



Soil and Water Assessment Tool (SWAT) 모델의 조류 모듈 성능 개선 방안

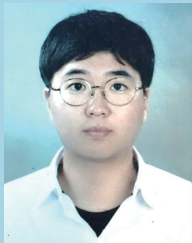


표 종 철
울산과학기술원
도시환경공학부 박사
jcp01@unist.ac.kr

01 머리말

수생태계 건강성 확보 기술개발사업(Aquatic Ecosystem Conservation Research Program, 연구책임자: 건국대 김성준교수)은 환경부(수생태계 건강성 확보 기술개발사업)의 재원으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 2020년 4월부터 시작하여 2025년 12월에 마무리하도록 진행되고 있으며, 2020년 8월 현재 1차년도 연구를 진행하고 있는 상황이다. 본 고에서는 유역 모델인 Soil and Water Assessment Tool (SWAT) 모델의 조류 모듈 개선 방안을 소개하고자 한다.

02 Soil and Water Assessment Tool (SWAT) 모델

Soil and Water Assessment Tool (SWAT)은 미국 농무성 (USDA Agricultural Research Service, ARS)에서 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지 이용에 따른 물, 부유사 및 화학물질의 거동에 대한 영향을 예측하기 위하여 개발되었다 (Neitsch et al., 2011; Santhi et al., 2001). SWAT 모형은 물리적 이론을 토대로 유역내의 지형, 토지이용, 토양특성, 기상등에 대한 데이터를 이용하여 물의

거동, 부유사이동, 작물 성장, 영양물질 순환, 조류의 생리등과 관련된 과정을 시뮬레이션 한다 (그림 1) (Abbaspour et al., 2007). SWAT모델은 1차원 모형으로써 대규모 유역의 장기 모의를 효율적으로 수행할 수 있다. 수문특성에 영향을 주는 토지이용과 토양의 다양성이 유역의 여러 지역을 구분할 수 있기때문에 모형화를 위해서 유역은 수 개의 소유역으로 구분될 수 있다. 이에 필요한 입력 정보는 주요 하천, 하도, 배수로, 수문반응단위, 저류지, 습지, 지하수, 그리고 기상등이 있다. SWAT 모델을 이용하여 물수지, 부유사, 영양 물질의 거동, 그리고 조류의 생리를 정확히 예측하기 위해서는 모의되는 수문순환이 유역내에서 발생하는 관측값들과 일치하여야 한다 (Pyo et al., 2019). 특히, 조류의 경우 물수지 및 영양염류의 예측이 유의하더라도 시계열적 변화를 모사하는데 어려움을 겪고 있다. 왜냐하면 자연현상의 수체에서의 조류 변화가 시공간적 및 종별로 아주 다양하기 때문이다. 이에 비해, 기존 SWAT 모델의 조류 모듈은 상대적으로 간단한 지배식을 바탕으로 조류의 생체량의 모사하고 있기 때문에 정확한 조류의 생체량 예측을 위해선 모듈 개선 또는 개발이 불가피한 실정이다.

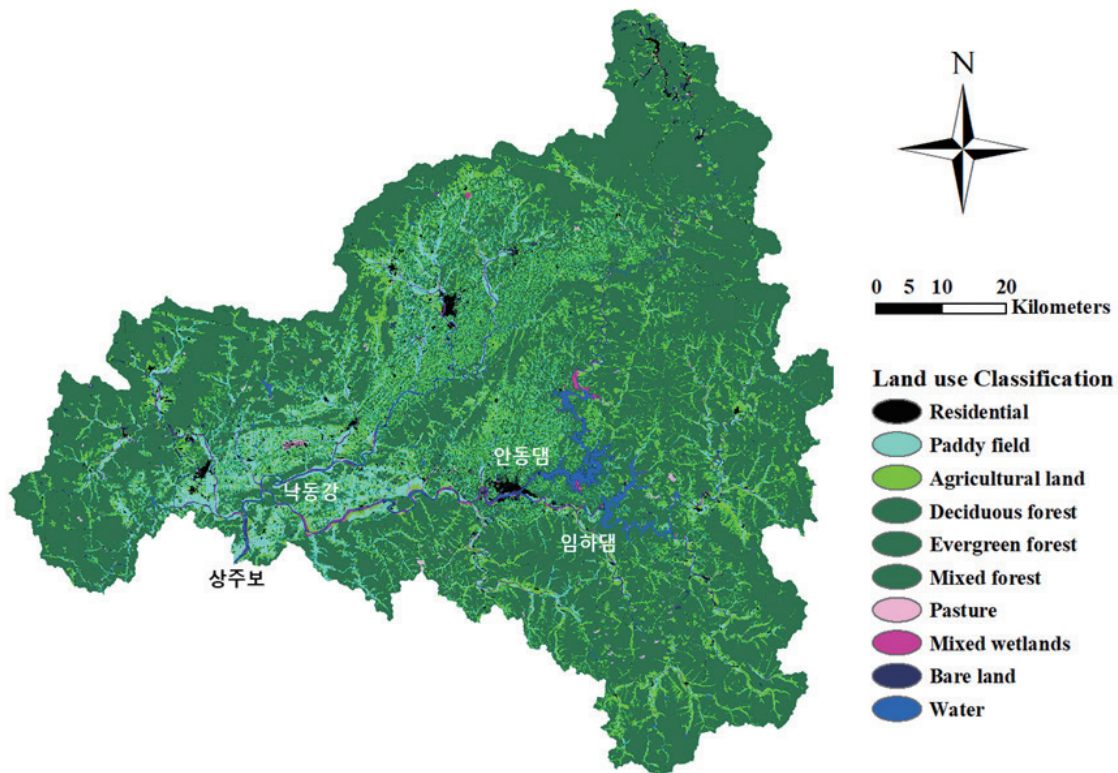


그림 1. 낙동강 상주보 유역 SWAT 모델 구축 예시 (Pyo et al., 2019)

03 조류 모듈 개선 방안

SWAT 모델의 기존 조류 모듈의 경우 조류의 성장, 사멸, 그리고 침강 모두 수온 변화에 영향을 받으며 온도에 대한 간단한 지수식으로 시계열적 변화율 계산이 이루어 진다 (그림 2). 하지만, 기존 모듈의 생체량 기작은 남조류와 같은 특정 조류가 갑작스럽게 번성하는 시기와 녹조류 및 규조류가 상대적으로 낮은 수온에서 번성할 수 있는 시기에 관측 할 수 있는 조류 생체량 (Chlorophyll-a) 변화를 정확하게 모의하는데 한계가 있다. 따라서, SWAT 모델의 조류 모듈을 개선하기 위해 2차원 수리모델인 CE-QUAL-W2 모델의 조류 기작 지배식을 벤치마킹하여 조류 생체량 변화를 모의하고자 한다 (Cole and Wells, 2006). 이 기작의 주요 특징은 수온의 증가와 감소에 따른 조류 성장 및 사멸률에 가중치(weight)를 주어 특정 조류가 우점하는 시기에 발생할 수 있는 조류 생체량의 폭발적인 증가와 조류 발생의 우심시기가 아닌 휴지기의 조류 생체량 변화들을 더욱 자세히 모사 할 수 있을 것으로 기대한다 (그림 2). 또한, 기존의 온도식으로 이루어진 조류 침강 모사를 스토크스의 법칙(Stokes' law)의 침강 방정식을 차용하여 규조류와 같은 침강률에 영향을 많이 받는 조류의 생체량 감소를 현실적으로 반영하고자 한다 (그림 2). 이를 위해 포트란 기반의 SWAT 모델에 새로운 조류 기작을 소스코드화를 진행하고, 전체 SWAT 모듈 소스코드와 컴파일을 진행한다. 컴파일이 정상적으로 진행된다면

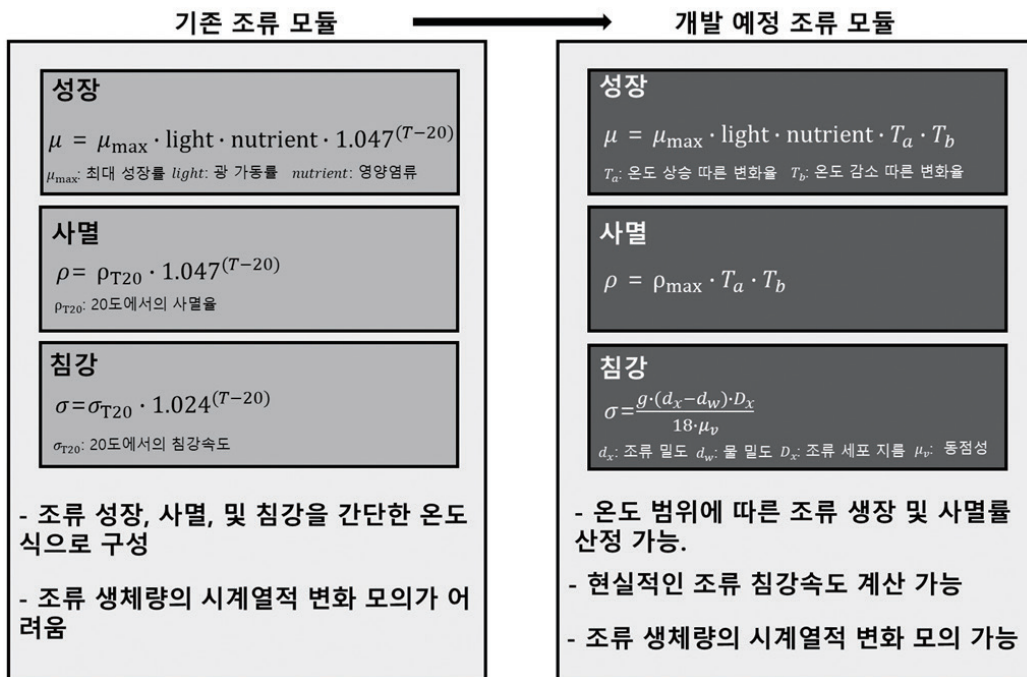


그림 2. 조류 모듈 개발 방안

Executable 파일을 생성하여 조류 기작 관련 파라미터를 보정을 진행 한다. 이와 동시에 기존의 조류 모듈(watqual.f)도 함께 보정을 진행하여 두 조류 모듈의 시뮬레이션 결과를 비교하여 새로운 조류 모듈의 성능을 검증 한다. 해당 과업의 수리수문 모델 연계를 통한 수생태계 건강성 지표로서의 유량뿐만 아니라 SWAT 모델의 새로운 조류 모듈이 기존 모듈 보다 정확한 조류 생체량 결과를 수리 모델에 제공한다면 정확한 수생태계 건강성 지표 산정에 기여할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003050001).

참고문헌

Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., ... & Srinivasan, R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of hydrology*, 333(2-4), 413-430.

Cole, T. M., & Wells, S. A. (2006). CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.5.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.

Pyo, J., Pachepsky, Y. A., Kim, M., Baek, S. S., Lee, H., Cha, Y., ... & Cho, K. H. (2019). Simulating seasonal variability of phytoplankton in stream water using the modified SWAT model. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104073.

Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., Srinivasan, R., & Hauck, L. M. (2001). Validation of the swat model on a large river basin with point and nonpoint sources 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1169-1188.