

자유면대수층에서의 다공 추적자 시험 해석

안규천, 이준학*, 구민호*, 김용제**, 고동찬**

(주)넥스지오, *공주대학교 지질환경과학과, **한국지질자원연구원

(e-mail : an9000@nexgeo.com)

요 약 문

Visual MODFLOW 프로그램 내 MT3D 패키지를 이용하여 다공 추적자 시험 해석 모델을 제시하였으며, 개념모델을 설정하여 추적자 해석 모델 모사 시 입력상수인 수리전도도(K), 비산출률(S_y), 유효공극률(n_e), 종분산지수(α_L) 및 횡분산지수(α_T) 등에 따른 민감도를 분석하였다. 또한, 이를 이용하여 부산과 이천지역의 현장 추적자 시험 자료를 해석하였다. 민감도 분석 결과, 유효공극률과 종분산지수의 민감도가 가장 크게 나타났으며, 비산출률의 민감도가 가장 작게 나타났다. 유효공극률은 관측점에서 측정되는 추적자의 최고농도를 결정하는 인자이며, 종분산지수는 추적자 최고농도가 되는 경과시간과 관계가 깊은 것으로 나타났다. 재순환 추적자 시험 해석 모델을 적용한 부산지역의 경우 유효공극률은 0.15, 종분산지수는 5m인 것으로 모사되었으며, 수렴 흐름 추적자 시험 해석 모델을 적용한 이천지역의 경우 유효공극률은 0.01, 종분산지수는 13m로 산정되었다.

Key words : 재순환 추적자 시험, 수렴 흐름 추적자 시험, 종분산지수

1. 서론

지속적인 지하수의 사용량 증가와 지하수의 오염문제에 대한 관심이 대두되기 시작하면서 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 지하수 및 오염거동에 대한 분석은 주로 추적자 시험을 통해 이루어지고 있으며, 추적자 시험은 지하수의 속도뿐만 아니라 오염물질의 이동기작인 이류, 분산, 확산 및 지연 등을 이해하기 위해 실시한다. 다공 추적자 시험은 시추공과 복수의 관측공을 이용하여 시추공 내에 추적자를 투입하고 관측공에서 농도변화를 측정하는 시스템이다. 이 시험은 균일 흐름 및 방사상 흐름 시험 두 가지로 구분된다. 방사상 흐름의 경우 발산, 수렴 및 순환의 세 가지 시험으로 구분된다. 추적자 시험법 중 재순환 추적자 시험과 수렴 흐름 추적자 시험법은 많은 양의 주입수를 확보할 필요성이 없으며, 성공률이 높고 시간이 절약된다는 장점이 있다. 그러나 해석상의 어려움으로 인해 적용 빈도가 낮다(문상호 외, 2001). 본 연구에서는 재순환 추적자 시험과 수렴 흐름 추적자 시험을 지하수 오염물 거동 모사 프로그램인 Visual MODFLOW의 MT3D를 이용하여 추적자의 이동에 영향을 주는 요인과 추적자 시험의 수행 및 결과 해석에 있어 중요한 몇 가지 요인들에 대해 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석 결과 오염물 거동에 가장 큰 영향을 미치는 인자인 종분산지수와 유효공극률을 추정하였다.

2. 다공 추적자 시험

본 연구에서 실시한 재순환 추적자 시험은 정상상태를 유지하기 위해 한 공에서는 양수하고 다른 공에서는 같은 속도로 양수한 물을 주입한다. 동시에 추적자를 같은 농도로 주입하고 이를 양수정

에서 측정하여, 양수정과 주입정 사이에서 이루어지는 순환시스템을 이용하여 지하매질의 특성을 알아 내는 방법이다. 재순환 추적자 시험은 많은 양의 물을 미리 확보할 필요가 없고, 투수성이 좋은 대수층 계에서 수백 미터 내외에서 수행이 가능하다는 장점이 있다. 수렴 흐름 추적자 시험은 양수정에서 지속적으로 양수하여 방사상의 수렴 흐름 하에서 실행하는 방법으로, 양수를 하여 그 농도를 관측하는 방법이다. 이 방법은 시험이 간단하고 많은 양의 물을 확보하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다.

3. 민감도 분석

수렴흐름 추적자 농도에 영향을 미치는 수리인자들에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석에 이용된 수리 인자로는 수리전도도(K), 유효공극률(n_e), 비산출률(S_y), 종분산지수(α_L) 및 횡분산지수(α_T)이다. 민감도 분석 결과 추적자 농도는 유효 공극률과 종분산지수에 가장 민감하게 나타났으며, 비산출률과 횡분산지수의 민감도는 작게 나타났다. 유효공극률은 관측정에서 측정되는 추적자의 최고농도를 결정하는 인자이며, 종분산지수는 추적자 최고농도가 되는 경과시간과 관계가 깊은 것으로 나타났다. 따라서 유효공극률과 종분산지수는 추적자 농도를 결정하는 중요한 모델 변수임을 알 수 있다. 그림 1은 민감도 분석 결과를 나타낸 것이다.

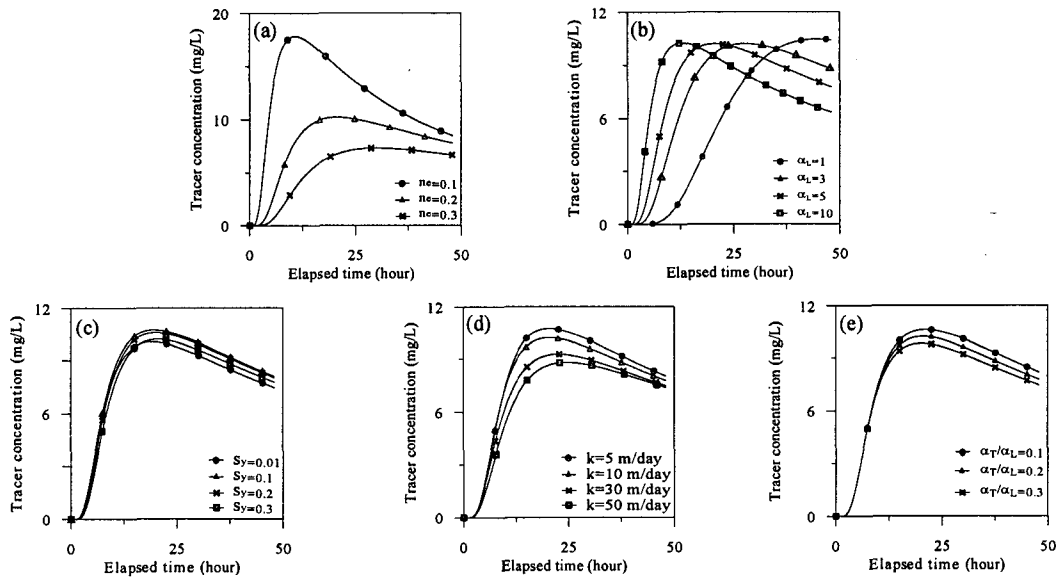


그림 1. 민감도 분석 결과 : a. 유효공극률, b. 종분산지수, c. 비산출률, d. 수리전도도, e. 횡분산지수

4. 현장 시험 적용 결과

4.1 재순환 추적자 시험 적용 결과

재순환 추적자 시험은 모래와 자갈로 매립된 지역인 부산광역시 남구 감안동 해안가에 위치한 현장에서 수행하였다. 주입정에는 1.5kg의 KI(요오드화칼륨) 추적자를 주입하고, 양수정에서는 13.8m³/day로 양수하여 양수된 물을 다시 추적자를 투입한 공에 주입하였다. 이온 분석을 위해 30분 간격으로 시료를 채취하고 요오드 전극을 이용하여 요오드 농도를 측정하였다.

추적자 거동을 모사하기 위해 총 18,000개의 격자 블록으로 구성된 15m×15m×16m 영역의 3차원 격자망을 설정하였으며 현장시험을 통해 산정한 자료인 수리전도도(10m/day), 비저유계수(0.0001m⁻¹), 비산출률(0.3)을 모델의 입력자료로 이용하였다. 모델에서의 추적자 주입은 MT3D의

Boundaries-recharge Conc.을 이용하여 현장시험에서 주입한 농도(12400mg/L)와 동일하게 입력하였다. 또한 주입량은 Recharge를 이용하여 15분간 46.2m/day로 주입되는 것으로 설정하였다. 모델에서 양수(13.8m³/day)와 주입은 추적자 주입 후 48시간 동안 수행된 것으로, 현장시험과 동일하게 모사하였다. 그림 2의 (a)는 재순환 추적자 시험 결과 시간 경과에 따른 농도 변화를 나타낸 것으로 농도 이력곡선이 잘 나타나지 않았다. 이는 시험과정 중 유량 조절 실패로 유량의 변화가 농도 변화에 영향을 끼친 것으로 추정된다. 그러나 추적자의 최고농도와 최고농도가 되는 경과 시간을 알 수 있으므로 모델에 적용하였다. 그림 2의 (b)와 (c)는 현장에서 실시한 재순환 추적자 시험으로 유효 공극률은 0.15, 종분산지수는 5m로 산정되었다.

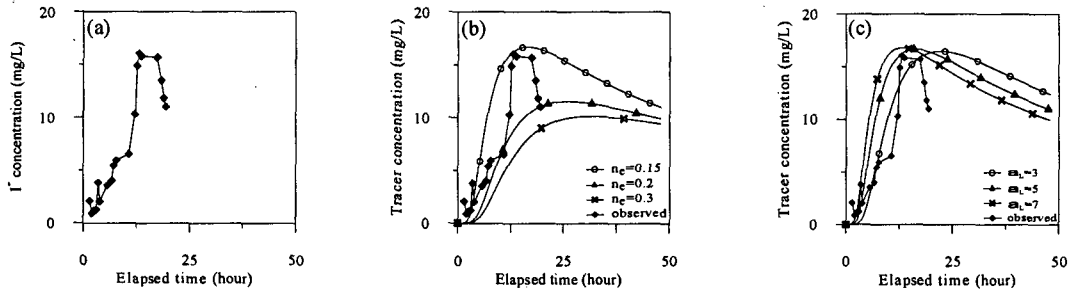


그림 2. 재순환 추적자 시험 결과 : a. 시간에 따른 농도변화, b. 유효공극률 산정, c. 종분산지수 산정

4.2 수렴흐름 추적자 시험 적용 결과

이천 지역의 봉적층 대수층을 대상으로 수렴 흐름 추적자 시험을 수행하였다. 연구지역에서의 추적자는 1.5kg의 NaCl(염화나트륨)을 이용하였고, 추적자 주입 후 400분 동안 9.34m³/day로 양수하여 pH, EC미터기로 지하수 수질 변화를 측정하였다. 추적자 거동을 모사하기 위해 총 49,680개의 격자 블록으로 구성된 80m×80m×20m의 3차원 격자 모델을 설정하였다. 모델에 적용한 수리 상수는 현장 실험에서 얻은 자료를 이용한 값으로, 입력변수는 수리전도도가 0.1m/day, 비저유계수 0.0005m⁻¹, 비산출률 0.1이다. 모델에서의 양수 시간 및 양수량은 현장 실험과 동일하게 적용하였다. 그림 3의 (a)는 수렴 흐름 추적자 시험 결과 시간 경과에 따른 농도 변화를 나타낸 것이며, 그림 3의 (b)와 (c)는 현장에서 실시한 수렴흐름 추적자 시험의 해석결과로, 유효 공극률은 0.01, 종분산지수는 13m로 산정되었다.

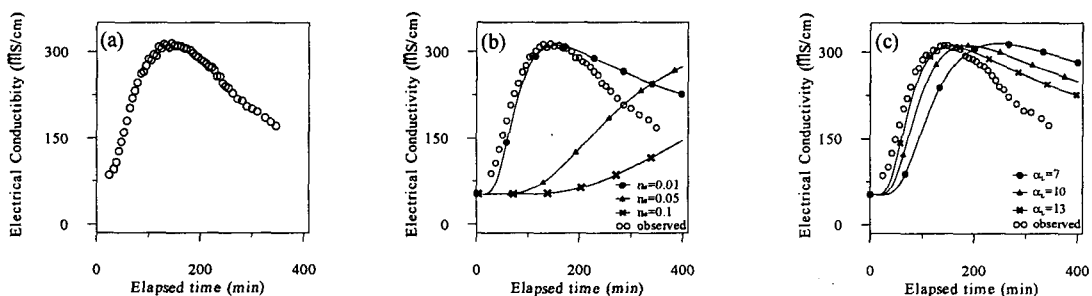


그림 3. 수렴 흐름 추적자 시험 결과 : a. 시간에 따른 농도변화, b. 유효공극률 산정, c. 종분산지수 산정

5. 결론 및 고찰

Visual MODFLOW내 MT3D를 이용하여 추적자 시험 해석 모델을 제시하였다. 제시된 해석 모델에 재순환 추적자 시험 및 수렴 흐름 추적자 시험을 재현해 모사를 수행하고 민감도 분석을 하였다. 개념모델을 설정하여 수리전도도, 유효공극률, 비산출률, 중분산지수 및 횡분산지수에 따른 시간에 대한 추적자의 농도변화를 분석한 결과 유효공극률과 중분산지수의 민감도가 가장 크게 나타났고 비산출률의 민감도가 가장 작게 나타났다. 또한 해석모델을 통해 산정하고자 하는 유효공극률은 최고농도를 결정하고, 중분산지수의 변화는 최고농도가 되는 경과시간을 결정하였다. 제시된 해석모델에 재순환 추적자 시험을 수행한 부산지역 현장에 적용한 결과 유효 공극률은 0.15, 중분산지수는 5m로 산정되었으며, 수렴 흐름 추적자시험을 수행한 이천지역 현장에 적용한 결과 유효 공극률은 0.01, 중분산지수는 13m로 산정되었다.

참고문헌

문상호, 함세영, 우남철, 이철우, 2001, 지하수 추적자, 시그마프레스, p169.