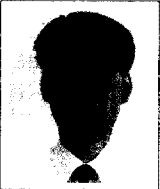


국내 댐 저수지 탁수관리 현황 및 개선방안



염 경택 ▶▶▶

한국수자원공사 댐·유역관리처장
yumkt@kwater.or.kr



반 양진 ▶▶▶

한국수자원공사 댐 유역관리처 부장
banyang@kwater.or.kr



김 용운 ▶▶▶

한국수자원공사 댐 유역관리처 차장
woun640@kwater.or.kr

(Nephelometric Turbidity Unit) 이상의 방류가 년 중 1~2개월 정도였고 최고탁도도 79NTU 정도였으나, '06년 태풍 '에위니아' 로 인해 방류수 최고탁도가 328NTU를 기록하였으며 고탁수 조기배제 중심의 댐 운영에도 불구하고 '06.7월에서 '08년 2월까지 약 8개월간 탁수가 지속된 바 있다.

소양호 저수지의 고탁수 발생 원인으로는 먼저, '06년 7월 집중강우에 따른 상류 인제지역의 수해로 산사태 및 하천범람 등에 의한 토사유실을 들 수 있다. 특히 소양호유역은 발면적(8,204ha) 중 약 60%에 해당하는 4,895ha가 고랭지밭으로 구성되어 있어 다른 유역에 비해 구조적으로 집중강우 시 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있다. 이러한 탁수발생은 하천과 호소의 수질악화 및 생태계 훼손, 하류지역의 상수도 정수처리비용 증가, 자연경관 훼손, 그리고 어족자원 감소 등을 가져온다는 점에서 댐관리 업무의 중요한 영향요소라 할 수 있다.

최근 댐 유역에서 발생하고 있는 고탁수 발생의 직접적인 원인으로는 이상강우, 도시화·농업생산성 증대를 위한 토지이용 변경 및 훼손 등에 의한 토양 교란 등을 들 수 있다. 아울러 깨끗한 물이용에 대한 국민들의 욕구가 증대되면서 물을 관리하는 댐 관리자의 역할과 책임이 날이 갈수록 가중되고 있는 실정이다. 특히 지자체 소관 농경지에서 유실되는 토사 및 탁수발생의 책임을 수면관리자에게 전가하는 사회적인 풍토도 이러한 현실을 더욱 어렵게 만들고 있다. 탁수발생을 효과적으로 개선하기 위한 대책을 마련하기 위해서는 탁수발생의 원인이 되는 유역별 토사발생원의 평가 및 다량의 탁수가 유입되는 하천을 선정하고 지속적인 자료 모니터링을 통한 수질모델링으로 최적의 의사결정을 수립해야 한다. 탁수는 자연현상으로서 근원적

1. 서론

최근 이상강우와 기상이변으로 인하여 강우일수는 감소하고 강우량은 증가하여 집중강우가 많이 발생하고 있으며, '02년 태풍 '루사' 로 인해 임하호 탁수문제가 발생하기 전까지만 해도 댐 저수지내 탁수 현상은 일시적인 현상으로 받아들였으나, 태풍 '에위니아' 가 한반도에 상륙한 '07년 7월 소양호유역의 시간최대강우량이 88mm(총강우량 832mm(67%)/연평균 강우량 1,245mm)를 기록한 바 있으며, 이로 인해 고랭지밭 및 수해지역을 중심으로 다량의 토사가 하천과 저수지로 유입되어 고탁수 방류가 장기화되는 문제를 가져왔다. 소양호 저수지는 2005년까지 30NTU

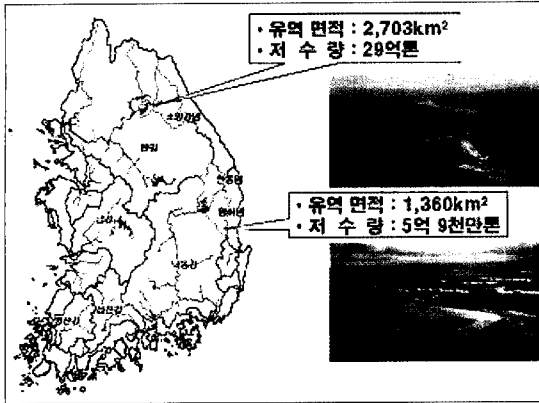


그림 1. 임하댐과 소양강댐 위치도

해결은 불가능한 것이지만 과학적인 관리체계를 구축하여 탁수발생저감을 지속적으로 추진하는 것이 무엇보다도 중요하다.

따라서, 본 고에서는 댐 저수지의 탁수발생 저감을 위해 발원지에 대한 정밀조사, 기존의 탁수관리 문제점 분석, 개선대책수립 및 시행, 그리고 향후대책에 대한 고찰을 통해 탁수관리의 과학화를 도모하고자 하였다.

2. 댐 탁수발생 현황

우리나라의 다목적댐은 '07년 현재 15개이며 과거 탁수 장기화 현상이 발생한 대표적인 댐으로서 임하댐과 소양강댐을 들 수 있다.

임하댐은 '01년도 이전까지는 30NTU 이상 발생된 탁수발생일수(방류수 기준)가 1~3개월 이내였고 최고 탁도는 248NTU를 기록하였다. 그러나, '02~'03년도는 탁수발생일수가 10개월 이상 지속되면서 최고 탁도도 1,221NTU까지 나타났으며, 특히 '03년 태풍 '매미' 때에는 탁수발생이 315일간 지속되었다. 이러한 탁수 장기화는 그림 3에서와 같이 임하호의 특정 수심에 분포하고 있던 탁수가 11월 수온변화에 의한 상하층간 혼합현상(전도현상) 영향으로 탁수가 전층으로 확산된 것이 주요 원인으로 나타났다.

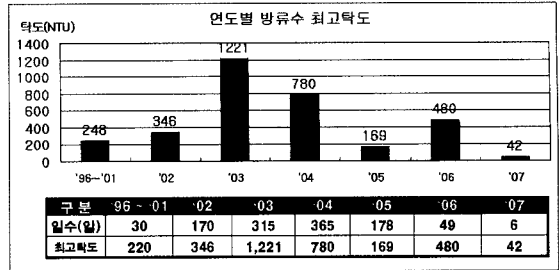


그림 2. 임하댐 탁수현황

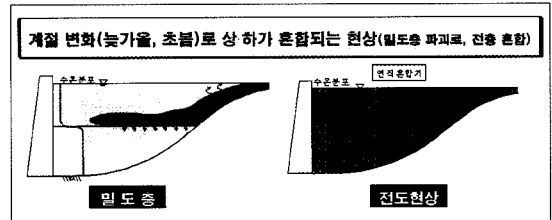


그림 3. 밀도층 및 전도현상 모식도

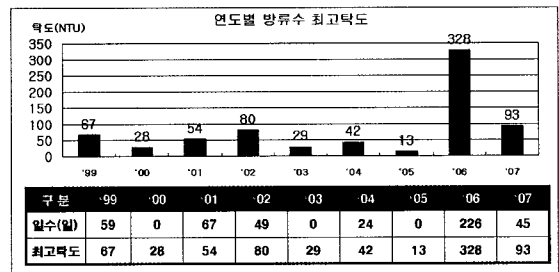


그림 4. 소양강댐 탁수현황

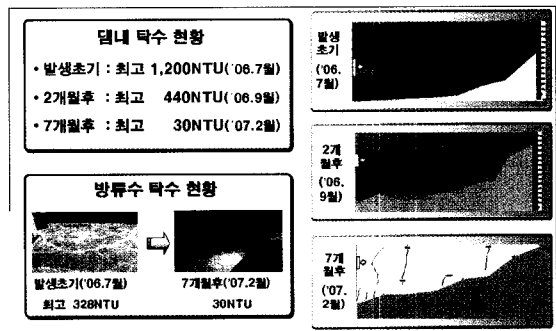


그림 5. '06년 소양강댐 탁수발생 분포

반면에, 소양강댐은 '05년도 이전까지는 30NTU 이상 발생되는 방류수 탁수일수가 1~2개월이고 최고 탁도가 80NTU였으나, '06년 태풍 '에위니아'에 의한 수해로 탁수가 7개월 이상 지속되면서 댐 방류 최고탁도도 328NTU까지 관측되었다. '06년도 소양강댐 탁

수발생 현황을 살펴보면, 탁수발생 초기인 '06년 7월 방류수 탁도는 최고 328NTU에서 7개월 후인 '07년 2월에는 30NTU 이하로 떨어지게 되었다.

'06년에 발생한 소양강댐 탁수가 한강수계에 미치는 영향을 보면 발생초기인 '06년 8월 소양강댐 방류수가 256NTU 일때 88km 하류에 위치한 팔당댐에서는 66NTU 이었으며, '07년 2월에는 소양강댐이 33NTU 일때 팔당댐은 10NTU로 조사되었다. 따라서, 소양강댐 탁수가 한강수계에 장기간(7개월) 영향을 준 것으로 해석되어진다.

3. 탁수 발생원인 및 피해사례

3.1 탁수 발생원인

임하호와 소양강유역은 탁수발생 측면에서 서로 다른 유역특성을 가지고 있다.

3.2 탁수발생에 따른 피해

탁수 장기화에 다른 문제로는 어획량과 관광객이 감소할 수 있고, 하류 하천의 수중생태계의 건전성 유지가 어렵게 되며, 정수처리의 어려움과 비용이 증대를 들 수 있다. 이로 인하여 임하댐의 경우, 정수처리장애를 해소하기 위하여 임하댐 하류에 위치한 취수장(안



어획량·관광객 감소 | 하류 하천 수환경변화 | 정수처리곤란 및 비용증대

그림 6. 탁수발생에 따른 피해유형

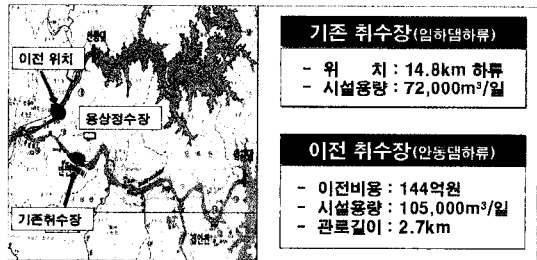


그림 7. 임하댐 하류 취수장 이전 사례

표 1. 임하호와 소양강유역의 탁수발생 원인조사

임하호유역	소양강유역
<ul style="list-style-type: none"> 지질특성 <ul style="list-style-type: none"> 자색세일층이 유역의 53% 차지 탁수입자의 50% 이상이 0.5~10μm의 침강 불량한 미세(콜로이드) 물질 태풍루사('02), 매미('03)에 의한 집중호우 <ul style="list-style-type: none"> 강우량('02.8) : 672mm (연 1,028mm) 강우강도('02.8) : 76mm/hr *200년 빈도 23mm/hr 수변구역내 토지피복(농경지) 상태 불량 <ul style="list-style-type: none"> 안동댐 18.15%, 임하댐 32.25% 다량의 무제부 농경지 분포 선택배제시설 미설치(표층방류만 가능) <ul style="list-style-type: none"> 댐내 탁수 장기화 	<ul style="list-style-type: none"> 고령지발 대량 분포 (전국의 63%) <ul style="list-style-type: none"> 토사유출 원단위가 일반발의 3~13배 *일반 293, 고령지 876~3,962 (kg/ha/yr) 고령지발이 하천주변에 주로 분포 주기적인 객토(객토높이 20~50cm) 나대지로 장기간 방치(작물재배기간 5~9월) 대규모 기업화 경작 태풍(에위니아)로 인한 수해 <ul style="list-style-type: none"> 산사태(125개소), 하천(121개소), 도로(199개소), 농경지 유실(4,635ha) 강우량 : '06.7 832mm(연 1,245mm) 강우강도 : 88mm/hr *특별재난지역으로 선포('06.7.16), 선택배제설비 미설치 (탁수층이 형성되어 있는 발전방류구로만 방류가능) <ul style="list-style-type: none"> ⇒ 하류 탁수 장기화

동시 용상)을 144억원 투입하여 탁수 발생이 적은 안동댐 하류로 이전하였다. 입하댐은 탁수 장기화로 인한 초기 어업피해 산정액이 32억원에 이르렀으며 작년도 소양강댐 탁수 발생으로 인한 한강수계 어민 및 요사업 종사자들의 피해보상 산정액도 96억원이었다.

4. 탁수관리 문제점과 개선사항

4.1 탁수관리 문제점

'02년부터 시작된 탁수 장기화 문제는 '06년 소양강댐으로 이어져 '07년 3월 소양강댐 정부합동 탁수저감대책'을 수립한 바 있다. 탁수발생 저감 및 댐 내 탁수제어 등에 관한 그간의 문제점을 분석하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 유역 내 탁수 발원지에 대한 현황 파악이 미흡하였다. 유역의 지질 및 토지피복 특성, 급경사지의 고랭지밭 분포현황, 그리고 하천공사현장 등 등 탁수 발원지에 대한 조사가 체계화 되지 못하였다.

둘째, 강우 시 유역에서 발생하는 토사발생량 예측 기술이 미확보 되었다. 특히 정밀한 형태의 지형특성 및 지질 그리고 토양에 대한 데이터베이스화가 미흡하여 정확한 토사발생량 평가가 어려웠다.

셋째, 호 내로 유입된 탁수거동해석에 대한 정확한 예측기술이 미흡하였다. 이는 주요 하천별 입자종류 및 분포특성, 침강속도 등에 대한 실험관측이 부족한 것이 주요 원인으로 해석된다.

넷째, 댐 내로 유입된 탁수의 제어기술이 미확보 되

었다. 댐 내로 유입된 탁수는 이수와 치수측면을 모두 고려하여 배출해야 되기 때문에 고도의 분석과 응용능력이 요구되는 분야이다.

4.2 개선사항

탁수 발생 저감과 댐 내로 유입된 탁수의 신속한 제어를 위하여 여러 가지 개선방안을 모색하였다. 먼저, 전체 다목적댐을 대상으로 산지 및 경작지, 수해지역, 각종 공사현장 등 탁수 발원지에 대한 관리를 강화하였다(국토면적의 20%에 해당하는 267개소 정밀조사, 그 중 138개소 조치).

주요 추진경과로는 유역관리 인식전환을 위한 교육 및 홍수기전 탁수 발원지 관리를 위한 기본계획을 수립하였으며, 전체 댐을 대상으로 탁수 발원지 현장점검을 실시하고 탁수 관리매뉴얼을 제작하였다. 또한 점검결과를 바탕으로 관할기관(지자체, 시공사, 감리단등)에 조치를 요구하였으며 점검결과를 정부에 제출하여 건교부에서 7개도에 관리강화 조치를 요구한 바 있다.

탁수 발원지 점검 및 조치내용으로 홍수기 이전에 수해복구 등 각종 공사현장, 경작지 등 탁수 발생이 우려되는 지역 267개소(수해지역 35, 공사지역 86, 산지 및 경작지 96, 무제부 등 50개소)를 사전 점검하고, 특히 강우시 탁수발생이 우려되는 138개소에 대해서는 관련기관(지자체, 시공사, 공사현장)에 조치를 취하였다.

모든 탁수 발원지에 대해서 관리매뉴얼을 작성하였는데, 그 주요내용은 발원지 종류(경작지, 수해복구,

표 2. 점검조치 내용

명별	조사내용		조치결과	
	구분	지점수	구분	건수
합계	수해지역	35	공문시행·방문설명 등	138
	공사지역	86		
	산지 및 경작지	96		
	기타	50		
	소계	267	소계	138

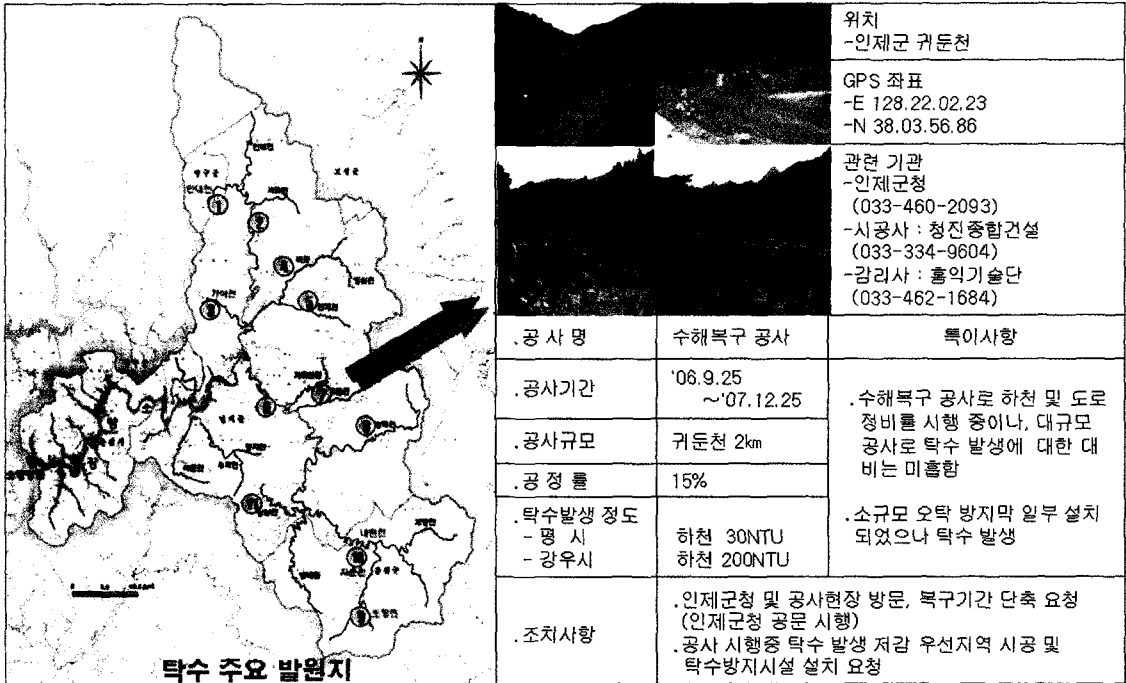


그림 8. 소양강유역의 관리 매뉴얼 사례

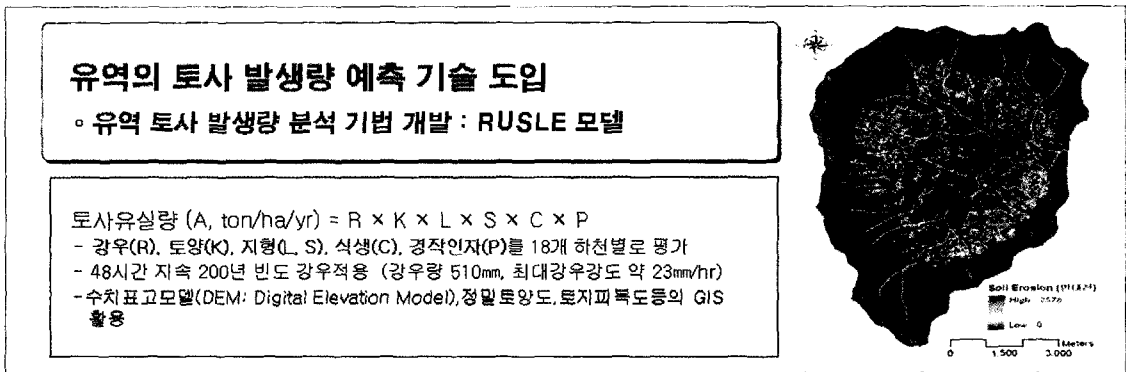


그림 9. GIS를 이용한 토사발생량 예측

공사현장 등), GPS 좌표, 관련기관 현황(연락처 명기 등), 발원지 특성(나대지 기간, 공사기간, 규모, 공정율 등), 탁수발생 정도(평시, 강우시), 점검결과, 조치사항 등으로 구성되어 있다. 그림 8은 소양강유역의 “탁수 관리 매뉴얼” 사례이며, 이와 같이 매뉴얼을 활용하여 정기적으로 현장을 점검하고 탁수발생 저감조치를 취하는 등 모든 지역에 대한 관리체계를 강화하였다.

둘째, GIS를 이용하여 유역의 토사 발생량 예측기

법을 도입하였다. 이는 유역내 강우특성, 토양, 지형, 식생, 경작형태 등을 GIS 셀 단위로 분석하여 토사 유실량을 과학적으로 예측하는 기법으로 토사유실 우려 지역에 대한 정밀분석이 가능하므로 유역대책 수립을 위한 세부지역을 선정하는데 큰 도움이 된다. 또한 유역 내에서 발생한 토사가 호 내로 유입되는 양을 계산하기 위해 유사운송비(SDR; Sediment Delivery Ratio) 개념을 도입하였다.

유입된 탁수의 댐내 거동 해석 기술 도입

◦ 호내 탁수거동 해석 기법 개발 : CE-QUAL-W2 모델

모델의 주요 경계조건(Boundary Condition)

- 탁질 유입부하량, 유입량, 침강속도, 확산계수, 유입수 온도 추정
- 다중화커분석, 초기 수온 성층 설정, 탁수 밀도는 수온과 부유사 농도의 상태방정식 이용

※ 개발된 기술을 이용한 소양강댐의 댐내 탁수거동 해석 사례(200Yr)

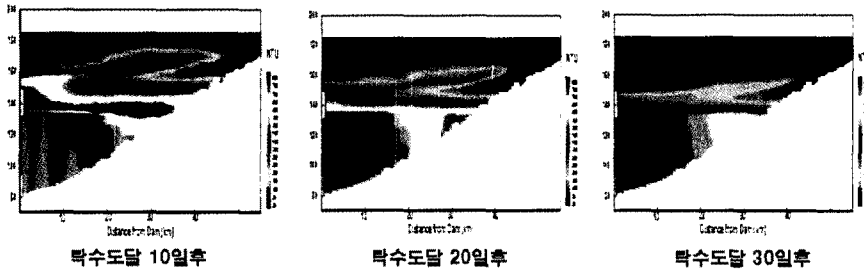


그림 10. CE-QUAL-W2 모델을 이용한 호내 탁수예측

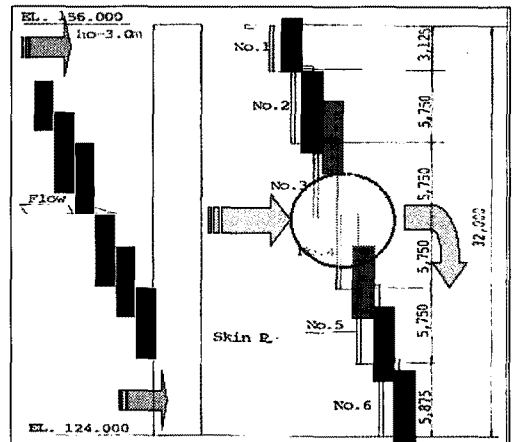
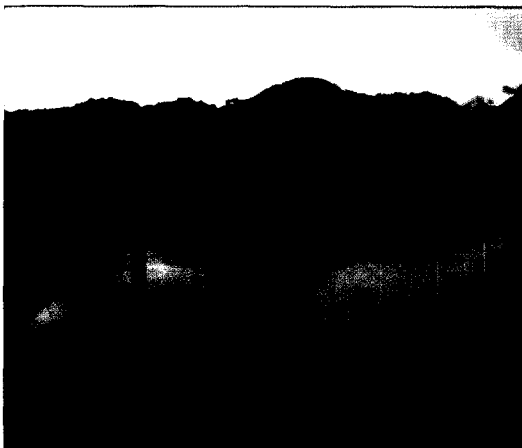


그림 11. 임하댐 취수탑 방류설비 개량

셋째, 댐내 유입된 탁수의 거동을 해석하기 위해 CE-QUAL-W2 모델을 도입함으로써, 강우량에 따른 탁수 유입량, 탁수의 이동속도, 침강성, 댐내 탁수 분포 등을 분석할 수 있었다. 이를 이용하여 탁수의 배출량 및 시기 등을 예측하여 “소양강댐 정부합동 탁수 저감대책”에 활용하였다.

넷째, 댐에 유입된 탁수분포 특성을 고려하여 제어할 수 있는 선택적 방류기법을 도입하였다. 임하댐은

그림 11과 같이 '05~'06년도에 선택적 방류기법을 도입하여 중층의 탁수를 효과적으로 배제하고 있으며, 용담댐은 '08년 3월에 선택취수설비의 도입이 완료되었으며, 소양강댐과 현재 취수설비 도입을 위한 실시설계와 설치공사 중에 있다(소양강댐 중층방류→수심 선택가능, 용담댐 표층방류→수심 선택가능).

또한 소양강댐과 임하댐에서는 탁수발생지역내 주민들과의 정보공유 및 탁수관리 협조를 적극 유도하기

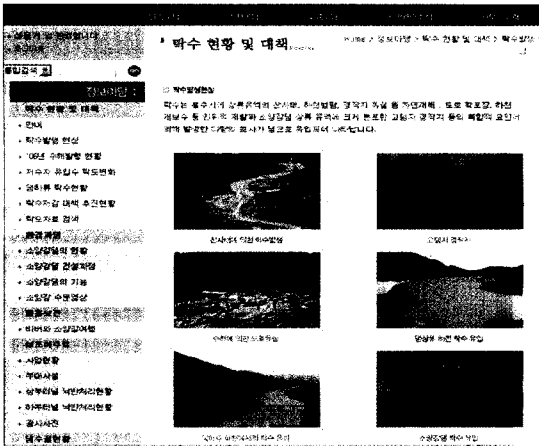


그림 12. 탁수관리를 위한 홈페이지 제작

위하여 탁수 홈페이지를 개설·운영하고 있으며, 유역 관리 강화를 목적으로 『K-water 호소수질 포럼』 개최하여 유역관리 중요성을 확산시키는 물론, 보다 적극적인 유역관리 추진방안을 도출하였다. 특히, 홍수기 이전 시설물 합동점검을 실시하여 댐 탁수관리의 중요

성에 대해 중앙정부를 비롯하여 지자체, 공사사 등에 인식시키는 계기를 마련하였으며, 각종 언론매체에서 탁수 우려지역 지정관리에 대한 대대적인 보도로 전국적인 탁수관리의 중요성을 확산시키게 되었다.

5. 향후계획 및 마무리

최근의 기후변화를 볼 때, 탁수는 국토종합관리 차원에서 접근해야 되며, 국토종합계획과 연계하여 사전 예방적, 거시적 차원에서 탁수관리 대책의 수립이 필요하다. 탁수대책 수립방향으로는 수계를 단위로 한 탁수 유발 원인의 학제적(기상학적, 수리·수문학, 토양학적 등) 접근과 수계별 탁수유발 잠재가능성 평가방법 등을 개발하여 주요지역에 대한 탁수발생 예보제 구축 등을 포함한 사전 예측적 탁수관리 대책을 수립하는 것이 중요하다. 탁수관리를 위해 필요한 마스터플랜 구축 프로세스는 다음과 같이 진행될 수 있다.

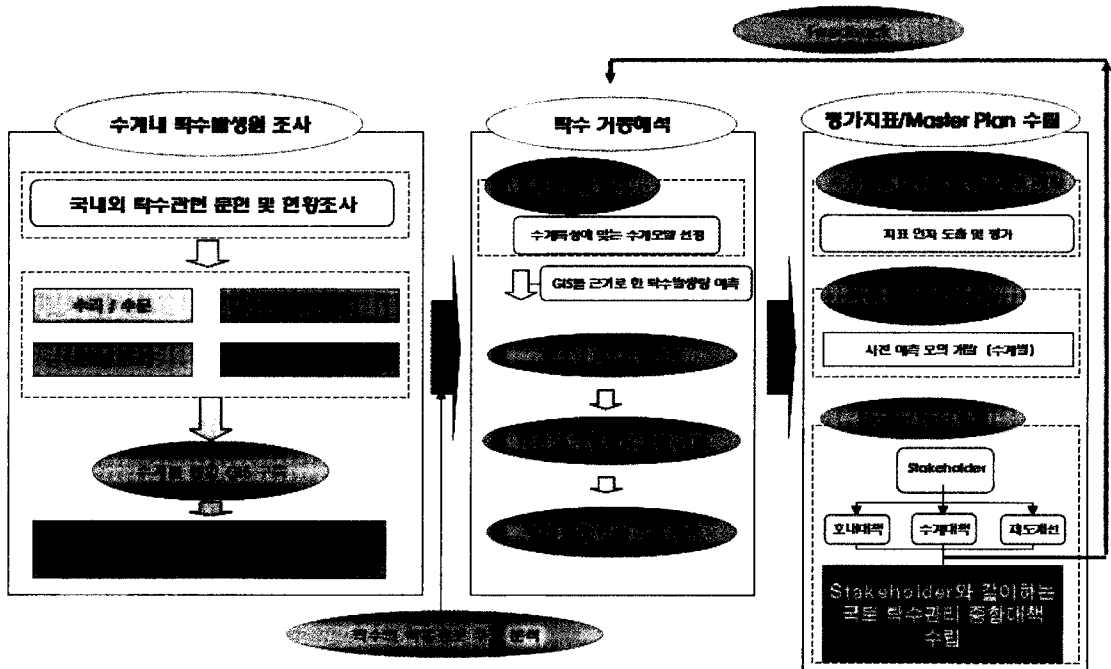


그림 13. 탁수관리 종합계획수립 프로세스

- 수계내 탁수 발생원 조사
 - 문헌 및 현황 자료조사(수리/수문, 지형/지질, 환경조사)
 - 수계별 통합 GIS 구축, 탁수로 인한 피해, 원인, 장기화 및 유형 분석
 - 탁수의 이동경로 추적
 - 탁수 거동해석
 - 토사발생량 예측
 - 호소내 3D 거동해석, 탁수 및 부영양화 모델 개발, 하류하천 탁수 거동해석
 - 평가지표 개발 및 대책안 마련
 - 수계통합 탁수발생 평가지표 개발
 - 탁수 사전 예보제 도입
- 지금까지 탁수를 자연현상으로 여겨 탁수발생저감

을 위한 아무런 대응책 없이 지나왔지만, 이제는 수자원관리의 매우 중요한 부분으로 관리 되어야 할 것이다. 향후에는 댐의 건설에서부터 탁수관리를 포함한 설계안이 도출되어야 할 것이며, 관리중인 댐에 대해서도 유역과 저수지 그리고 댐 하류까지 연계한 탁수관리체계를 구축해야 할 것이다. 최근 탁수로 인한 다양한 사회문제의 발생에서 보듯이 이제는 적극적인 유역관리체제로 전환해야 할 시점이 되었으며, 국토의 중요한 재산인 토양분이 바다로 흘러간다는 점에서도 국가차원의 탁수관리가 시급하다고 생각된다. 지금부터라도 체계적인 유역모니터링 및 저수지 관리 그리고 GIS 및 IT와 같은 최신기술을 연계한 적극적이고 과학화된 탁수관리체계를 구축하는 노력을 기울여야 할 것이다. ☞