

분포형 유출모형의 초기토양함수상태 자동보정 기법 개발

A Development of Auto-Calibration for Initial Soil Moisture Condition in Distributed Runoff Model

박진혁*, 차기욱**, 류경식***, 허영택****

Jin-Hyeog Park, Kee-Uk Cha, Kyong-Sik Ryoo, Young-Teck Hur

요 지

본 연구에서는 격자강우량과 GIS와 연계한 격자기반의 공간수문자료들을 모형의 입력매개변수로 활용하고, 수계망을 통하여 유역 출구까지 운동파(kinematic wave)이론에 의해 유출량을 물리적으로 추적해 나가는 격자기반의 분포형 강우-유출모형인 K-DRUM(Kwater Distributed Runoff Model)을 개발하였고, 지표유출량에 가장 큰 영향을 주지만 실제 관측 및 적용이 용이하지 않은 유역의 초기토양함수상태에 대한 자동보정기법을 개발하였다.

개발된 자동보정기법을 이용하여 남강댐유역을 대상으로 적용가능성을 평가하였다. 연구에서 사용한 강우사상은 남강댐 유역에 큰 영향을 준 태풍 루사 (2002년 8월 31일 01시~9월1일 23시), 태풍 매미 (2003년 9월 12일 01시~9월13일 23시), 2004년의 대류성강우 (2004년 7월14일 01시~7월 16일 10시) 및 태풍 에위니아 (2006년 7월 8일 18시~7월11일 12시)의 총 4개의 사상을 대상으로 하였다. 개발한 유역의 초기토양함수상태 자동보정기법에 의한 유출모의의 적용성을 검토하기 위하여 모의에 사용된 매개변수 중 토지피복도에 의해 결정되는 조도계수와 토양도에 의해 결정되는 유효토심, 흡인수두계수, 공극률 및 투수계수는 4개의 강우사상에서 모두 동일한 조건으로 설정하였고, 유역내 토양 내부 수분함유량 산정을 위한 초기 기저유출량은 검토대상 기간 시점부에서 관측된 유출량으로 설정하였다.

초기토양함수상태 자동보정기법 적용을 통한 유출해석의 정확도는 체적오차 백분율(VER)과 침투유량 오차 백분율(QER)을 이용하여 평가하였으며, 이를 통해 본 모형이 유출량에 대한 정확성을 확보하고자 하였다.

본 연구에서 개발된 자동보정 기법을 적용한 결과, 초기토양조건을 설정하는데 있어서 기존의 시행착오법으로 인해 소요되는 시간과 유역내 토양 특성과 지형형상을 고려하지 않는 설정으로 인해 발생될 수 있는 문제점을 해결할 수 있었으며, 유출계산 결과도 유량의 크기와 침투시간 모두 관측값과 비교적 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 분포형모형(K-DRUM), 초기토양함수, 자동보정기법, 기저유출

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 · E-mail : park5103@kwater.or.kr

** 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 한강권물관리팀장 · E-mail : cku@kwater.or.kr

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

**** 비회원 · 한국수자원공사 물관리센터 공동연구원 · E-mail : korcivil@kwater.or.kr

1. 연구배경 및 목적

최근 GIS 및 인공위성을 이용한 토양 및 지형에 대한 정보구축이 진행되어 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수의 수집이 가능하게 되고, 컴퓨터의 기능 향상과 수치모의 기술 개발에 의해 유역내 강우에 의한 유출과정을 공간적인 분포나 비균질성을 고려하여 물의 흐름을 수리학적으로 추적해 나가는 물리적기반의 분포형 유출모형의 활용도가 높아지고 있다. 이러한 분포형 모형은 유출모의를 위해서 강우와 개념화된 몇 개의 매개변수에 의존적인 집중형 수문모형에 비해 공간적인 분포특성을 가진 많은 수문매개변수들이 필요하다. 상당수의 매개변수들은 GIS 및 원격탐사자료 등을 통하여 유역의 물리적 특성이나 실측된 자료로부터 구할 수 있지만, 일부는 매개변수들의 불확실성으로 인한 매개변수 보정이 필요하다(박진혁, 2008a). 특히, 유출량에 영향을 주는 여러 수문요소 중 지표유출량의 변화는 침투량에 크게 영향을 미친다. 강우에 의한 지표유출은 토양의 건조상태에 따라 크게 달라진다. 매우 건조한 상태에서 흙은 무한에 가까운 침투율을 갖고 있으나, 이미 발생한 강우에 의한 영향으로 토양의 함수량이 커지면 같은 강수량이라고 할지라도 건조상태의 토양보다 많은 지표유출이 일어난다. 이와 같이 토양의 초기 함수상태에 따라 침투량은 직접적으로 영향을 받기 때문에 토양의 초기 함수율은 강수량으로부터 발생하는 유출량을 결정하는 주요한 요인이 된다(김종건 등, 2007).

본 연구에서는 기 개발된 격자기반의 분포형 강우-유출모형(K-DRUM)의 초기조건 중에서 지표유출량의 변화에 가장 영향을 주지만, 실제 관측은 용이하지 않은 토양수분을 자동으로 보정할 수 있는 기법을 제시하였다. 또한 최하류 유출지점의 관측값을 이용하여 초기토양 수분 자동 보정 기법을 적용할 경우 유역 내에 설치되어 있는 관측소의 관측값과 계산값을 비교분석 함으로서 개발된 자동보정기법의 활용성과 정확도를 파악하였다.

2. 모형의 구성

2.1 모형의 개요

유역내 수평 유출량산정 모듈로서 평면 분포형의 격자형을, 연직분포형으로 다층모형을 이용해서 격자기반다층유출모형을 적용한다. 연직구조는 A~B층의 수평유출량은 하천으로 유입하고, C층은 하천유량에 영향을 미치지 않는 지하수층으로 가정하였다(Fig. 1).

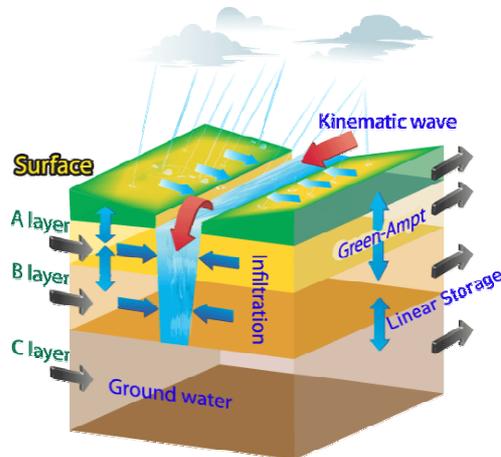


Fig. 1 Structure of the model

본 모형은 단순화된 조건하에서 사용하기 적합한 해석해가 존재하여 검증이 용이하고 넓은 범위의 조건하에서 적용성이 우수하며 강우-유출로 인한 지표흐름을 추적하기 위하여 보편적으로 적용하고 있는 운동파 해석법(kinematic wave)을 이용하였다(박진혁 등, 2008b).

지표 흐름 및 A층(얕은면 흐름)은 중간유출을 고려한 운동파법을 적용하였고, B층(지표하 흐름)과 C층(지하수 흐름)은 선형저류법을 적용하였다.

3. 대상유역 선정 및 GIS 수문 매개변수 구축

본 연구에서는 실제유역에서의 적용가능성을 평가하기 위해 남강댐유역을 대상 유역으로 선정하였다.

유역의 수문학적 특성은 지형, 토지피복, 토양 등에 의해 크게 좌우된다. 토양은 초기 함유수분, 토심, 입도분포 등에 따라 강우의 침투능에 직접적인 영향을 미치게 되는데 여기서는 ArcView를 이용하여 토심 및 토양수분의 시간변화량 추정을 위한 Green-Ampt 침투 매개변수를 구하였다.

4. 초기토양 자동 보정기법 적용 및 분석 결과

4.1 초기토양 자동 보정기법 적용

이번 연구에서 개발한 초기토양 조건 자동 보정 기법은 모형에서 적용된 토양 조건이 물리적으로 실제의 기저유출을 재현하는 것에 기초하였다. 토양 조건 중에서 초기 토양 함유비를 자동으로 보정하기 위한 방법은 다음과 같다.

- 1) 유역의 토양조건 중에서 B층과 C층의 초기토양함수비를 완전포화상태로 설정한다.
- 2) 유역 내에 위치한 유량관측소의 관측 자료를 이용하여 기저유출량을 설정한다.
- 3) 관측된 기저유출량에 도달 할 때까지 유역 내부 전체의 유출계산을 진행한다.

비교 지점에서 계산 유출량이 관측 유출량에 도달할 경우 다음 식을 만족한다.

$$Q_{cal} \leq Q_{obs} \quad (1)$$

모형에 의한 기저유출을 검토하기 위하여 최근 4년간 남강댐 상류유역 수위-유량 관측소에서 관측된 유량 값에 대한 신뢰성이 높고, 검토 시점을 기준으로 3~5일간 선행 무강우일수가 확보되는 조건을 만족하도록 선택하였다. 대상일은 2002년 11월 17일, 2003년 9월 18일, 2004년 9월 23일, 2005년 8월 6일이다. 관측유출량으로는 국가수자원관리 종합정보홈페이지(WAMIS, 2009)에서 남강댐유역에 대한 수위-유량 관계곡선으로부터 환산된 유량값을 이용하였다.

Fig. 2에 초기토양 함유비를 80%로 설정한 후에 각 지점별 시간경과에 따른 기저유출량을 그래프로 나타내었다. 최하류 지점에 위치한 남강댐의 경우 최대 3000.0m³/sec 이상이 발생한 후에 시간이 경과함에 따라 지수형태로 감소하고 있다.

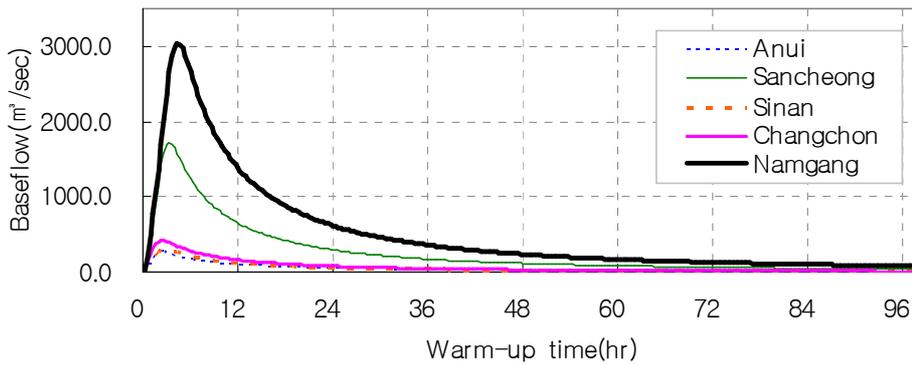


Fig. 2 Base flow decrement curve

Fig. 3은 연도별 안이, 산청, 신안, 창춘 및 남강댐에서 관측된 기저유출량과 K-DRUM에서 계산된 기저유출량을 비교하여 나타내었다. K-DRUM에서 계산된 결과는 2004년 9월 23일 남강댐에서 관측된 기저유출유량을 기준으로 상류 4개 지점의 유출량을 나타내고 있다. 연도별 각 지점별 기저유출량은 관측지점을 기준으로 상류유역의 토양 및 지형 특성에 따라 비슷한 값으로 나타나고 있다.

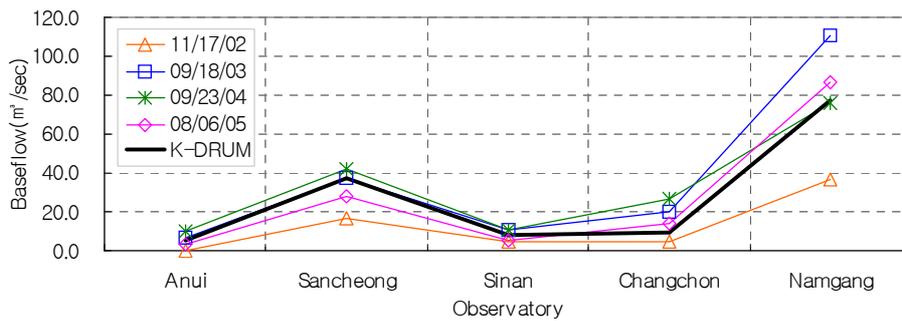


Fig. 3 Comparison of baseflow between numerical result and observed data

Fig. 4는 각 연도별 남강댐 관측 기저유출량을 기준으로 상류 4개 지점의 기저유출량의 비율을 나타내었다. 기저유출량 비율의 경우 각 지점의 유출량 비율은 연도별로 일정한 경향을 보이고 있다.

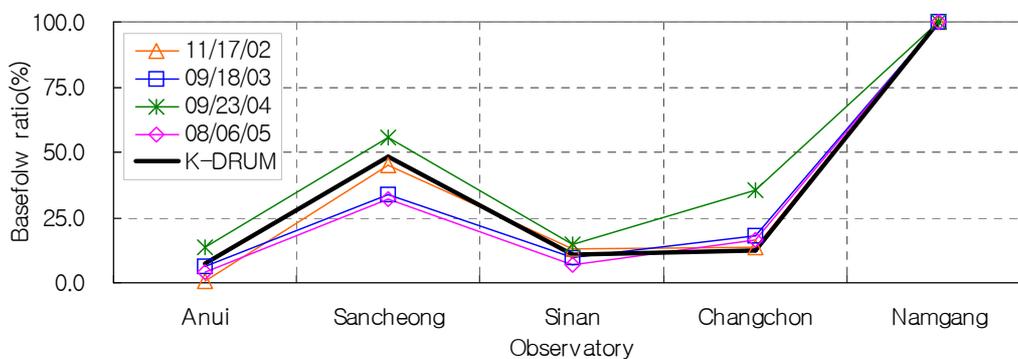


Fig. 4 Comparison of baseflow ratio(per Namgang's base flow)

수치모형에 의한 계산 결과와 관측 수위와의 오차분석을 위하여 RMSE(Root Mean Square Error)와 NRMSE(Normalized Root Mean Squared Error)를 계산하였다.

오차분석 결과 RMSE의 경우 창촌과 산청에서 약 12.0m³/sec 이하의 오차가 발생하고 있고, 안의와 신안에서는 4.0m³/sec 이하의 오차가 발생하고 있다. NRMSE의 분석결과에서는 전 구간에서 0.5% 이하의 오차가 발생하고 있어 이번 연구에서 개발된 초기토양 수분상태 자동보정 기법의 적용에 의한 기저유출량은 대체적으로 관측값과 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 자체 개발한 물리적기반의 격자다층 분포형 홍수유출모형(K-DRUM)을 이용하여 남강댐 유역을 대상으로 개발된 초기토양 함수상태 자동보정 기법을 평가 하였다. 2002년에서 2005년 동안 4개 연도의 관측 기저유출량을 분석한 결과 관측지점별 일정한 경향성이 나타났고 K-DRUM의 계산 결과 역시 그 경향성을 따르고 있음을 알 수 있었다. 오차분석 결과를 통하여 적용된 기법의 정확성은 우수한 것으로 나타났다.

이 연구결과를 통하여 검토된 초기토양 함수상태 자동보정 기법은 향후 실무에서 실시간으로 K-DRUM을 이용한 강우-유출 예측을 수행할 경우 사용자의 주관적 판단에 따른 입력 자료를 최소화함과 동시에 정확도 높은 유출량 산출을 가능하게 할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 김종건, 박윤식, 전지홍, Bernard A. Engel, 안재훈, 박영곤, 김기성, 최중대, 임경재, “선행토양 함수조건(AMC)을 고려한 L-THIA WWW 직접유출 모의 정확성 평가“, 수질보전 한국물환경학회지, 제23권 제4호, pp. 474-481, 2007.
2. 박진혁, 허영택, “초기토양조건에 대한 분포형모형 유출민감도 분석“, 대한토목학회지, 제28권, 제4B호, pp. 375-381, 2008a.
3. 박진혁, 허영택, “홍수유출해석을 위한 운동과기반의 분포형모형 개발 및 적용“, 한국수자원학회지, 제41권, 제5호, pp. 455-462, 2008b.
4. 박진혁, 강부식, “댐유역 홍수예측을 위한 GIS기반의 분포형모형과 집중형모형의 유출해석 비교“, 한국지리정보학회지, 제9권, 제3호, pp. 171-182, 2006.
5. Vieux, B.E., “Distributed Hydrologic Modeling Using GIS“, Second Edition, ISBN: 1-4020-2459-2, Kkuwer Academic Publishers, The Netherlands, 2004.
6. WAMIS(2009) <http://www.wamis.go.kr>