



외국의 소형·소용량 지중열교환기 용량 선정

우정선 *, 김민성 **, 최종민 ***, 이세균 ****

* 한국에너지기술연구원 책임연구원, ** 한국에너지기술연구원 선임연구원

*** 국립한밭대학교 기계공학과 교수, **** 충북대학교 기계공학과 교수

1. 서론

정부에서 저탄소 녹색성장 전략에 따라 그린홈 100만호 사업 등 신재생에너지의 주택보급을 적극 추진하기 위한 일환으로 2009년 5월 1일부터 지열냉난방설비에 대하여 일반용 요금을 적용하기로 한 이래 주택용으로 지열시스템 보급이 증가하고 있다.

지열을 이용하는 열펌프시스템이 에너지효율적이며 환경친화적인 시스템으로서 효율성이 높지만 해결해야만 할 당면하고 있는 여러 가지 문제점이 있는데, 기존의 시스템에 비교하여 초기투자비가 많이 소요된다는 것과 시스템 설계에 필수적인 현지 지중의 열물성 확인을 위한 현지 시험 및 분석에 많은 시간과 비용이 소요된다는 것 등이다. 특히 설비의 규모가 작은 소형·소용량의 지열을 이용하는 열펌프 시스템 적용 시에는 이와 같은 문제점들의 강도가 더 크게 작용하는 것이 사실이다.

우리나라에 비교하여 크게 앞서 지열원 열펌프 시스템 보급이 시작된 외국(미국, 캐나다)에서의 소형·소용량 지중열교환기 용량 선정에 관련된 내용을 기술한다.

2. 본론

2.1 수직 밀폐형 지중열교환기

외국(미국의 ASHRAE, 캐나다의 C448)에서의 용량이 작은 수직 밀폐형 지중열교환기 설계, 선정에 관련된 내용은 다음과 같다.

미국의 ASHRAE에서는 21 kW (약 6 USRT) 이하의 용량을 갖는 소용량 수직 밀폐형 지중열교환기에 대하여 표 1과 같이 용량을 선정할 수 있는 권장용량을 제시하고 있다. 용량을 선정할 때 필요로 하는 인자는 설치하고자 하는 U-튜브의 호칭경(mm), 지중 토양의 온도(°C), 지중 토양의 열전도도(W/mK) 그리고 그라우팅재의 열전도도(W/mK)의 4가지 인자이다. 보어홀이 설치되는 지역의 지중 토양의 온도(°C)를 검토한 후 설치하고자 하는 U-튜브의 호칭경(mm)에 따라 단위 용량당 지중열교환기 깊이를 선정하고, 토양의 열전도도(W/mK)를 확인하여 factor를 적용하며, 그라우팅하고자 계획하는 그라우팅재의 열전도도(W/mK)를 감안하여 factor를 적용한다. 표 1은 ASHRAE의 주택용 소형 수직밀폐형 지중열교환기 권장 용량을 나타내며, 그림 1은 표 1의 토양의 온도 범위 13 ~ 15°C에 해당하는 kW당 용량을 도시화한 것이다.

설계조건을 가정하고 지중열교환기를 선정해보면,

설계조건 ;

- 열펌프시스템 용량 ; 14 kW
- 설치 위치 ; Tennessee주 Nashville
- 계획 ; 115 mm 보어홀, 천공 깊이 53 m
- 토양의 종류 ; light limestone, clay
- 주택으로부터 23 m 거리 위치에 보어홀 천공
- 그라우팅재의 열전도도 ; 1.5 W/mK

지중열교환기 선정 ;

- Tennessee주 Nashville의 토양의 온도 ; 14.5 °C
- 표 1로부터, U-튜브가 19 mm이면 15 m/kW, 25 mm 이면 14 m/kW, 32 mm이면 13 m/kW. 그런데 115 mm 보어홀에 32 mm U-튜브를 삽입하기는 어려우므로 제외
- 따라서, 19 mm이면 210 m (15 m/kW×14 kW), 25 mm 이면 196 m (14 m/kW×14 kW)
- 토양의 열전도도 k값이 2.1 W/mK 보다 작거나 크면 factor를 적용해야하나, 표 1의 값은 k=2.1 W/mK인 경우의 값이며, light limestone과 clay의 평균값 정도에 해당하므로 그대로 선택

로 그대로 선택

(참고 ; limestone ; 2.4 ~ 3.8 W/mK, (heavy and light) clay, 5 % water ; 0.5~1.4 W/ mK 이며 평균값은 2.0 W/mK 내외)

- 그라우팅재의 열전도도 k값이 1.5 W/mK 보다 작거나 크면 factor를 적용해야하나, 열전도도가 1.5 W/mK인 그라우팅재를 사용하므로 그대로 선택
- 196 m ÷ 53 m/보어홀 = 3.7 개
- 53 m보어홀 4개로 결정

이와 같은 ASHRAE의 권장 방법을 우리나라에 적용한다고 가정할 때 예상되는 문제점은 다음과 같다.

- 지열원 열펌프시스템을 설치하고자 하는 지역의 적용 가능한 평균토양온도(°C)에 관한 데이터가 필요하며, 천공하는 보어홀을 대상으로 현지에서 측정, 분석을 해야만 한다.
- 지열원 열펌프시스템을 설치하고자 하는 지역의 토양의 열전도도(W/mK)에 관한 데이터가 필요하며, 토양 샘플을 채집하여 실험실에서의 분석, 평가가 필요하다.
- 그라우팅재의 열전도도를 1.5 W/mK를 기준

<표 1> ASHRAE의 주택용 소형 수직밀폐형 지중열교환기 권장 용량

단위 : (m/kW)

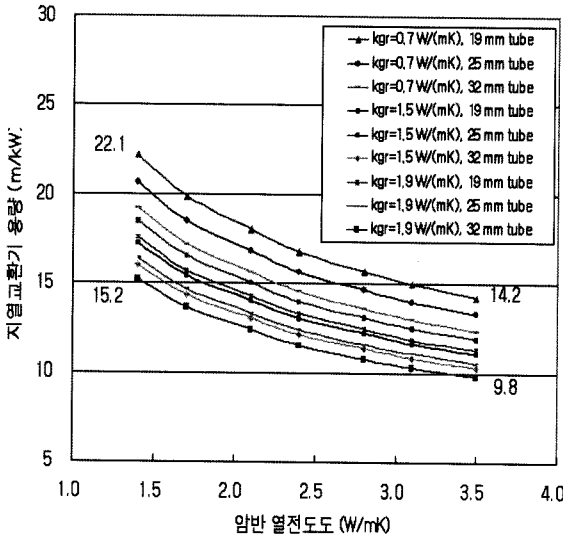
U-튜브 호칭경 (mm)	토양 온도 (°C)						
	7~8	8~11	11~13	13~15	15~17	17~19	19~21
19	16	15	14	15	16	17	20
25	15	14	13	14	15	16	19
32	14	13	12.5	13	14	15	17

원전 : Kavanaugh and Calvert(1995)

토양의 열전도도 k=2.1 W/mK를 기준값으로 하며, 토양의 열전도도가 다른 경우는 다음의 값을 factor로 적용함

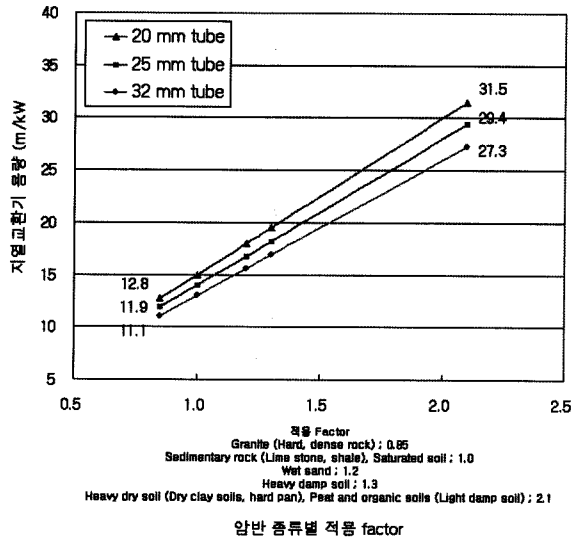
토양의 열전도도 (W/mK)						
1.4	1.7	2.1	2.4	2.8	3.1	3.5
1.23	1.10	1.00	0.93	0.87	0.83	0.79

그라우팅재의 열전도도 kannular = 1.5 W/mK를 기준값으로 하며, kannular = 0.7 W/mK이면 1.2, kannular = 1.9 W/mK이면 0.95를 factor로 함



[그림 1] ASHRAE의 소형 수직 밀폐형 지중열교환기 권장 용량 (지중온도 13~15 °C 기준)

으로 하고 있으나, 국내에서 시공하는 그라우팅재의 열전도도는 0.6 ~ 0.7 W/mK 범위 정도이므로 표 1값의 1.2배 정도로 추정된다 (그림 1 참조).



[그림 2] 캐나다 C448의 소형 수직밀폐형 지중열교환기 설계과정의 참조용 최소 용량

캐나다의 C448에서는 (주택용) 소용량 수직 밀폐형 지중열교환기에 대하여 표 2와 같이 용량을 선정하는 데에 참고하기 위한 목적의 냉방을 기준으로 하는 최소용량을 제시하고 있다. 참고용 최소용량을 검토할 때 필요로 하는 인자는 설치

<표 1> 캐나다 C448의 소형 수직 밀폐형 지중열교환기 설계과정의 참고 최소용량

단위 : (m/kW)

U-튜브 호칭경 (m)	보어홀 깊이
20	15
25	14
32	13

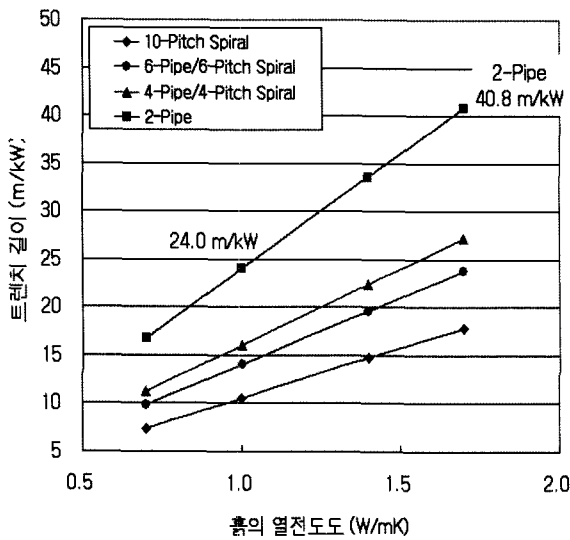
토양의 종류에 따른 적용 factor

토양의 종류	적용 factor	비고
Granite	0.85	Hard, dense rock
Sedimentary rock	1.00	Limestone, shale
Saturated soil	1.00	Water-bearing soil
Wet sand	1.20	Water-bearing sand
Heavy damp soil	1.30	Heavy, moist clay soils
Heavy dry soil	2.10	Dry clay soils, hard pan
Light damp soil	2.10	Peat and organic soils

보어홀간의 간격은 최소 3 m임

하고자 하는 U-튜브의 호칭경(mm), 지중 토양의 열전도도(W/mK)의 2가지 인자이다. 설치하고자 하는 U-튜브의 호칭경(mm)에 따라 단위용량당 지중열 교환기 깊이를 선정하고, 토양의 열전도도(W/mK)를 확인하여 factor를 적용한다. 그림 2는 표 2의 토양 종류에 따른 kW당 용량을 도시화한 것이다.

설계과정의 검토조건을 가정하고 지중열교환기



[그림 3] ASHRAE의 소형 수평형 지중열교환기 권장 용량 (지중온도 13~15 °C 기준)

를 선정해보면,

검토조건 ;

- 열펌프시스템 냉방용량 ; 12.6 kW
- 계획 ; U-튜브 호칭경 20 mm
- 토양의 종류 ; clay

지중열교환기 용량 검토 ;

- 최소 보어홀 깊이 ; $15 \text{ m} \times 12.6 \text{ kW} = 189 \text{ m}$
- 표 2에서 지중의 토양이 clay이므로 factor 1.3을 적용하면 $189 \text{ m} \times 1.3 = 246 \text{ m}$
- 계획하고 있는 열펌프시스템 용량 12.6 kW에 적용할 수직 밀폐형 지중열교환기의 최소 용량은 246 m이며, 설계 결과는 적어도 246 m 이상이어야만 한다.

2.2 수평형 지중열교환기

외국(미국의 ASHRAE, 캐나다의 C448)에서의 용량이 작은 수평형 지중열교환기 설계, 선정에 관한 내용은 다음과 같다.

미국의 ASHRAE에서는 21 kW (약 6 USRT) 이하의 용량을 갖는 소용량 수평형 지중열교환기에 대하여 표 3과 같이 용량을 선정할 수 있는 권

<표 3> ASHRAE의 주택용 소형 수평형 지중열교환기 권장

단위 : (m/kW)

파이프 수/ 트렌치	토양 온도 (°C)						
	7~8	8~11	11~13	13~15	15~17	17~19	19~21
10-Pitch Spiral	11	10.5	10	10.5	11	13	16
6-Pipe/6-Pitch Spiral	16	14	13	14	16	17	20
4-Pipe/4-Pitch Spiral	17	16	15	16	17	19	23
2-Pipe	26	24	22	24	26	30	35

원전 ; Kavanaugh and Calvert(1995)

토양의 열전도도 $k=2.1 \text{ W/mK}$ 를 기준값으로 하며, 토양의 열전도도가 다른 경우는 다음의 값을 factor로 적용함

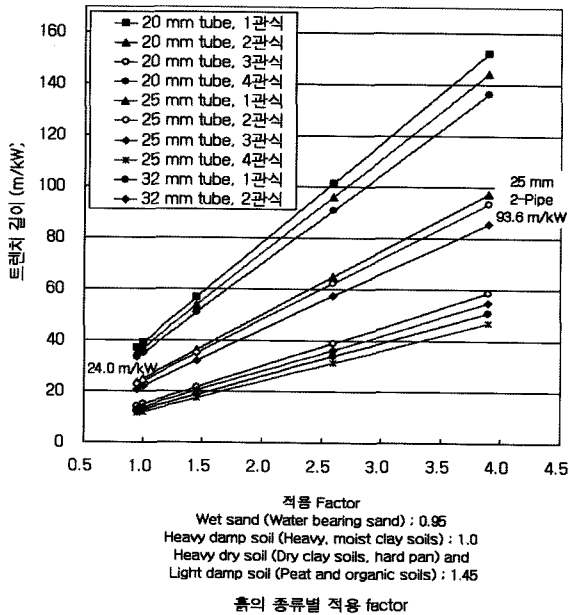
토양의 열전도도 (W/mK)			
0.7	1.0	1.4	1.7
1.22	1.0	0.89	0.82

<표 4> 캐나다 C448의 소형 수평형 지중열교환기 설계과정의 참고 최소용량

파이프 호칭경	파이프 수 / 트렌치	트렌치 길이 (m/kW)
20 mm	1	39
	2	25
	3	15
	4	13
25 mm	1	37
	2	24
	3	14
	4	12
32 mm	1	35
	2	22

토양의 종류에 따른 적용 factor

도양의 종류	적용 factor	비고
Wet sand	0.95	Water bearing sand
Heavy damp soil	1.00	Heavy, moist clay soils
Heavy dry soil, Light damp soil	1.45	Dry clay soils, hard pan, Peat and organic soils
Light dry soil	2.6	
Dry sand	3.90	



[그림 4] 캐나다 C448의 주택용 수평형 지중열교환기 설계과정의 참고용 최소용량

장용량을 제시하고 있다. 용량을 선정할 때 필요로 하는 인자는 설치하고자 하는 수평형 지중열교환기의 파이프 수/트렌치, 지중 토양의 온도(°C), 지중 토양의 열전도도(W/mK)의 3가지 인자이다. 수평형 지중열교환기가 설치되는 지역의 지중 토양의 온도(°C)를 확인한 후 설치하고자 하는 파이프 형식에 따라 단위 용량당 지중열교환기 깊이를 선정하고, 토양의 열전도도(W/mK)를 확인하여 factor를 적용한다. 그림 3은 표 3의 토양의 온도 범위 13 ~ 15°C에 해당하는 kW당 용량을 도시화한 것이다.

캐나다의 C448에서는 (주택용) 소용량 수평형 지중열교환기에 대하여 표 4와 같이 용량을 선정하는 데에 참고하기 위한 목적의 냉방을 기준으로 하는 최소용량을 제시하고 있다. 참고용 최소용량을 검토할 때 필요로 하는 인자는 설치하고자 하는 평형 지중열교환기의 파이프 수/트렌치,

지중 토양의 열전도도(W/mK)의 2가지 인자이다. 설치하고자 하는 수평형 지중열교환기의 파이프 수/트렌치에 따라 단위 용량당 지중열교환기 깊이를 선정하고, 토양의 열전도도(W/mK)를 확인하여 factor를 적용한다. 그림 4는 표 4의 토양 종류에 따른 kW당 용량을 도시화한 것이다.

3. 외국의 소형·소용량 지중열교환기 선정 방향의 고찰

외국(미국의 ASHRAE, 캐나다의 C448)에서의 용량이 작은 수직 밀폐형 지중열교환기와 수평형 지중열교환기 선정에 관한 내용을 검토한 결과의 고찰은 다음과 같다.

미국 ASHRAE에서는 주택용으로 앞에 기술한 내용을 권장하는 반면 캐나다 C448에서는 설계 과정의 검토용으로서 최소용량 참고값이며 반드시 경험이 있는 설계자가 설계용 프로그램을 이용하여 계산, 설계를 하도록 권장하고 있다.

소형·소용량 지열원 열펌프시스템용 지중열교환기 설계는 모든 절차를 대용량 지열원 열펌프 시스템 설계 단계와 동일하게 하는 것이 최선의 방법임에는 틀림이 없다.

그러나 우리나라의 경우,

- 기존 형식의 주택용 소형·소용량 열원시스템 설계에서도 침투 냉난방부하계산을 정밀하게 하여 선정할 예가 극히 드물며
- 기존의 열원시스템 설계에서는 대체적으로 불필요하였던 에너지부하계산의 수행을 정밀하게 하도록 하는 것은 현실적으로 어려움이 있으며
- 지열원 열펌프시스템 설계에 필수 절차인 현지 지중의 유효지중열전도도를 측정하고 분석하는 것이 당연하지만 소요되는 기간과 비

용 등을 감안하면 현실적으로 측정, 분석을 기대하기는 어려움이 있으며

- 소형·소용량의 설계가 가능한 인력, 장비 등을 보유하고 있는 사업체의 경우, 상대적으로 소용량인 시스템은 공사비가 작아서 설계, 시공을 회피하는 것 등이 현실이라 사료된다.

이와 같은 제반 현실을 감안하고 또한 현재 시행하고 있는 제도를 보완할 수 있는 방향의 제시가 필요하다고 사료된다.

본고는 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원으로 수행된 연구(2008년도 2005-N-GE02-P-03, 2010년도 2008-N-GE04-P010000) 내용의 일부이며, 이에 감사드립니다.

4. 참고문헌

1. 우정선, 최종민, 김민성 외, “주택용 소형 소용량 지열원 열펌프시스템의 신뢰성 향상방안 연구”, 지식경제부, 2010.
2. 우정선, 이세균, 김대기, 노정근, 문종철 외, “현지 지중열전도도 측정 기술”, 지식경제부, 2008.
3. ASHRAE Handbook HVAC Applications, Chapter 32 Geothermal Energy, 2007
4. Canadian GeoExchange Coalition, Residential Designer's Manual for GeoExchange Systems, 2008. 10.
5. CSA Standard C448.2-02 (Design and Installation of Earth Energy Systems for Residential and other Small Buildings) 