

댐 하류하천 환경개선을 위한 다목적댐 증가방류 효과 고찰



안 시 권 ▶▶▶
국토해양부 수자원개발과장
skahn@mltm.go.kr



조 영 현 ▶▶▶
한국수자원공사 물관리센터 대리
yhcho@kwater.or.kr



성 영 두 ▶▶▶
한국수자원공사 수도권지역본부장
ydsung@kwater.or.kr

1. 서 론

최근 삶의 질 향상에 따라 물과 함께 하는 친수활동이 늘어나면서 하천의 경관, 수질, 생태보전 등 환경적 기능에 대한 관심과 더불어 이의 개선에 대한 사회적 측면의 요구가 증대되고 있다. 이러한 상황에서 댐 영향권역의 물이용 환경도 변화되고 있는데 특히, 갈수기 하천 수질개선을 위한 환경용수 개념의 용수수요도 발생하고 있어 이에 유연하게 대응할 수 있는 효율적인 댐 운영방안이 필요한 상황이다. 우리나라는 기후 특성 상 하천에 물이 부족한 갈수기기간의 절반이상 유지되고 있어 수자원관리가 어렵다. 또한 봄철에는 강수량이 작아 하천유량이 줄어든데다가 가끔씩 내리는 비에 의해 겨울철 땅에 쌓여

있던 각종 오염물질이 하천으로 유입됨으로써 수질악화가 가중됨에 따라 하천 내 생태서식 환경이 나빠지는 악순환이 반복적으로 나타나고 있다.

이에 금년도 봄철에는 기존 용수공급 위주의 댐 방류에서 하천 환경개선을 위한 운영방안을 마련하였다. 일반적으로 갈수기 댐 운영은 건설당시 배분된 기본계획 공급량 또는 용수 계약량에 따른 실수요량 수준의 생·공·농업용수 및 하천유지유량을 월 단위로 계획하여 균일하게 공급하는 방식을 채택하고 있는데 급회의 운영방안은 갈수기 기존의 일정한 방류 패턴에서 방류량을 늘리고 줄이는 방식의 동적변화를 주어 하천 플러싱(flushing) 효과를 유발, 하천 환경 개선의 효율성을 높여 수질 및 생태서식 환경 측면에서의 부분적인 개선을 목적인 것이다. 본 기고에서는 이러한 하천 환경개선을 위해 한강, 낙동강, 금강 및 섬진강의 4대강 수계 총 9개 다목적댐에서 시행한 증가방류(flush release) 및 사후 효과평가 조사 내용을 기술하였으며, 방류로 인한 수문·수질 및 생태환경 측면에서의 개선효과를 고찰하였다.

2. 댐 하류하천 환경개선을 위한 댐 운영

2.1 댐 운영방법 검토

하천 환경개선을 위한 댐 운영은 크게 건천 및 정체성 하천의 오염물질 유송 및 하상세척(플러싱)을 위해 필요한 수량을 일시적으로 증가시켜 주는 방법(Tsukahara and Hakoishi, 1999)과 생태서식에 필요한 유량을 지속적으로 공급하여 생물 다양성 보전 및 친수활동 증대를 도모하는 방법이 있을 수 있다.

한편, 그 방류형태에 있어서는 유량을 늘리고 줄이는 등의 동적 변화를 주어 자연적인 흐름특성을 구현하여 하천의 기능 강화 및 환경개선의 효율성을 높이는 방법이 있겠다.

금년도 시행한 증가방류는 수질개선 목적의 하상 세척과 생태서식 환경개선 측면을 함께 고려하였는데, 이러한 운영을 위해 우선 댐의 용수공급에 지장이 없는 범위에서 최대 가용수량 및 공급 여유량을 검토하여 방류대상 댐(소양강, 충주, 황성, 안동, 합천, 남강, 대청, 주암댐의 총 8개 댐)을 선정하였으며, 그림 1과 같이 하상세척, 수질보전(국토해양부

등, 2006a), 생태보전 유량(국토해양부 등, 2006b)과 발전최대량 등을 다목적으로 고려하여 각 댐별 방류목적에 부합하는 규모를 산정하였다(표 1).

한편, 방류 시기는 갈수기 수질이 악화되는 시점 및 동적방류 형태 구현을 감안하여 두 차례로 구분하였으며, 그 기간은 각 댐의 여유용량과 방류규모를 고려해 각각 최대 15일 이내의 범위로 결정하였다(그림 2 참조). 또한, 1차 방류는 정체된 오염물질과 하천 플러싱에 중점을 두고, 2차의 경우는 1차 효과를 반영하여 시행하되

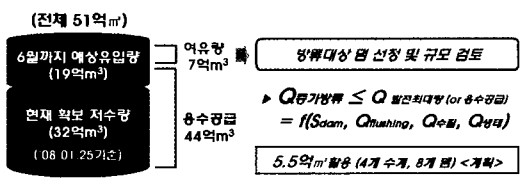


그림 1. 댐 가용수량(여유량) 및 증가방류 규모 검토

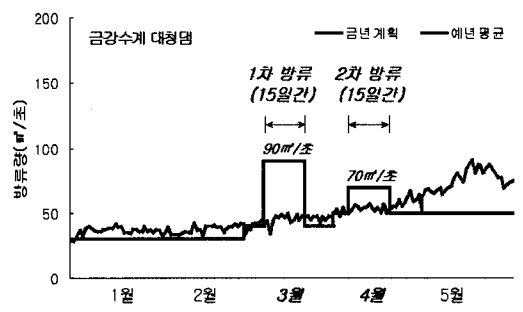


그림 2. 증가방류 형태, 시기 및 기간

표 1. 댐별 증가방류 목적 및 규모

구분	댐명	증가방류량 (백만 m³, m³/초)			기대 효과	①공급 여유량		필요방류량(m³/초)					방류규모 결정근거	
		1차 (3월중 15일간)	2차 (4월중 15일간)	합계		백만 m³	m³/초	②하상 세척	③최대 발전	④수질 보전	⑤생태 보전			
한강	소양강	19.4 (45→60)	19.4 (45→60)	341.2	갈수기 팔당 상수원 지점의 부영양화 방지	310.9	119.9	145	250.8	105 한강 대교	39.5 여주	① (소양-충주연계운영 고려)		
	충주	155.5 (80→200)	141.6 (80→190)					330	828				89 양평	①+② (하상세척)
	황성	2.6 (2.5→4.5)	1.7 (2.5→3.8)					4.5	3.8					
한강	안동	9.3 (3일간) (24→60)	-	110.4	하천 플러싱에 의한 수질 및 생태개선	57.5	111 (22.2)	53.5	161	57 진동	24 금호	②		
	합천	20.7(3일간) (20→100)	33.7 (24→50)					100	119					
	남강	23.3 (22→40)	23.3 (22→40)					210	112				①	
금강	대청	64.8 (40→90)	25.9 (50→70)	90.7	상수원 보호 및 수환경개선	100.4	38.7	150	264	36 규암	33 공주	①		
섬진	주암	4.5 (1.5→5)	4.5 (1.5→5)	9.1	생태서식 친수환경	60.4	23.3	10	5	5.5 송정	5 나주	③+환경개선		

① 1.25일 기준 홍수기전(6.30일)까지 댐별 여유량(백만 m³)
 * 여유량(m³/초)은 30일간 지속방류 가능 규모 <합천댐은 3일, 15일 지속방류>
 * 안동댐, 합천댐은 '07년 수문방류 실적에 없었던 댐으로 하천 flushing 필요
 ② 하상세척 수량 : 잔모래로 구성된 하상의 소류 한계유속(flushing 유발) 0.45m/s기준 검토
 ④ 수질보전 유량 : 하천유지용수량(수질보전유량 개념) (국토해양부 등, 2006a)
 ⑤ 생태보전 유량 : 생태학적 추천유량(ecological flow recommendations) (국토해양부 등, 2006b)

봄철 초기강우 시점을 중심으로 고농도 비점오염원의 초기 유달에 의한 수질악화 방지 및 개선을 목적으로 하였다.

2.2 댐 증가방류 시행

산정된 방류 규모를 기준으로 수계별 상황을 고려해 4개 수계 총 9개 댐(임하댐 추가)에서 증가방류를 시행하였다. 방류 총량은 5.5억m³ 규모로 1차 방류시(3.2~24일, 최대 15일간) 3.1억m³, 2차 방류시(4.23~5.8일, 최대 15일간) 2.4억m³을 방류하였으며, 수계별로는 한강 3.5억m³, 낙동강 1.1억m³, 금강 0.8억m³, 섬진강 0.04억m³을 각각 증량하였다(표 2). 한편, 낙동강의 경우 공교롭게도 1차 방류시행 직전 폐놀유출 사고가 발생해 타 수계에 비해 그 시기를 앞당겨 비상방류와 병행하여 시행했으며, 섬진강의 경우에도 2차 방류 시에 하구 적조발생 등이 발생하여 수계 상황을 반영한 추가 증량을 실시했다.

3. 사후 효과평가 조사

3.1 조사 내용

증가방류 효과를 파악하기 위한 사후 효과평가 조

사를 방류 전·후 전체 기간에 걸쳐 실시하였다. 조사는 크게 수문·수질 및 생태환경 분야로 구분하여 시행하였는데, 수문조사는 주로 수위-유량 관계곡선식을 이용한 간접적인 방법을 채택하였고 수질은 직접 현장채수 및 수질분석을 실시하였다. 조사지점은 수계 전체 23개로 수문·수질조사 평가의 연계를 위해 가급적 동일위치에 선정하였다. 한편, 생태환경 조사는 충주, 합천, 대청댐 하류를 대상으로 하도의 물리적 특성, 하상토, 식물상 및 식생, 식물플랑크톤 및 부착조류, 어류생태의 5개 분야에 걸쳐 시행되었다(표 3).

3.2 조사 결과

3.2.1 수 문

수문조사에서는 방류시행 기간 동안의 수위 및 유량을 산정하였는데, 그림 3에서처럼 수계 주요지점에서 증가방류 영향의 하천유량 변화가 있었으나, 수계 하류 일정구간 이후로는 수위변화가 뚜렷하지 않고 하구둑의 운영 및 하구조위의 영향을 받는 지점이 존재해 정확한 증가방류의 영향범위 파악은 어려웠다.

3.2.2 수 질

수질조사 결과는 먼저, 수계 주요지점에서의 시간적 수질변화와 방류 전·중·후 수계 전체의 수질개선

표 2. 댐별 증가방류 시행 규모 및 실적

구분	한강				낙동강				금강		섬진강		총계	
	소양	충주	황성	계	안동	임하	합천	남강	소계	대청	계	주암		계
1차 방류 (3.02~3.24)	60	200	4.5	199.0	57	37	100	40	41.2	90	65.8	8.5	1.5	313.9
2차 방류 (4.23~5.08)	120	130	3.8	150.2	25	17	42	42	69.0	70	18.3	8.5	2.6	240.1
총계	96.8	248.1	4.3	355.6	19.5	9.4	49.4	31.9	110.2	84.1	84.1	4.1	4.1	554.0

※ 단위 : 방류 규모는 m³/초, 방류 실적(증량분만 고려, 밀줄 표시)은 백만m³

표 3. 사후 효과평가 조사지점 및 내용

구분	수문조사	수질조사	생태환경 조사				
			하도 물리특성	하상토	식물상 및 식생	플랑크톤 부착조류	어류생태
조사지점	수위표 지점 (18개)	수질측정지점 (23개)	충주댐 하류 1지점, 합천댐 및 대청댐 하류 각 2지점				
조사내용	수위, 유량	주요항목농도	입도변화, 유사량	이화학적특성	군락, 식생변화	생물량변화	종, 개체, 건강성

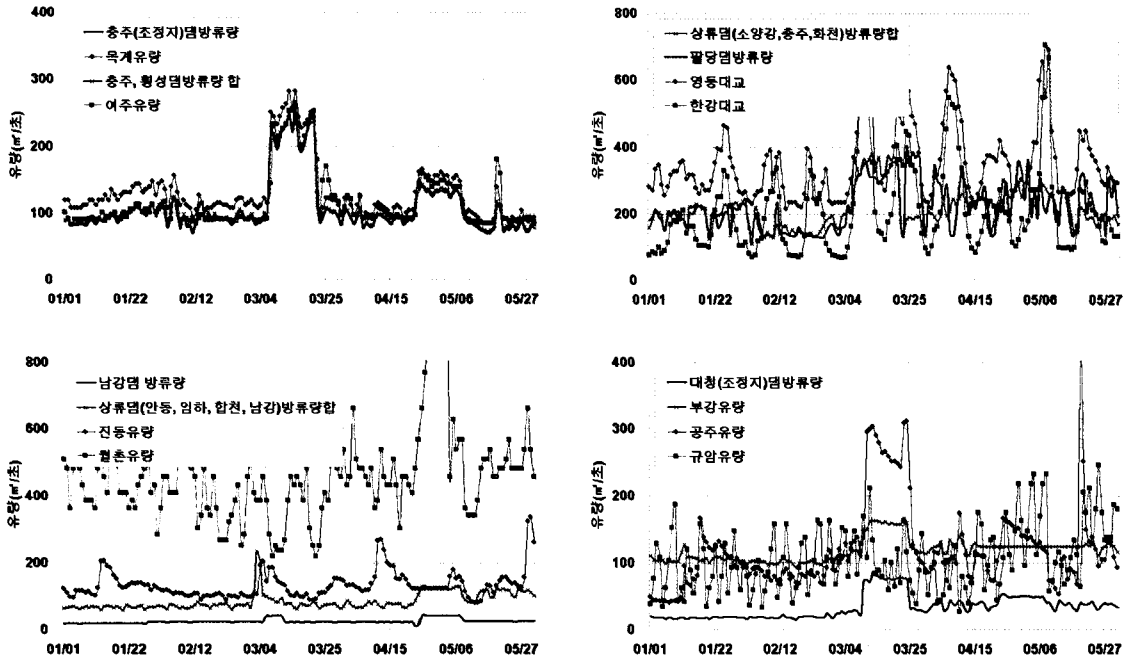


그림 3. 수문조사 결과 (수계 주요지점 유량변화)

효과를 살펴보았으며, 이를 기준으로 수계별 공간적 농도변화 및 수질개선 효과의 지속기간 등을 검토하여 금번 증가방류가 수질에 미친 영향을 고찰해 보았다.

우선, 그림 4는 수계 주요지점의 수질조사 결과 (BOD 및 Chl-a 항목)를 수질측점(한강 팔당댐, 낙동강 왜관, 금강 공주1) 기준으로 나타낸 것으로 수계 지점, 항목별로 차이는 있으나 증가방류 직후에는 전반적으로 농도가 증가하였다가 방류 지속 시 점차 감소하였으며, 방류 종료 후에는 다시 증가하는 경향을 보였다. 한편, 그림에서 수질농도의 추이가 채수위치 및 분석방법 등에 따라 다를 수 있어 환경부 측정 자료도 같이 도시하였으며, 두 수질자료 간 상이한 부분이 있지만 전체적인 경향은 비슷한 것을 확인할 수 있었다. 한강수계 팔당댐 지점의 경우는 1차 방류 시 일시적인 수질악화 문제가 발생하기도 했지만, 2차 방류 시에는 오히려 개선되는 효과를 보였다.

증가방류의 수질개선 효과를 고찰하기 위해 각 수계별 증가방류 전 대비 방류기간 중·후의 수질농도 저감

범위 및 항목별 평균 저감비율을 표 4에 정리하였다.

고찰 결과 전반적으로 방류 중·후에 항목별 농도 저감이 있었으며, BOD 기준으로는 0.1~2.5mg/L 정도의 저감을 보였다. 한편, 결과에서 용존 상태로도 존재하는 영양염류(N, P 등)의 저감효과가 비용존성 유기물질(BOD 등)보다 상대적으로 큰 것으로 나타났는데, 방류 전 대비 기간 중의 항목별 전체 저감비율이 BOD, COD의 경우는 13.8%, T-N, T-P는 22.8%였다. 이의 저감은 용존성 물질의 유송 및 희석효과와 비용존성 물질의 부상 및 침전 효과로 설명되어 질 수 있으며, 금번 증가방류가 하천의 유송 및 희석효과에 더 지배적인 영향을 준 결과로 사료된다(정세웅, 2004). 또한, 전체적인 저감범위는 2차 방류의 경우가 큰 것으로 나타났으며, 방류 전 대비 종류 후 전체 저감비율은 BOD, COD의 경우 9.8%, T-N, T-P는 20.3%로 방류 중의 자료와의 비교보다는 전반적으로 낮은 편이었다.

다음으로는 수계 주요지점의 공간적 수질변화를

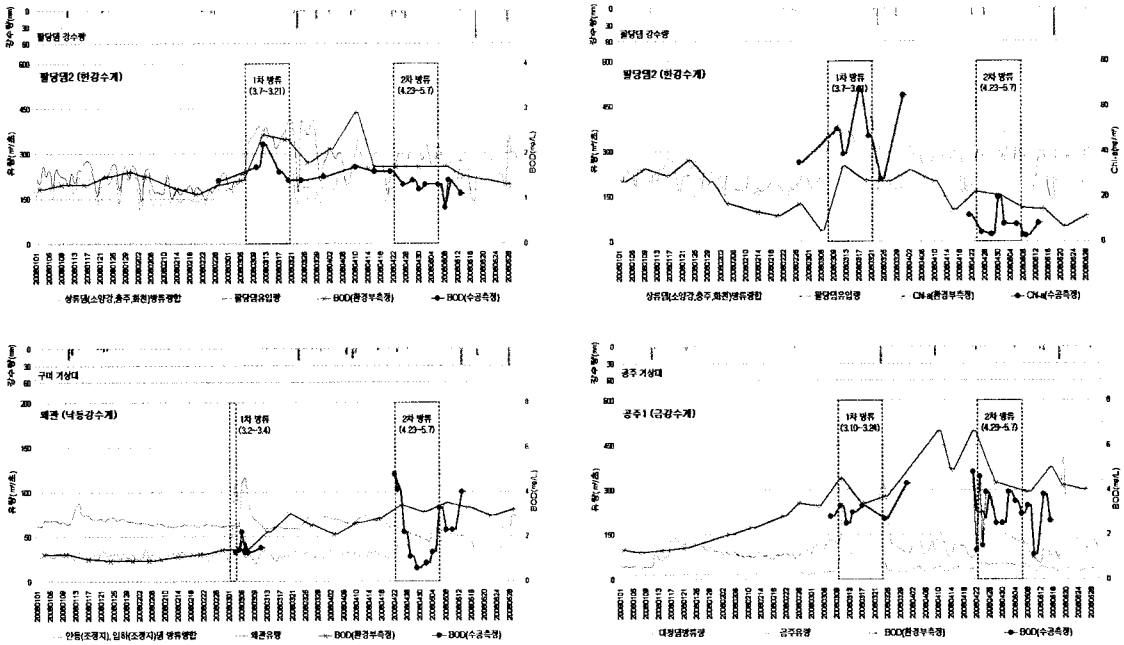


그림 4. 수질조사 결과 (수계 주요지점 시간별 수질변화)

표 4. 수질 농도 저감범위(mg/L) 및 항목별 평균 저감비율

구분	한강		낙동강		금강		섬진강		평균 저감비율	
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
방류 전 대비 기간 중										
BOD	0.1~0.8	0.1~0.8	0.1~1.2	0.4~2.5	0.1~2.4	0.1~1.8	-	0.5	9%	18%
COD	0.2~0.3	0.1~1.5	0.4~0.9	1.2~2.0	0.7~2.0	0.2~1.1	-	-	9%	19%
SS	0.2~2.9	0.4~4.1	0.5~16.1	0.4~10.8	-	0.8~10.8	-	2.8	11%	33%
T-N	0.617 ~4.016	0.178 ~2.411	0.014 ~1.148	0.103 ~1.089	1.382 ~1.550	0.141 ~1.474	0.119 ~0.597	0.267 ~0.552	23%	29%
T-P	0.023 ~0.074	0.001 ~0.372	0.022 ~0.088	0.002 ~0.046	0.002 ~0.028	0.005 ~0.054	-	0.014	20%	19%
방류 전 대비 종료 후										
BOD	0.1~0.8	0.5~0.6	0.3~1.2	0.8~1.5	3.7	0.4~2.2	-	-	11%	18%
COD	0.1~0.8	0.1~1.3	0.1~0.6	0.4~1.6	0.4~2.6	-	-	-	6%	14%
SS	0.4~2.4	0.4~4.6	4.4~16.1	1.2~9.8	-	0.9~13.3	-	-	9%	23%
T-N	0.632 ~3.498	0.346 ~2.543	0.293 ~0.881	0.024 ~1.198	0.021 ~0.979	0.113 ~1.116	0.284	0.185 ~0.298	20%	24%
T-P	0.016 ~0.114	0.011 ~0.382	0.025 ~0.088	0.005 ~0.030	0.001 ~0.006	0.004 ~0.012	-	-	21%	16%

살펴보았다(그림 5). 수계에 따라 동일하지는 않았지만 하천 중·하류 구간의 방류 중·후 수질농도가 일부 증가하는 현상을 보였는데 이는 먼저 증기방류의 플리싱 효과가 수계 중·하류 구간에 나타나 일시적

농도증가가 있었던 것으로 사료되며, 이와 더불어 금년도 갈수기 4월말 기준으로 예년에 비해 작게 내린 강수의 영향(전국 강수 예년대비 71%)으로 수체로 들어오는 오염원 자체가 고농도였던 것에도 기인한 것

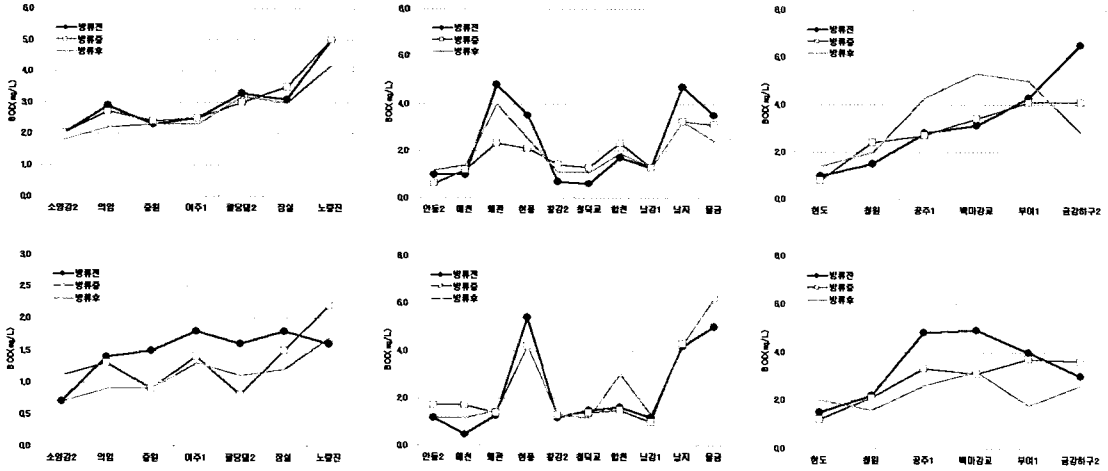


그림 5. 수질조사 결과 (수계 주요지점 공간별 수질변화 (상 1차, 하 2차))

으로 판단된다.

한편, 앞서 수질 변화의 시간적 추이를 통해 증가 방류의 수질개선 효과가 방류 종료 후에는 다소 저감되는 것을 알 수 있었는데, 이는 방류 종료시점에서의 강수에 의한 봄철 비점오염 유입 등으로 효과가 일부 상쇄된 것으로 보여 댐 방류만의 순수한 수질개선 효과 지속기간은 판단하기 어려웠다. 하지만, 팔당댐의 경우 2차 방류 종료 후에도 그 효과가 20일 이상 지속되는 것을 알 수 있었다.

3.2.3 생태환경

생태환경 분야의 조사결과를 살펴보았다(그림 6). 전반적으로 방류의 규모가 크지 않았기 때문에 그 영향 폭이 크지는 않았지만 하도의 물리특성 및 식생에

미세한 변화가 있었으며, 하상토 및 부착조류에서도 그 변화가 나타났다. 특히, 미세조류 군집 생물량의 변화에서 방류가 수체의 영양상태를 완화시켜 생태학적 오염도 감소 효과를 제공한 것으로 평가되었다. 구체적으로 충주댐, 대청댐 하류하천의 부착조류 생물량은 증가방류 전을 기준으로 할 때 1차 방류 후에 각각 78.0~93.8%, 0~32.4%, 2차 방류 후에 각각 52.7~55.4%, 85.5% 감소하였다. 한편, 방류로 인한 하천 수온의 저하가 있었지만 조사결과 어류생태 등에 영향을 미치는 정도는 아닌 것으로 나타났다. 결과적으로 금번 방류가 생태환경 개선의 요인으로 작용했으며, 보다 가시적인 효과를 위해서는 높은 강도(큰 규모)의 방류가 필요한 것으로 사료된다.

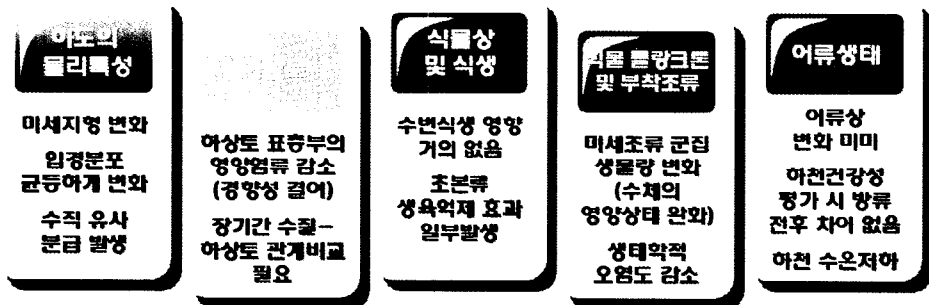


그림 6. 생태환경 조사 결과

4. 결 론

댐 하류하천 환경개선을 위한 다목적댐 증가방류 (flush release)를 시행하였으며, 이의 효과평가를 위한 조사를 실시하였다. 조사결과 수계 전반적으로 방류 중·후의 수질개선 효과가 분명하였으며, 금번 방류가 생태환경 개선의 요인으로도 작용하는 것을 알 수 있었다.

수질개선 효과로는 방류 증량에 의한 유송 및 희석이 주요하게 작용하여 전반적인 수질 농도를 저감시켰으며, 1차 방류보다는 2차 방류, 방류 종료 후보다는 방류 중, 그리고 비용존성에 비해 용존성 물질에서의 저감효과가 좋았던 것으로 나타났다. 한편, 그 지속효과는 수계별 복합적 요인으로 명확하게 파악할 수는 없었으나 팔당호의 경우 20일 이상 지속되었다. 생태환경 조사에서는 생태학적 오염도 감소 등의 효과를 파악할 수 있었으나, 가시적 효과는 나타나지 않았다. 결과를 종합해 볼 때, 향후 방류의 적정 시기는 어류산란 전(4월 이전)과 팔당호 등 하천 하류부에서의 조류번성으로 인한 일시적 수질악화 방지 등을 고려해 하천 수온이 낮은 늦겨울에서 초봄인 2월에서 3월 사이에 시행하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

향후 최종적인 계획으로는 환경개선 효율을 증대시키기 위한 댐 운영 방법론을 방류시기, 규모, 기간, 횟수별로 물리적, 생물학적, 수질측면에 미치는 영향을 검토하여 정립할 것이며(그림 7), 그 과정에서 취득된 자료로는 물리적 기반 하에 수질모형을 정교하게 보정하여 예측의 정도를 높이는 데도 활용할 계획이다. 한편, 금번 고찰에서 도출된 문제로 방류 중의 강수에

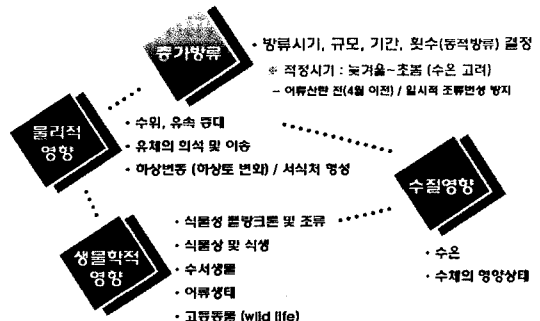


그림 7. 증가방류 댐 운영 방법론 검토

의한 유역유출과 오염원의 유입으로 댐 방류만의 하천환경 개선효과를 평가하기 어려웠던 바 기존의 수체모델링 위주에서 유역모델링으로 확장도 필요하다.

참고문헌

Tsukahara, C. and Hakoishi, N. (1999). Investigation on flush discharge in Ikari dam, Civil Engineering Journal (Japan Journal), Vol. 41, pp. 2-3.

국토해양부, 한국수자원공사 (2006a). 수자원장기종합계획 (2006~2020).

국토해양부, 한국수자원공사 (2006b). 유역조사 보고서.

정세용 (2004). 저수지 플러싱 방류 효과분석을 위한 비정상상태 하천수질모형의 적용, 한국수자원학회 논문집, 제37권 제10호, pp. 857~868.