

유역단위 하천-지하수 상호작용의 정밀분석

The precise analysis on the watershed based river-groundwater interaction

김남원*, 유상연**, 정일문***, 이정우****

Nam Won Kim, Sang Yeon Yoo, Il Moon Chung, Jeongwoo Lee

요 지

지하수와 지표수의 상호작용은 혼합대(hyporheic zone)와 홍수터 물수지에도 영향을 끼치며 특히 생물학적인 측면에서 중요한 역할을 하는 혼합대의 경우 유역 전반에 걸쳐 불균일한 분포를 나타낸다. 그런데 기존 하천-대수층 상호작용에 대한 연구는 하천변에 근접한 지역의 대한 연구로 국한되어 있다. 따라서 단순히 하천-대수층간 상호작용의 영향을 하천변에 국한시키는 것이 아니라 유역규모로 확장하여 유역단위 지표수-지하수 상호작용에 대한 심도 있는 해석을 해야만 보다 정확한 지표수-지하수의 연계운영이 가능하다. 본 연구에서는 유역단위 지표수-지하수 상호작용을 해석하기 위해 완전연동형 SWAT-MODFLOW를 이용하여 하천과 대수층의 상호작용의 강도를 하천 구간별로 찾아내고 그 교환의 공간적 범위도 추정함으로써 혼합대 연구를 위한 실증을 수행하고자 한다. 유역 단위의 지표수-지하수 상호작용을 해석하기 위하여 SWAT-MODFLOW모형을 안양천 중상류 유역에 적용시킨 결과 하천과 대수층간에 상호작용의 영향범위와 영향강도 등을 파악할 수 있었다. 하천-대수층 상호작용의 정밀분석을 통한 영향권 산정 및 혼합대의 발생범위 예측은 향후 하천복원 사업시 수생생태계 건강성 지표와 관련된 연구에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : Groundwater, River, Interaction, SWAT-MODFLOW

1. 서 론

대부분의 유역에서 지하수는 갈수기에 하천의 흐르는 물의 주요 공급원이 되고 홍수기에는 하천수가 지하수로 함양되어 지하수위에 영향을 끼친다. 그러나 그 양상은 기상, 수문, 지형, 지질 및 각종 물리적인 인자들의 지배를 받으며 그 과정은 복잡하다(Sophocleous, 2002). 또한 지표수와 지하수는 대부분 연결되어 있어 지표수와 지하수를 개별적인 수자원으로 다루어서는 안된다. 따라서 지표수와 지하수간의 상호작용에 의하여 어느 한쪽이 오염되거나, 개발이 되었을 경우 다른 한쪽에 영향을 주고 하천변 생태계나 지하수 생태계에도 그 영향이 끼칠 수 있어 수자원의 관리측면에서 지표수와 지하수의 상호작용에 대한 연구는 매우 중요하다 할 수 있다.

본 연구에서는 SWAT-MODFLOW를 이용하여 유역의 지하수분포를 파악하고 하천수위와 지하수위의 유량교환이 일어나는 영역의 변동폭을 비교하여 지표수와 지하수의 상호작용의 범위를 정량적으로 파악하고자 한다.

2. 대상 유역 현황

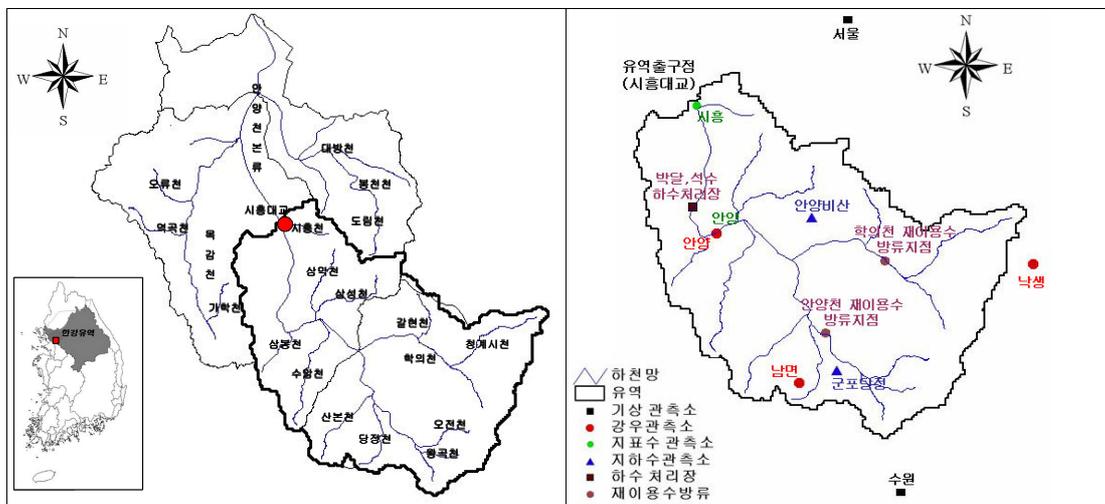
* 정희원 · 한국건설기술연구원 수문연구실 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

** 정희원 · 한국건설기술연구원 수문연구실 · E-mail : syoo77@kict.re.kr

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 수문연구실 · E-mail : imchung@kict.re.kr

**** 정희원 · 한국건설기술연구원 수문연구실 · E-mail : ljw2961@kict.re.kr

본 연구에서는 유역 단위의 지표수-지하수 상호작용을 해석하기 위하여 대표적인 도심 중규모 유역인 안양천 중상류 유역을 연구대상지역으로 선정하였다. 이 지역은 안양시를 포함하고 동쪽은 과천시·의왕시, 서쪽은 광명시·시흥시, 남쪽은 군포시, 북쪽은 서울특별시 금천구·관악구에 접한다. 기반암은 주로 대보화강암·화강암질 및 반상편마암으로 이루어져 있고 시의 북쪽 끝에는 관악산(冠岳山:629m), 동쪽 끝에는 청계산(淸溪山:618m), 남서쪽 끝에는 수리산(修理山:475m) 등이 솟아 있고 중앙은 낮고 평탄하여 전체적으로 타원형의 분지 지형을 이룬다(안양시, 2008). 연구 대상 지역은 경기도 의왕시 백운산에서 발원한 한강의 제1지류인 안양천을 비롯하여 12개의 지방 2급 하천이 있고 유역면적 140.72km², 주 하도연장은 56km이다(그림 1a). 또한 연구대상지역의 지표수 모의를 위해 기상, 강우, 지표수 및 하수 유량 자료 등을 이용하였으며, 지하수 모의를 위해 국가 지하수 관측망 자료를 이용하였다(그림 1b).



a) 유역 경계 및 하천망도

b) 각 관측소 현황

그림 1 연구대상지역

3. 연구 방법

지표수-지하수 상호작용을 평가하는 방법은 여러 가지가 있으며, 지하수 유출입량을 평가하는데 Darcy의 법칙, 침윤계를 이용한 직접측정법, 추적자법 등의 방법이 사용된다(Corbett 등, 2000). 본 연구에서는 완전연동형 결합 모형인 SWAT-MODFLOW를 이용하여 지표수-지하수의 상호작용에 대한 영향범위와 영향강도 등을 파악하였다.

SWAT-MODFLOW는 SWAT에서 HRU별로 발생하는 지하수 함양량을 MODFLOW의 입력자료로 이용하여 지하수 흐름을 산정하고 지하수 유출입량을 다시 SWAT으로 교환하여 해석한다. 또한 SWAT에서 계산되는 지하수 유출입량의 경우 하도에 유수가 발생하거나 대수층의 깊이가 특정값 이하일때는 하도에서 지하로 유입되는 양을 산정하지 못하였는데 이를 MODFLOW의 river package를 이용함으로써 지표수와 지하수간에 상호 기여된 양을 산정할 수 있게 하였다(김남원, 2004).

지하수 모델의 보정을 위해 대수층의 수리전도도 및 저류계수, 하천 바닥 퇴적층의 전도계수, 대수층 두께, 경계조건 중에서 시추자료와 양수시험 등을 통하여 얻은 대수층 두께, 수리전도도는 가급적 변화시키지 않고, 자료가 없는 하천 바닥 퇴적층의 전도계수와 대수층의 저류계수 값을 변

화시켜가면서 모델 보정을 수행하였다. 연구대상지역의 지하수 자료는 국가지하수 관측망 2개소와 안양시의 52개 지하수위 관측지점자료를 이용하였다. 그림 2는 실측 자료를 이용한 관측 등수위선도와 모의치를 비교한 것이다. 그림 3은 군포당정 지하수관측소의 2003~2005년까지의 관측값과 모의값을 비교한 것이다. R^2 는 0.76정도로 적합했다.

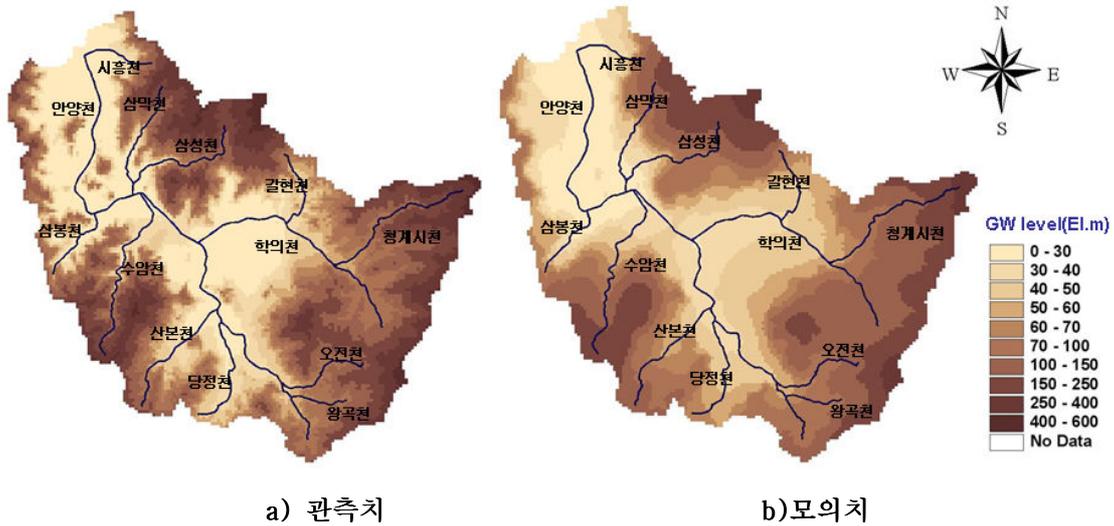


그림 2 지하수 등수위선도

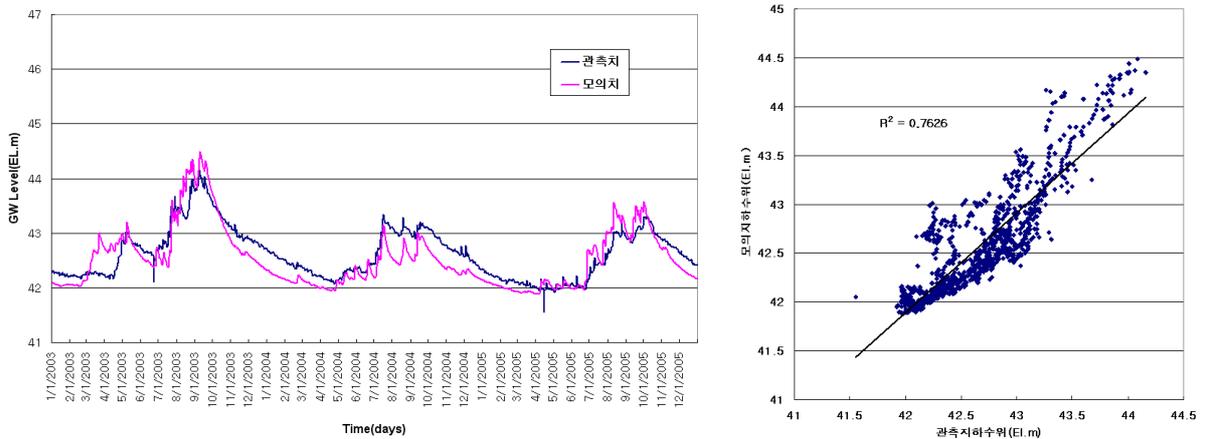


그림 3 관측지하수위와 모의지하수위의 비교(군포당정 지하수관측소)

4. 분석 결과

다음 그림 4는 연구대상지역의 512개 하천셀에서 모의기간 동안의 교환량 시계열을 나타낸 것이다. 여름철 강수기에 일정량 이상의 강수가 발생하면 하천에서 지하수로의 함양이 이루어지고 그 외에 기간에는 지하수에서 하천으로의 유출이 발생한다. 안양천 중상류 유역의 경우 하천 주변으로는 분지 지형이나 유역 외곽으로는 산지 지형으로 대부분의 하천 셀에서 이득하천의 양상을 나타내고 있다.

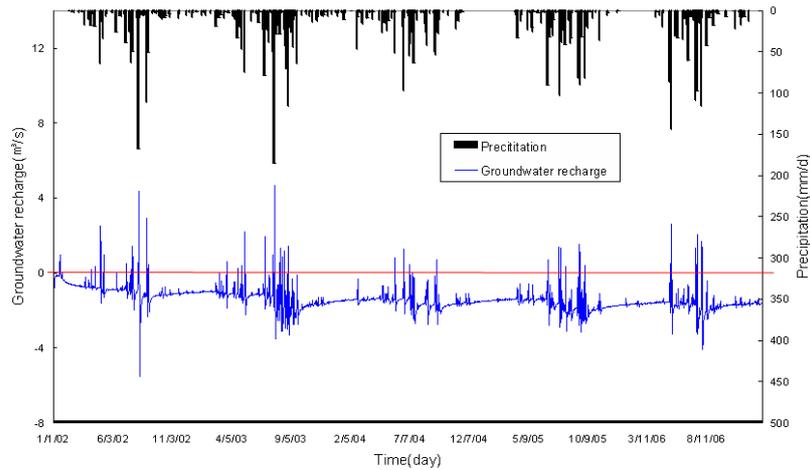
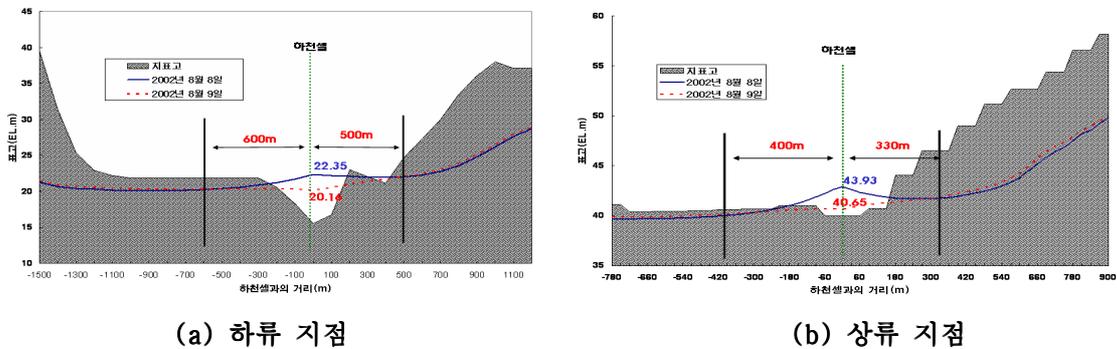


그림 4 하천셀의 지하수 교환량 시계열

다음 그림 5는 하천-대수층의 상호작용의 범위를 나타낸 것이다. 연구대상지역은 대부분 이득 하천으로 하천과 지하수의 변동폭을 확인하기 위해 2002년 8월 5일과 6일에 각각 104mm, 168mm의 강수가 발생하였고 이를 바탕으로 대상구역의 상하류 지점에서의 지하수위 차이와 변동 폭을 도시하였다. 강수 발생 직후인 8월 8일과 9일에 지하수위의 변동을 보면 하류에서는 영향범위가 약 1,100m, 하천의 수위차는 2.19m로 나타났다. 상류의 경우 영향범위는 약 730m 수위차는 3.28m로 나타났다.



(a) 하류 지점

(b) 상류 지점

그림 5 지하수위 변동에 따른 영향범위(단면도)

5. 결론

지표수와 지하수의 상호작용에 대해 알아보기 위하여 도심지역인 안양천 유역에서 SWAT-MODFLOW를 통한 지하수위 분석을 실시하였다. 지하수의 교환량 시계열을 통해 연구대상지역은 주로 이득하천의 형태를 띠고 있으며 강우가 집중되는 여름철에는 하천수가 지하수로 유입되는 것을 알 수 있었다. 또한 강우 발생시 지하수위의 변동 폭을 확인함으로써 하천수가 영향을 미치는 범위를 공간적 분포를 통해서 확인 할 수 있었다.

하천-대수층 상호작용의 정밀분석을 통한 영향권 산정 및 혼합대의 발생범위 예측은 향후 하천복원 사업과 관련한 수생생태계 건강성 지표와 관련된 연구에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원 (과제번호: 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김남원, 정일문, 원유승 (2004). "완전연동형 SWAT-MODFLOW 결합모형 (I) 모형의 개발". 한국수자원학회 논문집, 제 37권 제 6호, pp. 499~507.
2. 안양시 (2007). 안양시 통계자료실, <http://www.anyang.go.kr>
3. Corbett, D.R., Burnett, W.C., ad Chanton, J.P. (2000). "Submarine groundwater discharge, an unseen yet potentially important coastal phenomenon." SGEB-54
4. Sophocleous, M.(2002). "Interactions between groundwater and surface water: the stste of the science." Hydrogeology Journal, Vol. 10. pp. 52-67.