

수계별 피라미의 서식처 적합도에 대한 민감도

Sensitivity of Habitat Suitability for *Zacco Platypus* in relation to Watersheds

정상화*, 최성욱**, 김규호***

Sang Hwa Jung, Sung-Uk Choi, Kyo Ho Kim

요 지

피라미에 대해 한강과 금강 수계에서 제시된 서식처 적합도 지수를 기존 서식처 적합도 지수가 수립된 달천 유역에 적용함으로써 수계별 피라미의 서식처 적합도 지수에 따른 물리서식처 모의 결과에 미치는 영향을 분석하여 수계별 피라미에 대한 서식처 적합도 지수의 선정이 서식처 적합도 분포와 가중가용면적 산정에 미치는 민감도를 검토하였다. 한강 수계에서 기존 연구자들에 의해 제시된 서식처 적합도 지수를 적용한 결과 가중가용면적이 약23%~103%의 범위에서 차이가 발생되었다. 그리고 동일 수계와 타수계에서는 유량이 증가할수록 편차가 줄어들었으나 동일 하천에서 산정된 서식처 적합도 지수를 적용한 경우는 유량이 증가할수록 편차가 증가함을 알 수 있었다. 따라서 대상 구간의 어류 모니터링 자료가 존재하지 않을 경우 최소한 동일 하천에서 획득한 모니터링 자료를 활용해야 피라미에 대한 물리서식처 모의 결과의 신뢰성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 수계별 서식처 적합도 지수, 피라미, 가중가용면적, 민감도

1. 서론

어류는 먹이사슬 관계에서 인간의 전 단계에 존재하여 생태계가 변화되면 인간에게 미치는 영향을 간접적으로 파악할 수 있다. 또한 보(weir)와 같은 하천횡단구조물과 같은 이동 장벽이 없으면 빠른 이주(migration)를 통해 적합한 서식처로 이동하여 생태계 변화를 감지하기 쉬우며, 모니터링이 다른 종에 비해 수월하여 정량적인 연구를 상대적으로 쉽게 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 어류는 하천 생태계의 건강성을 평가하는 주요 지표종으로 활용되었으며 물리서식처 모형에서 서식처 적합성에 대한 일반적인 평가 대상으로 척도로 여겨져 왔다. 국내에서는 하천환경에 대한 인식이 높아지면서 물리서식처 평가에 대한 연구가 활발하게 이루어지기 시작했으며 이와 동시에 어류 모니터링에 대한 필요성에 주목하였으나 장기간의 전국적인 어류 모니터링을 통한 연구는 미흡하였다. 그러나 최근 2007년부터 5년간 한강과 금강 수계에 대하여 어류 모니터링이 시행되었으며 피라미를 비롯한 16개 어종에 대한 모니터링 자료를 구축하였다(국토해양부, 2010). 또한 강형식(2012)은 모니터링 자료를 토대로 피라미, 쉬리 등 주요 어종에 대한 서식처 적합도 지수를 제시하였다. 특히 다양한 수계에 서식하고 있는 피라미는 국내 대표적인 어종으로 여러 연구자에 의해 서식처 적합도 지수가 제시된 바 있다.

본 연구에서는 피라미에 대해 한강과 금강 수계에서 제시된 서식처 적합도 지수를 기존 서식처 적합도 지수가 수립된 달천 유역에 적용함으로써 수계별 피라미의 서식처 적합도 지수에 따른 물리서식처 모의 결

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 하천해안연구실 수석연구원 · E-mail : kikimorah@kict.re.kr

** 정희원 · 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : schoi@yonsei.ac.kr

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 하천해안연구실 연구위원 · E-mail : khkim1@kict.re.kr

과에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 수계별 피라미에 대한 서식처 적합도 지수의 선정이 서식처 적합도 분포와 가중가용면적 산정에 미치는 민감도를 검토하였다.

2. 서식처 적합도 지수

1960년대 초 미국 북서부 지역의 연어 개체수가 현저하게 줄어들게 되면서 지역 사회에 경제적 영향을 미치게 되자 이에 대한 대책을 수립하는 과정에서 어류 서식처 보전을 위한 하천유지유량에 관한 연구가 시작되었다(김규호, 1999). HSI (Habitat Suitability Index, 서식처 적합도 지수)는 물리적 서식처의 특성과 고려 대상 종의 적합성 간에 존재하는 연계성을 정량적으로 나타내는 인자이다. HSI는 모든 생물에 대해 적용할 수 있으나 하천분야에서는 어류를 주로 모의 대상으로 적용하고 있다. 물리서식처 모의를 위해서는 수리적 모의를 통해 서식처 조건에 따른 적합성을 분석한 후 HSI를 활용하여 서식처 모의를 하게 된다. 이때 서식처 조건에 따른 적합성을 적용하기 위해서는 서식처 적합성 곡선(또는 지수)을 이용하여 적절한 조건을 표현할 수 있으며, WUA(Weighted Usable Area, 가중가용면적)나 HSI는 전체 서식처 조건의 지표라는 가정을 토대로 한다.

국내에서 주로 모의하는 서식처의 규모는 미소서식처 규모로 미소서식처는 물고기 한 마리가 확인되고 유속과 수심, 기타 파라미터에 대한 현장 측정을 실시할 수 있는 하천 지점 또는 규모를 말하며 미소서식처의 공간 크기는 연구 대상 동물의 실제 크기와 동일한 규모이다.

2.1 산정방법

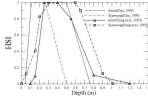
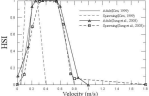
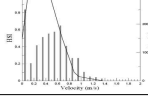
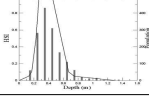
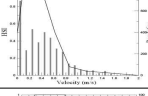
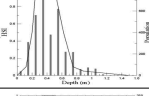
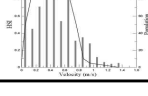
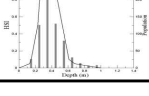
서식처를 구성하는 인자는 동물, 식물에서부터 다양하고 복잡한 인자들로 구성되어 있다. 이러한 인자들이 서식처에 영향을 주는 독립변수들로 작용할 수 있으며 통계적 분석에서는 이러한 독립변수를 어떻게 고려하느냐에 따라 분석 방법이 다르다. 일반적으로 독립변수가 1개인 경우 단변량 분석이라 하며 2개 이상인 경우 다변량 분석으로 일컬어진다. 따라서 서식처 적합도 지수를 선정할 때 서식처에 미치는 인자들이 단일하게 고려하는 경우와 여러 개를 고려하는 경우를 나누어 접근하게 된다. 단변량은 독립변수가 1개인 경우로 서식처 모의에서는 유속, 수심 등의 물리적인 단일 인자가 사용된다. 미소서식처 규모에서 전 세계적으로 모델링의 90% 이상이 사용되고 있는 PHABSIM(Physical HABitat SIMmulation)과 같은 전통적인 접근법은 단일 인자에 대해 0(부적합)에서 1(최적 적합) 범위의 적합도 지수곡선을 이용하며 이를 독자적으로 고려하고 서식처 모델링 절차 내에서만 적용한다. 그러나 서식처 인자를 독자적으로 고려하는 것은 자연 하천의 조건을 적절하게 표현하지 못하며 서식처 특성의 복잡성을 고려하지 못하는 한계를 가지고 있다. 따라서 서식처에 영향을 주는 여러 인자들을 함께 고려하기 위한 통계적 방법으로 서식처 적합도를 선정하기 위해 선호도 함수와 다변량 선호도 함수 등 서식처 인자의 상호관계를 고려한 서식처 적합도 지수 산정 방안이 제안되고 있다. 본 연구에서는 단변량 분석을 통해 산정된 서식처 적합도 지수를 활용하였다.

2.2 피라미의 서식처 적합도 지수

피라미(*Zacco platypus*)는 국내 하천에 서식하는 대표어종으로 하천 종류의 유속이 빠른 곳이나 하류의 여울에서 서식하며 주로 부착조류를 섭취하는 어종이다. 일반적으로 2급수 정도에서 서식하나 내성이 강하여 3급수에도 생존이 가능하다. 이러한 피라미의 생태특성에 따라 국내에서 가장 많이 발견되는 하천 서식 어종으로 물리서식처 모의 평가를 위한 대상 어종으로 많이 활용하고 있다. 김규호(1999)는 한강 수계 달천에서 피라미의 서식처 적합도 지수를 제시하였고, 강정훈

등(2004)은 여주, 청미, 목계 등에서 지수를 산정하였으며, 성영두 등(2005)은 낙동강 유역에서 산정하였고, 강형식(2012)은 국토해양부(2010)의 어류 모니터링 자료를 활용하여 한강 및 금강 수계에서 피라미에 대한 서식처 적합도 지수를 산정한 바 있다. 기존 연구자에 의해 제시된 피라미에 대한 서식처 적합도 지수를 표 1에 나타내었다.

표 1. 피라미에 대한 서식처 적합도 지수(강형식, 2012 수정)

연구자	유속	수심	비고
김규호(1999) 성영두 등(2005)			달천유역/낙동강유역
강형식(2012)			한강수계
			금강수계
			달천유역

3. 물리서식처 모의

본 연구에서는 한강수계 괴산댐 하류 달천유역(수전교~대수보)을 대상으로 하여 수계별 피라미의 서식처 적합도 지수를 적용한 물리서식처 모의를 수행하였다. 물리서식처 모의는 Riever2D를 활용하였으며 갈수량, 저수량, 평수량, 그리고 풍수량 조건에 대해서 모의하였다. River2D는 유량 점증 방법론에 입각하여 설정된 수리 및 물리 서식처 평가 모형이다. River2D의 지배방정식은 2차원 수심 평균된 천수 방정식으로 아래와 같은 질량보전 방정식과 2차원의 운동량 방정식으로 표현될 수 있다(Steffler와 Blackburn, 2002).

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y} (Vq_x) + \frac{g}{2} \frac{\partial H^2}{\partial x} \\ = gH(S_{0x} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xx}) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{xy}) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Uq_y) + \frac{\partial}{\partial y} (Vq_y) + \frac{g}{2} \frac{\partial H^2}{\partial x} \\ = gH(S_{0y} - S_{fy}) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{yx}) \right) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{yy}) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 는 수심, U 와 V 는 각각 x , y 방향으로의 수심 평균된 유속, q 와 q_y 는 유속과 관련된 흐름량($q_x = HU$, $q_y = HV$), g 는 중력가속도, ρ 는 물의 밀도, S_{0x} 와 S_{0y} 는 각 방향의 하상경사, S_{fx} 와 S_{fy} 는 각 방향의 마찰경사, 그리고 τ 는 각 방향의 전단응력이다. 바닥면 전단응력에 영향을 받는 x 방향의 마찰경사는 다음 식과 같이 수심 평균된 유속의 함수로 가정하였다.

$$\tau_{bx} = \frac{U^2 + V^2}{gHC_s^2} U \quad (4)$$

여기서 τ_{bx} 는 x 방향으로의 바닥면 전단응력이고 C_s 는 Chezy 계수이다. Chezy 계수는 등가조도 k_s 와 수심에의 함수로 표현할 수 있다.

$$C_s = 2.5 + \frac{30}{e^2} \left(\frac{H}{k_s} \right) \quad (5)$$

갈수량 1.82 m³/s, 저수량 4.02 m³/s, 평수량 7.23 m³/s, 그리고 풍수량은 17.13 m³/s에 대해서 물리서식처 모의를 수행하였다. 강형식(2012)에 의해 제시된 서식처 적합도 지수를 적용하여 달천유역에 대한 복합 서식처 적합도 지수 분포를 그림 1에 제시하였으며 이를 기준으로 각 유량 조건 및 수계에 따른 가중가용면적 비교결과를 그림 1에 나타내었다.

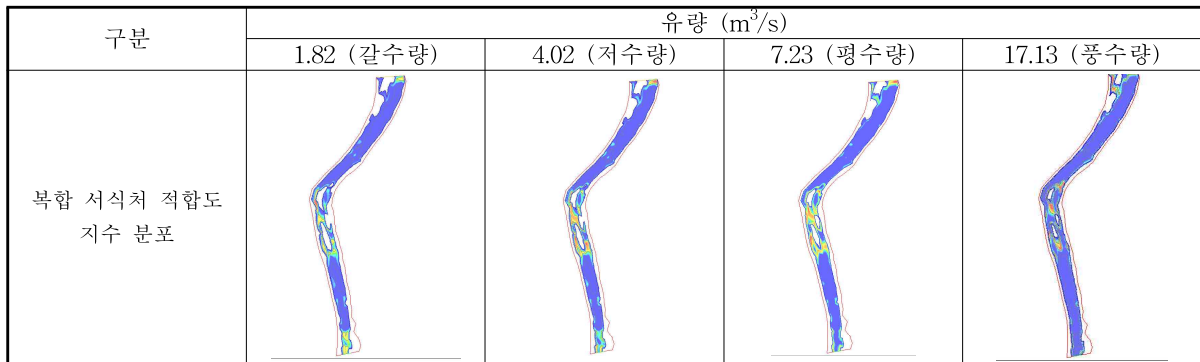


그림 1. 복합 서식처 적합도 지수 분포 결과

그림 2를 살펴보면 동일 하천 대상으로 연구자에 따른 서식처 적합도 지수 산정에 따라 23%~45%의 차이를 나타내었으며, 동일 수계에 서식처 적합도 지수에 따라 46.8%~103.8%의 차이를 보였다. 그리고 타수계의 서식처 적합도 지수를 적용할 경우 169.6%~224.3%의 차이를 발생하였으며 유량이 증가할수록 가중가용면적의 차이는 동일 하천에서는 점차 증가하고 동일 수계 및 타수계에서는 감소함을 알 수 있다.

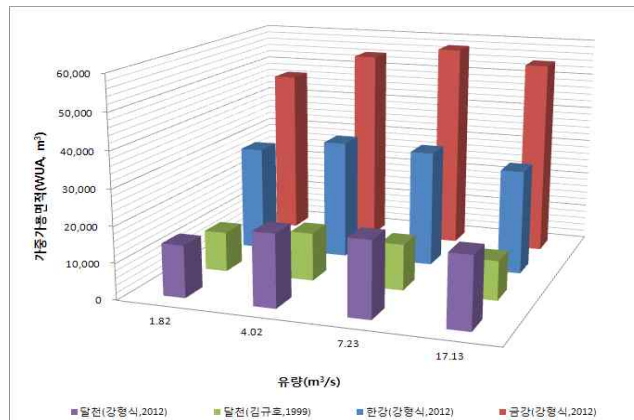


그림 2. 수계별 피라미 서식처 적합도 지수에 따른 가중가용면적의 변화

4. 결론

여러 연구자에 의해 제시된 한강 수계 피라미의 서식처 적합도 지수를 활용하여 물리서식처 모의 결과에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 수계별로 산정된 피라미의 서식처 적합도 지수를 비교함으로써 연구대상지와 동일수계 및 타수계에서 획득한 서식처 적합도 지수 적용에 따른 모의 결과의 민감도를 파악하였다. 갈수량, 저수량, 평수량, 그리고 풍수량 조건에서 동일 하천에서는 기존 연구자들에 의해 제시된 서식처 적합도 지수를 적용한 결과 동일 하천에서 산정된 서식처 적합도 지수를 적용한 가중가용면적이 가장 작은 차이를 나타내었으며 동일 수계와 타 수계의 순으로 편차가 커지는 것을 알 수 있었다. 그러나 유량이 증가할수록 동일 수계와 타수계는 편차가 줄어들었으나 동일 하천에서 산정한 경우 커지는 것을 알 수 있었다. 따라서 물리서식처 모의를 수행할 경우 모의 구간에 서식하는 어종의 적절한 서식처 적합도 지수 적용이 필요할 것으로 판단되며 가능한 해당 구간의 어류 모니터링을 통한 서식처 적합도 지수 산정이 바람직하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업인 “하천에서 유사이동 및 하상변동 예측을 위한 3차원 수치모형의 개발(11기술혁신C04)”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김규호(1999), 하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정, 박사학위논문, 연세대학교
2. 강정훈, 이은테, 이주현, 이도현(2004), 어류의 서식처 조건을 고려한 하천의 필요유량 산정에 관한 연구. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권 제11호, pp. 915-927.
3. 강형식(2012), 한강 및 금강수계 하천에서 어류의 물리서식처 적합도지수 비교, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제32권 제1호, pp. 71-78.
4. 국토해양부(2010), 하천 생태유량 확보 기술, Ecoriver21 사업단 기술보고서.
5. 성영두, 박봉진, 주기재, 정관수(2005), 하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제38권 제7호, pp. 545-554.