

격자기반 강우-유출모형(K-DRUM)의 장기유출 모의기능 개발 Application of Grid Based Rainfall Runoff Model(K-DRUM) for the Long-Term Period

김현식*, 강신욱**, 박인혁***, 허영택****, 황필선*****

Kim Hyeon Sik, Kang Shin Uk, Park In Hyeok, Hur Young Teck, Hwang Phyl Sun

요 지

본 연구에서는 K-water에서 자체 개발한 물리적 기반의 격자단위 강우-유출모형(K-DRUM ; K-water Distributed rainfall Runoff Model)을 일 단위 장기유출 분석에 활용하기 위해서 유역의 증발산량 산정 및 용·적설 등을 모의할 수 있는 기능을 추가로 개발하였고, 재현성 분석을 위하여 남강댐 유역을 대상으로 장기유출모의를 수행하였다. 모의결과 단기 홍수사상의 경우 유출량에서 증발산 효과가 크지 않지만 연간 전체 유출량을 비교할 경우에는 상당한 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 본 연구를 통해 개선된 K-DRUM 모형은 단기 홍수유출 뿐만 아니라 용·적설을 고려한 장기유출 분석에도 활용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 격자기반 유출모형, K-DRUM, 장기유출모의, 증발산, 용·적설

1. 서론

최근 기후변화에 따라 강수 패턴 변화, 토지피복 및 토지이용 변화 등 수자원 분야에서 다양한 변동이 발생하고 있다. 이러한 변화는 관측 자료를 토대로 유역특성을 정의하여 유출모의를 수행하는 모형의 신뢰도에 영향을 주게 되어 장기적 유출특성 변화를 예측하는데 어려움이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 수문학적 유역 특성에 대해 물리적 기법을 적용한 유출모형 개발 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 최근에는 국내외에서 다양한 물리적 기반의 유출모형을 개발하고 사용자 편의기능을 적용하여 상용모형 형태로 제공하기도 한다.

K-DRUM(K-water hydrologic & hydraulic Distributed Runoff Model)은 K-water에서 자체 개발한 물리적 기반의 격자단위 강우-유출모형으로서 초기에는 레이더자료를 활용한 단기 홍수유출해석을 목적으로 개발(박진혁과 허영택, 2008)되었으나, 격자기반 모형의 단점인 과도한 계산시간을 단축하기 위하여 정성영 등(2010)은 MPI 기법을 적용한 병렬화 코드를 개발하는 등 대유역을 대상으로 장기 유출분석을 위한 다양한 성능향상을 지속적으로 추진하고 있다.

유역의 강우-유출모형을 활용한 장기유출량 분석에는 유역의 증발산량 산정과 봄과 겨울철의 용·적설량 산정이 필요하다. 기존 연구를 보면 다양한 유출모형을 이용하여 증발산 및 용·적설

* 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 팀장 · E-mail : hyeonsik@kwater.or.kr

** 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원 · E-mail : sukang@kwater.or.kr

*** 충북대학교 건설기술연구소 연구원 연구교수 · E-mail : teryoops@nate.com

**** 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원 · E-mail : Korcivil@hanmail.net

***** 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 실장 · E-mail : jesus@kwater.or.kr

을 고려한 장기유출 분석을 수행한 사례가 많고 최근에는 기후변화를 고려한 유역 장기유출 분석에도 연구가 활발히 수행되고 있다. 증발산을 고려한 장기 유출분석에는 홍우용 등(2010)이 용담댐을 대상으로 격자기반의 모형을 활용하여 적용한 사례가 있고, 강신욱과 유승엽(2008)은 강우유출모형 NWS-PC에 Sugawara 등(1984)의 개념적 용설모형을 적용하여 소양강댐 유역의 용·적설 모의를 수행하였다.

본 연구에서는 K-DRUM 모형을 이용하여 장기유출 분석에 활용하기 위해 유역의 증발산량 산정 및 용·적설 등을 모의할 수 있는 기능을 기존의 연구를 참고하여 모형에 추가하고 남강댐을 대상유역으로 선정하여 적용성 검토를 수행하였다.

2. 증발산 및 용·적설 산정 방법

2.1 증발산량 산정

강우유출 모형의 입력자료로 실제증발산량의 추정이 필요한데 일반적으로 증발계 증발량은 잠재증발산량보다 크며, 실제 증발산량은 잠재증발산량보다 작다. 실제 증발산량은 잠재증발산량에 작물의 종류와 성장에 관계된 작물계수, 토양수분과 환경의 영향을 고려하는 계수를 곱하여 추정할 수 있다.

본 연구에서 잠재증발산량을 추정하기 위해 사용한 방법은 FAO-56 Penman-Monteith법이고 관계식은 아래와 같다.

$$T = \frac{0.408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - \sigma \left[\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14 e_a) 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \quad (2)$$

여기서, Δ 는 포화증기압대 온도곡선의 변화율(kPa/°C), R_n 은 순복사에너지(MJ/m²/day), γ 는 건습구 상수(kPa/°C), T 는 절대온도(K), u_2 는 지상 2m에서의 풍속(m/s), e_s 는 포화증기압(kPa), e_a 는 실제 증기압(kPa), α 는 반사율(albedo)(초지 0.23), R_s 는 태양복사에너지(MJ/m²/day), σ 는 Stefan-Boltzmann 상수(4.903×10^{-9} MJ/m²/day/K⁴), R_{so} 는 청명일의 태양복사에너지(MJ/m²/day)이다.

고도에 따른 최고, 최저, 이슬점 온도는 연중 날짜에 따른 기온감율을 적용하여 일별 기온감율을 구한 후 관측소의 고도와 격자의 고도 차이에 따라 보정을 하여 산정하며, 윤진일 등(2000)은 산악지대의 일 최저기온 공간내삽모형으로 남한의 63개 지점(17~840m)의 관측자료를 이용하여 일별 기온감율을 추정하였다.

$$|\Gamma| = 0.00685 + 0.00315 \cos\{0.0172(i - 15)\} \quad (3)$$

여기서, Γ 는 일별 기온감율(°C), i 는 Julian day(1월 1일=1, 12월 31일=365)이다.

위도에 따른 격자행별 일조시간 계산은 관측소의 일조시간 자료에 위도별 가능최대일조시간의 비로 보정하여 사용한다.

$$\text{지점 일조시간} = \text{관측소 일조시간} \times \frac{\text{지점 최대일조시간}}{\text{관측소 최대일조시간}} \quad (4)$$

$$\text{최대일조시간} = \frac{24}{\pi} \times \arccos[-\tan(\phi) \tan(\delta)] \quad (5)$$

여기서, ϕ 는 지점의 위도(radian), δ 는 태양의 적위(radian) 이다.

실제 증발산량은 아래식과 같이 잠재증발산량에 계수 0.7을 곱해서 산정한다. 계수(0.7)는 평균적인 값이며 월 또는 계절에 따라 변할 수 있지만, 본 연구에서는 일률적으로 0.7을 적용하였다.

2.2 용 · 적설량 산정

유역의 평균 용 · 적설량은 유역내의 기상관측소에서 관측된 일 최대기온 및 최저기온을 평균한 평균기온으로부터 추정한다. 고도에 의한 온도변화를 산정하기 위해서 기상관측소의 표고와 각 격자 표고간의 차이를 이용한 기온저감율을 고려한다. Sugawara 등(1984)은 고도가 100m 높아짐에 따라 기온은 0.5°C~0.6°C 저하한다고 하였다. 기온 및 강우에 의한 용 · 적설은 우선 기온이 기준 용설온도(여기서는 2.5°C)를 시작으로 기온 1°C가 상승할 때 용설량은 3mm/day 정도로 일괄 적용하고, 기준온도보다 아래의 경우에는 적설로 고려하였다. 강우에 의한 용설량은 (강우량)×(기온)/80으로 하였다. 용 · 적설에 대한 산정은 경험식을 기반으로 아래와 같다.

$$\begin{cases} SA = P(t) & , T \leq 2.5 \\ DS = SMELT \times T(t) + (1/80)P(t) \times T(t) & , T > 0 \end{cases} \quad (6)$$

여기서, DSA 는 적설량(mm/day), DS 는 용설량(mm/day), $SMELT$ 는 용설 매개변수((mm/day/°C), $P(t)$ 는 강수량(mm/day), $T(t)$ 는 온도(°C)이다.

3. 댐 유역 적용 및 평가

3.1 대상유역

증발산 및 용 · 적설 산정기법을 적용한 K-DRUM 모형의 적용성을 평가하기 위해 남강댐 유역을 대상유역으로 선정하였다. 남강댐유역은 낙동강 합류지점으로부터 약 80km 상류지점에 위치하며, 유역면적은 2,293km²로 낙동강 전체 유역면적의 9.6%를 차지하고 있다. 연평균 기온은 13°C이며 여름철에 몬순기후와 남해안의 난류가 어우러져 집중호우나 태풍을 동반하는 다우지역으로서 연평균 강우량이 1,416mm나 된다(한국대담회, http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k_dam9.html). 남강댐유역의 지형지세 및 하도, 수위관측소 등 기본현황은 그림 1에 나타나 있다. 유역의 수문학적인 특성은 지형, 토지피복, 토양 등에 의해 크게 좌우된다. 본 연구에서는 계산단위해상도를 500 m 단위로 결정하였고, 각각의 수문매개변수 자료를 계산단위해상도로 변환하였다. 이에 대한 상세한 자료는 한국수자원공사(2006) 보고서를 참고할 수 있다.

3.2 적용 결과

증발산 및 용 · 적설 기법을 적용하기 위한 기간은 태풍 ‘에위니아’가 내습한 2006년도를 대상으로 하였다. 증발산 및 용 · 적설에 필요한 기상자료는 산청기상관측소의 일단위 자료를 이용하였고 강우자료는 남강댐 유역의 18개 강우관측소 시간위 자료를 이용하였다. 유출량은 남강댐 수위

관측소를 기준으로 관측유출량과 계산유출량을 산정하였다.

관측유출량 대비 증발산 및 용·적설을 고려한 경우(Case1)와 고려하지 않은 경우(Case2)의 계산유출량에 대한 분석을 위해 총 유출량 오차(VOE, Volume of Error), 제곱근 평균제곱오차(RMSE, Root Mean Squared Error), 효율성 지수(NSE, Nash-Sutcliffe Efficiency), 지속성 지수(PME, Persistence Model Efficiency) 기법으로 평가하였다. 각 기법에 대한 비교 결과를 표 1에 나타내었다. 총 유출량의 경우 증발산 및 용·적설을 고려한 경우가 관측유출량 대비 100.9%로 매우 유사하게 분석되지만, 고려하지 않은 경우에는 133.5%로 과다하게 산정됨을 알 수 있다. 결과적으로 용·적설은 유역내 강우가 용설이 아닌 강우로 유출되기 때문에 총 유출량에 기여를 하게 되지만 증발산량의 경우 유역 유출에 기여를 하지 않는다고 가정하면 남강댐 유역에서는 증발산에 의한 강우손실량이 약 33%에 달하는 것을 알 수 있다.

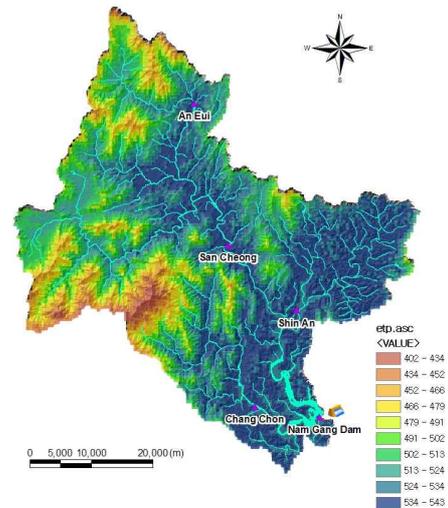


그림 1. 적용대상유역

표 1. 관측 및 계산유출량 상관성 분석

구분	VOE(%)	RMSE(m ³ /s)	NSE	PME	증발산 및 용·적설 고려여부
Case1	100.9	96.4	0.82	0.84	고려
Case2	133.5	101.6	0.80	0.82	미고려

그림 2에 증발산 및 용·적설을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 연간 시계열 유출량을 그래프로 표시하였다. 그림에서 홍수기(여름철)의 경우는 직접유출량이 기저유출에 비해 상대적으로 크기 때문에 증발산 및 용·적설 효과가 크게 나타나지 않지만, 봄, 가을, 겨울철의 경우에는 기저유출 비율이 상대적으로 크기 때문에 증발산 및 용·적설을 고려한 경우가 실제 유출량과 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 결과적으로 본 연구에서 적용한 증발산 및 용·적설 산정모듈은 탑재한 K-DRUM 모형은 장기유출 분석에도 적용이 가능함을 보여준다.

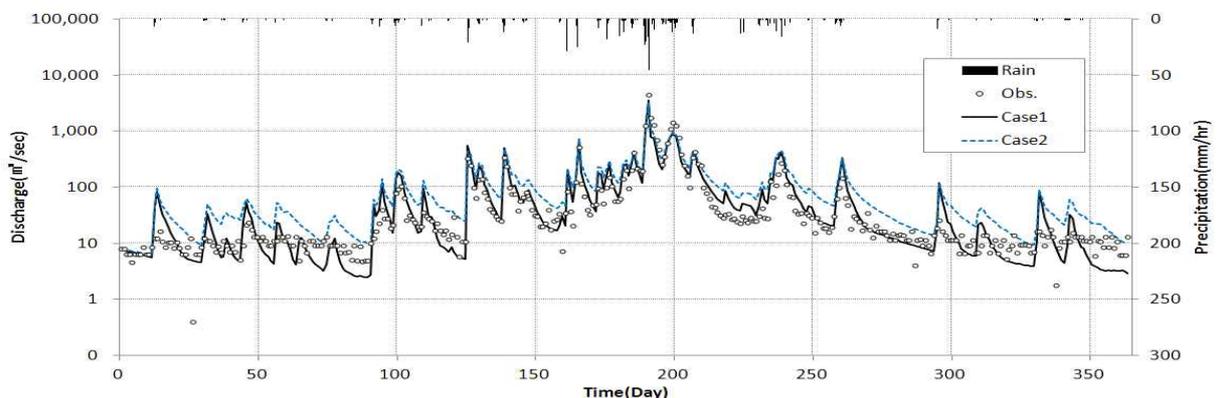


그림 2. 2006년도 남강댐유역 관측 및 계산유출량 비교

4. 결론

본 연구에서는 장기유출모의를 위해 기존에 발표된 증발산 및 용·적설관련 이론을 이용하여 K-DRUM 모형에 모듈형식으로 적용하였고, 재현성 분석을 위하여 남강댐 유역을 대상으로 2006년도 연간 장기유출모의를 수행하였다. 모의결과 홍수기 기간(여름)에는 강우에 의한 직접유출량이 상대적으로 크기 때문에 증발산 기능을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 유출량 차이가 크지 않지만, 이수기(봄, 가을, 겨울)의 경우에는 직접유출보다 기저유출량이 상대적으로 커서 유출량에서 상당한 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 본 연구를 통해 개선된 K-DRUM 모형은 단기 홍수유출 뿐만 아니라 증발산 및 용·적설을 고려한 장기유출 분석에도 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 강신욱, 유승엽(2008). NWS-PC 모형을 이용한 강우-유출 모의에서 적설 및 용설 영향, 대한토목학회논문집, 제28권, 제1B호, pp. 1-9.
2. 박진혁, 허영택(2008). 홍수유출해석을 위한 운동파기반의 분포형모형 개발 및 적용, 한국수자원학회지, 제41권, 제5호, pp. 455-462..
3. 윤진일, 최재연, 윤영관, 정유란(2000). 산악지대의 일 최저기온 공간내삽모형, 한국농림기상학회지, 제2권, 제4호, pp. 175-182..
4. 정성영, 박진혁, 허영택, 정관수(2010). 분포형 강우유출모형 병렬화 처리기법 적용, 한국수자원학회지, 제43권, 제8호, pp. 747-755.
5. 한국대댐회 홈페이지, http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k_dam9.html.
6. 한국수자원공사(2006). 레이더 강수를 이용한 단기강수 및 유출예측시스템 개발(3차년도), 연구보고서, pp. 68.
7. 홍우용, 박근애, 정인균, 김성준(2010). 분포형 유역 일유출 모형의 개발 및 적용성 검토, 대한토목학회논문집, 제30권, 제5B호, pp. 459-469.
8. Sugawara, M., Watanabe, I., Ozaki, E., and Katsuyama, Y.(1984). Tank model with snow somponent, National Research Center for Disaster Prevention, No. 65, Japan.