

유지유량 증분 방법론(IFIM)에 의한 한강수계 주요 지류에서의 어류서식 필요유량 산정

Estimation of Instream Flow for Fish Habitat using Instream Flow Incremental Methodology(IFIM) for Major Tributaries in Han River Basin

이주현* · 정상만** · 이명호*** · 이용수***

Lee, Joo Heon · Jeong, Sang Man · Lee, Myung Ho · Lee, Yong Su

Abstract

To recommend ecological flow for major tributaries in Han River basin, the Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) have been applied. In particular physical habitat simulation using PHABSIM have been selected for microhabitat variables and QUAL2E model have been used to implement macrohabitat simulation. Habitat Suitability Criteria (HSC) for different life stages in accordance with different hydraulic variables (depth and velocity) have been presented by the field surveying data. We review IFIM procedures and discuss limitations of habitat simulation with specific reference to Han River basin. The results of this research can be used as reference flow for estimation of instream flow in Han River.

Keywords : *instream flow, IFIM, PHABSIM, ecological flow recommendation*

요 지

본 연구에서는 한강 수계의 주요 지천별 어류 서식환경을 고려한 필요유량을 산정하기 위하여 어류서식처 환경평가방법의 한가지인 유지유량 증분 방법론(IFIM)을 적용하였으며 어류의 미시서식처 조건을 만족하는 적정 필요유량을 산정하기 위하여 물리적 서식처모의 시스템(PHABSIM)을 이용하였고, 어류의 거시서식처 조건을 만족하는 적정 필요유량을 산정하기 위하여 QUAL2E 모형에 의한 수질모의를 시도하였다. 물리적 서식처모의 시스템을 한강수계에 적용하기 위하여 구간별 대표 어종의 성장단계별 서식처 적합도기준(Habitat Suitability Criteria)을 현장조사에 의한 어류채집을 통하여 수심 및 유속에 대하여 각각 작성하였다. 유지유량 증분 방법론을 한강수계에 적용하는 과정에서 산정결과에 대한 토의와 함께 적용상의 문제점에 대하여 분석하였다. 본 연구결과는 향후 한강수계의 하천유지유량을 결정하는데 중요한 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 하천유지유량, 유지유량 증분 방법론, 물리적서식처모의시스템, 생태학적 추천유량

1. 서 론

국민소득 증가와 생활수준 향상에 따라 보다 쾌적하고 자연스러운 하천을 선호하고 지향하는 것이 최근의 추세이나, 그에 반해 물 수요는 지속적으로 증가하고 있으며 하천에서 취수하여 이용하는 물의 용량 또한 점점 증가하여 하천환경 차원에서 연중 충분한 물을 확보하기는 점점 어려운 실정이다.

이에 따라 하천유지 및 관리를 위하여 하천법에 하천의 정상적인 기능 및 생태를 유지하기 위해서 필요한 최소한의 유량으로 규정된 하천유지유량을 산정하고 고시 또는 설정토록 되어 있다. 그러나 갈수기 또는 가뭄시 인간의 활동에 필요한 각종 용수(생활, 공업 및 농업용수 등)의 우선 공급,

하천유지유량과 기존 수리권과의 관계 미 정립, 하천유지유량의 역할 및 법적 지위 미 수립 등으로 인하여 하천유지유량은 제대로 확보 또는 관리되지 못하고 있는 것이 현실이다.

특히 담수성 어류를 포함한 하천 동·식물은 유량에 영향을 많이 받고 있다. 하천 생태계가 서식하는 기반은 물 자체와 유량에 따라 형성되는 바닥 및 물가 흐름 영역과 하천에 서식하는 동식물간의 관계, 즉 생태계 구조와 상호작용 두 가지로 구분되어지며 그 중 하천개발 및 유지관리 측면에서 중요한 관심사는 유량 측면에서의 수심, 유속조건, 수온, 탁도, 오염도등을 포함한 수질조건, 먹이섭취 은신처 등의 확보를 위해 필요한 하상재료 분포와 같은 물고기 서식처 환경에 기반을 이루고 있으며 생태계를 보호하기 위해서

*정회원 · 중부대학교 사회기반시스템공학과 부교수(E-mail: leejh@joongbu.ac.kr)

**정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 정교수(E-mail: smjong@kongju.ac.kr)

***중부대학교 대학원 사회기반시스템공학과 석사과정(E-mail: leemh@joongbu.ac.kr)

****정회원 · (주)도화종합기술공사 수자원개발부 이사(E-mail: lyswater@dohwa.co.kr)

면 치명적인 타격을 받게 된다. 따라서 어류가 생존하기에 필요한 최소한의 유량을 설정하기 위해서는 한계구간을 설정하고 그 구간에서 서식처 수리 조건을 만족시키는 유량을 산정할 필요가 있다(김규호, 1999).

이러한 고려사항을 기준으로 본 연구에서는 평창강, 달천, 문막(섬강), 청미천, 복하천, 경안천, 안양천, 홍천, 내린천을 선택하였으며 표 1은 필요유량 산정지점을 나타내고 있다.

3. 유지유량 증분 방법론(Instream Flow Incremental Methodology)

3.1 이론적 고찰

유지유량 증분 방법론(IFIM)이란 수중생태계의 서식환경을 충족시키기 위하여 유지유량과 관련된 다양한 문제를 해결하기 위한 일종의 하천유지유량 산정 절차 및 방법이다. 여기서 “증분(Incremental)”이란 용어의 의미는 문제의 해를 찾을 때까지 유량을 약간씩 증가하면서 최적의 유지유량을 산정한다는 의미를 갖고 있다.

유지유량 증분 방법론은 거의 대부분의 서식처 유형에 적용이 가능하고, 유지유량 증분 방법론에 사용되는 서식처 적합도 지수는 어류와 파충류, 양서류 등을 포함한 일반적인 수생생물의 다양한 성장단계는 물론, 래프팅과 같은 레크리에이션의 목적에도 적용이 가능하다.

유지유량 증분 방법론의 절차는 크게 하천 개발 사업 전후에 대한 제도 분석, 분석전략 및 계획 수립을 통한 연구 목적을 결정하는 과정이며 어류의 미시서식처에 대한 서식환경 모의를 위해서 개발된 물리적 서식처모의시스템(PHABSIM)을 통해 최적유량을 결정한다. 마지막으로 서식처 모의 결과에 대한 대안을 비교검토하여 의사 결정자와 주민 등의 의견을 반영하는 과정이 고려되고 합의가 원만히 이루어질 때까지 이상의 과정을 반복하는 것이며 표 2는 유지유량 증분 방법론의 개요를 나타내고 있다.

물리적 서식처모의시스템은 유량과 여가활동 또는 특정 어류의 다양한 성장단계에 따른 관계를 모의하는 수치모형으로서 즉, 어류가 이용하기에 적합한 물리적 서식처의 조건은

유량에 따라 변하며, 개별 유기체는 각각의 유기체별로 최상의 선호 유지조건을 선택하는 경향이 있어서 유지조건이 점점 나빠짐으로써 서식처 선호도가 감소하고 이로 인하여 이용할 수 있는 서식처가 점점 적어진다고 하는 전제를 배경으로 하고 있다. 물리적 서식처모의시스템은 바로 이 가용 서식처-유량간의 관계를 구하는 것이다(Millhous 등, 1989).

물리적 서식처모의시스템에서 최종적으로 얻어지는 곡선은 서식적합도 기준을 이용하여 유량에 따른 복합성분인자, 즉 가중가용면적(Weighed Usable Area, WUA)-유량 관계곡선이다. 가중가용면적(WUA)은 하천 내 하도 공간상의 물리적 서식처로서 특정 어종의 성장단계별 서식 조건을 각각 가중한 하도 면적이다. 가중가용면적은 어떤 어종이 특정 성장단계별로 주어진 구간을 이용할 수 있는 순수 적합도에 대한 하나의 지표라고 할 수 있다.

$$WUA(\text{가중가용면적}) = \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (1)$$

여기서, A_i : 각 셀의 구간면적

C_i : 각 셀의 복합 서식처 적합도 지수(수심, 유속, 하상재료에 따른)

한편, 복합 서식처 적합도 지수를 산정하는 방법으로는 곱셈법(Standard Calculation), 기하평균법(Geometric Mean) 및 최소치법(Lowest Limiting Factor) 등이 있으며 본 연구에서는 곱셈법을 이용하여 산정하였다.

물리적 서식처모의시스템의 모의절차는 우선적으로 대상지점을 선정하고 대상지점의 수리학적 구조와 더불어 유속, 수심, 하상재료 및 수온 등을 조사 어류의 서식처적합도기준(Habitat Suitability Criteria, HSC)을 작성한다. 구축된 입력자료를 토대로 물리적 서식처모의 시스템을 운영하며 모의 결과로 가중가용면적(WUA)을 산출하게 된다.

서식처모의에는 수온과 수질의 적합도 기준에 따른 가용하도길이를 계산하는 하도구간 전체에 대한 거시서식처 모의와 수심, 유속, 하상재료의 적합도에 따른 서식처면적을 계

표 2. 유지유량 증분 방법론의 개요

절차	세부내용
연구목적의 설정	<ul style="list-style-type: none"> • 제도분석 및 계획수립을 통한 연구목적결정 • 지리적 범위설정 • 제약요소들이 해결 가능한지 판단
연구계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 대상구간 및 조사시기 설정 • 정보수집 • 수집된 데이터 분석 • 수문량 시계열 분석 • 갈수시기 및 홍수기 조사 • 대상 어종분석 및 서식처 조건 분석
연구수행 - 자료수집 - 모형검정 - 서식처 모의 - 해석	<ul style="list-style-type: none"> • 유속, 수심, 생태학적 지수 조사 • 어류의 적합도 지수 조사(수온 및 수질) • 검증된 모형 결정 • 유량 및 생태학적 지수 산정 • PHABSIM을사용한가중가용면적(WUA)산출
대안 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 여러 가지 대안의 비교 검토(물 관리단체) • 성어기, 산란기 대책 수립
의사결정	<ul style="list-style-type: none"> • 여러가지요소들의비교검토를통한의사결정

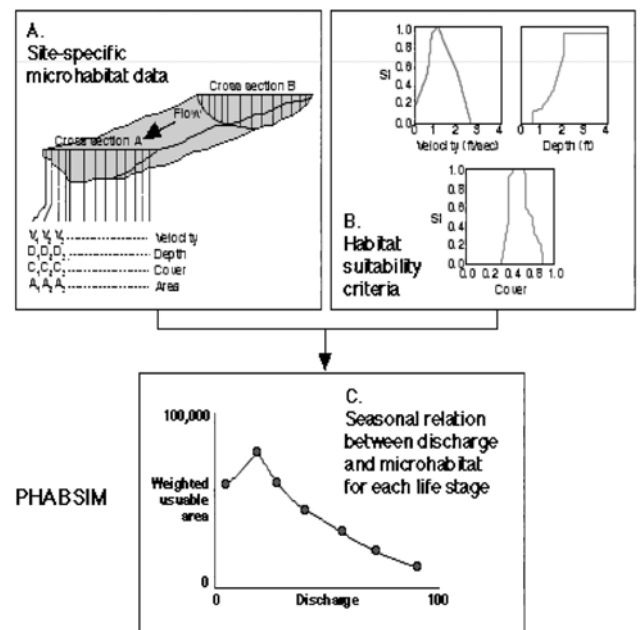


그림 2. PHABSIM 개념 모식도

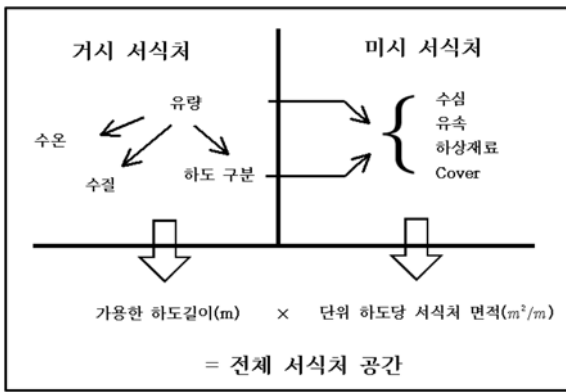


그림 2. PHABSIM 개념 모식도

산하는 즉, 하도구간을 작은 면적의 셀로 나누어 계산하는 미시서식처 모의가 있다. 그림 2는 물리적 서식처모의시스템의 개념 모식도를 보여주고 있으며 그림 3은 물리적 서식처 모의시스템의 구성과 모의 흐름도를 나타내고 있다.

3.2 현장조사

대표지점으로 선정된 구간에 대한 어류의 서식환경을 고려한 필요유량을 결정하기 위해서 물리적 서식처모의 시스템(PHABSIM)을 적용하게 되며 실제모의에 필요한 입력 자료의 구축이 선행되어야하며, 이를 위해서는 대상 지점의 유속 분포, 수심분포 및 하상재료에 대한 현장조사가 필요하다.

대상지점의 하천구간에 대한 종횡단면을 측정하였으며 종단측량을 따라 하천 유심의 직각방향으로 횡단측량을 실시하였고 또한 종횡단측량시 각 횡단별로 하상재료 조사 및 수집된 현장조사 자료를 활용하여 대상지역 수심, 유속 및 하상재료 분포도를 작성하는데 이용하였다. 그림 4는 본 연구의 대상지점중 한곳인 경안 지점의 단면측량결과와 유속 측정결과를 보여주고 있다.

현지 측량시 어류의 서식처 적합도 기준을 마련하기 위한 어류 채집이 동시에 이루어 졌으며 특히 어류 채집은 성어기와 산란기를 구분하여 시도되었다. 어류 서식처 적합도 지수 산정을 위한 어류채집 및 현장조사는 어류의 일반적인 성장기인 하계에서 추계와 산란기인 춘계로 나누어 각 2회씩 총 4회에 걸쳐서 실시하였다. 어류의 채집은 각 하천의 조사대상 지점에서 하루부에서 시작하여 상류부로 이동하며 투망(망목 5×5 mm)을 이용하여 채집하고 투망이 투적된 지

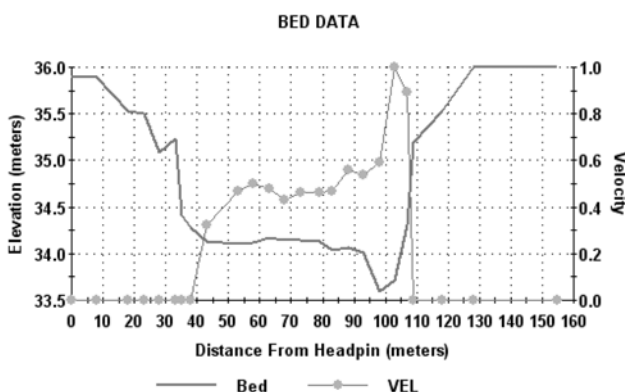


그림 4. 단면측정결과 및 유속측정 결과(경안)

점의 유속, 수심, 하상재료 등을 평가하였다.

또한 유속 및 수심측정은 대상지점의 종횡단 측정시 병행하였으며 조도계수는 현장에서 측정된 종횡단 측정자료, 유량 및 수심자료와 1차원 부등류 해석을 통하여 역산으로 결정하였다. 각 대상지점별 조도계수를 결정하기 위하여 해당 하천의 하천정비기본계획을 조사하였으며 해당 하천별로 제시되어 있는 구간별 조도계수를 초기치로 하여 시행착오법으로 모의치와 실측치가 가장 일치할 때의 조도계수를 최종값으로 결정하였다.

3.3 어종별 서식처 적합도 기준(Habitat Suitability Criteria) 산정

산정

물리적 서식처모의시스템의 적용을 위해서는 대상지점의 하도구간별 대표어종 및 대리어종의 성장단계에 따른 서식처 적합도 지수가 산정되어야 하며 본 연구에서는 한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서(건설교통부, 1998)에서 조사된 한강수계 담수어 현황 자료 및 대표어종의 서식처 수리조건을 활용하여 각 산정 지점별 대표어종으로서 피라미 및 갈겨니를 선정하여 성어기와 산란기 서식처 적합도 기준을 작성하였다.

서식처 적합도를 작성하는 방법으로는 크게 이분법, 단일변량곡선법 및 다변량응답 평면법이 있으며 과거의 국내 연구가 대부분 이분법을 이용하고 있지만 본 연구에서는 단일변량곡선 형태가 이분법에 비하여 유연하게 어류의 서식처 적합도를 표현할 수 있다는 연구결과(강정훈, 2003)와 이분법에 의한 결과를 반영하여 준 단일변량 곡선형태로 작성하였다. 적합도 기준은 WDFW(Washington Department of Fish and Wildlife, 1996)에서 제시한 “Instream Flow Study Guidelines”를 토대로 작성하였으며 또한 한강수계의 지표어종으로 선정된 피라미 및 갈겨니에 대하여 각 구간별로 유속, 수심의 각 해당범위에 대한 서식처 적합도 기준을 마련하였다.

서식처 적합도 지수를 산정하기 위하여 먼저 대상지점내 수심별로 조사된 어류 마리수를 수심범위별로 분류하고 대상지역에서 관측된 전체 관측 마리 수에 해당수심 면적 백분율(D)을 곱하여 각각의 수심별로 관측 기대치(E)를 산정하여 관측 기대치(E)가 최소 5 이상이 되도록 계급구간을 재조합한다. 각각의 수심 범위별로 관측기대치에 대한 관측마리수의 비율을 산정하고, 여기서 산정수심 범위의 최대값을 적합도 지수(P)를 1.0으로 한 수심범위별 적합도 지수로 환산한다.

본 연구에서는 어류 서식처 적합도 지수를 산정하기 위하여 총 8개의 서로 다른 지점에 대하여 어류채집, 단면측량,

표 3. 대상지점별 대표어종

대표지점	대표어종	대표지점	대표어종
평창	피라미	내린천	피라미
달천	피라미	홍천	갈겨니
문막	피라미	경안	피라미
청미	피라미	안양	피라미
북하교	피라미		

표 4. 유속 조건에 대한 서식처 적합도 기준 작성

유속 범위(m/s)	전체면적에 대한 해당 수심범위 백분율(D)	관측어류 마리수 (O)	관측 기대치(E)	O/E	O/E 최대값을 1.0으로 환산한 적합도 지수(P)
0.00~0.20	6.2 %	O = 23	E = 8.375	O/E = 2.746	P = 0.936
0.20~0.25	6.4 %	O = 41	E = 13.975	O/E = 2.934	P = 1.000
0.25~0.30	11.4 %	O = 12	E = 13.693	O/E = 0.876	P = 0.299
0.30~0.35	17 %	O = 23	E = 11.708	O/E = 1.964	P = 0.670
0.35~0.40	18.2 %	O = 1	E = 15.869	O/E = 0.063	P = 0.021
0.400.45	30.1 %	O = 17	E = 25.509	O/E = 0.666	P = 0.227
>0.45	10.7 %	O = 17	E = 54.637	O/E = 0.311	P = 0.106

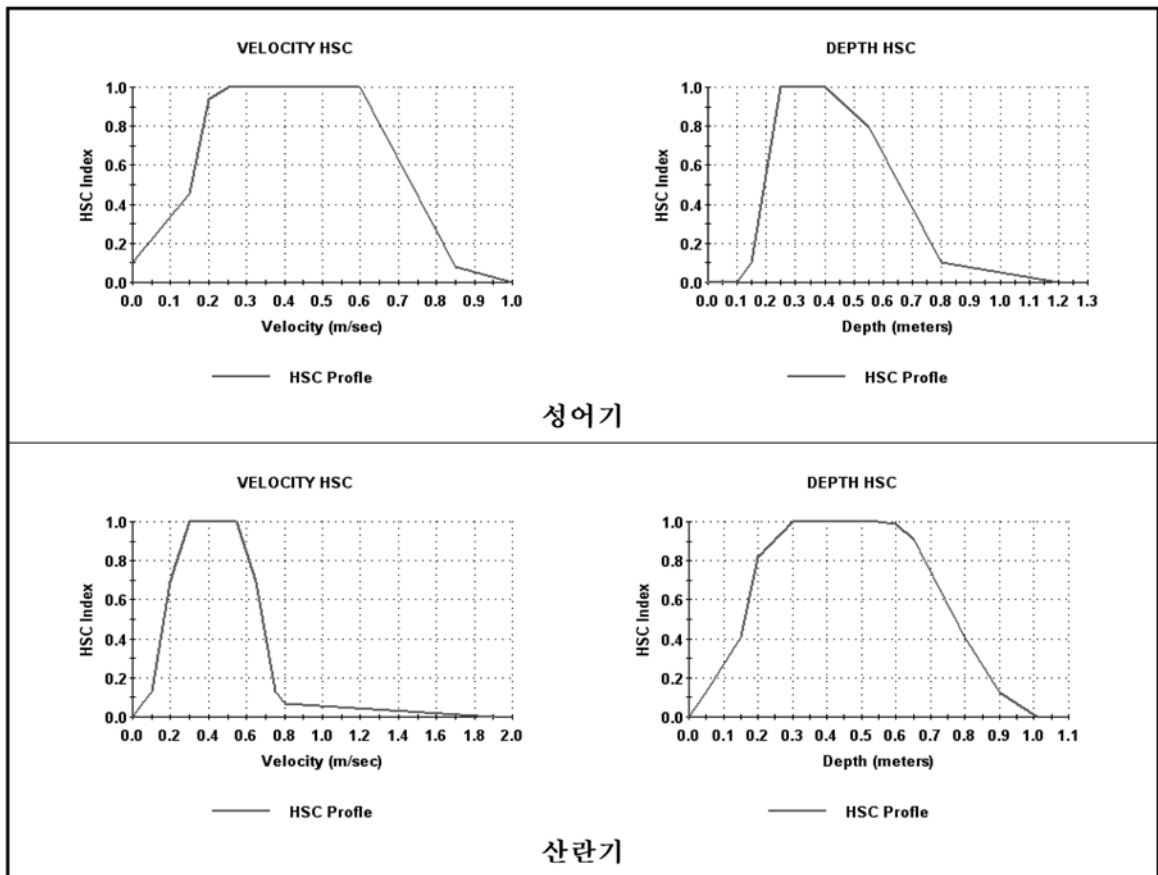


그림 5. 피라미의 유속, 수심에 대한 서식처 적합도 기준 곡선

유량측정 등의 현장조사를 실시하였으며 표 4에 나타난 적합도지수는 8개의 지점중 하나의 지점에 대한 적합도 지수 산정결과이다. 표 4에서 알 수 있듯이 각 지점별 어류의 적합도 지수는 단일변량곡선법의 기본형인 종모양을 나타내지 않고 상당히 불규칙한 형태로 나타났으며 이는 장기간 동안 다수의 현장 조사를 통하여 채집된 결과를 활용하지 못한 관측횟수의 부족이 원인인 것으로 분석되었다.

그림 5를 보게 되면 수심이 0.3-0.5m일 때 산란기의 적합도 지수가 1.0으로 나타났지만 실제 어류채집 결과에서는 적합도지수가 1.0으로 나타나지 않은 지점도 있었으며 유속의 경우에도 산란기에는 유속이 0.3-0.55 m/sec에서 적합도 지수가 1.0로 표시되어 있지만 실제 현장조사 자료에서는 그 영역에서 적합도 지수가 1.0으로 나타나지 않은 지점도 발생하였다.

따라서 각 지점별로 현장조사를 통하여 산정된 어류의 적합도 지수와 대표어종(피라미, 갈겨니)의 서식처 수리조건(건

설교통부, 1998), 어류전문가의 지문 등을 조합하여 각 수심 및 유속에서의 성장단계별 적합도 가 1.0인 구간을 설정하고 어류 채집과정에서 가장 깊은 수심이었고 실제로 어류가 출현하지 않았던 1.0m(산란기)와 1.2 m(성어기)에서의 적합도 지수를 0으로 결정하여 그림 5와 같은 서식처 적합도 지수를 작성하였다.

표 4는 유속 조건에 대한 서식처 적합도 기준 작성과정을 나타내고 있으며 그림 5는 이와 같은 과정에 의해서 작성된 피라미의 성장단계별 서식도 적합도 곡선을 나타내고 있다.

4. 필요유량의 산정

4.1 어류 서식처를 고려한 필요유량

필요유량의 산정은 유지유량 증분 방법론의 미시서식처 및 거시서식처 모의를 통하여 산정하였으며 특히, 어류의 미시서식처 서식조건을 고려한 필요유량 산정은 어류서식처 적합

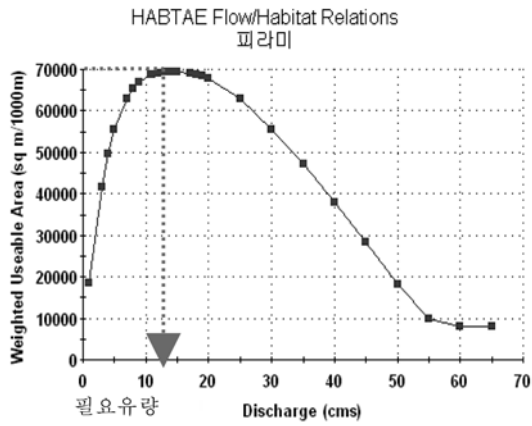


그림 6. 가장가용면적곡선(경안지점 성어기)

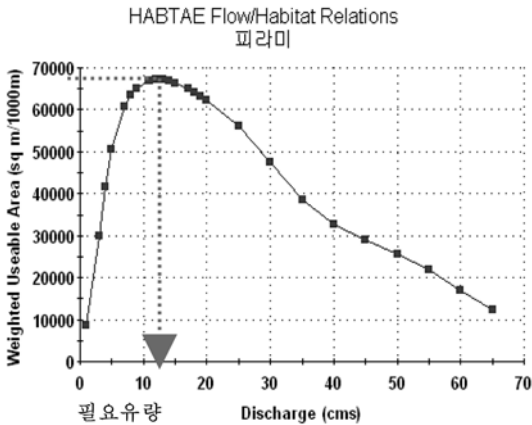


그림 7. 가장가용면적곡선(경안지점 산란기)

도 기준을 적용시켜 물리적 서식처모의 시스템(PHABSIM)을 통해 산정하였다. 물리적 서식처모의 시스템(PHABSIM)을 통하여 최종적으로 얻어지는 결과는 가장가용면적(Weighted Usable Area, WUA)-유량 관계 곡선이다. 가장가용면적의 결과는 유량조건별, 어종별, 성장단계별로 계산된 가장가용면적을 표와 그래프를 통해서 도시하고 가장가용면적이 가장 크게 나타날 때의 유량을 미시서식처 조건을 고려한 최적의 필요유량으로 제시하게 된다(USGS, 2001).

그림 6 및 그림 7은 물리적 서식처모의 시스템(PHABSIM)을 통하여 산정된 경안지점의 성어기와 산란기의 유량별 가장가용면적곡선을 나타내고 있으며 그림에서 알 수 있듯이 가장가용면적(Weighted Usable Area, WUA)이 최대로 나타나는 점에 해당되는 유량을 산정하여 지점별 필요유량으로

표 5. 서식처 조건의 필요유량 산정결과

하천명	대표 지점	성어기 필요유량 (m ³ /S)	산란기 필요유량 (m ³ /S)
평창강	평창	17.4	24.0
달천	달천	15.0	17.0
섬강	문막	10.2	19.4
청미천	청미	9.1	8.1
북하천	북하교	8.5	9.5
내린천	내린천	2.1	3.0
홍천강	홍천	2.5	3.3
경안천	경안	13.0	14.0
안양천	안양	9.0	7.1

결정하였다. 표 5는 물리적 서식처 모의를 통하여 산정된 대상지점별 어류 서식처 조건을 고려한 필요유량을 나타내고 있다.

4.2 수질을 고려한 필요유량

어류의 거시서식처 모의를 위해서는 대상 하천구간의 수온 및 수질에 대한 검토가 이루어져야 하며 이와 함께 본 연구의 대상 어종인 피라미 및 갈겨니의 수질 서식환경을 결정해야 한다. 피라미 및 갈겨니의 수질 서식환경은 기존의 관련연구(건설교통부, 1998)에서 이미 결정된 바 있으며 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서(건설교통부, 1998)에서 제시한 한강 유역의 대표어종과 대리어종, 그리고 일부 서식 어종별 생태학적 요구조건 중에서 피라미와 갈겨니에 대한 습성과 서식환경을 표 6에 나타내었다.

표 6에 나타난 바와 같이 피라미와 갈겨니가 서식 가능한 수질조건 중에서 수온의 경우는 각각 30°C 및 25°C이하에서 서식이 가능한 것으로 조사되어 현재의 수온을 고려할 때 큰 문제가 없었으며 BOD의 농도는 2~5 ppm사이로서 2 급수 수준에서도 서식이 가능한 것으로 조사되었다.

한편 대상 하천의 거시서식처 모의를 위해서 수질 모의모형을 선정하였으며 수질모의는 전체 대상지점 중에서 평창강, 청미천, 북하천 및 안양천 유역을 제외한 달천, 섬강, 내린천, 홍천 및 경안천 유역에 대해서만 수행하였다. 각 대상하천 구간은 모두 환경부의 목표수질 1등급 구간으로서 본 연구에서는 QUAL2E를 이용하여 BOD 수질현황 및 장래수질예측을 동시에 실시하였으며 또한 어류의 거시서식처 환경을 고려한 추천유량의 산정을 위하여 각 대상하천 유역별 유량-BOD 농도 곡선을 그림 8과 같이 작성하였다. 작성된 하천별 유량-BOD 농도 관계곡선에 피라미 및 갈겨니의 BOD 기준 서식환경 기준을 그림 8과 같이 도시하여 각 대상지점별로 2-5 ppm을 확보하기 위한 유량규모를 산정하여 수질조건 고려한 필요유량으로 결정하고 표 7에 나타내었다.

4.3 결과의 고찰

한강수계의 하천유지유량을 결정하기 위하여 하천경관, 생태계 및 레크리에이션 등을 고려한 최소한의 필요유량을 결정하여 제시된 기존의 연구결과를 쉽게 찾아 볼 수 있으며 최근에 발표된 자료로서 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서(건설교통부, 1998)에서도 한강수계의 각 하도구간별로 하천유지유량을 결정하여 제시한 바 있다. 따라서 본 연구에서 수행된 어류의 미시서식처 조건 및 거시서식처 조건을 고려하여 산정된 필요유량 산정결과와 비교하여 표 8에 나타내었다.

한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보

표 6. 한강에 대한 대표어종과 대리어종의 습성과 생활환경(한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서(건설교통부, 1998))

어종명	산란장소	어종별 서식을 위한 수질환경		
		수질(등급)	수온(°C)	BOD(ppm)
갈겨니	여울	2	25 이하	2-5
피라미	여울	2	30 이하	2-5

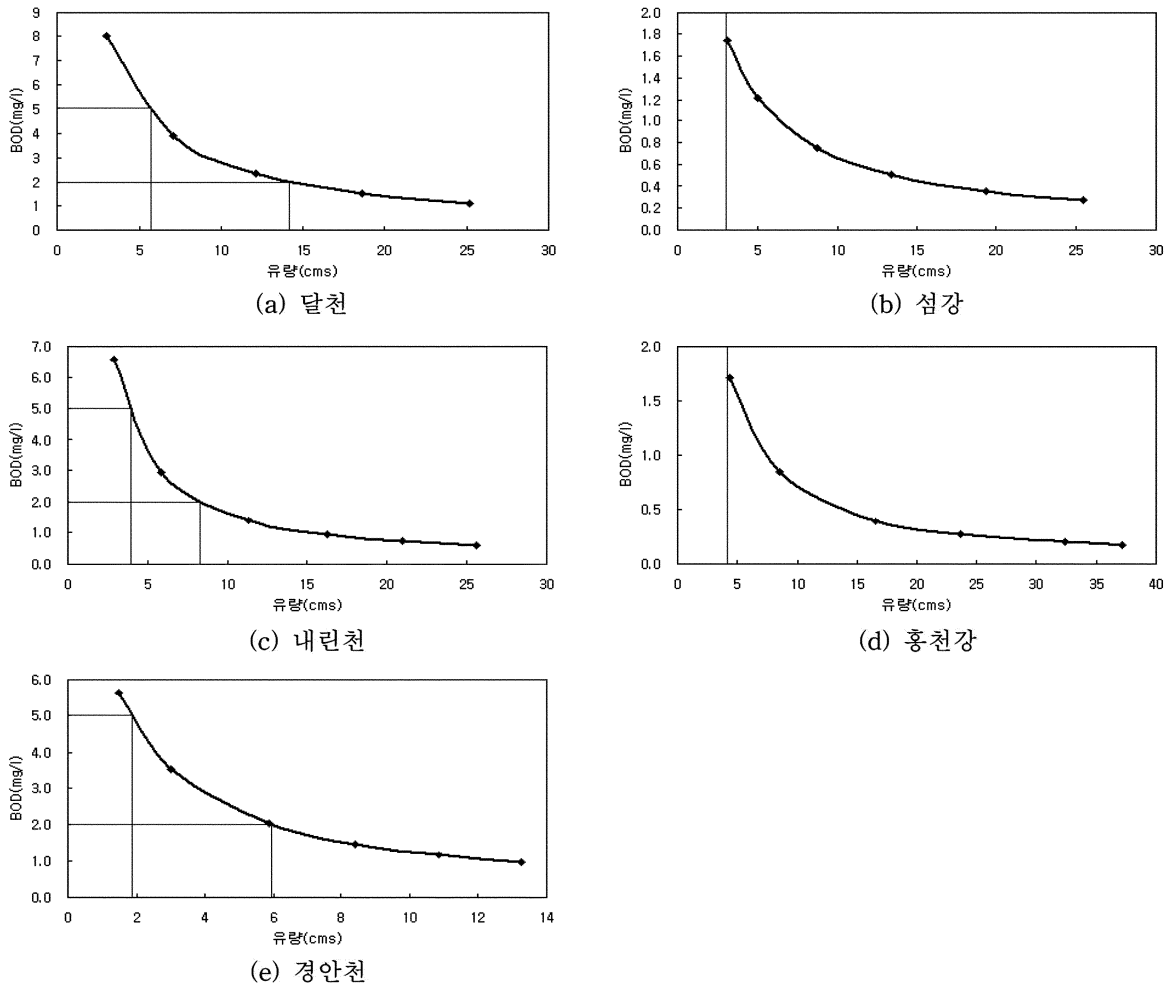


그림 8. 유역별 유량-BOD 곡선에 의한 필요유량 산정

표 7. 수질조건을 고려한 필요유량 산정 결과

하천명	대표지점	대표어종	대표어종별 수질조건(BOD)을 고려한 필요유량(m ³ /S)	
			상한(2.0ppm)	하한(5.0 ppm)
달천	달천	피라미	14.7	5.2
섬강	문막	피라미	2.7	-
내린천	내린천	피라미	7.5	4.0
홍천강	홍천	갈겨니	4.7	-
경안천	경안	피라미	5.9	1.8

고서(1998)에서 결정된 구간별 하천유지유량 값들의 기준은 대부분 하천생태계를 고려하여 결정된 값이며 경안과 안양

의 경우만이 기준갈수량을 기준으로 결정된 값으로서 본 연구에서 산정한 어류의 서식처 조건을 고려한 필요유량 및 어류의 수질조건(BOD)을 고려한 필요유량이 다소 크게 산정된 것을 알 수 있다. 본 연구에서 산정된 결과와 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서(1998)에서 결정된 구간별 하천유지유량 값이 다소 차이를 보이는 이유는, 근본적으로 어류의 서식조건을 모의하는 방법에 차이가 있기 때문인 것으로 판단된다. 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서(1998)에서는 대상지점별로 수위-유속-유량 관계를 도출하여 대표어종별 수리학적 서식조건에 해당하는 유량을 구하는 방법을 이용함으로써 본 연구에서 사용된 물리적서식처모의시스템에 의한

표 8. 한강수계 어류 서식환경을 고려한 필요유량 산정결과와의 비교

하천명	대표지점	한강수계 하천유지유량 산정(1998) (m ³ /S)	어류의 수질조건 (BOD)을 고려한 필요유량 (m ³ /S)	어류의 서식처 조건을 고려한 필요유량 (m ³ /S)	
				성어기	산란기
평창강	평창	3.6	-	17	24
달천	달천	3.5	5.2~14.7	15	17
섬강	문막	4.2	2.7	10	19
청미천	청미	-	-	9	8
북하천	북하교	1.5	-	8.5	9.5
내린천	내린천	7.6	4.0~7.5	2	3
홍천강	홍천	2.6	4.7	2	3
경안천	경안	0.9	1.8~5.9	13	14
안양천	안양	0.4	-	9	7

결과와는 다소의 차이를 나타내는 것이 당연하다고 판단된다.

한편 어류의 서식처 조건을 고려한 필요유량과 어류의 수질조건(BOD)을 고려한 필요유량이 달천, 내린천 및 홍천지점의 경우에 상당히 비슷한 규모의 유량을 나타내는 것으로 분석되었다.

이와 같이 산정된 한강수계 주요 지천별 필요유량은 향후 하천유지유량을 결정함에 있어서 장래 목표연도에 따라 변화가 예상되는 하천의 인위적 기능을 위한 필요유량과는 관계없이 하천유지유량의 기본개념에 충실하도록 하천의 자연적 기능을 유지하기 위한 하천유지유량을 책정한다는 차원에서 하천에 서식하는 어류의 서식환경을 보전하기 위한 필요유량으로서의 의미가 크다고 판단된다.

다만 하천관리 차원에서 지나치게 큰 유량이 하천유지유량으로 결정되어 고시되는 경우에는 공급자 측면에서 현실성이 결여되는 문제점이 발생할 수도 있으나 본 연구에서 적용된 하천의 물리적 서식처모의 시스템(PHABSIM)은 미국과 같이 하천유지유량의 설정에 있어서 생태계를 매우 중요시 취급하는 국가에서는 하천유지유량의 설정에 절대적인 지표로 이용되고 있는 실정을 감안할 때 어류의 서식환경을 고려한 필요유량이 하천유지유량에서 갖는 의미가 크다고 할 수 있다.

5. 결 론

유지유량 증분 방법론(IFIM)을 적용하여 하천에 서식하는 어류의 미시적, 거시적 서식환경을 보장하기 위한 필요유량을 결정하였으며 이 과정에서 도출된 결론 및 적용상의 문제점과 개선방안을 요약하면 다음과 같다.

1. 생태계를 고려한 필요유량을 산정하는 과거 많은 연구들이 주로 어류의 미시서식처만을 고려하는 단계에서 필요유량을 제시한데 반하여 본 연구에서는 어류의 거시서식처 조건을 고려하기 위하여 해당 하천유역에 대한 수질모의를 시도하였으며 어류의 미시 및 거시서식 환경을 고려한 필요유량 산정결과 전반적으로 각각의 산정결과가 매우 근소하게 나타났다.
2. 어류의 미시서식처 모의를 위하여 물리적 서식처모의 시스템(PHABSIM)을 이용하였으며 이분법 및 현장조사를 통하여 준 단일변량곡선법에 의한 대표어종별, 성장단계별 서식처 적합도 기준(Habitat Suitability Criteria)을 작성하였다. 단일변량곡선법은 국내에서 주로 제시되었던 이분법에 비하여 보다 다양한 범위에서의 서식처 적합도 기준을 제시하지만 정확한 기준을 작성하기 위해서는 장기간에 걸친 다수의 현장조사가 동반되어야 할 것으로 사료된다.
3. 하천유지유량을 결정함에 있어서 하천관리 차원에서 지나치게 큰 유량이 하천유지유량으로 결정되어 고시되는 경우에는 공급자 측면에서 현실성이 결여되는 문제점이 발생할 수도 있으나 하천의 인위적 기능을 위한 유지유량(instream flow)과는 관계없이 하천의 자연적 기능을 유지하기 위한 환경유량(environmental flow)을 책정한다는 차원에서 본다면 본 연구결과가 갖는 의미는 크다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부, 한국수자원공사에서 수행되었던 한강유역조사 사업의 일환으로 수집된 자료를 이용하였으며 자료를 제공해 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

건설교통부(1998) **한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서**, 건설교통부.

김규호, 이진원, 홍일표, 우효섭(1996) “하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용 : 산정방법”, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제29권 제5호, pp. 185-202.

강정훈(2003) **어류에 서식처 조건을 고려한 하천에 필요유량산정에 관한 연구**, 박사학위논문, 경희대학교.

김규호(1999) **하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정**, 박사학위논문, 연세대학교.

우효섭, 이진원, 김규호(1998) “물고기 서식처를 고려한 하천유지유량 결정방법의 개발 금강 본류에의 적용”, **대학토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제18권 제II-4호, pp. 339-350.

한국건설기술연구원(1998) **한강 유역 하천생태계(어류) 및 서식환경 조사보고서**.

한국수자원공사(1995) **하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용**. IPD-95-2. 연구보고서, pp. 249-264.

Bovee, K.D. and R.T. Milhous (1978), *Hydraulic Simulation in Instream Flow Studies : Theory and Techniques*, Instream Flow Information Paper No. 5, U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, FWS/OBS-78/33, Fort Collins, Colorado.

Bovee, K.D. (1986) *Development and Evaluation of Habitat Suitability Criteria for Use in the Instream Flow Incremental Methodology*, Instream Flow Information pp No. 21 U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, FWS/OBS-86/07, Fort Collins, Colorado.

Bovee, K.D., Lamb, B.L. Bartholow, J.M. Stalnaker, C.B. Taylor, J., and Henikson, J. (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.

Calow, P. and Pett, G.E. (1994) *The River Handbook : Vol 2. Hydrological and Ecological Principles*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.

Gore, J.A., J. and Petts, G.E. (1989) *Alternatives in Regulated River Management*, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Jowett, I.G. (1997) “Instream flow methods: a comparison of approaches”, *Regulated Rivers : Research Management*, Vol. 13, pp. 115-127

Loar, James M., and Michael J. Sale (1981) *Analysis of Environmental Issues Related to Small-Scale Hydroelectric Development: V. Instream Flow Needs for Fishery Resources*. Publication No. 1829, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, pp. 123

Milhous, R.T., Updike, M.A., and Schneider, D.M. (1989) *Physical Habitat Simulation System Reference Manual-Version II*, Information Paper No. 26. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services Program, FWS/OBS-89/16, Fort Collins, Colorado.

USGS (2001) PHABSIM for Windows, User's Manual and Exercises, Midcontinent Ecological Science Center.

Washington Department of Fish and Wildlife (1996) *Instream Flow Study Guidelines*

(접수일:2005.6.27/심사일:2005.9.27/심사완료일:2005.11.21)