

물리서식처 모의를 이용한 구하도 복원이 피라미의 서식처에 미치는 영향 평가: 청미천 연구 사례

Evaluation of the Impact of Abandoned Channel Restoration on *Zacco platypus* habitat using the Physical Habitat Simulation: A Case Study of the Cheongmi-cheon Stream in Korea

김승기¹ · 최성욱^{2*}

¹연세대학교 건설환경공학과 박사후연구원, ²연세대학교 건설환경공학과 교수

Seung Ki Kim and Sung-Uk Choi*

¹Postdoctoral Researcher, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

²Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

Received 21 June 2019, revised 24 June 2019, accepted 24 June 2019, published online 30 June 2019

ABSTRACT: This study investigated the impact of abandoned channel restoration on fish habitat using the physical habitat simulation. The study area is a 1.2 km long reach of the Cheongmi-cheon stream. In the study area, the restoration of the abandoned channel was carried out from July 2012 to December 2105. Physical habitat simulations were carried out for both cases before and after the restoration. The River2D model and habitat suitability curve were used for hydraulic and habitat simulations, respectively. *Zacco platypus*, which is a dominant fish species in the study area, was selected as target fish for the physical habitat simulation. Hydraulic simulations were carried out before and after restoration for various discharges. Then, composite suitability index and weighted usable area were calculated before and after restoration and changes in the physical habitat of *Zacco platypus* were discussed. Simulation results indicated that the abandoned channel restoration is effective in creating fish habitat and mitigating the degradation of fish habitat from the high flow condition.

KEYWORDS: Abandoned channel restoration, Composite suitability index, Physical habitat simulation, River restoration, Weighted usable area

요약: 본 연구에서는 물리서식처 분석을 이용하여 구하도 복원에 따른 어류서식처의 영향을 분석하였다. 연구대상지역은 청미천의 1.2 km 구간이다. 연구 대상 지역에서 구하도 복원은 2012년 7월 부터 2015년 12월 까지 수행되었다. 복원 전과 후에 대하여 물리서식처 분석을 실시하였다. 이때, 수리해석을 River2D 모형을 이용하였으며 서식처분석을 위하여 서식처 적합도 지수 곡선을 이용하였다. 대상어종은 연구대상지역의 우점종인 피라미를 선정하였다. 복원 전과 후의 조건에 대하여 다양한 유량에 대하여 수리해석을 실시하였다. 이후 구하도가 복원 되기 전과 후의 조건에서 복합 서식처 적합도 지수와 가중가용면적을 계산하였으며, 피라미의 물리서식처 변화에 대하여 분석하였다. 모의 결과 구하도가 복원될 경우 어류의 서식처 영역이 증가되었으며, 큰 유량에 대하여 서식처의 감소를 방지하는데 효과가 있음을 확인하였다.

핵심어: 구하도 복원, 복합 서식처 적합도 지수, 물리서식처 모의, 하천 복원, 가중가용면적

*Corresponding author: schoi@yonsei.ac.kr, ORCID 0000-0002-0802-7705

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. 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.

1. 서론

국내 하천은 1970년대 이후 산업화 및 도시화로 인하여 자연 하천의 형상이 크게 손실되어 왔으며, 이에 따라 수생물의 서식처도 크게 훼손되어 왔다. 이후 1990년대에 이르러 다양한 하천복원 사업을 실시하여 하천의 환경 및 생태적 기능을 회복하고자 하는 노력이 진행되어 왔다. 특히 구하도의 복원의 경우 홍수 저류 능력을 회복하고 수생물의 서식처 공간을 확보하며 친수공간을 조성할 수 있다는 점에서 많은 이점을 가지고 있는 하천복원 사업으로 여겨지고 있다.

구하도는 예전에는 물이 흐르던 하천이었으나, 지금은 물이 말라 흐르지 않고 물이 흐르던 흔적이 남아있는 지형을 의미한다(KICT 2009). 현재 구하도와 폐천은 혼용되어 사용되고 있다. 하천법 제 84조에 의하면 하천공사 또는 홍수, 그 밖의 자연현상으로 하천의 유로가 변경되어 하천구역에서 제외된 토지를 폐천부지로 정의하고 있다. 국내의 경우 하천의 직강화에 따라 인위적으로 폐천이 크게 발생하였으며 환경부의 보고에 의하면 국내의 폐천부지는 16,500여개에 달한다(MOE 2016).

국내의 경우 구하도의 생태적 가치를 평가하기 위하여 다양한 연구가 진행되어 왔다. Hong et al. (2012)은 만경강의 습지형 구하도에 대하여 기능적 평가를 실시하였다. Hong et al.은 자연성, 서식처, 친수성, 수질의 4개의 속성에 대하여 평가를 실시하였으며 그 결과 만경강의 습지형 구하도는 자연성과 서식처 속성의 평가결과가 양호한 반면 친수성과 수질 속성의 평가결과는 취약한 것으로 나타났다. Kim et al. (2015)은 물리서식처 분석을 이용하여 만경강에서의 구하도 복원방법에

다른 어류서식처 개선효과를 분석하였다. Kim et al.은 구하도가 복원될 경우 정수성 어류와 우수성 어류 모두 서식처가 증가하며, 일방향 복원보다 양방향 복원이 더 큰 효과를 가지는 것을 파악하였다.

본 연구의 목적은 물리서식처 모형을 이용하여 청미천의 구하도복원이 어류의 서식처에 미치는 효과를 분석하는 것이다. 이를 위하여 2차원 수리해석 모형을 이용하여 복원 전과 후의 하도 조건에서 수리해석을 실시하였다. 이후 수리해석 결과를 이용하여 물리서식처 분석을 실시하였으며 구하도 복원 전과 후에 대하여 피라미의 서식처 변화를 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상지역

연구대상지역은 남한강의 지류인 청미천에서의 구하도 복원이 이루어진 1.2 km 구간이다(Fig. 1). 구하도의 복원이 이루어진 지점은 경기도 이천시 장호원읍 노탑리에 위치하고 있으며 청미천의 중·하류에 해당한다. 청미천의 유역면적과 유로연장은 각각 595.13 km² 과 60.69 km에 해당한다. 청미천의 갈수량, 저수량, 평수량, 그리고 풍수량은 각각 1.65, 2.73, 4.61, 그리고 8.00 m³/s이다(MLTMA 2011). 2018년 5월 측정된 하상재료 현장 모니터링 결과에 의하면 기존하도와 복원된 하도의 중앙입경(D₅₀)은 각각 2.61과 0.80 mm로 기존하도가 상대적으로 조립화가 되어있다(Kim 2018). 분급계수 S₀(=D₇₅/D₂₅)는 기존하도와 복원된 하도에서 각각 3.10과 1.73이었으며 복원된 하도에서의 하상재료의 구성이 더욱 균일하게 되어있다.

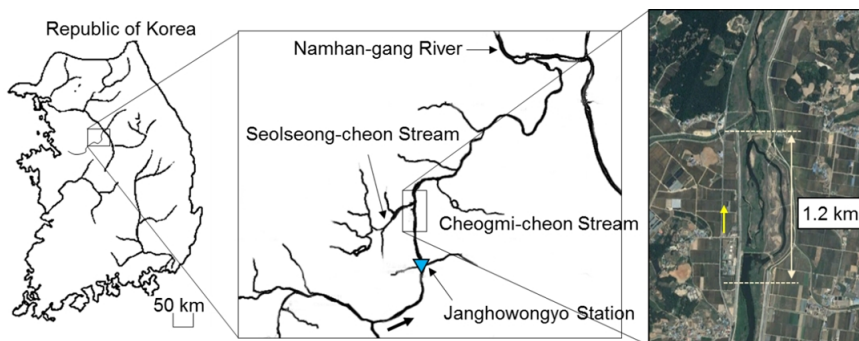


Fig. 1. Study area.

청미천 구하도 복원사업은 자연과 함께하는 하천 복원기술개발 (EcoRiver21) 연구사업에서 수행된 사업으로 홍수시 저류 공간을 확보하며, 생태원충구간 조성을 통한 생태계 보전 및 생물서식처 확보와 친수기능 등을 목적으로 구하도와 기존하도를 연결하는 하천복원 사업이다 (MOLIT 2013). 연구대상지역의 구하도는 육화형/폐천 구하도로 복원 전의 경우 매립되어 농경지 등으로 활용되고 있었다. 복원설계를 위하여 하도형성 유량이 분석 되었으며 그 결과 만제유량은 488 m³/s, 유효유량은 613 m³/s에서 645 m³/s 사이에 분포하였다 (Ji et al. 2009). 복원하도 설계에는 안정하도 설계 기법이 고려되었다 (Ji et al. 2010). 청미천 구하도 복원은 양방향 복원 형태로 계획되었으며 2012년 7월에 공사가 착수되었으며 2015년 12월에 완공되었다 (MOLIT 2013).

2.2 물리서식처 분석

2.2.1 수리해석 모형

본 연구에서 사용된 수리해석 모형은 2차원 흐름해석 모형인 River2D 모형이다 (Steffler and Blackburn 2002). River2D 모형은 유한요소법을 이용하여 2차원 천수방정식을 해석한다. 천수방정식은 아래와 같은 연속방정식과 운동량방정식으로 이루어져 있다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial u q_x}{\partial x} + \frac{\partial v q_x}{\partial y} + \frac{g}{2} \frac{\partial H^2}{\partial x} \\ = gH(S_{ox} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H \tau_{xy}}{\partial y} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial u q_y}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} + \frac{g}{2} \frac{\partial H^2}{\partial y} \\ = gH(S_{oy} - S_{fy}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H \tau_{yy}}{\partial y} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 3})$$

여기서 t 는 시간, x 와 y 는 각각 흐름방향과 횡방향 좌표를 나타낸다. H 는 수심, u 와 v 는 각각 x 와 y 방향 유속, q_x 와 q_y 는 각각 x 와 y 방향 단위 폭당 유량, S_{ox} 와 S_{oy} 는 각각 x 와 y 방향 하상경사, S_{fx} 와 S_{fy} 는 각각 x 와 y 방향 마찰 경사, τ_{ij} 는 난류 응력 텐서, ρ 는 물의 밀도, g 는

중력가속도이다. x 와 y 방향의 마찰 경사는 각각 아래와 같이 계산된다.

$$S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{4/3}}, S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{4/3}} \quad (\text{Eq. 4a, b})$$

여기서 n 은 Manning의 조도계수이다. MLTMA (2011)은 청미천의 하도형상 및 하상재료를 이용하여 조도계수를 추정된 결과 0.025에서 0.04의 조도계수의 범위를 제시하였으며, 홍수량에 대한 부등류 해석을 실시한 결과 연구대상지역의 조도계수를 0.03으로 제시하였다. 본 연구에서는 청미천 구하도 복원 전의 경우 조도계수를 0.03으로 적용하였으며, 복원 후의 경우 실시된 입도분포조사를 고려하여 조도계수를 0.03에서 0.04 사이의 값을 적용하였다.

2.2.2 수리해석 모형의 수립

수리해석 모형을 수립하기 위하여는 지형자료를 이용한 계산격자의 구축이 선행되어야 한다. 구하도 복원 사업이 수행되기 전의 경우는 2011년 청미천 하천기본 계획에 제시된 단면측량 데이터를 이용하여 지형을 구축하였다 (MLTMA 2011). 복원 후의 하천 지형자료는 2018년 2월 측량된 자료를 이용하였다. 2018년 2월에 측정된 자료의 경우 흐름의 바깥 부분은 무인기를 이용한 항공사진을 이용하였으며, 흐름이 있는 부분은 RTK-GPS를 이용하여 지형고가 측량되었다. Fig. 2는 River2D 모형에서 구축된 지형 결과를 나타낸다. 복원 후 기존 하도의 지형고는 주수로에서 약 0.3 m에서 1.0 m까지의 저하가 확인되었다. 복원 후 연구대상지역에서 기존하도와 복원된 하도의 상류쪽은 보가 설치되었으며 이를 River2D 모형에 반영하였다 (Fig. 2b).

2.2.3 서식처 해석 모형

본 연구에서는 물리서식처 모의를 이용하여 대상 어종에 대한 구하도 복원의 효과를 분석하였다. 물리서식처 모의는 미국에서 댐 하류의 유지유량을 산정하기 위해 개발된 유량점증방법론 (IFIM: Instream Flow Incremental Methodology)의 부프로그램인 PHABSIM (Physical Habitat Simulation System)에서 기원된 방법이다 (Bovee 1982, Milhous et al. 1989). 이 방법은 가중가용면적 (WUA: Weighted Usable Area)등의 계

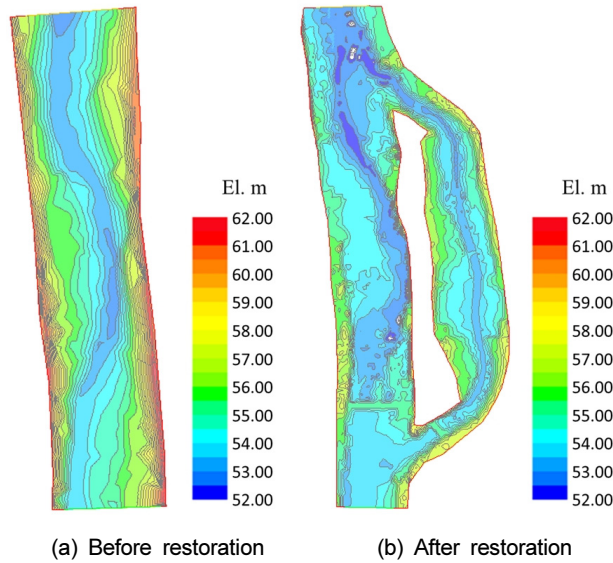


Fig. 2. Bed elevation before and after restoration.

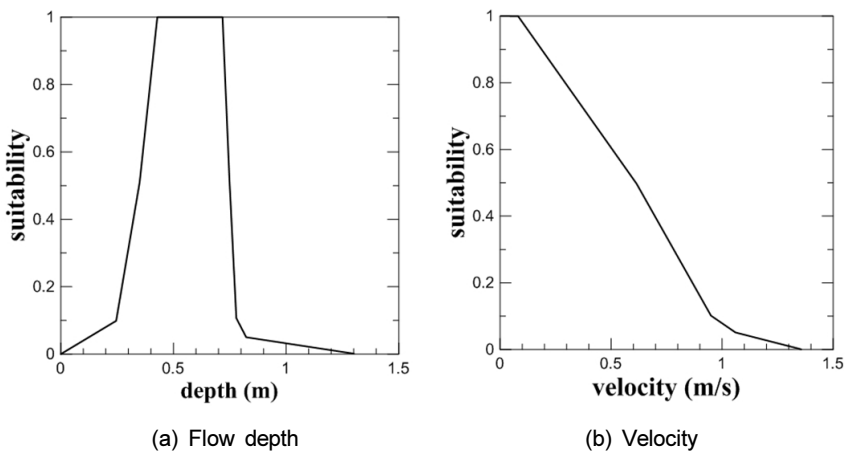


Fig. 3. Habitat suitability curves for *Zacco platypus* (Kang 2012).

산을 통하여 서식처의 질을 정량적으로 평가하는 기법으로 수생물의 서식처 평가, 환경유량 산정, 하천 복원 사례 등 다양한 사안에 적용되고 있다 (Chegal et al. 2016, Lee and Choi 2016, Kim and Choi 2018, Kim and Choi 2019).

본 연구에서는 서식처 모의를 위하여 대상 어종에 대한 서식처 적합도 지수 곡선을 이용하였다. 대상 어종은 본 연구 대상지역의 우점종인 피라미를 선정하였다 (Kang 2004). Fig. 3은 Kang (2012)이 제시한 피라미에 대한 서식처 적합도 지수이다. Fig. 3에 제시된 서식처 적합도 지수는 연구대상지역과 같은 하천인 청미천에서 모니터링된 자료를 이용하여 구축된 것이다. 본래

피라미는 유수성 어종으로 빠른 유속을 더 선호하는 것으로 알려져 있으며 서식처 적합도 지수 역시 일정 유속 이상에서 큰 선호도를 가지는 것으로 이전 연구에서 제시된 바가 있다 (Kim and Choi 2017). Kang (2012)은 청미천에서의 피라미에 대한 서식처 적합도 지수가 낮은 유속에서 큰 적합도를 가지는 이유를 영양염이 크게 유입되는 하천이기 때문인 것으로 제시하였다.

수리해석결과를 토대로 서식처 적합도 지수 곡선을 이용하여 각 물리적 서식처 인자들에 대하여 서식처 적합도를 평가한다. 이후 각 인자들을 결합하여 복합 서식처 적합도 지수 (CSI: Composite Suitability Index)를 계산한다. 본 연구에서는 곱셈법을 이용하여 계산하

였으며 계산식은 아래와 같다.

$$CSI = f(H) \times f(V) \tag{Eq. 5}$$

여기서 $f(H)$ 와 $f(V)$ 는 각각 수심과 유속에 대한 서식처 적합도 지수의 값이다. CSI 값은 0에서 1사이의 값을 가지며, 0은 적합하지 않은 1은 적합한 서식처를 나타낸다. WUA는 각 격자에서의 CSI 값과 격자의 면적을 곱한 값의 총합을 나타내며 계산식은 아래와 같다

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i \times CSI_i \tag{Eq. 6}$$

여기서 A_i 는 i 번째 격자의 면적, n 은 총 격자의 수이다.

3. 결과

3.1 수리해석 결과

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 평수량 조건에서 구하도 복원 전과 후에 대하여 수리 해석을 실시한 결과이다. 모의 결과 구하도 복원 전의 경우 모의 구간의 중간지점인 만곡 부근에서는 수심이 깊어지며 최대 0.83 m의 수심이 형성되었다 (Fig. 4a). 이에 따라 유속은 감소하였으며 최소 약 0.18 m/s의 유속이 형성되었다. 상류와 하류의 경우 수심이 0.20 - 0.30 m의 범위로 얇게 형성되는 지

점이 존재하며 이때 유속은 약 0.6 - 0.8 m/s의 큰 유속이 형성되었다.

복원 후의 경우 모의구간의 상류에는 수심이 큰 지역이 형성되었다. 이는 기존하도와 복원된 하도의 상류에 보가 설치되었기 때문이다. 보의 상류에는 최대 1.7 m의 수심이 형성되었으며 이때의 유속은 약 0.02 m/s였다. 기존 하도에서 보의 직하류는 수심이 얇게 형성되어 있다가 하류로 갈수록 수심이 증가하여 중앙지점에는 약 0.6 m의 수심이 형성되었다. 이후 하류로 갈수록 수심이 깊어지며 약 0.7 - 0.9 m의 수심이 형성되었다. 유속의 경우 기존 하도는 대부분 0.20 - 0.30 m/s 사이에 분포하였다. 복원된 하도의 경우 중간 지점에서 유속이 낮아지는 지점이 존재하는데 이는 복원된 하도의 중간에 위치한 보 때문이며 이때의 유속은 0.10 - 0.20 m/s의 범위를 가졌다. 기존 하도의 경우 복원 전에 비하여 복원 후 0.6 m/s 이상의 큰 유속이 형성되는 지역이 감소하였다. 이는 구하도의 복원에 따른 유량의 분산으로 인하여 분류로 흐르는 유량이 감소하였기 때문이다.

3.2 서식처 모의 결과

Fig. 6는 평수량 조건에서 복원 전과 복원 후의 조건에 대하여 피라미에 대한 복합 서식처 적합도 지수의 분포를 나타낸 그림이다. 복원 전의 경우 피라미의 복합 서식처 적합도 지수는 모의 구간 상류와 중앙지점에서 큰 값을 나타내었다. 또한 만곡이 시작되는 지점과 하

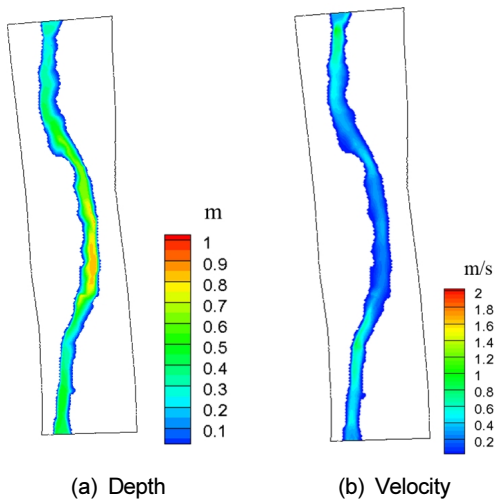


Fig. 4. Distribution of simulated flow depth and velocity before restoration for the normal flow condition.

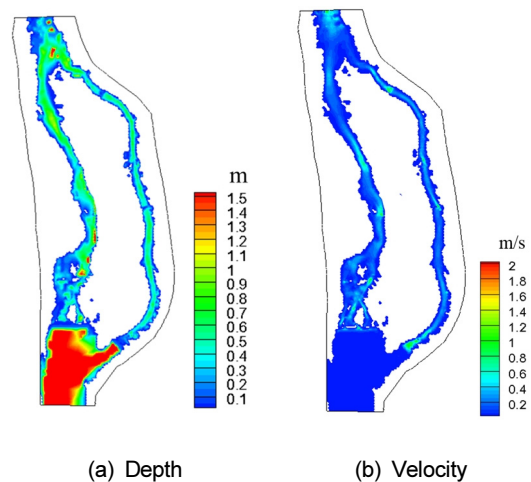


Fig. 5. Distribution of simulated flow depth and velocity after restoration for the normal flow condition.

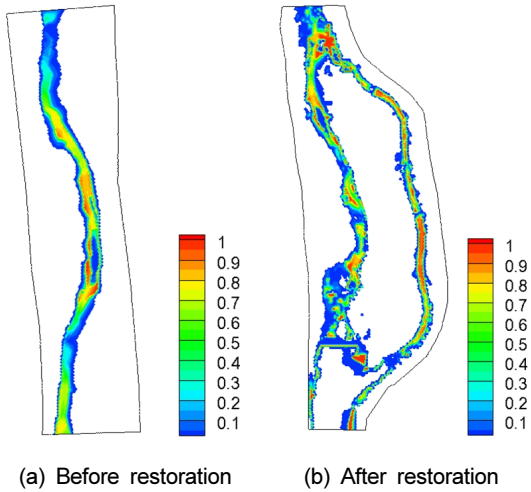


Fig. 6. Distribution of CSI for the normal flow condition.

류지점은 큰 유속이 발생하는 지점으로 낮은 복합 서식처 적합도 지수가 모의 되었으며, 만곡에서 수심이 크게 형성되는 지점에도 낮은 복합 서식처 적합도 지수가 모의되었다(Fig. 6a). 복원 후의 경우 모의 구간 상류에서는 피라미의 복합 서식처 적합도 지수 값이 0으로 대부분 분포하였다. 이는 보의 설치로 인하여 수심이 깊어지게 되어 적합수심의 범위를 벗어나게 되었기 때문이다. 기존 하도의 경우 보의 직하류는 낮은 수심으로 인하여 복합서식처가 낮은 값에 분포하고 있으며 이후 수심이 증가하고 일정한 유속 조건이 형성됨에 따라 복합 서식처 적합도 지수 값이 크게 형성되었다(Fig. 6b). 복원된 하도의 중간 지점에서 큰 복합서식처 적합도 지수가 형성되었다. 이는 복원된 하도의 중간 지점에는 보가 설치되어 있으며 이로 인하여 유속이 낮아지는 결과를 가져왔기 때문이다. 향후 어도와 같은 수공 구조물의 설치를 통하여 서식처 공간의 연결성을 확보해 준다면 서식처 확보 효과가 증대될 것으로 여겨진다.

Fig. 7과 8은 각각 유량의 변화에 따른 침수 표면적과 가중가용면적의 변화를 나타낸 그림이다. 각 그림에서 복원 전과 후를 비교하였으며, 복원 후의 경우 기존 하도와 복원된 하도를 구분하여 도시하였다. 계산은 0.5 m³/s에서 50 m³/s까지의 유량에 대하여 수행되었다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 복원 후의 침수 표면적은 복원 전에 비하여 크게 상승하였다. 평수량상태에서 복원 전과 후의 침수 표면적은 각각 5.33 × 10⁴ m²과 1.20 × 10⁵ m²이며, 복원 후 220.7%가 증가하였다. 복원 후 기존

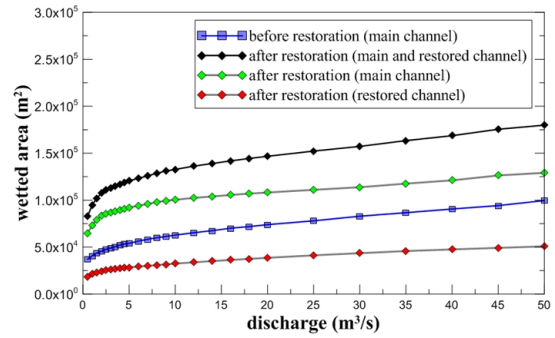


Fig. 7. Change of wetted area with discharge.

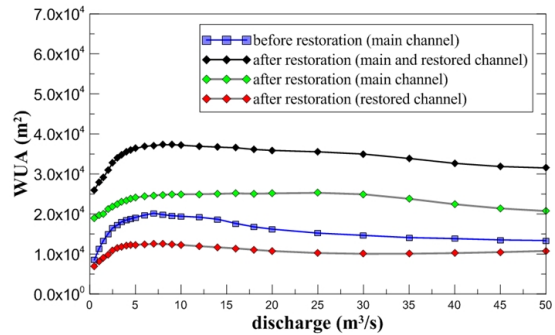


Fig. 8. Change of WUA with discharge.

하도의 침수 표면적은 복원 전에 비하여 170.1% 증가하였으며 이는 보의 설치로 인한 보 상류에서의 침수 표면적 증가가 큰 기여를 하였다. 복원 후 복원된 하도의 전체 표면적은 갈수량에서 풍수량의 유량범위에서 전체 표면적 중 22.3%에서 24.0%의 범위를 차지하였다.

가중가용면적의 경우 모든 유량 조건에 대하여 크게 상승하였다(Fig. 8). 복원 전 7 m³/s의 유량에서 최대 2.02 × 10⁴ m²의 가중가용면적이 계산되었으며, 복원 후 9 m³/s의 유량에서 최대 3.73 × 10⁴ m²의 가중가용면적이 계산되었다. 평수량을 기준으로 복원 후의 가중가용면적은 복원 전에 비하여 191.1% 상승하였다. 전체 가중가용면적 중 복원된 하도가 차지하는 비율은 약 33.2%였다. 이는 창출된 침수 표면적과 비교하여 보았을 때 복원된 하도에서 어류 서식처가 효율적이며 크게 창출되었음을 의미한다. 기존하도역시 가중가용면적이 상승하였으며 이는 연구 대상구간 하류의 기존 하도와 복원된 하도가 합류되는 지점에서 큰 값의 복합 서식처 적합도 지수가 형성된 것이 주요 원인이다.

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 복원 전의 경우 유량이 증가함에 따라 가중가용면적은 크게 감소한다. 이는 20 m³/s

의 유량에서 최대가중가용면적의 80%가 형성되며, 35 m³/s의 유량에서 최대 가중가용면적의 70%가 형성되었다. 이는 유량의 상승으로 인하여 수심 및 유속이 증가됨에 따라 피라미에 적합한 수심 및 유속의 범위를 벗어나게 되었기 때문이다. 한편 복원 후의 경우 유량이 50 m³/s에 도달함에도 불구하고 최대 가중가용면적의 84%가 유지되었다. 이는 복원 후 큰 유량이 발생되었을 때에도 서식처가 크게 감소하지 않으며 이는 유량의 분산으로 인하여 깊은 수심과 빠른 유속의 형성을 완화해 주기 때문으로 여겨진다.

4. 결론

본 연구에서는 구하도 복원이 어류서식처에 미치는 영향을 분석하기 위하여 물리서식처 분석을 실시하였다. 연구대상지역은 이천시 장호원을 노탑리에 위치한 청미천에서 구하도 복원이 이루어진 1.2 km 구간이다. 연구대상의 구하도는 복원전 매립되어 농경지 등으로 활용되고 있었다. 구하도의 복원은 양방향 연결형태로 계획되어 2012년 7월에 착공되어 2015년 12월에 완공되었다.

복원 전과 복원 후의 흐름 변화를 분석하기 위하여 2차원 수리해석 모형인 River2D 모형을 이용하여 수리해석을 실시하였다. 복원 후 보의 상류에는 유속이 깊고 수심이 느린 정체수역이 형성되었다. 복원 후 기존 하도에 흐르는 유량이 분산되어 기존하도에서의 큰 유속의 형성이 감소되었으며 복원된 하도에 흐름이 발생됨에 따라 침수표면적이 크게 증가하였다.

어류에 대한 물리서식처 분석을 실시한 결과 복원된 하도에서 어류의 서식처가 창출되는 효과를 확인할 수 있었다. 또한 복원 후 큰 유량에서도 가중가용면적이 크게 감소하지 않는 결과를 보였다. 이는 큰 유량의 발생에 따른 서식처 감소를 방지해 줄 수 있는 효과를 보여준다. 본 연구는 구하도의 복원 계획 및 설계 단계에서 어류의 서식처 복원 측면으로 중요한 참고자료가 될 수 있다. 향후 다양한 어종에 대한 분석이 필요하며, 하상 변동의 영향을 검토하여 하도 안정성 및 서식처 유지 측면으로의 분석이 필요할 것으로 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전 기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MOIS-재난-2015-10].

References

- Bovee, K.D. 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology, Instream Flow Information Paper No. 12, Fish and Wildlife Service, U.S. FWS/OBS-82/26, Fort Collins, CO.
- Chegal, S.D., Cho, G.J., Choi, and Kim, C.W. 2016. Development of Hydraulic Analysis and Assessment Models for the Restoration of Ecological Connectivity in Floodplains isolated by Levees, Ecology and Resilient Infrastructur 3: 307-314. (in Korean)
- Hong, I., Kang, J.G., Kang, S.J. and Yeo, H.G. 2012. Functional Assessment for Preservation and Restoration of Wetland-type Old River Channel: Mangyoung River, Journal of the Korea Society of Civil Engineers 32: 213-220. (in Korean)
- Ji, U., Julien, P.Y., Kang, J.G. and Yeo, H.K. 2010. Stable Channel Analysis and Design for the Abandoned Channel Restoration Site of Cheongmi Stream using Regime Theory, Journal of the Korean Society of Civil Engineers 30: 305-313. (in Korean)
- Ji, U. Kang, J.G., Yeo, W.K. and Han, S.W. 2009. Evaluation of Channel-forming Discharge for the Abandoned Channel Restoration Design of Cheongmi Stream, 42: 1113-1124. (in Korean)
- Kang, J.H., Lee, E.T., Lee, J.H. and Lee, D.H. 2004. Estimation of River Instream Flow Considering Fish Habitat Conditions, Journal of the Korea Water Resources Association 37: 915-927. (In Korean)
- KICT. 2009. Guideline for old river and abandoned channel restoration, Korea Institute of Construction and Technology, EcoRiver 21 Technical Report No. 27, pp 149. (in Korean)
- Kim, S.H., Kim, D. and Cho, K.H. 2015. Evaluation of habitat improvement using two-dimensional fish habitat modeling after the connectivity restoration in an isolated former channel, Ecology and Resilient Infrastructure 2: 137-146. (in Korean)
- Kim, S.J. 2018. Prediction of morphological change in a stream with a restored untended reach using 2D hydrodynamic model. Master's thesis, Yonsei University, Seoul. (in Korean)
- Kim, S.K. and Choi, S.U. 2017. Computation of composite suitability index for fish and macroinvertebrate species in the Gongneung River, Ecology and Resilient Infrastructure 4: 105-114. (in Korean)

- Kim, S.K. and Choi, S.U. 2018. Prediction of suitable feeding habitat for fishes in a stream using physical habitat simulations, *Ecological Modelling* 385: 65-77.
- Kim, S.K. and Choi, S.U. 2019. Comparison of environmental flows from a habitat suitability perspective: A case study in the Naeseong-cheon Stream in Korea, *Ecohydrology*, e2119.
- Lee, W.H. and Choi, H.S. 2016. Physical Disturbance Improvement Evaluation and Habitat Suitability Analysis by Stable Channel Design, *Ecology and Resilient Infrastructure* 3:285-293. (in Korean)
- Milhous, R.T., Updike, M.A. and Schneider, D.M. 1989. Physical habitat simulation system reference manual-version II., Information Paper No. 26., U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-89/16, Fort Collins, CO.
- MLTMA. 2011. Basic plan for the Cheongmi Stream, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Seoul Regional Construction & Management Administration. (in Korean)
- MOE. 2016. Research and investigation for the old river channel restoration, Ministry of Environment, Korea Institute of Construction Technology, p 125. (in Korean)
- MOLIT. 2013. A report on the abandoned channel restoration of the Cheongmi-cheon Stream, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Seoul Regional Construction & Management Administration, p 376. (in Korean)