

지온변화에 따른 수평형 지열 히트펌프의 난방 성능 해석

Analysis of Heating Performance of Horizontal Type Geothermal Heat Pump System for Variation of Soil Temperature

강연구	김영중	유영선	강금춘	백이
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
Y. K. Kang	Y. J. Kim	Y. S. Ryu	G. C. Kang	Y. Paek

1. 서론

지열은 농업분야에서 실용화가 가장 유망한 자원으로 평가되고 있다. 지열은 그 자체로서도 농업에 이용이 가능하지만, 히트펌프와 연계하여 사용하면 즉 난방시에는 히트소스로서 냉방시에는 히트싱크로서 지열을 이용하면 열의 증폭면에서 유리하다. 그러므로 지열히트펌프 시스템은 대부분의 나라에서 적용이 가능한 냉난방 시스템으로 주목받고 있으며, 태양열, 풍력 등 다른 에너지에 비해 초기투자비가 적게 들고 소규모 이용이 가능하다. 또한 지중에 매설되는 열교환시스템의 수명은 40~50년 정도로서 반영구적이며 계절에 따라 지열의 열용량이 크게 변하지 않으므로 지속적인 이용이 가능한 에너지이며 농업시설에는 지열 열교환시스템을 매설할 공간이 충분하다는 장점이 있다.

지열히트펌프시스템을 지열 열교환시스템의 매설방식에 따라 분류하면 지열 열교환파이프를 수직으로 지하공(bore hole)에 삽입하는 수직형과 수평의 호에 매립하는 수평형으로 나눌 수 있으며 채열면에서는 수평형이 수직형에 비해 다소 떨어지나 굴착의 용이성, 굴착비용면에서는 수평형이 유리하다.

그러므로 본 연구에서는 농업시설에 적합한 지열 히트펌프 시스템 개발과 수평형 지열히트펌프 시스템의 성능평가 기술 확립을 목적으로 수평형 지열 히트펌프 시스템의 소비전력, 지온변화에 따른 난방성능계수, 지온 변화추이 등의 난방 성능을 해석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

그림 1에서 보는 바와 같이 실험장치는 지열을 채열하는 지열 열교환기, 열을 증폭하는 히트펌프, 히트펌프에서 증폭한 열을 방출하는 팬코일 유니트로 구성되었으며 6m×40m의 아치형 단동 온실에 설치하였다. 지열 열교환기는 slinky type으로 총 5열을 온실의 지하부에 120cm 깊이로 매설하였으며 열간섭 배제 거리(50cm)를 고려하여 열간 간격은 80cm로 하였다. 또한 표 2는 실험장치의 사양을 나타낸다.

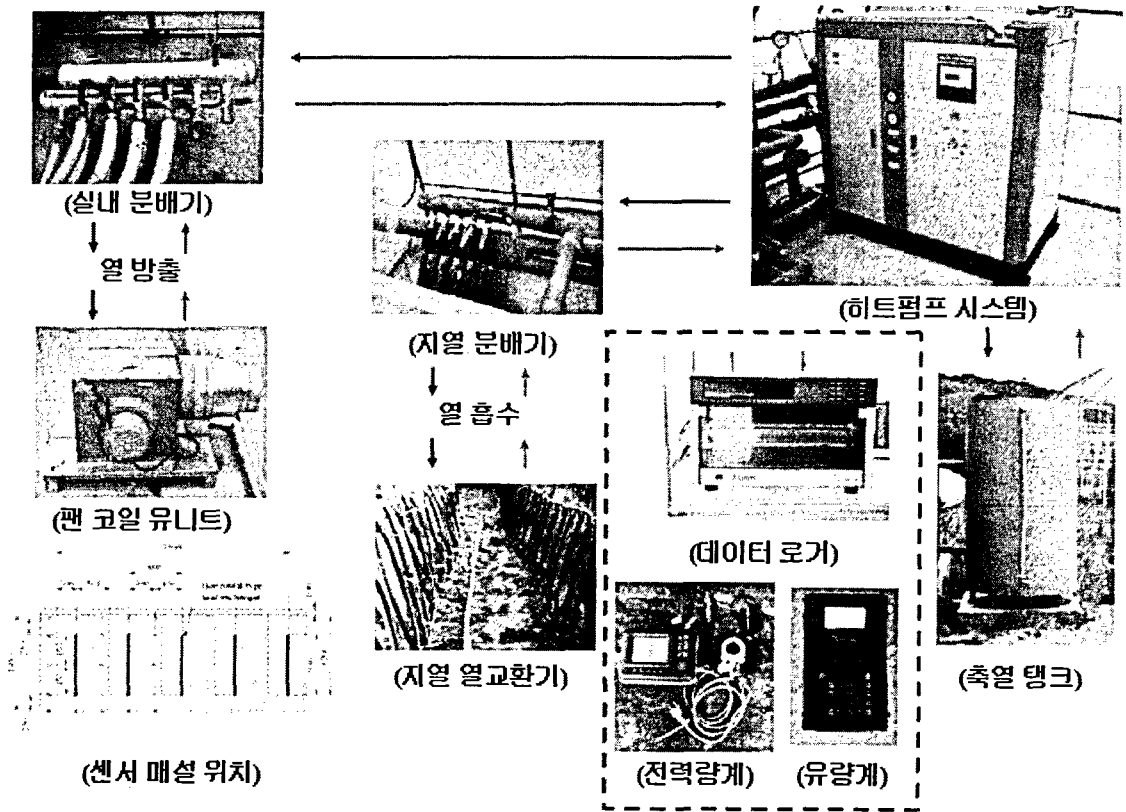


그림 1. 실험 장치의 개략도

표 2 실험장치의 사양

구성 장치		사양	
지열 열교환기	형태	slinky	
	재료	HDPE (high density PE)	
	파이프 직경 (mm)	외경 27, 내경 21	
	파이프 길이 (m)	1,250	
	감김 직경 (mm)	900	
히트펌프	압축기	형태	고온용 스크롤식
		용량(PS)	10
	응축기/증발기 사용냉매	사용전압	380V, 3상
			판형 열교환기 R ₂₂

나. 실험 방법

수평형 지열 히트펌프 시스템의 난방 성능을 분석하기 위하여 지열분배기, 실내분배기의 입출구에 K type 열전대를 설치하여 온도를 측정하고 데이터로거(DR230, Yokogawa, Japan)를 통해 수집하였다. 유량은 초음파유량계(PT868, Panametrics, Norway)로, 소비전력

은 전력계(Hioki3166, Hioki, Japan)로 측정하여 열량 및 성능계수(COPh)를 구하였다. 지중 온도변화는 그림 1에 나타낸 것과 같은 위치에 PT100Ω flat type 열전대를 설치 데이터로 거를 통해 수집하였으며 히트펌프 시스템은 지열의 회복시간을 주기위하여 주간에 가동하고 야간에는 정지하는 단속운전을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 응축기 출구온도에 따른 소모전력 및 고압

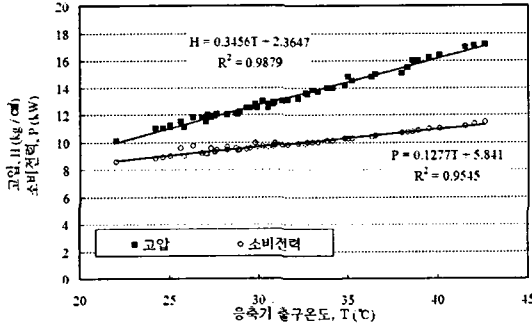


그림 2. 응축기 출구온도에 따른 소비전력 및 고압 변화

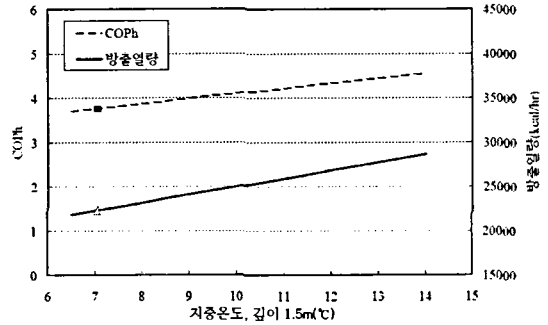


그림 3. 지중온도(깊이 1.5m) 변화에 따른 난방성능계수 및 방출열량

그림 2는 응축기 출구온도에 따른 소비전력 및 고압 변화를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 소비전력과 고압은 응축기 출구온도에 대하여 1차 함수적으로 변화하며 응축기 출구온도 23℃일 때 소비전력은 8.8kW 43℃일 때 11.3kW이었고 같은 온도에 대하여 고압은 10.3kg/cm²에서 17.2kg/cm²로 변화하였다.

응축기 출구온도의 증가는 냉매온도의 증가, 냉매온도의 증가는 압축기 소요동력의 증가, 압축기 소요동력 증가는 소비전력의 증가하는 유기적 양상을 보이게 되므로 응축기 출구온도의 증가하면 소비전력과 고압의 증가하기 때문에 위와 같은 결과가 나타난 것으로 생각된다.

나. 지온변화에 따른 성능계수 및 방출열량(난방열량)

지중온도(깊이 1.5m) 변화에 따른 난방성능계수 및 방출열량(난방열량)은 그림 3과 같이 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 난방성능계수는 지중온도 7℃에서 3.75 수준이었으며 지온이 상승함에 따라 상승하여 14℃에서 4.57 수준이었다. 또한 방출열량은 지중온도 7℃에서 22,300kcal/hr이었고 지온이 상승함에 따라 상승하여 14℃에서 28,640kcal/hr이었다.

다. 단속운전시 지온변화

단속운전시 파이프가 매립된 곳의 깊이별 지온변화는 그림 3과 같다. 지중 80cm를 중심으로 보았을 때 125cm와 150cm는 각각 35cm, 10cm와 대칭이 되며 같은 양상의 온도변화를 보여야 한다. 그러나 125cm와 35cm는 거의 같은 양상의 온도를 변화를 보임에도 불구하고 150cm와 10cm는 전혀 다른 양상의 온도변화를 보이고 있다. 이는 일사와 외기온에 기인

한 것으로 생각되며 150cm와 10cm의 온도차는 히트펌프 정지 직후를 기준으로 할 때 최대 2.5°C이었다. 또한 150cm 깊이에서 히트펌프 정지 전후 1시간을 기준으로 할 때 온도전파속도는 정지전은 -0.17°C/hr 정지후는 0.11°C/hr로 나타났다.

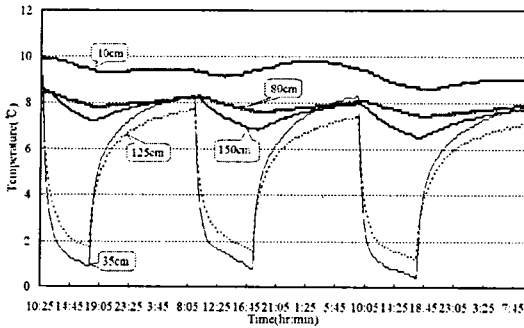


그림 4. 단속운전시 깊이별 지온변화

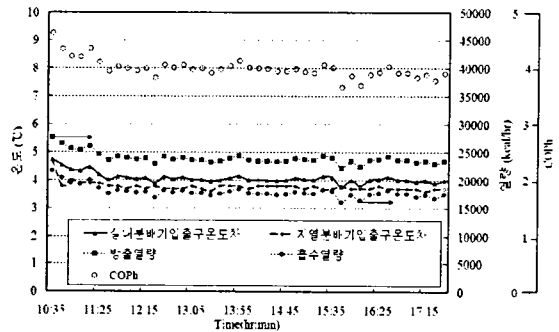


그림 5. 히트펌프 운전시 온도, 열량, 성능계수의 1일 변화

라. 일변화

그림 5는 히트펌프 운전시 실내, 지열 분배기입출구 온도차와 이에 따른 열량 및 난방성능계수의 1일 변화를 나타낸다. 실내, 지열 분배기 입출구의 평균 온도차는 각각 4.1°C, 3.8°C였다. 또한 이에 따른 방출열량은 평균 23,890kcal/hr 흡수열량은 평균 17,900kcal/hr이었으며 지열 열교환기의 파이프 1m당 흡수열량은 14.32kcal/hr·m (0.017kW/m)이었다.

4. 요약 및 결론

응축기 출구온도가 23°C에서 43°C로 변할 때 소비전력은 8.8kW에서 11.3kW 고압은 10.3kg/cm²에서 17.2kg/cm²로 나타났다. 난방 성능계수는 지중온도 7°C에서 3.75 방출열량은 22,300kcal/hr수준이었다. 150cm 깊이에서 히트펌프 정지 전후 1시간을 기준으로 할 때 온도전파속도는 정지전 -0.17°C/hr 정지후 0.11°C/hr로 나타났다. 1일 평균 방출열량은 23,890kcal/hr 평균 흡수열량은 17,900kcal/hr이었으며 지열 열교환기의 파이프 1m당 흡수열량은 14.32kcal/hr·m (0.017kW/m)이었다.

5. 참고문헌

1. 송현갑 외 12인. 2002. 열에너지공학. 문운당
2. 윤정인. 2004. 지열히트펌프의 기술개발 동향. 한국냉동공학회지 : 811-816
3. 손병후 외 3인. 2005. 지열원 열펌프 시스템의 냉난방 성능 평가. 설비공학논문집 : 71-81
4. Onder Ozgener and Arif Hepbasli. 2005. Performance analysis of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating : an experimental study. Building and Environment 40 : 1040-1050