

SWAT HRU 단위 지하수 함양량 및 질산성 질소의 정확한 산정을 위한 SWAT HRU Mapping module 개발 및 적용

Development and Application of the SWAT HRU Mapping Module for Accurate Estimation of Groundwater Recharge and NO₃-N of Each HRU in the SWAT Model

류지철*, 문유리**, 김익재***, 임경재****
Jichul Ryu, Yuri Mun, Ik Jae Kim, kyung Jea Lim

요 지

비점오염원에 의한 수질오염은 지표수 오염과 지하수 오염으로 분리될 수 있는데 보통 지하수는 지표수에 비하여 수질이 양호하다고 여겨지만 오염된 하천 주위의 지하수 오염이 심각할 수 있다. 이러한 지하수에 의한 오염원을 산정하고 분석하기 위해 여러 가지 수문관련 공식이나, HSPF, MODFLOW, SWAT 모형 등이 사용되고 있는데 이 중, SWAT 모형은 다양한 작물 및 재배방법이 지표수 및 지하수 수질에 미치는 영향을 유역단위로 평가가 가능하여 국내 외에서 널리 활용되고 있다. SWAT 모형은 소유역별 수문학적 반응단위인 HRU를 이용하여 유역 내 수문 및 수질을 평가하는데 소유역내 HRU의 공간적인 정보를 고려하지 않는 준 분포형 모형으로 다양한 영농방법이 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 공간적으로 분석 하는데는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 SWAT 모형의 단점을 개선하여 공간적으로 분석할 수 있는 SWAT HRU Mapping module을 개발하였고 강원도 평창군 대관령면 황계2리 지역에 적용하여 지하수 함양량 및 대수층 유입 NO₃-N 부하량 및 농도를 분석하였다. 적용결과, 황계2리 유역의 2006년 대수층 유입 NO₃-N 부하량 및 농도를 비교하면 일반적으로 농경지에서의 대수층 유입 NO₃-N 부하량이 큰 것으로 나타났고, 대부분 농경지에서 대수층으로 유입되는 NO₃-N의 농도가 산림에 비해서 상당히 높은 것으로 분석되었으며 2007년의 결과도 비슷한 경향이 나타났다. 본 연구의 결과에서와 같이 같은 밭이라 하더라도 재배되는 작물의 종류 및 시비량 등에 따라 대수층으로 유입되는 오염부하에는 상당한 영향이 있을 수 있으며, 또한 재배 작물과 토양 특성에 따라 NO₃-N이 대수층으로 유입될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 개발된 HRU Mapping Module은 유역에서의 수질 개선시 기저유출을 통한 오염원의 시공간적 분석을 하는데 매우 유용하게 활용될 수 있으리라 판단된다.

핵심용어 : 비점오염원, 지하수, 질산성 질소, SWAT HRU Mapping Module

1. 서론

최근 농촌지역에서 배출되는 비점오염 물질량의 정확한 기작은 정확한 분석이 되지 않고 있으며 특히 비료, 농약의 사용증가에 따른 영양염류 및 유해물질의 증가와 이로 인한 수질악화가 갈수록 문제가 되고 있다. 또한 고랭지 농업지역에서의 비점오염원에 대한 심각성이 날이 갈수록 대두 되고 있으며, 이를 위해 여러 환경 단체 및 정부는 다양한 최적 관리 기법에 관한 연구 및 대책을 세우고 있다. 하지만 상당 부분 직접유출에 의한 비점오염 발생 및 이동을 줄이기 위한 연구에 집중되어 있다.

* 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : swatremm@gmail.com
** 준회원 · 한국환경정책평가연구원 · E-mail : yrmun@kei.re.kr
*** 준회원 · 한국환경정책평가연구원 · E-mail : ijkim@kei.re.kr
**** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : kjlim@kangwon.ac.kr

비점오염원에 의한 수질오염은 지표수 오염과 지하수 오염으로 분리될 수 있는데 보통 지하수는 지표수에 비하여 수질이 양호하다고 여겨지만 오염된 하천 주위의 지하수 오염이 심각할 수 있다. 이러한 지하수에 의한 오염원을 산정하고 분석하기 위해 여러 가지 수문관련 공식이나, HSPF, MODFLOW, SWAT 모형 등이 사용되고 있다. 이 중, SWAT 모형은 다양한 작물 및 재배방법이 지표수 및 지하수 수질에 미치는 영향을 유역단위로 평가가 가능하여 국내외에서 널리 활용되고 있다(김등, 2009; 장등, 2010). SWAT 모형은 소유역별 수문학적 반응단위인 HRU(Hydrologic Response Unit)를 이용하여 유역 내 수문 및 수질을 평가하는데 소유역내 HRU의 공간적인 정보를 고려하지 않는 준분포형 모형으로 다양한 영농 방법이 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 공간적으로 분석하는데는 한계가 있다(Arnold, 1992).

따라서 본 연구의 목표는 1) SWAT HRU별 모의결과를 공간적으로 표출할 수 있도록 HRU 맵핑 모듈을 개발하는데 있으며, 2) 이를 고랭지 농업이 성행하고 있는 강원도 평창군 대관령면 횡계2리 유역에 적용하여 지하수로 이동하는 오염원의 특성을 분석하는데 있다.

2. 연구 방법

2.1 SWAT HRU Mapping Module 개발

SWAT HRU Mapping Module은 SWAT에서 계산되는 모의 값을 HRU 맵에 표출할 수 있는 프로그램으로 본 연구에서는 그림 1. 와 같은 순서로 개발하였다.

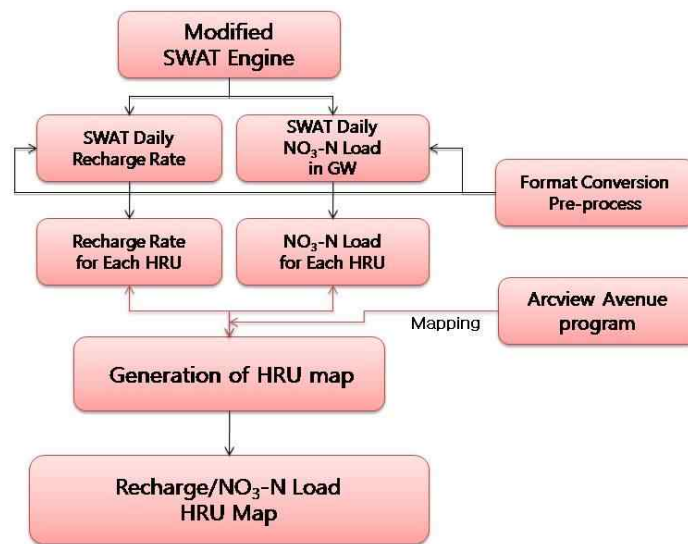


그림 1. Overview of SWAT HRU Mapping Module

2.2 SWAT HRU Mapping Module 의 입력자료 구축

본 연구에서 개발한 SWAT HRU Mapping Module을 연구유역에 적용하기 위해 기상청에서 제공하는 대관령 일단위 기상자료와, 토양 속성은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 제공하는 정밀토양도(1:25000)와 ArcView Gis 프로그램을 이용하여 1:5000 수치지도를 이용하여 5m x 5m DEM을 구축하여 적용 하였다. 또한 연구 유역 내 재배작물 및 시비현황은 National Institute of Highland Agriculture에서 제공한 영농자료와 방문조사(Ahn, 2007)를 통해 얻은 조사 자료를 활용 하였다.

2.3 SWAT HRU Mapping Module 의 적용

횡계2리 유역의 지하수 함양량 및 대수층 유입 오염 부하량을 HRU별 공간적인 맵을 나타내고 분석하

기 위해 본 연구에서 개발한 SWAT HRU Mapping Module을 황계2리 유역에 적용하였다. 황계2리 유역의 지하수 함양량 및 대수층 유입 오염부하량 HRU 맵을 나타내기 위해서 먼저 HRU 맵을 생성해야 하고 SWAT 모형의 결과를 HRU 맵에 연계해야 한다. 이러한 일련의 과정은 본 연구에서 개발된 SWAT HRU Mapping Module을 적용하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 개발된 SWAT HRU Mapping Module 결과

그림 2. 는 본 연구에서 개발된 SWAT HRU Mapping Module을 나타낸다. 그림에서 보이는 바와 같이 SWAT HRU Mapping Module은 SWAT 엔진 수정을 통해 생성되는 전체 유역에 대한 HRU 모의 결과값과, 이를 소유역별 HRU 별 모의값으로 변환해 주는 전처리 프로세서, HRU 맵과 변환된 HRU 모의치를 연계해주는 Avenue 프로그램으로 구성되어 있다.

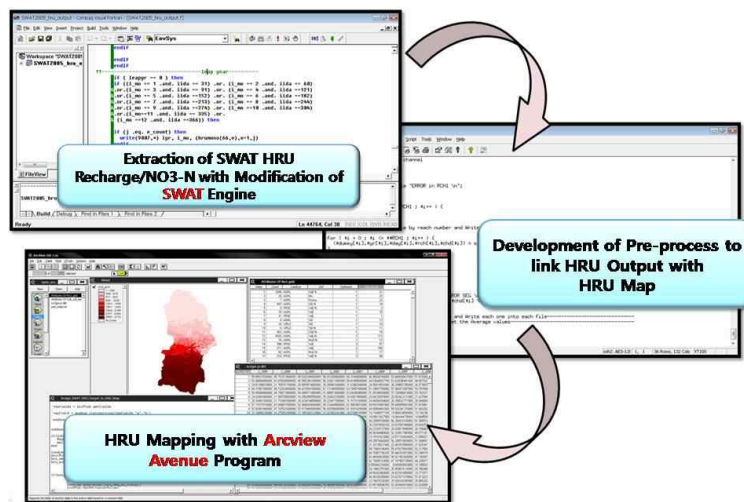


그림 2. SWAT HRU Mapping Module

3.2 황계2리 소유역의 NO₃-N 실측치 및 예측치 비교

그림 3. 은 황계2리 유역의 전체 모의 기간 중 2006년 4월 22일부터 2006년 7월 29일까지의 실측 일별 NO₃-N 농도와 SWAT 모의 일별 NO₃-N 농도 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 유역내 유출량 자료가 없어서 수문 컴포넌트 평가를 수행하지 못하여서, 일단위로 황계2리 유역에서의 정확한 NO₃-N 농도를 산정하는데 많은 어려움이 있다. 또한 본 연구에서는 각 작물별 시비량 자료 및 재배방법을 모형의 입력자료로 활용하여 SWAT 모형 예측치를 분석하였지만 계분 퇴비의 부숙화 정도에 따라 퇴비내 영양물질의 차이가 상당히 클 수 있고, 대상유역 내 토양의 영양염류 함유량 자료 부재 등 이로 인해 예측치에 많은 영향을 미칠 수도 있다. 또한 이외에도 모형이 고려할 수 없는 많은 불확실성이 내재되어 있어 정확한 모의가 불가능 하지만 일반적인 수질 경향은 잘 예측하는 것으로 분석되었다.

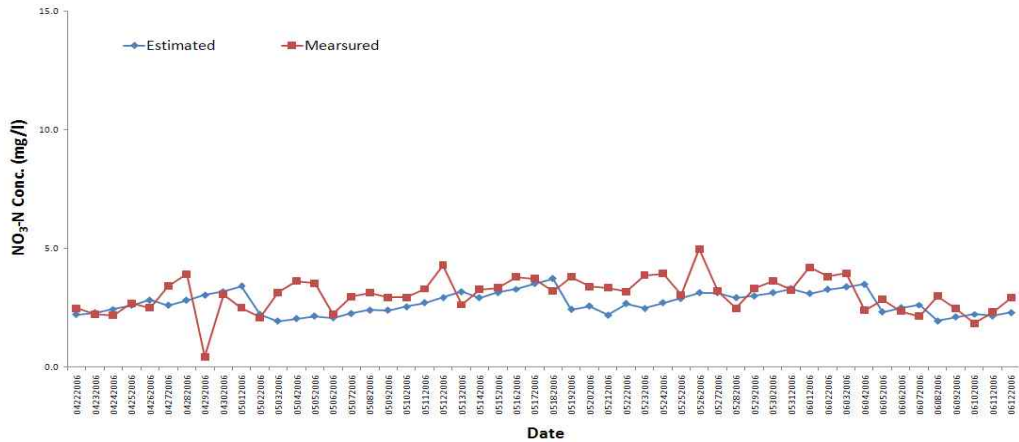


그림 3. Result of Simulated NO₃-N Concentration in Hoenggye2-ri

3.3 SWAT HRU별 지하수 함양량 산정

그림 4. 와 그림 10. 은 본 연구에서 개발한 SWAT HRU Mapping Module을 적용하여 2006년과 2007년 황계2리 소유역 지하수 함양량을 공간적으로 나타내는 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 황계2리 유역내 토지이용도/토양도와 지하수 함양지도와 비슷한 경향을 보이고 있는데 이는 유역 내 토지이용 및 토양 특성이 지하수 함양에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 2007년도 지하수 함양량이 2006년도 지하수 함양에 비하여 적었는데 이는 연강수량의 차이 (2006년 연강수량 2113.5 mm, 2007년 연강수량 1401.1 mm) 에 의한 것으로 분석 되었다.

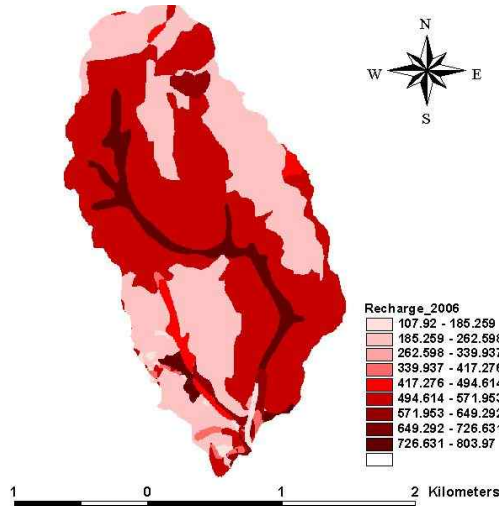


그림 4. Recharge Rate (mm/yr) in 2006

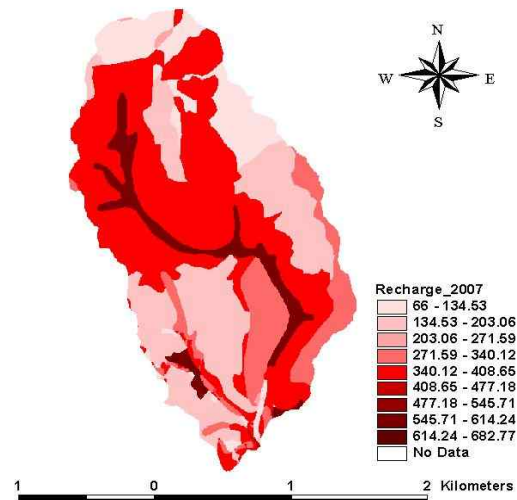


그림 5. Recharge Rate (mm/yr) in 2007

3.4 SWAT HRU별 대수층 유입 오염 부하량 산정

본 연구에서 개발한 SWAT HRU Mapping Module을 이용하여 황계2리 유역의 대수층 유입 오염부하량을 산정 하였다. 그림 6. 과 그림 7. 은 2006년과 2007년의 NO₃-N 대수층 유입량 (kg/ha/yr)을 공간적으로 나타내는 그림이다. 황계2리 유역의 대수층 유입 오염부하량은 지하수 함양량 예측경향과 비슷하지만 황계2리 유역의 농경지가 많이 분포되어 있는 곳은 다른 지역에 비해 오염부하량이 크게 나타났다.

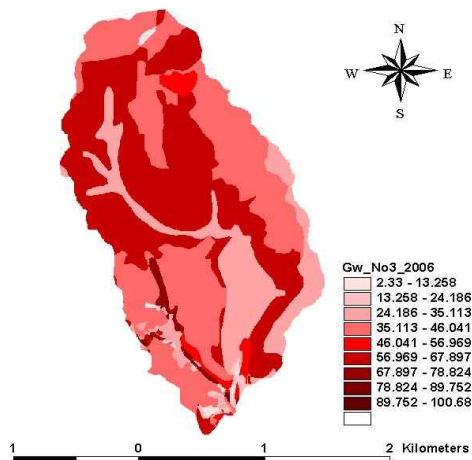


그림 6. HRU NO₃-N Load (kg/ha/yr) in Groundwater Flow in 2006

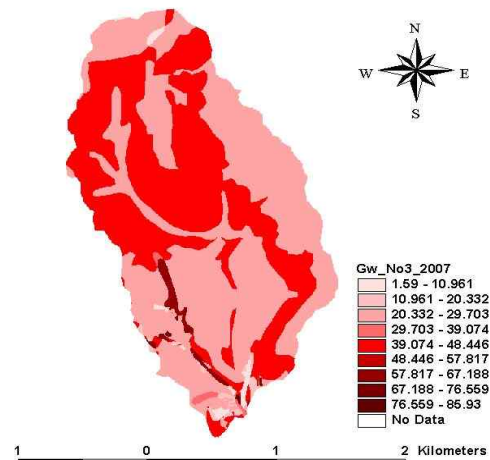


그림 5. HRU NO₃-N Load (kg/ha/yr) in Groundwater Flow in 2007

4. 결론

- 1) 본 연구에서 결과로 제시한 HRU 맵은 지하수 함양량과 대수층 오염부하 특성을 시간적/공간적으로 평가하는데 활용될 수 있다.
- 2) 본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 같은 밭이라 하더라도 재배되는 작물의 종류 및 시비량 등에 따라 대수층으로 유입되는 오염부하에는 상당한 영향이 있을 수 있으며, 또한 재배 작물과 토양 특성에 따라 상당량의 NO₃-N 가 대수층으로 유입될 것으로 판단된다.
- 3) 비록 모형의 보정 및 검증 작업이 수행되지 않았기 때문에 불확실성이 존재하지만 본 연구에서 개발된 SWAT HRU Mapping Module을 이용하여 유역내 지하수 함양량 및 대수층 유입 비점오염부의 공간적 특성 분포를 고려하여 모형을 평가한다면 다양한 지하수 오염 저감 대책을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Arnold, J. G. (1992). Spatial scale variability in model development and parameterization. *Ph.D. Dissertation*, Purdue University, West Lafayette, IN.
2. Ahn, J. H., 2007. The development of evaluation system of non point pollution based on the Geographic Information System(GIS) in Alpine area, 472-534. National Institute of Highland Agriculture
3. 김남원, 정일문, 유상연, 이정우, 양성기(2009). 제주 지역 지표수-지하수 연계 해석, *한국환경과학회지*, 제18권 제9호, pp. 1017-1026.
4. 장원석, 박윤식, 김종건, 김남원, 최중대, 옥용식, 양재의, 임경재(2010). 농경지에서 발생하는 토양유실의 정확한 산정을 위한 SWAT DWDM 개발. *한국농공학회지*, 제52권 제1호, pp. 79-88.