

제주 태양열 계간 축열단지의 열적 특성에 관한 연구

한 유리¹⁾, 박 윤철²⁾, 천 원기³⁾, 강 옹혁⁴⁾, 이 상남⁵⁾

A Study on the Thermal Characteristics of Cheju Seasonal Installation

Yu-ri Han, Youn Cheol Park, Wongee Chun, Yong Heack Kang, Sang Nam Lee

Key words : Solar(태양열), Seasonal Storage(계간축열), Cheju(제주), Thermal(열적), Performance analysis(성능 평가)

Abstract : An investigation has been carried for the thermal characteristics of the seasonal storage installation in Cheju. It features the solar collector area of 340 m² and the storage capacity of 600m³. Four different types of solar collector systems are compared for their performance of collecting solar energy throughout the year. Of these, two are made of tubular shaped vacuum collectors and the others are flat plate collectors. Results indicate that each system could play an important role in exploiting solar energy depending on the temperature range in its operation. Especially, the vacuum collectors outperformed the others when the inlet temperatures of the collector loop were raised beyond 40°C. This became more conspicuous as the return temperatures from the storage tank rose reflecting the seasonal variation. Due to the large heat capacity of the storage tank, temperature changes were rather small compared to those in the collecting loop regardless of seasonal fluctuations.

subscripts

WTGS : wind turbine generator system
L,R : left, right

-
- 1) 제주대학교
E-mail : hyunmoo@cheju.ac.kr
Tel : (064)754-3626 Fax : (064)787-9276
 - 2) 제주대학교
E-mail : ycpark@cheju.ac.kr
Tel : (064)754-3626 Fax : (064)787-9276
 - 3) 제주대학교
E-mail : wgchun@cheju.ac.kr
Tel : (064)754-3646 Fax : (064)787-9276
 - 4) 한국에너지기술연구원
E-mail : yhkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3518 Fax : (042)860-3739
 - 5) 한국에너지기술연구원
E-mail : snlee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3323 Fax : (042)860-3739

1. 서론

태양열 시스템은 구조가 비교적 단순하지만 열원 에너지를 밀도가 낮은 점, 기상 상황에 따라 집열량이 항

상 변동하고, 온수사용 부하 변동과 에너지 수급 균형을 유지하기 어려운 점등의 결점을 가지고 있다. 그리고 태양열 시스템은 일반 온수 시스템과는 달리 동절기와 하절기의 온도 변화 폭이 매우 커서 그로 인한 수축팽창, 고온에 의한 부식 및 동파 등의 문제점들이 있으며 이들 문제점들을 해결한 태양열 온수급탕시스템을 보급하는 것이 필요하다. 이러한 태양열 온수급탕시스템을 시설재배 중 공간 및 지중난방 시스템에 적용하기 위한 내구성이 확보되어야 한다는 점에서 각 제품의 실증연구 평가가 필요하다. 따라서 본 현장적용 실증연구는 기존 태양열 계간축열 시설이 설치되어 운영중인 제주도 북제주군 애월읍 상귀리에 위치한 제주농업기술원내 시설하우스에서 실증연구를 원하는 각 회사의 중대형 태양열 온수급탕시스템을 설치하여 현장에서 직접 이용하는 공간 및 지중난방 시설원예에 적용하여, 계간축열 시설과 각 태양열 온수급탕시스템의 상호 보완적 실사용에 따른 집열성능, 이용효율, 성능유지 및 운전제어 평가 등을 통해 시스템의 신뢰성과 경제성을 실증하여 온실재배에 태양열을 이용한 공간 및 지중난방시스템의 보급을 촉진하고자 한다.

2. 난방시스템 제작 및 설치

태양열을 이용한 시설원에 난방시스템 구축을 위해서는 필요한 열을 집열 하기위한 태양열시스템을 설치하여야 한다. 그러나 기존에 설치되어 있던 집열기는 고장이 난채로 오랜동안 방치를 한 관계로 그대로 사용하기에는 부적당하였다. 그래서 일단은 이 집열기들을 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 모두 철거하고, 철거한 집열기를 일일이 정밀검사를 하여 사용할 수 있는 것만을 선택 사용하기로 하였다.



Fig. 1 기존 태양열집열기 철거



Fig. 2 기존 태양열집열기 철거

Fig. 3과 Fig. 4는 기존에 있던 사용가능한 평관형 집열기 설치대와 새로 설치하기로 한 이중진공관형 집열기를 설치하기 위한 설치대를 지면에 세운 모양을 보인 것으로 설치각도는 정남향으로 35°의 기울기를 갖도록 만들어 고정하였다. Fig. 5는 (주)코텍이티에스의 이중진공관형 태양열집열기의 설치 모습이며, Fig. 6은 신양에너지(주)의 지붕재형 집열기의 설치 모습이다.



Fig. 3 평관형 집열기 설치대



Fig. 4 이중진공관형 집열기 설치대



Fig. 5 이중진공관형 집열기

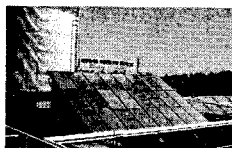


Fig. 6 지붕재형 집열기

태양열에 의해 집열부(태양열집열기)에서 데워진

열매체(물과 부동액 희석)는 열교환기를 통해 축열조로 열을 전달하게 된다. 이 실증단지에서는 대형 축열조(600톤)와 각각의 시스템별로 소형축열조를 설치하였는데, 이 소형축열조는 단기 성능측정을 통해 각각의 시스템에 대한 성능을 분석할때 사용한다. 평소에는 대형축열조로 축열이 되도록 배관회로를 구성하고, 필요한 경우 밸브 조작에 의해 소형축열조로 축열이 되도록 하였다.



Fig. 7 단기성능측정용 소형축열조



Fig. 8 열 이용부 기계실 배관

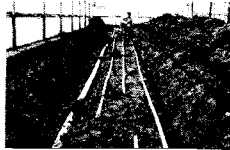


Fig. 9 비닐하우스 지중난방 지관

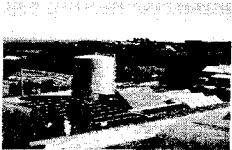


Fig. 10 현장실증 시스템 전체설치전경

Fig. 7은 단기 성능측정용 소형축열조를 보인 것으로 각각의 시스템 집열면적에 따라 축열용량이 다른 축열조를 설치하였다. Fig. 7에서 보이지는 않지만 배관 앞쪽으로는 각각의 시스템 마다 관형열교환기가 설치되어 있는데, 집열기로 순환되는 1차측은 동절기 결빙방지를 위하여 부동액 주입하였고, 2차측에는 대형축열조(또는 소형축열조)의 물로 열교환이 이루어지도록 구성하였다. Fig. 8은 열 이용부 기계실 배관을 보인 것으로, 대형 축열조와 연결되어 있다. 비교적 높은 온도를 필요로 하는 호집란 재배 유리온실에는 베드난방과 공간난방을 하기로 하였다. 공간난방은 축열조의 상단에서 공급되는 온수를 그대로 이용하여도 되지만 베드난방의 경우는 식물과 가까운 곳에서 온도의 변화가 일어나므로써 바로 성장에 지장을 초래할 수 있다. 그러므로 정밀한 온도제어를 위해 3-Way Valve를 통한 비례제어를 도입해 공급온수와 환수를 섞어 베드에 공급되는 온수 온도의 변화를 적게 하였다. 또한 펌프의 장기간 동작에 의한 펌프의 고장을 방지하기 위해 타이머를 부착하여 펌프 2대가 12시간씩 교대로 작동되도록 하였다. 그리고 비닐하우스 지중난방도 베드난방에

서와 마찬가지로 식물 근처에서 온도의 변화가 일어나므로 3-Way Valve를 통한 비례제어로 공급온수의 온도를 제어하게 하였고, 펌프의 동작도 2대의 펌프가 교대로 작동되도록 하였다. 물론 각 배관마다 유량계를 설치하여 공급되는 열량도 측정할 수 있도록 하였다. Fig. 9는 지중에 설치된 난방관의 모습을 보인 것이고, Fig. 10은 태양열 이용 시설원에 난방적용 실증시스템의 전체 설치 전경을 보인 것으로 원통형으로 높이 서있는 것이 대형축열조(600톤)이다.

3. 시스템 성능분석

3.1 시스템 집열 특성분석

시설원에 태양열 난방시스템의 장기성능 분석을 위해서 집열 순환펌프 ON/OFF 제어용 차온제어기 작동온도 조건을 4/2℃로 설정하고 2003. 8 ~ 2004. 10까지 15개월 이상 원격모니터링에 의해 매일 실시간으로 기상데이터, 집열부, 축열부 및 열 이용부를 측정하고 있으며, 이 측정데이터들은 PC에 자동으로 일보와 월보 형태로 저장하였다.

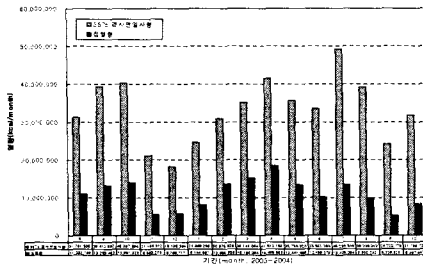


Fig. 11 월별 총 일사량 및 집열량 비교
(전체 집열면적 : 331.28m²)

Fig. 11은 태양열집열기 유형별 월별 집열량 비교를 보여 준다. 태양열집열기 유형별 월별 집열량 분포는 모든 태양열집열기가 월별 일사량에 영향을 받아 같은 경향을 보이고 있으나, 집열량 비교에서는 집열면적이 가장 큰 이중진공관형 태양열집열기가 제일 많음을 알 수 있다. 그러나 각 월별 집열량 분포는 실증을 위한 이용형태와 연계되어 있어 최적 이용부하에 맞춰진 전형적인 집열특성 이라기보다는 실제 실증가동 시스템의 집열량을 보여주는 것이다.

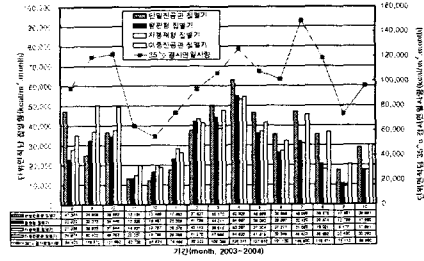


Fig. 12 집열기 유형별 단위면적당 월별일사량 및 집열량 비교

Fig. 12는 전체시스템의 월별 총집열량과 Fig. 13에서는 태양열집열기 유형별 집열단위면적당 월별 집열량 비교를 보여 주고 있다. 각 태양열집열기의 집열면적당 월별 집열량을 비교해 보면 집열량은 일사량과 비례하는 경향을 보이나, 집열기 입구온도가 낮은 동절기에는 지붕채형 태양열집열기 집열량이 많으나 집열기 입구온도가 높은 달에는 진공관형 태양열집열기의 집열량이 높음을 알 수 있다.

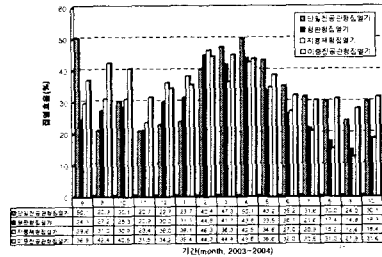


fig. 13 월별 집열기 유형별 집열효율 비교

3.2 시스템 효율 및 이용분석

대형축열조를 사용한 시설원에 태양열 난방시스템의 월별 축열조 온수온도, 집열효율 및 시스템효율의 변화를 Fig. 14에서 알 수 있다. Fig. 14에서 알 수 있듯이 대형축열조 사용에 따른 시스템 효율변화가 기존 설비형 태양열온수급탕시스템과는 다름을 확인할 수 있다.

기존 설비형 태양열온수급탕시스템의 월별 시스템 효율 변화는 일사량과 외기온의 경향과 일치하나 대형축열조를 사용한 시설원에 태양열 난방시스템의 월별 시스템 효율 변화는 축열조 온도에 반비례하는 특성으로 나타난다. 즉, 일사량과 이용형태에 따라 효율의 변화가 일어남을

알 수 있다.

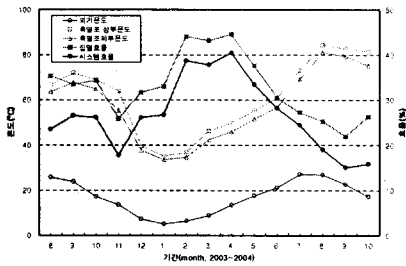


Fig. 14 월별 외기온도, 축열조상, 하부온도, 집열효율, 시스템효율 비교

시스템 집열특성에서 분석한 바와 같이 축열조 온수온도와 집열 및 시스템 효율은 반비례하는 경향을 보여 주고 있다. 축열조 온수온도가 40°C내외에서 집열 및 시스템 효율이 40% 이상을 나타내고, 축열조 온수온도가 80°C 이상에서는 시스템 효율이 20% 이하를 나타내었다. 특히 축열조 온수온도가 80°C 이상에서는 집열효율과 시스템 효율과의 간격이 벌어지기 시작하는데, 온도 상승에 따른 배관 및 축열조 열손실이 많아짐을 의미한다.

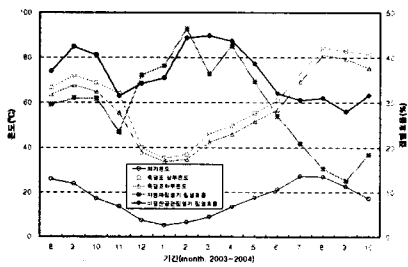


Fig. 15 월별 외기온도, 축열조상, 하부온도, 집열기유형별 집열효율 비교

Fig. 15에서는 실증대상인 지붕재형 태양열집열기와 이중진공관형 태양열집열기의 월별 축열조 온도 변화에 따른 집열효율 변화를 보여주고 있다. 대형축열조를 사용하는 특성상 두 태양열집열기의 효율은 축열조 온수온도와 반비례하는 경향을 보이고 있다. 앞에서 분석한 바와 같이 축열조 온수온도가 40°C이하인 경우 지붕재형 태양열집열기가 이중진공관형 태양열집열기 보다 집열효율이 높지만, 축열조 온수온도가 60°C

이상인 경우 이중진공관형 태양열집열기가 지붕재형 태양열집열기 보다 집열효율이 높음을 알 수 있다. 특히 축열조 온수온도가 70°C 이상인 경우 지붕재형 태양열집열기는 집열효율이 20% 이하로 떨어지는 반면 이중진공관형 태양열집열기는 30%내외를 유지하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

이중진공관형 태양열집열기는 온도차 보다는 설정온도에 따른 영향이 크며, 지붕재형 태양열집열기는 설정온도가 낮은 경우에만 진공관형 태양열집열기 보다 집열량이 낮으며, 설정온도가 높고 온도차가 큰 경우 집열량 획득이 제일 유리한 것을 알 수 있었다. 이중진공관형 태양열집열기는 집열기 입구 온도 상승에 따른 집열효율 하락폭이 지붕재형 태양열집열기 보다 적으며, 집열기 입구온도가 외기온과 비슷하게 낮은 경우 오히려 평판형 태양열집열기의 집열효율이 진공관형 태양열집열기 보다 높은 특성을 보여 주었다. 종합적으로, 4가지 유형별 태양열집열기의 차온제어기 작동온도 조건을 모두 4/2°C로 설정한 상태에서 1년 연중 이 집열기들로 부터 집열된 태양열을 대형축열조에 저장하는 시설원에 태양열 난방시스템의 실증시험 15개월간 총 집열량은 165,575,704kcal로서 년 평균 집열효율은 33.3% 이었고, 총축열량은 135,184,939kcal로서 년 평균 27.2%의 시스템 효율을 나타내었다. 또한 용량이 600톤인 대형축열조의 최고온도는 월평균 84.4°C까지 도달하였고, 실증을 위해 공급된 열량은 65,185,701kcal로서 55.2%의 이용율을 나타내었다.

References

- [1] 강용혁 등, 태양열 온수 급탕 시스템 성능 표준화, 한국에너지기술연구원, KIER-991423, 1999.
- [2] 윤형기, 이상남 등, 농어촌지역의 집단에너지공급을 위한 계간축열 기술개발 및 실용화, 1996N-S001-P-01, 1999.
- [3] 백남춘 등, 태양열시스템 최적화와 신뢰성 향상을 위한 설계 및 성능기준 개발과 실증 시험 연구, 한국에너지기술연구원, KIER-A24512, 2003.