



원예시설의 에너지 부하패턴을 고려한 축열식 지열시스템 설계법에 관한 연구

Design method of heat storage type ground source heat pump system considering energy load pattern of greenhouse

유민경* · 남유진** · 이광호***

Yu, Min-Gyung* · Nam, Yujin** · Lee, Kwang Ho***

* Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ, South Korea

** Corresponding author, Dept of Architectural Engineering, Pusan National Univ, South Korea (namyujin@pusan.ac.kr)

*** Coauthor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ, South Korea

ABSTRACT

Purpose: Ground source heat pump system has been attracted in the horticulture industry for the reduction of energy costs and the increasing of farm income. Even though it has higher initial costs, if it uses in combination with heat storage, it is able to reduce the initial costs and operate efficiently. In order to have significant effect of heat storage type ground source heat pump system, it is required to design the capacity considering various conditions such as energy load pattern and operating schedule. **Method:** In this study, we have designed heat storage type ground source heat pump system in 5 cases by the operating schedule, and examined the system to find the most economic and having superb performance regarding the system COP(Coefficient of Performance) and energy consumption, using dynamic energy simulation, TRNSYS 17. **Result:** Conventional ground source heat pump system has lower energy consumption than heat storage type, but following the result of LCC(Life Cycle Cost) analysis, the heat storage type was more economic due to the initial costs. In addition, it has the most efficient performance and energy costs in the case of the smallest heat storage time.

KEYWORD

시설원예
지열히트펌프시스템
축열조
동적 에너지 시뮬레이션

Horticulture
Ground source heat pump system
Heat storage
Dynamic energy simulation

ACCEPTANCE INFO

Received June 2, 2015
Final revision received June 18, 2015
Accepted June 22, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근, 정부는 고부가가치 작물을 수출하여 국가적 수익을 창출하는 시설원예 산업의 경쟁력 확보를 위해, 첨단기술의 집목에 주목하고 있다. 특히 시설원예 산업은 난방비가 경영비의 30~40%를 차지할 만큼 비중이 크기 때문에, 에너지 비용 절감 및 농가의 소득 증대를 위해 신재생에너지를 이용하는 시설 지원 사업을 장려하고 있다¹⁾. 현재 시설원예 산업에서 활용되고 있는 신재생 열원은 지열, 태양열 및 목재 바이오매스 등이 있으며, 특히 지열시스템은 지중 항온을 히트펌프를 통해 온실 난방 운전 시 이용하도록 시스템을 구성함으로써 기존의 시스템과 비교하여 효율적으로 활용할 수 있다. 또한, 지열시스템을 축열조와 병용할 경우 필요 난방 부하량의 전부 또는 일부를 축열조에 저장하여 운전 시 효율적으로 부하에 대응할 수 있고, 초기 투자비를 절감할 수 있다. 하지만, 축열식 지열시스템의 획기적인 효과를 얻기 위해서는 물리적 조건에 따라 상이한 에너지 부하패턴을 고려하여야 하며, 적절한 용량 설계 및 운영방법이 요구된다.

건물에너지 부하에 대한 효율적 대응 기술이 국내외 큰 이슈가 되고 있는 가운데, 축열식 지열시스템의 설치사례가 증가하고 있으며, 다양한 건물에서 적용되고 있다^{2,3,4,5)}. 축열식 지열시스템의 개략적인 설계 및 시공과정에 대한 연구문헌이나 적용 사례는 많으나, 정량적 에너지 분석에 근거한 축열조의 적정 용량 설계에 대한 연구는 드물다. 한편, Ko et al.⁶⁾는 타 열원시스템을 대상으로 축열식 지열시스템의 경제성을 확인하였지만, 기존 지열시스템과의 비교 분석 및 시스템 용량을 대상으로 한 연구는 부족하다. 국내외 시설원예 산업에서도 축열조를 병용한 지열시스템의 연구가 수행되고 있다. Benli et al.^{7,8)}는 온실의 열적 환경을 조성하기 위해 PCM 축열조를 결합한 지열시스템을 이용하여 난방을 시행하고 시스템 성능 평가를 하였다. 이를 통해 축열조와 결합한 지열시스템의 활용이 온실 난방 시스템으로써 적합하다는 것을 확인하였다. 국내 농촌진흥청 시설원예 연구소⁹⁾에서는 축열식 지열시스템을 이용한 온실 난방 실증 실험을 하였고, 온실 내 열전대를 설치하여 온실의 난방 효과를 분석하였다. 그 결과, 축열조의 열용량으로 10분 안에 온도 상승효과를 발현하였으며, 히트펌프와 적용 시 온실 내 안정적으로 열 공급을 할 수 있을 것으로 판단하였다. Park et al.¹⁰⁾은 수평형 지열시스템에 축열조를 병용한 온실 난방 시스템 성능분석에 관한 연구를 수행하였으며, 온실

에서 축열식 지열시스템의 난방적용 가능성을 확인하였다. 또한, Zhu et al.⁵⁾은 지열 히트펌프 시스템의 초기투자비용 절감 및 피크 부하에 대응하기 위해 냉각탑, 태양열 집열판, 지중 축열, 축열조를 결합한 방법들에 대해서 기술 검토 및 시스템 성능 분석을 하였다.

이처럼, 축열식 지열시스템의 보급을 위한 실증 사례 및 시스템 성능, 경제성 평가에 관한 연구가 수행되고 있으나, 에너지 부하 패턴을 고려한 시스템의 적정 용량 설계에 관한 연구는 드문 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 선행연구에서 검증된 국내 시설원예용 표준 온실 모델¹¹⁾을 대상으로 에너지 부하 패턴을 고려해 시스템 용량을 설계하고, 설계 용량에 따른 케이스 스터디를 실시하여 시스템 성능 및 에너지 소비량을 검토해 최적 조합을 확인하고자 한다.

1.2. 연구 방법 및 범위

본 연구는 원예 시설을 대상으로 축열식 지열시스템의 적정 용량 설계를 하는 것을 목표로 하는 논문으로서 연구방법은 Fig. 1와 같다.

축열시스템 기존 설계 기준에 대한 문헌 조사를 실시하여 시설원예용 축열식 지열시스템의 최적 설계 방안을 도출하였다. 또한, 선행연구¹¹⁾에서 검증된 국내 시설원예용 표준 온실모델을 대상으로 TRNSYS 17을 이용하여 부하 분석을 하였고, 기후데이터는 TRNSYS 17에서 제공하는 울산 지역의 기후데이터를 사용하였다. 부하 분석 결과를 바탕으로 온실의 Load Profile을 작성하였고, 축열 시간을 변수로 설정하여 축열시스템 용량을 설계하였다. 온실의 난방 기간은 11월부터 3월로 설정하여 각 케이스별 실시간 실내 온도를 확인하였으며, 시스템 성능계수인 COP (Coefficient of Performance)를 파악하여 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 시스템의 각 구성요소에서 소비하는 에너지 소비량을 확인하여 전기소비량을 계산하였으며, LCC (Life Cycle Cost) 분석을 통해 기존 지열시스템과 경유보일러, 각 케이스별 축열식 지열시스템을 비교 분석하여 본 논문에서의 최적 설계 방안을 검토하였다.

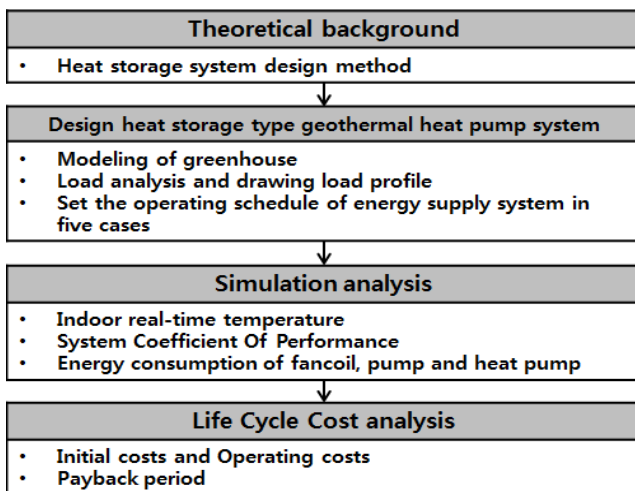


Fig. 1. Study flow chart

2. 시뮬레이션 개요 및 이론적 배경

2.1. 축열시스템 설계 프로세스

본 논문에서는 시설원예용 축열식 지열시스템의 최적 설계 방안을 검토하기 위하여, 기존 설계 기준 및 문헌 조사를 시행하고 축열시스템의 용량 산출 프로세스에 대해 고찰하였다.

국내외 축열시스템의 설계기준^{12,13,14)}을 조사한 결과, 축열조 용량 산정 방법에는 다소 차이는 있으나, 공통적인 일반사항을 확인하였다. 공통 사항으로, 축열조 병용 시 열용량을 축열조에 축열하여 필요 시 방열함으로써 열원 설비 용량을 축소할 수 있고 효율적으로 부하에 대응할 수 있다. 또한, 열원 용량과 축열조 용량의 산정은 일일열부하와 열원용량의 운전시간을 고려하며, 열원기기의 운전시간과 정지하는 시간대는 부하 패턴에 의해 결정되어 진다. 따라서, 축열시스템 설계를 위해 우선으로 해당 건물 의 최대 일일열부하가 발생하는 날에 대한 부하 프로파일을 작성 하여야 하며, 축열 운전시간을 설정하여야 한다. 하지만 축열시스템 용량 산정 과정에서 국내 기준과 ASHRAE 기준, 일본 기준의 차이가 있으며, 이를 비교하여 본 논문에서 적용할 기준을 선정하고자 한다.

국내 수축열 시스템 설계 기준¹²⁾에 따르면, 축열조 용량은 축열 운전시간 동안 열원기기의 생성 열량에서 축열 운전시간 내에 발생하는 공조부하를 제하여 산출되며, 다음의 식 (1), (2)에 의해 계산된다.

$$H_R = \frac{K_6 \times H}{n_1} \quad \text{식 (1)}$$

$$V = \frac{3,600 \times n_2 \times H_R - \sum Q_n}{4,186 \times \Delta t \times \eta} \quad \text{식 (2)}$$

여기서,

H : 일일열부하 [kJ/day]

H_R : 열원기기용량 [kW]

K_6 : 배관, 축열조 등 열손실계수

n_1 : 열원기기 운전시간 [h]

n_2 : 축열 운전시간 [h]

V : 축열조 용량 [m³]

Q_n : 축열 운전시간 내에 발생하는 단위시간 공조부하 [kJ]

Δt : 축열조 이용 온도차 [°C]

η : 축열조 효율

일본 기준¹⁴⁾의 경우 최대 일일부하에서 난방 운전시간 동안 열원기기의 발생 열용량을 공제하여 필요 축열량을 산출한다. 주요 식은 다음의 식 (3), (4), (5)와 같다.

$$Q_{csa} = \frac{Q_{cd}}{T_p} \quad \text{식 (3)}$$

$$Q_{cs} = Q_{cd} - Q_{csa} \times T_{cpd} \quad \text{식 (4)}$$

$$V_{cs} = \frac{Q_{cs}}{\eta \times \Delta t \times c} \quad \text{식 (5)}$$

여기서,

- Q_{esa} : 필요한 열원 용량 [kW]
- Q_{ed} : 최대 일일 누적 열부하 [kWh/day]
- Q_{cs} : 필요 축열량 [kWh/day]
- T_p : 열원 총 운전시간 [h/day]
- T_{epd} : 열원 난방 운전시간 [h/day]
- V_{cs} : 축열조 용량 [m^3]
- η : 축열조 효율
- Δt : 축열조 이용 온도차 [$^{\circ}C$]
- c : 물의 비열 [kWh/m^3C]

ASHRAE 기준¹³⁾에 따르면, 최대 일일 열부하가 발생하는 날을 기준으로 열원기기의 실시간 열용량에서 실시간 공조부하를 공제한 누적 용량을 스프레드시트로 작성한다. 그리고 해당 시트의 최댓값을 필요 축열량으로 선정하여 다음의 식 (6)을 이용해 축열조 용량을 산출한다.

$$V = \frac{X \times 12,000}{c_p \times \Delta T \times SG \times eff} \quad \text{식 (6)}$$

여기서,

- V : 축열조 용량 [m^3]
- X : 필요 축열량 [ton·h]
- c_p : 물의 비열 [Btu/lb· $^{\circ}F$]
- ΔT : 축열조 이용 온도차 [$^{\circ}F$]
- SG : 일일열부하 [kJ/day]
- eff : 축열조 효율

국내외 3가지 축열시스템 용량 설계 기준을 검토한 결과, ASHRAE 기준의 경우 필요 축열량 산정이 부하패턴에 따라 상이하고 고려조건이 너무 많아 국내와 일본의 기준을 참고하여 분석을 진행하였다.

2.2. 온실의 Load Profile

축열시스템 설계를 위해 우선으로 온실의 난방부하 분석을 실시하였으며, 최대 일일열부하가 발생하는 날에 대한 부하 프로파일을 작성하였다. 온실은 11월부터 이듬해 3월까지의 겨울철 17 시에서 익일 08시까지 난방 운전을 실시하고, 난방 설정온도는 대표적인 고부가가치 작물인 토마토를 온실의 재배 작물로 선정하여 $14^{\circ}C$ 향온 설정하였다¹⁵⁾. 온실 도입 지역은 토마토가 주로 생산되는 경남지방으로 가정하여 Meteonorm에서 산출한 울산의 기후데이터를 사용하였다.

Fig. 2는 온실의 최대 일일열부하가 발생하는 날에 대한 부하 프로파일로서, 일일 누적 부하는 $1,672 MJh$, 시간 피크 부하는 $130,282 kJ/h$ 로 산출되었으며, 비축열 시스템일 경우 시간 피크 부하를 기준으로 열원 용량 설계를 하고 축열식 지열시스템의 경

우 일일 누적 부하를 사용하였다.

Fig. 3은 온실의 난방기간인 1월부터 3월, 11월, 12월의 난방부하와 월 평균온도를 나타낸 것으로 온실의 최대 일일열부하가 발생하는 1월은 월 평균온도가 영하 $0.0^{\circ}C$ 로 가장 낮고 난방부하량은 $32,078 MJh$ 로 가장 큰 값을 나타내었다. 또한, 11월은 월별 평균온도가 가장 높은 $8.8^{\circ}C$ 를 보이며 3월의 난방부하량은 $11,088 MJh$ 로 가장 작은 값을 확인하였다.

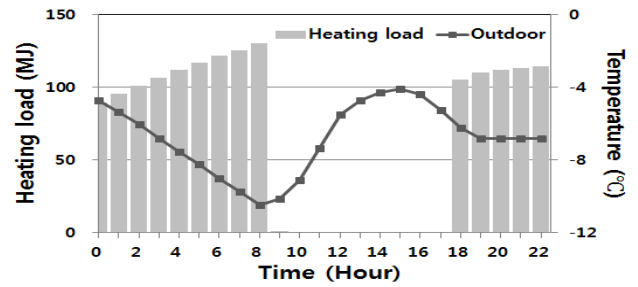


Fig 2. Peak day load pattern of greenhouse

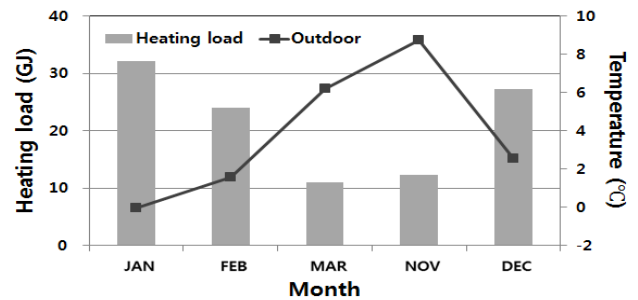


Fig 3. Monthly heating load and average dry bulb temperature in Ulsan

2.3. 시뮬레이션 모델링

본 시뮬레이션에서는 축열식 지열시스템의 성능 및 에너지 소비량을 분석하기 위하여, 농업시설에서 이용하는 지열 시스템⁹⁾을 참조하여 구성하였다. Fig. 4는 축열식 지열시스템을 구성한 시뮬레이션 모델링을 나타낸 것이며, 시뮬레이션에 적용된 세부 사항 및 제어방법은 Table 1과 Fig.5에 나타내었다.

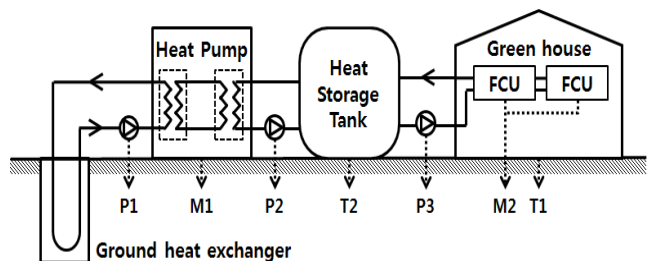


Fig 4. Simulation modelling

시뮬레이션의 기후 및 난방기간, 운전시간은 2.2와 동일하게 실시되며, 시스템의 구성에서 펌프 유량은 $3.6 m^3/h$, 소비전력은 $0.58 kW$ 로 동일하게 설정하였다. 또한, 본 시뮬레이션에서 구성

한 축열식 지열시스템은 난방 운전시간 내 온실의 실내 온도(T1)가 설정온도 14°C에서 16°C 범위를 유지하도록 팬코일 유닛(M2)의 on/off 제어를 하였고, 축열조는 축열조의 온도(T2)가 40°C이하로 내려가면 히트펌프(M1)를 가동하고 50°C를 만족하면 정지하도록 설정하였다.

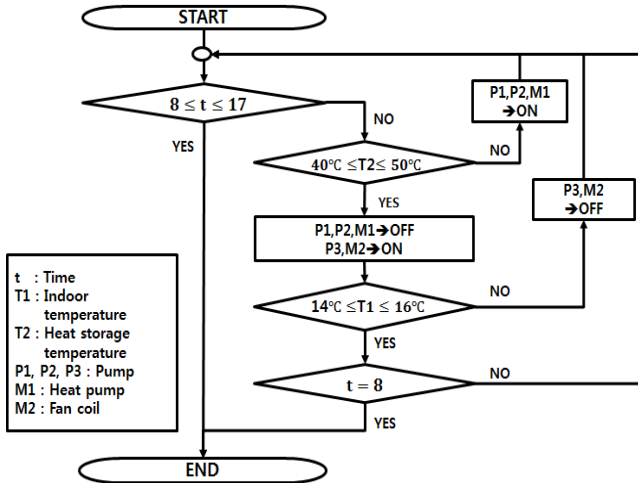


Fig 5. Flow chart of heating

Table 1. Condition of simulation

Weather data	Ulsan, Korea
Simulation period	JAN, FEB, MAR, NOV, DEC
Heating schedule	17:00 - 08:00
Soil thermal conductivity	3.5 W/mK
Initial soil temperature	16 °C
Fan coil heating capacity	140,000 kJ/h

2.4. 시뮬레이션 케이스 설정

Table 2는 본 시뮬레이션 분석을 위한 케이스 설정으로써, 식 (3), (4), (5)을 적용하여 열원 운전시간에 따라 산정하였다. Case 1은 비축열식 지열시스템으로써, 본 논문에서 축열식 지열시스템과 비교하고자 하며, 축열식 지열시스템은 온실 난방 운전시간 외 추가적인 열원 운전을 통해 열을 축열하도록 하였다. Case 2의 경우 축열 운전 2시간, Case 3은 4시간, Case 4는 6시간, Case 5는 8시간으로 설정하여, 축열 운전시간이 증가함에 따라 지열 히트펌프 시스템의 용량은 감소하고, 축열조의 용량은 증가하도록 필요한 용량을 계산하여 나타내었다.

Table 2. Case setting

Case	Storage schedule	Storage hour(h)	GSHP*(kW)	HST**(kWh)	HST**(m ³)
1	-	0	36.0	-	-
2	15:00~17:00	2	27.3	54.9	5.9
3	13:00~17:00	4	24.4	98.4	10.6
4	11:00~17:00	6	22.1	132.9	14.3
5	9:00~17:00	8	20.2	161.4	17.4

*GSHP : Ground source heat pump
**HST : Heat storage tank

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1. 온실 온도 분석

Fig. 6은 난방 운전기간 동안 평균 온실 온도를 분석한 것으로서, Case 1의 경우 14~16°C 설정온도와 비교하여 높은 값을 나타내었으나, Case 2~5의 경우 설정온도 범위를 만족하였다.

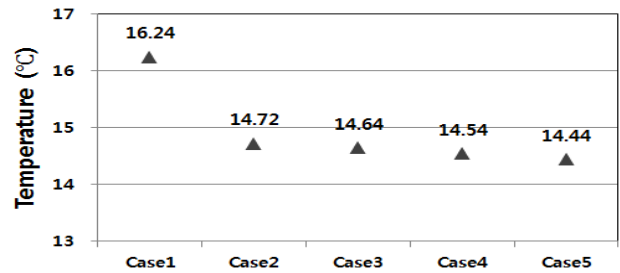


Fig 6. Average indoor temperature

3.2. 시스템 성능 분석

Table 3은 난방 운전기간 동안 월별 히트펌프의 성능분석을 나타내는 것이고, Fig. 7은 이를 도식화한 것이다. 분석 결과, 본 시뮬레이션의 시스템은 1월부터 연속 운전되며 가동율이 높기 때문에, 지중온도가 회복되기 전 계속되는 운전으로 지중 채열량이 시간에 지남에 따라 낮아지는 것으로 인하여 COP가 낮게 형성되는 것으로 분석하였다. 또한, 중간기에 지중온도가 회복하여 11월에 다시 채열량이 높아지므로 COP가 상승하는 것을 확인하였다. 또한, Case 2의 경우 평균 COP는 4.6로 가장 높은 값을 나타냈다. Table 4는 실내 난방에너지 공급량에 대하여 펌프, 팬코일, 히트펌프에서 투입된 에너지를 고려하여 전체 시스템 COP를 산출한 결과이다.

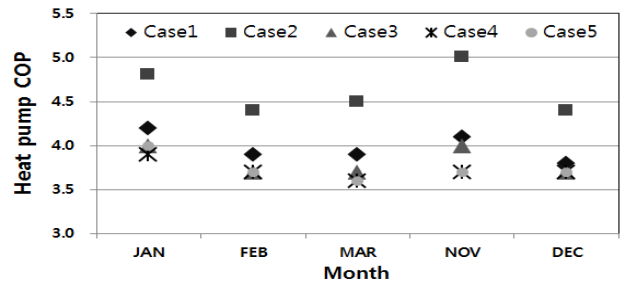


Fig 7. Average heat pump COP

Table 3. Monthly heat pump COP

Case	JAN	FEB	MAR	NOV	DEC	Average
1	4.2	3.9	3.9	4.1	3.8	4.0
2	4.8	4.4	4.5	5.0	4.4	4.6
3	4.0	3.7	3.7	4.0	3.7	3.8
4	3.9	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7
5	4.0	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7

Table 4. Total system COP

Case	Q _{load} (MJ)	W _{hp} (kWh)	W _{pump} (kWh)	W _{fcu} (kWh)	COP _{sys}
1	124,122	9,217	763	156	3.4
2	85,382	7,948	1,718	241	2.4
3	82,519	11,873	2,277	240	1.6
4	81,243	13,704	2,729	238	1.4
5	80,060	14,895	3,192	243	1.2

3.3. 단위면적당 에너지 소비량 분석

Table 5와 Fig. 8은 난방기간 동안 케이스별 단위면적당 에너지 소비량을 분석한 것으로, 시스템을 구성하는 팬코일 유닛, 펌프, 히트펌프에서의 에너지 소비량을 합산하여 월별로 산출한 것이다. 분석 결과, 1월과 12월의 에너지 소비량이 가장 많이 나타났으며, 3월과 11월의 에너지 소비량이 가장 적은 것을 확인하였다. 또한, 축열식 지열시스템의 에너지 소비량이 상대적으로 많으며, 축열 시간이 가장 짧은 경우에서 에너지 소비량이 가장 적은 것을 확인하였다.

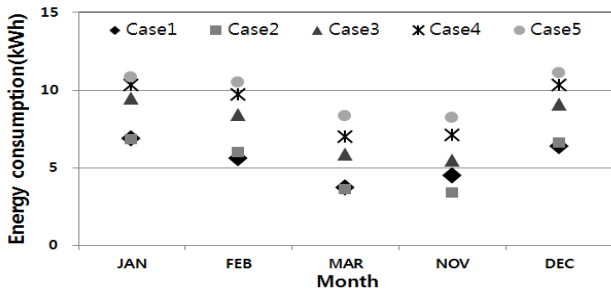


Fig 8. Monthly energy consumption per unit area

Table 5. Monthly energy consumption per unit area (unit : kWh)

Case	JAN	FEB	MAR	NOV	DEC	Total
1	6.9	5.6	3.7	4.5	6.4	27.0
2	6.8	6.0	3.6	3.4	6.6	26.4
3	9.5	8.4	5.9	5.5	9.1	38.4
4	10.3	9.7	7.0	7.1	10.3	44.5
5	10.8	10.5	8.3	8.2	11.1	48.9

3.4. 케이스별 단위면적당 단순 비용 산출

축열식 지열시스템의 경우 지열시스템의 초기투자비 절감 방안으로 주목받고 있지만, 3.3의 단위면적당 에너지 소비량 분석에서 확인하였듯이 비축열식 지열시스템의 소비 에너지량이 상대적으로 적기 때문에, 본 장에서는 케이스별 단위면적당 단순 비용 산출 및 비교 분석을 통해 경제성을 검토하고자 한다.

Table 6. Initial costs and operating costs per unit area

Case	Initial costs (won/m ²)	Annual operating costs (won/m ²)
1	162,240	362
2	141,959	353
3	143,967	615
4	145,472	744
5	146,854	823

Table 6은 케이스별 단위면적당 초기투자비용 및 연간 운전비용을 산출한 결과로, 지열시스템의 경우 에너지관리공단의 기준 단가를 적용하였고, 축열조는 전문 업체의 견적서를 참조하였다. 또한, 연간 운전비용은 난방 운전기간 동안의 각 케이스별 시스템 COP와 에너지 소비량에 근거하였으며, 한국전력공사 농사용전력(을) 전기요금표를 기준으로 산출하였다.

Fig 9에 나타난 바와 같이 단위면적당 초기투자비용을 살펴보면 비축열식 지열시스템의 경우 초기투자비용이 162,240 원으로 가장 많고, 축열식 지열시스템의 경우 축열 운전시간을 늘림에 따라 지열 시스템의 용량 비용은 123,032 원, 109,963 원, 99,597 원, 91,035 원으로 감소하고 축열조의 용량 비용은 18,927 원, 34,005 원, 45,875 원, 55,819 원으로 증가하여 초기투자비용이 달라지나 비슷한 추세를 보인다. 또한, 단위면적당 연간운전비용의 경우 축열식 시스템의 팬코일 유닛과 펌프의 에너지 비용이 비축열식 시스템과 비교하여 큰 것을 Fig 10을 통해 확인할 수 있으며, 시스템 COP가 가장 좋은 Case 2에서 연간운전비용이 가장 저렴한 것을 파악하였다.

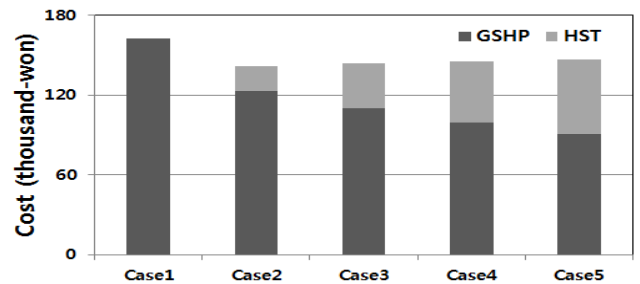


Fig 9. Initial costs per unit area

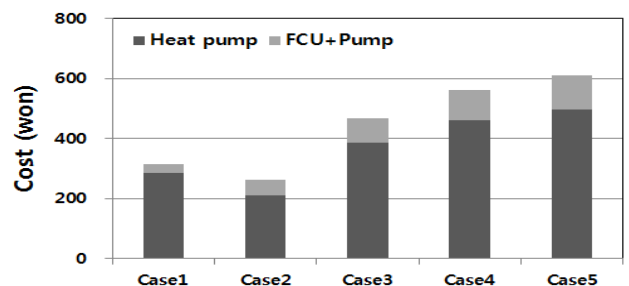


Fig 10. Operating costs per unit area

3.5. LCC 분석

본 논문에서는 케이스별 시스템 성능 및 비용 분석에 근거한 축열식 지열시스템의 경제적 가치를 증명하기 위해, 비축열식 지열시스템(GSHP)과 축열식 지열시스템(GSHP+HST), 기존의 경우 보일러의 LCC 비교 분석을 실시하였다. 축열식 지열시스템은 축열 운전시간이 가장 작은 경우로 선정하여 분석을 진행하였으며, 분석기간은 15년으로 가정하고 실질할인율은 3.4%를 적용하였다. 또한, 지열시스템은 현재 시설원에 지열난방 시스템 보급사업으로 인한 지원을 80%를 적용하였고, 경우보일러의 경우 면세경유 단가를 적용하여 비용을 산출하였다.

Table 7. Analysis of energy reduction costs per unit area

	GSHP	GSHP + HST	Diesel boiler
Initial costs (won/m ²)	32,448	24,606	3,733
Energy consumption	31.1 kW	35.6 kW	9 L
Energy costs (won/m ²)	362	353	5,299
Reduction costs (won/m ²)	4,937	4,946	-

초기투자비용에서 단위면적당 지열시스템은 32,448 원, 축열식 지열시스템은 24,606 원, 경유보일러는 3,733 원이 소요되었으나, Table 7에서 보는 바와 같이 지열시스템은 경유보일러와 비교하여 에너지 비용을 절감하여 지열시스템은 7년차에 초기투자비용을 회수하며, 축열식 지열시스템은 5년차에 초기투자비용을 회수하는 것으로 분석되었다.

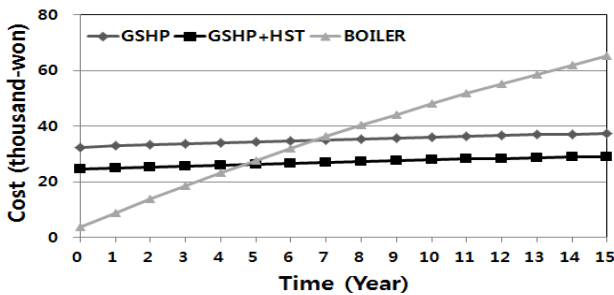


Fig 11. Life Cycle Cost analysis

4. 결론

본 연구는 시설원에 산업에 축열식 지열 히트펌프 시스템의 보급을 위하여 적정 용량 설계를 하는 것을 목표로 하며, 축열식 지열시스템의 설계 용량 조합에 따른 시스템 성능 및 에너지 소비량을 동적 에너지 시뮬레이션 툴을 이용하여 비교 분석하였다. 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 축열 운전시간에 따른 케이스별 온실 평균 온도 분석 결과, 축열식 시스템은 14.44°C~14.72°C로 설정온도 범위를 만족하였다.
- (2) 히트펌프의 성능계수 COP를 보면 축열 운전시간 증가에 따라 COP는 평균 4.6, 3.8, 3.7, 3.7로 나타났으며, 비축열식 시스템의 경우 COP 4.0로 나타났다. 시스템 전체 COP는 비축열 시스템의 COP가 더 높게 측정되었으며, 축열 시스템에서는 운전시간이 가장 작은 경우 COP가 가장 높게 측정된 것을 확인하였다.
- (3) 단위면적당 에너지 소비량 분석으로 축열 운전시간에 따라 에너지 소비량은 비축열식 시스템대비 약 14~137% 증가하는 것으로 나타났으며, 축열 시간이 가장 작은 경우 에너지 소비량이 가장 적은 것으로 나타났다.
- (4) 단위면적당 초기투자비용과 연간운전비용 분석 결과 축열조 용량 증가에 따른 비용 증가가 발생하여, 비축열 시스템 대비 획기적 비용 절감은 이루어지지 않았다.
- (5) 축열 운전시간이 가장 작은 축열식 지열시스템의 LCC 경제성 분석 결과 초기투자비용을 5년차에 회수하는 것으로서 비축열

식 지열시스템과 비교하여 경제성을 가질 수 있다고 판단하였다.

본 연구는 대규모 시설원예용 집단에너지 공급시스템 구축을 위한 기초연구로서, 대규모 에너지 시스템에서의 축열조 이용 타당성에 대해 검토하였다. 향후, 파이프 길이, 관경 등 다양한 물리적 조건들을 고려하여 집단에너지 공급시스템의 최적 배치에 대해 분석할 예정이다.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project title : Development of Optimal District Energy and Operation System for Large-scale Horticulture Facility Application, Project No. PJ010021022015)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- [1] 김연중, 박현태, 한혜성, 문동현, “주요 시설원에 작물의 냉난방 및 보온형태별 경영실태 분석”, 한국농촌경제연구원 연구보고서, 2014 // (Kim, Yean-Jung, Park, Hyun-Tae, Han, Hye-Sung, Moon, Dong-Hyun, "Management Analysis of Cooling-Heating system and Thermal type in the Major Horticultural Crops", Korea Rural Economic Institute, 2014)
- [2] 남임우, 유현구, 심두보, 백기동, “축열식 지열시스템 설치사례”, 한국지열에너지학회 지열에너지저널, 제 3권, 제 2호, 2007 // (Nam, Leem-Woo, Yoo, Hyun-Gu, Shim, Doo-Bo, Paek Gi-Dong, "An Instance Application of Thermal Storage Type Geothermal Heat Pump System", Journal of KSGEE, Vol. 3, No. 2, 2007)
- [3] 강한기, “지열시스템을 이용한 축열식 냉난방 시스템 설치사례”, 대한설비공학회 강연회, 2005 // (Kang, Han Ki, "Thermal storage cooling-heating system by GSHP", Lecture of SAREK, 2005)
- [4] 최병운, 이상훈, “지열이용 축열식 히트펌프 시스템 적용사례”, 한국설비기술협회, 2004 // (Choi, Byoung-youn, Lee, Sang-Hoon, "An Instance Application of Thermal Storage Type Heat Pump System by Using Ground source", Journal of the KARSE, 2004)
- [5] Na Zhu, Pingfang Hu, Linghong Xu, Zhangning Jiang, Fei Lei, "Recent research and applications of ground source heat pump integrated with thermal energy storage systems : A review", Applied thermal engineering, Vol. 71, 2014
- [6] 고명진, 오종근, 김용인, 김용식, “투자비회수기간법을 이용한 공공청사 적용 축열식 지열히트펌프 시스템의 경제성 평가”, 한국태양에너지학회 논문집, 제 27권, 제 4호, 2007 // (Ko, Myung-jin, Oh, Jung-keun, Kim, Yong-in, Kim, Yong-shik, "Economic estimation of heat storage type geothermal source heat pump system adopted in government office building by a payback period method", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.27, No.4, 2007)
- [7] Huseyin Benli, "Energetic performance analysis of a ground-source heat pump system with latent heat storage for a greenhouse heating", Energy conversion and management, Vol. 52, No. 1, 2011
- [8] Huseyin Benli, Aydin Durmus, "Evaluation of ground-source heat pump combined latent heat storage system performance in greenhouse heating", Energy and buildings, Vol. 41, No. 2, 2009
- [9] 농촌진흥청, “지열을 이용한 농업시설 냉난방 시스템 개발”, 농촌진흥청 농업공학연구소, 제 3차년도 완결보고서, 2008 // (Korean Rural Development Administration, "Development of Cooling and Heating System for Farm Facilities Using Geothermal Energy", Institute of Agricultural Science, 2008)
- [10] 박용정, 김경훈, “축열조를 채용한 수평형 지열원 히트펌프 온실 난방 시스템에 관한 연구”, 한국에너지공학회 논문집, 제 15권, 제 3호, 2006 // (Park, Yongjung, Kim, Kyounghoon, "A study on the horizontal ground source heat pump greenhouse heating system with thermal storage tank", Journal of KOSEE, Vol. 15, No. 3, 2006)
- [11] 유민경, 조정흙, 남유진, “동적 에너지 시뮬레이션을 이용한 시설원에

- 용 에너지 공급시스템의 경제성 분석”, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 15, No. 1, 2015 // (Yu, Min-Gyung, Cho, Jeong-Heum, Nam, Yujin, "Feasibility study of the energy supply system for horticulture facility using dynamic energy simulation, Korean Journal of Ecological Architecture and Environment, Vol. 15, No. 1, 2015)
- [12] 박종일, “건축설비설계기준 · 요령(VIII)”, 대한설비공학회 설비저널, Vol. 33, No. 5, 2004 // (Park, Jong-Il, Cho, "Building utility system design criteria(VIII)", Journal of SAREK, Vol. 33, No. 5, 2004)
- [13] 空調和 衛生工学会, “蓄熱式空調システム計画と設計” 2006 // (Air conditioning institute, "Thermal storage air conditioning system planning and design", 2006)
- [14] ASHRAE, ASHRAE Handbook HVAC System and Equipment, 2012
- [15] 농촌진흥청 국립농업과학원, “농가 경영수지 개선을 위한 신 농업 에너지 절감기술”, 2010 // (Korean Rural Development Administration, National Academy of Agricultural Sciences, “New agricultural energy-saving technology for the improvement of farm management balance”, 2010)