

수변 토지이용 변화에 따른 지표수-지하수 상호작용 분석

Analysis of surface-groundwater interaction according to land use change in riparian zone

김남원*, 정일문**, 김지태***, 이정우****, 유상연*****

Nam Won Kim, Il Moon Chung, Jitae Kim, Jeongwoo Lee, Sangyeon Yoo

요 지

본 연구에서는 지표수-지하수 상호작용을 모의할 수 있는 SWAT-MODFLOW 모형을 이용하여 수변지역의 토지이용 변화에 따른 혼합대의 수문학적 특성 변화를 분석하였다. 연구를 위해 선정된 시험구역의 불수투지역, 농경지 등 기존 수변 토지이용도가 초지, 갯벌 등 식생이 식재된 지역으로 변경되는 상황을 가정하여 SWAT-MODFLOW 모형을 적용, 지표수-지하수 상호작용을 중심으로 하는 수문학적 특성 변화를 모의·분석하였다. 수변의 토지이용을 초지로 변경하였을 경우 혼합대의 지표수-지하수 교환량이 다소 증가하는 것으로 모의되었으며, 수변 지역 토양의 토양 수분량 또한 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 수변 지역에 갯벌들을 식재하는 경우 초지에 비해 지표수-지하수 교환량 및 토양 수분량의 증가폭이 더욱 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 분석 결과 SWAT-MODFLOW 모형은 수변 토지 이용의 변화에 따른 수문학적 특성 변화를 모의할 수 있는 것으로 판명되었으며, 향후 실측자료와의 비교 연구 등을 실시하여 정확도가 입증된다면, 각종 수생태 복원사업의 계획 수립 시 토지이용 변화에 따른 효과 분석 모의에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 생태하천 조성, 생태수문학, 지표수-지하수 상호작용, SWAT-MODFLOW 모형

1. 서론

개발의 논리로 하천 및 수변 지역을 인위적으로 변경해 온 것에 대한 문제점이 대두되면서 하천을 자연 상태로 복원하기 위한 생태하천 조성이 다양한 경로를 통해 추진되고 있다. 이러한 과정에서 생태학적 관점의 접근만으로는 하천 본래의 주요 기능 중 하나인 수문학적 기능이 간과될 수 있다는 의견이 제시되었으며, 생태수문학의 중요성이 부각되고 있다. 특히, 하천과 지하수의 경계지역인 수변지역은 식생이 서식하는 곳으로 지표수와 지하수의 상호작용이 안정적인 생태계 관리에 중요한 역할을 하고 있는 지역으로서, 이 지역에 대한 생태수문학적 연구가 절실한 실정이다. 그러나, 아직까지 수변지역의 생태수문학적 연구는 초기 단계에 있으며, 특히 지표수-지하수 상호작용 모의 및 분석에 관한 부분은 개선의 여지가 많은 상황이다. 이에 따라 본 연구에서는 지

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

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

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

**** 정회원·한국건설기술연구원 선임연구원·E-mail : ljjw2961@kict.re.kr

***** 정회원·한국건설기술연구원 연구원·E-mail : syyoo77@kict.re.kr

표수-지하수 상호작용을 모의할 수 있는 SWAT-MODFLOW 모형을 이용하여 수변지역의 토지 이용 변화에 따른 혼합대의 수문학적 특성 변화를 분석하였다.

2. 적용모형

본 연구에서는 자연하안 조성에 따른 하천구역내 하천수-지하수-생태의 연계를 도모하기 위해 국내 최초의 유역단위 지표수-지하수 결합모형인 SWAT-MODFLOW를 활용하였다. SWAT-MODFLOW모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)의 Arnold 등(1993)에 의해 개발된 유역모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)을 우리나라의 유역에 맞도록 개선한 프로그램으로 지표수와 지하수의 통합모의를 위해 MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988)를 완전연동방식으로 결합하였고, 우리나라의 토양통 데이터 베이스를 새롭게 구축하여 탑재하였다. SWAT-MODFLOW 모형은 SWAT 모형에서 계산되는 지하수 함양량을 MODFLOW 모형의 분포형 셀에 입력하고, MODFLOW의 RIVER 패키지를 이용하여 지표수-지하수의 수두 차이에 따른 물 교환량을 모의할 수 있도록 결합한 완전 연동형 지표수-지하수 통합모의 모형이다. 지표수와 지하수의 연계는 기존 Sophocleous 등(1997)이 분포된 수리지질 매개변수를 갖는 대수층과 양수량을 고려할 수 있는 통합 지표수-지하수 모형인 SWATMOD를 개발한 바 있으나, 김남원 등(2004a, b)이 SWATMOD의 안정성과 순차적 연계라는 한계를 극복하기 위해 완전 연동형 지표수-지하수 통합모의 모형을 개발하여 그 적용성을 검증한 바 있다(Kim 등, 2008).

3. 적용

본 연구에서는 북한강수계의 공지천 유역을 대상유역으로 선정하였다. 공지천은 지방2급 하천이며, 상류로부터 역시 지방2급 하천인 학곡천, 신촌천, 퇴계천 및 소하천 등의 지류와 연결되어 있다. 본 연구에서는 공지천 유역 중 유량관측자료를 확보한 남춘천교를 유역의 출구점으로 하여 그 상류부 46.7 km²를 면적으로 하는 유역을 대상유역으로 선정하였다. 또한, 모형의 적용을 위하여 대상 유역을 9개의 소유역으로 구분하였다(그림 1).

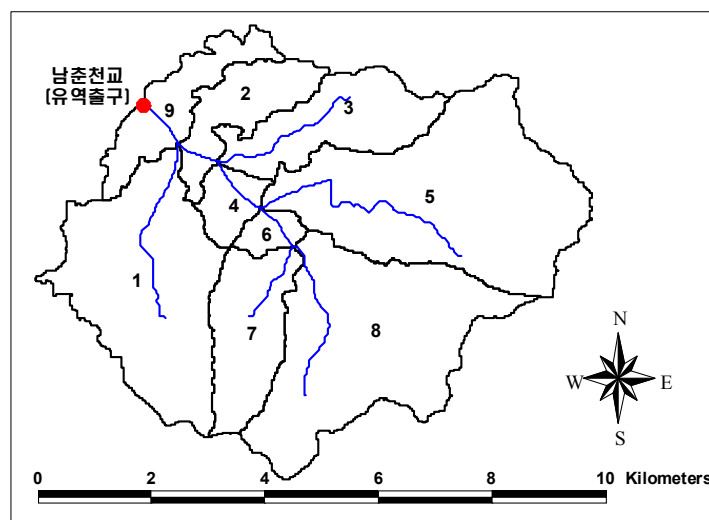


그림 1. 대상유역의 소유역 구분

2000년부터 2007년까지 기간에 대하여 SWAT-MODFLOW 모형을 적용한 모의를 실시하였으며, 2000년과 2001년은 워밍업기간으로 제외하였다. 그림 2에는 실측유량과 모의 유량의 보다 명확한 비교를 위해 실제 유량관측이 이루어진 2007년의 유출수문곡선을 도시하였는데, 대상구역의 유량관측 실측기간인 2007년 9월 중순부터의 실측자료와 비교한 결과 모의값과 실측값이 잘 일치하고 있는 것으로 나타났다.



그림 2. 유역의 유출수문곡선 (2007년)

수변 토지이용 변화에 따른 지표수-지하수 상호작용 변화를 분석하기 위해 하천 주변에 식생대를 조성하는 경우를 모의하였다. 식생대는 하천변 30m 구간에 분포시켰으며, 식생의 종류는 초지와 갯버들의 두 종류를 대상으로 하였다.

식생대 조성에 따른 지표수-지하수 교환량의 변화 추이를 분석하기 위해 하천 전구간의 월평균 지표수-지하수 유출량을 이동방향에 따라 각각 도시하였다. 즉, 그림 3에는 지하수에서 하천수로 이동한 교환량을, 그림 4에는 반대로 하천수에서 지하수로 이동한 교환량을 나타내었다. 위에서 설명한 바와 같이 본 대상구역의 하천은 전반적으로 이득하천(주로 지하수에서 하천수로 이동이 발생)인 경향을 그림 3과 4의 비교에서 분석할 수 있다. 또한 각각의 그림에서 보면 식생대 조성에 따라 갯버들을 조성하는 경우 교환량이 증가하는 양상을 확인할 수 있다.

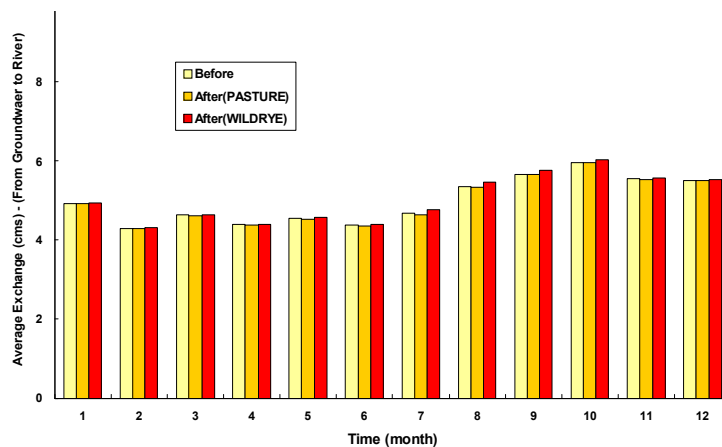


그림 3. 월평균 지표수-지하수 교환량(지하수로부터 하천으로의 유량)

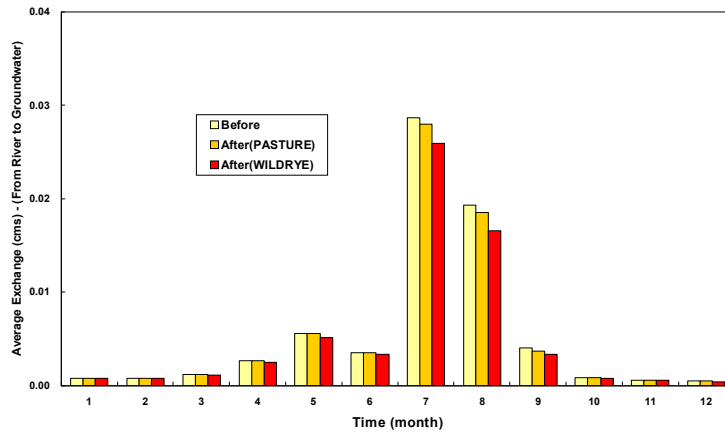


그림 4. 월평균 지표수-지하수 교환량 (하천로부터 지하수로의 유량)

또한, 식생대 구성에 따른 수문학적 특성 변화를 분석하기 위해 식생이 식재된 지점의 토양수분량 변화를 분석하였다(그림 5). 그림에 도시된 바와 같이 초지를 조성하는 경우 기존의 토지이용도에 비해 지점에 따라 토양수분량이 다소 증가, 감소 또는 거의 동일한 값을 나타내고 있으며, 갯버들을 식재하는 경우에는 상당량 증가하는 모의 결과를 확인하였다.

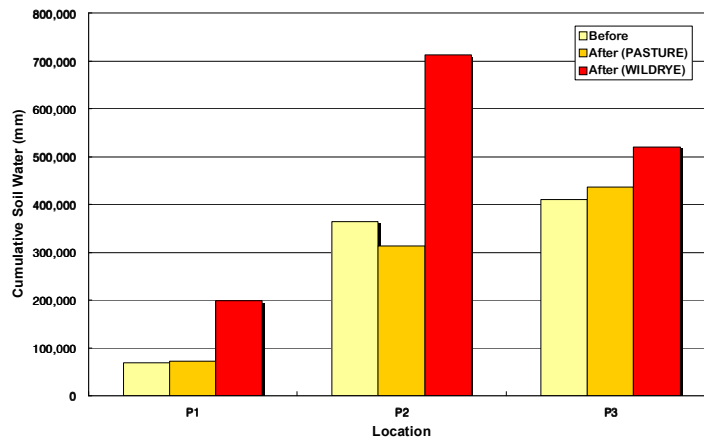


그림 5. 식생대 구성에 따른 지점별 누가 토양수분량 변화

4. 결론

SWAT-MODFLOW 모형을 이용하여 수변 토지이용 변화에 따른 생태수문학적 특성 변화를 분석한 결과 초지 및 갯버들을 식재하는 경우 혼합대의 토양수분 및 지표수-지하수 교환량이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 갯버들을 조성하는 경우 그 증가폭이 증대되는 경향을 파악할 수 있었다. 이와 같이 SWAT-MODFLOW는 수변 식생에 중요한 요소인 토양수분, 지표수-지하수 교환량 등을 모의하는 데 있어 효과적인 모형인 것으로 판명되었으며, 향후 생태하천 복원 등의 계획 수립 및 설계 시 중요한 요소기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 환경부 수생태복원사업단의 “자연하안창출 및 하안변화 유도기술 개발(과제번호 : 07-I-3)”의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Arnold, J. G., Allen, P. M., and Bernhardt, G. (1993). "A comprehensive surface-groundwater flow model." *Journal of Hydrology*, Vol. 142, pp. 47-69.
2. Kim, N. W., Chung, I. M., Won, Y. S., and Arnold, J. G. (2008). "Development and application of the integrated SWAT-MODFLOW model." *Journal of Hydrology*, Vol. 356, pp. 1-16.
3. McDonald, M. G. and Harbaugh, A. W. (1988). "A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model." *U. S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations Report Book 6, Chapter A1*, p. 528.
4. Sophocleous, M. S., Perkins, S. P., Stadnyk, N. G., and Kaushal, R. S. (1997). Lower Republican stream-aquifer Project, Final Report, Kansas Geological Survey Open File Report 97-8, 1930 Constant Avenue, University of Kansas, Lawrence, KS 66047-3726.