

서식지적합도지수(HSI)에 따른 환경생태유량 비교 분석 : 미호천을 중심으로

Comparative Analysis of Environmental Ecological Flow Based on Habitat Suitability Index (HSI) in Miho stream of Geum river system

이종진¹ · 허준욱^{2*}

¹생물모니터링센터 책임연구원, ²군산대학교 해양생명과학과 교수

Jong Jin Lee¹ and Jun Wook Hur^{2*}

¹Ph.D., Bio-Monitoring Center, Korea

²Professor, Department of Aquaculture and Aquatic Science, Kunsan National University, Korea

Received 10 February 2022, revised 8 March 2022, accepted 8 March 2022, published online 31 March 2022

ABSTRACT: In this study, the Habitat Suitability Index (HSI) was calculated in the Miho stream of the Geum river system, and the environmental ecological flow by point was evaluated. Two points (St.3 and St.8) representing the up and downstream of Miho Stream were selected, in order to calculate the Habitat Suitability Index, the depth and velocity at point where each species is appeared were investigated. The Habitat Suitability Index (HSI) was calculated by the Washington Department of Fish and Wildlife (WDFW) method using the number collected by water depth and velocity section and the results of the flow rate survey. Two target species were selected in this study; dominant species and swimming species sensitive to flow. In the case of a single species of *Zacco platypus*, the water depth was 0.1 - 0.5 m and the velocity was 0.2 - 0.5 m/s. For species of swimming fish, the water depth was 0.2 - 0.5 m and the velocity was 0.2 - 0.5 m/s. The discharge-Weighted Useable Area (WUA) relationship curve and habitat suitability distribution were simulated at the Miho Stream points St.3 and St.8. At the upstream St.3 of Miho Stream, the optimal discharge was simulated as 4.0 m³/s for swimming fishes and 2.7 m³/s for *Zacco platypus*. At the downstream point of St.8, species of swimming fish were simulated as 8.8 m³/s and *Zacco platypus* was simulated as 7.6 m³/s. In both points, the optimal discharge of swimming fish was over estimated. This is a result that the Habitat Suitability Index for swimming fish requires a faster flow rate than the habitat conditions of the *Zacco platypus*. In the calculation of the minimum discharge, the discharge of *Zacco platypus* is smaller and is evaluated to provide more Weighted Useable Area. In the case of swimming fishes, narrow range of depth and velocity increases the required discharge and relatively decreases the Weighted Useable Area. Therefore, when calculating the Habitat Suitability Index for swimming fishes, it is more advantageous to calculate the index including the habitat of all fish species than to narrow the range.

KEYWORDS: Environmental ecological flow, Habitat suitability index, Minimum discharge, Optimal discharge, Weighted useable area

요약: 본 연구에서는 금강수계 미호천 유역에서 어류 서식지적합도지수 (HSI)를 산정하고 환경생태유량을 산정하였다. 이를 위해 미호천의 상류와 하류를 대표할 수 있는 2개 지점 (St.3과 St.8)을 선정하고, 어종별 수심과 유속 등 물리적서식지 정보를

*Corresponding author: junwhur@kunsan.ac.kr, ORCID 0000-0002-5241-0920

© 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.

구축해 서식지적합도지수를 산정하였다. 서식지적합도지수는 채집된 개체수와 유량조사 결과를 수심과 유속의 관계를 이용해 WDFW 방법으로 산정하였고, 대표어종 선정시 우점종인 피라미 (*Zacco platypus*)와 유량에 민감한 유영성 어종으로 결정하였다. 단일종인 피라미의 경우 수심 범위는 0.1 - 0.5 m, 유속 범위는 0.2 - 0.5 m/s 이고, 유영성 어종인 경우 수심 범위는 0.2 - 0.5 m, 유속 범위는 0.2 - 0.5 m/s 이다. 미호천의 대표지점인 St.3과 St.8에서 대표어종인 유영성군집 및 피라미에 대한 유량 (Discharge)-가중가용면적 (WUA) 관계 곡선 및 서식지적합도 분포를 모의하였다. 미호천 상류 St.30에서 가중가용면적이 최대값을 나타내는 최적유량은 유영성 군집이 4.0 m³/s, 피라미가 2.7 m³/s 로 모의되었다. 하류지점인 St.8에서는 유영성 군집이 8.8 m³/s, 피라미가 7.6 m³/s 로 모의되었다. 두 지점 모두 유영성군집 어종의 최적유량이 크게 산정되었다. 이는 유영성 군집의 서식지적합도지수가 피라미의 서식조건보다 더 빠른 유속을 필요로 하기 때문이다. 최소유량 산정에서도 피라미의 유량이 더 작고, 보다 더 많은 가중가용면적을 제공하는 것으로 평가된다. 군집 어류의 경우 수심과 유속의 범위를 좁게 산정하면 필요유량이 증가하고 가중가용면적은 상대적으로 감소한다. 따라서 군집어류에 대한 서식지적합도지수 산정시 범위를 좁게 설정하는 것보다 모든 어종의 서식지를 포함하는 지수를 산정하는 것이 유리하다.

핵심어: 서식지적합도지수, 환경생태유량, 가중가용면적, 최적유량, 최소유량

1. 서론

환경생태유량이란 수생태계 건강성 유지를 위하여 필요한 최소한의 유량이라고 물환경보전법 제22조의3 1항에서 정의하고 있다. 환경부에서는 환경생태유량 제도를 도입하고 시행하기 위해 2014년부터 관련 사례 및 법제연구 등을 시작하였고, 2015년에는 산정기준 연구 및 시범산정이 추진되었다. 이후 2016년에는 환경생태유량 모니터링 체계 및 모델구축방안 마련 연구가 시행되었고, 2017년부터 환경생태유량 시범하천 선정과 고시를 목적으로 환경생태유량 산정 및 확보방안 등의 연구가 진행 중이다.

현행법에서 환경생태유량과 비슷한 내용을 다루고 있는 하천유지유량이 있다. 하천유지유량이란 하천법 제51조 (Ministry of Land and Transport 2021)에서 생활·공업·농업·환경개선·발전·주운 등의 하천수 사용을 고려하여 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 유량으로 정의하면서 환경개선을 포함하고 있다. 환경생태유량과 비슷한 개념이지만, 하천유지유량은 인간의 용수이용 기능을 주로 고려한 것으로 환경 생태적 관점을 강조하는 개념은 아니다.

하천유지유량은 수질, 수생태계 및 경관 등을 산정하고 비교한 다음 하천유지유량을 결정하여 고시한다. 하지만 일반적으로 최소유량을 기준으로 고시되어 하천 생태계에 필요한 유량의 역동성을 확보하는데 어렵다. 국가하천과 같은 대하천의 경우 수생태계를 고려한 유량 산정보다는 갈수량 위주로 하천유지유량이 고시되

고 있으며, 멸종위기종이 서식하는 하천에서 필요유량 산정과 확보방안 마련이 필요하다. 특히 생태적으로 중요한 지류의 중·소규모 하천에서 갈수기 유량확보는 더욱 어렵고, 인간의 물 이용이 생태계 유지보다 중요한 결정 기준으로 작용하고 있다. 때문에 환경생태유량의 법과 제도의 취지에 부합하도록 다양한 유역에서 본류 하천과 지류하천까지 폭넓게 산정될 필요가 있다.

국내에서 생태계를 고려한 유량 산정 연구는 금강에 어류 서식지를 고려한 유량 연구가 있었다 (Woo et al. 1998). 이후 괴산 달천에 유량과 수질을 고려한 유량 연구 (Kim et al. 2000), 낙동강 유역 어류 서식 환경을 고려한 유량 연구 (Sung et al. 2005), 한강 지류에 어류 서식 조건을 고려한 유량 연구 (Oh et al. 2008), 용담댐 하류의 하천 건강성 평가 및 어류 서식지를 고려한 최적 생태유량 산정 (Hur and Kim 2009) 등 다양한 지역에서 관련 연구가 진행되었다. 또 기존 산정 방법을 개선하여 생태유량 산정을 위해 간편하게 적용할 수 있는 물리서식지모의모형 (SIMHAB) 개발로 물리적 서식지 구조와 생태유량 규모를 개략적으로 추정할 수 있는 연구가 수행되었다 (Im et al. 2011). 이후 댐과 하천 구조물 영향을 고려한 유량 변화와 서식지 변화에 관한 다양한 연구가 진행되는데 황성댐 상·하류의 어류서식지적합도지수를 산정하고 어종에 따른 시기별 최적유량을 구분하여 제시하였다 (Hur et al. 2013). 댐 건설에 따른 유황 변화와 유사 흐름까지 고려한 어류 서식지 변화를 예측하기 위해 댐 건설 전후 피라미 서식지 변화를 평가한 후 장기하상변동에 따른 최적 유량을 제시하였다 (Kim and Choi 2014). 이후 하천의 구조 개선에 따른

수리특성 변화와 서식지적합도의 상관분석을 위해 어류 서식지 적합도와 물리적 교란양상을 유전자알고리즘을 이용해 제시하였다(Choi and Lee 2015). 또한 전주천 상류부에서 유량증명방법론을 이용한 서식지 모형인 RIVER2D를 이용해 HEC-RAS 결과와 비교한 다음 서식지적합도지수 산정 및 생태유량을 산정하였다(Kim et al. 2016). 공릉천에서 어류는 피라미와 밀어, 저서성대형무척추동물은 갈따구리와 줄날도래종을 선정하여 다음 유량별 복합 서식지 적합도 지수와 분포를 산정하였다(Kim and Choi 2017). 원주천에서 저수로 복원에 따른 어류 서식지 분석 연구에서 저수로 폭 확대 시 가중가용면적이 72% 증가하고, 축소시 25% 감소하는 것을 결과로 제시하였다(Kim and Choi 2019). 조절 하천 무무에 따른 어류 서식지 개선을 위해 용담댐 하류, 원주천댐, 홍천강을 대상으로 멸종위기종 및 고유종에 대한 어류 성장 단계별 가중가용면적을 분석하였다. 이를 위해 물리적서식지 모형인 PHABSIM과 RIVER2D를 비교하고 최적환경생태유량을 산정하였다(Jung et al. 2019). 금강에서 다기능 보수문 운영에 따른 어류의 물리적서식지 분석을 위해 물리적서식지 모형인 RIVER2D를 이용하였고, 보수문을 부분 개방하는 경우 가중가용면적이 약 13배 증가한다고 제시하였다(Choi and Lee 2020). Lee et al. (2021)은 낙동강 유역의 길안천에서 대표어종 선정과 서식지적합도지수를 산정하고 최적 환경생태유량을 제시하였다. 또한 Hur et al. (2021)는 미호천에 서식하는 유영성 어종의 서식지적합도지수를 산정하여 제시하였다.

미호천은 유역면적이 1,860.9 km²에 달하는 국가하천으로 본류 중 국가하천은 39.07 km, 지방하천 50.07 km이다. 금강수계 중하류에서 수질과 수량에 많은 영향을 미치고 있는 미호천은 수질저하와 수생태계 교란 등의 문제로 그동안 많은 개선대책 수립이 이루어졌다. 수질개선 대책 뿐만 아니라 수생태계 건강성 확보를 위한 환경생태유량 산정이 필요한 유역이다. 미호천 뿐만 아니라 우리나라 대부분의 하천은 이수과 치수 중심의 하천정비사업이 실시되었고, 하천의 자정 및 생태 기능을 포함하는 환경적 기능은 약화되었다.

2000년 이후 하천복원에 대한 많은 사회적 관심과 정부부처의 지속적인 하천 관리사업 추진으로 다양한 연구 및 하천 사업이 시행되고 있다. 이러한 하천 복원 사업에서 환경생태유량 산정 및 서식지적합도에 관한

연구는 사회적 관심과 함께 하천복원에 중요한 사항으로 평가되고 있다(Hur et al. 2021).

서식지적합도지수(Habitat Suitability Index, HSI)는 환경생태유량 산정시 필요한 입력자료로 수생태계에 서식하고 있는 다양한 생물이 살기 적합한 물리적 서식환경을 수치적으로 표현한 것이다. 따라서 수생태계를 고려한 하천복원과 환경생태유량 산정 등에 필요한 주요 인자로 활용된다.

1960년대부터 연어과(Salmonidae) 개체수가 감소한 미국에서 이에 대한 대책으로 어류서식지 보전을 위한 하천 생태유량에 관한 연구가 먼저 시작되었다. 이와 더불어 1970년대부터 어류 및 야생동물국(Fish and Wildlife Service)에서 유지유량증분법(Instream Flow Incremental Methodology, IFIM)에 의한 어류 종별, 성장단계별 서식지 및 서식지 조건별 수리량을 환산하여 하천 유지유량을 결정하는 연구가 진행되었다(Stalnaker 1995). 국내에서도 이러한 어류의 서식지 보전을 위한 유지유량에 대한 연구가 시작되었다(Kim 1999).

국내에서 서식지적합도지수 관련 연구는 하천에서 하천유지유량과 생태유량이 도입되면서부터 처음 시작되었다. 그동안 국내 서식지적합도지수 관련 연구는 오랜 기간 수행되어 왔다. 하지만 대부분 지점별로 단기간에 수행되었고, 산정 및 평가방법의 정량화와 기초 데이터베이스 구축이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 금강수계 미호천 주요지점에서 실시한 어류모니터링 결과를 바탕으로 서식지적합도지수를 단일 대표어종과 군집어종으로 산정하고, 각 어종별 환경생태유량을 산정하였다. 향후 이 결과를 활용해 향후 미호천의 하천복원 및 수생태건강성 회복을 위한 기초자료로 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상지역

환경생태유량 산정을 위해 어류의 서식지적합도지수 산정이 중요하다. 이를 위해 미호천 주요지점에 충분한 어류조사와 서식지 특성을 조사하였다. 조사대상지는 미호천 유역내 생물측정망 12개 지점을 대상으로 하였으며, 각 지점의 상류와 하류 200 m 구간에서 서식하는 어류 현황과 하도 특성 등을 조사하였다(Hur et al. 2021).

St.1 : 충청북도 음성군 삼성면 천평리 천평교 (N 36° 58' 49.50", E 127° 30' 02.70")

St.2 : 충청북도 진천군 이월면 미잠리 미리실교 (N 36° 56' 10.27", E 127° 27' 41.82")

St.3 : 충청북도 진천군 덕산면 인산리 (N 36° 52' 10.81", E 127° 28' 57.55")

St.4 : 충청북도 진천군 초평면 오갑리 오갑교 (N 36° 51' 26.14", E 127° 30' 19.10")

St.5 : 충청북도 진천군 문백면 구곡리 농다리 (N 36° 49' 33.53", E 127° 29' 36.21")

St.6 : 충청북도 청원군 오창읍 여천리 여암교 (N 36° 46' 11.81", E 127° 30' 23.00")

St.7 : 충청북도 청원군 북이면 화상리 (N 36° 45' 25.25", E 127° 29' 47.37")

St.8 : 충청북도 청주시 상당구 외하동 팔결교 (N 36° 42' 51.95", E 127° 28' 31.62")

St.9 : 충청북도 청원군 옥산면 신천리 옥산교 (N 36° 39' 29.43", E 127° 23' 00.81")

St.10 : 충청북도 청원군 강외면 궁평리 미호천교 (N 36° 39' 00.70", E 127° 22' 26.91")

St.11 : 세종특별자치시 연동면 예양리 미호교 (N 36° 34' 55.11", E 127° 18' 58.73")

St.12 : 세종특별자치시 남면 월산리 월산교 (N 36° 31' 00.38", E 127° 19' 18.19")

어류 채집지점의 유속과 수심을 측정하여야 하기 때문에 도섭이 가능한 지점을 우선 선정하였다. 도섭법으로 유량측정이 가능한 8개 지점 (St.1 - St.8)은 직접 조사하고, 도섭법으로 유량조사가 불가능한 나머지 지점 (St.9 - St.12)은 홍수통제소에서 제공하는 수문연보 일유량 자료와 실시간 유량자료를 이용하였다.

2.2 현장조사

2.2.1 어류조사

우리나라의 유황특성을 고려하여 연중 유량이 가장 작은 4월부터 5월까지 갈수기 기간에 어류조사를 중점적으로 실시하였다. 이후 9월부터 10월까지 실시한 조사 자료를 추가하여 유량이 감소하는 시기의 어류특성을 분석하였다. 현장조사 전에는 선행강수량 현황을 파악하고, 홍수통제소에서 제공하는 수위자료를 미리 확인한 다음 저수위 조건 여부를 확인하였다.

현장조사는 2019년 9월부터 2020년 5월까지 4회 (9

월, 10월, 4월, 5월) 조사를 실시하였다. Ministry of Environment (2019)의 “하천수생태계 건강성 조사 및 평가 지침” (국립환경과학원 공고 제2019-52호)에 따라 투망 (cast net, 망목, 7 × 7 mm) 및 족대 (kick net, 망목, 5 × 5 mm)의 사용을 원칙으로 하였다. 조사대상지 상류와 하류 지역까지 조사범위를 확대해 조사구간내 서식하는 모든 종의 조성을 조사하였다.

2.2.2 서식특성조사

환경생태유량 산정시 필요한 서식지적합도지수 (Habitat suitability index, HSI)를 평가하기 위해 대상지점의 하폭 및 횡단면에 대한 유속과 수심 등을 조사하여 기초자료로 활용하였다. 단면조사는 수면 폭을 줄자로 측정하고, 유속계를 이용해 일정 간격으로 하천내 수심과 유속을 조사하였다. 조사지점에서 총 4개 횡단을 측정하고, 하천 폭에 따라 측정 개소수를 결정하였다.

2.3 서식지적합도지수 산정

서식지적합도지수를 산정하기 위한 대표적인 방법은 미국의 WDFW (Washington Department of Fish and Wildlife 2004) 방법과 IFASG (Instream Flow and Aquatic Systems Group 1986) 방법이 있다. WDFW 방법은 수심과 유속의 구간별 서식지 면적에 대한 개체 밀도를 산정하고, 이를 기준으로 적합도가 결정되는 특징이 있다. IFASG 방법은 수심과 유속 구간별 채집된 개체수를 기준으로 적합도를 결정한다.

WDFW 방법은 먼저 유량조사에서 측정된 각 횡단면에 대한 수심 0.1 m, 유속 0.1 m/s 구간별 단면적과 비율을 계산한다. 다음으로 실제 채집된 대상종의 전체 개체수를 적용하여 단면적 비율에 따른 기댓값 (E)을 구한다. 이후 수심과 유속 구간별 실제 출현한 개체수 (O)를 정리하고, 계산된 기댓값으로 나누어 (O/E) 수심과 유속 구간별 면적에 대한 적합도 (P)를 계산한다. 적합도가 가장 높은 구간은 1.0로 결정하고 나머지 구간은 비율로 계산한다. 마지막으로 지점별 4개의 횡단면과 조사시기별로 각각 동일한 방법에 따라 계산하고, 수심과 유속에 대한 적합도가 1.0으로 계산된 구간을 종합하여 범위로 나타낸다 (Hur et al. 2021).

따라서 WDFW 방법은 수심이 서로 다른 구간에서 동일한 개체수가 출현하였다면, 각각의 수심구간에 대한 횡단면의 면적비율에 따라 적합도가 결정되는 방식

이다. 조사지점의 수심과 유속 등의 흐름특성이 반영되어 서식지 모형을 실제와 유사하게 모의할 수 있는 장점이 있다. 하지만 조사지점이 아닌 다른 하천이나 지점에 그대로 사용하기에는 한계가 있으므로 신중한 결정이 요구된다.

IFASG 방법은 대상지점에서 출현한 생물종의 수심 (m) 및 유속 (m/s)의 범위에서 출현한 개체수 분포를 조사하고, 전체 개체수의 50%, 75%, 90%, 95% 범위에 대한 적합도지수를 1.0, 0.5, 0.1, 0.05의 값으로 부여한다. 현장조사 자료가 부족한 경우 뿐만 아니라 단면자료와 유량 측정 없이도 산정 가능하다. 다만 전체 개체의 수심과 유속에 대한 범위가 넓게 분포하고, 경향성이 부족한 경우 산정결과의 불확실성이 증가하는 단점이 있다.

본 연구에서는 미호천 각 지점별 유량과 단면 조사를 직접 실시하고, 충분한 데이터 수집을 실시해 하천특성과 물리적 서식 환경을 보다 잘 구현할 수 있는 WDFW 방법을 이용하였다.

2.4 대표어종 선정

수생태계의 모든 생물군을 대상으로 최적 서식지를 제공할 수 없기 때문에 생태계를 대표할 수 있는 생물군을 선정하고 있다. 국내에서는 서식지적합도지수 산정 시 수생태계를 대표할 수 있는 생물군으로 어류를 주로 산정하고 있으며, 전국적인 우점종으로 널리 서식하고 있는 피라미를 선정하는 경우가 많다.

하지만 피라미의 경우 현재 대부분의 하천에서 우점하고 있어 이를 대상으로 대표어종을 선정하는 것이 적절한지에 대한 지적이 있다. 따라서 단일종 선정시 문제점을 개선하고자 우점종과 근집종을 모두 산정해 서식지적합도지수와 환경생태 필요유량을 비교하였다.

근집종은 정수성종, 중간종, 유영성종으로 구분 가능하며, 본 연구에서는 유량 변화에 따른 수심과 유속 분포가 다양한 유영성종을 대상으로 산정하였다.

2.5 환경생태유량 산정

본 연구에서는 환경생태유량 산정을 위해 물리적 서식지 모의시스템인 PHABSIM (Physical Habitat Simulation System)을 이용하였다. 이 모형은 유량증분방법론 (Instream Flow Incremental Methodology, IFIM)

을 적용한 모의 시스템으로 서식지적합도지수와 하천의 구조 및 흐름 특성 등을 조사하여 가중가용면적 (Weighted Useable Area, WUA)-유량 관계 곡선을 산출한다. 이를 이용해 물리서식지에 따른 환경생태유량을 산정할 수 있으며, 유량 변화에 따라 어류의 서식지 범위를 파악할 수 있게 된다 (Petts and Maddock 1998).

물리적 서식지모형의 주요특징은 어류와 같은 수중생물이 하천의 수리학적 환경 변화에 따라 직접적으로 변화하는 점을 가정한다. 하도 내 평면상에서는 수심과 유속을 고려하고, 휴식처 제공과 은신처 역할을 제공하는 하상재료에서 가장 선호하는 공간을 평가한다. 다음 각 기준에 대한 가중치를 적용한다. 이때 가중되는 공간들을 가중가용면적이라 하며, 이러한 조건은 수리학적 환경인 유량의 변화에 따라 민감하게 반응한다.

PHABSIM 모의를 위해서는 대표 어종에 대한 정확한 서식지적합도지수를 얻는 것이 중요하기 때문에 횡단측점별 수심, 유속, 하상재료, 해발표고 등의 조사결과와 어류 모니터링 결과로 산정된 서식지적합도지수가 산정되어야 한다. 분석에서는 하도 단면의 평균 유속과 평균 수심을 이용하고, 물리적 서식지를 정밀하게 모의할 수 있는 작은 사각형 셀 (cells)로 작성해 서식지 면적을 계산한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 어류조사 결과

미호천에서 어류조사 결과 8과 37종 5,754개체의 어류가 출현하였다 (Hur et al. 2021). 미호천에서 출현한 어류 근집특성에서 정수성종 22종, 중간종 7종, 유수성종 8종이 출현하여 유속이 느린 수역을 선호하는 정수정 어종이 가장 많이 분포하고 있다. 개체수의 경우 유수성 어종인 피라미 (*Zacco platypus*)가 가장 많고, 정수성 어종인 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*)등이 많이 출현하였다.

3.2 물리적 서식특성

미호천에서 출현한 어종의 물리적 서식특성 중 수심은 0.05 - 1.20 m 범위였고, 어류가 출현한 평균수심은 0.36 m로 조사되었다 (Hur et al. 2021). 수심 구간별로 출현한 개체수는 0.3 - 0.5 m 구간에서 69.8%로 가장 높았다. 유

속에 대한 출현 범위는 0.00 - 1.28 m/s 였고, 평균 유속은 0.23 m/s 로 확인되었다. 유속 구간별 출현한 개체수는 0.10 - 0.40 m/s 에서 77.5%로 가장 높은 높았다.

3.3 서식지적합도지수

3.3.1 대상지점

미호천 유역의 상류와 하류를 대표할 수 있는 지점에서 서식지적합도지수를 산정하고 환경생태유량을 산정하였다. 미호천의 상류의 대표지점은 St.3, 하류의 대표지점은 St.8로 결정하였다. 두 지점 사이에 여러 지방 하천들이 유입되고, 하천폭과 유량의 크기 등에서 차이가 있어 상류와 하류의 물리적 서식특성을 비교할 수 있는 지점이다.

3.3.2 대상어종

서식지적합도지수 결과를 비교하기 위해 단일종과 군집종을 선정하였다. 단일종은 우점종으로 물리적 특성 자료가 가장 많이 구축된 피라미를 선정하였다. 피라미는 여울 및 유수역 구간에서 개체밀도가 높게 나타나는 유수성종으로 본 조사에서 수심 0.05 - 1.20 m 및 유속 0.00 - 1.19 m/s 의 광범위한 서식범위를 보였다(Hur et al. 2021). 군집종은 유량 증감에 따른 수심과 유속 분포에 따라 서식지를 달라지는 유영성종을 대상으로 하였다. 유영성종은 흐름이 있는 곳에서 주로 생활하고 주로 중상층의 수층에서 이동하는 어류를 대상으로 한다. 본 연구 대상지에서는 돌고기 (*Pungtungia herzi*), 줄물개 (*Gnathopogon strigatus*), 참물개 (*Squalidus chankaensis tsuchigae*), 누치 (*Hemibarbus labeo*), 참마자 (*Hemibarbus longirostris*), 피라미 (*Zacco platypus*), 꼬리 (*Opsarichthys uncirostris amurensis*) 등이 출현하였다.

3.3.3 단일종의 서식지적합도지수

단일종인 피라미에 대한 지점별 서식지적합도지수 결과는 미호천 상류지점인 St.3에서는 수심 0.1 - 0.5 m, 유속 0.2 - 0.4 m/s 로 산정되었고, 하류지점인 St.8에서는 수심 0.2 - 0.5 m, 유속 0.2 - 0.5 m/s 로 각각 산정되었다(Hur et al. 2021). 먼저 조사 지점별 결과를 살펴보면 St.3에서 수심에 대한 범위가 상대적으로 넓고, St.8의 경우 유속에 대한 범위가 다소 넓게 산정되었다. 하지만 출현된 개체수 분포와 산정결과는 매우 유사한 것으로 판단된다. 수심의 경우 공통적으로 0.3 m 구간에서

개체밀도가 가장 높았고, 유속은 0.2 - 0.4 m/s 에서 높은 개체밀도를 보였다.

상류와 하류의 두 지점 간 하천 규모와 물리적 서식 환경의 차이가 존재한다. 하지만 단일종인 피라미가 선호하는 유속과 수심에 따라 생활 및 이동하기 때문에 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

3.3.4 군집종의 서식지적합도지수

유영성종에 대한 서식지적합도지수 산정 결과는 St.3 과 St.8에서 출현한 유영성종에 대해 어종별로 서식지적합도지수를 각각 산정하고 결과를 종합하여 군집에 대한 서식지적합도지수를 최종 결정하였다(Hur et al. 2021). 상류인 St.3에서 출현한 유영성종은 피라미, 줄물개, 누치, 참마자, 꼬리 등 5종이었다. 어종별 서식지적합도지수는 피라미가 수심 0.1 - 0.5 m, 유속 0.2 - 0.4 m/s, 줄물개는 수심 0.2 - 0.3 m, 유속 0.1 - 0.4 m/s, 누치는 수심 0.3 - 0.6 m, 유속 0.2 - 0.5 m/s, 참마자는 수심 0.2 - 0.5 m, 유속 0.1 - 0.4 m/s, 꼬리가 수심 0.1 - 0.5 m, 유속 0.2 - 0.5 m/s 로 각각 산정되었다. 어종별 산정 결과를 종합하여 최소 및 최대값은 제외하고, 공통된 범위를 중심으로 서식지적합도지수를 산정한 결과는 수심 0.2 - 0.5 m 및 유속 0.2 - 0.4 m/s 이다.

하류인 St.8 지점에서는 피라미, 줄물개, 누치, 참마자, 꼬리 등 5종의 유영성종이 출현하였고, 줄물개의 경우 1개체만 출현하여 분석 대상에서 제외하였다. 어종별 특성은 피라미가 수심 0.2 - 0.5 m, 유속 0.2 - 0.5 m/s 이고, 누치는 수심 0.3 - 0.4 m 및 유속 0.3 - 0.6 m/s 로 산정되었다. 참마자는 수심 0.2 - 0.4 m, 유속 0.2 - 0.5 m/s 이고, 꼬리는 수심 0.2 - 0.4 m, 유속 0.4 - 0.6 m/s 로 산정되었다. 전체 출현어종을 종합한 서식지적합도지수는 수심 0.2 - 0.5 m 및 유속 0.2 - 0.5 m/s 로 산정되었다. 유영성종에 대한 서식지적합도지수를 비교하면 수심은 0.2 - 0.5 m 로 동일하였고, 유속은 각각 0.2 - 0.4 m/s 및 0.2 - 0.5 m/s 로 유사하게 산정되었다.

3.4 환경생태유량 산정

3.4.1 최적유량 산정

미호천에서 출현한 어류의 서식지 자료 (habitat data) 로 산정된 단일종(피라미)과 유영성군집에 대한 서식지적합도지수 (HSI)를 산정하였다. 수리적 자료 (hydrologic data)인 조사구간의 횡단면에 대한 수심 (m) · 유

속(m/s) 및 유량(m³/s) 자료를 구축하여 모형의 입력자료로 이용하였다.

PHABSIM 모형은 수심, 유속, 하상재료의 관계를 이용해 유량과 가중가용면적 (Weight Usable Area)을 산정한다. 여기서 가중가용면적이란 유량이 증가하거나 감소함에 따라 변화되는 어류가 살기 적합한 물리서식처의 면적 변화를 말하며, 대상 어종에 대한 최대서식처 면적을 확보할 수 있는 유량을 최적유량이라 한다.

미호천 상류 St.3과 하류 St.8에서 유영성 군집과 피라미에 대한 물리적서식지시스템 (PHABSIM) 모델링으로 산정된 유량 (Discharge)-가중가용면적 (WUA) 관계곡선 및 서식지적합도 분포 결과는 다음과 같다.

미호천 St.3에서 유영성군집 및 피라미의 가중가용면적 (WUA)가 최대값을 나타내는 최적유량은 각각 4.0 m³/s 및 2.7 m³/s 로 모의되었다 (Fig. 1). 그에 대한 WUA는 각각 18,519 m²/1,000 m 및 22,648 m²/1,000 m 로 전체 수면적의 61.2% 및 75.1%로 분석되었다 (Tables 1 and 2).

하류지점인 St.8에서는 유영성군집과 피라미의 최적유량은 각각 8.8 m³/s 및 7.6 m³/s 로 모의되었다 (Fig. 2). WUA는 30,154 m²/1,000 m 및 41,073 m²/1,000 m 로 전체 수면적의 61.9% 및 84.3% 로 분석되었다 (Tables 1 and 2).

두 지점 모두 유영성군집 어종의 최적유량이 피라미 단일종의 최적유량보다 더 크고, 가중가용면적은 줄어드는 특징이 있다. 이는 유영성 군집의 서식지적합도지수가 더 빠른 유속과 수심을 필요로 하기 때문인 것으로 판단된다.

3.4.2 최소유량 산정

환경생태유량은 수생태 건강성 유지를 위한 최소한의 유량이라 정의하고 있어 앞서 산정된 최적유량을 환경생태유량이라 할 수 없다. 현재 최소유량을 산정하기 위한 명확한 지침은 없지만 Ministry of Environment (2018)에서 환경생태유량을 최적유량 적용시 제공되는 가중가용면적 (WUA)의 25%에 해당되는 유량으로 산정한바 있다.

미호천 St.3의 경우 최적유량에 대한 WUA의 25%에 해당되는 환경생태유량은 유영성군집이 0.8 m³/s, 피라미는 0.3 m³/s 였으며, WUA는 5,250 m²/1,000 m 및 5,368 m²/1,000 m 로 나타났다 (Table. 1 and Fig. 1).

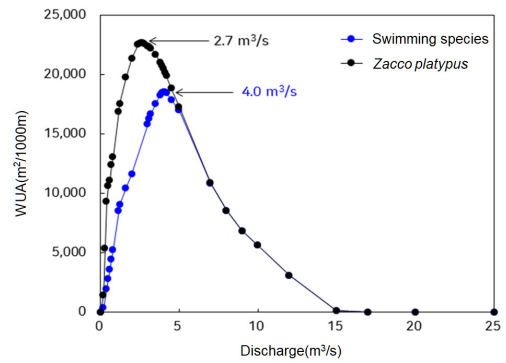


Fig. 1. Changes of WUA (m²/1000 m) with the range of discharge: St.3.

Table 1. Results of WUA to optimum discharge

Staion	Species	Optimum Discharge (m ³ /s)	WUA (m ² /1,000m)	WUA/Total area (%)
St.3	Swimming species	4.0	18,519	61.2
	<i>Zacco platypus</i>	2.7	22,648	75.1
St.8	Swimming species	8.8	30,154	61.9
	<i>Zacco platypus</i>	7.6	41,073	84.3

Table 2. Results of WUA to minimum discharge

Staion	Species	Mimum discharge (m ³ /s)	WUA (m ² /1,000m)	WUA/Total area (%)
St.3	Swimming species	0.8	5,250	25.8
	<i>Zacco platypus</i>	0.3	5,368	24.9
St.8	Swimming species	3.5	7,720	17.6
	<i>Zacco platypus</i>	1.7	10,653	33.6

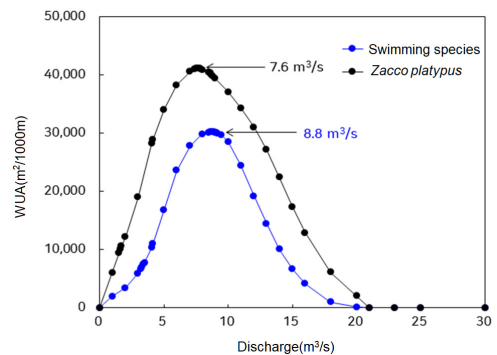


Fig. 2. Changes of WUA (m²/1000 m) with the range of discharge: St.8.

미호천 St.8의 경우 최적유량에 대한 WUA의 25%에 해당되는 환경생태유량은 유영성군집이 $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 피라미는 $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 였으며, WUA는 $7,720 \text{ m}^2/1,000 \text{ m}$ 및 $10,653 \text{ m}^2/1,000 \text{ m}$ 로 나타났다 (Table. 2 and Fig. 2).

두 지점 모두 최적유량 결과와 마찬가지로 피라미에 대한 환경생태유량이 상대적으로 작고, 보다 많은 가중가용면적을 제공한다.

모의결과에서 유영성 군집은 피라미에 비해 상대적으로 많은 유량을 필요로 하였지만, 환경생태유량 적용 시 제공되는 WUA는 피라미보다 감소하는 것으로 나타났다. 유영성군집의 서식지적합도지수는 피라미를 포함하여 각 어종별 산정결과를 모두 반영하였기 때문에 단일종인 피라미에 비해 수심 및 유속 범위가 다소 좁게 산정되어 물리적서식지모의시스템 (PHABSIM)의 서식지면적 계산에서 불리하게 작용한 것으로 보여 진다.

4. 결론

환경생태유량은 수생태 건강성 유지를 위해 필요한 최소한의 유량하므로 취지에 맞게 멸종위기종과 보호종 같은 어류를 대상으로 산정되어야 한다. 또한 갈수기 수생태계 유지와 다양한 어종이 만족 가능한 유량을 목표로 계획이 수립되어야 한다.

과거 대표어종 선정시 출현빈도가 많거나 개체가 많은 우점종 또는 아우점종을 선정하는 경우가 많아 확보 유량의 목적과 실효성에 많은 논란이 있었다.

따라서 본 연구에서는 우점종을 선정하는 경우와 유량에 민감한 유영성종에 대한 군집을 선정하는 경우 서식지적합도지수 결과와 환경생태유량을 비교하였다.

- 1) 단일종의 경우 그 범위가 군집보다 수심과 유속의 범위가 좁아 이를 만족하는 유량이 작게 산정되는 반면, 유영성종의 군집에서는 서식지를 만족하는 범위가 넓고 유량은 단일종보다 크게 산정되는 특징이 있다.
- 2) 어류의 서식지 면적을 제공하는 가중가용면적 또한 군집어류의 면적이 작게 산정되어 군집어류의 필요 유량이 증가한다.
- 3) 단일종인 피라미의 서식지적합도지수 범위 (수심: 0.1 - 0.5 m, 유속: 0.1 - 0.5 m/s)가 유영성 군집의 서식지적합도지수 범위 (수심: 0.2 - 0.5 m, 유속: 0.2 -

0.5 m/s)보다 넓어 유량에 따른 가중가용면적을 더 많이 확보 할 수 있으므로 작은 유량으로도 최적유량을 만족할 수 있다.

- 4) 유영성 군집에 대한 서식지적합도지수 산정시 구간 내 출현빈도와 개체수를 고려해 가능한 범위를 넓게 잡는 것이 최적유량 산정에 유리하다.
- 5) 또한 최적유량과 최소유량 결정에 대한 기준이 명확하지 않은 문제가 있다. 현재 생태계 유지를 위한 최소한의 유량을 최적유량의 가중가용면적 25%로 적용하고 있는데, 이는 물리적 근거가 부족하므로 추가 연구가 필요하다.

본 연구에서는 서식지적합도지수 산정에 따른 환경생태유량 결과를 모의하고 비교하였다. 향후 다양한 지역의 어류 DB 구축을 실시하여 군집 어류 특성을 고려한 서식지적합도지수 산정이 필요하다.

감사의글

본 논문은 금강수계관리위원회 환경기초조사사업 (2019년)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Choi, B.W. and Lee, N.J. 2020. A case study of the aquatic habitat changes due to weir gate operation. *Ecology and Resilient Infrastructure* 7(4): 300-307. (in Korean)
- Choi, H.S. and Lee, W.H. 2015. A correlation analysis between physical disturbance and fish habitat suitability before and after channel structure rehabilitation. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2(1): 33-41. (in Korean)
- Hur, J.W. and Kim, J.K. 2009. Assessment of riverine health condition and estimation of optimal ecological flowrate considering fish habitat in downstream of Yongdam dam. *Journal of Korea Water Resources Association* 42(6): 481-491. (in Korean)
- 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. *Journal of the Environmental Sciences International* 22(8): 925-935. (in Korean)
- Hur, J.W., Kim, K.H., and Lee, J.J. 2021. Calculation (computation) of habitat suitability index for swimming fish species living in Miho stream in Geum river water system. *Ecology and Resilient Infrastructure* 8(1): 9-21. (in Korean)
- Im, D.K., Choi, Y.W., Choi, S.U., and Kang, H.S. 2011. Simplified model for Physical habitat simulation in

- evaluation of environmental flow. Journal of The Korean Society of Civil Engineers 31(2B): 147-154. (in Korean)
- Instream Flow and Aquatic Systems Group. 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology: Biologic report. Instream flow information paper No. 21. National Ecology Center.
- Jung, S.H., Ji, U., Kim, K.H., and Jang, E.K. 2019. Analysis of weighted usable area and estimation of optimum environmental flow on growth stages of target species for improving fish habitat in regulated and non-regulated rivers. Journal of Korea Water Resources Association 55(2): 811-822. (in Korean)
- Kim, G.H., Jo, W.C., and Jeon, B.H. 2000. Estimation of suitable flow needs for maintaining fish Habitat conditions using water quantity and quality Simulation. Journal of Korea Water Resources Association 33(2): 3-14. (in Korean)
- Kim, J.J., Choi, J.G., and Choi, H.S. 2019. A study on the improvement of fish habitat through various river restoration techniques in the Wonju-cheon Stream, Korea. Ecology and Resilient Infrastructure 6(3): 145-153. (in Korean)
- Kim, K.H. 1999. Evaluation of habitat condition and estimation of optimum flow for the freshwater fish. The Graduate School Yonsei University in Korea. (in Korean)
- Kim, K.O., Park, Y.K., Kang, J.I., and Lee, B.S. 2016. Estimation of ecological flow and habitat suitability index at Jeonju-cheon upstream. Journal of Korean Society of Environmental Engineers 38(2): 47-55. (in Korean)
- Kim, S.K. and Choi, S.W. 2014. Change of fish habitat in a downstream reach of a stream due to dam construction. Ecology and Resilient Infrastructure 1(2): 61-67. (in Korean)
- Kim, S.K., and Choi, S.W. 2017. Computation of composite suitability index for fish and macroinvertebrate species in the Gongneung river. Ecology and Resilient Infrastructure 4(2): 105-114. (in Korean)
- Lee, J.J., Kim, S.Y., and Hur, J.W. 2021. A study on the estimation of environmental ecological flow in the GILAN stream of Nakdong river. Crisisonomy 17(3): 99-111. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2018. Estimation and evaluation of environmental ecological flow at the representative stream. NIER. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2019. Guidelines on aquatic ecosystem status survey and health assessment method, etc. NIER. (in Korean)
- Ministry of Land and Transport. 2021. River Act. Article 51: Instream Flow. (in Korean)
- Oh, K.R., Jung, S.M., Lee, J.K., Choi, G.W., 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*. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 8(1): 117-123. (in Korean)
- 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.
- Sung, Y.D., Park, B.J., Joo, G.J. and Jung, L.S. 2005. The estimation of ecological flow recommendations for fish habitat. Journal of Korea Water Resources Association 38(7): 545-554. (in Korean)
- Washington Department of Fish and Wildlife. 2004. Instream Flow Study Guidelines: Technical and Habitat Suitability Issues.
- Woo, H.S., Lee, I.W., and Kim, G.H. 1998. Development of a method for determination of instream flow needs required for fish habitat conservation-application to the Keum river. Journal of the Korean Society of Civil Engineering 18(2): 339-350. (in Korean)