

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 3, 2006

태양열 시설원에 난방시스템의 장기성능 특성 분석 연구

이상남*, 강용혁*

*한국에너지기술연구원 (snlee@kier.re.kr, yhkang@kier.re.kr)

Study on long-term performance characteristics of various solar thermal system for heating protected horticulture system

Lee, Sang-Nam*, Kang, Yong-Heack*

*Korea Institute of Energy Research (snlee@kier.re.kr, yhkang@kier.re.kr)

Abstract

The objective of this research is to study on the analysis of long-term performance characteristics of various solar thermal system for heating protected horticulture system for reducing heating cost, increasing the value of product by environment control, and developing advanced culture technology by deploying solar thermal system.

Long term field test for the demonstration was carried out in horticulture complex in Jeju Island. 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.

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. 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.

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

접수일자:2006년 4월 4일, 심사완료일자:2006년 9월 19일

1. 서 론

21세기는 식량부족의 시대가 되어 다시 농업이 각광을 받는 시대가 올 것으로 예측된다. 이것은 인접국에 있는 중국, 아시아지역 및 개발도상국을 중심으로 인구의 증가가 빠른 속도로 진전되고, 더욱이 지구환경의 악화로 인한 이상갈수 등으로 작물이 생각했던 만큼의 생산이 되고 있지 못하고 있다. 과거에는 자연에너지 이용을 중심으로 한 년 중 농업이 불가능하다고 생각되었는데, 태양열시스템을 이용한 온실재배의 도입으로 가능해 지고 있다.

4계절이 뚜렷한 우리나라는 노지에서서의 원예작물 재배는 늦봄에서 초가을에 걸쳐서만 가능하고, 그 밖의 계절에는 거의 불가능하다. 최근 소득수준의 향상과 더불어 신선한 원예작물에 대한 수요는 어느 특정 계절에만 국한되는 것이 아니라 1년 내내 지속되기 때문에 계절에 구애받지 않고 원예작물을 생산할 수 있는 시설원예가 발전하게 되었다.

태양열시스템은 열원 에너지 밀도가 낮고, 기상 상황에 따라 집열량 변화가 심하여 온수 사용부하 변동과 에너지 수급 균형을 유지하기 어려운 점 등의 결점을 가지고 있다. 그리고 중대형 태양열 온수급탕시스템은 동절기와 하절기의 온도 변화 폭이 매우 커서 난방시스템으로 사용하기에 내구성 및 운전의 문제점들이 있으며¹⁾, 이 문제점들을 해결한 시설원예 난방을 위한 태양열 온수급탕시스템을 보급하는 것이 필요하다.

본 연구의 최종 목표는 태양에너지를 활용한 온실 공간 및 지중난방 시스템의 실증으로 온실재배 난방비를 절감하고, 적절한 재배환경 조건을 조성하여 작물의 수량 및 상품성을 증대시키고, 아울러 개발된 태양열시스템을 온실재배단지에 보급하여 고부가 가치의 미래 원예산업으로 발전시키는 것이다.

국내에서도 현장 실증연구로 제주도 농업기술원에 “태양열 시설원예 난방시스템”을 2003년 6월에 설치 완료하여 동절기 시설원예 난방공급 설비로

실제 사용하면서 집열성능, 이용효율 등 1년차(15개월, 2004년 10월까지) 장기 성능데이터를 측정·분석하여 성능평가를 완료하였다³⁾. 이 1년차 장기 성능데이터의 검증 및 신뢰도 향상을 위한 비교 성능데이터 수집을 위해서 2004년 11월부터 2년차 장기성능을 측정하였으며, 본 논문에서는 이 결과를 1년차 성능데이터와 비교 분석하여 국내 유일의 대단위 태양열시스템의 성능재평가 및 운전특성분석을 하고자 한다.

2. 실증실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

“태양열 시설원예 난방시스템”은 태양열을 난방 부하가 없는 기간에도 1년 연중 온수로 집열하여 대형축열조에 저장하였다가 난방부하가 발생하는 계절에 이 저장온수로 시설하우스에 난방을 할 수 있도록 설계하였다^{2,3)}.

시스템 계통도 및 설치 전경은 그림 1, 그림 2와 같으며, 4가지 유형의 집열기를 배열한 집열부, 대형축열조 1기와 소형축열조 4기로 구성된 축열부, 유리온실 1동 공간 및 베드난방과 비닐하우스 2동에 지중난방을 실시할 수 있는 열 이용부로 설계하였고, 집열부 및 축열부의 자세한 제원은 표 1과 같고, 열 이용부에 대한 사양은 표 2와 같다.

자동제어함은 집열/축열용, 대형축열조 온수공급용 등 2개로 분리하여 설계·제작하였으며, 성능분석을 위한 온도측정 RTD (pt1000 Ω) 46 Points, 기기류 제어용 RTD (pt 100 Ω) 5Points, 차온제어기용 반도체센서 12Points를 설치하였다.

2.2 실험방법

4종류의 태양열집열기가 각각의 집열특성에 따라 별도의 차온제어기에 의해 독립적으로 집열 순환펌프가 구동되는 이 실증시스템의 장기성능 분석을 위한 집열, 축열, 열 이용 등에 관한 각종 운전 데이터를 2004.10~2005.9(12개월, 2년차)까지

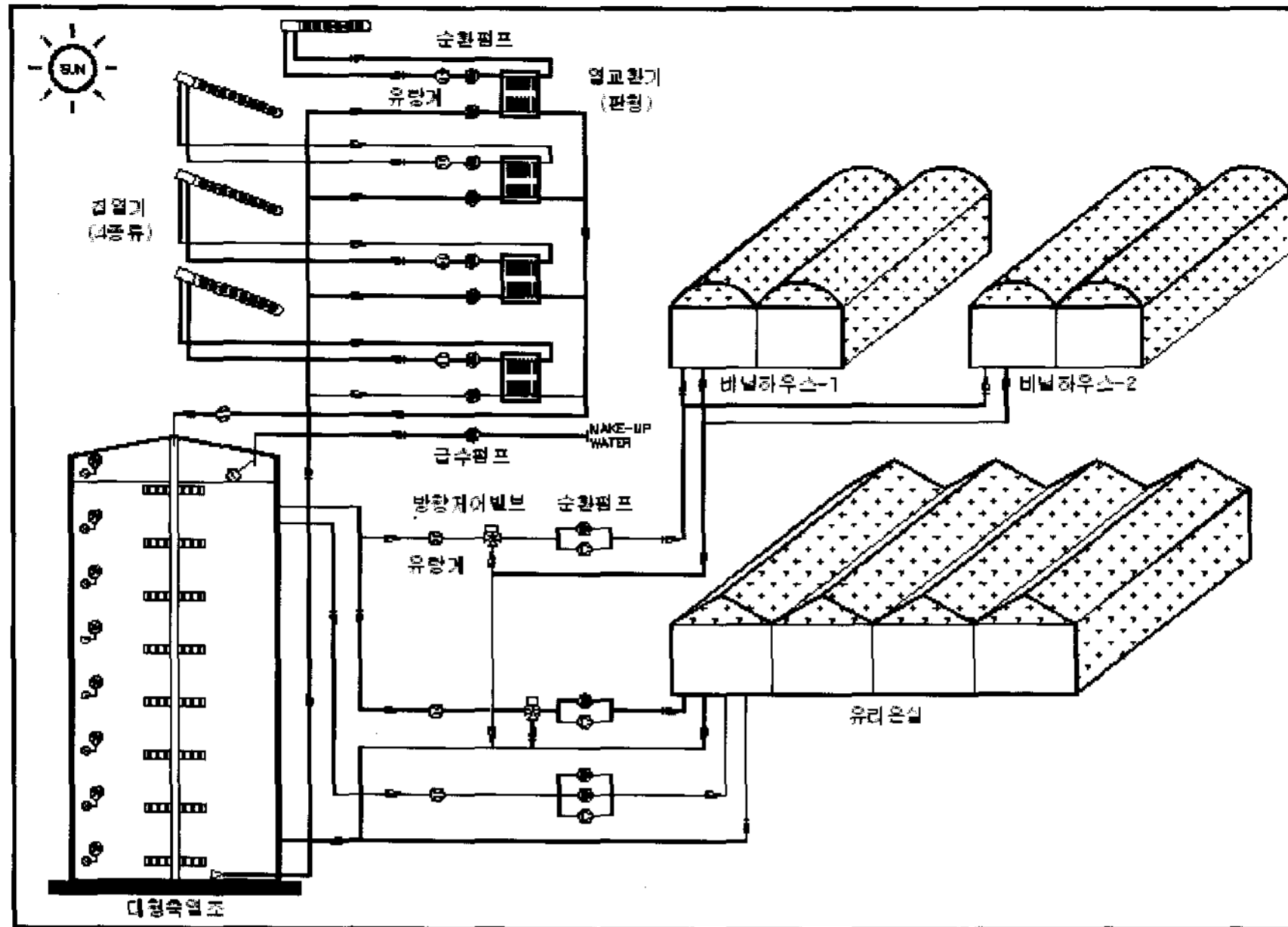


그림 1. 시스템 계통도

표 1. 집열부 및 축열부 제원

구분	종류	진공관형집열기		평판형집열기	
		이중진공관	단일진공관	지붕재형	평판형
설치면적(m ²)		150	56	55.68	69.6
사양(mm)		2,080X1,640X18Pipe (ODΦ47(IDΦ37)) (3.0m ² /Module)	1,960X2,110X16Pipe (Φ125) (2.8m ² /Module)	2,090X1,175 (2.32m ² /Module)	2,090X1,175 (2.32m ² /Module)
설치각도(°)		정남향 35	정남향 35	정남향 35	정남향 35
열교환기	유형	판형	판형	판형	판형
	용량(kcal/hr)	150,000	50,000	50,000	50,000
축열조	소형	용량: 8m ³ 재질: 내열.내산 F.R.P 규격: 1,920HXΦ2,520 단열: 우레탄 50mm	용량: 3m ³ 재질: 내열.내산 F.R.P 규격: 1,820HXΦ1,620 단열: 우레탄 50mm	용량: 3m ³ 재질: 내열.내산 F.R.P 규격: 1,820HXΦ1,620 단열: 우레탄 50mm	용량: 3m ³ 재질: 내열.내산 F.R.P 규격: 1,820HXΦ1,620 단열: 우레탄 50mm
	대형	용량: 600m ³ , 재질: STS304, 규격: 12,000H X ODΦ8,500, 단열: 우레탄폼 200mm			

표 2. 열 수요처별 사양

구분	열수요처	열 수요처-1		열 수요처-2		
		유리온실		비닐하우스-1	비닐하우스-2	
난방면적(평)		공간난방	베드난방	지중난방	지중 및 베드난방	
		200	100	100	50(지중)+50(베드)	
난방방식		Unit Heater, 100,000kcal/hr, 2SET	Aero Fin Tube	X-L Pipe(Φ15), 지중 400mm 매설	X-L Pipe(Φ15), 지중 400mm 매설	
제어방식		ON/OFF (대형축열조 온수 직접공급)	3-Way Valve 비례제어	3-Way Valve 비례제어	3-Way Valve 비례제어	

실제로 운전하면서 측정하였고, 이때 차온제어기 제어조건은 모두 4/2℃로 동일하게 설정하고 태양열을 집열하였다^{3,4,5)}. 그리고 대형축열조에 저장된 고온수는 유리온실 1동의 공간난방(22℃ 유지) 및 베드난방(26℃ 유지), 비닐하우스 2동의 지중난방(22℃ 유지) 열원으로 사용하였다. 태양열 이용을 극대화를 위해서 공간난방 열원의 온도는 약 40℃ 까지 사용하였고, 지중난방 열원은 40℃ 이하의 저온열원을 이용하였다.

자동제어는 운전상태 원격지 감시시스템과 데이터 취득시스템으로 구성되어 있으며, 원격지 감시시스템은 제주도에 설치된 태양열 온수시스템의 운전상태를 제주도 현지에서는 물론 대전에 있는 한국에너지기술연구원에서 원격으로 감시하기 위한 것이고, 데이터 취득시스템은 실증시스템의 동작상태 분석을 위하여 시스템에 설치되어 있는 각종 센서로부터 계속되는 운전 정보를 취득하고 저장하기

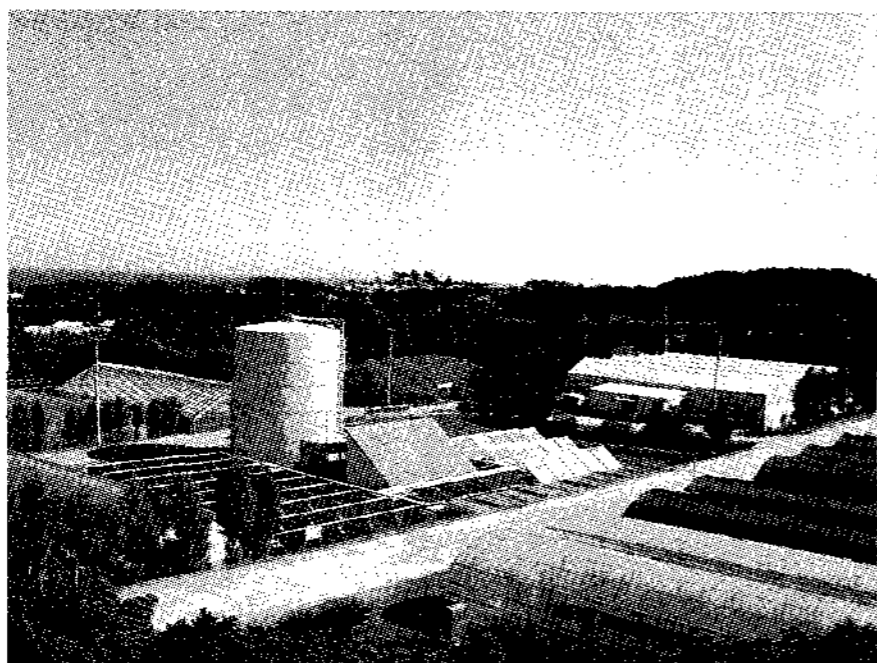


그림 2. 제주 "태양열 시설원에 난방시스템" 설치전경

위한 시스템이다. 실증시스템의 운전상태는 데이터 로거 6대(Fluke사 NetDAQ)를 사용하여 측정하는 57개의 정보와 디지털입출력 보드를 사용하여 측정하는 18개의 펌프 및 모터 기동정보 등이 수집되어 LAN을 통해서 24시간 PC로 입력된다. 측정 데이터는 10초간격으로 60개를 평균하여 대표값으로 저장하였다. 기 분석 완료한 태양열 시설원에 난방시스템의 1년차(2003.10~2004.9) 장기 성능데이터의 검증 및 신뢰도 향상을 위한 비교 성능

데이터 수집을 2004.10~2005.9(12개월, 2년차)까지 실시하였다.

3. 결과분석

3.1 시스템 집열특성 분석

장기성능 측정을 위한 집열 순환펌프 ON/OFF 제어용 차온제어기 작동온도 조건은 1년차 성능 데이터 측정 때와 같이 4/2℃로 설정하고 원격모니터링에 의해 매일 실시간으로 기상데이터, 집열부, 축열부 및 열 이용부를 측정하였다. 이 측정 데이터들은 PC에 자동으로 일보와 월보 형태로 저장되어지고 이를 이용하여 장기실증 성능을 분석하였다.

그림 3은 2003.10~2005.9(2년)까지 장기간 측정된 전체시스템의 월별 총일사량 및 집열량 분포를 나타내며, 집열기 집열면적 331.38m²일 때 1년차와 2년차의 성능데이터 중 35°경사면 총일사량은 각각 393,871Mcal/년과 408,360Mcal/년으로 측정되었다. 각 연차별로 측정된 총 일사량은 큰 차이를 보이지는 않았지만, 특히 1월과 2월을 연차별로 비교해 보면 2년차의 경우 약 35~50% 정도 일사량이 감소한 기상상태를 알 수 있었다.

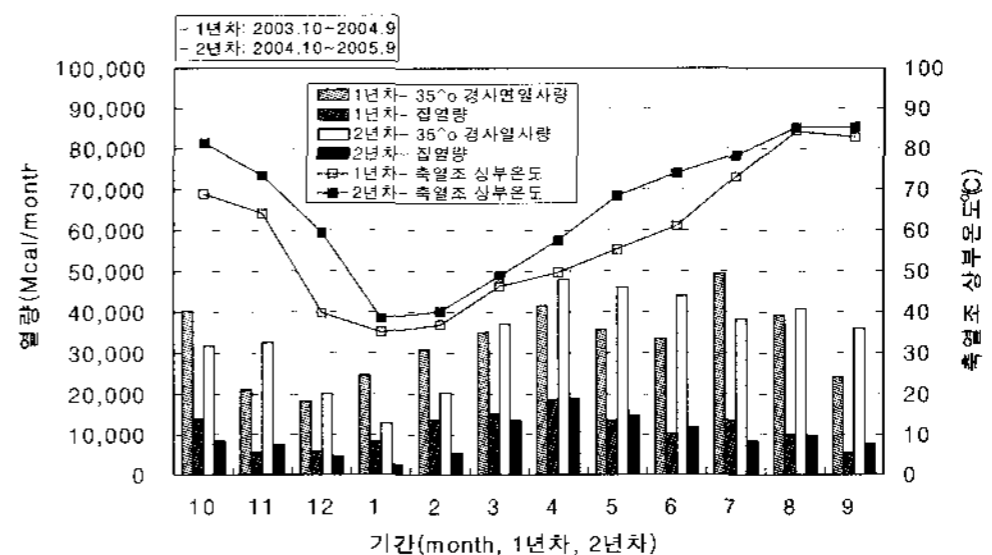


그림 3. 연차별 일사량 및 전체 집열량 분포 (전체 집열면적: 331.28m²)

그림 4는 장기성능 측정 1년차 집열기 유형별 단위면적당 집열량을 나타내는 그래프로서, 각 집열기 유형별 단위면적당 집열량 분포는 대체적으로

일사량과 비례하는 경향을 보이고 있으며, 장기측정 결과 그림 3과 그림 4에서 알 수 있듯이 각 유형별 월별 집열단위면적당 집열량을 결정짓는 인자는 일사량과 집열기 입구온도에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

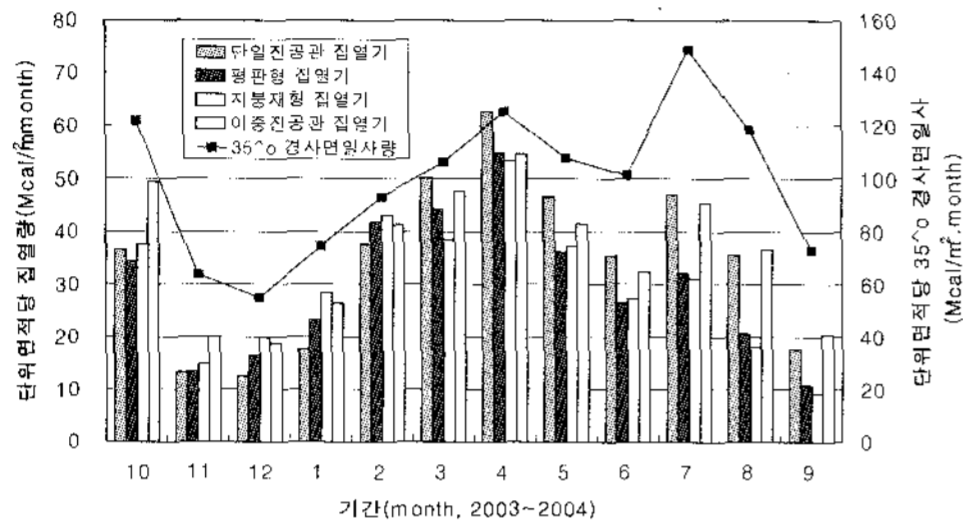


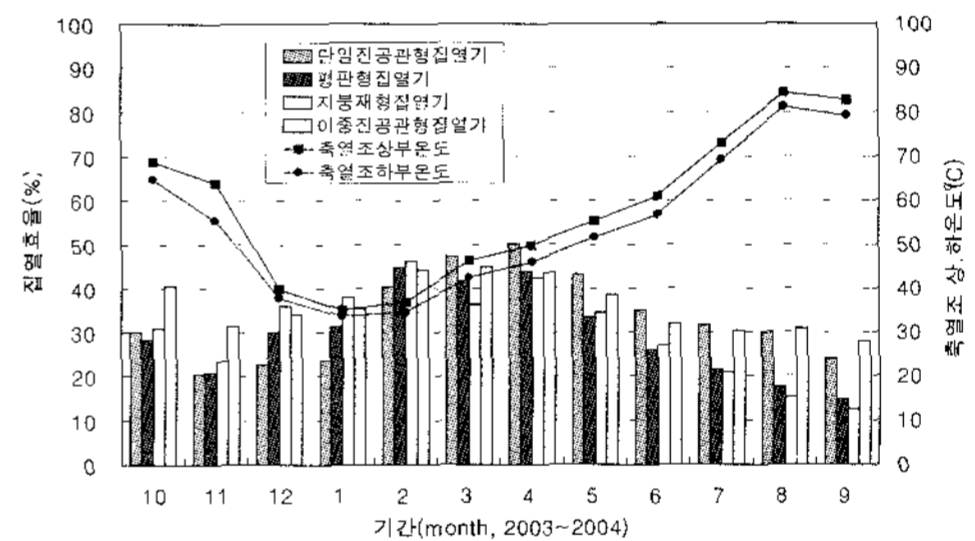
그림 4. 월별 집열기 유형별 단위면적당 집열량 및 일사량 분포 (1년차: 2003.10~2004.9)

또한 태양열집열기 유형별 집열효율은 그림 5의 (a), (b)와 같다. 그래프 (a)와 (b)의 각각 10월 달 축열조 하부온도는 64.8°C, 75.3°C로 나타났다. 측정 2년차의 축열조 하부온도가 1년차 보다 약 10°C 정도 높게 유지된 이유는 2004년 10월 열 수요처인 유리온실에 공간난방부하가 발생하지 않은 것에 기인한 것으로 판단된다. 그리고 12월의 경우 측정 2년차 경사일사량(20,150Mcal/월)이 1년차 경사일사량(18,195Mcal/월) 보다 많았음에도 불구하고 본 실증시스템에 적용된 4가지 집열기 모두 1년차 집열효율 보다 낮게 나타났다. 이것은 2년차 측정데이터에서 볼 수 있듯이 12월의 경우 집열기 입구온도(집열기의 순환 열매체는 대형축열조의 하부 저온수와 판형 열교환기를 통해서 열교환 되는 간접 열교환방식이기 때문에 대형축열조의 하부 온수온도와 집열기 입구온도는 동일)가 52.9°C로 1년차 집열기 입구온도인 37.8°C보다 약 15°C 높아서 집열효율 저하가 발생한 것으로 판단된다.

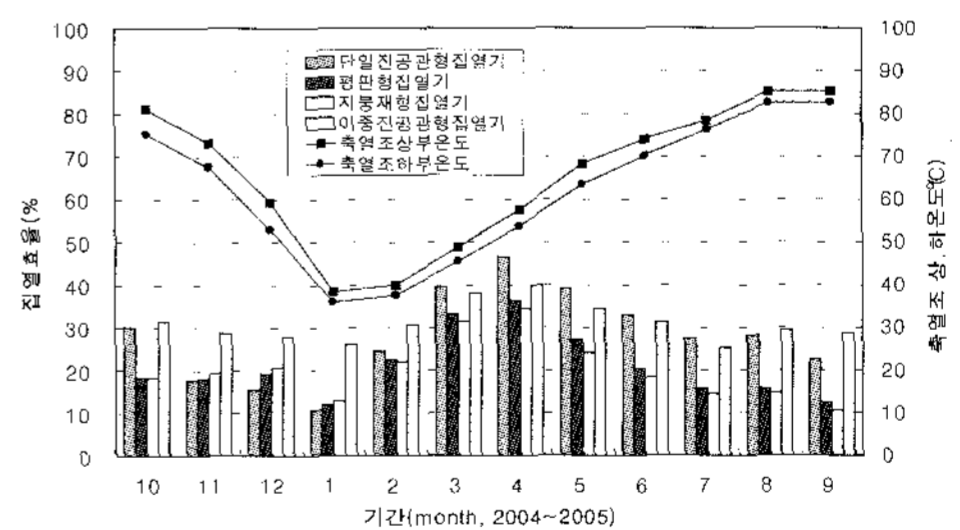
측정 1년차의 경우 열 수요처-2의 비닐하우스에 12월~3월까지 4개월간 저온수 난방열인 지중난방열공급이 많아서 이 기간 동안 축열조 상.하부온

도는 낮게 유지되었고, 이것은 곧 집열기 입구온도가 낮다는 것을 의미하고 이로 인하여 각 집열기의 집열효율이 높게 나타났다. 반면 저온수 지중난방을 실시하지 않은 2년차의 경우 같은 기간동안 1년차와 비교해 볼 때 대형축열조의 상.하부온도가 상대적으로 높게 유지되었기 때문에 이로 인한 집열효율 저하가 발생하였다. 따라서 본 실증시스템의 집열효율 변화는 집열기 입구온도, 난방적용 시기 및 방법에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

또한 축열조 온도가 높게 올라가면 갈수록 평판형집열기의 집열효율 저하가 진공관형집열기 보다 더 큰 것을 관찰할 수 있었으며, 이는 높은 온도에서 집열 할 때 진공관형집열기의 열손실이 적은 특성을 확실히 보여 주고 있다.



(a) 1년차: 2003.10~2004.9



(b) 2년차: 2004.10~2005.9

그림 5. 월별 집열기 유형별 집열효율 비교

특히 집열기 입구온도가 낮은 동절기(12월~2월)에 1년차의 경우 지붕재형집열기의 집열효율이 높으나, 2년차에서는 이중진공관형집열기의 집열량이 높음을 알 수 있었다. 이는 1년차 보다 2년차

에 외기온이 낮은데 기인하며, 이 현상은 진공관형 집열기가 높은 입구온도 에서도 열손실이 적어 보여주는 특징과 일치함을 보여 주고 있다.

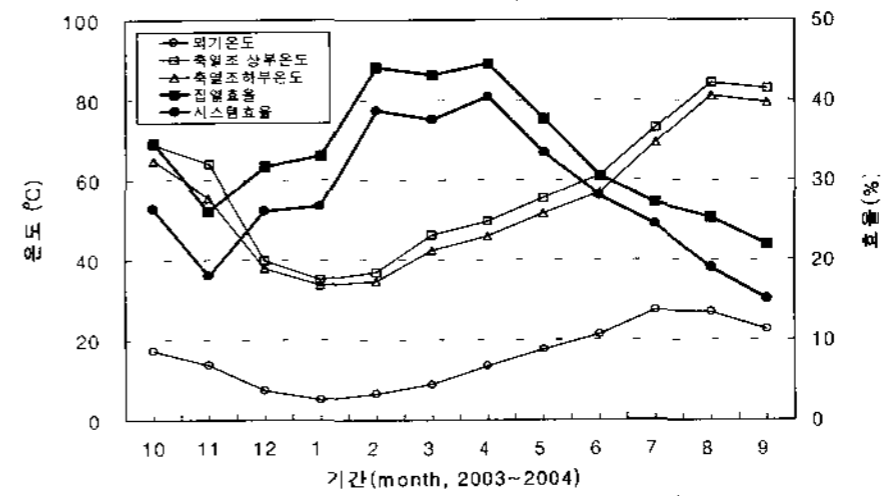
현장 실증실험용 “태양열 시설원에 난방시스템”의 장기 성능측정 1년차(12개월) 동안 총 집열량은 132,928Mcal(년 평균 집열효율 33.7%), 총 축열량은 112,202Mcal(년 평균 시스템효율 28.5%)를 나타내었다. 또한 측정 2년차(12개월)의 총 집열량은 113,178Mcal(년 평균 집열효율 27.7%), 총 축열량은 92,359Mcal(년 평균 22.6%)의 시스템효율을 각각 나타내었다.

3.2 시스템 효율 및 이용 분석

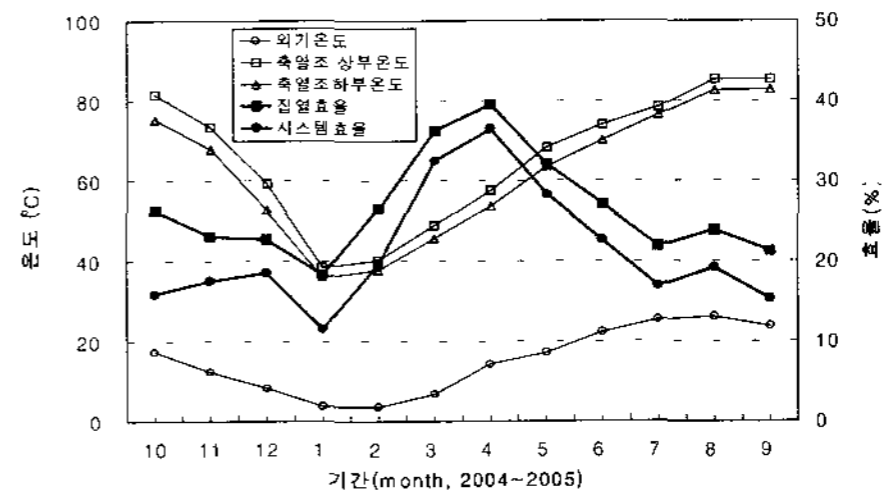
대형축열조를 사용한 태양열 시설원에 난방시스템의 월별 축열조 온수온도, 집열효율 및 시스템효율의 변화는 그림 6의 (a), (b)와 같이 나타났다. 그림에서 알 수 있듯이 대형축열조 사용에 따른 시스템 효율 변화가 기존 설비형 태양열 온수급탕시스템과는 다름을 확인할 수 있다. 소형 축열조를 사용하는 일반적인 설비형 태양열온수급탕시스템의 월별 시스템효율 변화는 일사량과 외기온의 경향과 일치하지만, 대형축열조를 사용한 태양열 시설원에 난방시스템의 월별 시스템효율 변화는 이용량에 따른 축열조 온도에 의한 변화로 나타난다. 즉, 봄부터 가을까지 축열하여 동절기에 집중적으로 사용하는 이용형태와 이때의 일사량에 따라 효율의 변화가 일어남을 알 수 있다. 시스템 집열특성에서 분석한 결과는 이용량변화와 기후조건에 따른 축열조 온도가 변화할 때(11월, 2월) 집열 및 시스템 효율이 급격히 변하는 경향을 보여 주고 있다. 이는 난방부하가 급격히 증가하면서 축열조온도, 외기온과 일사량이 반대로 낮아지면서 효율의 변화가 일어나고, 난방이 마감된 시기에 낮은 축열조온도, 보다 높아진 일사량 등으로 효율이 증가함을 알 수 있다.

난방이 시작된 측정 1년차인 그래프 (a)에서 보는바와 같이 대형축열조 온수온도가 40℃내외에서

집열 및 시스템효율이 40%이상을 나타내고, 대형 축열조 온수온도가 80℃이상에서는 시스템효율이 20%이하를 나타내었다.

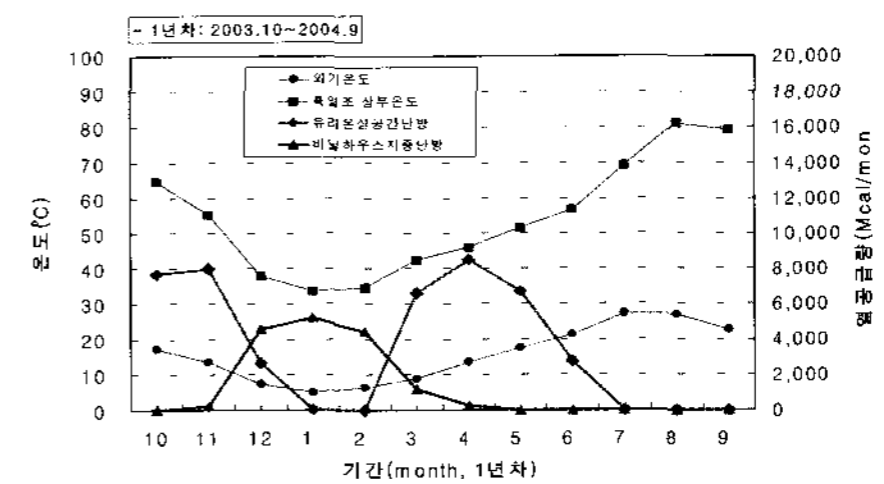


(a) 1년차: 2003.10~2004.9

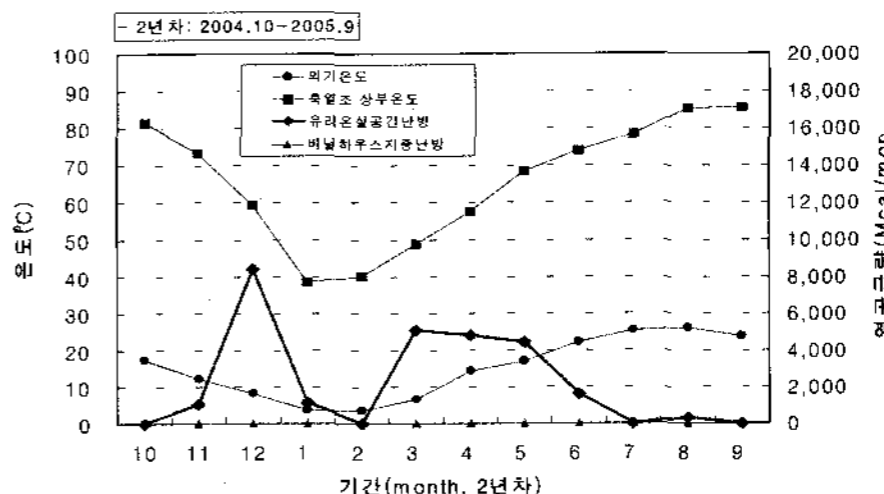


(b) 2년차: 2004.10~2005.9

그림 6. 월별 외기온도, 축열조상·하온도, 집열 효율, 시스템효율 비교



(a) 1년차: 2003.10~2004.9

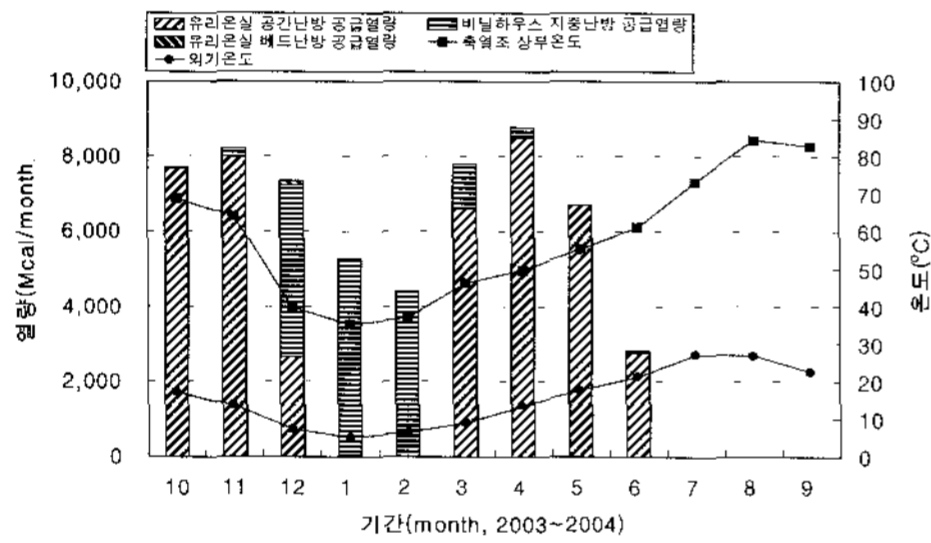


(b) 2년차: 2004.10~2005.9

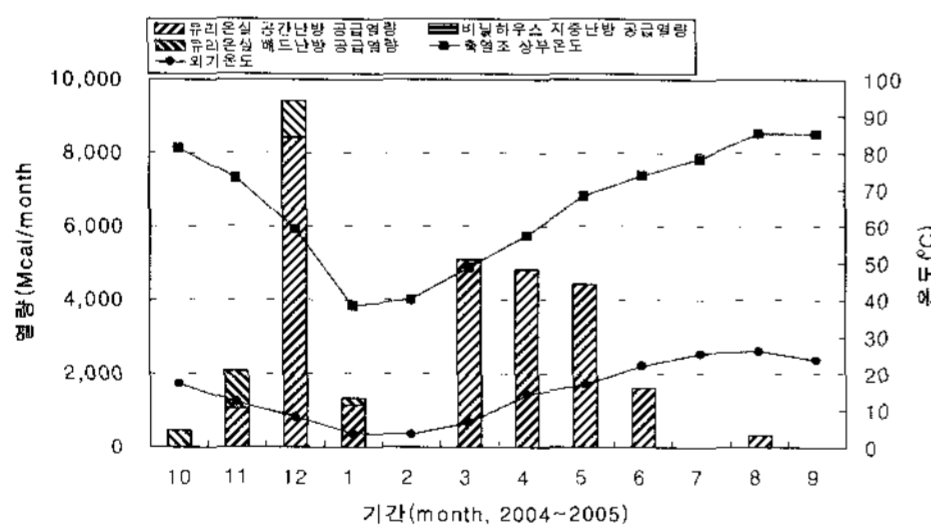
그림 7. 연차별 축열조온도 및 난방공급열량 비교

특히 대형축열조 온수온도가 80°C 이상에서는 집열효율과 시스템효율과의 간격이 벌어지기 시작하는데, 온도 상승에 따른 배관 및 축열조 열손실이 많아짐을 의미한다. 그리고 측정 2년차인 (b) 그래프 중 1월달의 집열 및 시스템효율이 유난히 낮은 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 1년차에 비하여 일사량이 현저하게 감소한 것에 기인하는 것으로 판단된다.

실증연구를 수행하면서 실제 적용된 난방은 유리온실 공간난방 및 베드난방, 비닐하우스 지중난방 등이다. 그림 7의 (a), (b)는 연차별 유리온실 공간난방과 비닐하우스 지중난방에 공급된 월별 공급량을 보여준다.



(a) 1년차: 2003.10~2004.9



(b) 2년차: 2004.10~2005.9

그림 8. 월별 열 수요처에 따른 난방공급열량 비교

축열조 온수온도가 40°C 이상일 때는 유리온실 공간난방에 온수를 공급하고 온수온도가 낮아져 40°C 이하가 되었을 때 유리온실 공간난방을 중단하고 동절기에 비닐하우스 지중난방을 시작하여 일사량이 좋아진 3월 이후 온수온도가 40°C 이상 되

었을 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. 측정 2년차의 경우 (b)와 같이 유리온실 공간난방 부하량 감소 및 비닐하우스 저온수 지중난방 미 실시로 인하여 축열조 온도가 1년차에 비하여 높은 것을 알 수 있다. 이와 같이 난방기간에 저온수(약 40°C 이하) 태양열 이용율이 감소하여 축열조 온도가 높게 유지될 경우 집열기 입구온도가 높아지므로 집열기 효율저하가 초래되고, 이로 인하여 여러 가지 측면에서 비효율적인 시스템 운영이 발생하게 된다.

실제 적용된 유리온실 공간난방 및 베드난방, 비닐하우스 지중난방의 월별 총 공급량은 그림 8의 (a), (b)와 같다.

(a)에서와 같이 장기성능 측정 1년차 기간 동안 열 이용부에 공급한 열량은 59,038Mcal(유리온실 공간난방: 43,103Mcal, 비닐하우스 지중 및 베드난방: 15,935Mcal)로서 63.2%의 이용율을 나타냈으며, 200평 규모의 유리온실 총 난방부하(118,371Mcal) 대비 태양의존율은 36.4%이었고, 태양열이 공급한 총 난방공급열량(공간+베드+지중난방)을 유리온실 총 열부하와 비교한 실증시스템의 태양의존율은 50%로 나타났다. 그리고 (b)의 2년차 장기 성능데이터 분석결과 열 이용부 공급열량은 29,600Mcal로서 42.7%의 이용율을 나타냈으며, 유리온실 총 난방부하(73,418Mcal) 대비 태양의존율은 40.3%로서 1년차 성능데이터와 비교할 때 비닐하우스 지중난방열공급이 이루어지지 않아서 열 이용율이 많이 감소하였다.

본 현장 실증시스템으로 열 수요처에 공간난방을 공급할 때 40°C 이상 온수만을 열원으로 이용한 유리온실 공간난방 공급량(1년차: 43,103Mcal, 2년차: 29,600Mcal)이 각 연차별 이용량의 많은 부분을 차지하고 있지만, 그림 9에서 보듯이 실제 난방부하가 더 많이 존재함에도 불구하고 축열조 온수온도가 조건(40°C 이상)이 되지 않아서 공급

을 못하는 상황이 발생하였다. 또한 난방이 시작되어 축열조 온도가 낮아짐에도 불구하고 시스템 효율이 저하되는 현상은 일사량과 외기온이 낮아지는 시기에 급격한 사용에 따른 현상으로 적절한 이용량 선정이 필요하며, 특히 대용량 축열조를 갖는 태양열시스템의 태양열 이용율 향상을 위해서는 40℃이하 저온수 이용방안이 필수적이며, 온수온도에 따른 최적이용을 위한 운전조건을 고려하는 것이 중요하다.

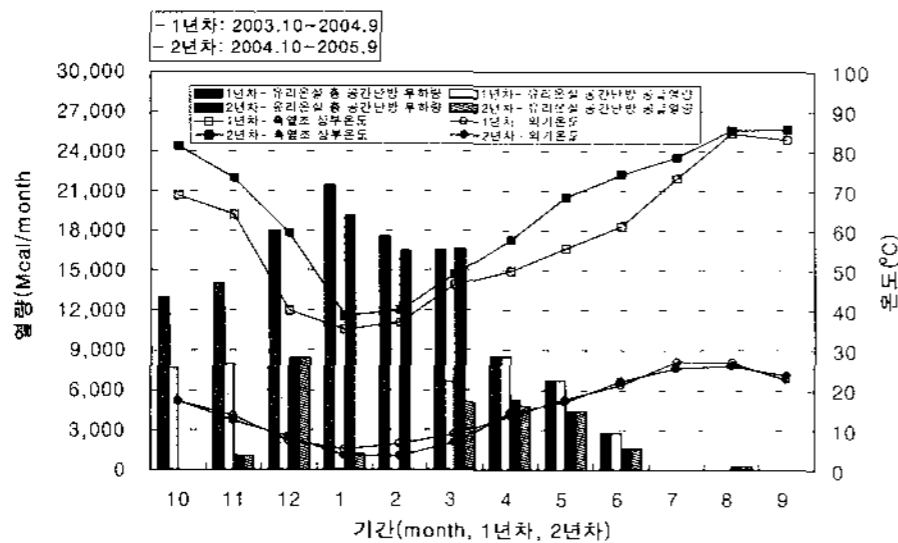


그림 9. 연차별 유리온실 공간난방부하 대비 공간난방 공급열량 비교

4. 결 론

시설하우스 공간 및 지중난방 열을 공급하는 “태양열 시설원에 난방시스템”의 실제 장기사용에 따른 집열성능, 이용효율 등 2년(2003.10~2005.9) 동안 장기성능 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 측정 1년차의 집열특징은 집열기 입구온도가 낮은 동절기에는 지붕채형집열기의 집열량이 많았고, 입구온도가 높은 달에는 진공관형집열기의 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℃ 근처에서 집열 및 시스

- 템 효율은 40% 정도이며, 80℃ 이상에서는 많은 열손실로 인하여 20% 이하로 낮게 나타났다.
- (4) 연차별 집열 및 축열량 측정결과는 1년차에는 총 집열량 132,928Mcal, 총 축열량 112,202Mcal 이고, 2년차에는 총 집열량 113,178Mcal, 총 축열량 92,359Mcal로 연차별 집열효율은 각각 33.7%, 27.7%, 시스템효율은 28.5%, 22.6%로 나타났다.
 - (5) 연차별 열 이용량 측정결과는 1년차에는 총 59,038Mcal로서 63.2%의 이용율로 200평 유리온실의 태양의존율 36.4%, 유리온실 총 열부하 대비 태양열 총 공급열량에 의한 태양의존율은 50%를 나타내었고, 2년차에는 총 29,600Mcal로서 42.7%의 이용율로 200평 유리온실의 태양의존율 40.3%를 나타내었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 대체에너지 실증연구사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 강용혁 등, “태양열이용 온수시스템의 시설원에 난방적용 실증연구”, 한국에너지기술연구원, 2002-N-SO11-P-01, 2004.
2. 윤희기, 이상남 등, “농어촌지역의 집단에너지 공급을 위한 계간축열 기술개발 및 실용화”, 1996N-S001-P-01, 1999.
3. 이상남 외3인, “태양열 시설원에 난방시스템 운전제어 특성연구”, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집 pp185-189, 2005
4. 이상남 외3인, “태양열 시설원에 난방시스템 장기실증 성능분석 연구”, 한국신재생에너지학회 춘계학술대회논문집 pp403-407, 2005
5. 강용혁 외1인, “시설원에 난방을 위한 태양열 계간축열시스템 보급 사례”, 대체에너지 농업적 이용현황 및 기술개발 전략 심포지엄, pp.169~199, 2005