

## 이천온천의 지하온도 분포

\*이 철우<sup>1)</sup>

## The Distribution of Geothermal Gradient at Icheon Hot Spring Area

\*Cholwoo Lee

**Key words** : hot spring well, geothermal gradient, temperature, groundwater.

**Abstract** : There are nine hot spring wells at Icheon hot spring area, hot springs are pumped by submersible motor. Drilling depths of hot spring wells is about 166-294 m, piezometric heads of hot springs is about 50 m below the surface. The geothermal gradient of SB-2 is about 64.00°C/km from the surface to depth within 300 m which is the highest value, that of SB-1 is about 45°C/km which is the lowest value. In addition, the average geothermal gradient of the region is calculated at approximately 54.28°C/km. However, it is analysed that this area has highly irregular temperature distribution because the groundwater penetrated to the depth of 720 m through the fracture rise to the surface according to the results of the data after drilling well to the depth of 996 m.

### 1. 서 론

이천온천지구에는 9개의 온천공이 굴착되어 있으며, 이들의 배치는 대체로 동북동-서남서의 방향을 보인다. 이들 온천공들의 배열 방향은 과거에 조사된 온천구조와는 약간의 차이를 보이고 있는데 임정웅 외(1998)<sup>1)</sup>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 수중모터펌프로 온천수를 양수하여 사용하고 있으며, 온천공의 시추심도는 약 166-294 m이며 온천수위는 지표 아래 약 50 m 내외에서 유동하고 있다. 이 논문은 각 온천공들에서 양수되는 양수온도와 온천공 내에서 시험한 물리검층을 통해 지하 온도분포 및 온천수가 부존되어 있는 대수층의 심도를 예측하고, 이들 온천공 중 하나를 약 1,000 m 굴착하여 여기에서 나타난 실제 자료들과의 차이점을 해석하고자 한다.

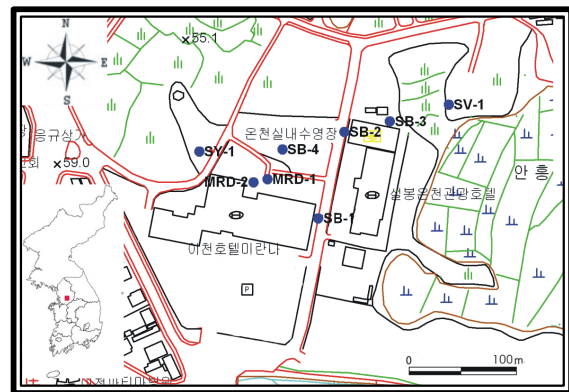


Fig. 1. The distribution of hot spring wells at Icheon hot spring area.

### 2. 온천공의 온도검층

이천온천지구에 굴착된 6개 온천공들에 대해 온도검층이 실시되었다. 온도검층은 온천공 내에 온도센서를 넣어 심도별 온도분포를 알아보

1) 한국지질자원연구원 지열자원연구실  
E-mail : lcw@kigam.re.kr  
Tel : 042-868-3085 Fax : 042-868-3358

기 위한 것이다. 이천온천지구 내에 굴착된 온천공들의 심도는 SB-2호공이 약 166 m로서 가장 깊게 굴착되었으며, MRD-1호공이 약 294 m로 가장 깊게 굴착되었다. 6개 공들에 대한 평균 굴착심도는 약 267 m이며, 이들에 대한 사양은 Table 1과 같다.

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

### 2-1. SB-1호공

SB-1호공에 대한 온도검층은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 지표에서 290 m까지 측정이 가능하였다. 지표에서 62 m까지는 온천수가 존재하지 않는 구간으로 공기의 온도를 측정할 구간이며, 지하수면인 62 m에서 19.04℃를 보이는 온도는 88 m에서 최저 온도인 18.56℃에 달하며, 그 이하에서는 매우 둔하게 상승한다. 250 m 부근에서 급격하게 상승한 온도는 270 m 이후 구간에서는 다시 지온경사가 낮아졌다. 270 m 이하 공저까지의 구간에서는 46℃/km의 지온경사를 보인다. 이 온천지구는 계속적인 양수와 증단이 반복되고 있으며 이로 인한 영향으로 지온경사가 불규칙한 것으로 해석된다.

공저 부근은 지하수 유동이 비교적 적은 지점들로 그의 온도는 그 구간의 지온을 대표하게 된다. 따라서 시추가 진행되는 과정에서 각각의 공저온도가 확인되면 지온경사는 비교적 정확하게 되는데 SB-1호공의 경우도 시추 심도가 210 m에서 24.49℃, 290 m에서 약 28.1℃로 이 검층 결과를 이용하여 이들의 공저 온도를 연결하면 지표온도는 약 15℃가 되며, 이들 두 점을 이용하여 계산한 지온경사는 45℃/km가 된다.

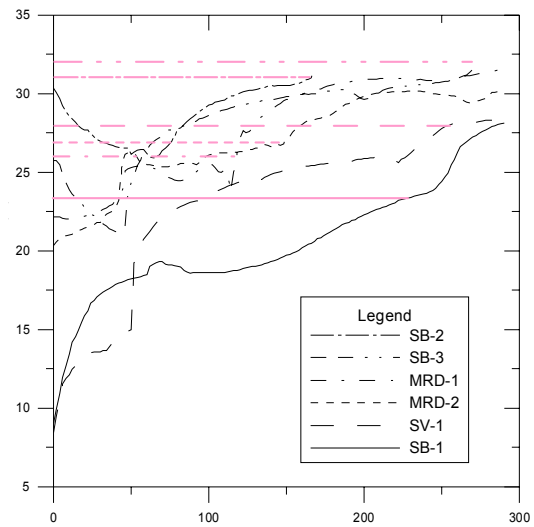


Fig. 2. Temperature logging and hot spring temperature.

### 2-2. SB-2호공

SB-2호공에 대한 온도검층은 심도 166.4 m까지 가능하였다. 지하수위인 48 m에서 26.5℃인 온도는 64 m심도에서는 26.0℃까지 하강한다. 110 m에서 160 m의 구간에서는 증온이 거의 없는데 이러한 경우는 투수력이 좋아 지하수의 이동이 용이한 지층으로 이에 따라 온도의 차이가 적은 것으로 해석된다. 지표온도 15℃와 공저온도 31.12℃를 연결한 지온경사를 구해 보면 약 96.88 ℃/km로 산출된다.

SB-3호공에 대한 온도검층은 지표에서 270 m까지이며 온천공의 온도분포는 지하수면부근의 48 m의 23.88℃로부터 공저온도인 31.58℃까지이다. 지하수면으로부터 심도가 증가함에 따라 온도는 급격하게 증가하는 추세이나, 80 m 부근부터 지온경사는 둔화된다. 지온경사는 80-120 m구간에서는 35.7℃/km를 보이나, 그 이하인 120-260 m 사이에서는 8.8℃/km로 증온이 거의 없다. 이 온천공 역시 온도검층전 계속 양수를 해왔던 온천공으로서, 하부의 온도가 상승하여 상부온도를 상승시키고 있는 것으로 보인다. 본 온천공에서의 지온경사를 구하기 지표온도 15℃와 270 m에서의 공저온도 31.58℃를 연결하였을 때 그 기울기는 약 61.33℃/km이다.

### 2-3. MRD-1호공

MRD-1호공에 대한 온도검층은 지표에서부터

약 294 m까지이며, 온도분포는 지하수위면인 46 m에서 약 25.06℃부터 공저온도인 294 m의 31.54℃까지이다. 지하수면인 46 m부터 114 m까지 온도의 변화는 전체적으로는 하강하고 있으나, 구간별로 미약한 상승과 하강을 거듭하고 있다. 이는 상부의 대수층에 냉지하수가 유입하고 있기 때문이다. 이 온천공에서의 지온경사 산출은 지표온도 15℃와 공저온도 31.54℃를 연결한 기울기로 계산하였으며, 그 값은 약 56.0℃/km이다.

#### 2-4. MRD-2호공

MRD-2호공에 대한 온도검층은 지표에서 290 m까지이며 공저에서 30.18℃를 기록하였다. 지하수면이 나타나는 50 m부근의 온도는 26.25℃이나 그 이하에서는 온도가 낮아지고 있다. 온도가 낮아지고 있는 구간은 55-160 m사이로 냉수대가 유입되는 것으로 추정된다. 이는 원래 50 m지점과 160-170 m구간을 연결한 직선이 자연상태에서의 심도-온도의 관계선일 것이나, 양수의 진행에 따라 대수층의 물이 교대되면서 온천공 내의 온도가 냉각화된 것으로 판단된다. 이 온천공에서의 전체적인 지온경사는 지표온도 15℃에서 공저온도 30.18℃를 연결한 기울기를 택하였으며 그 값은 52.33℃/km로 계산된다.

#### 2-5. SV-1호공

SV-1호공의 온도검층은 지표에서 심도 282 m까지이며, 282 m에서의 공저온도는 28.32℃로 측정되었다. 지하수면부근에서 온도가 높은 경향을 보이는 것은 양수에 의하여 하부의 온수가 상승하여 만들어진 결과이다. 200 m부근에서 낮은 온도분포를 보이는 것은 그 이하 구간이 불투수성일 가능성이 크다. 지온경사를 추정하기 위해 지표온도 15℃와 공저온도 28.32℃를 연결한 선을 택하였으며, 이때의 지온경사는 47.0℃/km로 산출되었다.

이천 온천지구에서 실시한 온도검층은 모두 6개공이다. 이들 조사공들은 계속 양수가 계속되고 있는 온천공으로서, 지하의 온천수를 유동시키고 있기 때문에 각 온천공에서의 온도 검층은 정확한 지온을 반영하지는 못하고 있다. 더구나 이천온천의 암석은 투수성이 매우 높은 것으로 밝혀져 있어 온천수의 유동은 극심하다.

온도검층은 실제 자연상태하에서 각 심도별 암석의 온도를 측정하여야 한다. 그러나 실제 각 심도에 대한 암석의 온도를 측정하기는 어려우며 통상 시추공내의 물의 온도를 측정하게 된다. 따라서 시추공내의 물이 주위의 암석 온도를 잘 반영할 수 있도록 상당 기간동안 양수를 중단하고 수위의 안정을 취한후 온도검층을 실시하여야 하나, 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 온도가 변하지 않는다. 따라서 SB-1호공에서 나타난 두 공저온도를 실제 그 구간의 온도로 보고 연장선을 그렸을 경우 지표에서는 15℃를 나타낸다. 이 지표온도는 우리나라 대부분의 지표온도와 비슷하므로, 이천 온천지구내의 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℃/km로 가장 높게 나타났으며 SB-1호공이 약 45.00℃/km로 가장 낮게 계산되었다. 또한 이 지역의 평균 지온경사는 약 54.28℃/km로 계산되었다.

Table 2. The bottom temperature and temperature slope of wells

Well No.	Drilling depth (m)	Bottom temp. (℃)	Temp. slope (℃/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

Fig. 2에서 각각의 수평선은 각 온천공에서 양수되는 양수온도이다. 각 공의 양수온도는 SB-1호공이 23.4℃로 가장 낮았으며, SB-3호공이 32.1℃로 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.

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

### 3. MRD-2호공의 추가굴착 및 해석

MRD-2호공에 대해서 추가굴착을 실시하였다. 굴착심도는 당초 약 290 m에서 996 m까지이며 이때 공저온도는 44.9°C를 기록하였다. MRD-2호공에 대한 심도별 온도는 Fig. 3과 같다. 그림에서 굵은 실선은 MRD-2호공 내에서의 심도별 온도이며, 지표에서 720 m까지 매우 불규칙적인 변화를 보여주고 있다. 이는 온천공 내에서 수직적인 온천수의 유동이 있는 것으로 해석된다.<sup>2)</sup> 그러나 720 m 이후 구간에서는 온천수의 유동이 거의 없어 직선적인 지온 증가율을 보여주고 있으며, 이 구간에서의 지온경사는 약 3°C/km, 지표온도는 약 12.18°C로 계산되었다. 지표온도는 과거 이춘기 외(2000)<sup>3)</sup> 및 김형찬, 송무영(1999)<sup>4)</sup> 등에 의하면 약 12-13°C로 보고되었으며, 지온경사의 경우 김형찬 외(2002)<sup>5)</sup>에 의하면 중생대 지층의 경우 약 30.63°C/km로 보고된 바 있어 이 논문에서 해석된 것과 비슷한 값을 보여주고 있다.

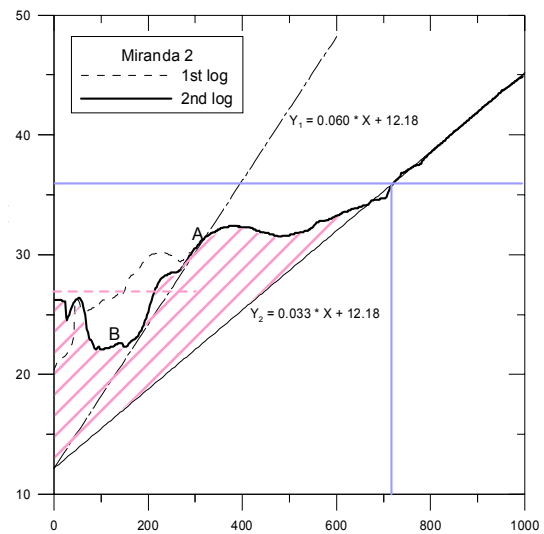


Fig.3. Temperature logging at MRD-2 well.

추가굴착후 양수시험시 관측된 온천수의 양수온도는 약 36°C이며, 검층시 같은 온도를 보이는 심도 역시 약 720 m 구간이다. 따라서 이 구간이 온천수가 부존되어 있는 심도로 해석되며 이 구간에서 피압되는 온천수가 온천공 내의 상부로 이동하면서 빗금친 부분과 같이 온도를 상승시키는 것으로 해석된다.

이의 결과는 300 m 이내 굴착시 예측되었던 지온경사나 온천수 부존 심도와는 완전히 다른 결과이다. 따라서 이 온천지구에서 보여주었던 높은 지온경사와 불규칙한 온도분포는 720 m까지 침투한 지하수가 균열대를 따라 상승하면서 나타나는 현상으로 해석할 수 있다. 추가굴착전 MRD-2호공에서 나타났던 27.1°C의 양수온도를 Fig. 3에서 해석해 보면 290 m 공저인 A 지점에서 온천수가 상승하는 균열대를 만나 30°C 이상의 온천수가 온천공 내로 유입되며 또한 100 m 내외인 B 지점에서의 낮은 온도의 지하수가 혼합된 결과로 해석된다.

### 4. 결 론

이천온천지구에서 6개 온천공에 대해 양수시험시의 온천수의 온도와 공내 온도검층을 통해 지하온도분포를 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℃/km로 매우 높게 산출되었다.

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

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

## 후 기

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

## References

- [1] 임정웅, 이철우, 배두중, 문상호, 이종철, 이승구, 성기성, 1998. 1, 이천(안흥)지구 온천공 영향평가 조사보고서, 98-1, No. 259, p. 253.
- [2] 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.
- [3] 이춘기, 한옥, 이상우, 2000.9, 서울의 동북지역 지온측점에서 기온에 따른 지온의 반응 양상, 지질학회지 제 36권, 제 3호, pp. 325-334.
- [4] 김형찬, 송무영, 1999, 지온경사 산출을 위한 효율적인 온도검층자료 이용방법 연구, 자원환경지질학회지, Vol. 32, No. 5, pp. 503-517.
- [5] 김형찬, 이사로, 송무영, 2002, 남한지역의 암상 및 지질시대별 지온경사율 관계 분석, 자원환경지질학회지, 제 35권, 제 2호, pp. 163-170.