탁수가 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향[1)]

원두희[*] · 이종은[1**] · 공동수[2***]
(주)생태조사단 부설 두희자연환경연구소, [1]안동대학교 생명환경과학부
[2]국립환경과학원 한강물환경연구소

서 론

몬순기후대에 속하는 우리나라는 강우강도의 시기별 차이로 인해 하천의 하상계수가 커서 수자원 이용도가 낮고 수중생태계가 불안정하다. 이에 더하여 최근 국내의 하천은 산림벌채, 산불, 농경지 개간, 습지매립, 댐 건설, 직강화, 골재채취, 준설, 하상정비, 제방건설, 고수부지 개발과 같은 유역 및 하도 교란과 아울러 과도한 용수이용, 수중보 및 지상보의 축조에 의해 물리적으로 교란되어 왔으며, 환경용량을 초과한 유기 및 무기물질의 유입, 토사유입 등에 의해 화학적으로 변화되어 왔고, 오염에 따른 생물군집의 변화와 그 반작용, 외래 생물종의 도입과 이식 및 양식, 특정 종의 남획 등으로 인해 생물학적으로 교란되어 왔다.

교란(disturbance)은 생태계 내 군집의 구조와 기능을 결정하는 중요한 요인 중의 하나이다(e.g., Sousa, 1984; Lugthart and Wallace, 1992; Peterson and Stevenson, 1992; Townsend *et al.*, 1997). 군집은 안정적인 것이 아니라 천이를 하는 동안에 구조적, 기능적으로 변화하게 되므로 교란의 효과는 발달 상태(developmental state)에 따라 다양한 모습을 지닐 지도 모른다. 교란에 대한 군집의 반응은 공간적으로 매우 다양하게 나타나므로 생태계의 환경 구배(environmental patchiness)는 저항성(resistance)을 강하게 또는 약하게 하거나 교란 후의 회복(resilience) 속도와 유형을 변형시키는 방법으로 군집의 구조와 기능에 영향을 미칠 지도 모른다(Peterson and Stevenson, 1992).

일반적으로 하천 생태계에서의 교란은 단기적 형태(pulse type)와 장기적 형태(press type) (sensu Bender *et al.*, 1984)로 구분할 수 있다. 단기적 교란은 개체군 밀도나 군집구조에 일시적인 변화를 일으키는 것으로, 예를 들어 화학물질(e.g., pesticide; Hutchens *et al.,* 1998)의 갑작스런 유입과 같은 것은 생태계의 일시적인 변화를 일으킨다. 이러한 교란을 재빨리 제거했을 때 생태계의 반응은 일시적인 것이 된다. 반대로 장기적 교란은 지속적이고 만성적인 간섭을 통하여 생태계에 장기적인 영향을 주게되는 것으로 댐 및 수중보의 건설, 수로의 변형 등은 유속을

1)The Influence of Muddy Water on Benthic Macroinvertebrates Community
2)*WON, Doo Hee, Doohee Institute of Ecological Research (DIER), Korea Ecosystem Service (KES) Inc.; E-mail: drdoogy@kes.re.kr
**LEE, Jong Eun, School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University
***KONG, Dong Soo, Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research (NIER)

변화시키고 서식처의 물리적 특징을 변화시키게 되어 하류의 생태계에 영향을 줄지도 모른다(Underwood, 1996).

최근 기록적인 폭우를 동반한 태풍으로 인하여 일부 댐에서 고탁도의 장기화가 문제가 되고 있다. 임하댐의 경우 2002년 태풍 '루사'와 2003년 태풍 '매미', 이어서 2004년 태풍 '디앤무'는 유역으로부터 대량 토사를 유입시킴으로서 탁수 장기화의 촉매 역할을 했다. 소양댐 및 도암댐의 경우에도 상류 고랭지 놀경지 등에서 유입한 탁수가 장기 체류하여 연중 탁수문제가 발생하고 있다. 일정수준을 넘어서는 탁도는 심미적인 문제를 넘어서 수자원으로서의 가치뿐만 아니라 수생태계를 파괴하는 주요 원인물질로 대두되고 있다(최 등, 2005).

운반 또는 퇴적되는 부유물질량의 증가는 하천의 생물서식처를 단순화시키는 효과를 보이는 것으로 알려져 있다(Berkman and Rabeni, 1987; Carling and McCahon, 1987). 특히 직경 2 mm 이하의 미세한 퇴적물은 수계의 탁도를 증가시켜 빛 투과량의 감소를 유발하여 인근 수계의 일차 생산력의 감소를 초래할 가능성이 있고, 이와 함께 생태계 먹이망(food-web)의 나머지 부분에도 큰 영향을 줄 수 있다(Davies-Colly *et al.*, 1992). 이러한 생물적 영향에 더불어 생태계 내의 원활한 물질순환 및 총체적인 자기조절 능력의 저해 등 심각한 생태계의 기능 저하가 발생할 것으로 보이며, 이는 뚜렷한 수서생물군집의 변화를 야기한다(김 등, 2004) (그림 1).

저서성 대형무척추동물은 수생태계에서 높은 점유율을 차지하고 있는 주요 생물군으로 대부분이 저차소비자이다. 이들은 수생태계의 바닥에 서식하므로 하상 상태는 서식에 직접적인 영향을 미치는 중요한 환경요인이라 할 수 있다. 따라서 다양한 형태의 탁수 유입 및 퇴적은 저서성 대형무척추동물의 서식에 직접적인 영향을 주어 개체, 개체군 및 군집에 영향을 미치게 될 것이다. 나아가 저서성 대형무척추동물 군집의 변화 전체 수생태계의 구조와 기능의 변화를 야기할 가능성도 있다.

그림 1. 탁수의 하천유입 현황(김 등, 2004).

발안 유역

경기도 화성군 봉담면과 팔탄면의 발안저수지를 중심으로 한 유역으로 농경지, 산림지 및 주거지 등이 산재해 있는 농업유역이다. 여기서는 농업환경이 수생태계, 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향에 대한 것을 목적으로 하여 주변의 대부분이 농경지인 <지점 1>에 대하여 파악하였다(그림 2).

발안유역 수계에 서식하는 저서성 대형무척추동물 군집은 <지점 1>에서는 걸러먹는무리(Collector-filterer, CF)인 줄날도래류와 먹파리류가 우점종을 차지하고 있다가 봄부터 주워먹는무리(Collector-gatherer, CG)인 깔다구류의 점유율이 높아지는데, 이러한 경향은 농번기와 맞물려 봄부터 부유물질(SS)의 농도가 높아지면서 걸러먹는무리의 서식을 저해하는 것으로 보인다.

섭식기능군의 변동을 보면 <지점 1>에서는 걸러먹는무리와 주워먹는무리의 출현개체수 점유율이 매우 높게 나타나고 있는데

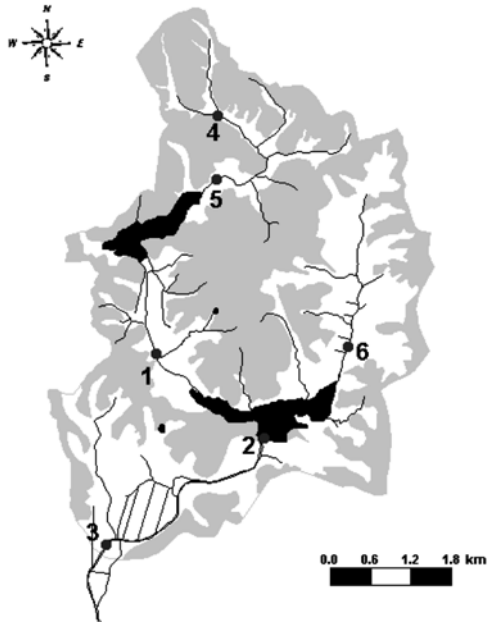

그림 2. 조사지점 및 유역현황.

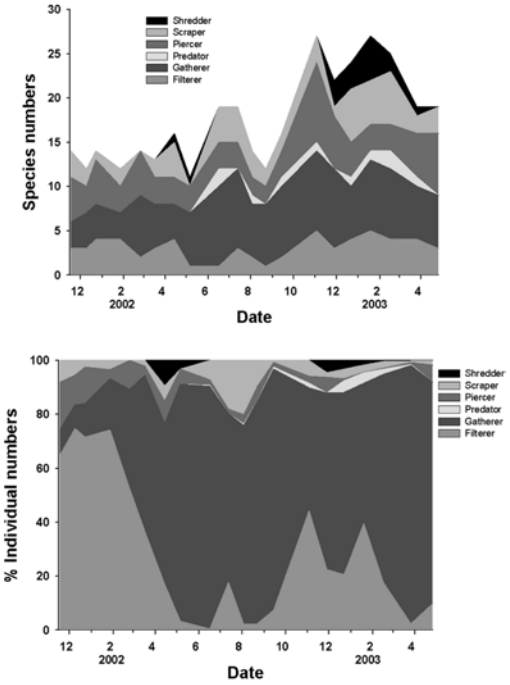

그림 3. <지점 1>에서의 섭식기능군별 출현종수 및 백분율 출현개체수의 변동.

동절기에는 걸러먹는무리, 하절기에는 주워먹는무리의 점유율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 농업유역의 특성상 부유물질의 하천내 유입이 많아지는 시기인 봄부터 부유물질의 증가에 다른 섭식기능군보다 민감한 걸러먹는무리의 출현개체수에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다(그림 3).

<지점 1>의 주요 우점종이며 걸러먹는무리인 꼬마줄날도래(C. brevilineata)와 먹파리류(Simulium sp.)를 대상으로 개체군 변동을 파악하였다. 꼬마줄날도래는 줄날도래과에 속하는 종으로 줄날도래류(Hydropsyche spp.)와 유사하게 net-spinning filter feeder로서 하천 내에 net를 만들고 여기에 걸린 유기물질을 섭식하며 사는 종류이며, 먹파리류 역시 filter feeding을 하는 종류이다. 이 개체군은 주변 농경지가 활성화되는 봄 이후 급격한 감소추세를 보이다 동절기로 접어들면서 회

복되는 양상을 보였다(그림 4).

농업유역에서 걸러먹는무리에 많은 영향을 미치는 부유물질의 계절적 변동은 강우기에 매우 높아지는 것으로 파악되었으며, 걸러먹는무리와 부유물질 농도간의 회귀분석결과 비교적 낮은 상관성에도 불구하고 부유물질의 증가는 걸러먹는무리의 밀도에 영향을 주는 것으로 파악되었다(그림 5). 그러나 일시적인 SS 농도의 증가보다는 지속적으로 높은 농도의 유지가 저서성 대형무척추동물 군집에는 보다 더 많은 영향을 미치는 것으로 보인다.

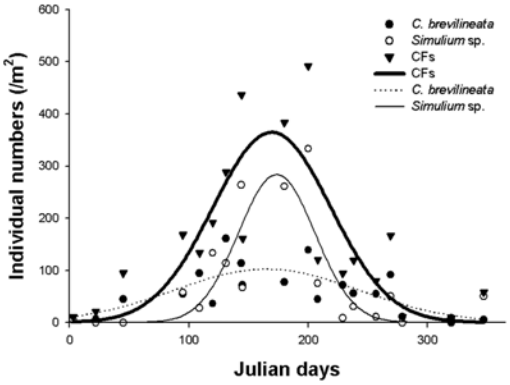

그림 4. <지점 1>에서 걸러먹는무리의 변동.

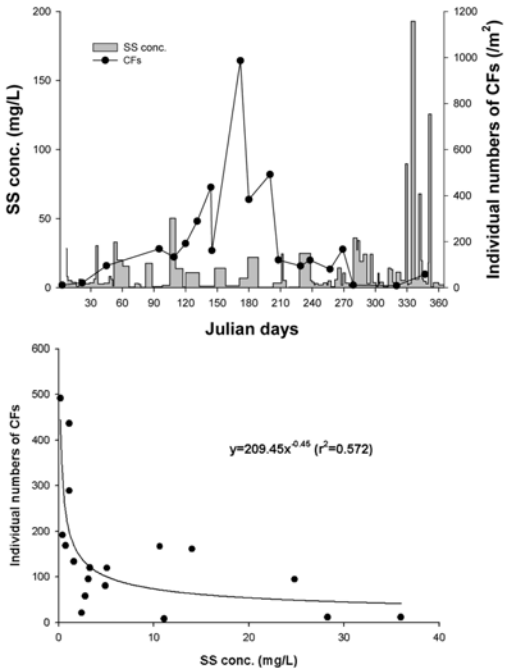

그림 5. <지점 1>에서 걸러먹는무리와 부유물질 농도 간의 변화양상.

임하호

군집에 미치는 영향

낙동강 상류에 위치한 임하호의 경우 2002년 태풍 '루사'와 2003년 태풍 '매미'로 인해 발생한 탁수가 저수지내 전체 수층에 확산됨으로서 댐방류수의 고탁도현상이 장기화되고 있다. 이는 상수원 이용에 지장을 초래하며 경관 악화와 더불어 주민의 수질 불신을 야기할 뿐만 아니라 물환경 및 수생태계에까지 악영향을 줄 수가 있다(최 등, 2005).

임하호의 탁수가 수생태계, 특히 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향을 파악하기 위하여 탁수가 저류된 임하댐 내와 임하댐에서 유출되어 낙동강 상류수계로 유입되어 일정 수계 구간에 탁수가 영향을 미치는 구간까지를 실험구간으로 설정하고, 안동댐에서 낙동강 상류수계로 유입되는 수계 구간 및 인접한 길안천 수계를 대조구간으로 선정하여 비교・분석하였다(그림 6).

대조수계인 길안천의 지점들은 조사기간 동안 탁수의 영향을 거의 받지 않아 하상의 공극 사이에 침적된 점토 입자가 거의 없이 비교적 깨끗한 하상 상태를 유지하고 있는 반면에 탁수의 영향을 받는 실험수계의 지점은 임하댐 내와 임하댐의 하류 수계로서 하상 사이에 미세한 점토 입자가 침적되어 있는 것을 볼 수 있다(그림 7).

대조수계와 실험수계에 대한 비교・분석 결과 대조수계에서는 총 77종이 출현하였고, 탁수의 영향을 받는 실험수계에서는 67종이 나타나 큰 차이를 나타내지 않았으나, 단지 청정한 수계에 주로 서식하는 물날도래류와

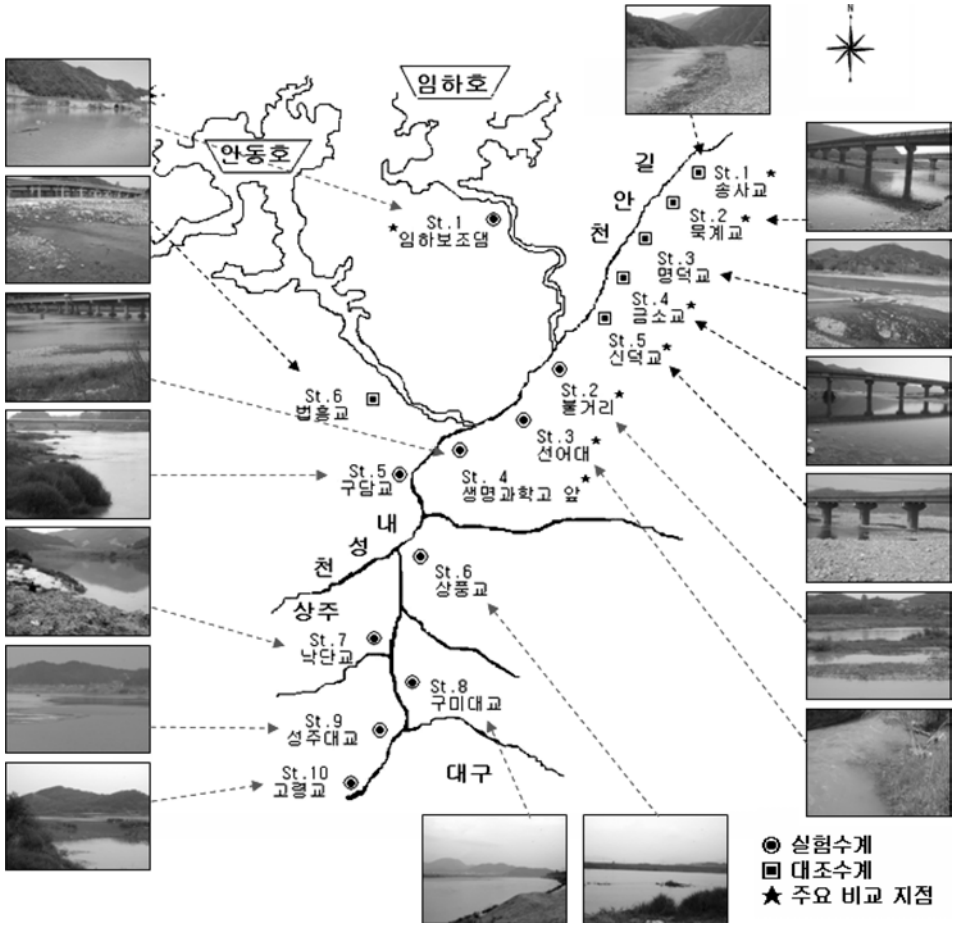

그림 6. 임하호 탁수 영향분석을 위한 조사지점과 조사지 전경.

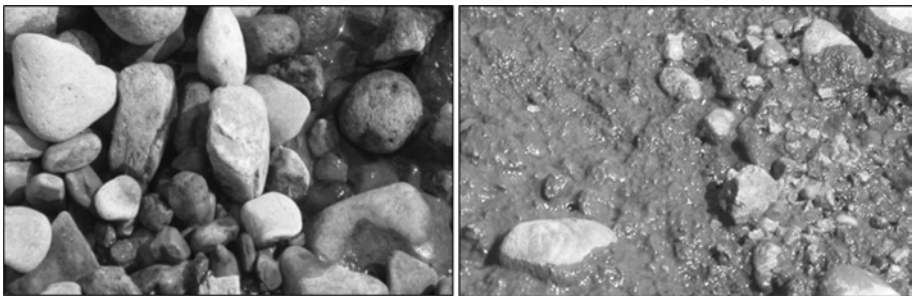

그림 7. 대조수계(좌)와 실험수계(우) 조사지점의 하상 상태.

우묵날도래류 등과 같은 날도래류의 출현종수가 감소폭이 큰 것으로 나타났다(그림 8). 또한 출현개체수의 경우를 보면 탁수의 영향을 받는 실험수계에서는 서식처 교란에 상대적으로 강한 파리류, 특히 깔다구류의 밀도가 매우 높게 나타남을 알 수 있다(그림 9).

탁수의 영향을 받지 않은 대조수계의 서식종 중 몽땅하루살이, 두점하루살이, 알락

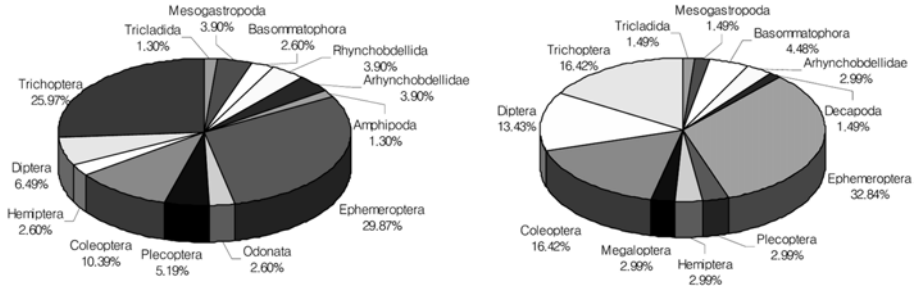

그림 8. 대조수계(좌)와 실험수계(우)의 출현종수 백분점유율.

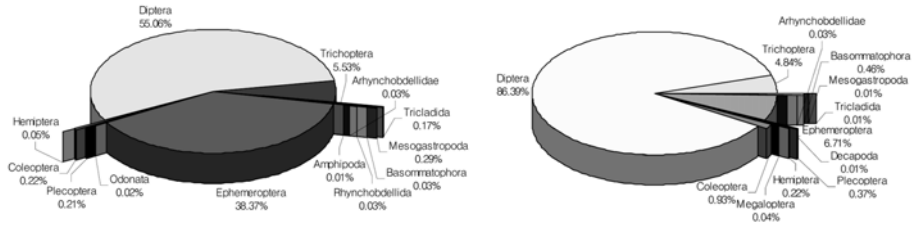

그림 9. 대조수계(좌)와 실험수계(우)의 출현개체수 백분점유율.

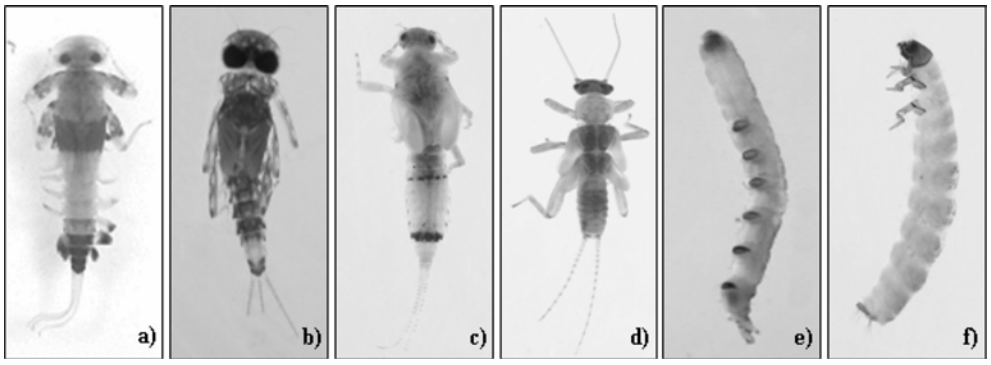

그림 10. 대조수계의 주요 서식종. a) 몽뚝하루살이, b) 두점하루살이, c) 알락하루살이, d) 꼬마민강도래, e) 명주각다귀 KUa, f) 광택날도래 KUa.

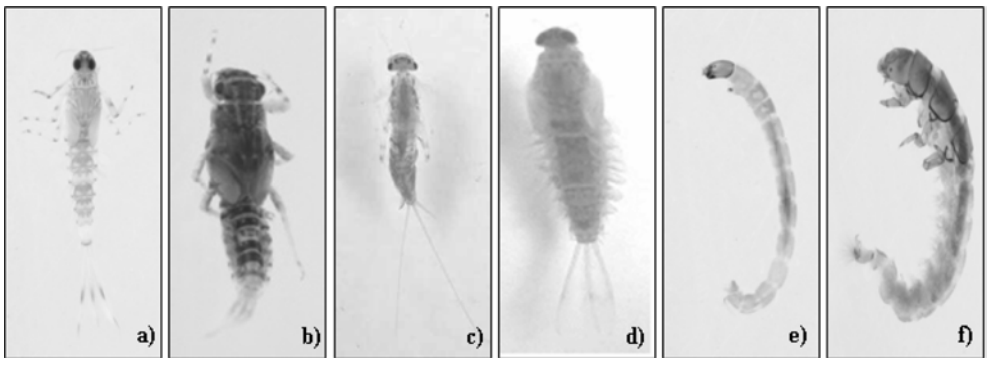

그림 11. 실험수계의 주요 서식종. a) 개똥하루살이, b) 등줄하루살이, c) 세갈래하루살이, d) 옛하루살이, e) 깔다구류 sp.1, f) 줄날도래 KUb.

하루살이, 꼬마민강도래, 명주각다귀 KUa, 광택날도래 KUa는 실험수계에서 출현하지 않았거나 대조수계에서의 개체수가 월등히 많은 종으로서 대조수계의 대표종이라 할 수 있다(그림 10). 반면 탁수의 영향을 받은 실험수계의 서식종 중 개똥하루살이, 등줄하루살이, 세갈래하루살이, 옛하루살이, 깔따구류, 줄날도래 KUb는 실험수계에서 출현빈도가 비교적 높은 종으로서 실험수계의 대표종이라 할 수 있다(그림 11).

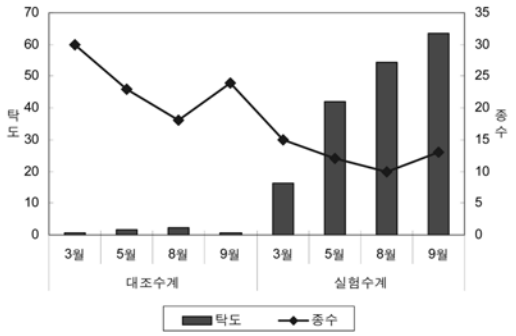

그림 12. 대조수계와 실험수계의 탁도에 따른 종수의 변화.

탁수의 영향을 받은 실험수계와 대조수계의 탁도에 따른 종수를 비교한 결과 탁수 방류전인 3월과 탁수 방류후인 5월의 종수에서 차이를 보였다. 대부분의 지점에서 5월의 탁도가 높았으며, 그에 따라 대부분의 지역에서 3월보다 5월의 종수가 적어진 것을 볼 수 있다. 8월과 9월의 탁도 역시 실험수계가 대조수계보다 매우 높게 측정되었으며, 이것이 출현종수에 영향을 미친 것으로 보인다(그림 12).

출현종수와 이화학적 요인의 상관관계를 살펴보면, 3월 경우, 이화학적인 요인, 즉 탁

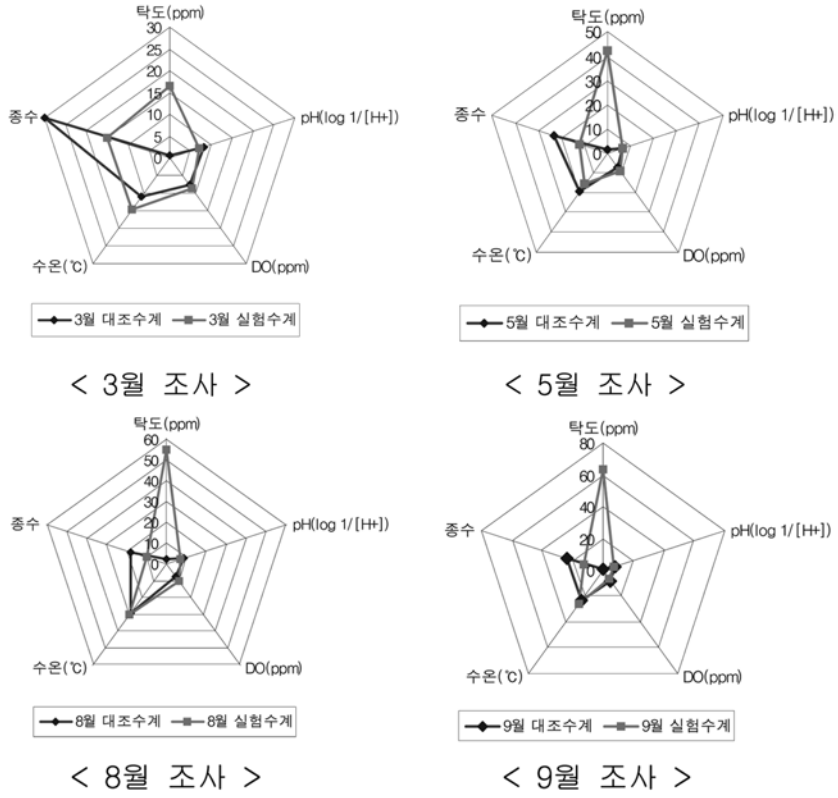

그림 13. 출현종수와 이화학적 요인과의 상관관계.

도, DO, pH, 수온에 따라 대조수계와 실험수계의 종수의 차이가 매우 큰 것을 볼 수 있다. 특히 실험수계의 탁도가 대조수계보다 매우 높게 나타났으며, 수온 또한 대조수계보다 높게 측정되었다. 5월의 경우 실험수계의 탁도가 3월 보다 월등히 높은 수치로 나타났으며, 그에 따라 대조수계와 실험수계간의 종수가 큰 차이를 보였다. 또한 대조수계의 수온이 실험수계보다 더 높게 측정됨에 따라 DO가 감소하는 것으로 나타났다.

8월의 경우 역시 탁도에 있어서 두 수계간의 큰 차이를 보였으나 수서곤충류의 우화 등으로 인해 대조수계와 실험수계의 종수의 차이가 3월, 5월보다는 적어진 것을 볼 수 있으며, 9월의 경우 평균 탁도가 조사기간 중 가장 높게 나타났으며, 실험수계의 수온이 높게 측정됨에 따라 pH, DO가 감소하였다(그림 13).

개체에 미치는 영향

곤충은 여러 가지 방법으로 산소를 얻는데 많은 곤충이 기관아가미(tracheal gills)를 가지고 있다. 이러한 기관아가미는 온몸에 분포하고 있으나 흔히 배에 존재하며, 어떤 곤충에서는 배의 말단에 존재한다. 즉 수서곤충은 기관아가미를 율동적으로 파동치거나 몸을 움직여 가스교환을 증진시키는데 이와 같은 운동은 산소가 풍부한 물을 흡수부위로 가져온다. 따라서 기관아가미가 탁수유발 물질인 토양입자에 의해 피복이 되면 가스교환 효율이 저하되어 생존에 영향을 미칠 수 있다(그림 14~16).

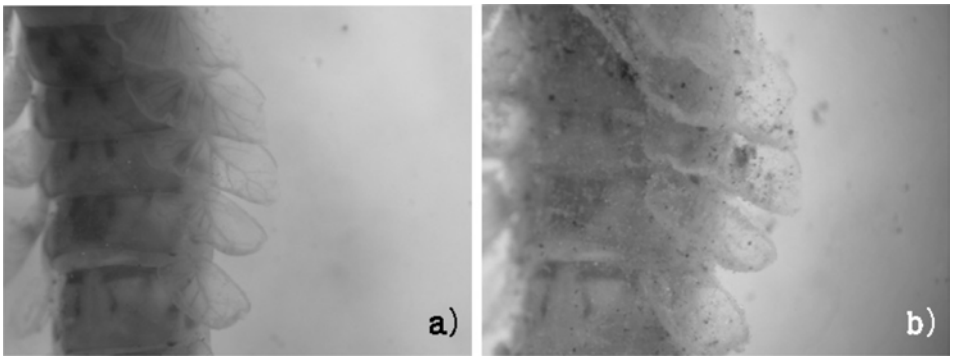

그림 14. 옛하루살이의 기관아가미 모습. a) 대조수계, b) 실험수계.

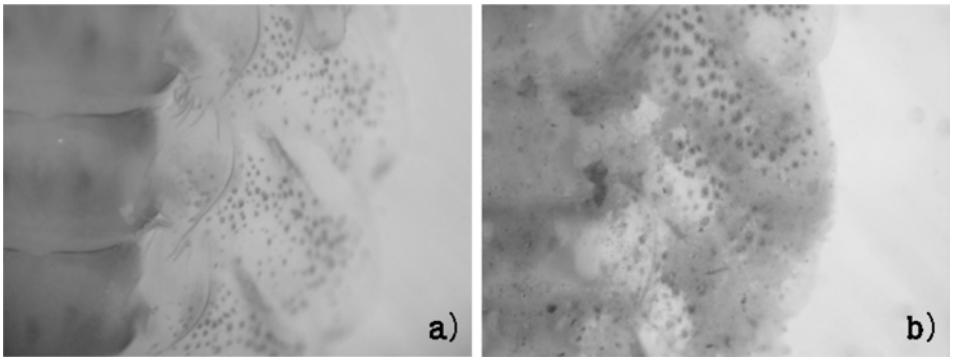

그림 15. 부채하루살이의 기관아가미 모습. a) 대조수계, b) 실험수계.

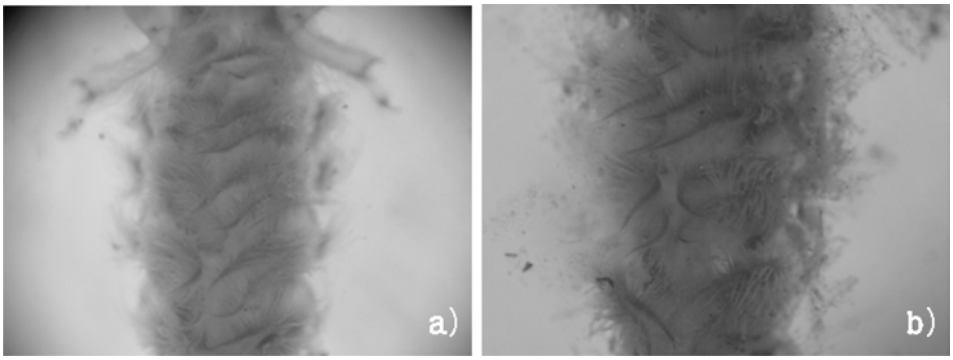

그림 16. 무늬하루살이의 기관아가미 모습. a) 대조수계, b) 실험수계.

팔당호

최근들어 서울 지역의 연간강수량은 증가하는 추세에 있으며(그림 17), 탁수에 의하여 영향을 받은 2006년도에는 이 지역의 연평균 강수량보다 많은 강우가 있었고(그림 18), 특히 소양강댐으로 부터의 탁수의 방류는 팔당호의 수생태계에도 많은 영향을 미친 것으로 보인다. 이러한 영향에 대한 것을 과거의 조사결과와 비교하여 탁수가 팔당호에 서식하고 있는 저서성 대형무척추동물 군집에 미친 영향을 파악해 본다.

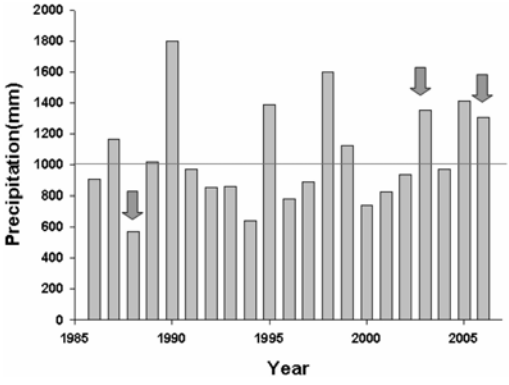

그림 18. 양평지역 강수량(6-9월 합계)의 연간 변화.

팔당호에서 저서성 대형무척추동물 군집에 대한 본격적인 조사는 1988년에 처음 시작되었고, 이후 2003년과 2006년도에 시행되었다. 각 조사는 지점의 통일성을 위하여 동일한 지점을 선정하여 팔당호 전반에 대한 저서성 대형무척추동물 군집의 구조 및 생체량 변화에 대한 조사가 실시되었다(그림 19).

저서성 대형무척추동물의 출현종수는 1988년도 75종, 2003년도 70종으로 큰 변화를 보이지 않았으나, 상류로부터 탁수가 유입되었던 2006년에는 52종으로 20여종의 큰 감소폭을 나타내었다(표 1). 또한 출현개체수도

그림 17. 서울지역의 연간강수량의 장기 변화.

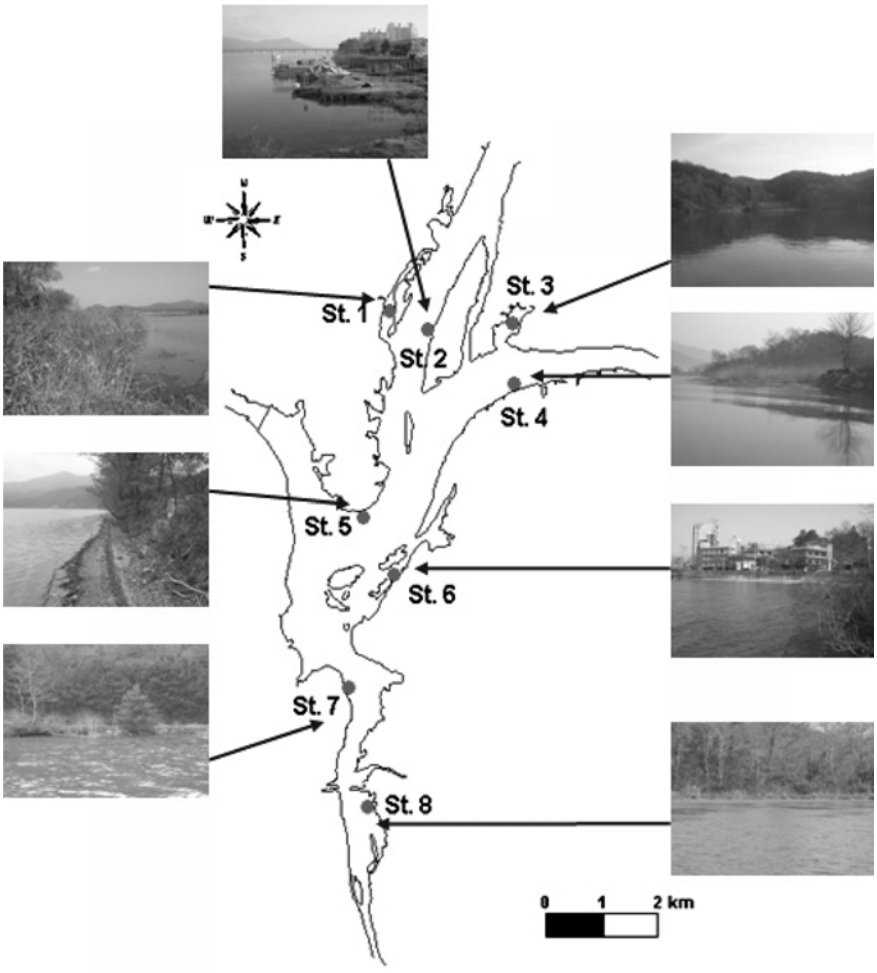

그림 19. 팔당호에서 저서성 대형무척추동물의 조사지점 및 조사지 전경.

표 1. 팔당호의 조사지점별 출현종수

시기/지점	1	2	3	4	5	6	7	8	계
1989	36	46	44	44	36	40	44	25	79
2003	32	25	33	24	26	30	39	14	70
2006	8	11	7	10	10	7	9	8	52

1988년도 1,002개체/m^2, 2003년도 1,964개체/m^2에서 2006년에는 300개체/m^2로 급격히 감소한 것으로 나타나 유입된 탁수의 퇴적에 의하여 저서서 대형무척추동물, 특히 패류 등과 같이 호소의 바닥에 서식하던 종류를 덮어 생존을 불가능하게 하는 등 서식처의 교란 및 단순화에 의한 것으로 보인다(표 2). 탁수의 유입 후 미세입자의 퇴적은 하상의 작은 공극마저도 메워 이를 이용하는 생물에 치명적일 수 있으며, 나아가 수생태계 내

표 2. 팔당호의 조사지점별 출현개체수(개체/m^2)

시기/지점	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
1988	2,337	1,044	769	180	776	679	1,314	923	1,002
2003	2,438	1,621	2,946	2,376	1,366	1,529	1,776	1,663	1,964
2006	340	301	321	281	192	306	326	336	300

표 3. 팔당호 조사지점별 생체량의 변화(gSFDW/m^2)

시기/지점		2	3	4	5	6	7	8	평균
1988	6.761	15.410	6.761	17.957	15.410	11.840	12.690	1.346	11.022
2003	2.000	0.769	1.384	1.275	0.329	0.609	0.460	0.129	0.869
2006	0.673	8.883	6.256	0.569	0.414	0.613	0.689	1.144	2.405

먹이망을 교란시키는 직접적인 요인이 될 수 있다.

팔당호에서 저서성 대형무척추동물의 생체량 변화는 1988년도에 비하여 2003년도와 2006년에는 거의 5~10배 정도 감소한 것으로 나타났다(표 3 및 그림 20). 팔당호와 같은 정수역에서의 생체량은 대부분 패류의 존재 유무에 의하여 좌우된다고 보아도 된다. 1988년도의 조사에서는 대부분의 조사구역에서 상대적으로 높은 생체량을 나타내고 있는데 이 시기에는 팔당호 내에 패류의 밀도가 비교적 높았던 것으로 판단된다. 그러나 2000년 전후부터 강수량이 많아지고 이에 따른 많은 부유물질의 유입 및 팔당호 내 퇴적은 팔당호 내의 생물서식공간을 단순화시키고 나아가 호소의 바닥에 서식하고 있는

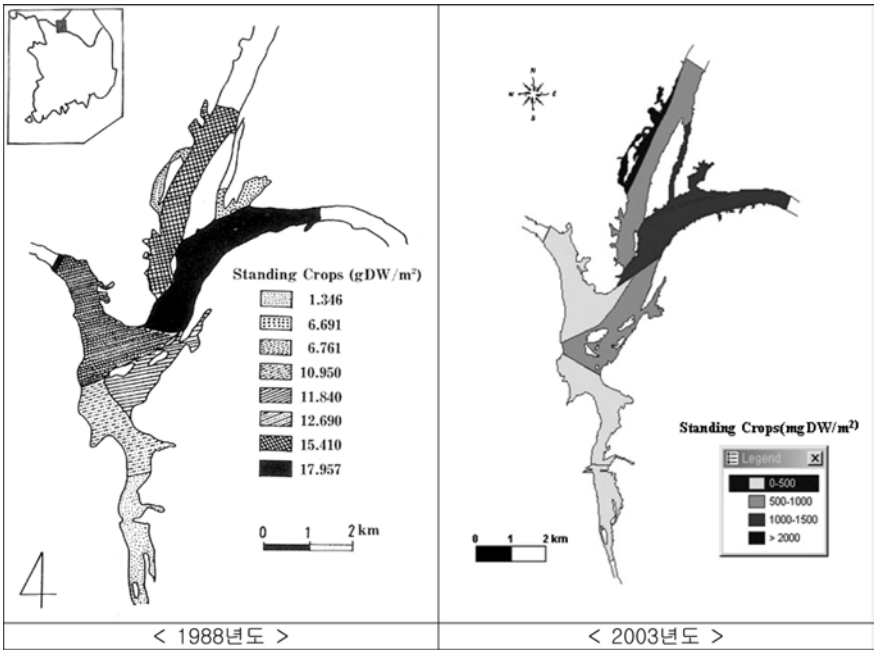

그림 20. 팔당호 수역별 생체량의 변화.

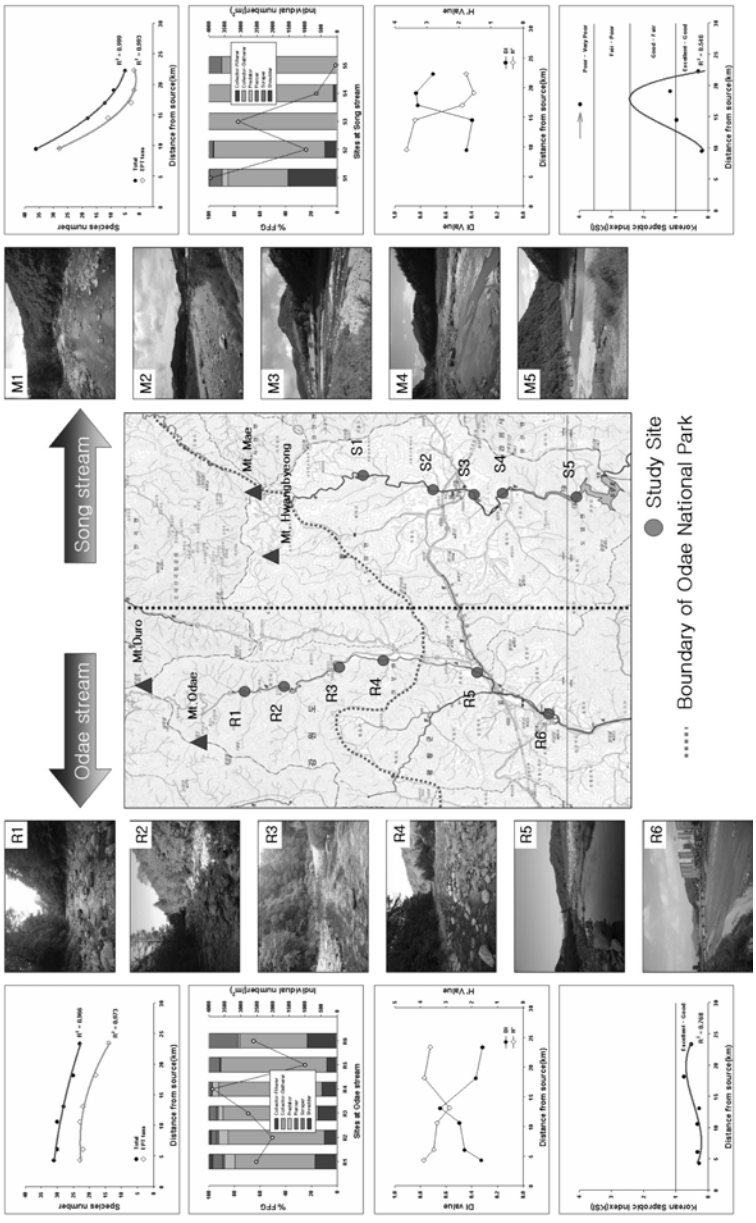

그림 21. 송천 수계의 모래 퇴적이 저서성 대형무척추동물 군집에 미친 영향

패류를 비롯한 다양한 저서생물 들의 생존을 위협하고 있는 것으로 판단된다.

2003년도의 조사에서 비록 생체량은 낮게 나타나고 있으나 조사 시에 빈 패각이 많이 발견된 것으로 보아 여름철 집중호우 이후의 유입물질에 의한 패류의 집단 폐사도 의심할 수 있는 상황이다.

송천 수계

송천은 오대산 국립공원지역인 황병산에서 발원하여 도암호로 유입되는 수계로 유역 내에 많은 고랭지 밭이 존재하여 강우 시 이들 지역으로부터 많은 유입물질이 발생하고 있는, 즉 고랭지 밭에서 유출된 물질 중 굵은 입자는 송천 수계에 퇴적되고 미세한 부유물질 등은 좀 더 하류로 이동하여 도암호에 퇴적되는 유역환경을 지닌 곳이다.

여기서는 미세한 부유물질이 퇴적되는 도암호가 아닌 굵은 입자, 즉 모래의 퇴적이 이루어지고 있는 송천 수계를 조사대상으로 하고 이의 대조군으로 오대산으로부터 발원하는 오대천을 선정하여 비교·분석을 하였다.

오대천의 경우 전 조사지점의 하상은 호박돌 등이 주를 이루는 다양한 생물서식공간을 지니고 있는 곳으로 수생태 건강성이 높은 수역이다. 이에 반하여 송천의 경우는 강우시 고랭지 밭으로부터 유입된 모래의 퇴적으로 인하여 본래의 하상구조를 잃고 단순한 생물서식공간을 지닌, 즉 수생태 건강성이 지극히 빈약한 생물서식공간을 보이고 있다. 따라서 송천 수계는 오대천 수계에 비하여 매우 낮은 출현종수와 다양도지수를 나타내고 있으며, 섭식기능군 중 안정된 하상구조에 net를 설치하여 걸러먹는무리의 점유비율이 상대적으로 낮게 나타나고 있으며, 특히 하상이 완전히 모래로 변한 송천수계의 중·하류에서는 서식처의 안정성이 심각히 훼손되어 거의 출현하지 않는 것으로 나타났다(그림 21).

참고문헌

Bender, E. A., T. J. Case and M. E. Gilpin. 1984. Perturbation experiments in community ecology: theory and practice. Ecology 65: 1-13.

Berkman, H. E. and C. F. Rabeni. 1987. Effects of siltation on stream fish communities. Environmental Biology of Fishes 18: 285-294.

Carling, P. A. and C. P. McCahon. 1987. Natural siltation of brown trout (Salmo trutta L.) spawning gravels during low-flow conditions, p.229-244 in J. F. Craig and J. B. Kemper (eds.), Regulated streams: Advances in ecology. Plenum Press, New York.

Davies-Colley, R. J., Hickey, C. W., Quinn, J. M., and P. A. Ryan. 1992. Effects of clay discharges on streams: 1. Optical properties and epilithron. Hydrobiologia 248: 215-234.

Hutchens, J. J., Jr., K. Chung and J. B Wallace. 1998. Temporal variability of stream macroinvertebrate abundance and biomass following pesticide disturbance. J. N. Am. Benthol. Soc. 17: 518-534.

Lugthart, G. J. and J. B. Wallace. 1992. Effects of disturbance on benthic functioal structure and production in mountain streams. J. N. Am. Benthol. Soc. 19: 138-164.

Peterson, C. G. and R. J. Stevenson. 1992. Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing and current. Ecology 73: 1445-1461.

Sousa, W. P. 1984. The role of disturbance in natural communities. Ann. Rev. Ecol. Syst. 15: 353-391.

Townsend, C. R., M. R. Scarsbrook and S. Doledec. 1997. Quantifying disturbance in streams: alternative maesures of disturbance in

relation to macroinvertebrate species traits and spercies richness. J. N. Am. Benthol. Soc., 16: 531-544.

Underwood, A. J. 1996. 11: Spatial and temporal problems with monitoring. Pages 182-204. in G. Petts, and P. Calow, editors. River restoration: selected extracts from the Rivers handbook. Blackwell Science.

공동수. 1992. 팔당호의 육수생태학적 연구. 고려대학교 박사학위논문. 421pp.

김지영, 권영한, 김시헌, 노태호, 맹준호, 송영일, 전인수, 정승우, 조광우, 주용준, 이용일, 임현수, 이성진, 박재흥, 이정현. 2004. 석산개발사업의 환경영향 저감방안에 관한 연구. 한국환경정책평가연구원. 277pp.

낙동강수계관리위원회. 2004. 임하호의 탁수가 수서생태계에 미치는 영향. 낙동강수계 환경기초조사사업. 168pp.

원두희, 박재흥, 김명철, 전영철, 권순직. 2004. 팔당호소 환경조사. 6. 저서성 대형무척추동물. 한강수계관리위원회. 252pp.

윤일병, 공동수, 유재근, 이상욱. 1990. 팔당호 저서성 대형무척추동물의 군집분석과 현존량의 계절적 변동. 한국육수학회지. 2391): 43-68.

윤일병, 김기홍, 김종인. 1988. 팔당상수원 보호종합 대책에 관한 연구(1차년도). VI. 저서성 대형무척추동물. 국립환경연구원. p.251-323.

최지용, 이기종, 이지연. 2005. 유역관리를 통한 다목적댐 저수지의 효율적인 탁수관리방안. 한국환경정책평가연구원 · 한국수자원공사. 147pp.

한강수계관리위원회. 2007. 남한강 수계 호소의 생태계 구조 조사. 한강수계 환경기초조사사업. 285pp.