

경북 포항지역에서의 심부 지열수자원 개발 사례

송 윤호¹⁾, 이 태종²⁾, 김 형찬³⁾

Development of deep-seated geothermal energy in the Pohang area, Korea

Yoonho Song, Tae Jong Lee, Hyoung Chan Kim

Key words : Geothermal water(지열수), Geothermal anomaly(지열이상대), Pohang(포항), Space heating(지역난방), geothermal reservoir(지열대수층)

Abstract : KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) launched a new project to develop the low-temperature geothermal water in the area showing high geothermal anomaly, north of Pohang city, for large-scale space heating. Surface geologic and geophysical surveys including Landsat TM image analysis, gravity, magnetic, Magnetotelluric (MT) and controlled-source audio-frequency MT (CSAMT), and self-potential (SP) methods have been conducted and the possible fracture zone was found that would serve as deeply connected geothermal water conduit. In 2004, two test wells of 1.1 km and 1.5 km depths have been drilled and various kinds of borehole survey including geophysical logging, pumping test, SP monitoring, core logging and sample analysis have followed. Temperature of geothermal water at the bottom of 1.5 km borehole reached over 70 °C and the pumping test showed that the reservoir contained huge amount of geothermal water. Drilling for the production well of 2 km depth is on going. After test utilization and the feasibility study, geothermal water developed from the production well is going to be provided to nearby apartments.

1. 서론

2003년 1월부터 한국지질자원연구원에서는 공중기술연구회의 예산을 받아 경북 포항시 북구 일원에서 심부 지열수를 대량으로 개발하여 인근 아파트 지역의 집단 지역난방 및 시설영농에의 연계활용을 위한 시험 사업을 진행 중에 있다⁽¹⁾.

심부 지열수 자원을 개발하기 위해서는 우선 지온경사 및 지열류량 분포 등 지열원 존재의 증거를 확인하고, 이후 지열수의 통로가 되는 심부 파쇄대의 부존 가능성을 파악하기 위한 인공위성 영상 판독, 구조지질 조사 및 광역 물리탐사 등이 수행되며 대상지역의 지하수 및 암석시료의 지구 화학적인 분석을 통하여 지열원의 존재 가능성을 좀더 구체적으로 밝히게 된다. 이러한 과정을 거쳐 가능한 구조가 발견되면 실제 지하구조를 정

확하게 규명하기 위한 심부 물리탐사 기술이 동원된다.

이러한 일련의 조사결과 및 인문사회적인 입지를 고려하여 시험시추공의 위치가 선정되고, 2004년 완공된 1.1 km의 코아링 시추공과 1.5 km의 두개의 시험 시추공으로부터 코아 및 각종 물리검층, 양수시험, 지열수 지화학 분석, 그리고 시추공 안정성 평가 등 다양한 지층 및 지열수에 대한 평가를 수행하고 있다.

여기서는 국내 최초로 이루어지고 있는 심부 지열자원 개발을 위한 대규모 연구 개발 프로젝트인 본 사업의 그동안 얻어진 성과에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. 대상지역의 지열징후 및 지질

그림 1은 전국에 분포하는 심부시추공에서의 온도검층 자료 중에서 심하게 대류의 영향을 받았거나 이상값을 나타내는 자료를 제외한 총 580개의 시추공의 자료를 이용, 지온경사를 계산하여 작성된 한반도의 지온경사도이다⁽²⁾. 그림에서 보면 경북 포항을 포함하여 국내의 유명한 온천 지대들인 연양, 고성, 속초, 오색, 수안보, 아산, 유성, 이천 등에서 지온경사가 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 지온분포가 높게 나타난 경북 포항시 일원에 대하여 지금까

- 1) 한국지질자원연구원 지하수지열연구부
E-mail : song@kigam.re.kr
Tel : (042)868-3175 Fax : (042)863-9404
- 2) 한국지질자원연구원 지하수지열연구부
E-mail : megil@kigam.re.kr
Tel : (042)868-3051 Fax : (042)863-9404
- 3) 한국지질자원연구원 지하수지열연구부
E-mail : khc@kigam.re.kr
Tel : (042)868-3074 Fax : (042)863-9404

지 수집된 시추공의 온도검층자료를 정밀 분석하고 개발된 후의 공급지역과의 위치 등 인문사회적인 여건을 고려하여 포항시 흥해읍 일원으로 대상지역을 선정하였다.

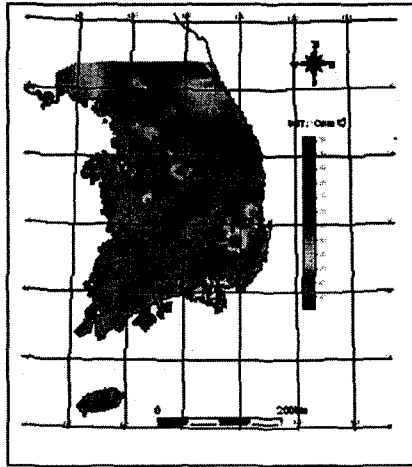


Fig. 1. Distribution of geothermal gradient in Korean peninsular

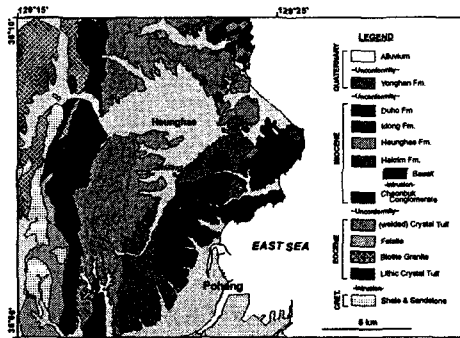


Fig. 2. Geological map (1:50,000) of the target area

그림 2는 선정된 대상지역의 1:50,000의 지질도를 보인 것으로 포항도폭⁽³⁾을 기초로 지층경계의 일부를 수정하여 작성한 것이다. 대상지역은 백악기 경상누층군의 하양층군에 속하며 퇴적암류를 초기지층으로 하여 이를 분출하여 덮거나 관입한 제3기 에오세의 석질결정질용회암, 혹은 모화강암, 규장암, 결정질용회암 등이 기반암을 이루며 분포하고 있는 포항분지에 속한다. 포항분지는 천북역암, 학림층, 흥해층, 두호층 등으로 구성된 제3기 마이오세의 연일층군의 지층들로 충전되어 있으며, 이 지층들은 주로 해상환경기원의 반고결 쇄설성퇴적암류로 구성된다. 지열개발의 주된 대상인 흥해분지는 국내에서 보기 힘들게 두꺼운 제3기 퇴적층 위에 제4기 반고결 퇴적층이 분포하고 있다.

그림 3은 Landsat TM 영상으로부터 판독된 조사지역의 선구조선도에 대상지역 주변에 존재하는 시추공에서의 지온경사를 기초로 작성된 지온

경사의 등고선도를 함께 도시한 것이다. 우선 선구조를 보면 흥해 이서 지역의 남-북 및 북동-남서 방향의 지형계곡은 양산단층이 통과하는 지역으로 양산단층은 하나의 단층선이 아닌 방향이 상이한 여러 단층선으로 추적되나 전체적으로는 북북동-남남서 방향을 유지한다. 이 일대를 몇 개의 지역으로 구분하여 지온경사, 파쇄대 발달가능성, 그리고 공급지역과의 거리 등을 고려하여 검토가 이루어졌으며 이로부터 그림 3의 네모로 표시된 영역을 주된 연구 대상지역으로 선정하였다.

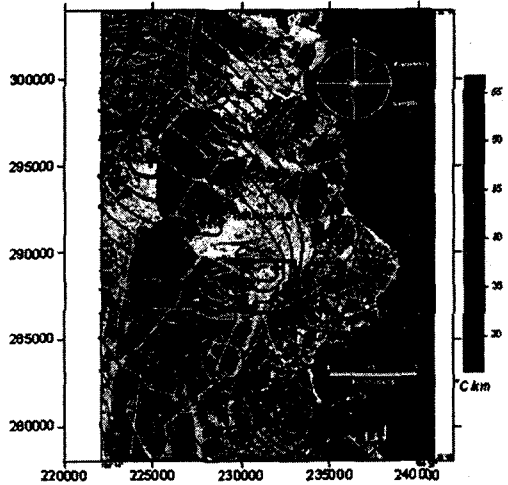


Fig. 3. Landsat TM image superimposed on the contour of geothermal gradient measured at the existing wells(+). Yellow lines denote lineaments. Open red square denotes the target area.

3. 물리탐사

화산활동이 없는 국내의 경우 지열자원개발은 심부파쇄대를 따라 이동하는 대량의 지열수 개발을 목표로 함이 타당하며 따라서 선정된 대상지역에 대하여 시추위치를 선정하기 위하여 3차원 자기전류(magnetotelluric; MT) 탐사, 자연전위 탐사 등 심부파쇄대 탐지를 위한 물리탐사를 적용하였다.

3.1 3차원 MT 탐사

그림 4는 2002년과 2003년에 수행된 3차원 MT 탐사의 70개 측정점에 대한 측정도이다. 양질의 자료획득을 위해 오후 5:00부터 다음날 오전 8:00까지 15시간동안 2일에 걸쳐 측정이 이루어졌으며, 또한 지열적인 전자기 잡음을 극복하기 위하여 원거리 기준점 방식을 이용하였다. 원거리 기준점은 국내 및 상대적으로 전자기 잡음이 덜한 일본의 큐슈에 설치, 운영하였다. 그림에서 사각형으로 둘러싸인 부분을 대상으로 3차원 역산을

수행하였다. MT 3차원 역산에서는 인접한 바다를 역산모델에 포함시켜 바다의 영향에 의한 탐사자료의 왜곡을 극복하고자 하였다.

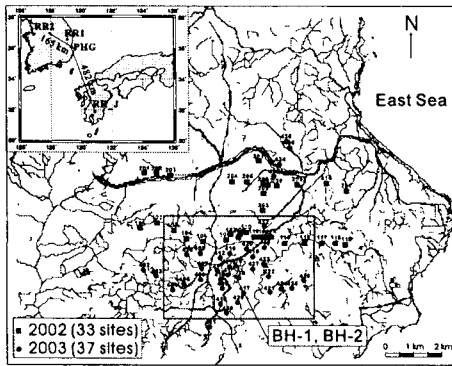


Fig. 4 Location map of the MT survey stations. The remote reference is installed in Kyushu, Japan.

그림 5는 3차원 역산의 결과를 나타낸 것이다. 역산결과는 홍해 분지에서 특징적으로 나타나는 지표에 두꺼운 반고결 퇴적층이 약 400 m의 두께로 분포하는 것을 잘 나타내고 있으며 이 층은 남쪽에서는 두껍게, 북쪽에서는 얇게 나타나고 있다. 또한 BH-2를 가로질러 북북동-남남서 방향과 북서-남동 방향의 두개의 전기비저항 이상대가 지하 심부까지 연장되어 나타나고 있어 이것이 인공위성 영상분석에서 나타난 선구조와 연관된 파쇄대일 가능성을 시사한다. 시험시추공 BH-2에서 실시한 전기비저항 검층자료와 역산결과 얻어진 전기비저항의 수직적인 변화를 비교한 그림 5의 우측그래프에서 두 결과가 매우 잘 일치하는 결과를 보여 탐사자료와 역산결과의 신뢰도를 검증해 주고 있다.

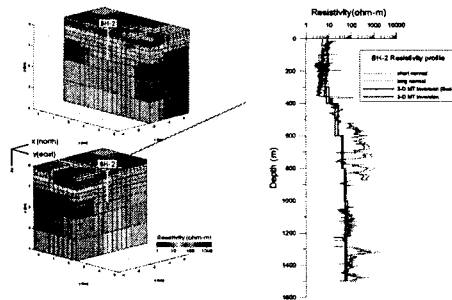


Fig. 5 Resistivity model from 3-D inversion of MT data considering nearby sea as a constraint and a comparison of resistivity profiles between the resistivity model and the resistivity log from BH-2.

3.2 SP 탐사

자연전위 (SP) 탐사는 지하수를 매개로 움직이

는 전하의 흐름과 밀접한 연관성을 보여 지열분야에서는 주로 파쇄대의 탐지나 지하수 이동시스템의 탐지 혹은 모니터링을 위해 적용된다. 그림 6은 조사 시추공의 굴착작업 이전에 시추 예정지역을 중심으로 반경 약 2 km 범위에 걸쳐 측정된 SP 분포 양상이다. 북북동-남남서, 북서-남동 방향의 두 개의 붉은 선으로 표시된 것이 3차원 MT 탐사 및 선구조 분석에서 공통으로 나타난 파쇄대로, SP 이상이 각각의 파쇄대를 기준으로 양쪽에서 양과 음으로 분명한 차이를 보인다.

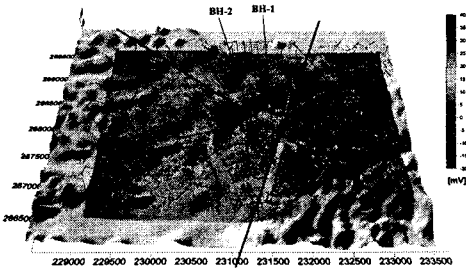


Fig. 6 SP distribution around the survey area. Red lines indicates the possible fractures deduced from 3-D MT interpretation.

4. 시추조사 및 양수시험

이상과 같은 지질조사, 선구조 분석, 물리탐사 결과로부터 서로 165 m 떨어진 두개의 시험시추공의 위치를 결정하고 코어링공(BH-1)은 1.1 km, 양수시험공(BH-2)는 1.5 km 심도로 굴착이 이루어졌다. 또한 두개의 시험시추공을 이용하여 코아검층, 물리검층, 양수시험 및 SP 모니터링 등의 시추공조사를 수행하여 지질 및 대수층의 특성을 파악하고자 하였다.

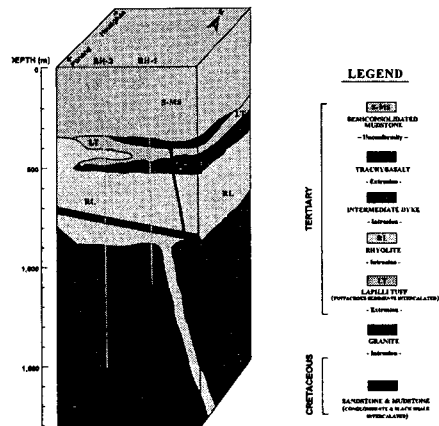


Fig. 7 A sketch of geology of test drilling site from core and cutting logs.

그림 7은 BH-1의 시추코아와 BH-2의 시추 슬러리(slurry)를 분석하여 심도에 따른 압상 및 층서를 조사한 결과와 물리검층 자료, 지표 지질조사 결과를 종합한 지질모식도이다. 동 지역의 기존 시추결과에서 지하 심부에 화강암이 존재하는 것으로 밝혀졌으며, 그 위에 제3기 퇴적암이 존재하고 그 상부에 관입 혹은 분출한 유문암, 중성맥암, 응회암 그리고 이를 덮고 있는 최상부의 반고결퇴적암의 층서로 나타났다.

그림 8은 BH-2에서의 온도검층 결과로 지온증가율은 600 m 상부에서는 39.1 °C/km, 900 ~ 1,500m 구간은 28.56 °C/km를 보이고 심도 1.5 km에서 공저온도는 약 70 °C로 나타났다. 화살표로 표시된 부분은 대수층으로부터의 지하수 유입으로 인한 급격한 온도변화를 보이는 구간이다.

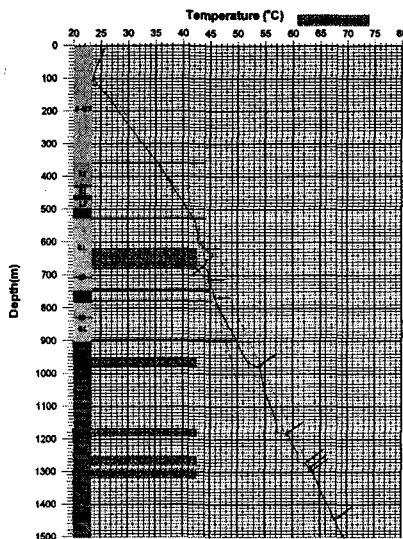


Fig. 8 Interpretation of temperature log data at borehole BH-2.

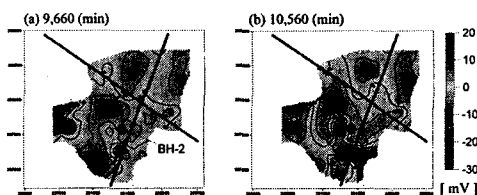


Fig. 9 Comparison of SP distribution before (a) and during (b) the pumping test from borehole BH-2.

투수량계수, 저류계수, 적정채수량 등의 대수층의 수리적 특성 파악을 목적으로 양수시험을 수행한 결과 저류층의 최대 가능 양수량은 1,000 m³/day 이상으로 나타났다. 또한 양수에 의한 지열수의 유동을 파악하고자 양수시험과 동시에 SP 모니터링을 수행하였다. 그림 9는 양수시험이 시작되기 이전과 양수시험이 진행되는 도중의 지표에서의 SP 분포 변화를 도시한 것이다. 시추공을

중심으로 남서부에서 가장 뚜렷하게 양수시험에 의한 SP 증가현상을 보이며 이는 북북동-남남서 방향의 주된 파쇄대와 연관되어 보인다.

5. 결론 및 토의

이상과 같은 일련의 조사가 완료되고 심도 1.5 km에서 공저온도 70 °C, 최대 양수가능량 1,000 m³/day의 대수층이 확인됨에 따라 2004년 6월부터는 그림 10에 보인 바와 같이 심도 2 km의 대규모 개발 시추공 굴착이 이루어지고 있으며 2005년 5월 현재 700 m 굴착이 이루어지고 있다. 개발시추공의 굴착이 완료되면 난방, 유리온실, 양어시설 등에 활용하는 실증시험 및 경제성분석을 수행하게 될 것이며, 타당성이 입증되면 그림 10과 같이 파이프라인을 연결하여 홍해읍을 비롯한 주변의 아파트단지 및 새로이 건설중인 신시가지 지역에 지열수를 공급할 계획이며 지열수의 효율적인 이용을 위하여 환원정의 굴착도 예정되어 있다.

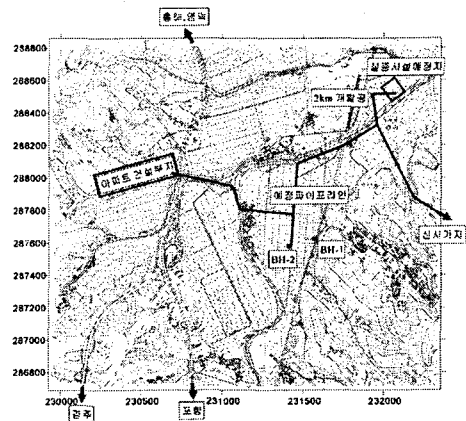


Fig. 10 A sketch of geology of test drilling site from core and cutting logs.

Acknowledgements

본 연구는 한국지질자원연구원의 기본사업인 '심부 지열에너지 개발 사업'의 일부이다.

References

- [1] 송윤호 외 31인, 심부 지열에너지 개발 사업, 한국지질자원연구원 연구보고서, 일반-04(연차)-01, 국무총리 65p, 2004.
- [2] 송윤호 외 14인, 지열자원 부존특성 규명 및 활용기반기술 연구, KR-04(연차)-08, 국무총리, 123p, 2004.
- [3] 엄상호, 이동우, 박봉순, 한국지질도 (1:50,000), 포항도폭, 국립지질조사소, 21p, 1964.