GRI 정책연구
2014

Gyeonggi Research Institute

한강살리기 사업의 성과분석을 통한 개선방안

- 이포보, 여주보, 강천보를 중심으로

Evaluation of Han River Restoration Project and Post-Management strategies
- Ipo, Yeoju, Gangcheon Area

송미영 외

목 차

<정책건의>
Ⅰ. 머리말
Ⅱ. 한강살리기 사업에 대한 기존 평가와 논란
Ⅲ. 한강살리기 사업의 평가 및 쟁점
Ⅳ. 쟁점에 대비한 후속조치와 경기도의 역할
Ⅴ. 정책제안
부록

정책연구 2014

한강살리기 사업의 성과분석을 통한 개선방안

- 이포보, 여주보, 강천보를 중심으로

연구책임	송미영 (경기개발연구원 선임연구위원) (mysong@gri.kr, 031-250-3236)
공동연구	백경오 (한경대학교 교수) 서동일 (충남대학교 교수) 윤병만 (명지대학교 교수) 임동희 (경기개발연구원 연구원) 조은희 (경기개발연구원 연구원)

GRI 경기개발연구원 Gyeonggi Research Institute

• 발행|2014년 1월 • 발행인|홍순영
• 전화|031-250-3114 • http://www.gri.kr
• 주소|경기도 수원시 장안구 경수대로 1150

본 보고서는 경기도가 당면하고 있는 현안이슈에 대해 정책방향을 제시하고 문제해결을 위한 정책건의를 통해서 올바른 정책구현에 도움을 주고자 발간되고 있습니다.

정책건의

□ 사업 효과의 평가 결과

○ 지속 유지관리가 필요한 요소

- 하천구역내 불법점유, 점용시설물 정리로 친수성, 수변경관 개선
- 수량과 수질의 통합관리 여건, 가속화 조성
- 갈수기 등 최악의 상황시 보의 운영 등 수량관리 추가 옵션 제공
- 댐과 보가 연속된 정수환경으로 고비용, 인위적 관리 여건으로 전환
- 적치된 준설토 등 사후정리되지 못한 수변, 지류하천의 치수사업 마무리 등

○ 개선보완이 필요한 요소

- 보 등 시설물: 감사원 등 문제제기 후 보수보강이 이루어져 보 하류부의 지지구조물의 안정성 점검만 지속하면 안전, 비용은 지속 부담 필요
- 준설 단면: 당초 계획 대비 낮은 3m 내외로 시공되었으며 일부 퇴적 또는 세굴이 일어나고 있으나 현재는 안전하나 지속적 유지관리는 불가피
- 수질: BOD, TP 등은 유지, Chl-a은 악화되었고 경향 지속 전망, 보로 인해 민감해진 수질관리 부담을 당분간은 중앙정부가 떠안을 전망
- 사업의 부작용, 녹조현상: 과거와 달리 녹조발생이 확인되고 있고 보로 인해 정체된 상황에서 강우/기온 여건에 따라 언제든 조류대발생 가능성 증대
- 하천환경 관리: 준설토 등 계획대비 마무리되지 못한 사업들과 16,000여개 이상으로 늘어난 하천 시설물 관리, 비용 조달 등에 대한 뚜렷한 방안 부재

□ 정책제안

○ 보 설치와 저류지 등 하천환경 변화로 인한 영향을 정확히 진단

○ 사업효과 상쇄 우려가 있는 논란, 쟁점들을 최소화하는 정책 수요 파악

○ 변화된 수환경의 과학적이고 질적인 관리를 위한 정책 역량 배가

○ 변동성이 커진 요인들을 최소화하고 관리의 실질적 주체로서 경기도의 정책 역량 강화

□ 중앙·광역·기초자치단체가 협력하여 단계적 대응 방안 마련

○ 단기적으로는 모니터링, DB구축 등 조사와 관리 방향 설정에, 중장기적으로는 하천과 유역의 통합관리, 안정화를 위한 체계 개선과 수질관리, 수변/습지 복원 등 대안 강구에 집중

○ 국교부, 환경부 등이 경기도와 함께 정책 및 사업의 방향을 협의해야하는 접점에서 지역의 특성, 재정적 한계를 고려하여 정책 및 제도 개선 필요

○ 경기도 차원의 수질과 수량 업무부서의 업무 협의체계 조정, 국토해양부, 환경부 등과의 수질정책협의회에 적극 참여하면서 통합적 물 관리 역량 강화에 중점 두기

< 파악된 주요 쟁점에 대비한 경기도의 대응 전략과 추진주체 >

구분	쟁 점	대응 방안			
		단기	중장기	주체 [1]	유형 [2]
이치수	고비용 인위적 관리 필수	보 등 구조물, 시설 안정성 모니터링	안정화 최적 전략 마련	국교부 (경기도)	조사/정책
	과학적 객관적 접근 강화	유지관리 비용대비 관리 전략 설정	저비용 고효율 관리 체계 도입	〃	정책/정책
수질	고탁도 고조류 변동성 증가	원인물질 농도 및 영향진단	원인물질 저감, 제어대책 시도	환경부 (경기도)	조사/사업
	수량희석효과 등 대안 고려 필수	통합관리 매뉴얼 협의 강화-통합DB 구축 포함	최적 통합관리체계화	국교부 (환경부)	정책/정책
수생태	습지 등 서식처 훼손	수변, 수생태계 모니터링	수변/습지 복원 시범사업	환경부 (경기도)	조사/사업
	생물다양성, 수생태건강성 악화	건강성 악화 자료 DB 구축	건강성 회복 대안 설정	〃	조사/정책
		유입지천관리방향 설정	유입지천 복원/보전 우선순위 설정	경기도 (시군)	정책/정책 ,사업
친수	준설토 방치 등 하천환경관리 열악	준설토 단계별 활용방안 강구	준설토 활용 후 그 실태 평가 환류	시군 (경기도)	정책/사업
	관리시설 급증으로 비용부담 증가	지역, 주민과 연계한 저비용 관리대안 모색	하천공간복합화 등 친수대안 시도	〃	정책/정책

주 : 1. 중심주체(협의 지원주체)로 표시
2. 단기/중장기 대안의 유형 명시 (조사: 모니터링, DB 구축 등/ 사업: 사업추진/ 정책(제도): 전략설정, 체계개선, 체계정립 등)

Ⅰ. 머리말

□ **4대강살리기 사업 이후 사업의 목적 달성 여부, 사업 추진 및 준공 시설의 미흡 혹은 보완 필요성이 지속 제기되면서 관련 평가와 정책 대응 요구 증대**

○ 지난 정부에서 추진한 4대강 살리기 사업의 일환인 한강살리기 사업은 다음 3가지 목적을 명분으로 2조 2,000억 원이 7개 공구에 투입됨.

- 홍수와 가뭄 피해의 근본적 해결
- 물 부족 해결을 위한 물 확보
- 수질개선과 생태복원과 수변공간 조성

○ 감사원 보고서 등에서 보의 안전, 수질개선, 준설, 유지관리 등의 문제점 지적이 되면서 남한강에 설치된 3개보 사업 성과 평가 필요

○ 사업 성과에 따른 보 설치 구간의 현황 및 문제점 파악과 이를 극복하기 위한 최적 관리대안의 모색, 이를 준비하기 위한 정책방향 제시 필요

□ 중점 연구내용

○ 한강살리기 사업 계획 대비 준공 상황 파악

○ 한강살리기 사업의 추진 목적 달성 정도 파악 및 분석

- 3개 보 설치와 준설로 인한 홍수예방 효과와 물 확보
- 보 설치 전후의 수질 및 생태계 영향 및 전망

○ 사업 이후 남한강 및 팔당호 관리의 주요 쟁점과 대비 방안

- 보 구조물의 유지관리 방향 등 최적 관리대안
- 준설 등 하상 변화에 따른 유입지천 등 치수정책 방향
- 보 설치 이후 수질 및 수생태계 관리 쟁점과 대응 방향

□ 기대효과

○ 한강살리기 사업의 평가 및 향후 대두될 주요 쟁점 정리 제시

○ 실효성 있는 보 구간의 수질 및 수생태계 관리 방향 제안

○ 한강살리기 사업의 효과 극대화 및 부작용 최소화 방안 도모

Ⅱ. 한강살리기 사업에 대한 기존 평가와 논란

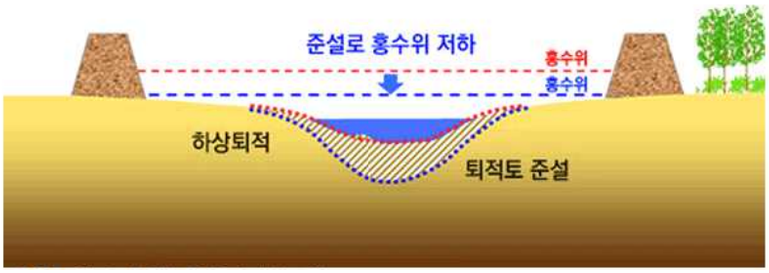
1. 사업의 목적과 추진 내역

□ 4대강살리기 사업의 주요 목적

○ 홍수와 가뭄 피해 근본적 해결: 200년 빈도 홍수에도 안전하게 총 4.5억 톤 퇴적토 준설로 홍수위를 낮추고 784㎞ 노후제방 보강으로 강의 안전성 확보

○ 홍수 조절지・강변 저류지・중소규모댐 건설로 9.2억 톤 홍수조절 능력 향상

< 준설로 인한 홍수위 저하 >

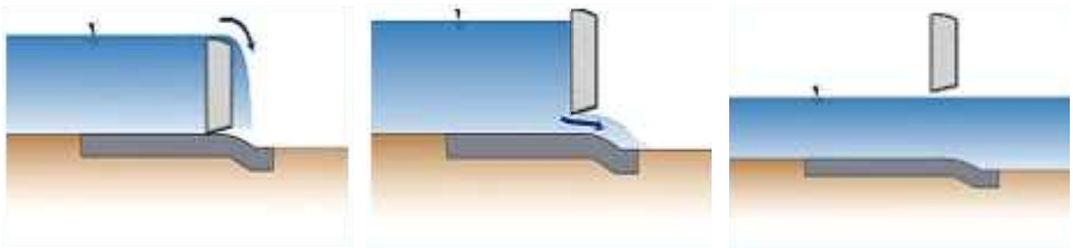


출처 : 4대강이용도우미(http://www.riverguide.go.kr)

○ 지구촌 물 부족 사태에 대비한 물 확보: 기후변화로 갈수기 가뭄이 점점 심해지고 2016년 10억 톤의 물 부족 예상에 대비 용수 확보

- 보 설치로 총 13억 톤, 93개 기존 농업용 저수지 증고로 농업용수도 확보

< 보 운영 방식 >



<평상시> <유지관리시(퇴사물제거)> <홍수시>

출처 : 4대강이용도우미(http://www.riverguide.go.kr)

○ 수질개선과 생태복원: 하천변 경작지 정리, 비닐하우스 철거로 오염물질의 하천 유입을 원천 차단하고 어도・생태습지 등 조성해 생태계 건강성 증진

< 부처울 습지 조성 >

< 한강 연양지구 수변공원 >

출처 : 4대강이용도우미(http://www.riverguide.go.kr), 국토교통부(2012).『한눈에 보는 4대강 살리기』.

○ 지역주민을 위한 수변공간 조성: 4대강변 234개 지구 130㎢에 수변생태공원을 만들어 친수공간을 확보 및 운동시설 설치로 지역주민 건강 증진, 한강에서 낙동강까지 국토종주 자전거길 포함 총 1,757㎞ 조성

○ 강 중심 지역발전 도모: 강변 역사와 문화자원을 복원·정비해 새로운 문화관광 콘텐츠로 제공하고 기존 지역축제를 강변축제로 연계시켜 녹색관광 인프라 조성, 36경 등 경관거점을 설정해 지역 경제도 활성화

○ 4대강살리기 사업은 기후변화에 대비하고, 자연과 인간과의 공생, 국토 재창조, 지역 균형 발전과 녹색성장 기반을 구축, 생명이 넘치는 강 새로운 대한민국을 목표와 비전으로 사업 실시

< 한강살리기 사업의 개요 >

출처 : 4대강이용도우미(http://www.riverguide.go.kr)

□ 한강살리기사업의 개요

○ 마스터플랜에 따르면 하천정비 193㎞, 하천개수 131㎞, 자전거 도로 305㎞, 하도정비 준설량 5,030만㎥ 중, 완성된 사업은 총 255㎞ 생태하천 조성 148㎞, 자전거 도로 310㎞, 하도정비 준설 4,700만㎥ 등으로 계획과 다소 상이

○ 남한강은 장기간 퇴적으로 하천 단면이 축소되어 홍수소통 능력이 저하되고, 충주댐의 홍수조절 용량 부족으로 인한 달천, 섬강 유역의 홍수가 직접 유입되어 여주지역이 홍수에 매우 취약하여 사업 필요 강조

○ 모래가 많이 퇴적된 여주지역을 중심으로 약 4,700만 톤 토사를 준설하고 강변저류지 건설 등을 통해 홍수조절력 확보, 노후제방 보강 등을 추진

< 한강살리기 사업 내역 >

구분	내역	구분	내역
사업비	2조 1,991억 원	저수지둑 높이기	12개소
사업구간	255㎞	농경지 리모델링	2개소
사업공구	27개소	수질개선사업	482개소
준설량	4,700만㎥	생태하천	148㎞
용수확보량	5,000만㎥	자전거길	310㎞(새재길 100㎞ 별도)
홍수조절능력	9,000만㎥	나루터 복원	8개소
다기능보	3개(이포보, 여주보, 강천보)	오토캠핑장	2개소
소수력발전용량	12,945kW(연간 76,406천kWh)	문화관	1개소(강천보)
강변저류지	2개소(여주, 영월)		

출처 : 국토교통부(2012). 『한눈에 보는 4대강 살리기』.

< 한강살리기 사업 계획 평면도 >

2. 사업 성과에 대한 논란

□ 감사원 감사 결과와 언론보도를 통해 본 사업에 대한 기존 평가와 주요 쟁점

○ 3차 감사원 감사에서 설계 부실과 공사 직후 보강야기 등, 4대강 총 16개 보 중 11개 보의 내구성 부족 문제 제기, 한강에서도 유사 문제 발생

- 수중조사 결과, 이포보 8곳, 여주보 6곳, 강천보 8곳의 하류 물받이공과 구조물 끝단 부분 보수·보강공사 필요
- 보 하류부 하상은 향후에도 세굴 대비, 적응 유지관리대책 필요 강조

○ 불합리한 수질예측 및 평가로 수질이 악화되고 녹조발생 우려 가중

○ 보의 유지관리, 향후 추가 준설, 연계 지천정비, 친수공간 및 자전거도로 등에 대한 유지관리 비용 과다 소요 우려

○ 총체적인 비용조달, 관리지침 등 제도적 대응, 부처 간 역할 분담 등 불확실

○ 감사 결과의 공유, 관련 조치 시행과 함께 지속적 사후관리 필요성 강력 제기

□ 4대강사업 이후 수계마다 양상은 다르나 전국적인 대규모 녹조 발생

○ 2012/13년 여름, 전국적으로 대규모 녹조 발생

- 기존에 유역으로부터 유입되는 원인물질인 총인 등의 제어 미흡
- 보 건설에 따른 체류시간 증가로 보 인근의 녹조현상 가중되면서 녹조라떼 등 신조어 대두
- 기존 수질모델링 등 예측에서의 전망을 훨씬 웃도는 녹조대발생 현실화

□ 기존 평가와 전문가 의견 등을 종합한 평가 요약

○ 사업으로 인한 긍정적 효과

- 2012년 104년만의 가뭄시 저수지 등에 팔당원수공급 등 일부지역 해갈 기여
- 갈수기 등 최악의 상황시 보의 운영 등 추가 옵션 제공
- 과거 타협 혹은 실현되지 못했던 수량과 수질의 통합관리 가속화
- 하천구역내 불법점유, 경관위해 점용 시설물 정리로 친수성, 수변경관 개선
- 하천과 물을 즐기고 자전거도로 등 수변을 활용하는 친수 수요 확대

○ 사업 이후 드러난 부정적 영향

- 수질이 일부 개선되었으나 조류증식 여건이 강화되면서 변동성이 큰 생물적 요인이 새로이 부각되고 비점오염물질 포함 유역관리 부담은 더욱 가중
- 수생태계는 엄청난 교란과 정수생태계로의 변화가 진행 중으로 건강성과 생물다양성이 안정화되려면 인위적 관리는 불가피
- 보 안정성이 우려되는 수준은 아니나 직유입 지천의 치수안정성은 저해되어 국부적 하상/시설물 안정성 확보 노력은 필요
- 저비용에서 고비용 유지관리 체제로 돌입하면서 물 관리 재원 부담 가중
- 물 순환 체계 왜곡이 4대강으로 확대, 재생산되고 과거 사회적 인프라 사업으로 평판이 좋던 토목/환경 분야가 사회갈등 대표 사례화

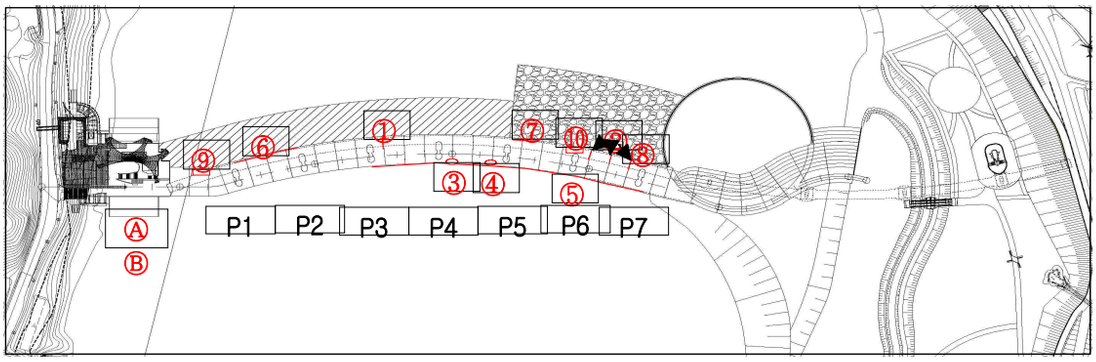
Ⅲ. 한강살리기 사업의 평가 및 쟁점

1. 보 등 시설물 안정성[1)]

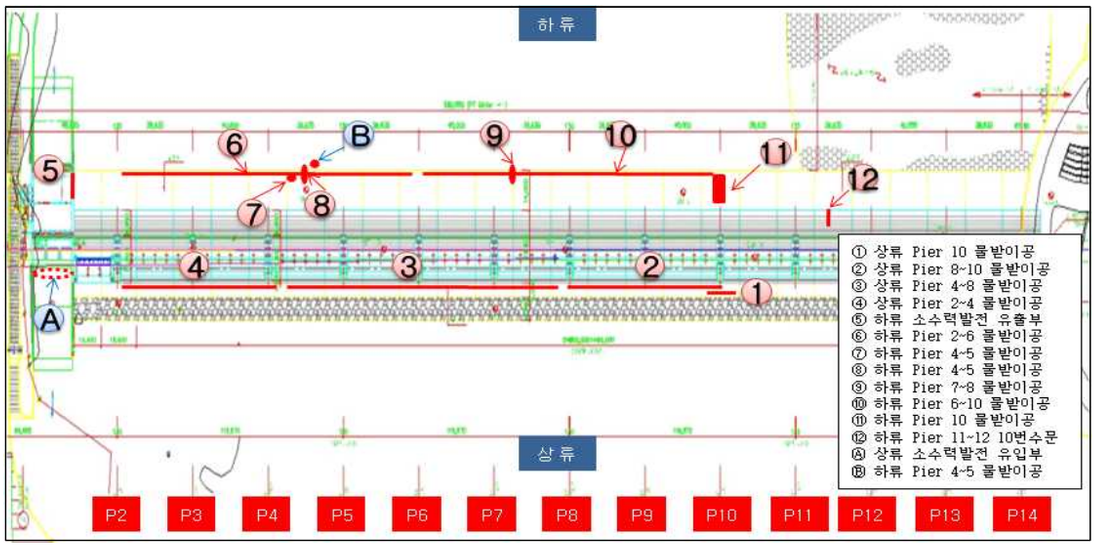
□ **보 시설물은 일부 박리 및 단차가 발생하였으나 안전성은 유지 중**

○ 대부분 기반암에 설치되어 침하, 누수 등의 문제는 없을 것이나 하상안정화 단계까지 보 하류부의 일부 박리 및 단차 발생 등은 점검 필요

< 이포보 수중 조사시 박리 또는 균열 위치 >

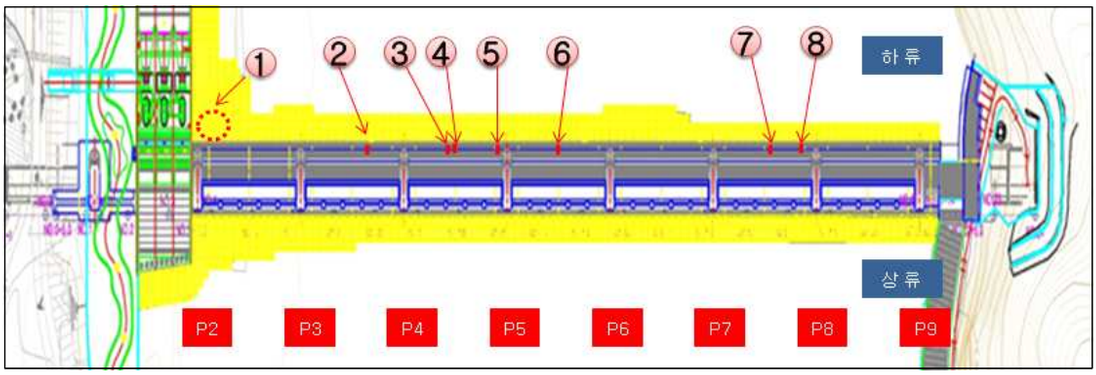


< 여주보 수중조사시 박리 또는 균열 위치 >



1) 4대강 사업 후 하상안정성 점검 결과들의 내용을 종합 정리 요약 제시(주요 점검 내역은 부록 1 참조)

< 강천보 수중조사시 박리 또는 균열 위치 >



< 보 구간 보수보강 내역 >

구분	물받이공 보수	균열단차 보수	소계	지속 관리 수요
강천보	8	0	8	보하류 P2 물받이공 바닥보호공, 끝단 단차발생원인
여주보	2	4	6	단차, 물받이공 파손부위
이포보	5	3	8	-
소 계	15	7	22	-

자료 : 서울지방국토관리청(2012). 『한강 준공대비 민관합동 특별점검 보고서』

○ 타 수계와 달리 한강은 일반적 관점에서 일부 보수 및 보완이 필요하긴 하나 보 구조물의 안정성에는 문제가 없는 것으로 판단됨.

□ 보 상하류 하상은 불안정한 상태로 지속적 유지관리 필요

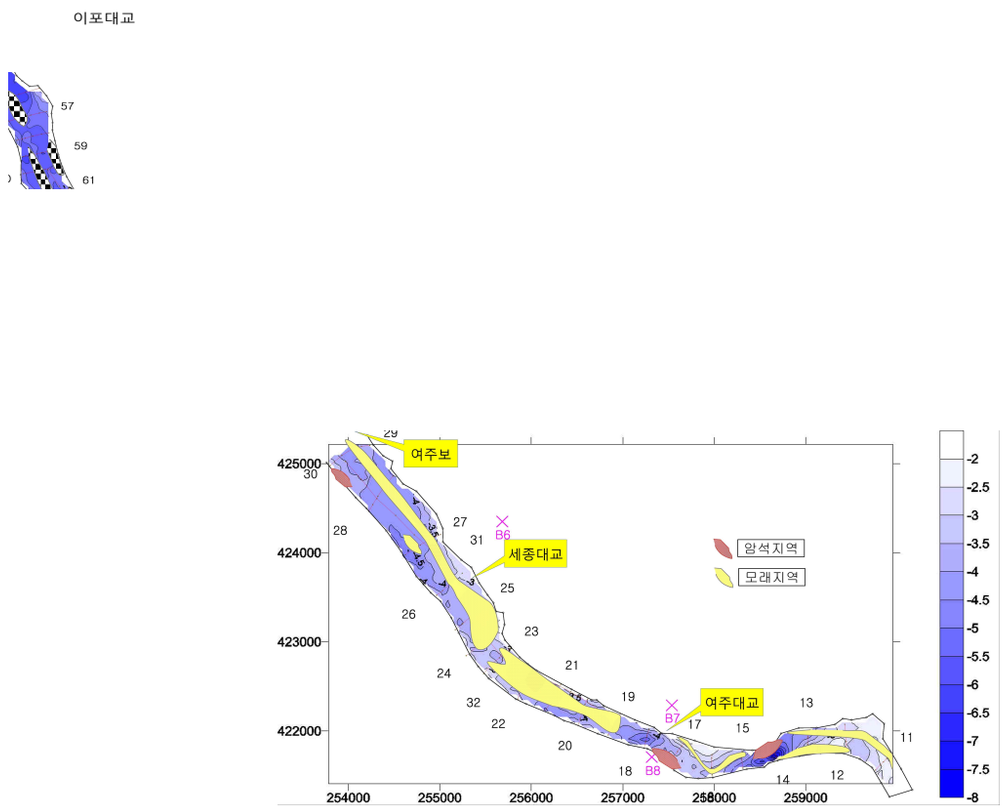
○ 하천은 물의 흐름에 따라 자연스러운 퇴적과 세굴이 일어나고 그 결과가 안정적인 균형 상태에 이를 때까지 불안정성은 지속될 전망

○ 남한강 본류 구간의 퇴적과 세굴 패턴이 지속적으로 변화되고 있어 그 양상에 따른 하상관리 및 치수계획 수립을 통해 안정화 필요

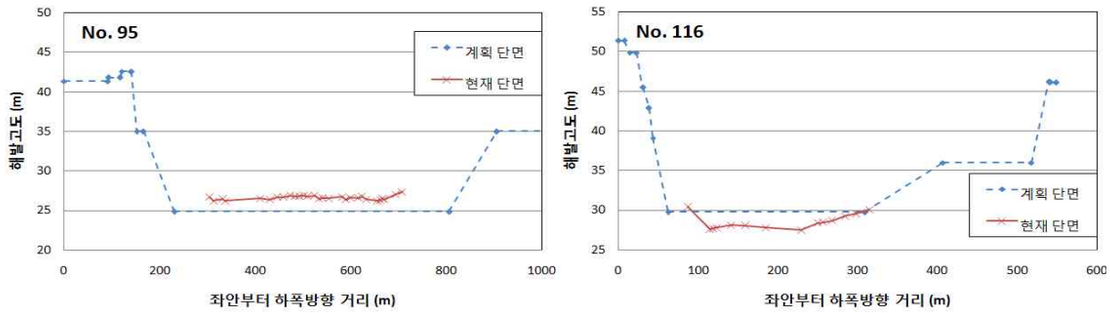
- 평균 수심 3~4m로 사다리꼴 형태의 계획단면을 따라 준설하였으나 홍수기 후 현장측정[2] 결과 퇴적(95지점)과 세굴(116지점) 이 진행 중
- 예측한 바대로 물의 흐름과 지형적 특성에 따라 지점별로 계획 대비 퇴적 혹은 세굴이 진행 중임을 확인

2) 지중탐사레이다(GPR: Ground Penetrating Radar)와 GPS(Global Positioning System) 이용한 하상지반 탐사법 (조사구간: 이포보에서 강천보 상류 약 22 km, 시기: 2013년 9월 2일~9월 12일)

< 하상재료 분포 (상: 이포보-여주보, 하: 여주보-강천보 구간) >



< 계획단면과 측량단면의 비교 (좌: No. 95, 우: No. 116) >



□ 준설한 하상도 안정성 유지를 위해 인위적 지속관리 필요

○ 조사된 보 구간은 세굴보다 퇴적이 약간 우세한 것으로 나타났고, 부분적으로 세굴이 발생하였으나, 하상고 차이는 큰 변화가 없는 것으로 보고됨[3].

○ 일반적으로 보 하류는 세굴이 우세할 것으로 판단되나 2013년 2회에 걸친 조사에서[4] 홍수기가 포함되지 않았고 그 결과 하상고 차이가 크지 않았음.

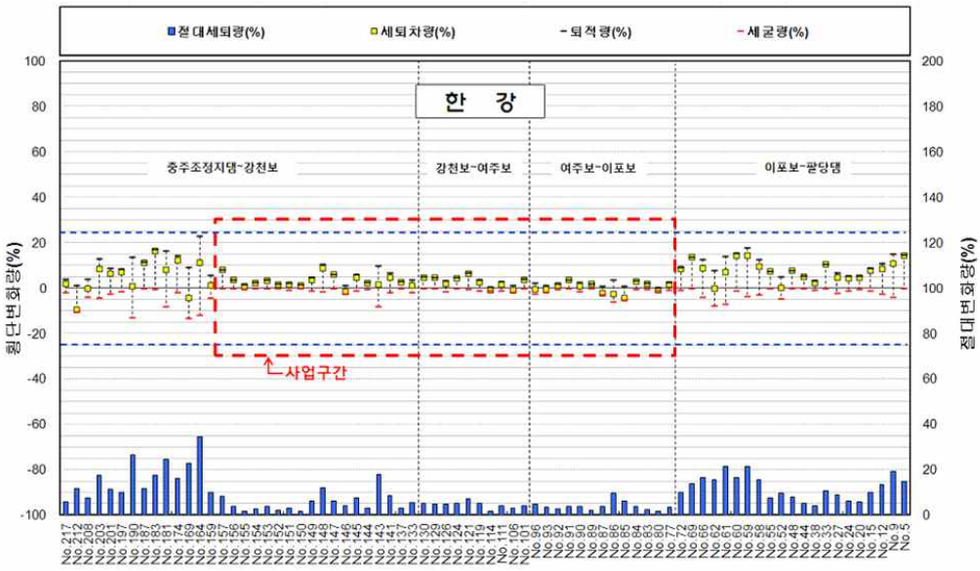
3) 서울지방국토관리청(2013). 『한강 우기대비 특별 안전점검 보고서』.

○ 이포보~여주보 구간에서는 평균 0.42%의 퇴적이 발생하였고, 여주보~강천보 구간에서는 평균 2.14%의 퇴적, 강천보~충주댐 구간은 평균 3%의 퇴적 발생

○ 준설구간은 인위적인 보와 시설물을 설치하여 자연스러운 변동성이 제한을 받는 상황으로 유지관리 방향 설정을 위해 장기적이고 세밀한 모니터링 필요

- 대부분 구간에서 퇴적이 약간 우세하여 지속적인 준설 등으로 하상 안정화를 위해 고비용 인위적 관리가 불가피
- 보 구간은 자연스러운 하도변화가 일어나고 있는 그 외 구간에 비해 퇴적 또는 세굴이 제약되어 있는 인위적 특성을 나타내고 있어 유지관리 없이 계획단면을 지속 유지키는 어려울 전망
- 이를 판단하기 위한 모니터링 비용은 세밀한 정도에 따라 다르나 보 구간에만 최소 2,000만원~5,000만원 내외 필요 전망

< 한강 수계 내 하도변화량 산정 결과 >



자료 : 한강홍수통제소(http://www.grfco.go.kr)

2. 본류 변경으로 인한 지류하천 안정성 변화

□ 본류구간의 직유입 지류하천은 준설로 인한 단차 차이로 다소 불안정

○ 보 설치와 연계하여 주요 지류하천 12개소에 두부침식(일명 역행침식)을

4) 한강통합물관리센터(2013). 『보 인근 하도변화 모니터링 보고서』.

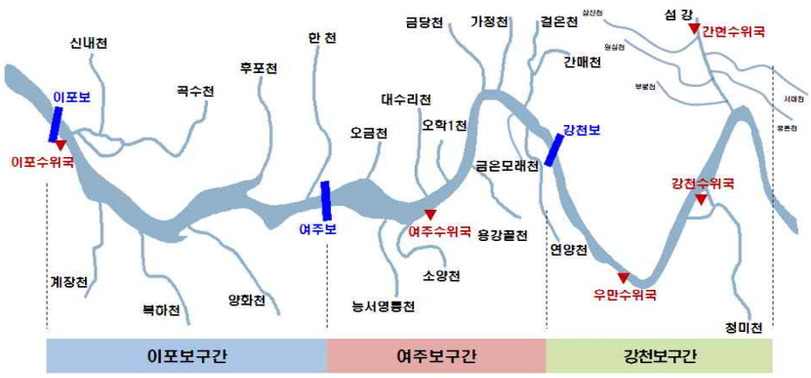
제어하기 위한 하상유지공을 설치, 대부분의 지천 합류부에서 퇴적 발생

○ 보 직하류 하천일수록 세굴현상이 뚜렷하여 하상유지공 유실 혹은 밀림현상이 나타나고 하천에 따라 교각붕괴 혹은 유실 현상 발생

○ 국토교통부는 지류하천의 교량붕괴 원인이 국지적 폭우와 낡은 교량이라고 주장하나 사업 전후 유속변화를 통해 간접 추정해보면 두부침식은 존재

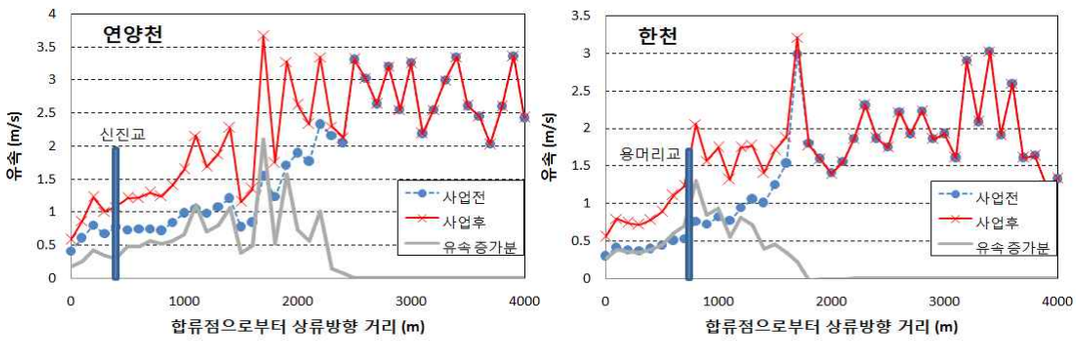
- 준설 전에 비해 연양천 신진교 지점은 유속 약 1.7배 증가, 한천 용머리교는 2.7배 증가하여 교량 붕괴 및 붕괴위험의 원인이었던 것으로 분석

< 한강 3개 보 구간의 지류하천 >



< 남한강 3개 보 직하류 제 1 지천 모식도 >

< 사업 전후 유속 변화 >



< 한강살리기 사업 전·후 연양천, 한천의 홍수위 >

(단위 : E.L.m, m)

하천명	합류지점의 횡단번호(no.)	사업전 홍수위	사업후 홍수위	수위차
연양천	125	45	43.04	1.96
한 천	104	40.54	38.36	2.18

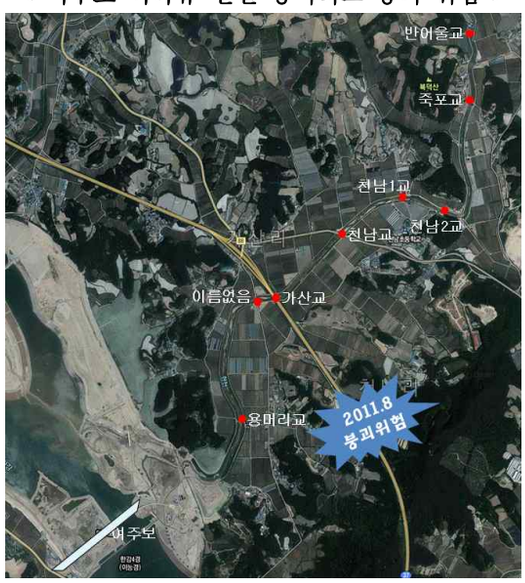
< 남한강 주요 지천합류부 하상보강사업 내역 >

구 간	지류하천	시공방법, 공법	교량 붕괴 등 본류 준설로 인한 피해
이포보 하류	용담천	목재방틀 하상유지공	저수호안 침식/전북교 교각 유실, 2012.9/2013.7.22
	금사천	목재방틀 하상유지공	저수호안 침식/사석이탈, 2012.9/2013.7
이포보~여주보	신내천	목재방틀 하상유지공 및 사석보강	사석이탈, 2013.7
	계장천	사석보강	-
	후포천	목재방틀 하상유지공 및 사석보강	-
	한천	미라클스톤네트,바닥 사석깔기보강	**용머리교 붕괴위험, 2011.8**
여주보~강천보	오금천	돌망태보강	
	소양천	돌망태보강	저수호안 포락, 2012.2
	금당천	섬유돌망태보강, 게비온 매트리스	하상유지공 유실, 2011.1
	간매천	섬유돌망태보강	
	연양천	**?**	**신진교 교각붕괴, 2010.9/ 새터교 교각유실, 2011.8**
강천보 상류	청미천	섬유돌망태보강	하상유지공 밀림, 2012.9
	섬강	섬유돌망태보강	하상유지공 유실, 2012.9

주 : 진한글씨는 국교부 점검 자료 목록에서 빠진 지천

< 강천보 직하류-연양천 신진교, 새터교 붕괴,유실>

< 여주보 직하류-한천 용머리교 붕괴 위험 >



○ 인공 시설물이 많아질수록 유지관리 인원과 관심, 기술적 관리가 이루어져야 지속가능하므로 이러한 관리 비용이 추가되면서 고비용 관리체제로 돌입 중

○ 고비용 체제로 가는 경우 관련 비용의 규모와 부담 주체에 대한 논의가 필연적으로 수반되는데, 아직까지 하천관리에 대한 국가와 광역, 기초 지자체 간의 역할 분담은 애매한 상황

- 낙동강 등 사례에서 보듯이 마모성 소모품 등의 교체지연만으로도 누수처럼 보이는 수밀 현상 등이 나타나 관리주체에 대한 불신을 야기 가능[5)]

3. 수질개선 효과

□ 보 설치 구간의 수질 현황 및 변화 추이

○ 감사원 감사에서는 BOD는 개선되었으나 하천 수질개선 목표를 달성하지 못했고 호소 기준인 COD 적용시 수질은 악화 추세

○ 공식 수질측정망을 토대로 한 BOD 수질의 개선은 현재 조사된 수질과 수량의 전제 조건에 대한 논리적 해석이 필요, 강천보를 예로 들어보면,

- 지점별 BOD의 단순 비교 결과 공사 전후 여주보 0.4, 이포보 0.3㎎/ℓ 개선
- 강천보 수질측정지점은 보 600m 상류로 충주댐 방류량의 영향권으로 이 지점에서의 수질이 3개 보 구간과 그 하류 팔당호까지 영향을 미칠 수 있음.
- 강천보 수질은 사업 후 BOD 0.4㎎/ℓ나 개선되었는데, 이는 충주댐 방류량 증가의 영향으로 해석되며, 그 결과 보 구간의 수질을 희석하는 효과로 나타나고 그 결과가 팔당댐까지 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있음.
- 공사 이전 강천보(BOD 1.3㎎/ℓ) - 이포보(BOD 1.9㎎/ℓ) 구간은 0.6㎎/ℓ 정도 차이가 났는데, 공사 후 동일 지점에서 BOD가 0.8㎎/ℓ 악화되어 보 건설로 인해 BOD가 최소 0.2 이상 악화되는 경향을 보임.

< 보 건설에 따른 남한강 수질 변화 추이 >

수질항목	위치	2005~2009 연평균(A)	연평균				
			공사기간			사업후('12) (B)	증감(B-A)
			'10	'11	평균		
BOD (㎎/ℓ)	강천보	1.3	1.2	0.9	1.1	0.9	-0.4
	여주보	1.4	1.0	0.9	1.0	1.0	-0.4
	이포보	1.9	1.4	1.3	1.4	1.7	-0.2
	팔당댐	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	-0.1

자료 : 환경부 수질측정망.

5) '4대강 칠곡보 수문 2곳 균열, 대규모 누수 발생연합', 뉴스앤뉴스(2013.8.1).

○ 이론적으로도 하천의 자정작용(self-purification)은 물리적, 생물화학적 자정작용으로 구분해 볼 수 있고 이 중 물리적 자정작용은 하천 유속에 크게 의존함.[6)]

- 한강살리기 사업으로 설치된 보는 남한강 유속 패턴의 변화를 야기, 사업 전후에 유속은 대략 2.5배 감소하고 체류시간[7)]은 약 2.5배 증가, 종분산계수[8)]는 대략 1.3배 감소하여 수질에 부정적인 요인으로 작용

< 사업 전후 주요 수리량의 변화 >

유량 (㎥/s)	유속 (m/s)		수심 (m)		종분산계수 (㎡/s)	
	사업 전	사업 후	사업 전	사업 후	사업 전	사업 후
평수량 (181.5)	0.56	0.25↓	1.41	2.14↑	292.3	227.4↓
저수량 (138.4)	0.51	0.21↓	1.34	2.07↑	236.3	178.2↓
갈수량 (119.8)	0.48	0.18↓	1.32	2.03↑	211.9	157.8↓

자료 : 4대강마스터플랜 환경부 내부자료.

□ 한강살리기 사업이 수질에 미치는 영향 평가의 전제

○ 과학적인 수질모의를 위해 미국 환경부에서 개발한 수질 모델인 WASP7.41과 수리동역학 모델인 EFDC1W (2009, US EPA)를 사용

- WASP 모델은 수체와 퇴적층의 수질을 모의할 수 있는 유동구획모형이며 유동, 확산, 점오염원과 경계조건의 시간에 따른 변화를 고려 가능
- EFDC는 WASP의 단점을 보완하기 위해 개발된 3차원 수리동역학 모델로 수질, 부유사 이동 및 독성 물질 모델과 연결된 통합 버전의 모델 사용

○ 한강살리기 사업으로 증설된 3개의 보와 준설로 지형변화가 있는 구간을 중심으로 청미천 합류점부터 양평대교에 이르는 114.3 km 구간을 모의

- 지형 변화가 없는 충주댐~청미천 합류점과 양평대교~팔당댐 구간은 제외
- 강천보, 여주보, 이포보를 기준으로 4구간을 중점적으로 모의(부록 2)

6) 수문학적 이동 과정(hydrologic transport processes)이라고도 명한다(Fischer 등, 1979). 그 세부 메카니즘은 이송(advection), 확산(diffusion), 분산(dispersion) 등으로 구별되는데 이송은 수체의 평균유속에 의해서 오염물질이 장소만 옮기는 이동 과정이다. 확산은 분자운동이나 난류(turbulence)에 위해 물질이 퍼지는 과정이고, 분산은 유속편차에 의해 확산 현상이 강화되는 과정으로 설명됨

7) 유속은 체류시간과 반비례하는 개념

8) 분산계수는 물리적 자정작용을 대표하는데 유속이 달라지면 확산현상이 강화되면서 유량이 작아질수록 감소폭이 증가하는 요소

< 한강살리기 사업의 구간별 준설 계획 >

(단위 : ㎞, m)

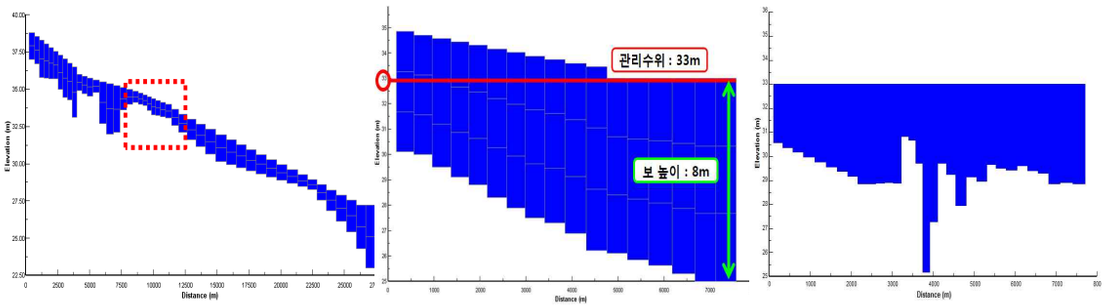
구간	길이	보높이	관리수위	평균준설깊이	격자수
충주댐 ~ 섬강	44.6	-	-	0.0	-
섬강 ~ 강천보	11.7	8.0	38.0	0.0	336
강천보 ~ 여주보	9.8	8.0	33.0	0.5	300
여주보 ~ 이포보	11.7	6.0	28.0	0.9	336
이포보 ~ 팔당댐	36.5	-	25.0	0.2	240

자료 : 한국수자원공사(2010). 『한강살리기 사업 실시설계보고서』.

○ 사업 전은 남한강(1992) 및 한강 하천정비기본계획(2002)의 평면도 사용, 사업 후는 1, 4구간은 실시설계자료를 사용하고, 2, 3구간은 보 설치 이후 2013년 본 연구에서 직접 측정한 바닥고도 사용, 격자 구축

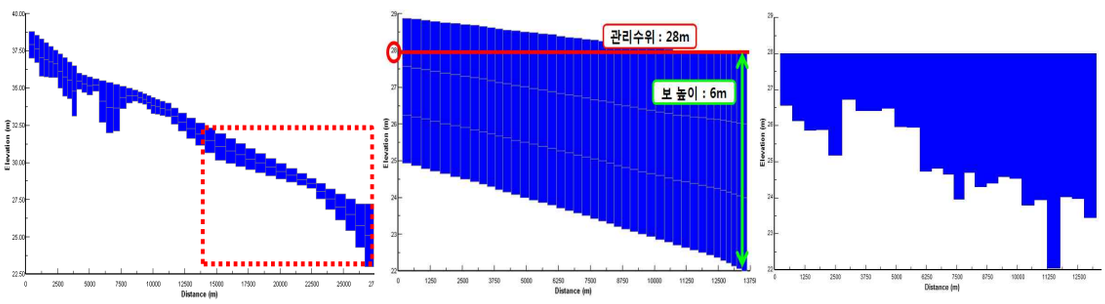
- GPR을[9] 이용 조사한 지형자료를 바탕으로 수위와 바닥고도를 재구축 한 결과 마스터플랜에 비해 하상준설이 덜 이루어졌으나 이는 최종 실시계획 시 조정된 것으로 판단됨.

< 강천보 ~ 여주보 구간 보 증설 전·후 바닥고도 비교 >



(a) 사업전 (b) 사업후-실시설계 (c) 사업후-실제준공

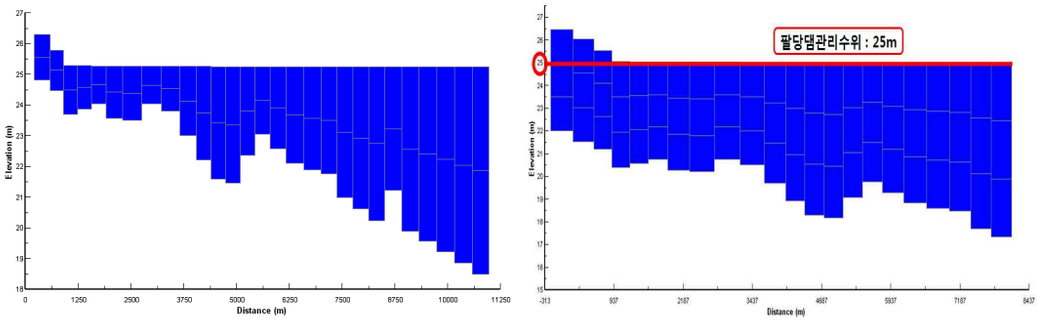
< 여주보 ~ 이포보 구간 보 증설 전·후 바닥고도 비교 >



(a) 사업전 (b) 사업후-실시설계 (c) 사업후-실제준공

9) GPR(Ground Penetrating Radar), Zond 12e Advanced(Radar Systems Inc., Latvia) 사용

< 이포보 ~ 양평대교 구간 보 증설 전·후 바닥고도 비교 >



(a) 사업전 (b) 사업후

○ 유량 자료는 한강 홍수통제소의 2007년 수문조사연보를 활용

- 지류 유량자료는 충주댐과 팔당댐의 유입·방류량 차이를 구간 사이에 있는 경계조건을[10] 고려한 후 지류 유역면적비를 이용하여 산정(부록 3, 4 참조)
- 기압, 기온, 상대습도, 강수량, 일사량, 운량, 풍속, 풍향 등 모의 구간을 대표하는 충주와 서울기상청의 기상자료를 사용

○ 서&이 (2003)가 제안한 대로 총량측정망에서 8일 간격 수질자료 중 10 ㎜ 이상 강우시 측정된 자료를 추출, 평균하고 이를 강우시 유입 농도로 보고 수질측정망에서 측정된 자료는 평상시로 보고 각 월별 강우일수를 고려하여 가중평균한 후 지천별 월평균 유입농도 자료를 산정(산정 예는 부록 5 참조)

○ 국토교통부 및 환경부에서 관리되고 있는 2007년의 수위, 수질 자료를 이용해 수리, 수온 및 수질 (TN, TP, BOD, Chl-a) 보정 실시(적용변수는 부록 6 참조)

□ **모의 결과 전 구간에서 Chl-a은 평균 23% 이상 증가, BOD_5/TP는 소폭 감소[11]**

○ 청미천 합류점~강천보 구간 (1구간)

- BOD_5와 TP의 경우는 유효숫자범위 내에서의 농도 변화가 거의 없음.
- Chl-a는 사업후 최소 1%에서 최대 42.7%, 평균 14.7% 정도 농도 증가

○ 강천보~여주보 구간 (2구간)

- 평균적으로 BOD_5는 0.3%, TP는 0.4%의 감소하였으나 큰 변화 없음.
- Chl-a의 경우는 0~75.1%로 변화율이 크고, 평균적으로 22.4% 증가

10) 처리장, 취수장 등 주요 유량 변동 요인

11) 상세 모의 결과 및 관련 자료는 부록 7 참조

○ 여주보~이포보 구간 (3구간)

- BOD_5와 TP는 6월에 각각 5.1, 4.9% 증가, 그 외에는 평균 0.6, 7.5% 감소
- Chl-a의 경우는 13.0%~47.2% 증가율을 보이고, 평균 29% 증가

○ 이포보~양평대교 구간 (4구간)

- BOD_5와 TP의 경우 6월에 3% 증가하나, 평균 TP 5.1%, BOD_5는 0.4% 감소
- Chl-a의 경우 최소 7%에서 최대 42.6% 증가하고, 평균 26.1% 증가 추이

○ 전체적으로 수중보 설치로 인한 Chl-a의 변화율이 평균 14.7% 이상으로 가장 크게 영향을 받고, 그 외 수질항목은 감소 추세

- BOD는 -0.5% 이하로 가장 작은 변화를 보이고, TP 또한 10% 이내 감소

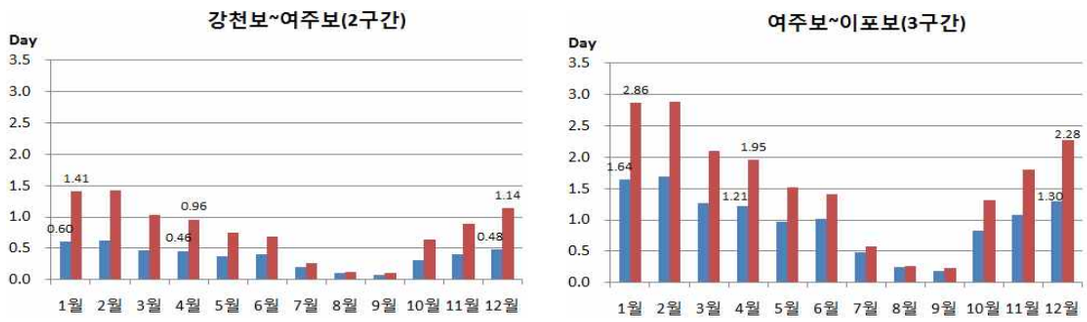
< 모의 구간별 수질 변화 추이 요약 >

구간	수질 항목		
	BOD	TP	Chl-a
청미천~강천보 (1구간)	↓	÷	↑(14.7%)
강천보~여주보 (2구간)	↓	↓	↑(22.4%)
여주보~이포보 (3구간)	↓	↓	↑(28.7%)
이포보~양평대교 (4구간)	↓	↓	↑(26.1%)

○ 실제 측정자료를 사용한 2, 3구간의 체류시간은 증가하는 것으로 분석됨.

- 3차원 수질모의 결과, 남한강 3개 보의 설치로 인해 체류시간이 증가하고, 그 결과 BOD는 개선, Chl-a는 악화되는 것으로 분석됨[12)]
- 체류시간 및 유속은 장마철(6~9월)에는 그 영향이 상대적으로 작으나, 장마철을 제외하면 2구간에서는 2배 이상 증가, 3구간에서는 최소 1.6배 최대 1.8배 증가

< 3개 보 구간의 체류시간 증가 예측 >



12) 경기개발연구원 내부자료(2011). 『한강살리기 사업에 따른 수질관리 방안』

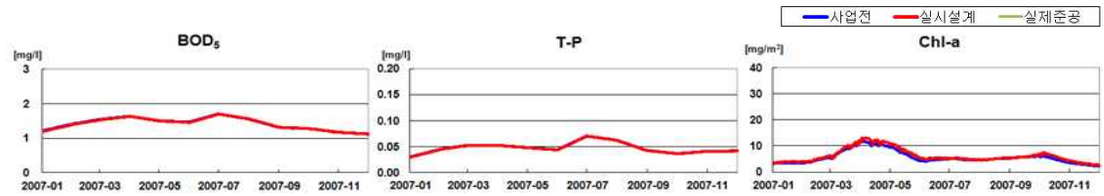
< 3개 보 구간의 체류시간 증가 예측 결과 >

구분	강천보~여주보(2구간)		여주보~이포보(3구간)	
	사업전	사업후	사업전	사업후
1월	0.604	1.409	1.642	2.861
2월	0.629	1.421	1.698	2.892
3월	0.475	1.033	1.272	2.102
4월	0.458	0.959	1.214	1.952
5월	0.372	0.744	0.977	1.517
6월	0.403	0.683	1.020	1.415
7월	0.202	0.269	0.486	0.575
8월	0.104	0.124	0.246	0.27
9월	0.075	0.107	0.189	0.229
10월	0.307	0.647	0.826	1.318
11월	0.397	0.889	1.078	1.806
12월	0.476	1.140	1.300	2.28

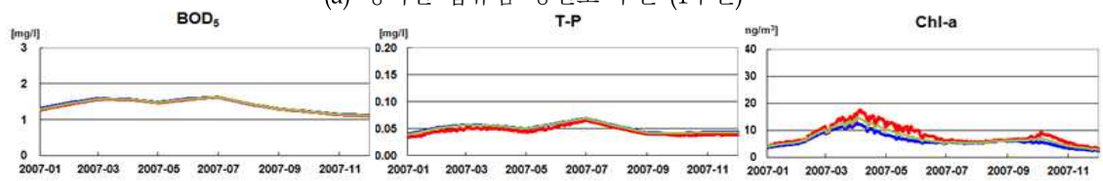
○ 전반적으로 사업의 영향으로 체류시간이 증가하고 그에 따라 BOD_5 등 수질은 약간 개선되고 Chl-a 농도는 증가되는 경향이 일반적으로 나타남.

- 용존 성분이 대부분인 TN 과 BOD_5는 월평균 최대 5% 미만만 변화하여 연평균 1% 내외의 영향이 전부라 사업으로 인한 영향은 미미하다고 보는 것이 타당
- 그러나, 고형성분이 대부분인 TP는 체류시간 증가에 따른 침강량 증가로 농도가 상대적으로 크게 감소하여 연평균 5% 이상 - 최대 10% 까지 줄어드는 경향이 뚜렷함.
- 한편 Chl-a는 여타 수질요소에 비해 전반적으로 현격하게 증가하는데, 이포보 구간의 경우 평균적으로 28.8% 증가하는 것으로 나타났음.
- 즉, 보 설치로 인한 체류시간 증가가 TP의 경우 침강에 의해 손실되는 부분이 증가하는 반면, 식물성플랑크톤이 생장할 수 있는 시간이 증가하여 Chl-a는 증가하는 것으로 분석할 수 있음.
- 본 연구에서 측정된 수위자료를 이용하여 지형자료를 수정한 경우, 수심이 사업계획 당시보다 낮게 준공되어 계획대비 체류시간이 감소하고 그 영향으로 TP 농도는 상대적으로 적게 감소하고 그 결과 식물성 플랑크톤 성장 기회가 짧아져 Chl-a 농도도 다소 낮은 수준으로 예측됨.

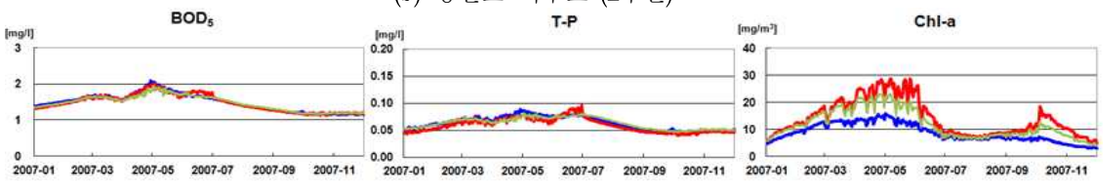
< 한강살리기 사업전·후 구간별 수질변화 >



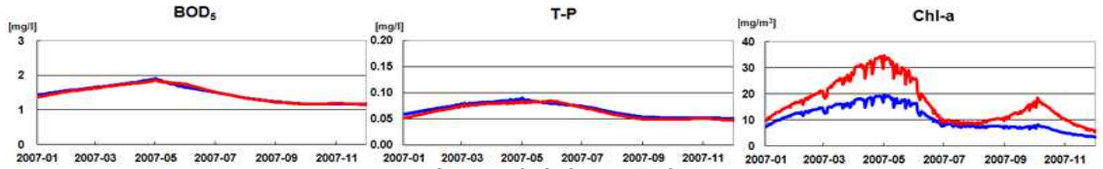
(a) 청미천 합류점~강천보 구간 (1구간)



(b) 강천보~여주보 (2구간)



(c) 여주보~이포보 (3구간)



(d) 이포보~양평대교 (4구간)

○ 일반적으로 Chl-a 발생의 원인물질인 TP가 감소하면 Chl-a 또한 감소되는 것으로 나타나는 것이 정상이나 본 모의구간의 경우 TP 의 농도는 평균 50 ㎎/㎥ 이상의 수준으로서 조류성장을 제한하기에 이미 높은 농도이므로 사업에 의한 TP 농도 감소효과가 조류 성장에 직접적 영향을 미치는 않는 것으로 분석됨.

○ 실제로 한강살리기 사업 이후 3개 보 구간의 수질은 악화되지 않고 양호하게 유지되고 있는 것으로 보고되었음.

< 사업전 후 수질 증감 현황 >

보구간	BOD(㎎/L)			총인(T-P)(㎎/L)			클로로필-a(㎎/㎥)		
	사업전	사업후	증 감	사업전	사업후	증 감	사업전	사업후	증 감
강천보	1.3	0.9	0.4(⬇)	0.043	0.038	0.005(⬇)	10.8	6.2	4.6(⬇)
여주보	1.5	0.9	0.6(⬇)	0.055	0.038	0.017(⬇)	11.6	6.9	4.7(⬇)
이포보	1.9	1.5	0.4(⬇)	0.085	0.072	0.013(⬇)	13.8	10.0	3.8(⬇)

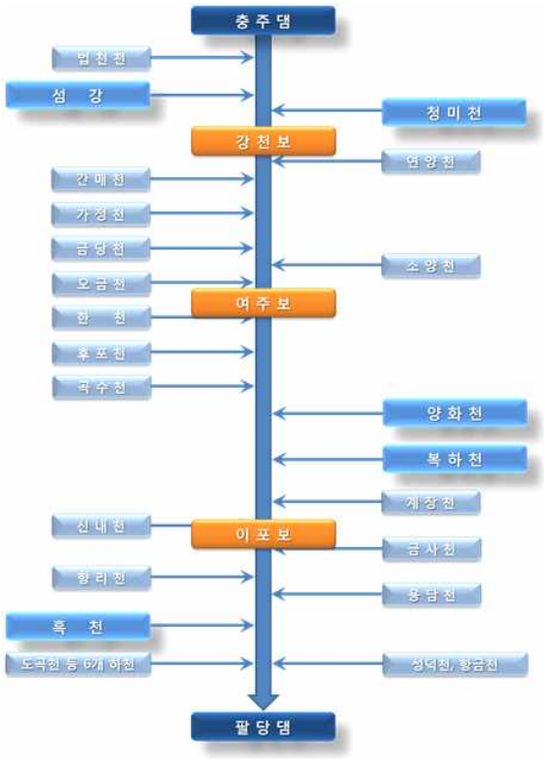
주 : 사업전 - 2007~2009, 사업후 - 2012~2013.8 평균 수질
자료 : 물환경정보시스템(http://water.nier.go.kr)

□ 3개 보 준공 이후 변화된 상류 충주댐 방류량의 영향 평가

○ 수질모의와 함께 사업 완료 후 수질이 다소 개선되는 것으로 파악되어 이러한 현상이 사업 효과인지 확인하기 위해 보 구간 상하류의 수질 수량 조건을 검증을 시도해보았음.

○ 3개 보의 상류에는 충주 조정지댐이 존재하고 팔당댐까지 하천 5개(섬강, 청미천, 양화천, 복하천, 흑천)와 소하천 23개소가 직유입 되고 있음.

< 충주댐~팔당댐 하천모식도 >

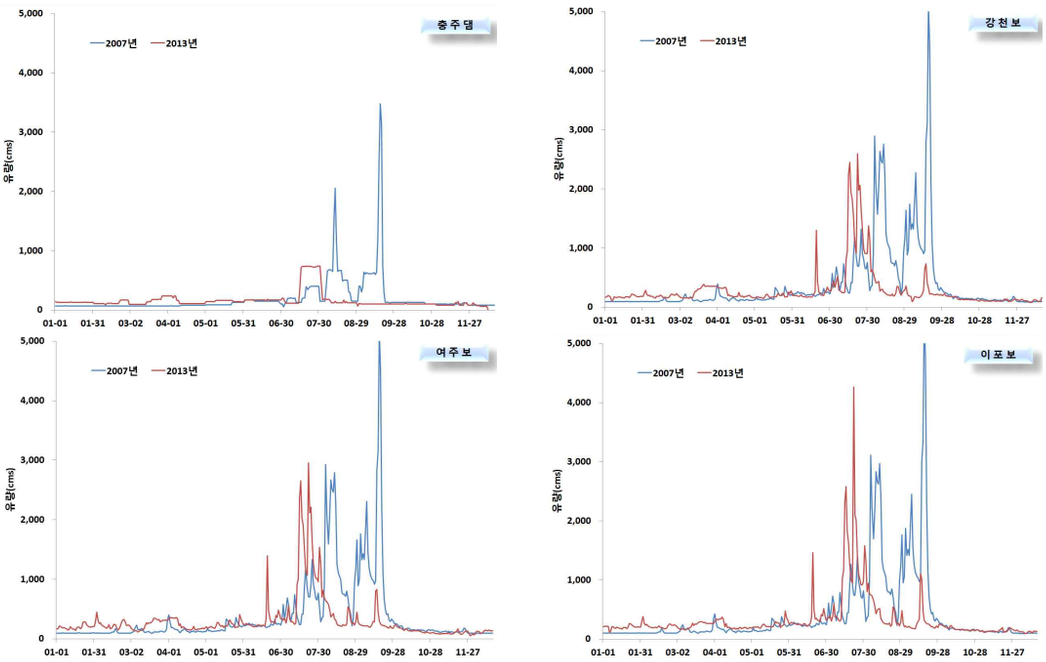


○ 2007년 이후 충주댐 방류량을 살펴보면 3개 보 준공 이후 방류량이 늘어나는데, 특히 동절기인 1~3월 사이에 방류량 증가가 뚜렷함

- 2007년 대비 2011년 35%, 2012년 49%, 2013년 93% 증가
- 저·갈수기(1~4월)만을 기준으로 보면 연평균 방류량이[13] 사업 이후 '11년 1.08억 톤(13%), '12년, '13년에 5.88억 톤(71%)으로 증가됨.

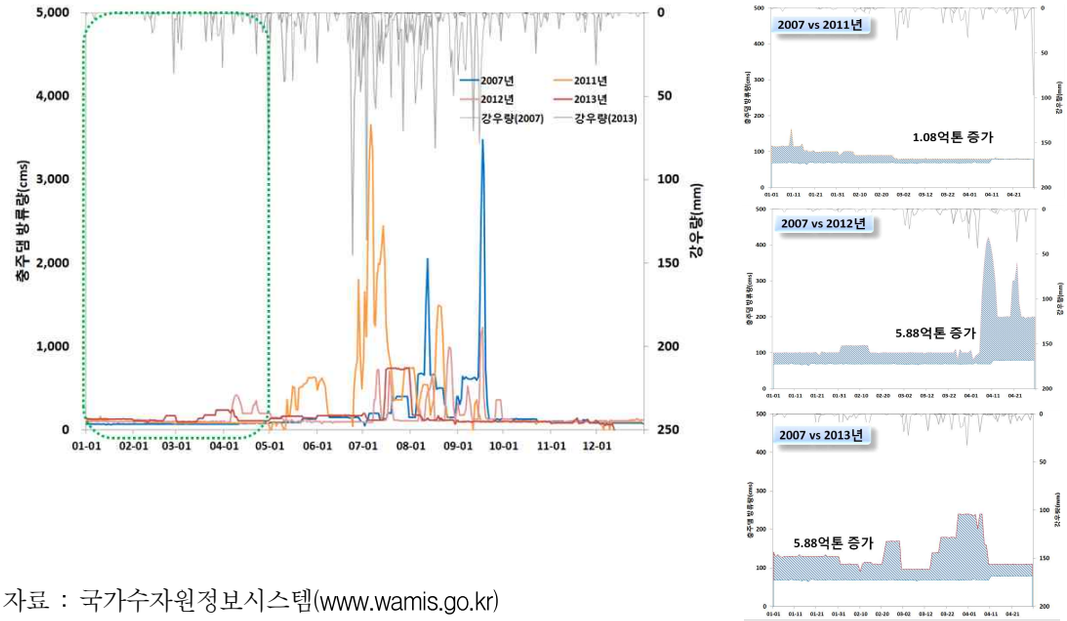
13) 2007~2009, 1~4월 연평균은 8.29억 톤

< 2007년 vs 사업 후 방류량 증가 추이 (연간 변동) >



자료 : 국가수자원정보시스템(www.wamis.go.kr)

< 저 ·갈수기(1~4월) 충주댐 방류량 >



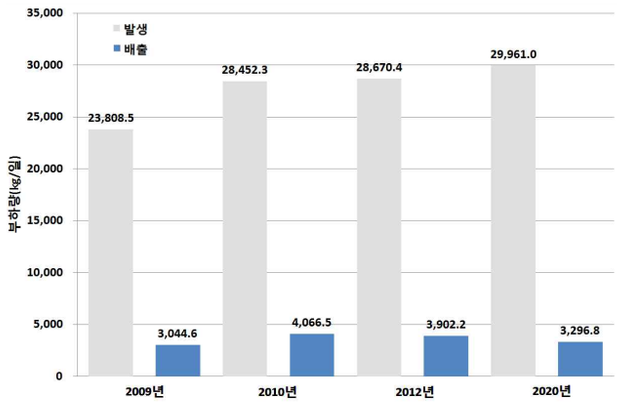
자료 : 국가수자원정보시스템(www.wamis.go.kr)

○ 이 기간동안 유역의 TP 발생부하량은 2009년 이래 꾸준히 증가하고, 배출부하량도 2009년 3,004.6에서 2010년 4,066.5㎏/일로 증가되었고 2012년에도 3,902.2㎏/일로 크게 줄어들지 않았음.

○ 수질총량관리제 시행으로 2010 대비 2020년 배출부하량은 일 770㎏이 감소될

전망이긴 하나 제도 시행 초지가 아직까지 부하량 저감 효과가 나타나기는 이른 시점인데다, 향후 총인 고도처리 등 수질관리 압박은 가중되고 있음.

< 발생 vs 배출부하량 증감 추이 >



주 : 1. 2009년 : 환경부. 2011년『남한강하류 중권역 물환경관리 연동계획』.
2. 2010, 2012, 2020년 : 경기도. 2013년『한강수계 수질오염총량관리 기본계획』.

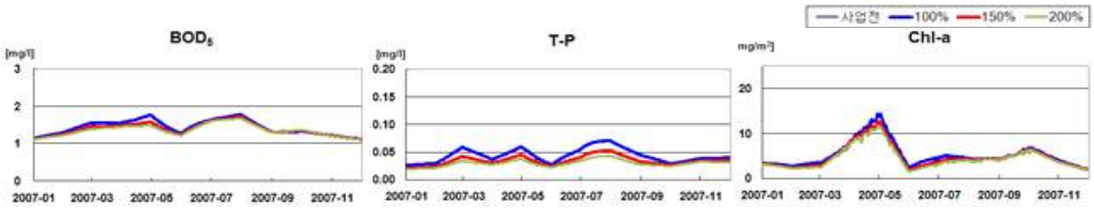
□ 충주댐 방류량, 보 상류 유입 유량 변화에 따른 수질영향 예측[14)]

○ 앞서 모의 결과에서 충주댐 방류로 인해 유입되는 유량만을 변화시켜 기존 수질모의 결과를 분석한 결과

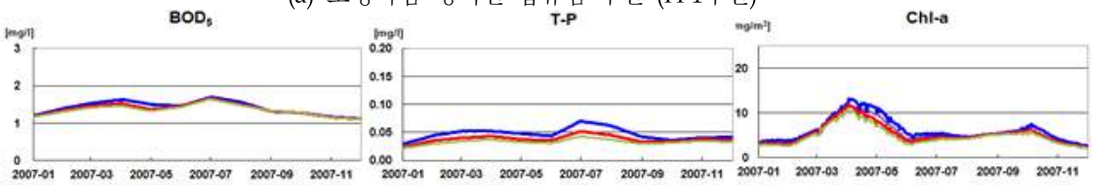
- 충주댐 방류량의 변화가 없는 경우(100%)와 방류량이 150과 200%로 증가한 경우를 전제로 남한강 지점들보다 수질이 상대적으로 양호, 수량의 희석효과 있을 충주댐 영향을 파악 시도
- 방류량이 증가하면 당연히 체류시간이 감소하는 것으로 전망되고, 이에 따라 거의 전 구간에서 방류량 증가 시 TP, BOD_5, 그리고 Chl-a의 농도 감소
- 강원도를 거쳐 남한강과 합류하는 섬강 유량은 충주댐 방류량의 40% 수준
- 남한강 본류수질은 충주댐 방류량이 증가할수록 희석효과가 커지는데, 특히 충주댐 방류수와 본류의 수질 농도차가 큰 TP와 Chl-a 영향이 크게 나타남.
- 충주댐 방류량이 150%까지는 희석효과가 나타나지만 그 이상은 희석효과가 더 이상 나타나지 않음. 아마도 방류량이 150%가 되었을 경우 이미 방류수가 남한강 수질을 지배적으로 좌우하기 때문인 것으로 판단됨.
- 결국 갈수기에 71%까지 증가된 충주댐 방류량의 영향이 보 구간의 개선된 수질의 원인으로 해석될 수 있어 실제 사업으로 인한 수질개선효과는 미미하다고 볼 수 있음.

14) 상세 모의결과는 부록 8에 수록

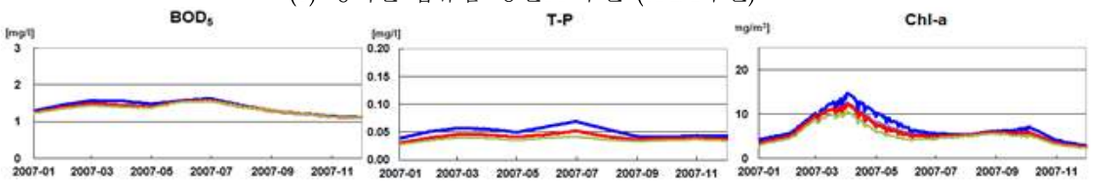
< 충주댐 방류량 변화에 따른 구간별 수질변화 >



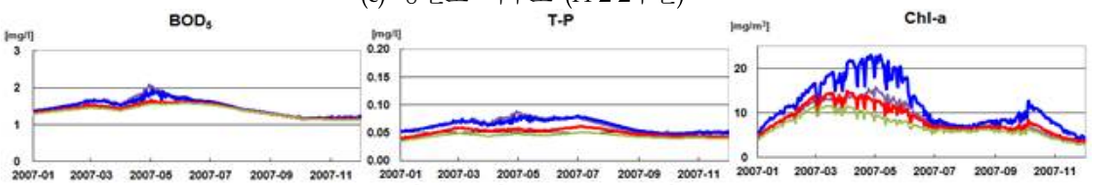
(a) 조정지댐~청미천 합류점 구간 (H-1구간)



(b) 청미천 합류점~강천보 구간 (H-2-1구간)

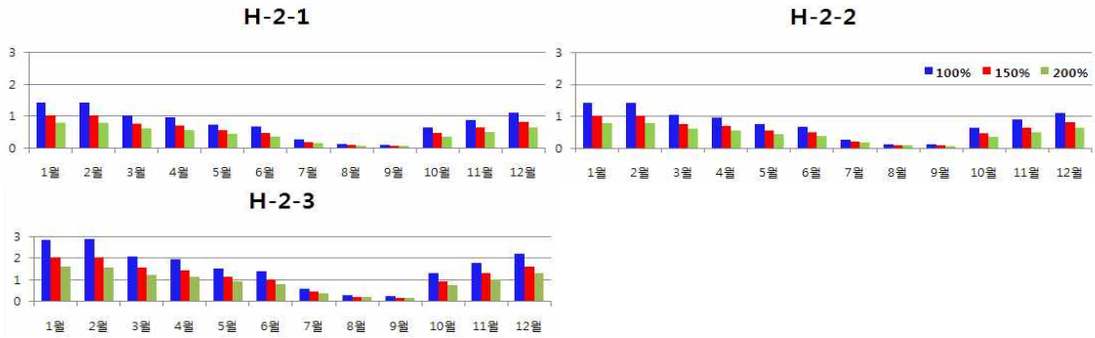


(c) 강천보~여주보 (H-2-2구간)



(d) 여주보~이포보 (H-2-3구간)

< 충주 조정지댐 방류량 변화에 따른 구간별 체류시간 변화 >



○ 최근 6년간(2007~2013) 충주댐 방류량을 개략적인 비용으로 환산해보면 최소 296억 원에서 최대 1,310억 원으로 추정할 수 있음.

○ 과학적, 객관적으로 사업을 평가하기 위해서는 보 건설 이후 진행되고 있는 수질/수량 통합관리의 원칙, 이에 수반된 비용 분담, 기후변화 등 급박한 변동요인에 대한 대비 방안 등과 연계하여 보다 면밀한 방류량 제어방안이 논의되어야 할 것임.

<충주댐 방류량 증가를 비용 환산 결과>

(단위 : 억 톤, 억 원)

연 도	방류량	추가방류량			
		추가방류량1)	저갈수기 추가방류량2)	환산금액 (하천수)	환산금액3) (광역취수)
계	323	-	-	-	-
2007년	60	-	-	-	-
2008년	35	-	-	-	-
2009년	41	-	-	-	-
2010년	49	3.7	4.02	202	896
2011년	**88**	**42.7**	**1.08**	**54**	**240**
2012년	**50**	**4.7**	**5.88**	**296**	**1,310**
2013년	**48**	**2.7**	**5.88**	**296**	**1,310**

주 : 1) 추가방류량은 2007년~2009년 연평균 방류량(45.3억 톤) : 88억 톤(2011년) - 45.3억 톤(3년 평균 방류량)=5.88억 톤

2) 저・갈수기 방류량은 2007~09년 1~4월 평균방류량(8.29억 톤) : 9.37억 톤(2011년) - 8.29억 톤(1~4월 평균방류량)=1.08억 톤

4) 환산금액(하천수 : 저갈수기 추가방류량 × 50.3원

3) 환산금액(광역취수) : 저갈수기 추가방류량 × 223원

○ 모의 결과 충주댐 방류량이 남한강의 유량에 지배적인 영향을 미치며 그 방류량 증가에 따라 3개 보 구간의 수질이 상당히 개선되는 것을 의미함.

- 방류량을 150% 이상 증가시키는 경우 그 방류수질 이상으로 남한강 수질을 개선할 수는 없는 것으로 나타나 50% 내외 방류량 증가와 유역 오염원 관리라는 다각적 옵션이 남한강 수질관리를 위해 검토될 필요가 있음.

4. 이수 및 치수 개선 효과

□ 사업 목표 대비 성과 미흡하나 정량화 자료가 공개되지 않아 평가 비난

○ 국토교통부에서 4대강 사업으로 인해 홍수조절능력 9.3억 ㎥, 용수 확보량 13.0억 ㎥이 된다고 주장

○ '11년 말 수립된 수자원장기종합계획(2020)에서 보를 포함한 유역물수지 분석을 했으나 이전 계획과 차이가 없으며 추가 확보된 홍수조절용량이나 용수 확보량을 활용하는 방안 미제시

○ 국토교통부에서 '12년 말 4대강사업에도 불구하고 6개의 신규댐을 추진하겠다는 댐건설장기계획 수립을 발표하여 기존 사업 효과에 의문 증대

○ '홍수조절능력 0.9억 ㎥, 용수확보량 0.5억 ㎥'의15) 효과와 비용(2조 2천억 원)을 비교한 객관적 평가 필요

- '97년 영월다목적댐 건설은 홍수조절량 2억 ㎥과 용수량 3.67억 ㎥확보를 위해 9,970억 사업비를 제안한 결과 비용편익이 1.02로 낮아 폐기된 데 비해[16],
- 한강살리기는 영월댐 사업의 절반에도 못 미치는 효과를 위해 사업비를 2배 이상 투입한 비용측면에서 매우 비효율적 사업임을 시사

< 한강사업과 영월댐 사업의 비교 >

(단위 : 억 ㎥, 억 원)

구분	한강살리기	영월다목적댐	차이
용수확보량	0.5	3.67	3.17
홍수조절량	0.9	2.0	1.1
사 업 비	22,000	9,970	12,210

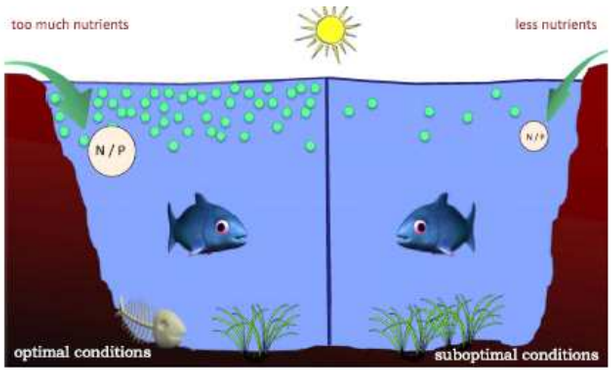
5. 수생태계와 생물다양성에 미치는 영향

□ 녹조 발생과 이취미 물질 발생 우려 증대

○ 보 구간 및 보 직하류 구간의 수체의 체류시간 증가로 인해 조류의 이상증식 요건이 갖추어져 조류 발생이 증가하고 이로 인해 녹조발생 빈도와 강도 증가

○ 기존 토지이용 형태에 따른 유지관리 쟁점도 변화하여 과거에 비해 질소, 인 등 영양염류의 영향과 이로 인한 정체된 하천구간, 호소 부영양화가 상당히 진척되는 중.

< 질소나 인(N/P)이 많은 수체에서 녹조발생 >



자료 : Lima(2013.8.26). "통합형 녹조방제 심포지움 발표자료집", 『베를린공대』.

15) 한강살리기 사업(국교부, 2009), 용수확보=보 3개(0.4억 ㎥) + 농업용저수지 12개 증고(0.1억 ㎥), 홍수방어=퇴적토준설(0.5억 ㎥) + 노후 제방보강(131㎞) + 강변저류지 (0.3억 ㎥) + 농업용저수지 증고(0.1억 ㎥)

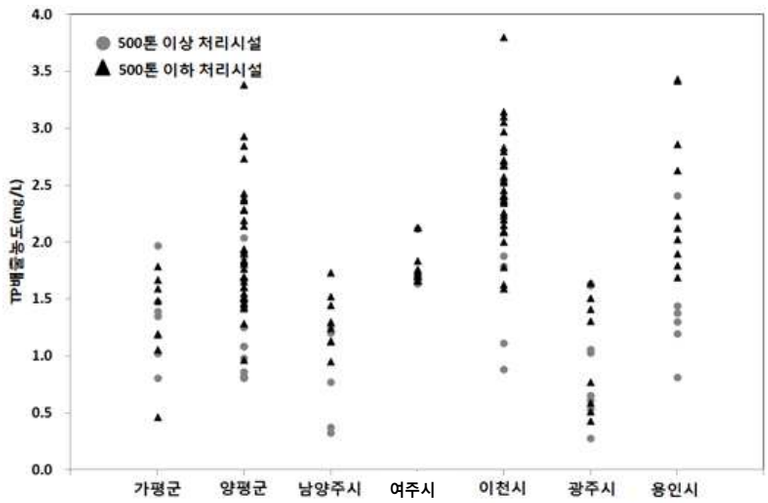
16) 영월다목적댐 건설사업 기본설계보고서(1997), 곽승준(1999), 영월 동강댐 건설로 인한 환경 피해의 사회적 비용 : 자연보존의 화폐적 가치 추정, 고려대학교 경제연구소

○ 보로 인해 정체된 남한강 구간에서도 녹조현상이라 불리는 조류 대발생으로 수중 산소고갈, 냄새 문제를 야기하고 미관상 좋지 않아 민원과 언론의 관심의 대상이 되며 수돗물 정수과정도 정밀해지도록 압박받는 상황

- 경기도내 하천의 인 농도는 조류 성장 관점에서는 과잉상태로 녹조제어가 매우 어려운 상황으로 실제로도 녹조발생 및 조류주의보 발생 빈도 증가 중
- 점오염원 처리시설인 하수처리장의 방류수 중 총인 농도는 일 500톤 이상 처리장에서는 2ppm[17]이하로 잘 관리되나 그 이하 규모 처리장들은 방류수가 2ppm을 상회하여 녹조발생 원인물질 지속 제공하는 오염원
- 정체된 호소와 같은 보 구간으로 유입되는 하천들의 총인농도가 2ppm 이상이면 조류성장에 긍정적으로 작용하여 조류대발생과 같은 부작용의 원인이 될 우려가 커짐

< 팔당호 녹조발생, 연합뉴스 2012.8.7. >

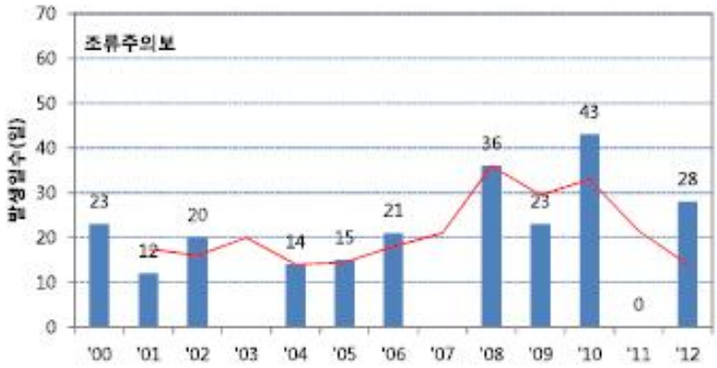
< 경기도내 주요 하수처리장 방류수수질의 총인 농도 >



자료 : 송미영(2013.8.26). "팔당상수원 녹조제어를 위한 통합관리 방향", 『통합형 녹조방제 심포지엄 발표자료』, KIST.

17) 팔당상류지역 하수처리시설이 일 500톤 미만일 경우 총인 방류수 수질기준, 하천에서 녹조발생을 제어하기 위해서는 이 농도의 1/10 수준으로 총인농도가 낮아야 함.

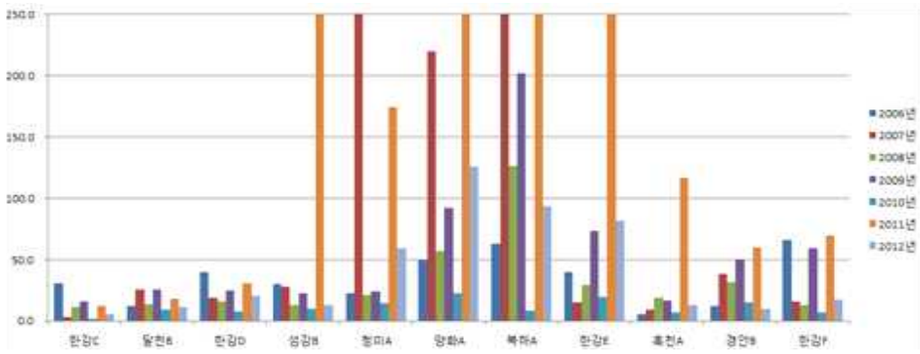
< 팔당호 조류주의보 발생 추이 >



자료 : 경기도 내부자료(2013).

○ 부유물질과 인은 본류 및 지류하천에서 지속적으로 유입, 집중호우시 비점오염물질로 다량 유입하여 수질 악화 요인으로 작용, 북한강상류 강원도 하천도 4-5 등급 (총인은 호수 등급으로 0.02 1b등급, 0.10 이상은 6등급 수준)

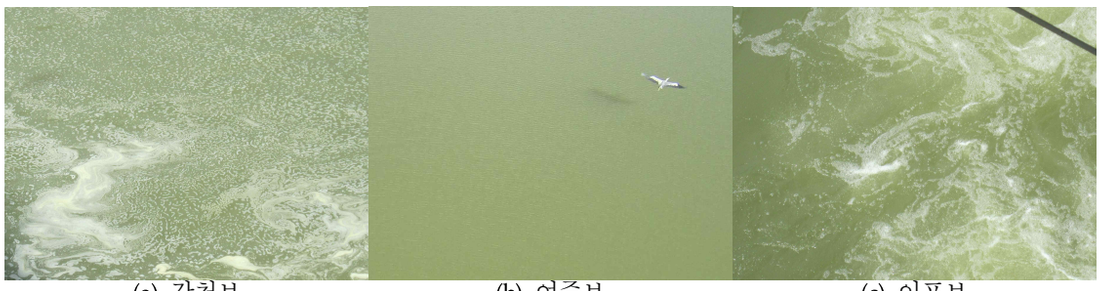
< 집중호우시 부유물질 농도증가 패턴 >



자료 : 송미영(2013.8.26). "팔당상수원 녹조제어를 위한 통합관리 방향", 『통합형 녹조방제 심포지엄 발표자료』, KIST.

○ 이러한 상황에 추가로 본류에 보가 설치되고 그로 인한 체류시간 증가로 보 직하류 구간의 부영양화, 녹조발생 우려는 점차 가중될 확률이 커짐

< 보 위에서 내려다본 녹조발생 현황(2013. 9. 22일 촬영) >



(a) 강천보 (b) 여주보 (c) 이포보

□ 하도준설과 보 설치로 인한 수생태계 영향은 심각한 수준으로 복원대책 시급

○ 수변 습지면적이 2006년 대비 2012년에 4,139,100㎡ (29.5%) 감소

○ 사후모니터링 결과에서도[18] 수생태건강성은 악화된 것으로 분석되었는데, 하천변 습지의 절대면적 감소 등 서식지 변화가 주요한 원인으로 제기

- 습지, 하천에 서식하는 철새와 어류 개체수 감소
- 저서무척추동물 우점도 증가로 다양도가 낮아짐
- 단양쑥부쟁이 서식처 감소, 맹꽁이, 금개구리 등 양서파충류 소멸

< 강천보 6공구 상류부 사업 전후 하천변 습지면적 감소>

< 습지면적의 변화>

2006년 습지면적	2012년 습지면적	사업전・후 습지면적 변화
14,019,300㎡	9,880,200㎡	4,139,100㎡ (29.5% 감소)

< 평가시기별 수생태계 서식종 종류 변화 >

구분	종류	평가서 본안	3공구(이포보)						평가서 본안	6공구(강천보)					
			사후환경영향평가			보설치 전후 수생태 영향평가				사후환경영향평가			보설치 전후 수생태 영향평가		
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	1차 년도	2차 년도	3차 년도		1차 년도	2차 년도	3차 년도	1차 년도	2차 년도	3차 년도
식생	단양 쑥부쟁이	○							○	○	○	○	○	○	○
	층층 둥굴레		○	○	○					○	○	○	○	○	○
양서・파충류	맹꽁이	○							○						
	남생이	○							○	○	○				
	표범 장지뱀	○							○	○	○				
	금개구리	○							○						
어류	쭈구리	○	○	○					○	○		○			
	돌상어											○			

18) 습지면적 변화, 생물다양성 변화 자료는 전동준 외(인쇄 중). "4대강살리기사업 사후환경영향조사 분석 평가 및 개선방안 연구"의 결과 요약 인용

□ 보와 댐으로 연속되는 정체된 수환경으로 변화하면서 어류 등 생물다양성 악화 우려 가중

○ 기존 자료는 불안정한 상황의 단면이라는 주장이 있을 수 있고 현재 수환경이 향후에도 지속되는지를 살펴보기 위해 과거 팔당댐 축조 사례를 살펴보면,

- 1972년 유수에서 정수생태계로 변화하면서 팔당댐 설치 이전과 비교해서 1990년 이후까지 하천서식종이 사라지고 전체 종수도 감소
- 고유어종 출현율이 국내 하천의 평균 수준인 40% 이었으나 댐 축조 이후 20% 내외로 낮아지면서 고유 하천 특징을 잃고 전형적 인공호 특성 반영
- 94년 이후 전체 종수가 회복되는데, 그 내용을 살펴보면 주로 정수역 서식 어종이 증가하고 어족자원 증식을 위해 도입된 종들이 하천서식종을 대체

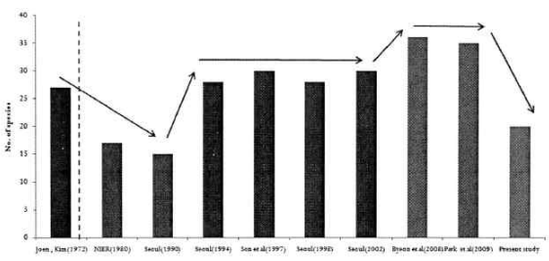
○ 팔당호에서 나타났던 어류 생태계의 변화가 남한강 보 구간에서 재현될 확률이 높아 향후 지속 모니터링을 통해 고유어종 및 관련 저서생물 등 수서생태계 변화를 지속적으로 확인하고 관련 대응 방안 모색 필요

< 팔당호 어류상 변화 추이 >

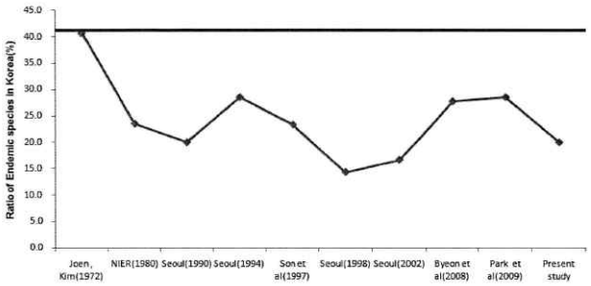
구 분	1972 (전&김)	1980 (국립환경연구소)	1990 (서울특별시)	1994 (서울특별시)	1997 (손 등)
종수	9과 27종	7과 17종	4과 15종	8과 28종	10과 30종
고유어종 출현율[2]	40.7%	23.5%	20.0%	28.6%	23.3%
주요종	쉬리, 묵납자루, 돌상어, 돌마자, 퉁가리 등 여울 서식 어종 다수 발견	뱀장어, **긴몰개, 돌마자, 돌상어, 묵납자루, 배가사리, 쉬리, 참종대, 퉁가리,** 밀어 등 여울 서식 종 사멸	대농갱이, 메기, 꺽지, 쏘가리, 동사리 등 소멸 도입종인 *블루길, 베스* 서식 확인	각시붕어, 몰개, 참붕어, 줄납자루, 흰줄납줄루, 모래주사, 꾹저구, 가물치 등 하천 중하류 정수지역 서식 어종 출현	가시납지리, 납자루, 살치, *떡붕어, 이스라엘 잉어, 갈문망둑,* 준동자개, 미꾸라지 등 새로 출현, 뱀장어 재출현[3]

주 : 1. 진한글씨: 한국고유종, 밑줄: 멸종위기동식물 II급 어종, 기울어진 글씨: 어족자원 증식용 도입어종, 붉은글씨: 정수역 어종
2. 고유율과 동의어, 한강수계 하천평균 41 - 57%, 청평호 14.6 - 34.7%, 소양호 27.3 - 20.5%, 하천에서 높고 호소는 낮음.
3. 경제성 어종의 치어방류 사업 결과인 듯
자료 : 한정조 외(2009). "팔당호의 어류상의 변화", 『환경연구소 논문집』, 6:37-50.

< 팔당호에 대한 어류 조사(1972-2009) >



< 팔당호의 고유어종 출현율 감소 추이(1972-2009) >



자료 : 한정조 외(2009). "팔당호의 어류상의 변화", 『환경연구소 논문집』, 6:37-50.

□ 하천환경 및 친수 대책은 구체적 검토와 재원대책 필요

○ 준설토는 여전히 임시적치장에 쌓여 있어 수변 및 주변 토지이용 제약

- 여주 준설토 판매 및 활용 방안 마련을 통해 여주시 일대 수변공원 등의 관리 비용 창출의 지속성 도모 수단 강구
- 사업으로 발생한 준설토 중 71%가 적치되어 환경 및 비용 문제 발생

< 여주시 준설토 판매 활용 계획 >

(단위 : 천㎥)

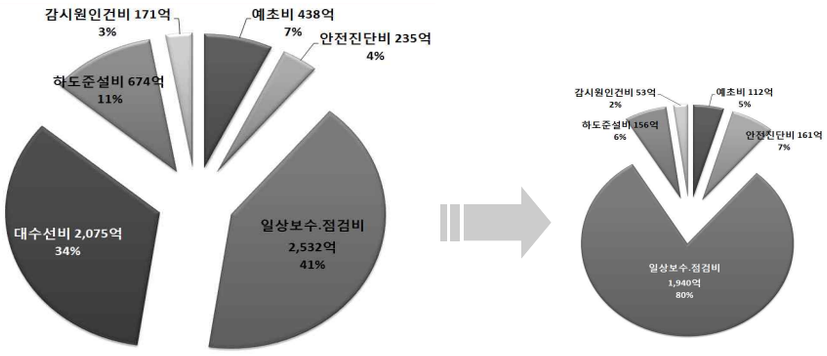
적치량	계약량('10-'12년)	반출량	잔 량
33,163	8,634/549억 원(26%)	3,908/215억 원	24,529(74%)

주 : 판매는 당초 2018년 완료 예정이었으나 경기불황으로 지연, 적치장 18개소(2013. 3월말 현재)
향후 판매계, 2013년 : 3,073천㎥(직영판매 예정), 2014년 이후 : 21,456㎥
자료 : 경기도 내부자료 (2013.4).

○ 지자체에 위임될 친수시설 등의 관리 방안 마련, 비용 추산 및 관리 주체, 방식, 비용조달 등 대안 마련

- 마스터플랜 당시 5,794억 원, 국토연구원은 6,200억 원, 2012년 국교부 배정은 2,500억 원으로 유지관리 비용은 고무줄 예산[19)]
- 친수시설 관리에 대한 국비지원 50%[20)] 유지 혹은 재원조달 방안 구체화 요구되나 하천유지관리 비용은 제도적으로 조달 여건이 미비한 상황
- 경기도 구간의 16,000여개 관리시설에 대해 2013년도 관리비용은 전액 국비로 총 138억 원 규모로 지원되었는데, 이 중 여주, 양평 등 지자체 관리 친수시설 비용 33억 원 수준만 지원

< 4대강 유지관리비용은 고무줄 예산, 6,125억 → 2,422억 >



19) 국토연구원(2012). 『국가하천 유지관리방안』., 서울시 한강사업본부가 42㎞ 유지보수 비용 11억 원/㎞에 비해 국교부는 8,000만원/㎞ 수준

20) 국교부와 기재부 예산 협의 과정 중 제안만 되고 이 상태로 확정 혹은 축소 가능 농후

< 한강수계의 관리대상 시설 규모 >

수계	광역	기초	총 관리 대상	휴식시설			조명 시설	주차 면수	관리시설			광장 등	캠핑장	체육 시설	안내시설물	
				의자	파고라	쉼터			화장실	산책로	진입로				자전거 표지물	안내판
한강	계		22,169	3,220	295	167	6,462	2,699	59	70	133	57	135	87	1,433	3,333
	경 기	**남양주시**	**3,613**	589	65	62	22	700	17	19	79	4		35	397	801
		여주시	**11,903**	1,938	162	19	6,250	1,219	29	26	44	22	135	19	358	1,403
		양평군	**2,143**	98	10	4		254	2	5		2		6	82	207
	강 원	춘천시	1,140	211	5	17			2	3	1	3			117	256
		원주시	1,492	185	32	38			5	4	1	6			309	365
		영월군	1,149	136	14	4	190	400	1	1				5	74	174
		화천군	189	8	1					5		4		12	50	63
	충 북	충주시	338	55	6	16		80		4	4	7		6	46	34
		제천시	187			7		136	3	3	4	9		1		24
		단양군	15											3		6

자료 : 행정안전부 내부자료(2011). 『친수공간 보존 및 활용방안』.

Ⅳ. 쟁점에 대비한 후속조치와 경기도의 역할

1. 경기도가 대응해야 할 주요 쟁점

□ 보 설치와 저류지 등 하천환경 변화로 인한 영향을 정확히 진단

○ 3개 보 등 주요 시설물 설치로 인해 본류 수질관리는 완화되는 반면 지천과 유역의 수질관리는 강화되어야만 하는 여건 변화를 직시하고 대비 방안 모색

- 본류의 수질수량통합, 수생태계 사후관리의 조화로운 조정 혹은 조율 유도
- 보 등 새로운 시설물이 기존의 댐, 유역과의 상호작용의 결과 분석
- 본류의 고탁도 고조류의 원인요소인 유입지천과 유역 관리기준 강화 우려
- 조류, Chl-a 증가 원인에 대한 상관관계 해석을 위한 지속모니터링과 분석

○ 수변습지 감소, 자전거도로와 친수공원 등 인위적 시설물 증가로 인한 수생태계와 관련 서식처 변화로 인한 영향 정도 지속 모니터링

- 수변습지 30% 감소로 식생, 양서파충류, 조류 등 수생태계 질 악화
- 하도준설과 시설물 설치로 저서생물, 어류 등의 종 감소, 수생태건강성 악화
- 인위적 고비용 시설물 위주의 하천관리 vs 저비용 친환경적 관리 방침 설정

□ 사업효과 상쇄 우려가 있는 논란, 쟁점들을 최소화하는 정책 수요 파악

○ 보 설치로 변동성이 커진 수질, 수생태계 건강성, 유역관리 여건에 대비한 자료 분석, 정책 수단을 적극 발굴

- 시행된 사업의 평가와 향후 복원 혹은 유지관리를 위한 사업별 평가 차별화
- 보 영향 직접 혹은 간접구간까지 영향을 지속 모니터링 및 해석
- 기후변화와 댐과 보의 존재가 상호 상승 작용하는 문제 진단 및 분석
- 수생태건강성보다 강화된 생물측정망 도입 시 보 영향지점 세밀 조사 유도

○ 수자원, 수리권 관련 갈등의 완화와 새로운 유역관리 패러다임 도입 시도

- 본류와 지류하천 관리에 있어 중앙과 지방정부의 역할과 재정 분담 재편
- 수자원공사 부채 증가와 수질수량관리 압박으로 물값 상승 요인 증대, 기존 물값 분쟁 해소와 연계
- 친수구역법에 따라 개발되는 수변에 의한 유역 오염원관리 방향 설정
- 최소화된 사업구간 사후관리, 수변관리 등을 정상화하거나 지역여건에 맞게 활용하기 위해 필요한 인력, 재원의 조달과 부담 대안 모색

2. 과학적이고 기술적인 수계 및 유역관리 정책 방향 설정에 집중

□ 이화학적 수질의 과학적, 통합적 관리로 전환

○ 수도권 유일의 상수원 상류에서의 수질, 수량관리 변동성이 커진 만큼 최악의 상황을 가정하여 대비하는 정책 역량 강조 필요

○ 새로운 쟁점으로 등장한 수량 희석효과, 녹조대발생 등에 능동적 대응 필요

- 본류는 중앙정부가 지류하천은 지자체가 책임을 분담하고, 지역별 오염물질 제어, 수질관리에 보다 집중 필요
- 통상적 점오염원 관리와 함께 유역 비점오염원의 발생, 배출 경로 및 규모를 파악하고 제어하기 위한 노력 배가
- 현재 제도의 사각지대에 있는 처리장 미처리배출수 저감방안, 유역의 물 순환체계 개선 등 새로운 유역관리기법의 도입과 적용 적극 활용

□ 수질관리 위주에서 녹조 등 조류 발생과 이취미 제어, 수생태 복원으로 선회

○ 조류의 생태적 특성상 원인이 되는 요인을 제어하지 못하면 사후대책만으로 역부족이므로 유역 전반의 오염물질, 특히 총인관리 강화

○ 팔당과 잠실상수원 등 핵심지역의 조류발생 빈도 및 주기, 원인조류의 변동 패턴 등 조류발생의 원인 진단에 경기도 역량 강화

○ 보건환경연구원, 환경기술센터 등 기초조사와 모니터링 역량을 지닌 기관을 활용 유입지천과 본류 주요 구간의 조사 정례화 시도

○ 네덜란드의 Room for the River 와 같은 사례를 토대로 수변 습지의 양과 질 회복 및 자연성 복원 시작

□ 이치수 분야는 수자원공사, 국토교통부, 경기도의 역할 분담 명확화가 중요

○ 치수 안정성 강화를 위해 여주 지역의 재해대책과 3개 보 운영 연계 강화

○ 이수 문제는 용수확보 명분보다 보 건설로 인한 지하수위 변화, 수변 토지활용의 제약 조건 등 실질적인 문제 파악에 돌입 필요

○ 본류로의 직유입 지천의 치수방어를 남한강 치수 및 보 구조물의 안정성과

연계하여 면밀한 검토 지속 요청 및 협의

○ 보의 안정성은 지속 모니터링 필수, 시설물 유지관리 수준/비용 논란에 대응

- 하상변동은[21] 강우패턴에 따라 나타나게 되는 자연적 현상으로 이를 지속적으로 모니터링하고 철저하게 관리 필요
- 기존 조사 자료 내용만으로는 보 하류 세굴현상을 정확히 판단하기 어려워 향후 홍수 전·후의 조사 결과를 이용하여 보 세굴 여부 재검토 필요
- 보의 유지관리를 위한 추가 준설 여부를 판단할 수 있는 지속적 모니터링과 관리비용 추가 고려

□ **하천환경 및 친수분야는 관리시설 급증으로 인한 고비용 관리문제 해결방안 필요**

○ 지역, 주민과 연계한 저비용 관리대안 모색

○ 장기적으로 하천공간 복합화 등 친수 대안 시도

○ 적치되어 있는 준설토의 활용방안 마련

Ⅴ. 정책제안

□ **사업 후 변화된 수환경의 과학적이고 질적인 관리를 위한 역량 배가**

○ 보 설치 등 변화된 하천환경의 영향의 정확한 진단과 지속 모니터링

○ 수질수량 통합관리 전환에 맞는 조직 및 업무 시스템 마련 고려

- 국토교통부와 환경부로 이원화되었던 관리체제가 방류량 등 수량 관리와 연동되고 있는 현실을 반영한 체제로 전환 필요
- 단기적으로는 수질과 수량 업무부서의 업무 협의체계 조정, 환경부 등 수질정책협의회에 적극 참여 관리체계 구축

○ 녹조, 이취미 물질, 유해화학물질 등 새로운 관리 요소 제어 방안 대비

- 수질위주에서 새로 등장한 조류발생과 그 원인 물질과 조건에 대한, 이동 특성 규명과 이에 맞는 유역 및 수계 관리 방안 도출
- 점오염원은 총량 중심으로 관리하되 비점오염원의 관리를 위한 핵심 오염유역, 오염원 등의 규명, 관리 시도

21) ''4대강 사업' 금강 3개보 침식 심각, 구조적 위험 우려', 경향신문(2013.8.22).

- 제도 사각지대에 놓여있는 미처리배출수, 방류수기준 초과 처리장, 개인오수처리 시설 등의 관리 강화

□ **변동성과 악화 우려가 커진 요인들을 최소화하는 정책 수요 파악 및 대응**

○ 하천사업과 관련 분야의 갈등 완화와 새로운 유역관리 패러다임 도입

- 객관적, 장기적 관점의 사업효과 보완 및 개선 방안 준비 의지 강화
- 하천과 물 관리에서 부처/부서간 파편화된 쟁점 해소에 집중
- 기후변화, 댐과 보가 상존하는 수환경 관리방안 모색 노력 강조

○ 악화된 수질, 수환경 문제 해소를 위한 실질적 수단과 정책 강구

- 본류는 중앙, 지천은 지방정부가 중심이 되지만 상호 협의 강화
- 고탁도 고조류 현상에 대응하기 위한 다각적인 제어 수단 연구
- 기존 연구, 조사기관의 네트워킹을 통한 조사 정례화
- 생물측정망 등 수생태건강성, 생물다양성 자료 확보 역량 강화

□ **관리의 실질적 주체로서 경기도의 정책 역량 강화**

○ 기존 후속사업의 조정과 방향 전환 패러다임 설정

- 사업 평가 및 성과물 자료 및 정보 공유 요구
- 시설물 유지관리 및 적절한 활용 계획에 다각적으로 참여
- 지류지천 정비사업 재조정과 물 순환 복원과 회복 패러다임과 연계

○ 한강수질관리체제 일원으로 광역지자체의 주체적 역할 정립 강화 필요

- 중앙정부의 수질관리협의회[22], 댐·보 연계운영협의회[23], 4대강 수질통합관리센터 등에 주도적으로 참여 의사결정
- 한강수계위, 사무국 지자체 이양에 적극적 의사 개진
- 중앙과의 협의, 의사결정 과정에서 보다 기술적 객관적 입장 정립
- 물 관리시스템의 일원으로 연구, 정책 수요 제기와 주도

22) 유역환경청, 국토관리청, 홍수통제소, 민간전문가 4인, 수계의 광역지자체, 환경공단, 수공, 농어촌공사 등이 참여하는 협의회로 유역환경청장이 위원장

23) 국토관리청, 홍수통제소, 유역환경청, 민간전문가 5인, 수계의 광역지자체, 수공, 농어촌공사, 한국수력원자력(주) 등이 참여 댐과 보의 방류량 및 방류시기 등을 결정하는 협의회

< 파악된 주요 쟁점에 대비한 경기도의 대응 전략과 추진주체 >

구분	쟁 점	대응 방안			
		단기	중장기	주체 [1]	유형 [2]
이치수	고비용 인위적 관리 필수	보 등 구조물, 시설 안정성 모니터링	안정화 최적 전략 마련	국교부 (경기도)	조사/정책
	과학적 객관적 접근 강화	유지관리 비용대비 관리 전략 설정	저비용 고효율 관리 체계 도입	〃	정책/정책
수질	고탁도 고조류 변동성 증가	원인물질 농도 및 영향진단	원인물질 저감, 제어대책 시도	환경부 (경기도)	조사/사업
	수량희석효과 등 대안 고려 필수	통합관리 매뉴얼 협의 강화-통합DB 구축 포함	최적 통합관리체계화	국교부 (환경부)	정책/정책
수생태	습지 등 서식처 훼손	수변, 수생태계 모니터링	수변/습지 복원 시범사업	환경부 (경기도)	조사/사업
	생물다양성, 수생태건강성 악화	건강성 악화 자료 DB 구축	건강성 회복 대안 설정	〃	조사/정책
		유입지천관리방향 설정	유입지천 복원/보전 우선순위 설정	경기도 (시군)	정책/정책, 사업
친수	준설토 방치 등 하천환경관리 열악	준설토 단계별 활용방안 강구	준설토 활용 후 그 실태 평가 환류	시군 (경기도)	정책/사업
	관리시설 급증으로 비용부담 증가	지역, 주민과 연계한 저비용 관리대안 모색	하천공간복합화 등 친수대안 시도	〃	정책/정책

주 : 1. 중심주체(협의 지원주체)로 표시
2. 단기/중장기 대안의 유형 명시 (조사: 모니터링, DB 구축 등/ 사업: 사업추진/ 정책(제도): 전략설정, 체계개선, 체계정립 등)

□ 연구의 한계

○ 이미 변화된 하천환경, 수질 등이 다양한 직간접 원인과 배경, 여건 등에 의해 영향을 받을 수밖에 없는 상황이므로 본 연구도 이러한 한계 상황 하에서 조사 분석되었음을 밝혀둠.

○ 현재 수집 및 취합 가능한 자료를 토대로 하여 이・치수, 수생태 등은 면밀한 조사, 모니터링 자료가 제한적으로 분석 결과도 이러한 제약을 내포함.

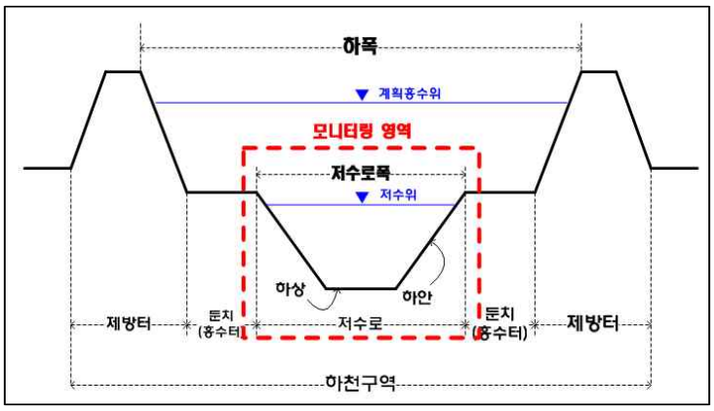
○ 향후 수자원공사, 국교부 등에서 조사, 분석한 자료는 물론 현재 평가 중인 과제들의 연구성과물이 공유된다면 보다 과학적, 객관적 분석이 가능할 것임.

부록

1. 한강 하상안정성 점검 조사 목록 및 조사 대상

구 분	보 인근 하도변화 모니터링	하천변화 모니터링 및 매뉴얼 개선방안 연구	지류하천 대표구간 하상변동 모니터링 및 분석	한강 특별점검 조사
조사시기	1차 조사: '12. 09 2차 조사: '13. 04	1차 조사: 2011년 2차 조사: 2012년	'11.08 ~ '12.12	1차 조사: '12. 03 2차 조사: '13. 07)
조사기관	한강통합물관리센터	한강홍수통제소	한국건설기술연구원	서울국토관리청
조사구간	(보 상류) 1.0 ㎞ ~ (보 하류) 2.0 ㎞ 구간	-	-	-

< 하도변화 모니터링 횡단적 범위 >

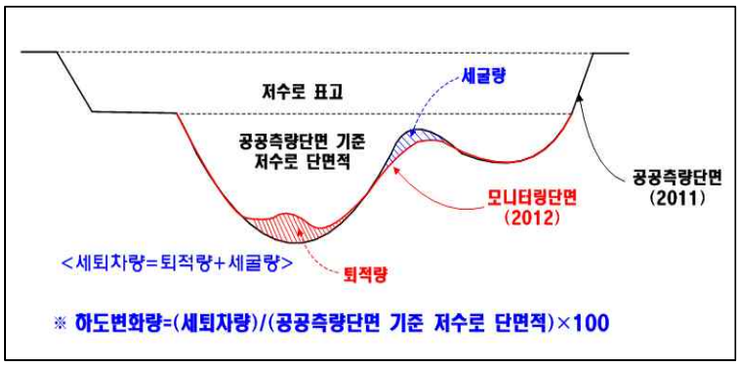


자료 : 한강홍수통제소 (2013). 『하천변화 모니터링 및 매뉴얼 개선방안 연구』.

○ 하도변화량 산정

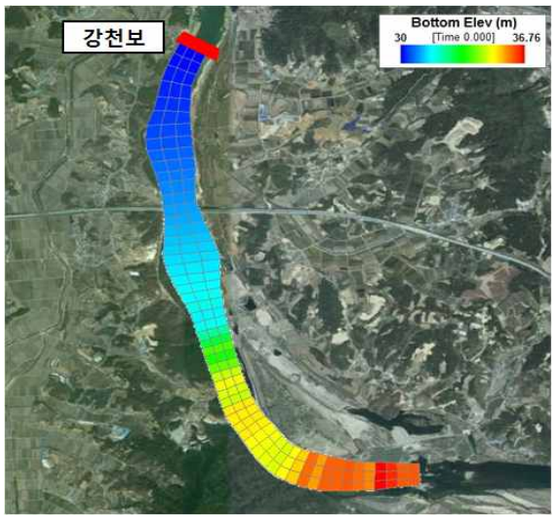
- 세퇴차량 : 퇴적량 + 세굴량
- 하도변화량(%)=(세퇴차량)/(공공측량단면 기준 저수로 단면적)×100

< 하도변화량 산정 방법 >

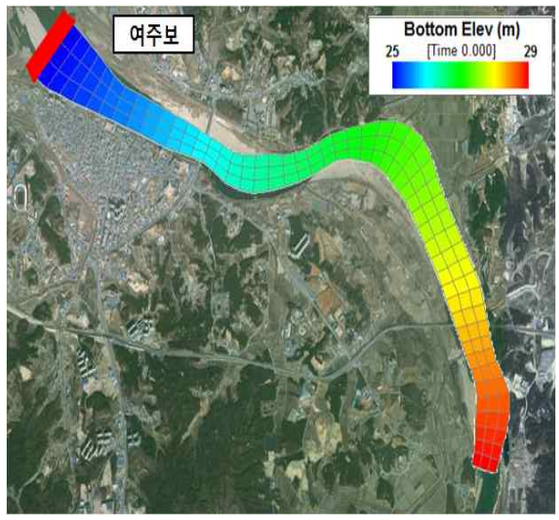


자료 : 한강홍수통제소 (2013). 『하천변화 모니터링 및 매뉴얼 개선방안 연구』.

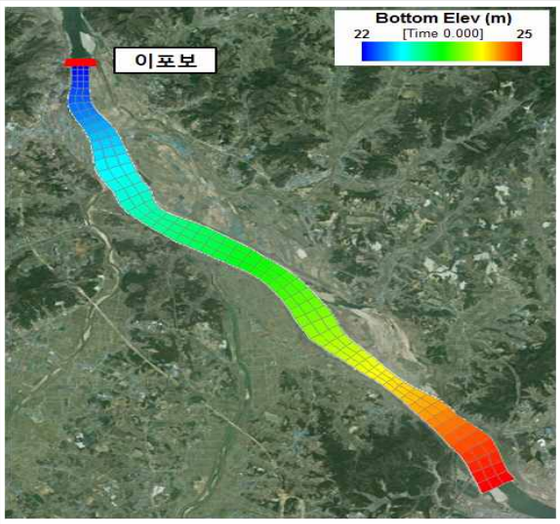
2. 한강 모의 구간별 격자 구성



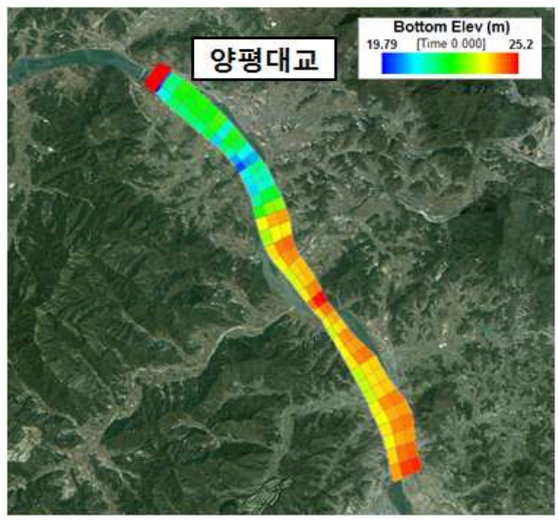
1구간(청미천합류점~강천보)



2구간(강천보~여주보)



3구간(여주보~이포보)



4구간(이포보~양평대교)

3. 남한강 지류 유역 면적비

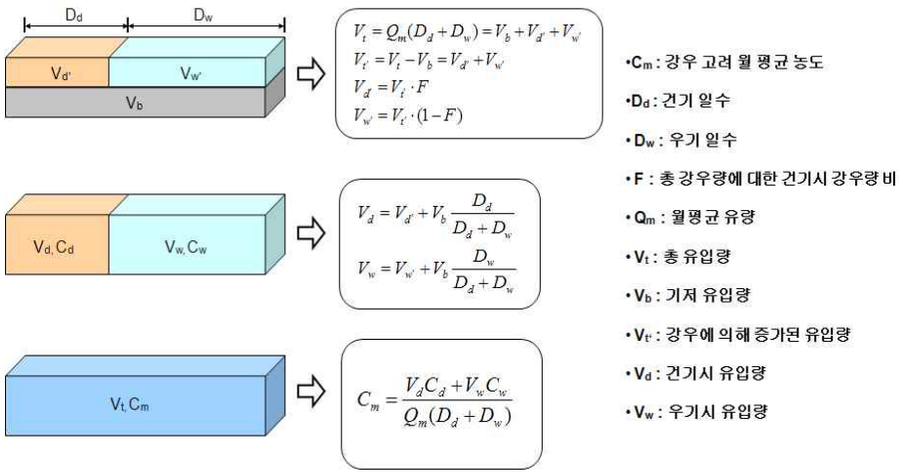
구 분	합 계	섬강	청미천	양화천	복하천	흑천	경안천
유역면적비	100%	44.6%	17.9%	5.4%	9.3%	9.4%	13.4%

자료 : 국토교통부(2007). 『한국하천일람』.

4. 청미천 합류점까지의 지류유량(CMS) 산정방법 예

날 짜	팔당댐 유입량 (A)	충주 조정지댐 방류량 (B)	청평댐 방류량 (C)	처리장 합계 (D)	취수장 합계 (E)	지류유입량 (A-B-C -D+E)	섬 강	청미천
							44.6%	17.9%
07/01/01	208.4	72.2	108.9	3.435	1.065	24.93	12.48	4.60
07/01/02	232.9	73.7	122.7	3.435	1.065	34.13	16.59	6.25
07/01/03	201.6	70.7	92.6	3.435	1.065	35.93	17.39	6.57
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
07/12/29	182.5	83.2	66.8	3.435	1.065	30.13	14.80	5.53
07/12/30	191.9	82.9	66.3	3.435	1.065	40.33	19.36	7.35
07/12/31	187.0	92.5	75.8	3.435	1.065	16.33	8.64	3.07

5. 강우를 고려한 월평균 지류 유입 수질농도 산정방법



$$V_t = Q_m(D_d + D_w) = V_b + V_{d'} + V_{w'}$$
$$V_{t'} = V_t - V_b = V_{d'} + V_{w'}$$
$$V_{d'} = V_{t'} \cdot F$$
$$V_{w'} = V_{t'} \cdot (1-F)$$

$$V_d = V_{d'} + V_b \frac{D_d}{D_d + D_w}$$
$$V_w = V_{w'} + V_b \frac{D_w}{D_d + D_w}$$

$$C_m = \frac{V_d C_d + V_w C_w}{Q_m(D_d + D_w)}$$

- C_m : 강우 고려 월 평균 농도
- D_d : 건기 일수
- D_w : 우기 일수
- F : 총 강우량에 대한 건기시 강우량 비
- Q_m : 월평균 유량
- V_t : 총 유입량
- V_b : 기저 유입량
- $V_{t'}$: 강우에 의해 증가된 유입량
- V_d : 건기시 유입량
- V_w : 우기시 유입량

6. 모의에 사용된 수질 변수

수질 항목	정의 및 단위	사용값
NH_3-N	Nitrification Rate Constant @20℃ (per day)	0.1
	Nitrification Temperature Coefficient	1.08
	Half Saturation Constant for Nitrification Oxygen Limit (mg O/L)	0.5
NO_3-N	Denitrification Rate Constant @20℃ (per day)	0.09
	Denitrification Temperature Coefficient	1.045
	Half Saturation Constant for Denitrification Oxygen Limit (mg O/L)	0.5
Org-N	Dissolved Organic Nitrogen Mineralization Rate Constant @20℃ (per day)	0.07
	Dissolved Organic Nitrogen Mineralization Temperature Coefficient	1.08
	Organic Nitrogen Decay Rate Constant in Sediments @20℃ (per day)	0.0004
	Organic Nitrogen Decay in Sediment Temperature Coefficient	1.08
	Fraction of Phytoplankton Death Recycled to Organic Nitrogen	0.5
Org-P	Mineralization Rate Constant for Dissolved Organic P @20℃ (per day)	0.2
	Dissolved Organic Phosphorus Mineralization Temperature Coefficient	1.08
	Fraction of Phytoplankton Death Recycled to Organic Phosphorus	0.5
Phyto-plankton	Phytoplankton Maximum Growth Rate Constant @20℃ (per day)	1.8
	Phytoplankton Growth Temperature Coefficient	1.068
	Phytoplankton Carbon to Chlorophyll Ratio	50
	Phytoplankton Half-Saturation Constant for Nitrogen Uptake (mg N/L)	0.025
	Phytoplankton Half-Saturation Constant for Phosphorus Uptake (mg P/L)	0.001
	Phytoplankton Endogenous Respiration Rate Constant @20℃ (per day)	0.125
	Phytoplankton Respiration Temperature Coefficient	1.045
	Phytoplankton Death Rate Constant (Non-Zooplankton Predation) (per day)	0.02
	Phytoplankton Phosphorus to Carbon Ratio	0.01
	Phytoplankton Nitrogen to Carbon Ratio	0.1
	Phytoplankton Half-Sat. for Recycle of Nitrogen and Phosphorus (mg Phyt C/L)	0.01
Light	Light Option(1 uses input light; 2 uses calculated diel light)	1
	Phytoplankton Maximum Quantum Yield Constant	720
	Phytoplankton Optimal Light Saturation	350
	Background Light Extinction Multiplier	1
Dissolved Oxygen	Calc Reaeration Option (0=Covar, 1=O'Connor, 2=Owens, 3=Churchill, 4=Tsivoglou)	1
	Global Reaeration Rate Constant @ 20℃ (per day)	2
	Reaeration Option (Sums Wind and Hydraulic Ka)	0.23
	Theta -- Reaeration Temperature Correction	1.024
	Oxygen to Carbon Stoichiometric Ratio	2.67
CBOD	BOD(1) Decay Rate Constant @20℃ (per day)	0.01-0.02
	BOD(1) Decay Rate Temperature Correction Coefficient	1.04
	BOD(1) Half Saturation Oxygen Limit (mg O/L)	0.1
	Fraction of Detritus Dissolution to BOD(1)	1

7. 한강살리기 사업전·후 수질모의 결과

○ '사업전'은 Ⅰ로 나타내고, 실시설계자료를 사용한 사업후 모의는 Ⅱ, 실제 측정한 바닥고도자료를 사용한 사업후 모의는 Ⅲ으로 나타냄.

- Chl-a가 10%이상의 변화율이 가장 많은 것으로 나타남.

< 청미천 합류점~강천보 구간 수질 변화 >

월	BOD_5 월평균농도		BOD_5 변화율(%)	T-P 월평균농도		T-P 변화율(%)	Chl-a 월평균농도		Chl-a 변화율(%)
	Ⅰ	Ⅱ	평균	Ⅰ	Ⅱ	평균	Ⅰ	Ⅱ	평균
1	1.31	1.29	-1.55	0.037	0.037	0.00	3.43	3.80	9.74
2	1.48	1.46	-1.37	0.048	0.048	0.00	4.51	4.90	7.96
3	1.59	1.58	-0.63	0.052	0.052	0.00	8.53	8.92	4.37
4	1.57	1.57	0.00	0.050	0.050	0.00	10.74	11.97	10.28
5	1.48	1.48	0.00	0.046	0.046	0.00	6.97	8.31	16.13
6	1.59	1.57	-1.27	0.057	0.057	0.00	4.65	5.21	10.75
7	1.63	1.63	0.00	0.066	0.066	0.00	4.85	5.03	3.58
8	1.43	1.44	0.69	0.052	0.052	0.00	4.96	5.01	1.00
9	1.30	1.30	0.00	0.039	0.039	0.00	5.74	7.71	25.55
10	1.23	1.23	0.00	0.038	0.038	0.00	5.00	7.57	33.95
11	1.15	1.14	-0.88	0.041	0.041	0.00	2.86	4.99	42.69
12	1.12	1.12	0.00	0.041	0.041	0.00	2.20	2.47	10.93

< 강천보~여주보 구간 수질 변화 >

월	BOD_5 월평균농도		BOD_5 변화율(%)	T-P 월평균농도		T-P 변화율(%)	Chl-a 월평균농도		Chl-a 변화율(%)
	Ⅰ	Ⅲ	평균	Ⅰ	Ⅲ	평균	Ⅰ	Ⅲ	평균
1	1.39	1.37	-1.44	0.046	0.045	-2.17	4.36	4.87	11.70
2	1.53	1.51	-1.31	0.054	0.054	0.00	7.24	7.83	8.15
3	1.57	1.57	0.00	0.056	0.056	0.00	10.79	11.89	10.19
4	1.52	1.52	0.00	0.052	0.053	1.92	10.35	12.31	18.94
5	1.53	1.52	-0.65	0.055	0.055	0.00	6.96	8.53	22.56
6	1.60	1.60	0.00	0.065	0.065	0.00	5.53	6.06	9.58
7	1.53	1.53	0.00	0.062	0.062	0.00	5.37	5.41	0.74
8	1.36	1.37	0.74	0.049	0.049	0.00	5.73	5.73	0.00
9	1.26	1.26	0.00	0.042	0.042	0.00	5.82	7.71	32.47
10	1.18	1.18	0.00	0.042	0.042	0.00	4.60	7.57	64.57
11	1.13	1.13	0.00	0.044	0.043	-2.27	2.85	4.99	75.09
12	1.12	1.11	-0.89	0.044	0.043	-2.27	2.40	2.76	15.00

< 여주보~이포보 구간 수질 변화 >

월	BOD_5 월평균농도		BOD_5 변화율(%)	T-P 월평균농도		T-P 변화율(%)	Chl-a 월평균농도		Chl-a 변화율(%)
	I	III	평균	I	III	평균	I	III	평균
1	1.45	1.41	-5.07	0.056	0.055	-16.67	7.07	8.79	24.79
2	1.58	1.56	-1.94	0.065	0.065	-10.17	10.80	13.60	25.98
3	1.63	1.61	-1.24	0.07	0.069	-7.69	12.43	16.82	32.26
4	1.78	1.68	-1.14	0.076	0.069	-7.04	13.80	20.73	43.12
5	1.86	1.80	-2.76	0.079	0.075	-12.86	13.19	19.49	47.16
6	1.67	1.67	5.11	0.077	0.076	4.94	9.17	11.71	39.23
7	1.5	1.53	0.66	0.069	0.074	-4.55	6.90	7.37	14.29
8	1.34	1.37	0.00	0.056	0.060	-7.69	6.85	7.47	12.96
9	1.24	1.24	-1.64	0.049	0.050	-8.89	6.54	7.71	15.18
10	1.17	1.18	0.00	0.048	0.049	-9.09	5.76	7.57	23.91
11	1.17	1.19	1.68	0.049	0.051	-4.26	3.62	4.99	27.45
12	1.18	1.19	-0.85	0.049	0.050	-6.52	2.97	4.09	38.64

< 이포보~양평대교 구간 수질 변화 >

월	BOD_5 월평균농도		BOD_5 변화율(%)	T-P 월평균농도		T-P 변화율(%)	Chl-a 월평균농도		Chl-a 변화율(%)
	I	II	평균	I	II	평균	I	II	평균
1	1.50	1.45	-3.45	0.064	0.057	-12.28	10.15	13.46	24.59
2	1.60	1.58	-1.27	0.073	0.069	-5.80	13.43	18.73	28.30
3	1.70	1.69	-0.59	0.080	0.077	-3.90	15.26	24.15	36.81
4	1.82	1.79	-1.68	0.085	0.080	-6.25	17.97	31.28	42.55
5	1.77	1.79	1.12	0.083	0.082	-1.22	17.39	29.57	41.19
6	1.58	1.63	3.07	0.076	0.078	2.56	11.28	16.14	30.11
7	1.43	1.43	0.00	0.069	0.065	-6.15	7.90	9.11	13.28
8	1.29	1.28	-0.78	0.058	0.054	-7.41	7.46	9.66	22.77
9	1.20	1.19	-0.84	0.052	0.049	-6.12	7.17	7.71	7.00
10	1.17	1.17	0.00	0.051	0.049	-4.08	6.61	7.57	12.68
11	1.17	1.17	0.00	0.051	0.049	-4.08	4.21	4.99	15.63
12	1.16	1.15	-0.87	0.050	0.047	-6.38	3.45	5.56	37.95

8. 충주댐 방류량 변화에 따른 수질 분석

< H-1 구간 (조정지댐~청미천 합류점) >

월	BOD_5 (㎎/L)			TP (㎎/L)			Chl-a (㎎/㎥)		
	100%	150%	200%	100%	150%	200%	100%	150%	200%
1월	1.22	1.19	1.17	0.028	0.022	0.020	3.13	2.85	2.71
2월	1.43	1.35	1.31	0.044	0.033	0.027	3.18	2.61	2.33
3월	1.55	1.46	1.42	0.047	0.036	0.030	5.37	5.02	4.81
4월	1.66	1.53	1.47	0.048	0.038	0.032	10.98	10.14	9.62
5월	1.48	1.38	1.33	0.041	0.032	0.028	8.15	7.02	6.43
6월	1.49	1.45	1.43	0.043	0.033	0.028	3.70	2.81	2.40
7월	1.71	1.67	1.64	0.067	0.050	0.040	4.75	4.11	3.75
8월	1.53	1.50	1.48	0.057	0.042	0.035	4.28	4.14	4.05
9월	1.32	1.33	1.34	0.037	0.030	0.026	5.27	5.18	5.10
10월	1.28	1.29	1.29	0.033	0.030	0.028	5.49	5.24	5.06
11월	1.17	1.16	1.15	0.039	0.034	0.032	2.99	2.82	2.72
12월	1.13	1.11	1.11	0.040	0.034	0.032	2.00	1.92	1.87
평균	**1.41**	**1.37**	**1.35**	**0.044**	**0.035**	**0.030**	**4.94**	**4.49**	**4.24**

< H-2-1 구간 (청미천 합류점~강천보) >

월	BOD_5 (㎎/L)				TP (㎎/L)				Chl-a (㎎/㎥)			
	사업전	100%	150%	200%	사업전	100%	150%	200%	사업전	100%	150%	200%
1월	1.31	1.29	1.26	1.23	0.037	0.037	0.029	0.025	3.43	3.80	3.13	2.80
2월	1.48	1.46	1.40	1.36	0.048	0.048	0.038	0.032	4.51	4.90	4.39	4.01
3월	1.59	1.58	1.49	1.44	0.052	0.052	0.042	0.036	8.53	8.92	8.48	7.91
4월	1.57	1.57	1.45	1.39	0.050	0.050	0.040	0.035	10.74	11.97	10.02	9.08
5월	1.48	1.48	1.41	1.37	0.046	0.046	0.036	0.031	6.97	8.31	6.00	5.15
6월	1.59	1.57	1.56	1.54	0.057	0.057	0.044	0.037	4.65	5.21	4.05	3.48
7월	1.63	1.63	1.58	1.56	0.066	0.066	0.048	0.040	4.85	5.03	4.44	4.15
8월	1.43	1.44	1.41	1.41	0.052	0.052	0.039	0.033	4.96	5.01	4.89	4.76
9월	1.30	1.30	1.31	1.31	0.039	0.039	0.033	0.030	5.74	5.87	5.56	5.35
10월	1.23	1.23	1.22	1.22	0.038	0.038	0.035	0.033	5.00	5.95	4.99	4.58
11월	1.15	1.14	1.13	1.13	0.041	0.041	0.036	0.034	2.86	3.38	2.86	2.66
12월	1.12	1.12	1.11	1.10	0.041	0.041	0.036	0.033	2.20	2.47	2.23	2.10
평균	**1.41**	**1.40**	**1.36**	**1.34**	**0.047**	**0.047**	**0.038**	**0.033**	**5.37**	**5.90**	**5.09**	**4.67**

< H-2-2 구간 (강천보~여주보) >

월	BOD5 (㎎/L)				TP (㎎/L)				Chl-a (㎎/㎥)			
	사업전	100%	150%	200%	사업전	100%	150%	200%	사업전	100%	150%	200%
1월	1.39	1.37	1.32	1.29	0.046	0.045	0.035	0.031	4.36	4.87	4.19	3.71
2월	1.53	1.51	1.44	1.39	0.054	0.054	0.043	0.037	7.24	7.83	7.27	6.57
3월	1.57	1.57	1.46	1.41	0.056	0.056	0.045	0.039	10.79	11.89	10.54	9.41
4월	1.52	1.52	1.42	1.38	0.052	0.053	0.043	0.037	10.35	12.31	9.80	8.31
5월	1.53	1.52	1.47	1.45	0.055	0.055	0.043	0.037	6.96	8.53	6.35	5.15
6월	1.60	1.60	1.56	1.54	0.065	0.065	0.049	0.041	5.53	6.06	5.02	4.34
7월	1.53	1.53	1.49	1.48	0.062	0.062	0.047	0.039	5.37	5.41	5.06	4.75
8월	1.36	1.37	1.35	1.36	0.049	0.049	0.039	0.035	5.73	5.73	5.52	5.29
9월	1.26	1.26	1.26	1.26	0.042	0.042	0.038	0.034	5.82	6.35	5.67	5.24
10월	1.18	1.18	1.17	1.17	0.042	0.042	0.039	0.036	4.60	5.73	4.81	4.22
11월	1.13	1.13	1.11	1.11	0.044	0.043	0.039	0.036	2.85	3.45	3.00	2.70
12월	1.12	1.11	1.10	1.10	0.044	0.043	0.037	0.035	2.40	2.76	2.50	2.30
평균	**1.39**	**1.39**	**1.35**	**1.33**	**0.051**	**0.051**	**0.042**	**0.036**	**6.00**	**6.74**	**5.81**	**5.17**

< H-2-3 구간 (여주보~이포보) >

월	BOD5 (㎎/L)				TP (㎎/L)				Chl-a (㎎/㎥)			
	사업전	100%	150%	200%	사업전	100%	150%	200%	사업전	100%	150%	200%
1월	1.45	1.41	1.36	1.33	0.056	0.055	0.044	0.039	7.07	8.79	7.11	6.19
2월	1.58	1.56	1.47	1.42	0.065	0.065	0.053	0.046	10.80	13.60	11.32	9.68
3월	1.63	1.61	1.49	1.42	0.070	0.069	0.056	0.047	12.43	16.82	13.08	10.82
4월	1.78	1.68	1.54	1.47	0.076	0.069	0.055	0.046	13.80	20.73	13.33	10.25
5월	1.86	1.80	1.61	1.56	0.079	0.075	0.055	0.046	13.19	19.49	11.33	8.48
6월	1.67	1.67	1.59	1.56	0.077	0.076	0.057	0.048	9.17	11.71	8.36	6.79
7월	1.50	1.53	1.50	1.48	0.069	0.074	0.059	0.049	6.90	7.37	6.56	6.02
8월	1.34	1.37	1.35	1.35	0.056	0.060	0.051	0.045	6.85	7.47	6.60	6.08
9월	1.24	1.24	1.23	1.23	0.049	0.050	0.046	0.041	6.54	8.41	6.62	5.75
10월	1.17	1.18	1.16	1.15	0.048	0.049	0.044	0.040	5.76	9.97	6.65	5.32
11월	1.17	1.19	1.15	1.13	0.049	0.051	0.043	0.040	3.62	5.75	4.21	3.50
12월	1.18	1.19	1.15	1.13	0.049	0.050	0.042	0.039	2.97	4.09	3.35	2.89
평균	**1.46**	**1.45**	**1.38**	**1.35**	**0.062**	**0.062**	**0.050**	**0.044**	**8.26**	**11.18**	**8.21**	**6.81**

참고문헌

경기개발연구원 내부자료(2011).『한강살리기 사업에 따른 수질관리 방안』

국토해양부(2007).『한국하천일람』.

국토해양부 (2009). 4대강살리기 마스터플랜.

국토교통부(2012).『한눈에 보는 4대강 살리기』.

서동일, 이은형(2003). "강우의 영향을 고려한 용담호 유입오염부하량의 산정",『한국수자원학회지』, 36(4):521-532.

서울국토관리청(2012).『한강 준공대비 민관합동 특별점검 보고서』.

서울지방국토관리청(2013).『한강우기대비 특별 안전점검 보고서』.

송미영(2013). "팔당상수원 녹조제어를 위한 통합관리 방향",『통합형 녹조방제 심포지엄 발표자료』, KIST.

한강통합물관리센터(2013).『보 인근 하도변화 모니터링 보고서』.

한강홍수통제소 (2013).『하천변화 모니터링 및 매뉴얼 개선방안 연구』.

한국건설기술연구원 (2013). 지류하천 대표구간 하상변동 모니터링 및 분석.

한국수자원공사(2010).『한강살리기 사업 실시설계보고서』.

한정조, 김동수, 김진호 외(2009). "팔당호의 어류상의 변화",『환경연구소 논문집』, 6:37-50.

행정안전부(2011).『친수공간 보존 및 활용방안』.

Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., and Brooks, N. H. (1979), *Mixing in inland and coastal waters, Academic Press, New York*

Lima(2013.8.26). "통합형 녹조방제 심포지움 발표자료집",『베를린공대』.

국가수자원정보시스템 http://www.wamis.go.kr

물환경정보시스템 http://water.nier.go.kr

4대강이용도우미 http://www.riverguide.go.kr

한강홍수통제소 http://www.grfco.go.kr