

# 하천의 어류 서식처를 위한 유지유량 결정방법의 비교·검토

우효섭<sup>1)</sup>, 이진원<sup>2)</sup>, 김규호<sup>3)</sup>

## 1. 서론

하천의 제기능을 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량을 유지유량이라 한다. 유지유량은 일반적으로 하천 및 유역의 수리·수문특성은 물론 하천수질, 생태계, 경관, 수상이용 등 하천환경적 요소와 그 밖에 염해방지나 하천변 지하수위 등을 종합적으로 고려하여 결정된다. 우리나라에서는 1980년대 전까지는 주로 하구에서의 염수침입방지를 위해 유지유량을 설정하여 고시하여 왔으나, '80년대 이후 하천의 물 오염이 문제가 되면서 점차 하천의 수질환경기준을 유지하기 위해 유지유량을 산정하고 있다<sup>1)</sup>.

최근 자연환경의 보전의 중요성이 제고되고 특히 하천에 서식하는 동·식물의 서식처 보전의 중요성이 강조되면서 하천관리자들도 하천생태계를 고려하여 하천을 계획하고 관리하는 개념이 필요하게 되었다. 이 중 하천에 서식하는 魚類는 여러면에서 하천생태계를 대표하는 지표생물이라 할 수 있다. 왜냐하면 어류는 먹이연쇄의 상위에 있고 친수활동 및 수산활동 등 인간사회와 밀접한 관계를 유지하며, 수리적 요소에 대한 생식조건이 정량화가 지금까지 유일하게 가능하며, 기타 水鳥類, 수서곤충 등도 어류와 직간접으로 연관되어 있기 때문이다.

본 연구는 하천 생태계의 대표 생물이며 인간활동과 밀접한 관련이 있는 물고기를 대상으로 하천에서의 어류 서식처 조건을 만족시키기 위한 유지유량의 결정방법에 대한 기초연구로서 일본, 미국 등 주로 선진외국의 최근 기술(state-of-the-art)을 조사하고 상호 비교·검토하는 것이다. 본 연구는 바다물과 민물이 교차하는 汽水域과 湖沼를 제외한 일반하천에서의 물고기 서식처 조건을 대상으로 한다. 본 연구의 결과는 자연환경, 사회 및 문화 풍토, 가용자료 등을 고려하여 궁극적으로 우리나라 여건에 적합한 어류서식처를 위한 하천유지유량 결정방법의 개발에 직접 이용될 것이다.

## 2. 우리나라 민물고기 현황<sup>2)</sup>

우리나라에는 약 670 종의 야생 동·식물이 있는 것으로 알려져 있고 이 중 하천에 의

- 1) 한국건설기술연구원 수자원연구실장
- 2) 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원
- 3) 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

존하여 서식하는 동·식물을 구분하여 보면 크게 담수어류, 수조류, 수서곤충, 담수패류와 담수식물로 구분할 수 있다.

우리나라 남한에 분포하고 있는 담수어류는 145 종이며 하천별로 조사된 어류의 종류수는 한강 62, 낙동강 43, 금강 72, 섬진강 36, 영산강 44, 동진강 39, 만경강 42, 안성천 11, 삽교천 32, 형산강 13 종류로 알려졌다. 남한에 분포하고 있는 담수어 145 종 중, 우리나라 하천에서만 서식하는 특산종은 41 종이다. 한편, 희귀 담수어류는 다음 표1과 같이 구분되며 특별히 보호해야 할 어종들로서, 이 중 천연기념물로 지정된 어류는 한강, 금강, 영산강의 무태장어, 한강과 낙동강의 열목어, 한강과 금강의 어름치, 황쏘가리 등 4 종이다.

표 1. 희귀 담수어류<sup>3)</sup>

구분	종 류
절명종	서호납줄갱이
위기종	철갑상어, 칼상어, 통사리
취약종	무태장어, 열목어, 버들가지, 어름치, 감돌고기, 흰수마자, 미호종개
희귀종	산천어, 금강모치, 연준모치, 새미, 가는돌고기, 점물개, 눈불개, 부안종개, 꺾저기, 황복

우리나라에서는 지난 60년대 이후 지속적인 댐개발, 하천개수, 도시하천종합개발, 골재채취, 유역 물오염의 진전, 인위적인 유황변화, 외래어종의 유입 등으로 생태계 서식처 조건이 크게 변화하여 하천생태계의 변화가 매우 심한 것으로 알려져 있다.

### 3. 미국에서의 하천어류 서식처를 위한 유지유량 결정방법

미국에서는 동서부별로 수리권의 차이와 근본적인 가용수량 정도의 차이 등으로 생태계, 경관, 수상이용, 수질 등을 고려한 유지유량의 결정방법은 동·서부 역시 다르게 발전하여 왔다. 특히, 하천 어류의 서식처를 고려한 유지유량의 결정은 물이 상대적으로 귀한 서부에서 중요한 의미가 있으며, 1970년대부터 미 내무성 산하의 어류 및 야생동물국(Fish and Wildlife Service)을 중심으로 심도 깊은 연구가 진행되어 왔다. 그 중 지금까지 제일 정교한 모형으로 인정되는 것은 1977년 미 야생동물국의 유지유량팀(Instream Flow Group)에 의해 개발된 Incremental Methodology<sup>4)</sup> 이다.

문헌조사에 의하면<sup>5)</sup>, 현재까지 미국에서 개발된 어류 서식처를 위한 유지유량의 결정방법들은 대략 8개 정도이며, 이 모형들의 방법론은 ① 기록상의 유황자료의 퍼센타일과 관련(유량법); ② 한계단면에서의 한계조건(수리등급법); ③ 조사구간에서의 다중 단면분할(어종별 특정 서식처 조건법) 등 3가지로 크게 구분할 수 있다. 문헌에 소개된 8가지 모형은 다음과 같

이 분류할 수 있다.

- 유량법 : fixed Percentage(Montana 방법), Constant Yield, Flow Duration 방법
- 수리 등급법 : 미산림청의 서식처 평가, WSP 방법
- 어종별 특정 서식처 조건법 : Usable Width, Preferred Area, IFG Incremental Method.

이 방법들 중에서 현재까지 가장 정교한 모형으로 알려진 IFG 방법을 간단히 소개하면 다음과 같다.<sup>5),6)</sup>

IFG방법에서는 어류서식을 위한 수리조건으로 수심과 유속 등 흐름상태와 하상재료의 구성, 수온 등 4개 요소를 고려하여 유지유량을 결정한다. 이 모형은 컴퓨터 프로그램 명으로 PHABSIM (Physical Habitat Simulation system)이라 불리우며, 수리계산은 IFG-2(배수계산)와 IFG-4(회귀곡선을 이용한 경험식)로 하며 하천바닥층(substrate)은 식물 잔재 등 유기물, 진흙, 실트, 모래, 자갈, 조약돌(cobbles), 호박돌(boulders), 암반 등을 1에서 8까지 등급을 매겨 구분한다. 이 방법에서는 물론 수온변화를 고려 한다.

이 방법에서 채택한 모의기법은 대표성이 있거나 한계조건에 있는 한 하천구간(reach)에 대해 횡단방향으로 다중분할하고 각 소구간은 다시 n개의 소구역(cell)으로 분할하여 각 소구역에 대한 유속과 수심을 계산하고 각 소유역의 수표면적을 계산한다.

이 방법에서 서식처를 평가하는 기준으로 유속, 수심, 底質, 수온 등에 대해 0에서 1까지 분포된 적합도 함수(species - specific suitability function)을 이용한다. 다음, 수질조건을 만족한다는 전제조건하에서 각 어종별, 성장단계별(life cycle)로 수심, 유속 등 수리조건과 온도, 하상재료 등으로 다음과 같은 평균가중가용면적(mean usable area),  $\overline{WUA}$  를 계산하여 어류의 서식처 적합도를 판정한다.

$$\overline{WUA} = \frac{1}{T} \int \int \bar{\Psi} dA dt = \frac{1}{T} \sum_j \sum_t \bar{\Psi}_i a_i t_i \quad (1)$$

여기서,  $\overline{WUA}$  = 일정시간 T에 대해 하천의 한구간(리치) 길이당 평균가중가용면적 (mean weighted usable area)

A = 수저 하상면적, t = 시간, T = 전체 시간

$\bar{\Psi}$  = 서식처 적합도함수(가중치)

$\bar{\Psi}_i = \Psi_v \Psi_d \Psi_s \Psi_t$  : 셀별 각 적합도 함수의 가중함수

윗 식을 이용하여 어종별, 성장단계별로 유량에 대한  $\overline{WUA}$  값의 변화를 그림으로 표시하여 평균 월유량에 해당하는 가중가용면적의 80%에 해당하는  $\overline{WUA}$  값을 계산하여 다시 이를 유량으로 환산하여 유지유량으로 결정한다. 이 방법을 적용하기 위해서는 무엇보다도 유량기록자료, 어종별 주기표(species periodicity chart), 어종별/성장단계별 수심, 유속, 온도, 저층에 대한 적합도함수 자료가 필수적으로 요구된다.

#### 4. 일본에서의 어류서식처를 고려한 유지유량 결정방법<sup>7)</sup>

일본에서 제안된 어류 서식처를 위한 유지유량의 결정방법은 미국의 그것보다는 덜 정교하지만 비교적 간단하면서 필수적인 사항들은 고려가 되어 있다. 일본에서는 어류의 서식처 환경중 여울(瀾)에 주목하여 이 곳에서 대부분 수리적으로 생식한계조건이 발생한다고 본다.

일본에서는 180종의 담수어류에 대해 서식처 및 산란장별로 하도 및 하상조건, 전국적인 분포 상황, 사회의 요청도(위락, 어업) 등을 정리하여 표로 제시하고 있다. 지표어종을 선정하기 위하여 전국의 담수어류 180종에서 서식 및 산란조건에서 여울과 관련된 어종 43종을 우선 선정하고 이 중 기수역과 호소관련 어종을 제외하여 19종을 선정한다. 다시 이중 돌밑이나 흙밑에 사는 底生性을 제외시키고 遊泳性 어종 12종을 최종적으로 선정하였다. 다음, 평가기준을 설정하기 위하여 12종의 각 물고기에 대해 어종별/계절별(라이프사이클)로 한계수심과 유속조건을 설정하여 유지유량을 결정하는데 이용하고 있다.

일본식 방법으로 어류 서식처를 고려한 하천 유지유량을 설정하는 방법은 ① 어류 서식상태의 파악; ② 구간별 지표어종의 선정; ③ 지표어종의 수리요소(수심, 유속)에 관련된 서식기준의 설정; ④ 구간별로 대상여울을 선정하여 그 단면에서 서식기준을 만족할 수 있는 필요유량을 결정 등으로 구성된다.

#### 5. 기존 방법들의 비교

미국에서 제안된 방법들 중 유량법, 즉 하천유량의 일정 퍼센타일을 기준으로 하는 방법들(Fixed Percentage, Constant Yield, Flow Duration 방법 등)은 그 지방에서 수집된 자료를 이용하여 경험적으로 도출된 것들로서 한국의 하천에 직접 적용하는 것은 무리가 따를 것으로 사료된다. 설령 방법론만 도입한다 하더라도 당장 우리나라의 경우 경험계수를 도출할 가용한 어류서식처 관련 자료가 없기 때문에 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 서식처 한계조건을 이용하는 방법들(미 산림청의 서식처 평가, Usable Width, Preferred Area, IFG 방법 등)과 일본에서 제안된 방법을 상호 비교·검토하고자 한다. 이 방법들의 특징을 정리하면 다음 표 2와 같다.

표 2. 어류 서식처 평가 방법들의 비교

구 분	미 산림청 방법	Usable Width	Preferred Area	IFG 방법	일본건설성 방법
방법론	한계단면에서의 서식처 조건	좌 동	좌 동	다중 단면분할	한계단면(여울)에서의 서식처 조건
지배변수	수표면적, 운 변, 유속, 수 심 등	수심, 유속	수심, 유속, 저층재료	수심, 유속, 수온, 저층재료	수심, 유속
소구역구분	하천 횡단면을 여러개로 분할	좌 동	2차원 하상의 조건별 구분(mapping)	소구간을 다시 소구역으로 재분할(cell)	미 구 분
수리량의 결정	실측, 매닝공식	실 측	실 측	IFG-2(배수계산), IFG-4(rating curve)	등류계산(매닝 공식)
유지유량의 결정	유량-한계변수 곡선에서 정상치의 75%	유효단면폭-유량곡선에서 총 단면폭의 25% 해당하는 유량(연어)	서식처 조건을 만족하는 최대 면적의 75%에 해당하는 유량	주어진 달의 평균 유량의 가장가중 면적의 80%에 해당하는 유량	등류계산에 의한 수위-유량 곡선에서의 유량과 최소수심과 허용유속의 곱과 비교하여 큰 것 채택
필요자료	서식처 조건-유량 관계도, (유량), 수리/단면 자료 등	(연어) 수심/유속 가중치 곡선, (유량), 수리/단면 자료	좌 동	어종별/성장단계별 수심/유속/수온/저층 등의 적합도 함수, 어종별 주기표, 유량/수리/단면 자료 등	지표어종별/성장 단계별 수심/유속 한계치 자료, 유량/수리/단면 자료 등

위의 표를 기준으로 각 방법들의 장·단점과 한국하천에의 적용성을 평가하면 다음과 같다.

표 3. 각 방법들의 장·단점 및 적용성의 비교

구분	미산림청 방법	Usable Width	Preferred Area	IFG 방법	일본 방법
필요자료량과 적용 비용	보통	보통	보통	많음	보통
신뢰도	보통	보통	보통	높음	보통(수리량계산방법 신뢰도 미흡)
필수자료	서식처 적합도 관계 자료 필수	좌동	좌동	좌동	수심/유속 한계자료
적용 용이성	보통	낮음	낮음	낮음	높음

이상의 비교표에서 종합적으로 검토하면 어느 방법이든 서식처 평가기준에 관한 자료가 필수적으로 요구되며, 기타 유량자료는 일부 방법의 경우 꼭 필요하지는 않다. 불행히도 현재로서는 우리나라에서 어종별로 유속, 수심 등 한계 수리량 자료가 가용하지 않으며, 따라서 서식처 평가기준 자료를 우선적으로 수집할 필요가 있다. 이 분야는 어류 전문가들의 도움이 필요하다.

이러한 자료가 가용한 경우 우리나라의 하천에 적용하는데 있어 비교적 용이한 방법은 일본 방법으로 사료된다. 그 이유는 일본 방법은 우선 대상 어종이 비슷하고 적용방법이 비교적 용이하기 때문이다. 그러나 IFG 방법은 현재까지 개발된 방법들 중에서 가장 정교한 것으로 현 단계에서는 일본 방법과 병행하여 검토할 필요가 있다.

## 6. 요약

미국과 일본에서 제안된 어류 서식처를 위한 유지유량 결정방법들은 1) 유량자료를 이용한 방법, 2) 한계 단면에서의 한계조건 방법, 3) 어종별 특정서식처 조건법 등으로 구분된다. 이중 현재로서는 우리 여건에 적합한 방법은 한계 단면에서의 한계수리량 방법이며, 미국의 몇가지 방법들과 일본의 방법이 이에 속한다. 이러한 방법들은 우리나라 하천에 적용하기 위해서는 우선적으로 어종별, 성장단계별로 서식처 조건을 한계수리량으로 표시한 자료가 있어야 하나 현재 이러한 자료를 가용하지 않은 것으로 알려져 있다. 한편 한계수리량 방법보다 더 정교한 방법은 IFG방법으로 이 방법을 적용하기 위해서는 서식처 적합도 자료가 요구된다. 따라서 어느 방법이든 우리나라에 적용하기 위해서는 어류서식처 구조 자료가 전제조건이 되며, 본 연구팀은 이 자료가 가용한 후에 일본의 방법과 IFG방법을 종합 검토하여 우리 하천 실정에 적합한 방법을 제시할 것이다.

- 1) 한국수자원공사, 한강하천유지유량 조사·연구, 1990.
- 2) 건설부, 하천환경관리기본조사·연구, 1991.12., p 34.
- 3) 전상린, 한국 희귀담수어의 실태, 자연보존, 제 73권, 1991, pp 11-15.
- 4) Bovee, K.D., and T. Cochnauer, Development and Evaluation of Weighted Criteria, Probability-of-use curves for instream flow assessments : Fisheries, Instream Flow Information Paper No. 3, FWS/OBS-77/63. Cooperative Instream Flow Service Group, U.S. Fish and Wildlife Service, Fort Collins, Colorado, 1977, P.39.
- 5) Loar, J.M., and M.J. Sale, Analysis of Environmental Issues Related to Small-Scale Hydroelectric Development, V. Instream Flow Needs for Fishery Resources, 1981.
- 6) Stalnaker, C.B., The use of habitat structure preferenda for establishing flow regime necessary for maintenance of fish habitat, IFG, US Fish and Wild Life Service, 1979.
- 7) 일본건설성, 수환경관리, 건설대학교 하천관리과 연수과정 텍스트, 1990