

해안대수층에서 지하수-지표수 상호작용

김구영, 이철우, 김용제, 김태희, 우남철*

한국지질자원연구원 지하수지열연구부, *연세대학교 지구시스템과학과
e-mail kykim@kigam.re.kr

<요약문>

조석의 효과가 대수층에 미치는 해안대수층에서 지하수-지표수 상호작용에 관한 모사를 위해 수치모델링을 이용하였다. 모사에 사용한 모델은 하천경계와 해안경계가 서로 직교하며 하천은 대수층을 부분 관통하고 있다. 해안경계와 하천경계에 의한 동시영향을 함께 모사한 결과, 해안경계에 의한 효과는 일정한 범위까지만 나타났으나, 하천경계에 의한 영향은 시간의 증가에 따라 영향범위가 넓어졌다. 하천경계와 해안경계조건이 만나는 부근에서는 해안경계에 의한 지하수위의 반복적인 상승과 하강으로 인해 두 경계조건에 의한 지하수위가 상호 상승작용을 일으키기도 하고 상호 상쇄되어 지하수위의 변화가 없는 영역이 나타나기도 한다. 따라서 이러한 하천과 해안경계조건이 상호 교차하는 주변 대수층에서의 수위를 측정하여 해안대수층에서의 수리상수를 추정하면 수리확산계수를 과대 혹은 과소평가하는 오류를 범할 수 있으므로 주의를 요한다.

key word : 해안대수층, 지하수-지표수 상호작용, 수치모델링, 수리상수

1. 서론

산업의 발전과 인구의 증가로 인해 수자원에 대한 인식이 증가하고 있으며, 특히 지하수자원과 지표수자원의 효율적인 연계 및 관리의 필요성이 대두되고 있다. 지표수 주변의 대수층은 지하수와 지표수가 수리적으로 상호 연계되어 있으며, 이에 관한 연구는 Zlotnik와 Huang(1999) 등에 의해 해석학적인 방법과 수치적인 방법을 이용해 많은 연구가 이루어졌다. 이 연구 외에 지하수자원의 효율적인 관리와 관련한 또 다른 흥미로운 주제는 해안대수층에서 해수와 지하수의 상호관계에 관한 연구이며 Jiao와 Tang(1999) 등에 의해 많은 연구가 이루어졌다. 해안에 접한 대수층의 경우 해수와 지하수가 수리적으로 상호 연결되어 있으며 조석의 효과에 의해 지하수위는 변동한다. 이러한 지하수위의 변동은 해안에 설치된 구조물의 안정성에 영향을 미치며, 따라서 환경학적, 공학적 측면에서 조석의 효과에 의한 지하수위의 변동을 이해하는 것은 중요하다. 그러나 현재까지 지하수-지표수 상호작용에 관한 연구와 해안대수층에서의 지하수-해수 상호작용에 관한 연구를 결합한 시도가 이루어진 바 없으며, 이에 본 연구에서는 수치모델인 MODFLOW(Mcdonald와 Harbaugh, 1988)를 이용하여 해안대수층에서의 지하수-지표수 연계에 관한 분석을 실시하고자 하였다.

2. 모델설정

본 연구에서는 해안대수층에서의 지하수-지표수 상호작용에 관한 분석을 위해 Fig.1과 같은 개념모형을 설정하였다. 모델영역의 중앙을 하천이 북에서 남으로 관통하고 있으며 남쪽은 해안과 접하고 있다. 모델의 단면을 살펴보면 하천이 대수층을 부분관통하고 있으며, 1영역은 피압 상태이며, 2영역은 자유면 상태이다. 이때 하천의 중앙을 중심으로 서쪽과 동쪽은 대칭을 이루고 있으며, Fig.1에서 하천의 중심축인 $x=0$ 인 지점에서의 경계조건은 무흐름경계조건으로 둘 수 있기에 본 연구에서는 $x \geq 0$ 인 영역만을 모사하였다.

수치모형을 통해 설정한 모델의 크기는 $1,000\text{m} \times 1,010\text{m} \times 25\text{m}$ 이며 수직방향으로는 2개의 층으로 나누었으며 1층과 2층 모두 10m로 설정하였다. 대수층의 수평수리전도도는 200md^{-1} , 수직수리전도도는 2md^{-1} , 비산출율 및 비저유계수는 각각 0.1, $1 \times 10^{-6}\text{m}^{-1}$ 값을 입력하였다. 경계조건은 경우 북쪽과 동쪽은 무흐름경계조건을 주었으며, 이때 하천과 조석의 영향이 미치지 않을 만큼 충분히 먼 거리에 설정하였다. 서쪽은 river package를 이용하여 제3형 경계조건을, 남쪽은 제1형 경계조건을 주었다. 남쪽의 경계조건에 조석의 효과를 주기 위해 시간간격을 매 2시간별로 식(1)에 따라 입력하였다.

$$h(x, 0, t) = h_{msl} + A \cos(\omega t + c) \quad (1)$$

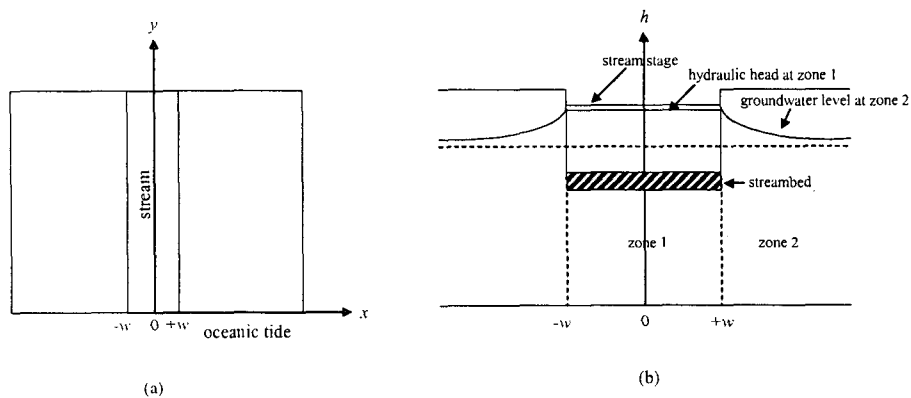


Fig.1. Conceptual model for the problem considered in this paper;
(a) plan view, (b) cross-sectional view

3. 모사결과 및 토의

모사기간은 60시간이며 하천경계와 해안경계가 교차하는 모델 원점으로부터 95m, 195m, 295m, 400m, 500m 떨어진 지점에서의 시간별 수위변화 결과는 Fig.2와 같다. 수위변화는 하천경계와 해안경계에 의한 영향이 합성되어 나타나고 있으며 조석에 의한 변화 및 하천에 의한 효과 모두 경계조건으로부터 멀어짐에 따라 지하수위 반응은 감소하고 있다.

두 경계조건에 의해 지하수위가 상승하는 시점과 하강하는 시점인 5, 13, 27, 39, 51, 60시간의 모델 내 지하수위를 Fig.3에 도시하였다. Fig.3(a),(c),(e)는 만조시 지하수위가 상승한 시점에서의 지하수위 분포도이며, 경계조건에 의한 영향을 초기 크기의 10%인 0.1m까지로 본다면, 조석에 의해 영향이 미치는 범위는 $t=5\text{hr}$ 일때 약 100m, $t=27\text{hr}$ 일때 약 150m이며, 51hr일때 역시 약 150m로써 시간의 증가에 따라 큰 변화는 나타나지 않는다. 반면 하천에 의한 영향은 $t=5\text{hr}$ 일때 약 50m, $t=27\text{hr}$ 일때 약 250m, 51hr일때 약 400m까지로 계속 증가한다. Fig.3(b),(d),(f)는 간조시 지하수위가 하강하는 시점에서의 지하수위 분포도이며, 상승하는 시점에서와 마찬가지로 조석에 의한 영향은 150m를 넘지 않으나, 하천에

의한 영향은 시간의 증가에 따라 $t=13\text{hr}$ 일때 250m, $t=39\text{hr}$ 일때 350m, $t=60\text{hr}$ 일때 450m까지로 계속 증가한다.

만조의 경우 두 경계가 교차하는 주변은 두 경계조건에 의한 영향이 상호 상승작용을 일으켜 지하수위가 더욱 상승하며 이 영역은 시간에 따라 증가한다(Fig.3(a),(c),(e)). 반면 간조의 경우 두 경계가 교차하는 주변은 두 경계조건에 의한 영향이 상호 상쇄되어 지하수위 변화가 없는 영역이 나타나며 이 영역은 시간에 따라 하천경계조건에 의한 영향이 커짐에 따라 x -축 방향으로 기운다(Fig.3(b),(d),(f)). 이는 하천에서의 영향과 해안선에서의 영향에 대한 상관관계로서 하천과 해안경계가 직교하는 대수층에서 이 경계선의 변화를 해석하는 것은 중요한 의미를 가진다.

해안대수층에서 조석효과에 의한 수위변화 연구는 대수층의 수리상수를 추정하는 방법으로 이용되기도 하는데, 이러한 하천과 해안경계조건이 상호 교차하는 주변 대수층에서의 수위를 측정하여 해안대수층에서의 수리상수를 추정하면 수리확산계수(hydraulic diffusivity, T/S)를 과대평가(만조시) 하게 되거나 과소평가(간조시)하는 오류를 범할 수 있으므로 주의해야 할 것이다.

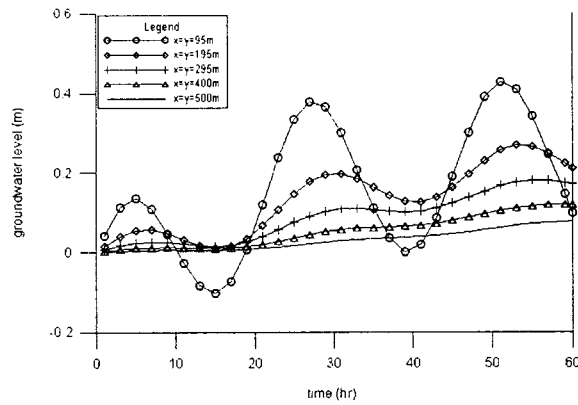


Fig. 2. Hydraulic head with time at various distance from origin of the model.

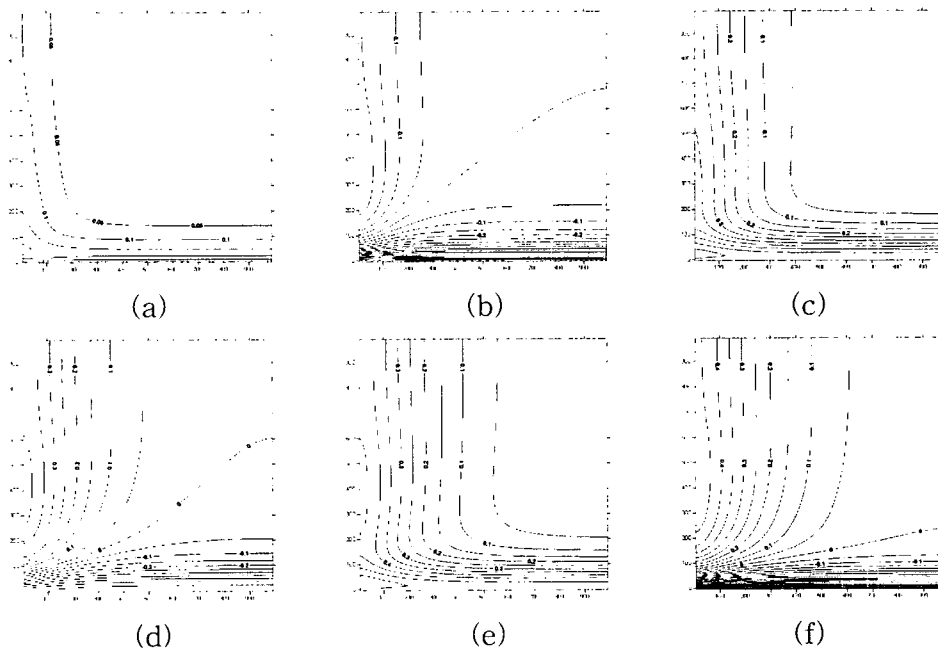


Fig. 3. Contour plot of groundwater level at $t=5\text{hr}$ (a) and $t=13\text{hr}$ (b), $t=27\text{hr}$ (c), $t=39\text{hr}$ (d), $t=51\text{hr}$ (e) and $t=60\text{hr}$ (f), setting the stream stage to 1m at the start of simulation.

4. 결론

해안대수층에서의 지하수-지표수 상호작용에 관한 분석을 위해 수치모델을 이용하였으며, 모델은 하천 경계와 해안경계가 서로 직교하게 설정하여 각각의 경계가 주변 대수층에 미치는 영향과 두 경계가 상호작용을 일으켜 지하수위에 미치는 영향을 살펴보았다. 해안경계와 하천경계에 의한 동시효과를 모사한 결과 각각의 경계조건에 의한 결과가 합성되어 나타났으며, 조석에 의한 변화 및 하천에 의한 변화 모두 두 경계조건으로부터 멀어짐에 따라 지하수위 반응은 감소하였다. 모사기간동안 해안경계에 의한 영향은 일정한 범위까지만 나타났으나, 하천경계에 의한 영향은 시간의 증가에 따라 영향범위가 넓어졌다. 또한 해안경계에서의 두 경계조건이 교차하는 주변 대수층에서 시간에 따른 지하수위분포를 살펴보면 만조시에는 두 경계의 상호 상승작용으로 지하수위가 더욱 상승하고 간조시에는 두 경계의 영향이 상호 상쇄되어 지하수위 변화가 없는 영역이 나타났으며, 이 영역은 시간이 지남에 따라 하천경계에 의한 영향범위가 커짐에 따라 x -축 방향으로 기울었다. 이러한 하천과 해안경계조건이 상호 교차하는 주변 대수층에서의 수위를 측정하여 해안대수층에서의 수리상수를 추정하면 수리확산계수를 과대평가(만조시) 하게 되거나 과소평가(간조시)하는 오류를 범할 수 있으므로 주의해야 할 것이다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-2-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Jiao, J.J., and Tang, Z. "An analytical solution of groundwater response to tidal fluctuation in a leaky confined aquifer", *Water Resources Research*, 35(3), pp.747-751 (1999).
- McDonald, J.M., and Harbaugh, A.W. "Modular three-dimensional finite-difference ground water flow model", *Techniques of water resources investigations of U.S. Geological Survey*. Book 6, CH.A1 (1988).
- Zlotnik, V.A. and Huang, H. "Effect of shallow penetration and streambed sediments on aquifer response to stream stage fluctuations (analytical model)", *Ground Water*, 37(4), pp.599-605 (1999).