

하천 수생 서식환경의 적합성 평가

Evaluation of Aquatic Habitat Suitability

김규호*, 임동균**, 정상화***

Kyu-Ho Kim, Dongkyun Im, Sanghwa Jung

요 지

하천 개발 사업, 하천 취수량의 증가, 각종 오염원의 유입으로 하천수질 악화, 그리고 하천 구조 개선 등에 따른 수량과 수질, 서식 구조 측면에서 하천 생태계의 위협과 파괴가 이루어지고 있다. 최근에 보다 체계적이고 자연에 가까운 하천 생태계의 서식 공간을 보전하고자 하는 노력이 증대하고 있다. 이 경우, 하천생태계 보전을 위해 무엇보다 중요한 것은 적정한 흐름 영역을 확보하여 생명이 살아 숨 쉬는 하천상을 유지할 수 있어야 한다. 따라서 물 이용측면과 하천 수생 서식처 유지측면의 갈등을 해결할 수 있는 최적화된 유량설정 기법이 필요하다. 본 연구에서는 어류 서식 환경을 평가하기 위해 가장 광범위하게 이용되고 있고 생태적 특성을 반영할 수 있는 점증 유량 방법론(IFIM: Instream Flow Incremental Methodology)의 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM: Physical Habitat Simulation System)을 적용한다. 미시 서식 조건은 실측한 물리 자료를 이용하여 1차원 수리해석 프로그램을 적용하도록 한다. 대상 구간에 적합한 목표종을 설정하여 목표종에 적합한 서식처 적합도 지수를 산정한 후 물리 서식처 모의 시스템((PHABSIM: Physical HABitat SIMulation system)을 곡류천 보(洑)구간에 적용하였다. 보로 인하여 주변의 물리서식처가 악화되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구결과는 보에 의한 물리서식처의 영향을 분석함으로써, 보 철거 사업과 같은 하천환경 개선사업의 필요성을 제시하는 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 하천환경, 서식처, 생태유량

1. 서 론

물은 우리 인류와 지구상의 생물이 공존하는데 있어 없어서는 안 될 중요한 요소이다. 물은 그 동안 생활·공업·농업·발전 용수로 다양하게 이용되어 왔고, 동시에 자원 활용의 공간으로 큰 역할을 담당하고 있다. 이러한 경제적 가치와 함께 하천은 하천생태계의 고유 공간뿐만 아니라 인간의 정서 함양 공간으로 인식되어 왔으며, 특히 전통적으로 인간과 가장 친밀하여 생활의 지표로서 인식되는 어류가 서식하는 공간으로서 가장 중요한 위상을 차지하고 있다(Allan, 1995). 그러나 수자원 개발로 인해 하류로 흘러가는 물을 인위적으로 차단하거나 조절하는 시설로 인해 하천의 유지 유량이 감소하고 있다. 이러한 하천의 생태계를 보전하기 위해서는 물 이용측면과 하천 수생 서식처 유지측면의 갈등을 해결할 수 있는 최적화된 유량설정 방안이 필요하다.

* 한국건설기술연구원 수자원연구부장·031-910-0257(E-mail : khkim1@kict.re.kr)

** 한국건설기술연구원 연구원·031-910-0516(E-mail : himdk@kict.re.kr)

*** 한국건설기술연구원 연구원·031-910-0590(E-mail : kikimorah@kict.re.kr)

수생 생물에서 어류는 고등 동물임과 동시에 먹이 사슬의 상위에 위치하고, 광범위한 서식 조건의 장단기 변동 양상을 파악할 수 있는 지표종(indicator species)이다. 또한 천수 활동이나 인간 생활과의 관계에서 중요한 수생 생물로서 하천유량과 밀접한 관계가 있다. 수생 무척추 동물이나 기타 미소 동식물은 어류 서식 활동 및 하천의 시공간 특성과 관계가 높기 때문에 어류에 주목하여 서식 환경을 검토하면 하천 생태계 서식 환경을 간접적으로 고려할 수 있다. 따라서 하천 고유의 환경 요소로서 수자원 계획 및 하천 관리에서 대단히 중요한 위상을 차지해 나가고 있는 하천 어류 물리서식처 환경을 평가하고, 이를 유지하기 위한 최적유량의 산정 방법을 설정하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 어류 서식 환경을 평가하기 위해 가장 광범위하게 이용되고 있고 생태적 특성을 반영할 수 있는 점증 유량 방법론(IFIM: Instream Flow Incremental Methodology)의 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM: Physical Habitat Simulation System)을 국내 하천에 적용하여 하천 수생 서식환경을 평가하였다.

2. 물리 서식처 모의 시스템

물리 서식처 모의 시스템(PHABSIM)은 유량 점증 방법론의 주요 성분을 구성하는 계산 과정이다. PHABSIM의 주된 가정은 수중 생물이 수리학적 환경 변동에 따라 직접 반응한다는 것이다. 개별 유기체는 가장 좋아하는 유지 조건을 선택하는 경향이 있어서, 유지 조건이 점점 나빠짐으로써 서식처 선호도가 감소하여 이용할 수 있는 조건이 점점 적어진다고 하는 전제를 배경으로 한다(Stalnaker, 1979, Milhous 등, 1989).

어류가 이용하기에 적합한 물리적 서식처의 양은 유량에 따라 변하고, PHABSIM은 바로 이 가용서식처-유량간의 관계를 구한다. PHABSIM에서는 유량에 따른 수면표고와 유속의 변동을 수리학적으로 모형화할 수 있고, 서식처-유량 관계를 만들기 위해 서식처-적합도 곡선과 이 관계를 결합한다. 그리고 거시 서식처 차원에서 유량에 따른 수온과 용존 산소를 모형화할 수 있고, 이를 수리학적 모의와 결합할 수 있도록 개발되고 있다(Bovee 등, 1998). 이 과정을 개념적으로 나타내면 그림 1과 같다. 그림 1의 마지막 부분에서 보는 바와 같이 PHABSIM을 통해 최종적으로 얻어지는 곡선은 유량에 따른 복합 성분 인자(서식처 조건의 조합에 하도 평면적을 곱함), 즉 가중된 가용 면적(WUA: Weighted Usable Area)-유량간의 관계이다. 이 가중된 가용 면적(WUA)은 하천내 하도 공간상의 물리적 서식처로서 어떤 어종의 성장단계별 서식 조건을 각각 가중한 하도 면적이다. 가중된 가용 면적(WUA)은 어떤 어종이 특정 성장단계별로 주어진 구간을 이용할 수 있는 순수 적합도(net suitability)에 대한 하나의 지표이다.

3. 수생 서식환경 평가

3.1 대상구간

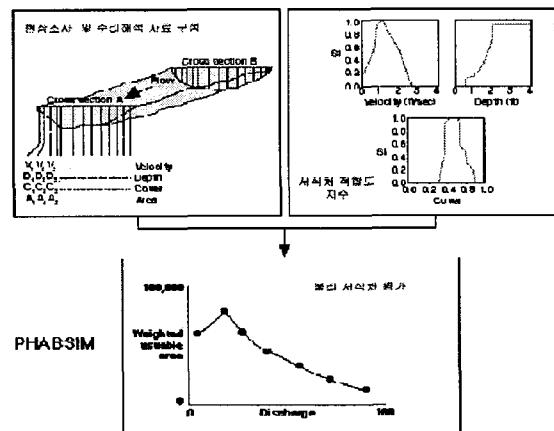


그림 1. PHABSIM 과정(Milhous 등, 1989)

그림 2는 곡릉천 유역 중 본 연구에서 적용한 대상구간을 도시한 것이다. 연구 구간은 곡릉천 상류로부터 1.2 km 떨어진 곡릉2보 구간으로 설정하였다. 곡릉2보는 높이 1.5 m, 길이 약 75 m인 콘크리트 보이며, 과거 취수용 보로 이용되었으나 주변지역의 토지이용의 변화로 인하여 기능이 상실된 보이다. 이에 따라 경기도 고양시와 한국건설기술연구원은 기능이 상실된 곡릉2보를 철거하기로 협의한 후, 지역 주민의 의견수렴과 설명회를 거쳐 2006년 4월 14일 완전 철거하였다(한국건설기술연구원, 2007).

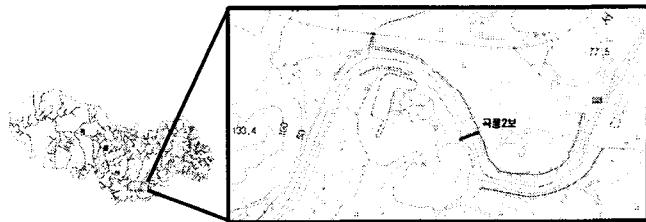
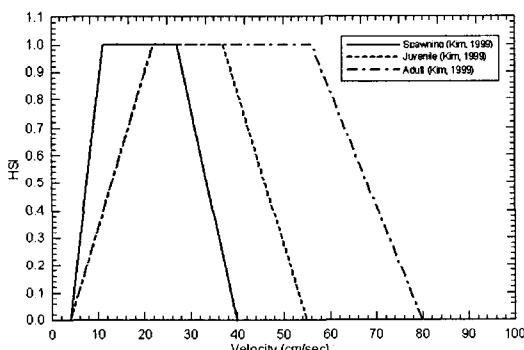


그림 2. 대상구간 위치

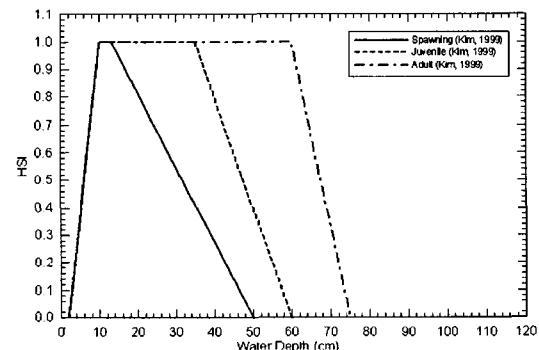
3.2 서식처 적합도 지수

대상구간에 물리 서식처 모의 시스템을 적용하기 위해서는 해당 하천에서 선정된 대상 어종에 대한 성장단계별 서식처 적합도 기준(habitat suitability criteria)이 필요하다. 국외에서 적용되고 있는 서식처 적합도 기준은 해당 하천의 어류상과 서식 환경 조건 자료의 이용 가능성에 따라 다르다. 여기에는 세 가지 방법, 즉 전문가 판단, 현장 조사 결과 분석, 또는 조사 결과에 대해 서식 환경의 이용도를 고려하여 편의성(bias)을 제거하는 방법이 이용되고 있다(Bovee 등, 1998).

현재까지 우리나라에서는 어류 서식 환경에 대한 수리 및 수질 요구 조건을 반영한 서식처 적합도 기준을 제시한 조사나 연구 사례(김규호, 1999; 강정훈 등, 2004; 성영두 등, 2005)는 많지 않다. 현재 대상구간의 현장조사 자료를 이용한 서식처 적합도 기준을 산정하지는 못하였으며, 우리나라 하천 및 대상구간에 널리 분포하는 피라미에 대한 서식처 적합도 기준은 김규호 (1999)의 자료를 이용하였다. 본 연구에 적용한 서식처 적합도 곡선 형태는 지금까지 국내에서 제시된 서식처 요구 조건에 이분법 형태(binary format)를 적용하였다. 이 경우 서식 조건 범위는 주로 여울과 같은 중간 서식 조건에 해당하는 것으로서 전문가의 판단을 근거로 설정하였다. 이때 대상 어종의 서식 역사와 서식 조건에 익숙한 전문가의 의견을 중심으로 구성하였다.



(a) 유속



(b) 수심

그림 3. 서식처 적합도 곡선

3.3 물리서식처 평가

물리서식처 모의 시스템은 대상생물에 대해 적용구간의 흐름특성을 반영한 물리서식처 규모를

예측할 수 있다. 이러한 물리서식처 규모는 가중가용면적으로 제시되며, 각 유량에 따른 가중가용면적을 예측함으로써 대상생물의 서식에 필요한 최적유량을 산정할 수 있다. 또한 물리서식처를 평가함으로써 하천정비사업이 시행됨으로써 발생하는 하천환경의 변화를 예측하는데 적용할 수 있다.

본 연구는 보에 의한 수생서식처 영향은 물리구조만을 평가하며, 보에 의한 화학 및 영양구조에 대한 영향은 고려하지 않은 한계를 가진다. 즉, 보에 의한 모든 서식처조건을 평가하기 위해서는 수질 및 영양염류 등 다양한 인자를 고려하는 것이 바람직하다. 그러나 기존 연구결과 (Railsback 등, 1993)에 의하면 본 연구에서 적용한 물리서식처 평가와 현장자료(서식처, 생물 개체수 등) 결과 사이에는 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 물리서식처모의를 통해 대상구간의 수생 생물서식처의 분포 및 특징을 개략적으로 판단할 수 있다. 대상구간의 유량조건은 $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 보다 적은 경우가 85 % 이상이다. 따라서 본 연구의 물리서식처 평가를 위한 유량은 $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 설정하였으며, 그림 4는 $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 유량조건의 피라미(산란기)에 대한 복합서식처 지수 분포를 도시한 것이다. 하류로부터 500 m 구간에는 보가 존재하고 있으며, 보 주변의 물리서식처는 상대적으로 불량하다. 즉 보 직하류에서는 흐름의 집중으로 인하여 부분적으로 물리서식처가 불량하였으나, 보로부터 100 m 하류부터는 서서히 물리서식처가 안정화 되고 있는 경향을 나타낸다. 또한 보로 인해 배수영향(backwater effect)을 받는 상류부는 흐름의 정체 등으로 인하여 물리서식처가 보 하류부에 비해 상대적으로 불량한 것으로 판단된다. 이러한 모의 결과는 보철거 이전에 하류에서는 피라미가 확인되었으나, 보 상류에서는 피마리가 확인되지 않은 한국건설기술연구원 (2007)의 어류조사 결과와 유사하다.

복합 서식처 적합도 지수에 각 셀의 면적을 곱하면 가중가용면적이 산정된다. 일반적으로 가중가용면적은 유량에 따라 점차 증가한 후 감소되는 곡선 형태를 이룬다. 기존 연구자(김규호, 1999; 성영두 등, 2005; 강정훈 등, 2004)에 의하면 곡선의 첨두치에 해당되는 가중가용면적의 유량을 대상생물에 대한 최적유량으로 산정하고 있다. 본 연구에서는 기존 연구자의 방법을 따라 최적유량을 산정하였다. 그림 5는 유량에 대한 가중가용면적 관계를 도시한 것이다. 유량-가중가용면적 결과를 이용하여 산란기, 치어기, 성어기에 대한 최적유량을 산정하면, 각각 $4.5, 6.5, 10.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 나타났다. 그러나 본 연구에서 제시한 최적유량은 피라미 단일종에 대한 물리서식처만을 근거로 설정되었으므로, 정확한 의미의 최적유량으로 설정하기에는 한계가 있다. 향후 대상구간의 복합종, 수문상황, 하도여건 등을 고려한 최적유량을 재산정할 필요가 있다.

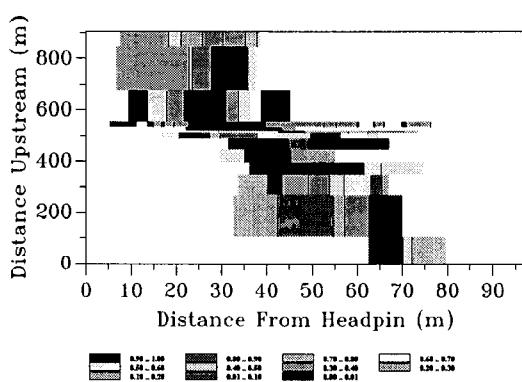


그림 4. 복합서식처 지수(산란기, $2 \text{ m}^3/\text{sec}$)

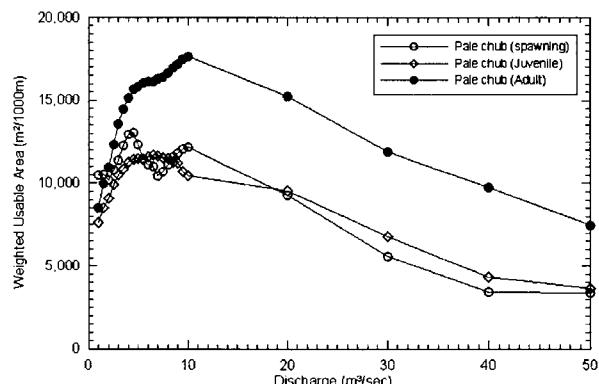


그림 5. 유량-가중가용면적

4. 결 론

수자원 개발로 인해 하류로 흘러가는 물을 인위적으로 차단하거나 조절하는 시설로 인해 하천의 유지유량이 감소하고 있다. 이러한 하천의 생태계를 보전하기 위해서는 물 이용측면과 하천 수생 서식처 유지측면의 갈등을 해결할 수 있는 최적화된 유량설정 방안이 필요하다. 본 연구에서는 어류 서식 환경을 평가하기 위해 가장 광범위하게 이용되고 있고 생태적 특성을 반영할 수 있는 점증 유량 방법론(IFIM: Instream Flow Incremental Methodology)의 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM: Physical Habitat Simulation System)을 보가 존재하는 하천에 적용하여 하천 수생 서식환경을 평가하였다. 보의 영향으로 인하여 보 상류로부터 물리적 서식처가 점차 악화되어 보 주변에서 가장 취약하게 되며, 보로부터 일정구간이 지난 후 하류구간은 점차 물리적 서식처가 안정화되는 경향을 나타내었다. 또한 기존 연구방법을 적용하여 최적유량을 산정하였으나, 설정된 유량은 적절하지 못한 것으로 판단된다. 따라서 향후 대상구간의 복합종, 수문상황, 하도여건 등을 고려한 최적유량을 재산정할 필요가 있다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06 건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 강정훈, 이은태, 이주현, 이도훈 (2004), “어류의 서식처 조건을 고려한 하천의 필요유량 산정에 관한 연구”, 한국수자원학회 논문집, 학국수자원학회, 37(11), pp. 915-927.
- 김규호 (1999), 하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정, 박사학위논문, 연세대학교.
- 성영두, 박봉진, 주기재, 정관수 (2005), “하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정”, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 38(7), pp. 545-554.
- 한국건설기술연구원 (2007), 기능을 상실한 보 철거를 통한 하천생태통로 복원 및 수질개선 효과.
- Allan, J. D. (1995), *Stream Ecology : Structure and Function of Running Waters*, Chapman & Hall, New York, NY.
- Bovee, K. D., B. L. Lamb, J. M. Bartholow, C. B. Stalnaker, J. Taylor, and J. Henrikson (1998), *Stream Habitat Analysis using the Instream Flow Incremental Methodology*, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-1998-0004, Fort Collins, Colorado.
- Milhous, R. T., M. A. Updike, and D. M. Schneider (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, Colorado.
- Railsback, S.F., R.E. Blackett, and N. D. Pottinger (1993), "Evaluation of the fisheries impact assessment and monitoring program for the Terror Lake hydroelectric project", *Rivers* 4(4) pp. 312-327.
- Stalnaker, C. B. (1979), "The use of habitat structure preference for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat", *The Ecology of Regulated Streams*, pp. 321-337.