

# 수직밀폐형 지중열교환기의 스페이스 적용 영향

우정선\*, 김민성\*\*, 이세균\*\*\*

\* 한국에너지기술연구원 책임연구원 \*\* 한국에너지기술연구원 선임연구원 \*\*\* 충북대학교 기계공학과 교수

## 1. 서론

지열원 열펌프시스템은 효율적인 냉난방 및 급탕 설비이나 기본 필수 구성요소인 지중열교환기 설치에 소요되는 비용에 기인하는 초기투자비가 많이 드는 단점이 있다.

지중열교환기의 용량은 보어홀의 전열저항에 따라 크게 변화하며, 보어홀 전열저항은 그라우팅 관련 요소들을 포함하여 지중열교환기의 구성에 따라 크게 차이가 난다. 본고에서는 보어홀 전열저항을 낮출 수 있는 여러 가지 요소기술 들 중에서 스페이스의 적용에 대하여 기술한다.

## 2. 본론

### 2.1 수직밀폐형 지중열교환기 설계인자

표 1은 지중열교환기 용량 변화에 영향을 미치는 설계인자들 중에서 지중열교환기 관련인자들의 영향을 나타낸 것으로서, 100 RT 정도의 건물에 지열원 열펌프시스템 적용을 가정하여 설계 인자값을 변화시켜 각 설계인자의 변화에 따른 지중열교환기 용량 변화의 일반적인 경향을 파악한 내용이다. 침두냉난방부하, 연간에너지부하 등 건물의 특성에 따라 각 인자의 영향이 변할 수 있으므로, 동표는 각 설계 인자의 일반적인 영향을 가늠하기 위한 목적으로만 참고 가능하다.

지중열전도도, 지중열교환기의 종류(2관식, 4관식 등), 지중열교환기 매설간격, U-튜브 간격, 되채움재의 열전도도와 보어홀과 지중열교환기의 종합영향으로 결정되는 보어홀 전열저항은 지중열교환기 용량 결정에 큰 영향을 주는 설계인자이며 체적열용량과 지열유량도 지중열교환기 용량 결정에 중요한 영향을 주는 설계인자로서 결정에 주의를 요한다.

지중특성과 관계되는 지중열전도도, 지중 암반의 체적열용량, 지열유량은 지중열교환기를 설치하는 현지의 특성으로서 인위적인 조절이 불가능하지만 기타 설계 인자는 설계와 시공 과정을 통하여 개선

<표 1> 수직밀폐형 지중열교환기 용량 결정의 설계인자, 영향

항 목	영향	비 고
지중 특성		인위적 개선 불가능
지중열전도도	대	정밀한 현지 지중열성능 측정, 분석
체적열용량	소	현지 지중의 암반 채취, 측정
지열유량	중	기존 데이터 이용
보어홀, 지중열교환기		인위적 개선 가능
지중열교환기의 종류	대	다관식 지향
지중열교환기 매설간격	대	충분한 간격 유지
U-튜브관 간격	대	스페이스 적용
되채움재의 열전도도	대	열전도도 항상 재료 적용
보어홀 전열저항	대	스페이스 적용, 정밀한 현지 지중열성능 측정, 분석 적용

이 가능한 인자들이다. 보어홀과 지중열교환기와 관련된 인자들의 성능은 2관식 혹은 4관식과 같은 U-튜브 형식의 선정과 함께 U-튜브를 보어홀 벽면에 가능한 밀착시키고 되채움재의 성능을 향상시키는 조치로서 항상 가능하다.

지중의 열환경은 지열원 열펌프시스템의 성능과 지중열교환기 성능에 영향을 주어 지중열교환기 용량 결정에 중요한 인자로 작용한다.

지중열교환기 설계 인자들 중에 지중 특성 인자인 지중열전도도와 체적열용량은 열특성 측정을 통하여 값을 정하며 지열유량은 기존의 데이터를 이용하여 선정한다. 지중열교환기의 종류, 매설간격 선정은 지열 이용시스템을 설치하는 현지의 특성을 고려하여 설계자의 의도에 따라 결정된다. U-튜브관의 간격과 되채움재의 열전도도는 설계자의 의도에 따라 결정되는 인자이지만 관련 기술의 보유와 함께 경험을 필요로 한다.

이와 같이 보어홀 전열저항은 관련 기술의 보유와 경험이 있어야 하며 현지에서의 열특성 측정을 통하여 결정이 가능하다.

## 2.2 스페이서의 효용성

### 2.2.1 U-튜브 설치 형상의 보어홀 전열저항

U-튜브가 보어홀 내부에서 설치되는 형상에 따라 보어홀 전열저항에 큰 차이를 보인다.

Paul과 Remund에 의한 보어홀 형상계수를 적용하는 계산은 다음과 같다.

$$R_g = \frac{1}{S_b k_g}$$

여기서,

$R_g$  ; 유효되채움열저항 (mK/W)

형상계수  $S_b$  는 다음과 같이 구한다

$$S_b = \beta_0 \left( \frac{D_b}{D_{p,o}} \right)^{\beta_1}$$

여기서,

$D_b$  ; 보어홀 직경 (m)

$D_{p,o}$  ; U-튜브관의 외경 (m)

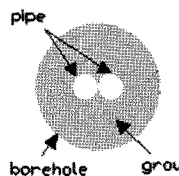


$\beta_0, \beta_1$  ; 보어홀 설치 형상에 따른 계수이며 다음의 표 2의 값을 적용한다.

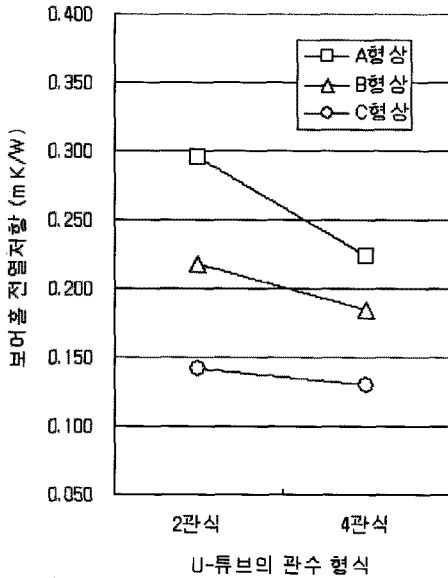
$k_g$  ; 되채움의 열전도도 (W/mK)

표 2의 그림은 각각 U튜브의 관이 서로 밀착되어 설치된 A형상과 서로 등간격으로 설치된 B형상 그리고 보어홀 벽면에 밀착되어 설치된 C형상을 나타내고 있다.

다음의 그림 1은 직경 150 mm 보어홀에 호칭경 25 mm HDPE파이프를 설치하는 경우에 대한 보

<표 2> 보어홀 U-튜브 설치 형상계수 상관식의 계수

U-튜브 설치 형상	$\beta_0$	$\beta_1$
 <p>A형상</p>	20.10	-0.9447
 <p>B형상</p>	17.44	-0.6052
 <p>C형상</p>	21.91	-0.3796



[그림 1] U-튜브 설치 형상에 따른 보어홀 전열저항 변화(예)

어홀 전열저항 변화의 예를 나타낸 것이다.

A형상으로 설치되는 각 경우가 C형상으로 설치되는 각 경우에 비하여 보어홀 전열저항이 크게는 50% 정도까지 작아지는 경향을 볼 수 있다. 2관식에 비하여 4관식이 보어홀 전열저항이 작아지는 경향을 볼 수 있다. 보어홀 벽면에 밀착되도록 설치되는 C형상의 경우가 보어홀 전열저항이 가장 작으며 지중열교환기 설치 용량도 크게 줄어들 수 있음을 추정할 수 있는 내용이다.

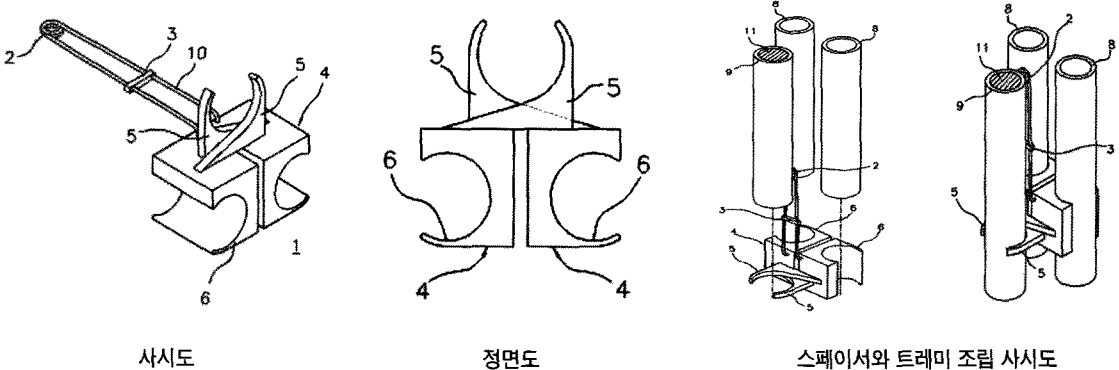
### 2.2.2 U-튜브 스페이서

C형상으로 U-튜브를 설치하기 위한 수단으로 스페이서가 적용된다. 스페이서는 구조가 간단하게 고안되지만 그 효과는 매우 클 수 있음을 그림 1을 통하여 추정할 수 있다.

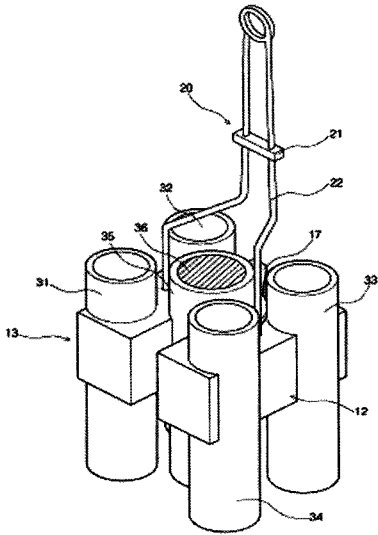
본고에서는 기술의 내용과 적용 방법의 설명을 쉽게 하기 위하여 그림 2와 같은 형식의 2관용 U-튜브 스페이서를 예로하여 기술한다. 동 형식은 외국에서 개발, 적용되고 있는 형식이다.

구조 및 그 사용방법은 다음과 같다.

그림 2의 2관용 U-튜브 스페이서는 용수철 다리(10)가 좁혀진 상태로 고정하기 위한 크립(3)으로 고정된 상태로서, 용수철(2)의 양쪽 끝에는 각각 루프후크(4)가 달려 있다. 두 개의 루프후크(4)에는 용수철(2) 굵기의 구멍이 있어서 구멍에 상기 용수철(2)의 다리의 꽃혀진 상태이며 용수철(2)의 축을 중심으로 전후 움직임이 가능하도록 되어 있다. 두 개의 루프후크(4)에는 각각 트레미를 잡아줄 수 있는 구조의 트레미 크립(5)과 루프를 잡아줄 수 있는 구조의 루프 크립(6)으로 구성 되어 있다. 크립(3)으로 고정된 상태의 2관용 U-튜브 스페이서의 각각의 루프후크(4)에 있는 루프 크립(6)의 열려진 부분으로 열유체 유입용 루프(7)와 열유체 유출용 루프(8)를 측면에서 힘을 주어 눌러서 삽입 체결시킨다. 두 개의 용수철 다리(10) 간격이 좁혀지도록 누른 후 트레미(9)를 양



[그림 2] 2관용 U-튜브 스페이서(예)



[그림 3] 4관용 U-튜브 스페이서

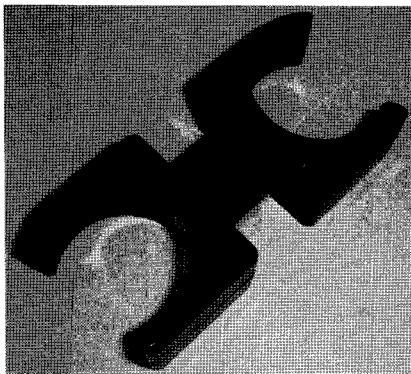
측의 루프후크(4) 사이에 있는 트레미 크립(5) 내측에 위치하도록 눌러서 삽입 체결시킨 후 용수철 크립(3)을 빼면 트레미 크립(5)이 트레미(9)를 물고 고정된 상태가 된다. 루프 길이를 따라 간격을 두며 2관용 U-벤드 파이프 스페이서(1)를 필요한 수량만큼을 같은 방법으로 체결시킨다. 열유체 유입용 루프(7), 그리고 열유체 유출용 루프(8) 그리고 트레미(9)에 2관용 U-튜브 스페이서

가 여러개 체결된 상태로 보어홀로 삽입시킨다. 보어홀에 삽입된 상태에서 트레미(9) 내부로 그라우팅 재료(11)를 압송하여 보어홀을 그라우팅 재료(11)로 충전시키면서 트레미(9)를 서서히 잡아당기며 뺀다. 트레미(9)가 루프후크(4)의 트레미 크립(5) 부분을 벗어나게 되면 용수철 다리(10)가 용수철 힘에 의해서 벌어지게 되며 열유체 유입용 루프(7)와 열유체 유출용 루프(8)가 보어홀의 양측 내표면으로 밀착되어 루프 간격을 크게 한다.

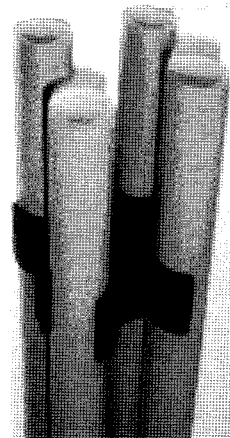
기술의 내용과 적용 방법의 설명을 쉽게 하기 위하여 외국에서 개발, 적용되고 있는 형식을 예로하여 설명하였으나, 국내에도 여러 가지 형식이 개발되고 있다.

그림 3은 국내에서 개발된 4관용 U-튜브 스페이서를 보여준다. 그림 1에서 보듯이 4관식에 보어홀 벽면에 밀착이 가능한 U-튜브 스페이서를 적용한다면 보어홀 전열저항을 크게 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

그림 4는 고정식 U-튜브 스페이서의 2관용과 4관용의 예를 보여준다. 고정식은 그림 2나 그림 3에서와 같은 스프링이 없는 관계로 보어홀 벽면에 밀착되도록 설치할 수 없고, 표 2의 B형상 혹은 그 이상의 파이프 간격을 유지하게 할 수 있을 것



2관용 U-튜브 스페이서(고정식)



4관용 U-튜브 스페이서(고정식)

[그림 4] 고정식 U-튜브 스페이서

으로 사료된다.

그림 2, 그림 3과 같은 스프링을 적용하는 형식과 그림 4와 같이 스프링이 없는 고정식은 각각 장단점이 있다. 스프링식은 U-튜브를 보어홀 벽면에 밀착시킬 수 있는 관계로 지중열교환기 성능을 크게 향상시킬 수 있는 장점이 있으나 U-튜브를 보어홀에 삽입시키는 공정에서 스페이서가 U-튜브에서 이탈될 수 있고, 따라서 시공에 어려움이 따르는 단점이 있다. 고정식은 U-튜브를 보어홀 벽면에 밀착시킬 수는 없는 단점이 있으나 보어홀 내에서 U-튜브가 서로 밀착되는 A형상으로 설치되는 현상을 줄일 수 있도록 개선되므로 지중열교환기 성능을 일정수준 유지시킬 수 있다.

스페이서를 적용하여 시공을 하는 경우, 보어홀에 그라우팅작업을 완료한 후에 충전된 그라우트 재료가 침하하면 보충 충전에 어려움이 크므로 한번에 그라우팅작업을 마칠 수 있도록 혼합비율 선정, 작업 등에 특히 주의가 필요하다.

U-튜브 스페이서를 적용함으로써 어느정도 시공비를 절감할 수 있는지에 대한 국내 자료는 아직 부족하나 2관식의 경우 미국의 유관사에서는 스페이서를 적용함으로써 시공비의 24% 정도를 줄일 수 있다고 기술하고 있다.

### 3. 결론

지중열교환기 설치에 소요되는 비용에 기인하는 초기투자비가 많이 드는 단점을 해결하는 것이 지열원 열펌프시스템의 보급 활성화를 위한 최선의 방향으로 판단된다.

초기투자비가 많이 드는 단점을 해결하는 유효한 방법 중의 한가지인 스페이서 적용에 대하여 기술하였다.

U-튜브 스페이서를 설치하므로써 보어홀 전열저항을 개선할 수 있고 결과로서 지중열교환기 시공 길이를 크게 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

지중열교환기 시공에 U-튜브 스페이서 적용이 시공상의 번거로움이 예상되는 원인으로 적용을 기피할 수도 있으리라 사료되나, 적용 경험과 시공상의 노하우가 쌓일수록 그 유효성, 유용성에 대한 평가는 커질 것으로 판단된다.

국내에 지열원 열펌프시스템 보급은 성장기의 시작단계이므로 이체는 지중열교환기를 비롯한 시스템 성능의 개선과 시공비의 절감 등에 대한 노력이 필요한 것으로 사료된다.

### 4. 참고문헌

1. 이세균, 우정선, 노정근, 김대기, "1차원 수치 모델과 현지측정에 의한 지중열전도율 및 보어홀 전열저항 해석에 관한 연구", 대한설비공학회 논문집 제18권 제10호, 2006, pp783-790.
2. 우정선, 이세균, "4관용 U-밴드 파이프 스페이서", 실용신안등록 제 2004367호, 2007.
3. 우정선, 김민성, 최종민 외, "주택용 소형 소용량 지열원 열펌프시스템의 신뢰성 향상방안 연구", 지식경제부, 2010.
4. Paul, N. D. and C. P. Remund, The Effect of Grout Thermal Conductivity on Vertical Geothermal Heat Exchanger Design and Performance, Final Report No. TR-108529, 1997, Electric Power Research Institute.
5. "Grouting for Vertical Geothermal Heat Pump Systems, Engineering Design and Field procedure manual", pp. 2-9 ~ 2-19.
6. <http://www.geoclip.com/>