

영광지역의 해수침투 시뮬레이션

허대기 · 김인기 · 박희원 · 이원석 · 이상규¹⁾

1. 서론

UN의 산하기구인 국제인구행동연구소(PAI)의 발표에 따르면 한국의 활용 가능한 수자원은 630억 m^3 으로서 이를 국민 1인당 활용 가능량으로 환산할 경우, 1955년 2,940 m^3 에서 1990년에는 1,452 m^3 으로 줄어들어 물 부족국가로 분류되고 있다. 앞으로 수자원 개발의 획기적인 확대가 어렵다고 볼 때 적절한 관리로 낭비를 막고 소비량을 줄이지 않는다면 우리나라는 물부족 국가에서 물기근 국가로 전락할 위기에 처해 있다.

수자원의 공급원으로 과거에는 주로 지표수를 이용하였으나 상대적으로 수질오염의 가능성이 낮고 소비량의 증가로 인하여 지하수의 이용이 급격히 증가하고 있으며 근래에는 전 세계적으로 전체 물 이용량의 1/3을 지하수가 차지하고 있다. 3면이 바다로 둘러 쌓여 있고 도서지방이 많은 우리나라의 경우 최근 해안지방으로의 인구증가와 산업시설의 집중화 현상으로 지하수 이용이 증가하는 바 해수침투의 우려가 높아지고 있다. 해수침투는 대부분의 해안지방에서 일어나는 자연재해로 토양의 염분화에 따른 농작물 수확감소, 지하수 염분화에 의한 생활, 공업, 농업용수의 부족 등을 야기한다.

19세기 말에 처음 해수침투의 현상이 알려진 후 1950~1960년대에 수많은 연구가 이루어져왔다. 그러나 분석도구의 미비로 매우 간단한 개념 모델을 사용하여 해석적으로 문제를 해결할 수밖에 없었다. 1970년대 컴퓨터의 출현으로 불균질성, 이방성등을 포함한 복잡한 대수층 구조에서의 해수침투 모델링도 가능하게 되었다. 해수침투 모델링에 있어서 가장 중요한 요소에는 대상 대수층의 유동체계, 담수와 해수의 밀도차, 수력학적 분산 등이 있다.

다른 지하수 오염과 마찬가지로 일단 해수침투가 내륙방향으로 일어나면 복구에 막대한 경비와 시일이 소요되어 가능한 한 해수침투가 일어나지 않도록 힘써야 한다. 해안지방이라고 해도 지하수의 무분별한 개발이 없다면 오랜 기간 유지되어 온 평형상태가 깨지지 않고 해수침투는 일어나지 않을 것이다. 해수침투가 일어날 가능성이 높은 지역에서는 담수를 주입하여 방지막을 형성하기도 한다.

2. 시뮬레이션

이 연구에서는 영광지역을 해수침투 시뮬레이션 대상지역으로 삼았다. 영광지역 중 해수침투의 가능성이 가장 높은 백수읍의 상사리, 하사리 지역과 염산면을 선정(Fig. 1)하였으며 면적은 가로 약 12km 세로 약 8km에 이르고 있다. 격자는 가로 40, 세로 30, 깊이 4개로 총격자 수는 4,800개이다. 경계조건은 해안 경계면은 염수에 의한 일정한 수두로 설정하였고 내륙경계면은 담수에 의한 일정 수두로 설정하였다. 한편 강수에 의한 함양율은 2000년도 백수읍 강수량 자료인 1,264 mm/yr를 사용하였다. 염수의 분포는 지역별 수질분석자료를 사용하였으며 초기분포도는 그림 1에 나와있다. 염수농도는 정규화시켜 해안경계면의 염수농도를 1로 내륙경계면의 염수농도는 0으로 설정하였다.

주요어: 해수침투, 시뮬레이션, 밀도차, 수리전도도, 3차원

1) 한국지질자원연구원

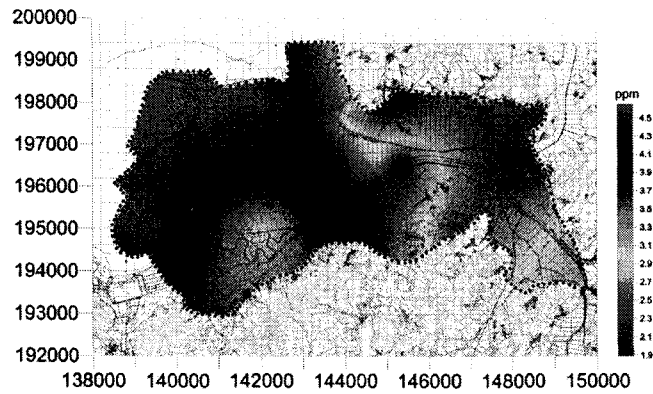


Fig. 1. Areal map of simulated region and initial salt concentration

대상지역에 대한 물리탐사 결과 지질구조를 3개의 층(Fig. 2)으로 구분하였다. 상부층은 mud층으로 수리전도도가 매우 낮으며 평균 두께는 약 6.5m이다. 중간층은 모래층으로 대부분의 지하수 유동은 이 모래층을 통하여 흐르며 평균 두께는 27.3m에 이르고 있다. 한편 약 150m 두께의 하부층은 암반층으로 수리전도도는 매우 낮으나 물리탐사에 의한 대규모 단층이 북서-남동방향으로 위치하고 있으며 소규모 단층이 북동-남서방향으로 위치하고 있어 이들에 의한 지하수 유동을 고려하였다.

이들 3개 대수층에 대한 두께는 물리탐사 자료와 검증자료를 종합하여 최종 결정하였으며 사용된 물성치는 Table 1에 나와 있다. 물의 밀도는 1 gm/cc, 해수의 밀도는 1.025 gm/cc를 사용하였다. 시뮬레이션 작업은 미국의 샌디아 연구소가 개발한 SWIFT for WIN을 사용하였다.

시뮬레이션 작업은 3개의 대수층과 최하부의 dummy 층을 포함 총 4개층에서 500, 1000, 3000, 4500일 이후의 염수 농도를 계산하였으며 양수정은 무시하였다.

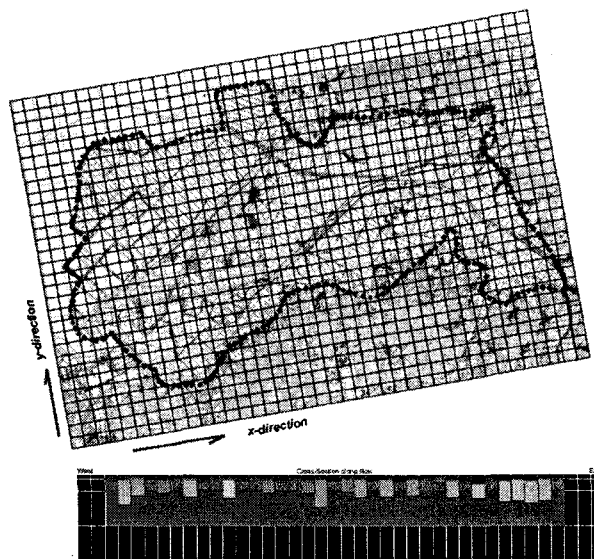


Fig. 2. Structure map of three layers of simulated area

Table 1. Properties of each layer

layer		Layer1	Layer2	Layer3
property				
Type		Clay(mud)	Sand	Granite
Initial Brine		Variable initial brine	Variable initial brine	Variable initial brine
Conductivity	Kx=Ky	1e-8m/s	2e-4m/s	4.356 e-6 m/s
	Kz	1e-8m/s	4e-4m/s	8.712 e-6 m/s
Avg. depth from sea level		6.552m (min:1.2, max:20.4)	27.3m (min:5.2, max:69.7)	150m
Bulk density		1,800kg/m ³	2,650kg/m ³	2,650 kg/m ³
Porosity		0.1	0.4	0.2
Compressibility		1.2e-19 m·d ² /kg	6.4e-20 m·d ² /kg	1.0e-10 m·d ² /kg
Dispersivity		$\alpha_L=1m, \alpha_T=0.1m$		
Molec. Diffu. Coeff.		8.6e-5 m ² /d	4.3e-4 m ² /d	4.3e-4 m ² /d

3. 결과분석

3개 층에 대한 4500일간의 지하수 유동에 대한 시뮬레이션 결과가 Fig. 3~5에 나와있다. 먼저 상부층인 mud층에서의 해수침투는 우려할 만한 사항이 아닌 것 같다. 초기 해수유입 지역이 시간이 지남에 따라 담수의 유입에 의해 희석되어 전체적으로 담수화가 일어나고 있다. 실제 현장에서 상부층에서는 해수침투가 전혀 일어나고 있지 않으며 이는 시뮬레이션 결과를 뒷받침 해 주고 있다.

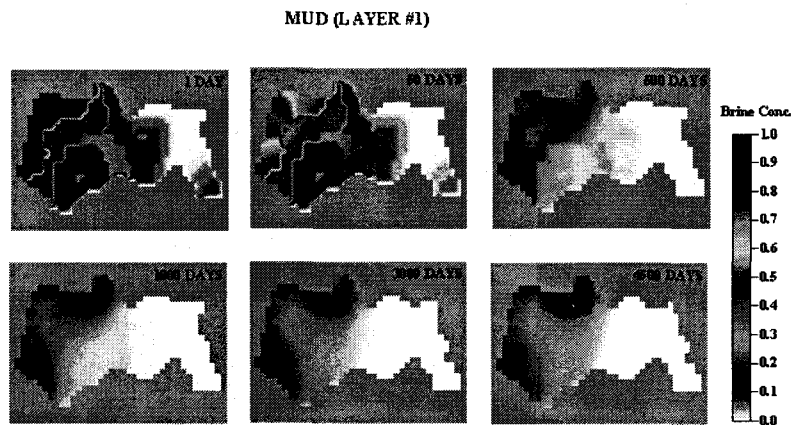


Fig. 3. Simulation result of upper layer

중간층인 모래층에 대한 전산모사 결과는 지질구조의 영향으로 x-y 축 방향으로 강하게 퍼져 나감을 알 수 있다. 이는 해안선을 따라 해수가 침투하는 양상과 강수와 내륙방향으로부터의 담수가 해안으로 유동하는 양상을 동시에 보여주고 있다. 약 3000일 이후에는 해수와 담수가 거의 평형상태에 도달한 것으로 보이며 해수침투가 더 이상 진전하지 못하고 있음을 알 수 있다.

SAND (LAYER #2)

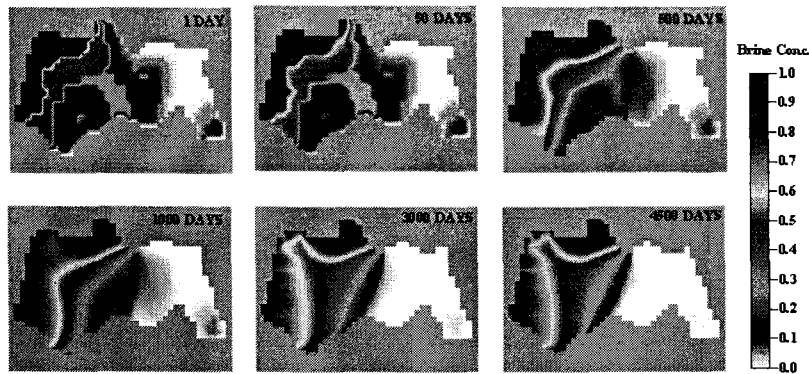


Fig. 4. Simulation result of middle layer

하부층인 암반층의 시뮬레이션 결과는 높은 수두와 단층의 영향으로 단층방향으로 해수가 빠르게 유입하여 중간층인 모래층처럼 직각으로 퍼져 나가는 것이 아니라 전반적으로 고르게 퍼져나감을 알 수 있다. 북서-남동방향의 대규모 단층의 수리전도도는 암반층 수리전도도의 5배, 북동-남서 방향의 소규모 단층의 수리전도도는 암반층의 2배로 설정하였다. 이러한 수리전도도의 차이와 담수와 해수의 밀도차에 의해 대부분의 담수는 중간층으로 흘러 중간층의 해수침투를 방지하는 역할을 하며 하부층에서는 담수의 유동은 상대적으로 적고 해수의 유동은 상대적으로 많아 해수침투의 피해가 가장 크게 나타나고 있다.

GRANITE (LAYER #3)

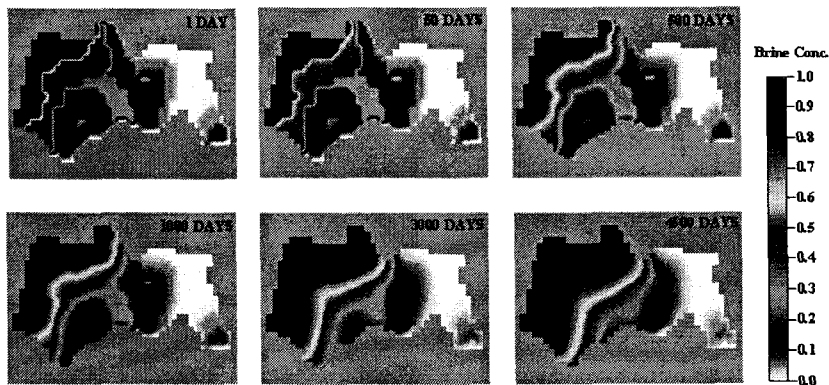


Fig. 5. Simulation result of lower layer

4. 결 론

1. 4500일 동안의 해수침투 시뮬레이션 결과 수리전도도의 분포와 해수와 담수의 밀도차에 의한 영향이 가장 두드러짐을 알 수 있었다.
2. 물리탐사와 물리검층을 통한 대수층의 구분으로 시뮬레이션의 정밀도를 높였다.
3. 수리전도도, 지하수면을 포함한 대수층의 물성치에 대한 정밀도를 높여야 한다. 특히 지구통계학적인 방법을 이용하여 각 층의 수리전도도에 대한 분포도를 작성 활용하는 것이 바람직하다.

5. 참고문헌

1. 해수침투 평가, 예측 및 방지기술 개발, Aug., 2000, 자연재해방재기술개발사업 최종보고서, 과학기술부
2. Ekkehard O.H.,1998, Modeling density-driven flow in porous media, Springer, pp.191-248.
3. Ma, T.S., Sophocleous, M.A., 1995, Numerical simulation of saltwater upconing at the Siefkes site, Stafford County, Kansas, Kansas Geological Survey, Open-file Report 95-40, pp.71.
4. Ma, T.S., Sophocleous, M.A., 1996, Dynamic simulation of saltwater intrusion at the Siefkes site, Stafford County, Kansas and decision support for saltwater vulnerability assessment, Kansas Geological Survey, Open-file Report 96-18, pp.118.
5. Reeves, M., Ward, D.S., Duda, L.E., 1984, Verification and field comparison of the Sandia Waste-Isolation Flow and Transport Model (SWIFT), SAND83-1154, Sandia National Laboratory, Albuquerque, NM.
6. Reeves, M., Ward, D.S., Johns, N.D., and Cranwell, R.M., 1986, Theory and Implementation for SWIFT II, the Sandia Waste-Isolation Flow and Transport Model for Fractured Media, SAND83-1159, Sandia National Laboratory, Albuquerque, NM. Pp.189.
7. Reeves, M., Ward, D.S., Johns, N.D., and Cranwell, R.M., 1986, Data input guide for SWIFT-II, the Sandia waste-isolation flow and transport model for fractured media, release 4.84, SAND83-0242, Sandia National Laboratory, Albuquerque, NM.
8. <http://www.earthwardconsulting.com/>
9. http://www.scisoftware.com/products/swift_details/swift_details.html
10. http://www-sflorida.er.usgs.gov/online_reports/wri964285/text.htm