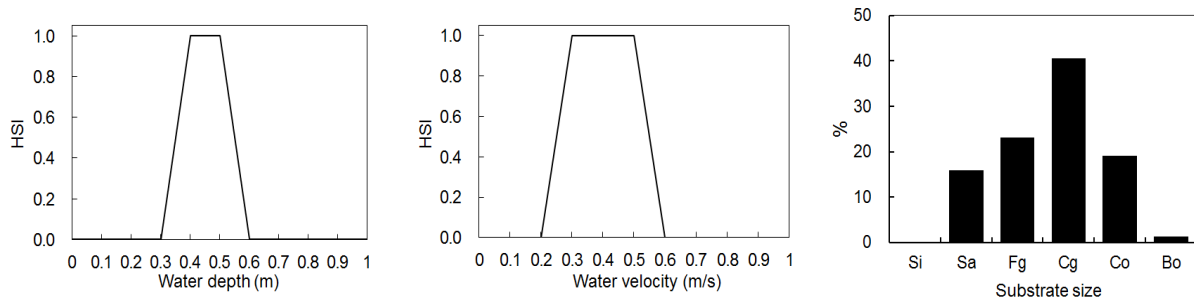
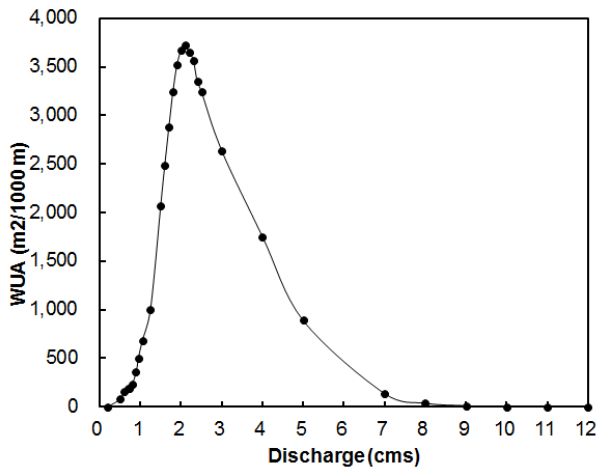


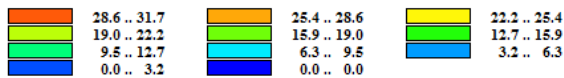
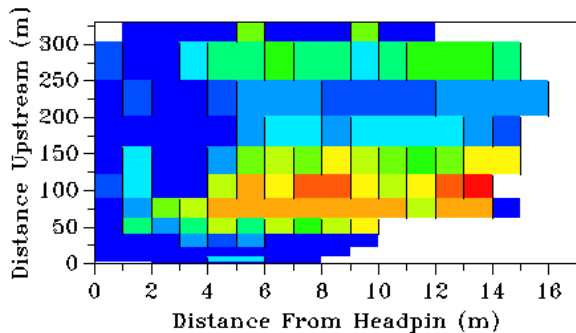
Fig 6. Variations of HSI of velocity, depth and substrate size. Substrate size : Si (silt, < 0.062 mm), Sa (sand, 0.062-2.0 mm), Fg (fine gravel, 2.0-16.0 mm), Cg (coarse gravel, 16.0-64.0 mm), Co (cobble, 64.0-256.0 mm), Bo (boulders, >256.0 mm).

점은 여울, 소 및 유수역 형태를 모두 포함하고 있으며, 주변에 천내습지가 있어 인위적 교란이 적은 장소이다. 이러한 이유로

이 지점에 두드럭조개의 서식이 잘 보존되어 있었던 것으로 보인다.



(a) WUA to discharge



(b) WUA to flowrate

Fig. 7. Variations of WUA to discharge and flowrate of *Lamprotula coreana* in the study site.

국립수산과학원에서 2009년부터 두드럭조개를 조사한 결과, 대부분의 담수조개들은 비교적 하천 전역에 걸쳐 넓게 퍼져 서식하지만, 두드럭조개의 경우는 유속이 빠르며 줄말 (*Ruppia maritima*) 과 같은 수생식물이 군락을 형성하고 있는 여울수역에만 집중적으로 서식한다고 하였다 (국립수산과학원, 2009). 또한 금강에서는 하천의 자연성을 유지하고 있는 일부지역에서 분포범위가 매우 협소할 뿐만 아니라 특정수역에만 제한적으로 서식하기 때문에 일시적인 수환경 변화에도 개체군이 쉽게 영향을 받는다고 하였다. 특히 두드럭조개는 여울부가 잘 발달되어 있는 지점에 서식한다고 보고하였다.

본 조사 지점은 본류로부터 이어지는 상류 긴 여울을 형성하여, 수심이 0.1-0.6 m, 유속이 0-1.0 m/s, 하상재료는 모래-굵은자갈로 이루어져 있다. 국립수산과학원 (2009) 에서 보고한 것과 같이, 본 조사 지점에서도 하천 형태에서 여울이 발달되어

있고, 수생식물에서는 줄말이 번성하고 있었다. 본 조사 지점에서 채집된 크기 (각장) 에 대한 수심은 0.3-0.6 m 에서 채집되었으며, 0.3 m 이하에서는 서식하지 않는 것으로 확인되었다. 유속은 수심과 같이 협소한 범위를 보이지 않았고, 0-1.0 m/s 로 다양하게 분포하는 것으로 확인되었다. 하상재료 또한 모래부터 호박돌로 혼합하여 구성되어지는 서식지에서 모두 채집되어 협소한 하상재료가 아님을 확인하였다. 결과적으로 두드럭조개는 본 조사 지점에서 깊은 수심이 0.6 m 이므로 서식범위가 협소한 것으로 나타났으나, 위의 물리적 조건 (여울) 과 생물학적 조건 (줄말 등) 을 만족한다면 이 보다 더 깊은 수심에서도 서식이 가능할 것으로 판단된다. 유속은 광범위에서 서식하고 있는 것으로 확인되어 여울, 유수역 및 소 부근에도 다른 서식 조건이 만족된다면 서식하는데 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

채집된 각장으로 연령을 추정한 결과,  $4.8 \pm 1.3$ 년생으로 나타났다. 최소 2년생부터 최대 7년생이 채집되었다. 국립수산과학원 (2009) 보고에 의하면, 각장 1년생 25 mm 이하, 2년생 30-40 mm, 3년생 40-55 mm, 4년생 55-70 mm, 5년생 70-80 mm, 6년생 80-90 mm, 7년생 90-100 mm 및 8년생 이상은 105 mm로 보고하였다. 본 조사에서는 8년생 이상은 채집되지 않았으나 7년생까지 채집되어 만 1년생부터 7년생까지 분포하는 것으로 확인되었다.

생태유량 산정결과 본 조사 지점의 최적유량은 2.1 cms 로 모의되었다. 이 유량이 흘러갈 때 이 지점의 두드럭조개의 서식할 수 있는 면적이 가장 넓다는 것을 의미한다. 각 단면의 셀을 보면 여울과 유수역 부근에 많이 서식하는 것으로 나타났는데, 이 지점은 줄말이 번성하고 하상재료가 모래와 자갈이 잘 혼합된 지점이었다.

본 조사 지점은 금강본류의 셋강 형태를 보이고 있는 곳으로 여울과 주변 환경이 두드럭조개 서식에 적합한 장소로 판단된다. 그러나 최근 두드럭조개의 서식지인 여울수역은 하천개발 등으로 점차적으로 감소되고 있으며, 개체군 보존을 위하여 이 지역과 같은 미소서식지인 여울수역의 자연성을 유지하는 것이 필요할 것으로 보인다. 또한 단기적인 조사보다는 장기적인 모니터링을 실시하여 금강수계의 두드럭조개 서식지 분포를 파악하고, 그 분포 서식지에 대한 보존방안도 마련해야 할 것이다.

요 약

본 조사는 2013년 6월부터 8월까지 금강 상류에서 멸종위기야생생물 I 급인 두드럭조개 (*Lamprotula coreana*) 의 서식지를 조사하였다. 서식지 평가를 위하여 하천의 물리적 구조인 여울, 소 및 유수역이 모두 포함된 다양한 서식환경에서 서

식상태를 조사하였으며, 하천단면, 수심, 유속, 하상재료 및 서식지 유형 등을 현장에서 측정 하였다. 서식 확인된 두드럭조개는 크기, 무게 및 연령을 기록하고 서식지에 재살포하였고, 서식지적합도지수 (Habitat suitability index, HSI) 와 PHABSIM (physical habitat simulation system) 에 의한 최적 생태유량 산정을 위하여, 각각의 채집 장소에서 수심, 유속 및 하상재료 등을 기록하였다. 서식지 평가는 수위, 유량 및 하천단면의 현장조사 결과와 두드럭조개의 HSI를 PHABSIM 에 적용하여 가용서식지면적 (weighted usable area, WUA) 과 유량의 관계 곡선을 작성하였다.

금강 상류에서 채집된 두드럭조개는 각장  $73.1 \pm 18.4$  mm 및 전중  $131.6 \pm 72.3$  g 이었으며, 연령은 2-7년생까지 서식 하는 것으로 확인되었다. 두드럭조개의 HSI는 수심 0.4-0.5 m, 유속 0.3-0.5 m/s, 하상재료는 모래-호박돌로 나타났다. PHABSIM에 의해 모의된 최적유량은 2.1 cms 였으며, WUA는  $3,730 \text{ m}^2/1000 \text{ m}$  로 나타났다. 두드럭조개의 서식지 평가 결과는 최근 각종 하천 공사 및 생태적 교란 등으로 서식 범위가 감소하고 있는 시점에서 서식지 복원 및 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 사 사

이 연구는 2015년도 국립수산과학원 수산과학연구사업 (R2015037) 의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

Lee, J.-S. and Min, D.-K. (2002) A catalogue of

Molluscan Fauna in Korea. *Korean Journal of Malacology*, **18**(2): 93-217.

Petts, G.E. and Maddock (1998) Flow allocation for in river needs. *The river handbook hydrological and ecological principles*, **2**: 289-307.

Stalnaker, C.B., Lamb, B.L., Henriksen, J., Bovee, K., and Bartholow, J. (1995) The instream flow incremental methodology a primer for IFIM. Biological report 29. U.S. Department of the Interior, 45pp.

U.S. Geological Survey-Midcontinent Ecological Science Center (2001) PHABSIM for Windows Software (Version 1.20). User's manual and exercises, Open file report 01-340. U.S. Department of the Interior, 288pp.

Rutherford, D.A. A.A. Echelle and O.E. Maughan. (1987) Changes in the fauna of the little river drainage, south-eastern Oklahoma, 1948-1955 to 1981-1982: Test of the Hypothesis of environmental degradation. Community and evolutionary ecology of north American stream fishes. Univ. of Oklahoma, pp. 17.

국립수산과학원 (2009) 멸종위기종 개체군 생태 및 어류산란속 주 관계 연구. 45pp.

김덕만 (1969) 담수산 패류에 관한 생태학적 연구 제1보 한강산 *Lamprotula coreana*와 *L. gottschei*의 분포 및 밀도에 관하여. *한국유수학회지*, **2**: 29-34.

민덕기, 이준상, 고동범, 제종길 (2004) 한국패류도감. 패류연구소, 566pp.

최기철, 최신석 (1965) 두드럭조개 (*Lamprotula coreana*) 에 관한 생태학적 연구. 1. 임란기와 Glochidia에 관하여. *한국동물학회지*, **8**(2): 67-72.

최기철, 최신석, 권오길 (1967) 두드럭조개 (*Lamprotula coreana*) 에 관한 생태학적 연구. 1. 유생 (glochidia) 의 어체부착에 관하여. *한국동물학회지*, **11**(1): 1-4.

허준욱, 김정곤 (2009) 용담댐 하류의 하천 건강성 평가 및 어류 서식처를 고려한 최적유량 산정. *한국수자원학회지*, **42**(6): 481-491.