

## 길주-명천지역 저열층의 중저온지열수에 의한 전력생산량평가

김기성, 전광수

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

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

세계적으로 열교환기기술과 2원순환기술이 발전하는데 따라 지난 시기에는 전력생산에 리용할수 없었던 중저온지열자원( $<150^{\circ}\text{C}$ )들이 전력생산에 광범히 리용되고있다. 중저온지열자원은 고온지열자원에 비하여 온도는 낮지만 그 분포면적이 매우 넓고 그것의 리용에서 지역적제한성을 받지 않는것으로 하여 리용전망이 좋은 지열자원이다. 우리 나라에서 온도가 높은 고온지열자원이 아직 알려져있지 않지만 전력생산에 리용할수 있는 중저온지열자원들이 많이 알려져있다.

논문에서는 유망한 지열구역의 하나인 길주-명천지역 저열층의 중저온지열수로부터 얻어낼수 있는 예상전력생산량과 그것의 경제적 및 환경학적효과성에 대하여 고찰하였다.

### 1. 길주-명천지역 저열층의 열원과 저류구조 및 저류조건[1, 2]

열원 우선 화산성열이 이 지역의 열원으로 될수 있다. 길주-명천지역은 우리 나라 백두화산대의 남동쪽에 위치하고있는데 여기에는 화산성열원으로 볼수 있는 신기화산암체들(1Ma전후시기)과 준분출암체들이 넓게 분포되어있다.

또한 방사성붕괴열이 열원으로 될수 있다. 연구지역에 분포된 신기화산암체들의 기반암은 방사성원소가 포함된 화강암체들로서 넓은 면적에 분포되어있다. 이 방사성원소의 방사성붕괴열이 열원으로 될수 있다.

또한 지질구조운동에 의하여 발생하는 열이 이 지역의 열원으로 될수 있다. 이 지구에서는 신기지체구조운동이 매우 강하게 일어나고있는데 강한 릉기운동에 의한 마찰열이 보충적인 열원으로 될수 있다.

저류구조 이 지열대는 활동성단층작용을 포함한 신기지체구조운동이 활발히 진행되고있는 수직구조운동마당에 놓여있는것으로 하여 당김응력에 의한 북서-남동방향 및 이와 사귀는 북동-남서방향의 벌림구조들이 발달되어있다. 이것들은 모두 열전달매질인 지하수가 심부에서 침투될수 있는 좋은 통로로 되며 가열된 심부지열수들의 류동조건에 유리한 저류구조이다.

저류조건 길주-명천지역에는 공극도가 13~24%이며 투과계수는 32~308mD인 투수성지층이 분포되어있다. 이 지역에는 중신세퇴적층이 약 1 700m정도의 두께로 화강암위에

심한 경사부정합으로 덮여있다. 여기서 기본저류층으로 되는 평륙주층에는 투과결수가 31.4mD에 달하는 투수층들이 여러개 끼여있는데 그 두께는 수십m정도이다. 이러한 저류층들이 불투수층(투과결수 6.1mD)인 함진주층의 두꺼운 니암층에 의하여 덮여있으므로 지열수가 저장되는데 매우 유리하다.

또한 길주-명천지역은 판모봉릉기대와 칠보산돌출대사이에 깊이 꺼져내려간 지구대이므로 물이 집수되어 침투하는데 매우 유리한 지형조건을 이루고있다. 자료에 의하면 1년에 90억m<sup>3</sup>이상의 대기강수가 스며들고있다.

## 2. 길주-명천지역에서 지열발전에 리용할수 있는 지열자원량

길주-명천지역의 평륙주층안에는 3개의 저열층이 있는데 이가운데서 지열발전에 리용할수 있는 74°C이상의 온도[3]를 가진 저열층은 평륙주층의 3분층 1개뿐이다. 평륙주층 3분층의 총체적은  $2.2 \times 10^9 \text{m}^3$ 이고 층의 온도는 95°C이며 길주-명천지역의 년평균지표온도는 10°C이다. 그리고 저열층의 구성암석들은 사암과 력암으로 이루어져있으므로 암석의 비열은  $0.25 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ , 밀도는  $2700 \text{kg}/\text{m}^3$ 이다. 그러므로 평륙주층 3분층의 총열량(kJ)은 다음과 같이 계산할수 있다.

$$Q_{\text{총}} = C_{\text{암}} V_{\text{암}} \rho_{\text{암}} (T_{\text{암}} - T_{\text{평}}) = 0.25 \times 2.2 \times 10^9 \times 2700 \times (95 - 10) = 1.26 \times 10^{13}$$

여기서  $C_{\text{암}}$ 은 암석의 비열,  $V_{\text{암}}$ 은 암석의 체적,  $\rho_{\text{암}}$ 은 암석의 밀도,  $T_{\text{암}}$ 은 암석의 온도,  $T_{\text{평}}$ 은 길주-명천지역의 년평균지표온도이다.

또한 평륙주층 3분층의 유효공극도는 13%이다. 이 층은 지열수로 포수되어있고 지열수의 광화도가 높지 않으므로 지열수가 가지고있는 총열량(kJ)은 다음과 같다.

$$Q_{\text{물}} = m C_{\text{물}} V_{\text{암}} \rho_{\text{물}} (T_{\text{암}} - T_{\text{평}}) = 0.13 \times 4.2 \times 2.2 \times 10^9 \times 1000 \times (95 - 10) = 10.2 \times 10^{13}$$

여기서  $C_{\text{물}}$ 과  $\rho_{\text{물}}$ 은 지열수의 비열과 밀도이다.

그런데 지열발전에는 온도가 74°C이상인 지열수만을 리용할수 있으므로 지열발전에 리용될수 있는 지열수의 열량(kJ)은 다음과 같다.

$$Q_{\text{전}} = m C_{\text{물}} V_{\text{암}} \rho_{\text{물}} (T_{\text{암}} - T) = 0.13 \times 4.2 \times 2.2 \times 10^9 \times 1000 \times (95 - 74) = 2.52 \times 10^{13}$$

여기서  $T$ 는 지열발전에 리용할수 있는 최소온도이다.

이 열량을 발열량이 29300kJ/kg인 무연탄이 내는 열량으로 환산하면 86만t의 무연탄과 맞먹는 막대한 량이다.

## 3. 중저온지열자원을 리용한 전력생산의 경제적효과성과 환경학적영향

현재 2원순환기술에 의한 발전효율은 10~12%이므로 연구지역에서 지열수를 리용한 예상발전량은 다음과 같다.

$$Q_{\text{예}} = \eta Q_{\text{전}} = 0.12 \times 2.52 \times 10^{13} = 3.02 \times 10^{12} (\text{kJ}) = 8.4 \times 10^8 \text{kWh}$$

일반적으로 석탄을 리용하는 화력발전소들의 에네르기전환효율은 35~38%정도이므로 화력발전소에서  $8.4 \times 10^8 \text{kWh}$ 의 전력을 생산하자면 발열량이 29300kJ/kg인 무연탄을 리용하는 경우 30만t의 석탄이 필요하다. 그러므로 연구지역에 분포된 중저온지열수를 리용하여 전력을 생산하면 30만t의 무연탄을 절약할수 있다.

저열층의 지열수를 전력생산에 리용하는 경우 저열층의 온도저하로 인한 환경파괴현상을 막기 위하여서는 뽑아쓰는 열량만큼 계속 보충하여야 한다.

평북주층 옷층의 분포면적은  $70\text{km}^2$ 이고[2] 이 지역에서의 열흐름값은  $q=106\text{mW}/\text{m}^2$  이므로  $1\text{m}^2$ 당  $106\text{mW}$ 이상의 열을 보충받는다. 즉 저열층에 보충되는 열량  $Q_{보}$ 는 다음과 같다.

$$Q_{보} \geq q \cdot S = 0.106 \times 70 \times 10^6 = 7\,420(\text{kW})$$

이와 같이 연구지역에 분포된 저열층이  $7\,420\text{kW}$ 이상의 열을 정상적으로 보충받는것으로 되므로  $7\,420\text{kW}$ 이하의 능력을 가진 지열발전소를 운영한다면 저열층의 온도저하로 인한 환경파괴현상을 막을수 있다.

또한 전력  $1\text{kWh}$ 를 생산할 때 화력발전소들에서의  $\text{CO}_2$ 방출량은  $0.953\text{kg}$ 이고 지열발전소에서는  $0.000\,893\text{kg}$ 이므로[3]  $8 \times 10^8\text{kg}$ 의  $\text{CO}_2$ 방출을 없애는것으로 된다.

### 맺 는 말

1) 2원순환기술을 리용하면 길주-명천지역에 분포된 증저온지열수로부터  $8.4 \times 10^8\text{kWh}$ 의 전력을 생산할수 있다.

2) 길주-명천지역의 지열자원을 리용하여 전력을 생산하는 경우  $30\text{만t}$ 의 무연탄을 절약할수 있을뿐아니라 지구온난화의 주요원인으로 되고있는  $\text{CO}_2$ 배출량을  $8 \times 10^8\text{kg}$ 이나 줄일수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김종희; 지열자원과 그 개발, 과학백과사전종합출판사, 161~166, 주체90(2001).
- [2] 김흥기; 우리 나라 지열자원과 탐사, 고등교육도서출판사, 176~192, 1991.
- [3] D. Chandrasekharam et al.; Low-Enthalpy Geothermal Resources for Power Generation, CRC Press/Balkema, 112, 2008.

주체103(2014)년 5월 5일 원고접수

## Estimation of the Output of Electric Power using the Low Enthalpy Geothermal Water in the Geothermal Reservoir of Kilju-Myongchon Area

Kim Ki Song, Jong Kwang Su

We introduced the characteristics of the geothermal reservoir in Kilju-Myongchon area and described the estimated electric power production, economical and environmental efficiencies from the low enthalpy geothermal water in the area.

In case we produce electric power using the geothermal water in Kilju-Myongchon area, we can save 300 thousand tons of coal and reduce  $8 \times 10^8\text{kg}$  of  $\text{CO}_2$  emission which is the main cause of the global warming.

Key words: geotherm, low enthalpy geothermal resources, electric power production