

자연형 및 설비형 태양열 온수기의 이용특성에 대한 실험적 연구

The Experimental Research for the Use Characteristics of the Passive and Active type Domestic Solar Hot Water Systems

이동원*† · 곽희열**

Lee, Dong-Won*† and Kwak, Hee-Youl**

(Submit date : 2013. 9. 7., Judgment date : 2013. 9. 13., Publication decide date : 2013. 10. 21.)

Abstract : There are the stirring test and drain test in the daily performance test to determine the thermal performance of a domestic solar hot water system. The drain test is a test that measures the discharge heating rate while drain the hot water from the top of the storage tank and supply the city water to the bottom of the tank. From the perspective of the user, this drain test is more effective than the stirring test. In this study, the thermal performance were compared through the drain test for a passive type and an active type domestic solar hot water systems consisting of the same storage tank and collectors. At this point, a passive type was used the horizontal storage tanks, and an active type was used vertical storage tank. In the drain test, when the hot water drained up to the reference hot water temperature, an active type which have vertical storage tank represents excellent daily performance than a passive type which have horizontal storage tank regardless of weather conditions. The reason for this is because the vertical storage tank is advantageous to thermal stratification in the tank. After the drain test, the residual heat for the horizontal storage tank was much more than the vertical storage tank, but in the next day the amount of discharged heat were less than the those of vertical storage tank neither. Thus, the solar water heating system which have horizontal storage tank should be adopted preheating control method rather than separate using control method when connected with auxiliary heat source device.

Keywords : Domestic solar hot water system(태양열 온수기), Active type(설비형), Passive type(자연형), Drain test (배수시험), Thermal stratification(온도성층화)

*† 이동원(교신저자) : 한국에너지기술연구원 태양에너지 연구단
E-mail : dwlee@kier.re.kr, Tel : 042-860-3533
**곽희열 : 한국에너지기술연구원 태양에너지연구단
*†Lee Dong-Won(corresponding author) : Department of Solar Energy Research, Korea Institute of Energy Research.
E-mail : dwlee@kier.re.kr, Tel : 042-860-3533
**Kwak Hee-Youl : Department of Solar Energy Research, Korea Institute of Energy Research.

기 호 설 명

F : Flow rate [Liter/min]

Q : Discharged Heat [J]

T : Temperature [°C]

Subscript

in : Inlet of the storage

out : Outlet of the storage

sum : Accumulated value

1. 서 론

온수급탕에 이용되는 자연형 및 설비형 태양열 온수기의 일일(一日) 성능시험을 통해 열적성능을 확인하는 시험방법에는, 교반시험과 배수시험이 있다. 교반시험은 시험 전후의 축열조 내 물을 교반하여 온도차를 측정함으로써 하루 동안 태양열 온수기를 통해 생산된 총 열량을 산정하는 방식으로, 이전의 연구¹⁾에서 자연형과 설비형 온수기의 여적성능을 비교했던 방법이다. 반면, 배수시험은 시험 후 온수를 배출시키면서 새로 공급되는 시수와 온도차를 이용하여 배출된 열량을 측정하는 방식으로, 교반시험보다는 사용자 측면을 고려한 방법이라고 할 수 있다.

이러한 시험방법의 결과가 차이가 나는 경우는 축열조의 형태가 다른 경우이다. 자연형은 집열기 위에 축열조를 횡형(horizontal)으로 설치하는 것이 보통이며, 설비형은 별도의 공간에 일반적인 입형(vertical)으로 축열조를 설치한다. 이 때문에 각 축열조의 온도성층화 정도가 다르며, 배수시험의 결과에 차이가 발생한다.²⁾

본 연구에서는 자연형과 설비형 태양열 온

수기의 배수시험 결과를 분석하여 각 온수기의 열적성능을 비교하고자 하였다. 설비형 태양열 온수기에 대해서는 명확한 배수시험 기준이 없기 때문에, 자연형의 경우와 같은 방법으로 수행하였다.

2. 보조열원 이용 제어방식 및 배수시험

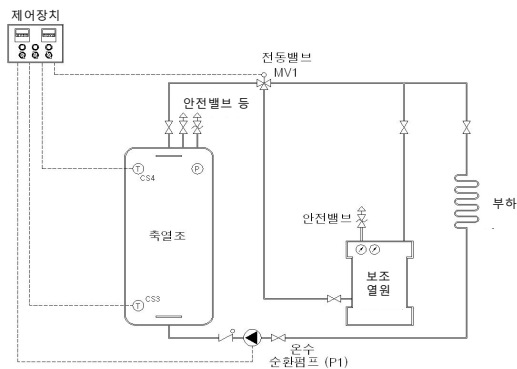
2.1 보조열원 이용 제어방식

태양열 시스템과 보조열원을 연계시키고 제어하는 방식은 그림 1과 같이 크게 두 가지로 구분할 수 있다.³⁾ 그 중 하나는 온수를 반드시 태양열 축열조를 통과하여 공급받는 예열이용 방식이다. 이 방식은 축열조 내 저장된 모든 열원을 이용한다는 장점은 있지만, 유용한 열이 남아있지 않은 경우에도 축열조를 통과한 시수를 이용해야 하는 단점이 있다. 이 경우 보조열원은 축열조에서 배출되는 물의 온도가 기준 온수온도보다 낮다고 판단될 때 가동된다.

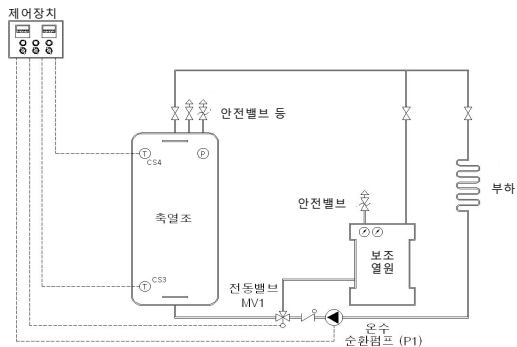
또 다른 제어방식은 축열조 내 온수를 이용하다가 축열조에서 배출되는 물의 온도가 낮아져 더 이상 온수가 아니라고 판단되는 경우, 시수를 축열조가 아닌 보조열원으로 보내어 가열시키는 분리이용 방식이다. 축열조 내 저온의 열원을 충분히 이용하지 못하는 단점이 있는 반면, 불필요하게 실외에 있는 축열조까지 시수를 보내지 않아도 되기 때문에 제어가 간단하고 동파의 우려가 적다는 장점이 있다.

2.2. 배수시험

배수시험은 교반시험과는 달리 전술한 바와 같이 실제 소비자의 사용패턴과 유사하게 운전하면서 태양열 온수기의 성능을 분석하는 방법이다.⁴⁾ 즉, 배수시험은 일일 집열과정



(a) 예열이용 방식(preheating)



(b) 분리이용 방식(separate)

Fig. 1 Control systems using auxiliary heat

을 종료한 후 축열조 하단 입구와 연결된 시수배관을 통해 시수를 일정한 유량으로 축열조에 공급하면서, 축열조 상단 출구로부터 같은 유량의 온수가 배출되는 과정을 통해 이루어진다. 이 때 배출되는 온수 및 공급되는 시수의 온도와 유량을 지속적으로 측정함으로써 산정된 누적열량을 열적성능으로써 평가한다.

배수시험 기준에서는 배출되는 온수의 온도가 시수 온도보다 2°C 높을 때까지 배수과정을 진행하도록 되어있다. 그러나 보조열원을 이용하는 제어방식이 전술한 분리이용 방식을 적용하고 있다면, 이러한 배수시험은 실

제 소비자의 사용패턴과는 차이가 날 수밖에 없다. 실제 소비자가 사용하는 온수는 시수 온도 + 2°C가 아니라, 이보다 높은 온도의 온수만이 해당되기 때문이다. 즉, 배수시험에서 얻었다고 할 수 있는 온수의 양은 분리이용 제어방식을 적용한 태양열 온수기(또는 태양열 시스템)를 사용하는 입장에서는 얻을 수 없는 온수의 양인 것이다.

또한, 기준에서는 배수가 진행된 후에 축열조 내 물을 교반하여 다음 날 시험에 대비하는데, 이것도 실제 소비자가 태양열 온수기를 이용할 때와는 차이가 난다고 할 수 있다. 실제로는 축열조 내 온수의 배출이 종료된 후에도 축열조 내 물을 교반하거나 배수시키지 않기 때문이다. 이와 함께 일일 성능시험 기준에서는 일사량이 적은 오후 4시를 기준으로 태양열을 차폐하고 교반 또는 배수하는 방법을 취하도록 하는데, 이것 또한 실제 사용패턴과는 다른 점이다.

3. 실험장치 및 방법

자연형 및 설비형 태양열 온수기의 배수시험 성능을 비교하기 위한 실험장치는 이전의 연구¹⁾⁵⁾⁶⁾에서 이미 설명한 바와 같다. 다만, 이전의 연구에서는 교반시험을 수행하였기 때문에 일몰 후 축열조 내 온수를 교반하여 평균온도를 측정하였으나, 본 배수시험에서는 일몰 후 일정한 유량으로 축열조 하단부에서 시수를 공급하면서 시수의 온도와 유량을 측정하고, 이에 따라 동일한 유량으로 축열조 상단부에서 배출되는 온수의 온도를 함께 측정하였다.

본 연구에서는 전술한 배수시험 기준의 문제점들을 감안하여 보다 소비자의 사용패턴에 맞는 방식의 배수시험을 수행하였다. 즉,

온수는 사람의 체온인 36.5°C보다 온도가 높은 물이라고 가정하여 배수되는 온수의 온도가 이 온도가 될 때까지만 배수하는 분리이용 제어방식을 채택하기도 하였다. 이 경우 배수가 종료된 직후에 교반이나 강제배수를 진행하지 않았다. 배수시험을 축열조 내 온수가 모두 배출될 때까지 수행한다면 교반시험의 결과와 차이가 없지만, 위와 같이 최종 기준 온도를 정하는 경우에는 축열조 내 온도성층화가 배수시험 결과에 영향을 미치게 된다. 한편, 축열조 하단부를 통해 축열조에 공급되는 시수의 유량, 즉 축열조에서 배출되는 온수의 유량은 시험기준에 따라 약 10 Liter/min로 하였다. 또한 입형 축열조에 설치된 디퓨저는 일반적으로 알려진 기준(Froud수가 1보다 작아야 함)에 따라 원관형으로 제작하여 설치되었다.

4. 실험결과

그림 2는 청명한 날(총 일사량 21.27 MJ/m²) 동일한 조건 하에서 집열과정을 거친 자연형(Passive)과 설비형(Active) 태양열 온수기에 대하여, 오후 8시 30분부터 수행된 배수시험 중 축열조 하단부로 유입되는 시수 및 축열조 상단부에서 배출되는 온수의 온도를 시간에 따라 함께 나타낸 것이다. 점선은 축열조 하단부 입구에서 측정한 시수의 온도 T_{in} (Inlet Temp.)을, 그리고 실선은 축열조 상단부 출구에서 측정한 온수의 온도 T_{out} (Outlet Temp.)을 표현하고 있다. 또한 굵은 선은 설비형, 그리고 가는 선은 자연형의 경우이다. 시수의 온도 및 유량 F는 각 온수기에 대해서 모두 약 20°C와 10 Liter/min로 거의 같도록 조절하였다. 이러한 시수 공급 및 온수를 배출하는 배수시험은, 시험기준에서와 같이 배출되

는 온수의 온도가 시수의 온도보다 2°C 높을 때까지 진행하였다.

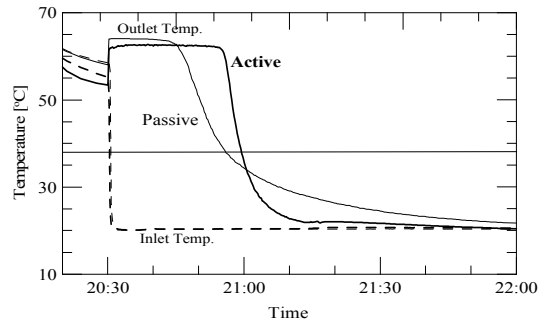


Fig. 2 Comparison of the outlet temperature

배수 초기에는 자연형에서 배출되는 온수의 온도가 설비형의 그것보다 다소 높은 것을 확인할 수 있다. 이것은 자연형의 축열조 내 물의 온도분포가 설비형의 그것과는 다르기 때문이다. 그러나 온도성층화가 우수한 입형 축열조가 설치된 설비형의 경우는 약 30분 가까이 사용 가능한 온수(36.5°C 이상)가 배출되며, 온수의 온도 또한 높은 상태가 상당시간 유지되는 것을 볼 수 있었다. 반면, 온도성층화가 상대적으로 곤란한 횡형 축열조가 설치된 자연형의 경우는 배출되는 온수의 온도가 상대적으로 일찍 낮아지기 시작하여 고온의 온수 배출시간이 짧다는 것을 알 수 있다.

또한 온도성층화가 잘 이루어진 설비형의 경우는 상대적으로 짧은 시간 내에 배수 및 시수공급이 종료되었고, 온도성층화가 제대로 이루어지지 않은 자연형의 경우는 배수시험 종료에 보다 오랜 시간이 소요되었음을 알 수 있었다.

동일한 배수과정에서 시간에 따른 배출 열량 Q(Discharge Heat) 및 누적 열량 Q_{sum} (Accumulated Heat)을 비교하여 나타낸 것이 그림 3이다. 배출 열량은 실선으로 누적 열량은 점선으로 나

타냈으며, 역시 설비형은 굵은 선으로 그리고 자연형의 경우는 가는 선으로 나타내었다. 여기서 열량을 산정한 기준은 배출되는 온수와 유입되는 시수의 온도차를 기준으로 한 것이다. 배수시험 초기 자연형의 배수 온도가 높았음에도 불구하고 배출 열량이 다소 적게 나타난 것은, 자연형 축열조의 유입되는 시수의 유량이 설비형의 그것보다 다소 적었기 때문이다.

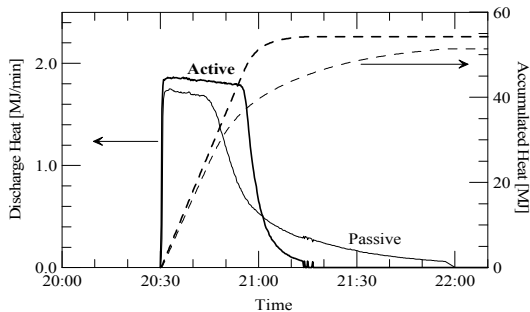


Fig. 3 Comparison of the discharge heat

시수온도에 근접한 온도까지 온수를 배출하는 배수시험에서의 누적 열량은, 축열조로 유입되는 시수온도를 기준으로 할 때, 설비형은 약 54.28 MJ, 그리고 자연형은 약 51.35 MJ로서 약 5% 정도의 차이밖에 없었다. 이 정도 차이는 청명한 날에는 설비형 태양열 온수기의 성능이 자연형보다 우수하다는 이전 연구결과의¹⁾ 차이와 유사하다. 이러한 누적 열량은 교반시험의 결과와 거의 같은 것으로 추정되는데, 그 이유는 배수되는 온수의 온도가 시수온도에 근접할 때까지 배수함으로써, 축열조 내 열량을 모두 배출한 것으로 판단할 수 있기 때문이다.

그러나 실제 소비자가 사용 가능한 온도 36.5℃ 이상까지만 유효하다고 가정하면, 설비형의 경우는 약 51.06 MJ의 열량을 얻을 수

있었으며, 자연형의 경우는 이 보다 약 26% 적은 38.03 MJ 밖에 얻지 못했음을 확인하였다. 물론 이러한 배출 열량의 정도는 배수패턴에 따라 달라질 수 있지만, 분리이용 방식을 채택하는 경우 입형 축열조를 갖는 설비형이 횡형 축열조의 자연형보다 사용성능 면에서 유리하다는 점은 분명하다.

그림 4는 자연형 태양열 온수기의 성능이 설비형의 그것보다 우수할 것으로 짐작되는 비교적 흐린 날(총 일사량 11.23 MJ/m²)의 배수시험 결과를 위에서와 같은 방식으로 나타낸 것이다. 단, 배수시험의 기준에서와 같이 배출되는 온수의 온도가 시수온도 +2℃ 이내가 될 때까지 배수를 한 것이 아니라, 기준 온수온도인 36.5℃가 될 때까지 온수를 배출한 후 배수를 종료하였다.

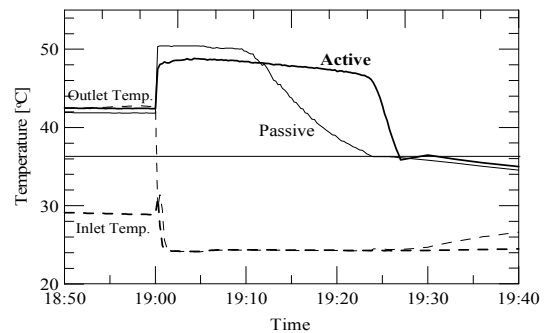


Fig. 4 Comparison of the outlet temperature in separate method

오후 7시부터 약 25℃의 온도를 갖는 시수가 각 축열조로 공급되면서 축열조로부터 온수가 배출되었다. 자연형의 경우 배수가 시작되어 23분 정도 경과 후에는 36.5℃보다 낮은 온도의 온수가 배출되기 시작했으므로, 시수 공급 및 배수는 중지되었다. 반면 설비형의 경우는, 배수 초기에는 자연형에 비해 다소 낮은 온도의 온수가 배출되었으나, 초기와 거

의 같은 정도의 온도를 갖는 온수가 약 25분 이상 배출되는 것을 확인할 수 있다. 그 후 배출되는 온수의 온도가 자연형에 비해 보다 급격하게 낮아지고, 결국 약 27분이 경과한 후에는 역시 36.5℃보다 낮은 온도를 갖는 온수가 배출되기 시작하여 시수공급 및 배수가 중지되었다. 이와 같이 배출되는 온수의 온도가 일정하다가 급격히 감소하는 것은, 설비형 태양열 온수기의 입형 축열조가 온도성층화에 더욱 유리하기 때문이다.

그림 5는 이러한 배수시험 과정에서 측정된 배출되는 온수의 온도와 유량을 바탕으로, 각 태양열 온수기에서 배출되는 열량과 누적 열량을 계산하고 이들의 시간에 따른 변화를 함께 나타낸 것이다. 여기서 열량은 그림 3에서와 같이 시수의 입구온도를 기준으로 산정한 것이다.

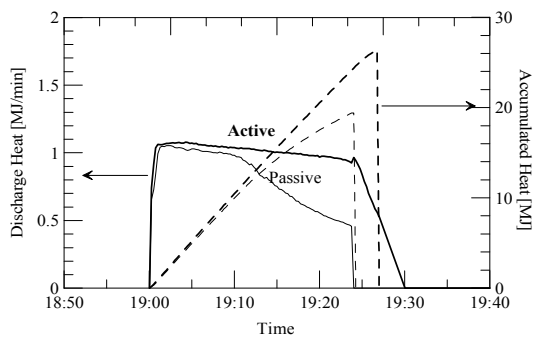


Fig. 5 Comparison of the discharge heat in separate method

같은 조건 하의 배수시험을 통해 자연형은 총 19.39 MJ의 누적 열량을 얻을 수 있었고, 설비형의 경우는 총 26.43 MJ의 누적 열량을 얻었음을 확인하였다. 이와 같이 설비형의 경우에 훨씬 많은 누적 열량을 얻을 수 있었던 것은 전술한 바와 같이 축열조 내 온도성층화가 잘 이루어졌기 때문이다. 한편 얻어진 열

량을 배출되는 온수의 온도와 기준 온수온도 36.5℃의 차이를 바탕으로 산정한다면, 각각의 누적 열량은 8.34 MJ과 12.40 MJ이다.

한편 분리이용 방식의 채택으로 축열조 내 온수를 36.5℃까지만 배수를 한 경우, 자연형의 횡형 축열조 내 남아 있는 물의 온도는 설비형의 입형 축열조 내 남아 있는 물의 온도보다 높은 온도를 유지하게 된다. 그 이유는 온도성층화가 잘 안되어 있는 자연형 축열조 내 물의 온도는 36.5℃보다 약간 낮은 상태의 물이 많이 남아있는 반면, 온도성층화가 잘 되어 있는 설비형 축열조에 남아 있는 물의 대부분은 유입된 시수와 비슷한 낮은 온도를 갖고 있기 때문이다. 즉, 설비형의 경우는 축열조 내에 있던 열을 유용하게 대부분 이용하지만, 자연형의 경우는 그렇지 못해 남아 있는 열이 상대적으로 많은 것이다.

이와 같이 분리이용 방식을 채택한 경우 축열조 내 잔여 열량의 차이는, 그 다음날 태양열 온수기의 성능에 영향을 미칠 것이 분명하다. 잔여 열량이 상대적으로 많은 횡형 축열조의 자연형은 집열기 입구온도 상승에 따른 집열효율 저하가 예상되지만, 집열과정이 종료된 후 축열조 내 보유 열량은 입형 축열조를 갖는 설비형의 그것보다 많을 것으로 짐작된다.

본 연구에서는 위 배수시험이 수행된 다음날의 배수시험 결과를 분석해 보았다. 물론 이 때에도 배수시험은 분리이용 방식을 적용하여 배출되는 온수의 온도가 36.5℃일 때까지 온수를 배출하였다. 다음 날은 총 일사량이 22.35 MJ/m²로 맑은 날이었는데, 배수시험 결과는 자연형과 설비형이 각각 약 32.89 MJ과 39.88 MJ로써 역시 입형 축열조를 갖는 설비형의 경우가 유리하다는 것을 확인하였다. 그러나 이러한 두 태양열 온수기의

이용방식 차이에 따른 성능변화는, 보다 장기적인 관점에서 살펴보아야 할 것으로 판단되었다.

5. 결 론

동일한 집열기와 축열조로 구성된 자연형 및 설비형 태양열 온수기를 같은 장소에 함께 설치하고 이용성능을 비교하고자 하였다. 이때, 자연형은 횡형 축열조를, 그리고 설비형은 입형 축열조를 이용하였다. 집열과정이 모두 종료된 후 분리이용 방식을 적용한 배수시험을 통해 성능을 측정하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 배수시험 기준에 따라 시수온도 +2°C 이 내가 될 때까지 배수하는 경우 각 온수기의 이용성능은 차이가 없었는데, 이것은 보조열원과의 연계 시 예열이용 방식을 적용하는 경우이다.
- (2) 보조열원과의 연계 시 분리이용 방식을 적용하여 기준 온도까지만 배수하는 경우, 기후조건에 관계없이 입형 축열조의 이용성능이 우수하였다. 그 이유는 입형 축열조가 횡형 축열조에 비해 온도성층화에 유리하기 때문인데, 본문에서 예로 든 맑은 날의 경우 횡형 축열조의 누적 열량이 입형 축열조의 그것보다 약 26% 적었다.
- (3) 횡형 축열조의 경우 분리이용 방식의 제어가 종료된 후 잔여 열량이 많았으나, 익일의 배수시험에서도 입형 축열조보다 적은 열량이 배출되었다. 그러나 이에 대해서는 보다 장기적인 성능시험을 통한 보완이 필요하다고 판단되었다.
- (4) 부득이 횡형 축열조를 갖는 태양열 시스템을 사용하는 경우, 보조열원과의 연계

시 분리이용 방식이 아닌 예열이용 방식을 채택해야 한다.

후 기

본 논문은 산업자원부의 지원을 받았음.

참 고 문 헌

1. Lee, D.W. and Lee, K.H., The Experimental Research for the Collecting Characteristics of the Passive and Active type Domestic Solar Hot Water Systems, Journal of the KSES, 2013.
2. Ryu, N.J. et al., The Study on Efficiency Improvement of a Thermal Storage Tank for Solar Combined Heating System, Journal of the KSES, Vol. 27, No. 4, pp. 43-50, 2007.
3. KIER, Standardization of the Solar Thermal Energy System, Report, Ministry of Knowledge Economy, 2008.
4. Choi, B.S. et al., Verification Experiment and Analysis for 6 kW Solar Water Heating System, Journal of the SAREK, Vol. 16, No. 6, pp. 556-565, 2004.
5. KIER, Development of the Active Type Solar Domestic Hot Water System, Report, Ministry of Trade Industry Energy, 2004.
6. Lee, D.W. and Atul S., Thermal Performance of the active and passive water heating systems based on annual operation, Solar Energy, Vol. 81, pp. 207-215, 2007.