

군정 시스템의 취수량 평가

박남식^{1*} · 김성윤² · 김부길³ · 김일룡⁴

¹동아대학교 토목공학부, ²한국수자원공사 수자원연구원

³동서대학교 토목공학과, ⁴한성개발공사

Evaluation of Pumping Rates for Multiple-Well Systems

Nam-Sik Park^{1*}, Sung-Yun Kim², Boo-Gil Kim³, and Il-Ryong Kim⁴

¹School of Civil Engineering, Dong-A University

²Korea Institute of Water and Environment, KWater

³Department of Civil Engineering, Dong-Seo University

⁴Han-Sung Engineering & Consulting Co. Ltd.

취수펌프 운전 조건에 따라 변화하는 군정시스템의 취수량을 종합적으로 평가할 수 있는 방법을 개발하였다. 주어진 상황에서 개별 관정의 취수량에 영향을 미치는 인자는 자연수위와 관말 사이의 표고차이로 주어지는 정적양정과 지하수 강하량, 관로 마찰손실 등으로 구성되는 동적양정, 그리고 취수 펌프의 성능이다. 동적 양정과 펌프의 성능은 취수펌프 가동 대수와 가동 패턴에 따라 변하는 취수량의 함수이다. 군정 운영 시 실제 취수량은 군정 시스템의 전 양정과 펌프 성능곡선이 교차하는 점에서 결정된다. Newton-Raphson 반복법을 이용하여 복수 관정의 취수량에 대한 비선형연립방정식을 처리하였다. 가상 군정 시스템에 대한 적용을 통하여 시스템 설계 시와 운영 시에 취수량 분포에 미치는 영향을 분석하였다.

주요어 : 군정, 펌프 특성, 양정, 시스템 저항, 취수량 평가

We have developed a method to evaluate pumping rates from a system of pumping-well family. For a given system actual pumping rates depend on pump characteristics and the sum of the static head and the dynamic head. The static head is the elevation difference between the natural groundwater level and the outlet of the pipeline that connects all the wells. Major components of the dynamic head are groundwater drawdown in the well and pipeline head loss. The dynamic head and the pump characteristics depend on the pumping rates. Actual pumping rates are determined at the intersections of the system total-head curves and the pump characteristic curves. The Newton-Raphson's method is used to solve the nonlinear simultaneous equations. The method is applied to a hypothetical well family. Impacts of various design and operational parameters on the pumping rates are analyzed.

Key words : family of wells, pump characteristics, system resistance, pumping rates

서 론

강변여과수는 하천 인근에 수직정이나 수평 집수정 등을 설치하여 하천 표류수를 지중으로 유도하여 취수하는 방식으로 표류수가 총적층을 통과하면서 여과되는 이점을 가지고 있다. 이장우(2002), 이해승(2000), 정동양(1997) 등은 강변 여과수 취수방안에 대한 연구를 수

행하였다. 강변 여과의 수질 개선효과로는 탁도, 미생물 및 흡착성 오염물 제거와 일정 수온유지 등이 있으나(한국수자원공사, 2007) 일반적으로 철 또는 망간 농도가 높아지는 것으로 알려져 있다. 공인철 등(1998)은 무기질소의 영향에 대한 연구를 수행하였다. 국내의 강변 여과수 개발 현황은 경상남도 창원시를 포함하여 5개 지자체에서 강변여과수를 이용하는 것으로 알려져 있다

*Corresponding author: nspark@dau.ac.kr

(한국수자원공사, 2007). 해외에서는 독일 등에서도 활발하게 이용되고 있다 (창원시 2003).

많은 경우 지하수 관정 개발 시에는 대수층 특성에 대한 지하수 개발가능량 평가가 이루어진 후 개발가능량을 공급할 수 있는 사양의 취수펌프를 선정한다. 그러면 실제 취수량은 설치된 펌프의 특성과 시스템 저항으로 결정된다. 펌프특성은 유량과 양정 관계로 나타나며, 시스템 저항은 정적 양정(자연수위와 토출관말의 표고 차이)과 동적 양정(관정내 지하수위 강하량, 관로 에너지손실 등)으로 구성된다(Fig. 1). 그러면 관정의 실제 취수량은 펌프 특성곡선과 시스템 저항곡선이 교차하는 지점에서 결정된다(Fig. 2). 단일 관정의 경우 일반적으로 토출관의 길이가 그다지 길지 않기 때문에 관로 손실은 무시될 수 있으며 관로내 수위 강하량도 거의 일정하므로 실제 취수량도 거의 일정한 것으로 고려할 수 있다. 그러나 강변 여과수 개발 등에서 볼 수 있는 균

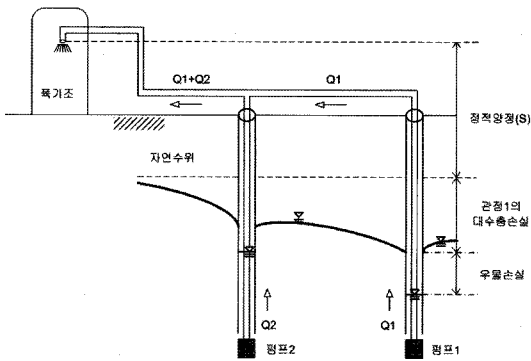


Fig. 1. Static head and major components of dynamic head for a pump of a groundwater well.

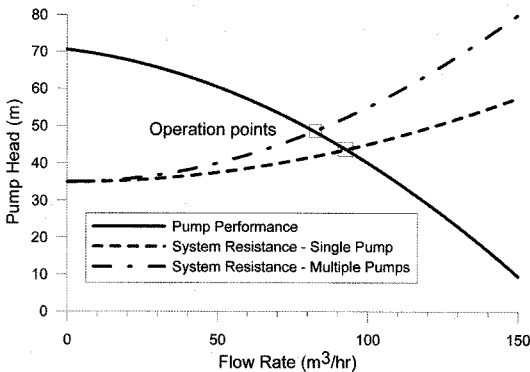


Fig. 2. Pump characteristic (performance) curve and system-resistance curves from pumping from different number of wells.

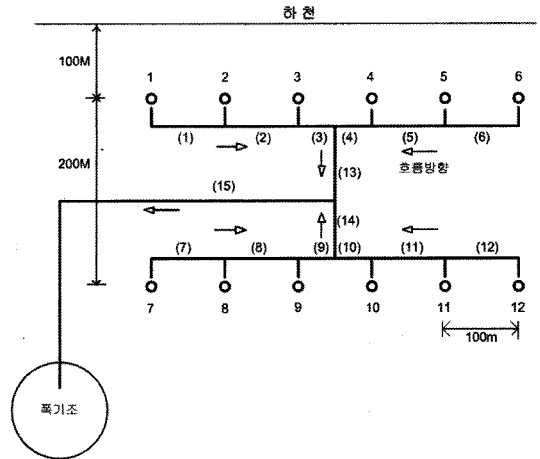


Fig. 3. Twelve pumping-well and fifteen pipe-segment system.

정(Fig. 3)의 경우에는 토출관들이 상호 연결되어 있어 관로 연장이 상당하고 관정간의 상호 간섭이 발생한다. 이러한 경우에는 운전 조건에 따라 관로 마찰손실과 관정 내 수위강하량 등이 시스템 운전 조건에 따라 크게 변할 수 있으며 따라서 취수량 역시 변화한다. 따라서 취수량을 평가하기 위해서는 펌프, 관로 그리고 지하수 등의 분야에 대하여 함께 고려되어야하는데 현실에서는 분야별로 별도로 평가되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 대수층 손실, 우물 손실, 정적양정 그리고 관로 손실을 종합적으로 고려하여 펌프의 취수량을 평가하는 방법을 제시하고 가상의 균정에 대한 적용결과를 제시한다.

펌프 특성 곡선

번째 지하수 관정의 취수 펌프의 취수량과 양정 사이의 관계로 정의되는 펌프 특성곡선은 보편적으로 다음과 같은 2차 다항식으로 나타낼 수 있다 (Fig. 2, 실선).

$$P_i = P_2 Q_i^2 + P_1 Q_i + P_0 \quad (1)$$

여기서 P_i 는 펌프 양정, P_2 , P_1 , P_0 는 펌프 실험을 통하여 산정되는 계수이며, Q_i 는 관정 i 의 취수량이다.

시스템 저항

취수 펌프가 극복해야하는 시스템 저항은 정적 양정과 동적 양정의 두 요소로 구분할 수 있다. 정적 양정은 시스템 가동 조건에 관계없이 일정한 값을 유지하는

표고차를 의미하며 여기서는 관정 운영 이전의 자연수위와 시스템 관말의 토출부 사이의 표고 차이(S, Fig. 1)로 정의된다. 동적 양정(D)은 시스템 가동 조건에 따라 값이 변하는 양정을 의미하며, 관정 취수펌프 가동 시에 스크린 저항으로 인한 우물 손실(h_w), 대수층에서 발생하는 대수층 수두 손실(수위 강하, h_A) 그리고 관로에서 발생하는 마찰 손실(h), 그리고 관말 조건에 따른 양정(h_L)으로 구성된다. 그러므로 동적 양정은 취수 펌프의 가동 패턴과 취수량에 따라 양정이 변한다. 동적 양정은 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$D = h_w + h_A + h + h_L \quad (2)$$

동적 양정을 구성하는 요소들과 취수량 사이의 관계는 다음과 같다.

대수층 수위강하량

대수층 손실은 대수층이 피압(confined)이나 비피압(unconfined)이나에 따라 지배식이 다르다. 강변 여과수 군정의 경우 대부분 비피압 대수층에서 취수한다. 그러나 관정에서 약간 떨어지면 수위 강하량이 현격히 감소하므로 피압대수층의 식을 사용해도 무방하다(Bear, 1979). 본 연구에서는 피압대수층의 수위강하식을 사용하였다.

균질(homogeneous) 대수층의 관정에서 동일한 양의 취수가 지속되면 수위 강하 분포는 정상상태(steady state)에 도달한다. 정상상태의(피압) 대수층 손실은 관정으로 부터의 거리에 따라 감소하며 기본적으로 다음과 같은 log함수로 나타난다.

$$h_A = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad (3)$$

여기서 h_A 는 수위강하량, Q 는 취수량, T 는 투수량계수, R 은 관정의 영향 반경(radius of influence), 그리고 r 은 관정과 수위강하를 계산하는 지점 사이의 거리이다.

실질적으로 취수정 주변의 지하수흐름은 펌프가동패턴의 변화, 하천 수위 변화, 지하수 흐름 경계조건의 변화 등으로 엄밀한 의미에서 정상상태에 도달하지 않는다. 그러나 정상상태의 수위강하량은 최대이며 이의 사용은 보수적이라 할 수 있다.

인근에 하천이 존재하는 경우에는 중첩의 원리(principle of superposition)을 이용하여 수위 강하량 분포를 구할 수 있다. 하천의 수위를 일정하다고 가정하면

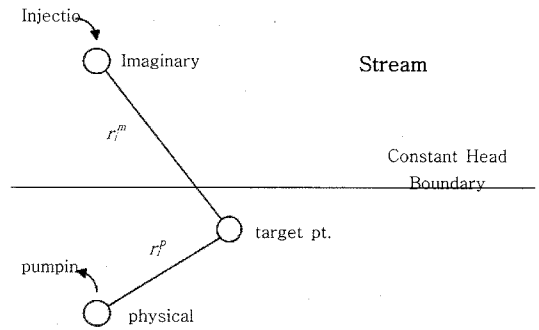


Fig. 4. Treatment of constant-head stream boundary.

하천 경계조건은 가상 관정(mirror well)으로 만족될 수 있다(Fig. 4). 인근에 하천이 있는 지역에서 개의 관정이 가동되는 경우 임의의 지점에 대한 수위강하량 식은 다음 식으로 주어진다.

$$h_A = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{2\pi T} \ln \frac{r_i^m}{r_i^p} \quad (4)$$

여기서 위첨자 p 와 m 은 각각 실제관정과 가상관정을 의미한다.

우물 손실

지하수 방정식 유도에 기반이 되는 Darcy의 법칙은 흐름이 층류라는 가정에 기반한다. 그런데 관정 주변에서는 유속이 빨라져 흐름이 난류가 된다. 난류에서는 Darcy의 법칙이 적용되지 않으며 이로 인하여 관정 주변에서 추가 수위강하가 발생한다. 추가 수위강하량은 우물 손실(Well Loss)라 불리며 일반적으로 다음과 같이 취수량의 비선형식으로 표현된다.

$$h_w = CQ^n \quad (5)$$

여기서 C 는 계수이며 n 은 지수로 1보다 크며, 난류 마찰손실을 나타내는 Darcy-Weisbach식에 의하면 2의 값을 가진다.

그러면 취수정 내의 수위강하량은 다음과 같다.

$$h_{A_i} = C_i Q_i^n + \sum_{j=1}^N \frac{Q_j}{2\pi T} \ln \frac{r_j^m}{r_j^p} \quad (6)$$

여기서 r_j 는 취수정 i 와 취수정 j 사이의 거리이며 $j=i$ 인 경우에는 관정의 반경을 사용한다.

도수관로 수두손실

취수정을 연결하는 도수관로의 마찰손실은 유량의 합

수이다. 마찰손실은 통상 Hazen-Williams식 또는 Darcy-Weisbach으로 산정된다. 여기서는 Darcy-Weisbach식을 이용하였다. 유량이 일정한 단일 관로에서의 마찰손실은 다음 식으로 표현된다.

$$h = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (7)$$

여기서 h 는 마찰수두손실, f 는 관로의 마찰손실계수, L 은 길이, D 는 관경, 그리고 Q 는 유량, 그리고 A 는 관로의 단면적이다. Darcy-Weisbach 식의 마찰계수 f 와 Hazen-William 식의 계수 사이의 관계식은 다음과 같다 (이길영 등, 2002).

$$f = \frac{98.78}{C_{HW}^{1.85} d^{0.167} V^{0.15}} \quad (8)$$

상기 식에서 사용된 길이와 시간의 단위는 m 와 s 이다. 복수의 취수정이 속한 균정에서는 취수 펌프 가동 패턴에 따라 취수정들을 연결하는 관로의 유량이 변화한다. 취수정을 연결하는 수지상 관망(branched network)의 i 번째 관로의 수두 손실 공식은 다음과 같다.

$$h_i = \sum_{j=1}^N \left[f_j \frac{L_j}{d_j} \frac{1}{2gA_j^2} \left(\sum_{k=1}^j Q_k \right)^2 \right] \quad (9)$$

여기서 f_j , L_j , d_j 그리고 A_j 는 각 각 도수관로 j 의 마찰손실 계수, 길이, 직경, Q_k 는 관정 k 의 양수량이다.

토출관로의 속도수두

관망의 최 하류 지점의 상태는 개별 시스템에 따라 상이하므로 현장 특성에 적합한 경계조건을 적용해야한다. 예를 들어 관말에 폭기조가 설치되어 있는 경우에는 효과적인 공기 혼입을 위하여 충분한 유속으로 물을 분사하여야 한다. 이 경우에는 관말의 속도수두도 중요하므로 고려되어야한다. 관말의 속도수두는 다음 식으로 계산된다.

$$h_L = \frac{Q_L^2}{2gA_L^2} \quad (10)$$

여기서 A_L 은 관말 노즐의 단면적이며

$$Q_L = \left(\sum_{j=1}^N Q_j \right)^2 \quad (11)$$

그러면 관정 i 의 취수 펌프가 제공해야하는 전 양정은 동적양정(S)을 구성하는 모든 요소와 정적양정(S) 의

합으로 구해지며 다음과 같다.

$$S_i + D_i = S_i + \sum_{j=1}^N \left[f_j \frac{L_j}{d_j} \frac{1}{2gA_j^2} \left(\sum_{k=1}^j Q_k \right)^2 \right] + \sum_{j=1}^N \frac{Q_j}{2\pi T} \ln \frac{r_j^m}{r_j^p} + cQ_i^2 + \frac{Q_L^2}{2gA_L^2} \quad (12)$$

취수량 평가

관정에서 취수펌프를 가동하면 개별 관정의 취수량은 해당 취수펌프와 관말 지점 사이에서 발생하는 시스템 저항과 해당 취수펌프의 성능 곡선이 교차하는 점에서 결정된다. 즉, $P_i = S_i + D_i$ 를 만족하는 유량과 양정이 펌프의 운전점이 된다. 상기 관계는 유량에 대한 비선형 식이므로 해를 구하기 위해서는 반복법을 사용해야한다. Newton-Raphson 방법(Press 등, 1992)은 효율적인 반복 법이며 제차 비선형식을 사용한다.

$$r_i = S_i + D_i - P_i \quad (13)$$

$$= S_i + \sum_{j=1}^N \left[f_j \frac{L_j}{d_j} \frac{1}{2gA_j^2} \left(\sum_{k=1}^j Q_k \right)^2 \right] + \sum_{j=1}^N \frac{Q_j}{2\pi T} \ln \frac{r_j^m}{r_j^p} + cQ_i^2 + \frac{Q_L^2}{2gA_L^2} - (P_2 Q_i^2 + P_1 Q_i + P_0) = 0,$$

$i = 1, N$

여기서 반복 과정 중의 취수량 벡터가 위 식을 만족시키지 못하면 우변은 잔차 (residual)가 된다. Newton-Raphson 방법의 반복 계산식은 다음과 같다.

$$Q_i^{(k+1)} = Q_i^{(k)} - \frac{\partial r_i^{(k)}}{\partial Q_m} \frac{r_m^{(k)}}{r_m^{(k)}} \quad (14)$$

여기서 위 첨자(k)와 ($k+1$)은 반복 순번을 나타낸다. 반복과정의 해는 오차가 사전에 지정한 허용 범위에 들면 수렴되었다고 판단한다. 잔차에 대한 Jacobian은 다음과 같다.

$$\frac{\partial r_i}{\partial Q_m} = \frac{\partial h_i}{\partial Q_m} + \sum_{j=1}^N \frac{1}{2\pi T} \ln \frac{r_j^m}{r_j^p} + \frac{Q_L}{gA_L^2} - [2(P_2 - C)Q_i + P_1] \delta_{im} \quad (15)$$

여기서 δ_{im} 은 Kronecker delta 함수이며 관로에서 발생하는 수두 손실에 대한 Jacobian은 다음과 같다.

$$\frac{\partial h_i}{\partial Q_m} = 2 \sum_{j=m}^N \frac{f_j L_j}{2g d_j A_j^2} \sum_{k=1}^j Q_k \quad 1 \leq i \leq m \quad (16)$$

또는

$$= 2 \sum_{j=m}^N \frac{f_j L_j}{2g d_j A_j^2} \sum_{k=1}^j Q_k \quad m+1 \leq i \leq N$$

잔차 방정식의 비선형성은 그다지 크지 않으므로 Newton-Raphson 방정식은 초기 가정치에 관계없이 효과적으로 수렴한다.

적용 예제

여기서는 Fig. 3의 12개의 취수정과 15개의 연결 관로로 구성된 가상의 군정에 대한 취수량을 평가하였다. 대수층을 완전관통(fully penetrating)하는 취수정들은 수위가 일정한 하천과 평행한 방향으로 2열로 배치되어 있다. 각 열과 하천 사이의 거리는 각각 100 m 그리고 300 m이다. 각 열에서 취수정들은 100 m 간격으로 설치되었다. 대수층의 투수량계수는 80 m²/hr이다. 모든 취수정들의 우물손실계수는 0.0003 m²/hr²로 가정되었다.

각 취수정에는 동일한 성능을 가진 취수 펌프가 설치되었다. 성능시험결과 도출된 펌프 특성곡선의 계수는 p₂ = -0.00206, p₁ = -0.098765, p₀ = 70.5이며 특성곡선은 그림 2에 실선으로 도시하였다.

취수정을 연결하는 관로들의 길이는 50 m인 3, 4, 9, 10번 관로, 그리고 길이가 500 m인 15번 관로를 제외한 나머지 관로는 모두 100 m이다. 1번부터 12번 관로는 직경 0.3 m, 관로들이 합류되는 13번과 14번 관로는 0.4 m, 그리고 15번 관로는 직경 0.6 m이다. 모든 관의 마찰계수는 0.03으로 가정되었다. 직경 0.3 m 관로에서 100 m³/hr의 유량이 흐르는 경우에 마찰계수 0.03은 Hazen-Williams 계수 96이며 이는 사용 후 20년이 경과한 폴타르를 칠한 주철관의 상태에 해당한다(이길영 등, 2002). 15번 관의 끝에는 폭기조가 설치되어 있으며 폭기조와 자연수위 사이의 표고차이는 30m로 가정되었다.

전송된 군정 시스템에서 12개의 취수펌프가 동시에 작동되는 경우에 대한 취수량을 평가하였다. Newton-Raphson 방법은 3회의 반복으로 잔차(residual)가 거의 0에 가깝게 수렴하였다. 계산된 관정별 취수량은 하천에서 가까운 1~6번 취수정에서는 100.2에서부터 1002.7 m³/hr, 멀리 떨어진 7~12번 취수정에서는 100.6에서부터 101.2 m³/hr로 큰 차이가 없으며 총 취수량은 1220.1 m³/hr로 나타났다.

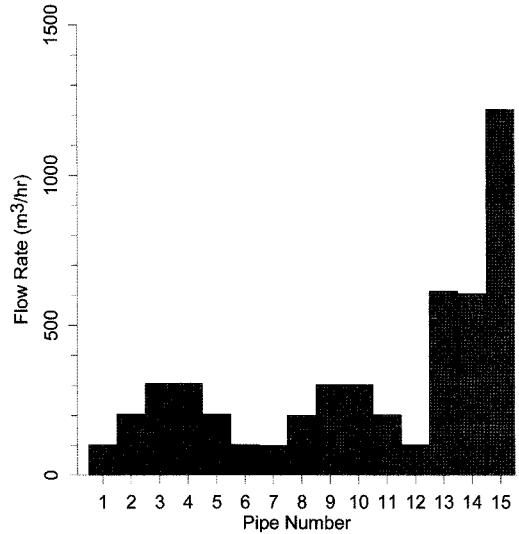


Fig. 5. Flow rate in each pipe segment.

취수량은 하천에서 가까운 관정들에서 조금 더 크게 나타났는데 이는 하천의 영향으로 동일 취수량에 대하여 수위강하가 더 작기 때문이다. 각 관로별 유량은 (Fig. 5)에 도시하였다. 연결된 취수정의 개수에 따라 관로의 유량이 서로 상이하다. 관로 1, 6, 7 및 12에는 한 개 취수정만이 관로 유량에 기여하므로 유량은 100여 m³/hr로 가장 적고 모든 관정의 취수량이 거쳐야 하는 15번 관로의 유량이 1220여 m³/hr로 가장 크다.

개별 관로에 대한 마찰손실 분포는 (Fig. 6)에 도시하였

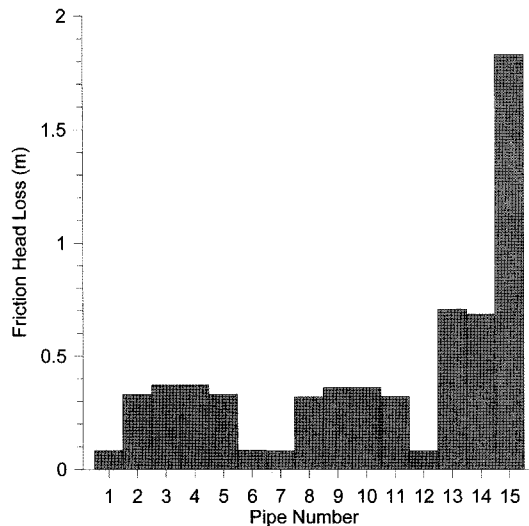


Fig. 6. Head loss in each pipe segment.

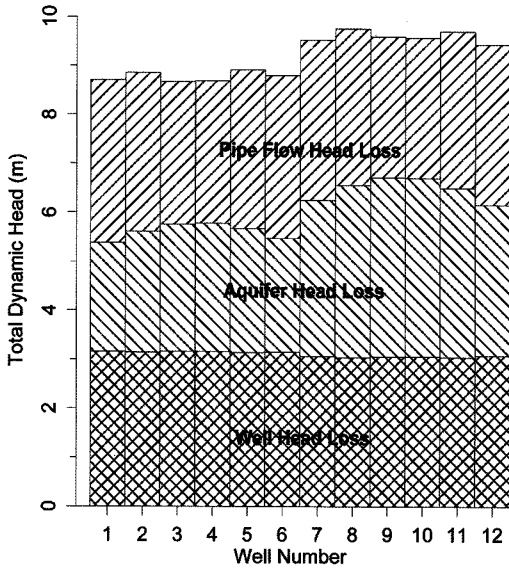


Fig. 7. Dynamic head for each pump.

다. 관로별 손실 수두는 유량의 제공에 비례하므로 관로별 유량 차이보다 수두손실 차이가 더욱 크다. 역시 1, 6, 7,

그리고 12번 관로에서 0.1 m 정도의 수두손실이 최소이고 15번 관로의 수두 손실이 1.8 m 정도로 가장 크다.

취수펌프가 담당해야하는 동적 양정의 주 성분은 취수펌프와 관말의 폭기조 사이에 발생하는 마찰수두, 취수정에서의 대수층 수두손실 그리고 우물 손실이다. 각 취수펌프가 감당하는 동적양정은 (Fig. 7)에 도시하였다. 동적양정은 펌프 특성곡선에서 나타나듯이 취수량에 반 비례한다. 따라서 하천으로부터 멀리 위치한 관정 7~12 취수 펌프에 대한 양정이 나머지 취수정에 대한 양정보다 더 크다. 또한 대부분의 펌프에 대한 동적 양정은 9 m 내외로서 정적 양정 30m의 1/3 정도에 불과하므로 고려된 상태에서는 정적 양정이 지배적인 영향을 미친다.

민감도 분석

취수량에 영향을 미치는 인자는 대수층 및 우물, 그리고 관로 특성을 포함하여 다양하다. 여기서는 주요 영향인자의 변화에 대한 취수량의 변화를 조사하였다. 고려된 민감도 분석 경우와 변화된 매개변수의 값들은 Table 1에 수록하였다.

Table 1. Cases for sensitivity analyses.

구분	Parameter	Value	Remarks	#
Operation	single well pumping	1	near stream	3
		7	away from stream	4
	multiple wells	1~6	near stream	5
		7~12	away from stream	6
Pipes	diameter	0.35~0.6 m	larger	7
		0.25~0.4 m	smaller	8
	friction factors	0.044	higher	9
		0.018	lower	10
Elevation	elevation	15 m	reduced	11
Pumps	specification	-0.0015, -0.10, 85	Larger (Fig. 8)	12
		#4, larger; #5 smaller	remainder-base case	13
		-0.0010, -0.25, 65	smaller (Fig. 8)	14
Aquifer	transmissivity	100	larger	15
		60	smaller	16
	well loss	0.0008	larger	17
		0.0001	smaller	18
pipe network	pipe network	Fig. 9	improper network	19
aging system	well loss, friction coeff., effective diameter, pump spec.	0.0005, 0.044, 0.027, -0.00206, -0.1, 63.5	degraded system due to aging	20

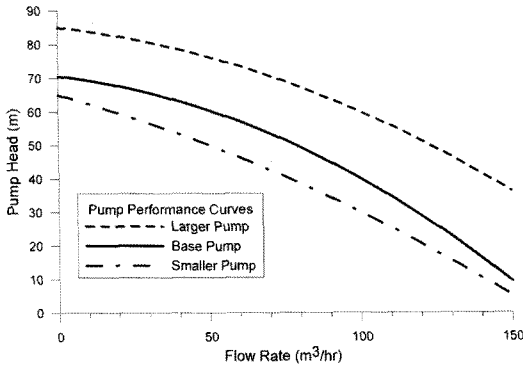


Fig. 8. Pump curves for smaller, base and larger pumps.

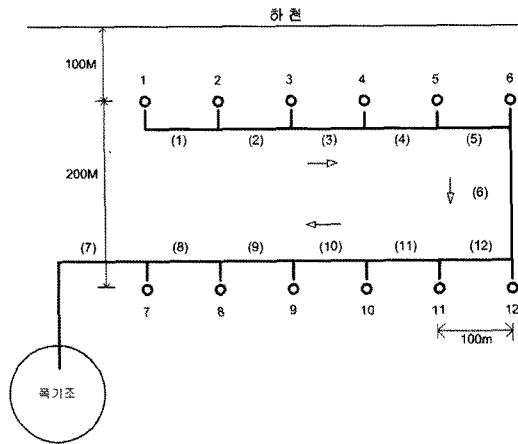


Fig. 9. Different layout for the pipe network.

민감도 분석에서는 취수량에 영향을 미치는 대부분의 영향인자를 고려하였다. 취수펌프의 사양 변화의 영향을 평가하기 위하여 대용량과 소용량 펌프(Fig. 8)를 사용하였다. 취수정 연결관로의 다른 형태(Fig. 9)에 대하여 분석하였다. 민감도 분석의 마지막 경우에는 노후된 시스템의 경우로 총 5개 인자가 악화된 상태이다.

각 민감도 분석 대상 경우에 대한 총 취수량을 그림 (Fig. 10)에 도시하였다. 그림에서 왼쪽에서 첫 번째 막대는 기본경우의 총 취수량이며, 2번째 막대에서부터 5번째 막대는 가동 취수정의 수가 12개 미만이므로 다른 경우에 비하여 현저히 적은 총 취수량을 보인다. 6번째 막대에서부터 나머지는 12개 취수정이 모두 가동된 경우이다. 최고 취수량은 고 용량 펌프를 가동한 경우로 나타났고 최저 취수량은 취수정들이 부적절하게 연결된 경우로 나타났다. 관경, 정적 양정, 펌프 성능, 취수정 연결 관망 그리고 경과년에 대하여 총

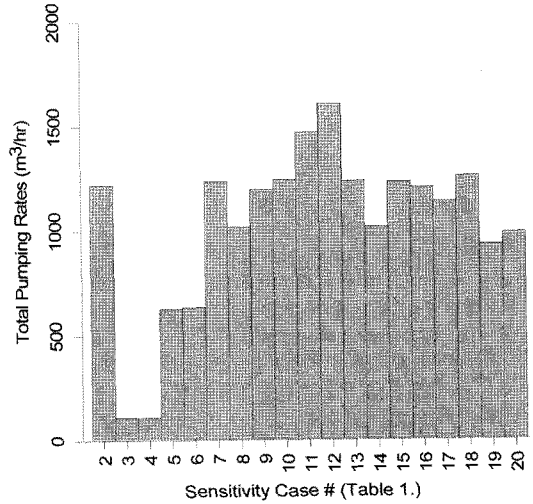


Fig. 10. Total pumping rates for each case of sensitivity analyses (#2: Base case).

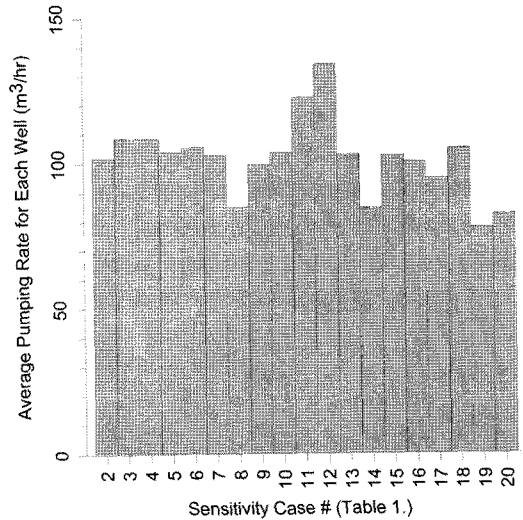


Fig. 11. Average pumping rate for each well for each sensitivity case (#2: Base case).

취수량이 민감하게 반응하였으며 나머지 인자에 대해서는 상대적으로 둔감한 반응을 보였다. 두 번째와 세 번째 막대는 단일 취수정만을 가동한 경우이므로 기본 경우에 취수펌프에서 취수가능한 최대량(약 108 m³/hr)을 나타낸다.

Table 1의 각 경우에 대한 관경별 평균 취수량을 (Fig. 11)에 도시하였다. 취수펌프 별 평균 취수량 역시 총 취수량과 유사한 민감도를 보인다.

토의 및 결론

지하수, 펌프 등의 영역 별로 개략적으로 산정되던 취수량을 에너지 보존식과 연속 방정식을 이용하여 모든 요소를 종합적으로 고려할 수 있는 모델식을 개발하였다. 본 연구에서 고려된 요소는 균정에 속한 취수 펌프의 성능, 대수층 특성, 우물손실, 관로마찰손실, 관말의 경계조건으로 구성되는 동적 양정과 자연 지하수위와 관말의 표고차이로 주어지는 정적 양정이다. 12개의 취수정과 15개의 관로로 구성된 가상의 균정에 대한 적용 사례와 다양한 인자들이 총 취수량에 미치는 영향을 분석하였다. 총 취수량은 관경, 정적 양정, 펌프 성능, 취수정 연결 관망 그리고 경과년에 대하여 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 따라서 균정 설계 시에 민감한 영향을 미치는 인자를 적절하게 선정하는 것이 중요하며, 가동 시에는 적절한 유지 관리를 통하여 시스템의 성능 저하를 최소화하는 것이 중요하다.

사 사

본 연구는 동아대학교의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 공인철, 배진희, 안호준, 권오억, 김승현, 이철희, 박영규, 1998, 강둑여과지 주변의 발에 살포된 무기질소의 거동연구, 한국토양환경학회지, 3(1), 11-20.
- 수자원공사, 2007, 한국창원공업용수도 취수여건개선사업 타당성조사 및 기본계획-타당성조사보고서.
- 이길영, 이문옥, 허재영, 최한기, 김기홍, 윤종성, 2002, 수리학, 형설출판사.
- 이장우, 2002, 강변여과수의 상수원 개발에 관한 연구, 전주공업대학 산업기술연구원, 37, 12-20.
- 이해승, 2000, 강변여과를 이용한 상수원수 개발에 관한 연구, 강원도립대학논문집, 강원도립대학교, 155-161.
- 정동양, 1997, 낙동강 하류의 강변여과 취수방안, 경남개발 26권, 경남개발연구원, 28-59.
- 창원시, 2003. 방사형집수정에 의한 강변지하수 개발타당성조사 및 Pilot-Plant조사연구 보고서.
- Bear, J., 1979, Groundwater Hydraulics, McGraw & Hills.
- Press WH, S. A. Teukolsky, WT. Vetterling and BP Flannery, 1992 Numerical Recipes, Cambridge.

2008년 11월 13일 원고접수, 2008년 12월 11일 게재승인

박남식

동아대학교 토목공학부
604-714, 부산광역시 사하구 하단동 840
Tel: 051-200-7629
Fax: 051-201-1419
E-mail: nspark@dau.ac.kr

김성윤

한국수자원공사
대전시 유성구 전민동 462-1 수자원연구원 지하수 연구단
Tel: 042-870-7615
Fax: 042-870-7629
E-mail: yunjjang8352@kwater.or.kr

김부길

동서대학교 건축토목공학부 토목공학과
부산광역시 사상구 주례2동 산69-1 동서대학교
Tel: 051-320-1789
Fax: 051-311-1966
e-mail: bookim@dongseo.ac.kr

김일룡

한성개발공사
부산시 남구 대연동 328-122
Tel: 051-621-8330 (ext 211)
Fax: 051-621-2811
E-mail: isksm1000@hanmail.net