

# WASMOD를 이용한 월 유출량 산정

조두찬\*, 김병식\*\*, 김형수\*\*\*, 서병하\*\*\*\*

## 1. 서론

월 유출량은 물 수지 분석을 위한 장기 유출정보로서 저수지와 댐의 용량결정, 가뭄대책 수립, 하천유지 용량 결정 등의 이수계획과 용수공급을 위한 댐 및 저수지의 물 관리, 수리권의 허가 및 조정, 용수분쟁 조정 등의 하천 물 관리 실무에서 필수적인 요소라고 할 수 있다. 우리나라와 같이 겨울철에 눈이 내리는 사계절의 변화가 뚜렷한 지역에서 하천 유량을 장기간에 걸쳐 연속적으로 모의하기 위해서는 강수, 증발산, 침투, 토양수분의 변화 등 하천 유량에 영향을 미칠 수 있는 수문순환의 각 성분과정이 강우-유출모형에 포함되어야 할 뿐만 아니라 용설의 현상을 모의할 수 있는 모형의 요소도 포함되어야 할 것이다(배덕효, 오재호, 1998). 아직 국내에서는 용설에 대한 고려하여야 한다는 필요성은 인식하면서도 용설에 관한 자료의 부족, 등 여러 가지의 이유로 연구가 미미한 실정이다. 국내의 용설에 관한 연구로는 배덕효와 오재호(1998)가 미국 국립기상청의 온도지수 용설모형을 도입하여 내린천 유역에 적용·검토한 바가 있으며 이상호 등(2002)은 탱크모형을 이용하여 소양강댐 유역에 대하여 적설 및 용설 모의를 포함한 유역유출 모의를 하였다.

본 연구에서는 용설을 고려할 수 있는 WASMOD(Water And Snow MODELing system)(Xu, 1996)을 이용하여 소양강댐 상류유역의 월 유출량을 산정하고자 하였다.

## 2. 이론

### 2.1 WASMOD의 개념

WASMOD는 Vandewiele 등(1993)이 제시한 온도지수함수를 이용하여 강수(precipitation)를 강우(rainfall)과 강설(snowfall)로 구분하여 그 양을 산정하며 강설량은 적설량(snowpack)에 합쳐지고 적설량 중 일부는 녹아 토양수분저류량(soil moisture storage)에 기여하게 된다. 강수량 중 일부는 증발산으로 손실되고 나머지 양을 실제 강수량(active rainfall)으로 정의하며 이 실제 강수량이 토양수분저류량에 기여한다.(Xu, 1996)

### 2.2 적설량과 용설량의 산정

WASMOD는 Vandewiele 등(1993)이 제시한 온도 지수법에 의해 적설량과 용설량을 산정하며 수식으로 표현하면 식(1)과 (2)와 같다.

$$s_t = P_t \{1 - e^{-(c_t - a_1)/(a_1 - a_2)}\}^+ \quad (1)$$

여기서,  $P_t$  : 강수량,  $c_t$  : 평균온도,  $a_1, a_2$  : 매개변수( $a_1 > a_2$ ),  $x^+ = \max(x, 0)$

\* 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 석사과정(e-mail: g2012018@inhavision.inha.ac.kr)

\*\* 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 박사과정(e-mail: hydrokbs@orgio.net)

\*\*\* 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수(e-mail: sookim@inha.ac.kr)

\*\*\*\* 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수(e-mail: seohydro@inha.ac.kr)

$$m_t = sp_{t-1} \{1 - e^{-[(c_t - a_2)/(a_1 - a_2)]^2}\}^+ \quad (2)$$

식(1)에서 산정한 강설량으로부터 식 (3)을 이용하여 적설량을 산정한다.

$$sp_t = sp_{t-1} + s_t - m_t \quad (3)$$

여기서,  $sp_{t-1}$  : 전달의 적설량,  $m_t$  : 용설량

강수량은 강수량 중에서 강설량을 제외한 양으로 식 (4)와 같다.

$$r_t = P_t - s_t \quad (4)$$

### 2.3 실제 증발산량 산정

잠재증발산량과 가용수량을 이용하여 실제 증발산량을 산정하며 가용수량과 잠재증발산량은 강수량과 토양 수분저류량으로부터 산정한다. 이러한 관계는 식 (5)~(8)과 같다.

$$w_t = r_t + sm_{t-1}^+ \quad (5)$$

여기서,  $sm_{t-1}^+ : \max(sm_{t-1}, 0)$

$$ep_t = [1 + a_3(c_t - \overline{c_m})] \overline{ep_m} \quad (6)$$

여기서,  $a_3$  : 매개변수,  $c_m$  : 장기 월평균온도,  $ep_m$  : 월평균 잠재증발산량,  $ep_t$  : 잠재증발산량

$$e_t = \min\{ep_t[1 - a_4^{w_t/ep_t}], w_t\} \quad (0 \leq a_4 \leq 1) \quad (7)$$

$$e_t = \min\{w_t(1 - e^{-a_4^{ep_t}}), ep_t\} \quad (a_4 \leq 0) \quad (8)$$

여기서  $a_4$  : 매개변수,  $e_t$  : 실제 증발산량

### 2.4 기저 및 지표유출량의 산정

기저 유출량은 유역의 수분 저류량과 밀접한 관계가 있으며 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$s_t = a_5(sm_{t-1}^+)^{b_1} \quad (9)$$

여기서  $a_5, b_1$  : 매개변수

실제 강수량은 식 (10)에 의해 산정되며 지표유출량은 식 (11)에 의해 산정된다.

$$n_t = r_t - ep_t[1 - e^{-r_t/ep_t}] \quad (10)$$

$$f_t = a_6(sm_{t-1}^+)^{b_2}(m_t + n_t) \quad (11)$$

여기서  $a_6, b_2$  : 모형의 매개변수,  $b_1, b_2$  : 지역 상수 (반 건조지역; 0.5, 그 외의 지역; 1, 2)

## 3. 모형의 적용

본 연구에서는 소양강댐 상류유역을 대상유역으로 선정하여 WASMOD를 적용하였다(그림 1참조). 모형의 입력자료는 1990년 1월부터 1999년 12월 간의 월 강수량, 월 잠재 증발산량, 월 평균온도, 월 유출량자료를 이용하였으며 우량관측소와 기상 관측소는 서화, 원통, 현리, 창촌, 인제, 추양, 용대, 군량, 상남, 신평 귀둔, 방동 우량관측소, 춘천 측후소이다. 유출량 자료는 소양강댐의 유입량 자료를 이용하였다.

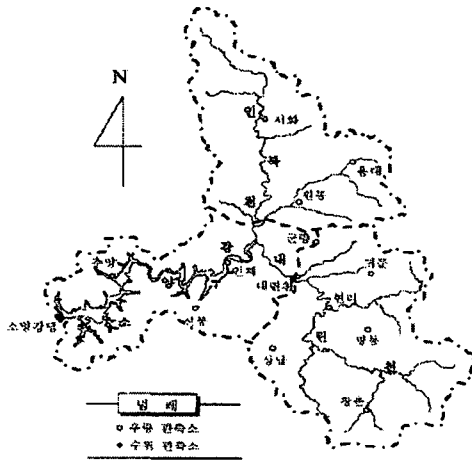


그림 1. 소양강댐 유역도

본 연구에서는 자동추적법인 VA05A(Hopper, 1976)을 이용하여 모형의 매개변수를 추정하였다. WASMOD로부터 산정된 유출량을 그림 2에 도시하였다. 일부 유출량값을 과대평가되는 경향이 있지만 전반적으로 유출량의 크기를 잘 모의할 수 있음을 알 수 있다.

앞에서 추정된 매개변수를 이용하여 1993년 1월부터 1999년 12월간의 강수량, 잠재증발산량, 평균온도를 입력하여 계산된 유출량은 그림 3과 같으며 그림을 통해 알 수 있듯이 관측유출량을 잘 재현함을 볼 수 있다.

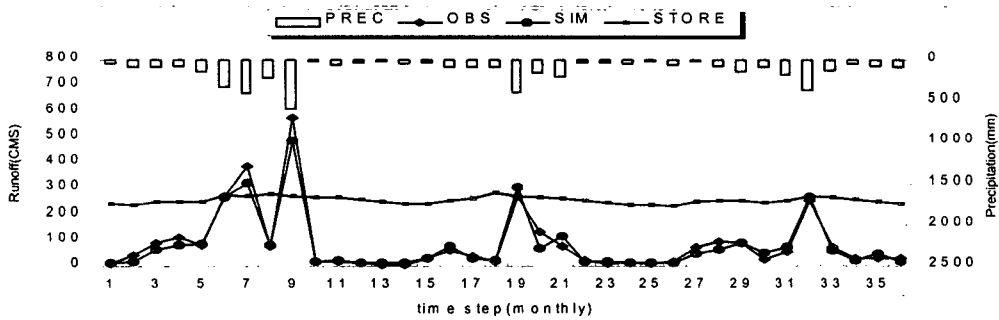


그림 2. 모형의 검정에 의한 유출수문곡선 (1990. 1~1992. 12)

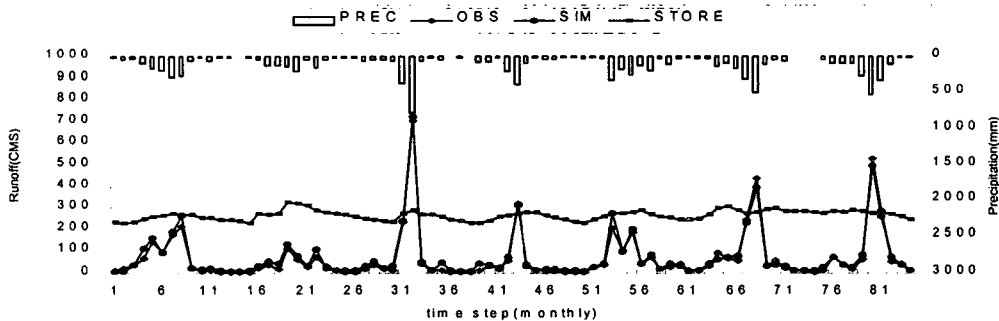
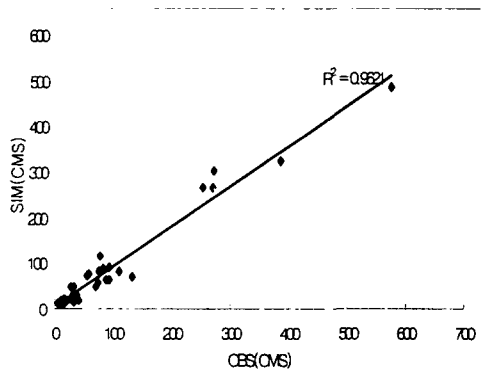
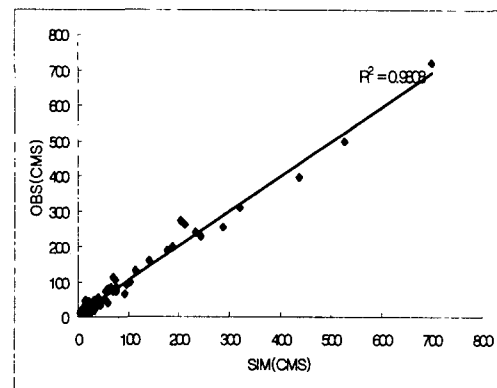


그림 3. 모형의 검증에 의한 유출수문곡선 (1993. 1~1999. 12)



(a) 검정(Calibration)



(b) 검증(Verification)

그림 3. 모의치와 관측치의 Q-Q plot 비교

#### 4. 결론

본 연구에서는 용설을 고려할 수 있는 물수지 모형인 WASMOD를 이용하여 소양강댐 유역의 월 유출량을 산정한 결과 관측유출량과 계산유출량간의 상관계수가 0.98이상으로 관측치를 잘 재현함을 알 수 있었다. 이를 통해 WASMOD의 국내 유역에 적용가능성을 확인할 수 있었다.

WASMOD는 모형의 입력자료 구축이 비교적 간단하고 사용자가 각 지역의 특성에 맞게 쉽게 수정하여 손쉽게 적용할 수 있기 때문에 우리나라와 같이 수자원계획시 월 유출량의 추정이 필요한 실무자들에게 손쉽게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 “수자원의 지속적 확보기술 개발사업단”의 연구비 지원(2-2-1)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- 배덕효, 오재호 (1998). “용설유출 모형에 관한 연구.” 98 한국수자원학회 학술발표회 논문집 pp.153-158
- 배덕효, 오재호 (1998). “장기 유출해석에서의 용설영향에 관한 기초 연구.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회 제 31권, 제 6호, pp. 833-844.
- 이상호, 박종표, 안태진, 심명필 (2002) “적설-용설모의를 포함한 탱크모형의 소양강댐에 대한 적용.” 2002년도 학술발표회논문집, 대한토목학회, pp. 96-99
- Vandewiele, G.L., Xu, C.-Y. and Huybrechts, W. (1991). “Regionalization of Physically-based Water Balance Models in Belgium-Application to Un-gauged Catchments.” *Water Resources Management*, Vol. 5, pp. 199-208.
- Vandewiele, G.L., Xu, C.-Y. and Ni-Lar-Win. (1992). “Methodology and Comparative Study on Monthly Water Balance Models in Belgium, China and Burma.” *Journal of Hydrology*, Vol. 134, pp. 315-347.
- Xu, C-Y and Singh, V P. (1998). “A review on monthly water balance models for water resources investigation and climatic impact assessment.” *Water Resources Management*, Vol. 12, pp. 31-50.
- Xu, C-Y, J. Seibert and S. Halldin, (1996). “Regional water balance modelling in the NOPEX area: development and application of monthly water balance models.” *Journal of Hydrology*, Vol. 180, pp. 211-236.
- Xu, C-Y. (1997). “Application of water balance models to different climatic regions in China for water resources assessment.” *Water Resources Management*, Vol. 11, pp. 51-67.