

대중천유역 충적대수층의 수리성 분석 및 수위강하예측에 관한 연구

최재진* · 성원모** · 한정상***

Analysis of Pumping Test Data and The Prediction of Drawdown for Daejong-Chun Area

Jae-Jin Choi*, Won-Mo Sung** and Jeong-Sang Hahn***

ABSTRACT: The main goal of this paper is to determine hydraulic properties and to predict drawdown for the efficient and stable development of groundwater in the Daejong-Chun area, North of Kyungsang-Do.

Based on geological survey and analysis of well logging data conducted in 1991, it is found that the type of aquifer of this area is considered to be an anisotropic unconfined aquifer with saturated thickness of 19.8 m. In order to characterize this aquifer pumping test was conducted, and the resulting drawdown data were utilized for the analysis by applying both type curve matching technique and semi-log straight line method. As a result, the average specific yield of this aquifer is estimated as 32.3%, and the average ratio of K_H to K_V is only 2.7, which means that gravitational effect is not significant factor for this type of aquifer.

For the validation of the estimated hydraulic properties, the analytical model which was developed with Newton-Raphson iteration procedure in this study, was employed to generate the drawdown. And, the resulting drawdown was compared against actual drawdown data and it shows the excellent matches.

The actual drawdown data for 9 hours of pumping were used for history matching purposes and relatively satisfactory matches were achieved in this match. Then, the model was run by using the tuned parameters that are obtained during history matching stage, and the drawdown was predicted for the next 30 years of pumping with 3,000 m³/day of constant pumping rate.

Its result indicates that the drawdown was stabilized as 1.41 m from 20 days with 3,000 m³/day of constant pumping rate, which is the required amount of water to be safely supplied to this area.

서 언

국내의 경제발전과 생활수준의 향상에 따라 공업용수와 생활용수 수요량의 계속적인 증가추세로 인하여 한정된 지표수만으로 충당하기에는 부족한 실정이다. 국내 지하수의 부존량을 살펴볼 때 현재 평가되는 양은 약 15440억 톤으로 소양강 만수용량의 약 530배에 해당하는 엄청난 규모의 양이므로 이를 활용하기 위해서는 지하수에 대한 연구, 개발이 필연적이다. 지하수를 개발하는데 있어서 가장 우선적으로 선행되어야 하는 작업은 대상지역의 대수층에 대한 특성을 정확히 파악하는 것이다. 대수층의

특성은 탐사와 시추에 의한 자료를 해석하여 지질적 특성을 규명하고, 양수시험을 실시하여 대수층의 특성인 투수량계수, 비산출율, 저류계수, 지층의 이방성 등을 결정하게 된다. 결정된 대수층의 특성을 이용하여 대상지역에서 산출될수 있는 가능채수량과 안정적이고 장기적으로 공급할 수 있는 최적채수량을 결정하게 된다.

본 연구에서는 경상북도 경주군 대중천 유역의 지하수 개발을 목적으로 이 지역에 대해 지질조사와 시추를 시행하고 자료를 분석하였으며, 양수시험을 실시하여 얻은 자료의 해석을 통해 이 지역에 대한 대수층 평가를 수행하고, 향후의 수위강하를 예측함으로써 장기 안정적으로 지하수를 개발하기 위한 계획수립을 시도하였다.

대중천 유역의 지질조사를 위한 전기비저항탐사와 시추자료 분석 결과 묘사된 시추 주상도에 의해 이 지역은 자유면대수층으로 판단되었다. 이 자유면대수층의 수리성

* 삼우 기술단 지하철 사업부 (Sam Woo Engineering Co., Ltd)

** 한양대학교 공과대학 자원공학과 (Department of Mineral and Petroleum Engineering, Hanyang University, Republic of Korea)

*** 한서 엔지니어링 주식회사 (Hans Engineering Co., Ltd)

을 파악하기 위해 양수시험을 실시하였으며 그 결과 측정된 자료는 표준곡선 중첩법 및 Semi-log 직선법의 두 가지 해석기법에 적용하여 대수층의 특성을 결정하였다. 특히, 표준곡선 중첩법에 의해 수리성을 결정할 경우, 자유면대수층에서의 수위강하를 살펴보면, 중력배수에 의한 수위강하의 지연현상이 나타나므로 이러한 현상을 고려한 Neuman의 이론해에 의한 표준곡선에 적용하여 분석이 이루어져야 한다 (Neuman, 1972, 1973). 앞에서 두 가지 해석기법에 의해 결정된 대수층 수리성의 타당성을 검증하기 위해 Neuman의 이론해에 역으로 적용하여 표준곡선과 부합이 되는가를 조사함으로써 분석된 대수층의 특성들에 대한 타당성을 검토하였다.

한편, 해석결과 결정된 수리성은 최종적으로 대종천 유역의 개발가능한 지하수의 양을 조사하기 위해 복잡한 Neuman의 이론해를 프로그램화한 모델에 적용하여 수위강하를 예측하였다. 수위강하의 예측작업은, 9시간 동안의 양수에 의한 실제수위강하자료와의 history matching 작업을 시도하였으며, 중첩결과 수정된 수리성들은 활용되어 궁극적인 목적으로서 이 지역에 대한 향후 30년간의 수위강하를 예측하였다.

지질학적 고찰

본 연구의 현장자료는 1991년 5월부터 1991년 9월까지 경상북도 경주군 양북면 어일리 대종천 유역에서 실시한 전기비저항탐사와 시추자료 및 양수시험자료이며 이들을 살펴보면 다음과 같다 (한서 엔지니어링, 1991).

본 연구의 대상지역인 대종천 유역의 지질적 특성을 파악하기 위해 이 지역에 대해 전기비저항탐사와 시추를 실시하였다. 전기비저항탐사는 Fig. 1에서 보는 바와같이 3개 축선의 수직 및 2개 축선의 수평 전기비저항탐사를 실시하였으며, 1개의 양수정과 2개의 관측정을 시추하고 기존의 1개의 정을 관측정으로 사용하였다. 전기비저항탐사 결과는 Table 1에 분석된 바와같이 표토는 1.2~1.7 μm 정도로 추정되며 비저항치는 62~360 $\Omega\text{-m}$ 이고, 충적층과 풍화대의 합성비저항치는 구성광물 성분에 따라 56-1800 $\Omega\text{-m}$ 를 나타내는 비교적 세립질 성분이 많이 포함된 것으로 판단되며, 기반암까지의 두께는 16~20 m에 이른다. 기반암의 전기비저항치는 400-885 $\Omega\text{-m}$ 정도로써 퇴적암으로 사료된다.

1개 양수정과 2개 관측정에 대한 시추 결과, 본 지역의 충적층은 주로 담회색 및 담갈색의 실트, 모래 및 사력이

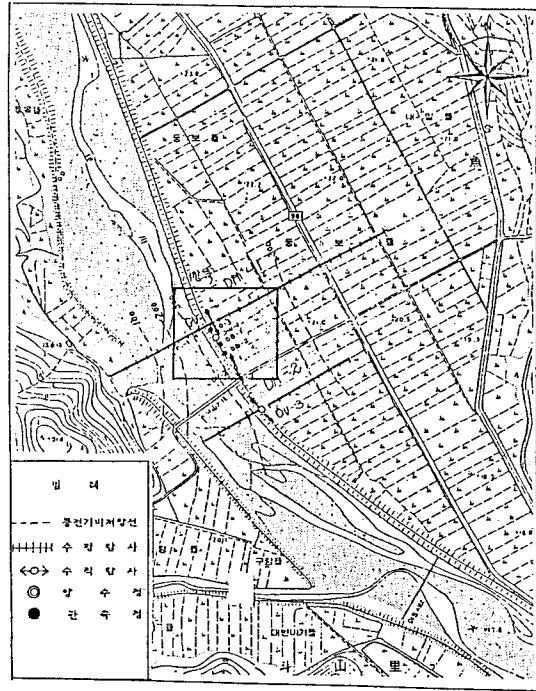


Fig. 1. Geological map of Daejong-Chun area, North of Kyungsang-Do.

Table 1. Results of electrical resistivity vertical exploration.

Hole No.	Depth (m)	Resistivity (Ωm)	Geology
DV-1	0.0~ 1.7	230	Field soil
	1.7~20.0	105	Alluvium and Weathered
	Below 20.0	400	Bed rock
DV-2	0.0~ 1.7	360	Field soil
	1.7~16.0	180	Alluvium and Weathered
	Below 16.0	885	Bed rock
DV-3	0.0~ 1.2	62	Field soil
	1.2~12.0	93	Alluvium
	12.0~21.0	56	Weathered
	Below 21.0	560	Bed rock

혼합된 층적층으로 구성되어 있으며, 모래는 중립 및 세립질로서 전체 구성물질의 35~40%를 점하고 있으며 자갈은 약 60% 정도를 차지한다. 자갈의 크기는 0.5~7 cm의 각질로서 분급이 불량하며, 시추굴진시 상당량의 누수현상이 발생할 정도로 투수성이 양호하다. 본 충적층의 심도는 21.4~22.2 m로서 평균 심도는 21.9 m이며, 이들 충적층은 하위의 아질라이트 (argillite) 층을 부정합적으로 피복하고 있고 하부 아질라이트는 상당히 파쇄되어 있다. 한편, 절리면은 산화철에 의해 피복되어 있고 절리가 잘

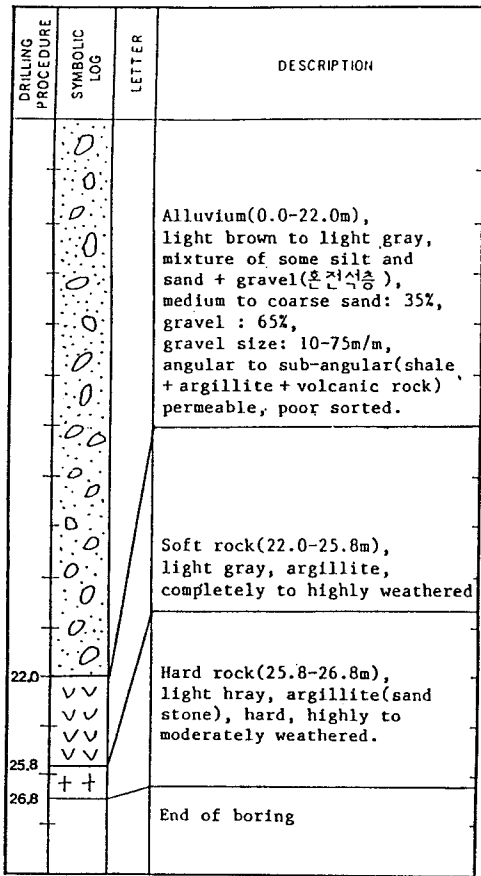


Fig. 2. Drilling log for pumping well (DW-1).

발달되어 있다.

각 공에 대한 시추 주상도는 Fig. 2와 3에 도시하였으며, 각 공에서 관측된 초기 지하수위 시추결과는 Table 2에 정리하였다. 시추 주상도를 살펴보면 지상으로부터 약 21.9 m까지는 충적층으로서 지하수가 함유된 층이며, 충적대수층의 포화두께는 약 19.8 m이다. 또한, Table 2에 나타난 바와같이 지하수위는 지상에서 평균 2.1m 깊이에 위치하고 있으므로 지하수면에서의 압력이 대기압과 같은 자유면대수층임을 알수 있다.

이론적 고찰

자유면대수층에 대한 양수시험을 실시할 경우, 측정되는 수위강하는 피압대수층에서 나타나는 수위강하와는 달리 중력배수에 의한 자연현상이 현저히 나타남을 볼 수 있다. 즉, 채수를 시작한 이래 초기에는 대수층의 탄성저류와

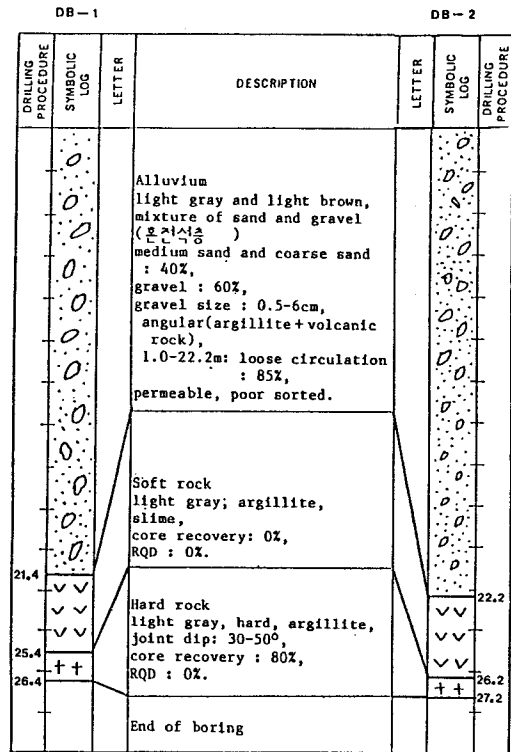


Fig. 3. Drilling log for observation wells (DB-1 and DB-2).

Table 2. Results of drilling log for pumping and observation wells.

Well	Depth (m)	Alluvium thickness (m)	Ground-water level (m)	Distance (m)	
Pumping Well	DW-1	26.80	22.0	2.10	0.1
Observation Well	DB-1	26.40	21.4	2.11	5.0
	DB-2	27.20	22.2	2.04	15.0
	DB-3	4.73		1.09	10.0
Average			21.9	2.08	

지하수의 팽창기능에 의해 피압대수층에서 나타나는 수위강하와 같은 형태를 보이다가, 일정시간이 경과하면 중력배수에 의한 자연현상으로 인해 마치 대수층이 안정화된 것처럼 수위강하가 거의 일어나지 않는다 (Neuman, 1979; Boulton, 1971, 1973). 그 이후 중력배수현상이 사라지게 되면 다시 피압대수층에서의 수위강하와 같은 형태를 보인다.

이러한 중력배수현상을 고려한 자유면대수층에서의 지하수 유동은 Neuman의 식으로 묘사되며 (Neuman, 1975), 이 유동방정식은 식 (1)의 2차 편미분방정식으로 나타나고

그에 따른 초기 및 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} + K_D \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} = -\frac{1}{\alpha_y} \frac{\partial s}{\partial t}, \quad 0 < z < b \quad (1)$$

$$s(r, z, 0) = 0 \quad (2)$$

$$s(\infty, z, t) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial s}{\partial z}(r, 0, t) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial s}{\partial z}(r, b, t) = -\frac{1}{\alpha_y} \frac{\partial s}{\partial t}(r, b, t) \quad (5)$$

$$\lim_{r \rightarrow 0} \int_0^b r \frac{\partial s}{\partial r} dz = -\frac{Q}{2\pi K_r} \quad (6)$$

위에서 식 (2)는 채수를 하기 전의 초기조건이며, 식 (3)-(6)은 경계조건으로서 식 (3)은 무한대수층을 의미하며, 식 (4)는 대수층 하부에 불투수층이 존재하고 있음을 묘사하는 것으로서 외부와의 유동이 완전차단된 상태를 나타내고 있고, 식 (5)는 중력배수현상에 의한 수위강하의 지연현상을 의미한다. 또한, 식 (6)은 채수정에서 일정을 Q 로 채수할 때의 정호에서의 경계조건이다. 식 (1)의 지하수 유동방정식은 매우 비선형하므로 Laplace와 Hankel 변환에 의해 선형화하여 이론해를 구하면 다음과 같이 대수층에서의 위치와 시간에 따른 평균 수위강하가 도출된다.

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} \int_0^\infty 4yJ_0(y\beta^{1/2}) [u_0(y) + \sum_{n=1}^\infty u_n(y)] dy \quad (7)$$

여기서,

$$u_0(y) = \frac{\{1 - \exp[-t_s \beta(y^2 - \gamma_0^2)]\} \tanh(\gamma_0)}{\{y^2 + (1 + \sigma)\gamma_0^2 - [(y^2 - \gamma_0^2)^2 / \sigma]\} \gamma_0}$$

$$u_n(y) = \frac{\{1 - \exp[-t_s \beta(y^2 + \gamma_n^2)]\} \tanh(\gamma_n)}{\{y^2 - (1 + \sigma)\gamma_n^2 - [(y^2 + \gamma_n^2)^2 / \sigma]\} \gamma_n}$$

여기서 γ_0 와 γ_n 은 다음 방정식의 근이다.

$$\sigma \gamma_0 \sinh(\gamma_0) - (y^2 - \gamma_0^2) \cosh(\gamma_0) = 0, \quad \gamma_0^2 < y^2$$

$$\sigma \gamma_n \sin(\gamma_n) + (y^2 + \gamma_n^2) \cos(\gamma_n) = 0, \quad (2n-1)(\pi/2) < \gamma_n < n\pi, \quad n \geq 1$$

위의 이론해는 계산이 매우 복잡하므로 본 연구에서는 Newton-Raphson 반복법을 이용한 해석적 모델을 개발하였으며, 이에 의해 산출되는 표준곡선들은 자유면대수층에서 중력배

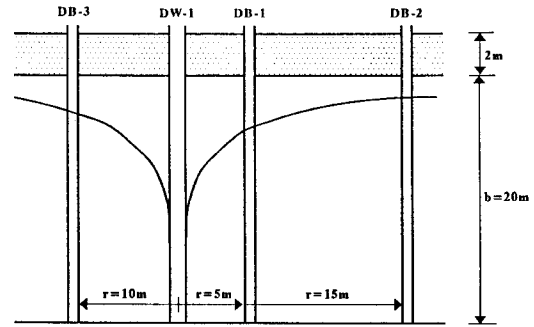


Fig. 4. Schematic diagram of pumping and observation wells.

수에 의한 지연현상이 고려된 수위강하를 묘사한다 (Walton, 1976; Rolfes, 1980).

결과 및 분석

본 연구에서 활용한 현장자료는 1991년 5월부터 1991년 9월까지 실시한 대종천 유역에서의 전기탐사와 검층자료 및 양수시험자료이다. 전기탐사를 통하여 양수정과 관측정의 위치를 선정하였으며, 그 위치는 Fig. 4에 묘사된 바와같이 1개의 양수정과 2개의 관측정을 시추하였고 1개의 기존정은 관측정으로 사용하였다. 양수정은 직경 0.2 m로 대수층을 완전관통케 하였으며 하루 평균 700 m³로 지하수를 채수하였다. 그 결과 대수층에서 발생한 수위강하를, 양수정 (DW-1)으로부터 5 m 떨어진 곳에 위치한 DB-1 관측정, 15 m 거리에 위치한 DB-2 관측정과 10 m 거리에 위치한 DB-3의 기존정에서 관측하였으며 그 자료는 Table 3에 정리하였다. Fig. 5는 양수정 및 각 관측정에서 기록된 시간에 따른 실제수위강하자료를 나타낸 것으로서, 자유면대수층에서 전형적으로 볼 수 있는 수위강하의 형태와 같음을 알 수 있다. 양수시험결과 기록된 자료는 식 (7)의 이론해에 기초한 Neuman의 표준곡선을 이용하여 표준곡선 중첩법과 semi-log 직선법에 의해 해석을 시도하였다.

표준곡선 중첩법에 의한 해석

표준곡선 중첩법에 의한 자료해석은 자유면대수층에서의 수위강하를 묘사하는 Neuman의 표준곡선과 각 관측정에서 기록된 시간에 따른 실제수위강하자료를 사용하여 시행하였다 (Neuman, 1975; Gringarten, 1987). 이의 해

Table 3. Pumping test data for the constant pumping rate of 700 m³/day (0.487 m³/min) at pumping well DW-1.

Elapsed Time (min)	Drawdown (m)			
	DW-1 r=0.1 m	DB-1 r=5 m	DB-2 r=15 m	DB-3 r=10 m
S.W.L. (BGL)	2.100	2.110	2.040	1.09
1	0.080			
2	0.080	0.025		0.020
3	0.080	0.025	0.025	
4	0.080	0.025		
5	0.080	0.035		
7	0.080	0.035	0.035	
10	0.080	0.035		0.048
20	0.082	0.035		
30	0.084	0.035		
40	0.085	0.041	0.040	0.050
60	0.090	0.045	0.043	0.050
80	0.100	0.050	0.045	0.053
100	0.110	0.060	0.050	0.060
160	0.120	0.070	0.065	0.070
200	0.125	0.080	0.080	0.080
250	0.135	0.085	0.085	0.085
300	0.145	0.100	0.100	0.095
350	0.155	0.120	0.105	0.105
400	0.165	0.125	0.115	0.120
460	0.175	0.135	0.128	0.132
540	0.187	0.153	0.140	0.145
570	0.189	0.153	0.142	0.145

석법은 Fig. 6과 Fig. 7에서 보여 주듯이 실제양수시험자료를 log-log 그래프 용지에 도시하여 초기시간대의 A-type과 후기시간대의 B-type 표준곡선에 각각 중첩시킴으로써 그 결과 얻은 중첩좌표를 이용하여 수리성을 결정하게 된다.

양수정에서 15 m 거리에 위치한 DB-2 관측정에서 기록된 자료는 Fig. 6에서 보는 바와같으며, A-type과 B-type의 표준곡선에 중첩시킨 결과, 지연지수 β 가 0.2일때 A-type 표준곡선을 이용하여 얻은 중첩좌표 s^* , s_D^* , t^* , t_s^* 는 각각 0.05 m, 0.9, 10000 sec, 40이고, B-type 표준곡선과의 중첩결과 얻은 중첩좌표 s^* , s_D^* , t^* , t_s^* 는 각각 0.03 m, 1.0, 2000 sec, 0.7로 나타났다. 또한, 양수정에서 10 m 떨어진 곳에 위치한 관측정 DB-3에서 기록된 자료를 표준곡선에 중첩시킨 결과 (Fig. 7 참조), 지연지수 β 가 0.1 일때 중첩이 가장 잘 이루어졌으며 초기시간대의 곡선을 이용하여 얻은 중첩좌표 s^* , s_D^* , t^* , t_s^* 는 각각 0.03 m, 1.0, 8000 sec, 50이며, 후기시간대의 곡선과의 중첩결과 얻은 중첩좌표 s^* , s_D^* , t^* , t_s^* 는 각각 0.03 m, 1.0, 900 sec, 0.5로 나타났다. 이상의 중첩결과를 Table 4의 정리된 식에

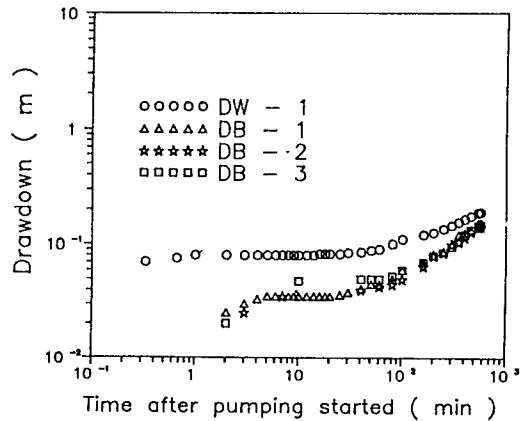


Fig. 5. Actual drawdown data in Daejong-Chun area.

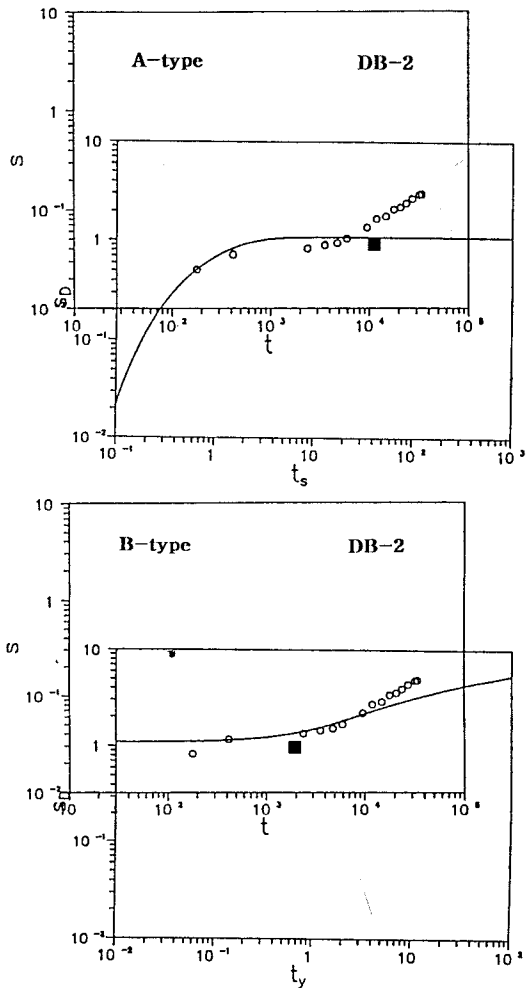


Fig. 6. Type curve matches with actual drawdown data observed at DB-2 observation well.

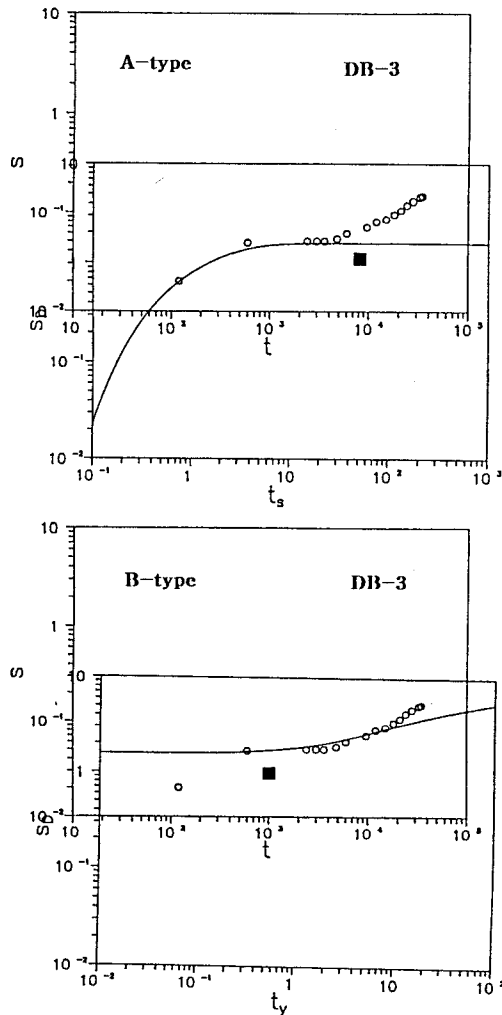


Fig. 7. Type curve matches with actual drawdown data observed at DB-3 observation well.

대입하여 투수량 계수 (T), 저류계수 (S), 비산출율 (S_y) 및 수직, 수평 투수도 (K_v, K_H) 등의 수리성을 결정하였으며 그 결과들은 Table 4에 정리하였다.

Semi-log 직선법에 의한 해석

Semi-log 직선법을 이용한 자료해석은 첫번째로 양수 시험에 의해 측정된 시간에 따른 실제수위강하자료를 semi-log 용지에 도시하여 초기 및 후기시간에 대한 수위강하가 가장 적절한 직선을 이루는 부분을 결정한다. 결정된 직선상에서 x-축의 1 log cycle에 대한 y-축 변수 즉 수위강하의 변화 ΔS_E (초기시간)와 ΔS_L (후기시간)을

Table 4. Results of estimated hydraulic properties by the analysis of type curve matching technique.

WELL	T(m ² /hr)	S _y	β	K _H (m/hr)	K _v (m/hr)	S _s
DB-2	70.0	0.269	0.2	3.70	1.30	0.001
DB-3	77.0	0.380	0.1	3.85	1.54	0.002

Estimations:

$$T = \frac{1}{4\pi} \cdot \left(\frac{Q \cdot s_y^*}{s^*} \right), \quad S_y = \left(\frac{T \cdot t^*}{r^2 \cdot t_y^*} \right)$$

$$S = \left(\frac{T \cdot t^*}{r^2 \cdot t_s^*} \right), \quad S_s = \frac{S}{b}$$

$$K_H = \frac{T}{b}, \quad K_v = K_H \cdot \frac{(\beta \cdot b^2)}{r^2}$$

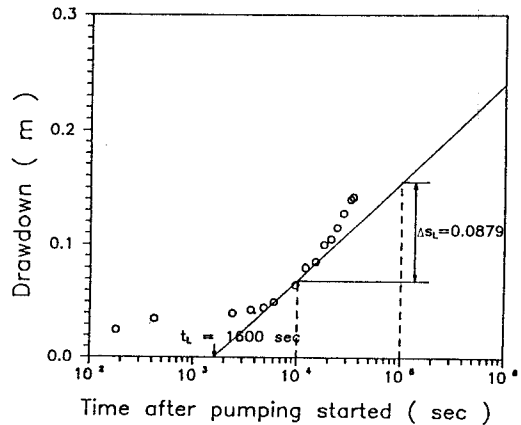


Fig. 8. Analysis of pumping test data by using semi-log straight line method (DB-2).

구하고, 이 직선을 수위강하가 0일때에 연장하여 얻어진 교차점 즉 x-축과 직선이 교차하는 점 t_E (초기시간)와 t_L (후기시간)을 구함으로써 이 변수들을 활용하여 대수층의 수리성을 결정하게 된다.

양수정 DW-1과 관측정 DB-1에서 측정된 양수시험자료가 충분하지 못한 관계로 해석을 실시하지 않았으며, DB-2와 DB-3 관측정에서 기록된 자료에 대해서만 시도 하였다. DB-2 관측정에서 기록된 시간에 따른 수위강하의 양수시험자료를 semi-log 용지에 도시하면 Fig.8에서 보는바와 같다. 여기서 초기시간대에 해당하는 수위강하의 자료는 측정된 기록이 부족하여 직선을 형성하는데 신뢰도가 떨어지므로 해석결과가 무의미 할 것으로 판정되어 해석수행에서 제외하였다. 한편, 그림에서 후기시간대에 해당하는 수위강하자료 중에서도 기울기가 보다 증가되는

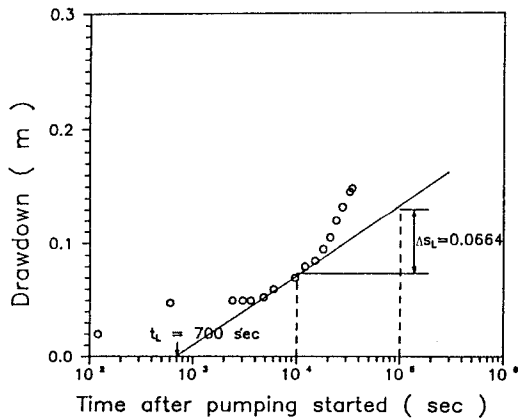


Fig. 9. Analysis of pumping test data by using semi-log straight line method (DB-3).

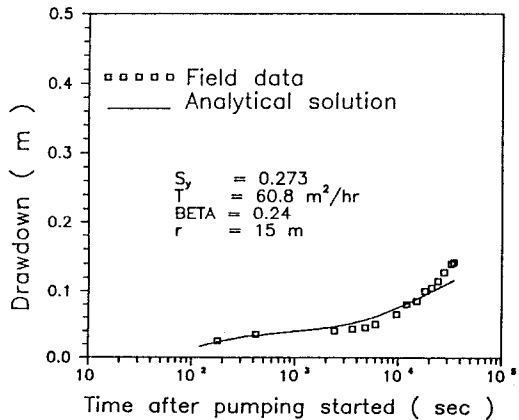


Fig. 10. Validation of the hydraulic properties estimated by semi-log straight line method against analytical solution (DB-2).

Table 5. Results of estimated hydraulic properties by the analysis of semi-log straight line method.

WELL	T(m ² /hr)	S _y	β	K _H (m/hr)	K _V (m/hr)	S _s
DB-2	60.8	0.273	0.24	3.04	1.30	0.00079
DB-3	80.0	0.370	0.08	4.00	1.28	0.00150

Estimations:

$$T = \frac{1}{4\pi} \cdot \left(\frac{Q}{\Delta s} \right), \quad S_y = (2.246) \cdot \left(\frac{T \cdot t_L}{r^2} \right)$$

$$S = (2.246) \cdot \left(\frac{T \cdot t_E}{r^2} \right), \quad S_s = \frac{S}{b}$$

$$K_H = \frac{T}{b}, \quad K_V = K_H \cdot \left(\frac{\beta \cdot b^2}{r^2} \right)$$

것으로 여겨지는 자료는 boundary effect 또는 단층 등과 같이 지하수의 유동을 저해하는 요인에 의한 것으로 사료된다. 따라서 본 해석에서는 이러한 부분을 제외하고 가장 적절한 직선을 형성하였으며 그 결과 Δs_L 은 0.0879 m/cycle이고 t_L 은 1600 sec인 것으로 나타났다. 마찬가지로 방법으로 DB-3 관측점에서 측정된 자료 역시 Fig. 9에 묘사된 바와같으며 그 결과는 Δs_L 이 0.0664 m/cycle, t_L 은 700 sec임을 알 수 있다. 이상에서 결정된 변수들을 Table 5에 정리된 관계식에 대입하여 수리성을 계산하였으며 그 결과 또한 Table 5에 정리하였다.

이상과 같이 두가지 해석기법에 의한 해석결과 산출된 자료를 살펴보면, 먼저 두 관측점 DB-2, DB-3에서의 투수량 계수의 차이는 Fig. 1의 지형도에서 보는 바와같이 하천과 지하수의 흐름이 DB-3에서 DB-2 방향으로 흐르기 때문에 예상대로 DB-3에서 관측된 투수량 계수가 DB-2

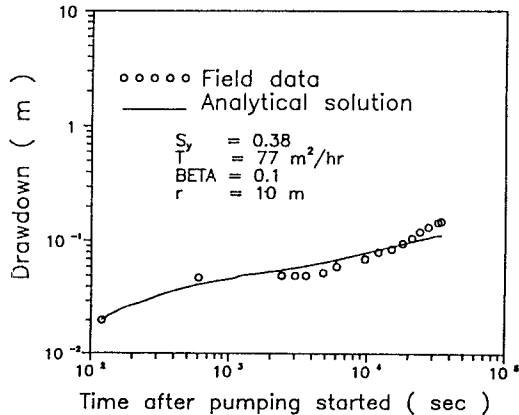


Fig. 11. Validation of the hydraulic properties estimated by type curve matching technique against analytical solution (DB-3).

보다 더 큰 값을 보임을 알 수 있다. 한편, 수평 수리전도도 (K_H)는 수직 수리전도도 (K_V)에 비해 표준곡선 중첩법에 의한 결과 (Table 4)나 semi-log 직선법에 의한 결과 (Table 5) 모두 대수층 전체평균 약 2.7배 정도 크게 나타난 것으로 보아 대중천유역의 자유면대수층은 수직 투수성이 매우 양호하여 중력배수에 의한 지연현상이 비교적 빨리 사라질 것으로 판단된다. 또한 표준곡선 중첩법에 의한 분석결과, 지연지수 β 는 반경의 제곱에 비례하므로, Table 4에서 보는 바와같이 DB-2에서 관측된 자료에 의한 해석결과가 0.2일때 DB-3에서는 0.08이 되어야 하나 0.1로 계산되었다. 그러나 정호의 부분관통과 대수층의 불균질성 및 표준곡선의 지연지수 β 에 대한 자료의 민감성을 감안

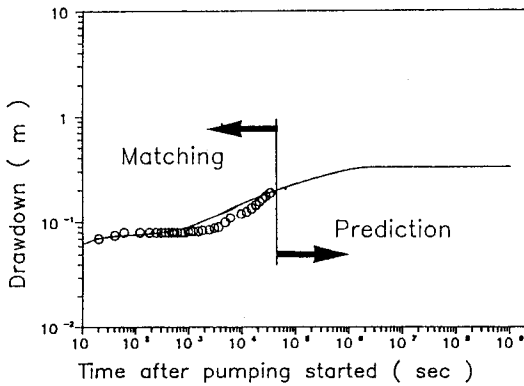


Fig. 12. History matches and prediction at the pumping well with constant pumping rate of 700 m³/day.

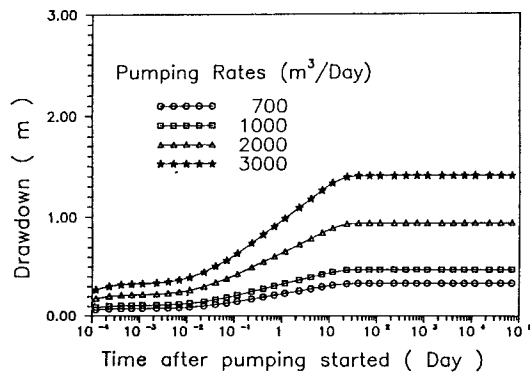


Fig. 13. 30-year prediction of drawdown for various pumping rates at pumping well.

하면 양호한 측정치인 것으로 사료되며, 앞으로 수위강하 미분법에 의한 표준곡선을 이용할 경우 민감성에 대한 문제점은 보다 개선될 것이다.

수리성의 타당성 검토 및 수위강하 예측

상기에서 분석된 수리성의 타당성을 검토하기 위해, Neuman의 이론해를 프로그램화한 해석적 모델에 분석된 수리성을 적용하여 이론적 수위강하를 역산하고 이를 관측점 DB-2와 DB-3에서 측정된 실제수위강하자료와 비교하였다 (Fig. 10과 11 참조). 그림에서 볼 수 있듯이 두 경우 모두 양수를 시작한 이후 수위강하의 영향권이 경계면에 도달하기 전까지는 비교적 잘 일치하였으며, 그 이후 경계면에 의한 영향으로 이론적인 수위강하와 편차가 형성됨을 보여주고 있다.

표준곡선 중첩법과 semi-log 직선법에 의해 결정되고

이들의 타당성이 검토되어 평가된 대수층의 수리적 특성을 기초로, 해석적 모델을 활용하여 9시간동안의 실제현장자료와 중첩을 시도하였고, 그 결과 수정된 대수층의 특성을 이용하여 향후 30년간 본 대상지역에 대한 수위강하의 예측을 시도하였다. History matching 결과 수정된 수리성을 활용하여, 일산 700 m³로 향후 30년간 채수할 경우 양수정에서의 수위강하를 예측하였다 (Fig. 12 참조). 또한, 채수량은 여러가지 현장설비 여건에 따라 달라지게되며 이에따라 지하수위가 다르게 나타나므로 본 연구에서는 채수량을 하루평균 700, 1000, 2000, 3000 m³로 30년간 채수할 때의 지하수위의 변화를 예측하였으며 그 결과는 Fig. 13에 도시한 바와 같다. 그림에서 보는 바와같이, 대종천유역에서 필요로 하는 물의 양 즉 하루평균 양수량 3,000 m³로 30년간 채수했을 때 지하수위가 1.41 m 정도로 안정적인 수위를 보여주고 있으며, 이로서 30년 이후에도 이 지역의 자유면 대수층으로부터 안정적으로 물을 공급할 수 있음을 확인하였다.

결 언

본 연구에서는 대종천 유역에서 실시한 양수시험에 의한 실제수위강하자료의 분석을 통하여 대수층의 수리성을 결정하고 이 지역에 대한 장기지하수위의 예측을 수행하였다. 지질조사와 시추자료 분석 결과 대종천유역의 대수층은 자유면대수층임을 확인하였으며, 양수시험자료 분석 및 수위강하 예측결과에 의해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 대종천 유역에 대한 전기비저항탐사 및 시추결과, 이 지역의 지질적특성은 투수성이 매우 양호한 충적층으로 구성되어 있으며, 총적대수층의 포화두께는 약 19.8 m인 자유면대수층임이 확인되었다.
2. 양수시험에서 측정된 수위강하자료를 표준곡선중첩법과 semi-log 직선법에 의한 해석결과, 이 지역 대수층의 평균 투수량계수는 72 m²/hour이고 평균 비산출율은 32.3 %로 나타났다. 한편, 평균 수평투수도와 수직투수도의 비는 약 2.7 정도로서 수직방향의 투수성이 비교적 양호한 편이므로 이 지역의 자유면대수층에서는 중력배수에 의한 지연효과의 정도가 크지 않음을 알 수 있다.
3. 분석된 수리성의 타당성여부를 검토하기 위해 그 결과들을 Neumann의 이론해에 적용하여 수위강하를 역산한 결과 부합이 잘 이루어졌음을 확인하므로써 타당성이 입증되었다. 또한 분석된 특성을 본 연구에서 개발된 해

석적모델에 활용하여 history matching을 통해 궁극적으로는 향후 30년간의 지하수위강하를 예측하였다. 그 결과 이 지역에서 필요로하는 양 즉, 하루 평균 채수율 3,000 m³로 하였을 때 30년후에 나타난 수위강하는 1.41 m로서 30년후에도 안정적으로 공급이 가능함을 알 수 있다.

부 호

- b Initial saturated thickness of aquifer
- Jo Zero-order Bessel function of the first kind
- K_H Horizontal permeability
- K_V Vertical permeability
- K_D Dimensionless permeability = K_V/K_H
- Q Pumping rate
- r Radial distance from pumping well
- s Drawdowns
- s_D 4π_s/Q
- S Storage coefficient
- S_s Specific (elastic) storage
- S_y Specific yield
- t Pumping time
- t_s Tt/Sr²
- t_y Tt/S_yr²
- T Transmissivity
- z Vertical distance from the bottom of aquifer
- σ S/S_y
- β K_D r²/b²
- α_y K_H/S_y

참고문헌

한서엔지니어링(주) (1991) 월성 원자력 발전소 용수원조사 및 지질조사 보고서.

Boulton, N. S. (1970) Analysis of data from pumping tests in unconfined anisotropic aquifers. *Journal of Hydrology*, no. 10, p. 369-378.

Boulton, N. S. (1971) An extended theory of delayed yield from storage applied to pumping tests in unconfined anisotropic aquifers. *Journal of Hydrology*, no. 14, p. 53-65.

Boulton, N. S. (1973) The influence of delayed drainage on data from pumping tests in unconfined aquifers. *Journal of Hydrology*, no. 19, p. 157-169.

Fetter, C. W. (1988) *Applied Hydrogeology*. Merrill Pub. Company, 2nd Ed.

Gringarten, A. C. (1987) Type-curve analysis: What it can and cannot do. *JPT*, p. 11-13.

Kashef, A. A. (1986) *Groundwater Engineering*. McGraw-Hill International Ed.

Neuman, S. P. (1972) Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of water table. *Water Resour. Res.*, v. 8, p. 1031-1045.

Neuman, S. P. (1973) Supplementary comments on 'Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of water table'. *Water Resour. Res.*, v. 9, p. 1102-1103.

Neuman, S. P. (1975) Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resour. Res.*, v. 11, p. 329-342.

Neuman, S. P. (1979) Perspective on "Delayed Yield". *Water Resour. Res.*, v. 15, p. 899-908.

Rolfes, L. (1980) A numerical method for calculation of the average drawdown in a fully penetrating observation well in an unconfined aquifer. *Water Resour. Res.*, v. 16, p. 887-890.

Streltsova, T. D. (1974) Drawdown in compressible unconfined aquifer. *Hydraulics Division of ASCE*, v. 100, no. HY 11, p. 1601-1616.

Todd, D. K. (1980) *Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons, 2nd Ed.

Walton, W. C. (1970) *Groundwater Resource Evaluation*. McGraw-Hill International Ed.

Walton, W. C. (1976) Needed digital computer techniques for aquifer test analysis. *Ground Water*, v. 14, p. 2-5.

1993년 8월 10일 원고접수

한정상 (1983) 지하수학 개론. 박영사.