

태양열 시설원에 난방시스템 장기실증 성능분석 연구

이 상남¹⁾, 강 용혁²⁾, 유 창균³⁾, 김 진수⁴⁾

Study on the performance analysis of long-term field test for protected horticulture heating system using solar thermal energy

Sang-Nam Lee, Yong-Heack Kang, Chang-Kyun Yu, Jin-Soo Kim

Key words : Solar thermal space and ground heating system(태양열 공간 및 지중 난방시스템), Solar hot water system(태양열 온수시스템), a greenhouse culture facility(온실재배 시설),

Abstract : Objective of the research is to demonstrate solar thermal space and ground heating system which is integrated to a greenhouse culture facility for reducing heating cost, increasing the value of product by environment control, and developing advanced culture technology by deploying solar thermal system.

Field test for the demonstration was carried out in horticulture complex in Jeju Island. Medium scale solar hot water system was installed in a ground heating culture facility. Reliability and economic aspect of the system which was operated complementary with thermal storage and solar hot water generation were analyzed by investigating collector efficiency, operation performance, and control features.

Short term day test on element performance and Long term test of the whole system were carried out. Optimum operating condition and its characteristics were closely investigated by changing the control condition based on the temperature difference which is the most important operating parameter.

For establishing more reliable and optimal design data regarding system scale and operation condition, continuous operation and monitoring on the system need to be further carried out. However, it is expected that, in high-insolation areas where large-scale ground storage is adaptable, solar system demonstrated in the research could be economically competitive and promisingly disseminate over various application areas.

1. 서론

우리나라 시설원예 재배면적은 44,000ha이며, 이중 21%인 9,200ha가 난방시설에 의한 재배가 이루어지고 있다. 일본이 51,000ha인 점을 감안하면 국민 1인당 온실면적은 세계최고의 수준이라고 생각된다. 이렇게 재배면적이 급격히 늘어난 것은 벼농사보다 상대적으로 소득이 높은 화훼 시설채소 등으로 작목전환과 정부의 시설농업 지원정책에 기인한 것이라 볼 수 있다.

그동안 보급되고 있는 원예시설은 농산물의 개화화를 대비 고품질 생산과 자동화 등에 치중하여 왔고 상대적으로 난방비 상승에 대비한 시설농업을 소홀히 하여온 면이 없지 않았다. 따라서 최근의 유가상승으로 겨울철에 호온성 작물을 재배하는 난방 부하가 상대적으로 큰 중부지역에서 난방 에너지 효율이 낮아 겨울에 어려움을 겪는다. 장기적으로 유가는 지속적으로 상승하게 되어 난방

비의 비중은 점차 높아질 것으로 예상된다. 또한 Green Round에 의한 환경규제 강화 등 대내외적으로 화석 에너지에 대한 사용의 어려움이 가중되고 있는 시기에 시설원예에 대한 난방비 절감방법을 모색하고 태양열에너지를 농업적으로 이용할 수 있는 연구는 시급한 과제이다.

그러나 태양열 시스템은 열원 에너지 밀도가 낮은 점, 기상 상황에 따라 집열량이 항상 변동하

-
- 1) 한국에너지기술연구원
E-mail : snlee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3223 Fax : (042)860-3739
 - 2) 한국에너지기술연구원
E-mail : yhkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3500 Fax : (042)860-3739
 - 3) 한국에너지기술연구원
E-mail : ckyu@kier.re.kr
Tel : (042)860-3515 Fax : (042)860-3739
 - 4) 한국에너지기술연구원
E-mail : jskim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3549 Fax : (042)860-3739

고 온수 사용부하 변동과 에너지 수급 균형을 유지하기 어려운 점 등의 결점을 가지고 있다. 그리고 중대형 태양열 온수급탕시스템은 일반 온수급탕시스템과는 달리 동절기와 하절기의 온도 변화 폭이 매우 커서 그로 인한 내구성 및 운전의 문제점들이 있으며 이들 문제점들을 해결한 태양열 온수급탕시스템을 보급하는 것이 필요하다. 이러한 태양열 온수급탕 시스템을 시설원의 난방에 적용하기 위한 최적설계기술이 확보되어야 한다는 점에서 각 제품의 실증연구 평가가 필요하다.

선진국들은 신재생에너지 분야에 대해 “70년 대부터 중장기 계획을 수립하여 기술개발을 추진하여 왔으며, 기술개발 성과를 실용화하여 국내에서의 보급확진 뿐만 아니라 개발도상국의 시장을 개척하기 위한 다양한 지원 정책을 시행하고 있다. 일본의 경우 통상성의 지원과 NEDO의 주도하에 대규모 태양열시스템의 실증연구가 수행되고 있으며, 유럽의 경우에도 국가별로 수행된 요소 기술개발을 실용화하기 위하여 ENEL의 joint research center 등에서 EC 공동으로 효율적인 실증 시험을 추진하고 있다.

본 연구는 기존 태양열 계간축열 시설이 설치되어 운영중인 제주도 북제주군 상귀리에 위치한 농업기술원에 4가지 태양열집열기로 중대형 태양열 온수급탕시스템을 구성·설치하여 시설원에 난방에 적용하여, 계간축열시설과 각 태양열온수급탕시스템의 상호보완적 실사용에 따른 집열성능, 이용효율, 성능유지 및 운전제어 등 장기성능 평가를 수행하여 시설원의 태양열 공간 및 지중 난방시스템의 최적 설계 및 운전조건을 확보 하고자 한다.

2. 실증실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

현장 실증실험용 “태양열이용 시설원에 난방 실증시스템”은 태양열을 난방부하가 없는 기간에도 1년 연중 온수로 집열하여 대형축열조에 저장하였다가 난방부하가 발생하는 계절에 이 저장온수로 시설하우스에 난방을 할 수 있도록 설계하였다. Fig. 1과 같이 4가지 유형의 태양열 집열기를 배열한 집열부, 대형축열조 1기와 소형축열조 4기로 구성된 축열부, 동절기에 유리온실 1동 공간 및 베드난방과 비닐하우스 2동에 지중난방을 실시할 수 있는 열 이용부로 설계하였다.

집열부는 이중진공관형 집열기 150m²(사양 : 2,080 × 1,640 × ODφ47(IDφ37) × 18Pipe, 집열면적 : 3.0m²/Module × 50Modules), 지붕재형 집열기 55.68m²(사양 : 2,090 × 1,175, 집열면적 : 2.32m²/Module × 24Modules), 평판형 집열기 69.6m²(사양 : 2,090 × 1,175, 집열면적 : 2.32m²/Module × 30Modules), 단일진공관형 집열기 56m²(사양 : 1,960 × 2,110 × φ125 × 16Pipe, 집열면적 : 2.8m²/Module × 20Modules) 등 4가지 유형의 집열기를 정남향 35°경사로 설치하였으며, 총 집열면적은 331.28m²이다.

축열부는 4가지 유형별 태양열 집열기의 단기 성능측정용 소형축열조 4기와 열 이용부 난방공급용 온수저장을 위한 대형축열조 1기로 구성하였으며, 사양은 다음과 같다.

1) 이중진공관형 집열기용 소형축열조 : 8TON
(규격 : 1,920H × ODφ2,520, 재질 : 내열, 내산 F.R.P(10mm), 단열재 : 우레탄(50mm), 열교환기 유형 : 판형, 용량 : 150,000Kcal/Hr, 50A)

2) 지붕재형, 평판형, 단일진공관형 집열기용 소형축열조 : 각각 3TON
(규격 : 1,820H × ODφ1,620, 재질 : 내열, 내산 F.R.P(10mm), 단열재 : 우레탄(50mm), 열교환기 유형 : 판형, 용량 : 50,000Kcal/Hr, 40A)

3) 장기 온수저장용 대형축열조 : 600TON
(규격 : 12,000H × ODφ8,500, 재질 : STS304, 단열재 : 폴리우레탄 폼(200mm))

열 이용부는 태양열 분담율을 높일 수 있도록 열 수요처의 열부하 특성을 고려하여 호접란(고온식물) 재배 유리온실 1동(면적 : 200평)의 공간난방 및 국부 베드난방, 국화 및 제주백향 재배용 비닐하우스 2동(면적 : 각 100평)은 저온의 온수로 난방이 가능한 지중난방을 실시할 수 있도록 설계하였다.

유리온실의 공간난방을 목적으로 열원설비인 Unit Heater(용량 : 100,000Kcal/Hr) 2대를 병렬로 연결·배치하고, 저면관수시스템인 호접란 베드난방(난방면적 : 100평)을 위해서 Aero Fin Tube(재질 : Copper)를 직렬로 11개의 베드위에 배열시켰다. 공간난방은 대형축열조 온수를 Unit Heater 2대에 직접 공급하여 난방하는 축열조 원수 직접공급방식을 사용하였고, 베드난방은 온수 공급온도 설정에 따라 축열조 원수와 환수를 3-Way Valve에서 혼합하여 공급하는 비례제어방식을 사용하였다. 그리고 2동의 비닐하우스에는 지중난방을 공급할 수 있도록 X-L 파이프(φ15)를 깊이 400mm 지중에 매설하였으며, 난방방식은 베드난방과 같은 비례제어방식으로 설계하였다. 자동제어함은 집열 및 축열, 대형축열조의 축열온수 이용을 목적으로 2개로 분리하여 설계·제작하였다. 성능측정을 위한 각 부위의 온도측정용 RTD(pt1000Ω) 46Points, 기기류 제어용 RTD(pt100Ω) 5Points, 차온제어기 제어용 반도체 센서 12Points를 설치하였다.

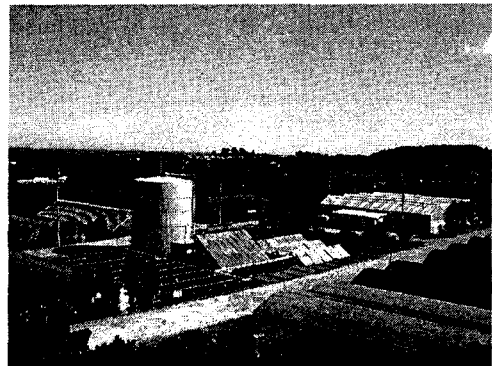


Fig. 1 현장 실증실험용 태양열이용 시설원에 난방 실증시스템 설치 전경

2.2 실험방법

현장 실증실험용 태양열 시설원에 난방시스템은 4종류의 태양열집열기가 각각의 집열특성에 따라 별도의 차온제어기에 의해 독립적으로 집열 순

환풍도가 구동되도록 되어있다. 이 실증시스템의 장기성능 분석을 위한 집열, 축열, 열 이용 등에 관한 각종 운전데이터를 2003. 8 ~ 2004. 10(15개월)까지 실제로 운전하면서 측정하였는데, 차온제어기 제어조건은 모두 4/2℃로 동일하게 설정하고 태양열을 집열하였다. 그리고 집열되어 대형축열조에 저장된 고온수는 유리온실 1동의 공간난방(200평-22℃ 유지) 및 베드난방(100평-26℃ 유지), 비닐하우스 2동의 지중난방(각 100평-22℃ 유지) 열원으로 사용하였다. 이때 태양열 이용을 극대화를 위해서 공간난방 열원의 온도는 약 40℃까지 사용하였고, 지중난방 열원은 40℃ 이하의 저온열원을 이용하였다.

현장 실증시스템의 자동제어는 시스템 운전상태 원격지 감시시스템(Monitoring System)과 데이터 취득시스템(Data Acquisition System)으로 구성되어 있다. 운전 상태 원격지 감시시스템(Monitoring System)은 제주도에서 설치된 태양열 온수시스템의 운전 상태를 제주도 현지에서는 물론 대전에 있는 한국에너지기술연구원에서 원격으로 감시하기 위한 것이고, 데이터 취득시스템(Data Acquisition System)은 실증시스템의 동작 상태 분석을 위하여 시스템에 설치되어 있는 각종 센서로부터 계속되는 시스템의 운전 정보를 취득하고 저장하기 위한 시스템이다. 이것의 구성은 PC, 데이터로거, 디지털입출력보드, 원격 통신용 모듈, 소프트웨어로 되어 있다. 실증시스템의 운전상태는 데이터로거 6대(Fluke사 NetDAQ)를 사용하여 측정하는 57개의 정보와 디지털입출력보드를 사용하여 측정하는 18개의 펌프 및 모터 기동 정보 등이 수집되고, 이 수집된 시스템 운전 정보는 LAN을 통하여 24시간 PC로 입력된다. 이 측정데이터들은 정확도를 위하여 10분 평균값, 즉 10초 간격으로 60개의 데이터를 평균하여 대표값으로 저장되어지며, 이 값을 이용하여 장기성능 분석을 실시하였다.

3. 결과분석

3.1 시스템 집열 특성 분석

태양열 시설원에 난방시스템의 장기성능 분석을 위해서 집열 순환펌프 ON/OFF 제어용 차온제어기 작동온도 조건을 4/2℃로 설정하고 원격모니터링에 의해 매일 실시간으로 기상데이터, 집열부, 축열부 및 열 이용부를 측정하였다. 이 측정데이터들은 PC에 자동으로 일보와 월보 형태로 저장되어지고 이를 이용하여 장기실증 성능을 분석하였다.

Fig. 2는 장기간 측정된 전체시스템의 월별 총 일사량 및 집열량이고, Fig. 3은 집열기 유형별 집열량 분포를 나타내는 그래프이다. 각 집열기 유형별 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 실증 자동 시스템의 집열량을 보여주는 것이다.

그리고 Fig. 4는 집열단위면적당 월별 집열량 비교를 보여 주고 있다. 각 태양열집열기의 집열면적당 월별 집열량을 비교해 보면 집열량은 일사량과 비례하는 경향을 보이나, 집열기 입구온도가 낮은 동절기에는 지붕재형 태양열집열기 집열량이 많으나 집열기 입구온도가 높은 달에는 진공관형 태양열집열기의 집열량이 높음을 알 수 있다. 장기간 측정결과 각 태양열집열기의 집열단위면적당 집열량을 결정짓는 인자는 일사량과 집열기 입구온도에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

또한 태양열집열기 유형별 집열단위면적당 월별 집열효율은 Fig. 5와 같고, 2003년 8, 9, 10월과 2004년 8, 9, 10월의 집열효율을 비교해 보면 진공관형 태양열집열기가 지붕재형이나 평판형 태양열집열기 보다 높으나 2004년도도 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 이것은 축열조 축열온도, 즉 집열기 입구온도와 난방적용 시기와 관계가 깊다. 2003년도에는 축열을 하면서 바로 난방을 하기 시작하여 집열기 입구온도가 낮아지기 시작하였고, 2004년도에는 난방을 하지 않아 축열조 온도가 80℃이상까지 상승하고 있었기 때문이다. 그리고 축열조 온도가 80℃이상인 2004년 8월부터는 이중진공관형 태양열집열기가 집열효율이 가장 높게 나타나 높은 온도에서 집열 할 때 열손실이 가장 적은 특성을 확실히 보여 주고 있다. 2003년 12월부터 2004년 2월까지의 동절기임에도 불구하고 지붕재형 태양열집열기가 타 태양열집열기 보다 집열효율이 높음을 알 수 있다. 이것은 계속된 난방으로 축열조 온도가 내려가 집열기 입구온도도 같이 낮아진데 기인하며, 지붕재형 태양열집열기 특성이 집열기 입구온도가 낮은 경우 집열효율이 높다는 것을 보여주고 있다.

현장 실증실험용 태양열 시설원에 난방시스템의 장기성능을 측정된 결과, 2003년도에는 축열과 동시에 난방을 시작하여 600톤의 대형축열조 온수 온도가 최고 74℃까지 상승하였고, 2004년도 8월에는 최고 84℃까지 도달하였다. 그리고 열의 수요와 공급의 불일치하는 태양에너지보다 효과적으로 이용하기 위해서 계간축열조(대형축열조)에 열을 저장하였다가 동절기 난방부하 발생시 열공급을 하는 본 실증시스템의 15개월 동안 총집열량은 165,576Mcal로서 년 평균 집열효율은 33.3%이었고, 총축열량은 135,185Mcal로서 년 평균 27.2%의 시스템효율을 나타내었다.

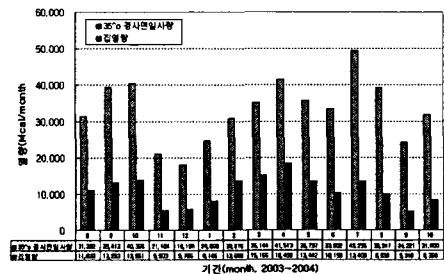


Fig. 2 월별 총 일사량 및 전체 집열량 분포 (전체 집열면적: 331.28m²)

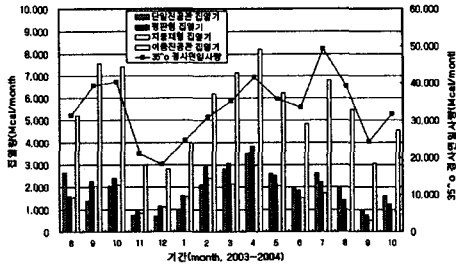


Fig. 3 집열기 유형별 집열량 및 일사량 분포 (단일진공관형:56m², 평판형:69.6m², 지붕형:55.68m², 이중진공관형:150m²)

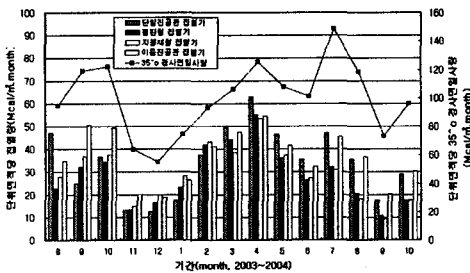


Fig. 4 월별 집열기 유형별 단위면적당 집열량 및 일사량 분포

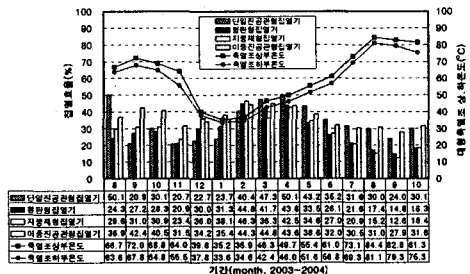


Fig. 5 월별 집열기 유형별 집열효율 비교

3.2 시스템 효율 및 이용 분석

대형축열조를 사용한 태양열 시설원에 난방시스템의 월별 축열조 온수온도, 집열효율 및 시스템효율의 변화는 Fig. 6과 같이 나타났다. 그림에서 알 수 있듯이 대형축열조 사용에 따른 시스템 효율 변화가 기존 설비형 태양열 온수급탕시스템과는 다름을 확인할 수 있다. 기존 설비형 태양열 온수급탕시스템의 월별 시스템효율 변화는 일사량과 외기온의 경향과 일치하지만, 대형축열조를 사용한 태양열 시설원에 난방시스템의 월별 시스템효율 변화는 축열조 온도에 반비례하는 특성으로 나타난다. 즉, 일사량과 이용형태에 따라 효율의 변화가 일어남을 알 수 있다. 시스템 집열특성에서 분석한 바와 같이 대형축열조 온수온도와 집열 및 시스템효율은 반비례하는 경향을 보여 주고 있다. 대형축열조 온수온도가 40℃내외에서 집열 및

시스템효율이 40%이상을 나타내고, 대형축열조 온수온도가 80℃이상에서는 시스템효율이 20%이하를 나타내었다. 특히 대형축열조 온수온도가 80℃ 이상에서는 집열효율과 시스템효율과의 간격이 벌어지기 시작하는데, 온도 상승에 따른 배관 및 축열조 열손실이 많아짐을 의미한다.

월별 집열량과 집열소비동력의 비교 변화는 Fig. 7과 같으며, 그림에서 알 수 있듯이 집열량이 증가하면 집열소비동력도 증가함을 알 수 있다. 이는 집열소비동력이 집열효율과 비례관계로 연계되어 있음을 보여준다.

실증연구를 수행하면서 실제 적용된 난방은 유리온실 공간난방 및 베드난방, 비닐하우스 지중난방 등이다. Fig. 8은 유리온실 공간난방과 비닐하우스 지중난방에 공급된 월별 공급량을 보여준다. 축열조 온수온도가 40℃이상일 때는 유리온실 공간난방에 온수를 공급하고 온수온도가 낮아져 40℃이하가 되었을 때 유리온실 공간난방을 중단하고 동절기에 비닐하우스 지중난방을 시작하여 일사량이 좋아진 3월 이후 온수온도가 40℃ 이상 되었을 때 다시 유리온실 공간난방을 하였다. 난방에 투입된 패턴에 따라 축열조 온수온도가 변화되고 이 변화에 따라 열 이용처를 선택하는 운전방식은 이용량을 최대로 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

실제 적용된 유리온실 공간난방 및 베드난방, 비닐하우스 지중난방의 월별 총 공급량은 Fig. 9와 같고, 장기성능 측정기간 동안 열 이용부에 공급한 열량은 65,185Mcal로서 55.2%의 이용율을 나타냈다. 그리고 200평 규모의 유리온실 총 난방부하(123,993Mcal) 대비 태양의존율은 39.2%(공급량:48,597 Mcal)이었고, 태양열이 공급한 총 난방공급열량(공간+베드+지중난방)을 유리온실 총 열부하와 비교한 실증시스템의 태양의존율은 52.6%로 나타났다. 이때 유리온실 공간난방 공급량(48,597Mcal)이 이용량의 많은 부분을 차지하고 있지만, Fig. 10에서 보듯이 실제 난방부하에 축열조 온수온도가 조건(40℃ 이상)이 되지 않아서 공급을 못하는 상황이 발생하였다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 전체 이용 측면에서는 이용율을 높일 수 있으나, 단위 개별난방의 부하를 만족시키기 위해서는 대형축열조 축열용량과 온수온도에 따른 최적이용을 위한 운전조건을 고려하여야 한다.

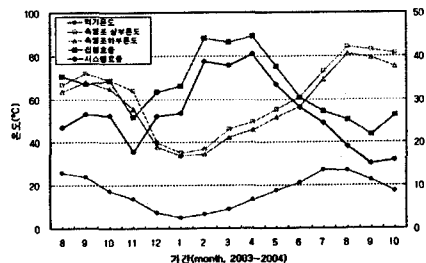


Fig. 6 월별 외기온도, 축열조상.하온도, 집열효율, 시스템효율 비교

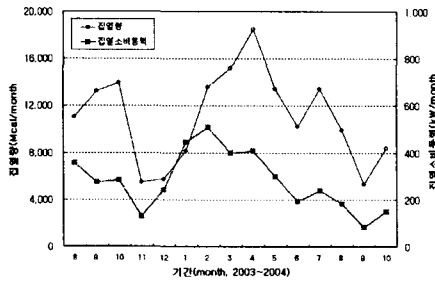


Fig. 7 월별 집열량 및 집열소비동력 비교

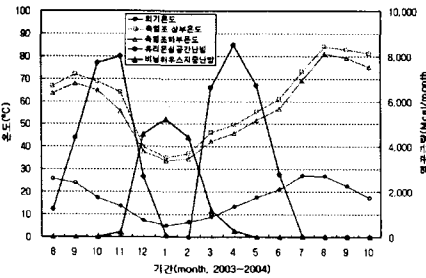


Fig. 8 월별 축열조온도 및 난방공급열량 비교

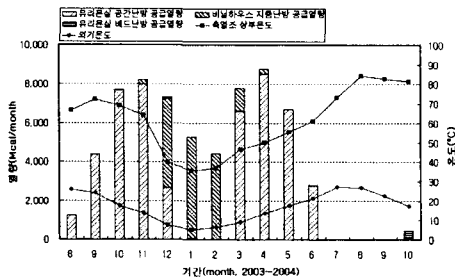


Fig. 9 월별 수요처에 따른 난방공급열량 비교

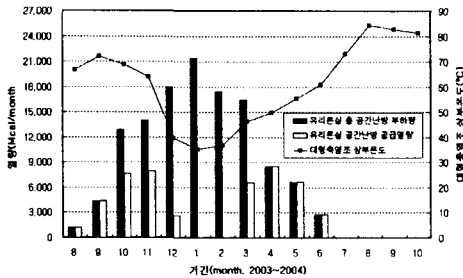


Fig. 10 월별 유리온실 공간난방부하 대비 공간 난방 공급열량 비교

4. 결론

태양열 계간축열 개념의 대형축열조와 4종류의 태양열 집열기로 구성된 현장 실증실험용 태양열 시설원에 난방시스템을 제주농업기술원에 설치하고, 시

설하우스의 공간 및 지중 난방열을 공급하는 실사용에 따른 집열성능, 이용효율, 성능유지 및 운전제어 등 15개월 동안 장기성능 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 태양열집열기 유형별 집열 특징은 집열기 입구온도가 낮은 동절기에는 지붕재형 태양열집열기의 집열량이 많았고, 집열기 입구온도가 높은 달에는 진공관형 태양열집열기의 집열량이 많았다.

(2) 기존 설비형 태양열온수급탕시스템의 월별 시스템효율 변화는 일사량과 외기온의 경향과 일치하지만, 대형축열조를 사용한 태양열 시설원에 난방시스템의 월별 시스템효율 변화는 축열조 온도에 반비례하는 특성으로 나타났다.

(3) 대형축열조 온도가 40°C 근처에서 집열 및 시스템 효율은 40% 정도이며, 80°C 이상에서는 많은 열손실로 인하여 20% 이하로 낮게 나타났다.

(4) 계간축열 개념으로 설계된 현장 실증실험 장치의 15개월 동안 총집열량은 165,576kcal(년 평균 집열효율: 33.3%), 총축열량은 135,185kcal(년 평균 시스템효율: 27.2%)로 나타났다.

(5) 실증을 위해 공급된 열량은 총 65,186kcal로서 55.2%의 이용율을 나타냈고, 200평 유리온실 총 난방부하(123,993kcal) 대비 태양의존율은 39.2%(공급량:48,597kcal), 태양열시스템이 공급한 총 난방공급량(공간+베드+지중난방)을 유리온실 총 열부하와 비교한 태양의존율은 52.6%로 나타났다.

(6) 대형축열조(600톤) 온수온도는 2004년도 8월에 최고 84°C까지 도달하였다.

후기

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : 2002-N-S011-P-01)

References

[1] 강용혁 등, "태양열 온수 급탕 시스템 성능 표준화", 한국에너지기술연구소, KIER-991423, 1999.
 [2] 윤형기, 이상남 등, "농어촌지역의 집단에너지공급을 위한 계간축열 기술개발 및 실용화", 1996N-S001-P-01, 1999.
 [3] John A. Duffie, 1980, "Solar Engineering of thermal processes",
 [4] Michael B. Eberlein, 1975, "Analysis and performance predictions of evacuated tubular solar collectors using air as the working fluid"
 [5] 백남춘 등, "태양열시스템 최적화와 신뢰성 향상을 위한 설계 및 성능기준 개발과 실증 시험 연구", 한국에너지기술연구원, KIER-A24512, 2003.