

온실 난방을 위한 평판형 태양집열기의 열적성능 분석

Analysis on the Thermal Performance of Flat-plate Solar Collector for Greenhouse Heating (I)

서 원 명* · 윤 용 철* · 이 승 환* · 이 석 건**
Suh, Won Myung · Yoon, Yong Cheol · Lee, Seung Hwan · Lee, Suk Gun

Abstract

This study was performed to investigate thermal performances of two different types of flat-plate solar collector systems; natural circulation system and forced circulation system.

Conclusions obtained from this study are summarized as follows; 1) In the natural circulation system, the total heat amounts retrieved by starting recovery soon after sunrise were ranged from 10.28 to 17.20MJ/m², while the total heat amounts retrieved by starting recovery after sunset were ranged from 5.31 to 10.77MJ/m². 2) The collector efficiency in natural circulation system were ranged from 51.1% to 54.1% when the collected heat was retrieved after sunrise and were 65.8~78.0% when the collected heat was retrieved soon after sunset. 3) According to the regression analysis between fluid flow rates and fluid temperature difference at inlet and outlet of collector pipe, there was high regressive correlations with regression coefficient, *r*, of 0.982. 4) The collector efficiencies estimated for forced circulation system were 73.1~88.6%, and 78.4~94.8%, and 64.2%~74.5%, respectively when fluid circulation rates were 4.2 ℓ/min, and 7.0 ℓ/min, and 9.7 ℓ/min, respectively.

I. 서 론

시설원에 분야에서는 고유가에 대한 대응 및 환경 보존적 측면에서 태양에너지를 화석 연료의 대체 에너지로 활용할 수 있는 기술개발이 절실히 요구되고 있다. 특히 겨울철 온실에 소요되는 막대한 연료비 지출을 절감함은 물론 대기환경 오염의 방지 측면에서 태양열을 이용한 온실 난방 시스템의 설계에 대한 기술개발은 향후 시설 농업의 경영 합리화에 기여할 것으로 판단된다.

온실에서의 태양열 이용 방식은 낮동안 온실내의 잉여 열을 집열하였다가 야간 난방에 이용하는 내부 집열 방식과, 온실 바깥에 태양열 집열 시스템을 설치하여 보다 적극적으로 태양열을 집열하는 외부 집열 방식으로 대별할 수 있다. 내부 집열 방식에는 온실 바닥 아래 두개의 층을 축열 매체로 하는 지중 열교환식 축열방식과 열교환기를 사용하여 물이나 잠열 축열재에 축열하는 방법이 있다. 외부 집열 방식은 온실 자체의 집열 기능을 활용하지 않고 태양열 집열판을 이

*경상대학교 농과대학

**경북대학교 농과대학

키워드 : 온실, 평판형 집열기, 난방, 열적성능, 실험

용하여 매체 순환 방식으로 열을 저장했다가 난방에 이용하는 방식으로서 집열판 면적이 온실 바닥면적의 80%전후일 때는 그 자체만으로도 단독 난방이 가능할 수 있으나, 집열판 설치면적이 온실면적 이외로 추가로 소요되는 등 시설 투자비 규모 및 사후 관리상의 문제점 때문에 아직까지 상업용 온실에 대한 실용화 가능성은 희박한 실정이다. 그러나 수 년전부터 가정용으로만 이용되어 오던 태양열 온수 급탕 시스템이 '95년을 전후하여 농업용으로 그 이용이 확대되고 있다. 결국 태양열 집열시스템에 의한 온실난방은 기술적인 측면에서 별다른 제한을 받지 않으나 경제성 측면에서 지극히 제한적이다. 따라서 태양열 집열시스템은 온실난방의 에너지 절감측면에서 접근하는 것이 현실적이다.

실제로 충북 괴산군의 한 농가에서는 700평 규모의 하우스 6동에 24장의 집열판을 설치하여 지중난방 시스템을 보조난방으로 도입함으로써 기존의 화석 연료를 이용한 온풍 난방에서 소요되었던 난방 연료비를 40%까지 절감하는 효과를 보았다고 한다. 태양열을 이용한 지중난방 시스템은 초기 시설 투자 비용이 많이드는 단점이 있긴 하지만, 20년 이상 반영구적이어서 전체 운영비 절감은 물론 작은 연료비 부담으로 지온을 마음대로 조절할 수 있으며, 무엇보다도 화석 연료의 사용량을 줄임으로서 심각한 환경오염 방지에도 이바지 할 수 있다는 점에서 그 의미가 크다.

태양열을 이용한 급탕 방법은 집열 매체의 순환 방식에 따라 자연순환식과 강제순환식으로 대별 할 수 있다. 자연순환식 급탕 시스템은 저장탱크가 집열기보다 높게 설치되어 시스템 순환 유량과 온도분포등이 일사량, 대기온도 등 기상 조건에 따라 다르게 되므로 그 성능 예측이 쉽지 않다.

국내의 태양에너지 기술개발은 1988년 대체에너지 기본 계획이 수립되면서 1992년부터 관련 연구 기관들을 중심으로 기술개발 및 그 실용화를 위한 본격적인 연구가 추진되어 왔으나 태

양 집열기의 이용 효율과 응용성 면에서 아직 기초 단계를 넘어서지 못하고 있다.^{1~6)} 미국과 유럽에서는 이용 효율과 적용성이 뛰어난 선공관형 태양집열기나 상변화 태양집열기가 보급되어 상용화가 이루어지고 있으며, 최근에는 복합형 태양집열기 개발의 핵심 요소인 전열 소자를 이용한 기술개발이 이루어지고 있다.

그러나 태양열을 이용한 온실난방 시스템은 아직까지 초보 단계에 있기 때문에 성능에 대한 실측 자료가 거의 없고, 지금까지의 태양열 시스템 이용에 관한 연구가 주로 가정용 온수 급탕 시스템에 국한되어 이루어지고 있어 온실 난방에 대한 연구가 및 기술개발이 지극히 부족한 실태이다.

따라서 본 연구에서는 모델링에 의한 이론적 분석을 시도하기에 앞서 태양열 집열 시스템을 온실 난방에 활용하기 위한 목적의 일환으로 가정용으로 보급되고 있는 평판형 집열시스템을 중심으로 자연순환식과 강제순환식 집열시스템의 열적성능 분석을 위한 기초 단계의 연구로서 우선 진주 지역의 평년 기상을 중심으로 태양 집열 시스템의 열적거동을 분석 하였다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

가. 자연순환식 시스템

자연순환식 시스템은 집열기 상부에 열저장탱크가 설치되어 있어 주간동안 집열기내의 열매체가 자연순환하면서 열저장탱크를 가열하는 방식이다. 열매체는 열매체 입·출구의 온도차로 발생하는 밀도차에 의해 순환하게되므로 순환동력이나 자동제어장치가 필요없다. 본 실험에 사용된 실험 장치의 주요 구성도는 Fig. 1과 같다. 자연순환식 집열 시스템의 열적성능 실험장치의 주요 구성기기는 집열판, 열 저장탱크, 급수부, 유량계, 일사량계, Data logger 및 Computer와 그들의 접속관으로 구성되어 있다. 이 집열기는 수도직접연결식 온수 시스템으로서 열교환 방식은

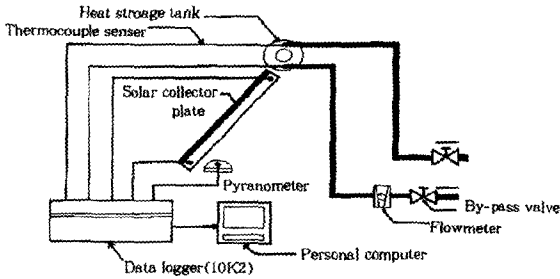


Fig. 1. Schematics of experimental equipment for naturally circulated solar collector system

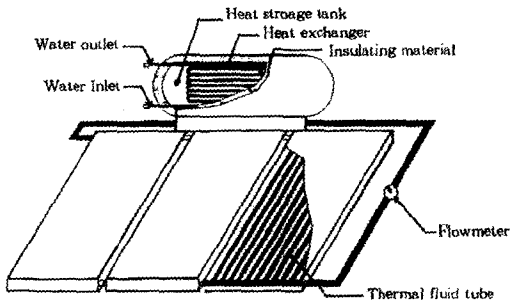


Fig. 2. Schematics of solar collector and heat storage tank

유입되는 물이 열저장탱크내에 설치된 길이 52m의 열교환 튜브를 통과할 때 열 교환이 이루어지도록 되어 있다. 열저장탱크의 용량 및 집열판의 유효면적은 각각 450ℓ, 7.89m²(1.135×2.448×3장)이며, 열저장탱크내에는 2.25kW의 보조히터가 설치되어 있다.

그리고 집열기의 구성은 Fig. 2와 같다. 집열 시스템은 온실에 인접한 약 3m 높이의 건물 옥상에 경사각 35°, 설치고도 47m, S12°W의 방위각으로 설치하였다.

나. 강제순환식 시스템

강제순환식은 자연순환식과 달리 매체 순환 펌프와 자동제어장치가 요구되는 등의 단점이 있지만, 열저장탱크를 임의의 장소에 설치할 수 있

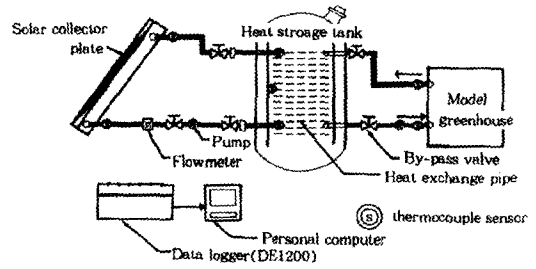


Fig. 3. Schematics of experimental equipment for forcedly circulated solar collector system

고, 배관이 가늘어도 되며, 배관 공사비가 싸고, 열저장탱크를 제외한 제반 장치의 열용량이 작고 무효집열량이 적은 등의 이점이 있다. 본 실험에 사용한 실험 장치의 주요 구성기기는 Fig. 3과 같이 집열판 및 열 저장탱크, 유량계, 순환펌프, Data logger 및 Computer 등이다. 실험에 이용된 집열판의 구조는 자연순환식 시스템과 같지만 열저장탱크의 용량 및 집열판의 유효면적이 각각 1.5m³, 25.01m²(1.135m×2.448m×9장)으로 자연순환식 시스템의 3배 정도이다. 본 시스템은 주간동안 순환펌프에 의해 일정한 속도로 열매체가 집열판을 순환하여 취득한 열을 1.5m³의 열저장탱크에 저장토록 하고, 열저장탱크에 저장된 열은 저장탱크내에 설치된 132m(열교환면적 : 66m²)의 열 교환용 배관 시스템을 통과할 때 회수하여 난방대상 실험실을 난방하도록 되어 있다.

2. 실험방법

가. 자연순환식 시스템

집열시스템의 열회수 방식은 주간동안 열저장탱크에 집열된 열을 일몰 직후부터 물을 순환하여 회수하는 방법과 일출 직후부터 집열과 동시에 연속적으로 회수하는 두 가지 방법을 사용하였으며, 집열기의 유용열 에너지(집열량) 및 집열효율을 각각의 방식에 대하여 산정하였다. 이때 유출 및 유입 수온은 열 교환 튜브의 입·출구

에 온도센서(T-type)를 설치하여 5분 간격으로 data logger 및 computer를 이용하여 측정하였다. 저장된 열을 회수하는 순환수의 유량은 유량계를 이용하여 실험개시시와 종료 후의 차이로 구했으며, 실험기간동안 유량은 약 9 l/min 정도로 거의 일정하게 유지시켰다.

자연순환식 집열시스템의 열매체는 앞에서도 언급하였듯이 순환 매체의 온도차에 따른 밀도차에 의하여 순환한다. 그러나 밀도차에 의한 열매체의 순환유량은 극히 적어서 측정이 쉽지 않다. 당초 실험계획상에는 초음파 유량계를 이용코져 하였으나 계측기의 불안정으로 추후 실험에서 검정하기로 하였다. 따라서 본 연구에서는 열매체 순환 유량의 변화를 추적하기 위하여 열매체 유로관에 유량계를 설치한 후, 열매체의 온도차와 일사량에 따른 순환 유량을 회귀분석하여 열매체 온도차(x)와 순환유량(y)과의 관계식을 결정하였다. 그리고 열매체 순환 유로관의 입·출구에 온도센서(T-type)를 설치하여 data logger 및 computer를 이용하여 측정하였다.

그리고 보조열 공급을 위해 열저장탱크 내부에 설치한 보조히터(2.25kW)의 전력은 심야 전기용 적산전력계로 측정하였다. 일사량은 집열기 인근에 수평으로 설치한 일사량계를 이용하여 5분 간격으로 순간 수평면 일사량을 측정하였다. 실험은 '96년 11월 중순부터 '97년 12월말까지 실시하였다.

나. 강제순환식 시스템

열저장탱크에 집열되는 열은 일출 직후부터 집열과 동시에 연속적으로 회수하는 방법을 사용하였다.

그리고 집열기를 순환하는 열매체의 유량 변화에 따른 집열성능을 분석하기 위해 펌프와 유량계 사이에 By-pass valve를 설치하여 열매체 유량을 선택적으로 조절하여 실험을 수행하였다. 열매체 입·출구 온도 및 대기온도, 난방대상 실험실에 설치된 방열관 파이프의 입·출구온도 등

을 data logger 및 computer를 이용하여 측정하였다.

강제순환 시스템은 앞에서도 언급하였듯이 자연순환 시스템에 비해 집열면적 및 열저장탱크 용량이 대략 3배 정도이다. 따라서 자연순환 시스템의 열매체 순환유량 분석을 통하여 얻은 최대유량 1.4 l/min의 3배가 되는 4.2 l/min을 기점으로하여 7.0 l/min 및 9.7 l/min으로 각각 유량을 증가시키면서 순환 유량의 변화에 따른 집열성능 실험을 수행하였다. 실험은 '97년 7월 중순부터 '97년 12월말까지 실시하였다.

3. 유용열 에너지 및 집열효율 산정

태양열 집열기의 성능은 일반적으로 실험에 의하여 분석된다. 즉 태양열 집열기를 통과하는 열전달 매체의 유량과 집열기 입·출구의 온도차를 측정하므로써 식 (1)과 같이 유용열 에너지를 구할 수 있다.

$$Q_{use} = m_w c_p (t_o - t_i) \dots\dots\dots (1)$$

집열면에 흡수된 열 에너지 총량은 다음 식 (2)와 같이 유용열 에너지와 손실열 에너지로 대별할 수 있다.

$$Q_{total} = Q_{use} + Q_{loss} \\ = [m_w c_p (t_o - t_i) + A_c U_L (t_p - t_a)] \quad (2)$$

결과적으로 집열면에 흡수된 태양에너지 이용효율은 동일한 기간의 총 유입 일사량에 대한 유용열 에너지의 비로서 다음 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$\eta = \frac{Q_{use}}{A_c I_t} = \frac{m_w c_p (t_p - t_a)}{A_c I_t} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

η : 집열효율

Q_{total} : 집열판에 흡수된 에너지 총량(MJ/m²)

- Q_{use} : 유용열량(MJ/m²)
- Q_{loss} : 손실 에너지(MJ/m²)
- A_c : 유효 집열면적(m²)
- c_p : 물의 비열(J/(kg·°C))
- m_w : 유량(ℓ)
- t_i : 유입온도(°C)
- t_o : 유출온도(°C)
- I_t : 경사면 일사량(MJ/m²)
- t_p : 집열판의 평균온도(°C)
- t_a : 외기온(°C)
- U_L : 집열판으로부터 잃는 전체열손실계수

III. 결과 및 고찰

1. 일사량과 외기온

Fig. 4 와 Fig. 5는 실험기간 동안 측정치에 대한 검정을 위하여 실험장소에서 약 7km 떨어진 진주 기상대에서 관측한 수평면 일사량 및 외기온을 실측치와 대비한 것으로 본 실험에서 계측한 일사량과 진주 기상대에서 관측한 값은 거의 차이가 없다. 그러나 Fig. 5의 외기온은 일출 직후에 상당한 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 실험장에 설치된 백엽상이 온실 및 건물 등 주변시설의 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 일출 직후 및 일몰 직전의 일사량은 극히 적어서 전체 시스템에 미치는 영

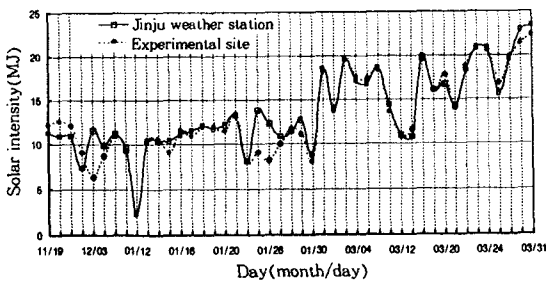


Fig. 4. Comparison of measured horizontal solar intensity at the experimental site and at the Jinju Weather Station

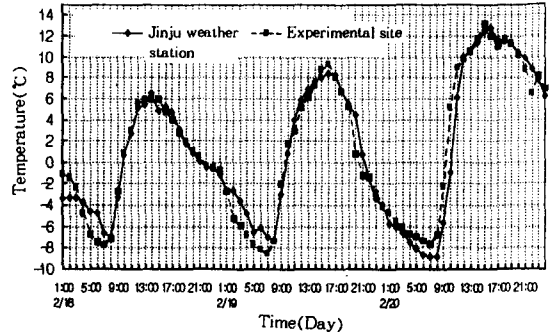


Fig. 5. Comparison of measured ambient temperatures at the experimental site and at the Jinju Weather Station

향이 미미하다. 따라서 본 연구에서는 경상 대학교 기상대에서 측정된 수평면 일사량을 그대로 이용하여 집열기의 성능을 분석하였으며, 일부 결측된 자료에 대해서는 진주 기상대의 관측치로 보완하였다.

2. 자연순화식 시스템의 성능분석

가. 회수방법에 따른 유용열 에너지 및 집열효율 앞에서 언급하였듯이 자연순환 시스템의 경우, 열 회수방법에 따른 유용열 에너지 및 집열효율을 검토하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 각각의 경우에 대한 열 회수상황을 경시적으로 도시한 예이다.

Fig. 6은 일몰직후부터 열 회수용 물을 9ℓ/min으로 일정하게 순환시킬 때, 입·출구 수온의 변화를 나타낸 것이다. 입·출구 수온이 같아지는 시점을 저장된 열량 중 유용열 에너지가 전부 회수된 것으로 가정 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 회수초기에 순환수의 입·출구의 수온차가 70°C 정도로 높지만, 시간이 경과할 수록 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 한 예로서 30°C 이상의 수온을 온실 난방에 이용할 수 있다고 보면, 그림에서 540ℓ 정도의 온수를 난방에 이용 가능함을 알 수 있다.

Fig. 7은 일출직후부터 축열조의 열을 회수하

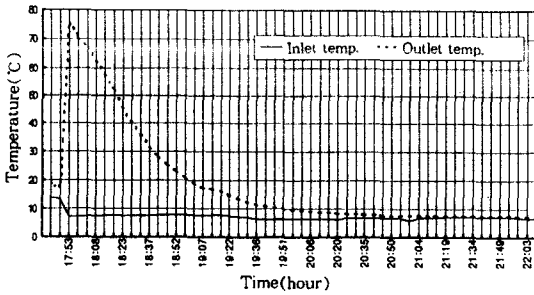


Fig. 6. Variation of inlet and outlet water temperature when the heat retrieval started after sunset (date:97/1/14)

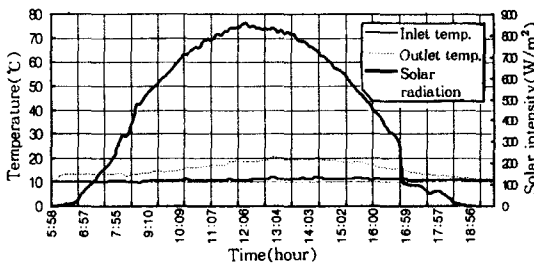


Fig. 7. Variation of inlet and outlet water temperature when the heat retrieval after sunrise (date:97/2/22)

는 경우, 입·출구 수온의 변화를 경시적으로 도시한 것이다. 여기서도 입·출구 수온이 같아지는 시점을 저장된 열 중 유용열이 전부 회수된 시점으로 하였다. 그림에서 살펴보면 일사량의 증가에 따라 열회수용 순환수온의 온도가 서서히 높아지지만, 일사량이 감소하면 순환수의 온도가 서서히 낮아진다. 즉 유출수온이 일사량에 따라 다르게 나타남을 알 수 있다. 다만 일사량의 피크(peak)시점과 회수열량의 피크(peak)시점에 는 약간의 지체 시간이 있음을 알 수 있다.

식 (1)을 이용하여 실험기간('97.3/12~3/22) 동안 회수 방법에 따른 회수되는 유용열 에너지를 비교해 본 결과, 일몰직후부터 열 교환 시스템을 가동하여 저장된 열을 회수하는 경우, 집열량은 5.31~10.77MJ/m²의 범위였다. 이 때 외기 조건은 일사량 및 최고 외기온이 각각 10.64~20.91MJ/m², 14.7~19.6°C의 범위였다. 그리고

실험기간('97.3/23~3/31) 동안 일출직후부터 집열과 동시에 회수하는 경우가 집열량은 10.28~17.20MJ/m²의 범위로 이 때 외기 조건은 일사량 및 최고 외기온이 각각 15.66~23.32MJ/m², 18.1~19.9°C의 범위였다.

이상의 결과로부터 주간동안 축열된 열을 일몰직후부터 회수된 열량이 일출직후부터 집열과 동시에 연속적으로 회수된 열량에 비해 상대적으로 작음을 알 수 있었다. 그러나 이러한 경향은 집열기 순환매체의 온도상태나 온수의 사용목적 등에 따라 상당한 차이를 보일 것으로 판단된다. 온실의 난방을 목적으로 할 경우는 전자의 경우에 큰 비중을 둘 수 있을 것이나 유입수온의 온도가 가변적이며 온실내에서의 열교환 상태에 따라 상당한 차이가 있을 것이다.

Table 1은 식 (3)을 이용하여 회수 방법에 따른 자연순환식 태양집열 시스템의 집열효율을 나타낸 것으로 집열기의 효율도 일사량과 외기온에 따라 달라짐을 알 수 있다. 본 실험에 사용된 집열기의 효율은 주간동안 축열된 열을 일몰직후부터 회수하는 경우, 48.6%~59.6%의 범위였으며, 일출직후 집열과 동시에 연속적으로 회수한 경우는 65.8%~78.0% 정도로서 일몰직후 회수한 경우의 효율이 일출직후 회수한 경우보다 상대적으로 작음을 알 수 있었다.

그리고 일반적으로 유입 수온이 낮을수록 효율은 높았다. 예를 들면, 유입 수온이 5~6°C, 7~8°C 및 10~12°C의 범위인 경우 수평면 일사량

Table 1. Collector efficiencies depending on heat retrieval method

(Experiment period : Mar. 12~Mar. 31)

Heat retrieval methods	Maximum ambient temperature (°C)	Solar intensity (MJ/m ²)		Collector efficiencies (%)
		Horizontal surface	Collector surface	
Retrieval after sunset	14.7~19.6	10.64~20.91	10.38~19.90	51.1~54.1
Retrieval after sunrise	18.1~19.9	15.66~23.32	15.63~22.06	65.8~78.0

을 이용한 집열기의 효율은 각각 67.3~82.7%, 50.7~69.6% 및 47.7~58.2% 범위였다. 이것은 순환매체의 온도가 낮을수록 열교환 파이프와 열매체사이의 온도차가 크기 때문인 것으로 판단된다.

나. 열매체 순환유량 변화

자연순환시스템의 경우, 순환유량은 축열조를 중심으로 열매체의 입·출구 온도차에 기인할 것으로 판단되어 열매체의 입·출구 온도차와 순환유량간의 관계를 회귀 분석한 결과 Fig. 8와 같이 상관계수(r)가 0.982로서 높은 상관관계를 보였다. 이 관계식은 본 시스템의 열매체 유량 및 집열량 예측에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 8에서 알 수 있듯이 열매체 온도차가 3°C 이하에서는 유량의 변화가 거의 없다. 그러나 열매체의 온도차가 3°C 이상에서 유량이 점차 증가하다가 온도차가 35°C 전후에서 1 l/min을 보이다가, 48°C 전후에서는 1.40~1.45 l/min의 유량을 나타냈다.

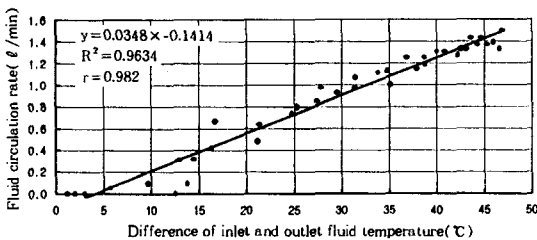


Fig. 8. Relationship between fluid circulation rate and fluid temperature difference of inlet and outlet

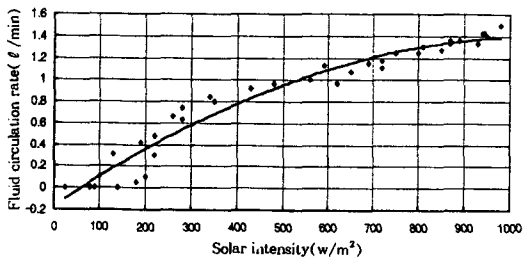


Fig. 9. Relationship between fluid circulation rate and solar intensity

Fig. 9는 일사량 변화에 따른 열매체 순환 유량의 변화를 나타낸 것으로 2차 포물선에 가까운 회귀관계를 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 일사량이 100W/m² 이하이면, 순환 유량의 변화는 없다. 그러나 일사량이 100W/m² 보다 많으면 일사량 증가에 따라 순환 유량은 증가하지만 600W/m² 전후에서 증가율이 둔화되어 1 l/min 정도에 도달하고, 일사량이 950~980W/m² 범위에서 순환 유량이 1.40~1.45 l/min에 달했다.

Fig. 10은 일사량과 열매체의 입·출구 온도차의 관계를 나타낸 것으로서 일사량이 클수록 입·출구 온도차가 커짐을 알 수 있으며, 일사량-유량 관계와 유사한 경향을 발견할 수 있다.

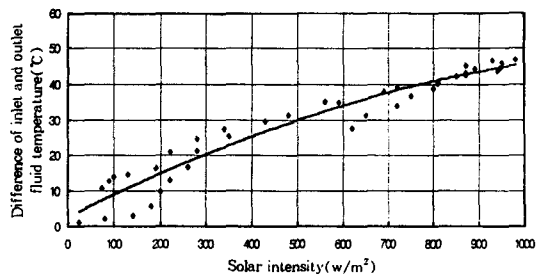


Fig. 10. Relationship between solar intensity and fluid temperature difference of inlet and outlet

다. 열매체 유량 및 집열량 추정

1) 열매체 유량 추정

Fig. 11은 8월 24일에서 9월 9일까지의 실험치를 기준으로 열매체 온도차에 따른 순환유량의 관계를 상관관계식으로 구한 추정치와 그 때의 실측치를 도시한 것으로서 상관계수(r)가 0.968로서 높은 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있었다. 따라서 열매체의 입·출구 온도차에 따라서 순환유량을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 이 때 실측치와 추정치의 오차범위는 0.08%~6.75%에 범위에 있었다.

2) 집열량 추정

Table 2는 실측된 순환수의 입·출구 온도차에

의한 집열량과 실험을 통하여 유도한 열매체 순환유량 관계식(Fig. 8)에 실측한 열매체 입·출구의 온도차를 대입하여 얻어진 유량에 의해 계산된 집열량을 대비한 것으로서 두 집열량간의

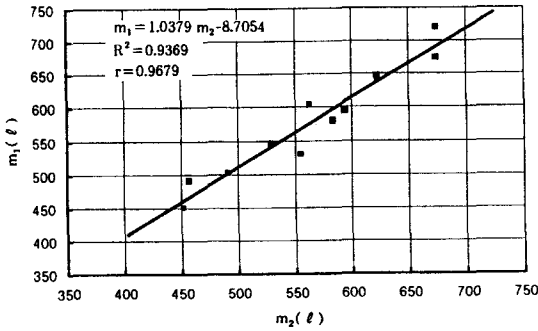


Fig. 11. Relationship between measured circulation rate(m_1) and estimated circulation rate(m_2)

Table 2. Comparison of heat amount between estimated(Q_1) and measured(Q_2)

Heat amount(kcal)		$Q_2 - Q_1$ (kcal)	Error (%)	Remarks
Measured (Q_2)	Estimated (Q_1)			
25,467.0	24,566.0	901.0	3.54	
19,983.7	16,721.3	3,262.4	16.3	
22,331.3	21,016.0	1,315.3	5.89	
26,783.5	22,423.0	4,360.5	16.2	
21,280.0	15,644.1	5,635.9	26.5	
18,326.9	12,844.0	5,635.9	29.9	
13,550.7	9869.1	3,681.6	27.1	
25,030.9	20,730.9	4,291.3	17.1	

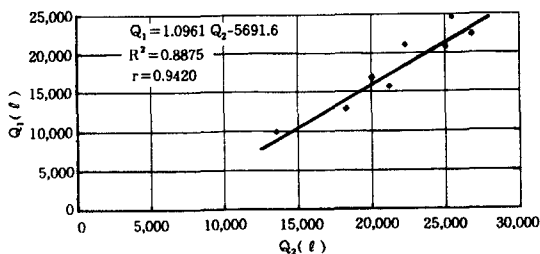


Fig. 12. Relationship between measured heat amount(Q_2) and estimated heat amount(Q_1)

평균 오차가 17.8% 정도로서 다소 높았다. 이것은 상관 관계식에 의한 추정유량의 오차가 집열량 계산에 상당한 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 12는 Table 2에 나타난 추정된 열매체에 의해 계산한 집열량과 순환수에 대해 실측한 집열량과의 상관 관계를 도시한 것이다.

3. 강제순환식 시스템의 성능분석

Fig. 13은 강제순환 시스템에서 일사량에 따른 열매체 입·출구 온도의 변화를 나타낸 일례로서 열매체의 입·출구 온도가 같아지는 시점을 열매체가 집열판으로부터 열을 전부 회수한 시점으로 보고 집열량을 산정하였다.

그리고 Table 3은 열매체 순환유량을 각각 4.2 l/min, 7.0 l/min 및 9.7 l/min로 변화시킬 때 강제순환 시스템의 집열량과 집열기의 효율을 나타낸 것이다. 열매체 유량별로 살펴보면 9.7 l/min 일 때 집열효율이 64.2%~74.5%, 7.0 l/min 일 때 78.4%~94.8%, 4.2 l/min 일 때 73.1%~88.6%의 범위로서 열매체 순환 유량이 7.0 l/min 전후일 때 집열효율이 가장 높은 것을 알 수 있다. 즉 강제순환 시스템은 열매체 유량을 적절히 선택하여 순환시킴으로써 집열효율을 극대화시킬 수 있다는 사실을 시사하는 셈이다.

Table 4는 자연순환 시스템과 강제순환 시스템의 성능을 상대적으로 비교해 보기 위하여 강

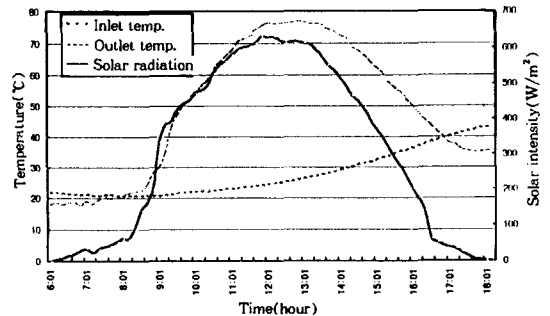


Fig. 13. Variation of inlet and outlet fluid temperature in forced circulation system (date:97/10/23)

Table 3. Variations efficiencies in forced circulation solar collector system depending on fluid circulation system

Date	Daily average temperature (°C)	Daily horizontal solar intensity (MJ/m ²)	Collected heat amount (MJ/m ²)	Collector efficiency (%)	Fluid circulation rate
Aug. 22	29.4	22.26	14.44	64.9	9.7 ℓ/min
23	27.9	19.33	14.40	74.5	
24	26.8	19.82	13.85	69.9	
26	27.1	16.41	10.53	64.2	
27	27.6	18.74	12.53	66.8	
Oct. 30	7.5	13.84	10.17	73.5	4.2 ℓ/min
31	5.3	14.85	11.32	76.2	
Nov. 3	7.8	11.85	10.50	88.6	
4	8.7	9.25	6.76	73.1	
5	8.5	12.70	9.90	77.9	
Nov. 6	8.6	13.71	12.14	88.5	7.0 ℓ/min
7	8.5	9.63	7.79	78.4	
8	10.1	11.37	9.72	85.5	
9	10.3	10.16	9.51	93.6	
10	11.2	10.89	10.32	94.8	

Table 4. Comparison of available heat amount between natural circulation system and forced circulation system

Data	Available heat amount (MJ/m ²)		Q _f /Q _n	Fluid circulation rate
	Natural circulation system, Q _n	Forced circulation system, Q _f		
Aug. 22	13.74	14.44	1.05	9.7 ℓ/min
23	13.83	14.40	1.04	
24	12.94	13.85	1.07	
26	10.17	10.53	1.03	
27	11.45	12.53	1.09	
Oct. 30	12.03	10.17	0.85	4.2 ℓ/min
31	14.04	11.32	0.81	
Nov. 3	13.10	10.50	0.80	
4	8.40	6.76	0.80	
5	10.05	9.90	0.99	
Nov. 6	12.37	12.14	0.98	7.0 ℓ/min
7	8.26	7.79	0.94	
8	11.37	9.72	0.85	
9	10.02	9.51	0.95	
10	11.88	10.32	0.87	

제순환 시스템의 집열량을 자연순환 시스템과 같은 집열면적으로 환산하여 자연순환 시스템의 일몰직후 회수한 일일 집열량(Q_n)과 강제순환 시스템의 열매체 유량을 각각 4.2 ℓ/min, 7.0 ℓ/min 및 9.7 ℓ/min으로 순환시켰을 때 집열기로부터 얻은 일일 집열량(Q_f)을 나타낸 것이다.

여기에서 알 수 있듯이 강제순환 시스템의 열매체 유량이 9.7 ℓ/min일 때, 자연순환 시스템의 집열량에 대한 강제순환 시스템의 집열량비(Q_f/Q_n)가 1.03~1.09 범위로서, 열매체 유량이 7.0 ℓ/min일 때의 집열량비(Q_f/Q_n) 0.85~0.98 및 열매체 유량이 4.2 ℓ/min일 때의 집열량비(Q_f/Q_n) 0.80~0.99의 범위보다 상대적으로 높았다. 즉 이것은 산정된 집열량이 일사량 및 외기온의 변화에 따라 많은 영향을 받지만 열매체 유량을 9.7 ℓ/min으로 순환시킬 때 강제순환 시스템의 집열성능이 가장 높다는 것을 알 수 있다. 비록 순환 유량의 변화에 대한 제반 부대설비 및 전기 용량등에 대한 면밀한 검토는 이루어지지 않았으나, 최적의 집열효율을 위한 적정 유량이 존재할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

태양열 집열시스템에 이용된 집열기의 열적 성능에 대한 실험적 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 자연순환식 태양열 집열시스템에서 열 회수 방법에 따라 회수되는 유용열 에너지를 비교해 본 결과 주간동안 열저장탱크에 열을 저장했다가 일몰직후부터 열 교환 시스템을 가동하여 열을 회수하는 경우, 집열량은 5.31~10.77MJ/m²의 범위로서 일출직후부터 회수하는 경우의 집열량 10.28~17.20MJ/m² 정도에 비해 다소 작았다.

2. 회수방법에 따른 자연순환식 태양열 집열시스템의 집열효율은 일출직후부터 회수한 경우 51.1~54.1%의 범위인데 비하여, 일몰직후부터 회수한 경우는 65.8~78.0% 정도로서 상대적으

로 크다는 것을 알 수 있었다. 이것은 순환 매체의 온도가 낮을수록 열 교환 피이프와 열매체 사이의 온도차가 크기 때문인 것으로 판단된다.

3. 열매체 입·출구 온도차에 따른 열매체 순환 유량은 직선회기 관계로서 열매체 입·출구 온도차가 클수록 순환 유량이 증가하는 경향을 보였다. 열매체 온도차가 3℃ 이하에서는 유량의 변화가 거의 없다가 3℃ 이상에서 유량이 점차 증가하여 온도차 35℃ 전후에서 1 ℓ/min에 달했으며, 48℃ 이상에서는 유량이 1.40~1.45 ℓ/min으로 최대의 순환 유량을 나타냈다. 그리고 일사량 변화에 따른 열매체 순환유량은 2차회귀 관계를 보임을 알 수 있었다. 일사량이 100W/m²을 넘어서면서 일사량 증가에 따라 순환 유량이 증가하고, 600W/m² 전후에서 순환유량이 1 ℓ/min에 달했으며, 일사량이 950~980W/m² 범위에서는 순환유량 1.4~1.45 ℓ/min으로 최대치를 나타냈다.

4. 자연순환식 태양 집열기의 열매체 입·출구 온도차와 순환유량의 열매체 순환유량의 관계를 회귀분석한 결과 상관계수(r)가 0.982로서 열매체 온도차에 따라서 순환유량을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 열매체 순환유량 관계식에 의해 추정된 유량과 실측한 유량을 비교한 결과 0.08%~6.75%의 오차 범위를 보였다.

5. 강제순환식 태양열 집열시스템의 집열효율을 열매체 유량별로 분석한 결과 열매체유량이 9.7 ℓ/min일 때 64.2%~74.5%, 7.0 ℓ/min일 때 78.4%~94.8%, 4.2 ℓ/min일 때 73.1%~88.6%의 범위로서 7.0 ℓ/min일 때의 집열효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 자연순환 시스템과 강제순환 시스템의 집열량을 상대적으로 비교해보기 위하여 강제순환 시스템의 집열량을 자연순환 시스템과 같은 집열면적으로 환산한 결과, 강제순환 시스템의 열매체 유량이 9.7 ℓ/min일 때, 자연순환 시스템의 집열량에 대한 강제순환 시스템의 집열량비(Q_n/Q_n)가 1.03~1.09 범위

로서 강제순환 시스템의 열매체 유량 4.2 ℓ/min 및 7.0 ℓ/min일 때 보다 상대적으로 높았다. 비록 순환유량의 변화에 대한 제반 부대설비 및 전기용량등에 대한 면밀한 검토는 이루어지지 않았으나, 최적의 집열효율을 위한 적정 유량이 존재할 것으로 판단된다.

6. 앞으로 자연순환식 태양열시스템과 강제대류식 태양열시스템을 작동 조건별로 비교 분석함으로써 효율이 높은 태양집열 시스템의 설계에 대한 기초자료를 마련함은 물론 태양열을 비롯한 심야전기, 보조난방 시스템의 조합을 통하여 지역별 기상 상태에 따른 복합적인 온실 난방시스템의 설계에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

이상의 결과는 태양열 집열시스템에 대하여 기초적인 실험자료를 보고하는 것이고, 이 기초자료 또는 현재에도 실험 중에 있는 자료들을 근거로 추후 인문적으로 검토한 결과에 대해서도 발표할 예정임을 밝혀둔다.

본 연구는 농림부에서 시행한 농림수산 특정연구사업인 “고효율 환경조절 및 에너지 절약형 온실구조의 최적설계”의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부임

참 고 문 헌

1. 유영선·장유섭·홍성기(1996), 실난방을 위한 모세관형 태양열 집열기의 성능에 미치는 유량의 효과에 관한 연구, 물생산시설환경 5 (1), pp. 57~64.
2. 이원근(1992), 자연형 태양열시스템의 열성능해석 및 최적화, 한국태양에너지학회, 12 (2), pp. 51~61.
3. 윤석범·전문현(1987), 자연순환식 태양열 급탕 시스템의 성능 추정방법에 관한 연구, 한국태양에너지학회, 7(2), pp. 11~53.
4. 김홍제·조덕기(1966) 태양열 집열기의 월별

- 평균 집열효율 및 가용집 열량 산정에 관한 연구, 한국태양에너지학회, 16(4), pp. 32~73.
5. 강용혁·조일식(1987), Batch형 자연형 태양열 온수급탕 시스템의 열적성능에 관한 실험적 연구, 태양에너지학회, 7(1), pp. 3~13.
 6. 광희열·윤환기(1966) 태양열 집광형 집열기(PTC)의 열성능 연구, 태양에너지학회, 16(4), 5~10.
 7. 김태진(1987), 평판형 태양열 집열기의 효율 증대에 관한 연구, 인하대학교 석사학위논문.
 8. A.Mertol, W. Place·T. Webster·R. Grief (1981) Detailed loop model analysis of liquid solar thermosyphons with heat exchangers, Solar Energy, 27(5), pp. 367~386.
 9. B. J Huang(1980), Similarity Theory of Solar water Heater With Natural Circulation, Solar Energy, 25, pp. 105~116.
 10. Cooper, P. I.(1969), The Absorption of Solar radiation in Solar Stills, Solar Energy, 12, pp. 1~3.
 11. D. J. Close(1982), The Performance of solar water heater with natural circulation, Solar Energy, 6, pp. 33~40.
 12. W. B Gillett(1980), The Equivalence of Outdoor and Mixed Indoor/Outdoor Solar Collector Testing, Solar Energy, 25, pp. 543 ~ 548.
 13. 古在豊樹(1984), 施設園藝におけるヒトボソプ利用の現状と將來. REFRIGERATION 59(683), pp. 21~ 34.
 14. 田中後六(1979), 太陽熱 冷·暖房 system, 兄弟社, pp. 141~163.