



지열시스템에서 지열정사이의 적정이격거리 산정법(2) (지열정 설계를 중심으로)

한정상+, 한혁상*, 한찬**, 김형수***
(주)씨엔이*, (주)유신코퍼레이션** 한국수자원공사***

1. 서론

Vol.3의 No.2에서는 수리지질학적인 관점에서 단정의 영향반경과 군정에서 관정사이의 적정이격거리를 구하는 방법에 대해 언급하였다^[1]. 본고에서는 단정(single well)이나 2정(Two well) 시스템과 같이 지하수나 지중매체가 보유하고 있는 열에너지를 열원이나 열배출원으로 이용하는 지열열펌프시스템(GSHP)에서는 지열정간에 서로 열간섭현상이 일어나지 않는 적정이격거리를 산정하는 방법에 대해 논하고자 한다.

2. 군정(群井)에서 우물간의 적정 이격거리 산정방법

지하수 열펌프시스템이나 수주 지열정과 같이 직접 지하수를 채수 이용하거나 지중 축열 시스템처럼 지하수를 지중으로 강제 채수·주입하여 천부지열을 열펌프의 열원이나 열배출원으로 이용하는 지열이용시스템의 경우에 지중에서 일어나는 열전달은 열전도에 의한 열전달 보다는 지하수의 유동(이류)에 따른 열대류에 의한 열전달이 훨씬 빠르다. 따라서 지하수를 열원으로 이용하는 각종 지열시스템은 해당지역에 대한 기존의 수리지질 특성자료를 파악하고 있을 경우에는 이들 자료를 이용하여 영향반경과 적정이격거리를 구할 수 있다. 이와 같은 전통적인 이격거리 산정법가운데 대표적인 방법 3가지를 들면 다음과 같다.

2.1 일반적인 영향반경과 관정간의 적정이격거리 (Jacob식)

영향반경은 대수층의 수리성(투수량계수, 수리전도도, 공극률, 저유계수 등), 대수층의 종류, 대수층의 포화두께 및 양수율에 따라 좌우된다. 투수량계수가 T이고 저유계수가 S인 피압 대수층에 1개 관정이 설치되어 있을 때 관정중심에서 거리r만큼 떨어진 지점에서 t시간 이후의 수위강하 $s(=h_0-h)$ 는 1) 식으로 표현 된다^{[2][3]}.

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2S} \quad (1)$$

(1)식에서 영향반경($r=R_D$)은 수위강하(s)가 0가 되는 지점이므로 영향반경(R_D)는 (2)식과 같다. 이때 관정간의 적정이격거리는 $2R_D$ 이다^[1].

$$R_D = 1.5 \left(\sqrt{\frac{Tt}{S}} \right) \quad (2)$$

지금 $T=500\text{m}^2/\text{d}$ 이고 $S=0.15$ 인 층적대수층에서 지하수를 채수시 1일 이후에 양수정과 관측정에서 지하수의 변화가 발생하지 않았다면 이 경우의 이론적인 적정 이격거리 $2 \times 1.5(500 \times 1/0.15)^{0.5} \approx 173\text{m}$ 정도이다.

2.2 실제적인 영향반경

그러나 채수정에서 장기적으로 지하수를 채수할 때 수위강하가 전혀 발생하지 않는 지점까지의 거리를 영향반경으로 규정하면 소요 공간이 매우

크지며 비 경제적이다. 그래서 미국의 Florida의 Palm Beach나 Dade County같은 지역에서는 최소한의 수위강하가 발생하는 지점까지의 거리^[4]를 영향반경으로 규정하여 지하수의 흐름이 부정류일 때 영향반경을 대수층의 종류에 따라 전술한 (2)식이나 (3)식을 이용하여 산정한다.

$$R_D = 1.5 \sqrt{Tt / (S \cdot e^{\left(\frac{4\pi Ts_s}{Q}\right)}} \quad (3)$$

여기서 최소한의 수위강하를 허용수위 강하라 한다. 미국의 Palm Beach에서는 허용 수위 강하를 0.076 0.3m(평균 0.188m), Dade County는 0.015 0.33m(평균 0.173m) 즉 평균 0.18m를 적용하고 있다.

채수정에서 지하수를 장기적으로 채수할 때 허용수위강하가 약 0.18m까지 하강하는 지점까지의 거리를 영향반경이라고 하고 적 이격거리는 그 2배의 거리이다.

예) T=500m²/d, S_y=0.15,인 자유면대수층에서 양수율이 1,000m³/d인 채수정을 2개 설치하려 한다. t=1일 이후에 지하수 흐름이 거의 정류에 도달하였고 s=0.18m되는 지점을 영향반경으로 할 경우의 채수정사이의 적정이격거리는 다음과 같이 약120 m가 된다,

$$R_D = 1.5 \sqrt{\frac{T \cdot t}{S \cdot e^{\left(\frac{4\pi Ts_s}{Q}\right)}} = 60.3$$

적정 이격거리 = 60.3 × 2 = 120.6 ≃ 120 m

2.3 Theis 법

Theis(1935)는 입상 다공질 대수층에 설치한 주입정과 채수정사이에서 서로 간섭현상이 발생하지 않는(두 관정사이에 순환유동이 일어나지 않는) 두 관정사이의 적정이격거리를 (4)식을 이용하여 구하였다^[5].

$$R_D = \frac{2Q}{T \cdot I} \quad (4)$$

여기서 R_D : 두 관정사이의 적정이격거리(m)

Q : 주입율(m³/d)

T : 투수량계수(m²/d)

I : 동수구배

예) 투수량계수가 600 m²/d이고 자연동수구배가 0.01인 자유면 상태하에 있는 곡간층적퇴적층에 주입정과 채수정으로 구성된 2정 대수층 축열시스템을 설치하려고 한다. 2관정사이에 수위와 열간섭현상이 발생하지 않는 적정이격거리는 구해 보면 약 103m이다.

- ① 최대 채수량은 전예제와 같이 756 l/분이고 연간 전체 냉방부하시간은 2,500hr
 - ② 연간 부하기간동안 열펌프 가동율 : 2,500/(365일 × 24 hr) = 0.285
 - ③ 냉방 부하기간동안 필요한 지하수유량 : 756 × 0.285 = 215.5 l/분(310 m³/일)
- ∴ 주입정과 채수정간의 적정 이격거리

$$R_D = \frac{2 \cdot 310}{600 \cdot 0.01} = 103m$$

본 예제에서 적용한 자연동수구배(0.01)는 국내 소지류의 곡간 층적층의 동수구배와 유사하나 5대강 본류의 하성 및 평야 층적층 지하수의 동수구배에 비해 상당히 큰 값이다(약 10배 이상)^[6]. 따라서 동일한 투수량계수를 갖는 국내 대하천의 하류지역에서 실 동수구배를 이용하여 주입정과 채수정간의 적정이격거리를 구하면 이보다 다소 크질 것이다.

우리나라와 같이 지하수 열펌프시스템이나 대수층 축열시스템(ATES)에서 필요로 하는 주입채수정을 설치할 수 있는 여유 공간이 협소한 지역에서 여름철에 주입정을 통해 주입한 온배수나 겨울철에 지중주입하는 냉배수가 그 인근에 발달

된 온냉수체(溫冷水體)에 어느 정도의 영향을 미치는 현상은 불가피하다. 그러나 냉온수체사이의 열간섭 현상은 최소가 되도록 냉온수정을 적정이격거리를 두고 설치해야 한다. 특히 자연 지하수류의 유동율이 낮은 지역에서 주입정과 채수정사이 구간으로 주입한 냉온배수가 채수정으로 어느 정도 유동하게 되면 지열 또한 이동한다. 이 경우에 주입정에서 이동한 주입수로 인한 채수정에서의 수온변화는 자연 지하수의 배경온도에 비해 소규모적이다. 따라서 지하수 열펌프시스템의 주입정과 채수정간의 적정이격거리는 보수적으로 산정하는 것이 안전하다.

3. 지열시스템에서 지열정사이의 적정이격거리 산정방법

1개 지역에 최소 2개공의 관정을 설치하여 1개공은 주입정(injection well)으로, 다른 1개공은 채수정(산출정, supply or pumping well)으로 이용하는 지열이용시스템(지하수 열펌프, 대수층 축열 및 수주지열정 등)의 경우, 주입정에서 주입한 온냉배수가 채수정을 통해 재 채수되지 않도록 주입정과 채수정사이의 거리는 적절히 이격시켜야 한다. 동수구배가 비교적 잘 발달된 지역에서는 주입정을 통해 지중 주입한 온냉배수가 인근에 설치된 채수정에 열간섭현상을 일으키지 않도록 주입정은 하류구배(down-gradient) 구간에 설치한다. 모든 대수층은 규모의 차이는 있으나 지하수 흐름의 기작이 되는 동수구배가 발달되어 있다. 만일 주입정과 채수정 사이의 수두 차이가 매우 적어 자연 지하수류(natural ground water flow)에 미치는 영향이 지극히 적은 지역에서 지하수 열펌프시스템으로 부터 생성된 온냉배수를 하류구배구간에 설치된 주입정으로 주입 시킬 때 주입된 온냉배수가 상류구배(up gradient)에 소재한 채수정으로 역류 시키려면 별도의 수두압이 필요하게 된다.

환언하면 투수성이 양호한 수문지열계에서 온냉

배수나 지하수를 지중주입 및 채수하더라도 자연 지하수류에 크게 영향을 미치지 않는 지역에서는 하류구배구간에 설치한 주입정을 통해 지중 주입한 온냉배수는 상류 구배구간에 소재하는 채수정으로 역류하지 않는다. 이와 같이 수리지질학적인 관점에서 지하수 열펌프시스템의 주입정을 이용하여 지중 주입한 온냉배수가 인근에 소재한 채수정에 영향을 미치지 않는 적정이격거리와 단정에서의 영향반경을 구하는 방법들은 서언에서 언급한 바와 같이 논문집 No.3의 Vol.2에 자세히 기술하였고 본 논문에서는 2정과 단정의 지열정사이에서 열전달에 따른 적정이격거리를 산정하는 방법을 소개코저 한다.

3.1 Katzman과 Whitehead법(1980)

Katzman과 Whitehead(1980)는 동일 대수층 내에 설치한 주입정과 채수정에서 냉온배수를 지중 주입채수할 때 대수층의 두께(m), 지하수 열펌프의 운전가동시간(hr) 및 지하수 열펌프의 유량(lpm)에 따라 두 관정사이에 열간섭 현상이 일어나지 않는 적정이격거리를 Table 1과 같이 산정 제시하였다¹⁷⁾. 표 1은 다음과 같은 가정하에서 작성되었다. ① 대수층은 공극율이 0.2인 입상층 적퇴적층이며, ② 해당 지역의 냉방기간은 우리나라와 유사한 9개월로서 냉방 위주지역이며 이 기간 동안 침두냉방부하가 지속된다.

냉방위주 건물에서 다음과 같은 조건으로 2정 지하수 열펌프시스템을 운영할 때 주입정과 채수정간의 적정이격거리를 구해보면 다음과 같이 약 106 m정도이다.

- ① 지하수 열펌프의 최대 소요 지하수유량 : 756 l/분
- ② 연간 냉방기간 : 약 9개월 (9×30.5일/월 280일)이고 잔여 3개월은 평형일.
- ③ 연간 전체 냉방부하시간(annual full load hours) : 약 2500 hr (280일×9 hr/일)
- ④ 적정 소요유량은 9개월 동안의 평균 지하수 유량이어야 하므로 전체 부하 시간인 2500 hr동안 필요한 지하수유량(756 l/분)에 지하

<표 1> Optimum distance between injection and withdrawal well in ground water heat pump system(m)

두께 (m)	3				6				9				12				15				24.4				30.5							
양수시간 (일)	100	140	210	280	100	140	210	280	100	140	210	280	100	140	210	280	100	140	210	280	100	140	210	280	100	140	210	280	100	140	210	280
유량 (l/min)	Optimum distance (m)																															
38	35	39	44	50	30	33	39	44	26	31	36	41	24	29	33	37	22	26	30	35	17	21	26	30	17	20	24	28				
76	48	54	61	68	41	47	54	62	37	43	50	58	33	39	46	54	32	36	42	49	25	30	36	42	24	28	33	37				
151	69	77	88	100	60	67	77	88	53	60	71	82	47	54	65	76	44	51	60	70	36	43	52	60	33	38	46	54				
227	86	95	191	124	73	82	95	108	64	74	86	98	58	67	80	93	54	63	75	87	45	52	63	74	41	48	57	66				
302	100	110	128	145	84	96	111	126	74	85	99	134	67	78	92	106	62	72	86	100	52	60	73	85	47	55	66	76				
378	111	123	144	165	94	108	124	142	82	96	110	126	75	87	103	119	69	80	94	108	58	67	81	96	52	61	73	86				
756									118	136	157	175	108	125	148	170	95	113	133	154	82	95	115	136	73	87	105	123				
1,890																	156	179	213	247	128	151	178	206	117	136	162	188				
3,780																	217	252	300	350	180	208	252	296	165	193	231	265				

수 열펌프의 가동분율인 0.38을 곱한 값.(즉 9개월간 전체 냉방기간은 6,600hr(9 × 30.5 × 24)이고 전체부하시간은 2,500hr이므로 가동분율(2,500 ÷ 6,600 = 0.38규모). 따라서 9개월동안 필요한 평균 지하수유량 : 756 l/분 × 0.38 = 287 l/분

⑤ 포화두께가 12m이고, 평균 공극율이 0.2인 충적대수층에 설치한 채수정과 주입정사이의 적정이격거리는 약 106m정도이다.(표 1에서 b=12m일때 Q=287 l/분과 가장 근접한 필요유량은 302 l/분)

가정 : ① 충적대수층의 공극율을 0.2로 가정하였으므로 n=0.1일 경우의 이격거리는 본 표에 제시된 값에 1.05를 곱하여 구하고 n=0.3일 때에는 0.95를 곱하여 계산한다. ② 펌프운전시간 280일은 Katzman과 Whitehead가 작도한 선을 내삽하여 산정한 경과시간이다^[7].

3.2 단정 주입정에서 냉온수 주입시 열간섭현상을 받지 않는 적정이격거리(자연지하수류무시, Lauberier식)

주입수체(水體)의 항온화는 주입량, 주입정과의

이격거리 등에 따라 좌우된다. 주입함양수의 수온이 일정한 경우에 대수층내에서 지하수의 열확산 이동현상을 지배하는 요인들은 다음과 같다. 즉 대수층내에서 지하수의 온도분포를 규정하는 열에너지 지배식은 열전도도, 지하수유동항과 대수층상하부에 분포되어 있는 구속층(압층)의 열전도손실(L_C)에 의해 지배되며 (5)식으로 표현할 수 있다.

$$K_a \left(\frac{\partial^2 T_a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_a}{\partial y^2} \right) + C_p K \left(\frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial T_a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial T_a}{\partial y} \right) - 2 L_c = (C_p)_a \frac{\partial T_a}{\partial t}$$

여기서 T_a : 대수층의 온도,
 밀첨자 c : 대수층의 상하부에 발달되어 있는 구속층
 K : 수리전도도 a : 대수층
 ρ : 밀도, w : 지하수,
 C : 비열, Ka : 대수층의 열전도도

(5)식의 정확한 해를 구하기는 매우 복잡하고 어렵기 때문에 근사해를 구해서 사용한다. 특히 자연지하수류가 존재하지 않은 상태에서 (5)식을 만족

시킬 수 있는 주입과 채수를 동시에 실시하는 경우를 동시-주입채수라 하며 이 경우에 일정한 주입수온에 따른 지하수 채수시의 수온(T_p)의 경시별 근사해는 (6)식과 같이 표현할 수 있다^[8].

$$T_{tp} = T_M + (T_j - T_M) G_h \left(\frac{\sum t Q_p (\rho C)_w}{2a^2 b (\rho C)_a} \frac{(\rho C)_a (\rho C)_w Q_p 2b}{a^2 K_c (\rho C)_c} \right) \quad (6)$$

냉온수 주입시 인근 채수정에 열간섭현상을 일으키지 않는 주입정과 채수정사이의 적정 이격거리(2a)는 다음 (7)식으로 구할 수 있다. 즉 무차원시간(t_h)는

$$\frac{\sum t Q_p (\rho C)_w}{2a^2 b (\rho C)_a} \leq 3 \quad \text{에서} \quad (7)$$

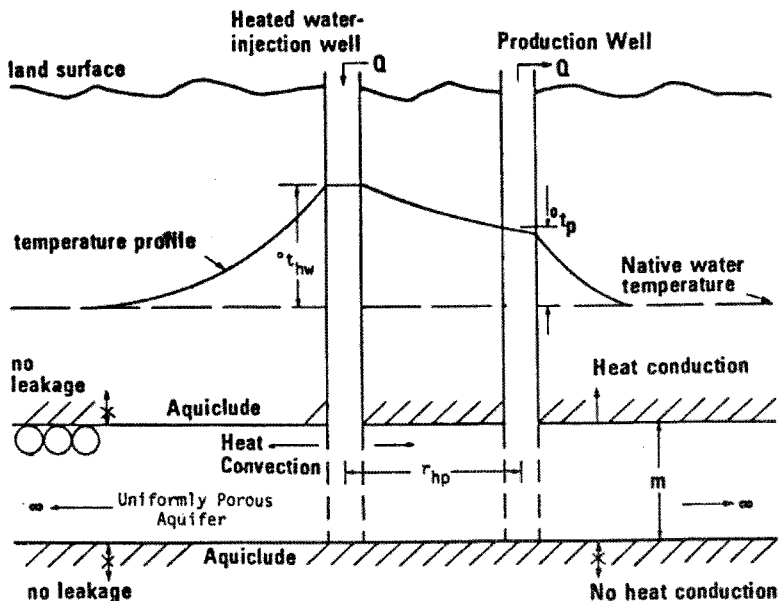
$$\text{이격거리}(2a) \geq 2\sqrt{\frac{\sum t Q_p (C \rho)_w}{6b (C \rho)_a}}$$

주입 채수정간의 적정거리는 (7)식을 이용해서 구하는 것을 원칙으로 해야 하겠지만 주입정을

이용하여 온수와 냉수를 순차적으로 대수층으로 주입하던가 아니면 계절별로 주입·채수정을 교대로 운전시켜 온수와 냉수를 주입시킨후에 채수를 하면 대수층내 수온상승이나 온도 간섭현상을 최대한 방지할 수 있다.

3.3 균질 다공성 비누수 피압대수층에 설치한 주입정과 채수정(2정 채수-주입정)에서 냉온수를 주입, 채수할 때 온도간섭현상을 최소화 시킬 수 있는 적정 이격거리(자연지하수류 무시, Gringalten과 Sauty법)

그림 1은 일정한 온도의 온수를 주입정을 통해 일정율로 대수층으로 주입 하면서 인근에 설치된 채수정에서 주입율과 동일한 채수율로 지하수를 채수하는 수문지열계의 모식도이다. 주입정과 채수정의 구경은 무한소이고 주입정과 채수정의 열저유능을 무시할 때 일정율의 온수를 주입·채수하고 있는 주입정과 채수정이 설치된 대수층 내에서 열전도-전달에 의한 열이동 지배식의 해는 (8)식과 같다(Gringarten과 Sauty, 1975).



[그림 1] 일정율의 온수-주입 및 채수정이 설치된 균질다공성 비누수 피압대수층의 열이동

$$T_{tr} = (T_I - T_M) \cdot G_h(\lambda_h, t_h)$$

$$= (T_I - T_M) \cdot G_h \left[\frac{\rho_w C_w \rho_a C_a Q_h b}{K_c \rho_c C_c r^2}, \frac{\rho_w C_w Q_h t}{\rho_a C_a r^2} \right]$$

여기서 무차원 상수들은 다음과 같다.

$G_h(\lambda_h, t_h)$: 상위압층에서 열전도가 일어나는 균질 다공성 비누수 피압대수층에 구경이 무한소이며 열저유능을 무시할 수 있는 완전관통 주입정과 채수정을 설치했을 때 열전달에 의한 지열함수

$$\lambda_h : \frac{\rho_w C_w \rho_a C_a Q_h b}{K_c \rho_c C_c r^2} \quad (9)$$

$$t_h : \frac{\rho_w C_w Q_h t}{\rho_a C_a r^2} \quad (10)$$

Q_h : 온수주입을 또는 채수정의 채수량

T_{tp} : 주입정에서 온수주입으로 인해 채수정에서 채수되고 있는 지하수의 온도변화

r : 주입정과 채수정 사이의 거리

1975년 Gringarten과 Sauty^[8]는 λ_h 와 t_h 에 따른 값을 구하여 2정 채수-주입정의 표준곡선도를 작성 제시한 바 있고 이들은 Δt 시간동안 채수정에서 채수한 지하수의 온도가 거의 변하지 않을 조건 즉 주입정에서 온수주입시 채수정의 온도가 주입온수의 영향을 받지 않는 거리(r)인 환원하면 열간섭현상을 방지내지 최소화 시킬수 있는 우물간의 거리(r)는 다음식으로 구할 수 있음을 제시하였다(2005 한정상외 참조).

$$r = Q \cdot \Delta t / \left\{ \left[n + (1-n) \frac{\rho_c C_c}{\rho_w C_w} \right] b + \left[(n + (1-n) \frac{\rho_c C_c}{\rho_w C_w})^2 b^2 + 2 \frac{K_c \rho_c C_c}{(\rho_w C_w)^2} \Delta t \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

4. 수주지열정의 적정 이격거리과 설계 일반 지침

4.1 적정 이격거리

한정상외(2006)^[9]는 1개 심정을 주입 및 채수정으로 동시에 이용하는 일종의 천부 지열이용시스템인 柱지열정(Standing Column Well, SCW)을 현재 국내에서는 해당 지역의 암반지하수의 산출특성과 수리지질조건을 전혀 고려하지 않고 비과학적으로 설치하고 있다고 지적한 바 있다. 국내에 분포된 단열암체들은 상당량의 암반지하수가 산출 유동하고 있어 지열시스템의 성적계수 향상은 물론 수주지열정의 심도를 대폭 축소 시킬 수 있다. 즉 해당건물의 침투 냉난방시 필요한 열부하량을 지속적으로 유지 공급시키기 위해서는 열원층의 열을 이용하고 난 다음 환수량 가운데 최소 20±10%에 해당하는 유량을 지표로 방유시킨다. 이때 지표로 방유시키는 량 만큼 SCW 내에서 산출되는 지하수를 SCW로 재보충시켜 주면 여름철에는 순환수의 수온을 냉각시키는 역할을 하고 반대로 겨울철에는 순환수의 수온을 가열시키는 역할을 하여 내부 케이싱내에서 순환수의 수온(입구온도)을 연중 비교적 일정하게 유지시킬 수 있다.

여러 개의 수주지열정을 설치하여 냉난방에너지원으로 이용할 때 각 수주 지열정 사이의 최적 이격거리는 시스템의 침투 냉난방부하, 침투 부하기간 대수층의 두께 및 해당 수주 지열정에서 개발 가능한 지하수 산출량과 유동상태에 따라 좌우되나 통상 60 ~ 180m규모 이다. 2정 지하수 열펌프시스템의 주입정과 채수정(diffusion well) 사이에 적용하는 적정 설계거리리는 30 ~ 150m를 사용한다. 미국의 Staten Island지역에서는 다음식을 이용하여 산정한다

$$\text{적정이격거리 (m)} = 0.27 \times [\text{설계부하}]^{1/2} \quad (11)$$

설계부하의 단위 : kcal/hr

수주지열정인 경우에는 Bleeding rate에 해당하는 지하수만 채수이용하고 잔여 순환수는 1개 공 내에서 재주입 순환시키기 때문에 전술한 Jacob 식이나 Theis식에 Bleeding rate(Q)를 적용하여 적정이격거리를 구하던가 윗 식의 1/2을 적용하여 산정해도 무난할 것이다.

현재 국내에서는 수직지열교환기를 설치할 경우에 야기되는 공간확보의 문제 때문에 이를 해소하는 하나의 방법으로 수직지열교환기에 비해 열용량이 큰 수주지열정을 무분별하게 설치하고 있다. 특히 수주지열정시스템은 해당지역에 분포된 수문지열계에 대한 수리성과 열적특성이 규명되지 않은 상태에서 이를 설계하고 설치하는 경우에 발생하는 부작용은 명약 하다. 따라서 미국 등지에서 현재 적용하고 있는 수주지열정 설계시 적용하고 있는 일반지침에 관해서 언급코자한다.

3.2 수주지열정 설계시 일반지침(NYRES doc. 및 Rawling, 2004)

- ① 1 RT당 필요한 우물심도 열전도도가 양호한 결정질 암체 : 약 $16 \pm 1.5m/RT$
열전도도가 낮은 암체 : 약 $31 \pm 6m/RT$
- ② 침투 냉난방시 bleeding rate 지하수 산출량, 주입순환 수량의 $20 \pm 10\%$ 정도 따라서 수주지열정에서 bleeding rate 만큼 지하수가 산출되어야 한다.
- ③ 자연수위가 45m 이상 되는 우물 : 양수동력비 때문에 비경제적.
- ④ 수주지열정의 필요한 순환수유량 : 밀폐형 지중열교환기와 동일한 $9.5 \sim 11.4 lpm/RT$ 정도
- ⑤ 공내붕괴가 심하게 발생하는 심정은 수주지열정으로 사용 불가
- ⑥ 뉴욕주 광물자원국(Dept.of Mineral Resources, DMR)이 SCW를 설치할 때 요구하는 사항은 다음과 같다.
 - 외부 우물자재를 암반발달구간의 23m 심도까지 설치하고 잔여구간은 열교환이 원활하게 일어나도록 나공상태로 굴착

- 내부 우물자재 : 공의 중심부에 정치하고 최하부는 유공관을 설치
- 기반암 상부의 표피(비고결층)가 얇은 곳
- ⑦ Manhattan, the Bronx, northern Queens 및 western Staten Island에서는 심도 450m의 수주지열정 1공에서 35 ~ 40RT 규모의 냉난방열에너지를 성공적으로 공급하고 있는데 이때 수주지열정사이의 공간거리는 16 ~ 23m이다.
- ⑧ 수주지열정은 다음과 같은 현상이 일어나지 않도록 지속적으로 유지보수를 해야 한다
 - 피각현상이나 미생물에 의한 공매작용으로 지하수산출량의 감소
 - 지하수위의 변화
 - 세립물질에 의한 스크린 주변 지층의 공매현상
 - 규격이 다른 유공관사용으로 인한 토사출현상
 - 우물자재(casing or screen)의 구조적인 파손
 - 순환펌프의 손상
- ⑨ 매 50년마다 스크린과 수중모터펌프 교체
- ⑩ New York주에서 현재 수주지열정 설치시 적용하고 있는 추천시방서는 NYRES doc (Residential SCW)와 NYCMCL doc (Commercial SCW)에 구체적으로 명시되어 있다(Standing Column Well Recommended Specification Earth Coupling /Standing Column Well for 6f.1 and 6f.2). 본 시방서는 총 4장 30조로 구성되어 있으며 그 내용을 요약하면 아래와 같다.
 - 1장 : 본 공사에 포함될 내용을 위시한 일반 조건 등 2개조
 - 2장 : SCW의 규격을 위시한 SCW 관정의 두부, 배관, 우물자재, 기타 부대공사 안전, 우물소독, 수질검사, 수중모터펌프, 전기, 압력탱크와 안전발브 제어장치 등 13개조로 이루어져 있고 규모별

수주지열정의 상세 내역은 아래와 같다.

- 가정용 수주지열정의 경우 : 필요한 수주지열정의 수는 최소 1개이상, 열공급량은 10 RT 규모, 수주지열정의 수주높이는 약 210m 이상, 수주지열정에서 생산되는 지하수산출 가능량은 약 11.4 ~ 15.1lpm
- 상업용 수주지열정의 경우 : 필요한 수주지열정의 개수는 최소 2개공, 수주는 약 450m 이상, 각공별 지하수 산출량은 18.9 ~ 37.8 lpm 이상, 설계 열에너지 공급가능량은 70RT로 규정
- 지하수의 수질 : SCW로 재주입하는 순환수의 수질은 음용수수질기준을 만족해야 하므로 음용수수질기준에 따라 공인기관이 실시한 수질분석결과를 재출해야 하고 부식성 및 Scaling을 유발지하수 : SCW적용불능.
- 3장 : 기술사가 인증한 SCW 설계내용, 허가, 유자격업체에 의한 SCW굴착 등13개조
- 4장 : 지하수 산출량에 따른 굴착심도, 유공관의 길이 및 규격, NGWA가제안한 방법으로 양수시험 등을 위시한 측정과 지불조건등으로 구성되어 있다.

결 론

지하수를 채수하면 대수층내에 저유되어 있던 지하수의 수위가 하강하는 영향반경 또는 영향권이 형성되는데 이는 우물상호간에 서로 간섭을 받지 않는 우물간격 또는 적정 이격거리를 구하는데 사용하는 인자이다. 고려 대상 수문지열계의 종류와 지하수 산출특성에 따라 사용할 수 있는 다양한 적정이격거리 산정법을 검토 제시하였다. 채수정에서 지하수를 장기적으로 채수할 때 수위강하가 전혀 발생하지 않는 지점까지의 2배를 적정이격거리로 규정하면 우리나라와 같은 여유 공간이 충분하지 않은 협소한 지역에서는 비 현실적이고 비 경제적이다. 따라서 균정으로 이뤄진

2정 혹은 대수층 축열시스템에서는 주입정과 채수정사이에 최소한의 열전달과 수위강하가 발생하는 지점까지를 영향반경으로 규정하여 지하수의 흐름이 부정류일 때 대수층의 종류에 따라 적정이격거리를 산정해도 무난하다. 또한 수주지열정은 설계냉난방부하에 의거하여 부정류 흐름상대에서 적정이격거리를 산정해야 한다

후 기

본고는 한국수자원공사의 위탁사업으로 시행중인 강변여과수,충적층 및 하상지하 지열자원 활용기술의 일환으로 균정으로 이뤄진 지열원 펌프시스템의 최적이격거리에 관한 조사 분석내용이다.

참고문헌

1. 한정상, 한혁상, 한찬, 김형수, 2007. 12 지열정사이의 적정이격거리 산정법(1)(수리지질학적인 관점) ,지열에너지저널, Vol.3, No.2, pp.60-71
2. David K. Todd,1980, The Ground Water Hydrology, John Wiley & Sons, pp.126
3. Ferris J.G., 1962, Theory of Aquifer Test, USGS Water Supply paper-1536E, pp.99-100
4. 한정상, 1998, 지하수환경과 오염, 박영사, pp.9134..
5. Table 1 Optimum distance between injection and withdrawal well in ground water heat pump system(m) Theis C,V.,1935,Relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Am. Geophys.Union Trans, pt.2 pp.519-524 ,dupl. as USGS Ground Water Note 5,1952
6. 환경부 / 부산시, 1996. 7, 부산 경남지역 북



류수 및 강변여과수 개발타당성조사 보고서

7. Katzman R.G. and Whitehead.W.R.,1980, The spacing of heat pump supply and discharge wells, groundwater heat pumpjournal,summer 1980,Vol 1,No 2.Columbus Ohio. Water Well Journal Publishing Co.,1980
8. 한정상, 한혁상, 한규상, 한찬, 2005, 지열펌프 냉난방시스템, 도서출판 한림원, pp. 14.44 -51
9. 정상,한혁상,한찬,김형수,전재수. 2006, 수주 지열정(SCW)을 이용한 천부 지열냉 난방시스템설계지침, 지질자원환경, Vol. 39, No.5, pp.607-613