

# 수량-수질 연계모의를 통한 수질보전 필요유량 산정 방안

## Instream Flow for Water Quality Preservation used to Integrated Water Quantity and Quality Analysis

서재승\*, 이동률\*\*, 최시중\*\*\*, 강성규\*\*\*\*

Jae Seung Seo, Dong Ryul Lee, Si Jung Choi, Seong Kyu Kang

### 요 지

본 연구에서는 하천유지유량 중 수질보전 필요유량 산정을 위하여 한국건설기술연구원과 SEI-US가 공동으로 개발한 K-WEAPq(Korea-Water Evaluation and Planning System Linked QUAL2K) 모형을 이용하여 충주댐상류 수계를 대상으로 수량-수질연계모의를 수행하였다. 수질보전 필요유량은 환경기초시설 등을 이용하여 하천에 유입되는 수질오염원을 최대한 처리한 후 남는 오염부하량을 고려하여 적정수질을 유지할 수 있는 유량이다. 수질을 개선하기 위한 수질보전 필요유량 산정시, 수질이 악화된 경우에는 적은 유량으로 수질개선에 큰 효과를 얻을 수 있지만, 수질이 좋은 경우에는 많은 유량으로도 수질개선효과가 크지 않다. 그러므로 본 연구에서는 목표수질을 달성하는 유량과 수질개선효과가 큰 유량을 비교 검토하여 대상지점의 적정수질 관리 유량을 선정하고, 이때의 수질(수량관리수질)을 제시하였다. 본 연구의 결과를 활용하면 장래 하천 수량 및 수질의 연중변화를 파악할 수 있고, 대상지점의 목표 수질 및 적정 수질에 따른 수질보전 필요유량을 산정하여 하천 관리에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 하천유지유량, 수질보전 필요유량, K-WEAPq, QUAL2K**

### 1. 서론

우리나라에서는 1980년대에 환경오염문제가 대두되기 시작하면서 하천유지유량에도 수질문제를 고려하기 시작하였다. 건설부(1985)에서는 생물학적 분해가능모형을 이용하여 하천유지유량을 추정하였고, 1988년에도 수질오염방지를 위한 유지유량을 산정하였다. 국토개발연구원(1988)은 금강 및 영산강에 대하여 QUAL2E 모형을 적용하여 수질을 예측하고 필요한 유량을 산정하였으며, 수자원장기종합계획(건설부, 1990)에서는 2011년까지 목표연도 수질기준에 따라 하천유지유량을 제시하였다. 이후 한국수자원공사(1995)등에서 하천유지유량 산정 방법에 대한 연구들이 진행되었으며 1997~1999년까지 건설교통부에서 5대강에 대한 하천유지유량을 산정 하였다.

본 연구에서는 하천유지유량 중 수질보전 필요유량을 산정하기위하여 2016년을 목표연도로 하고, 평가대상항목 및 목표수질기준은 수질관련 정책 및 기존의 연구결과를 참고하여 BOD를 평가

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · E-mail : jsseo@kict.re.kr

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원 · E-mail : dryl@kict.re.kr

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · E-mail : sjchoi@kict.re.kr

\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · E-mail : skkang@kict.re.kr

대상 항목으로 선정하였고, 환경부의 "중권역별 목표수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간"에 고시된 목표기준을 적용하였다. K-WEAPq 모형을 이용한 수량-수질 연계모의를 통하여 수질보전 필요유량을 산정하였다.

## 2. 분석에 사용된 모형

K-WEAP(Korea-Water Evaluation and Planning System) 모형은 한국건설기술연구원과 SEI-US(Stockholm Environmental Institute -U.S. Center)의 공동연구로 개발된 모형으로 유역의 물이용 순환체계를 컴퓨터 프로그램으로 구현하고, 수량, 수질, 환경, 수요관리 등을 종합적으로 고려하여 통합수자원계획수립을 지원하는 전문 모형이다. K-WEAPq 모형은 K-WEAP 모형에서 내부함수를 이용하여 수질모의를 하던 방식을 개선하여 국내·외적으로 신뢰도가 높고, 널리 이용되고 있는 QUAL2K 를 연계하여 개발된 프로그램으로 상호작용을 통하여 수량-수질 연계모의를 수행한다.

QUAL2K 모형은 QUAL2E 모형의 단점을 수정·보완하여 개발한 모형으로 BOD, 질소, 그리고 인 등 16가지의 수질항목을 모의할 수 있으며, 1차원 정상상태의 부등류 흐름으로 가정하여 수질을 모의한다. 국내의 QUAL2E 및 QUAL2K의 적용사례를 살펴보면 QUAL2E는 금강(서동일 등, 2006) 등의 오염총량계획 및 물환경관리기본계획 관련연구(이병국 외, 2006) 등 수질관련 주요 계획에 사용되었으며, 박석순 등(2006)은 4대강 대권역별 수질보전기본계획 수립을 위한 연구 중 한강하류 수계, 오십천, 남대천 등의 수질분석에 QUAL2K를 사용했다. Prakash R. 등(2007)은 QUAL2K의 매개변수 자동보정 모형인 QUAL2Kw를 이용해서 네팔의 Bagmati 강의 수질을 모의하였고, Chihao Fan 등(2009)은 타이완의 Keelung 강에서 HEC-RAS와 QUAL2K 모형을 이용하여 수질모의를 수행하였다.

## 3. 모형적용

수질보전 필요유량을 산정하기 위한 대상 지점은 충주댐 상류에 위치하고 있는 영월, 영월1, 영춘지점을 선정하였다. 대상지점이 포함되어 있는 충주댐 상류 유역은 남한강상류, 평창강, 충주댐 등 세 개의 중권역 및 50 개의 소권역으로 이루어져 있으며, 유역면적은 6705.06 km<sup>2</sup>, 유로연장 375 km이다. 행정구역상으로는 강원도, 충청북도, 경상북도 등 3개도의 14개 시군으로 구성되어 있으며, 골지천, 평창강, 주천강 등이 포함되어 있다. 환경부의 수질측정망을 이용하여 각 중권역의 대표지점인 영월 1, 평창강3, 충주댐 지점 수질의 연간 변화를 보면 BOD는 1 mg/L 내외로 안정적이며, COD는 2~3 mg/L 의 범위로 과거에 비해서 약간 증가하는 경향을 보였다.

수질보전필요유량을 산정하기 위하여 수량-수질 연계분석이 가능하도록 수질모의 대상 수계구간을 결정하고 그림 2와 같이 용수수급네트워크를 구축하였다. 수질예측모형의 소구간 길이는 1 km 단위로 하고 구간수는 61개로 구분하였다. 장래의 오염부하량 예측자료는 물환경관리기본계획 수립을 위한 연구에서 산정된 표준유역별 오염부

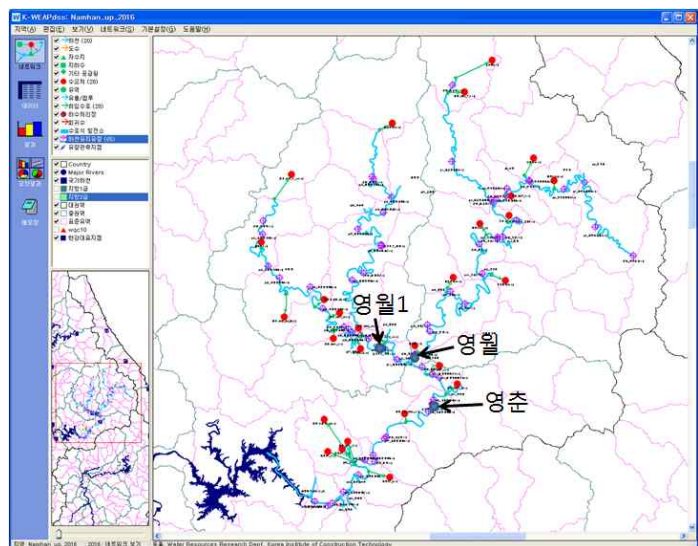


그림 1 충주댐상류 유역의 용수수급네트워크

하량 자료를 이용하였고, 2003년 자료와 수질측정망의 실측자료를 이용하여 검보정을 수행한 후 2015년 장래수질을 예측하였다. 본 연구의 장래수질 분석에 사용된 남한강상류, 평창강, 충주댐 중권역의 BOD 배출부하량은 2003년 35.160 kg/일에서, 2015년 32,947 kg/일로 다소 감소했다. 유량 자료를 산정하기 위하여 본 연구에서 산정된 자연유량 및 댐 방류량 자료, 취수시설의 취수량 및 회귀율 등을 이용하여 K-WEAPq 모형을 통한 물수지 분석을 수행하였고, 국토해양부에서 제공되는 유량결과와 비교하였다. 기준년도인 2003년 영춘 지점의 모의유량 및 관측유량을 비교한 결과 계산유량이 관측유량에 비해 다소 과소 추정되었으나 상관계수 0.864로 나타났고 경향이 비슷하게 분석되어 유량산정결과가 양호함을 알 수 있었다(그림 2). 장래수질분석에 사용된 유량자료는 1967~2008년에 대하여 산정된 자연유량 자료를 비교·분석하여 연평균 유량의 중간값을 가진 평균년인 1984년의 자연유량 자료를 이용하였다.

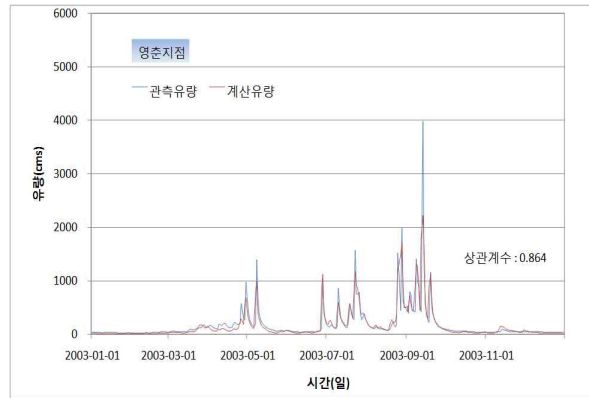


그림 2. K-WEAPq 모형에 의한 유량비교(영춘지점)

#### 4. 수질보전 필요유량 산정

수질보전 필요유량은 환경기초시설 등을 이용하여 하천에 유입되는 수질오염원을 최대한 처리한 후 남은 오염부하량을 고려하여 적정수질을 유지할 수 있는 유량이다. 수질보전 필요유량 산정을 위한 평가대상항목은 BOD로 선정하고 목표수질 기준은 환경부에서 “중권역별 수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간”에 고시한 목표수질 기준을 사용하였다.

일별 수량-수질 연계분석결과 대체로 유량이 풍부한 기간에는 수질이 낮게 분석되고 유량이 적은 기간에는 수질이 악화되는 현상을 보였다. 이 결과를 이용하여 그림 4와 같은 수질현황곡선을 그렸다. 그림을 보면 수질개선을 위한 희석용수로서의 필요유량은 수질이 나쁜 상황에서는 적은양으로 큰 효과 볼 수 있지만 수질이 비교적 좋은 상황에서는 많은 양의 희석용수가 필요하여 수질개선효과가 적은 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 K-WEAPq를 이용한 일별 수량-수질 연계분석을 통하여 하천수질 개선효과가 좋은 유량 및 목표수질을 달성하는 유량을 산정하여 이중 작은 유량을 수질보전 필요유량으로 결정하였다.

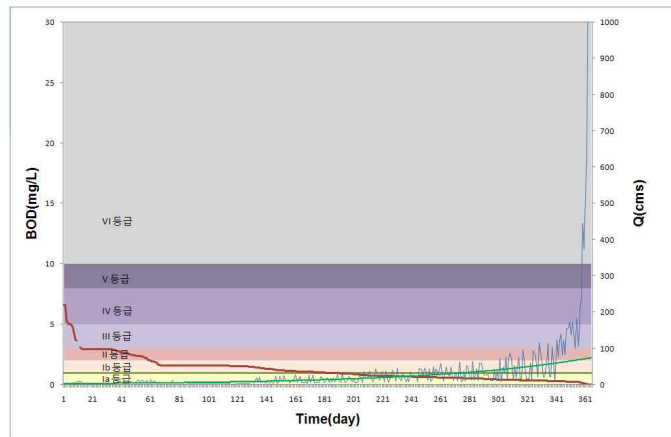


그림 3. 영월1 지점의 수질현황곡선

예를 들어, 영월1 지점의 경우 목표수질인 Ia 등급 달성을 위해서는 11.52 m<sup>3</sup>/s 의 유량이 필요하나 Ib 등급인 2 mg/L를 달성하기 위해서는 4.25 m<sup>3</sup>/s의 유량이 필요하고, II와 III 등급을 달성하기 위해서는 각각 2.73 m<sup>3</sup>/s, 2.54 m<sup>3</sup>/s의 유량이 필요한 것으로 분석되었다. 적정수질 관리유량 분석결과 Table 4.와 같이 4.54 m<sup>3</sup>/s가 수질개선 효과가 큰 유량으로 분석되었으며 이때의 수량관

리수질은 1.7 mg/L로 Ib 등급을 만족하는 것을 알 수 있었다. 영월 지점의 경우에는 연중 목표수질인 BOD 1 mg/L를 달성하는 것으로 분석되었고, 영춘지점의 경우 목표수질인 1 mg/L를 달성하는 유량이 수질개선효과도 큰 지점으로 분석되어 목표수질 달성 유량인 11.28 m<sup>3</sup>/s을 수질보전 필요유량으로 결정하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 수질보전 필요유량을 산정하기 위하여 K-WEAPq를 이용하여 일별 수량-수질 연계분석을 수행하였다. 분석 결과 연중 수질현황 곡선을 도출하고 이를 이용하여 목표수질을 달성하는 유량과 수질개선효과가 큰 유량을 비교 검토하여 대상지점의 적정수질 관리유량을 선정하고, 이때의 수질(수량관리수질)을 제시하였다. 또한 수질현황곡선을 이용하면 각 대상지점별로 환경부에서 제시하는 수질등급별 농도를 달성하기 위한 유량을 산정할 수 있다. 본 연구의 결과를 활용하면 장래 하천 수량 및 수질의 연중변화를 파악할 수 있고, 대상지점의 목표 수질 및 적정수질에 따른 수질보전 필요유량을 산정하여 하천 관리에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 국립환경과학원(2006), 정상·비정상 모델링 기법개발 및 적용성 평가 2년차 보고서, 국립환경과학원 금강물환경연구소
2. 박석순(2006), 4대강 대권역별 수질보전기본계획 수립을 위한 하천모델링(오십천·남대천), 이화여자대학교
3. 서동일, 윤종욱, 이재윤(2008), “QUAL2E, QUAL2K 및 CAP 모델을 이용한 금강 하류 하천구간 정상상태 수질모델링 결과 비교 분석”, 상하수도학회지 논문집, 상하수도학회, Vol. 22, No. 1, pp. 121-129
4. 환경부(2006), 물환경관리 기본계획-한강 대권역 수질보전 기본계획, 환경부
5. Chihhao Fan, Chun-Han Ko, Wei-Shen Wang(2009), “An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation”, *Journal of Environmental Management*, ELSVIER, Vol. 90, pp. 1824-1832
6. Prakash R. Kannel, Seockheon Lee, Sushil R. Kanel, Young-S. Lee, Kyu-H. Ahn(2007), “Application of QUAL2Kw for water quality modeling and dissolved oxygen control in the river Bagmati”, *Environmental Monitoring and Assessment*, Springer, Vol 125, pp. 201-217