

부산 용호만 해안대수층에서 해수/담수 경계면의 조석효과

The tidal effect of seawater/freshwater interface at the coastal aquifer of the Yongho Bay in Busan

김성수*, 강동환**, 김병우***, 김태영****, 정상용*****

Sung Soo Kim, Dong Hwan Kang, Byung Woo Kim, Tae Yeong Kim,
Sang Yong Chung

요 지

본 연구에서는 부산시 용호만 해안대수층에서 전기전도도와 지하수위의 수직적인 관측을 통해, 조석에 의한 해수/담수 경계면의 변동을 산정하였다. 연구지역은 부경대학교 대연캠퍼스 기숙사 신축부지 주변 해안대수층이며, 응회질퇴적암과 안산암 및 안산암질 화산각력암 등으로 구성되어 있다. 관측공의 개발심도는 120 m, 케이싱심도는 19 m, 내경은 0.2 m, 관측공과 해안선의 이격거리는 180 m 정도이다. 전기전도도에 의해 산정된 밀도는 담수에서 997.58 kg/m^3 , 해수에서 1020.36 kg/m^3 이었다. 관측기간(2008년 8월 21일~10월 18일) 동안 해수/담수 경계면의 변동 범위는 해수면 기준 $-21.69 \sim -21.53 \text{ m}$ 이었으며, 경계면의 평균 위치는 해수면 기준 -21.62 m 정도이었다. 해수/담수 경계면과 지하수위의 상관성은 매우 높게 나타났으며, 해안대수층 내 해수/담수 경계면의 변동은 조석의 일(고조, 저조) 및 보름(대조, 소조) 단위의 변동에 영향을 받고 있음이 확인되었다. 관측기간 동안 지하수위는 전반적으로 하강하는 경향을 나타내었으며, 이는 관측기간이 풍수기에서 갈수기로 전환되고 있었기 때문이다. 향후에는 지속적인 관측을 통해, 용호만 해안의 해수면 상승에 의한 내륙으로의 해수침투를 연구하고자 한다.

핵심용어 : 해안대수층, 지하수위, 해수/담수 경계면, 조석효과

1. 서론

해안 지역에 위치한 대수층에서는 강우에 의해서는 담수가 충전되고, 해수에 의해서는 염수가 내륙으로 침투되어 담수와 혼합된다. 해안대수층 내 담수와 해수는 강우, 조석 및 인위적인 양수 등에 의해 동적 비평형 상태를 형성한다. 해안대수층 내 담수의 염수화는 해수침투, 암염층(salt dome)의 존재, 조간대에서 염분의 증발, 관개지역으로부터의 염분 및 염분폐기물(saline waste)의 유입 등에 의해 발생한다. 이러한 담수의 염수화는 해안대수층의 담수자원을 고갈시키고, 심한 경우에는 지하수의 오염 및 상부 식생의 고사를 초래하기도 한다. 해안대수층 내 지하수는 지표수와 달리 한번 염수화가 진행된다면 이를 복원하는 것이 거의 불가능하기 때문에 그 보전대책이 시급한

* 비회원 · 부경대학교 환경지질학과 이학석사 · E-mail : kimss@pknu.ac.kr

** 정회원 · 부경대학교 환경지질학과 계약교수 · E-mail : dhkang@pknu.ac.kr

*** 비회원 · 한국수자원공사 K-water연구원 지하수연구팀 이학박사 · E-mail : bwkim@kwater.or.kr

**** 비회원 · 부경대학교 환경지질학과 이학석사 · E-mail : kimty@pknu.ac.kr

***** 정회원 · 부경대학교 환경지질학과 교수 · E-mail : chungsy@pknu.ac.kr

실정이다.

해수/담수 경계면의 동역학적인 연구로는 경계요소법(boundary element method)을 이용한 해수/담수 경계면 모델링이 Naji et al.(1997, 1999)에 의해 개발되었다. 국내에서는 심병완(2003)이 SUTRA 모델을 이용하여 부산 동남해안 지역의 해수/담수 경계면 및 해수침투 범위를 추정하였으며, Gemitzi and Tolikas(2007)는 HYDRA model을 적용하여 해수/담수 경계면 및 해수침투 모델링을 실시하였으며, Narayan et al.(2007)은 SUTRA model을 이용하여 지하수의 과잉 채수 및 지하수위의 변화에 따른 해수/담수 경계면 및 해수침투 범위의 변화를 예측하였다. 국내에서 해수/담수 경계면 산정 및 조석과 강수량에 따른 변동을 직접적인 관측을 통해 연구한 사례로는 Kim et al.(2007)이 유일하다.

본 연구에서는 부산 남동해안에 위치한 용호만에서 내륙으로 180 m 정도 이격된 위치에 개발된 지하수공에서 2008년 8월 21일부터 10월 18일까지 지하수위를 관측하여, 조위에 의한 영향성을 분석하고 대수층 내 해수/담수 경계면을 산정하였다.

2. 현장 관측

본 연구지역은 부산 동남 해안에 위치한 부산 용호만 해안대수층으로 해수의 침입을 받고 있다(Fig. 1). 대수층의 매질은 매립퇴적층, 풍화토층, 풍화각력층 및 기반암으로 형성되어 있으며, 기반암은 응회질퇴적암과 안산암 및 안산암질 화산각력암 등으로 구성되어 있다. 매립퇴적층은 전반적으로 6 m 이하이며, 풍화토층은 지표면하 10~30 m 까지 발달되어 있다. 풍화각력층의 발달 심도는 약 18~52 m에 이르며, 그 하부에는 기반암이 형성되어 있다. 연구에 이용된 지하수 관측공(MW공)은 부경대학교 대연캠퍼스 남측에 위치하고 있으며, 지하수 관측공의 제원은 Table 1에 정리되어 있다.

해수/담수 경계면을 산정하기 위해서는 해수와 담수의 밀도, 대수층의 지하수위 및 압력이 필요하다. 해수와 담수의 밀도 산출을 위해서는 TLC meter(Model 107, Solinst)를 이용하여 전기전도도를 측정하였다. 지하수공 내에 Levellogger(Model 3001 Gold, Solinst)를 설치하여 지하수위 및 압력변화를 관측하였으며, 지하수위 및 해수/담수 경계면의 변동을 분석하기 위해 강수량 자료를 획득하였다. 조석에 따른 지하수위 및 해수/담수 경계면의 변동을 분석하기 위해 국립해양조사원 부산조위관측소에서 실측조위자료를 획득하였다.

3. 해수/담수 경계면 변동특성

해수와 담수 경계면의 추정을 하기 위해서는 지하수위, 해수와 담수의 밀도 및 해수와 담수의 압력이 요구된다. 담수 및 해수 지역의 밀도 산출을 위해 TLC meter(Model 107, Solinst)를 이용하여 전기전도도 측정하였으며, 담수와 해수 지역에 Levellogger(Model 3001 Gold, Solinst)를 설치하여 지하수위 및 압력 변화를 관측하였다.

현장에서 측정된 전기전도도를 Stuyfznad(1989)의 식에 대입하여 총고용물질(Total Dissolved Solid)과 밀도를 산출하였다. 총고용물질은 담수에서 5.95×10^{-4} kg/kg, 해수에서 3.16×10^{-2} kg/kg으로 지하수 내 용존 물질의 함량이 50배 이상 차이가 나는 것으로 나타났다. 전기전도도는 25°C로 보정된 값이며, 담수에서 852 μ S/cm, 해수에서 45,300 μ S/cm로 나타났다. 밀도는 담수에서 997.58 kg/m³, 해수에서 1020.36 kg/m³으로 나타났다.

담수와 해수 지역에 설치된 자동수위측정기는 물기둥의 압력을 지하수위로 환산하여 기록하게

된다. 즉, 관측된 지하수위 통해 자동수위측정기가 설치된 심도에서의 압력을 환산할 수 있다. 담수와 해수 지역에 설치된 자동수위측정기를 통해 압력 변동을 2008년 8월 21일부터 10월 18일까지 관측하였다. 담수의 압력 분포는 약 156.6~160.3 kPa, 해수의 압력 분포는 약 358.5~361.8 kPa로 나타났다.

현장에서 관측된 지하수위, 압력 및 전기전도도와 산출된 밀도를 이용하여 해수/담수 경계면을 산정하였다. 본 연구기간 동안 해수/담수 경계면의 평균값은 해수면 기준 -21.61 m 정도로 산정되었다. 해수/담수 경계면의 변동은 해수면 기준 -21.66~-21.53 m의 범위로 나타났으며, 그 변동폭은 2.6 cm 정도이었다(Fig. 1). 해수/담수 경계면의 변동은 조석의 일(고조, 저조) 및 월(대조, 소조) 변동에 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 연구기간 동안의 해수/담수 경계면은 전반적으로 하강하는 경향을 나타내었으며, 이는 관측기간이 풍수기에서 갈수기로 전환되고 있고 해수면의 조위도 하강하는 시기이었기 때문이다.

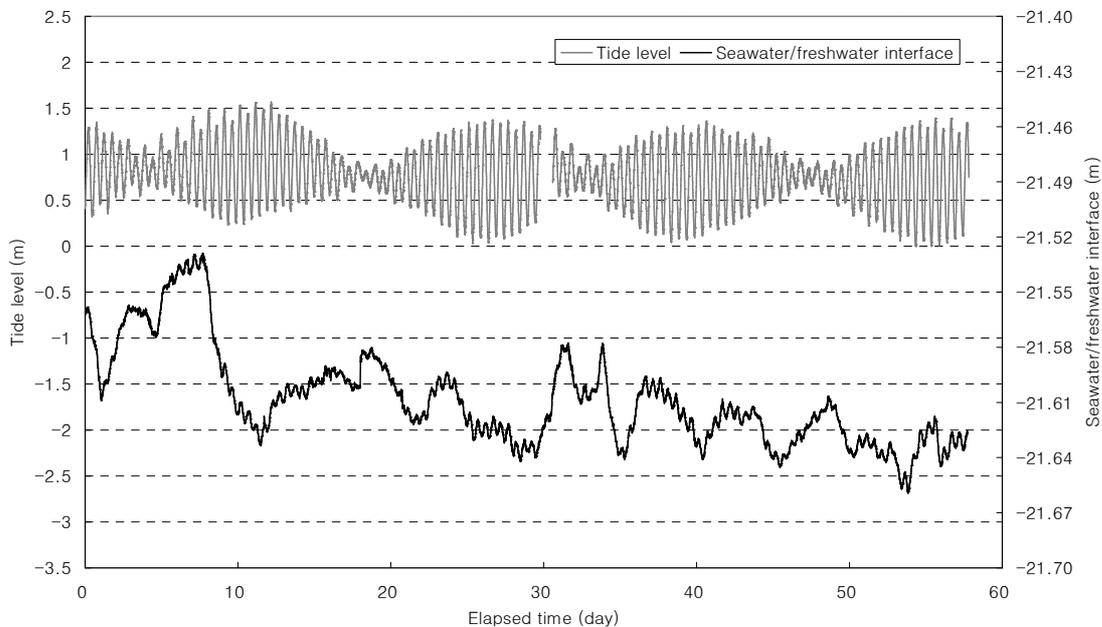


Fig. 1. The fluctuation of seawater/freshwater interface with the tide.

해수/담수 경계면과 지하수위 및 조위의 관계를 세부적으로 분석하기 위해, 상관성 분석을 수행하였다. 해수/담수 경계면과 지하수위의 상관계수는 0.983 이상으로서 매우 높게 나타났으며, 이는 지하수위가 해수/담수 경계면의 변동에 지배적인 요소임을 의미한다. 해수/담수 경계면과 조위의 상관계수는 0.181이었으며, 지하수위와 조위의 상관계수는 0.181 정도로서 상관성이 매우 낮게 나타났다. 연구지역의 지하수공은 해안가에서의 이격거리가 180 m로서 멀고, 이격 구간의 단열압반 대수층이 불균질하며 고조와 저조 현상이 대수층 내에서 중첩되어 지하수위와 조위의 상관성은 매우 낮게 나타난 것으로 판단된다.

해수면을 기준으로 한 해수/담수 경계면의 높이($IE_{sw/fw}$)와 지하수위(GWL)는 동일 시점에서 정의 선형관계를 나타내었으며, 추정된 선형함수는 $IE_{sw/fw} = 0.320 \times GWL + 21.656$ 및

$IE_{sw/fw} = 0.395 \times GWL2 + 21.780$ 이었다. 원자료와 추정된 선형함수의 결정계수는 각각 0.967과 1.000으로서 매우 높았다. 따라서 본 연구지역의 대수층은 지하수위의 변동에 의해 해수/담수 경계면의 내륙 확장이 지배되고 있으며, 본 연구에서는 명확하게 밝히지 못하였으나 지하수위의 변동은 조석에 의해 지배되고 있는 것은 확실하다.

4. 결론

본 연구에서는 부산 용호만 해안대수층에서 지하수위에 의한 해수/담수 전이대의 변동 특성을 연구하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 지하수위 관측기간(2008년 8월 21일에서 10월 18일) 동안 해수/담수 경계면의 평균 위치는 해수면 기준 -21.61 m 정도이었으며, 변동범위는 해수면 기준 -21.66~-21.53 m 이었다.
2. 해수/담수 경계면의 높이와 지하수위의 선형함수는 $IE_{sw/fw} = 0.320 \times GWL1 + 21.656$ 및 $IE_{sw/fw} = 0.395 \times GWL2 + 21.780$ 이었으며, 결정계수는 0.967과 1.000으로서 매우 높았다. 본 연구지역의 대수층은 지하수위의 변동에 의해 해수/담수 경계면의 내륙 확장이 지배되고 있었으며, 본 연구에서는 명확하게 밝히지 못하였으나 지하수위는 조석에 의해 변동하고 있다.
3. 본 연구지역의 해안대수층에서는 지하수위와 조위의 상관성이 낮게 나타났으며, 이는 지하수공이 해안선에서 108 m 정도 이격되었으며 또한 단열암반대수층에서 해수 침투와 후퇴의 중첩에 의한 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

1. 심병완, 2003, 부산 동남해안 지역의 수리동역학적 해수침투 특성 연구, 부경대학교, 123pp.
2. Gemitzi A., Tolikas D., 2007, HYDRA model: Simulation of salt intrusion in coastal aquifers using Visual Basic and GIS, Environmental Modelling & Software, 22, 924-936.
2. Kim, K. Y., Chon, C. M., Park, K. H., 2007, A Simple Method for Locating the Fresh Water-Salt Water Interface Using Pressure Data, Groundwater, 45(6), 723-738.
3. Naji, A., Cheng, A. H. D., Ouazar, D., 1999, BEM solution of stochastic seawater intrusion problems, Engineering Analysis with Boundary Elements, 23, 529-537.
4. Naji, A., Ouazar, D., Cheng, A. H. D., 1999, Locating the saltwater-freshwater interface using nonlinear programming and h -adaptive BEM, Engineering Analysis with Boundary Elements, 21, 253-259.
5. Narayan, K. A., Schleeberger, C., Bristow, K. L., 2007, Modelling seawater intrusion in the Burdekin Delta Irrigation Area, North Queensland, Australia, Agricultural Water Management, 89, 217-228.
6. Stuyfzand, P. J., 1989, An accurate relatively simple calculation of the saturation index of calcite for freshwater to salt water, Journal of Hydrology, 105(1-2), 95-107.