

BASINS SWAT을 이용한 소유역 및 HRU 구분에 따른 유출량 변화 분석(용담댐 유역을 대상으로)

Variation analysis of Streamflow through partitioning of appropriate subwatersheds and Hydrologic Response Unit(HRU) using BASINS SWAT(Yongdam Dam Watershed)

장 철 희* · 김 현 준 · 김 남 원
Jang, Cheol Hee · Kim, Hyeon Joon · Kim, Nam Won

Abstract

The size, scale, and number of subwatersheds can affect a watershed modeling process and subsequent results. The objective of this study was to determine the appropriate level of subwatershed division for simulating streamflow. The Soil and Water Assessment Tool(SWAT) model with a GIS interface(BASINS SWAT) was applied to Yongdam Dam watershed. Daily output was analyzed from simulation, which was executed for 10 years using climate data representing the 1987 to 1996 period. The optimal number of subwatersheds and HRUs to adequately predict streamflow was found to be around 15, 174. Increasing the number of subwatersheds and HRUs beyond this level does not significantly affect the computed streamflow. this number of subwatersheds and HRUs can be used to optimize SWAT input data preparation requirements and simplify the interpretation of results without compromising simulation accuracy.

1. 서론

유역의 다양한 수문 성분을 적절하게 해석하고, 유역내의 토지이용변화 등을 고려하기 위해서는 유역을 토지 이용단위, 토양특성, 지형경사 등을 기준으로 세분하고 각 단위지역의 물리적 특성을 반영할 수 있는 분포형 또는 준분포형 모형을 선정하는 방법이 최선이며 분포형 모형의 적용이 필요하다고 판단된다. 여기서 각 소유역의 매개변수는 균질하다고 가정된다. 그러나, 큰 소유역은 좀더 복잡한 조건을 가질 수 있기 때문에 소유역의 크기 및 개수는 균질하다는 가정에 영향을 미칠 수 있다. 소유역 개수의 증가는 입력자료의 양을 증가시킬 수 있고, 그에 따른 계산시간의 증가를 가져올 수 있다. 이와 유사하게, 소유역 개수의 감소 또한 모의결과에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 유역의 거동을 효과적으로 모의할 수 있는 적절한 소유역의 크기 및 규모가 정의되어야 할 것이다.

본 연구에서는 용담댐 유역에서의 하천유출량을 예측을 위한 소유역 규모의 영향을 평가하기 위해 BASINS SWAT 모형이 사용되었다. 본 연구의 목적은 SWAT 모형에서 정확한 유출량 예측을 가능하도록 하고, 입력자료의 복잡성을 간소화하며, 모의정확도를 손상시키지 않는 범위 안에서의 계산시간을 줄이기 위한 소유역 및 HRU의 적절한 구분에 대한 가이드라인을 제시하는 것이라 할 수 있다.

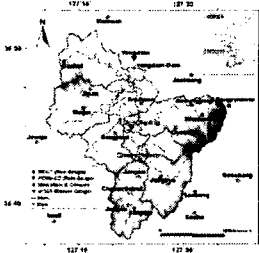
2. 재료 및 방법

2.1 SWAT 모형의 개요

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)의 Jeff Arnold에 의해 개발된 유역모델로서 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리 방법의 영향을 예측하기 위해 개발된 모형이다. SWAT 모형은 일 단위의 모의가 가능한 유역단위의 준 분포형 장기-강우유출모형으

로서 4가지의 부모형으로 구성되어 있다. 즉 수문 부모형, 토양유실 부모형, 영양물질 부모형, 하도추적 부모형으로 구분된다. 이 중에서 수문 부모형은 저류방정식에 의해 일 단위로 물수지를 산정하며, 차단, 지표면 유출, 측방유출(중간유출), 침투, 기저유출, 수로손실, 증발산 등으로 구성되어 있다.

2.2 적용구역



본 연구에서는 용담댐 유역을 적용구역으로 선정하였다. 용담댐 유역은 현재 “21세기 프론티어 연구개발사업”의 시험구역으로 선정되어 한국수자원공사에서 양질의 수문자료를 구축 중에 있으며, 북위 36°00′ - 35°35′, 동경 127°20′ - 127°45′에 해당하는 금강유역의 최상류 지역에 위치한다(Fig.1). 유역 면적은 930km²로 금강유역면적 9,886km²의 약 9.45%를 점유하고, 용담댐 유역 내에는 장수군, 진안군, 무주군의 3개군 2개 읍 12개 면이 위치하고 있으며 이들의 총면적은 1,164km²으로서 농경지 1농경지 158.5km²(13.6%), 임야 920.9km²(79.1%), 기타 85.3km²(7.3%)로 구성되고, 대부분 임

Fig. 2 Yongdam Dam Watershed 야지역인 산악지대로 분류되고, 농경지는 수계를 따라서 분포한다.

모형의 적용을 위한 입력자료는 3가지로 구분된다. 즉 지형자료, 지형자료의 속성과 연결된 데이터, 그리고 기상 및 유역관리에 관련된 자료이다. 지형자료는 수자원단위지도 상의 유역경계와 토지이용도, 수치고도모형(DEM), 토양도 등이 사용된다. 현재 용담댐 유역의 수문자료는 7개소의 우량관측소에서 시간우량 및 일우량을 측정하고 있으며, 4개 수위관측소에서 시간수위, 일수위를 측정하고 있으나 자료의 기록보유기간이 2년 미만으로 장기강우-유출관계를 해석하기에는 미흡한 점이 있어 본 연구에서는 용담수위표 지점을 중심으로 1987~1996년까지의 자료를 적용하였다. 모형의 적용에 앞서 용담수위표 지점의 년 유출율을 산정하여 적용가능 년도를 선정하여 모형에 적용하였다. 강우량 자료는 장수(이상 한국수자원공사 강우관측소)와 안성장, 진안, 대불, 장수(이상 건설교통부 강우관측소)의 자료를 면적평균하여 적용하였고, 기상자료는 기상청 관측소 거창, 임실, 전주, 금산 4개 관측소의 최대·최저 온도, 풍속, 습도, 태양복사량 자료를 이용하였다.

2.3 분석 방법

본 연구에서는 용담댐 유역의 용담수위표 지점에서의 장기 유출특성을 모의하고, 매개변수를 보정하여 실측치와 비교하였다. 또한 동일 유역의 소유역구분과 소유역 내의 HRU 구분에 따른 유출특성을 분석하기 위하여 SWAT모형의 적용 후 매개변수의 조정없이 동일한 조건에서 소유역 및 HRU의 분할에 따른 유출특성을 분석하였다. SWAT모형 적용을 위한 소유역의 구분은 하천망의 Threshold level 조정으로 분할된다. 본 연구에서는 30m×30m 격자의 DEM을 사용하여 하천망 형성시의 Threshold level을 100에서 13,000까지 늘려가면서 시행착오법을 적용하여 총 22가지 경우에 대한 소유역 구분을 실시하였다. 이와 같은 시행착오법을 통해 적정 소유역을 분할한 후 적정 HRU의 개수를 산정하기 위한 단계를 수행하였다. 즉, 고정된 소유역 개수에 대해서 각 토지이용별 토양특성에 따른 HRU의 개수를 23에서 986개로 조정하며 총 53가지 경우로 나누어 분석을 실시하였다. 이상으로부터 산정된 적정 소유역 및 HRU의 개수를 토대로 지형입력자료와 수문시계열 자료를 입력하여 용담댐 유역에 SWAT 모형을 적용하였다. 모의된 결과는 실측자료와 비교하여 매개변수를 보정하였다. 보정은 1996년에 대하여 실시하였으며 보정된 결과를 바탕으로 1993년에 대해 검증을 수행함으로써 그 적용성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 용담댐 유역에서의 하천유출량을 예측을 위한 소유역 규모의 영향을 평가하기 위해 BASINS SWAT 모형이 사용되었다. 동일한 조건하에서의 소유역 및 HRU 구분에 따른 유출특성 변화를 분석한 결과,

Threshold level이 감소할수록 소유역의 개수는 증가하였으며, 각각의 경우에 대하여 SWAT 모형을 적용하여 실측자료와 비교한 결과, 소유역분할로 인한 유출특성의 변화는 크지 않은 것으로 판단되며, RMSE(평균계급근오차) 및 ME(Model Efficiency)를 볼 때 Threshold level을 4200 이상으로 하여 소유역의 개수를 15개 이하로 했을 경우는 RMSE가 증가하고, ME가 감소하는 경향을 보였으며, 소유역 개수를 15개 이상(Threshold level이 4200이하)으로 했을 경우는 유출특성에 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 소유역 개수로 인한 유출량의 변화가 극히 적어지는 15개를 적정 소유역으로 분할하였다(Fig. 2).

또한 소유역분할과 마찬가지로 HRU의 개수에 변화에 따른 유출특성의 변화는 그다지 크지 않은 것으로 나타났으며, RMSE와 ME를 살펴볼 때 HRU 개수가 증가함에 따라 RMSE가 미세하게 증가하고, ME가 감소하는 경향을 보였으나, HRU의 개수가 174개 이상에서는 유출특성의 변화가 없는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 HRU 개수로 인한 유출량의 변화가 극히 적어지는 174개를 적정 HRU로 구분하였다(Fig.2).

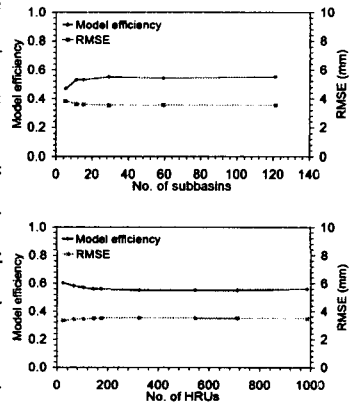


Fig. 2 change on model efficiency and root mean squared error by increasing the number of subbasins and HRUs for Yongdam Dam watershed

Fig. 2와 같이 산정된 소유역 및 HRU에 대한 지형 및 수문입력자료를 입력하여 SWAT 모형을 적용한 후, 모형의 보정 및 검증을 실시하였다. 모형의 보정은 유역의 최종 출구지점인 용담수위표 지점의 1996년 유출량 자료를 이용하였고, 검증은 1993년도의 자료를 이용하였다. 용담수위표는 1997년 용담댐 건설과 함께 폐쇄되었으며, 이로 인해 용담수위표의 수위-유량곡선식은 1994년도 수자원관리기법개발연구소(건설교통부)에 수록된 1987년의 식을 1990년대까지 연장하여 실측유량을 산정하였다.

모형의 보정순서는 먼저 유역 출구 지점에서의 총 유출량을 보정한 후 기저유출량을 보정하였다. 보정을 위한 모형평가 기준으로는 결정계수(R^2), RMSE, 모형 효율성계수인 ME(Nash & Sutcliffe, 1970)를 이용하였다. Fig. 3은 유역 출구 지점인 용담수위표에서의 실측유출량과 모의유출량을 비교한 결과이며, Fig. 4는 1996년의 실측자료에 대한 보정결과를 나타낸다.

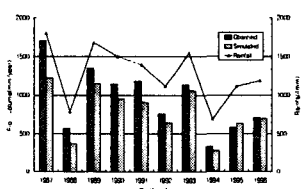


Fig. 3 Comparison of observed and simulated annual runoff volume

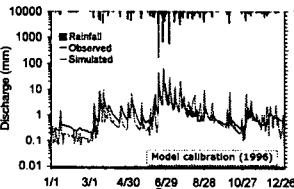


Fig. 4 Calibration results at the outlet of watershed(1996)

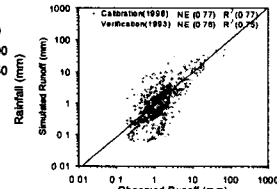


Fig. 5 Application results of SWAT model

모의기간 동안의 총유출량은 보정과 검증시 모두 실측치와 근사함 값을 보였다. 96년의 경우 1185mm의 강우에 대해 실측 유출량은 706mm였고, 모의 유출량은 727mm로 21mm의 차이가 났고, 93년의 경우는 1543mm의 강우에 대해 실측유출량은 1133mm였고, 모의 유출량은 1087mm로 46mm의 차이를 보였다. 모형의 효율성 계수는 96년에 0.76, 93년에 0.77로 나타났고, 결정계수(R^2)는 96년도에 0.82, 93년도에 0.75로 모의치의 70% 이상이 실측치와 유의성을 가진 것으로 나타났다(Fig. 5). 이상과 같은 결과로 볼 때 모형이 장기 유출특성을 비교적 적절히 모의함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 용담댐 유역에서의 하천유출량을 예측을 위한 소유역 규모의 영향을 평가하기 위해 BASINS SWAT 모형이 사용되었다. SWAT 모형에서 정확한 유출량 예측을 가능하도록 하고, 입력자료의 복잡성을 간소화하며, 모의정확도를 손상시키지 않는 범위 안에서의 계산시간을 줄이기 위한 소유역 및 HRU의 적절한 구분에 대한 가이드라인을 제시하였으며, 적정 소유역 및 HRU의 구분에 따른 유출량예측을 실시하여 모형의 적용성을 평가하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 용담댐 유역의 거동을 효과적으로 모의하기 위한 적정 소유역 및 HRU의 개수를 산정하였다.
 - Threshold level이 감소할수록 소유역의 개수는 증가하였으며, 각각의 경우에 대하여 SWAT 모형을 적용하여 실측자료와 비교한 결과, 소유역분할로 인한 유출특성의 변화는 크지 않았다.
 - 소유역의 개수를 15개 이하로 했을 경우는 RMSE가 증가하고, ME가 감소하는 경향을 보였으며, 소유역 개수를 15개 이상으로 했을 경우는 유출특성에 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 소유역 개수로 인한 유출량의 변화가 극히 적어지는 15개를 적정 소유역으로 분할하였다.
 - HRU의 개수에 변화에 따른 유출특성의 변화 역시 크지 않은 것으로 나타났다.
 - HRU 개수가 증가함에 따라 RMSE가 미세하게 증가하고, ME가 감소하는 경향을 보였으나, HRU의 개수가 174개 이상에서는 유출특성의 변화가 없는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 HRU 개수로 인한 유출량의 변화가 극히 적어지는 174개를 적정 HRU로 구분하였다.
- 2) 위와 같이 산정된 소유역 및 HRU에 대한 지형 및 수문입력자료를 입력하여 SWAT 모형을 적용한 후, 모형의 보정 및 검증을 실시하였다.
 - 모의기간 동안의 총유출량은 보정과 검정시 모두 실측치와 근사함 값을 보였다. 96년의 경우 1185mm의 강우에 대해 실측 유출량은 706mm였고, 모의 유출량은 727mm로 21mm의 차이가 났고, 93년의 경우는 1543mm의 강우에 대해 실측유출량은 1133mm였고, 모의 유출량은 1087mm로 46mm의 차이를 보였다. 모형의 효율성 계수는 96년에 0.76, 93년에 0.77로 나타났고, 결정계수(R^2)는 96년도에 0.82, 93년도에 0.75로 모의치의 70% 이상이 실측치와 유의성을 가진 것으로 나타났다. 이상과 같은 결과로 볼 때 모형이 장기 유출특성을 비교적 적절히 모의함을 알 수 있었다.

- 사 사 -

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 2-2-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1 강문성, 2002, 인공신경망 원격탐사기법과 비점오염모델을 이용한 오염총량모의시스템의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
- 2 권명준, 2000, 농촌유역 하천의 수질예측을 위한 SWAT모형과 WASP모형의 연계운영, 서울대학교 석사학위논문.
- 3 김지훈, 1998, 지리정보시스템을 이용한 SWAT/GRASS 모형의 적용, 서울대학교 석사학위 논문.
- 4 SWAT users manual(version 2000) : S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams. April, 2001
- 5 Neitsch, S. L., et al., 2001, Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2000, Grassland, ARS, Temple, Texas.