

농촌유역 소하천에 대한 수질모형의 적용

An Application of Water quality model for a Stream in Rural Watersheds

*박영진(농업기반공사) · 권순국(서울대)

*Park, Young-Jin · Kwun, Soon-kuk

Abstract

The WASP model was applied to Bokha stream with 8.4km of its main stem located in Ichon-gun, Kyonggi province in Korea. The stream was divided into 26 segments with each of 400m length, and 5 segments were embraced boundaries of its tributaries. The parameters of the model were calibrated by the trial and error method to minimize differences between observed and simulated concentration of water quality constituents. The correlation coefficients for DO, NO₃-N, PO₄-P and organic P showed high values providing the ability of simulation. The correlation coefficients for BOD and NH₃-N showed low values in both calibration and verification test.

I. 서론

최근 농촌지역의 생활수준의 향상으로 인한 생활오수의 증가와 축산폐수 및 공장폐수의 유입 그리고 농경지로부터의 비료와 농약의 유출 등으로 농촌 하천수질이 악화되고 있는 실정이다. 농촌 하천은 큰 하천의 지류이고 또 상수도 취수원의 수질에 직접 영향을 미치게 되며 농촌지역의 농업용수, 상수원으로 이용되므로 이에 대한 적절한 수질 관리가 요구된다. 합리적인 수질관리를 위해서 하천수질에 영향을 미치는 인자들을 규명하고 각종 오염원에서 배출되는 오염물질들의 거동을 수학적 모델링을 통해 예측하는 수질모형이 필요하게 된다.

수질모형은 1920년대 Streeter와 Phelps가 Ohio강에서 BOD-DO에 관한 모형에서부터 시작하여 현재에 이르기까지 많은 발전을 보이고 있다. 특히 복잡한 수학적 기법의 적용과 컴퓨터의 발전과 더불어 정확성과 복잡성이 크게 진전되어 그 효율성을 인정받고 있다. 현재 국내에서는 QUAL2E, AUTO-QUAL, STREAM, WASP모형 등이 하천 수질모형으로 적용되고 있다.

본 연구의 목적은 농촌지역에 위치하고 있는 소하천에 하천 수질모형인 WASP모형을 적용하여 수질특성을 잘 반영할 수 있고 나아가서는 장래 수질예측을 통한 수질관리에 이용될 수 있도록 각 수질항목을 모의발생하는 반응계수를 적절하게 보정하는 것이다.

II. 연구의 방법

1. 대상 지구

모형의 적용대상 유역은 경기도 이천군 마장면, 호법면, 용인군 내서면, 광주군 도척면을 포함하고 있는 북하천의 상류 유역으로서 북하천 발원지에서 하류로 유로연장이 17km이고, 유역면적은 80km²이다. 하천을 따라 농경지가 발달되어 있고, 유역전반에 걸쳐 소규모 축산농가가 산재해 있는 전형적인 농촌지역의 특성을 가지고 있는 유역이다.

2. 모형의 소개

2.1 WASP모형 개요

본 연구에서 적용한 WASP모형은 1981년 Di Toro 등에 의해 처음 개발되었으며, 수차례의 수정과 보완을 하여 수체 내의 독성물질 거동까지 분석가능한 WASP5모형으로 발전되어 왔다. 이 모형은 시간에 따른 입력값의 변화를 고려할 수 있어 연중변화는 물론 짧은 시간 간격사이의 수질성분 변화를 분석하는 데에도 대단히 유용하며 대상에 따라 3차원 분석까지도 가능하다. 또한 각각의 수질항목이 개별적인 부 프로그램으로 계산되도록 하였고 사용자의 요구에 따라 수정 및 보완이 용이한 편이다.

2.2 기본이론

모형의 지배방정식을 수심 방향, 폭 방향으로 균일하다고 가정한 1차원 질량보존 방정식으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (UAC)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (E_x A \frac{\partial C}{\partial x}) + AS_L + AS_B + AS_K$$

여기서, A는 분할된 구획을 연결하는 수로의 단면적(m²), C는 분할된 구획의 수질 항목 농도(g/m³), U는 흐름 방향의 유속(m/s), E_x는 흐름 방향의 확산 계수(m²/day), S_L은 특정 구획에 직접적으로 유입되는 오염부하율(g/m³), S_B는 경계구역에서의 오염부하율, S_K는 반응에 의한 동적 변화율이다.

3. 모형의 입력자료

3.1 대상하천 모식화

모형의 적용을 위해서 대상하천을 모식화하였는데, 실측된 수질자료의 가용성을 고려하여 유로연장 8.4km에 대해 구획의 길이를 400m로 하여 본류를 21개의 구획으로 분할하였고, 유입지천의 본류 유입부를 각각 한 개의 구획으로 하여 총 26개의 구획으로 설정하였다 (Fig.1). 수체를 단순화하여 표층수에 대해 종방향으로 분할하였으며, 저층의 영향을 무시하였다.

하천 단면은 본류구간을 수리학적 특성이 유사하다고 판단되는 5개의 대구간으로 나누어 수심과 유속을 유량계수로 나타내었다.

3.2 기상자료

기온과 풍속, 일조시간은 이천 기상관측소의 일 기상자료를 사용하였으며, 일사량은 수원시 기상 측후소의 자료를 사용하였다.

3.3 유량 및 수질자료

대상하천의 유량자료는 권 등(1994)이 본 대상유역에 적용한 바 있는 USDAHL74/SNU 모형을 이용하여 일유출량을 발생시켜 순별평균값으로 입력하였다. 지천을 통해 유입되는 유량은 대상하천의 하류경계 유량에 대해 비유량으로 입력하였다. 1993년 2월부터 10월까지

지 계산한 유량을 보정에 이용하였고, 1994년의 일유출량을 계산하여 검증자료로 이용하였다.

모형의 수행에 필요한 수질입력자료는 권등(1994)의 연구에서 측정된 현장측정자료를 이용하여 보정 및 검증을 하였다. 경계조건 수질은 실측 자료를 입력하였으며, BOD, DO, N(3가지), P(2가지), Chl-a의 8가지 수질항목을 대상으로 계산을 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 보정

1.1 매개변수 보정

본 연구에서는 이용가능한 입력자료를 고려하여 복잡도 4의 단순 부영양화 단계를 적용하였으며, 사용된 주요 매개변수는 Table 1과 같다. 식물성 플랑크톤과 관련된 매개변수들은 사용자 지침서와 국내의 연구자들이 적용한 값을 토대로 고정을 하여 사용하였으며, 질소, 인, BOD, DO에 관련된 매개변수들은 시행착오법으로 반응계수의 값을 변화시키면서 모의발생된 수질항목의 농도와 실측농도를 비교해서 평균자승오차를 최소로 하는 값을 결정하였다.

1.2 보정결과

보정결과 매개변수의 값은 사용자 지침서와 다른 연구자들의 연구결과들의 범위에 있었다. 보정을 통해 계산된 수질항목별 모의발생농도와 실측치의 비교를 하였으며, DO의 경우 높은 상관성을 나타내었고, 연중 거의 포화농도에 가깝게 나타났다. BOD, NH3-N은 상관계수가 0.46과 0.37로 낮게 나타났으며 이는 대상하천의 오염원이 산재해 있는 특성을 모형에 반영하지 못했기 때문으로 판단된다. 유기질소와 NO3-N, 유기인, PO4-P는 상관계수가 0.61~0.97의 높은 상관성을 나타내었다.

2. 모형의 검증 결과

검증은 보정으로 얻은 매개변수의 값을 변화시키지 않고, 실측수질자료와 유량자료, 기상자료를 입력하여 수행하였다. 검증결과 DO의 상관계수가 0.48정도로 비교적 낮게 나왔으나, 모의발생된 결과값들이 포화농도에 가까운 경향을 나타내었다. NO3-N과 유기인의 검증을 통한 상관계수는 0.6, 0.84로 상관성이 높게 나타났으나, BOD, NH3-N, 유기질소, PO4-P의 상관계수는 0.12~0.52로 낮게 나타나고 있다. 이는 검증기간인 1994년의 강수량이 평년에 비해 매우 적어서 오염물질의 부하에 따라 실측수질자료들이 큰 폭으로 변하는 것을 모형이 제대로 반영하지 못한 것으로 판단된다.

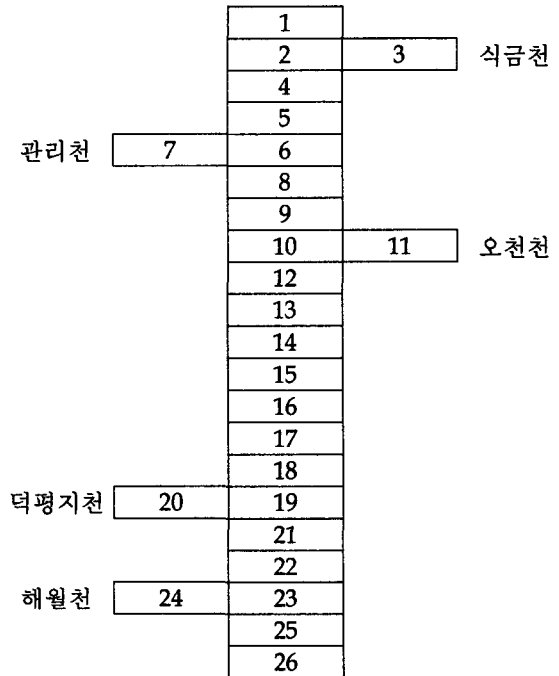


Fig. 1 Stream network of representative watershed

Table 1 Calibration results for parameters

Parameter	Definition	Manual	This study
K1320C(11)	Nitrification rate(day ⁻¹)	0.09~0.13	0.1
K140C(21)	Denitrification rate(day ⁻¹)	0.09	0.1
K1C(41)	Saturated growth rate phytoplankton(day ⁻¹)	2.0	2.0
CCHL(46)	Carbon-to-Chlorophyll ratio(mg C/mg Chl)	30.0	25.0
KMNG1(48)	Nitrogen half-saturation constant for phytoplankton growth(mg-N/ ℓ)	0.025	0.025
KMPG1(49)	Phosphorus half-saturation constant for phytoplankton growth(mg-PO ₄ -P/ ℓ)	0.001	0.015
K1RC(50)	Respiration ratio of phytoplankton(day ⁻¹)	0.125	0.125
K1D(52)	Phytoplankton death rate(day ⁻¹)	0.02	0.01
PCRB(57)	Phosphorus-to-carbon ratio in phyto.	0.025	0.025
NCRB(58)	Nitrogen-to-carbon ratio in phyto.	0.25	0.25
KDC(71)	BOD deoxygenation rate(day ⁻¹)	0.16~0.21	0.25
OCRB(81)	Oxygen-to-carbon ratio in phyto.	2.6667	2.667
K1013C(91)	Mineralization rate of dissolved organic nitrogen(day ⁻¹)	0.075	0.45
K58C(100)	Mineralization rate of dissolved organic phosphorus(day ⁻¹)	0.22	0.22

IV. 결론

본 연구는 농촌유역의 소규모하천에 대해서 동적수질예측모형인 WASP모형을 적용할 수 있도록 매개변수를 보정하고 검증하기 위하여 수행되었다. 보정 및 검증 결과 DO, NO₃-N, PO₄-P, 유기인의 상관계수는 높게 나와 모형이 적절하게 모의발생하고 있으며, BOD, NH₃-N은 보정과 검증시 모두 상관계수가 낮게 나타났다.

참고문헌

- U.S. EPA, 1994, WASP5 User's Manual, and Programmer's Guide.
- 경기도, 1984, 복하천 하천정비 기본계획 부록(복하천 중형단도)
- 권명준, 2000, 농촌유역하천의 수질예측을 위한 SWAT모형과 WASP모형의 연계운영, 서울대학교 석사학위논문
- 권순국, 유명진, 임종완, 임창영, 1994, 농어촌연구 환경관리에 관한 연구(III), 농어촌진흥공사, 농림부
- 권순국, 장정열, 1994, 수질관리모형에 의한 농촌 소하천의 수질예측, 한국관개배수, Vol.1, No.1, pp.14-23
- 박영진, 1996, 농촌유역 소하천에 대한 WASP모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문
- 신동석, 권순국, 1997, WASP5모형을 적용한 복하천의 수질예측, 한국환경농학회지, Vol.16, No.3, pp.233-238
- 권순국, 정형근, 김진수 외 5명, 2000, 농촌하천유역의 종합적 수질관리시스템 개발, 농림부, pp.462