

SWAT 모형에 의한 수문 및 환경인자 예측을 위한 유역분할의 영향

Effect of Watershed Subdivision on Hydrologic and Environmental Factor Predictions in SWAT Model

장경수*, 장광진**, 여운기***, 고진석****, 지흥기*****

Kyung Soo Jang, Kwang Jin Jang, Woon Ki Yeo, Jin Seok Ko, Hong Kee Jee

요 지

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용한 수문·환경인자 예측에 있어서 적절한 소유역의 분할은 그 결과에 매우 중요한 영향을 미친다. 소유역의 크기, 규모 및 분할개수에 따라 유역모델링 과정과 그 결과에 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 SWAT 모형의 거동 특성과 유역수준별 소유역 분할에 대한 기준을 제시할 목적으로 낙동강의 제1지류이자 국제수문개발계획(International Hydrologic Project, IHP)의 국내 대표유역 중 하나인 위천 유역을 대상으로 하여 각 유역별 소유역 분할 수에 따른 연평균 유출, 유사량 및 환경인자의 변화를 검토하였다. 여기서, SWAT 모형의 적용을 위하여 DEM, 토지이용도/토지피복도, 토양도 등의 GIS 자료와 강수량 및 기상자료를 이용하였다. 이로부터 본 논문은 위천 유역에 대한 적정 소유역 분할 기준을 제시하였으며, 이를 바탕으로 모형 구축시간 및 모의시간 단축할 수 있어 모형의 적용 효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : SWAT, 수문인자, 환경인자, 적정 소유역 분할

1. 서론

SWAT 모형은 한 유역에서 다양한 물리적 과정이 모의될 수 있으며 모형화를 위해서 유역은 수개의 소유역으로 구분될 수 있다. 모의할 때 소유역으로 나누는 것은 수문에 영향을 주는 토지이용이나 토양의 상이성에 의해 유역이 여러 다른 지역으로 구분된다. HRU(Hydrological Response Unit)는 소유역의 면적비를 나타내며, SWAT 모의에서 공간상으로 정의되지는 않는다. 유역에서 각 HRU의 물수지는 눈, 0~2m 깊이의 토양단면, 2~20m 깊이의 얇은 대수층 그리고 20m 이상의 깊은 대수층인 4개의 저류용적으로 나타난다. 소유역 내에서 각 HRU에 대한 유량, 유사 그리고 환경인자가 합산되며, 그것은 하도나 저수지를 통해 유역의 출구점까지 추적이 된다.

소유역 수의 증가는 더 많은 입력자료를 필요로 하고 그 후 산정수치를 평가하는데 더 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 또한 소유역 수의 감소는 모의 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 유역의 반응을 효율적이고 적절하게 나타낼 수 있는 소유역의 규모 또는 수를 확인하여야 한다. 이 연구에서 SWAT 모형은 IHP의 유역 중 하나인 위천 유역에서 연평균 유출량, 유사량 그리고 환경인자(T-N, T-P)에 대한 유역분할의 영향을 평가하는데 사용되었으며, 대상 유역에 대한 적정 소유역 분할 수 및 기준을 제시하였다.

* 정회원·영남대학교 대학원 석사과정·E-mail : whiteveis@hanmail.net
** 정회원·영남대학교 대학원 석사과정·E-mail : homaya@yumail.ac.kr
*** 정회원·영남대학교 대학원 박사과정·E-mail : adonas@nafree.net
**** 정회원·영남대학교 대학원 박사과정·E-mail : springtime@yumail.ac.kr
***** 정회원·영남대학교 건설환경공학부 교수·E-mail : hkjee@yu.ac.kr

2. 대상유역의 특성 및 연구방법

2.1 대상유역의 특성

대상유역은 SWAT모형의 검증을 위해서 관측데이터가 존재하는 위천유역을 선정하였다. 위도 36°00'15" ~ 36°29'10"N, 경도 128°19'15" ~ 128°54'10"E에 위치해 있는 위천유역의 면적은 1,406.0km²로 나타났으며, 표 1에서 보는바와 같이 유로연장은 118.5km, 유로연장은 118.5km, 평균고도는 EL. 208.4m, 유역의 평균경사는 29.1%로 나타났다. 그림 1은 위천유역도를 나타내고 있다.

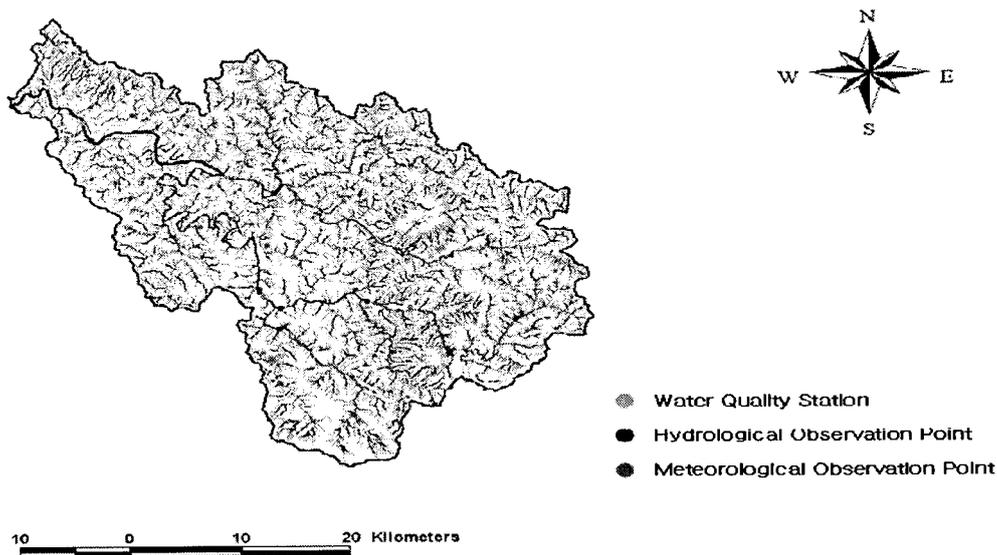


그림 1. SWAT모형이 적용된 위천유역도

표 1. 위천유역의 지형학적 특성

유역면적, A (km ²)	유로연장, L (km)	평균고도 (EL. m)	평균경사 (%)	형상인자(A/L ²)
1,406.0	118.5	208.4	29.1	0.10

2.2 입력자료 구축

SWAT 모형을 구축하는 공간정보의 기본적인 틀을 제공하는 기본도인 수치고도모형(DEM)은 30m×30m로 추출하였으며, 1:25,000 수치지형도 제작에 사용되는 1:37,500 항공사진과 1:50,000 수치지용도를 혼합하여 구축된 1:25,000 토지이용도를 사용하였으며, 토양도는 1:25,000 개략토양도를 사용하였다. 또한 강우량, 최대/최저온도 등의 기상자료는 위천유역내에 위치한 의성관측소의 자료를 이용하였다.

2.3 모형의 적용방법

SWAT에서는 소유역 구분을 위해 neighborhood technique(Srinivasan과 Engel, 1991)를 이용하여 월류 경사를 추정하여 구분하고 있다. 임계유역면적(하천의 수원을 형성하는데 필요한 최소 유역면적)이 정해지면, SWAT모형은 자동적으로 소유역을 분할한다. 다양한 소유역의 분할을 위해 임계소유역면적을 다르게 적용하였으며, 아래의 표 2는 임계소유역면적에 따른 소유역의 수를 나타내고 있다.

표 2. 임계소유역면적에 따른 소유역의 수

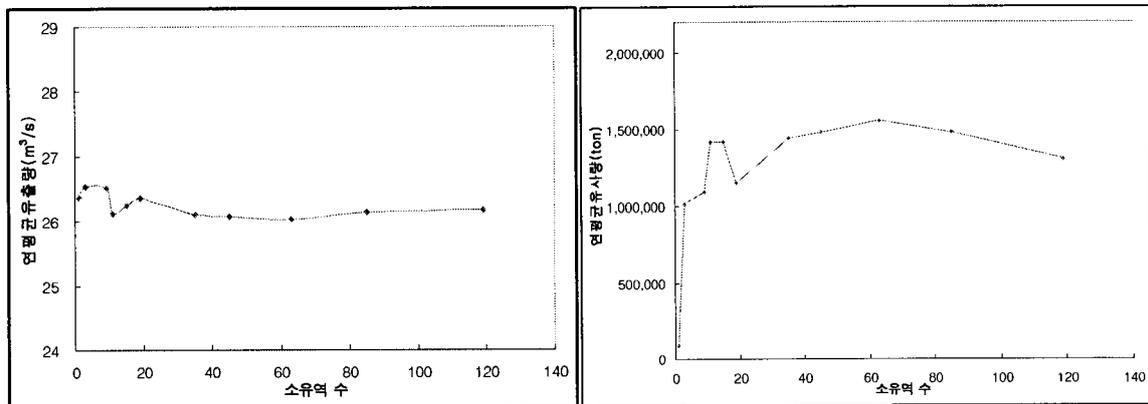
임계소유역면적(ha)	55,000	30,000	10,000	6,000	5,000	3,000	2,000	1,500	1,200	1,000	700
산정된 소유역 수	1	3	9	11	15	19	35	45	63	85	119

유역은 소유역으로 분할된 후 다시 HRUs로 좀 더 세분화 된다. SWAT 모형의 기본단위인 HRUs는 분할된 각 소유역내에서 동일한 토지이용과 토양특성의 조합으로 구성되며, 토지이용과 토양특성의 비율을 지정하여 각 소유역별 HRUs 수를 조절할 수 있다. 토지이용과 토양특성 비율을 모두 0%로 할 경우 모든 토지이용과 토양특성이 조합에 고려되어 HRU 수가 많아지며, 5%/5%이면 각 소유역별로 5%미만인 토지이용과 토양특성은 5%이상인 값들의 면적비로 대체되어 0%일 경우에 비해 HRU 수가 적어진다. 따라서 토지이용과 토양특성의 비율을 높일수록 계산시간 및 효율을 높일 수 있는 장점이 있는 반면, 공간적인 토지이용 및 토양특성의 분포특성을 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 SWAT 모형의 적용시 임계토지이용면적비와 임계토양특성면적비를 각각 20%, 10%로 적용하였으며, 강우분포는 Skewed Normal방법, 잠재증발산량은 Penman-Monteith 방법을 적용하였으며, 하도추적법은 Variable Storage Method를 적용하였다.

3. 모형의 적용결과

3.1 소유역 수에 따른 유출량, 유사량, T-N 및 T-P 변화

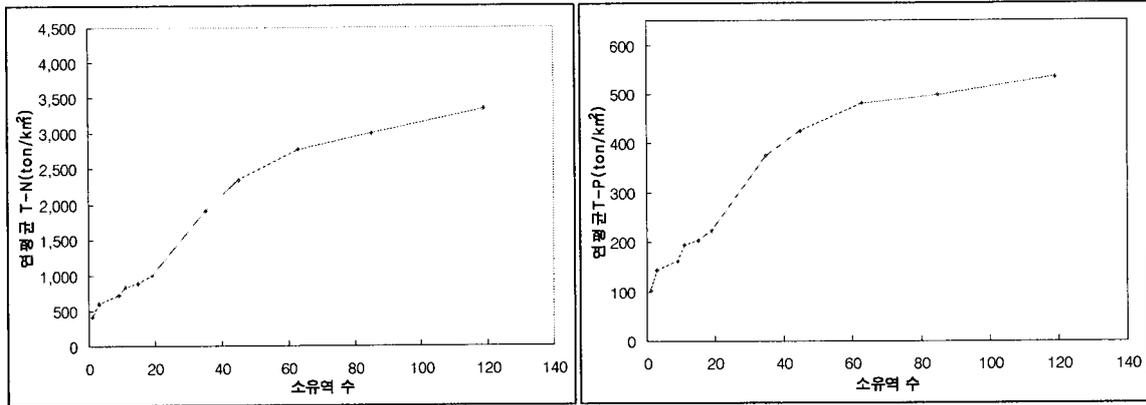
그림 2는 표 2에서 분류한 임계소유역면적 변화를 통해 소유역 수를 변화시키고, 그에 따른 유역내 연평균유출량, 연평균유사량, T-N 및 T-P의 변화양상을 나타내고 있다. 모의결과를 보면, 각 수문 또는 환경인자들이 비교적 안정하게 되는 소유역 수는 연평균 유량이 35이상, 연평균유사량이 35~85의 범위를 나타내고 있으며, T-N이 35~85 그리고 T-P가 35~85의 범위에서 비교적 안정하게 시뮬레이션 되었다. 따라서 각 인자들에 대한 모의 결과를 종합해보면, 위천유역에 대한 적절한 소유역의 수의 범위는 35~85으로 판단된다.



(a) 소유역 수에 따른 연평균유출량 변화

(b) 소유역 수에 따른 연평균유사량 변화

그림 2. HRU 수에 따른 유출량, 유사량, T-N 및 T-P 변화



(c) 소유역 수에 따른 T-N 변화

(d) 소유역 수에 따른 T-P 변화

그림 2. HRU 수에 따른 유출량, 유사량, T-N 및 T-P 변화(계속)

3.2 산정결과에 대한 검증

앞에서 산정된 적정 소유역 수로 결정한 35~85 범위 중에서 소유역 수가 63에 해당하는 임계소유역면적 1,200ha를 적용하여 모형에 대한 검증을 실시하였다. 1997~1998년의 2년간 월유출량 모의결과를 WAMIS에서 공개된 월유출량 자료와 비교하여 검증하였으며, 그 결과는 그림 3과 같다. 적정 소유역 수로 결정한 63에 대한 위천유역의 1997~1998년간 월유출량 모의치는 관측치와 매우 유사한 것으로 나타났으며, 그림 4에서 결정계수(R^2) 산정결과 또한 0.92로 높은 유의성을 보이는 것으로 나타나 결정한 소유역 수는 적절한 것으로 판단된다.

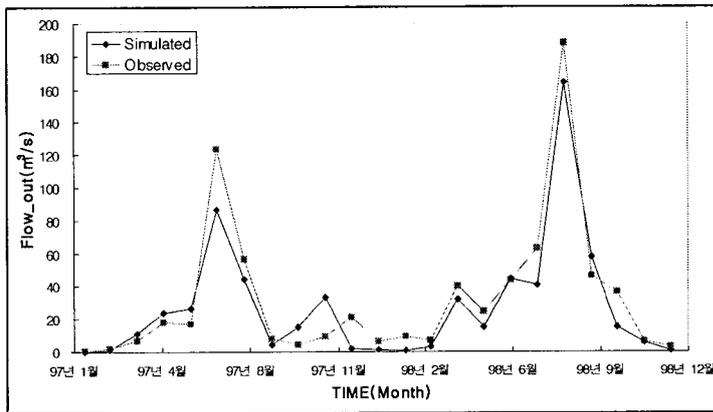


그림 3. 관측치와 모의치에 대한 월유출량 비교(1997~1998년)

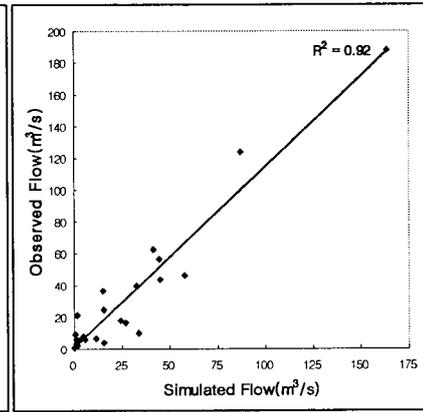


그림 4. 결정계수(R^2)

6. 결론

분포형 모형을 적용함에 있어 대상유역의 분할된 소유역의 수는 모의결과에 중요한 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 대상유역으로 선정된 위천유역에 대한 수문모의시 SWAT 모형을 적용하는데 있어 임계소유역 면적에 의해 분할되는 소유역의 수에 대한 적절한 기준을 제시하고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) SWAT 모형에서 적용하고 있는 neighborhood technique을 이용하여 임계소유역면적(ha)에 따라 소유역의 분할 수를 변화시키고, 분할된 1~119개의 소유역에 따른 유역의 연평균 유출량, 유사량, T-N, T-P의 변화 양상을 검토하였다. 이로부터 대상유역으로 선정된 IHP 국내 대표유역 중 하나인 위천유역에 대한 SWAT 모형의 적용결과 35~85개의 소유역으로 분할 시 비교적 안정하게 모의된다는 것을 알 수 있었다.
- 2) 연평균 유출량은 분할된 소유역의 수에 대해 큰 영향을 받지 않지만 연평균 유사량, T-N 그리고 T-P는 분할된 소유역 수에 크게 영향을 받음을 알 수 있었으며, 특히 T-N과 T-P의 모의에서 소유역 수가 증가함에 따라 T-N, T-P도 증가함을 알 수 있으며, 이는 소유역의 크기가 감소함에 따라 지표유출 및 천층지하수유출이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.
- 3) 적정한 소유역 수로 가정한 35~85 범위 중에서 63개의 소유역으로 분할되는 임계소유역면적 1,200ha를 적용하여 모형에 대한 검증 실시하였다. 위천유역내에 위치한 의성관측소의 1997년~1998년(2년) 동안의 강우량에 대한 월유출량 모의결과는 관측치와 높은 유의성을 보였다($R^2 = 0.92$).

참 고 문 헌

1. 과학기술부(2004). 지표수 수문성분 해석기술 개발, pp. 64-86.
2. 김철겸, 김남원(2005). SWAT 모형에서의 소유역 및 HRU 수에 따른 유사량 변화, 한국수자원학회 논문집, pp. 835-839
3. 장대원, 김남원, 김형수, 서병하(2004). GIS 기반의 SWAT 모형을 이용한 하천유출량 모의, 한국수자원학회 논문집, pp. 724-730
4. 장대원(2004). SWAT모형을 이용한 일유출량 모의, 석사학위논문, 인하대학교.
5. S.L., Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams(2001). Soil and Water Assessment Tool; The Theoretical Documentation, U.S Agricultural Research Service.
6. M.Di Luzio, R. Srinivasan, J.G. Arnold, S.L. Neitsch(2002). ArcView Interface for SWAT2000; User Guide, U.S Agricultural Research Service.
7. Manoj Jha, Philip W. Gassman, Silvia Secchi, Roy Gu, and Jeff Arnold(2004). Effect of Watershed Subdivision on SWAT Flow, Sediment, and Nutrient Predictions, Journal of The American Water Resources Association.