

Evaluation of Flow and Transport Model in Integrated Surface and Subsurface Systems

김성균, 박영진*, 배광옥, 이강근

서울대학교 *University of Waterloo
kskinc@hanmail.net

Abstract

HydroSphere can simulate integrated surface and subsurface flow and transport. Using field experiments conducted at Canadian Forces Base Borden, in Ontario, Canada, by Abdul [1985], HydroSphere is evaluated to verify its capabilities for fully integrated surface and subsurface flow modeling. And a field scale simulation will be performed with HydroSphere, using rainfall and surface and subsurface hydrogen isotope analysis data measured at small basin, in Yu-sung, by Park et al. [2003], to verify its capabilities for fully integrated surface and subsurface flow and transport modeling.

요약문

지하수와 지표수를 연계하여 flow와 transport를 모의하는 프로그램인 HydroSphere를 Canada Ontario주의 Canadian Forces Base Borden에서의 실험 (Abdul, 1985) 자료를 이용하여 평가해 보았고, 유성지역 소유역에서의 강수, 지표수, 지하수의 수소동위원소 모니터링 (박준형, 고용권, 박경우, 정형재, 김교원, 2003) 자료를 이용하여 평가해 볼 예정이다.

Key word : Integrated Surface and Subsurface Systems, HydroSphere

1. 서론

수자원의 효율적인 관리를 위해서는 수리학적 프로세스와 수질과 관계된 오염원에 대한 깊은 지식이 필요하다. 현재 수자원 평가와 정화 계획을 위한 많은 모델링 프로그램이 개발된 상태이지만, 복잡한 수리학적 프로세스를 모두 표현하지는 못한다. 특히 지하수와 지표수를 연계한 문제를 다룰 수 있는 모델은 많지 않다. Swain과 Wexler (1992)는 지표수 모델 BRANCH (Schaffranek, 1987)와 지하수 모델 MODFLOW (McDonald and Harbrugh, 1988)을 연계시켰고, Schmidt와 Roig (1997)는 Adaptive Hydrology Model (ADH)로 알려진 통합된 지표수-지하수 해석을 위한 흐름과 이동 모델을 개발했다. 그러나 이들은 많은 가정을 사용했기 때문에, 복잡한 지하 환경을 묘사하고 완전히 지표수와 지하수를 연계하기에는 불충분한 점이 있다. HydroSphere는 지하수 모델링을 위해 FRAC3DVS를 기반으로 하고 지표수 모델링을 위해 MODHMS를 기반으로 하여, 두 시스템을 완전히 연계한 모델링 프로그램이다. Canada Ontario주의 Canadian Forces Base Borden에서의 실험 (Abdul, 1985) 자료를 이용하

여 모델을 평가해 보았고, 대전 유성지역 소유역에서의 강수, 지표수, 지하수의 수소동위원소 모니터링 자료를 이용하여 또한 모델을 평가해 볼 것이다.

2. 본론

2.1. HydroSphere

HydroSphere는 FRAC3DVS와 MODHMS를 기반으로 하여 Université Laval과 University of Waterloo에서 개발한 지하수-지표수에서 지하수의 흐름과 용질의 이동을 완전히 연계한 3차원 수치 모델이다. FRAC3DVS는 다공질 매질이나 단열이 있는 다공질 매질에서 지하수의 흐름 혹은 용질 이동을 위한 3차원 유한 요소 모델 (Finite element model)이고 불포화대에 대한 해석도 가능하다. 그러므로 우리나라와 같이 기반암에 단열 많이 분포하고 복잡한 지질환경을 가진 곳에 적용하기에 적절하다. MODHMS는 널리 쓰이는 코드인 MODFLOW의 향상된 simulator로 여기서는 Surface Water Flow Package를 도입하여 사용했다. surface water flow를 위한 방정식으로 Saint Venant equation (Viessman and Lewis, 1996)을 사용했고, 불포화대와 포화대에서의 흐름을 모사하기 위해 Richards' equation을 사용했다. 용질 이동은 classical advection-dispersion equation을 사용했다.

2.2. 모델의 검증

이 모델은 아직 완성된 상용 프로그램이 아니므로 더 나은 신뢰성을 위해서 좀 더 많은 검증이 필요하다. 기본적인 검증은 이미 개발자들에 의해 이루어진 상태이지만, 다른 논문에서 사용된 실제 현장 관측 데이터를 이용하여 이 모델을 검증해본다면 앞으로의 적용에 좀 더 신뢰성을 부여할 것이다.

검증에 사용한 자료는 프로그램 개발자들에 의해 사용되었던 (R. Therrien, R.G. McLaren, E.A. Sudicky, S.M. Panday, 2004) 캐나다 온타리오주의 Canadian Forces Base Borden에서의 실험 (Abdul, 1985) 자료와 유성지역 소유역에서의 강수, 지표수, 지하수의 수소동위원소 모니터링 (박준형, 고용권, 박경우, 정형재, 김교원, 2003) 자료이다.

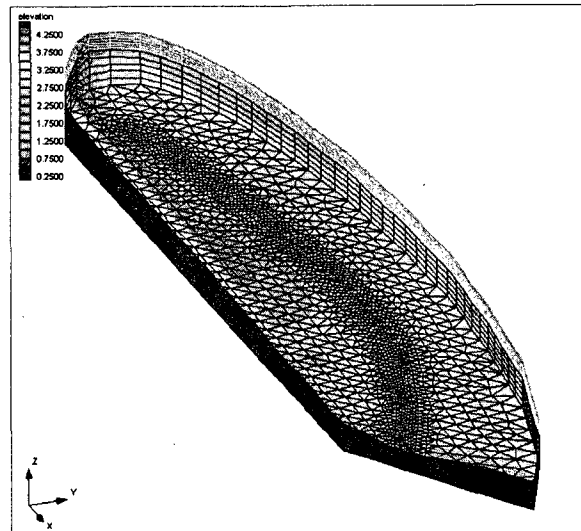


그림 1. Abdul [1985]의 강우-유출 현장 실험의 모의를 위한 도메인

그림 1은 Abdul [1985]의 실험 지역을 모델화 한 것으로 크기는 대략 80 m × 16 m × 4 m 이다 (그림 1). x축을 따라 인공 하천이 주위 땅보다 1.2 m 정도 낮게 위치해 있다. 하천은 초기에 말

라있는 상태이고 초기 수두는 하천보다 22 cm 아래에 있다. 상류지역에서 50분 동안 2 cm/hr로 인공 강우를 뿌린 후 하류에서 유출량을 측정했다.

그림 2는 이 지역에서 측정한 자료와 모의한 자료를 비교한 그래프이다. 측정한 자료와 모의한 자료가 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이 시스템의 outflow hydrograph는 하천의 고도, 초기 지하수면 위치, 그리고 경사에 아주 민감하다 (VanderKwaak, 1999).

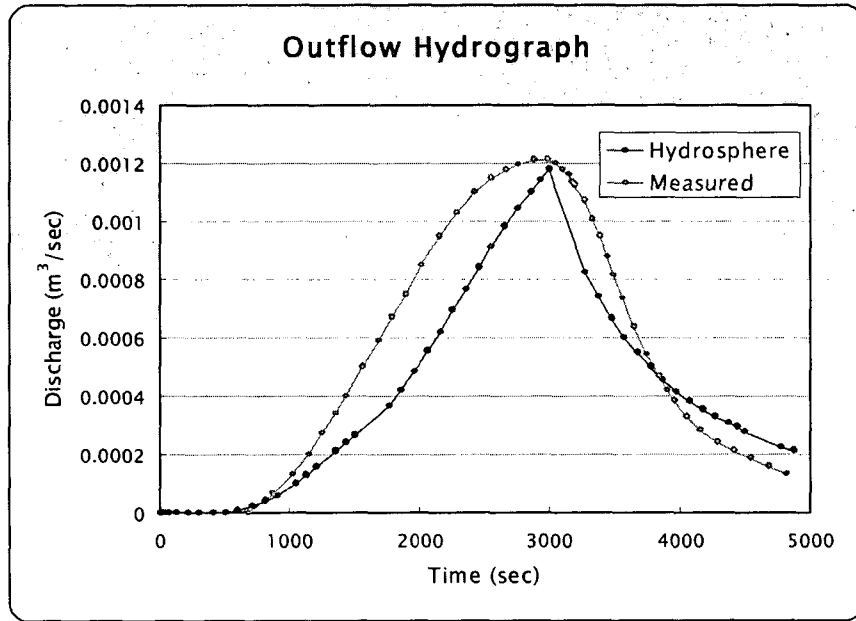


그림 2. Abdul [1985] 연구 자료와 모의를 통한 outflow hydrograph

그림 3은 대전 유성지역 소유역의 지형도이다. 이 지역은 편상화강암을 모암으로 하고 수계가 NW 방향으로 발달해 있다. 그림 3 중앙에 작은 소류지가 있고, SW는 지표에서의 유출량을 측정한 지점, 그리고 BH는 지하수 관정이 위치한 지점이다. 지하수 관정에서는 수위와 수리전도도가 측정되었고, 지표수에서는 유출량과 강수량이 측정되었으며 지하수와 지표수에서 모두 수소동위원소 분석이 이루어진 상태이다. 이 자료를 이용하여 앞으로 이 지역에서의 강수에 따른 지하수 수위 변화와 지표유출량의 변화를 모의함으로써 물의 흐름에 대한 모델의 지하수-지표수 연계를 평가해보고, 또한 수소동위원소 자료를 이용하여 용질의 이동에 대한 모델의 지하수-지표수 연계를 평가해 볼 것이다.

3. 결론 및 앞으로의 연구

지하수-지표수를 완전히 연계한 모델인 HydroSphere를 Abdul [1985]의 현장 실험 자료를 이용하여 간단하게 평가해 보았고, 유성지역 소유역에서의 자료를 이용하여 평가해 볼 예정이다. Abdul [1985]의 현장 자료와의 비교에서는 측정한 값과 모의한 값이 상당히 유사하였다. 유성지역의 자료는 수리지질학적 정보가 부족하기 때문에 지하수 수위와 수리전도도는 측정한 값을 바탕으로 각각 고도 자료와의 공동크리깅과 정규크리깅을 통해 얻은 값을 사용할 것이다. 이 값을 바탕으로 강수에 따른 지하수 수위 변화와 지표유출량의

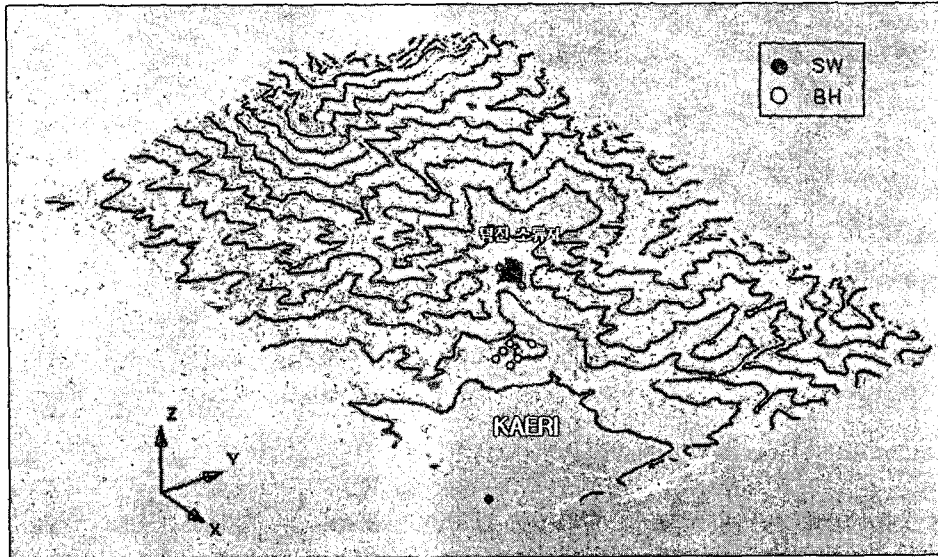


그림 3. 유성지역 소유역 지형 및 관정과 측정지점 위치도

변화와 수소동위원소 변화를 모의하여 각각 물의 흐름과 용질의 이동에 대한 모델의 지하수-지표수 연계를 평가해 볼 것이다.

4. 사사

본 연구는 BK21 프로젝트의 지원에 의해 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- (1) 박준형, 고용권, 박경우, 정행재, 김교원, 유성지역 소유역에서의 강수, 지표수, 지하수의 수소동위원소 모니터링, 한국지하수토양환경학회 2003년도 총회 및 추계학술발표회, 587-591, 2003.
- (2) Abdul, A.S., Experimental and Numerical studies of the effect of the capillary fringe on streamflow generation, Ph.D. Thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 210 pp, 1985.
- (3) R. Therrien, R.G. McLaren, E.A. Sudicky, S.M. Panday., HydroSphere: A three-dimensional numerical model describing fully-integrated subsurface and surface flow and solute transport, DRAFT November 23, 2004.
- (4) VanderKwaak, J., Numerical Simulation of Flow and Chemical Transport in Integrated Surface-Subsurface Hydrologic Systems. Ph.D. Thesis in Earth Sciences, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 217 pp, 1999.
- (5) Viessman, W. (Jr.) and G.L. Lewis, Introduction to Hydrology, 4th Edition, Harper Collins College Publisher, New York, 760 pp, 1996.