

인도네시아 Citarum강 수질관리 시스템 구축사업



고 익 환 ▶▶▶

한국수자원공사 수자원연구원 연구위원
inako@kwater.or.kr



김 우 구 ▶▶▶

한국수자원공사 부사장
wgkim@kwater.or.kr

현재 한국(수자원공사)를 비롯한 15개국 43개의 하천 유역관리기관들이 활동 중에 있다. 이러한 네트워크 활동의 일환으로 지난 2005년 11월에는 NARBO 회원국 물관리기관들을 대상으로 한 'IWRM을 구현하기 위한 물관리 기술 워크숍'이 한국수자원공사와 ADB 공동으로 수자원연구원에서 개최하게 되었다. 우리나라의 유역통합 물관리 기술을 소개하는 이 워크숍이 중요한 계기가 되어 인도네시아 정부 측의 요청으로 자국의 'Citarum강 수질관리 시스템 구축' 프로젝트를 ADB와 인도네시아 정부가 지원하는 투자시범사업으로 수자원공사가 수행하게 되었다. 이 글에서는 2006년 12월부터 1년간 수자원연구원의 전문가 그룹이 수행한 본 시범사업의 주요 내용을 소개한다.

1. 추진배경

한정된 물을 가장 효율적으로 확보, 이용 및 보존하기 위한 과정으로서의 통합수자원관리(Integrated Water Resources Management, IWRM)가 21세기 물관리의 키워드로 지난 20여년간 전 세계적으로 확산되어 오고 있다. 우리나라에서도 IWRM을 지원하는 '수량과 수질, 하천 환경생태를 고려한 유역통합 물관리 기술'을 한국수자원공사가 주관하는 산학연 공동연구를 통하여 개발되어 왔으며, 이 분야 연구의 국제적 동향과 국내 기술개발의 중간성과는 우리 학회지 2007년 8월호와 2008년 1월호에 두 차례에 걸친 특집기사로 소개된 바 있다(고익환 등, 2007: 고익환과 김남일, 2008).

한편 아시아지역 국가들의 유역통합수자원관리 능력배양을 지원하기 위하여 ADB가 2003년 11월에 설립한 '아시아 하천유역기구 네트워크(Network of Asian River Basin Organizations, NARBO)'에는

2. Citarum강 유역

인도네시아 West Java 지역에 위치한 Citarum강은 우리나라로 치면 한강에 해당한다고 할 수 있다. 그림 1과 같이 유역면적 6,600km²에 달하는 Citarum강

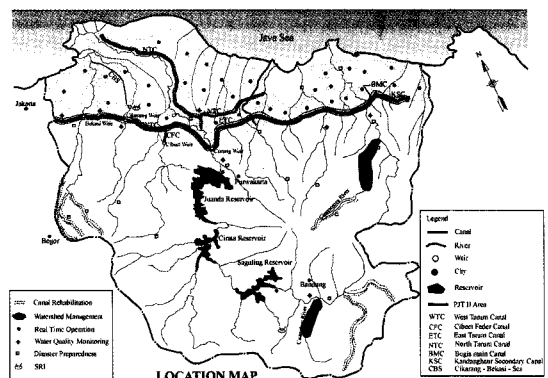


그림 1. Citarum 강 유역도

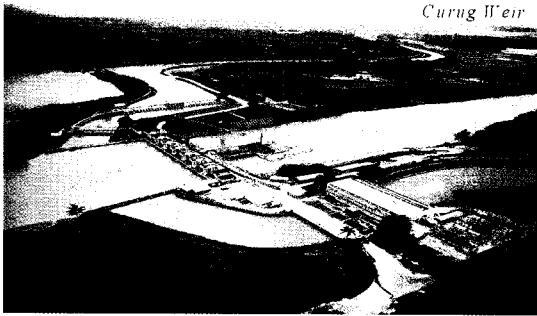


그림 2. Jatiluhur 댐의 하류단에 위치한 Citarum 강 본류, WTC 및 ETC 전경

유역은 3천만명의 주민이 거주하는 농업과 상공업이 활발한 국가적인 요충지역으로서 상류부에는 대규모 공업도시인 반둥시가 자리 잡고 있고, 도시 직하류의 Saguling 댐을 시작으로 Cirata 및 Jatiluhur 댐 저수지들이 직렬 시스템으로 개발되어 있어 유역권 주민들에게 용수와 수력에너지 공급 및 홍수조절을 포함한 유역 수자원관리 기능을 맡고 있다.

3개의 댐 중 하류단에 위치한 Jatiluhur 저수지는 그림 2와 같이 3개의 운하로 물공급이 이루어진다. 이들 중 North Tarum Canal과 East Tarum Canal은 주로 관개용수공급목적으로 운영되고 있으며, West Tarum Canal(WTC)은 관개용수공급과 함께 이 나라 수도인 Jakarta시의 생공용수 수요의 80%를 공급하고 있다. 그러나 가파른 유역 인구 증가와 산업화에 따른 상수원 오염이 급속하게 진행됨에 따라 Jakarta시의 주 수원인 West Tarum Canal 지역의 모니터링 강화 및 수질관리시스템 구축의 필요성이 제기되어 본 시범연구사업을 시작하게 되었다.

3. 수질관리 시스템의 구성

WTC의 총 연장은 약 70km에 달하고 3개의 주요 지류가 유입된다. 하류지역에 필요한 수량은 이들 지류로부터 유입되며, 합류지점에는 인위적으로 조작이 가능한 위어를 설치하여 합류이후에 하류단으로 유하되는 유량을 조절할 수 있다. 그림 3으로부터 지류합류지

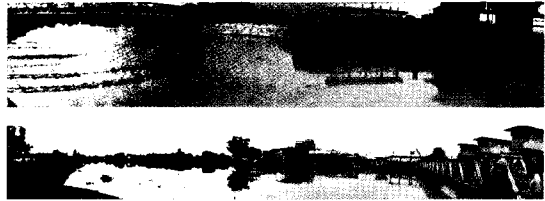


그림 3. Cikarang 및 Bekasi강에 설치된 Weir 시스템

점에 설치된 이들 위어에 대한 구조를 간략하게 파악할 수 있다.

그림 4는 WTC의 모식도이다. Cibeeet 강, Cikarang 및 Bekasi 강이 차례로 유입되면서 Jatiluhur댐으로부터 방류되는 유량과 함께 자카르타의 생공용수를 수송하게 된다. 수로 건설초기에는 풍부한 수량과 양호한 수질을 확보하여 효율적인 용수공급이 이루어졌으나 주변지역 산업개발에 따른 인구 및 오염원 증가, 주민들의 무분별한 취수로 말미암아 이 지역의 수질악화가 날로 심각해지는 상황이다.

특히 Bekasi강은 도심부를 포함하고 있어 이 지역으로부터 배출되는 오염물질의 영향이 WTC의 수질에 가장 큰 영향을 미치게 된다.

과업초기에 대상유역의 현지답사를 통하여 수질자료 수집에 필요한 11개의 샘플링 지점을 선정한 뒤 샘플링 지점을 유입지류 말단부 및 지류 합류부를 중심으로 구성하여 격주단위로 샘플링을 실시하였으며, 이들 자료를 이용하여 수질모의를 수행하였다. 수질샘플링 및 측정은 현지의 대상지역 유역수자원관리기관인 인도네시아 제2 수자원공사(PJT II)의 협조를 받아서 수행하였다.

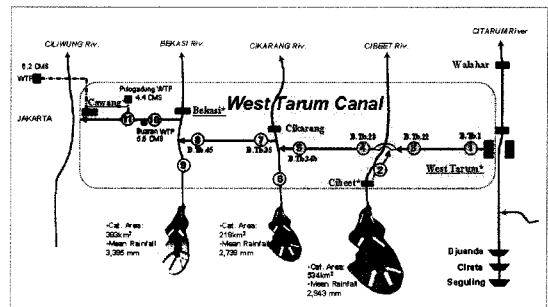


그림 4. 유역도 및 수질측정 지점

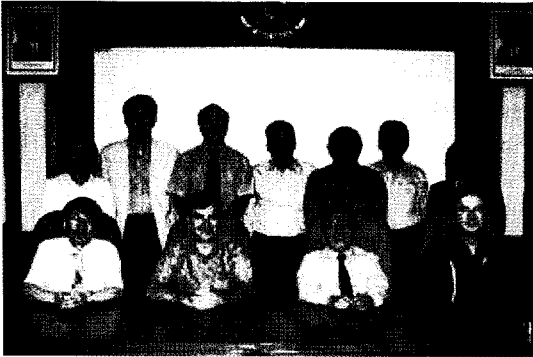


그림 5. 과업착수회의 (2007년 1월, 인도네시아 PJT II)



그림 6. Stakeholder 미팅 및 실무자교육실시

4. 과업 추진과정

전체 과업기간 1년 동안 과업착수회의, 중간보고 및 최종성과보고 회의를 갖는 방식으로 추진되었다. 과업 추진보고를 위한 공식일정 이외에도 인도네시아 현지 기관 및 수자원연구원에서 실무진 기술훈련을 실시하였고, 아울러 대상지역의 물이용 당사자들(기관)과의 stakeholder 미팅도 개최하여 과업의 개요 및 중점 추진사안들을 함께 논의하는 과정을 걸치도록 하였다.

5. 수질모형의 구성

대상 하천유역의 수질모의를 위하여 수자원연구원이 프론티어 연구사업을 통하여 개발한 Qual2E-Plus 모형을 적용하였다. 이 모형은 기존 Qual2E 모형의 입

력파일을 그대로 활용할 수 있는 장점과 함께 .NET기반으로 입출력 구조를 크게 개선한 모형으로 국내에서는 이미 한국수자원공사가 금강 및 낙동강 유역에서의 검보정과 시험적용과정을 걸쳐 수량과 수질을 고려한 저수지시스템 운영계획 수립 실무용으로 활용 중에 있다. Qual2E-Plus의 화면구성과 모의결과를 그림 7과 같다. 점오염원의 경우 P, 취수원의 경우 W, 최상류단의 경우 H, 그리고 최하류단의 경우 E로 표시되며 3개의 지류가 점오염원의 형태로 WTC 본류로 유입되는 것으로 구성하였다.

측정을 통하여 수집된 수질인자를 대상으로 본류의 수질변동을 모의하였다. DO의 경우 전구간에서 6.0mg/L 내외의 농도를 유지하는 것을 알 수 있었으며, BOD는 댐상류로부터 55km 근방의 Bekasi강이 유입되면서 다소 증가됨을 알 수 있었다. TN의 경우 전 구간에 걸쳐 2.0mg/L의 농도가 유지되었으며, TP

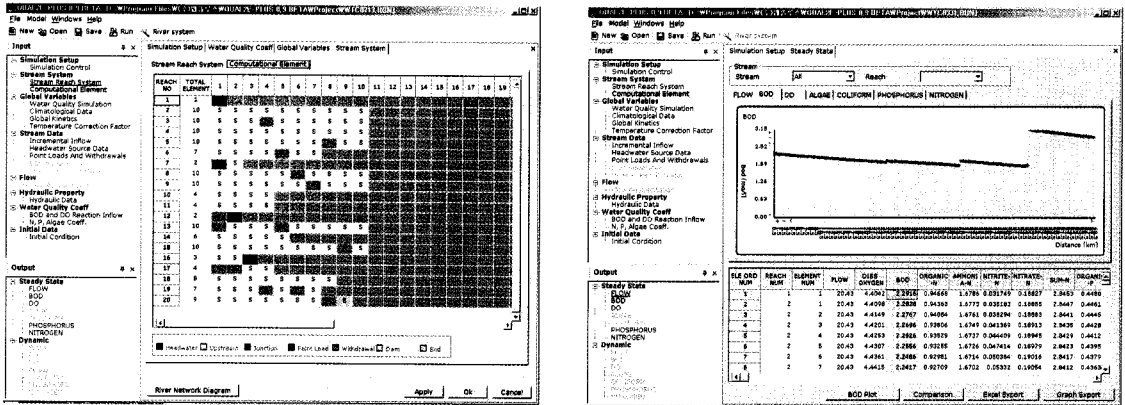


그림 7. Qual2E-Plus 모형의 화면구성

는 하류로 갈수록 다소 감소하는 경향을 보였다. 전체적으로 수질모의 결과는 측정치를 비교적 잘 반영하는 것으로 나타났다.

과업기간 동안 취득된 측정자료와 구축한 수질관리 시스템을 이용하여 대상구간의 수질개선 대책에 대한 다양한 시나리오를 구성하고 이를 기본으로 수질개선 대책을 수립하였다. 특히 시나리오의 설정은 지류의 수질개선 대책과 함께 오염정도가 심각한 Cikarang 강

과 Bekasi강에 사이폰 시설을 도입하여 현재 운영되고 있는 위어 시설을 대체함으로써 기대할 수 있는 수질개선 효과와 검토에 중점을 두고 분석하였으며, 모의결과는 그림 7과 표 1에 제시하였다. 그 결과, Bekasi 강에 사이폰 시설을 도입하였을 경우 10%, 그리고 Cikarang 및 Bekasi강에 동시에 도입할 경우 12%의 수질개선 효과가 나타나는 것으로 산정되었으며, 오염부하량이 가장 높은 Bekasi강 유역에 환경기초 시설도입으로 기

표 1. 시나리오별 수질개선효과분석

수질개선대안	사이폰시설(ALT1)		지류수질개선(ALT2)		
	수질개선효과	Bekasi	Cikarang+Bekasi	20%	40%
우선순위	1	2	16%	33%	48%
				3	

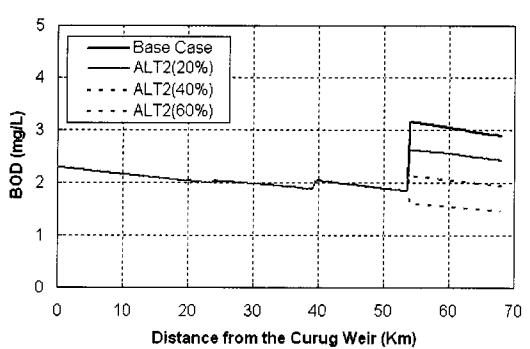
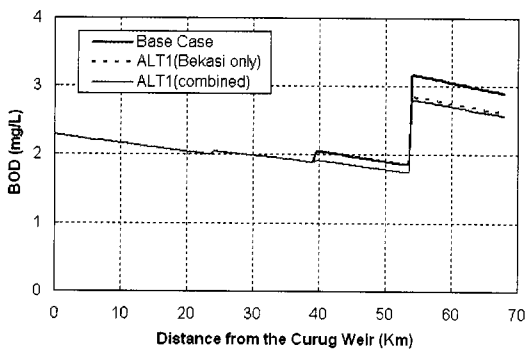


그림 8. 시나리오별 수질개선효과 모의결과

대할 수 있는 WTC 본류의 수질개선효과는 처리시설의 효율에 따라 16%에서 최고48%에 달하는 것으로 검토되었다.

6. 결론 및 향후계획

지금까지 ADB에서 발주하여 수자원연구원이 수행한 “Citarum강 유역 WTC 지역 수질관리시스템 구축” 프로젝트의 주요 수행내용을 소개하였다. 구축된 시스템은 인도네시아의 유역관리자와 이해당사자들이 통합 수자원관리 차원에서 효율적인 수자원 환경관리 도구로 활용함과 동시에 앞으로 이 지역에서 추진될 개발계획이나 이에 상응하는 오염원 삭감대책 수립 지원에도 사용될 수 있도록 하였다.

ADB는 Citarum강 유역의 IWRM을 촉진하기 위하여 향후 10여년간 약 2조원을 투입할 계획을 수립 중에 있다. 이번에 개발된 수질관리 시스템을 Citarum 강 유역전체에 확대 적용될 예정이며, 구체적인 과업범위는 한국수자원공사가 ADB 및 인도네시아 정부기관과 협의 중에 있다.

금번 프로젝트형 해외 수자원연구사업을 통하여 그동안 한국수자원공사가 집중적으로 개발해 온 ‘유역통합 물관리기술’의 해외 시범적용을 해 보는 귀중한 경험을 얻게 되었다. 이러한 과정을 통하여 국제사회에서

K water 한국수자원공사라는 브랜드의 가치를 높힘으로써 아시아 지역의 해외 수자원사업 진출을 위한 기술력 확보와 실질적인 교두보 마련이 가능하게 된다. 더 나아가 이제는 우리나라도 한국의 경제규모에 걸맞게 수자원을 담당하는 정부부처와 공기업이 앞장서서 지구촌 개발도상국가들의 지속가능한 수자원개발과 관리능력향상을 지원하는 국제사회에서의 역할분담에 더 많은 기여를 했으면 한다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단(과제번호:1-6-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 고익환, 정창삼, 김태국 (2007). 유역통합 물관리를 위한 기상정보의 활용과 수문기상 연구동향, 한국수자원학회지, 제40권, 8호.
- 고익환, 김남일 (2008). 유역통합 물관리 Toolkit 개발 현황과 활용방안, 한국수자원학회지, 제41권, 1호. ☞