

잠열축열재를 적용한 태양열시스템의 실증실험

권재욱, 김종현, 홍희기*

경희대학교 대학원, *경희대학교 기계공학과

Verification Experiment of Solar Heating System with Latent Heat Storage Materials

Jae-Wook Kwon, Jong Hyun Kim, Hiki Hong**

ABSTRACT: Phase change material is useful to reduce the size of storage tank and to maintain the temperature of the tank constantly. That is very desirable characteristics in solar thermal systems, which makes many researchers to apply the PCM to solar thermal systems. We developed new PCM and tested in the previous work, and carried out an verification experiment for a solar hot water system in the present work. As a result, the storage tank can be reduced more than 30% with the same performance comparing to the storage tank whose media is only water.

Key words: Latent heat storage materials(잠열축열재), Forced circulation(강제순환), Verification experiment(실증실험)

1. 서론

기후변화 협약의 발효와 원유가격의 지속적인 인상으로 신재생에너지의 보급이 주목을 받고 있는 상황이다. 전기에너지 생산을 위주로 하는 신재생에너지 3대 핵심분야에는 포함되지 않으나, 열을 직접 필요로하는 장소에는 변환형태가 열에너지인 태양열 시스템의 보급 및 확대의 필요성이 절실하다.⁽¹⁾

현재 국내외에 보급된 태양열시스템의 90%를 차지하는 자연순환형시스템은 집열기 상부와 축열조가 밀착된 간단한 구조와 높은 효율성을 가지고 있으나, 혹한기를 거치는 우리나라의 중부지방에서는 심각한 동파문제로 보급에 신중을 요한다.^(2,3) 제어기와 열교환기를 포함하는 중대형 강제순환형시스템의 경우 동파에는 안전하나, 추

가적인 설비 증가로 인한 비용 상승과 설치공간의 제약이 따른다. 따라서 우리나라 기후특성에 적합하고 설치공간 최소화를 위한 태양열시스템의 소형화를 위한 새로운 방식의 시스템 개발이 요구되고 있는 실정이다.

그 동안 상변화물질(Phase Change Material, PCM)을 태양열시스템의 열저장매체로 활용하려는 시도는 적지 않았다. 그러나 축열재로서의 기본적인 요구조건은 물론 안정적인 성능, 즉 잠열량이 반복사용에도 저하되지 않고 동일한 용융, 응고패턴을 보유하는 물질의 개발이 용이하지 않은 듯하다. 이전 연구⁽⁴⁾에서 자체적으로 개발한 상변화물질을 잠열복사패널에 적용하는 결과를 보고한 바 있다. 본 연구에서는 태양열온수시스템에 적용되는 축열조내의 축열매체로 물과 잠열축열재를 이용하여 축열량과 집열효율 향상을 도모하는 실험을 수행하였다. 이를 통해 축열조의 크기 축소로 설치공간의 안정적인 확보와 성능향상을 도모한다.

† Corresponding author
Tel.: +82-31-201-2868; fax: +82-31-202-2625
E-mail address: hhong@khu.ac.kr

2. 시스템의 설치 및 실험방법

2.1 시스템의 개요

시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 본 실험을 위한 잠열축열재를 적용한 태양열시스템의 구성은 집열기 4매와 열교환기, 축열조로 구성되어 있으며, 경희대학교 공과대학 실험동에 설치하였다.

실험에는 집열기(면적 2.5m²) 4장을 직렬로 연결한 잠열축열재를 적용한 온수급탕 시스템을 구성하였다. 집열기의 설치 각도는 일반적으로 권장되는 위도보다 다소 큰 45°로 하였으며 집열기와 열교환기 사이의 1차측 배관계통 작동매체는 동과방지를 위해 40 wt%의 프로필렌글리콜 수용액을 사용하였다. 축열조는 잠열축열재를 포함한 270 L의 내부용적을 보유한다. 집열기로부터 획득한 열을 2차측으로 전달해 주는 열교환기는 스테인리스 재질의 환형 셸에 구리로 된 코일이 들어가 있는 원통-코일형을 이용하였다. 시스템에 대한 제원을 Table 1에 정리하였다. 축열조의 용량은 총 270 L이며, 길이 50 cm, 외경 5.2 cm의 플라스틱 용기에 PCM을 약 1.2 kg 충전시킨 PCM 모듈을 상하 2단으로 총 122개를 설치하였다. 원관형의 유도틀로 PCM이 흔들리지 않도록 고정하였으며, 유도틀 사이의 구멍을 통해 물이 원활히 통과하도록 하였다.

이번 실험의 PCM은 이전 연구에서 사용할

Table 1 System specification

Collector	Size	1179×2228 mm	
	Aarea	2.5 m ²	
	Unit	4	
	Slope	45°	
Storage tank	Capacity	270 L (water 135 L)	
	Type	Coil in shell	
Heat exchanger	UA	370W/K	
	Materials	Shell: stainless steel Coil: copper	
Pump	1st	Flow rate	21 lpm
		Output	80 W
	2st	Flow rate	30 lpm
		Output	40 W

것과 동일하며⁽²⁾ 총 500회의 동결·해빙 사이클 시험을 통해 자체적으로 성능을 검증하였다. 무기혼합물로 구성되었고 잠열량 분석을 위해 DSC(Differential Scanning Calorimeter, 시차주사열량계법)를 이용하여 상변화온도와 잠열량을 측정하였다. PCM의 비중은 전자식 밀도계를 이용하여 측정하였으며, PCM 구성 혼합물질의 화학적 안정성 및 유해성 검증을 위해 국제 화학물질 안정성 자료 MSDS(Material Safety Data Sheet) DB를 이용하여 안정성을 분석하였다. PCM의 제원은 Table 2에 정리하였다.

시스템의 제어는 집열기 출구온도와 축열조 출

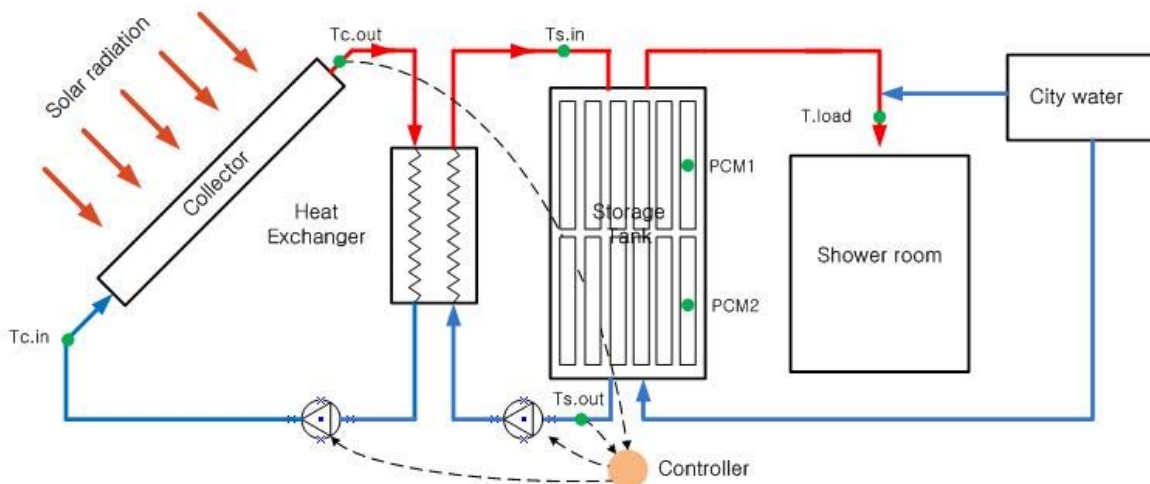


Fig. 1 Schematic diagram of system and measurement points

Table 2 PCM specification

PCM	Material	Inorganic (Sodium sulfate decahydrate+Surfactant)	
	Melting point	48°C	
	Latent heat	134 kJ/kg	
	Specific heat	Solid	3.74 kJ/kg°C
		Liquid	1.87 kJ/kg°C
Specific weight	1680 kg/m ³		

구온도의 차이를 이용하며, 12°C 이상이 되면 집열기 순환펌프가 온, 2°C 이하가 되면 오프가 되도록 설정하였다.

2.2 실험방법

실험은 준비기간을 거친 후 2010년 9월부터 실제 사용환경을 전제로 진행하였다. 무부하실험은 물만을 저장매체로 한 축열조와 잠열축열재를 적용한 축열조의 획득 및 저장열량을 비교하기 위한 실험이다. 집열기 순환유량과 축열조 순환유량을 적산유량계와 초음파유량계로 각각 측정하였다. 온도측정은 Fig. 1의 각 측정점마다 K-type의 열전대를 부착하였다. 이밖에 부하측 순시유량과 순환펌프의 작동상황 등 시스템의 운전과 관련되는 모든 데이터를 기록하였고, 36초 간격으로 측정되도록 설정하였다. 각각의 센서에서 측정된 값은 데이터로거를 통해 PC에 저장되도록 설치하였다.

PCM 성능과약을 위한 비교실험으로서 급탕부하를 건 실험을 실시하였다. 1차 부하실험은 PCM 온도가 상변화온도인 48°C 이상일 때 부하측으로 유량을 연속으로 배수함으로써 축열량 향상과 PCM의 동적거동을 파악하였다. 또한 실제 상황과 부합된 실험으로 일정시간 동안 간격을 두고 1인 샤워 기준인 부하 온도 40°C와 1회 샤워량 50 L를 배수하는 2차 부하실험을 진행하였다.

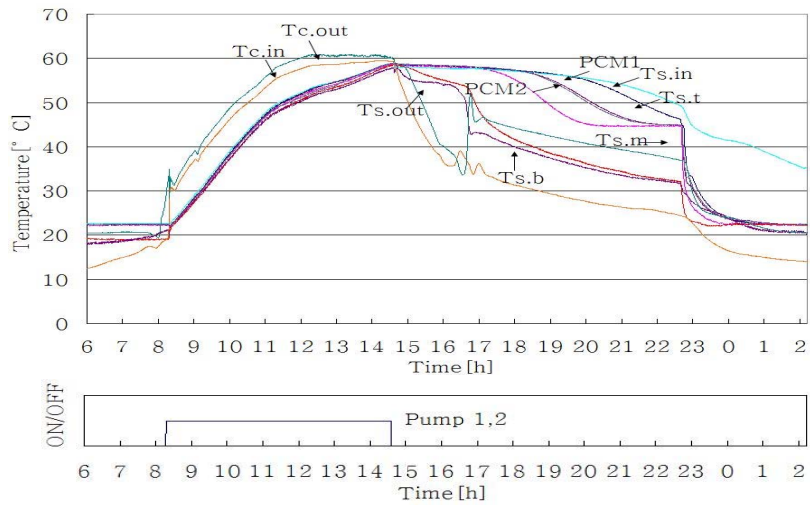
운전제어조건은 무부하실험과 동일하게 설정하였으며, 2차 부하실험에는 유량을 보다 정확하게 측정하기 위해 적산유량계를 열교환기와 축열조 사이에 부착하여 실측할 수 있게 하였으나, 적산

유량계의 부가저항으로 축열부 유량은 24 lpm으로 다소 감소하였다.

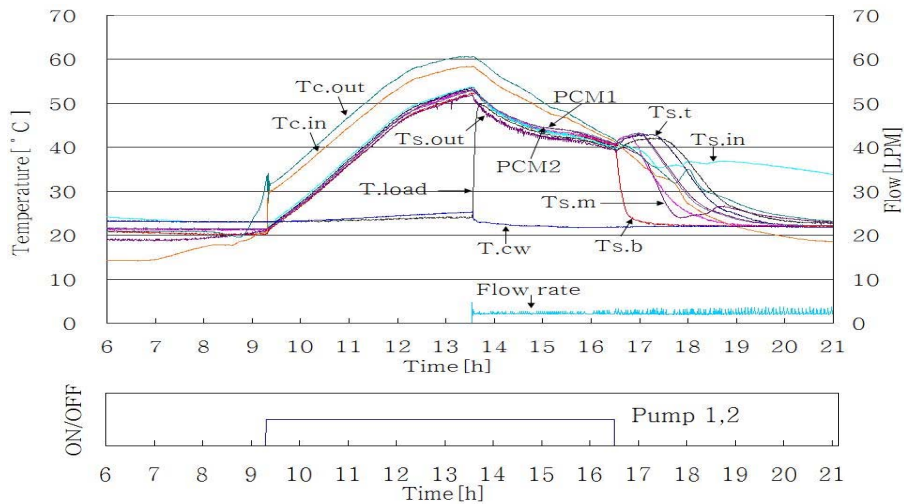
3. 실험결과 및 고찰

실험에 대한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 무부하실험은 일사조건이 양호한 2010년 9월 30일에 수행하였으며 이를 Fig. 2(a)에 나타내었다. 열교환기측 축열조 입출구온도는 2°C 이내의 차이를 보였으며, 이는 성층화 축진기구를 전혀 사용하지 않고 순환유량을 비교적 크게 유지함으로써 집열운전 중에는 축열조 내부가 완전혼합의 양상을 보이기 때문이다. 축열조 내 PCM 온도는 초기온도 22°C에서 시작하여 상변화온도인 48°C를 넘겨 최고 58°C까지 상승하였다. 1일 일사량 218 MJ, 집열량 92 MJ 그리고 축열열량은 75 MJ로 집열효율은 약 42%를 보였다. 집열기 획득열량과 축열량이 차이를 보이는 가장 큰 이유는 열교환기 및 배관과 축열조에서의 열손실로 간주되며 이밖에도 실험을 위한 각종 센서 및 부가장치에서의 손실도 적지 않았을 것으로 판단된다. 한편 동일한 초기온도 및 최종온도일 때의 수축열의 저장능력은 40 MJ로서 거의 두 배 가까이 열저장 능력이 향상되었음을 알 수 있다.

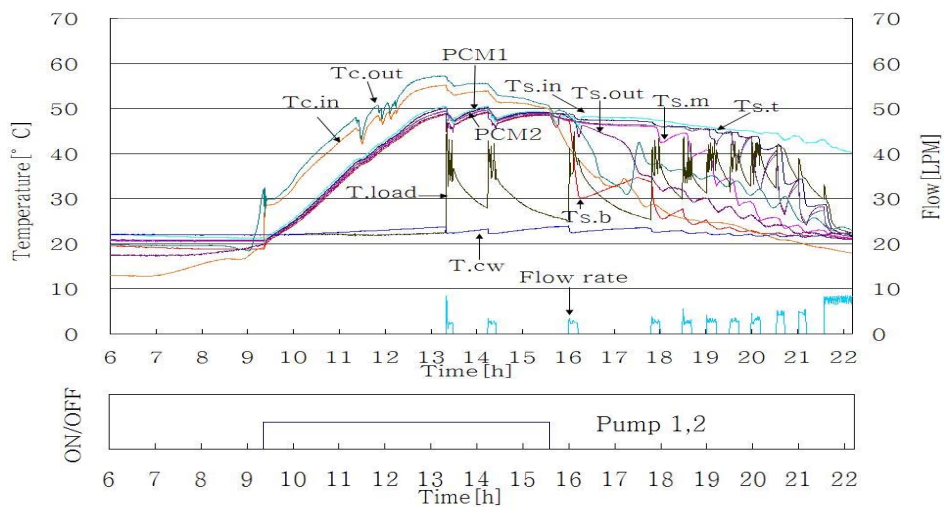
1차 부하실험은 2010년 10월 7일 진행하였으며, 실험 결과는 Fig. 2(b)에 정리하였다. PCM의 표면온도가 48°C를 상회하는 시점부터 부하측으로 온수를 2 lpm으로 연속 배수하면서 실험을 진행하였다. 데이터 분석결과 부하운전시 차가운 시수의 지속적 공급으로 축열조 내부온도와 PCM 온도가 같이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 1일 일사량 205 MJ, 집열량 99 MJ, 축열량 84 MJ로 집열효율은 48%를 보였다. 무부하 실험에 비해 집열효율이 상승한 이유는 온수 배수로 인한 축열조 하부로의 차가운 시수유입이 집열기 입구온도에 영향을 주었기 때문이다. 초기온도인 22°C로 떨어질 때까지 온수 배수로 부하측에 공급된 총 열량은 59 MJ이다. 다만 연속적으로 시수를 공급하며 축열조에서 온수를 뿜아내는 것은 본 시스템의 경우 그다지 적합하지 않다. 축열조의 용량의 절반 정도를 차지하는 온수가 모두 빠져나간 3시간 이후부터 부하급수온도가 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 PCM 내에는 여전히 열이 저장되어 있으며 시수와 원활한 열교환



(a) Unloading experiment



(b) 1st Loading experiment



(c) 2st Loading experiment

Fig. 2 Result graph

이 이루어지지 못함을 알 수 있다. 따라서 PCM을 적용한 축열조는, 부하가 연속적으로 걸리는 난방시스템보다는 간헐적인 급탕시스템에 적용하는 것이 적합함을 알 수 있다.

2차 부하실험의 결과를 Fig. 2(c)에 나타내었다. 적산유량계 설치로 인해 축열부족 유량은 24 lpm으로 감소하였으나 집열유량은 21 lpm으로 동일하게 실험을 진행하였다. PCM의 표면온도가 48°C를 상회할 때 주기적으로 부하운전을 진행하였다. 부하운전간 축열조 내부와 PCM의 온도는 같이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 축열운전 종료 후 부하운전시에는 축열조 하부와 중부의 온도는 급격히 하강하지만 축열조 상부와 PCM의 온도는 48°C 부근에서 비슷하게 유지되며, 부하운전 종료후 축열조 하부온도가 30°C에서 35°C까지 상승하고 PCM의 표면온도 역시 1차부하실험과 달리 시수로 인해 하강 후 상승함을 볼 수 있다. 1일 총 획득열량은 일사량 188 MJ, 집열량 82 MJ, 축열량 52 MJ로 집열효율은 44%를 보였다.

4. 결 론

본 연구에서 적용한 PCM을 축열매체로 적용할 경우 축열조의 크기를 대폭 줄여 설비형 태양열온수시스템의 설치공간 제약이라는 단점을 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

부하측으로 열을 연속적으로 공급할 경우 PCM에서 저장매체인 물로의 열전달이 원활히 이루어지지 않기 때문에 부하량이 많고 지속적으로 열공급이 필요한 태양열난방시스템 적용에는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 하지만 가정용과 같이 간헐적으로 부하를 걸어주는 태양열온수시스템의 경우 제한적으로 적용가능할 것으로 기대된다. 특히 비교적 작은 용량의 가정용 시스템의 경우 설치공간의 제약이 많이 따르기 때문에 본 연구 결과가 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Hong, H., 2004, 3% Use of alternative energy in 2006 and Solar thermal system, Journal of SAREK, Vol. 33, No. 11, pp.

- 47-54.
2. Kim, S. S., and Hong, H., 2008, Measures and proposal for Korean solar water heating system, Korean J. of Air- Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 631-636.
3. Kim, J. H. and Hong, H., 2010, Verification experiment on freeze protection for solar water system, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference.
4. Kim, J. H., Hong, H., Peck, J. H. and Kang, C., 2010, Verification experiment of solar heating system with latent heat panel, Proceedings of the KSME Thermal Eng. Spring Conference, pp. 182-183.