

경북 고령군 다산면 충적층 강변여과 취수 현장에 대한 수리 모델링

원이정 · 김형수 · 구민호* · 백건하
한국수자원공사 수자원연구소 *공주대학교 지질환경과학과
e-mail : won2j@kowaco.or.kr

요 약

경북 고령군 다산면의 충적층 강변여과 취수에 따른 수위변화 모델링을 시도하였다. 단순화된 2가지 모델을 기본으로 하여 1일 평균 1만 5천톤의 상수도 공급 시, 일정수두 유지를 위한 연간 취수 계획 및 적정 취수량을 검토하였다. 한편, 질량 균형(mass balance)을 통하여 모델 검증 및 시기별 하천수와 지하수의 유입 비율을 예비적으로 산정하였으며, 투수계수와 함양량 변화에 따른 지하수위의 민감도를 검토하였다. 하천수 유입 비율은 시기별로 65~85 % 범위를 갖는 것으로 나타났으며, 지하수위는 함양량 변화에는 둔감한 반면, 투수계수에 대해서는 상대적으로 민감한 것으로 평가되었다.

주요어 : 강변여과, 수위변화 모델링, 취수계획, 취수량, 질량 균형(mass balance)

1. 서 론

지속가능한 지하수 개발을 위해 현재 직접인공함양, 강변여과수 활용, 지하수댐의 건설 등과 같은 지하수 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이 중 본 연구는 강변여과방식 취수에 따른 지하수 모델링에 관한 연구로, 현재 강변여과 취수방식이 검토되어지고 있는 경북 고령군 다산면 지역을 대상으로 수행되었다.

정확한 지하수 모델링을 위한 기본 사항은 대상 지역에 대한 개념 모델 설계이며, 이 개념 모델 설계를 위해서는 유역 면적, 유역 경계조건, 투수계수, 함양율, 대수층 구조 등의 여러 가지 요소들을 실제와 유사하게 선정하여야 한다. 모델링의 기본 요소 사항을 잘 못 선정할 경우, 실제와 다른 결과가 유출 될 수 있으므로, 우선적으로는 다양한 가정에 의한 모델링을 수행한 후, 이들 요소에 대한 평가를 통해 최종적인 모델을 설계하는 것이 필요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 실제 측정된 지하수위에 가장 근접한 상태를 보여주는 경계조건 및 투수계수, 함양률 등을 우선적으로 검토하여 선정하였다.

2. 본론

본 연구에서는 우선, 단순화된 2가지 모델링 설계를 통해, 하루 1만 5천톤의 상수도를 안정하게 공급하기 위한 취수 계획, 수두 강하량 및 적정 취수량의 산정을 시도하였다. 전체 대상 지역은 3km(가로)×1km(세로)로 10m 간격의 격자를 설정하였으며, 전체 대수층은 자유면 대수층으로, 하천부는 일정 수두 경계로 설정하였다. 하천의 수위는 EL. 15 m이며, 이 값은 이 지역 낙동강의 11월 수위 평균 관측값이다. 그러나 실제 하천의 평균적인 바닥고는 EL. 5 m로 하천의 실제 심도는 약 10 m 전후이다. 한편, 이 지역의 시추 자료 등에서 나타난 대상 지역 충적층의 평균 두께는 약 15 내지 20 m 이다. 그림 1은, 본 연구에서 적용된 다른 2가지 경계조건을 설명하여준다. 대수층의 투수 계수는 0.032 cm/sec, 함양률은 40 %로 설정하였으며, 이 때, 투수 계수의 결정은 현장양수시험 결과와 강변여과 취수가 수행되지 않던 시기의 지하수위와 모델링

의 수두를 Visual Modflow에서 투수계수를 변화시켜가면서 비교, 일치시켜 구한 값이다.

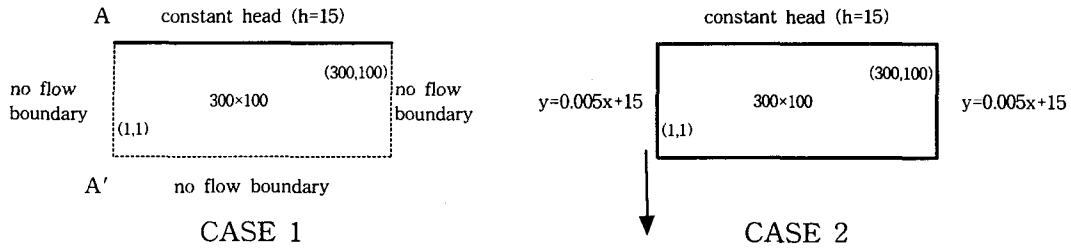


그림 3. 모델 설계 (평면도)

2.1 Case 1(No flow boundary condition) 모델 설정 및 모델검증

그림 1에서 설명된 것과 같이 하천부를 제외한 삼면을 모두 불투수경계로 처리하였다. 또한 함양은 과거 30년 동안 대구 지역의 일별 강우 자료를 근거로, 일별 실제 강우의 40%가 이루어지는 것으로 설정하였다. 이러한 일별 함양률의 입력은 실제 1년을 주기로 변화하는 강우 현상을 반영할 수 있을 것으로 판단된다. 실제로 일별 함양률의 변화에 따라 지하수위 변동이 주기성을 가지는 경우는, 일반적으로 동적순환 초기조건(dynamic cyclic initial conditions)을 이용하는데(Anderson and Woussner, 1992), 이를 위해서 주기성을 갖는 함양률의 시계열 자료를 10년간 되풀이하여 마지막 1년의 모사 결과를 자료 분석에 이용하였다. 모델링을 위한 정호의 배치는 하천에서 90m 이격시켜, 하천과 평행하게 150m 간격으로 10개 설치되었으며, 개별 정호의 취수량은 1,500ton/day로 전체 취수량이 15,000 ton/day가 되도록 설정하였다. 또한 취수정의 위치를 동측에 집중 배열한 것은, 실제 본 현장의 서측에 투수성이 좋지 않은 층이 일부 있는 것으로 확인되었기 때문이다.

그림 2는 시기별 지하수위를 나타낸 것이며, 그림 3은 하천으로부터의 거리에 따른 지하수위를 보여주기 위해 임의의 격자에서의 지하수위 값을 1년 동안 도시한 것이다. 하천에서 멀어질수록 함양에 영향을 많이 받아, 함양률의 주기성과 거의 일치하는 지하수위 변화를 보여준다. 함양률이 많은 여름철의 경우 지하수위는 상대적으로 상승하나, 건기인 겨울에는 급격한 지하수위 하강이 나타난다. 이러한 주기적인 함양에 따른 주기적 지하수위 변동을 고려할 때, 안정적인 지하수위를 유지하기 위해서는 월별 혹은 계절별 취수계획을 세우는 것이 검토되어질 수 있다. 예를 들어, W7 지점의 수위를 약 14m로 유지하기 위해서는 건기인 1월에서 6월까지의 1,300ton/day를 풍수기인 7월에서 12월까지의 1,700ton/day로 취수량을 결정하여 운영할 수 있다.

모델 검증 및 지하수 및 지표수 유입비율을 산정하기 위하여 (1) 및 (2)와 같은 질량균형식을 이용하였다.

$$mass\ balance\ error(\%) = \frac{|Q_{in1}| - |Q_{out}|}{Q_{in}} \times 100 \quad (1)$$

$$Q_{in1}(\text{하천유입량}) + Q_{in2}(\text{지하수함양량}) = Q_{out}(\text{취수량}) \quad (2)$$

그 결과 연중 시기별 하천수 및 지하수 비율은 표 1과 같다. 최고 갈수기인 3월 20일경의 하천수 비율이 가장 크며, 최고 풍수기인 8월 25일경의 하천수 비율이 가장 낮으므로 지하수 함양비율 대비 하천수 유입비율은 약 67%~85% 인 것으로 확인되었다. 여기서 K 값이 커지면 지하수 유입비율이 커지며, 반대로 K 값이 작아지면 하천수의 유입비율이 커지게 된다.

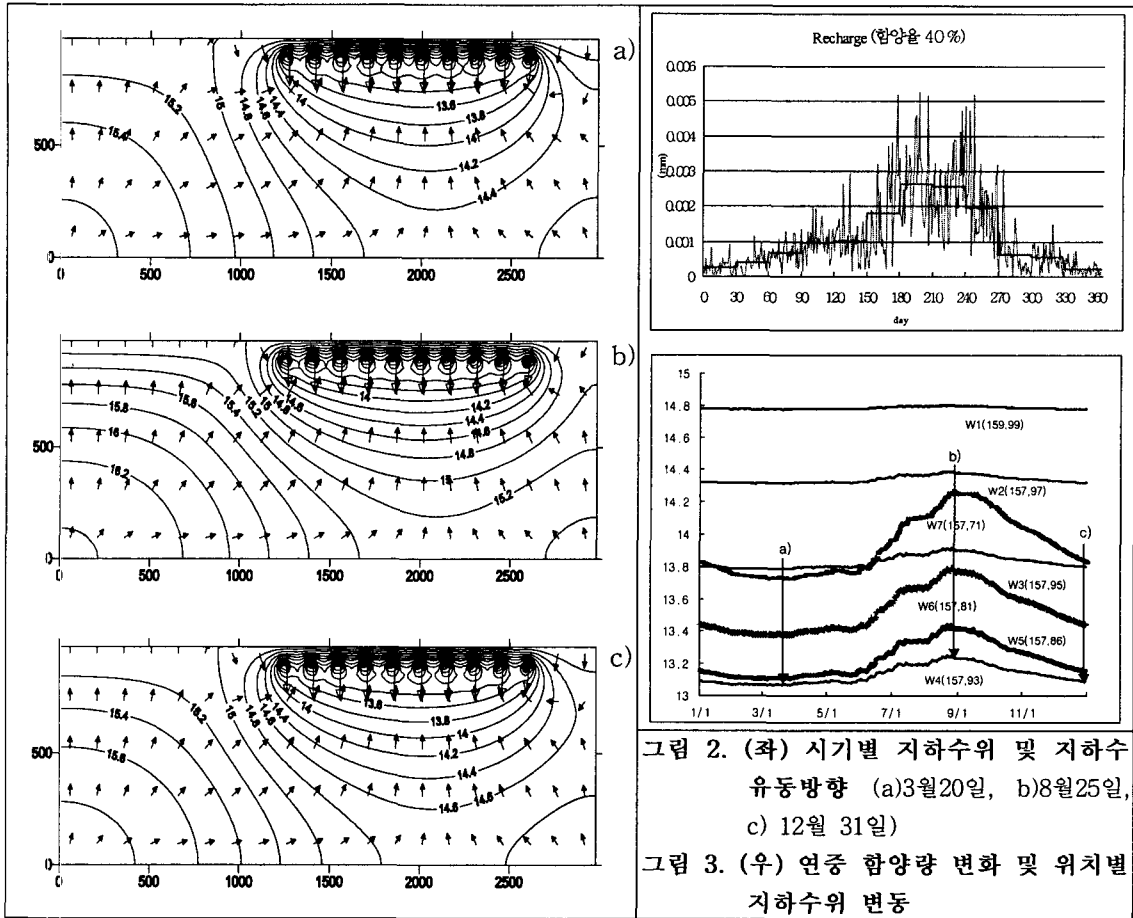


그림 2. (좌) 시기별 지하수위 및 지하수 유동방향 (a)3월20일, b)8월25일, c) 12월 31일
 그림 3. (우) 연중 함양량 변화 및 위치별 지하수위 변동

표 1. 취수정으로의 지표수 및 지하수 유입비율 예시

	a) 3월 20일	b) 8월 25일	c) 12월 31일	비고
하천수	84.6 %	67.6 %	82.8 %	K=27m/day 함양률 40 %
지하수	15.4 %	32.4 %	17.2 %	

그림 4는 투수계수 K의 변화에 따른 위치별 수위 변화와 함양률 변화에 따른 위치별 수위변화를 낸 것이다. 투수계수값이 54m/day 이상인 경우 거의 위치에 따른 수위변화를 거의 보이지 않고, 투수계수에 대해서는 수위가 민감하지만 상대적으로 함양률에 대해서는 수위가 민감하지 않은 것으로 판단된다.

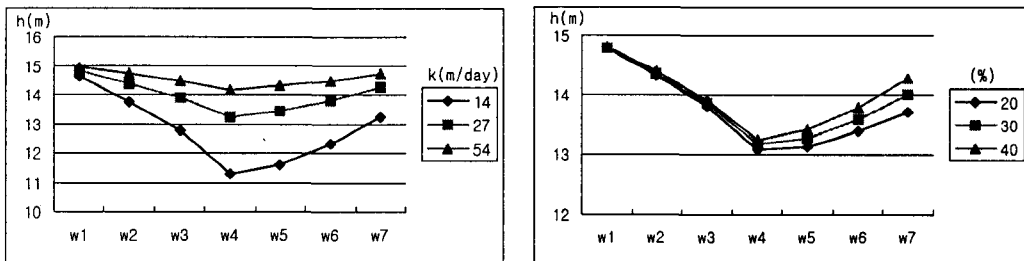


그림 4. 위치별 투수계수 vs. 수위(좌), 위치별 함양률 vs. 수위(우)

2.2 CASE 2 (Constant Head boundary condition)

그림 1에서처럼 하천을 제외한 나머지 삼면은 일정수두경계로 5/1000의 지하수두 경사를 가지도록 하였다. 실제 본 유역과 같이 작은 소유역의 경우는 모든 면이 불투수 경계라고 보기는 어려우므로 일반적인 지하수 수두경사 값을 경계값으로 주어 모델링을 수행해 보았다. 이미

일정수두경계에서 함양이 고려되어 있으므로, 1년을 주기로 변하는 함양(강우)에 대해서는 고려하지 않았다. 취수정의 위치 및 취수량은 case 1과 같다.

모델은 steady state가 될 때까지 모사하였으며, 그 결과는 그림 4와 같다. 그림 5는 이 모델이 모사 시작부터의 case 1에서의 같은 임의의 격자지점에서의 수위변화를 보여주며, 100일 전후로 수위변화가 거의 없는 steady state로 수위가 안정된다.

취수정 W1~W7의 case 1의 평균 수위와 case2의 안정된 후의 수위를 비교해 볼 때, 두 경우 모두 같은 양의 취수에도 불구하고 case 2는 훨씬 높은 수위를 보여준다. 이는 일정수두경계를 유지하기 위한 계속되는 경계로부터의 지하수 유입이 존재하기 때문이다.

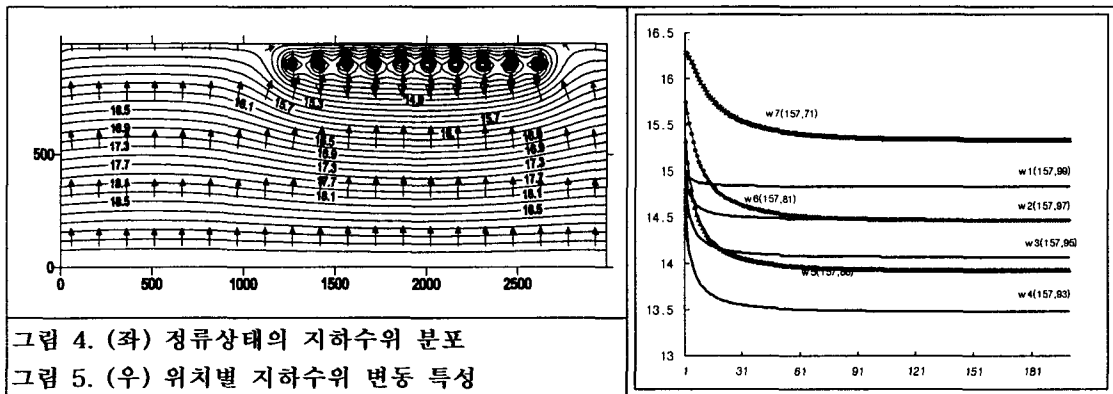


그림 4. (좌) 정류상태의 지하수위 분포
그림 5. (우) 위치별 지하수위 변동 특성

3. 결론 및 의견

고령군 다산면 강변여과 취수 방식 상수도 공급 계획 지역에 대한 예비적인 평가를 수행하였다. 실제 변화하는 강우 현상을 모사하기 위해 일별로 변화하는 함양 조건을 통해 모델링이 수행되었으며, 우선적으로 하천을 제외한 삼면의 경계를 불투수경계로 설정한 Case 1의 경우, 하천수 및 지하수 유입비율이 약 65~85%로 나타났으며, 갈수기에 주로 하천에서 상대적으로 많은 유입이 이루어지는 것으로 평가되었다. 또한 지하수위는 함양량 변화에는 둔감한 반면 상대적으로 투수계수에 대해서는 민감한 것으로 밝혀졌다. 한편, 대상 지역의 경계를 일정수두 경계로 설정한 Case 2의 경우, 경계에서 많은 양의 지하수가 유입되어 상대적으로 하천수의 유입이 불투수경계조건에 비해 현저히 적어지는 것으로 평가되었다. 따라서 지하수 유동 평가의 실용성을 높이기 위해서는 경계조건별 지하수 유동에 대한 다양한 평가가 요구되며, 더불어 지속적인 실제 관측을 통해 불확실한 수치 모사의 입력치를 지속적으로 개선 보완하는 작업이 요구된다.

4. 사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 사업단측에 감사드립니다.

5. 참고문헌

Anderson, M.P. and Woussner, W.W., 1992, Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport. Academic Press, San Diego, 381p.
구민호 · 이대하, 지하수위 변동법에 의한 지하수 함양량 산정의 수치해석적 분석, Journal of the Geological society of Korea, Vol.38, No.3, P407-420.