

## 고성능저가형 지중열교환기 개발연구

안 형준<sup>1)</sup>, 백 성권<sup>2)</sup>, 임 성균<sup>3)</sup>

### Development of High Performance Geothermal heatexchanger

Hyungjun An, Sungkwon Baek, Sungkyun Im

**Key words** : GSHP(지열원히트펌프), Geothermal Heatexchanger(지중열교환기), Heatpump(히트펌프), Geothermal Energy(지열에너지), Thermal conductivity test(열전도시험)

**Abstract** : Geothermal heat exchanger(GHEX) is a major component of Geothermal heat pump system(GSHPs). In Common, We use the vertical type GHEX in Korea. But vertical type GHEX needs a high cost for installation, because of drilling the hole which has 200m depth at max. So, We suggest the use of horizontal type GHEX. When we construct buildins, We excavate the ground and we can install the horizontal type GHEX at the excavated underground. It's very cheap and convenient method compare to vertical type GHEX installation.

This study is peformed to estimate the peformance of horizontal type GHEX and to analyze effects of heat exchanger types and undergroundwater. As the result, slinky type GHEX has a 66% efficiency compare to vertical type GHEX and mat type has a 201% efficiency at the undergroundwater zone.

### 1. 개요

국내에서 가장 많이 사용하는 수직형 지중열교환기는 성능이 안정적이고 필요부지가 작은 장점이 있는 반면 최대 지하 200m 까지 굴착을 하기위해 많은 비용이 소요되어 경제성이 떨어진다. 그런데 건물의 냉난방을 위한 지열원 히트펌프시스템에서 지열원의 온도범위는 20~10℃가 적당하며 이는 지하 5m정도만 굴착하면 충분히 얻을 수 있다. 따라서 건축 및 토목 공사의 지반굴착, 성토 등에 수평형 지중열교환기를 설치하면 저가로 설치가 가능하다. 본 연구는 지반공사에 부가적으로 수평형 지중열교환기를 설치하는 기술을 개발하기 위해 수행되었으며 수평형 지중열교환기의 개발을 위해 열교환파이프의 종류, 열교환파이프 설치방법에 따른 성능평가, 지하수영향평가 등을 연구하였다. 수평형 지중열교환기는 국내에 충분한 연구자료가 없어 적용이 어려운 실정이며 본 연구결과가 앞으로 국내에서 수평형을 시공하는데 있어서 작은 도움이 되기를 기대한다.

### 2. 수평형 지중열교환기 성능평가

#### 2.1 수평형 지중열교환기 설치

미국 등에서 일반적으로 사용되는 U-Type 및

Slinky type의 3종류의 지중열교환기에 대한 성능을 평가하였다. 외경 3.4cm의 HDPE 재질의 파이프를 사용하였으며 각 열교환기마다 3개의 Thermocouple을 설치하여 위치별 온도의 변화를 측정하였다.

설치 깊이는 지표면에서 2.0m로 5.0m 이하에 있는 지하수의 영향을 크게 받지 않는다.

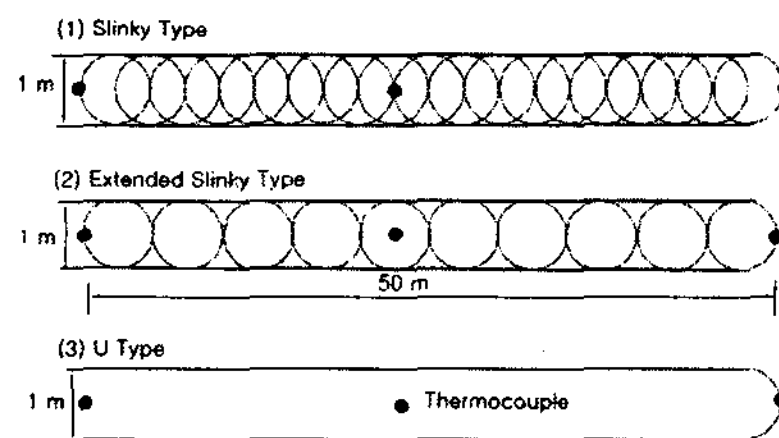


Fig.1 Spec. of GHEX for test

- 1) 코오롱건설 기술연구소  
E-mail : hjan@kolon.com  
Tel : (031)329-0634 Fax : (031)329-0651
- 2) 코오롱건설 기술연구소  
E-mail : eva2k@kolon.com  
Tel : (031)329-0638 Fax : (031)329-0651
- 3) 코오롱건설 기술연구소  
E-mail : skyim@kolon.com  
Tel : (031)329-0631 Fax : (031)329-0651

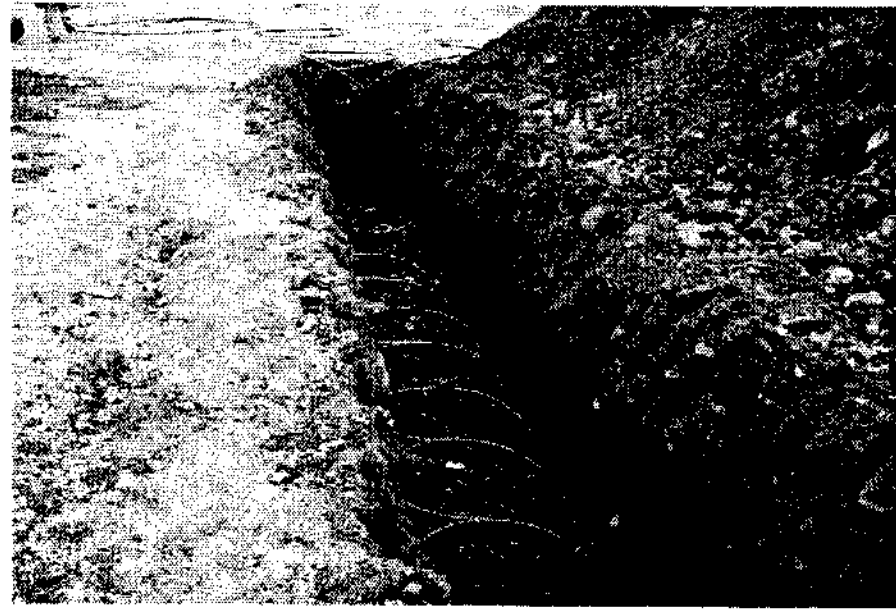


Fig.2 installation of GHEX

지중열교환기의 현장설치모습은 Fig.2와 같다. 지표 2m깊이로 굴착하여 열교환파이프를 설치하고 모래로 보호한 후 굴착토로 되메우기를 실시하였다.

## 2.2 현장 열교환성능 평가

### 2.2.1 시험 및 분석방법

지중열교환기의 성능평가는 일정용량의 전기히터로 열을 공급하고 이에 따른 순환매체의 온도변화를 측정 후 이것을 선형열원에 따른 열전도율로 계산하여 분석한다. 이는 이론상 수직형 지중열교환기의 성능평가에 적합한 방법이므로 수평형이나 지하수형 지중열교환기의 경우 수직형 지중열교환기의 성능비로 평가하게 된다.

선형열원이론에 따라 매질에 가열을 시작하여 최초 과도 상태 이후에는 온도 상승은 가열 전력  $Q$ 와 매체의 열전도율  $k$ 에만 좌우된다고 가정한다. 열전도율은 시각  $t_1$ 과  $t_2$ 에서 구한 온도 측정값으로 계산할 수 있다(Kosky and McVey, 1986).

$$\text{여기서, } k = \left( \frac{Q}{4\pi L \Delta T} \right) \ln \frac{t_2}{t_1}$$

$\Delta T$  = 시간  $t$  동안의 온도차(K)  
 $Q$  = 히터의 전력(Watt)  
 $t_1, t_2$  = 가열시작 및 종료 간(Sec)  
 $L$  = 보어홀 깊이(m)

이다.

이러한 분석방법은 지중의 열전달을 지반매질에 의한 열전도에 한정하고 있어 지하수상태가 고려되지 않는 문제가 있으며 선형열원이 아닌 수평형 및 지하수형에는 맞지 않다. 따라서 수평형이나 지하수형의 성능평가를 위해서는 이러한 분석결과를 수직형지중열교환기로 환산하여 성능을 비교하게 된다.

### 2.2.2 열전도 시험결과

현장에서 실시된 열교환성능 시험의 결과는 다음 표와 같다.

Table 1 Thermal conductivities of GHEXs

종류	열전도율 (W/mK)	수직형 대비
Slinky	2.24	66%
Extended Slinky	2.08	62%
U	1.78	52%
수직형(비교기준)	3.40	100%

실험결과 수평형 지중열교환기는 수직형과 비교해 열전도율이 상당히 작게 나타나며, 이는 지반매질의 특성과 흙의 다짐 상태, 설치 심도에 따른 지중온도의 영향에 따른 것으로 판단된다. 따라서 수평형의 성능을 높이기 위해서는 충분한 채움재의 다짐, 깊은 심도에 설치하는 것이 중요하다.

## 3. 수평 매트형 지중열교환기

### 3.1 설치 개요

매트형 열교환기는 세관을 통해 열교환을 하므로 일반 수평형에 비해 우수한 성능을 기대할 수 있다. 이실험은 지하수의 영향을 고려하기 위해 지하수 유무에 따라 2가지로 설치하여 수행하였다. 이때 지중열교환기의 아래와 윗면에 미리 모래와 부직포를 깔아 뒷채움시 지중열교환기를 보호하였다.

Table 2 Spec of installed Mat type GHEXs

	Case 1	Case 2
설치심도	2m	5m
지하수상태	없음	있음
열교환기	2×3.6m	

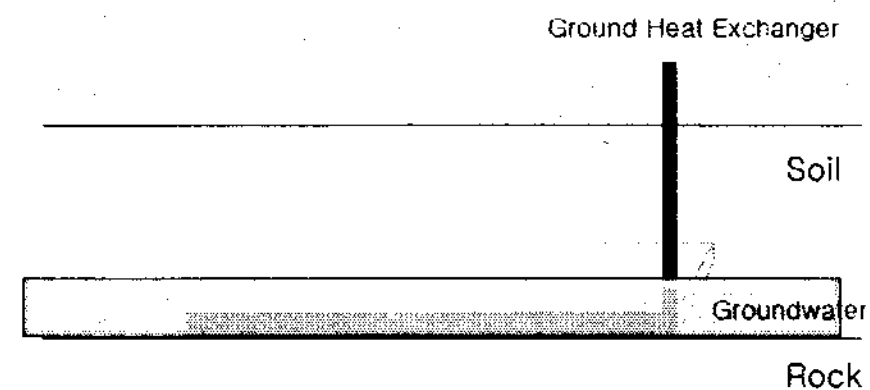


Fig.3 Concept of Mat type GHEX

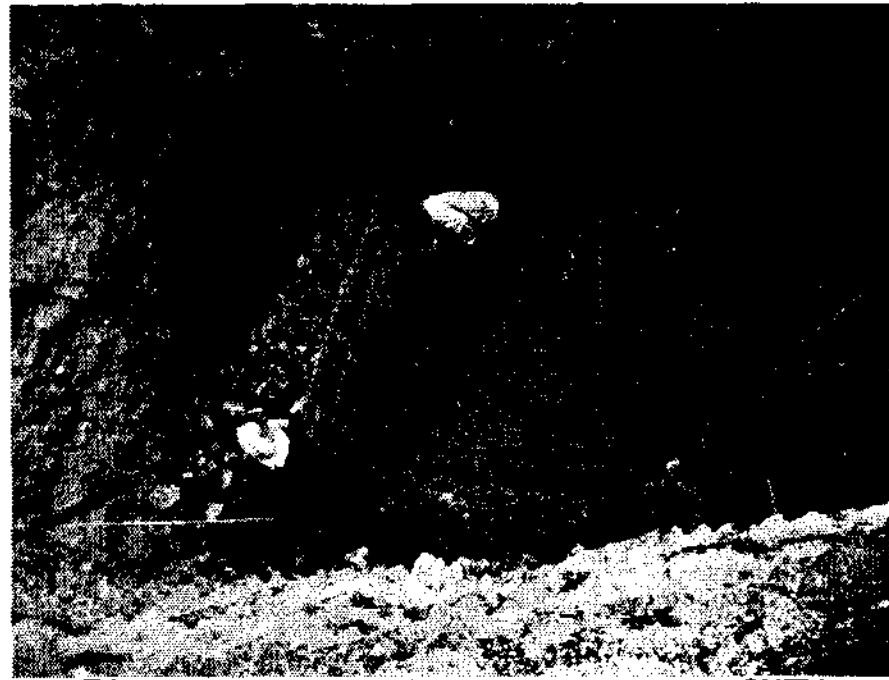


Fig.4 Installation of Mat type GHEX

### 3.2 지하수 영향 평가

지중열교환기의 설계에서 지반매질의 열전도만을 가정하고 있으나 실제로는 지하수의 존재여부와 유동 상태가 지중열교환기의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 이를 고려하기 위해 현장시험을 통해 지하수 영향평가를 실시하였다.

시험 내용은 부지 내 지반의 투수성 및 저류성을 파악하기 위해 주입시험과 양수시험을 실시하였다. 또한 과업지역내의 전반적인 지하수 유동체계를 위하여 국제적으로 공인된 MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988) 프로그램을 이용하여 지하수 유동 모델링을 수행하였다.

시험결과를 간략하게 요약하면 우선 과업지역 내의 주요 매질은 자갈에서 중립질 모래로 구성되어 있었으며, 수리전도도(K)는 주입시험결과  $3.54 \times 10^{-3} \sim 2.04 \times 10^{-1}$  cm/sec, 양수시험결과  $2.09 \times 10^{-1} \sim 3.00 \times 10^{-1}$  cm/sec 로 나타났다.

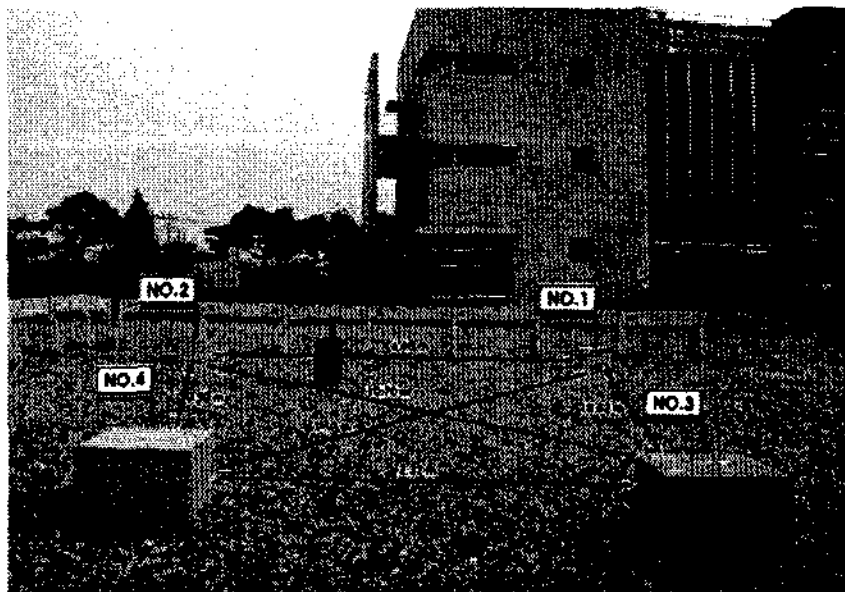


Fig.5 Site for groundwater test

이러한 실험결과를 확률분포를 통해 평균한 결과 값은 시험구간 내 대표 수리전도도(K)는  $1.52 \times 10^{-1}$  cm/sec, 저류계수(S)는  $1.77 \times 10^{-2}$  으로 산정되었다.

### 3.3 매트형 열교환성능 평가

설치된 매트형 지중열교환기에 앞서 소개한 시험 방법을 통해 열교환성능을 평가하였다. 시험은 약 40~50시간동안 3Kw의 전열을 가하고 이에 따른 순환

유체의 온도변화를 측정하여 평가하였다. 그 결과는 Fig. 6,7과 같다. 이러한 결과를 시간에 따른 로그 함수로 표현하면 선형열원이론상의 열전도율을 구할 수 있다.(Fig. 8,9)

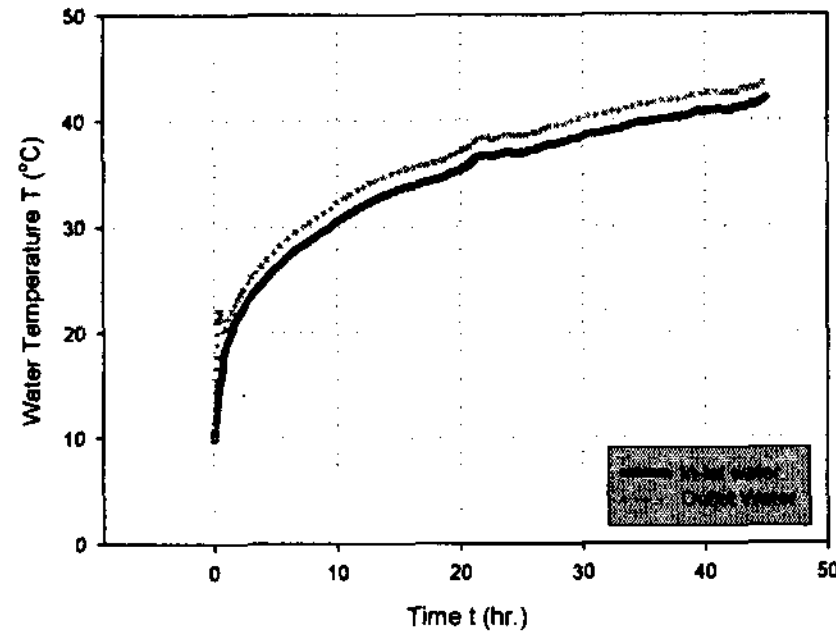


Fig.6 Temp. of the fluid of case 1

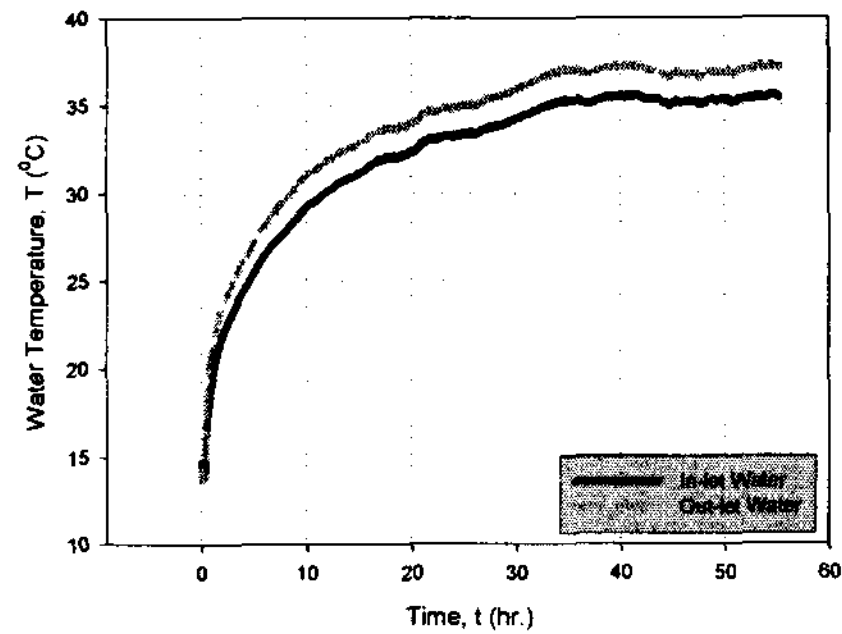


Fig.7 Temp. of the fluid of Case 2

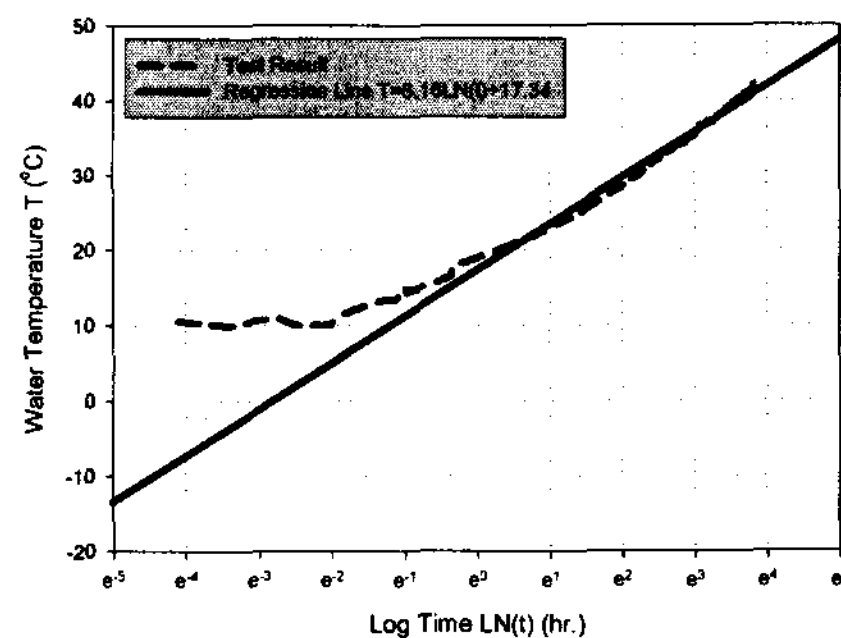


Fig.8 regression curve of Case 1

Fig. 6, 7을 비교하면 지하수가 있는 Case 2의 경우 3Kw의 동일한 전열을 가하여도 약 37°C로 안정화되고 있어 약 43°C이상으로 순환매체의 온도가 증가하는 Case 1과 비교할 때 열교환성능이 우수함을 알 수 있다.

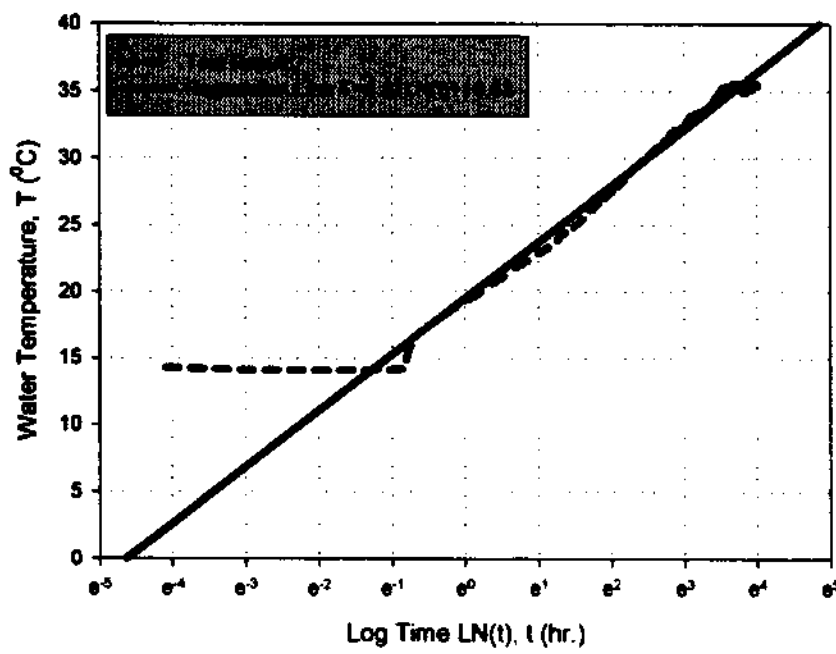


Fig.9 regression curve of Case 2

시험결과를 분석하면 각 위치별 지하수형 지중열교환기와 수직형 지중열교환기의 열전도율은 table 3과 같이 나타난다.

Table 3 Thermal conductivity of Mat types

종류	열전도율 (W/mK)	수직형 대비
Case 1	4.54	134%
Case 2	6.84	201%
수직형	3.40	100%

시험결과에서 매트형 지중열교환기는 수직형보다 높은 열교환성을 갖는 것을 알 수 있다. 이처럼 지중열교환기의 성능은 지반의 열물성 뿐만 아니라 열교환파이프나 그라우팅, 뒷채움재 등의 열물성과 형태에도 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한 같은 매트형 지중열교환기라 할지라도 Case 1에 비해 Case 2의 열교환성능이 66% 가량 향상되었으므로 지하수 유동이 있는 경우 대폭적인 성능향상이 가능함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

다양한 수평형 지중열교환기에 대하여 시험적용 및 현장실험을 통해 성능을 평가하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 3가지 종류에 수평형 지중열교환기를 설치하고 성능을 평가한 결과, 수직형 지중열교환기와 비교하면 각각 52%, 62%, 66%의 열교환성능을 나타내었다. U자형에 비해 Slinky형의 성능이 약 27% 높은 것으로 나타났으며 성능향상을 위해 설치시 뒷채움재의 다짐에 유의해야 할 것으로 판단된다.

2) 매트형 열교환기를 적용한 수평형지중열교환기를 개발하여 지하수가 있는 경우와 없는 경우에 대하여 현장실험을 통해 성능을 평가하였다. 그 결과를

수직형 지중열교환기와 비교하면 지하수가 없는 경우에는 약 134%, 지하수가 있는 경우에는 약 201%로 높게 나타났다. 앞서 살펴본 U자형 및 Slinky형 지중열교환기에 비해 성능이 우수하지만 매트형 열교환기는 세관으로 구성되어 지반에 설치할 때 손상될 우려가 크고 장기적인 성능의 확인이 필요하므로 향후에도 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

3) 이상과 같이 수평형 지중열교환기의 성능평가를 실시한 결과 부지가 큰 학교나 레저시설 등에서는 적용성이 높을 것으로 판단되며 특히 건축, 토목사업의 지반공사과정에 포함하여 적용할 경우 최소의 비용으로 높은 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 고성능저가형 수평형 지중열교환기의 개발가능성을 확인하였으며 향후 실용화를 위해 구조물하부에 설치할 경우의 성능특성과 설치기법에 대한 추가적인 연구와 평가를 수행할 예정이다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 산하 신재생에너지센터의 신재생에너지기술개발사업을 통해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] ASTM(1992), Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure, American Society for Testing and Materials, D5334-92.
- [2] Austin, Warren A. III(1998), Development of an In-Situ System for Measuring Ground Thermal Properties, Masters Thesis, Oklahoma State University, Stillwater Oklahoma.
- [4] EPRI, NRECA, IGSHA and Oklahoma State University(1994), Closed-Loop Geothermal Systems: Slinky Installation Guide, Oklahoma State University, Stillwater Oklahoma.
- [5] IGSHA and Oklahoma State University (2000), Closed-Loop/Ground- Source Heat Pump Systems: Design and Installation Standards 2000, Oklahoma State University, Stillwater Oklahoma.
- [6] Incropera, Frank P. and Dewitt, David P.(1996), Introduction to Heat Transfer, John Wiley & Sons.
- [7] Kavanaugh, Stephen P. and Rafferty, Kevin(1997), Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and institutional Buildings, ASHRAE.