

광릉 소유역에서의 지하수 비유출률과 속도 결정을 위한
대수층 수리전도도 측정

최인혁^{1*}, 김수진², 우남철¹, 김준^{2,3}

¹연세대학교 지구시스템과학과, ²연세대학교 지구환경연구소, ³연세대학교 대기과학과

Measuring hydraulic conductivity of aquifer to determine the specific discharge and
velocity of groundwater in the Gwangneung catchment

In-Hyuk Choi^{1*}, Su-Jin Kim², Nam-Chil Woo¹, and Joon Kim^{2,3}

¹Department of Earth System Sciences, Yonsei University

²Global Environment Laboratory, Yonsei University

³Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University

(Correspondence: norkorea@hanmail.net)

1. 서언

지하수는 물 순환, 물질 순환에 있어서 중요한 요소 중 하나이다. 그런데 지하수는 대기나 지표수와 비교할 때 그 플럭스의 변화 양상이나 흐름 속도가 현저한 차이를 보인다. 만약 지하수의 비유출률과 속도에 대한 고려 없이 과도하게 수자원을 개발하면 물 순환은 그 시스템이 깨지게 된다. 따라서 물 순환, 용존된 물질 순환을 연구할 때에는 지하수의 유출률과 속도가 평가되어야 한다. 본 연구에서는 광릉 소유역 지하수의 유출률과 속도를 결정함에 있어 기본 인자인 수리전도도를 탐사하고 평가한 내용을 소개하였다.

2. 이론

1856년, 정수장 모래필터의 성능개선에 관심을 갖고 실험을 하던(Fig. 1) 프랑스의 공학자 Darcy는 어떤 매질을 통해 흘러가는 유량(Q, flow rate)이 양끝단의 수두차(Δh , h_1-h_2)와 단면적(A)에 비례하고 유동길이(Δl)에 반비례한다는 사실을 발견하고, Darcy's Law로 불리는 다음과 같은 수식을 얻었다.

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{(h_1 - h_2)}{\Delta l} \quad (1)$$

여기서 K는 수리전도도(hydraulic conductivity)라고 하는 비례상수로서 유체가 매질을 통과할 수 있는 정도를 나타내며, 매질 입자의 직경, 형상, 공극과 유체의 비중, 동점성도에 의해 값이 결정된다. 단위는 [L/T]로서 속도의 차원을 갖는다. 모래나 자갈층은 점토나 세일층에 비해 물이 더 잘 통과하며 상대적으로 더 큰 수리전도도 값을 갖는다. $(h_1-h_2)/\Delta l$ 은 수리경사도(hydraulic gradient)로서 i 로 표시한다. (-)부호는 수두가 감소하는 방향으로 유동이 일어남을 지시한다.

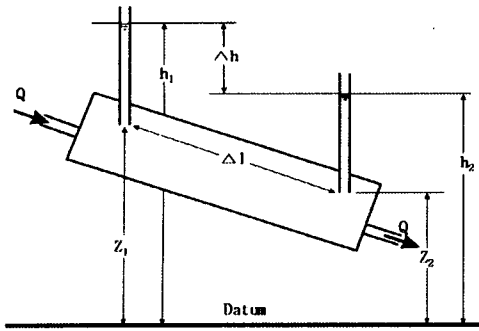


Fig. 1. Experimental apparatus to demonstrate Darcy's law(from Schwartz and Zhang, 2003. *Fundamentals of Ground Water*).

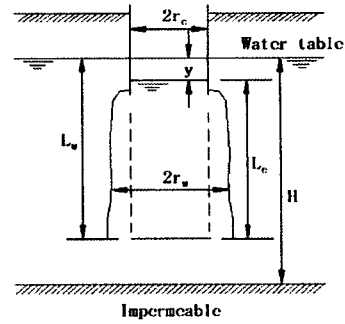


Fig. 2. Basic geometry for the Bower and Rice test(from Schwartz and Zhang, 2003. *Fundamentals of Ground Water*).

(1)식에서 Q 를 단면적으로 나누면 비유출률(q , specific discharge)이 되는데 이는 Darcy flux로도 불리며, 단위 시간당 단위 면적을 통과하는 유량으로 정의된다. 이를 구하기 위해서는 수리전도도와 수리경사를 알아야 한다. (1)식을 정리하면 다음과 같다.

$$q = -K \cdot i \quad (2)$$

수리전도도를 구하는 방법에는 복수관정에서의 양수시험(pumping test)과 단일관정에서의 순간수위변화시험(slug test and bail-down test)이 있는데, 양수시험은 관정설치와 시험 소요시간 측면에서 비용이 많이 든다. 본 연구에서는 순간수위변화시험을 적용하였는데 이는 단일 관정에 slug(1.5m 혹은 그 이상 길이의 금속성 실린더)를 주입하여 수위를 순간적으로 상승시키거나, 양수를 통해 수위를 순간적으로 감소시킨 뒤, 시간에 따라 수위가 정상상태로 회복되는 양상을 관측하여 획득한 자료를 현장에 맞는 적절한 해석법을 적용하여 수리전도도를 구하는 방법이다. 해석법에는 여러 가지가 있는데 본 연구에서는 Bouwer and Rice(1976)의 방법을 적용하였다(Fig 2). 이 방법은 관정이 대수층을 완전관통하거나 부분관통한 자유면 대수층에서 bail-down test를 하였을 때 적용하도록 개발되었고 식은 다음과 같다.

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e/r_w)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln \frac{s_0}{s} \quad (2)$$

여기서, r_c 는 관정 케이싱의 반경[L], R_e 는 영향반경[L], r_w 는 관정의 반경[L], L_e 는 스크린의 길이[L], t 는 $s=s_0$ 이후의 시간, s_0 는 $t=0$ 에서의 수위강하[L], s 는 t 에서의 수위강하[L]이다(Schwartz and Zhang, 2003).

3. 연구지역

본 연구지역은 경기도 포천시 소흘면 직동리 소재 광릉시험림 내의 원두부 소유역(headwater catchment)으로서 37°44'N, 127°09'E에 위치하고 있으며, 면적은 약 22ha, 고도는 280~470m, 임상은 활엽수이다. 광릉 소유역은 봉선사 유역(약 10 km²)의 일부분으로서 퇴계원 수위표 유역(약 201km²)과 한강 서울 유역(약 1,537km²)에 속하고, 최종적으로 약

26,000km²의 면적을 갖는 한강 대유역의 한 부분을 이룬다. 전형적인 산악지형으로서 10~20° 경사를 갖는 사면이 전지역의 80%를 차지하고, 지질 매체는 얇은 토층(soil layer)과 풍화대(weathered zone) 및 암반으로 구성되어 있다. 기반암은 경기편마암복합체로서 편암(schist)과 편마암(gneiss)으로 구성되어 있고, 토양은 사질양토이다.

4. 재료 및 연구방법

연구지역내 설치한 천부 지하수공 7곳(Table 1)에서 2005년 5월 13, 18, 20일에 bail-down test를 실시하였다. 관정의 깊이는 43.2~110.7cm로서 기반암 최상부면까지 완전 관통하였고, 직경은 6cm, 스크린의 길이는 20cm이다. 양수 후 수위회복자료는 네덜란드 Eijkelkamp사의 CTD-Diver DI261을 사용하여 획득하였고, 자료처리는 미국 HydroSOLVE사의 AQTESOLV for WINDOWS V.3.01-PROFESSIONAL(2000)을 사용하였으며, Bouwer and Rice의 방법을 해석법으로 채택하였다.

5. 결과 및 고찰

7개의 지하수공에서 순간수위변화시험을 통해 획득한 수위변위자료와 AQTESOLV를 통해 그린 best-fit line, 이를 통해 계산된 수리전도도는 그림 3, 표 2와 같다.

R1 지역의 수리전도도는 R1-G2공이 $6.84 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ (0.059m/d)로서 가장 작은 값을 보였고, R1-G1공이 $6.86 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ (5.837 m/d)로서 가장 큰 값을 보였다. 이들 공은 현장 시험 당시에도 수위회복시간의 현저한 차이를 보였었다. 투수성이 가장 좋지 않은 R1-G2공 주변 매질은 실트질이 우세한 것으로 사료된다. 반면, 투수성이 가장 좋은 것으로 계산된 R1-G6공은 사면 바로 아래에 설치되었기 때문에 수위회복이 더욱 빠른 것으로 추정된다. R1 지역의 평균 수리전도도는 $1.38 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ (1.186m/d)이다. SP1-G1의 수리전도도는 1.14×10^{-3} (0.981m/d)로 계산되었다. $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$ 범위의 수리전도도를 보이는 미고결 다공질 매체는 통상 실트에서 모래의 범위를 보인다(Fetter, 2003).

이상은 비유출률을 구하기 위한 예비적 연구로서 수리전도도를 측정된 결과이다. 앞으로의 연구는 관정의 수위자료를 통해 수리경사를 구하고, 본 연구에서 계산된 수리전도도를 곱하여 비유출률의 시간에 따른 변화를 나타내며, 아울러 추적자 시험을 통해 지하수 유속을 측정하여 물 순환, 물질 순환 연구에 있어 지하수의 이동양상을 보다 정밀하게 파악해야 할 것이다.

Table 1. Well depth and saturated thickness.

Well no.	Well depth(cm)	Saturated thickness(cm)
R1-G1	65.2	41.7
R1-G2	43.2	14.1
R1-G3	49.2	25.2
R1-G4	54.7	26.9
R1-G5	81.7	64.7
R1-G6	54.7	24.7
SP1-G1	110.7	48.7

Table 2. Calculated hydraulic conductivity.

Well no.	K	
	(cm/s)	(m/d)
R1-G1	6.86×10^{-3}	5.837
R1-G2	6.84×10^{-5}	0.059
R1-G3	1.59×10^{-3}	1.374
R1-G4	8.20×10^{-3}	0.709
R1-G5	1.23×10^{-3}	1.058
R1-G6	9.10×10^{-3}	7.845
SP1-G1	1.14×10^{-3}	0.981

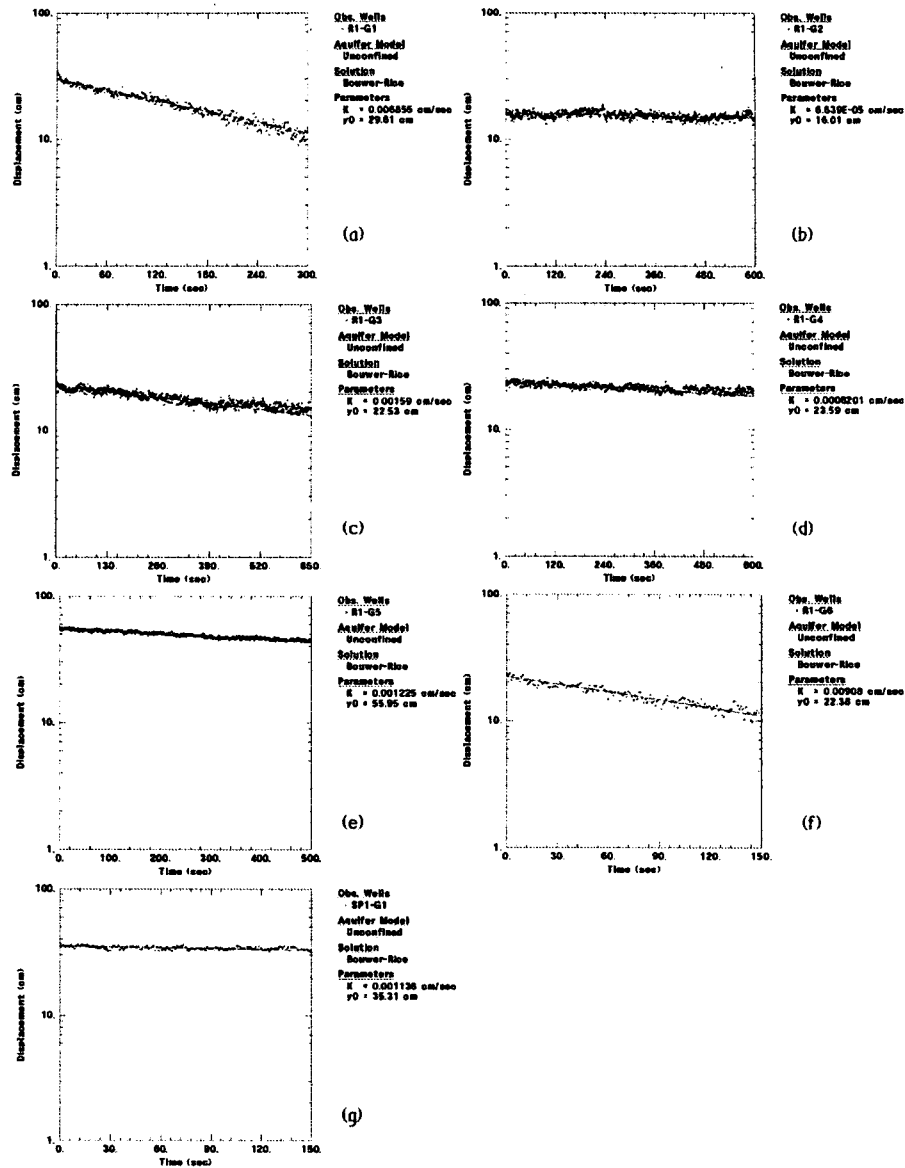


Fig. 3. Estimation of hydraulic conductivity using AQTESOLV program.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 1-8-2)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인용문헌

Fetter, C. W., 1994: *Applied Hydrogeology*, Prentice-Hall, New Jersey, pp376.

Schwartz, F. W., and H. Zhang, 2003: *Fundamentals of Ground Water*, John Wiley & Sons, New York, pp583.