

이천 온천원보호지구의 지온경사 해석

이철우 · 문상호*

한국지질자원연구원 지하수지열연구부

The Analysis of Geothermal Gradient at Icheon Hot Spa Area

Chol-woo Lee and Sang-Ho Moon*

Groundwater & Geothermal Resources Div., Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

이천온천원보호지구에는 9개의 온천공이 개발되어 있다. MRD-2 온천공이 996 m 심도까지 추가 굴착되기 이전의 온천공들의 굴착 심도는 166-294 m 범위였으며, 지하수면은 지표로부터 약 50 m 정도 하부에 위치하였다. 이들 온천공에서 지표 온도와 공저온도를 이용한 연구지역의 지온경사는 최고 64°C/km (SB-2 온천공), 최저 45°C/km (SB-1 온천공), 평균 54.28°C/km로 산정되었다. 그러나 심부까지 추가 굴착된 MRD-2 온천공을 관찰한 결과, 연구지역은 지표로부터 720 m 심도 이내 범위의 암반 균열계에 의해 매우 심한 열적 교란상태를 겪고 있는 것으로 나타났다. 이에 반하여, 심도 720 m 이하의 심부지역에서는 지하수의 유동이 존재하지 않는 것으로 관찰되었다. 따라서 연구지역의 지온경사는 열적으로 안정된 720 m 이하의 심도 구간 자료를 이용하여 33°C/km로 재산정 되었으며, 이 값이 연구지역인 이천온천원지구에서의 합리적인 지온경사로 해석된다. 양수시험시 측정된 용출온도 36°C는 지표하 720 m 심도에서의 온도 검층 결과와 일치되어 이 지점이 지하수 유동 및 열적 교란의 하부 경계가 되고 있음을 뒷받침하고 있다.

주요어 : 이천온천원보호지구, 지온경사, 공저온도, 지하수

Nine wells have been developed for uses of thermal waters at the Icheon hot spa area. Drilling depths of those hot spring wells range from 166 to 294 m and their piezometric heads are located at about 50 m below the surface. Using the differences between the surface and bottom temperatures within all boreholes, we can simply estimate geothermal gradient in this area. Thus, we obtained the highest, lowest and average gradient values as 64°C/km from SB-2 well, 45°C/km from SB-1 well and approximately 54.28°C/km, respectively. However, observing the MRD-2 well additionally drilled into the depth of 996 m, we found out that this study area has widely experienced the temperature disturbance due to thermal groundwater penetration through the fracture systems within the depth of 720 m. Unlikely this phenomenon, we can conclude that the groundwater flow below the depth of 720 m does not exist. Therefore, using only those temperature data below the 720 m depth, we can estimate reasonable geothermal gradient values as 33°C/km in this study area. Pumping test shows that outflowing temperature is 36°C corresponding to the temperature logging data at 720 m depth.

Key words : Icheon hot spa area, geothermal gradient, bottom temperature, groundwater.

서 론

경기도 안흥시 안흥동에 위치하는 이천온천은 약 110여 년 전부터 알려졌으나 그의 정확한 내력은 알 수 없다. 당초에는 온도가 낮은 지하수가 자연적으로 용출하여 발견된 것으로 추측된다. 자연용출하던 지점은 미란

다호텔 북쪽에 위치하는 저수지 제방과 인접도로가 만나는 부근으로서 지금의 미란다호텔 건물의 북쪽 끝 부근인 것으로 추정된다. 1960년대 초만 하여도 당시의 호텔입구 부근의 시추공에서 아주 약하게 온천수가 자연용출하는 것을 볼 수 있었다(임정웅 외, 1998).

이천온천지구에는 9개의 온천공이 굴착되어 있으며,

*Corresponding author: msh@kigam.re.kr

이들의 배치는 대체로 동북동-서남서의 방향을 보인다. 이들 온천공들의 배열 방향은 과거에 조사된 온천구조와는 약간의 차이를 보이고 있는데 임정웅 외(1998)에 의하면 이천온천의 지질구조는 온천지구의 중심대를 통과하는 규장암의 맥암이 지배하는 것으로 조사되어 있다. 이 맥암의 방향성은 N20°E 정도이며 그 폭은 약 20 m로 알려지고 있으나, 현재의 온천공 배열은 N60°E를 보이고 있다(Fig. 1).

현재 이천온천은 자연용출하지 않고 시추공에서 수증기 모터펌프로 온천수를 양수하여 사용하고 있다. 온천공의 시추심도는 약 166~294 m이며 온천수위는 지표 아래 약 50 m 내외에서 유동하고 있다. 이 논문은 각 온천공들에서 양수되는 양수온도와 온천공 내에서 시험한 물리검층 자료를 통해 지하 온도분포 및 온천수가 부존되어 있는 대수층의 심도를 예측하고, 이들 온천공 중 하나를 약 1,000 m까지 굴착하여 여기에서 나타난 실제 자료들과의 차이점을 해석하고자 한다.

온천공의 온도검층

이천온천지구에 굴착된 6개 온천공들에 대해 온도검층이 실시되었다. 온도검층은 온천공 내에 온도센서를 넣어 심도별 온도분포를 알아보기 위한 것이다. 이천온천지구 내에 굴착된 온천공들의 심도는 SB-2호공이 약 166 m로서 가장 얇게 굴착되었으며, MRD-1호공이 약 294 m로 가장 깊게 굴착되었다. 6개 공들에 대한 평균 굴착심도는 약 267 m이며, 이들에 대한 사양은 Table 1과 같다.

온천공들은 모두 직경이 8인치 이상으로 굴착되었으며, 케이싱은 직경 8인치로 심도 55~120 m 깊이로 설치되었다.

6개의 온천공들은 주로 지질구조가 발달된 부근에 위치하고 있어, 투수성이 높은 지층을 관통하고 있다. 따라서 양수에 의해 발생된 온천수의 유동은 지하 온도의 분포 상태를 상당히 교란시키고 있어 자연상태의 지온분포를 찾기가 매우 어려운 상태이다.

SB-1, SB-2, SB-3호공

SB-1호공에 대한 온도검층은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 지표에서 290 m까지 측정이 가능하였다. 지표에서 62 m까지는 온천수가 존재하지 않는 구간으로 공기의 온도를 측정된 구간이며, 지하수면인 62 m에서 19.04°C를 보이는 온도는 88 m에서 최저 온도인 18.56°C에 달

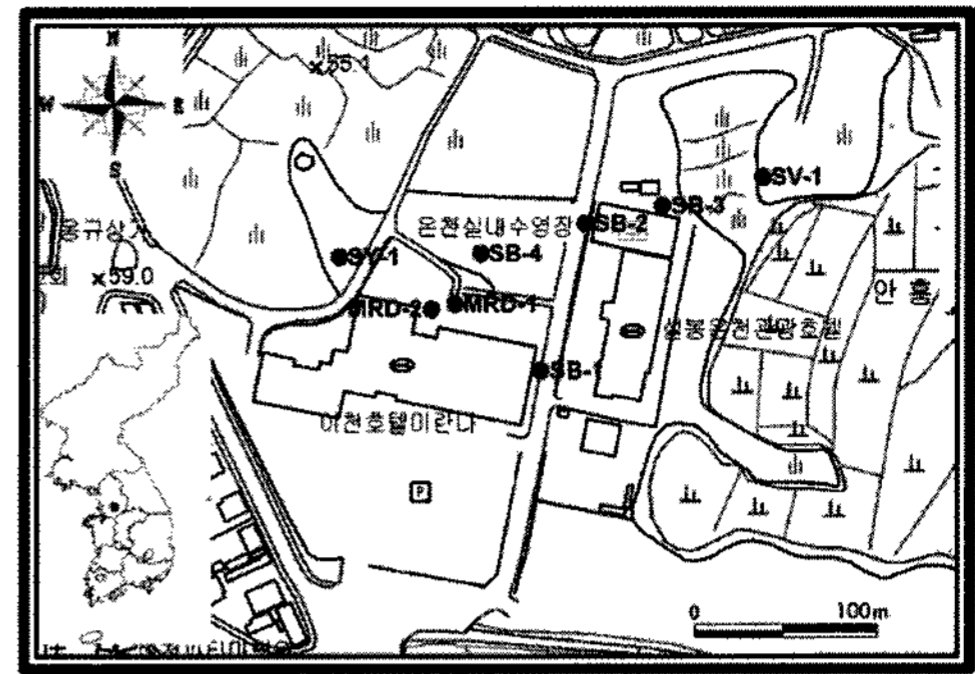


Fig. 1. The distribution of hot spring wells at Icheon hot spring area.

Table 1. The drilling depth and the pump depth of wells.

Well No.	Depth (m)	Submersible pump	Depth of pump (m)
SB-1	290	20HP 12dan	120
SB-2	166.4	20HP 13dan	130
SB-3	280	30HP 13dan	140
MRD-1	294	30HP 13dan	130
MRD-2	290	40HP 15dan	150
SV-1	282	25HP 19dan	180

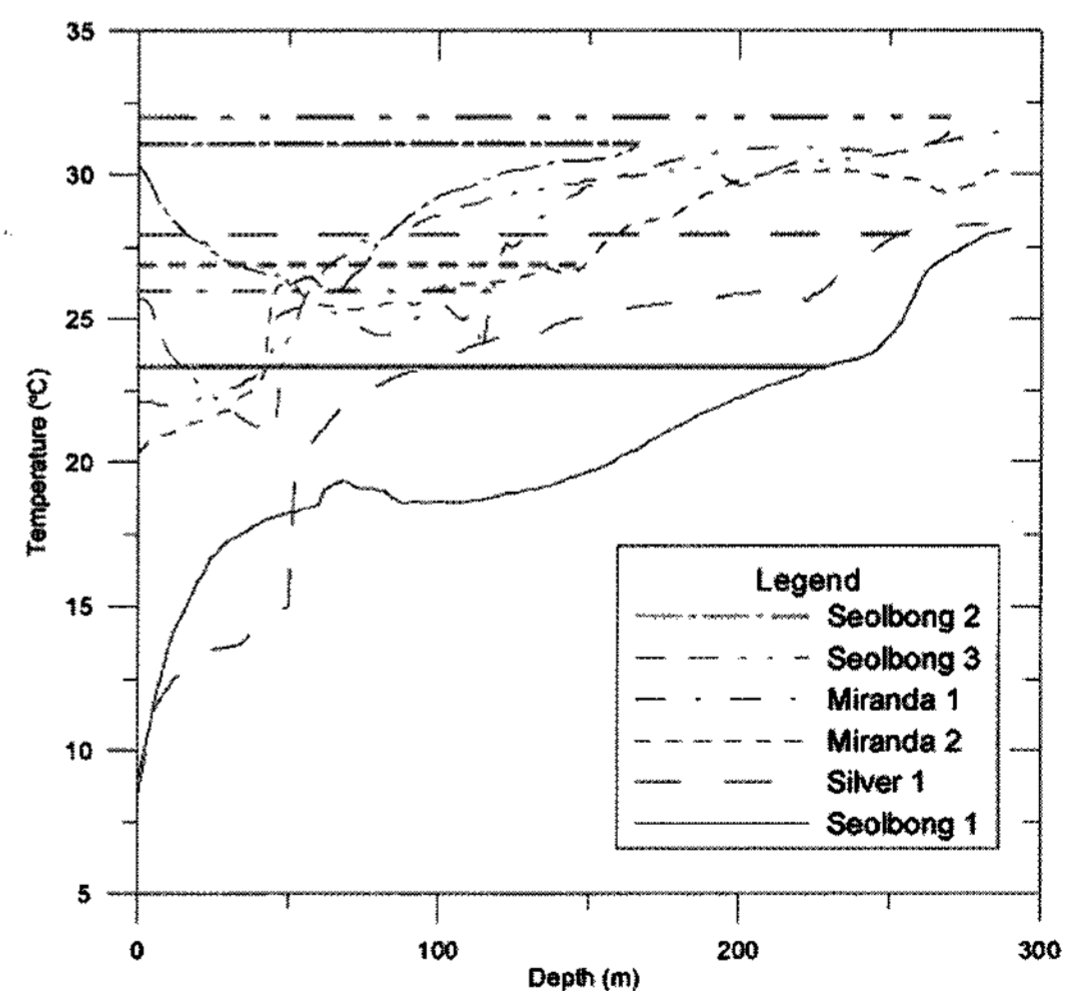


Fig. 2. Temperature logging and hot spring temperature.

하고, 그 이하에서는 매우 둔하게 상승한다. 250 m부근에서 급격하게 상승한 온도는 270 m 이후 구간에서는 다시 지온경사가 낮아졌다. 270 m 이하 공저까지의 구간에서는 46°C/km의 지온경사를 보인다. 이 온천지구는 계속적인 양수와 중단이 반복되고 있으며 이로 인한 영

향으로 지온경사가 불규칙한 것으로 해석된다.

지하수 유동이 없는 경우, 온도-심도 관계는 거의 직 선을 보이는 것이 일반적이다. 그러나 양수시에는 대수 층으로부터 지하수가 빠져나가며, 이 감소된 압력을 채 우기 위한 지하수의 공급이 이루어진다. 이러한 지하수 공급은 주위 온도가 다른 대수층으로부터 유입된 지하 수에 영향을 받기 때문에 온천공내의 온도는 불규칙하 게 된다.

공저 부근은 지하수 유동이 비교적 적은 지점들로서 그 구간의 지온을 대표하게 된다. 따라서 시추가 진행되는 과정에서 각각의 공저온도가 확인되면 지온경사는 비 교적 정확하게 추정될 수 있다. SB-1호공의 경우 시추 심도 210 m에서 24.49°C, 290 m에서 약 28.1°C로 측정 되어, 이 검층 결과를 이용하여 이들의 공저 온도를 연 결하면 지표온도는 약 15°C가 되며, 이들 두 SB-2호공 에 대한 온도검층은 심도 166.4 m까지 가능하였다. 지하 수위인 48 m에서 26.5°C인 온도는 64 m심도에서는 26.0°C로 하강한다. 110 m에서 160 m의 구간에서는 증 온이 거의 없는데 이러한 경우는 투수력이 좋아 지하수 의 이동이 용이한 지층으로 이에 따라 온도의 차이가 적은 것으로 해석된다. 이 온천공의 지온경사를 구해 보 면 약 64.0°C/km로 산출된다.

SB-3호공에 대한 온도검층은 지표에서 270 m까지이 며 온천공의 온도분포는 지하수면부근의 48 m의 23.88°C로부터 공저온도인 31.58°C까지이다. 지하수면으 로부터 심도가 증가함에 따라 온도는 급격하게 증가하 는 추세이나, 80 m 부근부터 지온경사는 둔화된다. 지온 경사는 80~120 m 구간에서는 35.7°C/km를 보이나, 그 이하인 120~260 m 사이에서는 8.8°C/km로 증온이 거의 없다. 이 온천공 역시 온도검층전 계속 양수를 해왔던 온천공으로서, 하부의 온도가 상승하여 상부온도를 상승 시키고 있는 것으로 보인다. 본 온천공에서의 지온경사를 구하기 위하여 지표온도 15°C와 270 m에서의 공저온도 31.58°C를 연결하였을 때 그 기울기는 약 61.33°C/km 로 계산되었다.

MRD-1, MRD-2호공

MRD-1호공에 대한 온도검층은 지표에서부터 약 294 m 까지이며, 온도분포는 지하수위면인 46 m에서 약 25.06°C부터 공저온도인 294 m의 31.54°C까지이다. 지하 수면인 46 m 심도부터 114 m 심도 구간까지 온도의 변 화는 전체적으로는 하강하고 있으나, 구간별로 미약한 상승과 하강을 거듭하고 있다. 이는 상부의 대수층에 냉

지하수가 유입하고 있기 때문인 것으로 해석된다. 이 온 천공에서의 지온경사는 약 56.0°C/km이다.

MRD-2호공에 대한 온도검층은 지표에서 290 m까지 이며 공저에서 30.18°C를 기록하였다. 지하수면이 나타 나는 50 m 부근의 온도는 26.25°C이나 그 이하에서는 온도가 낮아지고 있다. 온도가 낮아지고 있는 구간은 55-160 m 사이로 냉수대가 유입되는 것으로 추정된다. 이는 원래 50 m 지점과 160~170 m 구간을 연결한 직 선이 자연상태에서의 심도-온도의 관계선일 것이나, 양 수의 진행에 따라 대수층의 물이 교환되면서 온천공 내 의 온도가 냉각화된 것으로 판단된다. 이 온천공에서의 전체적인 지온경사는 약 52.33°C/km로 계산된다.

SV-1호공

SV-1호공의 온도검층은 지표에서 심도 282 m까지이 며, 282 m에서의 공저온도는 28.32°C로 측정되었다. 지 하수면 부근에서 온도가 높은 경향을 보이는 것은 양수 에 의하여 하부의 온수가 상승하여 만들어진 결과이다. 200 m 부근에서 낮은 온도 분포를 보이는 것은 그 이하 구간이 불투수성일 가능성이 크다. 이 온천공의 지온경 사는 47.0°C/km로 산출되었다.

온도검층 종합해석

이천 온천지구에서 실시한 온도검층은 모두 6개공이 다. 이 온천공들은 양수가 계속되고 있으며 지하의 온천 수를 유동시키고 있기 때문에 각 온천공에서의 온도 검 층은 정확한 지온을 반영하지는 못하고 있다. 더구나 이 천온천의 암석은 투수성이 매우 높은 것으로 밝혀져 있 어 온천수의 유동은 극심하다(문상호 외, 1999). 온도검 층은 실제 자연상태하에서 각 심도별 암석의 온도를 측 정하여야 한다. 그러나 실제 각 심도에 대한 암석의 온 도를 측정하기는 어려우며 통상 시추공내의 물의 온도 를 측정하게 된다. 따라서 시추공내의 물이 주위의 암석 온도를 잘 반영할 수 있도록 상당 기간동안 양수를 중 단하고 수위의 안정을 취한후 온도검층을 실시하여야 하 나, 각 호텔에서 온천수를 계속 사용하고 있기 때문에 수위안정을 취하기에는 어려움이 있다.

보통 공저온도는 특별한 경우가 아닌 한 공내 물의 유동이 거의 없으므로, 양수중이나 양수중단 후에도 온 도가 변하지 않는다. 따라서 SB-1호공에서 나타난 두 공저온도를 실제 그 구간의 온도로 보고 연장선을 그렸 을 경우 지표에서는 15°C를 나타낸다. 이 지표온도는 우리나라 대부분의 지표온도와 비슷하므로, 이천 온천지

Table 2. The bottom temperature and temperature slope of wells.

Well No.	Drilling depth (m)	Bottom temp. (°C)	Temp. slope (°C/km)
SB-1	290.0	28.11	45.00
SB-2	166.4	31.12	64.00
SB-3	270.0	31.58	61.33
MRD-1	294.0	31.54	56.00
MRD-2	290.0	30.80	52.33
SV-1	282.0	28.32	47.00
Average	265.4	30.25	54.28

Table 3. Pumping temperatures and logging depths of same temperatures.

Well No.	Pumping temp. (°C)	Logging depth (m)
SB-1	23.4	230
SB-2	31.4	166
SB-3	32.1	270
MRD-1	26.3	120
MRD-2	27.1	150
SV-1	27.7	255

구내의 지표온도로 보고 각 온천공의 공저온도와 연결한 기울기를 계산하여 지온경사를 산출하였다. 각 온천공의 심도에 따른 공저온도와 지온경사를 정리하여 보면 Table 2와 같다. SB-2호공이 64.00°C/km로 가장 높게 나타났으며 SB-1호공이 약 45.00°C/km로 가장 낮게 계산되었다. 또한 이 지역의 평균 지온경사는 약 54.28°C/km로 계산되었다.

Fig. 2에서 각각의 수평선은 각 온천공에서 양수되는 양수온도이다. 각 공의 양수온도는 SB-1호공이 23.4°C로 가장 낮았으며, SB-3호공이 32.1°C로 가장 높았다 (Table 3). Fig. 2의 수평선과 검층시의 온도선이 만나는 심도는 온천수가 용출되는 평균적인 대수층심도로 볼 수 있으며, 이들의 심도는 Table 3에서 보는 바와 같이 약 120~270 m 내외 구간이다. 즉 SB-3호공의 경우 약 270 m 심도에서 32.1°C의 온천수가 용출되는 것으로 해석되며, MRD-2호공은 약 150 m 심도에서 27.1°C의 온천수가 용출되는 것으로 해석된다.

MRD-2호공의 추가굴착 및 해석

MRD-2호공에 대해서 추가 굴착을 실시하였다. 굴착 심도는 지표에서 996 m까지이며 온도검층시 관측된 공저온도는 44.9°C를 기록하였다. MRD-2호공에 대한 심

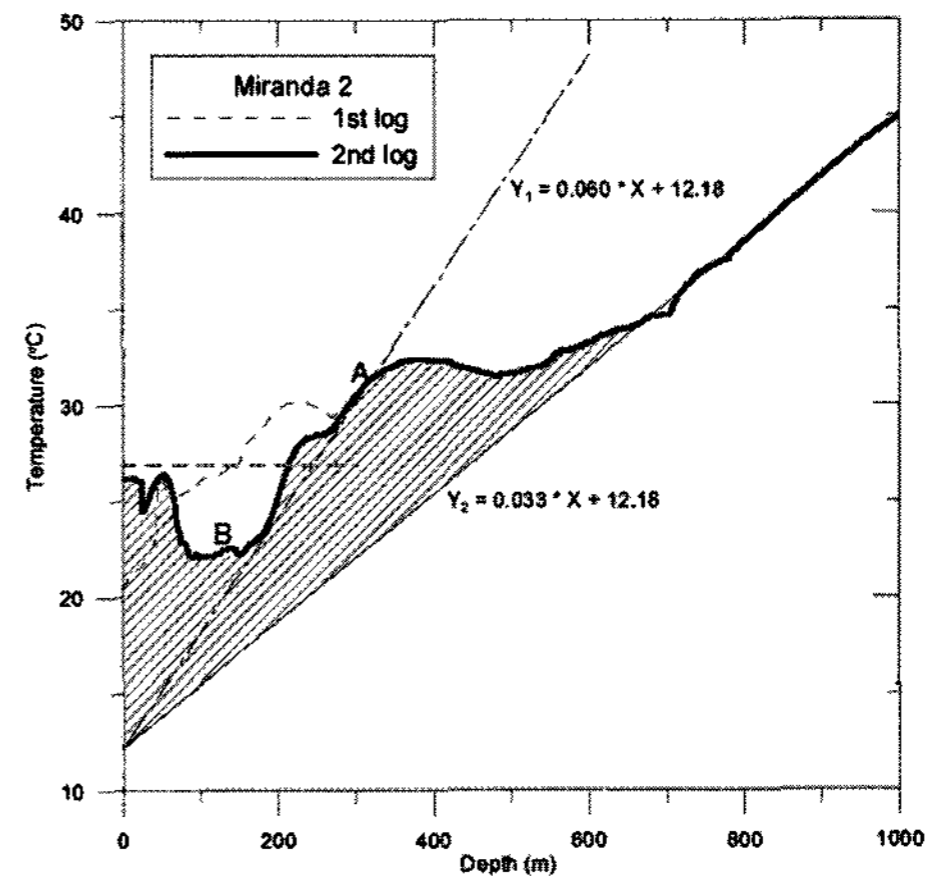


Fig. 3. Temperature logging at MRD-2 well.

도별 온도는 Fig. 3와 같다. 그림에서 굵은 선은 MRD-2호공 내에서의 심도별 온도이며, 지표에서 720 m까지 매우 불규칙적인 변화를 보여주고 있다. 이는 온천공 내에서 수직적인 온천수의 유동이 있는 것으로 해석된다 (Beck and Balling, 1988). 따라서 지온경사라고 추정되는 Y₂ 실선과 실제 온도를 반영한 곡선 사이에는 빗금친 부분과 같이 온도 상승효과가 나타나고 있다. 그러나 720 m 이후 구간에서는 온천수의 유동이 거의 없어 직선적인 지온 증가율을 보여주고 있으며, 이 구간에서의 지온경사는 약 33°C/km, 지표온도는 약 12.18°C로 계산되었다. 지표온도는 과거 이춘기 외(2000) 및 김형찬, 송무영(1999) 등에 의하면 약 12~13°C로 보고되었으며, 지온경사의 경우 김형찬 외(2002)에 의하면 중생대 지층의 경우 약 30.63°C/km로 보고된 바 있어 이 논문에서 해석된 것과 유사한 값을 보여주고 있다.

추가굴착후 양수시험시 관측된 온천수의 양수온도는 약 36°C이며, 검층시 같은 온도를 보이는 심도는 약 720 m 구간이다. 이 구간은 Fig. 3에서 보는바와 같이 지온경사가 불규칙한 구간의 한계 심도이며 이 구간이 온천수가 부존되어 있는 심도로 해석된다.

Fig. 4는 온도검층의 결과로 해석한 지하 단면이다. 시추공 A는 300 m 이내 시추한 온천공이며, 시추공 B는 996 m 시추한 MRD-2호공이다. C 지역은 먼 거리에서 온천지구로 유입되는 지표수의 유입원으로 이 지역에서 유입된 지표수가 균열을 따라 지하 720 m 지점인 D 지역까지 도달하면서 높은 온도와 성분들을 공급받는다. 이후 온도가 높은 지하수는 다른 균열 틈을 따라 다시 상승하면서 지표로 자연 용출 하였으며, 이 과

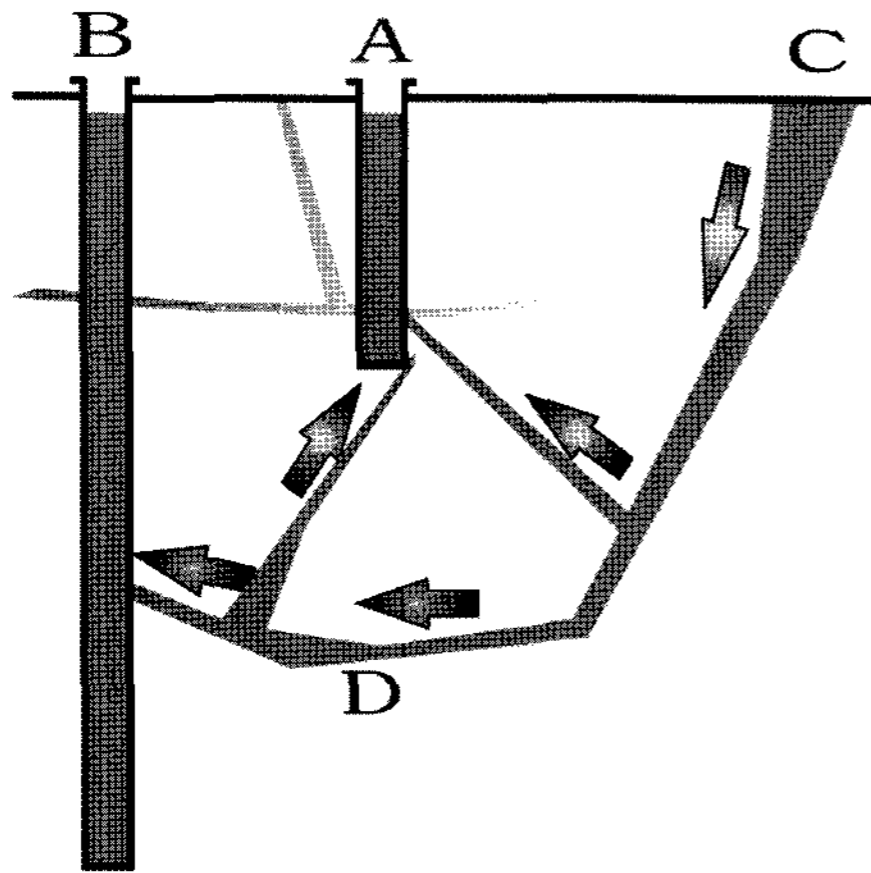


Fig. 4. The schemetic model of the fracture system.

정에서 상부 암반에 열이 전달되어 Fig. 3의 빗금친 부분과 같이 온도가 상승된 것으로 해석할 수 있다.

즉, 위와 같은 결과로 300 m 이내 굴착시 예측되었던 지온경사나 온천수 부존 심도는 왜곡된 결과이며, 추가 시추 이전에 보여주었던 높은 지온경사와 불규칙한 온도분포는 720 m까지 침투한 지하수가 균열대를 따라 상승하면서 나타나는 현상으로 해석할 수 있다. 추가굴착 전 MRD-2호공에서 나타났던 27.1°C의 양수온도(Fig. 3에서 수평 점선)를 Fig. 3, Fig. 4에서 해석해 보면 290 m 공저(Fig. 3의 A지점, Fig. 4의 A시추공 하부)에서 균열대를 만나 30°C 이상의 온천수가 온천공 내로 유입되고, 100 m 내외인 B 지점(Fig. 3)에서의 낮은 온도의 지하수가 혼입되어 나타난 결과로 해석된다. 따라서 수온이 높은 온천지구에서의 지온경사나 대수층 심도 해석은 많은 주의를 기울여야 하며, 정확한 해석을 위해서는 온천수가 부존된 대수층을 완전 관통한 시추공이 필요하다.

결 론

이천온천지구에서 6개 온천공에 대해 양수시험시의 온천수 온도와 공내 온도검층을 통해 지하 온도분포를 해석하였다. 온천공의 심도는 약 166~294 m까지 굴착되었으며, 여기에서 양수되는 온천수의 온도는 23.1°C~

32.1°C이다. 또한 온천공의 평균 공저온도는 30.25°C이며, 평균 지온경사는 약 54.28°C/km로 매우 높게 산출되었다.

그러나 MRD-2호공을 약 996 m까지 추가 굴착하여 나타난 공저온도는 약 44.9°C이며, 지온경사는 약 33°C/km로 상대적으로 매우 낮았다. 또한 추가굴착 후 MRD-2호공에서의 양수온도는 약 36°C이며, 온도검층시 해석된 대수층의 심도 720 m에서의 공내온도와 동일하였다.

MRD-2호공의 추가굴착의 결과로 보면 300 m 이내 굴착시 예측된 높은 지온경사와 불규칙한 온도분포는 암석 자체의 온도가 불규칙하게 높은 것이 아니며, 720 m까지 침투한 지하수가 불균질한 균열대를 따라 상승하면서 상부지역의 온도를 높였기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 '지열수자원 실용화 기술개발(GP2007-002)'과 신재생에너지센터의 '단일공 지하수 열교환 시스템 설계 및 해석기술 개발(NP2007-036)'과제의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김형찬, 송무영, 1999, 지온경사 산출을 위한 효율적인 온도검층자료 이용방법 연구, 자원환경지질학회지, Vol. 32, No. 5, pp. 503-517.
- 김형찬, 이사로, 송무영, 2002, 남한지역의 암상 및 지질 시대별 지온경사율 관계 분석, 자원환경지질학회지, 제 35권, 제 2호, pp. 163-170.
- 문상호, 이철우, 염병우, 김형찬, 성기성, 1999. 1, 이천(안흥)지구 온천자원평가조사 보고서, 99-1, No. 264, p. 110.
- 이춘기, 한욱, 이상우, 2000.9, 서울의 동북지역 지온측점에서 기온에 따른 지온의 반응 양상, 지질학회지 제 36권, 제 3호, pp. 325-334.
- 임정웅, 이철우, 배두중, 문상호, 이종철, 이승구, 성기성, 1998. 1, 이천(안흥)지구 온천공 영향평가 조사보고서, 98-1, No. 259, p. 253.
- Beck, A.E. and N. Balling, 1988, Determination of virgin rock temperatures: Handbook of terrestrial heat-flow density determination: ed. by R. Haenel, Kluwer Academic Publishers, pp. 75-85.

이철우

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

문상호

한국지질자원연구원 지하수지열연구부
305-350 대전시 유성구 과학로 92
Tel: 042-868-3372
Fax: 042-868-3414
E-mail: msh@kigam.re.kr