

QUAL2E 하천수질모형을 이용한 보강천 수질모의 분석

Water Quality Analysis of Bogang stream using QUAL2E Water Quality Model

박정하*, 이상길**, 배명순***, 정시몬****

Jung Ha Park, Sang Kil Lee, Myoung Soon Bae, Si Mon Jeong

요 지

수질모델링은 제한된 공간에서 실측된 자료를 바탕으로 임의지점에서의 수질을 예측하는 것으로서 수체로 유입되는 오염원의 변화에 대한 수질의 변화를 예측, 장래 개발계획 및 수질정책에 대한 영향평가 등에 활용될 수 있다. 하천 및 호소로 유입되는 오염물질을 통제하고 과학적으로 관리하기 위해서는 수질모델링 과정을 정확히 이해하고 관련모델을 적절히 적용하여야 한다. 최근 수질오염총량제가 시행되고 있는 시점에서 지자체간 갈등을 줄이고 지역의 균형발전을 위해서는 합리적이고 과학적인 수질모델링 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 금강 수계 미호천의 지류인 보강천을 대상으로 QUAL2E 하천수질모형을 구축함으로써 해당 수계에 인접한 지자체들이 원활히 수질오염총량관리제도를 시행할 수 있게 정확하고 합리적인 수질 예측 결과를 제시하고자 한다.

본 연구에서는 QUAL2E 하천수질모형을 구축하기 위해서 유량자료는 2007년 10월부터 12월까지 총 8회에 걸쳐 측정된 유량 데이터를 이용하였고 수리계수는 보강천 하천정비기본계획(건설교통부, 1991)에 실려있는 하천단면 자료를 이용한 HEC-RAS 수리모형을 이용하여 산정하였다. 하천 수질 자료는 2007년 10월부터 12월까지 총 8회에 걸쳐 유량과 함께 측정된 수질자료를 이용하였고 유달계수는 S. R. HA and M. S. Bae(2003, 2004, 2005, 2006), 박정하 등(2007)이 제안한 방법을 이용하여 산정하였다. 분석 결과, 보강천에 영향을 미치는 지자체는 증평군, 진천군, 괴산군, 음성군이며 그 중 유역면적을 많이 차지하고 있는 증평군과 진천군의 영향이 큰 것으로 나타났고, 미호천 하류에 위치한 미호B 목표수질관리지점의 목표수질인 4.3 mg/L BOD를 만족하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : QUAL2E, 하천수질모형, 수질오염총량관리

1. 서론

우리나라는 2004년을 시점으로 낙동강, 금강 및 영산·섬진강수계에 대하여 수질오염총량관리제가 본격적으로 시행되었다. 수질오염총량관리제는 기존의 농도규제가 가지고 있는 한계점을 해결하고, 유역단위로 기준배출부하량을 설정하여 지역의 환경친화적 개발을 유도하기 위하여 도입된 수질정책이다. 제1차 수질오염총량관리제 기간은 2004년부터 2010년이며, 이 기간동안에는 총량관리제의 초기단계라는 점과 기술적·행정적 정착을 위하여 대상물질을 BOD₅로 한정하고 있다. 낙동강을 시발로 하여 광역시·도별 목표수질 및 기본계획과 시행계획이 수립 중에 있다.

* 비회원·충북개발연구원 연구원·E-mail : turby4843@naver.com

** 비회원·충북대학교 석사과정·E-mail : rocker7x@naver.com

*** 정회원·충북개발연구원 연구위원 · E-mail : bms1409@hanmail.net

**** 비회원·충북대학교 석사과정·E-mail : simon34@chungbuk.ac.kr

현재 총량관리제를 위한 많은 시간과 노력의 준비에도 불구하고 시행 초기단계에서의 기술적·행정적으로 극복해야 할 한계점이 드러나고 있다. 총량관리제에서 설정된 기준배출부하량은 지자체의 개발용량과 직결되기 때문에 상·하류 지역간의 첨예한 관심거리가 되고 있다. 총량관리제는 기준유량과 목표수질에 대한 기준배출부하량의 달성을 목적으로 하고 있기 때문에 합리적이고 과학적인 기준유량 및 목표수질의 설정이 무엇보다 중요하다. 또한 세밀히 조사된 오염원 자료와 합리적인 수질모델링을 필요로 하는데, 유량배분은 모델링 과정에서 중요한 인자로 작용하며, 지역의 기준배출부하량을 결정하는 결정적인 요소 중의 하나이다. 본 연구에서는 금강수계 미호천의 지류인 보강천에 인접한 지자체들이 수질오염총량관리제도를 보다 원활히 시행할 수 있도록 보강천에 대하여 QUAL2E 하천수질모형을 구축함으로써 정확하고 합리적인 수질예측결과를 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 유역별 유량배분

유역별 유량배분은 단위면적당 유량을 산정하여 해당 유역의 면적을 곱하여 산정한다. 첫째, 2007년 10월 ~ 12월에 8회 측정된 유량 실측자료를 바탕으로 해당유역 면적에 배분하여 단위면적당 유량을 산정한다. 둘째, 각 소유역 및 단위유역의 면적과 산정된 단위면적당 유량의 곱으로 유역별 유량을 산정한다.

2.2 배출 및 유달부하량 산정

2006년과 2010년의 배출부하량은 국립환경과학원의 「수계오염총량관리 기술지침」에 따라 산정된 값이다. 과거 5개년의 오염원 현황을 바탕으로 2015년의 배출부하량을 예측하였으며, 추가로 2015년까지의 개발계획 및 삭감계획을 적용하여 2015년의 최종배출부하량을 산정하였다.

유달계수는 오염원에서 발생된 오염부하가 현지의 오염제거 및 저감시설 가동으로 인해 삭감된 이후에 배출되는 오염물질의 양인 배출부하량과 이 배출부하가 공공수역인 하천으로 유달되는 오염물질의 양인 유달부하량과의 정량적 관계를 나타내는 지표를 의미한다. 따라서, 유달계수의 정량적 규모는 오염원에서부터 공공수역인 하천에 이르기 까지 오염물질이 이동하는 경로, 즉 유역이 지닌 지형 조건, 수리·수문학적 조건, 기후, 계절 등 매우 다양하고 복잡한 변수들에 의해 결정된다. 유달계수 및 유달부하량은 S. R. HA and M. S. Bae(2003, 2004, 2005, 2006), 박정하 등(2007)이 제안한 방법을 이용하여 산정하였다.

2.3 수리학적 유량계수 산정

수리해석모델링을 위한 기초자료 중 하천 횡단면자료는 대상 구간내 하천정비기본계획을 이용하거나 선행된 사업이나 연구에서 얻어진 자료를 사용한다. 수리해석을 위한 모델링 프로그램은 미공병단의 HEC-RAS를 이용하여 수행한다. HEC-RAS의 입력 자료는 하천단면과 하천의 수문곡선(유량-수심, 유량-유속)을 잘 나타낼 수 있도록 3개 규모 이상의 유황자료를 사용한다. HEC-RAS를 이용하여 각 단면에 대한 수문곡선을 계산하고, 이를 검토하여 수리적으로 유사한 구간을 선정한다. 선정된 대구간(REACH)에 포함된 단면들 중 대구간(REACH)를 대표할수 있는 대표단면을 선정하여 대구간(REACH)에서의 유량(Q)의 변화에 따른 속도(V)의 관계식($V=aQ^b$), 유량(Q)의 변화에 따른 수심(H)의 관계식($H=cQ^d$)을 도출한다. 여기서 각 관계식에서의 a(속도계수), b(속도지수), c(깊이계수), d(깊이지수)가 각 대구간(REACH)을 대표하는 유량계수가 된다.

2.4 하천수질모델링

본 연구에서 채택한 하천수질모형은 QUAL2E 모형이다. QUAL2E 모형은 미국 EPA에서 QUAL-I 모형에 예측수질항목을 추가하여 발전시킨 QUAL-II 모형을 PC에서 사용가능하도록 만든 것이다. 이 모형은 이전의 모형에 비해 조류와 용존산소와의 상호관계, 온도보정계수, 댐에 의한 하천수의 산소공급 및 비보존성 물질과 3가지의 보존성 물질, 입·출력 방법개량 등을 보완시킨 1차원 수질 예측 모델로서 1차원 정상상태(Stedy state)는 물론이고 가동적상태(Dynamic state)에서도 예측할 수 있다. 모형 구축 순서는 다음과 같다. 첫째, 모형 구축을 위해서 GIS를 통해 제공되는 하천도 및 유역도, 수질측정망 정보 등을 이용하여 모식도를 구축한다. 둘째, 구축된 모식도를 기준으로 하여 선정된 기준유량에 부합되는 시기를 채택하여 유량 및 배출부하량, 수질을 모델에 입력한다. 유량은 기준유량에 부합되는 시기의 유량을 유역배분한 값이다. 배출부하량은 수계오염총량관리기술지침에 따라 선정된 값이다. 셋째, 실측수질 자료와 모의 결과 수질을 비교하여 모형의 보정계수를 조정하여 보정 및 검증을 실시한다. 수질은 2007년 10월~12월에 걸쳐 8회 실측한 수질자료를 사용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 연구 대상지역 및 범위

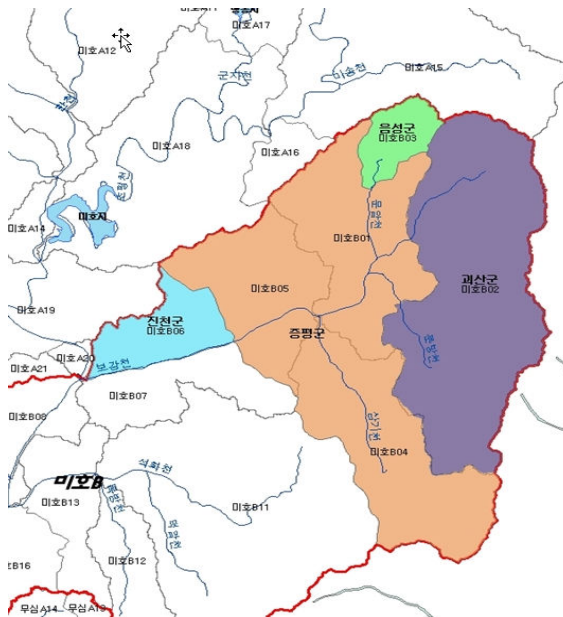


그림 1. 연구대상지 : 보강천 유역

연구 대상유역은 그림 1과 같이 금강수계에 위치한 미호천의 지류 보강천 유역이다. 충청북도 증평군, 진천군, 괴산군, 음성군에 걸쳐 위치하고 있으며, 유역면적은 207.58 km²이며 6개의 소유역으로 구성되어 있다.

보강천의 유로연장은 49.7km이다. 이 중 보강천의 모의구간은 보강천 상류지점에서부터 미호천합류점까지(17km)로 선정하였다. 보강천 유역 내에는 수질오염총량관리 기본계획에서 설정한 목표수질이 설정된 목표수질 관리지점이 존재하지 않지만, 미호천 하류유역의 미호B 수질관리지점이 존재하고 있어 장래수질예측에 중요한 척도가 되고 있다.

보강천 유역내에는 문암천, 문방천, 삼기천 등의 주요지천과 증평하수종말처리장과 사리농공단지폐수처리장 등의 환경기초시설이 있다.

3.2 수리학적 유량계수 산정

HEC-RAS 수리모형을 통하여 보강천 17Km 구간에 대하여 모의하였다. 유량계수 산정후 모델 구간에 속하는 보강천분류 유역의 수리학적 유량계수를 산정했다. 수심-유량과 유속-유량과의 관계식으로부터 수리적 특성이 비슷한 구간을 선정하여 수질모델링을 위한 수리구간으로 설정하였고, 각 수리구간 즉, Reach에 따른 유량계수를 산정하였다.

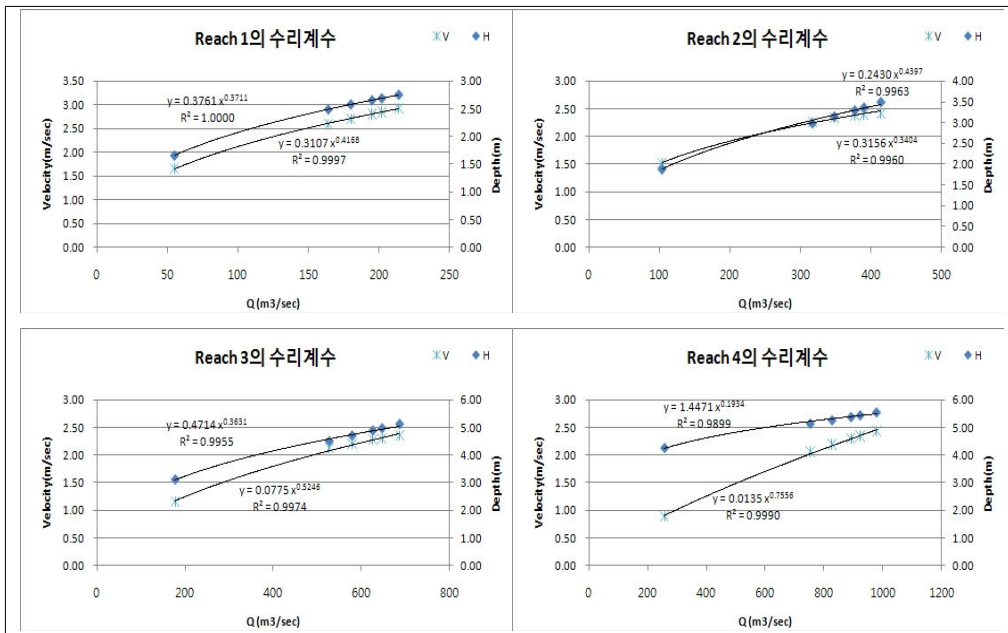


그림 2. 보강천의 수리학적 유량계수 산정

3.3 수질모델 구축

3.3.1 모식도 구축

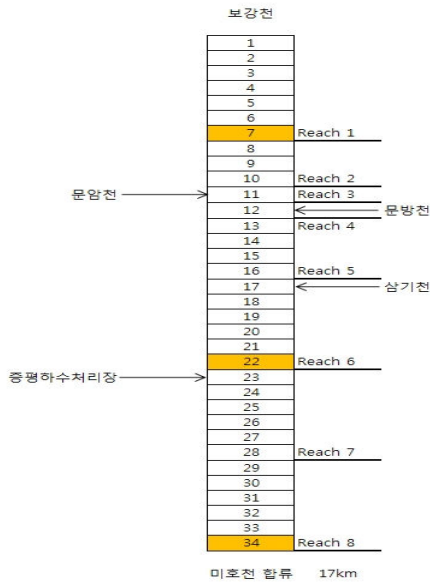


그림 3. 보강천 모식도

보강천의 하천 정보와 주요 지천 및 환경기초 시설, 취수시설 정보를 적용하여 다음과 같은 QUAL2E 모식도를 구축하였다. 보강천은 총 8개의 Reach로 나누었으며, 소구간(Element)는 0.5km 등간격으로 나누었다. 본류 구간의 모델 시점은 보강천 상류지점으로 선정하였으며 미호천합류점을 모델의 종점으로 선정하였다.

3.3.2 모델의 보정

모델의 보정은 2007년 10월 ~ 12월에 걸쳐 보강천 본류의 주요지점을 실측한 수질자료를 바탕으로 BOD₅, T-N, T-P 등의 수질관련 반응계수들을 일반적인 범위 내에서 적용하여 보정을 실시하였다.

3.3.3. 모델의 검증

모델의 검증은 2007년 11월 보강천 본류의 주요지점을 실측한 수질 자료를 바탕으로 BOD₅, T-N, T-P 등의 수질관련 반응계수들을 보정 때와 동일하게 적용하여 검증을 실시하였다.

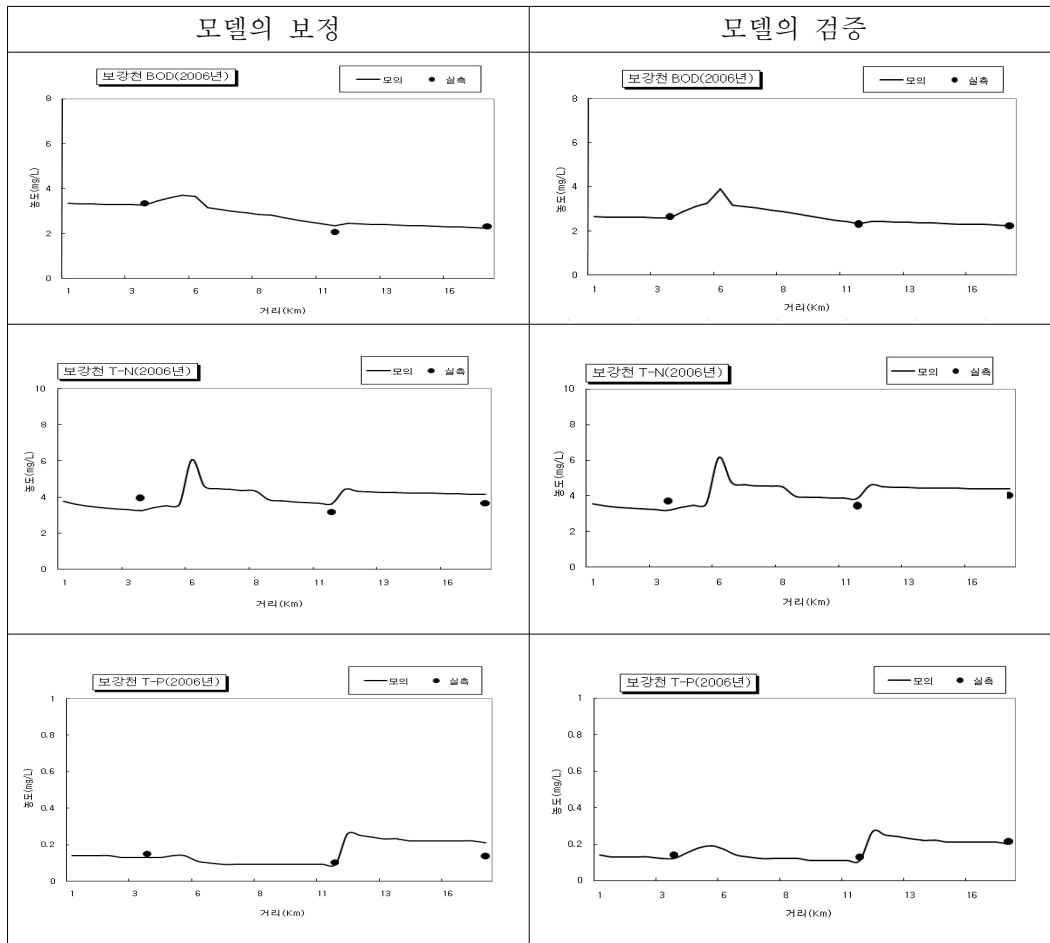


그림 4. 모델의 보정 및 검증 결과

3.4 장래 수질 예측

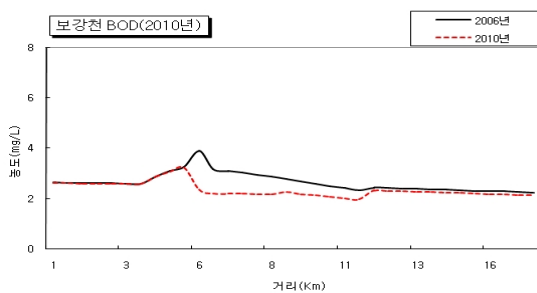


그림 5. 보강천의 2010년 수질예측

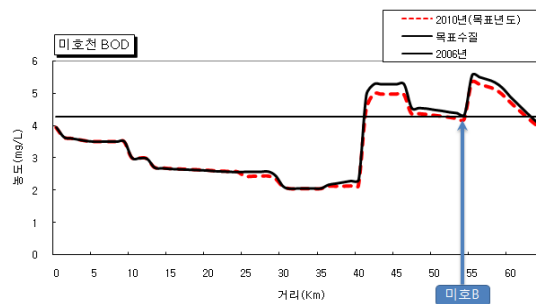


그림 6. 미호천의 2010년 수질예측

2007년 실측수질을 기준으로 검보정을 실시하여 모델의 정확성이 증명된 하천수질모형에 예측된 2010년의 오염배출부하량을 적용하였다. 적용결과 보강천의 2010년 예측 수질결과는 2.1mg/L BOD로 2006년 현황 2.2mg/L BOD에 비해 낮게 예측되었다. 이 결과를 바탕으로 미호천의 2010년을 예측한 결과 미호B 목표수질관리지점에서 4.2mg/L BOD를 나타내어 목표수질 4.3mg/L BOD에 만족하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 금강수계 미호천의 지류인 보강천에 인접한 지자체들이 수질오염총량관리제도를 보다 원활이 시행할 수 있도록 보강천에 대하여 QUAL2E 하천수질모형을 구축함으로써 정확하고 합리적인 수질예측결과를 제시하였다. 보강천의 수질 및 유량자료는 8회에 걸쳐 실측한 자료를 이용하였고 QUAL2E 하천수질모형을 이용하여 모형의 보정 및 검증을 실시하였다. 2010년 장래수질 예측 결과 보강천의 하류지점의 수질은 2.1mg/L BOD로 나타났고, 미호천의 미호B 목표수질관리지점은 4.2mg/L BOD로 예측되어 목표수질 4.3mg/L BOD에 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 보강천 유역에 관련된 증평·진천·괴산·음성군은 적절한 개발계획 및 삭감계획을 수립함으로써 수질오염총량관리제도를 합리적으로 시행할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 환경부(2004). 「수질오염총량관리업무편람」.
2. 충청북도(2005). 「충청북도 금강오염총량관리 기본계획」.
3. 증평·진천·괴산·음성군(2008). 「증평·진천·괴산·음성군 수질오염총량관리 시행계획」
4. 배명순(2003). 「지형정보학을 이용한 오염부하유출계수 산정」, 박사학위 논문, 충북대학교.
5. EPA(1987). 「The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E」.
6. ESRI(1994). 「Using ARC/INFO Network/TIN/COGO/ArcStorm/ArcScan」.
7. ESRI(1995). 「Using GRID with ARC/INFO」.
8. S.R. Ha, M.S. Bae(2001). 「Effects of land use and municipal wastewater treatment changes on stream water quality」, J of Environmental Monitoring and Assessment System, 70(1-2), 135-151.
9. S.R. Ha, M.S.Bae(2003). 「Nonlinear regression approach to Evaluate Nutrient Delivery coefficient in Trans-Boundary Watershed with Observation Data Limited」, J. of Environmental Science and Engineering, 5, 65-71.
10. S.R. Ha, M.S. Bae(2004). D.S. Kong, 「Nonlinear regression approach to evaluate nutrient delivery coefficient」, 8th International Conference on Diffuse Pollution.
11. S.R. Ha, M.S. Bae(2005). 「GIS-based influence analysis of geomorphological properties on pollutant wash-off in agricultural area」, Water Science and Technology, 51(3), 301-307.
12. M.S. Bae, S.R. Ha(2006). 「Nonlinear regression approach to Evaluate Nutrient Delivery coefficient」, Water Science and Technology, 53(2), 271-279.