

태양열 축열조 성층화 파괴 방지를 위한 분배기의 효과

손 효 석, 홍 희 기*†

경희대학교 기계공학과 대학원, *경희대학교 기계공학과

The effect of Distributor for Solar Water Storage Tank to Prevent Destruction of Stratification

Hyo Seok Son, Hiki Hong*†

Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea

ABSTRACT: Stratification in thermal storage tank is necessary to gain available energy in the active solar heat system. When the stratification is maintained for a long time, it represents higher available energy than non-stratified tank. Especially, if solar heat system has a return pipe line, it needs appropriate stratification enhancement device to prevent destruction of stratification. In this study, experiments were carried out on the effect of maintaining stratification by using diffuser and distributor. The experiment was performed 60 minutes in the same condition. As a result of experiments, when we installed the distributor, stratification was well maintained comparing with the diffuser. Moreover many punched distributor was shown the good degree of stratification and it was identified that there exist flow rate range about internal distributor diameter.

Key words: Active solar heat system(설비형 태양열 시스템), Stratification(성층화), Thermal energy storage(열에너지 저장), Stratification enhancement device(성층화 촉진기구)

1. 서 론

급격한 산업화와 에너지자원 고갈로 신재생에너지의 중요성이 어느 때보다도 주목받고 있다. 변환형태가 열에너지인 태양열 시스템은 경제성 및 활용도가 높아 신재생에너지 분야에서도 가장 경쟁력을 갖춘 분야의 하나로 평가되며⁽¹⁾ 더욱 높은 효율의 시스템 개발을 위해 지속적인 연구가 진행되고 있다. 그동안 축열조 내의 상·하부 온도차를 크게 하는 성층화촉진기술을 적용하여 집열효율 증대와 가용에너지 극대화가 가능하다는 것은 이론적, 실험적으로 규명되었다.⁽²⁻³⁾ 또한

강제순환형 태양열 시스템의 경우 과거 급탕부하만을 태양에너지로 대체하던 것과 달리 냉·난방 연계 시스템의 등장으로 활용도를 높이고 있다. 급탕, 냉·난방 혼용시스템처럼 환수배관이 존재하는 시스템의 경우 특히 급탕부하가 걸려 축열조 하부의 온도가 낮은 경우 운전과정 동안 열성층을 최대한 잘 유지시키는 것이 중요하다. 기존의 연구에서 열성층화 파괴인자는 입구 부근에서의 유체혼합, 불완전한 단열에 의한 열손실, 용기벽면을 통한 열전도, 유체 내의 열확산 등으로 알려져 있다.⁽⁴⁻⁷⁾ 그 중에서 환수배관 입구에서의 유체혼합은 가장 주된 성층화 파괴인자로 성층화 유지를 위해서는 초기 혼합효과를 최소화시키는 적절한 성층화 촉진기구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 태양열 시스템에 국소난방

† Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

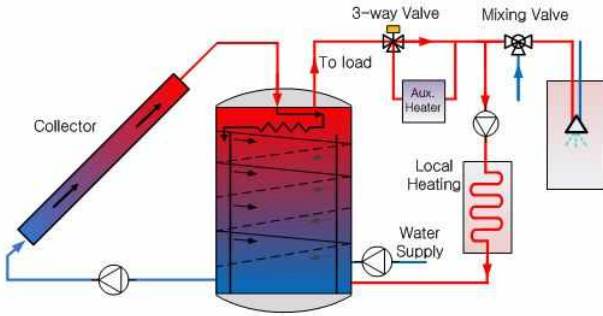


Fig. 1 Schematic diagram of active solar heat system.

개념의 온수매트를 연결하였을 경우 적합한 성층화 촉진기구로써 기존 널리 사용되고 있는 디퓨저와 다른 형상의 분배기 효과에 대해 파악하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에서는 부하측으로 공급된 유체가 온수매트를 순환한 후 축열조로 환수되는 시스템을 간략히 구성하여 수행하였다(Fig. 2). 온수매트를 연결하지 않고 펌프 출구에 볼밸브를 설치하여 개도조절로 유량을 변경할 수 있도록 하였으며 축열조 환수 직전에 유량계를 설치하여 최종적으로 유입되는 유량을 측정하였다. 연구에 사용된 핵심요소인 축열조 개략도를 Fig. 3에, 주요 제원을 Table 1에 나타내었으며 적절한 성층화를 구현하기 위해 550 L 용량의 축열조와 유사한 높이로 아크릴 축열조를 제작하였다. 150 mm 간격으로 10개의 K-type 열전대를 설치하여 각 구간별 온도를 측정하였다. 성층화 촉진기구로 디퓨저와 분배기를 사용하였으며, 분배기는 가공의 편의를 위해 우레탄 튜브에 100 mm 간격으로 지름 3mm 구멍을 뚫어 제작하였다.

2.2 실험방법

높이 1500 mm인 축열조를 하부 60%(약 16°C), 상부 40%(약 60°C)로 성층화를 극대화시켜 55°C의 물을 하부로 유입하였다. 이와 같이 초기조건을 설정한 뒤 60분간 순환시킨 후 10초 간격으로 온도변화를 측정하였다. 디퓨저와 분배기를 설치

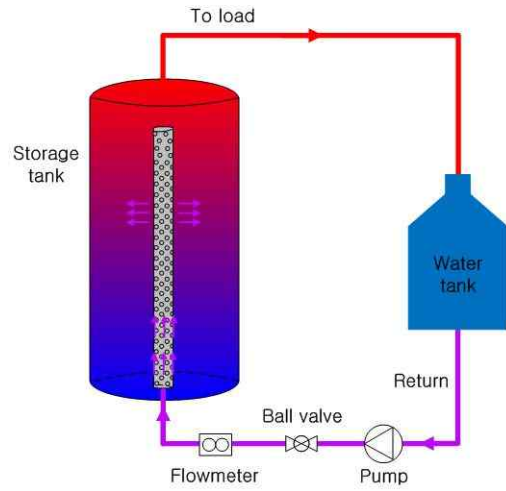


Fig. 2 Schematic diagram of experiment system.

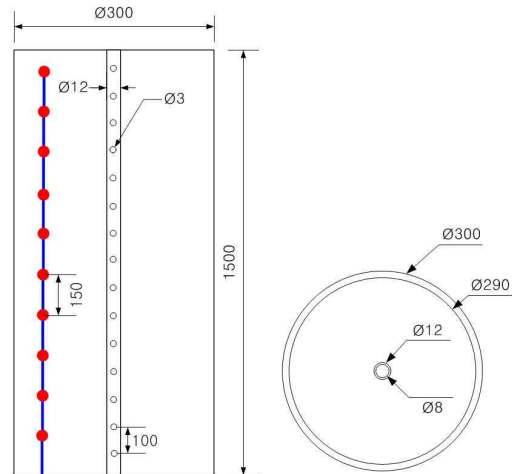


Fig. 3 Detailed diagram of storage tank used in the experiment

Table 1 Specification of experiment system

Storage tank	Capacity	100 L
	Material	Acrylic
Pump	Capacity	14 lpm (H : 0.6 m)
	Output	22 W
Distributor	Inner diameter	ϕ 8
Diffuser	Diameter	ϕ 80
Flowmeter	Range	0.1 ~ 2.5 lpm

하여 각각 실험을 진행하여 두 성층화 촉진기구에 대해 비교하였으며, 분배기에 대해서는 내경을 고정하고 유량(0.2 lpm~0.7 lpm), 분배기관의 구멍개수(30개, 160개)를 변화시켜 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 분석

Fig. 4는 디퓨저에 대한 실험 결과이며, Fig. 5는 30개의 구멍을 뚫은 분배기(공극률 0.4%)에 대한 실험한 결과이다. 동일한 유량(0.3 lpm)으로 실험을 진행하였으며 15분 간격으로 축열조 내부 온도변화를 그래프로 나타내었다. 디퓨저의 경우 초기에 0.9 m 부근에서 극명한 성층화를 나타내고 있으나 60분 경과 후 1.2 m에서 성층화를 나타낸다. 초기 온도 분포에 비해 축열조 하부에서부터 1.2 m까지 완전혼합이 되며 약 25℃까지 온도가 상승함을 확인하였다. 이는 실제 축열조

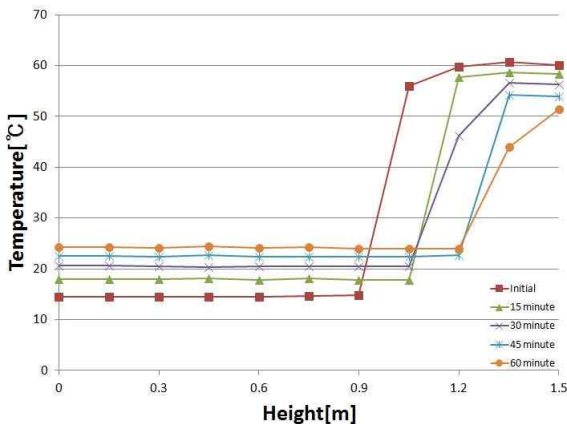


Fig. 4 Result graph of diffuser

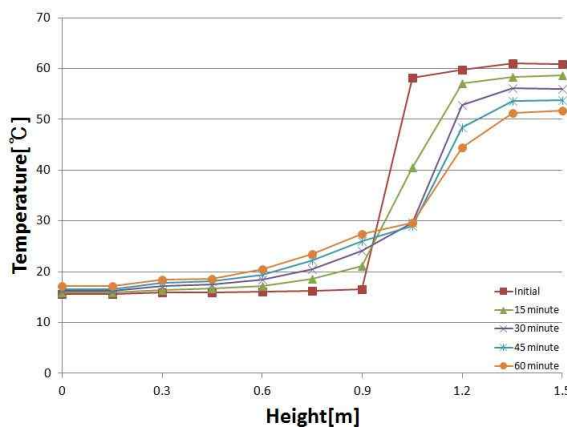


Fig. 5 Result graph of distributor
(Number of holes : 30EA)

의 경우 하부 온도가 상승함으로써 집열효율 저하의 원인이 될 가능성이 있으며 완전혼합형 축열조의 패턴과 유사해진다.

반면에 분배기 실험 결과 60분 경과 후에도 고온 성층화를 유지함을 확인할 수 있고 축열조 하부의 온도는 거의 상승하지 않았다. 이는 온도에 따라 부력과 밀도차에 의해 고온과 저온의 유체 사이에 혼합효과를 감소시키는 원리⁽⁸⁾에 의한 효과로 판단된다. 그럼에도 하부의 온도가 상승한 요인은 분배기와 유체 사이 열전달 효과와 미세하게 흘러나온 유체로 인해 온도가 상승한 것으로 판단된다.

Fig. 6는 유량은 0.3 lpm으로 고정 후 160개(공극률 2.1%)의 구멍을 뚫은 분배기에 대한 실험 결과이다. 30개의 구멍을 뚫은 분배기와 유사한 온도 분포를 나타내고 있다. 하지만 축열조 중간부에서 160개의 구멍을 뚫은 분배기가 약 4℃ 낮은 온도를 나타내고 있고 1 m 부근에서는 약 10℃

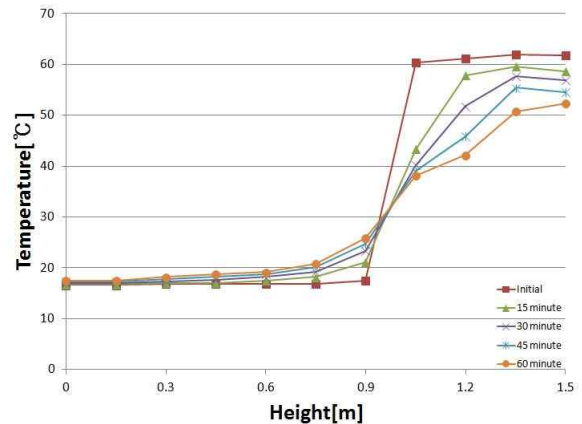


Fig. 6 Result graph of distributor
(Number of holes : 160EA)

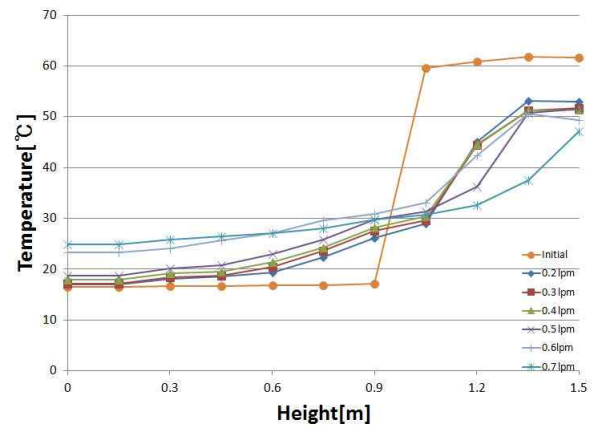


Fig. 7 Effect by flow rate in distributor

높은 온도를 유지함을 알 수 있다. 하부의 온도 상승과 상부의 온도저하가 낮아 초기의 극명한 성층화를 보다 잘 유지함을 알 수 있다. 이는 30개의 구멍을 뚫었을 경우보다 분배기관 내부와 축열조 내부의 압력평형을 보다 잘 이룸으로써 축열조 내의 다른 온도로 잘못 유입되는 것을 줄일 수 있었기 때문으로 판단된다.

Fig. 7은 30개의 구멍을 뚫은 분배기에 유량(0.2~0.7 lpm)을 변수로 취한 값에 대한 60분후 결과이다. 초기온도는 실험마다 모두 똑같은 온도조건을 맞추기 어려우므로 각 초기조건의 평균을 기준으로 비교하였다. 0.2~0.5 lpm의 유량 범위에서는 0.6~0.7 lpm 보다 비교적 성층화를 잘 유지함을 알 수 있다. 하부 온도분포의 경우 0.6 lpm 이상의 유량에서는 디퓨저 실험과 유사하게 완전혼합 양상을 나타낸다. 이는 분배기 환경에 대한 적정 유량범위가 있는 것을 나타내는 것으로 압력평형을 깨지 않는 유량이 존재함을 의미한다.

4. 결 론

태양열 축열조의 성층화 유지를 위한 분배기에 대한 실험을 진행하였다.

기존 디퓨저를 사용하는 것과 비교하였을 때 분배기를 이용할 경우 보다 오랜 시간 성층화를 유지할 수 있고, 분배기의 내부와 축열조 사이의 압력평형을 유지하기 위한 적절한 구멍 개수가 필요함을 확인하였다. 또한 분배기의 내경을 고정하고 유량변화에 대한 실험결과 관 내경에 따라 분배기의 역할을 유지할 수 있는 한계 유량이 존재함을 확인하였다.

본 연구에서는 온수매트에 의한 난방을 전제로 적은 유량에서 적합한 분배기에 대해 실험을 진행하였다. 추후 최적설계 및 태양열 냉·난방 시스템 등 유량이 큰 경우에 적합한 분배기 설계에 관한 연구를 진행토록 할 계획이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 에너지기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.(과제번호 : 2012T100100689)

참고문헌

1. Hong, H., 2004, 3% Use of Alternative Energy in 2006 and Solar Thermal System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, NO. 11, pp. 47-54.
2. Kwon, J.W and Hong, H., 2012, Enhancement of stratification for solar water storage tank with Spial Jacket and Coil, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Vol. 24, NO. 4, pp. 336-342.
3. Jin, H.N., Kim, M.C., Kim, C.J. and Hong, H., 2008, CFD Analysis for Spiral-Jacketed Thermal Storage Tank in Solar Heating Systems. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, NO. 10, pp. 645-653.
4. Jae, D.C., Park, J.H. and Cho, S.H., 2004, Effect of Design Factors on the Performance of Stratified Themal Strage Tank, Korean Journal of SAREK, Vol. 16, NO. 11, pp. 1077-1083.
5. Dincer, I. and Rosen, M.A., 2002, Thermal Energy Storage, John Wiley & Sons, Eng-land.
6. Musser, A. and Bahnfleth, W.P., 1998, Evolution of temperature distributions in a full scale stratified chilled-water stroage tank with radial diffusers, ASHRAE Transactions: Research, Vol. 104, pp. 55-67.
7. Zurigat, Y.H., Liche, P.R. and Ghajar, A.J., 1991, Influence of inlet geometry on mixing in thermocline thermal energy storage, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 34, pp. 115-125.
8. Park, D.H, Ryu, D.W., Choi, B.H., Choon, S.W. and Han, K.C., 2013, Method to Characterize the Thermal Stratification in Thermal Energy Storages, Korean Journal of TUNNEL & UNDERGRUOND SPACE, Vol. 23, NO. 1, pp. 78-85.