

WASP7.2를 이용한 낙동강의 수질모의 및 민감도분석

Water Quality Simulation and Sensitivity Analisys in Nakdong River Using WASP7.2 Model

최정민*, 이상호**, 전태수***, 주기재****

Choi Jung Min, Lee Sangho, Chon Tae Soo, Joo Gea Jae

요 지

낙동강 하류지점인 물금은 2003년 ~ 2005년의 대부분이 부영양화의 기준을 넘고 있다. 본 연구에서는 WASP 모형을 이용하여 낙동강 하류에서 부영양화의 주요원인이 되는 영양물질과 결과적으로 나타나는 Chl-a 농도변화를 모의하였다. Chl-a의 농도모의를 위한 주요 입력자료로서 측정된 동물성 플랑크톤의 개체수가 입력되었다. 선정된 수질조사 지점은 낙동강 본류(왜관, 고령, 적포, 남지, 하남, 낙동강 하구둑)와 지류인 금호강, 회천, 황강, 남강, 밀양강이다. 수질모의 구간은 낙동강 본류(왜관 ~ 낙동강 하구둑)와 지류인 금호강, 회천, 황강, 남강, 밀양강을 포함한 총 72개의 구간이다. 모형의 모의시간과 출력시간은 각각 1일로 하였다. 2003년의 자료를 이용하여 추정된 수질 매개변수들의 적합성을 확인하기 위해 2004년 ~ 2005년의 수질자료와 유량자료를 이용하여 검증하였고, 입력된 매개변수와 기상 입력자료(유량, 수온, 일사량, 일조율)의 값으로 중심으로 10% 씩 상하로 변화시켰을 때의 민감도를 분석하였다. Chl-a는 민감도분석결과 Chl-a의 성장률과 동물성 플랑크톤의 섭식률에 의해 영향을 많이 받았다. 인은 Chl-a에 영향을 주었지만 질소는 거의 영향이 없었다. 기상자료의 민감도분석결과 유량, 수온, 일조율, 일사량의 순서로 민감하게 모의 되었다. WASP 모형에서 동물성 플랑크톤 개체수의 입력 유무에 따른 수질모의결과는 동물성 플랑크톤을 입력했을 때가 더 정확히 모의되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : WASP, 부영양화, 동물성 플랑크톤

1. 서 론

낙동강의 물은 부산을 비롯한 경남, 경북 유역 주민들의 생활·농업·공업용수로 사용되고 있다. 그러나 중·상류지역에 대구와 같은 대도시가 있고 각종 공업단지가 들어서 있기 때문에 하·폐수의 유입량이 증가함에 따라 하류지역의 수질이 1980년대 이후로 해마다 악화되고 있다. 낙동강 수질개선을 위하여 1986년도부터 대구지역에 하수처리시설을 충설하기 시작한 이후로 낙동강의 주오염원인 금호강의 수질이 1984년에 BOD가 111.0 mg/L이었던 것이 1989년도에는 47.0 mg/L, 1995년에는 8.7 mg/L로 현저히 개선되었다. 그러나 부산시의 상수원 취수장이 있는 하류 물금지역에서는 수질이 개선되지 않고 1994년 이후로는 오히려 수질이 점차로 악화되고 있다(김미숙 등, 2002). 물금의 경우 Chl-a의 농도가 연중 대부분 부영양화의 기준($10 \mu\text{g}/\text{L}$)보다 크게 나타내고 있다.

본 연구는 WASP 모형을 이용하여 낙동강 본류의 수질을 모의하였으며, 모의된 매개변수에 따른 민감도 분석을 하였다. 그리고 수질모의에서 동물성 플랑크톤 개체수와 섭식률을 입력하여 모의한 것과 Chl-a의 사멸률을 입력하여 모의한 것의 결과를 비교하였다.

* 정회원·부경대학교 토목공학과 석사과정 E-mail : ch6009@nate.com

** 정회원·부경대학교 건설공학부 교수 E-mail : peterlee@pknu.ac.kr

*** 부산대학교 생물학과 교수 E-mail : tschon@pusan.ac.kr

**** 부산대학교 생물학과 교수 E-mail : gjoo@pusan.ac.kr

2. 연구 내용

2.1 이론적 배경

WASP 모형은 지표수 내의 수질과 오염물의 반응, 유동을 모의하는 일반화된 다중의 모형구조를 갖는다. 이 모형은 동적이고 1, 2, 3차원 적용이 모두 가능하므로 하천과 호소의 경우에 모두 사용할 수 있다(한국수자원학회, 1999). 독성을 해석부분인 Toxicant는 유기화학 반응에 관한 동역학을 퇴적층과 그 상부의 물기동내에 용해되거나 흡착된 화합물의 농도를 예측하는 간단한 퇴적형 알고리즘과 결합시킨다. 용존산소/부영양화 해석부분인 Eutrophication은 용존산소, 탄소성 생화학적 산소요구량, 영양물질과 유기물질에 의해 영향을 받는 식물성 플랑크톤 동역학을 예측한다. 오염물 운송은 제시된 흐름조건이나 다른 동수역학 모형과 연계를 이용해 처리할 수 있다. Eutrophication 모형은 6가지 종류의 난이도에 따라 수질을 모의할 수 있다(Ambrose 등, 2004).

수체내의 용존물질에 대한 물질수지 방정식(mass balance equation)은 확산에 의한 효과, 이송에 의한 효과, 생화학적 변환, 외부로부터의 부하등을 고려한다.

2.2 WASP 모의

WASP 모형의 모의기간은 2003년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지이다. 모의시간 간격과 출력시간 간격은 1일이다. 모형의 보정기간은 2003년 1월 1일부터 2003년 12월 16일까지이며, 검증기간은 2003년 12월 16일부터 2005년 12월 31일까지이다. 모형에 사용된 수질 조사지점은 그림 1과 같이 낙동강 본류 7개 지점, 지류는 금호강, 황강, 남강, 밀양강을 포함하고 있다. 전체 수질모의 대상구간은 낙동강본류(왜관~낙동강 하구둑)와 지류인 금호강, 회천, 황강, 남강, 밀양강을 포함한 총 72 개이며 구간의 평균길이는 약 3.8 km이다.

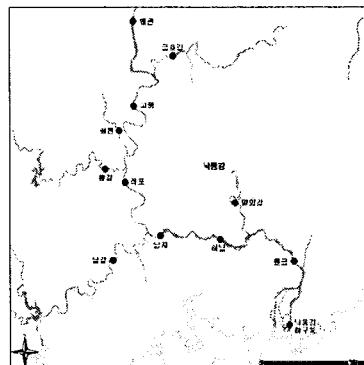


그림 1. 수질모의 조사지점

WASP모의에 사용되는 자료에는 수질, 수문, 기상자료가 있다. 수질자료는 부산발전연구원 낙동강연구센터에서 발행된 낙동강 조사월보(1998~2006년)와 부산대의 수질 측정자료가 사용되었다. 수문자료는 낙동강 조사월보의 유량과 수문조사연보의 수위자료를 사용하여 수위-유량 곡선식을 산정하였다. 기상자료는 부산지방 기상청의 일사량, 일조율과 부산대의 수온 측정자료가 사용되었다.

입력되는 수질변수는 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, Chl-a, CBOD, DO, Organic-N, Organic-P가 있다. 입력되는 수리학적 계수는 대상 하천의 유량, 유속 및 수심자료를 회귀분석하여 구하게 되는데 이러한 수리자료는 실측자료를 이용하거나 수리모형을 이용하여 구한다. 본 대상구간에서는 수질 모의에 필요한 수리학적 계수인 유속-유량, 수심-유량의 관계상수 및 지수를 구하기 위해 HEC-RAS 모형을 이용하였다.

보통 국내외에서 WASP 모형의 모의는 동물성 플랑크톤이 입력자료에 사용되지 않고 있으며, 식물성 플랑크톤 매개변수에서 식물성 플랑크톤의 사멸률이 입력된다(이석호, 2002; 최재훈 등, 2003; Tufford와 McKellar, 1999). 그러나 본 연구에서는 실제 관측된 Chl-a를 적절히 모의하기 위하여 동물성 플랑크톤의 섭식률과 개체수를 입력하였다. 입력된 동물성 플랑크톤의 세부 종으로는 윤충류의 brachionus angularis, keratella cochlearis, polyarthra spp, 지각류의 bosmina deitersi, bosmina longirostris, 요각류의 cyclops copepodids가 있다(Kim 등, 1999).

2.3 민감도 분석

매개변수들의 민감도를 확인하기 위하여 보정 시 입력된 값을 중심으로 10 %씩 상하로 변화시켰다. 민감도 분석 지점은 물금이며 대상은 Chl-a이고, 민감성은 민감도 계수로써 나타냈다. 민감도 계수에 사용된 식은 아래와 같으며 민감도 계수가 클수록 관련 매개변수에 대해 민감하다고 할 수 있다.

$$\text{민감도 계수} (\%) = \left(\frac{\text{매개변수 변화에 의한 결과} - \text{매개변수 추정의 결과}}{\text{매개변수 추정의 결과}} \right) \times 100$$

여러 입력변수 중 조류의 특성을 파악할 수 있는 상수, 시간 함수의 매개변수에 대해 민감도 분석을 하였다. 민감도 분석에 사용된 상수는 Chl-a 성장률, 동물성 플랑크톤 섭식률, 유기인 반포화상수, 인변화율, 질소 변화율이 있으며, 시간 함수는 유량, 수온, 일사량, 일조율이 있다.

표 1은 보정 시 입력된 값을 중심으로 10 %씩 상하로 변화시켰을 때 민감도 분석의 결과를 년 평균하여 사용된 매개변수의 민감도를 나타내었다. 그림 2, 3은 표 1에서 나타낸 매개변수의 민감도를 나타낸 그래프이다. 민감도 분석의 결과 상수는 Chl-a, 유기인 반포화상수, 동물성 플랑크톤 섭식률, 인 변화율, 질소 변화율의 순서로 민감하였으며 질소 변화율의 경우는 변화가 나타나지 않았다. 시간 함수의 경우는 유량, 수온, 일조율, 일사량의 순서로 민감하게 반응하였다.

표 1. 모형에 사용된 매개변수의 민감도

매개 변수	Chl-a 성장률	동물성 플랑크톤 섭식률	유기인 반포화 상수	인 변화율	질소 변화율	유량	수온	일조율	일사량
10 % 증가	-14.2	-0.74	-1.72	-0.07	0.00	-14.59	7.39	9.66	3.44
10 % 감소	-12.94	0.77	1.81	0.07	0.00	4.27	-6.46	-9.86	-4.12

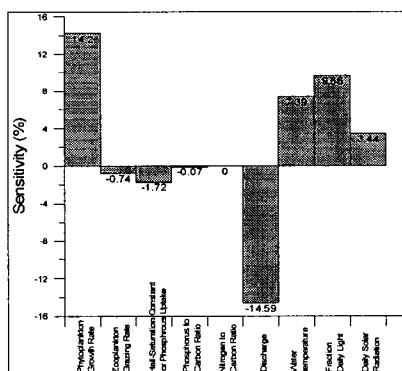


그림 2. 매개변수의 10 %
증가에 따른 Chl-a의 변화(%)

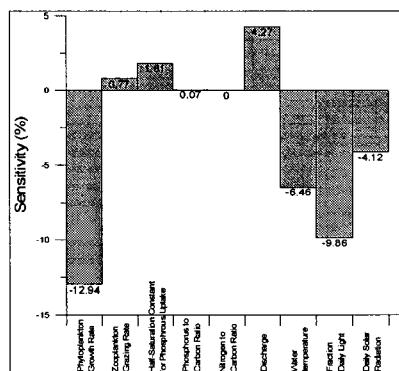


그림 3. 매개변수의 10 %
감소에 따른 Chl-a의 변화(%)

3. 수질모의 결과

WASP 모형의 수행 결과 물금지역의 관측값과 모의값을 비교한 결과는 그림 4과 같다. 모형의 보정에서는 $\text{NO}_3\text{-N}$, CBOD, DO, Organic-N, Total-N, Chl-a가 상관계수가 크게 모의되었고, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, Organic-P, Total-P는 상관계수가 작게 모의되었다. 특히 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 페놀을 이용하여 측정하기 때문에 측정 시 많은 오차가 발생할 수 있다. 그러므로 관측값의 신뢰도가 낮다고 할 수 있다. 모형의 검증에서는 Chl-a, BOD, Organic-N은 보정의

결과보다 상관계수가 적게 나타났다. DO, Organic-P, Total-P는 검증의 결과가 보정의 결과보다 상관계수가 크게 나타났으며, 검증의 결과가 보정 보다 정확히 모의되었음을 나타낸다. 그리고 NH4-N, NO3-N, POP4, Total-N은 보정의 결과와 상관계수가 비슷하게 모의되었다.

보통 국·내외의 WASP 모의는 보정 및 검증 과정에서 Chl-a의 사멸률이 입력된다. 이를 참조하여 본 연구에서는 동물성 플랑크톤 개체수와 섭식률을 입력하여 비교하였다. 그림 5는 동물성 플랑크톤 개체수와 동물성 플랑크톤의 섭식률을 입력하여 물금지역의 Chl-a 농도를 나타낸 것이며, 그림 6는 Chl-a의 사멸률을 입력하여 물금지역의 Chl-a 농도를 나타낸 것이다. 모형의 보정에서는 Chl-a의 농도가 비슷하게 모의되었지만, 모형의 검증에서는 Chl-a의 사멸률이 입력되었을 때 Chl-a의 농도가 두 배 이상 크게 나타났다. WASP 모의에서 동물성 플랑크톤의 개체수와 섭식률을 입력했을 때는 상관계수가 0.388이었지만, Chl-a의 사멸률을 입력했을 때는 상관계수가 0.143이었다. Chl-a의 사멸률을 입력했을 때 보다 동물성 플랑크톤 개체수와 섭식률을 입력했을 때가 더 정확하게 모의되는 것으로 나타났다.

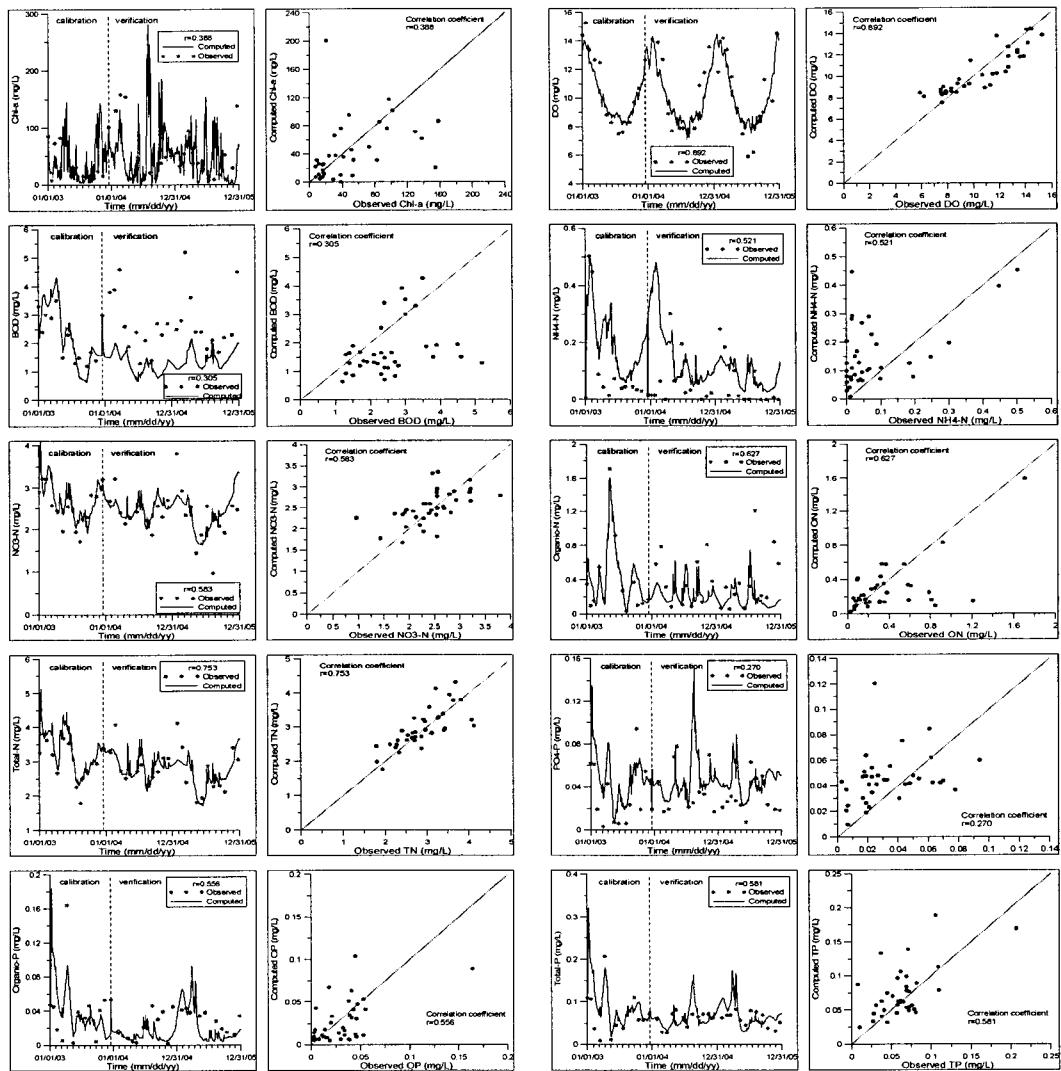


그림 4. 모형 보정과 검증의 비교

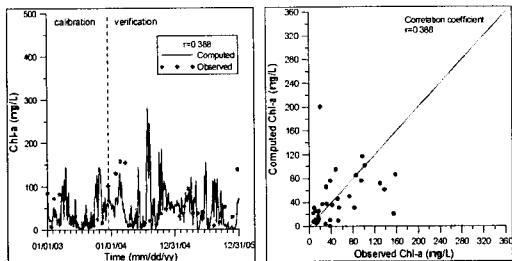


그림 5. 동물성 플랑크톤 개체수를
입력했을 때

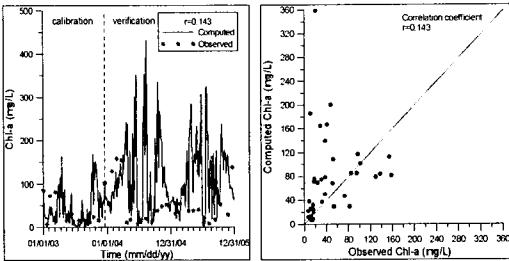


그림 6. 동물성 플랑크톤 개체수를
입력하지 않았을 때

감사의 글

본 연구는 2006년도 낙동강수계 환경기초조사사업인 ‘생태모형의 주요 변수 추출 및 생물 분류군의 관계 해석과 장·단기 예측에 관한 연구’에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 김미숙, 정영륜, 서의훈, 송원섭 (2002). 낙동강 부영양화와 수질환경요인의 통계적 분석, 학국조류학회 학회지, Vol 17(2), pp. 105 ~ 115.
2. 이석호 (2002). WASP5를 이용한 담수호의 수질거동 특성 연구, 석사학위논문, 건국대학교.
3. 최재훈, 서동일, 김동섭, 이해근 (2003). EUTRO5를 이용한 시화호의 수질모의 추가검증 및 민감도분석, 대한환경공학회 춘계 학술 연구발표회 논문집, pp. 668 ~ 671.
4. 한국수자원학회 (1999). 제7회 수공학 월샵 교재.
5. Ambrose, R.B., Martin, J.L., and Comer, E.A. (2004). Water Quility Analysis Simulation Program WASP 6.0, US EPA.
6. Tufford, D.L., and McKellar, H.N. (1999). Spatial and temporal hydrodynamic and water quality modeling analysis of a large reservoir on the south Carolina, Ecological Modeling, Vol 114, pp. 137 ~ 173.
7. Kim, H.W., Hwang, S.J., and Joo, G.J. (1999). Grazing Rates of Rotifers and Their Contribution to Community Grazing in the Nakdong River, Korean J. Ecol., Vol 22(6), pp. 337 ~ 342.