

새만금방조제에서 해수-담수 경계면 예측

박유철, 김강주*

강원대학교 자연과학대학 지구물리학과

*군산대학교 공과대학 토목환경공학부

parkyc@kangwon.ac.kr

<요약문>

새만금 방조제를 통하여 새만금호로 유입되는 해수 침출수량과 새만금 방조제 내부에서의 해수와 담수 사이의 상호작용 등에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에는, 밀도 차이에 의한 흐름을 고려한 지하수 흐름 지배 방정식과 염류의 분산 및 이송 지배 방정식을 결합시킨 수치해석 모델이 이용되었다. 밀도류를 고려한 경우에는 밀도류를 고려하지 않았을 경우보다 해수 침출량은 다르지 않았으나, 해수 침출면의 길이가 축소되고 유속이 증가하였다. 부정류상태의 해수-담수 경계면은 정류 상태의 결과와 매우 달랐으며, 해수 침출면이 방조제의 하부가 아닌 상부에 존재함을 보였다.

key word : 지하수 흐름, 염도, 이송, 분산, 밀도 차이, 해안방조제

1. 서론

새만금 간척사업은 만경강과 동진강의 하구연안에 총 33 km에 이르는 방조제를 건설하여, 118 km²의 담수호와 283 km²의 간척지를 조성하는 사업이다(Fig. 1). 새만금 방조제는 수리전도도가 매우 높은 바닷모래(해사)와 파쇄된 돌덩어리(사석)로 축조되고 있으며, 정상상태에서의 새만금호 수면은 해수면보다 약 1.5 m 정도 낮은 상태를 유지하도록 설계되어 있다. 이와 같은 조건은 해수가 방조제를 통하여 새만금호 쪽으로 비교적 쉽게 유입될 수 있음을 의미하는 것이다. 더욱이, 전체 방조제 연장 33 km 중에서 총 17 km 구간은 담수호가 방조제를 경계로 해수와 직접 접하게 된다. 이에 따라, 적지 않

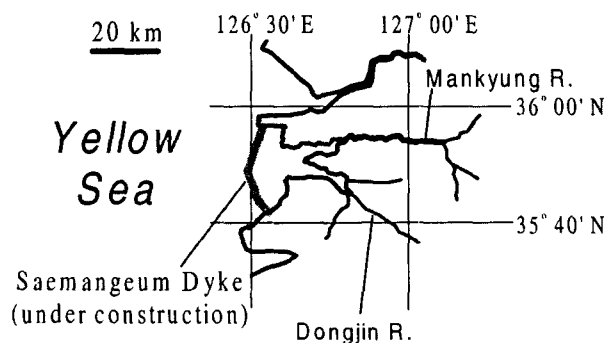


Fig. 1. 현재 건설 중인 새만금 방조제의 위치

은 해수가 새만금호 쪽으로 유입되어, 새만금호의 염분농도가 담수기준치에 도달하지 않을 가능성도 있을 것이나, 이러한 관점에서의 연구는 지금까지 전무한 실정이다.

새만금호는 담수호를 목표로 하고 있으므로, 방조제를 통하여 유입되는 해수의 양을 정확히 예측하여 호수의 염도를 계산하는 것은 매우 중요하다. 그러나, 해수 유입량을 직접 측정하는 것은 일단 해안 방조제가 완공된 이후에야 가능하므로, 현 단계에서는 수치 해석적 방법이 이를 평가하기 위한 적절한 방법이라고 할 수 있다.

담수-해수를 나누어주는 방조제의 내부에서는 물의 흐름이 염수와 담수의 밀도 차이에 크게 영향을 받을 것이므로(Huyakorn et al., 1987), 밀도류의 영향을 고려한 모델을 이용하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 밀도류를 고려한 지배방정식에 기초하여 유한요소법을 사용한 수치 모델을 개발하였으며, 이를 이용하여 새만금 방조제에서 해수-담수 경계면을 예측하고, 조수 간만의 차이에 따른 새만금호로의 해수 유입의 변화를 분석하여 보았다.

2. 수치 모형

Fig. 2는 새만금 방조제의 모식도이다. 본 방조제의 왼쪽은 바다, 그리고 오른쪽은 담수호인 새만금호에 해당된다. 본 방조제의 폭은 하부에서는 약 250 m, 수면위로 노출되는 부분의 폭은 약 130m 정도이다. 또한 본 방조제는 지름이 대략 5 cm 에서 40 cm에 이르는 사석과 바닷모래(fine to medium sand) 성토재로 구성되어 있다. 새만금사업계획서에 의하면 이들의 수리전도도는 각각 365 m/day(사석)와 6.9 m/day(성토재)로 설정되어 있다. 새만금 지역에서의 조수 간만에 따른 조위의 변화는 대략 ± 3 m이다.

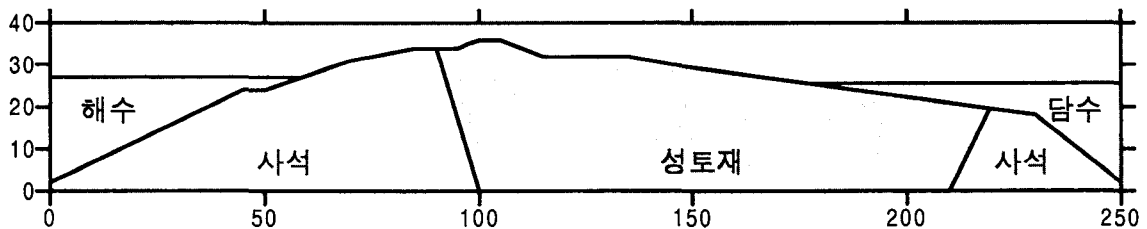


Fig. 2. 새만금 방조제 단면도

방조제 내부에서는 담수와 해수가 함께 존재하므로, 밀도류를 고려한 지하수 흐름에 대한 편미분식과 염류(salt)의 거동에 대한 편미분식을 서로 연결시킨 유한요소법을 본 연구에 이용하였다. 밀도류를 고려한 지하수 흐름에 대한 편미분식과 염류(salt)의 거동에 대한 편미분식은 각각 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{k_{ij} \rho g}{\mu} \left(\frac{\partial h}{\partial x_j} + \eta c e_j \right) \right] = S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \phi \eta \frac{\partial c}{\partial t} - \frac{\rho}{\rho_0} q \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) - V_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = \phi \frac{\partial c}{\partial t} + q(c - c^*) \quad (2)$$

지하수 유동방정식 (식 1)에서, k_{ij} 는 대수층의 고유투수계수 텐서이고, 지하수의 동점성계수 μ 는 염도에 많은 영향을 받지 않는다고 가정하였다. h 는 담수에 대한 상대적인 수두 값을 나타내며,

$x_j(j=1,2,3)$ 는 직교좌표계, η 는 밀도와 염도 사이의 비례 상수, c 는 염도, e_j 는 중력가속도를 나타내는 벡터, S_s 는 비저유계수, t 는 시간, ϕ 는 공극률, q 는 지하수 유출입량, 그리고 ρ 와 ρ_0 는 각각 지하수의 밀도와 담수의 밀도를 나타낸다. 용질이동방정식 (식 2)의 D_{ij} 는 수리분산계수 텐서, V_i 는 Darcy 속도, c^* 는 유입 또는 유출되는 지하수의 농도를 의미한다.

3. 결과 및 토의

Fig. 3은 새만금 방조제 내부에서의 해수-담수 경계면을 조위 변화에 따라 정류상태를 가정하고 모사한 결과이다. Fig. 3a, b, c는 각각 조수가 만조, 평균 조위, 간조인 경우에 대하여 해수-담수 경계면을 모사한 것이다. 그림에서 회색으로 칠해진 부분은 염도가 해수의 50% 이상인 부분을 나타내며, 해수-담수의 경계면으로 가정하였다(Huyakorn et al., 1987). 정류상태의 모사결과를 보면 해수면이 담수보다 높을 때 (Fig. 3a, b)는 해수가 담수 쪽으로 유출되는 것으로 나타났으나, 해수면이 담수보다 낮아지는 간조에는 담수 쪽의 해수 유출은 미미하고(Fig. 3c), 단지 담수-해수 경계면에서의 물의 이동이 빨라지는 것으로 나타났다.

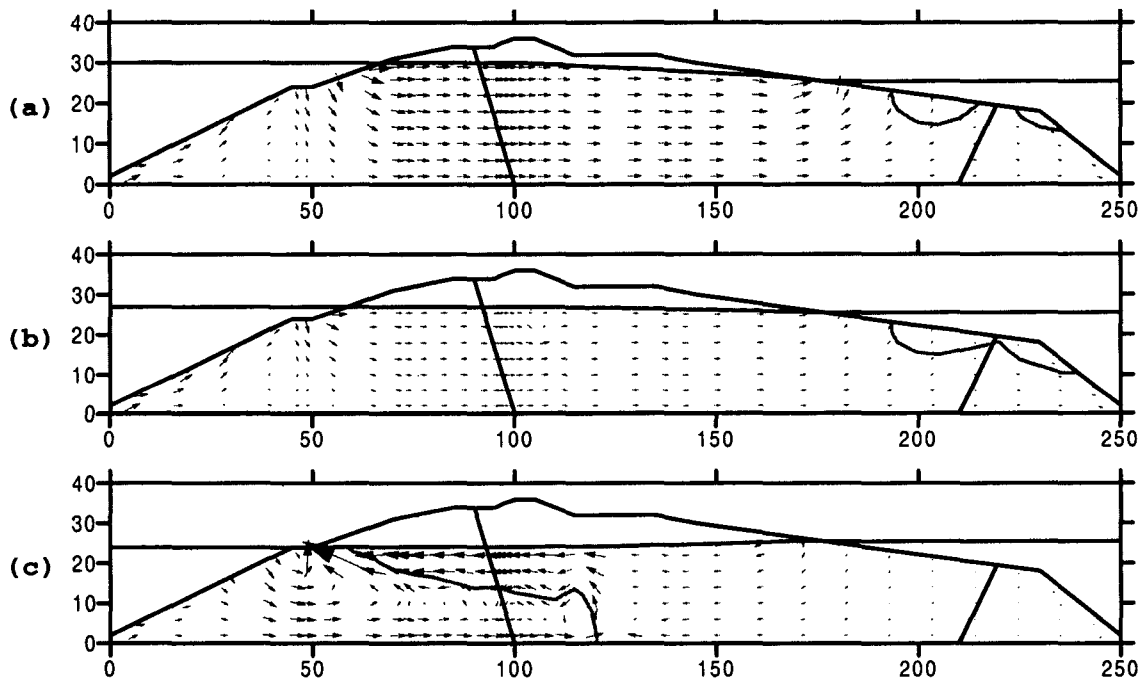


Fig. 3. 정류 상태를 가정하고 수위변화에 따라 모사된 해수-담수 경계면
(a, 만조; b, 평균 조위; c, 간조)

부정류상태의 경우(Fig. 4)는 정류상태의 경우와 매우 다른 결과를 보인다. 부정류상태에서의 해수 침출면은 담수 쪽의 사면의 상부에 국한되어 나타났으며, 그 길이도 정류상태에 비하여 매우 축소되었다. 특히, 간조에는 오히려 해수 침출면의 길이가 가장 크고, 만조에는 담수 쪽의 사면에 해수 침출면이 없는 현상을 보인다. 이는 조석의 변화속도가 지하수 이동속도에 비하여는 매우 커서, 경계 조건의 변화가 방조제 전체에 전파되는 과정에서 약간의 지연 시간이 있기 때문에 나타난 현상으로 보인다.

해수와 담수 사이의 밀도 차이를 고려하여 계산된 해수의 새만금호로의 침출수량은 밀도 차이를 고려

하지 않은 경우에 비해 큰 차이를 보이지 않았다. 해수 침출면에서 해수의 유속을 비교하면, 밀도 차이가 없는 경우보다 밀도 차이가 있는 경우가 훨씬 크게 나타났다. 이는 좁은 침출면을 따라서 비슷한 유출량이 흐르기 때문에 유속이 그 만큼 증가되는 깔대기 현상으로 설명할 수 있다.

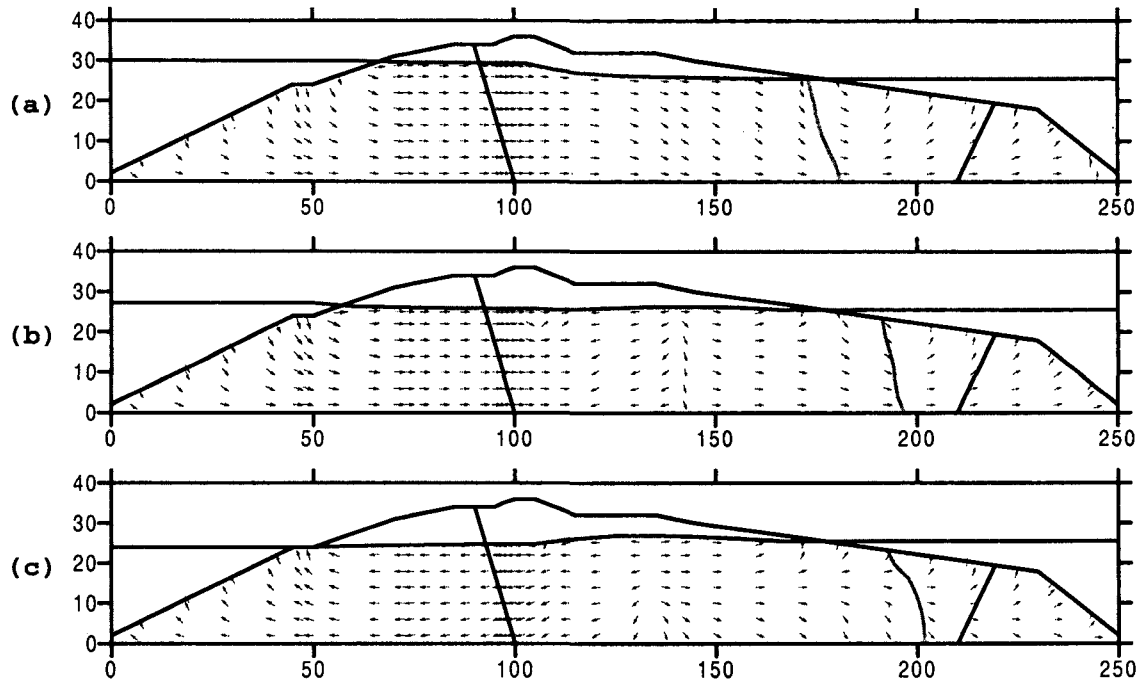


Fig. 4. 부정류 상태를 가정하고 수위변화에 따라 모사된 해수-담수 경계면
(a, 만조; b, 평균 조위; c, 간조)

4. 결론

본 연구에서는 새만금 방조제에서 해수와 담수의 수위 변화에 따른 경계면의 변화를 밀도류를 고려한 수치 해석 방법으로 모사하였다. 밀도류를 가정할 경우 해수 침출면 부분에서의 유속은 그렇지 않은 경우에 비하여 매우 크게 나타났으며, 해수 침출면의 길이는 축소되었다. 정류상태의 모사 결과는 해수-담수의 밀도 차이가 해수 침출수량을 크게 증가시키지는 못하는 것으로 보여준다. 그러나, 부정류상태에서 해수침출면의 위치 및 크기는 정류상태의 그것과는 매우 다르게 나타나, 정류상태를 가정한 유속 분포 및 침출수량 산정에는 보다 신중을 기해야 할 필요가 있음이 확인되었다.

5. 참고문헌

Huyakorn, P.S., and P.F. Andersen, J.W. Mercer, and H.O. White, Jr., Saltwater intrusion in aquifers: Development and Testing of a Three-Dimensional Finite Element Model, Water Resources Research, 23(2), 293-312, 1987.

6. 사 사

본 연구는 군산대학교 새만금환경연구센터의 연구비 지원으로 수행되었습니다.