

해안 지역 농촌지하수 시스템분석 (화성시 매항리 일대)

김윤영, 이기철*, 정형재*, 박종철*
중앙대학교 산업경영연구소
농업기반공사 농어촌연구원 지하수연구실
yykim@cau.ac.kr

요 약 문

Many pumping station of Maehang-ri of Hwasung city are established for irrigation water supply, and brine permeation phenomenon is happening thereby. Proposed optimum pumping fluid amount conclusion model that use tidal efficiency and Ghyben-Hertzberg theory so that brine does not permeate in pumping station hereupon and applied this in study area.

주요어 : brine permeation phenomenon, tidal efficiency, Ghyben-Hertzberg

1. 개요

우리나라 농촌 지역에서는 식수와 관개 용수 공급을 위해 지하수를 많이 이용하고 있다. 과도한 지하수의 양수는 지하수면의 하강과 그로 인한 지하수 자원의 고갈, 지반 침하 등을 야기할 수 있으며 특별히 해안 지역의 경우 염수 침투를 유발할 수 있다. 해안 지역에 관한 염수 침투에 관한 연구는 많은 학자들에 의해 연구되어 왔다. Ghyben과 Hertzberg는 지하수와 염수의 경계면의 위치에 대해 간단한 모형을 제안하였으며 [Fetter, 1994], 그 후 여러 연구자들에 의해 실제적인 접근이 있었다 [e.g., Bear, 1972; Meisler et al., 1985; Essaid, 1990]. 국내에서도 과잉 양수로 인한 염수 침투가 보고되었으나 [한정상, 1998; 부성안과 정교철, 2000], 이를 방지하기 위한 구체적인 접근 방법은 제안되지 않았다.

이에 본 연구에서는 조석 효율과 Ghyben-Hertzberg 이론을 이용하여 염수 침투를 고려한 적정 양수량 추정 모형을 제안하고 이를 현장에 적용하였다.

2. 이론적 배경

Ghyben-Hertzberg 이론에 의하면 담수와 염수의 경계면은 다음과 같은 식으로부터 유추될 수 있다 [Fetter, 1994].

$$z = \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} h \quad (1)$$

단, z 는 해수면으로부터 담수와 염수의 경계면까지의 거리, h 는 해수면으로부터 지하수면까지의 높이, ρ_w 는 담수의 밀도, ρ_s 는 염수의 밀도이다. 이 관계를 통하여 염수가 우물의 스크린에 영향을 미치지 않는 최대 수위강하(maximum drawdown, s_{max})가 정해지면 Theis equation에 의해 최대 적정 양수량 (Q_{max})를 제안할 수 있다.

$$Q_{max} = \frac{4\pi T}{s_{max} W(u)} \quad (2)$$

단, T 는 투수량 계수, $W(u)$ 는 우물함수이다.

일반적으로 대수층의 특성을 나타내는 여러 수리상수들은 관심 영역의 크기에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 [Domenico and Schwartz, 1998], 이에 따라 적절한 최대 적정 양수량을 구하기 위해서는 양수정과 바다 사이에 있는 대수층을 대표할 수 있는 적절한 수리상수를 구하는 것이 중요하다. 이 같은 크기를 갖는 시스템의 수리상수는 다음과 같이 조석 효율 (Tidal Efficiency, TE)을 통해 추정할 수 있다. 조석 효율은 대수층의 저류 계수 (S)와 식 (3)과 같은 관계를 갖는다 [Batu, 1998].

$$TE = 1 - \frac{\gamma n \beta b}{S} \quad (3)$$

단, γ 는 물의 단위 중량, n 는 공극율, β 는 물의 비압축성, b 는 대수층의 두께이다. 또한 조석 변화의 진폭을 H_0 , 조석 주기를 t_0 라 한다면, 해변으로부터 x 거리 떨어진 곳의 조석 요동 (tidal fluctuation)의 진폭 H_x 와 time lag t_r 는 다음과 같이 주어진다 [Jacob, 1950].

$$H_x = H_0 \exp(-x \sqrt{\pi S / t_0 T}) \quad (4)$$

$$t_r = x \sqrt{t_0 S / 4 \pi T} \quad (5)$$

식 (3), (4), (5)으로부터 Theis equation을 풀기 위한 수리상수들을 추정할 수 있으며 이를 통해 염수침투를 고려한 최대 적정 양수량을 추정할 수 있다.

3. 적용 및 토의

제안된 염수 침투를 고려한 적정 양수량 제안 모형을 현장에 적용하여 보았다. 적용된 연구 지역은 경기도 화성시 우정면 매항리 일대로 그림 1은 연구 지역의 위치와 연구 지역 내에 설치된 관측정의 위치를 보여준다. 조석 현상으로 인한 매항리 앞 바다의 해수면 변화폭은 4.2~9 m의 비교적 큰 변화폭을 보여주며 이의 영향으로 지하수면도 변동한다 [그림 2]. 매항리 일대에는 관개 용수 공급을 위해 많은 농업용 양수정이 설치되어 있으며 양수에 의한 염수 침투로 식수를 외부로부터 공급받고 있다.

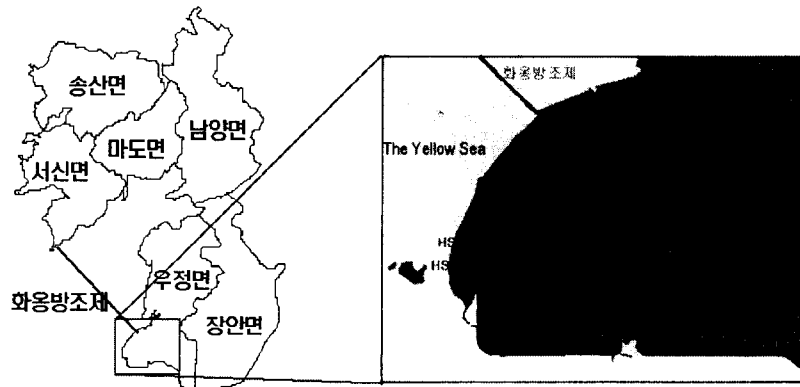


그림 1. 연구 지역의 위치와 관측정의 위치

그림 2는 2003년 1월 26일부터 2월 6일까지 약 2주일간 각 관측정에서 관찰한 지하수면의 변화 양상을 보여준다. 이를 이용하여 각 관정의 조석 효율을 구하고 식 (3), (4), (5)를 통해 바다와 각 관정 사이의 대수층의 수리 상수를 구하고 이에 따른 최대 적정 양수량을 구하였다 (표 1).

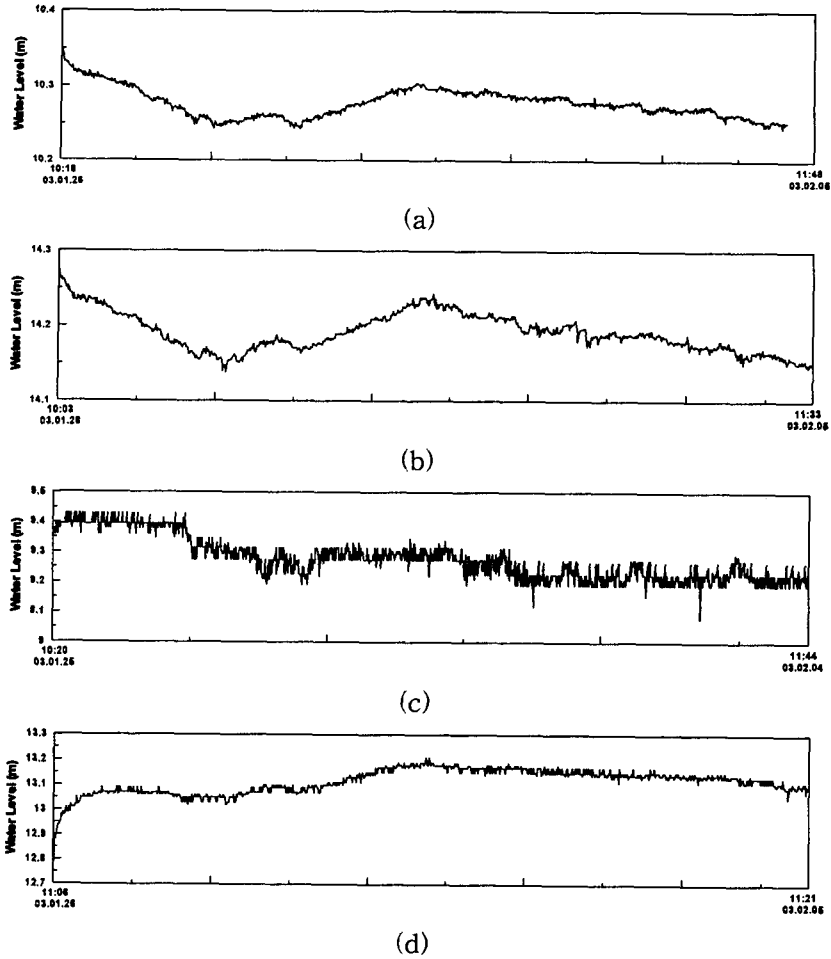


그림 2. 각 관정에서의 수위 변화; (a) HS-01; (b) HS-02; (c) HS-03; (d) HS-04

표 1. 각 관정의 조석 효율과 염수침투를 고려한 최대 적정 양수량

관정 이름	조석 효율	추정한 저류계수 (dimensionless)	추정한 투수량계수 (m/sec)	최대 수위 강하량 (cm)	최대 적정 양수량 (m ³ /d)
HS-01	4.245×10^{-3}	2.106×10^{-5}	8.003×10^{-6}	14.38	83.44
HS-02	7.547×10^{-3}	4.155×10^{-5}	2.023×10^{-5}	13.66	393.86
HS-03	1.425×10^{-2}	2.836×10^{-5}	9.450×10^{-6}	8.85	80.86
HS-04	2.736×10^{-2}	5.462×10^{-5}	1.393×10^{-5}	12.45	318.51

추정한 투수량 계수는 바다로부터 거리가 멀어질수록 증가하는 양상을 보여주며 이는 개펄의 영향으로 추정된다. 또한 제안된 적정 양수량은 바다로부터 거리가 멀수록 커지는 경향을 보여준다 (그림 3).

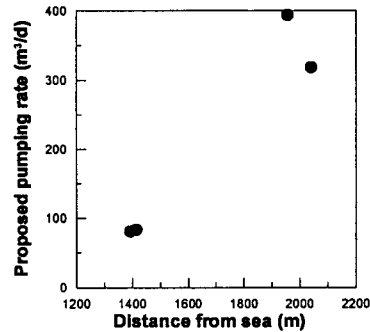


그림 3. 각 관정의 해변으로부터의 거리와 제안된 적정 양수량과의 관계

이상에서 화성시 우정면 매항리 일대에는 관개 용수 공급을 위해 많은 양수정들이 설치되어 있으며, 이로 인해 염수 침투 현상이 일어나고 있다. 이에 양수정 내에 염수가 침투하지 않도록 조석 효율과 Ghyben-Hertzberg 이론을 이용한 적정 양수량 추정 모형을 제안하였으며 이를 매항리 일대에 적용하였다.

4. 참고문헌

- 부성안, 정교철, 제주도 동부권역 담지하수 대수층에서의 염수 침입, *J. Engin. Geol.*, 10(2), 115-130, 2000.
- 한정상, 지하수 환경과 오염, 전영사, 1071 pp., 1998.
- Batu, V., *Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis*, pp.727, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1998.
- Bear, J., *Dynamics of Fluids in Porous Media*, American Elsevier, New York, NY, 1972.
- Domenico, P. A., and F. W. Schwartz, *Physical and Chemical Hydrogeology*, 2nd Ed., 506 pp., John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y., 1998.
- Essaid, H. I., A multilayered sharp interface model of coupled freshwater and saltwater flow in coastal systems: Model development and application, *Water Resour. Res.*, 26(7), 1431-1454, 1990.
- Fetter, C. W., *Applied Hydrogeology*, 3rd Ed., 691 pp., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1994.
- Jacob, C. E., *Flow of Groundwater*, In *Engineering Hydraulics*, ed. H. Rouse, 1039 pp., John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1950.
- Meisler, H., P. P. Leahy, and L. L. Knobel, Effect of eustatic sea-level changes on saltwater-freshwater relations in the Northern Atlantic Coastal Plain, *USGS Water-Supply Paper*, 2255, 1985.

5. 사사

본 연구는 2002년 농림기술개발연구과제인 농촌지역 청정지하수 수질감시/관리시스템 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 연구비를 지원해 주신 농림기술관리센터(ARPC)에 진심으로 감사드립니다.