

대수층의 특성변수 결정

오종민* 김민환** 이재형***

1. 서론

지하수의 효율적인 이용과 관리를 위해서 대수층 특성변수의 평가가 필수적이다. 대수층의 특성변수로는 투수량계수(혹은 전담계수)와 저류계수이며 누수대수층인 경우에 누수계수가 추가된다. 양수시험 자료를 이용하여 특성변수를 정확히 결정하려는 노력은 오래전부터 시도되었다. 전통적인 도식 기법은 이들 변수를 평가하는데 많은 시간이 소비되고 주관적인 판단이 개재된다. 그러므로 많은 학자들은 전통적인 도식 기법을 보완하거나 대체할 수 있는 기법을 제시하고 있다. 효율적인 기법을 제시하기 위해 기존의 각 방법을 비교·검토하여 자동화 시스템을 구축하는 새로운 방법에 대해 연구하였다.

2. 특성변수 결정 방법

SM(Slope Matching)방법(Sen, 1986)은 대수층의 물리적 특성을 반영한 방법으로 Theis방법에 기초를 두었다. Theis는 지하수 흐름과 열전도간의 유사성을 이용하여 부정류상태하의 지하수 흐름 지배방정식의 해를 구하였다. 그림2-1 (a)는 완전 관입정에서 양수량이 일정한 경우의 비누수대수층(nonleaky aquifer) 모형이다. 이 모형에 대한 지배방정식은 현장에 거의 일치하지 않지만 몇가지 가정(Theis, 1935)하에서 Theis의 비평형식은 다음과 같다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \tag{2.1}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \tag{2.2}$$

여기서 u 는 무차원계수, Q 는 양수량, 그리고 $W(u)$ 는 비누수대수층에서 우물함수(well function)이다. 이 우물함수를 Taylor의 무한 급수 해로 나타내면 다음과 같다.

$$W(u) = -0.5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots \tag{2.3}$$

이중대수좌표상의 임의의 연속적인 점에서 관계곡선의 경사 α (그림2-2)는

$$\alpha = -\frac{e^{-u}}{W(u)} \tag{2.4}$$

그리고, 양수시험자료에서 두 연속적인 점 사이의 경사는 다음과 같다.

$$\alpha_i = \frac{\text{Ln}(s_{i+1}/s_i)}{\text{Ln}(t_{i+1}/t_i)} \quad (i=1, 2, 3, 4, \dots, n-1) \tag{2.5}$$

여기서, i 는 총 관측값 n 에 대한 시간-강하량 관측값을 나타낸다. 그림 2-2에서 식(2.4)와 식(2.5)는 u 와 $W(u)$ 가 양수시험자료곡선과 관련이 있음을 알 수 있다. 양수시험자료의 두 점간의 경사

* 호남대학교 대학원 토목공학과 석사과정

** 호남대학교 토목공학과 부교수

*** 전북대학교 토목환경공학부 교수

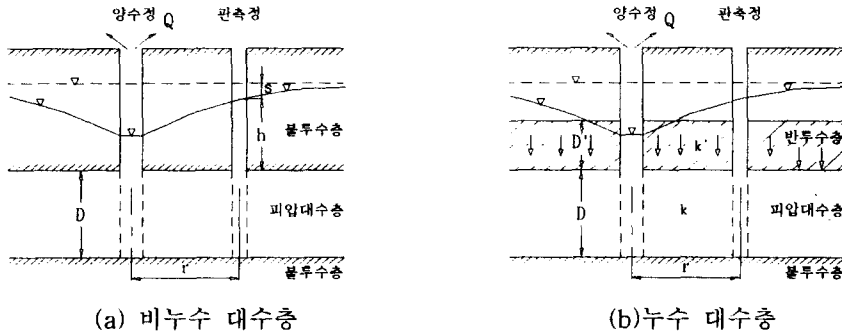


그림 2-1 피압대수층의 개념도

값을 구한 후 식(2.4)의 경사값과 일치할 때 u 값을 읽는다. Sen(1986)은 식(2-4)를 이용하여 표2-1의 경사함수표를 제시하였다. 만약 u 가 표2-1로부터 결정된다면, $W(u)$ 는 식(2.3)로부터 계산되고, 식(2.1)로부터 전달계수, 식(2.2)로부터 저류계수가 계산된다. 이와 같은 절차에 의해 매시간 단계의 투수량계수와 저류계수를 구한 다음 이를 평균하여 결정하는 것이 SM방법이다.

누수대수층(leaky aquifer)인 경우 반투수층에서 저류량의 변화는 없고, 등방이며, 설치된 완전관입정에서 일정하게 양수할때 누수대수층 모형의 개념도를 그림 2-1 (b)에 나타냈다. 누수대수층에 대한 지하수 흐름 지배방정식을 사용하여 Hantush(Sen, 1986)는 다음과 같은 해석해를 얻었다.

$$s_m - s = \frac{Q}{4\pi T} W(q) \quad (2.6)$$

여기서, s_m 은 최대수두강하량이다. q 는 무차원계수으로써 다음과 같다.

$$q = \frac{Tt}{SL^2} = \frac{r^2}{4L^2} \frac{1}{u} \quad (2.7)$$

s_m 의 해는 다음과 같다.

$$s_m = \frac{Q}{2\pi T} K_0\left(\frac{r}{L}\right) \quad (2.8)$$

여기서, $K_0(r/L)$ 은 위수가 0인 제2종(second kind and zero order) 수정 벡셀함수이다. 최대수두강하량은 양수시험자료를 이용하여 외삽법에 의해서 결정하였다. 누수대수층에 대한 특성변수 결정

표 2-1. Theis 곡선 경사 α

u	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
$\times 10^0$	-1.677	-2.766	-3.814	-4.845	-5.867	-6.882	-7.895	-8.905	-9.913
$\times 10^{-1}$	-0.496	-0.670	-0.818	-0.954	-1.084	-1.208	-1.329	-1.449	-1.568
$\times 10^{-2}$	-0.245	-0.292	-0.328	-0.358	-0.385	-0.410	-0.434	-0.455	-0.476
$\times 10^{-3}$	-0.158	-0.177	-0.191	-0.201	-0.210	-0.219	-0.226	-0.233	-0.239
$\times 10^{-4}$	-0.116	-0.126	-0.133	-0.138	-0.142	-0.146	-0.149	-0.152	-0.155
$\times 10^{-5}$	-0.091	-0.098	-0.102	-0.105	-0.107	-0.109	-0.111	-0.113	-0.114
$\times 10^{-6}$	-0.076	-0.080	-0.082	-0.084	-0.086	-0.087	-0.089	-0.090	-0.091
$\times 10^{-7}$	-0.064	-0.067	-0.069	-0.071	-0.072	-0.073	-0.074	-0.074	-0.075
$\times 10^{-8}$	-0.056	-0.058	-0.060	-0.061	-0.062	-0.062	-0.063	-0.063	-0.064
$\times 10^{-9}$	-0.050	-0.051	-0.053	-0.053	-0.054	-0.055	-0.055	-0.055	-0.056
$\times 10^{-10}$	-0.045	-0.046	-0.047	-0.048	-0.048	-0.048	-0.049	-0.049	-0.049

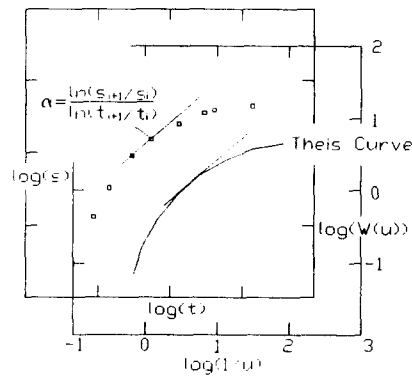


그림 2-2. Theis관계곡선과 시간-강하량 경사와 관계

은 비누수대수층의 과정과 유사하다. 식(2.6)과 식(2.7)에서 $W(q)$ 와 q 의 도식적인 관계는 Theis방법의 $W(u)$ 와 u 의 도식적인 관계와 일치한다. 관계곡선의 경사 α_1 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_1 = -\frac{e^{-q}}{W(q)} \quad (2.9)$$

비누수대수층의 u 대신에 누수대수층에서는 q 를 사용하면 된다. 그리고 특성변수 결정은 비누수대수층과 유사하다. 양수시험자료에서 두 연속적인 점 사이의 경사는 다음과 같다.

$$\alpha_{1i} = \frac{\text{Ln}[(s_m - s_i)/(s_m - s_{i+1})]}{\text{Ln}(t_{i+1}/t_i)} \quad (i=1, 2, 3, 4, \dots, n-1) \quad (2.10)$$

누수대수층에서 최대수두강하량을 결정하기 위해서 양수시험의 기간이 충분히 길어야 한다.

이러한 과정에서 SM방법의 몇가지 단점으로 (1) 주어진 경사 α 와 α_1 에 대하여 각각 u 와 q 값을 결정할 때 선형보간에 의해 수행하였다. 그러나 본 연구에서 u 와 q 값의 계산을 위해 식(2-4)를 이용하여 보간식을 적용하였다. (2) 누수대수층에서 누수계수 L 은 식(2.8)에서 벡셀함수 $K_0(b)$ 인수($b=r/L$)로서 정확한 값을 얻기가 단순하지 않고, (3) 최대수두강하량의 결정은 단순히 외삽하여 구하였다.

Gupta 방법(Gupta and Sharma, 1985)은 특성변수를 결정하기 위해 양수정으로부터 떨어진 방사상 거리에 대수 주기(log-cycle)를 취한 것과 정상상태의 수두강하량(최대수두강하량)과의 관계곡선을 작성하여 추정하는 방법이다.

Amitabha 방법은 수치해법을 이용하여 Theis관계곡선과 양수시험자료곡선과의 일치점을 최소 제곱 방법으로 근사치를 구하는 방법이다. 누수대수층에서 특성변수를 유도하는 세가지 방법을 제시하였다. (1) 방법 1 : 관측정이 한 개만 존재하는 경우, (2) 방법 2 : 관측정이 최소한 2개가 존재하는 경우, (3) 방법 3 : 관측정이 3개 또는 그 이상 존재하는 경우에 대해 제안하였다.

NLFD(Nonlinear Least-Squares and Finite-Differences Newton's Method, Yeh, 1987) 방법은 Theis의 해에 기초를 두고 있다. 수학적 관점에서 식(2.1)과 (2.2)는 비선형이기 때문에 해석적으로 해를 구할 수 없다. 그러므로 두 식을 곡선 fitting에 자주 사용되는 비선형 최소 제곱 근사법을 이용하고, 대수층의 특성변수를 구하기 위해서 유한 차분 Newton 방법을 제안하였다.

NNA(A Neural-Network Approach to the Determination of Aquifer Parameters, Wong, 1992) 방법은 신경회로망 중에서 역 전파 학습법(back propagation learning)을 이용하여 대수층의 특성변수를 결정하도록 개발되었다. 지금까지 각 방법을 간단히 소개하였으며 표2-2에 이들 방법에 대한 특성 및 제약점을 제시하였다(김민환, 1997).

표 2-2. 여러 다른 방법의 특성 및 제약점

	특성	제약점
Gupta 방법	- 관측정이 여러 개 필요. - 누수대수층만 적용.	- 주관적일 수 있음. - 도식적인 절차가 필요. - 저류계수 S의 평가가 불가능.
Amitabha 방법	- 비누수층일 때 관측정 여러개 필요. - 최대수두강하량을 구하는 절차 제안. - 누수층일 때 관측정 수에 따라 3가지 방법 제안.	- $u < 0.05$ 일 때, 적용이 가능. - 변수 결정을 완전 자동화라 볼 수 없음.
SM 방법	- 비누수층 및 누수층의 해를 구함. - 대수층의 물리적 특성 반영. - 비누수층일 때 양수기간이 짧아도 됨. - 관측정이 한 개로도 해를 구함.	- 누수층일 때 양수기간이 충분히 길어야 됨. - 경사함수표를 이용하여 선형보간함으로써 오차발생이 큼. - 정상상태의 수두강하량의 자료가 필요.
NLFD 방법	- 비누수층에만 적용 가능. - 관측정이 여러 개이거나 한 개의 관측정에서 시간에 따른 수두강하량의 자료가 있는 경우에 적용이 가능.	- 관측값과 예측값을 그림으로 비교해야함. - 초기값에 따라 해가 발산할 수 있음.
NNA 방법	- 비누수층 및 누수층의 해를 구함.	- 물리적 특성이 반영된 자료는 특성변수를 결정에 있어 최적해가 아닌 극소해를 구할 수 있음. - 신경망의 이론을 어느정도 습득해야함.

3. 개선된 SM방법과 수치예

SM방법을 자동화하기 위해서는 앞에서 제시한 문제점을 해결해야 한다. SM방법의 자동화에서 기술적인 문제는 (1) 표2-1의 경사함수표를 사용하여 경사에 대한 u 를 찾기 위해 선형 보간에 의해 결정하였으나 본 논문에서는 Lagrange의 n 차 보간공식을 이용하여 보간하였다.

$$P_n(u) = \sum_{i=0}^n \left(\prod_{j \neq i} \frac{u - u_j}{u_i - u_j} \right) f(u_i) \quad (i=0, 1, 2, \dots, n) \quad (3.1)$$

(2) 누수대수층인 경우 베셀함수인자($b=r/L$)를 구한 후 누수계수 L 을 결정할 수 있다. 이때 최대수두강하량값과 식(2.8)을 이용하여 베셀함수인자($b=r/L$)을 구하기 위해 Newton-Raphson방법을 이용하여 인자를 구하면 누수계수 L 이 결정된다.

$$K_0(b) = [\ln(2) - \gamma] I_0(b) - I_0(b) \ln(b) + \frac{1}{4} b^2 + \dots \quad (3.2)$$

여기서, γ 는 Euler 상수이고, $I_0(b)$ 는 위수가 0인 수정된 제1종 베셀함수이다.

$$b_{n+1} = b_n - \frac{K_0(b_n)}{K_0'(b_n)} \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (3.3)$$

(3) 누수대수층인 경우, 여러 논문에서 Kruseman and Ridder에 의해 수두강하량과 양수시간을 그래프용지에 그려서 외삽한 최대수두강하량을 사용하였다. 그러나 본 연구에서는 Amitabha(1988)가 제시한 최대수두강하량을 구하는 수학적 방법을 이용하였다. 양수 경과시간에 대해 대수를 취한 것과 수두강하량에 대수를 취한 것 사이에 다항식 관계를 유도하기 위해 최소제곱 fitting을 이용하였다. 이 관계를 2차 다항식 형태로 가정하면 다음과 같다.

$$\log s = A_1 \log t + A_2 (\log t)^2 + A_3 \quad (3.4)$$

A_1, A_2, A_3 는 다항식 계수이다. 시간에 대한 강하량의 변화율은 시간 t 에 관해 식(3.4)를 미분한 후 정상상태에서의 시간을 t_s 라 하면 이 값은 $ds/dt=0$ 으로부터 구할 수 있다. 즉,

$$t_s = 10^{-A_1/2A_2} \quad (3.5)$$

이다. 이 식을 식(3.4)에 대입하면 정상상태 수두강하량 s_m 을 구할 수 있다.

$$\log s_m = A_1 \log(t_s) + A_2 (\log t_s)^2 + A_3 \quad (3.6)$$

또는,

$$s_m = 10^{A_1 \log(t_s) + A_2 (\log t_s)^2 + A_3}$$

양수시험자료를 이용하여 식(3.4)를 회귀분석하면 다항식 계수를 구할 수 있고 구해진 계수를 식(3.6)에 대입하면 최대수두강하량 s_m 을 구할 수 있다. "Dalem" 시험자료로 비교해 보면 Kruseman and Ridder는 $r=90m$ 지점에서 외삽에 의한 최대수두강하량은 $s_m=0.147m$ 이다. Amitabha는 식(3.4)에서 식(3.6)을 사용하여 $s_m=0.157m$ 을 얻었고, 관측지점에서 이들 값을 비교해 보면 표3-1과 같다. 특성변수를 자동화하기 위해서 Amitabha가 제시한 최대수두강하량 결정법을 사용한다.

이상에서와 같이 자동화하기 위해 제약이 되었던 단점과 최대수두강하량을 구하는 방법을 살펴보았다. 특성변수를 결정하기 위한 여러 방법을 표2-2로 분석해 본 결과 대수층의 물리적인 특성이 반영된 SM방법을 토대로 자동화하기 위한 방법을 제시하였다. 표3-2의 자료와 표3-3의 시간에 대한 수두강하량을 사용하여 개선된 SM방법을 이용하여 특성변수를 결정하였다. 표3-3과

표 3-1 Dalem 과 Amitabha의 최대수두강하량

양수정으로부터 피에조미터 거리(m)	30	60	90	120
Dalem(Gupta,1985)	0.235	0.170	0.147	0.132
Amitabha(1988)	0.280	0.188	0.157	0.153

표 3-2 특성변수 결정에 사용된 변수값

	비누수대수층	누수대수층
시험 자료	Todd	Dalem
양수량(m^3/day)	2592	761
관측지점(m)	60	90
최대수두강하량(m)	-	0.157

표 3-3 Aquifer Parameters using improved SM (Nonleaky)

Time (day)	Drawdown (m)	Slope	u	W(u)	Transmissivity (m ² /day)	Storativity
.6960E-03	.201	-.7331E+00	.2415E+00	.1071E+01	1100.	.2053E-03
.1020E-02	.266	-.4101E+00	.5992E-01	.2297E+01	1781.	.1209E-03
.1390E-02	.302	-.5146E+00	.1094E+00	.1742E+01	1190.	.2011E-03
.1740E-02	.339	-.4627E+00	.8342E-01	.1988E+01	1210.	.1951E-03
.2090E-02	.369	-.4118E+00	.6063E-01	.2285E+01	1278.	.1799E-03
.2780E-02	.415	-.4097E+00	.5977E-01	.2299E+01	1143.	.2109E-03
.3480E-02	.455	-.3530E+00	.3815E-01	.2727E+01	1236.	.1823E-03
.4170E-02	.485	-.3325E+00	.3141E-01	.2915E+01	1240.	.1804E-03
.5570E-02	.534	-.2692E+00	.1464E-01	.3661E+01	1414.	.1281E-03
.6960E-02	.567	-.3241E+00	.2883E-01	.2998E+01	1091.	.2431E-03
.8330E-02	.601	-.3566E+00	.3939E-01	.2696E+01	925.	.3373E-03
.9720E-02	.635	-.2251E+00	.6863E-02	.4411E+01	1433.	.1062E-03
.1250E-01	.672	-.2382E+00	.8825E-02	.4162E+01	1277.	.1566E-03
.1670E-01	.720	-.2410E+00	.9290E-02	.4111E+01	1178.	.2030E-03
.2090E-01	.760	-.2233E+00	.6614E-02	.4448E+01	1207.	.1854E-03
.2780E-01	.810	-.2146E+00	.5487E-02	.4634E+01	1180.	.2000E-03
.3480E-01	.850	-.1918E+00	.3111E-02	.5199E+01	1262.	.1517E-03
.4170E-01	.880	-.1797E+00	.2184E-02	.5551E+01	1301.	.1317E-03
.5570E-01	.927	-.1803E+00	.2225E-02	.5533E+01	1231.	.1695E-03
.6960E-01	.965	-.1983E+00	.3704E-02	.5025E+01	1074.	.3077E-03
.8330E-01	1.000	-.1937E+00	.3277E-02	.5147E+01	1062.	.3220E-03
.1020E+00	1.040	-.1399E+00	.4421E-03	.7147E+01	1418.	.7103E-04
.1250E+00	1.070	-.1781E+00	.2071E-02	.5604E+01	1080.	.3108E-03
.1460E+00	1.100					
AVERAGE VALUE					1231.	.1957E-03

표3-4는 개선된 SM 방법에 의해 특성변수를 평가한 결과이다. 누수대수층인 경우 $b=r/L > 2$ 일 때, 대수층에서 지질수문학적인 상황에서는 기대되지 않으므로 특성변수를 평가하는데 제외된다 (Pittenger,1997). 개선된 SM방법을 사용하여 구한 특성변수를 검증하기 위해서 다른 방법의 결과와 비교하였다. 비누수대수층인 경우에 Todd(1976)의 자료를 이용하여 특성변수를 결정한 결과를 표3-5에 나타냈다. 개선된 SM방법과 다른 방법에 의한 저류계수와 투수량계수는 거의 비슷한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 누수대수층인 경우에 Dalem의 자료(Gupta,1985)를 이용한 결과들을 표3-6에 제시하였다. 다른 방법과 비교해서 투수량계수에서 약간의 차이가 있다. 저류계수와 누수계수는 다른 방법과 비슷함을 알 수 있다.

표 3-4 Aquifer Parameters using improved SM (Leaky)

Time (day)	Drawdown (m)	Drawdown difference	Slope	q	W(q)	Transmissivity (m ² /day)	K ₀ *(R/L)	R/L	L (m)	Storativity
243E-01	.069	.089	.411	.603E-01	.229E+01	1568.	2.039	.149	605.2	.173E-02
306E-01	.077	.081	.381	.482E-01	.250E+01	1882.	2.447	.098	918.5	.141E-02
375E-01	.083	.075	.513	.108E+00	.175E+01	1422.	1.850	.181	497.9	.198E-02
468E-01	.091	.067	.399	.552E-01	.237E+01	2162.	2.811	.068	1326.8	.104E-02
674E-01	.100	.058	.598	.156E+00	.143E+01	1507.	1.960	.161	568.3	.209E-02
896E-01	.109	.049	.772	.268E+00	.990E+00	1236.	1.608	.233	386.2	.277E-02
1.25E+00	.120	.038	.947	.394E+00	.712E+00	1149.	1.494	.263	342.2	.311E-02
1.67E+00	.129	.029	1.283	.662E+00	.402E+00	854.	1.111	.402	224.2	.429E-02
2.08E+00	.136	.022	1.438	.791E+00	.315E+00	887.	1.154	.382	235.5	.421E-02
2.50E+00	.141	.017	.402	.567E-00	.235E+01	-	-	-	-	-
2.92E+00	.142	.016	.507	.106E+00	.177E+01	-	-	-	-	-
3.33E+00	.143									
AVERAGE VALUE						1407.			566.1	.252E-02

표 3-5 비누수대수층에 대한 특성변수 평가

방법	반경 (m)	저류계수	투수량계수 (m ² /day)
Gupta	60	1.8×10^{-4}	1160
Amitabha		1.98×10^{-4}	1233
SM(Sen)		1.97×10^{-4}	1187
NLFD		1.93×10^{-4}	1139
Pittenger		2.04×10^{-4}	1224
개선된 SM		1.96×10^{-4}	1231

표 3-6 누수대수층에 대한 특성변수 평가

방법	반경 (m)	S _m (m)	저류계수	투수량계수 (m ² /day)	누수계수 (m)
Gupta	50	0.187	-	2072	1000
Amitabha	90	0.157	1.7×10^{-3}	1665	600
SM(Sen)		0.147	2.4×10^{-3}	1576	505
Pittenger		0.147	2.3×10^{-3}	1609	521
NNA		-	1.8×10^{-3}	1698	698
개선된 SM		0.157	2.5×10^{-3}	1407	566

4. 결론

양수시험으로부터 대수층의 특성변수를 결정하는 개선된 SM 방법을 제시하였다. 이 방법은 Sen(1986)의 SM방법을 기본으로 하고 있다. 개선된 SM 방법은 기존의 방법과의 특성변수를 비교해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대수층의 물리적 특성이 반영된 SM 방법을 개선함으로써 완전한 자동화가 가능함을 제시하였다.
 - (2) Theis 유형곡선과 시험자료곡선간의 도식적인 절차없이 Lagrange 보간법을 이용하여 보다 정확한 u값을 구하였다.
 - (3) 제2종 0차 베셀함수 K₀(r/L)에서 r/L값을 구하는데 있어 벡셀함수표로부터 보간하여 구하였으나 자동화 하기 위해 Newton-Raphson방법을 이용하여 보다 정확히 평가하였다.
 - (4) 최대수두강하량 결정에 있어 기존 방법은 외삽에 의한 값을 사용했으나 개선된 SM 방법과 더불어 Amitabha가 제시한 최대수두강하량 결정법을 사용하여 자동화하였다.
 - (5) 개선된 SM 방법과 다른 방법의 결과가 거의 비슷함을 알 수 있었다.
- 이상에서와 같이 본 연구에서 대수층의 특성변수결정을 위한 여러 방법을 비교·검토하였으며 개선된 SM방법은 양수시험자료만 입력하면 대수층의 특성변수를 자동적으로 결정될 수 있고 효율적인 방법임을 알 수 있다.

5. 참고문헌

- 1) 김민환, 1997, 대수층의 수리상수 결정에 관한 여러 가지 방법의 비교, 대한지하수환경학회, 제4권, 제3호, p.153~160.
- 2) Zekâi Sen. 1986. Determination of Aquifer Parameters by the Slope-Matching Method. Groundwater. v. 24, No. 2, pp 217-223.
- 3) S. K. Gupta and P. Sharma. 1985. Analysis of Steady-State Flow in Semiconfined Aquifer: a New Approach. Groundwater. v. 23, No. 2, pp 227-232.
- 4) Hund-Der Yeh. 1988. Theis' Solution by Nonlinear Least-Squares and Finite-Difference Newton's Method. Groundwater. v. 25, No. 6, pp. 710-715.
- 5) Amitabha Mukhopadhyay. 1989. Automated Computation of Parameters for Leaky Confined Aquifers. Groundwater. v. 26, No. 4, pp 500-504.
- 6) Amitabha Mukhopadhyay. 1986. Automated Derivation of Parameters in a Nonleaky Confined Aquifer with Transient Flow. 1986. Groundwater. v. 23, No 6, pp 806-811.
- 7) Abd. Rashid Abd. Aziz and Kau-Fui Vincent Wong. 1992. A Neural-Network Approach to the Determination of Aquifer Parameters. v. 30, No. 2, pp. 164-166.
- 8) Robert Pittenger and James S. Reichard. 1997. Computer Determination of Aquifer Parameters Using Slope Matching. Groundwater. v. 35, No. 3, pp 546-550.