

분포형 물수지 유출 모형의 개발 및 적용성 검토

Development of a distributed daily streamflow simulated model and evaluation of its applicability

홍우용*, 박근애**, 정인균***, 박민지****, 김성준*****

Woo Yong Hong, Geun Ae Park, In Kyun Jung, Min Ji Park, Seong Joon Kim

요 지

최근 전 세계적으로 GIS (Geographic Information Science) 및 RS (Remote Sensing) 데이터 등 디지털정보의 구축이 급속도로 진행되고 있고, 이들의 발달로 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수 수집이 가능하여 유역을 부분유역으로 분할한 기존의 집중형 수문모형보다 유역 내의 공간적인 유량변동을 보다 상세하게 고려할 수 있는 격자기반의 분포형 수문모형의 활용도가 높아지고 있다. 유역의 수문특성 및 지형특성을 동일한 매개변수로 적용하기 때문에 유역의 공간적인 수문 및 지형특성을 표현하기 어려운 집중형 모형과 달리 강우-유출해석에 있어서 분포형 모형은 실제 복잡한 유역에서의 유출과정 또는 물질의 수문순환과정을 잘 이해할 수 있고, 어떤 유역의 토지이용형태의 변화가 초래하는 영향과 효과를 사전에 예측할 수 있으며, 신뢰성 있는 과거의 수문자료가 없거나 부족한 유역에서의 유출 계산이 용이하다. 따라서 본 연구에서는 Fortran 90을 개발언어로 사용하여 GIS Data와 위성영상을 활용해 유출량을 모의하는 분포형 물수지 유출 모형을 개발하여 금강 상류유역인 용담댐 유역(930km²)을 대상으로 2000~2008년의 일 유출량을 모의하였다. 모형은 크게 3개의 모듈(유출량, 증발산량, 토양수분) 형태로 구성되었으며, 유출량은 강우 전 토양의 저류능을 추적하여 산정하였다. 모형의 결과는 셀별 값을 가지는 분포형으로 출력되며, 유역의 평균 수문자료가 Text file로 출력된다. 민감도 분석을 통하여 최적의 유출 관련 매개변수를 선정하고 하류의 댐 유입량 자료를 바탕으로 모형의 보정(2001-2004) 및 검증(2005-2008)을 실시하였다. 유출량에 대한 Nash-Sutcliffe 모형효율은 0.78~0.93로 모의치가 실측치의 경향을 잘 표현하는 것으로 나타났다. 유출량 분포도는 강우량을 매우 잘 반영하였으며, 같은 강우조건 하에서 토양의 배수조건에 따라 유출이 확연히 다르게 표현되었다.

핵심용어 : 분포형 모형, 유출량, Penman-Monteith, 증발산량, 토양수분

1. 서 론

물 순환계통의 올바른 이해와 적합한 모형의 개발 및 검증을 위해서는 강우, 증발산 및 토양수

* 정회원 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : carrot84@konkuk.ac.kr
** 정회원 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사 후 과정 · E-mail : dolpin@konkuk.ac.kr
*** 정회원 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사 · E-mail : nemoic@konkuk.ac.kr
**** 정회원 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : iamg@konkuk.ac.kr
***** 정회원 건국대학교 환경시스템학부 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

분 등 수문 변수들의 대규모 원격측정이 필수적일 뿐 아니라 관측 격자 내에서 일어나는 시공간 변화도에 대한 해석 또한 병행되어야 한다(김광섭과 이을래, 2004; 김광섭, 2007). 최근 전 세계적으로 Geographic Information System (GIS) 및 Remote Sensing (RS) 데이터 등 디지털정보의 구축이 급속도로 진행되고 있고, 이들의 발달로 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수 수집이 가능하여 유역을 부분유역으로 분할한 기존의 집중형 수문모형보다 유역내의 공간적인 유량변동을 보다 상세하게 고려할 수 있는 격자기반의 분포형 수문모형의 활용도가 높아지고 있다(박진혁, 2008). 분포형 수문모형은 유역을 격자단위로 세분화 하여 매개변수를 부여하고, 증발산, 침투, 지표면유출, 중간유출, 지하수유출, 하도흐름 등 여러 가지 수문요소를 종합적으로 해석하는 모형이다(장철희, 2007).

따라서 본 연구에서는 물수지 방정식을 이용한 분포형 물수지 유출 모형을 개발하고 용담댐 유역을 통해 그 적용성을 평가하였다.

2. 모형의 구성

본 연구에서는 FORTRAN 90을 개발언어로 사용하여 위성영상을 이용해 유출량을 모의하는 분포형 물수지 모형을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 모형의 구성은 자료준비, 전처리, 모형실행으로 요약할 수 있다. 모형에는 기상자료 및 모형 매개변수, GIS, RS 자료가 입력된다. 입력 GIS 자료는 유역경계, DEM, 토지이용도, 토심도 및 토양종류도, 위도, 공간 기상자료 등이며, RS 자료는 MODIS 위성영상에서 추출한 엽면적지수(LAI)이고 이들 자료는 ESRI ASCII Grid 형식으로 구축하게 된다. 토지피복 및 토양 관련 매개변수, 작물 관련 매개변수는 사용자가 직접 작성한 데이터를 선택적으로 입력할 수 있다. 모형에서는 입력된 기본 매개변수 중 주요 매개변수에 대하여 사용자가 직접 수정이 용이하도록 하고 있으며, 입력 자료는 파일 목록과 경로 지정만으로 적용할 수 있도록 하였다.

3. 적용성 분석

3.1 대상유역

본 연구의 대상유역은 금강 최상류의 용담댐 유역으로 북위 35°35' ~ 36°00', 동경 127°20' ~ 127°45'의 범위에 위치하고 있다(Fig. 1). 용담호는 금강 중하류에 홍수피해를 경감시키고 전주 지역 및 댐 하류 지역의 원활한 용수 공급을 위해 건설된 다목적댐 저수지이며, 연구지역이 포함되어 있는 무주군, 진안군, 장수군은 과거 1994년, 1995년에 큰 가뭄기록이 있고 2001년에도 봄 가뭄을 겪는 등 빈번한 재해가 일어나는 것으로 보아 토양수분을 중심으로 용담댐 유역의 수문 흐름을 연구하는 것은 매우 중요한 일이 될 것이다.

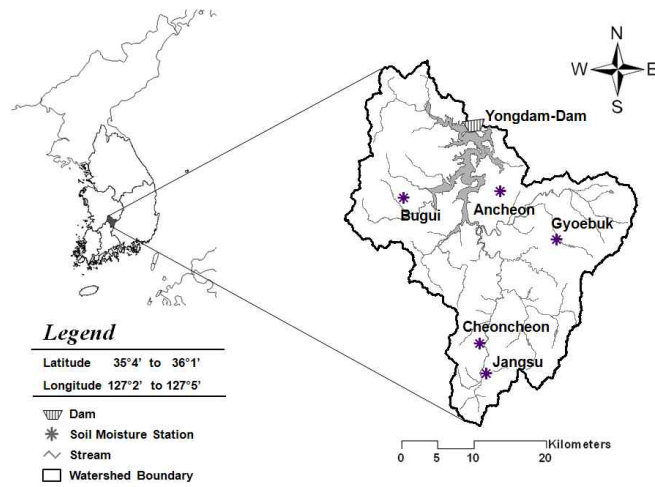


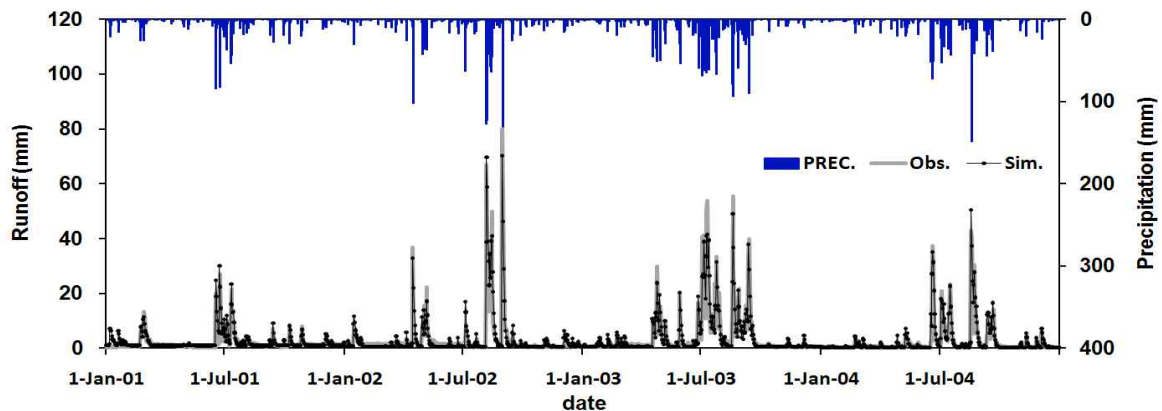
Fig. 1 Study area.

3.2 입력자료

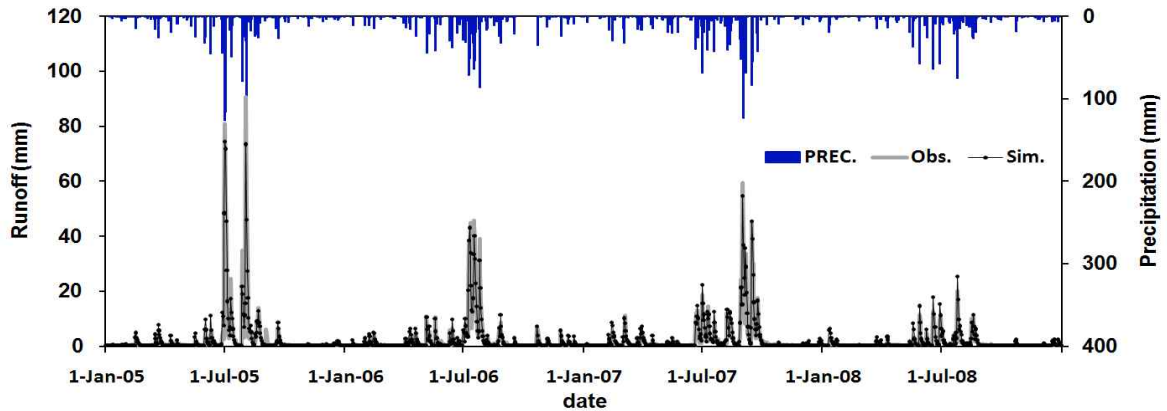
본 분포형 모형은 모든 입력 자료를 map으로 넣는 형식을 취하고 있으므로, 본 연구에서는 기상자료를 IDW (Inverse Distance Weighting)법을 고려하여 공간 분포화 시켜 입력 자료로써 사용하였다. 기상자료는 강우량(mm), 최고, 평균, 최저온도(°C), 풍속(m/s), 일조시간(hr), 습도(%)이며, 지형 자료로는 토지이용도와 토양도가 필요하다. 본 모형에서는 Penman-Monteith의 기준증발산량을 위성영상에서 추출한 LAI를 이용하여 실제증발산량으로 사용하였다(Fig. 4). MODIS LAI는 대기 보정된 자료이나, 구름의 영향을 최소화하기 위하여 8day 기준 자료에서 월별 기준 자료로 변환하여 사용하였다.

3.3 모형의 검보정

모형을 실세계에 적용시키기 위하여 유출 자료를 이용한 검보정을 수행하였다. 유역 출구점인 용담댐 유역의 유입량(cms)과 해당 일의 유역 유출량 평균(cms) 자료를 비교하여 Hydrograph를 작성하였으며(fig. 2), R², RMSE, NSE를 이용하여 적용성을 평가하였다. 보정기간(2001~2004)의 R²는 0.80, 검정기간(2005~2008)은 0.87로 나타났으며, NSE는 보정기간에 0.84, 검증기간에 0.91 그리고 RMSE는 각각 2.27mm/day, 1.91 mm/day로 나타났다.



(a) calibration periods



(b) validation periods

Fig. 2 Hydrograph Comparison between Simulated and Observed Daily Discharge at Yongdam Dam

4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 모형의 출력결과로서 월별로 선정된 유역 내 셀 단위의 일 유출량 분포도를 보여주고 있다. 동일한 날의 강수량 분포도와 비교해 보면 강수량과 유출량이 유사한 패턴을 가진다는 것을 알 수 있었다. 토양종류가 clay loam (식양토)에서 유출이 크게 발생하였으며, loam (양토)은 상대적으로 유출이 작게 발생하는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 3의 원내). 또한 같은 강우조건에서 초지나 밭 보다는 논이나 시가지에 유출량이 많은 것으로 나타났다. 논은의 경우, 벼의 생육기간 (6월 1일 - 9월 10일)에는 토양수분이 포화된 담수상태이므로 여유고 (물꼬높이-당일 담수심)를 채운 나머지의 강수량이 모두 지표 유출되기 때문이며, 시가지는 콘크리트 등 불투수지역이 차지하는 비율이 다른 토지이용보다 크기 때문인 것으로 파악된다.

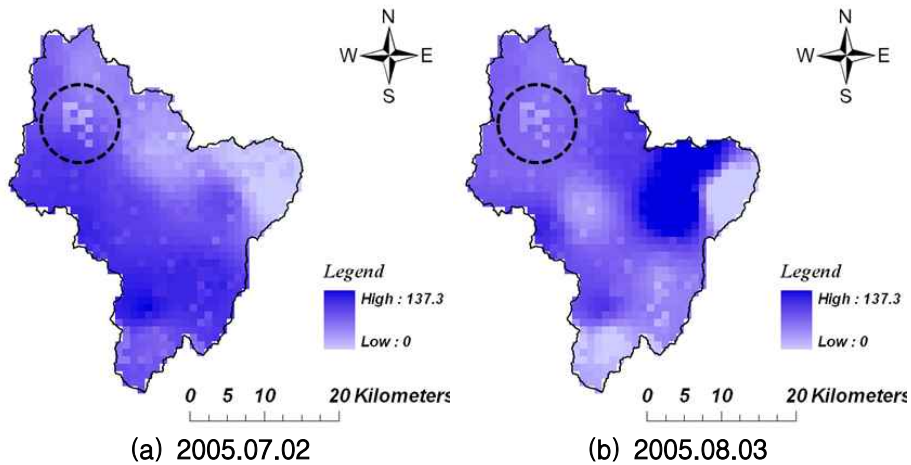


Fig. 3 Runoff Distributed Map

4. 결론

본 연구에서는 분포형 일 물수지 모형을 유역면적 930km²의 용담댐 유역을 대상으로 적용성을 검토하였다. 모형을 실세계에 적용시키기 위하여 유출 자료를 이용한 검보정을 수행하였다. 유역 출구점인 용담댐 유역의 유입량(cms)과 해당 일의 유역 유출량 평균(cms) 자료를 비교하여 Hydrograph를 작성하였으며, R², RMSE, NSE를 이용하여 적용성을 평가하였다. 유출곡선을 보아 강우가 적은 해인 2001, 2004년과 2008년에 침투유출이 과대 추정되는 것으로 나타났고, 강우가 비교적 많은 2003년과 2005년에 모형의 침투유출이 실측값을 따라가지 못하는 것으로 나타났다. 이것은 모형에서 포화투수계수에 따라 변동되는 값으로, 모형 안의 포화투수계수가 잘못 산정되었다고 판단된다. 곡선에 따라 보정기간의 R²는 0.80, 검정기간은 0.87로 나타났으며, NSE는 보정기간에 0.84, 검증기간에 0.91 그리고 RMSE는 각각 2.27mm/day, 1.91 mm/day로 나타났다. 유출량 분포도는 토양의 배수 정도 매우 많은 영향을 받는 유출량의 특성이 잘 나타나며, 강우분포도와 유사한 패턴을 보이는 것으로 보아 분포도는 유출곡선과 함께 신뢰성이 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 한국건설교통기술평가원의 2009 건설기술혁신사업인 ‘기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망’ 과제에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. 김광섭 (2007). "유역관리를 위한 토양수분 분석(I) - 토양수분 관측 연구동향." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제40권, 제1호, pp. 62-71.
2. 김광섭, 이을래 (2004). "신경망기법과 보조자료를 사용한 원격측정 토양수분자료의 Downscaling기법 개발." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제1호, pp. 21-2최경문, 김상현, 손미나, 김준(2008). 전이함수를 통한 광릉 산림 유역의 토양수분 모델링, 한국농림기상학회지, 제10권, 제2호, pp. 35-46.
3. 박진혁, 강부식, 이근상 (2008). "레이더강우를 이용한 GIS 기반의 분포형 모형 적용성 분석." 한국지형공간학회지, 제16권, 제1호, pp. 23-32.
4. 장철희, 김현준, 김상현, 노성진 (2007). "분포형 수문모형(GSSHA)을 이용한 산지사면에서의 토양수분 모의", 한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.1614-1618.