고심도 지중열전도도에 의한 지열 응용의 효율성

조희남¹ · 이달희² · 정교철^{3*}

¹지엔지테크놀로지, ²연세대학교 지하수토양환경연구소, ³안동대학교 지구환경과학과

Efficiency of Geothermal Energy Generation Assessed from Measurements of Deep Depth Geothermal Conductivity

Heuy Nam Cho¹, Dal-Heui Lee², and Gyo-Cheol Jeong^{3*}

¹G&G Technology Co., Ltd.

²Institute of Groundwater and Soil Environment, Yonsei University

³Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

이 연구의 목적은 현장의 지중열교환기에서 조건별 지중열전도도, 유속, 유량 및 파이프관내 압력을 측정하고, 이들 시험자료들을 분석하여 지열응용의 효율성을 평가하는데 있다. 규정에 따라 현장측정 장비를 설치한 후 3가지 다른 경우에서 각각 열전도도를 얻었다. 2차와 3차 경우의 결과를 바탕으로, 동일한 암반 지층하에서 다른 깊이(506 m, 151 m), 다른 파이프관경(65 mm, 30 mm)별 얻어진 열전도도는 각각 $k=2.9$, $k=2.8$ 로 크게 차이가 나지 않았다. 4차 경우는 2차 경우와 같은 조건의 심도 지층하에서도 이중관일 경우에는 열전도도가 $k=2.5$ 로 크게 차이 나지 않았다. 이러한 결과는 지열이용 시, 같은 지질일 경우 깊이가 중요한 변수가 될 수 있음을 보여 주고 있다. 또한 이 시험에서 얻은 물의 유속과 물의 유량 측정값 및 열전도도를 시뮬레이션 분석한 결과, 지열시스템의 운영 시 심도 506 m 지열공 한개가 심도 151 m 지열공 3개 운영보다 더 경제적이 확인되었다. 비슷한 지중열전도도 환경에서 0.8 m/sec로 같은 유속일 경우 약 4배의 유량($9.3\sim 9.8\text{ m}^3/\text{d}$, $2.3\sim 2.5\text{ m}^3/\text{d}$)의 차이를 보였다. 특히 대도시 건물 밀집형 지대 또는 지가가 비싸서 간접비가 많이 발생하는 대도시 지역에서는 훨씬 더 경제적인 것으로 판단된다.

주요어 : 신재생에너지, 지열응용, 고심도, 지중열전도도, 지중열교환기

The objectives of this study were to test geothermal conductivity (k), water velocity, water quantity, and pipe pressure from a ground heat exchanger in the field, and then to analyze these data in relation to the effectiveness and economical efficiency for application of geothermal energy. After installation of the apparatus required for field tests, geothermal conductivity values were obtained from three different cases (second, third, and fourth). The k values of the second case (506 m depth) and third case (151 m depth) are approximately 2.9 and 2.8, respectively. The k value of the fourth case (506 m depth, double pipe) is 2.5, which is similar to the second and third cases. This result indicates that hole depth is a critical factor for geothermal applications. Analysis of the field data (k , water velocity, water quantity, and pipe pressure) reveals that a single geothermal system at 506 m depth is more economically efficient than three geothermal systems at depths intervals of 151 m. Although it is more expensive to install a geothermal system at 506 m depth than at 151 m depth, test results showed that the geothermal system of the fourth case (506 m, double pipe) is more economically efficient than the system at 151 m depth. Considering the optional cost of maintenance, which is a non-operational expense, the geothermal system of the fourth case is economically efficient. Large cities and areas with high land prices should make greater use of geothermal energy.

Key words : renewable energy, geothermal application, deep depth, geothermal conductivity, ground heat exchanger

*Corresponding author: jeong@andong.ac.kr

서론

1973년에 석유파동 이후, 우리나라는 여러 가지 에너지 자원을 연구 개발하고 있으며, 특히 1980년대 후반부터 다양한 환경문제(지구온난화 가속 등)의 제거와 더불어 환경적으로 건전하고 지속적인 개발개념을 적극적으로 도입한 결과, 신·재생에너지의 개발과 보급이 새롭게 조명을 받고 있다(산업자원부, 2004; (사)한국지열협회, 2011). 특히 지열펌프에 대한 인식과 인기는 지열에너지의 직접적인 사용에 중요한 계기가 되었다(Lund et al., 2011). 이들에 따르면 연간 지열에너지 사용은 2005년에 비하여 연평균 성장률은 18.0% 증가율로서 이와 같은 연간 에너지 사용은 2.9배 성장하였다. 또한 설비용량(installed capacity)은 연평균 16.6% 성장률로 2.15배 증가하였는데, 이는 전세계적으로 지하수나 지하열을 이용하는 지열펌프의 용량이 증가하였기 때문이다(Lund et al., 2011).

1988년에 본격적으로 시작한 국내 신·재생에너지의 기술개발은 2030년까지 전체 에너지의 11%를 신·재생에너지로 공급하겠다는 목표로, 실천 가능한 실행 계획을 수립하여 진행하고 있다. 또한 이와 같은 양적 목표 외에도 질적인 목표로서 신·재생에너지 녹색성장 동력산업화가 제시되었고 이의 달성을 위한 기본적인 추진전략이 제시되었다. 기본적인 추진전략의 핵심은 산업화와 연계된 전략적 연구·개발 추진, 부품 및 장비 국산화를 통한 산업인프라 확충 및 고효율·저비용 기술 개발을 통한 신·재생에너지의 경제성 확보에 있다(한국 에어콘 냉동기기 연구조합, 2010; 에너지관리공단, 2011).

지열에너지(geothermal energy)는 이러한 목적을 달성하는데 크게 기여할 수 있는 신·재생에너지원이다. 일반적으로 지열에너지란 땅(토양, 지하수, 지표수 등)이 지구 내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지로 정의된다. 이러한 지열에너지는 온도에 따라 중·저온(10~90°C) 지열에너지와 고온(120°C) 지열에너지로 구분할 수 있다. 이에 우리나라는 대체에너지개발이용·보급촉진법(제2조)에 의거하여 석유, 석탄, 원자력 및 천연가스가 아닌 친환경 청정에너지로서 지열(천부, 심부) 이용을 권장하고 있다. 이들 지열은 연중 비교적 일정한 온도를 유지하고 있어, 언제 어디서나 공공건물을 위시하여 대규모 빌딩들이 필요로 하는 냉난방용 열에너지와 이들 시설들이 필요로 하는 온수를 저렴하게 공급해 줄 수 있다(지식경제부, 2011a).

천부의 토양이나 암반, 대수층 내 지하수 및 지하공간 내 저장된 유체 등의 열 에너지를 이용하는 지열 시스템은 일반적으로 열에너지의 회복과 저장의 개념을 기반으로 한다(심병완과 이철우, 2010). 지열에너지는 열과 유체와의 연속적인 순환에 기반한 것으로 어느 정도까지는 재생가능하다(Barbier, 2002). 국내의 경우 한반도 지열류량 연구(김성균, 1984; 한옥과 김영석, 1996)에 의하면 신재생 에너지로 충분히 개발 가능한 에너지로 평가된다. 최근까지 지열에너지 최대 설비국은 미국, 중국, 스웨덴, 독일, 일본으로서 전세계 용량의 63%를 차지하며, 최대 연간 사용국은 중국, 미국, 스웨덴, 터키, 일본으로서 전세계사용량의 55%를 차지한다(Lund et al., 2011).

현재 신·재생에너지 중 지열에너지는 열에너지 분야로 보급되고 있으며, 주로 지열히트펌프시스템 중심의 지열 냉난방시스템의 가격저감 및 성능향상과 제품 국산화에 대한 기술을 정부가 지원하고 있는 실정이다(지식경제부, 2011b). 지열히트펌프시스템은 저온(10~30°C)의 지열에너지를 효율적으로 활용하는 지열분야의 대표 기술이라고 할 수 있다. 상대적으로 저온의 에너지를 활용하지만, 연중 일정한 온도를 유지하기 때문에 항온성이 우수하며 지리적 제약이 없는 것이 큰 장점이다. 또한 지하수 열펌프의 열원인 국내지하수는 연평균 온도가 14.3°C 정도로 높기 때문에 공기원 열펌프(0°C에서 운전 시)에 비해 성적계수가 최소 2~3 정도 높아 경제적으로 운전이 가능한 열원이다(환경부, 2010; 지식경제부, 2011b). 재생 가능한 열원으로서 지하수열을 이용하면 지하수고갈 방지는 물론 계절별로 남아도는 열 에너지를 대수층에 축열시킬 수 있다. 또한 국내 지질은 대수층이 전국적으로 분포하고 있으므로 수리지열학적 특성을 활용한 고효율의 시스템 개발이 용이하다(심병완과 이철우, 2010).

Fig. 1과 같이 지열히트펌프시스템은 지중열교환기를 순환하는 열매체(물, 부동액, 지하수 등)를 히트펌프의 열원으로 활용하여, 냉방 시에는 건물 내의 열을 지중으로 방출하고 난방과 급탕 시에는 지중의 열을 실내와 온수에 공급한다. 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency: EPA)은 지열히트펌프시스템이 현존하는 냉난방 기술 중에서 가장 에너지 효율적이고 환경친화적이며, 비용 효과가 우수한 시스템이라고 밝히고 있다(환경부, 2010; 에너지관리공단, 2011). 공기열원히트펌프에 비해 44%까지 그리고 에어컨과 전열기에 비해 최대 72%까지 에너지를 절감할 수 있는 것으로 조

Fig. 1. General schematic of a geothermal heat pump system.

사되었다(에너지관리공단, 2011).

지열히트펌프시스템을 최적 설계하기 위하여 적용 건물의 냉난방 부하를 정확하게 계산해야 되는 것은 물론, 지중열교환기 매설지역의 토양 성질, 그라우트의 열물리적 성질, 시추공 간격 등과 같은 다양한 변수를 고려해야 한다. 시스템을 설치하고자 하는 장소의 토양 및 그라우트의 열물성치에 대한 정확한 자료 없이 지중열교환기를 설계할 경우 실제 필요한 용량보다 과다하게 설계될 수 있으며, 이는 초기 시공비용의 증가를 초래하게 된다(환경부, 2010).

실제 지중열교환기 설계가 어려운 점은 설치하고자 하는 장소의 토양 또는 암반에 대한 열물성을 알고 있어도 이들의 연중 수분함량 변화라든지 지표수 또는 지하수의 우물공 내로의 유입으로 인한 지중열교환기 성능변화에 대한 예측이 곤란하다는 것이다(한정상 외, 2005).

지중열에너지(지열)는 지하수가 유동하는 방향으로 지하수와 함께 이동되며, 열전도도(thermal conductivity)가 중요한 변수가 된다. 즉 열전도도란 단위 온도구배 하에서 지중매체의 단위면적을 통해 단위시간 동안에 유동하는 열량이다(환경부, 2010).

이 연구의 목적은 현장에서 조건별(공의 깊이, 파이프 관경 등) 열전도도 값(k) 및 물의 유속, 물의 유량, 관(공급관, 환수관)의 압력을 측정하고, 이들 시험자료들을 분석하여 지열응용의 효율성을 분석·평가 하는데 있다.

Fig. 2. Cement grouting in a test hole.

지중열전도도 측정 및 분석

현장 지중열전도도 측정조건 및 방법

현장에서 열전도도를 측정하는 장비 및 방법은 여러 가지가 있으나, 현장의 지중조건(암반상태 등)과 주변여건에 따라 측정·설비 장치를 적용하여야 한다. 밀폐형 지열측정 설비를 설치하기 위해 한밭대학교의 승인 및 협조를 얻고, 지하수법 제9조의 4 제1항 및 시행령 제14조의 3에 의거 굴착을 실시하였다. 또한 이 연구 현장의 반경 500 m 이내에 타 지열 설비가 설치 및 운영되고 있는지 조사하였다. 이 지역은 이러한 열적 간섭 영향이 없었다. 하부 굴착이 완료된 후 굴착구간 내부에 열교환기 파이프(루프)를 삽입 설치하고(Fig. 2), 지열용

그라우팅 물질을 충전하였다. 지열용 그라우팅의 재료 종류는 지열 설비를 설치하고자 하는 지역의 지질학적 조건에 따라 적절한 선택을 하였다. 연구지역의 대수층은 화강암 및 편암 등으로 구성된 암반대수층이므로 순수 시멘트로 그라우팅 재료를 선택하였다(사)한국지열협회, 2010a).

일반적으로 현장 열전도도 시험에 필요한 장치는 지중 순환회로 장치, 온수공급장치, 측정장치(출·입구 수온 측정기, 순환수의 유량 측정기, 전력계) 등으로 구성된다. Fig. 3은 이 연구에서 사용된 현장 열전도도 측정 장비를 보여주고 있으며, Fig. 4는 현장 설치장비 및 측정 장치(water velocity, water quantity, pipe pressure) 등을 보여주고 있다.

지중열전도도 현장측정 시 시험환경 및 조건

시험측정은 4가지 경우를 설정하여 4회 현장측정 공

Fig. 3. Field operation system for geothermal conductivity tests.

Fig. 4. Apparatus used for field tests of water velocity, water quantity, and pipe pressure.

을 설치하여 실시하였다. 시험방법은 지식경제부 고시 제2011-3호 “신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 기준” 제20조 제2항과 “신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침” 제10조 제2항 “지열설비의 이용검토서 작성 및 검토기준”에 따라 시험 방법을 적용하였다. 시험기간 및 시험환경은 Table 1에 요약하였다.

지중열전도도 측정공(In-situ thermal conductivity test hole)에서의 시료를 얻기 위한 조건은 Table 2에 요약하였다.

각 시험에서 얻은 값과, 다음과 같이 표시되는 열전도도(k) 산출식을 이용하여 현장 열전도도 값을 구하였다(한정상과 한찬, 2010).

$$k = Q / (4 \times \pi \times \text{Depth} \times \text{Slope})$$

where: k : Conductivity value

Q : Heat transfer rate

π : pi

Depth : Loop length

Slope : Avg. loop temperature vs time (linear least squares)

Avg. loop temperature (In & out mean value)

Time (N-log scale)

그리고 물의 유속, 물의 유량, 및 파이프 관의 압력을 측정하였다.

결과 및 토의

1차 시험에서는 현장 운영의 경험 부족으로 지중열전도도 값을 얻는데 실패하였고, 2차, 3차 및 4차의 경우에는 각각의 경우별로 지중열전도도 값을 성공적으로

Table 1. Time period and testing environments for geothermal conductivity in the field.

Test period	Temperature	Moisture contents
First case : 2011.04.24.	Min. 15°C Max. 23°C	Lowest 53% R.H. Highest 62% R.H.
Second case : 2011.08.03. - 08.05.	Min. 27°C Max. 34°C	Lowest 66% R.H. Highest 83% R.H.
Third case : 2011.08.05. - 08.07.	Min. 23°C Max. 31°C	Lowest 66% R.H. Highest 70% R.H.
Fourth case : 2011.10.27. - 10.29.	Min. 14°C Max. 22°C	Lowest 62% R.H. Highest 88% R.H.

Table 2. Factor values for geothermal conductivity tests.

	1st	2nd	3rd	4th
Hole depth (m)	151	506	151	506
Testing time (min.)	2,880	2,880	2,880	2,880
Testing interval (min.)	10	10	10	10
Using liquid	Water	Water	Water	Water
Pipe type	Vertical	Vertical	Vertical	Double Vertical
Pipe diameter (mm)	30	65	30	Outer diameter : 150 Inner diameter : 65

Table 3. Test results for geothermal conductivity (k).

	2nd	3rd	4th
Initial geo. temp. (°C)	18.4	16.4	18.3
Ave. temp. at in & out (°C)	4.2	4.0	4.0
Supply heat (W)	22,7	9,8	28,1
Slope	1.2	1.8	2.0
Geothermal conductivity (k)	2.9	2.8	2.5

Fig. 5. Result of field tests for the second case.

측정하였다. 현장시험 후, 각 시험에서 구한 시험결과를 Table 3, Fig. 5 및 Fig. 6으로 각각 정리하였다.

2차와 3차 경우의 결과를 바탕으로, 같은 암반 지층 하에서 다른 깊이(506 m, 151 m), 다른 파이프관경(65

Fig. 6. Result of field tests for the third case.

mm, 30 mm)별 얻어진 열전도도 값($k=2.9$, $k=2.8$)은 크게 차이가 나지 않았다. 4차 경우의 결과는 2차 경우와 비슷한 조건의 심도 지중하에서도 이중관 형식일 경우에는 열전도도 값은 2.5로 적게 측정 되었다. 이러한 결과는 지열 이용 시, 같은 압반일 경우 천공 깊이가 중요한 변수가 될 수 있음을 보여 주고 있다. 또한 열에너지 효율성 측면에서 심도 506 m 지열공 한 개가 심도 151 m 지열공 3개 운영보다 더 경제적인을 유추할 수 있다.

지열펌프는 실외가 아닌 실내에 설치한 후 가동되기 때문에 실외의 기상변화에 따른 장치가 필요 없으며 별도로 설치하지 않아도 된다. 경제성에서의 문제는 연소형 시설(예, 중앙식 냉방장치, 공기원 열펌프 등)에 비해 초기 설치비(투자비)가 높다(Kazemann and Whitehead, 1980). 그 이유는 지중에서 열을 추출하고 방열할 수 있는 지중열교환기를 추가로 설치하기 때문이다. 또한, 기존 건축설비에 비해 다소 많은 초기투자비가 지열시스템의 민간시장 활성화를 더디게 만들고 있다. 그러나 지열펌프 시설은 난방과 냉방을 동시에 할 수 있는 장점이 있으며, 지열펌프를 운영·정비하는데 소요되는 비용이 기존의 연소형 시설에 비해 매우 저렴하기 때문에 설치 후 3내지 4년 정도면 초기 투자비를 완전히 회수할 수 있는 저비용 냉난방 장치로 평가하고 있다(Ever source technology development, 2012).

공기대공기 열펌프에 비해 지열펌프 이용 시 연간 소요되는 전력의 2/3을 절약할 수 있고, 공기원(air source) 열펌프에 비해 프레온가스 사용량이 적다. 여러 종류의 연료(화석연료, 전기 등)와 기기가격 및 유지관리비 등

을 비교하면 지열펌프는 기존의 냉난방법에 비해 운영비를 최소 50~70% 절감 시킬 수 있는 가장 경제적인 냉난방법이다. 또한 지열펌프의 유지비용은 석유난방비의 28%, 전기난방비의 35%, 천연가스 난방비의 41%, 공기대공기 열펌프에 의한 난방비의 48% 정도이다. 지열펌프의 내구연수는 약 25년 이상이다(Geothermal heat pump consortium, 2012).

실제적으로 이 연구에서 얻은 자료(Table 4, Table 5)를 근거로, 같은 열전도도 값이라는 조건에서 심도 151 m의 시험공(151 m × Ø30 mm)과 심도 506 m의 시험공(506 m × Ø65 mm)의 결과를 분석하면 운영 시 튜브의 압력 손실 문제도 발생하지 않았다. 심도 151 m의 시험공에서 작동능력(operation power)이 12~13(Hz)일 때, 물 공급(water supply)관과 물 환수(water recharge)관의 압력차는 0.75~0.80 kg/cm²이고, 심도 506 m의 시험공에서는 작동능력이 22~23(Hz)일 때, 물 공급관과 물 환수관의 압력차는 1.41~1.60 kg/cm²이므로 충분히 압력 차이를 극복 할 수 있는 것으로 증명되었다. 이것은 실제 운영 시 심도 506 m의 시험공이 경제적으로도 효과가 있다는 것을 유추할 수 있다. 동일한 압반의 지질환경이며, 지중열전도도 값이 비슷한 환경에서 같은 유속(0.8 m/sec)일 경우 약 4배의 유량(9.3~9.8 m³/d, 2.3~2.5 m³/d)의 차이를 보였다(Table 4, Table 5). 이것은 심도 506 m 지열공 한 개가 심도 151 m 지열공 3개 운영하는 것보다 더 경제적인을 유추할 수 있는 근거의 하나가 될 수 있다.

또한 다른 근거는 이 연구 현장에서 심도 151 m 시공 시 적용된 비용은 1 m당 2만5천원에서 3만원(총 비

Table 4. Pressure difference between the supply tube and recharge tube for an in situ test hole of size 150 m × Ø30 mm.

Operation power (Hz)	Water velocity (m/sec)	Water quantity (m ³ /d)	Supply pipe pressure (kg/cm ²)	Recharge pipe pressure (kg/cm ²)	Pressure difference (kg/cm ²)
8	0.5	1.41	2.70	2.41	0.29
9	0.6	1.61	2.75	2.35	0.40
10	0.6	1.83	2.75	2.30	0.45
11	0.7	2.03	2.80	2.20	0.60
12	0.8	2.25	2.90	2.15	0.75
13	0.8	2.46	2.90	2.10	0.80
14	0.9	2.67	3.05	2.08	0.97
15	1.0	2.89	3.08	2.00	1.08
16	1.1	3.11	3.20	1.95	1.25

Table 5. Pressure difference between the supply tube and recharge tube for an in situ test hole of size 500 m × Ø65 mm.

Operation power (Hz)	Water velocity (m/sec)	Water quantity (m ³ /d)	Supply pipe pressure (kg/cm ²)	Recharge pipe pressure (kg/cm ²)	Pressure difference (kg/cm ²)
9	0.3	3.58	1.61	1.40	0.21
10	0.3	4.02	1.61	1.35	0.26
11	0.4	4.46	1.85	1.43	0.42
12	0.4	4.91	1.85	1.40	0.45
13	0.5	5.34	1.85	1.38	0.47
14	0.5	5.81	1.85	1.35	0.50
15	0.5	6.24	2.20	1.50	0.70
16	0.6	6.67	2.20	1.40	0.80
17	0.6	7.12	2.25	1.37	0.88
18	0.6	7.54	2.25	1.25	1.00
19	0.7	7.95	2.27	1.25	1.02
20	0.7	8.46	2.40	1.20	1.20
21	0.7	8.91	2.45	1.06	1.39
22	0.8	9.34	2.46	1.05	1.41
23	0.8	9.80	2.60	1.00	1.60
24	0.9	10.25	2.64	0.95	1.69

용 대비), 심도 506 m 시공일 경우 1 m당 총 비용 대비 5만5천원에서 6만원이 실제 직접굴착비로 형성되어 있다. 이와 같이 초기 비용이 더 투자되나, EPA 시뮬레이션결과에 의하면 현장운영 후 4.5년 후에는 운영 간접비 및 부가 유지비 등을 고려할 경우 심도 506 m 지열 한 개소 운영이 더 경제적이란 판명되었다(Environmental Protection Agency, 2012).

일반적으로, 지열펌프의 내구연수는 약 25년 이상이다. 특히, 대도시 건물 밀집형 지대 또는 지가가 비싸서 간접비가 많이 발생하는 대도시 지역에서는 훨씬 더 경제적이란 할 수 있다. 우리나라에서는 주로 지반이용(수직 밀폐형)과 지하수 이용(SCW) 방식을 이용하여 지열히트펌프시스템을 가동하고 있다(Lee, 2009). 그런데 아직 국내에서는 이러한 기술 개발수준은 기초적이지만

지속적인 연구들을 수행한다면 보다 친환경적이며 경제성 및 효율이 높은 시스템을 개발할 수 있을 것으로 판단된다(심병완과 이철우, 2010).

신·재생 에너지의 하나인 지열활용의 핵심은, 고효율·저비용 기술개발을 통한 경제성 확보에 있다. 지열 이용 및 응용 분야는 제조·설비·건설·시공·자원 등이 융합된 분야로 타 신·재생에너지원에 비해 산업 연관성과 파급 효과가 매우 큰 분야로, 지열에너지의 효율성과 경제성에 대한 보다 많은 연구가 이루어지면 국가 신·재생에너지 보급목표와 이산화탄소 배출 절감 목표를 달성하는데 크게 기여할 것이다(사)한국지열협회, 2010b).

전세계적으로 최근 5년간 지열 설비용량이 가장 급증한 국가는 영국, 네덜란드, 대한민국, 아일랜드, 아르헨

티나 등이다(Lund et al., 2011), 1985년에는 설비용량이 100 MWt인 국가는 11개였으며, 1990년에는 14개국으로 증가하였고, 1995년에는 15개국, 2000년에는 23개국, 2005년에는 33개국으로 증가하였다. 이는 2009년말 기준으로 36개국에 이른다(Lund et al., 2011). 이와 같은 증가는 우리나라와 같은 중국과 신흥경제대국에서도 지열에너지가 차지하는 비중이 증가하는 추세에 있기 때문이다. 최근의 활발한 심부지열수 자원개발이나 천부지열을 활용한 냉난방 수요의 증가 등 주변여건이 호전됨에 따라 우리나라 지열연구개발의 전망은 밝다고 판단된다(송윤호 외, 2006).

결 론

환경친화적이고 청정에너지인 지열을 이용하는데 있어서 현장에서 측정한 지중열전도도 값, 물의 유속, 물의 유량, 파이프관의 압력 값은, 지열펌프시스템의 설계 및 현장장비 운용 시 중요한 인자 값이 된다. 현장시험에 있어서 2차의 경우와 3차 경우의 결과를 바탕으로, 같은 암반 지중하에서 다른 깊이(506 m, 151 m), 다른 파이프관경(65 mm, 30 mm)별 얻어진 열전도도 값은 각각 $k=2.9$, $k=2.8$ 로 크게 차이가 나지 않았다. 4차 경우의 결과는 2차의 경우와 비슷한 조건의 심도 지중하에서도 이중관 형식일 경우에는 열전도도 값은 2.5로 크게 차이 나지 않았다. 이 시험에서 얻은 유속과 유량과의 결과 및 열전도도 값을 분석한 결과, 지열시스템의 운영 시 506 m 지열공 한 개가 151 m 지열공 3개 운영하는 것보다 더 경제적이었음이 확인되었다. 비슷한 열전도도 값 환경에서 같은 유속(0.8 m/sec)일 경우 약 4배의 유량(9.3~9.8 m³/d, 2.3~2.5 m³/d)의 차이를 보였다. 따라서 연구지역 심도에 따른 지열효과 분석에 의하면 지가가 비싼 대도시에서는 여러 개의 얕은 지열공 보다는 하나의 심부 지열공을 설치하는 것이 운영 시간이 진행(약 4.5년 후)될수록 경제적으로 효과가 있는 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 한국에너지기술평가원의 신재생에너지기술 개발사업인 과제번호: 제2010T100100602호, 과제명: 앵커와 로우프를 이용한 고심도 고열량 지중열교환기장치의 연구결과물에 의한 것입니다. 이에 감사드립니다. 그리고 현장 설치 및 운영에 많은 도움을 주신 한밭대학교

최종민 교수님과 연구 중 많은 자문을 해 주신 건양대학교 강신형 교수님에게도 감사드립니다.

참고문헌

- 김성균, 1984, 한반도 지열류량에 대한 약간의 고찰, 광산지질, 1, 109-114.
 (사)한국지열협회, 2010a, 지열설비 시공능력 향상을 위한 시공가이드, 56p.
 (사)한국지열협회, 2010b, 한국지열협회 창립 세미나 논문집, 3-40.
 (사)한국지열협회, 2011, 공공기관설치 의무화에서 지열 냉난방시스템의 고려사항 대응 방안, 44p.
 산업자원부, 2004, 대체에너지기술개발 사업안내, 16p.
 송윤호, 김형찬, 이상규, 2006, 한국의 지열 연구와 개발, 자원환경지질, 39, 485-494.
 심병완, 이철우, 2010, 천부 지열에너지로서의 지하 열에너지 저장 기술 동향, 자원환경지질, 43, 197-205.
 에너지관리공단, 2011, 신재생에너지백서, 134p.
 지식경제부, 2011a, 에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진법.
 지식경제부, 2011b, 신재생 에너지 설비의 지원 등에 관한 기준 및 지침.
 한국 에어컨 냉동기기 연구조합, 2010, 친환경신재생에너지 정책동향 및 응용기술전망, 98p.
 한옥, 김영석, 1996, 한반도와 그 주변지역의 지열류량 분포에 관한 연구, 지질학회지, 32, 267-275.
 한정상, 한규상, 한혁상, 한찬, 2005, 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림원, 69p.
 한정상, 한찬, 2010, 지열에너지, 도서출판 한림원, 56p.
 환경부, 2010, 지열 설비의 설치·운영 등에 관한 환경관리요령, 23p.
 Barbier, E., 2002, Geothermal energy technology and current status: an overview, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, 3-65.
 Environmental Protection Agency Home Page, <http://www.epa.gov/>
 Ever Source Technology Development Home Page, <http://www.hyy.com.cn/>
 Geothermal Heat Pump Consortium Home Page, <http://www.geoexchange.org/>
 Kazemann, R.G. and Whitehead, W.R., 1980, The spacing of heat pump supply and discharge wells, Groundwater Heat Pump Journal, 1, 25-36.
 Lee, J.Y., 2009, Current status of ground source heat pumps in Korea, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1560-1568.
 Lund, J.W., Freeston, D.H., L. Boyd, T.L., 2011, Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review, Geothermics, 40, 159-180.

원고접수일 : 2012년 5월 21일

수정본채택 : 2012년 6월 15일

게재확정일 : 2012년 6월 18일

조희남

(주)지앤지테크놀로지
405-849 인천광역시 남동구 논현동 435-5
Tel: 032-812-0777
E-mail: ggpgu@hanmail.net

이달희

연세대학교 지하수토양환경연구소
120-749 서울특별시 서대문구 신촌동 134
Tel: 02-2123-4100
E-mail: dalheui@yonsei.ac.kr

정교철

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 경동로 1375 (송천동)
Tel: 054-820-5753
Fax: 054-822-5467
E-mail: jeong@andong.ac.kr