

# BTES 방식의 계간축열 시스템을 적용한 유리온실의 난방용 태양열시스템의 경제성 평가

박상미\* · 서태범\*\*\*

\*인하대학교 기계공학과, 석사과정

\*\*인하대학교 기계공학과, 교수

## Economic Evaluation of Glass Greenhouse Heating Solar Thermal System Applied with Seasonal Borehole Thermal Energy Storage System

Park Sang-Mi\* · Seo Tae-Beom\*\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Inha University, Master's Course

\*\*Department of Mechanical Engineering, Inha University, Professor

†Corresponding author: seotb@inha.ac.kr

### Abstract

The heating performance of a solar thermal seasonal storage system applied to a 1,320 m<sup>2</sup> glass greenhouse was analyzed numerically, and the economic feasibility depending upon the number of boreholes was evaluated. For this study, the gardening 16th and 19th zucchini greenhouse of Jeollanam-do agricultural research & extension services was selected. And the heating load of the glass greenhouse selected was 1,147 GJ. BTES(Borehole Thermal Energy Storage) was considered as a seasonal storage, which is relatively economical. The number of boreholes was selected from 25 to 150. The TRNSYS was used to predict and analyze the dynamic performance of the solar thermal system. Numerical simulation was performed by modelling the solar thermal seasonal storage system consisting of flat plate solar collector, BTES system, short-term storage tank, boiler, heat exchanger, pump and controller. As a result of the analysis, when the number of boreholes was from 25 to 50, the thermal efficiency of BTES system and the solar fraction was the highest. When the number of boreholes was from 25 to 50, it was analyzed that the payback period was from 5.2 years to 6.2 years. Therefore it was judged to be the number of boreholes of the proposed system was from 25 to 50, which is the most efficient and economical.

**Keywords:** 유리온실(Glass Greenhouse), BTES (Borehole Thermal Energy Storage), TRNSYS (Transient System Simulation), 태양열 계간축열 시스템(Solar Thermal Seasonal Storage System)

### 기호설명

Q : 총 난방 에너지 [kWh]

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol.38, No.5, pp.63-74, October 2018  
<https://doi.org/10.7836/kSES.2018.38.5.063>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 2 October 2018

Revised: 15 October 2018

Accepted: 16 October 2018

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

- $P_{\text{specific}}$  : 건물의 비열손실률 [kWh]
- $D$  : 난방도일 [-]
- $T_i$  : 태양열집열기의 입구 유체온도 [°C]
- $T_a$  : 외기온도 [°C]
- $G$  : 집열면에 작용하는 일사량 [Wh]
- $Q_{\text{extracted}}$  : BTES 시스템에서 추출되는 에너지 [GJ]
- $Q_{\text{injected}}$  : BTES 시스템으로 주입되는 에너지 [GJ]

## 그리스 문자

- $\eta$  : 집열 효율 [-]
- $\eta_{\text{BTES}}$  : BTES 시스템의 전체 열효율 [%]

## 1. 서론

1970년대부터 수차례에 걸친 에너지파동 이후, 전 세계적으로 대체에너지 기술개발이 이루어지고 있고 국내에서도 1978년 태양에너지연구소의 설립과 함께 태양열 기술개발 및 보급이 증가하고 있다<sup>1)</sup>.

태양열 기술은 에너지 저장 밀도와 에너지 변환 효율이 높아 실생활 및 산업전반 분야에서 다양하게 활용되고 있으며, 태양열시스템의 경우 2010년 기준으로 전 세계의 7천만 가정이 온수 공급을 통해 에너지 절약을 하고 있어 냉·난방분야와 산업공정분야에 대한 관심도 높아지고 있는 추세이다<sup>2,3)</sup>. 그러나 태양열시스템은 에너지 수요 및 공급의 시간적 불일치 문제와 소규모 시스템으로는 경제성이 부족하여 많은 제약을 받고 있는 실정이다<sup>4)</sup>.

따라서 에너지 수급간의 불균형 문제를 해결하고, 태양 의존율을 향상시킬 수 있는 태양열 계간축열 시스템의 필요성이 강조되고 있다<sup>5)</sup>. 대표적인 태양열 계간축열 방식으로는 TTES (Tank Thermal Energy Storage, 이하 TTES), BTES (Borehole Thermal Energy Storage, 이하 BTES), PTES (Pit Thermal Energy Storage, 이하 PTES), ATES (Aquifer Thermal Energy Storage, 이하 ATES)가 있으며, ATES와 BTES 방식은 보편적인 에너지 저장 방법으로 흔히 사용되고 있다<sup>6)</sup>. 하지만 ATES 방식의 경우, 수문 및 지질 공학 조건에 바람직하지 않는 영향을 주기 때문에 요즘은 상대적으로 경제적이고 지형적 영향이 없는 BTES 방식이 선호되어 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>4)</sup>.

BTES 시스템에 대한 연구는 1976년 프랑스와 스웨덴에서 최초로 수행되었으며, 1982년에는 스웨덴에 대규모 BTES 시스템이 건설되었다<sup>7)</sup>. 이후 독일의 'solarthermie-2000' 프로젝트를 시작으로 태양열 계간축열 시스템에 대한 실증연구 사업이 추진되었으며, 그 밖의 유럽과 선진국들을 중심으로 태양열 계간축열 시스템의 기

술개발 및 적용사업 등의 확대가 이루어졌다<sup>8)</sup>. 현재 태양열 계간축열 시스템은 실험용, 상업용 및 지역난방용 등 다양하게 보급되고 있으며, 개별난방뿐만 아니라 지역난방으로 공급되는 건물에 다양한 시스템 구성으로 기존열원과의 연계가 가능하여 더욱 활발히 보급될 것으로 전망되고 있다<sup>9)</sup>. 또한 태양열 개별 시스템과 비교하여 경제성이 50%정도 향상될 뿐만 아니라 건물부하의 태양 의존율을 50~80%까지 증대할 수 있어 효율성 및 경제성이 높은 시스템이라 평가되고 있다<sup>10)</sup>.

국내에서도 2014년부터 환경부 주관으로 총 24개 지역에 친환경에너지타운을 준공하여 에너지 자립에 힘쓰고 있지만 BTES 방식을 활용한 국내 사례는 찾아보기 어려운 실정이다<sup>11)</sup>. 또한 독자적인 태양열 계간축열 시스템의 설계기술 및 적용기술이 미흡한 수준이므로 지속적인 실증 연구를 통한 태양열 계간축열 시스템의 설계기술 확보와 적용 확대가 필요하다.

본 연구에서는 농가의 유리온실에 적용 가능한 Borehole 방식 태양열 계간축열 시스템을 모델링하고 Borehole 개수에 따른 시뮬레이션을 수행하여 저비용 및 고효율의 시스템 설계를 도출하고자 한다. Borehole 개수는 25~150개로 선정하였으며, Borehole 개수에 따른 태양열 계간축열 시스템에 대한 성능을 분석하고 비교하였다. 또한 초기 설치비용과 연간 비용절감을 이용하여 투자비회수기간을 계산하고 경제성을 평가하였다. 시뮬레이션은 시간에 따른 태양열시스템의 동적 성능 예측 및 해석을 위해서 TRNSYS 16 프로그램을 사용하여 수행하였다.

## 2. 해석대상

### 2.1 기상데이터

해석대상 유리온실은 각 576 GJ의 난방부하를 소비하는 전라남도농업기술원의 원예 16번동과 19번동의 애호박 재배온실을 선정하였고, 온실면적은 총 1,320 m<sup>2</sup>이며 온실온도는 16~18°C로 유지된다.

해석대상 유리온실의 기상자료는 2017년도 전라남도 광주의 기상관측자료를 활용하였다. Fig. 1(a)은 시간에 따른 광주의 연간 기온을 나타낸 것이고, Fig. 1(b)은 시간에 따른 광주의 연간 일사량을 나타낸 것이다. 광주의 연간 평균기온은 14.7°C이고, 연간 총 일사량은 5.656 GJ/m<sup>2</sup>이다.

### 2.2 난방부하

본 연구에서는 해석대상 유리온실과 비슷한 난방부하를 얻기 위해 2017년도 전라남도 광주의 기온과 난방도일을 활용하여 난방부하를 산출하였다. 난방도일의 기본온도는 18°C로 설정하였고, 1년 동안의 난방도일을 계산하여 식(1)을 통해 1,147 GJ의 총 연간 난방부하를 산출하였다<sup>12)</sup>.

$$Q = P_{specific} \times 24 \times D / 1000 \quad (1)$$

해석대상 유리온실에서 소비하는 총 연간 난방부하는 1,152 GJ이고, 2017년도 전라남도 광주의 기온과 난방도일을 통해 산출된 총 연간 난방부하는 1,147 GJ로 유사한 값을 얻어낼 수 있었다. Fig. 2(a)는 2017년도 전라남도 광주의 기온과 난방도일을 통해 산출된 시간에 따른 난방부하를 나타낸 것이고, Fig. 2(b)는 2017년도 전라남도 광주의 기온과 난방도일을 통해 산출된 월별 난방부하를 나타낸 것이다. 최대 월 난방수요는 12월로 254 GJ이고, 6~9월에 난방수요는 거의 없다.

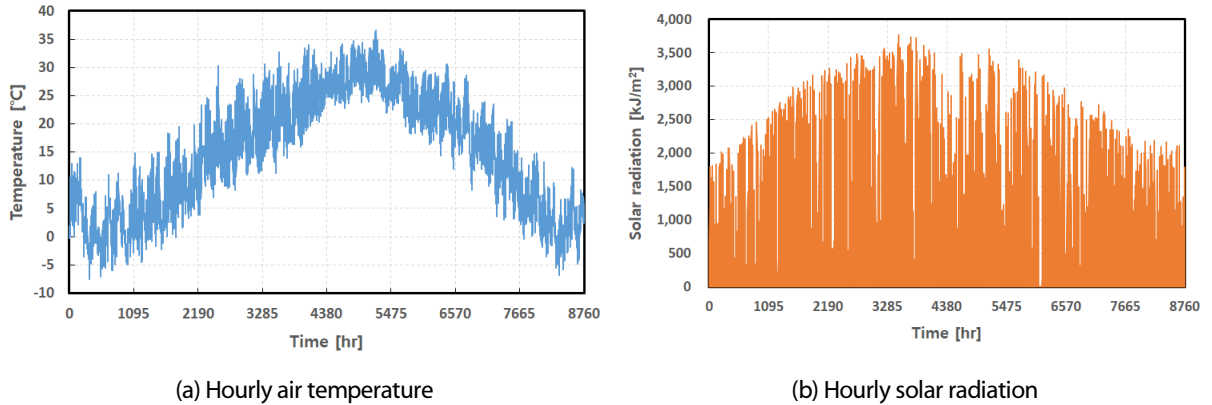


Fig. 1 2017 Weather data in Gwangju

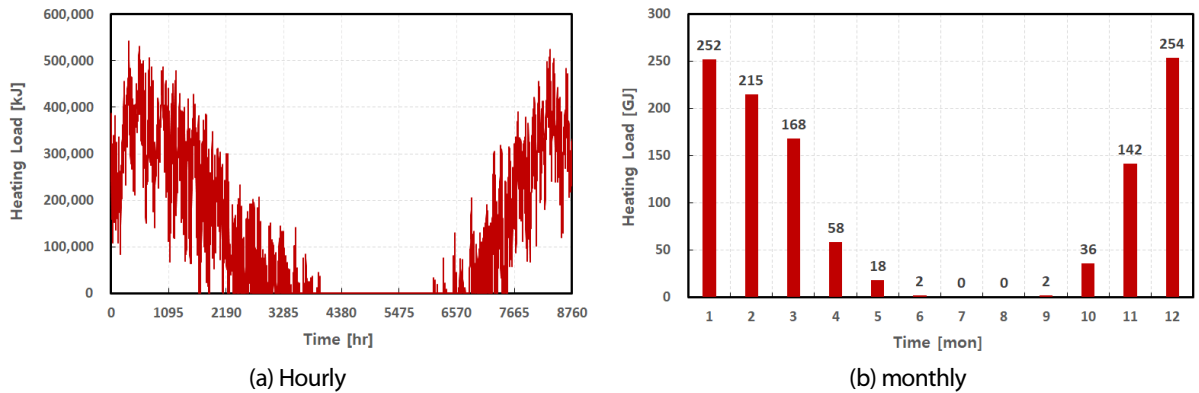


Fig. 2 Calculated heating load

### 3. 시스템 구성

#### 3.1 TRNSYS 모델링

TRNSYS 프로그램은 스웨덴의 Anneberg와 캐나다의 Okotoks에 설치된 BTES 시스템 등 태양열 계간축열 시스템의 동적 성능 예측에 일반적으로 활용되는 프로그램이다<sup>13,14)</sup>. 따라서 본 연구에서는 TRNSYS 16 프로그램을 이용하여 평판형 태양열집열기(Flat plate solar collector), BTES 시스템, 단기 저장 축열조(Short-term storage tank), 보일러(Boiler), 열교환기(Heat exchanger), 펌프(Pump), 제어부(Controller)로 구성된 태양열

계간축열 시스템을 모델링하였다.

Fig. 3은 본 연구에서 제안된 시스템의 단순화된 구성도이고, Fig. 4는 TRNSYS 모듈 구성도이다. 제안된 시스템은 평판형 태양열집열기로부터 태양열을 수집하여 열교환기를 통해 단기 저장 축열조에 저장되도록 하였고, 비난방기의 잉여 태양열은 BTES 시스템으로 이동되어 저장된 후, 난방기에 열이 추출되어 단기 저장 축열조에 저장되도록 하였다. 또한 축열량이 없거나 부족하면 보조열원에서 단기 저장 축열조로 열을 공급하도록 하였다.

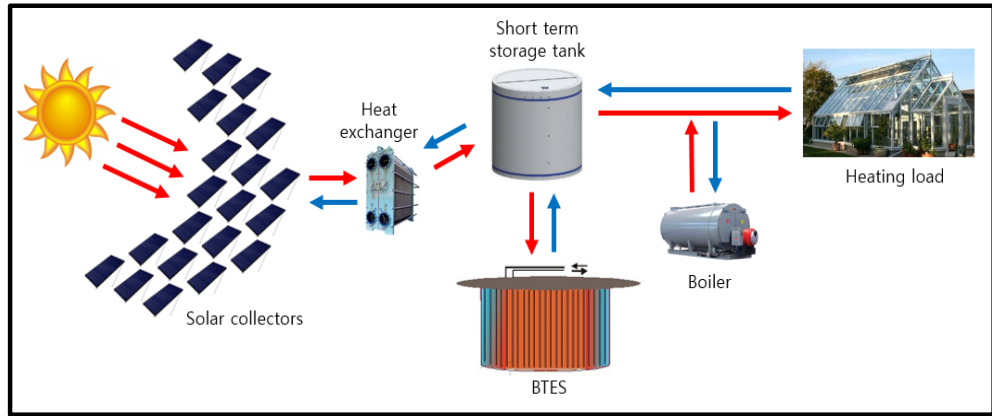


Fig. 3 Simplified system schematic

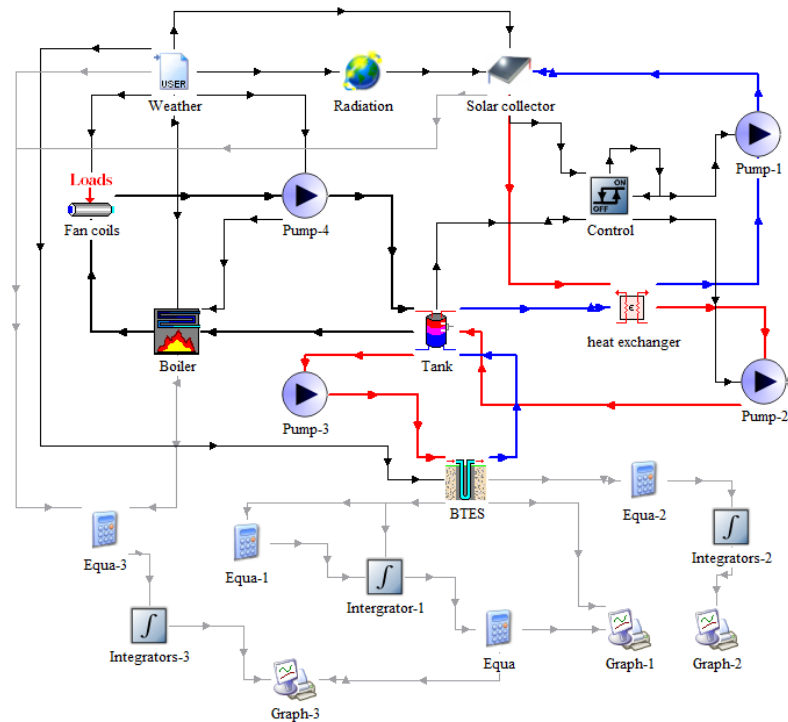


Fig. 4 TRNSYS modelling

### 3.2 시스템 주요 장비

#### (1) 평판형 태양열집열기

평판형 태양열집열기는 Type 1b(Quadratic efficiency collector)를 사용하여 모델링하였고, 남향 45° 표면 기울기를 가지도록 하였다<sup>15)</sup>. 또한 집열 효율식은 SRCC™에서 인증된 Enerworks 社의 식(2)을 사용하였으며, 기타 자세한 제원은 Table 1에 나타내었다<sup>16)</sup>.

$$\eta = 0.762 - 3.2787\left(\frac{T_i - T_a}{G}\right) - 0.0129\left(\frac{T_i - T_a}{G}\right)^2 \quad (2)$$

**Table 1** Type 1b parameter

	Value
Number in series [-]	1
Collector area [m <sup>2</sup> ]	861
Fluid specific heat [kJ/kg·K]	3.6
Tested flow rate [kg/hr·m <sup>2</sup> ]	66.24
Intercept efficiency [-]	0.762
Efficiency slope [kJ/hr·m <sup>2</sup> ·K]	3.2787
Efficiency slope curvature [kJ/hr·m <sup>2</sup> ·K <sup>2</sup> ]	0.0129

#### (2) BTES 시스템

BTES 시스템은 Type 557a (Vertical U-tube ground heat exchanger)를 사용하여 모델링하였고, Borehole 의 Header depth는 1.2 m이고 개수는 25~150개로 선정하였다<sup>17)</sup>. 기타 자세한 제원은 Table 2에 나타내었다. 여기서 Storage thermal conductivity와 Storage heat capacity는 BTES 시스템을 구성하는 지질의 열전도도와 열용량을 말한다.

**Table 2** Type 557a parameter

	Value
Storage volume [m <sup>3</sup> ]	2,625~94,492
Borehole depth [m]	59
Number of boreholes [-]	25~150
Borehole radius [m]	0.1
Storage thermal conductivity [kJ/hr·m·K]	7.2
Storage heat capacity [kJ/m <sup>3</sup> ·K]	2016
Outer radius of U-tube pipe [m]	0.0316
Inner radius of U-tube pipe [m]	0.0255

### (3) 단기 저장 축열조

단기 저장 축열조는 두 개의 유입 및 유출흐름을 허용하는 Type 60f (Vertical cylinder storage tank)를 사용하여 모델링하였고, 자세한 제원은 Table 3에 나타내었다<sup>15)</sup>. 여기서 Height of flow inlet-1과 Height of flow outlet-1은 단기 저장 축열조의 하단부터 BTES 시스템과 연결된 입·출구의 높이이고, Height of flow inlet-2와 Height of flow outlet-2는 단기 저장 축열조의 하단부터 평판형 태양열집열기와 연결된 입·출구의 높이를 말한다. 단기 저장 축열조의 두 개의 입·출구와 내부열교환기는 각각 평판형 태양열집열기, BTES 시스템, 부하 측에 연결되도록 하였다.

**Table 3** Type 60f parameter

	Value
Tank volume [m <sup>3</sup> ]	85.5
Tank height [m]	4.5
Height of flow inlet 1 - BTES loop [m]	3.7
Height of flow outlet 1 - BTES loop [m]	0.3
Height of flow inlet 2 - solar loop [m]	0.3
Height of flow outlet 2 - solar loop [m]	3.7
Tank loss coefficient [kJ/hr·m <sup>2</sup> ·K]	3
Total surface area of heat exchanger [m <sup>2</sup> ]	40
Heat exchanger inside diameter [m]	0.01587
Heat exchanger outside diameter [m]	0.016

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 태양열 계간축열 시스템 성능

Borehole 방식 태양열 계간축열 시스템은 축열을 시작한 후, 약 3~5년 후부터 정상상태의 축열 및 방열이 가능하므로 5년간 시뮬레이션 수행을 통해 Borehole 개수에 따른 제안된 시스템의 성능을 분석하고 비교하였다<sup>6)</sup>.

Table 4는 Borehole 개수에 따른 5년차의 제안된 시스템의 성능 분석 결과를 나타낸 것이다. 지중온도는 깊이, 시간에 따른 지표면의 온도 변화와 대기온도에 의해 영향을 받고, BTES 시스템의 열 손실은 Type 557a에 의해 산출되는 값으로 BTES 시스템의 상단, 하단 및 측면에서의 열 손실의 합계이다.<sup>18)</sup> 또한 BTES 시스템에 주입되고 추출되는 에너지 차이는 BTES 시스템의 열 손실로 인한 것이며, BTES 시스템의 전체 열효율은 식(3)을 통해 계산되어졌다.

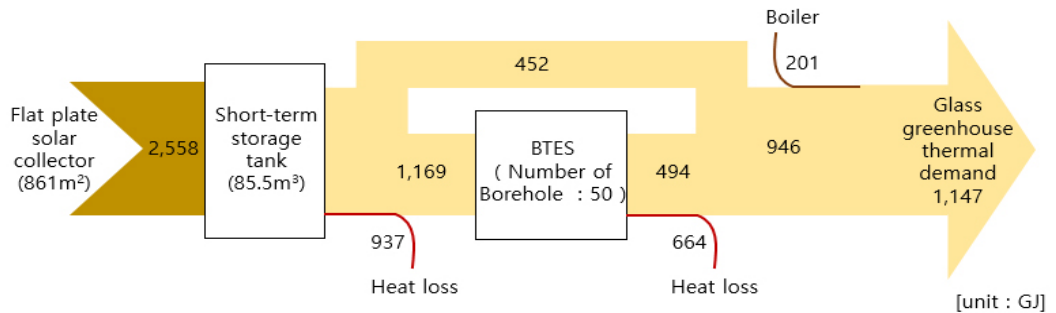
$$\eta_{BTES} = \frac{Q_{extracted}}{Q_{injected}} \times 100 \quad (3)$$

BTES 시스템의 전체 열효율과 태양 의존율은 Borehole 개수가 25개에서 50개로 증가할수록 높아지다가 50 개 이상부터 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 Borehole 개수가 적정 개수 이상이 되면 Borehole 개수에 따른 열손실이 증가하여 낮아지는 것으로 보인다. 따라서 1,147 GJ의 난방부하를 충족시키기 위해서는 BTES 시스템의 전체 열효율과 태양 의존율이 높은 25~50개 사이의 Borehole 개수가 적합함을 확인할 수 있다.

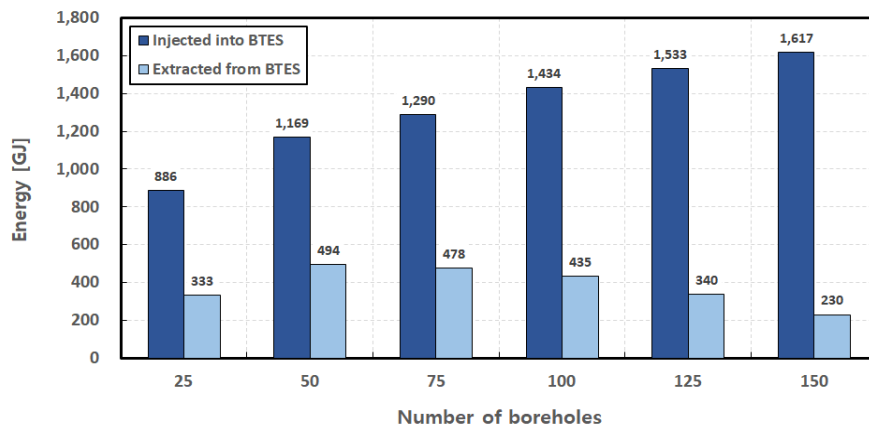
Fig. 5는 Borehole 개수가 50개인 경우, 5년차의 단순화된 열평형도를 나타낸 것이다.

**Table 4** Summary of simulation results in 5th year

Number of boreholes	25	50	75	100	125	150
Glass greenhouse thermal demand [GJ]	1,147	1,147	1,147	1,147	1,147	1,147
Solar energy gain [GJ]	2,327	2,558	2,649	2,690	2,725	2,754
Boiler supplement heat [GJ]	259	201	219	261	348	486
Solar energy extracted from Short-term storage tank [GJ]	556	452	450	451	459	431
Solar energy injected into the BTES [GJ]	886	1,169	1,290	1,434	1,533	1,617
Solar energy extracted from the BTES [GJ]	333	494	478	435	340	230
BTES losses [GJ]	553	664	788	952	1,098	1,227
BTES average temperature at year end [°C]	43.7	47.4	45.9	44.1	41.9	39.8
BTES efficiency [%]	37.5	42.2	37.1	30.3	22.2	14.2
Solar fraction [%]	77.4	82.5	80.9	77.3	69.6	57.6



**Fig. 5** Schematic heat balance for the system with BTES in 5th year



**Fig. 6** Energy injected into and extracted from BTES system in 5th year



Fig. 6은 5년차의 BTES 시스템에 주입되고 추출되는 에너지를 Borehole 개수에 따라 나타낸 것이고, Fig. 7은 5년차의 BTES 시스템의 전체 열효율과 태양 의존율을 Borehole 개수에 따라 나타낸 것이다.

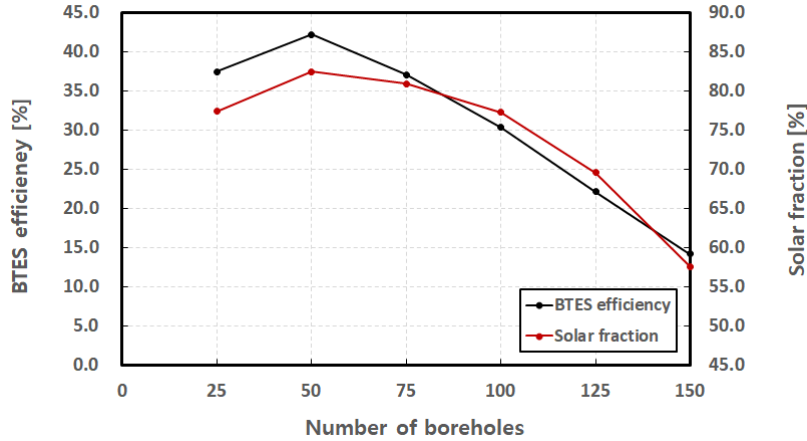


Fig. 7 Heat efficiency of BTES system and solar fraction in 5th year

#### 4.2 태양열 계간축열 시스템 경제성 평가

##### (1) 초기 설치비용

평판형 태양열집열기의 면적, BTES 시스템의 Borehole 개수와 깊이 및 단기 저장 축열조의 체적에 따른 비용을 산정하여 태양열 계간축열 시스템의 초기 설치비용을 Table 5에 나타내었다. 평판형 태양열집열기의 초기 설치비용은 조달청에 제시된 소비자가를 기준으로 제품 및 시공비를 포함하여 단위면적당 503,000원으로 나타내었고, 85.5 m<sup>3</sup> 규모인 단기 저장 축열조의 초기 설치비용은 태양열 관련 업체의 견적을 통해 129,960,000원으로 나타내었다. 또한 BTES 시스템은 2006년 캐나다 Alberta 주 Okotoks에 설치된 DLSC 시스템과 동일한 비용 지수를 사용하여 초기 설치비용을 산출하였고, borehole 개수와 깊이 당 131,080원으로 나타내었다<sup>6)</sup>. BTES 시스템의 경우 국내 설계 및 시공 사례에 대한 체계적인 데이터가 미흡하여 견적을 받기 힘든 실정이므로

Table 5 Initial installation cost

Specification	Value
Collector area [m <sup>2</sup> ]	861
Short-term storage tank volume [m <sup>3</sup> ]	85.5
Borehole depth [m]	59
Number of borehole	25~50
Cost of solar panels [Won/m <sup>2</sup> ]	503,000
Cost of short-term storage tank [Won/m <sup>3</sup> ]	1,520,000
Cost of BTES [Won/m]	131,080
Total initial cost [Won]	756,386,000~949,729,000

외국 사례를 바탕으로 초기 설치비용을 계산하여 다소 높게 측정되었을 수 있다. 태양열 계간축열 시스템의 초기 설치비용을 산정한 결과, Borehole 개수가 25~50개일 때 756,386,000~949,729,000원임을 확인할 수 있다.

(2) 경제성 평가

Borehole 개수가 25~50개일 때 제안된 시스템의 경제성을 평가하고 그 결과를 Table 6에 나타내었다. 제안된 시스템의 난방부하는 1,147 GJ로 33,866 Liter의 경유를 사용하여 연간 난방비용은 37,252,786원이다. 또한 투자비회수기간은 정부가 80%의 보조금을 지급하는 것을 가정하고, 유지보수를 제외한 초기 설치비용과 연간 비용절감을 이용하여 계산하였다. 정상상태의 축열 및 방열이 가능한 5년 이후부터의 투자비회수기간은 Borehole 개수가 25~50개일 때 5.2~6.2년으로 분석되었다. 이는 정상상태의 축열 및 방열이 가능한 5년 이후부터의 투자비회수기간으로 정상상태에 도달하기 전 1~5년까지를 고려할 경우 투자비회수기간이 더 늘어날 수 있다.

**Table 6** Summary of economic evaluation results

Number of boreholes	25	50
Solar fraction [%]	77.4	82.5
Glass greenhouse thermal demand [GJ]	1,147	1,147
Supplement heating load [GJ]	259	201
Annual cost savings [Won]	28,845,290	30,725,739
Initial installation cost [Won]	756,386,000	949,729,000
Payback period [years]	5.2	6.2

5. 결론

본 연구에서는 1,147 GJ의 난방부하를 소비하는 농가의 유리온실에 적용 가능한 Borehole 방식 태양열 계간축열 시스템을 모델링하고 Borehole 개수에 따른 시뮬레이션을 수행하여 성능 분석 및 경제성 평가를 하였다. 시간에 따른 태양열시스템의 동적 성능 예측 및 해석을 위해 TRNSYS 16 프로그램을 이용하였고, 평판형 태양열집열기, BTES 시스템, 단기 저장 축열조, 보일러, 열교환기, 펌프, 제어부로 구성된 태양열 계간축열 시스템을 모델링하였다. 시스템을 구성하는 장비의 변수들로 인한 계산량을 감소시키기 위해 평판형 태양열집열기의 면적을 861 m<sup>2</sup>으로 고정하였고, Borehole 개수가 제안된 시스템의 성능에 미치는 영향만 계산하였다. 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 5년간의 시뮬레이션 수행을 통해 Borehole 개수에 따른 제안된 시스템의 성능을 분석하고 비교하였다. 해석결과, BTES 시스템의 전체 열효율과 태양 의존율은 Borehole 개수가 25개에서 50개로 증가할수록 높아지다가 50개 이상이 되면 BTES 시스템의 열손실로 인해 낮아지는 경향을 나타내었다. 따라서 BTES

시스템의 전체 열효율과 경제성을 고려하여 총 연간 난방수요를 충족시키기 위해서는 25~50개 사이의 Borehole 개수가 적합함을 확인할 수 있다.

- (2) Borehole 개수가 25~50개일 때의 제안된 시스템의 경제성을 초기 설치비용과 연간 비용절감을 이용하여 평가하였다. 유지보수비용을 제외하고 정부가 80%의 보조금을 지급할 경우, 정상상태의 축열 및 방열이 가능한 5년 이후부터 Borehole 개수가 25~50개일 때 투자비회수기간은 5.2~6.2년으로 분석되었다. 이는 정상상태에 도달하기 전 1~5년까지를 고려하여 투자비회수기간을 계산할 경우 더 늘어날 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 기반으로 향후 각 TRNSYS 모듈의 Parameter값과 Input값을 조정함으로써 시뮬레이션의 정확도와 태양열 계간축열 시스템의 성능을 향상시키고, 현장 실증 실험을 수행하여 예측데이터와 실제 측정데이터에 대한 비교를 통해 신뢰성을 검증할 예정이다. 또한 이를 통해 본 연구에서 제안된 시스템이 저비용 및 고효율의 태양열 계간축열 시스템을 설계하고 분석하는데 유용하게 사용되었으면 한다.

## 후기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(315015).

## REFERENCES

1. Kim, D. W., 대체에너지개발촉진법 제정 배경 및 추진방향, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 8, No. 1, pp. 122-126, 1988.
2. Thirugnanasambandam, M., Iniyan, S., and Goic, R., A Review of Solar Thermal Technologies, Renewable and Sustainable Energy Review, Vol. 14, No. 1, pp. 312-322, 2010.
3. Shukla, R., Sumathy, K., Erickson, P., and Gong, J., Recent Advances in the Solar Water Heating Systems: A Review, Renewable and Sustainable Energy Review, Vol. 19, pp. 173-190, 2013.
4. Gao, L., Zhao, J., and Tang, Z., A Review on Borehole Seasonal Solar Thermal Energy Storage, Energy Procedia, Vol. 70, pp. 209-218, 2015.
5. Xu, J., Wang, R. Z., and Li, Y., A Review of Available Technologies for Seasonal Thermal Energy Storage, Solar Energy, Vol. 103, pp. 610-638, 2014.
6. Lee, D. W., 계간 축열시스템, Magazine of the SAREK, Vol. 45, No. 9, pp. 14-21, 2016.
7. Lee, K. S., Underground Thermal Energy Storage, 1st ed., Springer Science & Business Media, 2013.
8. Schmidt, T., Mangold, D., and Müller-Steinhagen, H., Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage in Germany, Solar Energy, Vol. 76, No. 1-3, pp. 165-174, 2004.
9. Hsieh, S., Omu, A., and Orehounig, K., Comparison of Solar Thermal Systems with Storage: From Building to Neighbourhood Scale, Energy and Buildings, Vol. 152, pp. 359-372, 2017.
10. Yoon, H. K., 계간(季間)축열 이용 태양열시스템 기술개발동향, The Magazine of Korean Solar Energy Society, Vol. 5, No. 2, pp. 3-11, 2006.

11. Shim, B. O., International Case Studies on the Eco-friendly Energy Towns with Hybrid Thermal Energy Supply System and Borehole Thermal Energy Storage(BTES), *Economic and Environmental Geology*, Vol. 51, No. 1, pp. 67-76, 2018.
12. Heating Degree Day, 2017, <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3405685&cid=40942&categoryId=32299>
13. Nordell, B. O. and Hellström, G., High Temperature Solar Heated Seasonal Storage System for Low Temperature Heating of Buildings, *Solar Energy*, Vol. 69, No. 6, pp. 511-523, 2000.
14. Sibbitt, B., McClenahan, D., Djebbar, R., Thornton, J., Wong, B., Carriere, J., and Kokko, J., Measured and Simulated Performance of a High Solar Fraction District Heating System with Seasonal Storage, *Proceedings of the ISES Solar World Congress, Kassel*, 2011.
15. TRNSYS, Volume 5 Mathematical Reference, 2007.
16. Rad, F. M., Solar Community Energy and Storage System for Cold Climates, Doctor of Philosophy, Ryerson University, pp. 35-36, 52, 2009.
17. TRNSYS TESS, TYPE557:VERTICAL GROUND HEAT EXCHANGER, 2004.
18. Kim, M. S., Park, C. S., and Park, K. W., Performance Simulation of the Field Site Geothermal System Using TRNSYS, *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Enginners of Korea*, pp. 859-862, 2012.