

취수구조물의 영향반경을 계산하는 한가지 방법

림성, 리근향

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《국토탐사에서는 건설기반의 지질공학특성과 탐사구역의 수문지질상태를 전면적으로, 과학적으로 해명하는데 주되는 힘을 넣어야 합니다.》

지금까지 취수구조물주변에서 지하수비정상흐름해석은 테이스공식을 리용하여 진행하고있다.[1, 2] 그러나 테이스공식은 취수시간 $t \rightarrow \infty$ 일 때 지하수의 수위저하영향반경 $R \rightarrow \infty$ 라고 가정하고 유도한것이기때문에 지하수취수구조물근방에 강이나 하천, 호수, 바다와 같은 지표수원이 있어 R 가 일정한 값 R_k 에 수렴하는 경우에는 적용할수 없다.

론문에서는 취수시간 $t \rightarrow \infty$ 일 때 영향반경구역안의 지하수의 수위저하값 $S(r, t)$ 가 일정한 $S(r)$ 에 수렴하는 경우 비정상흐름해석식을 유도하고 취수구조물에서 수위저하에 의한 영향반경을 계산하는 한가지 방법에 대하여 밝혔다.

1. 이론적기초

우물부근에서 지하수의 비정상흐름방정식은 다음과 같다.[1]

$$a \left[\frac{\partial \varphi(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi(r, t)}{\partial r} \right] = \frac{\partial \varphi(r, t)}{\partial t} \quad (1)$$

식 (1)에서

$$a = \begin{cases} \frac{km}{\rho_w g(\beta_p + n_0 \beta_w)} & (\text{압력수인 경우}) \\ \frac{kh(r, t)}{\mu} \approx \frac{k\bar{h}}{\mu} & (\text{비압력수인 경우}) \end{cases} \quad (2)$$
$$\varphi(r, t) = \begin{cases} mH(r, t) & (\text{압력수인 경우}) \\ \frac{h^2(r, t)}{2} & (\text{비압력수인 경우}) \end{cases}$$

여기서 k 는 함수층의 려과결수(m/d), $h(r, t)$ 는 비압력수함수층의 수위(m), m 은 압력수함수층의 두께(m), $H(r, t)$ 는 압력수함수층의 압력수두(m), ρ_w 는 지하수의 밀도(kg/m^3), β_p 는 압력수함수층의 압축결수(m^2/kN), β_w 는 지하수의 압축결수($4.6 \cdot 10^{-7} \text{m}^2/\text{kN}$), n_0 은 압력수함수층의 공극도, μ 는 비압력수함수층의 출수률, \bar{h} 는 평균수위(m)이다.

식 (1)을 풀기 위한 초기조건과 경계조건은 다음과 같다.

$$\varphi(r, 0) = \begin{cases} mH_0 & (\text{압력수인 경우}) \\ \frac{h_0^2}{2} & (\text{비압력수인 경우}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\varphi(R_k, t) = \begin{cases} mH & (\text{압력수인 경우}) \\ \frac{h^2}{2} & (\text{비압력수인 경우}) \end{cases} \quad (4)$$

$$\lim_{r \rightarrow r_0} r_0 \frac{\partial \varphi(r, t)}{\partial r} = -\frac{Q}{2\pi T} \quad (5)$$

여기서 Q 는 배수량(m^3/d), r_0 은 우물의 반경(m), R_k 는 우물의 영향반경(m)이다.

식 (1)의 풀이를 다음과 같이 구하자.

$$\varphi(r, t) = \varphi(r, 0) + \frac{Q}{2\pi} \ln \frac{r}{R_k} + W(r)T(t) \quad (6)$$

식 (6)을 식 (1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\left[\frac{\partial^2 W(r)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W(r)}{\partial r} \right] \frac{1}{W(r)} = \frac{1}{aT(t)} \cdot \frac{\partial T(t)}{\partial t} \quad (7)$$

식 (7)을 변수변환하고 베셀함수의 성질과 초기조건을 리용하여 $W(r), T(t)$ 를 구한 다음 식 (6)에 넣으면 다음식을 얻는다.

$$\varphi(r, t) = \varphi(r, 0) + \frac{Q}{2\pi} \ln \frac{r}{R_k} + \frac{Q}{2\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2J_0\left(\xi_m \frac{r}{R_k}\right)}{\xi_m^2 J_1^2(\xi_m)} e^{-a \frac{\xi_m^2}{R_k^2} t} \quad (8)$$

이제 $\frac{r}{R_k} = \bar{r}$, $\frac{at}{R_k^2} = \bar{T}$ 로 표시하면 다음과 같다.

$$\varphi(\bar{r}, \bar{T}) = \varphi(\bar{r}, 0) + \frac{Q}{2\pi} \ln \bar{r} + \frac{Q}{2\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2J_0(\xi_m \bar{r})}{\xi_m^2 J_1^2(\xi_m)} e^{-\xi_m^2 \bar{T}} \quad (9)$$

식 (9)의 세번째 항을 제1차 제1형베셀함수를 리용하여 표시하면 다음과 같다.

$$\varphi(\bar{r}, \bar{T}) = \varphi(\bar{r}, 0) + \frac{Q}{2\pi} \ln \bar{r} + \frac{Q}{2\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2\pi}{\xi_m} J_0(\xi_m \bar{r}) e^{-\xi_m^2 \bar{T}} \quad (10)$$

변수변환을 하고 미분한 다음 합렬로 전개하고 $Y(\bar{r}, \bar{T})$ 라는 함수를 도입하면

$$Y(\bar{r}, \bar{T}) = -\ln \bar{r} - \frac{1}{2} \left\{ -E_i(-\xi_1^2 \bar{T}) - e^{-\xi_1^2 \bar{T}} \left[-E_i\left(-\frac{\bar{r}^2}{4\bar{T}}\right) + \ln \frac{\bar{r}^2}{2.25\bar{T}} \right] \right\} - \frac{1}{2} \frac{\pi}{\xi_1} J_0(\xi_1 \bar{r}) e^{-\xi_1^2 \bar{T}} \quad (11)$$

$W(\bar{r}, \bar{T}) - \bar{T}$ 와 $Y(\bar{r}, \bar{T}) - \bar{T}$ 의 관계그라프는 그림 1과 같다.

여기서 $W(\bar{r}, \bar{T}) = -\frac{1}{2} E_i\left(-\frac{\bar{r}^2}{4\bar{T}}\right)$ 이다. 그림 1에서 보는바와 같이 $\bar{r} < 1$ 일 때의 $Y(\bar{r}, \bar{T}) - \bar{T}$

관계그라프는 $\bar{T} = 0.6$ 인 점에서 모두 준정상과정으로 넘어간다. 따라서 준정상과정시작시

간 t_k 를 알면 영향반경을 $R_k = \sqrt{\frac{at_k}{0.6}}$ 에 의하여 계산할수 있다.

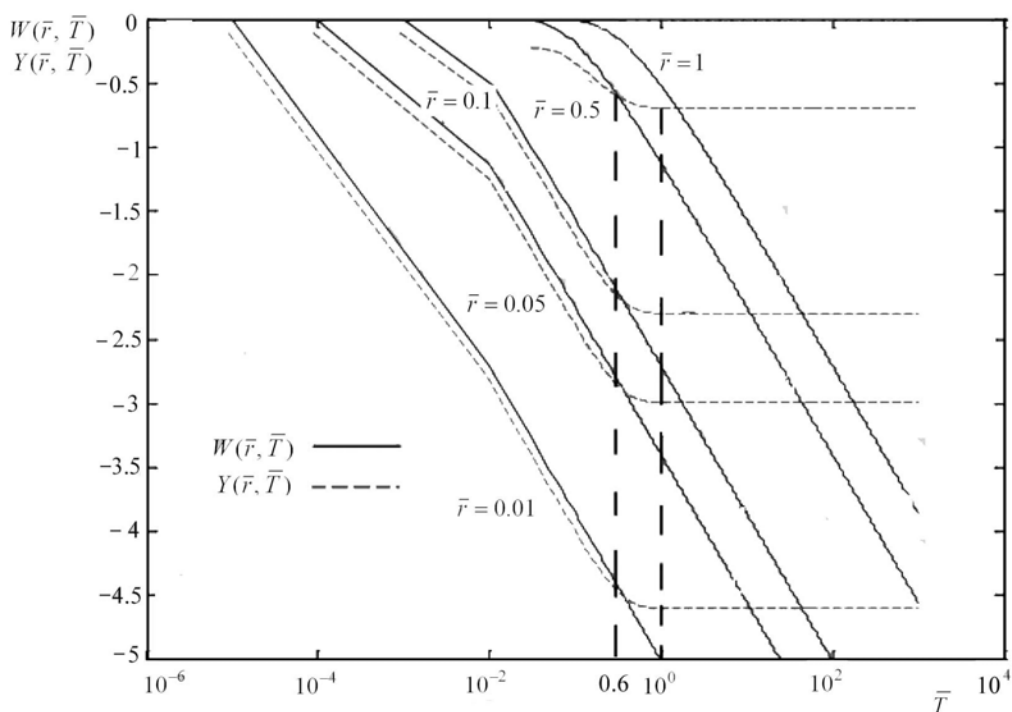


그림 1. $W(\bar{r}, \bar{T}) - \bar{T}$ 와 $Y(\bar{r}, \bar{T}) - \bar{T}$ 의 관계그래프

2. ○구조물주변에서의 영향반경결정과 정확성평가

○구조물주변에 보벽관직경이 130mm인 취수시험추공과 취수추공으로부터 3m 떨어진 곳에 직경이 89mm인 관측추공을 7.75m 깊이에 있는 불투수층까지 박았다. 함수층은 잔모래로 되어있으며 초기지하수의 수위(h)는 5.75m, 취수물량(Q)은 16.42 m³/d이다.

시간에 따르는 수위저하값은 표와 같다.

표. 시간에 따르는 수위저하값

t/s	$\ln t$	S/m	$(h - S/2)S/m^2$
8	2.100 0	0.005	0.021
42	3.737 7	0.025	0.116
120	4.787 5	0.069	0.304
300	5.703 8	0.13	0.57
600	6.396 9	0.26	1.461
1 200	7.090 0	0.395	2.193
1 800	7.495 5	0.44	2.433
3 000	8.006 4	0.475	2.618
3 600	8.188 7	0.475	2.618
10 800	9.287 3	0.475	2.618
86 400	11.366 7	0.475	2.618

표의 자료를 리용하여 t 에 따르는 $(h-S/2)S$ 곡선을 그리면 그림 2와 같다.

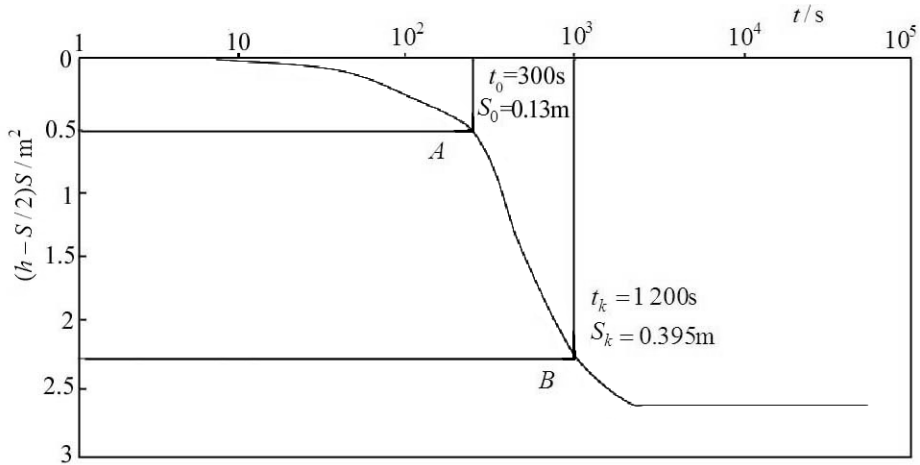


그림 2. t 와 $(h-S/2)S$ 의 관계곡선

그림 2에서 B점은 준정상과정이 시작되는 순간으로서 $t_k = 1200(s) = 0.0139(d)$ 이다.

수위전달계수와 려과계수는 다음식들을 리용하여 계산할수 있다.

$$\ln a = \frac{4\pi k}{Q} S_0 \left(h - \frac{S_0}{2} \right) - \ln \frac{2.25}{r^2} - \ln t_0 \quad (12)$$

$$\ln a = \frac{4\pi k}{Q} S_k \left(h - \frac{S_k}{2} \right) - \ln \frac{2.25}{r^2} - \ln t_k \quad (13)$$

식 (12)와 (13)으로부터 려과계수를 계산하면 다음과 같다.

$$k = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{\ln \frac{t_k}{t_0}}{S_k \left(h - \frac{S_k}{2} \right) - S_0 \left(h - \frac{S_0}{2} \right)} = 1.117 \text{ m/d} \quad (14)$$

우의 자료를 리용하여 식 (13)으로 계산한 수위전달계수는 다음과 같다.

$$a = 1826 \text{ m}^2 / \text{d}$$

따라서 영향반경은 $R_k = \sqrt{\frac{at_k}{0.6}} = 6.5 \text{ m}$ 이다.

듀피트공식으로 계산한 영향반경은 $R_k = 6.80 \text{ m}$ 이다.

따라서 정상흐름일 때와 준정상흐름일 때 영향반경의 계산값의 차이는 0.3m이다.

맺 는 말

1) 취수추공주변에서 지하수의 비정상흐름을 해석하여 준정상과정시작값인 t_k 를 구하면 영향반경을 계산할수 있다.

2) ○구조물주변의 취수추공에서 수위저하영향반경을 계산하고 정확성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 우남규 등; 농업수리화, 5, 26, 주체104(2015).
[2] S. Ye et al.; Copernicus Publication, 372, 443, 2015.

주체108(2019)년 10월 5일 원고접수

One Method of Determining the Radius of Influence of Pumping Structure

Rim Song, Ri Kun Hyang

The radius of influence can be determined using semi-steady flow starting value t_k by interpreting non-steady flow of groundwater around pumping borehole.

Keywords: groundwater, radius of influence