

Qual2E-Plus를 이용한 인도네시아 Citarum 유역 West Tarum Canal의 수질개선 효과분석

Analysis of Water Quality Improvement of the WTC in the Citarum River Basin Using Qual2E-Plus

고익환*, 김정곤**, 노준우***, 박상영****, 이상욱*****

Ick Hwan Ko, Jeongkon Kim, Joonwoo Noh, Sang Young Park, Sang Uk Lee

요 지

West Java 지역에 위치한 인도네시아 Citarum 강 유역은 자국의 효율적인 수자원관리를 위하여 매우 중요한 요충지에 해당하며 최근 통합수자원관리 프로젝트(ICWRMP)를 통하여 활발한 투자와 개발이 행해지고 있는 곳이다. West Tarum Canal은 Jatiluhur 댐 하류단에 위치하여 자카르타시의 생공용수를 공급을 담당하고 있으며 저수지 방류수와 더불어 Cibeet 강, 그리고 Cikarang 및 Bekasi 강이 차례로 유입되면서 부족한 용수를 충당하게 된다. 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. 수질모의는 Qual2E-Plus 모형을 이용하여 수행하였으며 이를 기반으로 시나리오를 구성, 오염정도가 심각한 Cikarang 강과 Bekasi강에 사이폰 시설을 도입 현재 운영중인 Weir 시설을 대체함으로써 얻을 수 있는 수질개선효과를 검토한 결과 Bekasi 강의 경우 10%, Cikarang 및 Bekasi강에 동시에 도입하였을 경우 12%의 수질 개선 효과가 있는 것으로 분석되었다. 한편 오염부하량이 가장 높은 Bekasi강 유역에 환경기초 시설을 도입함으로써 기대할 수 있는 수질개선효과는 처리시설의 효율에 따라 16% 에서 최고 48%에 달하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 수질모의, Qual2E-Plus, 인도네시아, Citarum

1. 서론

인도네시아 West Java 지역에 위치한 Citarum강은 우리나라로 치면 한강에 해당한다고 할 수 있다. 그림 1과 같이 유역면적 6,600 Km²에 달하는 Citarum강 유역은 3천만명의 주민이 농업과 상공업이 활발한 국가적인 요충지로서 상류부에는 대규모 공업도시인 반둥시가 자리 잡고 있고, 도시 직하류의 Saguling 댐을 시작으로 Cirata 및 Jatiluhur 댐저수지들이 직렬시스템으로 개발되어 있어 유역권 주민들에게 용수와 수력에너지 공급 및 홍수조절을 포함한 유역 수자원관리 기능을 맡고 있다. 3개의 댐 중 하류단에 위치한 Jatiluhur 저수지로부터 3개의 Canal로 물공급이 이루어진다. 이들 중 North Tarum Canal과 East Tarum Canal은 주로 관개용수공급을 목적으로 운영되고 있으며, West Tarum Canal(WTC)은 관개용수공급과 함께 이 나라

* 정회원 * 수자원연구원 소장 * E-mail : ihko@kwater.or.kr
** 정회원 * 수자원연구원 책임연구원 * E-mail : jkkm@kwater.or.kr
*** 정회원 * 수자원연구원 선임연구원 * E-mail : jnoh@kwater.or.kr
**** 정회원 * 수자원연구원 선임연구원 * E-mail : sypark119@kwater.or.kr
***** 정회원 * 수자원연구원 연구원 * E-mail : lsu@kwater.or.kr

수도인 Jakarta시의 생공용수 수요의 80%를 담당하고 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 시범연구사업이 시작되었다.

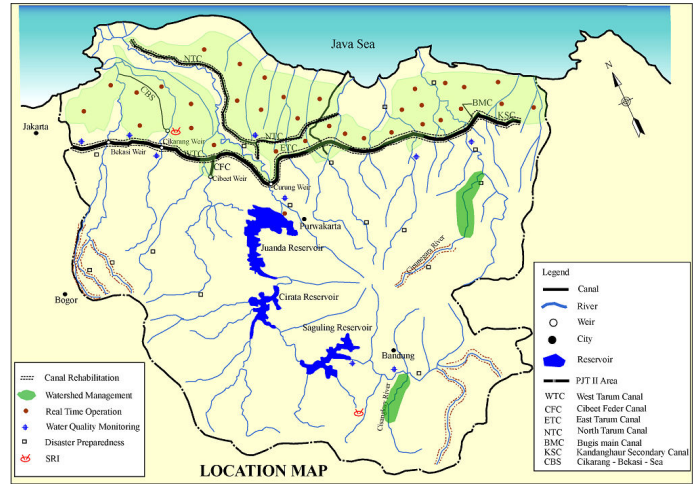


그림 1. Citarum 강 유역도

2. 유역현황

WTC의 총 연장은 약 70 km에 달하고 3개의 주요 지류가 유입된다. 하류지역에 필요한 수량은 이들 지류로부터 유입되며, 합류지점에는 인위적으로 조작이 가능한 Weir를 설치하여 합류이후에 하류단으로 유하되는 유량을 조절할 수 있다. 그림 4는 WTC의 모식도이다. Cibeet 강, 그리고 Cikarang 및 Bekasi 강이 차례로 유입되면서 Jatiluhur댐으로부터 방류되는 유량과 함께 자카르타의 생공용수를 수송하게 된다. 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 선정하고, 이들 지점을 유입지류 말단부 및 지류합류부를 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.

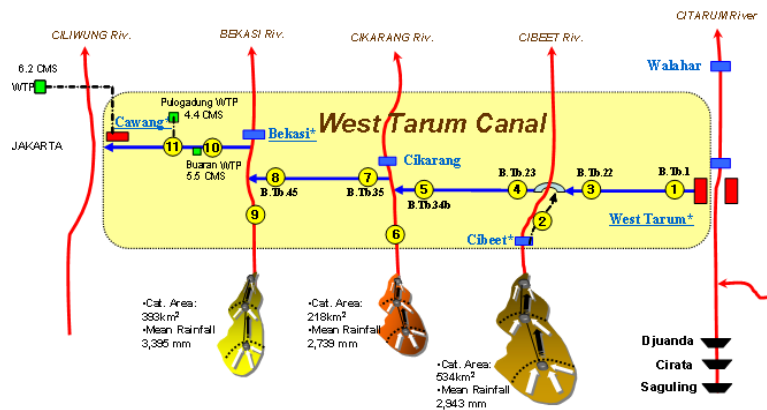


그림 2. WTC 유역도 및 수질측정 지점

3. 모형의 구성

3.1 수리해석

모형의 구성에 필요한 수리계수를 생성하기 위하여 수리분석을 실시하였다. 수리분석을 위하여 500m 간격으로 측정된 단면자료를 수집하여 HEC-RAS를 모형에 이용, 대상유역을 그림 3과 같이 4개 구간으로 구분하여 모의하였으며 각 구간에 대하여 유량증가에 따른 수심 및 유속의 상관관계를 회귀분석법을 이용하여 계산하였다.

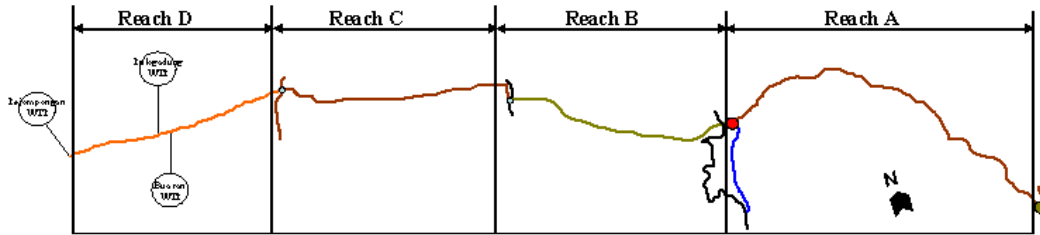


그림 3. Reach 별 구간분할

각 reach 별 거리는 최상류단부터 첫 번째 지류인 Cibeeet 강까지 24.8Km에 해당하고 reach B는 14.5Km, reach C는 14.3Km, 그리고 reach D는 13.4Km에 해당한다. 수집된 단면자료와 HEC-RAS 모의결과를 그림 4에 나타내었다. 수집된 단면자료 분석결과 단면형상은 인위적으로 건설된 Canal 임에도 불구하고 유사의 퇴적 및 구조물의 유지보수가 잘 이루어지지 않아 자연하천의 형상과 매우 흡사함을 알 수 있었다.

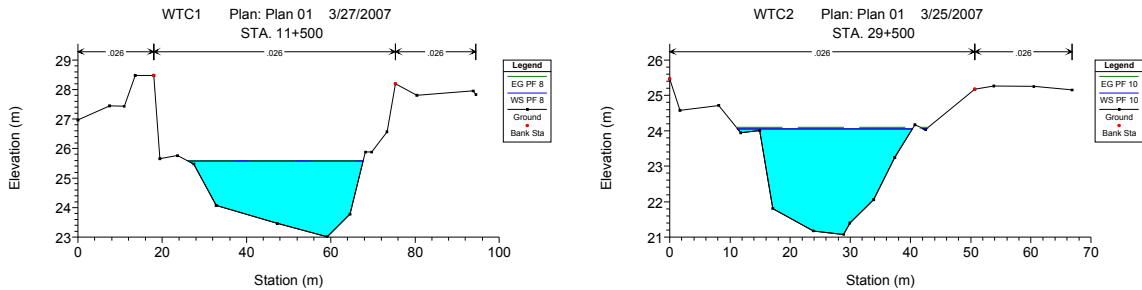


그림 4. HEC-RAS 모의결과

3.2 수질모의모형의 구축

수질모의를 위하여 총 20개의 Reach 와 131개의 Element, 그리고 1개의 최상류 지점과 3개의 지류를 포함 총 18개의 점오염원을 가지는 것으로 구성하였다. 각 Element는 500m의 길이를 가지는 것으로 설정하였으며 3개의 지류를 제외한 점오염원은 모두 용수공급을 위한 취수장에 해당한다.

대상유역의 수질모의를 위하여 수자원연구원이 프론티어 연구사업을 통하여 개발한 개발한 Qual2E-Plus모형을 적용하였다. 이 모형은 기존 Qual2E 모형의 입력파일을 그대로 활용할 수 있는 장점과 함께 .NET기반으로 입출력 구조를 크게 개선한 모형으로 국내에서는 이미 한국수자원공사가 금강 및 낙동강 유역에서의 검보정 및 시험적용과정을 걸쳐 수량과 수질을 고려한 저수지시스템 운영계획 수립 실무용으로 활용 중에 있다. Qual2E-Plus의 화면구성과 모의결과를 그림 5와 같다. 점오염원의 경우 P, 취수원의 경우 W, 최상류단의 경우 H, 그리고 최하류단의 경우 E로 표시되며 3개의 지류가 점오염원의 형태로 WTC 분류로 유입되는 것으로 구성하였다.

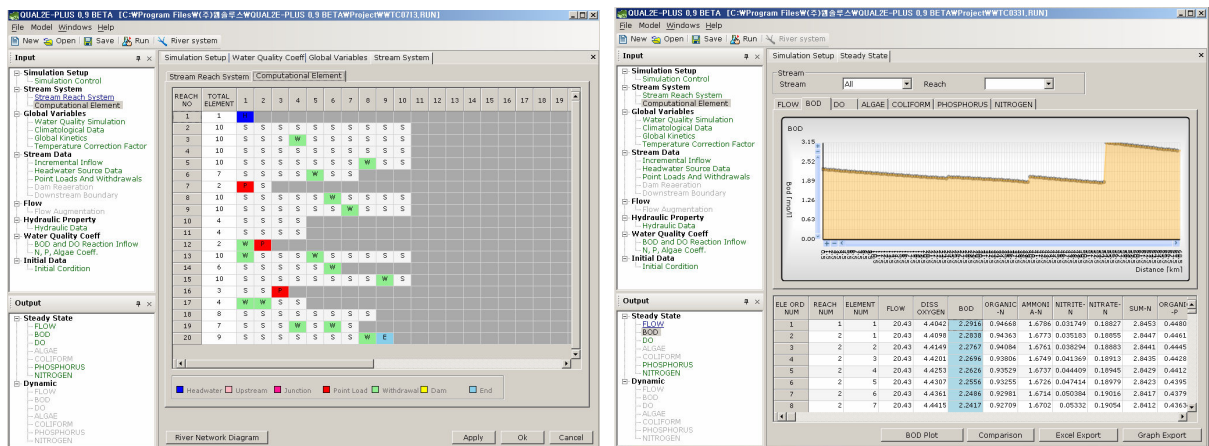


그림 5. Qual2E-Plus 모형의 자료입력 및 결과출력 화면구성

4. 모형의 검보정

측정을 통하여 수집된 수질인자를 대상으로 본류의 수질변동을 모의하였다. 그림 6으로부터 DO의 경우 전 구간에서 6.0 mg/L 내외의 농도를 유지하는 것을 알 수 있었으며, BOD는 댐상류로부터 55Km 근방의 Bekasi강이 유입되면서 다소 증가됨을 알 수 있었다. TN의 경우 전 구간에 걸쳐 2.0 mg/L의 농도가 유지되었으며, TP는 하류로 갈수록 다소 감소하는 경향을 보였다. 전체적으로 수질모의 결과는 측정치를 비교적 잘 반영하는 것으로 나타났다.

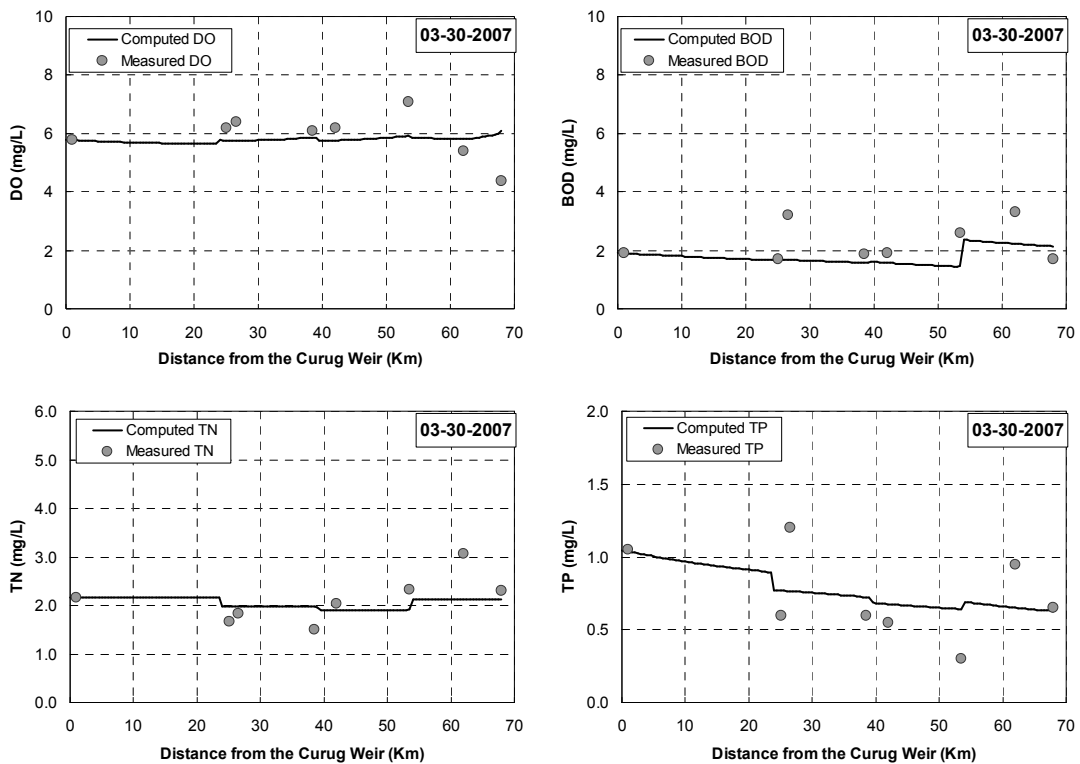


그림 6. 모형의 검보정 결과

5. 결론

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 강과 Bekasi강에 사이폰 시설을 도입하여 현재 운영되고 있는 Weir 시설을 대체함으로써 기대할 수 있는 수질개선효과 검토에 중점을 두고 분석하였으며, 모의결과는 그림 7과 표 1에 제시하였다.

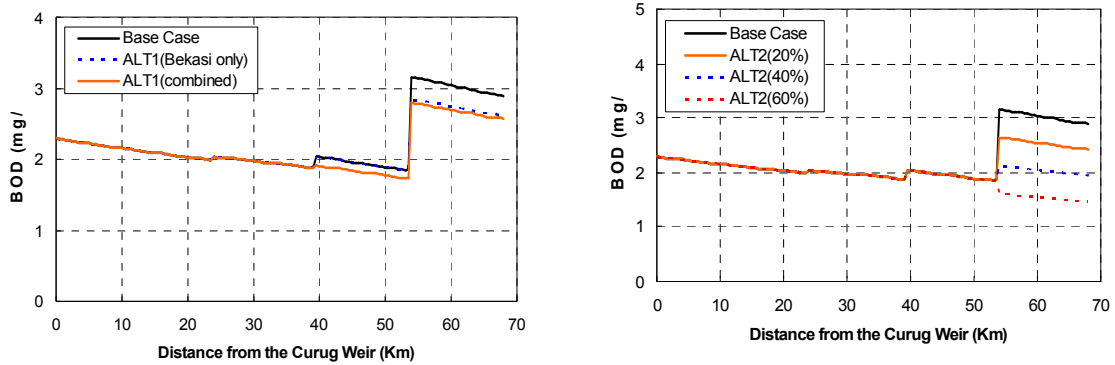


그림 7. 시나리오별 수질개선효과

표 1. 시나리오별 수질개선효과분석

수질개선대안	사이폰시설(ALT1)		지류수질개선(ALT2)		
	Bekasi	Cikarang+Bekasi	20%	40%	60%
수질개선효과	10%	12%	16%	33%	48%
우선순위	1	2	3		

감사의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술(과제번호: 1-6-3)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국수자원공사 (2007). 유역 물관리 운영기술 개발, 21세기 프런티어 연구개발사업 보고서 1-6-2.
2. Linfield, B. and Barnwell, T. (1987). *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual*, USEPA/600/3-87/007. USEPA, Env. Res. Lab., Athens, GA.