

태양열 축열조 성층화 촉진기술

권재욱, 홍희기^{*†}

경희대학교 기계공학과 대학원, ^{*}경희대학교 기계공학과

Enhancement of Stratification for Solar Water Storage Tank

Jae-Wook Kwon, Hiki Hong^{*†}

ABSTRACT: Large-scale active solar heat systems are generally using heat exchanger between collector and storage tank loops to prevent damage by freezing. It is difficult to maintain stratification in the storage tank in the system in order to raise the flow rate enhancing heat transfer rate. In the previous study, we introduced a spiral-jacketed storage tank and obtained good results to keep system performance of general level without better stratification. We added a coil-shaped heat exchanger on the upper side in the spiral-jacketed storage tank. As a result of the experiment, it was verified that degree of stratification of the new type storage tank is higher than that of the previous one with a possibility of better collector efficiency and solar fraction.

Key words: Active solar heat system(설비형 태양열 시스템), Spiral-jacketed storage tank(나선재킷 축열조), Stratification(성층화)

기 호 설 명

- C_p : 물의 정압비열 [kJ/kg·K]
- I_t : 경사면 투사 일사량 [kJ]
- \dot{m} : 질량유량 [kg/s]
- Q_u : 집열기 획득열량 [kJ]
- T_c : 집열판 온도 [°C]
- T_s : 축열조 온도 [°C]

- i : 입구측
- o : 출구측

그리스 문자

- η : 집열 효율

하첨자

1. 서론

유가급등과 기후변화협약의 발효로 신재생에너지의 중요성이 어느 때보다도 주목받고 있다. 신재생에너지 분야에서도 경제성 면에서 가장 경쟁력을 갖춘, 변환형태가 열에너지인 태양열 시스템의 집중적인 보급과 확대가 절실한 상황이다.⁽¹⁾

태양열분야의 활성화를 위해서는 무엇보다도 가정용 및 소형건물, 복지시설용의 소형 및 중형 시스템이 집중적으로 보급되어야 하며, 이를 위해서는 기존의 문제점이 해결되고 획기적으로 기술혁신이 이루어진 시스템의 도입이 전제되어야 한다. 그 동안 축열조 내의 상·하부의 온도차를 크게 하는 성층화촉진기술을 통해 태양열시스템의 효율향상이 가능하다는 것은 이론적, 실험적으로 규명되었으나, 다양하게 개발된 디퓨저 등

[†] Corresponding author
 Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625
 E-mail address: hhong@khu.ac.kr

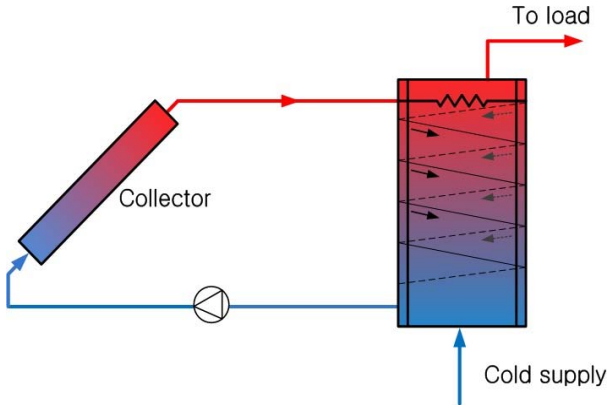


Fig. 1 Schematic diagram of Intensive upper side heating storage

의 성층화촉진기구를, 열교환이 필요한 강제순환 방식에 적용하기에는 어려움이 있었다. 즉, 동관에 안전하기 위해서는 실외측 배관과 집열기에는 부동액을 순환시키며 축열조 내의 물과는 열교환이 요구되나, 열전달촉진을 위해서는 순환유량이 커지고 이로 인해 성층화촉진기구는 제 기능을 발휘하기 어렵게 된다. 이에 본 연구에서는 디퓨저 대신 축열조 상부에 와선형의 열교환 코일을 설치하여 상부를 집중적으로 가열한 후, 측면 나선재킷을 통해 축열조 내의 물에 열을 전달하는 구조의 축열조를 제작하여 실증실험을 수행하였다.

2. 시스템의 설치 및 실험

본 실험에서는 이전실험⁽²⁾에 사용하였던, 나선재킷 축열조 대신 추가적으로 상부에 와선형 열교환 코일을 설치한 축열조를 사용하였다. 시스템에 대한 개략도를 Fig. 1에, 주요 제원을 Table 1에 나타내었다.

본 연구의 핵심요소인 축열조의 개략도와 사진을 Fig. 2, Fig. 3에 보인다. 550 L 용량의 축열조 상부에 동관을 와선형으로 감아 설치하였으며, 축열조 외부에 재킷형태로 틀을 씌우고 그 사이의 공간에 나선형의 유로를 구성하였다. 도면에 보이는 바와 같이 상부 코일에는 외경 15.88 mm, 길이 약 21 m의 동관을 사용하였으며, 나선재킷에 사용된 나선유로는 폭 13 mm, 피치 100 mm, 전체길이 약 18 m로 설계하였다. 축열조 내부에는 높이에 따른 온도변화를 알아볼 수 있도록 250 mm 간격으로 5개의 온도센서를 설치하

Table 1 Specification of system

Collector	Size	1179×2228 mm
	Area	2.5 m ²
	Unit	4
	Slope	45°
Storage tank	Capacity	550 L
	Material	SUS
Pump	Capacity	60 lpm (H : 4 m)
	Output	80 W
Control module	Type	Digital difference temperature control

였다. 나선재킷만 적용할 때와 상부를 먼저 가열하고 나선재킷을 가열할 때의 직접적인 성능 비교를 위해, 유로를 변경할 수 있도록 배관을 구성하였으며, 배관내의 열매체로는 겨울철 동파방지를 위한 40%의 프로필렌글리콜을 사용하였다.

획득열량 및 집열효율에 사용된 수식은 각각 다음과 같다.

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{I_t} \times 100(\%) \quad (2)$$

본 시스템은 경희대학교 공과대학 실험동에 설치, 2011년 3월부터 측정을 시작하였다. 측정은 시스템 각부에 설치되어 있는 센서에서 36초 간격으로 이루어지며 연구실 내 설치된 데이터로거를 거쳐 데이터가 PC에 저장된다. 경사면에 투사되는 일사량은 집열기와 같은 각도인 45°로 일사계를 설치하여 측정하였으며 각 측정점의 온도는 K-type의 열전대를 이용하여 측정하였다.

시스템의 제어는 집열기 출구측 온도와 축열조 출구측 온도를 측정하여 그 차온으로 시스템을 제어하였고 12℃ 이상이면 펌프가 작동하고, 2℃ 이하가 되면 작동이 중지되도록 설정하였다.

3. 실험결과 및 분석

Fig. 4는 일사조건이 좋은 2011년 5월 13일에 상부와 측면을 동시에 가열한 실험의 결과이며, 일사량과 시스템 각 부 및 축열조 내부의 온도변

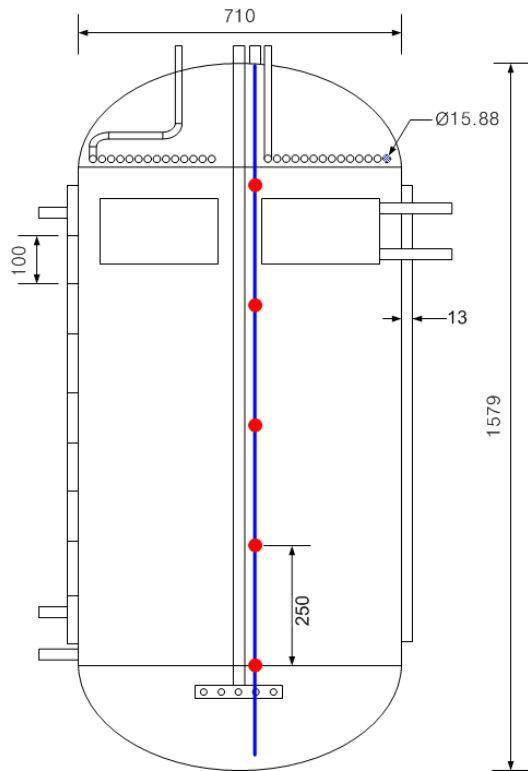


Fig. 2 Schematic of storage tank used in the experiment



Fig. 3 Picture of heat exchanger coil located in the upper part

화를 그래프로 나타내었다. 오전 9시경부터 집열 운전이 시작되어 약 16시까지 진행되었다. 하루 동안 집열면에 투사된 일사량은 240 MJ이며 집열량은 104 MJ로 집열효율은 약 43%이다.

Fig. 5는 Fig. 4와 유사한 일사조건을 가지는 2011년 5월 17일에 브라인의 유로를 변경하여 측면만 가열한 실험결과 일사량은 228 MJ이며 집

Table 2 Temperature difference between upper and bottom side in storage tank

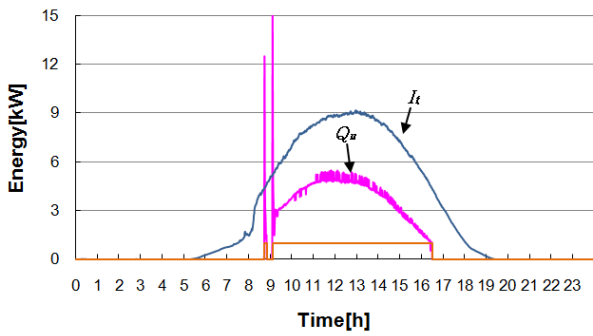
Time	Upper side and Spiral-jacket	Spiral-jacket
10:00	6.7°C	4.1°C
11:00	8.8°C	4.5°C
12:00	9.3°C	4.6°C
13:00	8.8°C	4.2°C
14:00	7.4°C	3.1°C
15:00	5.6°C	2.5°C
16:00	3.6°C	1.8°C

열량은 89 MJ로 집열효율은 약 39%이다.

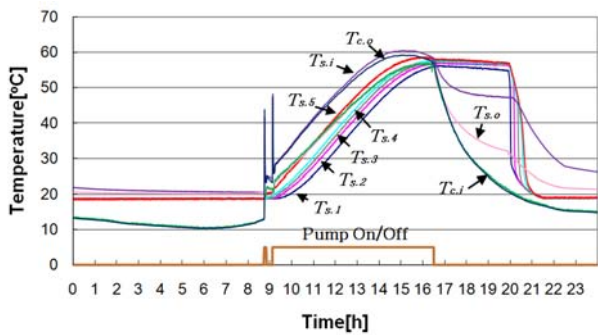
일사조건이 유사하지만 두 시스템의 집열량 및 집열효율이 차이 나는 이유는 상부와 측면 동시 가열의 경우 집열 면적이 상대적으로 늘어나기 때문이다. 상부 열교환 코일의 직경과 길이는 앞서 시스템 소개에도 언급한 바 있듯이 15.88 mm, 21 m이므로 전열면적을 계산해 보면 측면 가열에 비해 약 2.1m²의 이득이 있다. 이로부터 충분한 열전달로 축열조 출구온도 및 집열기 입구온도가 낮아지고 집열효율 향상으로 이어지게 된다. 상부와 측면 동시 가열에서의 순환유량은 10 lpm으로서, 상부만 가열할 때의 유량 14 lpm에 비해 열교환코일에서의 유동저항 추가로 감소하였다. 이로 인해 열전달계수가 감소하지만, 열전달면적 증가 및 성층화촉진 효과가 더 크기 때문에 총 획득열량 및 집열효율은 향상하게 된 것으로 판단된다.

상부 및 측면 동시 가열 시스템과 측면 가열 시스템의 성층화 정도를 비교하기 위해 각 시스템의 축열조 상·하부 온도차를 Table 2에 나타내었다. 모든 시간에 대해서 상부와 측면을 동시에 가열한 시스템의 상·하부 온도차가 측면 가열 시스템에 비해 최소 1.8°C에서 최대 4.7°C까지 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 상부 및 측면 동시 가열 시스템의 경우 집열운전 초반부를 제외하면 집열운전 종료 시점까지 각 시간에 해당하는 상하부 온도차이가 기존 시스템보다 약 두 배 정도 높은 수치를 갖는다는 것을 의미한다. 집열운전이 시작된 후 12시까지의 온도차가 늘어나고 이후에는 온도차가 줄어드는 양상을 보인다.

4. 결론

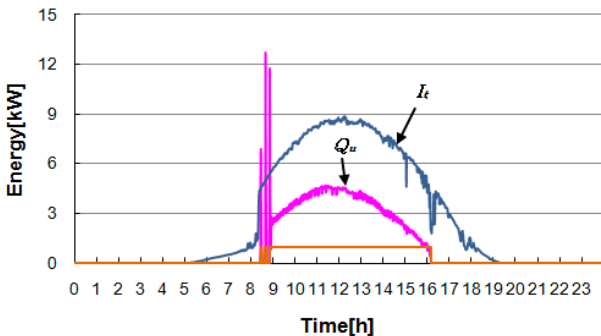


(a) Solar radiation and acquired heat

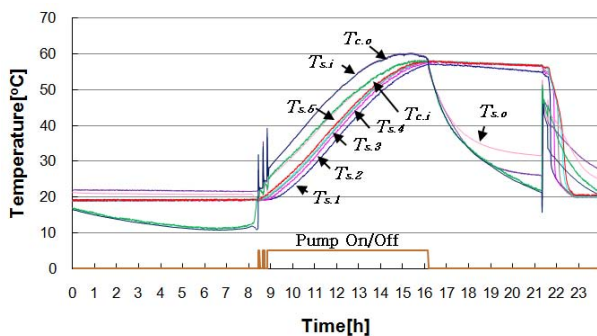


(b) Timeswise variation of temperatures

Fig. 4 Result graph of upper side and spiral-jacket heating



(a) Solar radiation and acquired heat



(b) Timeswise variation of temperatures

Fig. 5 Result graph of spiral-jacket heating

본 연구에서는 유효에너지를 높이고 집열효율을 향상시키는 태양열 축열조의 성층화 축진을 도모하기 위해 상부 및 측면을 가열하는 상부집중가열 축열조를 제작하여 실증실험을 진행하였다.

실험결과 측면만을 가열하는 시스템에 비해 집열효율이 증가하고, 축열조 상·하부 온도차가 2배 이상 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

향후 태양열시스템의 성능을 평가하는 또 다른 지표인 태양열의존도를 구하기 위한 부하실험을 진행할 계획이다. 나아가 TRNSYS를 이용한 시스템 시뮬레이션 및 CFD를 이용한 수치해석을 통해 다양한 용량의 축열조에 대한 성능을 분석할 예정이다.

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, J.H., Choi, B.S., Hong, H. and Kim, Y.S., 2005, Experimental verification for a spiral-jacketed storage tank applied to solar thermal system, Korean Journal of Air-Co-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No.4, pp.341-346
3. Kim, J.H., Kim, S.S., Choi, B.S., Hong, H., 2004, Verification experiment and analysis for 6kW solar water heating system, Part 1: Verification experiment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 2, pp. 128-134
4. Duffie, J.A., and Beckman, W.A., 1991, Solar Engineering of Thermal Process, 2nd ed, John Wiley & Sons, New York., pp. 250-252