

생태유량 산정을 위한 어류 모니터링 가이드라인 및 적용사례

- 1. 사전조사 -



허 준 옥 |

K-water연구원 위촉연구원
fishhur@kwater.or.kr



김 정 곤 |

K-water연구원 수석연구원
jkkim@kwater.or.kr

1. 서론

환경에 대한 사회적 관심이 높아지면서 생태계(ecosystem)를 고려한 유지유량의 중요성이 증가하게 되었다. 그러나 아직까지 생태계에 필요한 유량산정을 위한 평가방법, 정량화 및 기초 database 등의 객관적 자료는 미흡한 실정이다. 특히, 어류(fish) 및 수생태계를 고려한 유량산정 방법은 기초적인 단계에 있다.

이와 관련 국외에서는 수생태계 조사를 위한 체계적인 매뉴얼을 기초로 하여 수자원, 수리, 생물 및 생태학자가 함께 연구를 실시하여 결과자료를 공유하고 있다. 우리나라에서는 지금까지 관련 기관에서 이러한 연구를 실시하였으나, 수문학적 조건과 생물생태학적 조건을 복합적으로 고려한 하

천 유지유량에 관한 연구는 미흡한 실정에 있다. 이전의 연구에서 어류 서식환경을 고려한 생태유량 산정과 관련하여 수리 및 수문학적인 조건과 어류 생물학적인 조건에서 학제간의 상호연계가 잘 이루어지지 않은 부분이 많다. 수리 및 수문 부분에서 생물자료를 사용하려면 자료의 한계성이 있어 불편하며, 역으로 생물부분에서 수리 및 수문자료를 이용하려면 학제간의 차이가 있어 사용에 어려움이 많다. 구체적으로 국토해양부에서 실시하는 하천 생태 유량산정 등에 환경부 자료는 각 지점의 종 서식특성만을 파악할 뿐 객관적으로 요구되는 수심, 유속 및 하상재료에 대한 자세한 자료를 이용하는 데 한계가 있다.

본 가이드라인은 이러한 장단점을 취합하여 다 학제간 활용할 수 있게 만들었으며, 실제 현장에서 적용하고 보완하여 작성되었다. 아직까지 많은 부분에서 부족한 부분이 있으나 계속해서 자료를 보완할 계획이다. 따라서 본 가이드라인은 이러한 어류생태 모니터링을 통한 서식환경 특성을 파악하여 생태필요유량 산정에 요구되는 객관적인 기초 자료를 조사하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 생태 및 수리학적 조사를 지속적이며, 체계적으로 구축하여 생태유량 확보기술 개발 및 국가 수환경 연구 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

2. 어류생태 모니터링 가이드라인의 배경 및 필요성

하천 생태계에서 환경변화는 어류뿐만 아니라 모든 생물에 서식처(habitat) 및 산란장(spawning ground) 등에 영향을 줄 수 있다. 미국은 1960년대부터 연어과(salmonidae) 어류 개체수가 감소하자 이에 대한 대책으로 어류 서식지 보전을 위한 하천 생태유량에 관한 연구가 처음 소개되었다. 이를 근거로 하여 물리적 서식지 모의시스템(physical habitat simulation system, PHABSIM)(2001)에서 유량-WUA (weighed usable area, 가중가용면적) 관계를 제공하여, 어류서식에 필요한 유량을 산정 및 평가하였다. 이와 더불어 1970년대부터 어류 및 야생동물국(Fish and wildlife service)에서 유지유량 증분법(IFIM)에 의한 어류 종별, 성장단계별 서식지 및 서식지 조건별 수리량을 환산하여 하천 유지유량을 결정하는 연구가 진행되었다(Stalnaker et al., 1995). 또한 미국환경청(US EPA) 및 미국지질조사국(USGS)에서는 ‘모니터링 프로토콜’을 확정하여, 어류 및 각종 생물에 대하여 체계적이고 지속적인 모니터링을 실시하고 있다(Stephen et al., 2002). 이는 다학제간 연계하여 조사 자료의 연관성 등을 파악하여, 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, 동식물의 서식지 등을 종합적으로 고려하여 유지유량을 산정하고 있다(국토교통성, 2001). 또한 건설성에서는 ‘하천수변의 국제조사 매뉴얼’을 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 유량 연구는 금강에 어류 서식처를 고려한 유량 연구(우 등, 1998; 허와

김, 2009; 허 등, 2009), 괴산 달천에 유량 및 수질을 고려한 유량 연구(김 등, 2000), 낙동강 유역 어류 서식환경을 고려한 유량 연구(성 등, 2005), 한강 지류에 어류서식 조건을 고려한 유량 연구(오 등, 2008) 등이 있으나, 수문학적인 조건과 생물생태학적 조건을 복합적으로 고려한 하천유지유량에 관한 연구는 미흡한 실정에 있다. 서론에서 설명한바와 같이, 이전의 연구에서 생태유량 산정과 관련하여 수리 및 수문학적인 조건과 어류생물학적인 조건에서 학제간의 상호연계가 잘 이루어지지 않은 부분이 많다.

국내에 서식하고 있는 한국고유종(Korea endemic species)들은 여울(riffle)과 소(pool)가 반복되는 하천의 특성을 이용하여 서식하고 산란한다. 이는 다양한 종의 서식을 위해서는 다양한 수환경이 제공되어야 한다는 것을 의미한다. 국내 하천은 노년기 평형 하천으로 S자 형태를 띤다. 이런 형태의 하천은 여울과 소를 형성하여 다양한 수심 및 유속을 제공하여, 다양한 부유 및 저서성 어종 등 수심 및 유속에 민감하게 반응하는 종의 서식을 가능하게 한다. 그러나 홍수방지를 위한 하천정비, 유량감소 등의 하천 교란요인에 의해 국내 하천의 경우 직선화되어 수환경이 단순화되고, 이에 따라 종 다양도는 감소하고 있다. 또한 갈수기에 해당되는 4~6월이 어류의 산란기가 집중되는 시기이지만, 효율적인 용수공급을 위한 유량 조절로 인해 어류의 산란에 영향을 끼치고, 이에 따라 종 다양도 및 개체수가 감소하여 하천 내 소수가 서식하는 특정 종은 전멸하는 상황을 초래하기도 한다. 과거 국내 어류조사는 해당수계 및 하천의 어류분포 현황 파악을 중심으로 이루어져 왔기 때문에 생태유량 산정시 기초자료로 활용하거나 직·간접적인 교란요인으로 변화하는 생물상 변화 원인을 분석하는 자료로 활용하기에는 자료의 객관성이 결여되어 있다.

따라서 본 가이드라인에서는 모니터링 기법을 확립하고, 어종별 서식환경 특성을 파악하여 어류 생태계에 필요한 적정 유량산정에 요구되는 객관적인 기초 자료를 구축하기 위한 학제간의 연계성에 대

하여 조사 순서 및 자료를 현장검증을 통하여 정립하고자 한다.

3. 어류생태 모니터링 가이드라인

본 가이드라인은 4단계로 사전조사, 현장조사, 조사결과 정리 및 평가로 이루어져 있다(그림 1). 4단계 중 현장조사 가이드라인 부분은 환경부 및 기타 참고문헌을 많이 인용하여 정리를 하였다. 조사결과 및 평가부분은 조사 목적에 따라 달라질 수 있다.

문헌조사, 청문조사 등의 사전조사를 통해 조사대상 지역의 보호종 서식현황, 일반적 어류 분포현황, 외래종 분포현황 등의 하천 수생태계 특성을 파악한다. 또한 조사하천의 답사를 통해 현장 조사계획을 수립하여 현장조사의 효율성을 높인다. 현장조사는 사전조사를 참고하여 실시하도록 하며 조사지점의 물리·화학적 수환경 전반을 파악할 수 있도록 어류조사 외에도 하상재료, 수심, 수질 및 유속 등의 다양한 기본항목을 선정하여 어류 서식환경과 수환경과의 상호관계를 파악한다. 조사결과를 작성한 조사양식에 따라 정리하며, 결과정리를 통해 구축한 DB를 활용하여 조사대상 지역의 수환경 및 종별 서식 특성을 파악한다.

3.1 사전조사 개요

현장조사 실시 전에 지금까지 실시하고 있는 하천수계의 조사결과, 기존문헌, 수산통계자료 및 청문조사에 의해 얻은 해당 수계의 모든 정보를 정리한다(표 1). 정리내용은 해당 수계의 어류상(fish fauna)과 생활사(life cycle), 특정종의 분포상황, 회유어류(migration fish)의 소하 및 강하시기, 어류의 번식(reproduction)상황, 금어구간과 기간, 산란(spawning)지점, 방류지점, 어업실태 상황 등이다. 2회 이후의 조사가 되는 조사대상 하천구간은 이전 조사이후의 상황에 특히 주의하여 정리한다.

한편, 사전조사에 앞서 조사하천에 대한 하천차수(stream order)를 결정해야한다. 그 방법은 다음과 같다. 하천망(stream network)의 특성을 정량적으로 표현하기 위해서 하천차수별 하천의 수, 평균연장 및 평균경사에 대한 법칙을 제안하였다(Horton, 1945). 하천차수의 결정 방법은 그림 2에서 보는 것과 같이 수원부의 가장 작은 초기지류에 차수를 “1”로 부여하고, 이 하천이 동일 차수의 하천과 합류하게 되면 합류하천 차수를 하나 높여준다(Strahler, 1952). 예를 들면 2개의 1차하천이 만나면 합류지점 하류의 하천은 2차하천이 되고, 2개의 2차하천이 만나면 그 하류하천은 3차하천이 된다. 그러나 3차하천이 차수가 낮은 1차 및 2차하

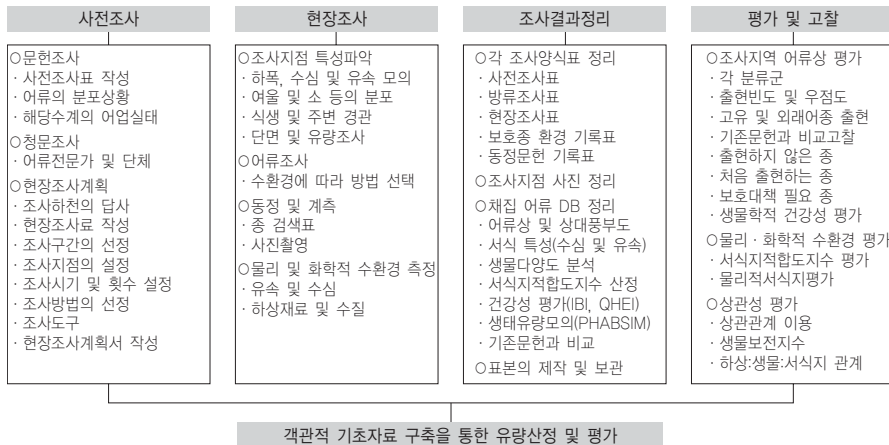


그림 1. 생태유량 산정 및 평가를 위한 어류생태 모니터링 과정

어류의 생활사 및 회유

- ◎ 어류의 생활사(life cycle) : 부화하여 성어가 될 때까지 6단계로 구분
 - 전기자어(pre-larva) : 부화하여 난황흡수까지
 - 후기자어(post-larva) : 난황흡수부터 지느러미 기조가 정수로 될 때까지
 - 치어(juvenile) : 종의 특징이 나타나는 반문 및 체색 등이 나타나는 시기
 - 미성어(immature) : 성어와 체색 및 반문 등이 비슷하나 생식적으로 성숙하지 않은 시기
 - 성어(adult) : 생식능력을 갖춘 시기
 - 노어(senility) : 생식능력이 없고, 체색 등이 퇴색되는 시기
- ◎ 회유(migration, 回遊) : 계절이나 시기에 따라 어떤 정해진 방향으로 이동하는 것. 크기, 내분비 및 환경조건 등에 따라 이동함.
 - 색이회유(feeding, 索餌) : 대부분의 해산어류에서 먹이를 위한 회유(예 : 멸치, 꽂치)
 - 생식회유(breeding, 生殖) : 산란을 위하여 회유하는 것(예 : 뱀장어, 연어)
 - 소하회유(anadromous, 溯河) : 산란을 위하여 바다에서 하천으로 올라오는 어종(예 : 연어)
 - 강하회유(catadromous, 降河) : 산란을 위하여 하천에서 바다로 내려가는 어종(예 : 뱀장어)
 - 양측회유(amphidromous) : 산란과 관계없이 하천에 올라오는 어종(예 : 농어, 은어)
 - 국지회유 : 담수에서만 회유, 회유보다는 서식지 이동으로 볼 수 있음(예 : 피라미)

천과 만나더라도 하천차수는 변하지 않고, 또 다른 3차하천과 만나야만 4차하천이 된다(윤, 2007). 한편, 하천수계에 댐 또는 인공적인 구조물로 물 흐름을 방해하는 구조물이 있더라도 그 하천차수는 변

하지 않는다. 하천차수는 지도상에 나타나 있는 하천망을 이용하여 최소 1 : 120,000 축척 지도를 사용하여 하천차수를 결정한다.

♣ 사전 조사표 작성방법

- 수계명, 하천명 : 조사대상 수계 및 하천을 기록한다.
- 유역면적, 유로연장, 하천등급 : 해당하천의 면적 등을 기록한다. 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>) 등을 참고하여 기록한다.
- 조사범위 : 조사범위는 전체하천을 대상으로 할 것인지, 하천 중 한 지점만 할 것인지 기록한다.
- 지점번호 : 상류부터 하류로 조사정점에 대하여 번호를 기록한다.
- 하천차수 : 지도를 이용하여 하천차수를 결정하여 기록한다.
- 조사기관, 조사자, 조사시기, 조사방법 : 해당

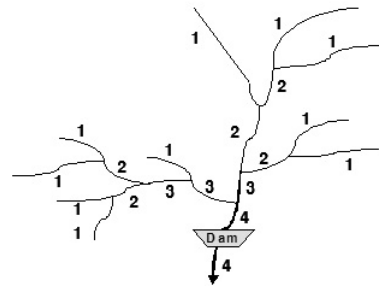


그림 2. 하천차수 모식도

표 1. 사전 조사표(예 : 금강수계 초강천지점)

사 전 조 사 표(문헌)					
수계명	하천명	유역면적	유로연장	하천등급	조사범위
금강	초강천	2892.18 km ²	153.61 km	지방2급	전체
지점번호	하천차수	행정구역명			보호종
St. 1	3	충북 영동군 상촌면 물한리 황점교			없음
St. 2	4	충북 영동군 상촌면 돈대리 돈대교			감돌고기
St. 3	5	충북 영동군 황간면 신흥리 월유교			감돌고기
St. 4	6	충북 영동군 용산면 율리 송천교			감돌고기
St. 5	6	충북 영동군 심천면 심천리 심천교			꾸구리, 돌상어
조사기관	조사자	조사시기	조사방법	문헌명	
K-water연구원	허준욱	년/4회	투망, 족대	손(1992), 건(1999)	
포획예상어종	감돌고기, 꾸구리, 돌상어 등				

사항을 기록한다.

- 문헌명 : 과거 조사문헌 등을 기록한다.
- 포획예상어종, 보호종 : 과거 보고 자료를 통하여 천연기념물 및 멸종위기종 등의 보호종 서식이 문헌을 통해 확인되면 포획된 조사 지점과 조사방법을 명시하도록 하여 현장 조사 시 참고한다.

3.2 문헌조사

현장조사 실시 전 문헌조사를 통해 조사 하천 내 서식하고 있는 어류상을 파악한다. 조사대상 하천에만 한정하지 않고 해당 수계 전체에 관련된 문헌

을 수집한다. 어류의 이동성을 고려하여 조사대상 하천 외에도 유입지류, 해당 수계 전체의 어류상 자료를 수집하도록 한다. 가장 중요한 것은 해당수계에 서식하는 어류의 번식상황(전 생활사 파악), 포획채취금지기간 및 지역, 산란지점, 방류지점, 어업실태 등에 대하여 조사가 선행되어야 한다. 또한 수계 내 회유성 어종, 천연기념물, 멸종위기종 및 외래도입종 등의 서식여부를 파악하여 현장조사 시 참고하여 조사 효율을 높이도록 한다(표 2~7, 그림 3). 조사구간 내 인공호가 존재할 경우 어업실태를 파악하며 하천 내 외적인 교란요인(하천공사 및 인공댐 건설 등)의 존재여부를 확인한다.

◎ 어류의 분포상황 : 각종 학술지, 연구보고서

표 2. 농림수산식품부 지정 담수 수산동물의 포획·채취 금지 기간 및 크기

수산동식물명	기 간	크기(cm)	비 고
은어	5월 1일~5월 31일, 9월 1일~10월 31일(강원도, 경북 8월 1일~9월 30일)		어류
연어	10월 11일~11월 30일		어류
빙어	3월 1일~3월 20일		어류
쓰가리	5월 20일~7월 10일(전북, 전남, 경북, 경남 5월 10일~6월 30일)	18	어류
열목어	3월 1일~4월 30일		어류
자라	6월 1일~8월 31일	12	파충류
참개	8월 1일~11월 30일(강원도)	4	갑각류
송어		12	어류
산천어		20	어류
말조개		9	이매패류
재첩		1.5	이매패류

(출처) 농림수산식품부 수산자원보호령 제9조 및 10조

표 3. 환경부 지정 멸종위기 야생 동물과 식물의 I급 및 II급 지정 현황

계	구분	포유류	조류	파충류	양서류	어류	곤충류	무척추동물	식물	해조류
221종	전체	22	61	4	2	18	20	29	64	1
50종	I급	12	13	1	-	6	5	5	8	-
171종	II급	10	46	3	2	12	15	24	56	1

(출처) 환경부, <http://whhttp://www.me.go.kr>

표 4. 문화재청 지정 천연기념물(어류, 2008년 현재)

지정년도	종 목	명칭 및 어종	소 재
1962	천연기념물 제27호	제주 무태장어 서식지무태장어	제주 서귀포
1962	천연기념물 제73호	정선 정암사 열목어 서식지 <i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	강원 정선군
1963	천연기념물 제74호	봉화 석포면 열목어 서식지	경북 봉화군
1967	천연기념물 제190호	황쓰가리 <i>Siniperca scherzeri</i>	서울 한강일원
1972	천연기념물 제238호	금강의 어름치	충북 옥천군
1978	천연기념물 제258호	무태장어 <i>Anguilla marmorata</i>	전국
1978	천연기념물 제259호	어름치 <i>Hemibarbus mylodon</i>	전국
2005	천연기념물 제454호	미호종개 <i>Iksookimia choii</i>	미호천 등
2005	천연기념물 제455호	꼬치동자개 <i>Pseudobagrus brevicorpus</i>	낙동강

표 5. 환경부 지정 멸종위기 어류(2005년 지정)

I 급 (6종)	II 급 (12종)
감돌고기 <i>Pseudopungtungia nigra</i>	가는돌고기 <i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>
꼬치동자개 <i>Pseudobagrus brevicorpus</i>	가시고기 <i>Pungitius sinensis</i>
미호종개 <i>Iksookimia choii</i>	꾸구리 <i>Gobiobotia macrocephala</i>
얼룩새코미꾸리 <i>Koreocobitis naktongensis</i>	다목장어 <i>Lampetra reissneri</i>
통사리 <i>Liobagrus obesus</i>	돌상어 <i>Gobiobotia brevibarba</i>
흰수마자 <i>Gobiobotia naktongensis</i>	독중개 <i>Cottus poecilopus</i>
	모래주사 <i>Microphysogobio koreensis</i>
	묵납자루 <i>Acheilognathus signifer</i>
	임실납자루 <i>Acheilognathus somjinensis</i>
	잔가시고기 <i>Pungitius kaibarae</i>
	칠성장어 <i>Lampetra japonica</i>
	한독중개 <i>Cottus hangiongensis</i>

(출처) 환경부, <http://www.me.go.kr>

표 6. 한국 고유 담수어류 목록

한국고유어종 (총 61종)	
칠성말배꿈(복) <i>Lethenteron morii</i>	금강모치 <i>Rhynchocypris kumgangensis</i>
서호납줄갱이 <i>Rhodeus hondae</i>	버들가지 <i>Rhynchocypris semotilus</i>
한강납줄개 <i>Rhodeus pseudosericeus</i>	치리 <i>Hemiculter eigenmanni</i>
각시붕어 <i>Rhodeus uyekii</i>	새코미꾸리 <i>Koreocobitis rotundicaudata</i>
묵납자루 <i>Acheilognathus signifer</i>	얼룩새코미꾸리 <i>Koreocobitis naktongensis</i>
칼납자루 <i>Acheilognathus koreensis</i>	잡종개 <i>Iksookimia koreensis</i>
임실납자루 <i>Acheilognathus somjinensis</i>	부안종개 <i>Iksookimia pumila</i>
줄납자루 <i>Acheilognathus yamatsutae</i>	미호종개 <i>Iksookimia choii</i>
큰줄납자루 <i>Acheilognathus majusculus</i>	왕종개 <i>Iksookimia longicarpa</i>
가시납자리 <i>Acanthorhodeus gracilis</i>	남방종개 <i>Iksookimia hugowolfeldi</i>
감돌고기 <i>Pseudopungtungia nigra</i>	동방종개 <i>Iksookimia yongdokensis</i>
가는돌고기 <i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>	줄종개 <i>Cobitis tetralineata</i>
쉬리 <i>Coreoleuciscus splendidus</i>	북방종개 <i>Cobitis pacifica</i>
참중고기 <i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	수수미꾸리 <i>Niwaella multifasciata</i>
중고기 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	좁수수치 <i>Kichulchoia brevifasciata</i>
긴몰개 <i>Squalidus gracilis majimae</i>	눈동자개 <i>Pseudobagrus koreanus</i>
몰개 <i>Squalidus japonicus coreanus</i>	꼬치동자개 <i>Pseudobagrus brevicorpus</i>
참몰개 <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	마유기 <i>Silurus microdorsalis</i>
점몰개 <i>Squalidus multimaculatus</i>	자가사리 <i>Liobagrus mediadiposalis</i>
어름치 <i>Hemibarbus mylodon</i>	통가리 <i>Liobagrus andersoni</i>
왜매치 <i>Abbotina springeri</i>	통사리 <i>Liobagrus obesus</i>
꾸구리 <i>Gobiobotia macrocephala</i>	젓뱅어 <i>Neosalanx jordani</i>
돌상어 <i>Gobiobotia brevibarba</i>	자치(복) <i>Hucho ishikawae</i>
흰수마자 <i>Gobiobotia nakdongensis</i>	사루기 <i>Thymallus arcticus jaluensis</i>
압록자그사니(복) <i>Mesogobio lachneri</i>	깍지 <i>Coreoperca herzi</i>
두만강자그사니(복) <i>Mesogobio tumensis</i>	동사리 <i>Odontobutis platycephala</i>
모래주사 <i>Microphysogobia koreensis</i>	얼룩동사리 <i>Odontobutis interrupta</i>
돌마자 <i>Microphysogobia yaluensis</i>	점줄망둑 <i>Acentrogobius pellidebilis</i>
여울마자 <i>Microphysogobia rapidus</i>	큰벚말뚝망둥어 <i>Periophthalmus magnuspinnatus</i>
땡경모치 <i>Microphysogobia jeoni</i>	
배가사리 <i>Microphysogobia longidorsalis</i>	

(출처) 김 등, 2005.

표 7. 외래어 도입종 목록

국명 및 학명	원산지	도입연도	서식현황
이스라엘잉어(황어) <i>Cyprinus carpio</i>	이스라엘	1973	양식, 정착
떡붕어 <i>Carassius cuvieri</i>	일본	1972	양식, 정착
초어 <i>Ctenopharygodon idellus</i>	아시아	1970	일부정착
흑연 <i>Aristichthys nobilis</i>	중국 남부	1967	양식
백연 <i>Hypophthalmichthys moritax</i>	아시아동부	1963	양식, 방류
찬별동자개(메기) <i>Ictalurus punctatus</i>	북아메리카	1972	양식, 미정착
은연어 <i>Oncorhynchus kisutch</i>	북아메리카	1969	방류, 미정착
무지개송어 <i>Oncorhynchus mkgiss</i>	북아메리카	1965	방류, 일부정착
블루길 <i>Lepomis macrochirus</i>	북아메리카	1969	정착
배스 <i>Micropterus salmoides</i>	북아메리카	1973	정착
작은입우럭 <i>Micropterus dolomieu</i>	북아메리카	1973	양식, 미정착
나일틸라피아 <i>Oreochromis niloticus</i>	아프리카	1955	양식, 미정착

(출처) 김 등, 2005.

및 어류도감 등

- ◎ 해당수계에서의 어업실태 : 농림수산식품부 (<http://www.mifaff.go.kr>), 시군 및 어업 통계자료 이용

3.3 청문조사

청문조사는 해당수계의 어류상, 어업실태를 잘 아는 단체·개인을 대상으로 실시한다. 청문조사 대상은 어업협회, 해당수계 어류전문가 및 지역민 등을 대상으로 하며 청문조사를 통해 특정종의 서식여부, 어류상, 금어시기 및 특정 어종의 방류사업 여부 등을 파악하도록 한다(표 8). 청문조사는 조사 지역내 전문가 및 단체를 대상으로 하기 때문에 조사지역내 어류상의 특징을 보다 쉽게 파악할 수 있다. 조사형태는 직접 방문하여 청문하는 경우와 문헌조사로 나타난 자료를 대상으로 설문지를 작성하여 조사하는 방법이 있다.

♣ 어류방류 조사표 작성방법

- 수계명 : 조사지역 수계를 대상으로 각종 자료

를 참고하여 작성한다.

- 하천명, 방류장소 : 수계의 하천명, 호소 및 댐 명칭을 정확하게 작성한다.
- 어종 : 방류어종을 작성한다.
- 연월일 : 방류일자를 작성한다.
- 방류기관 : 방류기관을 작성한다.
- 크기 및 마리수 : 방류시 어류의 크기(전장) 및 방류마리수를 작성한다.

3.4 현장조사 계획

가. 현장조사 시 유의사항 및 안전사항

- 정도관리는 어류 생물환경평가에서 지속적으로 이루어져야 하고 현장 자료수집과 서식지 평가를 위한 보전, 조사과정 및 자료기록을 포함한 모든 상황에 적용되어야 한다.
- 어류의 현장 동정은 숙련되고 어류동정에 잘 알려진 분류 학자에 의해 지도되어야 한다. 의심스러운 종은 모든 현장에서 적어도 한명 이상의 숙련된 분류 학자에 의하여 동정하고 현장에서 즉시 동정이 어려운 경우에는 10% 포

표 8. 어류방류 조사표(예 : 금강수계)

어류방류 조사표						
수계명	하천명	방류장소	어종	년 월 일	방류기관	크기 및 개체수
금강	백곡천	충북 진천군 백곡천 상류	미호종개	2008. 10. 30	환경부	치어, 7,000마리
금강	탑정호	충남 논산시 논산천 탑정호	붕어 외 3종	2008. 11. 6	충남	치어, 20만마리
금강	지천	충남 부여군 지천 중류	참개	2008. 7.	충남	치개, 7만마리

르말린 용액에 고정하여 실험실에서 동정하거나 다른 숙련된 분류 학자에 의뢰하여 동정을 한다. 표본 보존시 채집지점 등 자세한 기록을 표기하고, 어체의 외형이나 장기가 파손되지 않게 보존한다.

- 모든 조사 장비는 작동상태가 좋아야 하고, 또한 조사 자료는 완전해야하며 읽기 쉽고, 컴퓨터에 기록하고, 자료형태를 통일화 시켜야한다. 조사하는 동안 조사인원들은 통일화된 운영 절차와 조사 지침을 숙지해야 한다.
- 조사자들의 구성과 조직화는 다양할 수 있으나, 어류 채집의 경우는 최소한 3명 이상으로 이루어져야 한다.
- 현장에서 채집한 어류는 현장에 다시 풀어 주는 것을 원칙으로 하되 표본적 가치가 있을 경우 1~2마리를 표본으로 하고 나머지는 반드시 풀어준다. 또한 가급적 천연기념물 및 보호어종은 풀어주는 것을 원칙으로 한다.
- 어류채집 및 현장조사 시 반드시 사전 안전교육을 실시하고, 안전장비를 착용한 후에 조사를 실시하여야 한다. 현장조사 시 수심이 깊은 경우(1 m 이상), 유속(0.9 m/s 이상)이 빠를 경우 가급적 들어가지 않는 것이 좋다. 또한 동절기에는 얼음, 여름철에는 미세조류 등에 의한 하천바닥이 미끄러워 더욱 주의를 필요로 한다. 기타 안전은 채집 지역의 상황에 따라 대처 한다.

나. 조사하천 답사

문헌조사 실시 후 조사하천의 답사를 실시한다. 하상재료, 수변의 식생분포, 여울, 소 및 유수역(run) 등의 물리적 서식환경을 파악하고 조사가능 지역을 검토한다. 또한 후보지 사진 촬영을 통해 조사지구의 개관을 파악할 수 있도록 한다. 사전답사 시 육안으로 멀리서 확인하지 말고 반드시 물속에 들어가서 수심, 유속 및 하상재료 등에 대한 조사를 해야 한다. 또한 대상 후보지를 여러 곳 선정하여

확인하고 전문가와 충분한 협의를 통해서 지점을 선정한다. 답사시 지점 및 주변 상황에 대하여 자세히 기술하고 확인한다. 충분한 시간이 된다면 시기를 달리하여 답사도 2~3회 실시하면 더욱 좋다.

다. 조사구간의 선정

조사구간은 부유성 어종의 서식이 가능한 소와 계류성 어종이 서식하는 여울, 유수역이 모두 존재하는 구간을 선택하며, 어류의 산란장으로 이용되는 하천 가장자리 수변 식생이 발달한 지역으로 선정하여 조사를 실시한다. 우리나라는 여름철 우기가 있어 하천의 환경과 상황이 변화가 많아 조사구간 선정시 이러한 상황을 반드시 숙지하여야 한다. 또한 조사지점은 조사대상 주변에서 대표할 수 있는 지점을 선정해야 하며, 과거의 다른 어류학자들이 보고한 참고문헌 등을 조사하여 비교해야만 한다. 조사구간에 정부 및 지자체에서 주기적으로 방류를 실시하거나, 어업권이 있는 조사지점, 특정어종의 보호구역은 전문가와 상의를 한 후에 선정하여야 한다.

또한 저서성 어종의 서식 및 산란이 가능한 다양한 하상 구조를 갖춘 조사구간을 선정하여 조사를 실시한다. 조사구간 선정은 어류의 다양한 서식환경이 제공되어야 하며, 조사하천의 지리적 상황 및 접근성을 고려하여 조사가 용이하고 다양한 종을 관찰할 수 있는 구간을 고려하도록 한다. 하천의 수리적 특성을 항공사진 또는 사전조사(문헌조사) 결



그림 3. 조사구간의 선정(예 : 금강 용담댐 하류)

표 9. 현장조사표(예 : 한강수계 달천)

권역	수계	하천	등급	현 장 조 사 표	분류	제1지류	제2지류	제3지류
					한강	달천		

작성년월일 : 2008. 9. 5 작성자 : 허준욱

■ 관측소현황

관측종목	관측소명	위 치			관측개시일	자료보유기간	유역면적(km ²)
		경 도	위 도	표고(EL.m)			
수위(수질)	달천1	127/41/57	36/36/54	222			
주소					기타사항(전송방식 등)		
충청남도 청원군 미원면 옥화리 옥화교							

■ 하천현황

구 분	현 황
하천차수	4
하도형태	완만한 만곡부, 평어울, 급어울 및 유수역 존재, 우안 개방형하도습지 2개
사행구간	교각 하류 100 m 지점
직선구간	교각 상류 200~300 m
합 류 부	없음
고수부지	하천 좌안 20 m 내외의 자갈밭과 수제부에 레크레이션 장소 있음
유 속	육안 0.5~0.8 m/s
어울 : 소 : 유수역 수	(2) : (3) : (4)

■ 시설물현황

구 분	현 황
교 량	옥화교, 500 m 상류에 교량 공사중
보	없음
취수시설	없음
배수시설	없음
환경기초시설	없음
하상재료(%)	실트() : 모래() : 가는자갈(20) : 굵은자갈(30) : 호박돌(30) : 전석(20)
기타사항	

■ 항목별현황(필요시 뒤에 사진첨부)

구 분	현 황
하천유량	풍부함
어류 및 식생	좌안 식생은 1년생과 다년생 초목과 관목 등이 다양하게 있음
하천수질	양호
하천경관	절벽 경관이 우수(옥화9경중 제3경으로 천경대)
하구막힘	없음
지하수위	
염수침입	없음
시설물보호	
친수활동	좌안 고수부지 주변부에 여름철 여가활동 장소 있음

위치도(조사지점 : ○)



조사지점 전경



과를 바탕으로 평면도, 하천중단면도 등을 작성하여 어류서식과 수환경과의 관계를 파악하도록 한다. 조사구간은 댐 방류에 의한 유량변동의 영향을 받는 구간(조절 하천)과 유량변동의 영향을 받지 않는 지점(비조절 하천)을 선택하여 유량 변동에 의한 영향 여부를 분석한다. 조사지역 답사 후 현장조사표를 정리한다(표 9).

♣ 현장조사표 작성방법

- 권역, 수계명, 하천명, 등급 : 현장조사 지점의 권역 등을 작성한다.
- 분류, 제1, 2, 3지류 : 조사지점에 해당사항에 대하여 작성한다.
- 관측종목, 관측소명 : 현장조사지점의 관측종목(예 : 수위, 수질 등) 및 관측소 지점명을 작성한다.
- 위치 : 지점의 위도, 경도 및 표고를 작성한다.
- 관측개시일, 자료보유기간, 유역면적 : 국가수자원정보관리시스템 홈페이지(<http://www.wamis.go.kr>) 등에서 자료를 수집하여 작성한다.
- 하천현황 : 조사지점에 대하여 현장 사전조사 시 작성한다.
- 시설물현황 : 조사지점에 대하여 교량, 보 취수 시설 등을 작성한다.
- 항목별현황 : 각 항목에 대하여 현장조사시 특징을 작성한다.
- 위치도 및 기타사진 : 지도를 참고하여 현장 위치를 파악하고 지점의 중요 시설물에 대하여 첨부한다.

라. 조사지점의 선정

어류의 서식에는 종별로 다양한 수환경을 필요로 한다. 조사구간 내 조사지점의 선정은 다양한 종의 포획이 가능한 지점을 선택한다. 우리나라 토착 어류의 경우 여울과 소가 반복되는 하천에서 산란 및 서식하기 때문에 조사지점을 선정함에 있어 여울과

소가 반복되는 지점을 선택하는 것이 다양한 종의 포획에 유리하다. 하천 가장자리로는 식생이 발달한 지역이 치어의 획득에 유리함으로 조사지점 선정 시 고려한다. 또한 보와 같은 수리구조물의 직·하류에 다양한 종이 서식함으로 조사 시 고려하도록 한다. 본 조사의 경우 구역 내 200 m 구간을 소, 여울의 구성 비율에 따라 구간을 나누어 조사하는 것을 기본으로 정하지만 종의 포획을 위해 지점의 확대가 필요할 경우 확대해도 무방하다.

다음은 조사 지점 선정에 있어 검토사항이다.

첫째, 조사지점 전후에 인근 점오염원(point source) 및 비점오염원(nonpoint source)의 위치를 확인하고 수질오염을 야기 시키는 독성화학물질 및 영양염류 유입여부 등을 기존 유역자료를 이용하여 파악한다.

둘째, 조사 지점의 하천차수를 파악한다(하천차수 결정방법 참고).

셋째, 수계의 주요한 토지이용도 및 인구분포 등 직·간접적 영향 여부를 파악한다.

넷째, 조사 목적이 작은 웅덩이와 교량지역과 같은 영향을 평가하는 것이 아니라면, 이와 같이 국부적으로 변경된 지점은 피해야 한다.

다섯째, 분류와 지류가 만나는 합류부는 서식지 환경이나 어류 군집구조가 전형적으로 분류의 특징을 나타내므로, 지류 조사시 분류에 가까운 구간에서 채집하는 것은 피해야 한다.

여섯째, 본 조사에서 수행되는 지점에 대한 비교평가 자료의 핵심이 되는 척도로서 대조하천(reference stream) 조사가 선행되어야 한다. 대조하천은 오염된 하천이 궁극적으로 회복해야 할 생물학적 상태를 유지하고 있는 하천으로 동일 수계 내에 위치해야 하며, 주변의 식생이 잘 발달된 하천을 선정한다.

마. 조사시기 및 횟수의 설정

조사시기는 우리나라의 계절적 특성을 고려하여 계절별 조사(년 4회)를 실시하는 것을 기본으로 한

표 10. 조사시기 및 횟수

조사목적	월											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
어류상			○			○			○		○	
산란시기(생식소, 간)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
건강성 평가(혈액)			○			○			○		○	
IBI/QHEI			○			○			○		○	
유량/단면				○						○		

다(표 10). 겨울철 월동기를 지나 산란기인 봄(3월~5월), 수온상승에 의해 어류의 활동성이 커지는 여름(6월~8월)을 기준으로 조사시기를 정하도록 한다. 조사시기는 목적 및 연구자의 의도에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나, 보통 많은 조사자들은 3, 6, 9 및 11월에 실시한다. 이와 유사하게 건강성 평가시에도 4회로 하는 것이 바람직하다. 댐의 방류에 의한 유량 변동이 발생할 시 추가적으로 조사하여 어류군집의 변화여부를 파악하도록 한다. 보다 정밀한 조사가 필요한 지역에 대하여는 각 어종의 산란시기(생식주기 life cycle) 및 생식소무게지수(gonadosomatic index, GSI 등 파악) 및 건강성 평가(간무게지수(hepatosomatic index, HSI) 및 혈액성상 등) 등의 분석을 1개월에 한번씩 1년에 12회 실시하는 것이 좋다. 월별 조사시기는 대체로 매월 중순에 실시하는 것이 정확성을 기하는데 좋다. 그 외 IBI 조사는 장마기간은 어류의 이동과 유량의 차이 때문에 가급적 조사하지 않는 것이 바람직하다. 어류조사와 병행하여 유량 및 하천단면 조사를 실시할 경우, 갈수기인 3~4월에 1회, 가을철

1회 실시하는 것이 바람직할 것이다.

바. 조사방법 선정

조사방법은 투망과 족대를 기본으로 실시하며, 종의 특성을 고려하여 수시로 다른 조사방법을 병행한다(표 11). 하폭이 넓고 수심이 깊으며, 유량이 많을 경우 삼각망, 통발과 자망 등을 이용하여 다양한 종을 포획 하도록 한다. 투망의 경우 소(물의 흐름이 없거나 완만한 지역)에 서식하는 종을 포획할 때 효율이 높으며, 족대는 여울에 서식하는 계류성 어종의 포획에 용이하다. 통발은 투망 및 족대 채집이 어려운 지점과 수변부 자치어 포획에 유리하다. 삼각망과 자망의 경우는 수심이 깊어 조사자에 의한 조사가 불가능할 경우 보트를 이용하여 설치한 후 24시간 또는 48시간 후 망목 내로 유입한 종을 확인한다.

사. 조사도구의 점검

조사도구는 하천의 크기 및 수심에 따라 삼각망, 자망, 투망 및 족대 등의 포획도구들을 이용하여 실

표 11. 조사방법별 조사도구

조사구분	조사도구	족대	투망	통발	삼각망	자망
수심(m)	<1.0	○	○	○		
	>1.0			○	○	○
유속(m/sec)	<0.9	○	○	○	○	○
	>0.9		○			
하천차수	1	○		○		
	2	○		○		
	3	○	○	○		
	4	○	○	○		
	5	○	○	○		
	>6			○	○	○
하천형태	여울	○	○			
	소	○	○	○	○	
	유수역	○	○	○	○	○

학술/기술기사

시하며, 조사 전 망목의 손상여부를 확인하여 포획되는 종의 유실이 없도록 한다. 또한 수심 측정 장비, 유속계, 수질측정기 등의 정상적 작동여부를 확인하여 현장조사 시 기초자료의 정확도를 높이도록 한다. 기타 채집 장비 및 도구는 다음과 같다. 기습장화, 방수상의, 채집통, 어류도감, 10% 포르말린, 플라스틱 병, 야장, 필기도구, 자, 저울, 카메라 등이다. 한편 수질측정기는 월 1회 이상 정상적 작동여부를 측정하여 보정하도록 하며, 유속계는 연 1회 이상 보정을 받도록 한다.

아. 조사인원의 구성

어류의 채집 효율은 조사요원의 능력에 따라 매우 달라질 수 있다. 따라서 산출 데이터의 질과 조사효율을 높이기 위해서는 모든 조사 구성원들에 대하여 적절한 교육, 훈련 및 경험이 반드시 필요하다. 조사 인원의 구성은 어류 채집에 대한 전문적 교육을 받은 전문가가 반드시 1인 이상 포함되어야 하며, 어류의 채집은 야장 작성 인원을 포함하여 3인 1조(투망, 족대, 기록원)로 하는 것이 바람직하다. 조사요원의 안전교육이 이루어지지 않은 상태에서 조사에 임할 경우, 조사지의 위험 요소에 노출될 수 있으며, 큰 부상을 당할 확률이 매우 높아진다. 따라서 조사가 이루어지기 전에는 반드시 안전교육이 이루어져야하며, 조사 시와 조사 전에 반드시 그동안 실시된 안전교육에 대해 상기시키도록 하는 것이 필요하다.

표 12. 월별 조사 계획서

시기 항목	조사시기(월)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
사전조사(문헌, 청문조사)	—————											
조사 계획 수립		—————										
현장 조사			—————			—————			—————		—————	
조사결과 정리			—————			—————			—————			—————
평가 및 보고서 작성												—————

자. 현장조사 계획서 작성

(1) 조사계획서의 작성

문헌조사 및 청문조사를 통해 수집한 자료를 바탕으로 조사계획서를 작성한다(표 12). 현장조사 실시 전 조사계획서 작성을 통해 현장 조사의 효율을 높인다. 먼저 수계명, 하천명, 유역면적, 유로연장 등의 하천개요를 기입하며 조사지점의 행정명 및 지점 번호를 기입한다. 다음으로 답사를 통해 촬영한 지점 사진을 인화하여 현장 조사 시 혼선이 없도록 한다. 또한 조사지점을 선정할 근거를 서술해 주며, 현장답사를 통해 확인한 조사지점의 전반적인 수환경의 특징을 기입한다. 그리고 문헌조사 및 청문조사를 통해 조사지점 내 서식이 예상되는 종을 기입하여 현장 조사 시 참고한다.

(2) 조사지구 위치도

조사대상 하천에서 각 조사지점별 위치를 확인할 수 있도록 위치도를 작성한다. 시판중인 지도(1:75,000)를 사용하여 조사지점을 확인할 수 있으면 가능하다.

(3) 조사 계획





어류조사는 분기별 조사(1년 4회)를 기본으로 실시하는 것을 기본으로 정해 연초에 조사 실시 계획을 정한다. 사전조사는 어류의 활동량이 감소하여 다수의 종을 확보하기 어려운 동절기에 실시하며, 어류의 산란기가 시작되는 3월부터 조사를 실시한

다. 수온은 보통 19℃ 이상에서 실시하는 것이 가장 바람직하다. 조사결과와 정리는 현장조사 실시 후 조사계획서 및 현장조사표 등의 현장 조사 양식을 이용하여 정리한다. 어류 조사가 마무리 되는 동절기(12월)에는 각 분기별 조사 자료를 취합 정리하여 조사하천이 갖는 수환경의 특징, 어류상의 특징 및 어류상 변화 등을 분석한다(표 13).

♣ 조사계획서 작성방법

- 수계명, 하천명 : 조사대상 수계 및 하천을 기록한다.
- 역면적, 유로연장 : 해당 하천의 면적 등을 기록한다.
- 지점명, 지점번호 : 조사구역의 명칭 및 번호를 기록한다.

표 13. 조사계획서 양식(예 : 금강 옥천지점)

조 사 계 획 서										
수계명		하천명		유역면적		유로연장		지점명 및 번호		하천차수
금강		금강		2892,18 km ²		153,61 km		옥천, St.7		6
조사 도구	투망(5×5 mm)		조사	상하류 200 m		조사월일	2007. 11		조사자	허준욱
	족대(3×3 mm)		구간				2008. 5			
조사구역 행정명		충청북도 옥천군 동이면 적하리 옥천수위표								
위도 및 경도		N36°16'31", E127°38'58"								
하천형태		중류, 직선하천								
하상재료		실트() : 모래(1) : 가는자갈(3) : 굵은자갈(3) : 호박돌(3) : 전석()								
										
										
조사지점 특징					포획 예상 어종					
<p>금강하류로부터 약 210 km 지점이며, 우안으로는 철봉산(450 m)이 있으며, 좌안으로는 마을이 형성되어 있다. 주변에는 옥천 수위 관측소와 경부고속도로가 있다. 좌안으로부터 우안으로 잠수교가 설치되어 있어 상류로부터 물의 흐름을 느리게 하고 있고, 하류로는 물의 흐름이 빠른 급여울과 평여울이 존재한다. 좌안은 자갈로 수변부가 형성되었으며, 우안은 갯벌류와 초본류가 많다. 잠수교로 기준으로 상류는 모래와 가는자갈로 형성되었고, 하류는 자갈이 많다. 우안주변에는 여러 개의 개방형 소(pool)가 형성되어 있다. 또한 하도중간에 큰 하중도가 형성되어 있다.</p>					<p>피라미, 모래무지, 격지, 돌마자, 참마자 등</p>					
					기타 특이사항					
					<p>좌안으로 넓은 자갈 둔치 마당을 가지고 있어, 경관이 뛰어나.</p>					

- 하천차수 : 하천차수를 기록한다.
- 조사도구, 조사구간 : 조사지점에서 사용할 도구와 거리를 기록한다.
- 조사구역행정명 : 조사지의 주소를 기록한다.
- 위도 및 경도 : 조사지역 정점의 위도와 경도를 기록한다.
- 하천형태 : 조사지역의 하천구조 및 형태를 기록한다.
- 하상재료 : 조사지점에 하상분포를 6단계로 구분하여 기록한다. 추후 하상재료를 정확하게 조사 및 분석하여 기술한다.
- 지점 지도 및 사진 : 조사지점을 대표할 수 있는 사진 등을 기록한다.
- 조사지점 특징 : 조사지점에 대한 주변경관, 식생, 주요구조물 등을 기록한다.
- 포획예상어종 : 사진 및 문헌조사에서 출현한 어종을 기록한다.
- 기타 특이사항 : 주변관광지 등 특징이 있으면 기록한다.

4. 결론

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. 그러나 도심하천을 비롯한 국내 하천의 경우 오염원 증가에 따른 오염물질의 유입, 홍수방지를 위한 하천정비 등의 다양한 원인에 의해 수질악화, 수생태계 종 다양도 감소 등의 문제가 발생하고 있다는 것은 부정할 수 없는 사실이다.

하천의 자정 능력을 향상시키고 하천의 정상적인 기능을 회복하기 위해서는 수생물의 서식환경 조성, 오염원 차단, 적정 하천유지유량 유지 등의 다양한 조건이 요구된다. 이 중 하천유지유량의 유지는 기타 서식환경 조성에 있어 기본이 된다고 할 수 있다.

하천유지유량 산정을 위해 지금까지는 갈수량, 하천생태계를 고려한 유량, 하천수질을 고려한 유량 등 8가지 측면에서 하천유지유량을 산정하고 있다. 앞서 언급하였듯이 어류 및 수생태계 복원을 위해 필요한 어류생태를 고려한 유량의 산정방법은 아직까지 기초적인 단계에 머물러 있다. 따라서 본 가이드라인으로 이러한 자료를 활용하여 각각의 어종에 대한 생태유량 산정 및 평가에 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 🍷

참고문헌

1. Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins hydrological approaches to quantitative morphology. Geological Society of America, 56(3).
2. Stalnaker, C.B., B.L. Lamb., J. Henriksen., K. Bovee. and J. Bartholow. 1995 The instream flow incremental methodology a primer for IFIM. Biological report 29. U.S. Department of the Interior, 45pp.
3. Stephen R. Moulton II, Jonathan G. Kennen, Robert M. Goldstein, and Julie A. Hambrook. 2002. Revised protocols for sampling algal, invertebrate, and fish communities as part of the national water-quality assessment program. Open file report 02-150. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 75pp.

4. Strahler, A.N. 1952. Quantitative geomorphology of erosional landscapes. 19th International Geology Congress, 13(3).
5. U.S. Geological Survey-Midcontinent Ecological Science Center. 2001. PHABSIM for Windows Software (Version 1.20). User's manual and exercises, Open file report 01-340. U. S. Department of the Interior, 288pp.
6. 건설교통부 대전지방국토관리청. 1999. 금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서. 613pp.
7. 국토교통성. 2001. 정상유량 검토의 지침(안). 하천국 하천환경과.
8. 김규호, 조원철, 전병호. 2000. 수량, 수질 모의치를 이용한 어류서식 조건 유지에 필요한 적적유량 산정. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 33(1): 3-14.
9. 김익수, 최윤, 이충열, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 원색 한국어류대도감. 교학사. 615pp.
10. 성영두, 박봉진, 주기재, 정관수. 2005. 하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 38(7): 545-554.
11. 손영목, 송호복. 2006. 금강의 민물고기. 지성사. 239pp.
12. 오국열, 정상만, 이주현, 최계운, 김도희. 2008. 1차원 및 2차원 물리서식처 모의를 이용한 어류서식조건 유지에 필요한 최적 유량 산정 : 피라미를 대상으로. 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 8(1): 117-123.
13. 우효섭, 이진원, 김규호. 1998. 물고기 서식처를 고려한 하천유지유량 결정방법의 개발 : 금강 본류에 적용. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 18(4) 339-350.
14. 윤용남. 2007. 수문학 기초와 응용. 청문각. 373-374.
15. 허준욱, 김정근. 2009. 용담댐 하류의 하천 건강성 평가 및 어류 서식처를 고려한 최적유량 산정. 한국수자원학회지. 42(6): 481-491.
16. 허준욱, 박진우, 강신욱, 김정근. 2009. 금강유역의 어류상과 서식지 적합도 지수 산정. 한국환경생태학회지. 23(6): 516-527.