

동남해안 지역의 피압단열 대수층에서 조석 분식법을 이용한 수리상수 추정

심병완, 정상용*, 성익환, 이병대, 조병욱

한국지질자원연구원 지하수지열연구부,

*부경대학교 환경지질학과

e-mail: boshim@kigam.re.kr

<요약문>

If ground water levels of a confined fractured rock aquifer fluctuate with sea tides, individual values of hydrogeologic parameters can be determined. Tidal efficiency and time lag are first calculated from the water level data recorded at an observation device situated inland from the sea. The tidal efficiency factor of the aquifer at the seacoast is then determined from the observation in monitoring wells and used to calculate storage coefficient. Tidal efficiency factor and the tidal time lag are utilized to calculate storage coefficient and the results are compared. This method is tested in the southeastern coastal area of Busan, Korea. This is a simple and inexpensive way to test confined aquifer but the analysis should be performed according to the coastal environment.

1. 서론

해안 지역에 위치하는 우물의 경우 일반적으로 조석의 영향을 받아 주기적인 지하수위 변동을 나타내며, 이러한 변동자료는 대수층의 수리특성을 추정하는데 많이 이용된다. 조석간만에 의한 해수면의 높이 변화는 해수 하부에 위치하는 피압대수층에 유효응력의 변화요인으로 작용하여 결과적으로 지하수 수두의 주기적인 변동을 일으킨다. 이때 조석에 의한 유효응력의 변화는 대수층을 구성하는 매질과 대수층을 채우고 있는 지하수에 분산되어 작용하므로 지하수위 변화는 조석의 변화보다 작게 일어난다¹⁾. 두 값 사이의 비는 대수층 조석효율(true tidal efficiency)로 정의되며, 유효응력의 이동에 의한 최고 및 최저 지하수위와 조석의 높이에 대한 시간차는 시간지연(time lag)로 정의된다. 조석의 영향을 받는 대수층의 지하수위 변동은 다음과 같은 1차원 부정류의 지하수 유동 방정식으로 표현된다.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

이 형태는 지하수가 수평적인 흐름이며 Darcy의 법칙을 따르는 것을 가정한다. Ferris²⁾는 이러한 가정들은 해안선이 직선이며, 조석범위에 비하여 대수층이 두꺼울 때 잘 일치되며, 위 식이 균질한 피압대수

층에서 압력이 사인곡선 형태로 다음과 같은 식에 의하여 대수층내에서 전달된다는 것을 보여주었다.

$$h = h_0 \exp(-x\sqrt{\pi S/t_0 T}) \sin(2\pi t/t_0 - x\sqrt{\pi S/t_0 T}) \quad (2)$$

h 는 평균해면에서의 지하수위, x 는 해안으로부터의 거리, t 는 시간(d); t_0 는 조석변동주기(d); h_0 는 조석의 진폭; T 는 대수층의 투수량계수(m²)와 S 는 저류계수이다. 이 해는 조석변화가 시간지연에 따라 사인곡선 형태를 나타내며, 해안으로부터의 거리에 따라 진폭이 지수적으로 감소한다는 것을 보여준다. 위 식에 나타난 바와 같이 조수위 변동과 관측공의 지하수위 변동 사이에는 시간지연(t)이 발생하며, 이를 이용하여 다음식과 같이 대수층의 투수계수와 비저류계수의 비 또는 투수량계수와 저류계수의 비를 산정할 수 있다.

$$\frac{K}{S_s} \text{ (or } \frac{T}{S}) = \frac{t_0}{4\pi} \frac{x^2}{t_l^2} \quad (3)$$

2. 본 론

본 연구지역은 부산 동남 해안에 위치한 부경대학교 일원으로서 직접적인 해수침입을 받고 있으며, 주변 지형과 수리분수령에 의하면 지하수의 유동방향은 동남쪽이다. 12개의 시추공에서 슬러그 시험에 의해 산출된 투수계수의 평균값을 적용하였으며, 이 시추공들 가운데 1개의 공에서만 극히 낮은 값을 나타내었으나 나머지 공들에서는 1 order 내외의 낮은 편차를 나타내었다. 투수계수 범위는 $5.93 \times 10^{-8} \sim 5.02 \times 10^{-6}$ m/s이지만, 수압시험에서 암반층의 투수계수는 $1.51 \times 10^{-7} \sim 3.86 \times 10^{-9}$ m/s의 낮은 투수성을 나타낸다. 지하수위 조사에 의한 전체적인 평균수리경사는 0.006 ~ 0.008이며, 슬러그 시험에 의한 저류계수는 0.000025이다. 풍화대는 지표하 19 m 정도까지 발달되어 있으며, 지표하 20 m 이하는 대부분 피압대수층으로 나타났다³⁾.

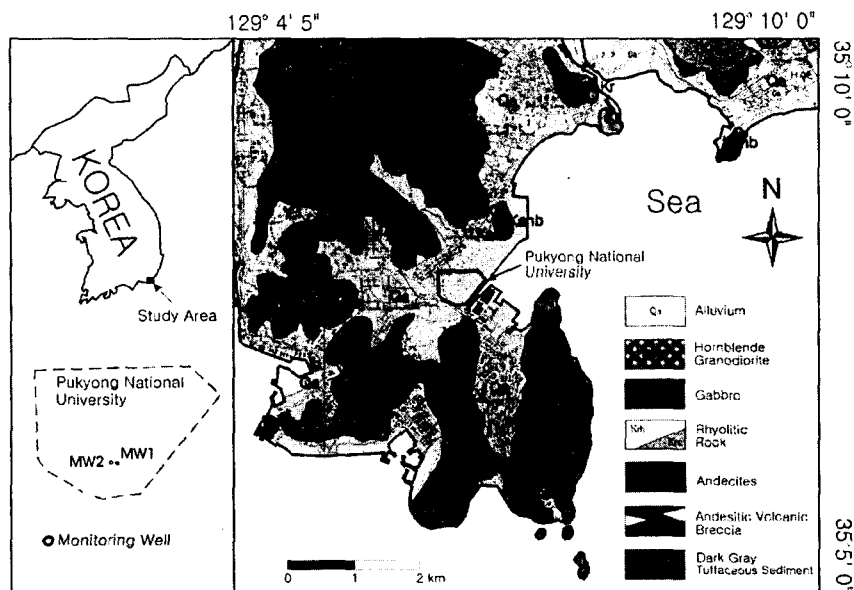


Fig. 1. Monitoring well location and geological map of study site.

본 연구에서는 해수면에 대한 대기압과 바람의 영향을 제외하고 조석의 영향을 파악하기 위하여 시간 단위로 지하수위의 변동을 측정하여 조석과의 상관성을 나타내었다. 지하수위는 2개의 관측공에서 시간 단위로 30회 측정하였으며, 관측공은 서로 약 8.1m 떨어져 있으며, MW1(120 m 심도)이 MW2(45 m 심도)보다 지하수위가 2 cm 낮게 형성되어 있다. 12월에 측정된 두 공에서의 수평 수리경사는 0.0025이며, 수직적인 수리경사는 0.00026으로 나타났다. 두 관측공에서 측정된 수직수리경사가 수평수리경사의 1/10 크기로서 수직적인 지하수의 유동은 본 대수층이 피압대수층이기 때문에 미미한 것으로 사료된다. 두 관측공의 거리는 해안으로부터 약 180 m 거리에 있으며, 조석자료는 국립조사원에서 부산항의 조석높이를 10분 간격으로 측정된 값을 이용하였다. 조석자료와 지하수위는 Fig. 2와 같이 나타나며, 두 형태가 근사적으로 사인곡선을 나타내고 있다. 하나의 곡선은 시간지연과 조석효율을 적용하면 다른 곡선과 일치하는 주기를 나타내므로 같게 나타낼 수 있다.

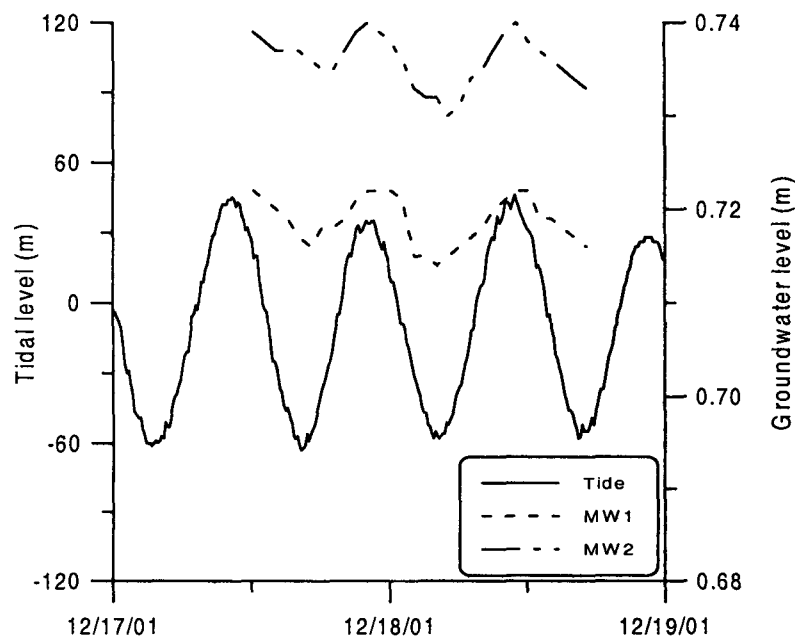


Fig. 2. Comparison of tidal level and groundwater table fluctuations.

MW1 모니터링 우물에서 측정된 지하수위와 전기전도도 및 강수량 자료는 시계열 자료(time series data)로서, 이들의 상관성을 시계열상에서 분석하기 위하여 교차상관 분석을 실시하였다. 교차상관함수를 이용하여 모니터링 우물의 개략적인 시간지연을 계산한 결과, 모니터링 우물 MW1에서는 약 60분, MW2에서는 약 50분에 최대교차상관계수를 나타내었다. MW1의 시간지연이 크게 나타나는 것은 MW2와의 심도차이에 의한 영향으로 추정된다. 이것은 공의 심도가 깊을수록 대수층내 유효응력은 상부보다 비교적 투수성이 낮은 대수층 하부를 통과하면서 시간지연이 크게 나타나는 것으로 판단되며 Erskine⁴⁾의 연구에서도 비슷한 현상을 나타내었다.

평균투수계수 $K = 0.164 \text{ m/day}$ 이며, 두 우물에서 계산된 저류계수는 Table 1과 같다. 연구지역에서 슬러그 시험에 의해 구한 저류계수가 0.000025로서⁵⁾ 조석효과 분석 방법에서 시간지연을 이용하여 계산된 저류계수와 유사하다. 그러나 조석효율에 의한 저류계수는 상부의 자유면대수층에 의한 영향을 받아 크게 나타나는 것으로 추정된다.

Table 1. Storage coefficients obtained from tidal efficiency and time lag

Well No.	well Depth (m)	Storage coefficient (Tidal efficiency)	Storage coefficient (Time lag)
MW1	120	0.0020	0.000020
MW2	45	0.0008	0.000006

3. 결론

교차상관함수를 이용하여 모니터링 우물의 개략적인 시간지연을 계산한 결과, 모니터링 우물 MW1에서는 약 60분, MW2에서는 약 50분에 최대교차상관계수를 나타내었다. MW1의 시간지연이 크게 나타나는 것은 MW2와의 심도차이에 의한 영향으로 추정된다. 이것은 공의 심도가 깊을수록 대수층내 유효응력은 상부보다 비교적 투수성이 낮은 대수층 하부를 통과하면서 시간지연이 크게 나타나는 것으로 판단된다. 적용된 평균투수계수 $K = 0.164 \text{ m/day}$ 이며, 시간지연을 이용하여 두 우물에서 계산된 저류계수는 0.000020과 0.000006으로서 연구지역에서 슬러그 시험에 의한 저류계수 0.000025와 유사한 값을 나타내었다. 그러나 조석효율법에 의한 저류계수가 2 order 정도 크게 나타나는 것은 상부의 자유면대수층에 의한 영향을 받아 조석에 의한 대수층내 유효응력이 제대로 전달되지 못하는 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

1. 한국수자원공사, 2000, 낙동강권역 광역 지하수조사 연구, 394 pp.
2. Ferris, J.G., 1951, Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility, International Assoc. of Scientific Hydrology. Publ. 33, pp. 48-155.
3. 부경대학교, 1997, 대연 전화국 연결 통신구 공사로 인한 부경대학교 시설물 피해영향조사 연구 (4/4).
4. Erskine, A.D., 1991, The effect of tidal fluctuation on a coastal aquifer in the UK, Ground Water, 29, pp. 556-562.
5. Cho, B.W., 2001, Hydrogeological Characteristics of the Groundwater Resources in the Busan Area, Korea, Ph.D. dissertation, Kyungpook National Univ., 208 pp.