지열 시스템의 원예시설과 축사시설 적용에 관한 연구

장재철, 강은철**, 송준익*, 김지영**, 이의준**†
충남대학교 대학원 기계설계공학과, *축산과학원, **한국에너지기술연구원

A Study on Applying the Ground Source Heat Pump System in Greenhouse and Livestock Facility

Jea Chul Jang, Eun Chul Kang**, Jun Ik Song*, Ji Young Kim**, Euy Joon Lee** †
Dep. of Mechanical Design Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
**National Institute of Animal Science, Suwon 441-706, Korea*
***Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea*

Abstract

In this paper, RETScreen program model has been investigated to predict the economic analysis for greenhouse and livestock facility. Load calculation result was 35.2[kW] of greenhouse and the calculation result of livestock facility was 35.5[kW]. Also, a case study of the RETScreen program indicated that the equity payback is 6.9 years for a greenhouse facility and the equity payback is 9.5 years for a livestock facility.

Key words : RETScreen, Economic analysis(경제성 분석), Equity payback(자기자본회수)

기 호 설 명

Q	: 최대난방부하 [W]
q_t	: 관류전열손실량 [W/m^2]
q_v	: 틈새환기열손실량 [W/m^2]
q_s	: 상면적당 토양전열량 [W/m^2]
A	: 온실면적 [m^2]
f_w	: 풍속보정계수
h_t	: 관류열전달계수 [W/m^2℃]
T_s	: 난방설정온도 [℃]
T_d	: 설계외기온도 [℃]
f_r	: 보온피복의 열절감률
h_v	: 환기전열계수 [W/m^2℃]

하첨자

g	: 온실 피복
s	: 온실 바닥

† Corresponding author
Tel: +82-42-860-3514; fax: +82-42-860-3439
E-mail : ejlee@kier.re.kr
접수일 : 2009년 9월 16일
채택일 : 2009년 11월 24일

1. 서 론

물질문명의 발달에 따라 인류가 필요로 하는 에너지는 크게 증가하였다. 석탄을 에너지로 사용함으로써 산업 혁명이 일어나게 되었고, 그 후 석탄, 석유 및 천연가스 등의 화석 연료에 의한 에너지의 사용량은 급격히 증가하게 되었는데, 화석연료는 현대 사회에서 주요한 에너지원이지만, 화석 연료의 유한성과 막대한 에너지의 수요는 에너지 자원의 다양화를 필요로 하게 되었다. 뿐만 아니라 우리나라와 같은 석유 비생산국은 석유파동이라는 공포에 시달리고 있다. 화석 연료는

재생 불가능한 자원으로, 화석 연료 매장량의 유한성과 과다한 사용으로 인한 환경오염으로 새로운 에너지 자원의 개발이 필요하게 되었다.

일반적으로 온실이나 축사시설은 작물이나 가축을 생육하기 위해 냉난방을 통하여 적정온도를 유지하여야하며, 이때 사용되는 연료는 대부분 석유에 의존하고 있다. 따라서 본 연구는 환경친화적이며, 재생가능한 자원인 지열 에너지를 이용하여 원예시설과 축사시설에 적용하였으며, 수평형과 SCW 지중열교환기를 이용하여 경제성을 비교해 보았다.

2. 원예시설 적용 지열시스템

2.1 시스템 적용 현장

본 연구에서 사용된 비닐하우스는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 쇠파이프 골조로 구성된 아치형의 198m^2(약 60평) 규모 비닐하우스로 구성되어 있으며, 지열시스템의 특성을 고려하여 고온작물인 멜론을 재배하였고, 실내온도는 20℃를 유지하도록 하였다.

2.2 시스템 설계 및 설치

2.2.1 히트펌프 용량산정

히트펌프 용량 산정은 식 (1)을 이용하였으며[1], 전남 장성군 2007년 1월 14일(-4.9℃)을 기준으로 난방피크부하를 35.2kW로 계산하였고, 하루 평균 필요한 난방에너지를 고려하여 히트펌프의 용량을 10RT(약 35kW)로 산정하였다.

히트펌프 용량산정 시 사용된 입력값은 Table 1과 같으며, 원예시설은 난방부하가 지배적으로 도출되는 구조임이 반영되었다.

$$Q = \{A_g(q_t + q_v) + A_s \cdot q_s\} \cdot f_w \quad (1)$$

$$q_t = h_t(T_s - T_d)(1 - f_r) \quad (2)$$

$$q_v = h_v(T_s - T_d) \quad (3)$$

여기서, A_g = 온실 피복 면적 [m^2]
A_s = 온실 바닥 면적 [m^2]

Table 1. Input parameters for peak load calculation

unit	value
A_g	392.3 [m^2]
A_s	198.3 [m^2]
q_s	52.5 [W/m^2]
f_w	1.0
h_t	3.8 [W/m^2℃]
T_s	20 [℃]
T_d	-4.9 [℃]
f_r	0.4
h_v	0.2 [W/m^2℃]

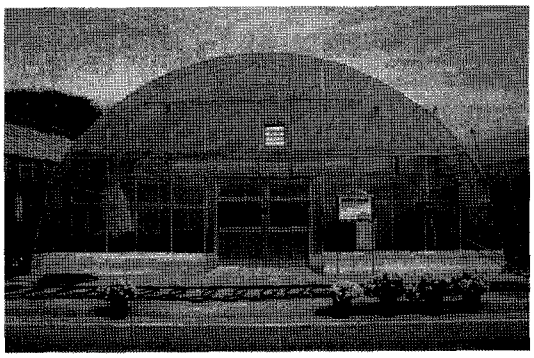

Fig. 1 Exterior of greenhouse

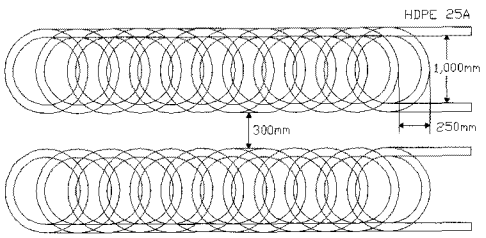

Fig. 2 Pipe design drawing of GHX

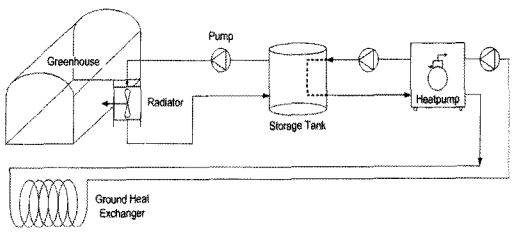

Fig. 3 Schematic diagram of greenhouse facility system

2.2.2 GLD를 이용한 지중열교환기 선정

GLD(Ground Loop Design)는 수직시추공, 수평시추공, 지표수의 설계 모듈을 가진 프로그램으로써 부하데이터 및 각종 선택에 의하여 지중열교환기를 설계할 수 있다.[2]

본 연구에서는 이러한 GLD를 이용하여 Fig. 2와 같은 형상의 지중열교환기를 설계하였으며, 사용된 지중열교환기는 기존에 설치되어있는 온실을 사용하여야 한다는 점을 고려하여 매설이 용이한 수평 밀폐형의 Slinky Type을 사용하였고, Table 2와 같이 온실의 경우 지중온도가 외기에 노출된 지중온도보다 다소 높을 것으로 예상하여 설계온도를 높게 잡았으며, 지중열전도율은 0.92 [W/m · K]로 계산하였다. 계산된 결과는 Table 3과 같이 1426.1m의 지중열교환기 매설이 요구되지만 현장 시공의 용이성을 고려하여 1.5m 깊이에 140m 루프 5개를 매설하고, 1m 깊이에 140m 루프 5개, 총 길이 1,400m를 매설하였다.

2.3 시스템 운전 및 측정 방법

원예시설의 구조는 Fig. 3과 같으며, 실내온도는 20℃가 유지되도록 설정하였다. 축열조의 내부온도는 40℃가 유지되도록 하였는데, 낮 동안 지중열교환기에서 흡수한 열을 상대적으로 외기온도가 낮은 저녁에 활용하는 구조로 설계하였으며, 온실의 실내온도가 20℃ 이하로 떨어지면 공급펌프가 가동되어 필요한 열량을 충당하고 40℃ 이상이 되면 가동이 멈추는 구조로 설계하였다. 축열조는 배관손실 및 부수적인 손실을 감안하였을 때 필요한 최소 온도인 40℃ 이상을 유지하게 되며, 필요한 열량을 공급하고 나면 정지하는 구조로 설계하였다.

본 연구에서 사용된 시스템의 열량은 식 (4)와 같이 계산하였으며, 성능계수는 식 (5)와 같이 계산하였다.

$$Q_L = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4)$$

$$COP = Q_L / W_{total} \quad (5)$$

여기서, QL은 부하측 열량이고, $\dot{m}$는 단위 시간당 체적유량이며, Cp는 물의 비열 값, ΔT는 지중열교환기의 급수온도와 환수온도차이다. 또한 Wtotal은 총 투입 전력이다.

Table 2. Input parameters of greenhouse facility system

	Description	Value
Fluid	Fluid	100% Water
	Specific heat	4.18 [kJ/kg · K]
Soil	Ground temperature	16 [℃]
	Thermal conductivity	0.92 [W/m · K]
	Thermal diffusivity	0.043 [m^2/day]
Piping	Type	SDR11
	Flow	Turbulent

Table 3. Calculation results of greenhouse facility system

Description	Value
Trench number	10
Total pipe length	1426.1 [m]
Unit inlet temperature	10 [℃]
Unit outlet temperature	8.9 [℃]
Heatpump COPh	4.0

Fig. 4 Interior of hoggery

3. 축사시설 적용 지열시스템

3.1 시스템 적용 현장

본 연구에서 사용된 축사시설은 Fig. 4에서 보는 바와 같으며, 규모는 330m^2(약 100평)이고 지열시스템(SCW)을 적용한 분만사로 실내설정온도는 20℃를 유지하도록 하였다.

3.2 축사시설 부하 계산

히트펌프 용량은 경기도 이천시의 외기최저온도인 -9℃를 기준으로 냉방피크부하를 35.5kW로 계산하였다. 결과는 Table 4와 같이 도출되었으며, 원예시설은 작물 생장에 난방부하가 지배적이고, 축사시설은 가축 생육에 냉방부하가 중요 요소이므로 난방피크부하(28.0kW)보다 냉방피크 시를 고려하여 히트펌프의 용량을 10RT(약 35kW)로 산정하였다.

Table 4. Results of peak heating load of livestock facility system

	Cooling [kW]	Heating [kW]
Radiation	1.0	-
Heat transmission	1.6	6.0
Animal heat	19.7	22.0
Ventilation	13.2	-

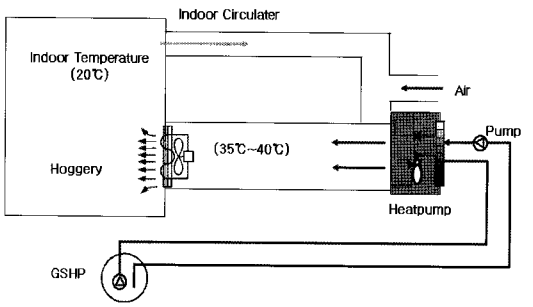

Fig. 5 Schematic diagram of livestock facility system

3.3 시스템 운전 및 측정 방법

Fig. 5와 같이 축사시설의 실내온도는 20℃가 유지되도록 설정하였고, 히트펌프에서 실내기로 공급되는 온도는 35℃ ~ 40℃가 유지되도록 하였다. 실내온도가 20℃ 이하로 떨어지면 온풍기가 가동되어 필요한 열량을 충당하고, 20℃ 이상이 되면 실내순환기가 가동되어 온도를 감소시키는 구조로 설계하였다. 또한 온도유지의 효율성을 증가하기위해 실내의 열량공급은 실내순환기와 외기온도를 추가할 수 있게 하였다.

4. 경제성 예측분석

4.1 원예시설 지열시스템

본 연구에서 사용된 원예시설을 신재생에너지 시스템 분석도구인 RETScreen[3]을 이용하여 시뮬레이션하였다. 이때 초기투자비용은 실제 사이트 구성비용인 약 33,000천원을 적용하여 단위면적당 166천원으로 계산하였으며, 멜론재배 시 198m^{2}의 면적에서 20℃로 유지하였을 경우 연간 경유 유지비가 단위면적당 26천원이 소요되는데, 수평형 지열시스템에 소요되는 비용이 연간 약 1,000천원이므로 물가상승율을 10.8%[4]로 가정하였을 때 Fig. 6에서 보는 바와 같이 단순상환기간은 약 10.5년이며, 자기자본회수기간은 약 6.9년으로 도출되었다. 이는 정부보조금 미지원시를 가정한 기간이며, 자세한 사항은 Table 5와 같다.

Table 5. Financial analysis of greenhouse facility system

Description	Unit	Result
Initial cost	1,000KRW	33,000
	1,000KRW/m^2	166
Annual oil cost	1,000KRW/m^2	26
Annual power consumption	1,000KRW	1,000
Annual saving	1,000KRW	4,150
Simple payback	year	10.5
Equity payback	year	6.9

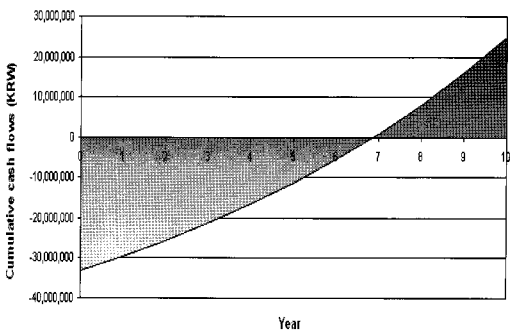

Fig. 6 Cumulative cash flows of greenhouse facility system[Equity payback]

4.2 축사시설 지열시스템

Fig. 7은 RETScreen을 이용하여 축사시설의 생애주기비용(Life Cycle Cost)을 분석한 결과이다. 이때 축사시설의 초기투자비용은 44,000천원이 소요되었으며, 단위면적당 133천원으로 적용하여 계상하였고, 기존 사육시설의 경우 연간 경유와 전력 유지비가 단위면적당 7.6천원이 소요되는데, 지열시스템의 소요비용이 연간 약 1,500천원이므로 결과에서 보는 바와 같이 단순상환기간은 약 16.9년이며, 자기자본 회수기간은 약 9.5년으로 도출되었다. 원예시설에 비해 다소 높은 수치가 도출된 것은 축사시설은 냉방부하가 지배적인 구조로 유지비용이 높기 때문인 것으로 사료된다. 자세한 사항은 Table 6과 같다.

Table 7. Financial analysis of livestock facility system

Description	Unit	Result
Initial cost	1,000KRW	44,000
	1,000KRW/m^2	133
Annual oil & power cost	1,000KRW/m^2	7.6
Annual power consumption	1,000KRW	1,500
Annual saving	1,000KRW	4,100
Simple payback	year	16.9
Equity payback	year	9.5

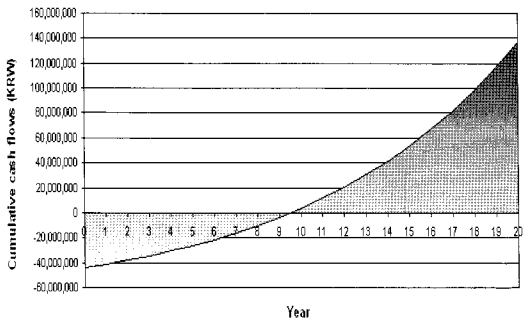

Fig. 7 Cumulative cash flows of livestock facility system[Equity payback]

5. 결 론

본 연구는 원예시설에 Slinky Type의 수평형 지중열교환기를 채용하였고, 축사시설에는 SCW 냉난방시스템을 채용하여 이들 각각의 경우 초기투자비 대비 투자비용 회수기간을 예측해보았다.

(1) 수평형 지중열교환기의 경우 지중열전도도 값을 표면 토질 값으로 유추하기 때문에 지중열교환기 설계 시 주의가 요구되며, 원예시설의 경우 작물생장에 필요한 부하량이 난방에 지배적으로 적용되었으며, 이와는 반대로 축사시설은 가축의 생육에 필요한 부하량이 난방 시에 비해 냉방 시에 지배적으로 계산되었다.

(2) 원예시설에 적용한 수평형 지열시스템은 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 단순상환이 10.5년 자기자본 회수기간이 6.9년으로 도출되었고, 축사시설에 적용한 SCW 지열시스템은 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 단순상환이 16.9년 자기자본회수기간이 9.5년으로 나왔는데, 이는 실증 연구결과를 통해 비교분석이 요구되며, 축사시설의 LCC가 원예시설에 비해 다소 길게 도출된 것은 단위면적이 넓어 초기비용이 많이 소요된 것과 가축사육에서 민감한 온도변화에 대응한 유지비용이 냉방 시에 적용되었으며, 원예시설의 경우 난방 시에 집중된 부하량과는 달리 축사시설은 냉난방 시 유지비용이 모두 적용되었기 때문에 증가하였다.

후 기

이 논문은 농업과학기술개발 공동연구사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (과제번호 : 200806A01081015).

참고문헌

1. Kim, J. Y., 2008, Greenhouse Energy Saving Guide Book, Rural Development Administration, 11-1390645-000021-01.
2. Gaia Geothermal, 2006, Ground Loop Design Version 3.0 Getting Started Guide, U.S.A., PN GGENG-1005.
3. Lee, E. J., 2006.11, 신재생에너지시스템 성능

평가 도구 RETScreen 연구 동향, Journal of the KSME, pp. 84-85.
4. Lee, C. L. and Kim, Y. Y., 2001, Measuring Core Inflation Rate in Korea An Application of Practical Methods, The Association of Korea Economic studies, The Journal of the Korean Economy, 6th, pp. 105-129.
5. Kim, H. C., 2004, Geological Characteristics and Heat Flow Relationship in South Korea, Econ. Environ. Geol., 37(4), pp. 391-400.