

추공막장온도를 리용한 저열층의 온도평가방법

김기성

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《온천, 지하수, 지열탐사를 적극 벌려 지하수와 지열자원을 다 찾아내여 종합적으로 리용하도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제14권 503페이지)

저열층의 온도를 정확히 평가하는것은 지열자원량을 평가하는데서뿐만아니라 시추작업 진행중이나 시추작업완료후에 추공의 열동력학적상태를 정확하게 예견하는데서 매우 중요한 의의를 가진다.

추공막장은 추공을 뚫는 과정에 시추용액의 팽창영향을 가장 적게 받으므로 지열마당이 추공의 다른 부분에 비하여 약하게 이지러진다. 따라서 시추용액의 순환이 멎은 후 추공막장에서 시추용액방치시간에 따르는 추공막장온도의 변화특성을 리용하여 저열층의 온도를 정확하게 평가할수 있다.

본문에서는 선원천법과 구면방사상열흐름법을 리용하여 저열층의 온도를 평가하기 위한 한가지 방법을 제기하고 그 효과성을 검증하였다.

1. 선원천법과 구면방사상열흐름법에 의한 온도평가방법

1) 선원천법

균일한 무한원기둥에서의 열력학적현상은 다음과 같은 열전도방정식에 기초하고있다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial^2 r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

여기서 r 는 원기둥의 반경(추공반경)이고 a 는 온도전도도, T 는 온도, t 는 시간이다.

선원천리론에 의하여 식 (1)의 근사풀이를 구하면 다음과 같다.[2]

$$T_{\text{중}} = T_{\text{측}} + m \lg \left(\frac{t_c + \Delta t}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

여기서 $T_{\text{측}}$ 은 추공막장에서 측정한 온도, $T_{\text{중}}$ 은 추공막장근방 지층온도, t_c 는 시추용액의 순환시간, Δt 는 시추용액방치시간이다.

식 (2)에서 보는바와 같이 $T_{\text{중}}$ 은 $\lg \left(\frac{t_c + \Delta t}{\Delta t} \right)$ 와 선형관계에 있다. 즉 t_c 와 2개이상의 Δt , 그것에 대응하는 $T_{\text{측}}$ 값을 알면 지층의 온도 $T_{\text{중}}$ 을 구할수 있다.

2) 구면방사상열흐름법

일반적으로 추공은 원기둥모양이지만 추공막장은 반구모양으로 볼수 있다. 균일한 구에서의 열력학적현상은 다음과 같은 열전도방정식에 기초하고있다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial^2 r} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

여기서 r 는 구의 반경이다.

추공막장에서 측정 한 온도와 시추용액방치시간을 리용하여 식 (3)의 근사풀이를 구하면 다음과 같다.[3]

$$T_{\text{총}} = T_{\text{측}} + m \frac{1}{\sqrt{\Delta t}} \quad (4)$$

식 (4)에서도 식 (2)에서와 같이 $T_{\text{측}}$ 의 값이 $1/\sqrt{\Delta t}$ 에 관하여 선형적으로 변하므로 2개이상의 Δt 값과 대응하는 $T_{\text{측}}$ 값을 알면 지층의 온도 $T_{\text{총}}$ 을 구할수 있다.

구면방사상열흐름법으로 지층의 온도를 계산할 때에는 시추용액의 순환시간을 리용하지 않는다.

2. 방법의 효과성검증

우선 저열층의 온도가 알려진 3개 추공들에 대한 자료(표 1)를 가지고 위의 방법들의 정확성을 평가하였다.

표 1. 추공막장에서 측정 한 자료

추공번호	추공깊이/m	시추용액순환시간/h	용액방치시간/h	추공막장온도/°C
추공 1	100.1	12.3	6.25	88.6
			11.87	96.5
			16.87	101.7
			20.00	104.4
추공 2	100.0	5	2.50	56.6
			5.00	61.3
			7.50	64.3
			10.00	66.6
			15.00	69.6
추공 3	2 000.0	15	20.00	71.7
			5.00	46.4
			10.00	49.5
			15.00	51.4

표 1에 제시된 자료들에 기초하여 위의 방법으로 계산한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 계산결과

추공번호	$T_{\text{선}}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{구}}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{총}}/^{\circ}\text{C}$	상대 오차/%	
				$\frac{ T_{\text{총}} - T_{\text{선}} }{T_{\text{총}}} \times 100$	$\frac{ T_{\text{총}} - T_{\text{구}} }{T_{\text{총}}} \times 100$
추공 1	116.07	122.44	120	3.28	2.03
추공 2	73.85	78.78	80	7.69	1.5
추공 3	56.12	57.99	60	6.47	3.35

$T_{\text{선}}$, $T_{\text{구}}$ 는 선원천법과 구면방사상열흐름법으로 얻은 지층의 온도이다.

표 2에서 보는바와 같이 선원천법의 정확도는 구면방사상열흐름법보다 낮다.

선원천법은 저열층의 온도를 계산하는데 많이 리용되고있지만 연구지역의 온도구배가 심하지 않고 시추용액순환시간이 짧은 경우에는 정확도가 낮은 부족점이 있다.

다음으로 우리 나라 평양지역과 길주-명천지역의 3개 추공들에 대한 자료(표 3)들에 기초하여 이 지역 저열층의 온도를 평가하였다.

표 3. 평양지역과 길주-명천지역의 측정자료

지역	추공번호	추공깊이/m	측정자료	
			시추용액방치시간/h	추공막장온도/°C
평양	추공 4	1 724	5.0	53.0
			16.0	58.0
			27.5	59.7
			61.0	60.0
			106.5	61.3
	추공 5	3 015	22.0	93.8
			44.0	95.7
			59.0	96.4
			114.0	98.2
			177.0	99.4
길주-명천	추공 6	1 450	11.0	88.0
			33.8	95.0
			85.4	97.0
			161.8	98.0
		1 250	—	—
			19.8	85.9
			43.0	88.9
			55.0	89.9
			79.0	91.2
			156.0	93.7

구면방사상열흐름법을 리용하여 계산한 저열층의 온도는 표 4와 같다. 그리고 선행연구[1]에서 회귀분석법을 리용

표 4. 평양지역과 길주-명천지역추공들에 대한 해석결과

지역	추공번호	추공깊이/m	저열층온도/°C	
			구면방사상열흐름법	회귀분석법
평양	추공 4	1 724	63.56	—
	추공 5	3 015	101.99	102.00
길주-명천	추공 6	1 450	101.96	100.05
		1 250	97.32	—

지역을 조사하는 경우에는 1~2개 추공을 선정하여 회귀결수들을 구하여야 한다. 그러나 선원천법과 구면방사상열흐름법을 리용할 때에는 해당 지역에 대한 자료가 필요없으므로 회귀분석법을 리용하는 방법에 비하여 지역적제한성을 받지 않는다.

맺 는 말

선원천법과 구면방사상열흐름법을 리용하여 시추용액의 순환이 멎은 후 짧은 시간동안에 저열층의 온도를 예측할수 있다. 선원천법은 연구지역의 온도구배가 심하지 않고 시추용액순환시간이 짧은 경우에 정확도가 떨어진다.

참 고 문 헌

- [1] 김운식; 지질 및 지리과학, 5, 46, 1990.
- [2] W. L. Dowdle et al.; Journal of Petroleum Technology, 11, 1326, 1975.
- [3] F. Ascencio et al.; Geothermics, 23, 4, 317, 1994.

주체103(2014)년 7월 5일 원고접수

Method for Estimation of Geothermal Reservoir Temperature using the Bottomhole Temperatures

Kim Ki Song

We described the method to estimate the temperature of the geothermal reservoir using the line-source method and spherical radial heat flow method. Line-source method has low accuracy when temperature gradient of the research field changes very slowly and circulation time of the mud fluid is short.

Key words: geotherm, shut-in time