

유역 모형과 하천 수질 모형의 연계 적용에 관한 연구

A Study of modeling using linkage of Watershed Model and river water quality model

한건연*, 황보 현**, 박태원***, 김지은****

Kun Yeun Han, Hyun Hwang-bo, Dong Il Kim, Ji Eun Kim

요 지

도시화, 산업화의 진전으로 토지개발이 가속화되고 대지, 도로, 주차장 등 불투수층 면적이 늘어남에 따라 비점오염원에 의한 하천, 호소의 수질영향도가 커지고 있다. 특히 낙동강유역에서의 오염원관리, 특히 비점오염원의 정량화는 삭감시설의 삭감량 평가 및 배출오염원 평가에 더욱 절실한 문제로 부각되고 있다. 삭감시설의 삭감량 평가 시에는 실험실 규모로 이상적인 유량 상태를 가정하여 삭감효율을 산정하고 있으나 자연강우에 의하여 나타나는 삭감효율 평가는 이상적인 유량 평가 해석시와는 사뭇 다른 경향을 나타낸다. 또한 유역 말단 지점에서의 3년 평균 수질이 목표수질을 상회하였을 경우 오염총량 기본계획 지역에서 오염총량 이행평가 지역으로 포함시켜 오염부하량 관리를 실시하고 있다. 그러나 배출부하량과 수질의 연계가 쉽지 않고, 그 원인이 되는 지역 및 시기를 찾아 특별 관리하는 것이 난해하여 하천 수질 관리가 어려운 실정이다. 이러한 이유로 인하여 최근 비점오염원 영향의 심각성에 대한 인식이 커지고 있으며, 점오염원의 관리뿐만 아니라 비점오염원 관리의 필요성이 대두됨에 따라 두 오염원 형태를 통합적으로 관리하고 각각의 오염원에 의한 수질 영향에 관심과 필요성이 강조되고 있다. 또한, 최근까지 유역 모델과 수질 모형을 이용해 각각의 유역이나 하천에 적용하고, 수행한 예는 국내와 국외에 많이 있다. 하지만 수량과 수질을 함께 통합적으로 연계하고, 그 적용성을 평가한 연구는 그 수가 상대적으로 적다. 하지만, 최근 들어 수질의 통합하천관리의 중요성을 인식하고 각각의 모형의 장단점을 고려하여 다양한 모형들을 연계하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 이러한 통합적 수질관리의 필요성 증대에 따라, 유역 내 수문 순환 및 비점오염원의 발생 거동을 정량적으로 분석할 수 있는 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 통해 비점오염원으로 인한 유역 내 수질 영향을 파악하고, 이를 바탕으로 QUALKO 모형과 연계하여 하천 수질 모델링을 수행할 것이다. 또한, 이를 바탕으로 비점오염원에 의한 유역 내 하천 수질 영향도를 파악함으로써, 추후 비점오염원에 대한 인식 제고에 활용될 것이며, 모니터링 기법 및 GIS기반 유역관리모델 개발, 4대강 비점오염원 최적관리기법 연구 등에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 점오염원, 비점오염원, 유역모델, 수질모형, SWAT, QUALKO

* 정희원 · 경북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : kshanj@knu.ac.kr

** 경북대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : ghkdqj0@nate.com

*** 경북대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : parktw8479@hanmail.net

**** 경북대학교 토목공학과 공학석사 · E-mail : je_kim@knu.ac.kr

1. 서론

도시화, 산업화의 진전으로 토지개발이 가속화되고 대지, 도로, 주차장 등 불투수층 면적이 늘어남에 따라 비점오염원에 의한 하천, 호소의 수질영향도가 커지고 있다. 특히 낙동강유역에서의 오염원관리, 특히 비점오염원의 정량화는 삭감시설의 삭감량 평가 및 배출오염원 평가에 더욱 절실한 문제로 부각되고 있다. 삭감시설의 삭감량 평가 시에는 실험실 규모로 이상적인 유량 상태를 가정하여 삭감효율을 산정하고 있으나 자연강우에 의하여 나타나는 삭감효율 평가는 이상적인 유량 평가 해석시와는 사뭇 다른 경향을 나타낸다. 또한 유역 말단 지점에서의 3년 평균 수질이 목표수질을 상회하였을 경우 오염총량 기본계획 지역에서 오염총량 이행평가 지역으로 포함시켜 오염부하량 관리를 실시하고 있다. 그러나 배출부하량과 수질의 연계가 쉽지 않고, 그 원인이 되는 지역 및 시기를 찾아 특별 관리하는 것이 난해하여 하천 수질 관리가 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 낙동강 유역에서의 비점오염원과 점오염원을 동시에 고려하여 모델링하기 위한 방안 및 방법론을 제시하고 있다.

2. 수질모형의 선정

2.1 QUALKO 하천 모형

2001년 QUAL2E 모델에 조류생산 및 사멸에 의한 내부생산 유기물 증가를 고려하고 조류사멸/호흡에 따른 인과 질소 배출물의 존재형태를 세분화하고, Bottle BOD 개념을 도입하여 보다 정확한 수질예측을 하고자 했던 모델로 QUALKO는 전 대상 수역을 크게 n개의 구간(reach)으로 나누고, 각 구간 내부를 소구간 요소(element)로 다시 나누어 농도를 소 구간별로 계산하는 방법을 이용하고 있다.

2.2 SWAT 모형의 이론적 검토

SWAT는 시간 간격을 1일로 하여 모의하는 개념적 모형이다. 큰 미계측 유역에서 물, 유사, 화학물질들의 관리 효과를 예측하기 개발된 모형이다. 명령어 구조는 유역을 통과하는 유출과 화학물질을 추적하기 위해 그림 1과 같은 구조를 띠고 있다. 하도와 저수지를 통과하는 유량 추적, 부가적인 유량의 추가, 관측자료의 입력등에 대한 명령어가 존재하며 추적 명령어 언어를 이용하여 격자 및 소유역으로 나누어 유역을 모의하게 된다. 소유역 성분은 수문학, 기상, 유사, 토양 온도, 작물 성장, 영양물질, 농약, 농업 경영과 같이 여덟 개의 항목으로 구분될 수 있다.

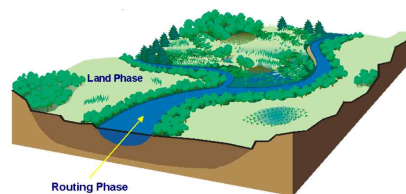


그림 1. SWAT의 유역 시스템

3. 실제유역에 대한 적용

3.1 대상 유역의 선정

본 연구를 통해 수질유역모형과 수질하천모형을 실제유역에 대해 연계 적용하여 보았다. 대상 유역의 선정은 낙동강 단위유역을 유역 모형화하였을 때 흐름이나 오염물 이송이 왜곡되지 않는 범위에서 단위유역 한 곳을 지정하여 선정하였고, 대상유역은 낙동강수계 총량관리단위유역 중 밀양 A단위유역과 밀양 B 단위유역으로 이루어진 밀양강유역이다.

낙동강 유역에서의 비점오염원에 의한 유량 및 수질 자료가 관측이 수행되고 있다면 점오염원에 의한 부하량을 고려할 필요가 없는 상황이다. 그러나 비점오염원에 의한 자료가 관측 되는 것이 불가능하기 때문에 간접적으로 하천수질과 연계하여 하천 수질 관측 자료와 검·보정을 수행하였다. 이를 위해서는 점오염원의 자료가 비교적 정확한 지역을 선정하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 점오염원의 입력의 불확실성이 적은 지점을 기준으로 하여 적용하였다.



그림 2. 밀양A 단위유역 현황도



그림 3. 밀양B 단위유역 현황도

4. 적용결과의 검토

4.1 유역 모의 결과의 검토

본 연구에서는 비점오염원을 정량화하고 이를 하천모형에 연계 적용 방안을 검토하였다. 유역 모형 SWAT(Soil and Water Assessment Tools)을 이용하여 비점오염원 모형화를 수행하였고, 그 결과 유역모형과 하천 모형의 연계로 인한 보다 정량화되고 신뢰도 높은 점 및 비점오염원에 의한 수질을 구할 수 있음을 확인하였다. 본 절에서는 앞서 언급된 결과들을 종합적으로 정리하고 모형 수행의 적합도를 몇가지 모형수행 적합도 산정 방법에 의해 정리하고자 한다.

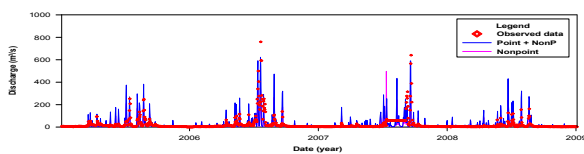


그림 4. 대상 유역 유량 모의 결과

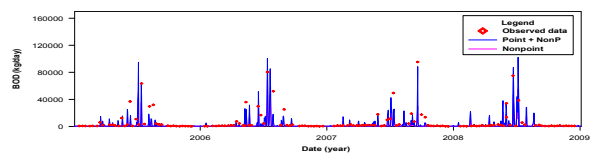


그림 5. 대상 유역 BOD 모의 결과(발생부하량)

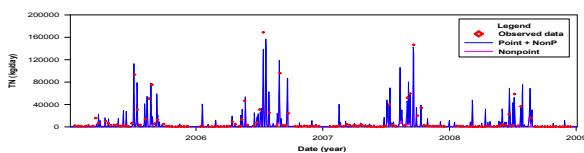


그림 6. 대상 유역 T-N 모의 결과(발생부하량)

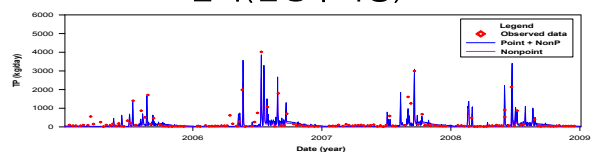


그림 7. 대상 유역 T-P 모의 결과(발생부하량)

먼저, 그림 8에서 그림 11은 본 연구에서 수행한 모의 결과의 적합도를 판정하기 위해서 관측

결과에 대한 모형 결과를 도시한 그림이다. 밀양강 유역 말단지점의 실측치와 모의치의 상관계수는 다음에서 보는 바와 같다. 그림 8는 유량의 산점도를 나타내며 대부분 실측치와 상관도가 큰 것으로 나왔고, BOD의 경우 그림 9에서 보는 바와 같이 상관계수 0.60으로 나타났다. T-N과 T-P의 경우 각각 그림 10과 그림 11로 나타나고 있다.

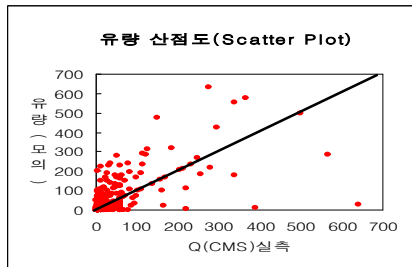


그림 8. 유량 검증

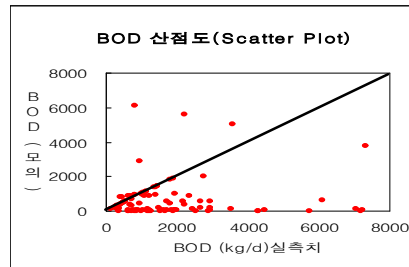


그림 9. BOD 검증

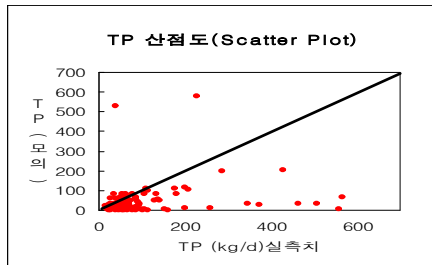


그림 10. T-P 검증

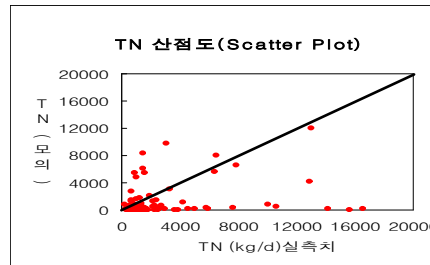


그림 11. T-N 검증

4.2 하천 모의 결과의 검토

하천 모의는 BOD, T-N, T-P 세 개의 수질 항목을 대상으로 실시되었다. 모의 결과 비점오염원 농도를 점오염원과 함께 입력하였을 때, BOD의 경우 10.646%, T-N의 경우 2.728%, T-P의 경우 7.317%의 농도 증가를 나타냈다. 하천 모의 시 입력 유량에 따라 민감하게 농도 변화를 보였고, 본 결과는 모의 기간 저수기의 수질 평균 농도를 이용하여 모의가 수행될 수 있었다. 하지만, 하천 모의 검증 시 실측치보다 조금 높게 모의된 구간이 발생하였는데, 이는 실측치와 하천 모델 입력 시 들어가는 수치들이 평균값들을 취함에 있어 발생하는 오차와 선형모델 과정에서 발생한 오차의 영향으로 사료되며, 각 구간별 자세한 수리 수문 자료와 오염원 자료의 측정치에서 발생한 오차라고 판단된다. 따라서 좀 더 신뢰도 높은 측정 자료와 유역 모의 결과를 활용한다면 더욱 정확한 예측이 이루어질 수 있을 것이다.

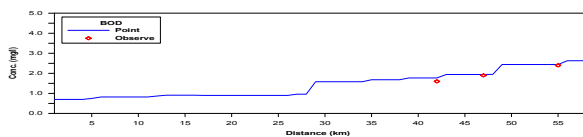


그림 3.60 QUALKO 모델의 BOD 검증

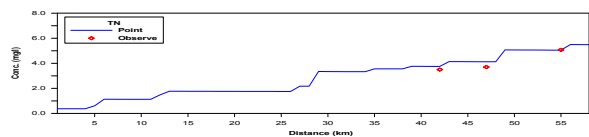


그림 3.61 QUALKO 모델의 T-N 검증

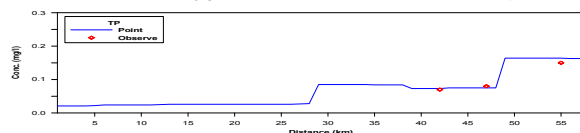


그림 3.62 QUALKO 모델의 T-P 검증

4.3 연계 적용성 검토

적절한 총량규제를 위해서는 점 오염원의 관리에 앞서 비점오염원 양에 대한 고려가 필요하다. 최근 하폐수 처리 시설을 증가함에도 불구하고, 수질에서는 더 이상의 개선이 없는 근본적인 원인이 비점오염원 문제라고 하겠다. 하지만, 현재 수질오염총량에서는 대부분의 점오염원 요소들을 이용하여 하천 수질을 예측하고 있고, 비점오염원의 정량화가 이루어지지 않은 것이 현실이다. 이에 유역 모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)과 하천 모형 QUALKO를 이용하여 비점오염원을 고려했을 때 하천 수질의 영향도를 파악할 수 있었다. 모의에서는 유역 모델에서 예측한 소유역별 비점오염 부하량을 하천 모델에 입력하였다. 유역 모델의 2개의 단위 소유역 각각의 비점오염 부하량을 각 구획(Segment)로 등분포화시켜 나누고, BOD, T-N, T-P 세 가지 수질 항목을 대상으로 대상 수체의 변화를 모의하였다. 모의 적용 결과, 유역 모델과 수질 모델이 전반적으로 대상 유역의 수문, 수질 경향을 잘 모의함을 보였다.

5. 결 론

본 연구에서는 유역 수질 모형인 SWAT을 이용하여 낙동강 유역의 비점오염원의 영향을 분석한 후, 이를 오염총량 모형인 QUALKO 모형에 적용하였다. SWAT(Soil and Water Assessment Tool)의 경우 많은 점오염원을 다 반영할 수 없고, QUALKO의 경우 비점오염원 영향의 고려에 있어서 정량화된 비점오염원 값을 넣기 힘들었다. 이러한 문제점을 두 가지 모형의 장점을 연계함으로써 두 모형의 한계점을 극복할 수 있었다. 유역 모델에서 예측한 소유역별 비점오염 부하량은 수질 모델에 입력하였고, 적용 결과 비점오염원에 의한 부하량이 강우에 따른 유출현상에 영향을 많이 받는 것으로 확인되었다. 그리고 하천 모형에서 수질은 유역모델에서 수행한 비점오염원 부하량의 저수기 평균 값을 사용하여 모의가 수행되었고, 농도에 있어서 대략 5~10% 정도의 변화를 보였다. 하천 모형과 수질 모형의 연계 과정에서 좀 더 신뢰도 높은 측정 자료와 유역 모의 결과를 활용한다면 더욱 정확한 예측이 이루어질 수 있을 것이며, 본 연구에서 확인된 연계 적용성을 기반으로 여러 물 관리 방안들을 평가하고 도출하는 시스템에 효과적으로 활용할 수 있을 것이라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 BK21 사업에 의하여 지원되었습니다.

참고 문헌

1. 국립환경과학원(2004). “수계오염총량관리기술지침.”
2. 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 (2009). “ 수질오염총량관리를 위한 낙동강수계 목표수질측정망 운영결과 보고서”
3. 낙동강수계관리위원회 (2005). “낙동강수계 오염총량관리 기본계획”
4. 환경부 (2006). “물환경관리기본계획”
5. Neitsch, S.L., Arnold, J.R., Kiniry, J.R., and Williams J.R. (2002). "Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation."
6. USEPA (1995). "Technical Guidance Manual for Developing Total Maximum Daily Loads."