

SWAT 모형에 의한 수문 및 환경인자 예측을 위한 HRU 수의 영향

Effect of HRUs on Hydrologic and Environmental Factor Predictions Using SWAT Model

장광진*, 장경수**, 서영민***, 여운기****, 지홍기*****

Kwang Jin Jang, Kyung Soo Jang, Young Min Seo, Woon Ki Yeo, Hong Kee Jee

요 지

SWAT 모형을 사용하여 수문 및 환경인자들의 예측에 있어서 수문응답단위(Hydrological Response Unit, HRU) 수를 적절하게 결정하는 것은 매우 중요하다. SWAT 모형에서는 수문응답단위라는 계산단위를 통하여 모형의 입력매개변수를 생성하고 모의를 수행하기 때문이다. 본 연구에서는 SWAT모형에서 하천유역의 적절한 HRU 수를 결정하기 위하여 대상유역을 낙동강의 제 1지류이자 국제수문개발계획(International Hydrologic Project, IHP)의 국내 대표유역 중 하나인 위천유역으로 선정하였으며, 토지이용과 토양의 면적비를 조정함으로써 HRU 수를 여러 단계로 적용하여 유출량, 유사량 및 영양염류를 모의하였다.

SWAT 모형의 적용을 위하여 위천 유역의 DEM(30m×30m), 토지이용도(1:25,000), 토양도(1:25,000) 등의 GIS 자료와 강우량 및 기상자료를 이용하였다. 본 논문은 위천 유역에 대한 적절한 HRU 수의 기준을 제시하였으며, 이와 같은 분석결과를 이용하여 모형의 입력자료 구축시간을 단축할 수 있어 차후 모형의 적용시에 모형의 적용 효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : SWAT, 임계토지이용면적비, 임계토양특성면적비, 수문응답단위(HRU)

1. 서 론

본 연구에 적용된 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)에서 개발된 수문모의모형으로서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양, 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 유출량, 유사량 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리방법의 영향을 예측하고 모의하기 위해 개발되었다. 특히, 최근 개발된 AvSWAT 모형은 GRASS, ArcView 등과 같은 GIS 와의 연계성 및 수문반응단위(HRUs)를 고려한 반분포형(Semi-Distributed) 모형으로서 토지이용의 변화, 유출변동의 영향 등을 모의하는데 적절한 모형으로서 국내에도 비교적 그 적용사례가 많아 잘 알려진 모형이다.

SWAT 모형에서는 HRU(Hydrologic Response Unit)를 통하여 모형의 입력매개변수를 생성하고 모의를 수행하기 때문에 SWAT 모형에서 수문 및 환경인자들의 예측에 있어서 HRU 수를 적절하게 결정하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 SWAT 모형의 HRU 수에 따른 유역의 유출량, 유사량, T-N 그리고 T-P치의 변화양상을 검토하여 대상유역으로 선정한 IHP 국내 대표유역 중 하나인 위천유역의 적절한 HRU 수에 대한 기준을 제시해보고자 한다.

* 정회원·영남대학교 대학원·석사과정·E-mail : kwang-jin7948@hanmail.net

** 정회원·영남대학교 대학원·석사과정·E-mail : whiteveis@hanmail.net

*** 정회원·영남대학교 대학원·박사과정·E-mail : elofy@hanmail.net

**** 정회원·영남대학교 대학원·박사과정·E-mail : adonas@nafree.net

***** 정회원·영남대학교 건설환경공학부·교수·E-mail : hkjee@yu.ac.kr

2. SWAT 모형의 적용방법

2.1 대상유역 선정

본 연구의 대상유역은 낙동강의 제 1지류이자 국제수문개발계획(International Hydrologic Project, IHP)의 국내 대표유역 중 하나인 위천유역으로 선정하였다. 위천유역의 지형학적 특성은 표 1과 같으며, 위천유역도는 그림 1과 같다.

표 1. 위천 유역의 지형학적 특성

유역면적 (km ²)	1406.0
유로연장 (km)	118.5
평균고도 (EL. m)	208.4
평균경사 (%)	29.1
형상인자 (A/L ²)	0.1

* 참고 : 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)

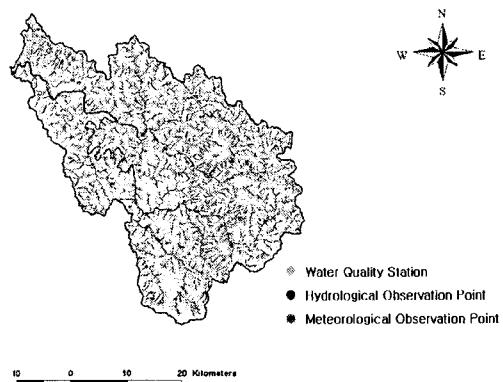


그림 1. 위천 유역도

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 수치지도를 혼합하여 구축된 1:25,000 토지이용도를 사용하였으며, 토양도는 1:25,000 개략토양도를 사용하였다. 또한 강우량, 최대/최저온도 등의 기상자료는 위천유역내에 위치한 의성관측소의 자료로 1997년 ~ 2002년의 2년간 자료를 사용하였다.

2.3 모형의 적용방법

SWAT 모형의 기본단위인 HRU는 분할된 각 소유역내에서 동일한 토지이용과 토양특성의 조합으로 구성되며, 토지이용과 토양특성의 비율을 지정하여 각 소유역별 HRU 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 토양통은 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 있으므로 적정 HRU 수에 대한 기준을 설정하는 것이 중요하다.

본 연구에서 소유역 분할은 수자원단위지도 상의 기준 하천망을 표현할 수 있는 최적의 임계값을 시행착오법을 적용하여 2000으로 산정하였다. 산정된 임계값으로 소유역 분할을 실시한 결과 35개의 소유역으로 구분되었으며, 이렇게 분할된 소유역을 기준으로 하여 아래의 표 2와 같이 각 토지이용에 따른 토양종류별 수문반응단위(HRUs)를 9단계로 세분화하였으며, 그 결과 산정된 HRU 수는 35 ~ 247의 범위를 나타내었다.

SWAT 모형 적용시 강우분포는 Skewed Normal 방법, 잠재증발산량은 Penman-Monteith 방법을 적용하였으며, 하도추적법은 Variable Storage Method를 적용하였다.

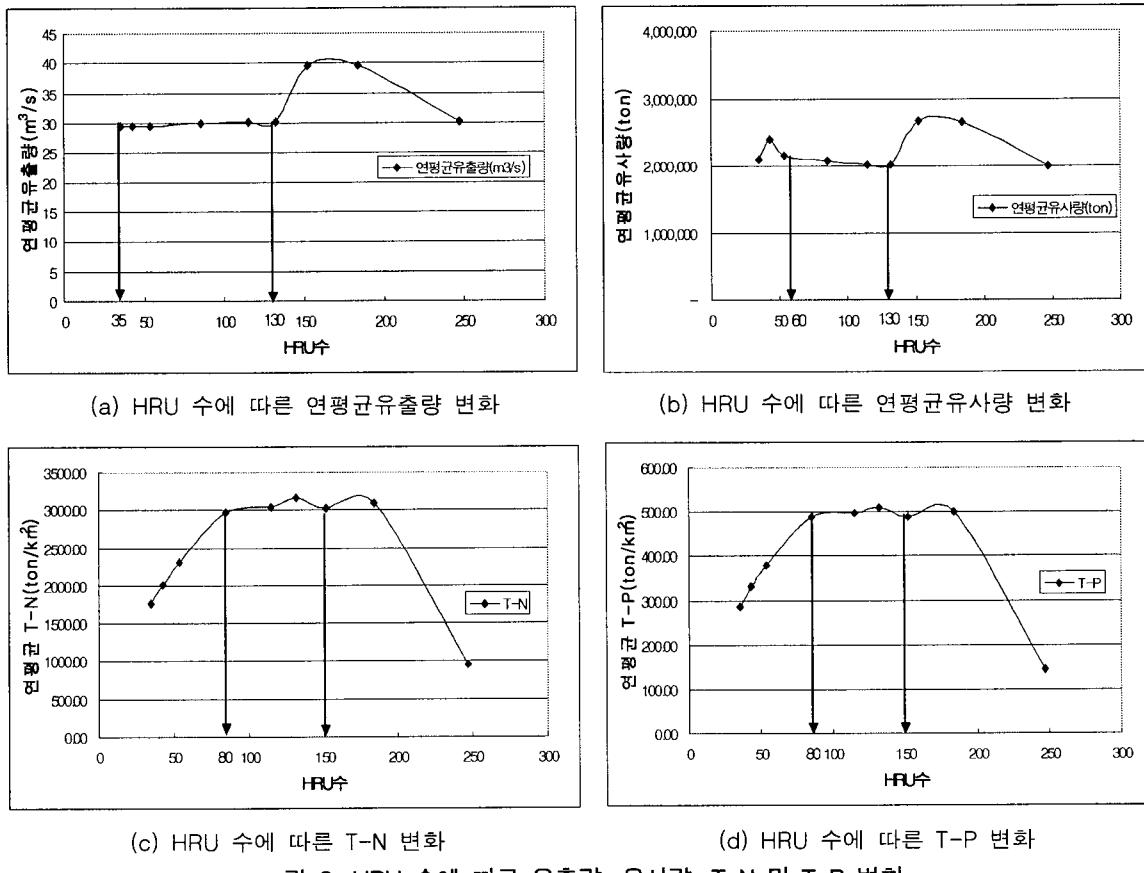
표 2. 임계 토지이용/토양특성 비율에 따른 HRU 수

임계토지이용면적비(%)/ 임계토양특성면적비(%)	1/1	2/2	4/4	7/7	10/10	15/15	20/20	25/25	30/30
산정된 HRU 수	247	184	152	132	115	85	54	43	35

3. 모형의 적용결과

3.1 HRU 수에 따른 유출량, 유사량, T-N 및 T-P 변화

표 2에서 분류한 HRU 수에 따른 유역내 연평균유출량, 연평균유사량, T-N 및 T-P의 변화양상을 검토하였다. 대상기간으로 선정한 1997~2002년의 모의결과에 대한 평균값을 그림2에 도시하였다. 모의결과를 나타낸 아래의 그림2를 보면, 각 수문 또는 환경인자들이 비교적 안정하게 되는 HRU 수는 그래프 상에서 직선형에 가깝게 나타나는 부분으로서 연평균유출량이 35~130, 연평균유사량이 60~130의 범위를 나타내었으며, T-N이 80~150, T-P가 80~130의 범위를 나타내었다. 따라서 각 인자들에 대한 모의결과를 종합해보면, 위 천 유역에 대한 적절한 HRU 수의 범위는 80~130으로 판단된다.



3.2 산정결과에 대한 검증

앞에서 산정된 적정 HRU 수로 가정한 80~130 범위중에서 HRU 수가 대략 100에 해당하는 임계토지이 용면적비(%)/임계토양특성면적비(%)인 12/12를 적용하여 모형에 대한 검증을 실시하였다. 1997년 ~ 1998년의 2년간 월유출량 모의결과를 WAMIS에서 공개된 월유출량 자료와 비교하여 검증하였으며, 그 결과는 그림 3 과 같다. 적정 HRU수로 가정한 100에 대한 위천유역의 1997년 ~ 1998년간 월유출량 모의치는 관측치와 매우 유사한 것으로 나타났으며, 결정계수(R^2) 산정결과 또한 0.93으로 높은 유의성을 보이는 것으로 나타나 가정한 HRU 수는 적절한 것으로 판단된다.

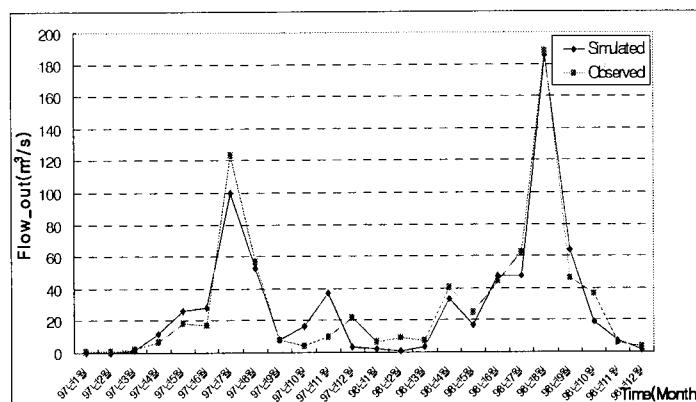


그림 3. 관측치와 모의치에 대한 월유출량 비교(1997 ~ 1998년)

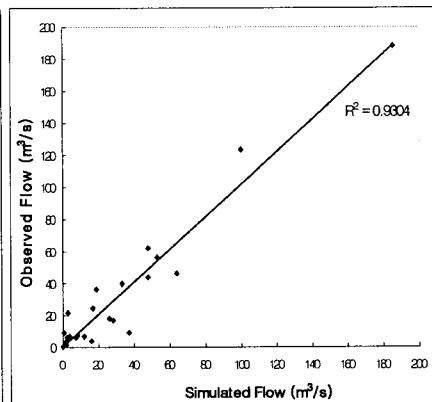


그림 4. 결정계수(R^2)

4. 결 론

분포형 모형을 적용함에 있어 수문응답단위(HRU)의 수는 모의결과에 중요한 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 대상유역으로 선정한 위천유역에 대한 수문모의시 SWAT 모형을 적용하는데 있어 임계토지이용면적비(%)/임계토양특성면적비(%)를 세분화하여 적정 HRU 수에 대한 기준을 제시하고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 임계토지이용면적비(%)/임계토양특성면적비(%)를 9단계인 1/1, 2/2, 4/4, 7/7, 10/10, 15/15, 20/20, 25/25, 30/30으로 세분하여 산정된 HRU 수는 35 ~ 247의 범위를 나타내었다.
- 2) 본 연구에서는 대상유역으로 선정한 IHP 국내 대표유역 중 하나인 위천유역에 대하여 SWAT 모형의 HRU 수에 따른 유역의 유출량, 유사량, T-N 그리고 T-P치의 변화양상을 검토하였으며, 각 인자에 대하여 산정된 결과를 종합해 볼 때, 적정 HRU 수는 80 ~ 130의 범위를 나타냄을 알 수 있었다.
- 3) 적정 HRU 수로 가정한 80~130 범위중에서 HRU 수가 대략 100에 해당하는 임계토지이용면적비(%)/임계토양특성면적비(%)인 12/12를 적용하여 모형에 대한 검증을 실시하였다. 위천유역내에 위치한 의성관측소의 1997 ~ 1998년의 강우량에 대한 2년간 월유출량 모의치는 관측치와 매우 유사한 것으로 나타났으며, 결정계수 또한 0.93으로 산정되어 모의치와 관측치는 높은 유의성을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 산정한 적정 HRU 수의 범위는 적절하다고 판단된다.

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(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, pp. 811-825