

# 충주댐 유역의 용설 영향 평가에 관한 연구

## Study on Evaluation of snowmelt Effects in Chungju Dam Watershed

김남원\*, 이병주\*\*, 이정은\*\*\*

Nam Won Kim, Byong Ju Lee, Jeong Eun Lee

### 요 지

본 연구에서는 미농무성 농업연구소에서 개발된 준 분포형 장기유출모형인 SWAT 모형을 활용하여 용설모의에 따른 유출 및 수문성분의 영향을 분석하고자 하는데 그 목적이 있다. 대상유역은 충주댐 상류유역을 선정하였다. 표고에 따른 온도, 강수변화를 고려하기 위해 대상유역을 4개의 표고밴드로 구성하였으며, 12개 기상관측소 자료를 이용하여 표고에 따른 온도, 강수변화율을 산정하였다. 모의결과 용설을 고려한 결과가 용설을 모의하지 않은 결과보다 관측유량과 비교해 우수한 결과가 나타났으며, 각 수문성분별로도 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 장기유출해석 시 용설영향의 고려가 중요한 요소가 될 것으로 판단된다.

**핵심용어** : SWAT, 용설, 충주댐

### 1. 서론

수자원계획, 평가에서 장기유출모의 해석은 시, 공간적으로 미계측 유역의 유량을 파악함은 물론 이·치수, 그리고 오염 해석 등의 기본자료를 제공하는 역할을 한다. 이를 위해 여러 유출모형이 개발 및 적용되고 있으나, 국내의 경우 대체로 탱크모형과 같은 집중형 유출모형이 이용되고 있는 실정이다. 이러한 집중형 모형은 주어진 지점에서 사실상 시간적인 미계측 형태를 잘 모의할 수 있으나 공간적으로 변화하거나, 인위적인 토지이용 등의 해석에는 구조적으로 충분한 모의를 할 수 없는 단점이 있다. 더욱이 우리나라의 경우 사계절이 뚜렷하여 갈수기에 해당하는 1~5월에 용설의 효과가 유출모의 및 수문성분해석에 상당히 영향을 미치고 있다.

그럼에도 불구하고 국내 수자원 계획에서 강우-유출의 절대적인 총량이 불변하기 때문에 크게 영향을 미치지 않을 것이라는 견해가 지배적이며 따라서, 용설을 고려한 장기유출모의에 대한 연구는 미비한 실정이다(배덕효와 오재호, 1998).

본 연구에서는 용설 영향에 대한 구체적인 평가를 위해 준 분포형 장기유출 모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)을 이용하여 충주댐 유역에 적용하였으며, 용설효과를 고려할 경우 강우-유출 관계를 좀 더 세밀히 모사할 수 있음을 제시하는 한편, 강우-유출 모형에서 용설을 고려할 경우 중요한 매개변수에 대해서 고찰하고자 한다.

\* 정회원.한국건설기술연구원.수자원연구부.수석연구원.공학박사E-mail : nwkim@kict.re.kr  
\*\* 정회원.한국건설기술연구원.수자원연구부.연구원.공학박사E-mail : bjlee@kict.re.kr  
\*\*\* 정회원.한국건설기술연구원.수자원연구부.연구원.공학박사E-mail : jeus22@kict.re.kr

## 2. 용설 모형

SWAT 모형은 물, 유사, 농업화학물질에 대한 모의를 수행하는 모형이다. 그림 1은 SWAT 모형의 수문모의에 대한 절차를 나타낸 것으로서, 기상자료, 유역추적, 하도추적, 저수지추적의 과정을 통해 수문모의를 수행한다. 용설모의는 유역추적 과정에서 수행되며 용설관련 매개변수에 따라 HRU에 대한 강수량 및 수문성분이 변하기 때문에 지표수, 토양수, 증발산, 지하수 모의보다 선행된다.

SWAT 용설모형은 표고에 따른 강수, 온도에 따른 변화율을 고려하기 위해 표고밴드(elevation band)를 설정하게 되며 각 표고밴드의 표고값과 밴드 내 소유역 면적비 설정에 따라 밴드 면적가중에 따른 HRU별 용설량을 산정하게 된다.

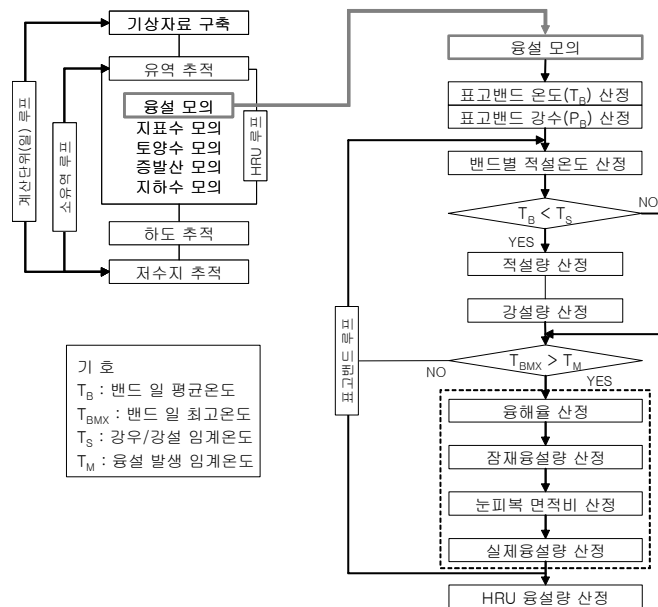


그림 1. SWAT 용설모형 모식도

## 3. 모형의 적용

### 3.1 대상유역

본 연구에서는 남한강의 대표적인 댐 지점인 충주댐 상류유역을 대상유역으로 선정하였다. 300×300m DEM으로부터 추출한 유역면적은 6,632km<sup>2</sup>이며 표고는 124~1560m, 평균표고는 607m인 전형적인 산지지역이다. 소유역 구분은 수자원단위지도(건교부, 한국수자원공사, 2001)에서 제시한 단위유역을 토대로 7개로 구분하였으며 전체 유역에 대한 HRU는 토지이용항목과 토양통에 각각 임계면적비 5%를 적용하여 140개로 결정하였다.

모의에 필요한 기상자료(강우, 풍속, 기온, 일사량, 상대습도)는 기상청 기상대의 자료를 사용하였다. 사용된 관측소는 대관령(100), 강릉(105), 동해(106), 원주(114), 영월(121), 충주(127), 홍천(212), 태백(216), 제천(221), 봉화(271), 영주(272), 문경(273)의 12개 관측소이다.

대상유역의 겨울철 적설 정도를 파악하기 위해 기상청으로부터 12개 관측소에 대한 10년

(1995~2004년)기간의 일 최심신적설량 자료를 수집하였다. 년 평균 적설량 산정 결과 대관령 관측소가 16,606mm로 적설량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 충주관측소가 410mm로 가장 작게 나타났다. 주위 관측소에 비해 이상치(outlier)에 가까운 대관령 관측소를 제외한 11개 관측소의 년 평균 적설량은 1,192mm이며, 이 중 10%를 물로 가정할 경우 겨울철 약 120mm의 강수가 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 충주댐 상류유역은 용설모의에 적합한 대상지역이라 판단된다.

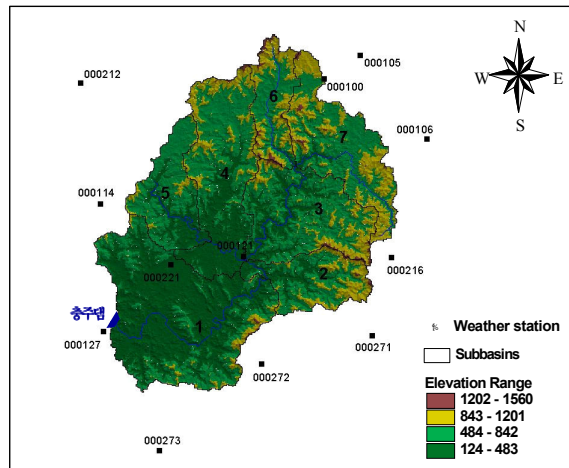


그림 2. 적용대상유역

### 3.2 매개변수 산정

SWAT 용설모형은 10개의 관련 매개변수가 사용되며 각 매개변수는 표 1과 같다. 본 연구에서는 대상유역을 표고밴드는 4개로 구분하였으며, 온도와 강수보정계수는 기상관측소 자료를 토대로 산정하였다. 또한 그 외의 매개변수는 보정을 통해 값을 산정하였다.

표 1. 최종 모의에 사용된 입력 매개변수

| 매개변수                                  | 단위        | 적용값  |
|---------------------------------------|-----------|------|
| 표고밴드                                  | 개         | 4    |
| 온도보정계수                                | °C/1000m  | -6.0 |
| 강수보정계수                                | mm/1000m  | 0.0  |
| 강우/강설 임계온도( $T_S$ )                   | °C        | 1.0  |
| 용설 발생 임계온도( $T_M$ )                   | °C        | 0.0  |
| 최대 용해율( $\alpha_{MX}$ )               | mm/day/°C | 6.0  |
| 최소 용해율( $\alpha_{MN}$ )               | mm/day/°C | 2.0  |
| 적설온도 지체계수( $\beta$ )                  | -         | 0.5  |
| 50% 적설피복 물당량비( $COV_{50}/COV_{100}$ ) | -         | 0.5  |
| 최소 100% 적설피복 물당량( $MNCOV_{100}$ )     | mm        | 50.0 |

## 4. 적용결과 및 분석

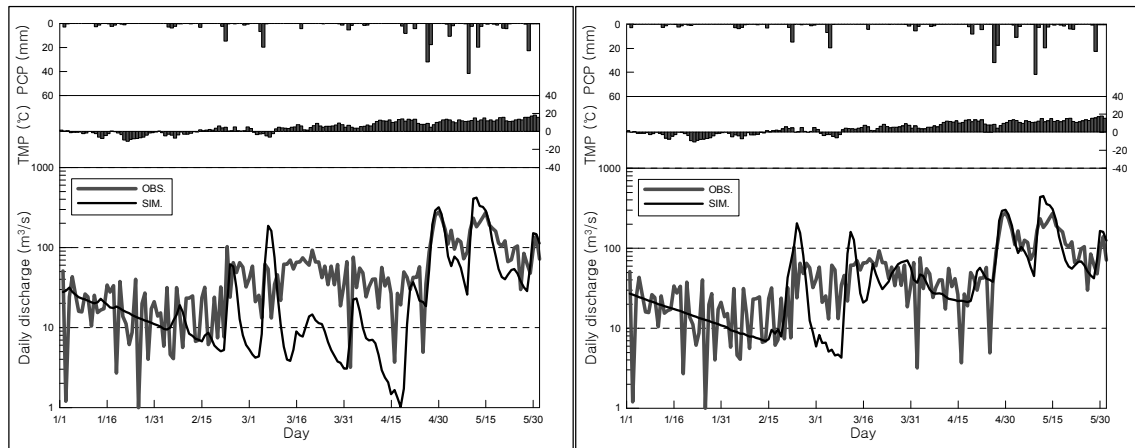
### 4.1 유출량 분석

본 연구에서는 모의기간을 2000~2004년, 모의 초기 매개변수 안정화를 위한 warming up 기간을 1999년으로 하여 모의를 수행하였다. 용설 영향을 평가하는 것이 본 연구의 목적이므로 용설에 관련된 매개변수 이외의 매개변수들은 보정에 이용하지 않았다.

용설에 대한 영향 평가는 용설을 고려하지 않을 경우에 대해 기온이 0°C 이하일때 내리는 강수를 모두 강우로, 용설을 고려할 경우는 강설로 구분하여 분석하였으며, 모의결과는 그림 3과 같다. 용설을 고려한 결과가 그렇지 않는 경우보다 관측 수문곡선을 유사하게 모의하는

것을 알 수 있다. 이는 표 2의 월별 상대오차에서도 용설을 고려한 모의결과가 더 잘 모의하는 것으로 나타났다.

다만, SWAT 모형은 용설 모의시 용설 발생 임계온도( $T_M$ ) 전후의 온도변화에 따라 유출량이 민감하게 반응하는 문제가 발생하였으며, 이는 향후 연구를 통해 개선되어야 할 것으로 판단된다.



a) 용설 미 고려

b) 용설 고려

그림 3. 용설 고려 유무에 따른 유출모의 결과

표 2. 용설 고려시 월별 유출량 비교

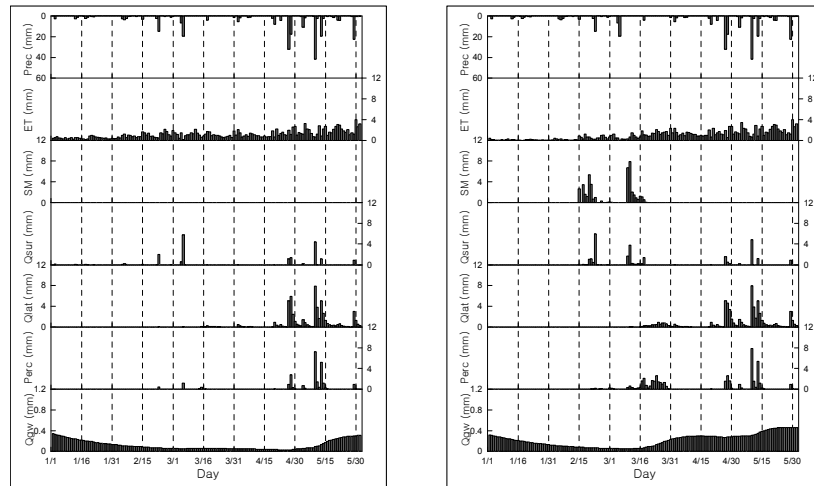
| 월 별 | 용설 미 고려 |         |        | 용설 고려   |         |        |
|-----|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|     | OBS.    | SIM.    | 상대오차   | OBS.    | SIM.    | 상대오차   |
| 1월  | 630.90  | 585.00  | -7.28  | 630.90  | 541.35  | -14.19 |
| 2월  | 772.60  | 396.53  | -48.68 | 772.60  | 882.72  | 14.25  |
| 3월  | 1559.50 | 701.26  | -55.03 | 1559.50 | 1322.61 | -15.19 |
| 4월  | 1884.60 | 1412.67 | -25.04 | 1884.60 | 1973.07 | 4.69   |
| 5월  | 3978.00 | 3747.09 | -5.80  | 3978.00 | 4373.78 | 9.95   |

#### 4.2 수문성분 분석

용설 고려에 따른 유출량 변화는 지표수, 토양수, 지하수, 증발산 등의 수문성분 변화를 의미한다. 장기유출에서 수문성분의 양을 파악하는 것은 수자원 계획 수립시 중요한 요소가 된다. 본 연구에서는 그림 4와 같이 2004년 1~5월에 대해 용설을 고려에 따른 전체 유역의 각 수문성분별 발생량을 분석하였다.

용설(SM)은 대부분 용설 발생 임계온도( $T_M$ ) 이상의 기온이 되는 2월 15일~3월 15일 사이에 발생하는 것을 알 수 있으며, 용설 고려시 무강우 기간에도 지표수( $Q_{sur}$ ), 토양수( $Q_{lat}$ ), 대수층으로의 침투( $Perc$ ), 지하수( $Q_{gw}$ )가 발생 또는 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 지하수( $Q_{gw}$ )의 경우 용설 고려 전에는 거의 발생하지 않는것에 비해 용설 고려시 3월 중순 이후 크게 발생하는 것으로 나타났다. 용설 모의시 증발산량(ET)이 감소한 것은 토양층 위의 적설로 인해 토양수 증발이 감소하기 때문이다.

따라서, 이러한 용설 모의 전후 수문성분 거동의 차이를 고려할 때 장기유출모의를 통한 정확한 수문성분 해석을 위해서는 용설모의는 필히 수행되어야 할 것으로 판단된다.



a) 용설 미고려

b) 용설 고려

그림 4. 용설 고려에 따른 수문성분 분석

## 5. 결론

충주댐 유역의 용설 영향을 분석하기 위해 SWAT 모형을 활용하여 2000~2004년동안 모의를 실시하였다. 표고에 따른 온도, 강수변화율을 고려하기 위해 4개의 표고밴드를 구성하였으며 12개 관측소에 대한 10년(1995~2004년) 동안의 기상관측자료를 토대로 온도, 강수변화율을 산정한 결과, 온도는  $6^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ 가 감소하고, 대관령 관측소를 제외한 관측소들은 표고에 따른 강수 변화가 없는 것으로 나타났다.

충주댐에서의 관측유량과 용설모의 전후의 유출량을 비교한 결과 용설모의를 수행한 결과가 관측치와 유사하게 모의되는 것을 알 수 있었다. 또한 수문성분 분석에서도 용설모의 전후에 따라 각 수문성분들이 시간적, 양적으로 다른 거동을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

이상의 결과로부터 장기유출모의를 통한 갈수기의 수자원 계획 수립시 용설 영향에 대한 분석이 꼭 수행되어야 할 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, 한국수자원공사(2002). 수자원단위지도 구축.
2. 배덕효, 오재호(1998). “장기 유출해석에서의 용설영향에 관한 기초연구.”한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제31권, 제6호, pp. 883-844.