

예천온천지구내 온천공간 수위간섭을 고려한 적정양수량 평가

이철우*

한국지질자원연구원 지열자원연구실

The Evaluation of Safe Yield Considered Interference Drawdown between Hot Spring Wells at Yecheon Hot Spring Area

Cholwoo Lee*

Geothermal Resources Group, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

예천온천지구에는 5개 온천공이 개발되어 있으며, 온천공들간의 거리는 약 159.0m~702.6m 정도이다. 온천조사시 적정양수량 평가에 있어서는 각 공에 대한 적정양수량을 평가한 후 온천공간 수위간섭을 고려하여 적정양수량을 조절하도록 되어있다. 2호공과 5호공의 공간 거리는 약 159m로서 5개 공중 가장 가깝게 위치하고 있으며, 양수시험시 이들간의 수위간섭 현상도 매우 크게 발생하였다. 5호공에서 3일간 양수시 5호공 자체의 수위강하는 17.21m 이었으며, 2호공의 수위강하 역시 16.67m로 두 공간에는 약 0.54m 정도의 차이만을 보였다. 따라서 온천공간 영향의 정도는 약 97%로 매우 높았으며, 적정양수량도 당초 750 m³/day에서 24 m³/day로 감하였다. 또한 이와 같이 두 공간에 영향이 심한 원인은 대수층이 1.5차원에 기인한 것으로 해석된다.

주제어 : 예천온천, 수위 간섭, 적정양수량, 대수층, 차원

There exist 5 wells drilled at the Yecheon hot spring area, the distance between the wells is about 159 m~702.6 m. The safe yield of each well is controlled by interference drawdown between a pumping well and an observation well after pumping test. The well No. 2 and the well No. 5 are the closest, at the distance of 159 m; therefore interference drawdown between two wells was occurred considerably. The drawdown of the well No. 2 (an observation well) was 16.67 m; the drawdown of the well No. 5 (a pumping well) was 17.21 m. The degree of the interference is about 97% and the safe yield decreased from 750 m³/day to 24 m³/day. Significant interference between two wells is due to the fact that the aquifer has 1.5 dimensions.

Key words : Yecheon hot spring, interference drawdown, safe yield, aquifer, dimension

서 론

예천온천은 경상북도 예천군 감천면 관현리 일대에 위치하는 온천으로 1996년도에 처음 온천발견신고수리가 되었으며, 이후 온천공 개발이 계속 진행되어 현재에는 5개 온천공이 개발되어 있다. 예천온천에 대한 과거 온천조사는 1996년 6월에 온천발견 신고공인 1호공에 대한 온천공조사가 처음 실시되었으며(이철우 외, 1996), 1997년 7월부터 1998년 3월에는 이미 조사된 1호공 및 추가 개발공인 2, 3호공에 대한 온천자원 평가조사가 실

시되었다(임정웅 외, 1998). 이후 2003년에는 4호공이 개발되어 이 공에 대한 온천자원조사를 실시하였으며(이철우 외, 2003), 2004년도에는 5호공이 개발되어 5호공에 대한 온천공조사 및 온천지구 전체에 대한 온천자원 평가조사를 실시하였다(이철우 외, 2004).

우리나라에서 온천지구내의 온천공들은 공들 간의 거리가 주로 수십에서 수백 미터 이내에 분포하고 있으며, 예천온천의 경우 온천공들 간의 거리가 약 159.0m~702.6m 정도이다. 따라서 온천조사시 적정양수량 평가에 있어서는 각 공에 대한 적정양수량을 평가한 후 온

*Corresponding author: lcw@kigam.re.kr

천공 간 수위간섭을 고려하여 적정양수량을 조절하도록 되어있다(이철우 외, 2006, 행정자치부, 2003).

예천온천의 경우 2호공과 5호공의 공간 거리가 약 159m로서 5개 공중 가장 가깝게 위치하고 있으며, 양수시험시 이들 간의 수위간섭 현상도 매우 크게 발생하고 있다. 따라서 이 논문의 목적은 온천공 간 수위간섭이 심하게 발생한 원인을 규명하고, 온천공 간 상호간섭 정도를 해석하여 일일 적정양수량을 평가하는데 있다.

온천공 현황

예천온천지구내에 개발된 온천공은 모두 5개 공으로 1호공이 962 m로 가장 깊게 굴착되었으며, 그 이외의 공들은 약 800 m 정도 굴착되었다. 천부의 냉수층을 차단하기 위한 케이싱은 직경 8인치로 280 m~545 m 정도 설치되어 있으며, 양수를 위한 수증펌프는 40마력~50마력을 설치하여 사용하고 있다(Table 1).

Table 2는 조사공들의 위치를 TM(Transverse Mercator) 좌표로 변환한 것이며, 이들 좌표를 이용하여 공들 간의 거리를 계산하여 보았다. 여기에서 보면 2호공과 5호공이 가장 가까운 거리에 위치하고 있으며, 그들 간의 공간 거리는 약 159m로 계산되었다. 또한 1호공과 4호공은 가장 멀리 떨어져 있으며, 그들 간의 공간 거리는

약 702.6 m로서 예천온천지구내 온천공들의 분포는 Fig. 1과 같다.

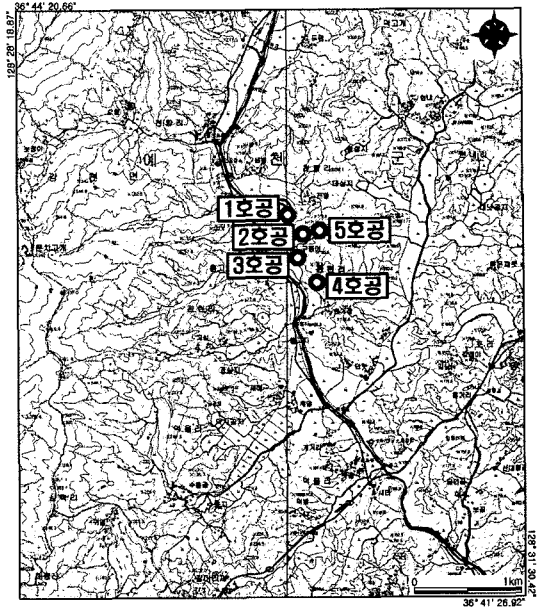


Fig. 1. Distribution of wells at the Yecheon hot spring area.

Table 1. The depth, casing, and submersible pump of wells.

Well No.	Elevation	Depth	Casing	Sub. pump (Depth)
1	131.571 m	962 m	280 m	40 HP 30dan (720 m)
2	140.012 m	800 m	300 m	50 HP 12dan (648 m)
3	130.859 m	738 m	345 m	40 HP 25dan (588 m)
4	-	800 m	545 m	40 HP 26dan (600 m)
5	-	774 m	522 m	40 HP 12dan (684 m)

Table 2. TM coordinate and distance of wells.

Well No.	x(east)	y(north)	Distance of wells			
			2	3	4	5
1	155082.87	358342.45	233.33	403.04	702.60	333.06
2	155228.41	358160.08	-	215.14	482.01	159.00
3	155178.26	357950.86	-	-	311.65	320.69
4	155356.93	357695.51	-	-	-	502.96
5	155382.87	358197.80	-	-	-	-

(unit : m)

양수시험 결과

5호공에서의 적정양수량

예천온천지구 5호공에서 적정양수량을 추정하기 위하여 단계양수시험을 실시하였으며, 이때 단계양수시험은 양수를 300 m³/day, 450 m³/day, 600 m³/day 및 750 m³/day의 순서로 각각 1,020분, 240분, 240분 및 240분씩 4단계로 양수하였다. 단계양수시험은 1단계 이후 2, 3 및 4단계 시험을 연속적인 양수율의 변화로 실시하였으며, 이에 따라 2, 3 및 4단계의 수위강하는 전 단계의 양수에 의해 시간별 수위강하가 왜곡되어 나타난다. 따라서 2단계부터의 경과시간은 아래와 같은 Cooper-Jacob 방법에 의한 식을 이용하여 보정하였다(Cooper and Jacob; 1946, 이철우 외, 2002; 이철우 외, 2006).

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

여기에서 t_c 는 보정시간, ΔQ_i 는 단계별 양수를 증가분, t_n 은 n단계까지의 총경과시간 및 t_i 는 단계별 양수시작시간이다.

Fig. 2는 단계양수시험에서 측정한 수위강하 자료를

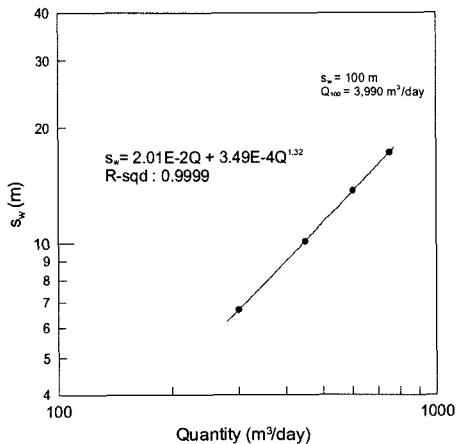


Fig. 2. The relationship between quantity and drawdown at the well No. 5.

이용하여 작성한 양수율별 수위강하 관계도이다. 이 그림은 식 (1)을 이용하여 보정된 양수시간을 이용하여 각 양수율별로 4,320분까지 예측된 수위강하량이며 300 m³/day, 450 m³/day, 600 m³/day 및 750 m³/day으로 양수시 계산된 수위강하량(s_w)은 각각 6.70 m, 10.13 m, 13.73 m 및 17.26 m로 산출되었다. 이와 같은 4단계 양수율에 따른 수위강하를 이용하여 비용출량(Q/s_w) 및 비수위강하(s_w/Q) 및 우물효율 등을 구할 수 있다. Table 3은 이들을 정리하여 놓은 것으로서 비양수량(Q/s_w)이 44 m²/day 내외, 우물효율(E_w)이 90% 내외로 암반대수층에서 보이는 일반적인 값들에 비해 높은 값을 보이고 있다.

Fig. 2에서 각 양수율별 수위강하에 대하여 회귀분석을 실시하면 관계식을 도출할 수 있으며(Labadie and Helweg, 1975) 그 결과는 다음의 식 (2)와 같다.

$$s_w = 2.01 \times 10^{-2} Q + 3.49 \times 10^{-4} Q^{1.32} \quad (2)$$

위의 식에서 대수층손실상수(B)는 2.01×10^{-2} 이며, 우물손실상수(C) 및 지수는 각각 3.49×10^{-4} , 1.32가 된다. 이 식으로부터 우물효율(E_w)을 구할 수 있는데 이는 총수위강하량에 대한 대수층손실량을 의미한다. 또한 식 (2)를 이용하여 수위강하 100m일때의 양수율(Q_{100})을 구할 수 있으며 그 값은 약 3,990 m³/day로 산출된다.

또한 단계양수시험 후 수위회복시험을 실시하였으며 그 결과는 Fig. 3과 같다. 이 그림에서 x축은 회복시간(t')을 로그 스케일(log scale)로 표현하였으며 y축은 단계양수시험후 양수정에서의 회복수위(s')이다. 여기에서 회복되는 수위자료를 이용하여 회귀분석한 결과, 단계양수 시험시 나타난 총수위강하량(s_{max} , 9.52 m)에서 95%까지 회복될 때의 시간 t'_{95} 는 2,852.63분으로 계산되었다.

따라서 상기에서 구한 값들을 다음과 같은 적정양수량을 구하는 식에 대입하여 적정양수량을 구할 수 있다 (행정자치부, 2003; 이철우 외, 2006).

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

Table 3. The result of step oumping test at the well No. 5.

Pumping rate Q (m ³ /day)	Drawdown s_w (m)	Q/s_w (m ² /day)	s_w/Q (day/m ²)	Well efficiency E_w (%)
300	6.70	44.7761	0.0223	90.27
450	10.13	44.4225	0.0225	89.07
600	13.73	43.6999	0.0229	88.14
750	17.26	43.4531	0.0230	87.38

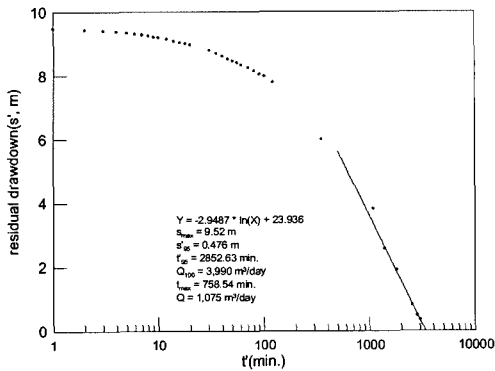


Fig. 3. The result of recovery test after step pumping test at the well No. 5.

300 : 온천법상 기준 수량(m³/day)

$Q_{100} : s_w$ 가 100 m일 때의 일일양수율(m³/day)

$t_{c, max}$: 단계양수시험시 총보정시간(분)

여기에서 $t_{c, max}$ 는 단계양수시 각각의 양수율과 양수시간을 식 (1)에 대입하여 마지막 4단계의 양수시간을 계산한 값이며, 그 값은 약 758.54분이다. 이 값과 상기에서 구한 Q_{100} 및 t_{95} 를 식 (3)에 대입하면 적정양수량은 약 1,075 m³/day로 산출된다. 그러나 단계양수시험은 수증펌프 능력의 한계인 300~750 m³/day의 양수를 범위에서 실시하였으며, 따라서 적정양수량 산출방법(행정자치부, 2003; 이철우 외, 2006)에서 적정양수량은 단계양수시험시의 최대양수율을 초과할 수 없으므로 이 공의 적정양수량은 750 m³/day로 평가되었다.

2호공과 5호공의 영향관계

한개 온천지구에 한개 온천공이 개발될 경우는 그 온천공에서 평가한 적정양수량을 모두 사용할 수 있으나, 2개 이상 온천공이 개발될 경우 추가로 개발된 온천공에 대해서는 주변공과의 영향관계를 규명하여야 한다. 따라서 예천온천지구에서 개발된 5호공은 주변공에서 발생하는 수위간섭 현상을 조사하여 영향관계를 규명하여야 한다.

5호공에서 적정양수량인 750 m³/day로 양수시 영향관계를 규명하기 위하여 주변공의 수위를 관측하였으며, 이때 가장 가까운 2호공에서 수위강하가 가장 많이 발생하였다. Fig. 4는 2호공과 5호공의 시간별 수위강하 곡선을 도시한 것이며, 양수초기 두 공간에 약간의 수위차가 발생했을 뿐 양수시간이 경과됨에 따라 수위강하량이 거의 같아지는 경향을 보였다. 즉, 5호공에서 3일

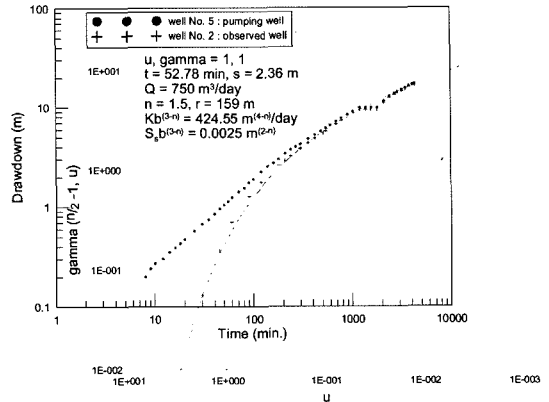


Fig. 4. Time-drawdown curves of the well No. 2 and 5 during pumping test at the well No. 5.

간 양수시 5호공 자체의 수위강하는 17.21 m이었으며, 2호공의 수위강하 역시 16.67 m로 양자 간에는 약 0.54 m 정도의 차이만을 보였다. 이는 2호공과 5호공의 수리적 연결성이 양호하며, 상호 영향관계가 매우 높음을 의미하는 것이다.

온천조사에 있어서 두 공간의 영향의 정도는 관측공(2호공)에서 관측된 수위강하 값(16.67 m)을 양수정(5호공)의 수위강하식에 대입하여 영향수량을 계산하고, 이를 양수정의 적정양수량(750 m³/day)과의 비율(%)로써 나타낸다. 따라서 양수정의 수위강하식인 식 (2)에 16.67 m를 대입하면 영향수량은 약 726 m³/day로 산출되며, 영향의 정도는 약 97% 정도이다. 또한 5호공에서의 영향을 고려한 적정양수량은 당초의 적정양수량인 750 m³/day에서 영향수량(726 m³/day)을 제한 24 m³/day가 된다.

토의 및 결론

온천조사에서는 기존 온천공 주위에 신규공이 개발될 경우 이들 간의 상호 영향관계를 규명하여, 그 영향수량만큼 신규공의 적정양수량을 감하는 방법을 사용하고 있다. 즉, 기존 온천공과 신규 온천공의 영향이 크면 신규공의 적정양수량을 많이 감하고, 그 영향이 적으면 적게 감하여 기존공의 적정양수량을 보전하고 있다. 예천온천지구에서는 신규공(5호공)과 인근 2호공이 약 159 m 떨어져 있음에도 불구하고 수위간섭이 심하게 발생하였다. 따라서 두 공간의 영향의 정도를 해석한 결과 그 값은 약 97% 정도이며, 이 영향관계를 고려한 적정양수량은 당

초 영향관계를 고려하지 않은 적정양수량(750 m³/day)보다 매우 적은 24 m³/day로 평가되었다. 암반대수층에서는 심한 불균질성과 심한 이방성으로 공간의 거리가 가까움에도 불구하고 영향이 적은 반면, 거리가 멀리 떨어져 있어도 영향이 매우 많은 경우가 발생한다.

예천은천에서 이 두 공간에 영향이 심한 이유를 Theis(1935)가 가정된 대수층으로 해석하기는 곤란하다. 즉, 양수정에서 양수시 수평적인 모든 방향에서 지하수가 유입되는 가정 하에서 159 m 떨어진 관측공에서 거의 같은 수위강하가 발생하기는 매우 힘들다. 그렇다면 두 온천공 간에 거의 직선적인 흐름을 생각해 볼 수 있는데, 이는 Barker(1988)의 일반화 방사상 유동모델(Generalized Radial Flow Model)로 해석할 수 있다.

Fig. 4는 5호공에서 양수시 양수정(5호공)과 관측정(2호공)에서의 시간별 수위곡선이다. 여기에서 2호공의 수위에 맞춘 곡선은 Barker(1988)의 표준곡선들 중의 하나이며 이때 정확히 적용된 차원(n)은 1.5차원이다. 따라서 2차원보다 적은 차원으로 말미암아 두 공 방향으로의 수위 영향은 매우 크며 그 이외의 방향으로는 수위영향이 없는 것으로 해석된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 기본연구사업인 ‘지열수자원 실용화 기술개발(GP2007-002)’ 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

이철우, 이종철, 염병우, 성기성, 1996, 예천(관현)지구 온천공조사 보고서, 한국지질자원연구원, 96-17(No. 217), p. 59.
 임정웅, 문상호, 이철우, 최성자, 임현철, 염병우, 이종철, 김형찬, 성기성, 1998, 예천(관현)지구 온천자원 평가조사 보고서, 한국지질자원연구원, 98-2(No. 260), p. 188.

이철우, 이종철, 성기성, 김용제, 조용찬, 김구영, 2003, 예천은천지구 4호공 자원평가조사 보고서, 2003-1(No. 309), p. 68.
 이철우, 이종철, 민충기, 김용제, 성기성, 조용찬, 김구영, 2004, 예천은천지구 온천자원 평가조사 보고서, 2004-2(No. 316), p. 102.
 이철우, 문상호, 김형찬, 2006, 온천공에 대한 일일 적정양수량 및 영향평가, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 11, No. 4, pp. 41~47.
 행정자치부, 2003, 온천업무처리지침(추가), 행정자치부 지역진흥과, p. 57.
 이철우, 이대하, 정지곤, 김구영, 김용제, 2002, 양수시험시 방사상흐름을 보이는 균열암반 대수층에서의 우물손실, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 7, No. 4, pp. 17-23.
 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, pp. 526-534.
 Labadie, J. W. and Helweg, O. J., 1975, Step drawdown test analysis by computer, Ground Water, 13(5), pp. 438-444.
 Theis, C. V., 1935, The relation between the lowering of the piezometric surface and rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 2, p. 519-524.
 Barker, J. A., 1988, "A Generalized Radial Flow Model for Hydraulic Tests in Fractured Rock", Water Resource Research, vol. 24. no. 10. p. 1796-1804.

2007년 8월 10일 원고접수, 2007년 9월 14일 게재승인

이철우

한국지질자원연구원 지열자원연구실
 305-350 대전시 유성구 과학로 92
 Tel: 042-868-3085
 Fax: 042-868-3358
 E-mail: lcw@kigam.re.kr