

온천공에 대한 일일 적정양수량 및 영향평가

이철우* · 문상호 · 김형찬
한국지질자원연구원 지하수지열연구부

The Evaluations of Daily Safe Yield and Influence of Hot Spring Wells

Cholwoo Lee* · Sang-Ho Moon · Hyeong-Chan Kim
Groundwater and Geothermal Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

ABSTRACT

The evaluations of daily safe yield and reciprocal influence of hot spring wells are important subjects that the specialized agencies of hot spring has to survey. The survey of hot spring had been executed by Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) prior to 1996. However, as of 2006, eight specialized agencies of hot spring are working on it and so the survey of hot spring is not consistent now. This study was carried out to analyze data from hot spring in the same way by every specialized agency. The time of residual drawdown was applied to evaluate daily safe yield because some of wells have slow recovery of drawdown. The reciprocal influence between hot spring wells was evaluated by drawdown of observation wells when a new well was pumped.

Key words : Daily safe yield, Reciprocal influence, The specialized agencies of hot spring, Residual drawdown

요 약 문

온천공에 대한 일일 적정양수량 및 영향평가는 온천법에서 지정된 온천전문기관이 수행하여야 하는 중요한 조사 항목이다. 온천전문조사는 1996년 이전까지 한국지질자원연구원에서 수행하였으나, 2006년 현재에는 8개 온천전문기관이 온천법에 등록되어 있어 일관된 조사가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 이 논문은 온천법 및 온천업무처리지침에서 규정된 사항을 사례적용하는 방법을 통해서 온천전문기관 및 관련 업체에서 온천조사시 동일한 해석을 할 수 있도록 하는 것이 그 목적이다. 적정양수량 산출시 온천공은 양수후 수위회복이 느린 것이 많아 수위회복시간이 고려되었다. 따라서 단계양수시험후 수위회복이 상대적으로 느린 온천공은 적정양수량이 감소하게 된다. 온천공간 영향평가는 2개 이상 온천공사 사이의 영향관계를 규명하는 것으로서, 신규공에서 양수시험을 실시하고 주위 공들에서의 수위강하를 관측하여 온천공간 영향의 정도를 평가하고 있다.

주제어 : 일일적정 양수량, 영향평가, 온천전문기관, 회복수위

1. 서 론

1981년에 온천법이 제정된 이래로 1996년까지는 온천전문검사를 한 기관(한국지질자원연구원)에서 주도적으로 실시해왔다. 이에 따라, 온천검사의 방법, 절차, 결과의 해석 등에 있어서 한국지질자원연구원의 조사 규정에 맞추

어 일관성을 유지해 올 수 있었다.

그러나 1996년 이후로는 온천검사의 독점을 배제하기 위해 한국지질자원연구원 외에도 정부투자기관인 대한광업진흥공사, 한국농촌공사, 한국수자원공사에서 온천전문검사를 할 수 있게 되었고, 2000년도부터는 정부의 규제 완화 차원에서 온천전문기관의 등록 기준이 지정제에서

*Corresponding author : lcw@kigam.re.kr

원고접수일 : 2006. 4. 4 게재승인일 : 2006. 6. 28

질의 및 토의 : 2006. 10. 31 까지

자격기준제로 바뀌에 따라 온천법 제3조 제5항 및 동법시행규칙 제3조의2 제2항의 규정에 의하여 일정 수준의 자격 여건을 갖추게 되면 행정자치부의 승인하에 온천전문기관으로 등록할 수 있게 되었다. 이에 따라, 2006년도 현재까지 등록된 온천전문기관은 한국지질자원연구원을 비롯한 기존의 4개 정부 출연 및 투자기관과 일반 엔지니어링 업체를 포함하여 모두 8개 기관이 되었다.

이와 같이, 여러 개의 온천전문기관이 운영되면서 온천전문검사(수량, 수온, 성분 평가)에 있어서 전문기관별로 서로 다른 검사 결과를 도출하거나 혹은 결과 해석시 주관적인 견해차를 보인다면 온천전문기관으로서의 신뢰성 상실 및 민원 발생의 소지가 생기게 된다. 따라서 효율적인 온천의 개발·이용을 위해서 온천전문기관이 이용할 통일된 검사 방법과 절차의 마련이 필요하게 되었다(문상호 외, 2002).

이와 관련하여 한국지질자원연구원에서는 행정자치부로부터 의뢰를 받아 “온천전문검사의 합리화방안”에 대한 연구를 수행하였으며, 이 내용 중 일부가 “온천업무처리지침(추가)(행정자치부, 2003)”에 수록되었다. 따라서 이 논문에서는 “온천업무처리지침(추가)”중 온천전문기관 및 지하수관련 용역업체에서 이용할 수 있는 온천전문검사에 대한 부분을 중심으로 소개하고자 한다.

2. 일일 적정양수량 평가

2.1. 단계양수시험 해석

온천공에서의 단계양수시험은 양수율-수위강하량 관계로부터 조사공의 비용출량, 비수위강하량을 구할 수 있게 해준다. 비용출량이란 양수율을 수위강하량으로 나눈 값으로 단위 수위강하량에 대한 지하수 산출량을 나타낸다. 비수위강하량은 비용출량의 역수로서 양수율에 따른 수위강하량을 예측할 수 있는 수위강하식을 산출할 수 있으며, 온천조사시에는 이 단계양수시험을 통하여 조사공의 적정양수량을 추정하고 있다.

온천공조사시 단계양수시험은 4단계 이상으로 이루어지며, 보통 양수중단 없이 양수율을 증가시킨다. 따라서 2단계 이후부터는 전단계의 양수에 의해 수위강하 곡선이 왜곡된다. 만약 수위강하 양상이 평형상태(steady state)에 도달하였다면 경과시간에 따라 Δs_w (우물에서의 수위강하 기울기)가 0이 되어 문제가 없지만, 비평형상태(unsteady state)인 경우는 수위강하 곡선이 왜곡된다. 따라서 이를 수정하기 위하여 다음과 같이 Cooper-Jacob(1946)의 식을 이용하고 있다(이철우 외, 2002).

Table 1. Pumping rate and elapsed time for a step-drawdown test

	1 step	2 step	3 step	4 step
Pumping rate (m ³ /day)	400	600	800	1,000
Elapsed time (min)	1,200	240	240	240

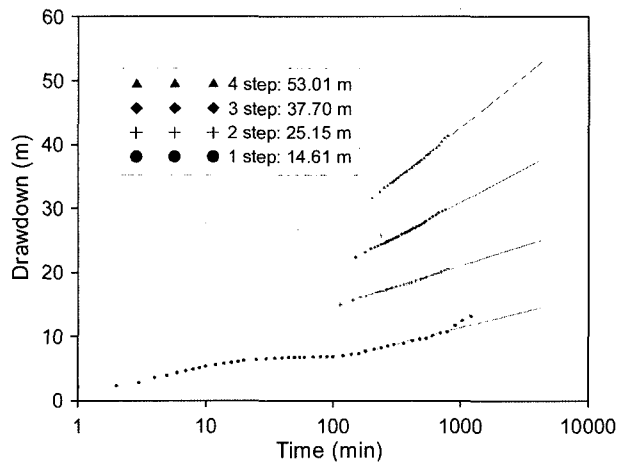


Fig. 1. Corrected time-drawdown graphs and best fit for a step-drawdown test.

$$\log t_c = \frac{\sum \{ \Delta Q_i \times \log(t_n - t_i) \}}{\sum \Delta Q_i} \quad (1)$$

여기에서 t_c 는 보정시간, ΔQ_i 는 단계별 양수율 증가분, t_n 은 n 단계까지의 총경과시간 및 t_i 는 단계별 양수시작시간이다.

익산(석암2)지구 온천공조사(이철우 외, 2004)의 단계양수시험 자료를 해석하기 위해 각 단계별 양수율에 대한 경과시간을 정리하여 보면 Table 1과 같으며, 이 자료를 식 (1)에 대입하여 각 단계별 경과시간을 보정하면 Table 2와 같다. 여기에서 실제로 마지막 단계인 1,000 m³/day으로 240분 양수시 t_c 를 계산하여 보면 다음과 같다.

$t_n - t_i$	$\log(t_n - t_i)$	ΔQ_i	$\Delta Q_i \times \log(t_n - t_i)$	$\sum \{ \Delta Q_i \times \log(t_n - t_i) \} / \sum \Delta Q_i$	t_c
1,920	3.2833	400	1,313.3205		
720	2.8573	200	571.4665		
480	2.6812	200	536.2482		
240	2.3802	200	476.0422		
		Σ 1,000	2,897.0775	2.8971	789.00

따라서 각 단계별 보정시간(t_c)에 대한 수위강하는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 보면 2단계의 1분(총

Table 2. Corrected time and drawdown for a step-drawdown test

1 step		2 step		3 step		4 step	
Time (min)	drawdown* (m)	Time (t_c , min)	drawdown* (m)	Time (t_c , min)	drawdown* (m)	Time (t_c , min)	drawdown* (m)
1	2.15	112.99	15.01	149.57	22.37	200.94	31.71
2	2.29	142.43	15.71	178.11	23.14	231.16	32.59
3	2.79	163.14	16.16	197.39	23.74	251.05	33.25
4	3.60	179.65	16.35	212.40	23.95	266.32	33.59
5	3.94	193.63	16.60	224.89	24.19	278.88	33.87
6	4.34	205.88	16.71	235.70	24.39	289.66	34.08
7	4.65	216.86	16.88	245.29	24.55	299.17	34.32
8	4.86	226.85	16.99	253.96	24.69	307.71	34.48
9	5.08	236.07	17.10	261.91	24.84	315.50	34.67
10	5.31	244.64	17.11	269.26	24.94	322.69	34.82
12	5.55	260.25	17.33	282.57	25.16	335.64	35.14
14	5.76	274.28	17.46	294.46	25.31	347.14	35.29
16	5.92	287.08	17.59	305.26	25.47	357.55	35.51
18	6.07	298.90	17.66	315.21	25.59	367.11	35.68
20	6.22	309.92	17.76	324.47	25.74	375.99	35.82
25	6.38	334.76	17.95	345.31	26.00	395.90	36.11
30	6.53	356.71	18.12	363.73	26.23	413.44	36.42
35	6.61	376.53	18.21	380.40	26.42	429.29	36.74
40	6.67	394.73	18.35	395.76	26.58	443.87	36.92
45	6.73	411.64	18.46	410.09	26.74	457.47	37.13
50	6.74	427.49	18.59	423.58	26.95	470.27	37.32
55	6.76	442.47	18.70	436.38	27.02	482.42	37.48
60	6.78	456.70	18.81	448.60	27.19	494.03	37.61
70	6.81	483.32	18.96	471.63	27.40	515.92	37.85
80	6.84	507.97	19.10	493.15	27.57	536.40	38.32
90	6.85	531.06	19.23	513.49	27.82	555.80	38.51
100	6.87	552.88	19.35	532.88	28.01	574.31	38.76
120	7.03	593.53	19.57	569.42	28.40	609.31	39.15
140	7.25	631.12	19.79	603.68	28.74	642.23	39.56
160	7.29	666.40	19.91	636.22	28.99	673.60	39.86
180	7.72	699.86	20.14	667.40	29.33	703.75	40.43
210	8.00	747.40	20.39	712.20	29.57	747.21	40.99
240	8.28	792.46	20.62	755.12	29.84	789.00	41.35
270	8.50						
300	8.77						
360	8.95						
420	9.35						
480	9.60						
540	9.70						
600	10.10						
690	10.53						
780	10.72						
900	11.70						
1,020	12.45						
1,200	13.22						

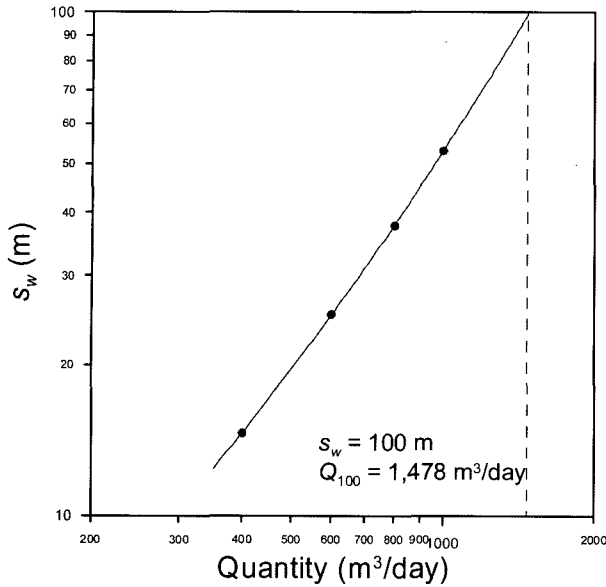


Fig. 2. Relationships between pumping rate and drawdown.

경과시간은 1,201분) 경과시의 보정시간은 112.99분으로 서 이는 1단계의 양수를 2단계인 600 m³/day으로 양수했 다고 가정할 시의 경과시간과 비슷하게 된다.

온천법에 의하면 온천공조사에서는 적정양수량으로 3일 간(4,320분) 양수했을때 100 m 이내의 수위강하를 유지 하여야 한다. 따라서 각 단계별 수위강하 기울기를 4,320 분까지 연장하여 수위강하를 예측하고 있다. Fig. 1은 각 단계별로 수위강하를 예측한 것이며, 그 수위강하는 각 단 계별로 14.61 m, 25.15 m, 37.70 m 및 53.01 m로 계 산되었다. 여기에서 각 양수율별 수위강하를 log-log 그래 프에 나타내면 Fig. 2와 같다.

우물 내에서의 양수율에 대한 수위강하 관계는

$$s_w = BQ + CQ^n \quad (2)$$

s_w : 우물에서의 수위강하(m)

Q : 양수율(m³/day)

B : 대수층손실상수

C : 우물손실상수

n : 우물손실지수

으로서 Jacob(1947)은 우물손실지수(n)를 2로 제안한 바 있으며, Rorabough(1953)는 2.43~2.82라고 언급한 바 있 다. 또한 우리나라 암반대수층의 경우는 Rorabough가 제 안한 범위보다 더 넓은 범위(1.65~6.48)를 갖는 것으로 알려져 있다(이철우 외, 2002). 따라서 우물손실지수는 각 조사공에서 구한 값을 사용하는 것이 타당하며, Labadie

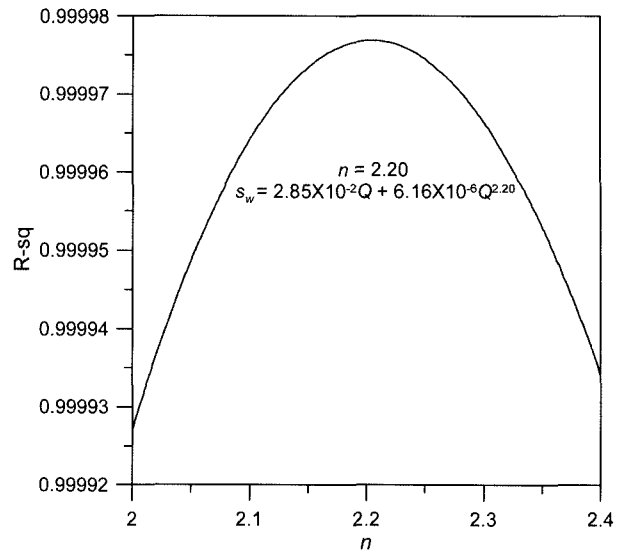


Fig. 3. Relationships of n - R^2 in pumping well at Iksan (seogam2).

and Helweg(1975)의 방법으로 우물손실지수를 구하기 위 해 우물손실지수에 대한 R^2 의 분포를 살펴보면 Fig. 3과 같다. 여기에서 보면 우물손실지수가 2.20에서 R^2 의 값이 최고치(0.99997689)를 보였으며, 이때 수위강하식은 다음 과 같다.

$$s_w = 2.85 \times 10^{-2}Q + 6.16 \times 10^{-6}Q^{2.20} \quad (3)$$

여기에서 대수층손실상수(B)는 2.85×10^{-2} , 우물손실상수 (C)는 6.16×10^{-6} 및 우물손실지수(n)는 2.20이 되며, 식 (3)은 Fig. 2의 실선과 같이 표현할 수 있다. 여기에서 보 면 점으로 표시된 실측 자료와 수위강하 곡선이 잘 일치 하는 것을 볼 수 있으며, 양수율과 수위강하가 완만한 곡 선적인 관계를 보여주고 있다.

2.2. 일일 적정양수량 추정

온천공에서 일일 적정양수량을 추정하는 방법은 다음과 같다(행정자치부, 2003).

1) 단계양수시험을 통하여 3일(4,320분) 경과시 $s_w = BQ + CQ^n$ 을 구한다.

2) s_w 가 100 m일 때의 일일양수율(Q_{100})을 구한다.

3) 단계양수시험 후 수위회복 그래프에서 t'_{95} (총수위강 하량에서 95%까지 회복될 때의 시간)를 구한다.

4) 일일 적정양수량은

$$300 + (Q_{100} - 300) \times \frac{t_{c,max}}{t_{c,max} + t'_{95}} \quad (4)$$

300 : 온천법상 기준 수량(m³/day)

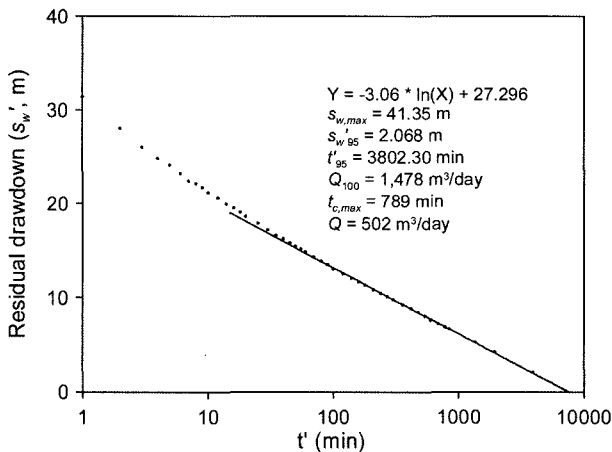


Fig. 4. Residual drawdown after a step-drawdown test.

Q_{100} : s_w 가 100 m일 때의 일일양수량(m^3/day)

$t_{c,max}$: 단계양수시험시 총보정시간(분)

로 추정하며, 수위강하 100 m일 때 $300 m^3/day$ 가 안될 시에는 Q_{100} 을 적정양수량으로 추정한다.

5) 단, 일일 적정양수량은 단계양수시험시의 최대양수량을 초과하지 못한다.

여기에서 Q_{100} 은 식 (3)을 이용하여 구하거나 Fig. 2의 도해방법으로 구할 수 있으며, 익산(석암2)지구에서의 그 값은 $1,478 m^3/day$ 로 산출된다.

t'_{95} 를 구하기 위해서는 단계양수시험후 회복시험을 실시하여야 하며, 그 결과는 Fig. 4와 같다. 또한 단계양수시험시 총보정시간($t_{c,max}$)과 총수위강하량($s_{w,max}$)은 Table 2에서 보는 바와 같이 각각 789분, 41.35 m이며, 따라서 95% 회복수위($s_{w,95}$)는 2.068 m가 된다. Fig. 4에서와 같이 회복시험시 수위자료를 이용하여 시간(t')-수위(s_w')에 대한 회귀분석을 실시하여 보면

$$s_w' = -3.06 \ln(t') + 27.296 \quad (5)$$

와 같으며, 식 (5)를 이용하여 t'_{95} 를 계산하여 보면 약 3,802.3분으로 산출된다.

따라서 상기 계산된 값들을 식 (4)에 대입하여 보면 일일 적정양수량은 약 $502 m^3/day$ 로 산출된다. 이후 일일 적정양수량으로 3일간의 장기양수시험을 통하여 100 m 이내의 수위강하와 용출온도를 확인하게 된다.

3. 온천공간 영향평가

온천공간 영향평가는 1개 지구에 2개 이상 온천공을 개발할 시 온천공간의 수위간섭을 고려하여 일일 적정양수

량을 조절하거나, 주위에 다른 개발자로부터 기존 개발자를 보호하기 위해 후에 개발될 온천공에 대해 영향의 정도를 판단하는데 그 목적이 있다.

거제(양정)지구에서는 동일 개발자에 의해 2개의 온천공이 개발되었으며, 이들 상호간의 공간 거리는 약 18 m이다. 또한 1호공의 일일 적정양수량은 $400 m^3/day$ 이며, 2호공의 일일 적정양수량은 $340 m^3/day$ 로 확인되었다(이철우 외, 2001). 그러나 이 일일 적정양수량은 상호간의 영향관계를 전혀 고려하지 않은 것으로서 실제로는 각 공에서 양수시 다른 공에서 수위강하가 발생하고 있다. 따라서 상호간의 수위간섭을 고려한 영향평가가 요구되며 이는 다음과 같이 실시한다(행정자치부, 2003).

- 1) 신규공(동일 개발자의 추가공은 “보조공”이라 함)의 일일 적정양수량으로 4,320분간 양수시험을 실시한다.
- 2) 이때 기존공(혹은 다른 보조공)들의 수위를 관측하고 수위강하가 가장 많이 발생하는 공의 수위를 “최대영향수위(s_{max})”라한다.
- 3) 신규공의 수위강하식에 최대영향수위를 대입하여 Q 를 구하고 이를 “최대영향수량(Q_{max})”이라한다.
- 4) 신규공의 일일 적정양수량에서 최대영향수량을 감하고 이를 “영향을 고려한 일일 적정양수량”이라 한다.
- 5) 신규공과 기존공 사이의 영향 정도는

$$\frac{Q_{max} \times 100}{Q_{wp}} (\%) \quad (6)$$

Q_{wp} : 신규공의 일일 적정양수량

으로서 배분율(%)로 나타낸다.

거제(양정)지구에서는 1호공이 기존공이며, 2호공이 보조공이다. 따라서 2호공에서 $340 m^3/day$ 로 4,320분간 양수를 실시하였으며, 이때 1호공의 s_{max} 는 4,320분 경과시 약 37.67 m로 관측되었다. 또한 단계양수시험을 통하여 얻은 2호공의 수위강하식은

$$s_w = 7.5 \times 10^{-2}Q + 2.13 \times 10^{-6}Q^{2.89} \quad (7)$$

으로서, 최대영향수위 37.67 m를 식 (7)에 대입하면 Q_{max} 는 $253 m^3/day$ 로 산출된다. 따라서 2호공의 영향을 고려한 일일 적정양수량은 $87 m^3/day$ 가 되며, 신규공과 보조공 사이에 발생하는 영향의 정도는 식 (6)에 의해 약 74.4%이다.

온천조사시 온천공들간의 영향평가는 1개 지구에 다수의 기존공 또는 다수의 신규공(보조공)이 존재하여도 상기와 같은 방법으로 실시할 수 있으며, 제 1기존공을 제

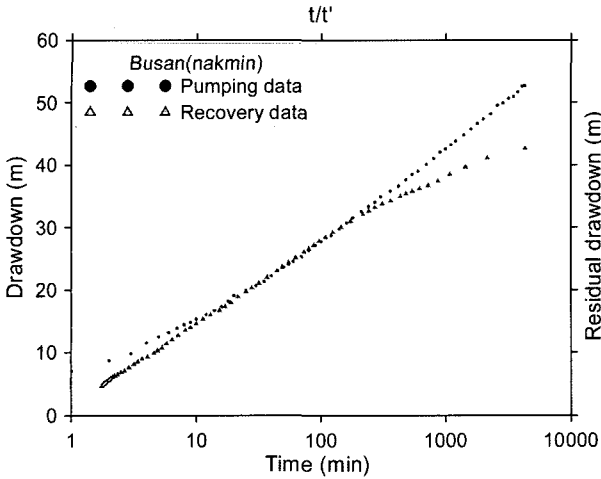


Fig. 5. Pumping and recovery graphs at Busan (nakmin).

외하고는 모두 영향을 고려한 적정양수량을 산출하여야 한다. 또한 온천법에서는 제 1기존공(혹은 온천발견신고공)은 일일 300 m³/day 이상, 보조공은 150 m³/day 이상 토출하도록 되어 있으므로, 이를 만족하는 온천공들의 적정양수량(보조공은 영향을 고려한 적정양수량)의 합을 가채수량 또는 부존량으로 하고 있다.

4. 결과 및 토의

온천공조사에 있어서 일일 적정양수량 평가는 매우 중요한 문제이며, 이를 평가하는 기준 역시 기술이 축적됨에 따라 변화를 보여 왔다. 2003년도 이전까지의 일일 적정양수량 평가는 온천공내의 양수율-수위강하의 관계로부터 도출되었는데, 단계양수시험시 양수율-수위강하 관계가 급격하게 변하는 변곡점을 적정양수량으로 하였다. 그러나 이 관계는 Fig. 2에서와 같이 곡선적인 변화를 보여줄 뿐 급격하게 변하는 변곡점을 찾기 어려우며(이철우, 문상호, 2000), 이 곡선의 양상은 식 (3), 식 (7) 등에서 구해진 우물손실지수와 밀접한 관계를 가지고 있다.

또한 시추기술의 발달로 인한 심부 암반대수층의 개발과 깊은 심도까지의 케이싱 설치로 인해 온천공에서의 수위강하와 수위회복 양상이 매우 다양함을 보이고 있다. 양수시험자료를 반대수 용지에 도시하는 Jacob 방법을 이용할 때 수위강하와 수위회복 곡선(혹은 직선)은 보통 점대칭을 이루는데, Theis의 가정에 일치하는 비평형상태의 경우 Fig. 5와 같이 직선적인 경향을 보인다. 이 그림은 부산(낙민)지구의 양수시험과 회복시험 자료(문상호 외, 2000)를 도시한 것으로서 우측 상단과 좌측 하단의 자료의 불일치는 우물손실에 따른 영향으로 판단되며, 그 이

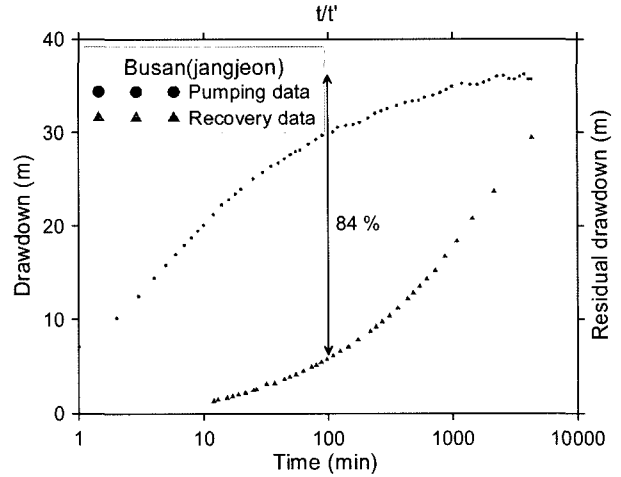


Fig. 6. Pumping and recovery graphs at Busan (jangjeon).

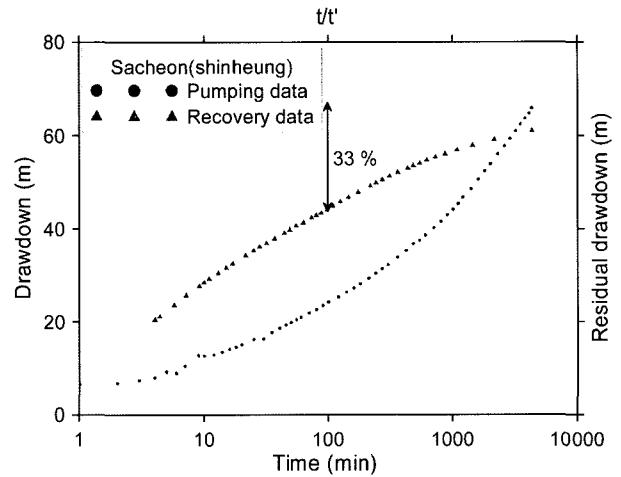


Fig. 7. Pumping and recovery graphs at Sacheon (shinheung).

외의 자료에서는 두 자료의 기울기가 같으므로 투수량계수 또한 같음을 의미한다. Fig. 6(문상호 외, 2000)은 시간에 따른 수위강하의 기울기가 점차 낮아지는 경향을 보이는 것으로서 수위회복시에는 경과시간 초기에 수위회복이 급격하게 이루어지는 것을 볼 수 있다. 여기에서 보면 t/t' 가 100일 때의 수위회복은 총수위강하량의 약 84%가량인 것으로 해석된다. Fig. 7(이철우 외, 2001)은 Fig. 6과 반대인 경향을 나타내는 것으로서 시간에 따른 수위강하 기울기가 점차 높아지며, 수위회복시에는 t/t' 가 100일 때 총수위강하량의 약 33%가 회복된 것으로 해석된다.

이와 같이 수위강하와 수위회복의 양상은 밀접한 관계를 가지고 있으며, Fig. 5와 같이 직선적인 경향을 보이는 것과 Fig. 6, Fig. 7과 같이 곡선적인 경향을 보이는 것 등 3가지 타입으로 나눌 수 있다. 만약 각각의 온천공

에서 양수와 회복을 반복하면서 사용한다면, Fig. 7의 경우는 수위회복이 상대적으로 덜 된 상태에서 다시 양수가 진행되므로 장기간 사용할 경우 수위강하가 많이 발생하게 된다. 따라서 온천공의 일일 적정양수량 평가는 식 (4)와 같이 수위회복률 95%를 적용하고 있으며, 다만, 일일 적정양수량 300 m³/day는 현행 온천법을 준수하기 위해 제외하고 있다.

5. 결 론

온천공조사는 온천법에 의해 온천전문기관에서 실시하도록 되어있으며, 2006년 현재 온천전문기관은 정부출연기관 및 정부투자기관 4곳, 일반 엔지니어링업체 4곳 등 총 8개 기관이다. 한국지질자원연구원에서는 온천전문기관이 늘어남에 따라 통일된 검사방법과 절차를 마련하기 위해 온천전문검사의 합리화방안에 대한 연구를 수행하였으며, 행정자치부는 온천법 및 온천업무 처리지침에 이 내용을 수록하였다.

온천공조사시 일일 적정양수량 산출은 단계양수시험을 통하여 추정하고 있다. 단계양수시험은 4단계 이상 실시하여야 하며, 여기에서 수위강하식을 이용하여 100 m 수위강하시 일일양수율을 구한다. 이때 암반대수층의 경우 우물손실지수의 범위가 넓으므로 수위강하식을 산출할 때 각 온천공에 대한 우물손실지수를 구하여야 한다. 단계양수시험 후에는 회복시험을 실시하며 이 시험에서는 총수위강하량에서 95%까지 수위가 회복될 때의 시간을 구한다. 일일 적정양수량은 식 (4)와 같이 계산하며, 장기양수시험을 통하여 일일 적정양수량시 수위강하 및 용출온도 등을 확인한다.

온천공간 영향평가는 1개 지구에 2개 이상의 온천공을 개발할 때나 기존 온천공 주위에 다른 개발자가 온천공을 굴착시 이들 상호간에 발생하는 영향의 정도를 판단하는데 그 목적이 있다. 영향평가는 신규공의 일일 적정양수량으로 3일간 양수시험시 주위 공들에서 발생하는 최대영향수위와 최대영향수량을 계산하여 식 (6)과 같이 영향의 정도를 판단한다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 '심부 지열 에너지 개발사업(OAA2003001)'과 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

문상호, 김형찬, 이철우, 2002, 온천전문검사의 합리화 방안, 한국지질자원연구원, p. 97.

문상호, 이철우, 성기성, 고동찬, 김연기, 신현모, 고인세, 2000, 부산(장전)지구 온천공조사 보고서, 한국지질자원연구원, 2000-5(276), p. 81.

문상호, 이철우, 성기성, 이승구, 2000, 부산(낙민)지구 온천공조사 보고서, 한국지질자원연구원, 2000-6(277), p. 65.

이철우, 문상호, 2000, 온천공에서 적정양수량 산출방법 연구, 2000년 한국지하수토양환경학회 창립총회 및 춘계학술발표회, 한국지하수토양환경학회, p. 66.

이철우, 성기성, 김용제, 조용찬, 2004, 익산(석암2)지구 온천공조사 보고서, 한국지질자원연구원, 2004-4(318), p. 65.

이철우, 성기성, 이대하, 김용제, 문상호, 2001, 거제(양정)지구 온천공 영향평가조사 보고서, 한국지질자원연구원, 2001-7(288), p. 111.

이철우, 이대하, 김용제, 성기성, 2001, 사천(신흥)지구 온천공조사 보고서, 한국지질자원연구원, 2001-15(296), p. 63.

이철우, 이대하, 정지근, 김구영, 김용제, 2002, 양수시험시 방사상흐름을 보이는 균열암반 대수층에서의 우물손실, 한국지하수토양환경학회, 7(4), 17-23.

행정자치부, 2003, 온천업무처리지침(추가), 행정자치부 지역진흥과, p. 57.

Cooper, H.H. and Jacob, C.E., 1946, A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, *Am. Geophys. Union*, **27**, 526-534.

Jacob, C.E., 1947, Drawdown test to determine effective radius of artesian well, *Transactions, ASCE*, **112**, 1047-1070.

Labadie, J.W. and Helweg, O.J., 1975, Step drawdown test analysis by computer, *Ground Water*, **13**(5), 438-444.

Rorabough, M.I., 1953, Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well, *Proceedings Separate No. 362, ASCE*, **79**, 1-23.