울산대학교 공학연구논문집 제31권 1호 pp. 365~379, 울산대학교.
Journal of Engineering Research Vol. 31, No. 1, pp. 365~379, 2000
University of Ulsan.

피압대수층의 비정상흐름을 해석하는 방법에 대한 비교

양희출 · 김성득
토목환경공학부

<요 약>

지하수 흐름은 물리적인 모형과 수학적인 모형을 통해 해석할 수 있는데 광역규모의 지하수 거동과 같이 복잡한 경계조건과 불균일한 내부조건을 가지고 있는 해석대상은 물리적인 모형으로 근사화 하기 어려우므로 수학적인 모형을 사용해야 한다. 지하수 흐름의 수학적인 해석방법은 이론해법, 도해법 및 수치해석 등이 있으며 최근에는 컴퓨터의 발전에 따라 수치해석의 이용이 일반화 되어지고 있다. 수치해석은 기본방정식을 전산코드화하여 근사적으로 풀이하는 방법이며 기본방정식에는 각종의 계수가 포함되어져 있다. 비정상 지하수 흐름의 기본방정식에는 투수량계수와 저류계수가 포함되어져 있으며 이들 계수는 관측정에서 측정한 수위강하 자료와 Theis식을 이용하여 구할 수 있다. Theis해석은 도해적인 방법으로 다소 주관적이므로 많은 연구자들에 의해 자동화 시스템을 구축하는 방향으로 보완되어져 왔으며 현재는 계산자의 주관이 개입될 소지가 많이 제거 되어져 가고 있다. 그러나 이렇게 해서 구한 값들일지라도 기본방정식에 입력되어 지하수 흐름을 해석하고 있는 실정이므로 Theis식으로 구한 투수량계수와 저류계수를 기본방정식에 입력한 후 계산한 결과와 이러한 계수를 결정하기 위한 수위강하자료가 다른값일 경우에 Theis식은 의미가 없어진다. 지금까지 Theis식의 해석에 대한 연구는 계산자의 주관이 개입될 소지를 제거하는 방향으로만 진행되어져 왔으나 본연구를 통해 기본방정식과의 관계를 비교하여 Theis식을 이용할 수 있는 범위를 제시한다.

A STUDY ON ANALYSIS OF UNSTEAD STATE FLOW IN NONLEAKY CONFINED AQUIFER

Hee-Chul Yang · Seong-deuk Kim
Dept. of Civil and Environment Eng.

이 논문은 1999학년도 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

<Abstract>

The flow of the groundwater is analyzed with a physical model and a mathematical model. The place like the flow of the groundwater with complicated boundry condition and unequalized inner condition is not easy to analyze with a physical model. So we must use the mathematical model. There are theory analysis, drawing analysis, and numerical analysis in the mathematical analysis of the flow of the groundwater. Nowadays the numerical analysis is generalized due to the development of computers. The numerical analysis is the method which approxiate basic equations by computerizing and the basic equation includs several kinds of coefficients. The basic equations of unsteady state flow include transmissivity, storativity. These are obtained with the drawdown date measured at the observation well and Theis'equation. Theis analysis is a kind of drawing method which is subjective, so many researchers improve to build automatic system and now the counter's subject is being excluded much. But because these values are input to the basic equation. When we input the transmissivity and storativity with theis'equation to the basic equation get the values and the drawdown data different, Theis'equation is useless. Until now the research of the Theis'equation has being progressed by excluding the counter'subject. Through this paper compared the basic equation with Theis'equation, suggested the range of using the Theis'equation.

1. 서 론

지하수 흐름의 계산에 의한 해석방법은 이론해법, 도해법 및 수치해법 등이 있는데 최근에는 컴퓨터의 발전에 따라 수치해법의 이용이 일반화되어지고 있다. 그러나 계산을 수행하기 위한 매개변수는 여전히 도해적인 방법으로 추정되어지고 있다. 따라서 해석의 일관성을 이루기 위해서는 두 방법의 비교 검토가 필요하다. 피압대수층의 매개변수는 투수량계수와 저류계수이고 이들 계수는 Theis의 도해적 방법으로 추정 되어져 왔고 지금까지 많은 연구를 통해 결정방법이 보완되어 지고 있다. 수치모형은 크게 유한차분 모형과 유한요소 모형이 있는데 비정상 문제는 유한차분 모형으로 나타낼수 있다. 피압대수층의 비정상 흐름에 대한 수치모형에 매개변수를 입력한 후 수두강하량을 계산하고 역으로 계산치를 이용하여 도해적 방법으로 매개변수를 결정해 봄으로서 두방법에 대한 비교 검토를 수행한다.

2. 비정상 흐름방정식의 수치계산

Poisson방정식은 2차원 비정상 흐름 상태에서 식(1)과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t} - \frac{R(x,y,t)}{T} \quad -(1)$$

여기서, h = 수두, t = 시간, S = 저류계수[1]

T = 투수량계수(Kb), K = 투수계수, b = 대수층두께

$R(x,y,t) = \frac{Q}{\Delta x \Delta y}$ (단위 대수층 면적당 단위 시간당 증가하는 물의 부피)

도함수의 근사화를 향상시키기 위해 가중치 α를 사용할 경우 시간단계(n+1)을 α에 의해서 가중한다면 시간단계(n)은 $(1-\alpha)$에 의해서 가중된다.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial^2 x} \simeq \alpha \frac{h_{i+1,j}^{n+1} - 2h_{i,j}^{n+1} + h_{i-1,j}^{n+1}}{(\Delta x)^2} + (1-\alpha)\frac{h_{i+1,j}^{n} - 2h_{i,j}^{n} + h_{i-1,j}^{n}}{(\Delta x)^2} \quad -(2)$$

α=1이면 시간수준(n+1)에서 근사화하는 것이고 이러한 유한차분 기법을 완전 음해법이라 하며 다음 단계의 시간에서 공간 도함수 값이 최적의 근사값이라는 것을 의미한다. α=0인 경우 양해법이라 하고 전 단계의 시간에서 공간 도함수 값이 최적의 근사값이라는 것을 의미한다. 만일 α=1/2을 선택한다면 최적 값은 시간수준(n)과 (n+1)사이의 중간에 놓일 것이다. α=1/2을 선택한 유한차분 근사화를 Crank-Nicolson 방법이라 부른다. 절점(i,j)에 대한 주위의 4절점을 평균수두로 표시하면 식(3)과 같다.

$$\bar{h}_{i,j}^{n} = \frac{h_{i-1,j}^{n} + h_{i+1,j}^{n} + h_{i,j-1}^{n} + h_{i,j+1}^{n}}{4} \quad -(3)$$

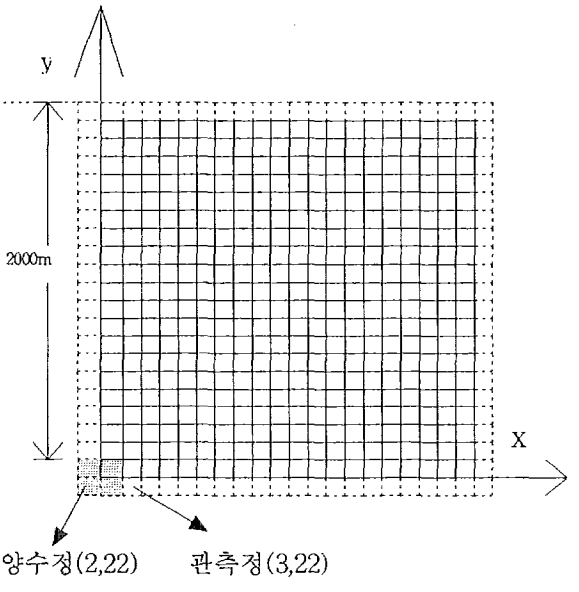
식(2), (3)을 이용하여 비정상 흐름 방정식(1)을 다음과 같이 근사화 시킬수 있다.

$$\alpha(\bar{h}_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^{n+1}) + (1-\alpha)(\bar{h}_{i,j}^{n} - h_{i,j}^{n}) = \frac{a^2 S}{4T}\frac{h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^{n}}{\Delta t} - \frac{a^2 R_{i,j}^{n}}{4T} \quad -(4)$$

$h_{i,j}^{n+1}$을 구하기 위해 *Gauss-Seidel* 반복법을 이용하면 다음 식(5)를 얻는다.

$$h_{i,j}^{n+1} = \frac{1}{[(a^2 S/4T\Delta t) + \alpha]}\left[\alpha \bar{h}_{i,j}^{n+1} + \frac{a^2 S}{4T\Delta t} h_{i,j}^{n} + (1-\alpha)(\bar{h}_{i,j}^{n} - h_{i,j}^{n}) + \frac{a^2 R_{i,j}^{n}}{4T}\right] -$$

식(5)를 Fig.1과 같은 대수층의 1/4만을(왼쪽과 아래쪽의 경계는 흐름이 없는 대칭인 경계) 고려한 피압대수층의 비정상 흐름에 적용하였으며 오른쪽과 위쪽의 경계는 흐름이 없고 우물로 부터 2000m에 위치하고 있다. 그리고 양수정으로부터 100m 거리의 관측정에서 식(6) 조건에 따라 수두강하량을 계산 하였다.



$\Delta x = \Delta y = 100\,m$

$Q = 2000 m^3/day$

양수정 : (2,22)

관측정 : (3,22) -(6)

Fig.1 Gauss-Seidel 반복법을 이용한 피압대수층의 수두강하량 계산모형

Fig.1의 모형은 고정시키고 매개변수만을 변화시켜 가면서 그에 따른 수두강하량을 계산하였는데 매개변수 $T=30m^2/day$, $S=0.0005$일 때 경과시간에 따른 관측정에서의 수두강하량 계산값은 Table1과 같다.

Table.1 $T=30m^2/day$, $S=0.0005$일 때 수치해석과 Theis식에 의한 관측정에서 수두강하량 계산값

t(days)	0.01	0.02	0.05	0.08	0.13	0.21	0.32	0.49	0.75	1.13	1.71	2.57	3.87	5.82	8.74	13.12	18.12
Δt(days)	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.11	0.17	0.26	0.38	0.58	0.86	1.30	1.95	2.92	4.38	5.00
α = 0	0.00	0.36	2.96	4.97	7.05	9.22	11.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
α =1/2	0.1	0.5	1.36	2.75	4.55	6.57	8.68	10.81	12.95	15.1	17.24	19.39	21.54	23.68	25.82	27.98	29.76
α = 1	0.16	0.59	1.41	2.64	4.26	6.14	8.17	10.27	12.4	14.54	16.68	18.82	20.97	23.1	25.24	27.42	29.29
Theis식	0.02	0.23	1.55	2.84	4.54	6.53	8.43	10.46	12.57	14.64	16.77	18.91	21.03	23.19	25.33	27.48	29.19

3. 피압대수층의 비정상 흐름하에서 매개변수 결정방법

Theis는 지하수흐름과 열전달과의 상사성을 이용하여 식(7)과 같은 비평형방정식을 유도하였다.

$$s = H-h = \frac{Q}{4\pi T}\int_u^\infty \frac{e^u}{u}du = \frac{Q}{4\pi T}W(u) \quad -(7)$$

여기서, $u = \frac{r^2S}{4Tt}$, t=시간, s=수위강하, r=관측정까지 거리, Q=양수량

$W(u)$는 우물함수이고 *Taylor* 급수로 나타내면 다음과 같다.

$$W(u)=\int_u^{\infty}\frac{e^u}{u}du=-0.57216-\ln u+u-\frac{u^2}{2\cdot 2!}+\frac{u^3}{3\cdot 3!}-\frac{u^4}{4\cdot 4!}+\cdots$$

Theis는 양수시험 중 관측정에서 측정한 시간별 수위강하 자료와 우물함수를 이용하여 매개변수인 투수량계수와 저류계수를 도해적방법으로 결정하는 일치법을 제안하였다. 시험정의 구경이 매우적고(r→0) 시험을 장시간 실시(t→∞)하면 u값이 매우 적어지므로 우물함수W(u)가 처음 두항 이외에는 무시될 수 있음을 고려하여 Jacob는 식(8)과 같은 근사식을 제안하였다.

$$s=\frac{Q}{4\pi T}(-0.5772-\ln u)$$

$$=\frac{Q}{4\pi T}(\ln 0.562-\ln\frac{r^2S}{4Tt})=\frac{2.3Q}{4\pi T}\log\frac{2.25Tt}{r^2S} \qquad -(8)$$

매개변수를 추정하기 위한 Theis의 도해적 방법은 다소 주관적이므로 그 결정방법은 많은 연구자들에 의해 자동화 시스템을 구축하는 방향으로 보완 되어져 왔다. 본 연구에서는 수치모형의 수두강하량 계산값을 이용하여 역으로 매개변수를 결정하는데 AQTESOLV 전산 프로그램을 이용하였다. Table1의 계산값에 대한 매개변수 결정값은 α=0일 때 T=24.73㎡/day, S=4.862E-4이고 α=1/2일 때 T=29.33㎡/day, S=4.887E-4이고 α=1일 때 T=29.58㎡/day, S=5.307E-4로 나타났으며 양해법을(α=0) 제외하고는 안정적인 해를 얻을 수 있었다. 시간간격(Δt)이 증가함에 따라 양해법의 해는 불안정한 경향을 나타냈으며 이 때는 시간간격(Δt)을 식(9)와 같이 잡아주어야 수치적인 안정성을 확보할 수 있었다.

1차원일 경우 $\frac{T\Delta t}{s(\Delta x)^2}\leq 0.5$(Remson 1971)

2차원일 경우 $\frac{T\Delta t}{s(\Delta x)^2}\leq 0.25$(Ruston과 Redshaw 1979) -(9)

한편 Theis식에 의한 수두강하량을 AQTESOLV에 대입한 후 매개변수를 구하면 T=29.99㎡/day, S=4.998E-4인데 입력치와 거의 일치하므로 프로그램의 정확성을 확인할수 있다.

4. 비교분석

저류계수의 입력값은 0.1~0.00005의 범위로 하였고 투수량계수(㎡/day)는 1~50000의 범위로 입력하였다.

수치계산을 수행하기 위한 투수량계수와 저류계수의 입력값과 수치계산 결과치인 수두강하량 자료를 이용한 투수량계수와 저류계수의 계산값이 잘 일치하는 범위는 투수량계수가 $10\leq T(㎡/day)\leq 1000$ 일 때이고 저류계수가 $0.01\leq S\leq 0.0005$ 일 때이며 이들 사이의 관계는 Table.2 ~ Table.6과 같다.

Table.2 입력값(T=10㎡/day, S=0.1~0.00005)과 계산값 비교

입력값	T(㎡/day)	10							
	S	0.1	0.05	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005
수치계산	t(day)	수 두 강 하 량(m)							
	0.010	0	7.6E-6	9.9E-5	4.0E-4	9.6E-3	3.7E-2	7.1E-1	2.1E+0
	0.022	0	2.3E-5	4.8E-4	1.9E-3	4.5E-3	1.7E-1	2.8E+0	7.2E+0
	0.036	7.6E-6	6.1E-5	1.3E-3	5.2E-3	1.2E-1	4.4E-1	5.7E+0	1.3E+1
	0.054	2.3E-5	1.2E-4	2.8E-3	1.1E-2	2.5E-1	8.7E-1	9.2E+0	1.8E+1
	0.074	4.6E-5	2.2E-4	5.4E-3	2.1E-2	4.6E-1	1.5E+0	1.3E+1	2.2E+1
	0.099	8.4E-5	4.0E-4	9.6E-3	3.7E-2	7.6E-1	2.4E+0	1.7E+1	2.6E+1
	0.130	1.5E-4	6.6E-4	1.6E-2	6.2E-2	1.2E+0	3.6E+0	2.0E+1	3.0E+1
	0.160	2.6E-4	1.1E-3	2.6E-2	1.0E-1	1.8E+0	5.1E+0	2.4E+1	3.4E+1
	0.210	4.2E-4	1.7E-3	4.1E-2	1.5E-1	2.6E+0	6.8E+0	2.7E+1	3.8E+1
	0.260	6.6E-4	2.7E-3	6.3E-2	3.5E-1	3.6E+0	8.9E+0	3.0E+1	4.1E+1
	0.320	1.0EE-3	4.1E-3	9.5E-2	5.1E-1	4.9E+0	1.1E+1	3.4E+1	4.4E+1
	0.400	2.3E-3	6.1E-3	1.4E-1	7.3E-1	6.4E+0	1.4E+1	3.7E+1	4.8E+1
	0.480	3.4E-3	9.2E-3	2.1E-1	1.0E+0	8.2E+0	1.6E+1	4.0E+1	5.1E+1
	0.590	5.1E-3	1.4E-2	3.0E-1	1.4E+0	1.0E+1	1.9E+1	4.3E+1	5.4E+1
	0.720	7.5E-3	2.0E-2	4.3E-1	2.0E+0	1.2E+1	2.2E+1	4.6E+1	5.7E+1
	0.870	1.1E-2	2.9E-2	6.1E-1	2.7E+0	1.5E+1	2.4E+1	4.9E+1	6.0E+1
	1.100	1.1E-2	4.2E-2	8.6E-1	3.6E+0	1.7E+1	2.7E+1	5.2E+1	6.3E+1
	1.300	1.6E-2	6.1E-2	1.2E+0	4.7E+0	2.0E+1	3.0E+1	5.5E+1	6.6E+1
계산값	T(㎡/day)	2,900	48	11	9.7	9.5	10	10	9.4
	S	0.028	0.09	0.011	0.0051	0.001	0.00049	0.00011	0.000053

Table.3 입력값(T=50㎡/day, S=0.1~0.00005)과 계산값비교

입력값	T(㎡/day)	50							
	S	0.1	0.05	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005
수치계산	t(day)	수 두 강 하 량(m)							
	0.010	0	2.3E-5	4.9E-4	1.9E-3	4.2E-2	1.4E-1	1.5E+0	3.0E+0
	0.022	2.3E-5	9.9E-5	2.3E-3	9.1E-3	1.8E-1	5.5E-1	3.7E+0	6.0E+0
	0.036	6.9E-5	2.7E-4	6.3E-3	2.4E-2	4.2E-1	1.1E+0	5.0E+0	6.9E+0
	0.054	1.5E-4	5.7E-4	1.3E-2	5.0E-2	7.6E-1	1.8E+0	6.2E+0	8.5E+0
	0.074	2.8E-4	1.1E-3	2.5E-2	9.1E-2	1.2E+0	2.6E+0	7.2E+0	9.2E+0
	0.099	5.0E-4	1.9E-3	4.3E-2	1.5E-1	1.7E+0	3.3E+0	8.0E+0	1.0E+1
	0.130	8.3E-4	3.2E-3	7.0E-2	2.4E-1	2.2E+0	4.0E+0	8.9E+0	1.1E+1
	0.160	1.3E-3	5.2E-3	1.1E-1	3.6E-1	2.8E+0	4.7E+0	9.6E+0	1.2E+1
	0.210	2.1E-3	8.2E-3	1.7E-1	5.2E-1	3.4E+0	5.4E+0	1.0E+1	1.2E+1
	0.260	3.3E-3	1.3E-2	2.4E-1	7.3E-1	4.0E+0	6.1E+0	1.1E+1	1.3E+1
	0.320	5.0E-3	1.9E-2	3.5E-1	9.8E-1	4.7E+0	6.7E+0	1.2E+1	1.4E+1
	0.400	7.4E-3	2.8E-2	4.8E-1	1.3E+0	5.3E+0	7.4E+0	1.2E+1	1.5E+1
	0.480	1.1E-2	4.1E-2	6.6E-1	1.6E+0	5.9E+0	8.0E+0	1.3E+1	1.5E+1
	0.590	1.6E-2	6.0E-2	8.7E-1	2.0E+0	6.5E+0	8.6E+0	1.4E+1	1.6E+1
	0.720	2.4E-2	8.6E-2	1.1E+0	2.5E+0	7.1E+0	9.2E+0	1.4E+1	1.6E+1
	0.870	3.4E-2	1.2E-1	1.5E+0	3.0E+0	7.6E+0	9.8E+0	1.5E+1	1.7E+1
	1.100	4.9E-2	1.7E-1	1.8E+0	3.5E+0	8.3E+0	1.0E+1	1.6E+1	1.8E+1
	1.300	6.9E-2	2.4E-1	2.2E+0	4.0E+0	8.8E+0	1.1E+0	1.6E+1	1.8E+1
계산값	T(㎡/day)	3,100	32	47	50	49	49	48	52
	S	0.63	0.024	0.01	0.0051	0.001	0.00049	0.00011	0.000053

Table.4 입력값(T=100㎡/day, S=0.1~0.00005)과 계산값 비교

입력값	T(㎡/day)	100							
	S	0.1	0.05	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005
수치계산	t(day)	수두강하량(m)							
	0.010	1.5E-5	4.6E-5	9.6E-4	3.7E-3	7.1E-2	2.1E-1	1.5E+0	2.7E+0
	0.022	5.3E-5	2.0E-4	4.5E-3	1.7E-2	2.8E-1	7.2E-1	3.0E+0	4.1E+0
	0.036	1.4E-4	5.3E-4	1.2E-2	4.4E-2	5.7E-1	1.3E+0	3.5E+0	4.5E+0
	0.054	2.9E-4	1.1E-3	2.5E-2	8.7E-2	9.2E-1	1.8E+0	4.2E+0	5.4E+0
	0.074	5.5E-4	2.1E-3	4.6E-2	1.5E-1	1.3E+0	2.2E+0	4.6E+0	5.6E+0
	0.099	9.6E-4	3.7E-3	7.6E-2	2.4E-1	1.7E+0	2.6E+0	5.2E+0	6.3E+0
	0.130	1.6E-3	6.2E-3	1.2E-1	3.6E-1	2.0E+0	3.0E+0	5.5E+0	6.5E+0
	0.160	2.6E-3	1.0E-2	1.8E-1	5.1E-1	2.4E+0	3.4E+0	5.9E+0	7.1E+0
	0.210	4.1E-3	1.6E-2	2.6E-1	6.8E-1	2.7E+0	3.8E+0	6.2E+0	7.2E+0
	0.260	6.3E-3	2.4E-2	3.6E-1	8.9E-1	3.0E+0	4.1E+0	6.6E+0	7.8E+0
	0.320	9.5E-3	3.5E-2	4.9E-1	1.1E+0	3.4E+0	4.4E+0	6.9E+0	7.9E+0
	0.400	1.4E-2	5.1E-2	6.4E-1	1.4E+0	3.7E+0	4.8E+0	7.3E+0	8.5E+0
	0.480	2.1E-2	7.3E-2	8.2E-1	1.6E+0	4.0E+0	5.1E+0	7.6E+0	8.6E+0
	0.590	3.0E-2	1.0E-1	1.0E+0	1.9E+0	4.3E+0	5.4E+0	7.9E+0	9.1E+0
	0.720	4.3E-2	1.5E-1	1.2E+0	2.2E+0	4.6E+0	5.7E+0	8.2E+0	9.3E+0
	0.870	46.1E-2	2.0E-1	1.5E+0	2.4E+0	4.9E+0	6.0E+0	8.5E+0	9.9E+0
	1.100	8.6E-2	2.7E-1	1.7E+0	2.7E+0	5.2E+0	6.3E+0	8.8E+0	1.0E+1
	1.300	1.2E-1	3.6E-1	2.0E+0	3.0E+0	5.5E+0	6.6E+0	9.5E+0	1.1E+1
계산값	T(㎡/day)	93	110	95	100	94	99	100	100
	S	0.00016	0.049	0.01	0.0054	0.0011	0.00048	0.000092	0.000052

Table.5 입력값(T=500㎡/day, S=0.1~0.00005)과 계산값 비교

입력값	T(㎡/day)	500							
	S	0.1	0.05	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005
	t(day)	수 두 강 하 량(m)							
수치계산	0.010	5.3E-5	1.9E-4	4.2E-3	1.4E-2	1.5E-1	3.0E-1	9.5E-1	1.3E+0
	0.022	2.4E-4	9.0E-4	1.8E-2	5.5E-2	3.7E-1	6.0E-1	1.0E+0	1.1E+0
	0.036	6.3E-4	2.4E-3	4.2E-2	1.1E-1	5.0E-1	6.9E-1	1.2E+0	1.5E+0
	0.054	1.3E-3	5.0E-3	7.6E-2	1.8E-1	6.2E-1	8.5E-1	1.3E+0	1.5E+0
	0.074	2.5E-3	9.1E-3	1.2E-1	2.6E-1	7.2E-1	9.2E-1	1.4E+0	1.7E+0
	0.099	4.3E-3	1.5E-2	1.7E-1	3.3E-1	8.1E-1	1.0E+0	1.5E+0	1.7E+0
	0.130	7.1E-3	2.4E-2	2.2E-1	4.0E-1	8.9E-1	1.1E+0	1.6E+0	1.8E+0
	0.160	1.1E-2	3.6E-2	2.8E-1	4.7E-1	9.6E-1	1.2E+0	1.7E+0	1.8E0
	0.210	1.7E-2	5.2E-2	3.4E-1	5.4E-1	1.0E+0	1.2E+0	1.7E+0	1.9E+0
	0.260	2.4E-2	7.3E-2	4.0E-1	6.1E-1	1.1E+0	1.3E+0	1.8E+0	2.0E+0
	0.320	3.5E-2	9.8E-2	4.6E-1	6.7E-1	1.2E+0	1.4E+0	1.8+E0	2.1E+0
	0.400	4.8E-2	1.3E-1	5.3E-1	7.4E-1	1.2E+0	1.4E+0	1.9E+0	2.2E+0
	0.480	6.6E-2	1.6E-1	5.9E-1	8.0E-1	1.3E+0	1.5E+0	1.9E+0	24E+0
	0.590	8.7E-2	2.0E-1	6.5E-1	8.6E-1	1.4E+0	1.6E+0	2.1E+0	2.5E+0
	0.720	1.1E-1	2.5E-1	7.1E-1	9.2E-1	1.4+0	1.6E+0	2.1E+0	2.7E+0
	0.870	1.5E-1	3.0E-1	7.7E-1	9.8E-1	1.5E+0	1.7E+0	2.3E+0	3.0E+0
	1.100	1.8E-1	3.5E-1	8.2E-1	1.0E+0	1.5E+0	1.7E+0	2.4E+0	3.2+0
	1.300	2.2E-1	4.0E-1	8.8E-1	1.1E+0	1.6E+0	1.8E+0	2.8E+0	3.6E+0
계산값	T(㎡/day)	23	510	490	500	520	480	330	340
	S	0.00043	0.049	0.0099	0.0053	0.00095	0.00054	0.00024	0.00018

Table.6 입력값(T=1,000/day, S=0.1～0.00005)과 계산값 비교

입력값	T(㎡/day)	1,000							
	S	0.1	0.05	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005
수치계산	t(day)	수 두 강 하 량(m)							
	0.010	9.2E-5	3.7E-4	7.1E-3	2.1E-1	1.5E-1	2.7E-1	4.6E-1	8.5E-1
	0.022	4.4E-4	1.7E-3	2.8E-2	7.2E-1	3.0E-1	4.1E-1	5.5E-1	5.7E-1
	0.036	1.2E-3	4.5E-3	5.7E-2	1.3E-1	3.4E-1	4.4E-1	7.2E-1	9.1E-1
	0.054	2.5E-3	8.7E-3	9.2E-2	1.8E-1	4.2E-1	5.4E-1	7.5E-1	7.4E-1
	0.074	4.6E-3	1.5E-2	1.3E-1	2.2E-1	4.6E-1	5.5E-1	8.1E-1	9.5E-1
	0.099	7.6E-3	2.4E-2	1.7E-1	2.6E-1	5.1E-1	6.3E-1	8.1E-1	8.3E-1
	0.130	1.2E-2	3.6E-2	2.0E-1	3.0E-1	5.4E-1	6.4E-1	8.7E-1	1.0E+0
	0.160	1.8E-2	5.1E-2	2.4E-1	3.4E-1	5.9E-1	7.0E-1	8.8E-1	9.0E-1
	0.210	2.6E-2	6.8E-2	2.7E-1	3.7E-1	6.2E-1	7.1E-1	9.2E-1	1.0E+0
	0.260	3.6E-2	8.9E-2	3.0E-1	4.1E-1	6.5E-1	7.6E-1	9.3E-1	9.6E-1
	0.320	4.9E-2	1.1E-1	3.4E-1	4.4E-1	6.8E-1	7.6E-1	9.6E-1	1.1E+0
	0.400	6.4E-2	1.4E-1	3.7E-1	4.7E-1	7.1E-1	8.1E-1	9.8E-1	1.0E+0
	0.480	8.2E-2	1.6E-1	4.0E-1	5.0E-1	7.4E-1	8.1E-1	1.0E+0	1.2E+0
	0.590	1.0E-1	1.9E-1	4.3E-1	5.3E-1	7.7E-1	8.6E-1	1.0E+0	1.1E+0
	0.720	1.2E-1	2.2E-1	4.6E-1	5.6E-1	7.9E-1	8.6E-1	1.1E+0	1.3E+0
	0.870	1.5E-1	2.4E-1	4.9E-1	5.9E-1	8.2E-1	9.0E-1	1.1E+0	1.3E+0
	1.100	2.0E-1	2.7E-1	5.2E-1	6.2E-1	8.4E-1	9.0E-1	1.1E+0	1.4E+0
	1.300	2.3E-1	3.0E	5.5E-1	6.5E-1	8.6E-1	9.4E-1	1.2E+0	1.5E+0
계산값	T(㎡/day)	15	1,100	1,000	1,000	1,000	1,100	450	6,200
		0.00032	0.05	0.0096	0.0056	0.0011	0.0005	0.0015	0.0093

입력값과 계산값이 잘 일치하는 범위(10≤T(m²/day) ≤1000, 0.01≤S ≤0.0005)에 대한 관계를 나타내면 Fig.2~Fig.10과 같은데 투수량계수(T;m²/day)의 입력값과 계산값의 비교는 Fig.2~Fig.5와 같고 저류계수(S)의 입력값과 계산값의 비교는 Fig.6~Fig.10과 같다.

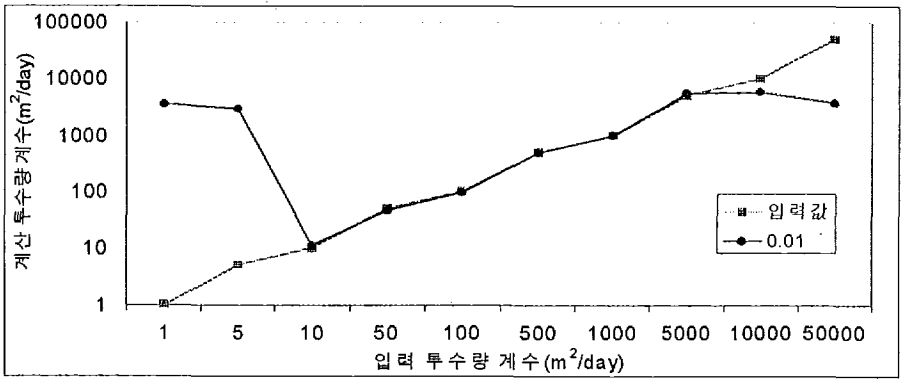


Fig.2 저류계수 0.01일 때 투수량계수의 입력값과 계산값 비교

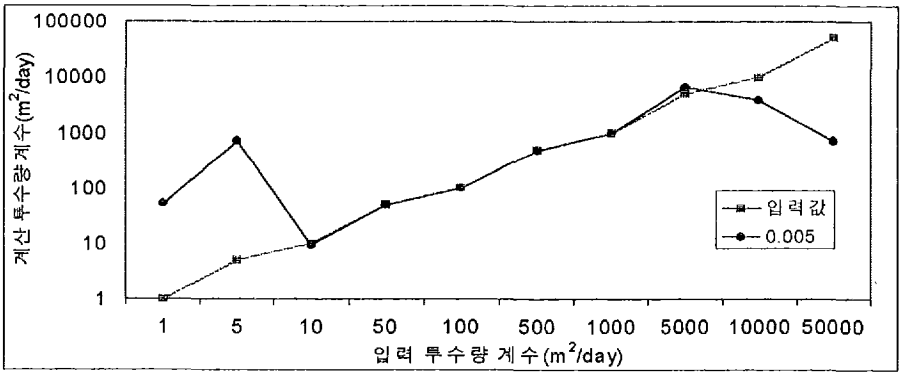


Fig.3 저류계수 0.005일 때 투수량계수의 입력값과 계산값 비교

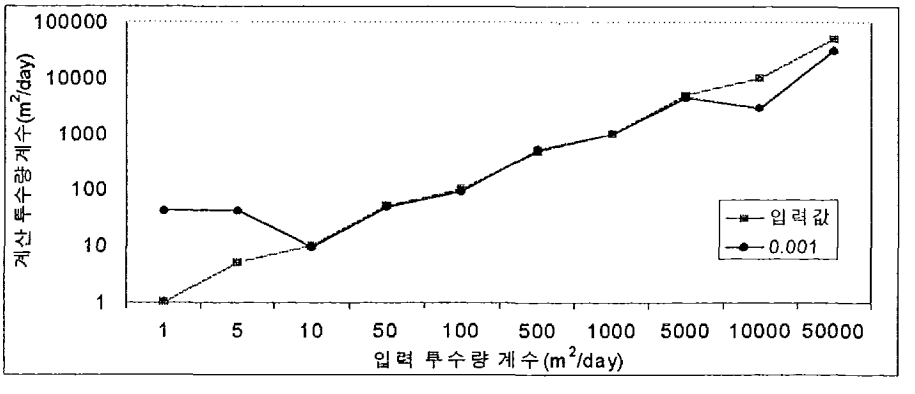


Fig.4 저류계수 0.001일 때 투수량계수의 입력값과 계산값 비교

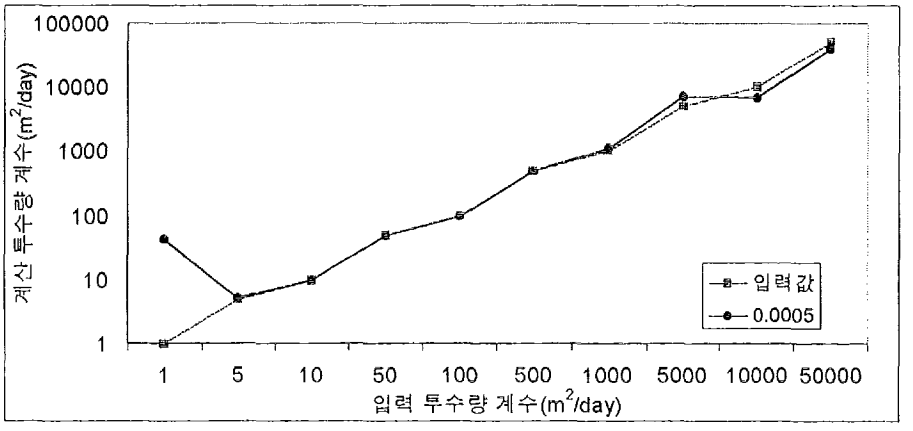


Fig.5 저류계수 0.0005일 때 투수량계수의 입력값과 계산값 비교

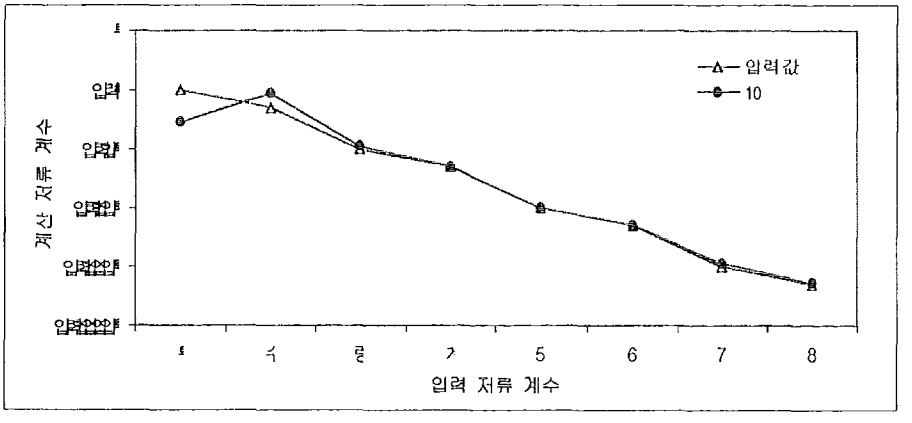


Fig.6 투수량 계수 10(㎡/day)일 때 저류계수의 입력값과 계산값 비교

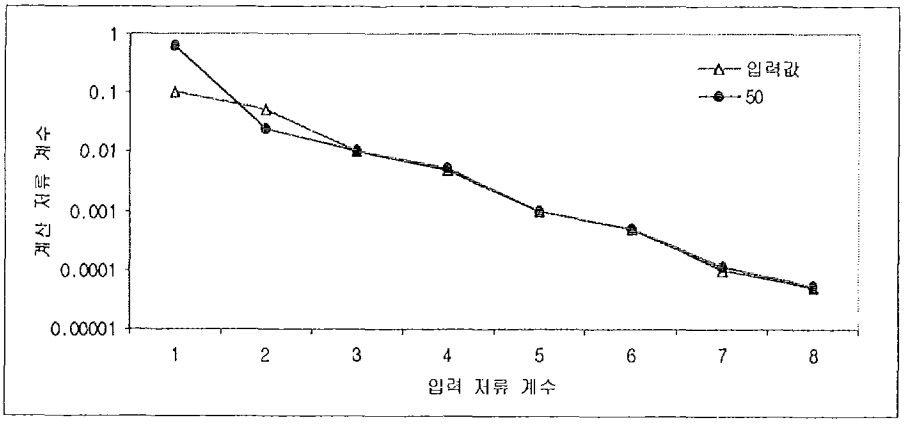


Fig.7 투수량 계수 50(㎡/day)일 때 저류계수의 입력값과 계산값 비교

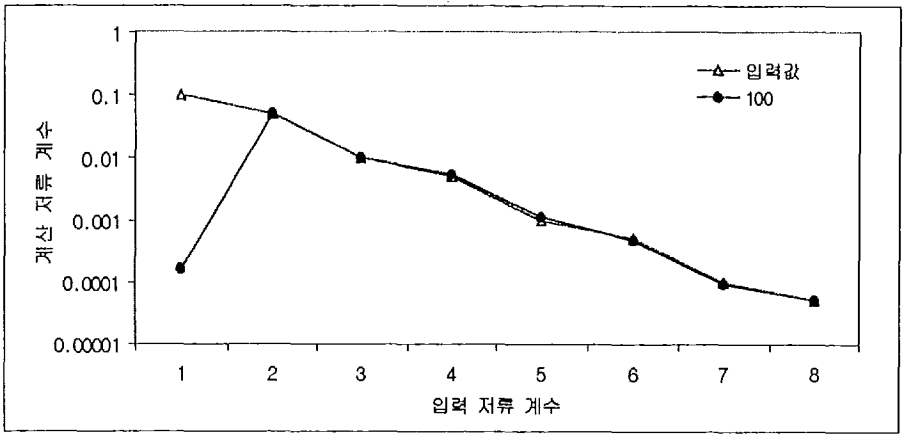


Fig.8 투수량 계수 100(㎡/day)일 때 저류계수의 입력값과 계산값 비교

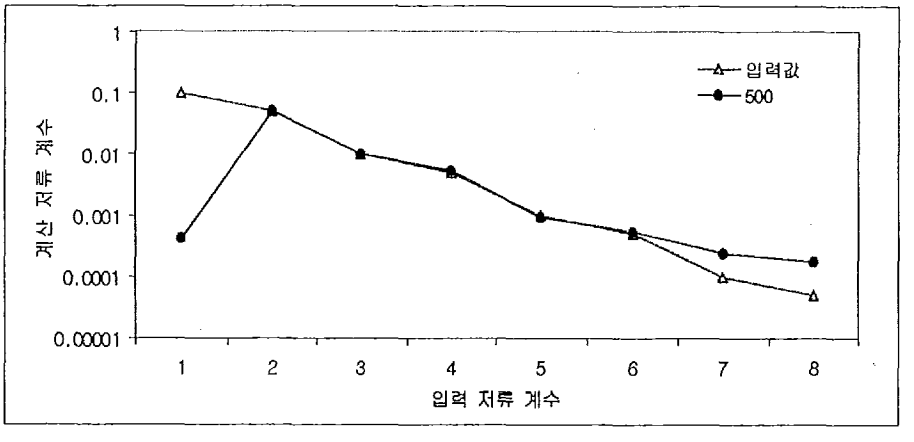


Fig.9 투수량 계수 500(㎡/day)일 때 저류계수의 입력값과 계산값 비교

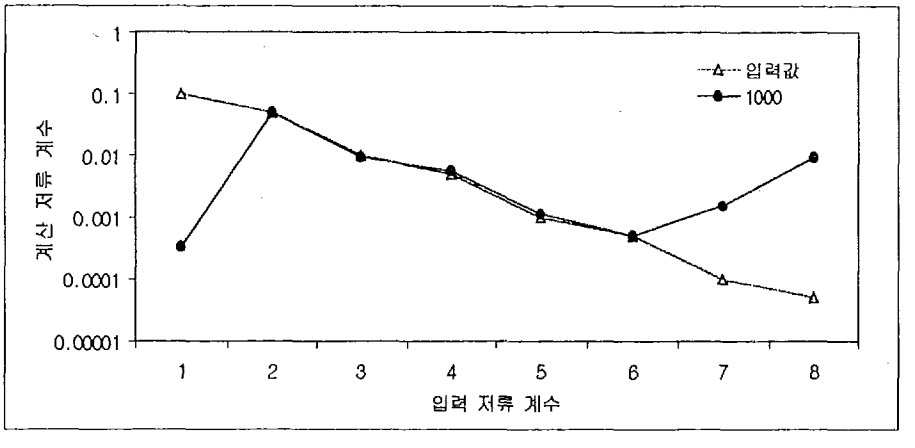


Fig.10 투수량 계수 1000(㎡/day)일 때 저류계수의 입력값과 계산값 비교

5. 결론

입력값과 계산값의 관계를 정리하면 Table.7과 같고 박스안의 윗부분은 저류계수의 계산값 이고 아래부분은 투수량계수(m²/day)의 계산값이다.

Table.7 투수량계수(T;m²/day)및 저류계수(S)의 입력값과 계산값의 비교

T \ S	0.1	0.05	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005
1	0.0048 240	0.0023 48	0.0023 3500	0.00024 54	0.00032 42	0.0025 42	0.00014 3.4	0.00006 2.4
5	0.034 27	0.0011 7800	0.18 2900	0.044 720	0.0023 43	0.00048 5.2	0.000095 5	0.000049 4.5
10	0.028 2900	0.09 48	0.011 11	0.0051 9.7	0.001 9.5	0.00049 10	0.00011 10	0.000053 9.4
50	0.63 3100	0.024 32	0.01 47	0.0051 50	0.001 49	0.00049 49	0.00011 48	0.000053 52
100	0.00016 93	0.049 110	0.01 95	0.0054 100	0.0011 94	0.00048 99	0.000092 100	0.000052 100
500	0.00043 23	0.049 510	0.0099 490	0.0053 500	0.00095 520	0.00054 480	0.00024 330	0.00018 340
1000	0.00032 15	0.05 1100	0.0096 1000	0.0056 1000	0.0011 1000	0.0005 1100	0.0015 450	0.0093 6200
5000	0.00024 960	0.049 5000	0.012 5500	0.0048 6800	0.029 4500	0.001 7100	0.0015 3900	0.64 3500
10000	0.073 52000	0.054 9500	0.021 5900	0.0034 3900	0.00035 2900	0.00047 6800	0.055 5300	0.41 54
50000	0.000044 550	0.022 72000	0.00027 3700	0.00044 720	0.057 31000	0.00073 39000	0.00057 840	0.00052 36000

음영색 부분에 대해서는 Theis식과 수치계산의 결과가 일치하지 않는다. 상기범위에서 Theis식으로 구한 투수량계수와 저류계수를 수치계산의 매개변수로 사용한다면 올바른 예측이 이루어지지 않을 것이다. 비정상 흐름에서 투수량계수와 저류계수를 결정하기 위한 노력은 Theis의 도해적인 방법으로 부터 시작되어 많은 연구가 진행되어져 왔으며 현재는 도해적인 방법이 보완 되어지고 있어 계산자의 주관이 개입될 소지가 많이 제거되어져 가고 있다. 그러나 이렇게 해서 구한 값들 일지라도 수치계산의 매개변수로 입력되어 지하수 흐름을 해석하고 있는 실정이므로 매개변수를 입력한 후 수치해석한 결과와 이러한 매개변수를 결정하기 위한 수위강하 자료가 다른 값일 경우에 이 해는 의미가 없어진다. 본 연구에서는 두 식의 값이 일치하는 범위만을 제시 하였으나 일치하지 않는 범위에 대해서 만족할만한 결과를 얻을 수 있는 방법이 연구되어져야 할것으로 사료되며 누수 피압대수층이나 자유 대수층의 비정상 흐름에 대해서도 연구가 진행 되어져야 할 것이다.

참고문헌

1) Wang, H. F and Anderson, M.P "Introduction to Groundwater Modeling", W.H.Freema and Company, 1982, 237pp
2) 윤지선, 전경수, "PC에 의한 지하수 해석", 구미서관, 316pp
3) 한정상, "지하수 환경과 오염", 1998, 박영사, 1071pp
4) 한정상, "지하수학개론", 1983, 박영사, 511pp
5) 오종민, 김민환, 이재형, "대수층의 특정변수 결정", 1998년도 학술발표회 논문집, 한국수자 원학회, pp558~563
6) 정일문, 허준행, 조원철, "비선형 회귀분석을 이용한 비누수 피압대수층의 매개변수 추정" 1995년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회 pp107~110