

어류에 미치는 탁수의 영향¹⁾

변명섭²⁾

국립환경과학원 한강물환경연구소

개요

수환경에서 물고기는 대부분 시각에 의존하여 먹이를 탐색한다. 먹이의 탐색과정은 포식자의 크기, 먹이의 크기, 체색, 운동성, 주변 환경과의 대조, 빛과 탁도 같은 물리적인 요인 등 여러 가지 환경 요소에 의하여 영향을 받게 되며 또한 먹이생물과 마주칠 가능성에 따라 포식자의 먹이 섭취량과 섭취 빈도가 결정된다(Utne, 2004). 그러나 수중의 탁도가 높아지면 포식자가 먹이감을 발견할 수 있는 가능성은 현저하게 감소하게 된다. 특히 탁도의 원인이 식물플랑크톤 등 기존에 수중에 존재하던 생물에 의한 것 또는 유기물의 증가에 의한 것이 아닌 장마 등 집중호우에 의하여 일시에 다량으로 유입된 미세토양입자일 경우에는 수중으로 유입되는 태양광을 차단하거나 산란시켜 수중 깊은 곳까지 빛이 도달할 수 없게 하고 부착조류를 포함한 수체내 모든 생물의 성장에 심각한 영향을 줄 수 있다.

일반적으로 강수현상에 의하여 대형 인공호로 다량 유입되는 탁수는 호수의 표층수보다 밀도가 높아 밀도가 같은 중간 수층으로 유입된다(김, 1998). 따라서 대형 인공호

중하류 지역의 호안수역과 표층수는 탁수의 영향을 거의 받지 않아 수중생물 특히 어류에 대한 피해는 크지 않을 것으로 예상된다. 그러나 수중생태계에서 먹이피라미드의 최상부에 위치하는 물고기의 성장과 산란 등의 모든 생활은 태양광을 이용하여 수중의 영양성분을 유기물로 전환시키는 부착조류, 식물플랑크톤 그리고 동물플랑크톤 및 저서성대형무척추동물 등을 기반으로 이루어지기 때문에 결국은 피해를 입게 된다. 또한 소양호와 같은 대형인공호는 중층에 머물러 있던 탁수가 전력생산을 위한 발전방류에 의하여 하류방향으로 흐르게 되고 이로 인하여 댐하류의 의암호, 청평호, 팔당호의 수질 변화와 수중생태계에 심각한 영향을 끼칠 수 있다.

한강수계 특히 북한강 수계의 탁수 발생은 1990년대 후반부터 매년 증가추세를 보이고 있는데 특히 지난해 집중호우를 동반한 태풍 에위니아와 그 해 10월 하순에 내린 강원도 지역의 집중강우로 인하여 최고 500 NTU 이상의 고농도 탁수가 발생되었고 이 때 발생한 탁수는 소양호와 파로호의 중층에 장기간 머물면서 수 개월간 댐 하류로 방류되어 하류 수계의 수중생태계에 악영향

1)The Effects of Turbid Water on Fish

2)BYEON, Myeong Seop, Han-River Environment Research Center, NIER, 476-823, Korea, E-mail: zacco@me.go.kr

을 주었다(김과 정, 2007).

집중호우에 의하여 최근 수 년간 반복적으로 발생하고 있는 고농도 탁수가 수중생태계 구성원에서 먹이피라미드의 최상위에 위치하고 있는 어류에 미치는 영향에 대하여 알아보았다

한강수계 주요 호소의 어류 분포 현황

한강수계 북한강 줄기에는 평화의댐, 소양

댐, 화천댐, 춘천댐, 의암댐 등이 있고, 남한강 줄기에는 충주댐과 괴산댐이 있으며, 팔당댐은 남한강 줄기와 북한강 줄기가 만나고 경안천이 합류되는 곳에 위치하고 있다. 한강수계는 경사가 심한 산간계곡에서부터 여울, 강과 하천 그리고 대형 인공호 등 여러 형태의 수체로 구성되어 있어 다양한 수생생물 서식지를 제공하고 있다.

다양한 형태의 수중서식지 수체의 크기로 인하여 한강수계의 수중생태계는 복잡하면

표 1. 한강수계의 어류상

학명	국명	소양호 (2006) ^a	의암호 (2004) ^b	청평호 (2004) ^b	팔당호 (2006) ^c	비고
Anguillidae	뱀장어과					
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	10	3	2	4	강
Cyprinidae	잉어과					
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	80			19	
<i>Cyprinus carpio</i> (Israeli carp)	이스라엘잉어		2			외
<i>Carassius auratus</i>	붕어	120	22	17	77	
<i>Carassius cuvieri</i>	떡붕어	738	63	45	4	외
<i>Rhodeus pseudosericeus</i>	한강납줄개				51	고
<i>Rhodeus uyekii</i>	각시붕어	2	3	3	21	고
<i>Rhodeus notatus</i>	떡납줄갱이			1		
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	납자루	1	54		311	
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	줄납자루	1	532	360	22	고
<i>Acanthorhodeus gracilis</i>	가시납지리			729	293	고
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어		71		17	
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기	229	148	50	455	
<i>Pseudopungtungia thnuicorpus</i>	가는돌고기			1		고
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	쉬리	32		8	53	고
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	참중고기				5	고
<i>Sarcocheilichthys nirgipinnis morii</i>	중고기	29	87	70	37	고
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	긴몰개		450	3	136	고
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	몰개	109	2	6	375	고
<i>Hemibarbus labeo</i>	누치	201	576	361	248	
<i>Hemibarbus longirostris</i>	참마자	27	4	10	91	
<i>Hemibarbus mylodon</i>	어름치	9				고,천
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	27	91	32	79	
<i>Abbottina rivularis</i>	버들메치				4	

표 1. 계속

학명	국명	소양호 (2006) ^a	의암호 (2004) ^b	청평호 (2004) ^b	팔당호 (2006) ^c	비고
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	돌마자		1	57	1378	고
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	배가사리	2		31	7	고
<i>Tribolodon jakonensis</i>	황어	1				육
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	버들치	70	10		536	
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	금강모치	8				고
<i>Zacco temmincki</i>	갈겨니		34	73	296	
<i>Zacco platypus</i>	피라미	133	277	145	581	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	끄리	197	19	57	28	
<i>Erythroculter erythropterus</i>	강준치			93	133	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리	19				고
<i>Hemiculter leucisculus</i>	살치				5	
Balitoridae	종개과					
<i>Orthrias nudus</i>	대륙종개	4			43	
<i>Lefua costata</i>	쌀미꾸리	5	16		3	
Cobitidae	미꾸리과					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	1	18	1	1	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지			3		
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	새코미꾸리	47	2	5	92	고
<i>Iksookimia koreensis</i>	참종개	178	16	16	178	고
<i>Cobitis lutheri</i>	집줄종개				1	
Bagridae	동자개과					
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	416	1	1	6	
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	눈동자개	5		1	10	고
<i>Leiocassis ussuriensis</i>	대농갱이	8	4		15	
Siluridae	메기과					
<i>Silurus asotus</i>	메기	26	12	20	51	
<i>Silurus microdorsalis</i>	미유기	2			2	고
Amblycipitidae	통가리과					
<i>Liobagrus andersoni</i>	통가리	35	4	7	34	고
Osmeridae	바다빙어과					
<i>Hypomesus olidus</i>	빙어		11			육
Salmonidae	연어과					
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	무지개송어		2			외
Adrianichthyidae	송사리과					
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리		5			
Centropomidae	깍지과					
<i>Siniperca scherzeri</i>	쏘가리	297				
<i>Coreoperca herzi</i>	깍지	4		3	78	고

표 1. 계속

학명	국명	소양호 (2006) ^a	의암호 (2004) ^b	청평호 (2004) ^b	팔당호 (2006) ^c	비고
Centrarchidae		검정우럭과				
<i>Lepomis macrochirus</i>	블루길	537	122	112	475	외
<i>Micropterus salmoides</i>	배스		148	41	50	외
Odonrobotidae		동사리과				
<i>Odontobutis platycephala</i>	동사리	2			13	고
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리			21	1	고
Gobiidae		망둑어과				
<i>Chaenogobius urotaenia</i>	꼭지구				1	주
<i>Rhinogobius giurinus</i>	갈문망둑		3			주
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	897	60	139	793	육
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑	3		3	614	
Channidae		가물치과				
<i>Channa argus</i>	가물치		1			7727
과		11	12	10	11	
속		32	31	28	38	
종		39	36	36	48	

a : 한강수계관리위원회 · 한강물환경연구소, 2007. 수중생태계 물질순환 및 에너지흐름 조사

b : 한강수계관리위원회, 2004. 북한강 상류 3개 호소 환경조사

c : 한강수계관리위원회 · 한강물환경연구소, 2007. 남한강 하류 생태계 구조조사

외: 외래어종, 고: 고유어종, 강: 강하형 어종, 주: 주연성 어종, 천: 천연기념물, 육: 육방형 어종

서도 안정적인 생태계를 유지하고 있는데 이 중 상류의 소양호, 중간의 의암호와 청평호 그리고 한강수계에 있는 댐호 중에서 가장 아래에 위치하고 있는 팔당호를 대상으로 호내와 유입지류의 어류상을 조사한 결과 총 15과 62종(이스라엘잉어 등 외래어종 5종 포함)의 어류가 분포하고 있는 것으로 나타났다(표 1). 채집한 어류 중에서 한국고유어종은 51종(김과 박, 2002) 중 47%에 해당하는 물고기가 한국고유종으로 나타나 한강수계에 서식하는 어종이 다양하게 분포하고 있으며 생태학적으로도 보존가치가 높은 것으로 나타났다.

표 1에서 보는 바와 같이 수체가 크고 유입지천이 잘 발달되어 있는 소양호에서는 39종의 어종이 나타나고 있으며, 수위변화가 적어 연안 식생대가 널리 퍼져 있는 팔당호

에서 가장 많은 어종이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 팔당호 하류의 한강본류 구간에서 잠실수중보 하류의 기수역까지 어류상을 포함하면 한강수계에 서식하는 어종은 더욱 늘어나 73종에 이르게 된다(서울특별시, 2002). 그러나 다양한 어종의 분포는 수중생태계에서 하부 구조인 식물플랑크톤, 수생식물 등이 안정적으로 유지되면서 태양에너지를 유기물로 전환시켜 수중에 일정량 이상의 유기물 농도를 유지시킬 수 있어야 수중생태계가 안정적으로 지속되거나 확대될 수 있을 것으로 판단된다.

탁수발생에 의한 수중생태계의 피해

탁수의 발생은 산지개간, 도로개설, 경사지의 농경, 산사태의 행위와 집중 호우 등에

의하여 일어날 수 있으며 이때 집중호우에 의하여 발생한 탁수가 하류로 유입되면 이를 받아들이는 수체의 수중 생태계는 다양한 반응이 나타난다.

우선 탁수 속에 포함된 토양입자는 식물 플랑크톤을 응집하여 수체의 아래로 침강함으로써 조류의 사멸을 일으킬 수 있다(김과정, 2007). 반면 탁수 속에는 다량의 인과 질소가 포함되어 있어 유속이 느려지고 수체가 안정되면 조류의 대발생 가능성이 높아진다.

탁수의 유입은 수중생태계 구성원 중에서 저서성대형무척추동물의 생태에도 많은 영향을 주게 된다. 수서곤충은 동일 수계에 서식하더라도 하상구조나 유속 등과 같은 환경요인에 의하여 미소서식지(microhabitat)의 형태가 다양해지고 이에 따라 서식하는 생물종도 다르게 된다(원 등, 2005). 담수생태계의 다양한 서식처에 적응하여 살아가는 수서곤충 중에서 하루살이, 강도래, 날도래 등은 유수역(lotic ecosystem)에서, 잠자리, 노린재 등은 정수역(lentic ecosystem)에서 주로 서식하면서 부식질, 부착조류, 작은 수서곤충 등을 섭식하여 먹이피라미드의 상위 단계로 영양을 전달하게 된다. 그러나 고농도의 탁수가 장기간에 걸쳐 유입되면 모래, 자갈, 낙엽 등으로 이루어진 미소서식지가 파괴되고 여과섭식을 하는 다양한 수서곤충과 패류 등이 사멸하게 되면서 상위단계로의 영양전달이 중단될 수 있으며 공생관계에 있는 어종의 피해도 발생할 수 있다. 한 예로 팔당호 퇴적물에 널리 분포하고 있던 말조개, 필조개, 대칭이 등 이때패가 급격하게 줄어들면서 이들 담수패류의 새강에 산란하던 각시붕어, 줄납자루, 가시납지리 등 납자루아과, 그리고 중고기 등의 개체수가 급격하게 줄어들었다.

수중에 분포하는 수생식물 중에서 마름, 연, 생이가래 등 뿌리나 줄기가 수중에 노출

되어 있는 수초종의 생장은 탁수의 유입이 긍정적인 역할을 할 수 있다. 탁수와 함께 유입된 인과 질소 등은 이러한 수생식물의 성장에 필요한 영양염류를 충분하게 제공해 줄 수 있기 때문이다. 반면 붕어마름, 검정말 등과 같은 생활형이 물 속인 경우에는 수중에 발달한 잎의 표면에 토사가 침적됨으로써 광합성이 저해되고 따라서 성장에 영향을 받으며 심하면 사멸하게 된다. 수초의 사멸은 수초를 기반으로 생활하는 다양한 생물군 즉, 부착조류, 저서성대형무척추동물, 수초를 생활공간과 산란공간으로 이용하는 다양한 어종에게 피해를 입히게 된다.

적당한 탁수의 유입에 따른 탁도의 유지 는 물고기의 생활에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 하지만 일반적으로 탁도가 증가하면 시각에 의존하여 먹이 활동을 하는 물고기에게는 부정적인 영향을 줄 수 있다(Vinyard and O'Brion, 1976). 탁도가 심해지면 포식자가 먹이생물을 발견 할 수 있는 기회는 점점 줄어들기 때문이다. 반면 적당한 탁도가 유지되는 곳에서는 포식자와 피식자간 서로 마주칠 수 있는 빈도가 증가하게 되고 또한 먹이생물과 주변과의 대조(contrast)가 생겨 먹이생물의 탐색이 쉬워져 포식자의 섭식 행동이 유리해 지기도 한다(Abraham, 1997; Boehlert and Morgan, 1985). 한 예로 탁도가 27-108 NTU 정도인 Fraser River에서는 채집한 어류 중에서 10% 정도만 최근에 먹이를 취한 것으로 나타난 반면 탁도가 매우 낮은 Harrison River($1 \leq 1$ NTU)에서는 채집한 어류의 31% 정도가 최근에 먹이를 섭취한 것으로 나타나 탁도가 포식-피식활동에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 Fraser River에서는 어식성 어류 한 마리당 1.1마리의 먹이를 취한 반면 탁도가 높은 Harrison River에서는 1.7마리를 먹은 것으로 나타나 맑은 물에서 먹이 활동이 더 활발한 것으로

나타났다.

국내에 유입된 지 30여 년이 지났고 이 과정에서 국내 대형인공호나 저수지 등에 널리 분포하는 배스는 타 어종에 비하여 탁도의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다. 2.3 NTU, 20 NTU의 탁도를 나타내는 미국 온타리오호의 연안습지대에서 탁도가 배스의 먹이 크기와 포획율에 미치는 영향을 조사한 결과 배스성어의 먹이 포획율은 큰 차이를 보이지 않았다. 실내에서 조사한 결과 1 NTU, 18 NTU 그리고 37 NTU에서도 먹이 포획율에는 큰 차이를 나타내지 않았다(Reid *et al.*, 1999). 반면 70 NTU 이상의 고탁도에서는 배스의 먹이 포획율이 급격하게 감소(35~39%)하는 것으로 나타났다. 블루길 치어의 경우 50 NTU 정도의 탁도에서는 먹이 섭식이나 성장에 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났고 기수역에 서식하는 striped bass(*M. saxatilis*)의 치어는 130 NTU의 탁도에서도 먹이 섭식율이 저하되지 않는 것으로 나타났다(Chesney, 1989). 위의 예에서 보는 바와 같이 대부분 어식성 어종이나 먹이 피라미드의 상위에 위치하고 있는 어종은 탁도에 의한 먹이섭취에 직접적인 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 치어나 작은 플랑크톤을 먹는 물고기를 대상으로 한 실험 결과 시각에 의하여 먹이를 섭식하는 물고기들은 탁도가 증가하면 먹이 포획율이 감소한다(Vinyard and O'Brion, 1976). 그러나 다른 연구 결과 중간 정도의 탁도에서는 먹이 습득율이 증가하는 것으로 나타났다(Boehlert and Morgan, 1985). 여러 연구 결과를 대상으로 모델링을 한 결과 소형의 유영성 어종과 소형플랑크톤을 먹는 물고기에게 탁도는 먹이활동에 긍정적인 효과를 주는 것으로 예측되었다(Giske *et al.*, 1994; Fisker *et al.*, 2002).

그러나 집중강우에 의하여 유입된 흙탕물

에 포함된 토양입자에 의해서 야기된 탁도는 전체적으로 수중생물에 나쁜 영향을 준다. 수중으로 유입된 토양입자는 수중생태계를 유지되는 근간인 수중식물과 식물플랑크톤의 일차생산에 직접적인 영향을 줌으로써 수중생태계의 유기물 양이 줄어들게 되고 이어서 다양한 대형무척추동물의 생태에 부정적인 영향을 주면서 먹이사슬을 따라 결국은 최종적으로 먹이피라미드의 최상위에 있는 어류의 생태에 영향을 주게 된다.

탁수 중에 포함된 토양미세입자는 어류의 산란시기에 특히 큰 영향을 주게 된다. 가물치 등의 부성란보다는 잉어과 어류를 포함한 대부분 어류가 산란하는 침성란이나 점성란에 더 큰 영향을 준다. 부화단계에서는 많은 양의 산소가 필요하게 되는데 미세한 토양입자는 자갈의 틈새를 메우거나 어란에 부착하여 산소의 교환을 방해하여 결국 부화율을 감소시키거나(Maret *et al.*, 2003) 성어의 아가미에 침적되어 호흡율을 감소시키고 삼투압 조절을 방해하기도 한다. 또한 시야가 좁아져 먹이 활동이 수중보다는 수면 위의 낙하 곤충 등으로 제한적으로 이루어져 영양상태가 부실해져 면역력이 저하되기도 한다(한 등, 2007). 종개과, 미꾸리과, 동자개과 등 바닥이나 돌 틈에서 생활하는 부레가 없는 어종들의 피해가 크게 예상된다. 이러한 어종들은 야행성 어종들이 많고 이동성이 적어 토양입자가 쌓이게 되면 돌 밑이나 저서환경에서 그대로 폐사하는 경우가 발생하게 된다.

탁수에 의한 물고기의 피해 방지를 위한 제언

표 1에서 보는 바와 같이 계류와 같은 유수역과 인공호와 같은 정수역 등 다양하게 분포하는 수역에서는 이러한 서식지가 담야

낼 수 있는 생물상도 다양해지고 그림으로써 수중생태계 최상위를 점하고 있는 어류의 생태계도 풍부해 질 수 있다. 그러나 탁수 특히 토양입자가 고농도로 존재하는 흙탕물이 유입되면 수중생태계의 하부에서부터 악영향을 주어 최종적으로는 수중생태계 전체가 교란될 수 있다. 따라서 탁수에 의한 수중생태계 교란을 막을 수 있는 다양한 예방 및 사후 조치가 필요할 것으로 판단된다.

우선 탁수의 발생을 예방하는 것이 가장 바람직 할 것으로 판단된다. 국내 수계에서 가장 많은 급수인구를 가지고 있으며 다양한 수중생물상이 발달되어 있는 한강수계에는 최근 2002년 “루사”, 2003년 “매미”, 2004년 “디엔무” 그리고 2006년 “에위니아” 등 집중 호우를 동반한 태풍에 의하여 발생된 탁수의 영향을 심하게 받고 있다. 한강수계 탁수의 발생원인은 인제군, 양구군, 홍천군 등에 위치하고 있는 산간지등 경사지의 농사에 의한 원인이 큰 것으로 나타나고 있으며 또한 경사가 있는 산지를 개간하여 농경지로 전환하는 경우도 증가하고 있다(김등, 2007). 더 이상 산간의 경사지를 개간하여 농지로 전환하는 것을 금지해야 할 것으로 판단된다.

경사가 심한 곳에 있는 농경지는 중간에 여러 개의 소형 저류지를 축조하여 강우시 토양입자의 부분 침강을 유도하여 농경지에서 토양입자 유출을 줄여야 할 것이다. 최종적으로는 농경지 하류에 대형 저류지를 조성하는 것이 필요하다.

농경지의 표토를 피복하는 것도 효과적인 대책이 될 수 있다. 벚짚으로 토양의 표토를 덮었을 경우 토양입자의 유입을 현저하게 감소시킬 수 있고 또한 벚짚 표면에 미생물막이 형성됨으로써 어류의 성장에도 긍정적인 영향을 줄 수 있다(Yi *et al.*, 2003). 또한 토양표면을 강우의 충격으로부터 보호하여 토

양 공극이 막히는 것을 줄이므로 토양 침투수의 양을 증가시켜 표면 유출량을 감소시킬 수 있다(한국수자원공사, 2004). 최근에 친환경소재로 많이 이용되고 있는 야자섬유를 이용하면 벚짚보다는 수명이 길어 유지관리에 용이할 수 있을 것으로 판단된다.

빗물 우회수로를 설치함으로써 다량의 빗물이 농지의 표면을 통과하는 것을 줄인다. 이는 농경지 주변의 산림, 도로 등으로부터 농지로 빗물이 유입되는 것을 막음으로써 농토의 표면 유실을 줄이게 된다.

농토를 통과한 빗물에 대해서는 인공습지나 인공초지대를 조성하여 토양입자의 하류 유입을 줄일 수 있다. 농경지의 하류에 인공습지나 인공초지대를 설치함으로써 미세한 토양입자를 침강·여과할 수 있고 또한 흙탕물 속에 포함되어 있는 다량의 영양성분도 미세 토양입자와 같이 침강·여과됨으로써 하류로의 영양성분의 유출을 일부 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 위에서 제시한 토사 유입 방지를 위한 방법들은 2006년과 같이 수 백 밀리미터에 달하는 집중 호우시에는 큰 효과를 나타낼 수 없다. 근본적으로 경사가 심한 산지의 개간을 금지시키고 기존의 경사지 농토를 정부나 지자체 등에서 매입하여 목밭이나 삼림을 조성하는 것도 고려해 볼 수 있다. 또한 도로개설 및 확충을 위하여 파헤친 산간의 절개지 경사도를 낮추고 피복 및 식목작업을 강화하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김범철, 정성민. 2007. 소양호 탁수발생 실태와 환경생태학적 영향. 한국물학술단체연합회 2007 물정책포럼집.
- 김윤희. 1998. 홍수시 소양호에서 중층탁류의 이동 및 영향에 관한 연구. 강원대학교 석사학

- 위청구논문.
- 김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사. 서울특별시, 2002. 한강생태계 조사연구.
- 원두희, 권순직, 전영철. 2005. 한국의 수서곤충. 한강수계관리위원회. 2004. 북한강 상류 3개 호소 환경조사.
- 한강수계관리위원회. 2007. 남한강 수계 호소의 생태계 구조조사.
- 한강수계관리위원회. 2007. 수중생태계 물질순환 및 에너지 흐름 조사.
- 한국수자원공사. 2004. 소양강댐 비점오염물질 유입특성 및 저감방안(2차년도).
- 한승철, 이학영, 서울원, 심재현, 이종은. 2007. 임하호의 탁수가 어류상 및 어류생장에 미치는 영향. 생명과학회지 17(8): 1104-1110.
- Abraham, M. and M. Kattenfeld. 1997. The role of turbidity as a constraint on predator-prey interactions in aquatic environments. Behav. Ecol. Sociobiol. 40: 169-174.
- Boehlert, G. W. and Morgan, J. B. 1985. Turbidity enhances feeding abilities of larval Pacific herring, *Clupea harengus pallasii*. Hydrobiol. 123: 161-170.
- Chesney, E. J. 1989. Estimating the food requirement of striped bass larvae *Morone saxatilis*: effects of light, turbidity and turbulence. Mar. Ecol., Prog. Ser. 53: 191-200.
- Fisken, Ø. and MacKenzie, B. R. 2002. Process-based models of feeding and prey selection in larvae fish. Mar. Ecol. Prog. Ser. 243: 151-164.
- Giske, J., Aksnes, D. L. and Fisken, Ø. 1994. Visual predators, environmental variables and zooplankton mortality risk. Vie Milieu. 44: 1-9.
- Maret, T. R., T. A. Burton, G. W. Harvey and W. H. Clark. 2003. Field testing of new monitoring protocols to assess brown trout spawning habitat in Idaho streams. National Water Quality Assessment (NAWQA) Program, upper Snake River Basin Study and Idaho Department of Environmental Quality.
- Reid, S. M., M. G. Fox and Willians, T. H. 1999. Influence of turbidity on piscivory in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Can. J. Fish. Aquat 56(8): 1362-1369.
- Utne-Palm, A. C. 2004. Effects of larvae ontogeny, turbidity and turbulence on prey attack rate and swimming activity of Atlantic herring larvae. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 310: 147-161.
- Vinyard, G. L. and O'Brion, W. J. 1976. Effects of light and turbidity on the reactive distance of bluegill (*Lepomis macrochirus*). J. Fish. Res. Board Can. 33: 2845-2849.
- Yi, Y., Lin, C. K. and Diana, J. S. 2003. Techniques to mitigate clay turbidity problems in fertilized earthen fish ponds. Aquacultural Engineering 27: 39-51.