

SWAT 모형을 활용한 갈수량 분석

Low Flow Analysis Using the Result of SWAT

김남원*, 이병주**, 이정은***

Nam Won Kim, Byong Ju Lee, Jeong Eun Lee

요 지

본 연구의 목적은 준분포형 장기유출 모형인 SWAT 모형을 활용하여 충주댐 상류유역에 대한 갈수빈도해석을 실시하고, 비유량을 산정하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 중분류 토지피복도, 정밀토양도, 수치표고모델 등의 GIS 데이터를 구축하였으며, 1986~2004년에 해당하는 강수량, 상대습도, 일사량, 기온, 풍속 등의 기상자료를 수집하였다. 모의결과 전기간에 대해 ME는 0.71, R^2 는 0.72로 나타났다. 또한 이 결과로부터 19개 소유역에 대한 지속기간별 갈수량 자료를 구축하여 2.33년, 10년에 대한 빈도해석을 수행하였으며 비유량을 산정하였다. 이러한 결과는 향후 하천유지유량 산정 등 수자원관리 분야에 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

핵심용어 : SWAT, 충주댐, 갈수빈도, 비유량

1. 서론

갈수량은 하천유지유량, 하천관리유량 산정의 기본이 되는 값으로 수자원 관리 측면에서 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 유역별로 매년 355일 유지되는 유량의 2.33년 빈도 갈수량을 평균갈수량, 10년 빈도 갈수량을 기준갈수량이라 한다. 이러한 갈수량을 산정하기 위해서는 갈수기의 수위/유량 자료가 확보되어야 하나 우리나라의 경우 수위/유량자료가 충분하지 않을 뿐만 아니라 측정 자료가 있다 하더라도 주로 홍수기에 대한 자료가 대부분을 차지하고 있다. 따라서 이러한 관측자료를 이용할 경우 결측자료의 보완, 상하류 유량의 불균형 등의 문제로 인해 정확한 갈수량을 산정하기가 매우 어려운 실정이다(건교부, 1998).

본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하고자 준분포형 장기유출모형인 SWAT 모형을 활용하여 갈수량 분석을 수행하고자 한다. 이를 위하여 대상유역은 충주댐 상류유역을 선정하였으며 각 소유역에 대한 지속기간에 따른 빈도별 갈수량을 산정하고, 미계측 유역의 갈수량 산정을 위해 비유량곡선을 제시하고자 한다.

* 정회원·한국건설기술연구원·수자원연구부·수석연구원·공학박사E-mail : nwkim@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원·수자원연구부·연구원·공학석사E-mail : bjlee@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원·수자원연구부·연구원·공학석사E-mail : jeus22@kict.re.kr

2. 대상유역

대상유역은 충주댐 상류유역을 선정하였으며 소유역은 각 소유역의 누가면적이 다양하게 분포할 수 있도록 19개로 구성하였다(그림 1). 모형구동을 위해 건교부의 수치표고모델(30m×30m), 환경부의 중분류 토지피복도(30m×30m), 농업과학기술원의 정밀토양도(1:25,000)의 GIS 자료를 구축하였다. 대상유역에 영향을 미치는 기상관측소는 12개가 존재하지만 관측개시년도, 자료보유현황 등을 고려하여 6개 관측소를 선정하였으며, 이들 관측소로부터 1986~2004년 기간의 강수량, 일사량, 상대습도, 기온, 풍속 자료를 수집하였다.

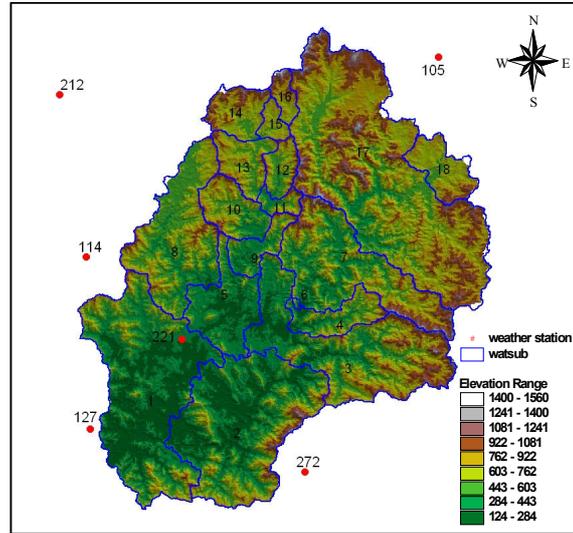


그림 1. 적용대상유역

3. 모의갈수량 생성

3.1 SWAT 모형

전체 유역 출구점에서의 유량을 산정하기 위해서는 집중형 모형을 사용하는 것이 효과적이나 상류 소유역의 유출특성을 분석하기 위해서는 분포형 모형을 사용해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 SWAT 모형을 적용하였다. SWAT 모형은 장기유출모의를 위한 준분포형 모형으로 기상, 토양형태, 토지이용, 토지피복, 지형 및 지질자료 등에 대한 정보를 바탕으로 광범위한 지역에 대해 최소한의 가용한 자료를 바탕으로 유출, 유사, 수질 등의 복합적인 수자원 관리를 할 수 있는 모형이다. 이러한 성분별 모의를 위해 전체 유역에 대해 소유역으로 구분하고, 각 소유역에 대해 동일한 토양형과 토지피복을 갖는 면적별로 구분하게 되며, 이를 수문학적 반응단위(Hydrologic Response Unit; 이하 HRU)라 한다. 따라서 SWAT 모형은 모든 수문성분에 대해서 각 HRU별로 모의를 하며 이는 해당 소유역의 주하도 유입량이 된다. 이렇게 각 소유역에 대해서 계산단위시간(Δt)동안 해당 HRUs로부터 들어온 유입량은 소유역 주하도의 하도추적을 통해 각 소유역 유출량이 된다.

3.2 유량 분석

본 연구의 대상유역은 충주댐 상류유역으로 모의기간은 충주댐 준공시점 이후인 1986~2004년이며 전 기간에 걸쳐 보정을 수행하여 충주댐 관측유입량과 모의유량을 비교하였다.

그림 2는 충주댐 지점에서의 일 관측유량과 모의유량을 나타낸 것으로 전기간의 유출용적 오차(VE)는 3.05%, 평균제곱근오차(RMSE)는 286.71m³/s, 모형효율성계수(ME)는 0.71, 결정계수(R²)는 0.72로 나타났으며, 이러한 결과를 바탕으로 모의결과가 관측치를 잘 반영하는 것으로 판단된다.

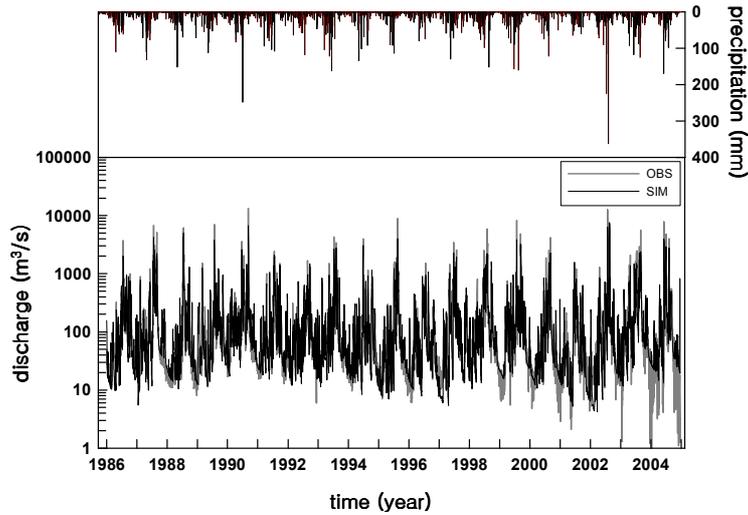


그림 2. 유출모의결과

3.3 유향 분석

본 연구의 목적은 충주댐 상류유역의 갈수량 분석이므로 이를 위해서는 갈수기의 모의유량이 관측유량을 잘 모의해야 한다. 이를 검증하기 위해서는 갈수기에 상류소유역들에 대한 관측-모의유량의 비교-검정 절차가 이루어져야 하나 현재 우리나라의 수위관측소가 홍수 위 측정 위주로 되어 있어 갈수기에 연속적인 유량자료를 구축하는 것은 현실적으로 많은 어려움이 있다. 특히 하상변동이 심한 상류 소유역들은 이러한 자료구축이 더욱 힘든 상황이다.

따라서 본 연구에서는 충주댐 지점에서의 관측-모의 유향곡선의 비교를 통해 모의갈수량의 적정성을 검증하고자 한다.

그림 3은 1986~2004년 관측-모의 유향곡선을 평균하여 도시한 그림으로 모의결과가 초과백분률 50% 이하인 구간에는 모의치와 관측치의 오차가 크게 나타나나 50% 이상인 구간에서는 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이 구간의 VE는 -3.18%, RMSE는 $1.31\text{m}^3/\text{s}$ 로 나타났다. 이러한 결과로부터 상류 소유역들에 대한 갈수기 모의유량의 정확도를 정확하게 검증할 수는 없으나 분포형 모형의 특성상 상류 소유역의 모의 결과도 어느정도 타당하다 하겠다.

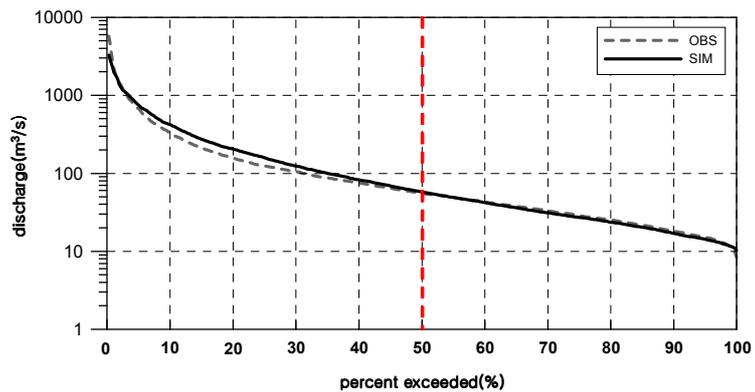


그림 3. 유향곡선(1986~2004년)

4. 갈수빈도해석 수행

갈수량을 분석하기 위해서는 초과확률 97.3%에 해당하는 매년 355일의 유량으로부터 기

준갈수량과 평균갈수량을 산정하여 분석할 수 있으나 갈수량 특성상 저유량이 얼마나 오랜 기간 지속되는가에 대해 분석하는 것이 중요하다. 따라서 19개 소유역에 대해서 2일, 3일, 5일, 7일, 10일, 20일, 30일, 60일 지속기간에 대한 유량을 산정하여 빈도해석을 수행하였다.

빈도해석 수행시 적정분포형은 Hosking(1990)의 L-모멘트법을 이용하여 선정하였으며, 본 연구에서는 K-S 검정과 χ^2 검정을 통해 2변수 Gamma 분포를 채택하였다.

그림 4는 19개 소유역 중 충주댐 지점에 대한 지속기간-빈도-갈수량을 도시한 것이다.

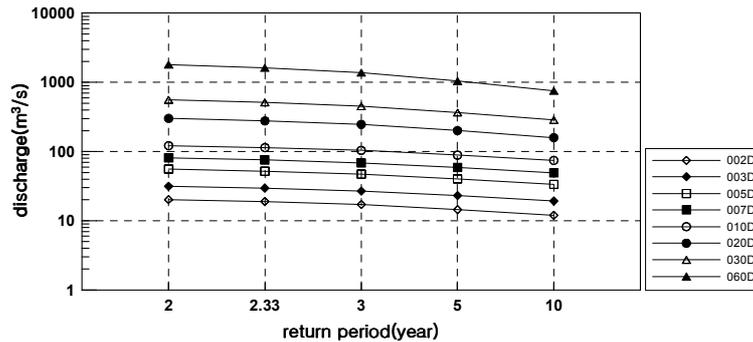
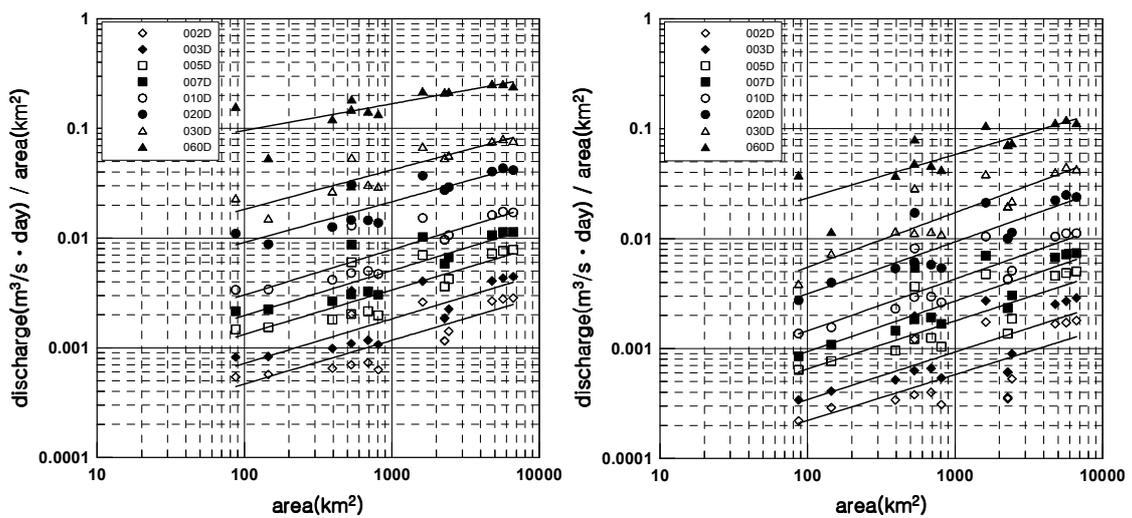


그림 4. 충주댐지점 빈도-지속기간-갈수량

5. 비유량 특성

일반적으로 기상 조건과 지질 및 지형 등 유역의 특성이 비슷한 유역은 수문 거동 특성도 비슷하다고 할 수 있다. 특히 갈수시 유출되는 저유량은 이와 같은 특성에 의해 추정이 가능하다(건교부, 1998).

본 연구의 대상유역인 충주댐 유역 또한 이러한 특성을 가진다고 가정하고 상류 미세측 소유역들 또는 불확실한 지점의 갈수량을 모의유량을 통해 비유량 개념으로 추정할 수 있다고 판단된다.



a) 2.33년 빈도

b) 10년 빈도

그림 5. 비유량곡선

비유량을 산정하는 방법은 유역의 지형학적, 수리/수문학적 인자를 모두 고려하여 산정하는 다중회귀방법과 유역면적만을 고려하는 방법 등이 있는데, 본 연구에서는 기존에 많이 사용되어 온 유역면적만을 고려하여 비유량을 산정하였다. 그림 5는 지속기간에 따른 2.33년 빈도와 10년 빈도의 비유량 곡선을 도시한 것이며 식(1)의 형태로 각 지속기간별 해당빈도에 대한 비유량 회귀식을 산정하였다. 식(1)에서 Q는 비유량($m^3/s \cdot day/km^2$), A는 유역면적(km^2)을 나타낸다. 산정된 비유량 추정식은 각 지속기간별로 표 1과 같고 상관계수는 대략 0.6~0.8 사이로 나타났다.

$$Q = aA^b \quad (1)$$

표 1. 비유량 회귀식 및 결정계수

지속기간	2.33년 빈도			10년 빈도		
	a	b	R ²	a	b	R ²
2일	0.0000752	0.397177	0.65	0.0000322	0.418571	0.49
3일	0.0001116	0.405251	0.67	0.0000467	0.433378	0.53
5일	0.0002082	0.402569	0.70	0.0000879	0.435677	0.60
7일	0.0002973	0.410171	0.73	0.0001126	0.460024	0.66
10일	0.0004559	0.411985	0.75	0.0001644	0.472259	0.72
20일	0.0016581	0.370740	0.79	0.0003546	0.473514	0.74
30일	0.0035214	0.358264	0.82	0.0005588	0.496385	0.79
60일	0.0313611	0.242883	0.61	0.0038016	0.394842	0.69

5. 결론

본 연구에서는 충주댐 상류유역에 대한 갈수빈도해석 및 비유량을 산정하기 위해 준 분포형 장기유출모형인 SWAT 모형을 활용하였다. 모의기간은 1986~2004년이며 충주댐 지점에서의 관측-모의유량 비교결과 VE는 3.05%, RMSE는 $286.71m^3/s$, ME는 0.71, R²는 0.72로 나타났다. 또한 모의갈수량 적용을 위해 유허곡선을 분석한 결과 초과확률 50% 이상의 유량에 대해서는 관측치와 상당히 일치하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 갈수빈도해석 및 비유량을 산정하였으며, 하천유지유량 등 수자원 관리 측면에서 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 2-2-2)에 의해 수행되었습니다. 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부(1998). 하강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서-하천유지유량 산정.
2. Hosking, J. R.(1990), "L-moments analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics," Journal of Royal Statistical Society, Vol. 52, No. 1, pp. 105~124.