

하천의 생태유량 산정 및 건강성 평가를 위한 모니터링 현황



김 정 곤 ▶▶▶
한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원
jkkim@kwater.or.kr



허 준 옥 ▶▶▶
한국수자원공사 수자원연구원 위촉연구원
fishhur@kwater.or.kr

이사슬 상층부에 속하는 어류를 중심으로 서식처 환경에 대한 평가방법의 적용과 이를 이용한 최적유량을 산정하는 연구가 진행되어 왔다(한국수자원공사, 1995).

환경부에서는 이전부터 “전국자연환경 조사”를 통하여 어류 이외에 모든 생물을 대상으로 체계적으로 조사하고 있다. 결과들은 대부분 해당수계 및 하천의 어류분포 현황 파악을 중심으로 이루어져 왔기 때문에 수문학 분야에서 접근 시 자료의 공유가 어렵다. 또한 이전의 하천유지유량 산정 보고에서 수문학 분야와 많은 부분에서 결과를 도출하였으나, 체계적인 어류생태 환경 모니터링이 결여되어, 많은 어종에서 이와 상이한 결과를 보여주고 있다. 따라서 이전의 어류생태환경 모니터링의 체계적 실시와 관련 DB의 세밀한 구축 및 어류종별 서식환경 특성의 심도 있는 파악을 통한 생태유량 산정 및 하천의 생태환경 관리 등에 필요한 객관적인 자료구축이 요구된다.

1. 서론

최근 경제성장과 더불어 청정한 환경에서 안정된 생활을 영위하고자 하는 국민들의 욕구가 증가함에 따라 환경의 보전 및 복원에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 하천의 경우, 시민들의 레저 활동 및 휴식을 위한 공간으로 활용되고 있어 청정한 환경 유지를 위한 노력이 필요하다. 특히, 하천의 자정 능력을 향상시키고 하천의 정상적인 기능을 회복하기 위해서는 수생물의 서식환경 조성, 오염원 차단 및 적정 하천 유지유량 유지 등의 다양한 조건이 요구된다. 이 중 하천의 생태유량의 유지는 기타 서식환경 조성에 있어 기본이 된다고 할 수 있다(Arthington et al. 2006).

생태계 보전을 위한 필요유량 산정은 구체적인 산정기준이나 방법보다는 유역이 갖는 고유의 갈수량과 같은 일정유량을 지배적인 인자로 보아왔으며, 유량의 변화에 따라 서식처 수리조건(수심 및 유속)이 먼저 한계에 달하는 여울을 대상으로 하천생태계의 먹

2. 생태유량 산정 및 건강성 평가를 위한 모니터링 국내·외 현황

미국에서는 1960년대부터 연어류 개체수가 감소하자 이에 대한 대책으로 어류서식처 보전을 위한 하천 유지유량에 관한 연구가 처음 소개되었으며, 이를 근거로 하여 PHABSIM에서 유량과 가중가용면적(WUA)곡선 사이의 관계를 제공하여 어류서식에 필요한 유지유량을 산정하였다. 이와 더불어 1970년대부터 어류 및 야생동물국(Fish and Wildlife Service)에서 유지유량 증분법에 의한 어류 종별, 성장단계별 서식처 및 서식처 조건별 수리량을 환산하여 하천유지유량을 결정하는 연구가 진행되었다. 또

한 US EPA 및 USGS에서는 “모니터링 가이드라인”을 확정하여, 어류 및 각종 생물에 대하여 체계적이고 지속적인 모니터링을 실시하고 있다. 이는 다학제간 연계하여 조사 자료의 연관성 등을 파악 및 서식환경 조건 분석 등을 실시하여 하천 복원 및 기타 사업 등에 기초자료로 제공되고 있다.

일본의 경우, 하천에서 유수의 정상적인 기능을 유지하기 위하여 필요한 유량을 정상유량으로 규정하고, 주운, 어업, 관광, 경관 및 동·식물의 서식 등을 종합적으로 고려하여 유지유량을 산정하고 있다. 또한 건설성 하천환경과에서는 하천수변의 국제조사 매뉴얼을 작성하여 체계적인 연구를 실시하고 있다. 이 연구는 어류 및 패류, 저서생물, 식물, 양서류, 파충류, 포유류 및 육상 곤충까지 매뉴얼로 제공하고 있다.

국내의 생태 환경을 고려한 유지유량에 대한 연구는 금강에 어류서식처, 과산 달천에 유량 및 수질, 낙동강 유역 어류 서식환경 및 한강 지류에 어류서식 조건을 고려한 유량 연구 등이 있으나, 하천유지유량 산정에 있어 수문학적인 조건과 생물생태학적 조건을 복합적으로 고려하지 못한 한계가 있다.

3. 생태유량 산정 및 건강성 평가를 위한 모니터링 사례

본 연구는 현재 국토해양부 건설기술혁신연구개발 사업의 일환으로 진행되는 ‘Ecoriver 21’ 중 ‘어류 생태 모니터링 및 조절하천 유지유량 확보기술’ 지원으로 진행되고 있다. 2차년도까지 금강수계를 중심으로 18개 지점을 설정하여 생태유량 산정 및 건강성 평가를 실시하였으며, 현재는 이러한 모니터링을 한강수계로 확대하여 실시하고 있다.

3.1 모니터링 개요

유량 산정을 위한 어류 생태 조사는 사전조사, 현장조사, 조사결과정리, 고찰 등의 4가지 과정을 기본

으로 실시하였다(그림 1). 문헌조사, 청문조사 등의 사전조사를 통해 조사대상 지역의 보호종 서식현황, 일반적 어류분포현황 및 외래종 분포현황 등의 하천 수생태계 특성을 파악하였다. 현장조사는 사전조사를 참고하여 지점의 물리·화학적 수환경 전반을 파악할 수 있도록 어류조사 외에도 하상재료, 수심, 수질, 유속 등의 다양한 기본항목을 선정하여 어류서식환경과 수환경과의 상호관계를 파악하였다. 조사결과는 작성한 조사양식에 따라 정리하였으며, 정리를 통해 구축한 DB를 활용하여 조사대상 지역의 수환경 특성 및 종별 서식 특성을 검토하였다.

3.2 어류채집 및 생태환경 조사 방법

어류채집 및 생태환경 조사 방법을 그림 2~4에 나타내었다. 조사지점에 대하여 광파기를 사용하여 4개(각 지점당)의 횡단면을 측정하였으며, RMA2 프로그램을 이용하여 조사구간의 유속 및 수심 범위를 모의하였다. 어류의 채집은 각 조사지점의 특성에 따라 투망(망목, 7×7mm) 및 족대(망목, 3×3mm)를 사용하였다. 투망으로 채집시 정량적 조사를 수행하기 위하여 조사지점별로 20회씩 동일하게 투척하였으며, 족대조사는 하천 좌, 우안 수조주변과 호박돌 등의 주변에서 채집하였다. 투망과 족대로 샘플 후에 그 지점에 대하여 유속 및 수심 등을 조사하여 기록하였다. 조사는 하류로부터 상류로 올라가면서 하천을 지그재그로 조사하였다. 현장에서 채집된 어류로서 분류 동정이 가능한 종은 현장에서 종 목록을 작성한 후 즉시 방류하였으며, 채집 어류중 분류 및 동정이 모호한 표본은 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실에 운반한 후 동정하였다. 조사지점은 상, 하류 각각 300m 구간에서 60분씩 실시하였으며, 조사구획의 소(pool), 여울(riffle) 및 흐름이 있는 곳(run)을 모두 포함하여 조사하였다. 조사자료는 그림 1에서 보는 것과 같이 과정에 따라 DB화하였으며, 평가 및 고찰하고 있다.



그림 1. 생태유량 산정을 위한 자료구축 모식도



그림 2. 광파기를 사용한 하천의 횡단면 측정 및 유량 조사



그림 3. 어류, 저서무척추동물 및 식생 조사






그림 4. 물리· 화학적 수환경 조사

3.3. 서식처 적합도 지수(Habitat suitability index, HSI) 분석

어류의 서식처는 특정 조사지점이나 구간에서 출현한 어종의 개체수를 기준으로 작성되며, 조사기간 동안 출현한 최대 개체수를 1.0으로 하고, 나머지는 최대 개체수에 대한 상대비율로 설정한다. HSI는 하천의 수심, 유속 및 하상재료에 대하여 산정하였다. HSI를 산정하기 위한 조사 전, 후의 순서는 다음과 같다. 첫째, 조사지점을 선정하여 사전 답사 및 조사 위치를 확인하였다. 또한 횡단면에 물의 흐름을 방해

하는 구조물이 없는 곳으로 선정하였으며, 여울, 소 및 우수역이 적당히 배열된 장소로 하였다. 둘째, 하천폭과 광과기를 통한 하천 횡단면을 측량하였다. 셋째, 하천 정보를 컴퓨터로 저장하여 전체면적에 대한 해당 수심, 유속 및 하상재료 범위가 차지하는 면적을 백분율로 산정하였다. 넷째, 하천 횡단면 측량 지역에서의 어류 채집을 실시하였다. 어류 채집은 상법에 따라 실시하였으며, 현장에서 즉시 동정, 크기 및 마리수를 계수하였다. 다섯째, 각 단면적별 관측기대치 산정하였으며, 여섯째, HSI를 산정하였다. 표 1은 쉬리, 피라미 및 감돌고기의 외형모습과 유속, 수심

표 1. 무주읍 오산리 앞섬대교 부근 어류의 월별 서식처 적합도 지수

Species	Month	Velocity (m/s)	Depth (m)	Channel index*
<i>C. splendidus</i> (쉬리) 	4	0.1~0.4	0.3~0.5	3.0~4.0
	6	0.2~0.6	0.2~0.6	3.0~4.0
	9	0.2~0.5	0.2~0.5	3.0~4.0
<i>Z. platypus</i> (피라미) 	4	0.1~0.5	0.3~0.5	3.0~4.0
	6	0.1~0.6	0.3~0.6	1.0~4.0
	9	0.2~0.4	0.2~0.7	3.0~4.0
<i>P. nigra</i> (감돌고기) 	4	0.2~0.5	0.2~0.4	2.0~3.0
	6	0.2~0.7	0.3~0.6	1.0~4.0
	9	0.1~0.4	0.4~0.6	2.0~3.0

*1.0(실타): 0.1 mm 이하, 2.0(모래): 0.1~1.0 mm, 3.0(잔자갈): 1.0~50.0 mm, 4(굵은자갈): 50.0~100.0 mm, 5(호박돌): 100.0~300.0 mm, 6(암반): 300 mm 이상

표 2. 다변수 생물지표 지수(IBI)를 이용한 생태적 건강성 평가

Sampling	생태지표				먹이습성			풍부도 및 건강성			Score	Avg.
	TNS	RBS	TSS	PTS	POS	PCS	PIS	TNI	PNES	PNAI		
1st survey	6(3)	3(1)	8(5)	23.1(1)	43.8(3)	0.8(1)	55.4(5)	89(5)	0(5)	0(5)	34	37
2nd survey	3(3)	2(1)	4(3)	18.9(3)	21.6(3)	2.7(3)	75.7(5)	24(3)	0(5)	0(5)	34	
3rd survey	9(3)	6(3)	10(3)	9.1(3)	19.7(5)	13.6(5)	66.7(5)	50(5)	0(5)	0(5)	42	
4nd survey	7(5)	4(3)	8(5)	51.6(1)	54.8(5)	3.2(3)	41.9(3)	14(3)	0(5)	0(5)	38	

- Species richness and composition (생태지표)
 - Total number of native species (TNS, 한국고유종수)
 - Total number of riffle-benthic species (RBS, 여울성-저서종수)
 - Total number of sensitive species (TSS, 민감성종수)
 - Proportion of tolerant species (PTS, 내성종의 상대빈도)
- Trophic composition (먹이습성)
 - Proportion of omnivore species (POS, 잡식성의 상대빈도)
 - Proportion of carnivore species (PCS, 육식종의 상대빈도)
 - Proportion of insectivores species (PIS, 충식종의 상대빈도(초식성+플랑크톤))
- Fish abundance and condition (풍부도 및 건강성)
 - Total number of individual (TNI, 한국고유어종의 총 개체수)
 - Proportion as a number of exotics species (PNES, 외래도입의 상대빈도)
 - Proportion as a number of abnormal individual (PNAI, 비정상개체 상대빈도)
- IBI 점수: 최적(45~50점), 양호(37~44), 보통(29~36), 약화(10~28), 최악(10 이하)

및 하상재료에 대한 HSI를 계절별(4월, 6월 및 9월)로 산정한 값이다. 표 2는 앞섬대교 부근 지점의 IBI 평가자료이다.

3.4. 물리적 서식처 모의 시스템(Physical habitat simulation system, PHABSIM)을 이용한 생태유량 산정

PHABSIM은 흐름특성(유량-유속, 수심 등)의 변화에 대한 하도구간내 대상어종의 물리적 서식처 변

화를 예측하여 대상어종에 대한 가용(살 수 있는)서식처면적(가중된 가용면적, Weighed usable area; WUA)-유량 관계를 통해 서식에 필요한 최적 유량을 산정한다(Petts and Maddock, 1998). 어류를 중심으로 하는 생태학적 추천 유량의 산정은 수위, 유량 및 하천단면 등의 현장 조사 결과와 본 조사에서 작성한 서식처 적합도 지수로 PHABSIM에 적용하여 어종별 WUA-유량관계 곡선을 작성하였다. 그림 5는 쉬리, 피라미 및 감돌고기의 계절별 WUA-유량관계 곡선과 각 단면의 WUA를 나타내었다.

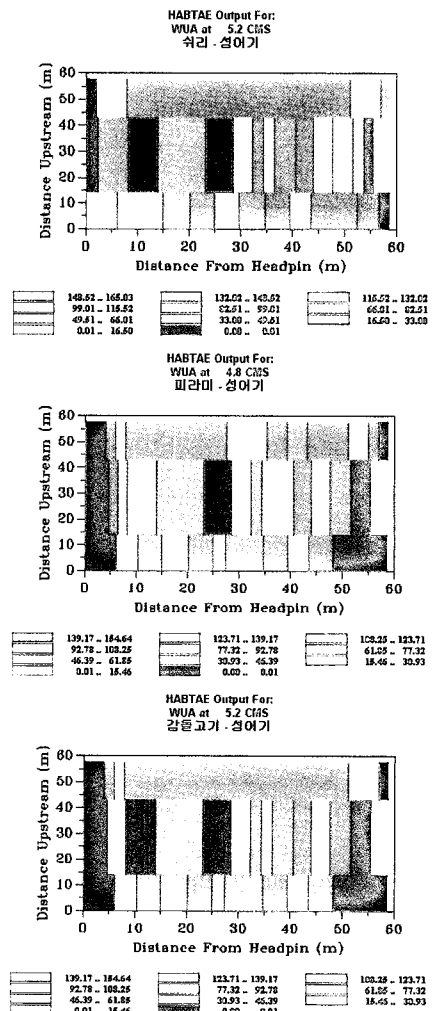
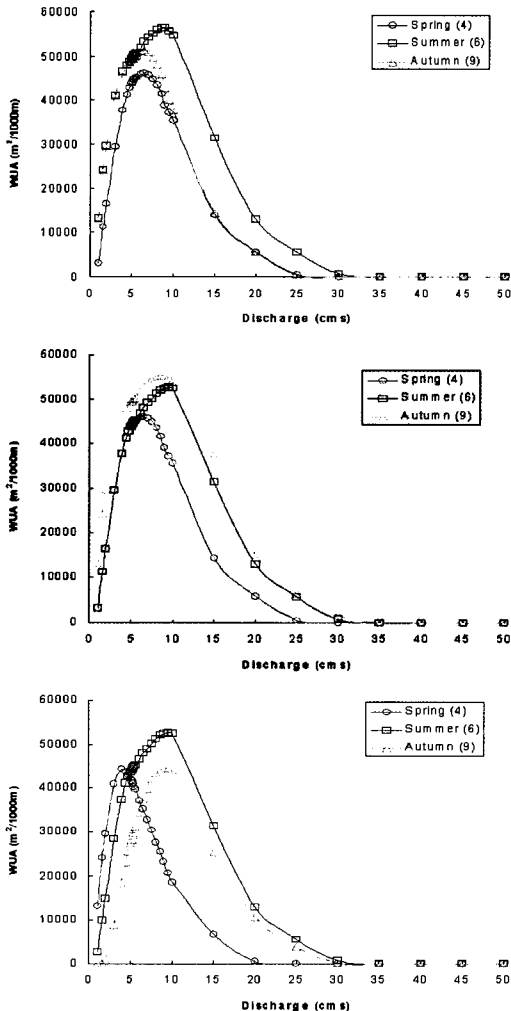


그림 5. PHABSIM에 의한 쉬리, 피라미 및 감돌고기의 계절별 생태유량 산정

4. 결론

생태 모니터링을 통한 서식환경 특성을 파악하여 생태필요유량 산정에 요구되는 객관적인 기초자료를 바탕으로 유량산정과 건강성 평가를 실시하였다. 본 연구에서 실시하고 있는 생태 모니터링 자료에 의해 구축된 DB, 서식장소에 따른 어류의 분포, 생태 및 수리학적 서식처 조건들은 하천생태 서식환경을 평가에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 생태 및 수리학적 조사를 지속적이며, 체계적으로 실시하여 생태유량 확보기술 개발 및 국가 수환경 연구 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신연구개발사업의 일환으로 진행되는 '자연과 함께하는 하천복원기술개발(Ecoriver 21)' 중 '어류생태 모니터링 및 조절하천 유지유량 확보기술(3-1과제)' 지원으로 이루어진 연구 성과입니다.

참고문헌

- Arthington, A.H., S.E. Bunn, N.L. Poff, and R.J. Naiman. 2006. The challenges of providing environmental flow rules to sustain river ecosystem. *Ecological Applications* 16: 1311-1318.
- Petts, G.E. and Maddock. 1998. Flow allocation for in river needs. *The river handbook hydrological and ecological principles*, 2: 289-307.
- 한국수자원공사. 1995. 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용. IPD-95-2. 연구보고서, pp. 247-264.