

SWAT모형을 이용한 무심천 유역의 지하수 함양량의 추정

Groundwater Recharge Estimation of Musim Catchment with Spatial-Temporal Variability

정일문*, 김남원**, 이정우***, 이병주****

Il Moon Chung, Nam Won Kim, Jeongwoo Lee, Byong Ju Lee

요 지

지하수 함양량을 정확하게 산정하는 것은 지하수계의 적절한 관리를 위해서 매우 중요하다. 국내에서 주로 사용되는 지하수 함양량 추정방법은 지하수위 변동법, 기저유출 분리법, 연단위 물수지 분석법 등이 있다. 그러나, 이들 방법은 집중형 개념을 기반으로 하기 때문에 기후조건, 토지이용, 토양조건, 수리지질학적 비균질성에 의한 함양량의 시공간적 변동성을 구현할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 유역의 비균질성을 반영할 수 있는 SWAT 모형을 이용하여 시공간적 변동성을 고려한 지하수 함양량을 산정하는 방법을 제시하고자 한다. SWAT 모형은 유역내 일단위 지표면 유출량, 증발산량, 토양저류량, 함양량, 지하수유출량 등의 수문성분을 계산할 수 있는 모형이다. 본 연구에서는 SWAT 모형을 미호천 유역의 최상류인 무심천 유역에 적용하였다. 2001년 - 2004년까지의 기간동안 지하수 함양량을 포함한 유역의 일단위 수문성분들을 모의하였으며, 유역출구점에서의 실측 일유출자료와 모의 일유출자료의 비교를 통해서 모의결과의 유효성을 검토하였다. 지하수 함양량의 시공간적 변화를 분석한 결과, 지하수 함양량의 변동성은 토지이용 변화뿐만 아니라, 유역경사와 같은 지형인자에도 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 지하수 함양량, SWAT 모형, 시공간적 변동성

1. 서 론

국내에서 주로 사용되는 지하수 함양량 추정방법으로 지하수위 변동법(Sophocleous, 1991), 기저유출 분리법(박창근, 1996; Arnold와 Allen, 1999), 침투모델링 방법(구민호와 김용제, 2003) 등이 있다. 그러나 이들 방법은 집중형 개념을 기반으로 하거나 국지적인 규모로 다뤄지기 때문에 기후조건, 토지이용, 토양조건, 수리지질학적 비균질성에 의한 함양량의 시공간적 변동성을 반영할 수 없는 단점이 있다. 이러한 한계를 극복하고자 Arnold 등(2000)은 준분포형 수문모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)을 미시시피강 유역에 적용하여 시공간적 변동성을 고려한 지하수 함양량 추정 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 Arnold 등(2000)의 방법을 도입하여 시공간적 지하수 함양량 산정을 위한 SWAT 모형의 국내 실제 유역에의 적용성을 검토하였다. 이를 위해 SWAT 모형을 미호천 유역의 최상류부에 위치한 독립유역인 무심천 유역의 청주수위 관측소 상류부 유역에 적용하여 2001년 ~ 2004년까지의 기간 동안 지하수 함양량을 포함한 유역

* 정회원·한국건설기술연구원 선임연구원·E-mail : imchung@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수석연구원·E-mail : nwkim@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원 Postdoc ·E-mail : ljw2961@kict.re.kr

**** 정회원·한국건설기술연구원 연구원·E-mail : bjlee@kict.re.kr

의 일단위 수문성분들을 모의하였다. 유역출구점에서의 실측 일유출자료와 모의 일유출자료의 비교를 통해서 모의결과의 적합성을 검토하였으며, 모의를 통하여 얻은 지하수 함양량의 시공간적 변화를 분석하였다.

2. SWAT 모형의 적용

2.1 모형의 입력자료 구축

SWAT은 미국 농무성 농업연구소 (USDA Agricultural Research Service, ARS)의 Jeff Arnold 등 (1993)에 의해 개발된 것으로 기후조건, 토양 및 토지이용변화에 따른 물 순환 변화를 해석할 수 있는 준 분포형 유출모형이다. 이 모형은 SCS-CN 방법을 이용한 직접유출량 산정, Penman-Monteith식 등을 이용한 증발산량 계산, 토지이용도와 토양층의 특성을 반영한 토양수분량과 지하수 함양량의 산정, 함양량의 지체와 기저유출의 감수를 고려한 지하수 유출량의 계산 등 일단위로 수문성분들을 모의할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 SWAT의 국내 실제 유역에의 적용성을 평가하기 위해 무심천 유역 중 청주수위관측소 상류부 유역을 모형의 적용대상유역으로 선정하였다. 그림 1과 같이 소유역 구분은 주 하도를 따라 크게 3개로 구분하였다.

SWAT 모형을 구동하기 위해서는 강우량을 비롯하여 기온, 풍속, 일사량, 상대습도, 강수 등의 기상자료가 요구되는데 본 연구에서는 청주시상대 자료를 이용하였다. 또한 그림 1-그림 3과 같이 유역의 형상을 나타내는 수치표고모델(DEM), 유역내 토지이용상황을 나타내는 토지이용도, 그리고 토양에 대한 특성을 나타내는 토양도 등의 GIS 데이터를 사용하였다. SWAT에서는 지표면 유출량, 침투량, 토양수분량, 침투량, 함양량, 지하수 유출량 등 수문요소들에 대해 물수지 계산을 수행하기 위한 수문응답의 기본단위로 HRU(Hydrologic Response Unit)를 사용한다. 그런데 SWAT 모형 자체의 HRU별 지하수 함양량은 소유역내의 대표 함양량으로서만 의미를 가지며 공간적인 정보를 가지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 HRU의 공간적 특성을 격자에 대응시키는 HRU-CELL 변환기법을 독자적으로 개발하여 활용하였다. 그림 2의 토지이용도와 그림 3의 토양도를 중첩시켜 그림 4와 같은 HRU 공간분포도를 생성함으로써 SWAT 모형으로부터 산정된 HRU별 함양량을 CELL별 함양량으로 변환하여 함양량의 공간분포도를 작성하였다.

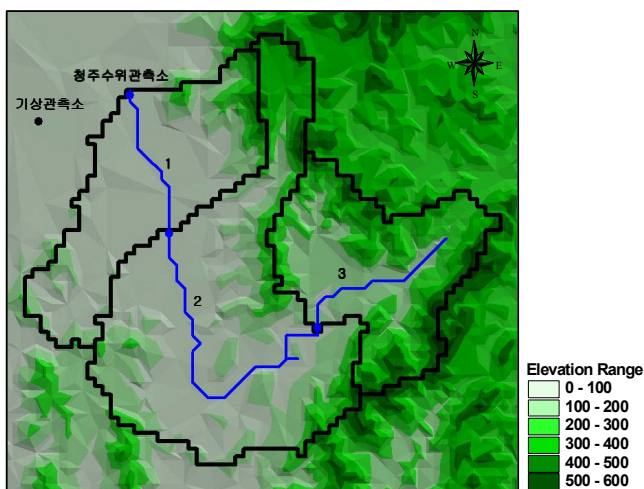


그림 1. 대상유역의 수치표고모델(DEM)

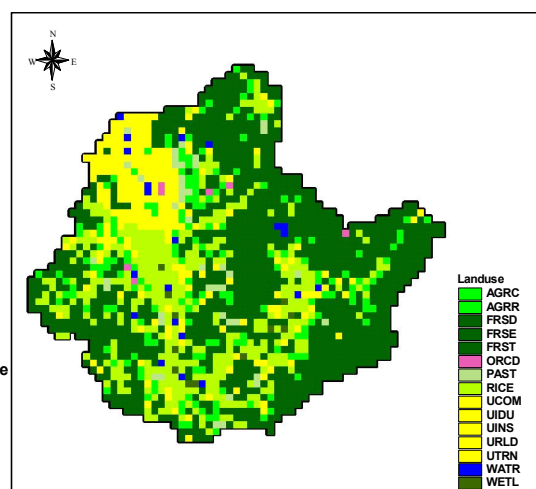


그림 2. 토지이용도

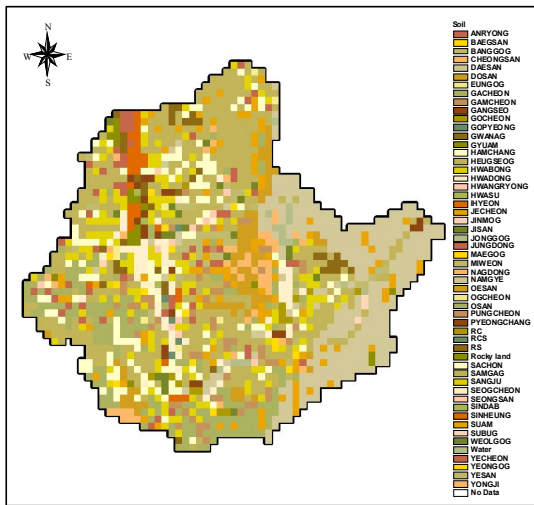


그림 3. 토양통 분류

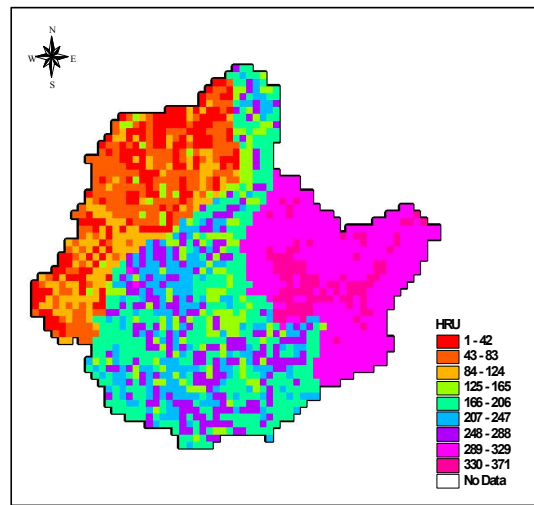


그림 4. HRU 공간분포도

2.2 물수지 분석

청주수위 관측소 지점의 연별 물수지 계산 결과를 표 1에 제시하였다. 강수 대비 함양량의 비인 함양율은 17.2% - 25.7% 까지 변화하는 것으로 나타났으며, 평균값은 21.1%로 계산되었다. 물수지 계산 결과에서 볼 수 있듯이 지하수 함양량은 강수량에 크게 의존하고 있으며, 2002년과 2003년과 같이 강수량 증가율에 비해 함양량 증가율이 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 이는 강수량의 연간 총량뿐만 아니라 강우의 시간적인 분포 또한 함양량에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 따라서 강수량, 토양수분량 등 함양에 영향을 미칠 수 있는 인자들의 시간적인 변동성을 고려하여야만 보다 실제적인 지하수 함양량을 추정할 수 있다.

표 1. 연평균 물수지 계산 결과 (2002년-2004년)

년 도	강수량(mm)	유출량(mm)	증발산량(mm)	함양량(mm)	함양률(%)
2002	1281.7	712.1	573.7	220.1	17.2
2003	1581.7	922.9	550.5	406.4	25.7
2004	1505.8	965.6	537.1	345.1	22.9
평 균	1305.6	763.8	520.4	275.7	21.1

2.3 유출량의 평가

SWAT 모형에 의해 계산된 물수지의 적정성을 평가하기 위해서 청주수위관측소 지점에서의 실측 일유출량과 모의 일유출량을 비교하여 그림 5에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 모의기간의 일부 구간을 제외하면 전반적으로 실측값과의 적합이 잘 이루어지고 있어 모의 결과가 타당한 것으로 판단된다.

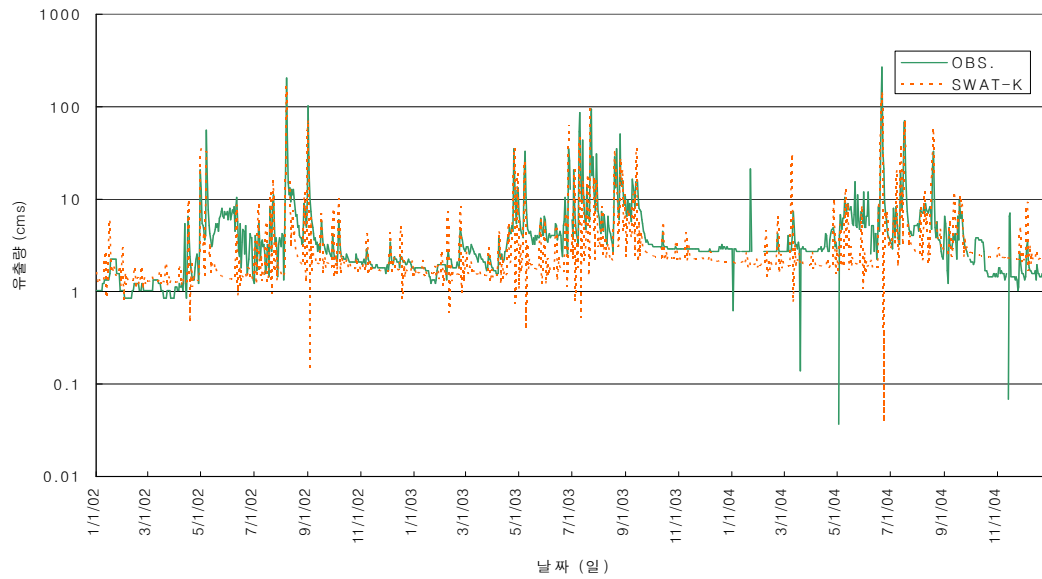
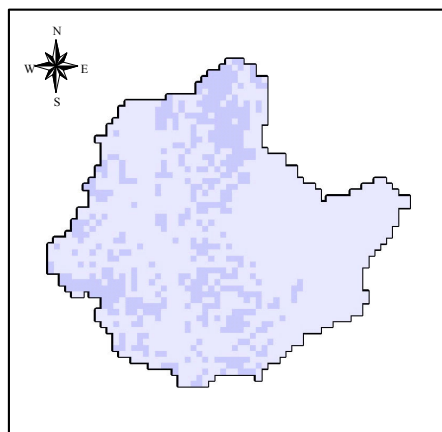


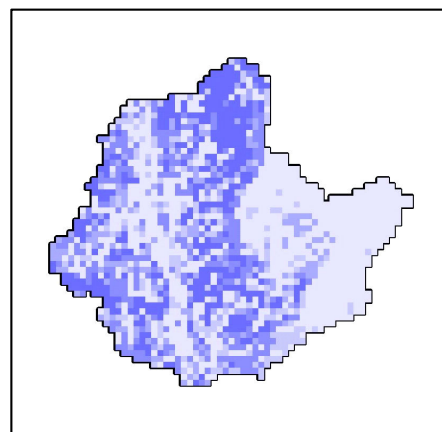
그림 5. 실측 일유출량과 모의 일유출량의 비교

2.4 지하수 함양량의 시공간적 분포

그림 6은 2003년 4월부터 10월까지의 월 지하수 함양량의 공간적인 변화를 나타낸 것이다. 지하수 함양량의 공간적 분포를 명확하게 드러내고 있으며, 시간적으로도 함양량 편차가 두드러지게 나는 것을 확인할 수 있다. 그림에서 우측과 같이 무심천 상류부는 상당부분의 면적이 산지로서 침투가 양호함 불구하고 지하수 함양량이 작게 산정되었는데, 이는 유역경사가 14%로 급하여 토양으로 침투한 수분이 측방으로 이동하는 중간유출성분이 증가하여 상대적으로 연직으로 이동하는 침투량이 줄어들었기 때문이다. 이처럼 지하수 함양량은 토지이용과 토양지질적 조건뿐만 아니라 유역경사에도 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 SWAT 모형을 이용한 지하수 함양량 산정방법은 하나의 유역에 대해 동일한 함양량을 가지는 기존의 지하수 함양량 산정방법의 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.



(a) 4월



(b) 6월

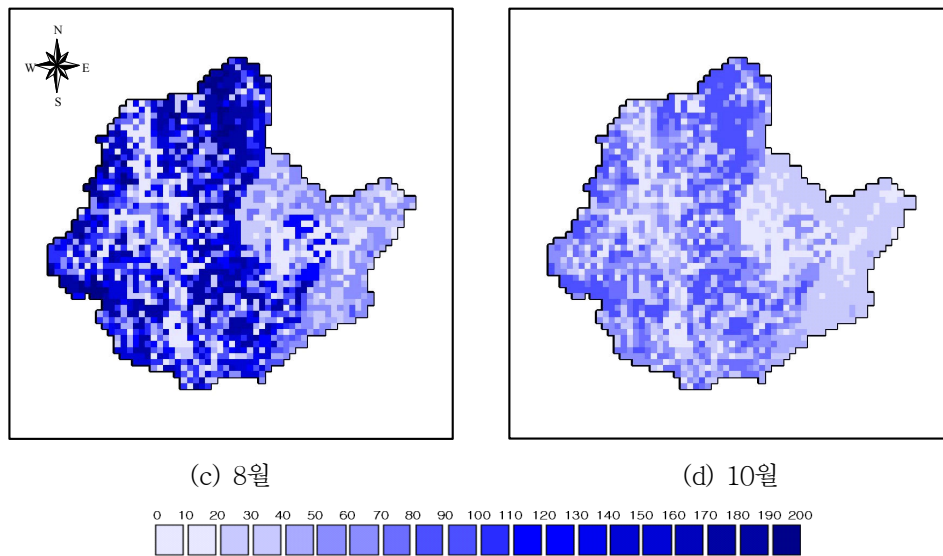


그림 6. 2003년 지하수함양량의 시공간적 분포

3. 결 론

본 연구는 SWAT 모형을 이용한 무심천 유역의 지하수 함양량 산정에 관한 것으로 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 무심천 유역에 대해 모형을 구동한 바, 토지이용의 변화뿐만 아니라 유역경사와 같은 지형인자에 의한 영향으로 시공간적으로 함양량의 편차가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.
- (2) 지하수 함양량은 한 지역 내에서 시공간적으로 현저한 변화를 나타내므로 기존의 집중형, 개념적 모형으로는 함양량의 시공간적 분포양상을 표현하기 어려우므로 분포형 개념으로 접근하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 2005년도 건설교통부와 한국건설교통기술평가원의 건설기술기반 구축사업(05기반구축 A03-01) 및 광업진흥공사의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 구민호, 김용제 (2003). “침투 모델을 이용한 국내의 기후 환경에서 발생하는 지하수 함양 특성 분석.” 지질학회지, 제39권 제2호, pp.249-261.
2. 박창근 (1996). “우리나라 지하수 개발가능량 추정: 1.개념정립과 기법의 개발.” 지하수환경, 제3권 제1호, pp. 15-20.
3. Arnold, J. G. and P. M. Allen (1999). “Automated methods for estimating baseflow and groundwater recharge from streamflow records.” Journal of the American Water Resources Association, Vol. 35, No. 2, pp. 411-424.
4. Arnold, J. G., R. S. Muttiah, R. Srinivasan, and P. M. Allen(2000). “Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin.” Journal of Hydrology, Vol. 227, pp.21-40.
5. Sophocleous, M. A. (1991). “Combining the soil water balance and water level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge : practical aspects.” Journal of Hydrology Vol. 124, pp. 229-241.