

태양열 축열조 성층화 촉진기술의 시뮬레이션

이 성 훈, 권 재 욱, 홍 희 기*

경희대학교 기계공학과 대학원, *경희대학교 기계공학과

Simulation for Stratification Enhancement of Solar Water Storage Tank

Seong Hoon Lee, 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 added a coil-shaped heat exchanger on the upper side in the spiral-jacketed storage tank. As a result of the experiment and simulation using TRNSYS, it was verified that degree of stratification is in the almost same level, but shows some difference in collector efficiency.

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

1. 서론

유가급등과 기후의 양극화현상에 따른 냉·난방 부하의 급증으로 인하여 신재생에너지의 필요성이 크게 증가되었다. 신재생에너지 분야에서도 변환형태가 열에너지인 태양열 시스템은 경제성 및 활용도가 높아 가장 경쟁력을 갖춘 분야로 평가된다.⁽¹⁾

태양열 시스템 보급의 확대를 위하여 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이를 바탕으로 적용분야가 점차적으로 넓어지고 있는 추세이다. 분야의 활성화를 위해서는 무엇보다도 가정용 및 소형건물, 복지시설용의 소형 및 중형시스템이 집중적으로 보급되어야 하며, 이를 위해서는 기존의 문제점이 해결되고 획기적으로 기술혁신이 이루어진 시스템의 도입이 전제되어야 한다.

지난 연구^(2,3)에서 축열조 상부에 와선형의 열

교환 코일을 설치하여 상부를 집중적으로 가열한 후, 측면 나선재킷을 통해 축열조 내의 물에 열을 전달하는 구조의 실증실험을 통하여 성층화 촉진을 통한 집열효율 상승이 가능함을 보였다.

본 연구에서는 열시스템 해석 프로그램 TRNSYS를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고, 실험데이터와 결과 비교를 통하여 시뮬레이션의 적합성을 파악하고자 하였다. 이를 토대로 다양한 조건 하에서의 성능을 예측하고 설계자료로 활용하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험방법

집열기와 축열조, 순환펌프 및 제어계통으로 구성된 대상 시스템에 대해서는 선행연구에서 상세히 언급한 바 있으며, 제원을 Table 1에 나타내었다.⁽²⁾

선행연구에서 사용했던 집열기의 노후화로 인하여 본 연구의 실증실험을 실시하기 전에 전면적 2.83 m²의 집열기로 교체가 이루어졌다.

축열조(Fig. 1)는 외경 15.88 mm, 길이 약 21

† Corresponding author

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

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

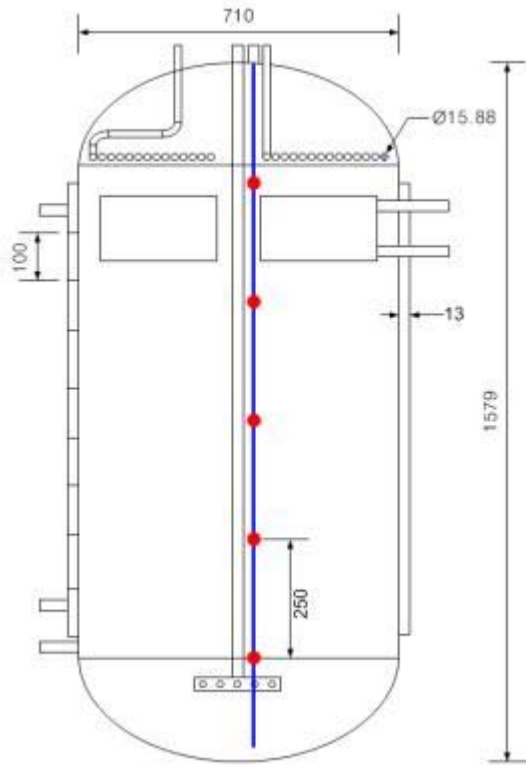


Fig. 1 Schematic of storage tank used in the experiment

m의 동관을 사용한 상부 코일과, 폭 13 mm, 피치 100 mm, 전체길이 약 18 m의 측면나선유로로 이루어진 550 L의 용량을 사용하였다. 높이에

Table 1 Specification of system

Collector	Size	1180×2400 mm
	Area	2.83 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

따른 온도변화를 알아볼 수 있도록 250 mm 간격으로 온도센서를 설치하였다.

배관내의 열매체로는 40%의 프로필렌글리콜을 사용하였으며, 시스템의 제어는 집열기 출구측 온도와 축열조 출구측 온도를 측정하여 차온이 12℃ 이상이면 펌프가 작동하고, 2℃ 이하가 되면 작동을 멈추는 차온제어방식으로 하였다.

측정 항목은 경사면과 수평면 일사량, 순환유량 및 각부의 온도이며, 이로부터 획득열량, 집열 효율 등을 산출하였다.

3. 시뮬레이션

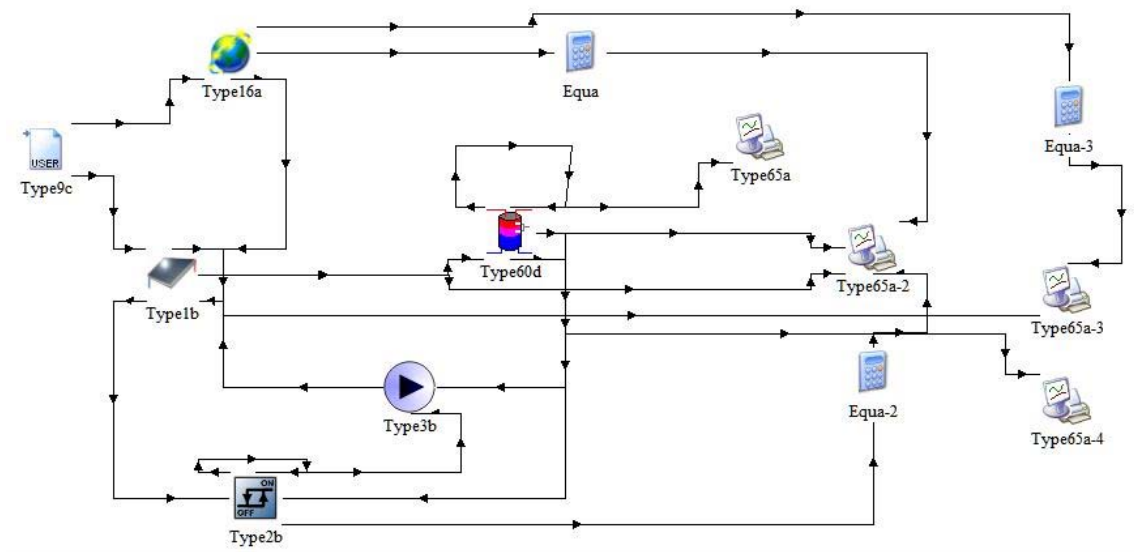


Fig. 2 Composition of TRNSYS module

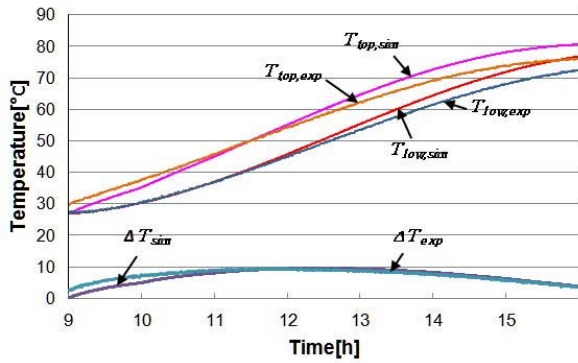
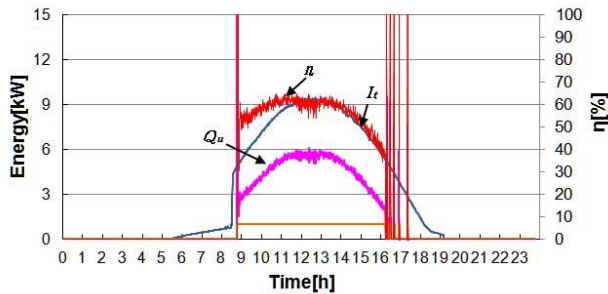
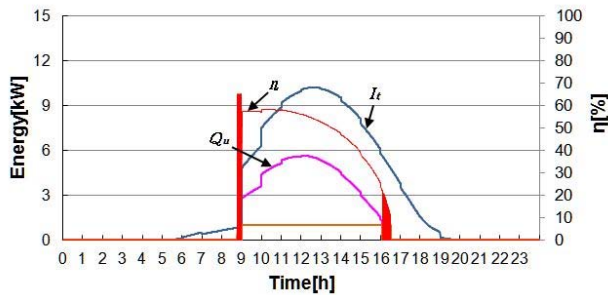


Fig. 3 Result graph of temperature profile at top and bottom side



(a) Result graph of experiment



(b) Result graph of simulation

Fig. 4 Comparing the results of experiment and simulation

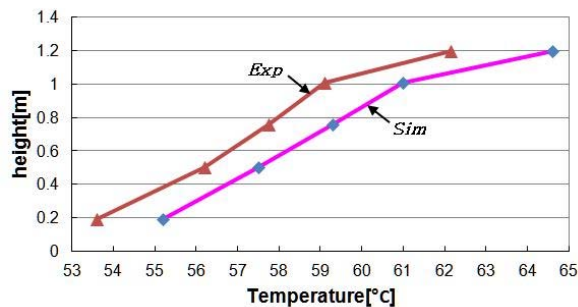


Fig 5. Temperature profile in storage tank at 1:00 PM

시뮬레이션은 Wisconsin 대학 SEL에서 개발된 TRNSYS를 사용하여 수행하였다.⁽⁴⁾

실험이 진행된 날인 2011년 7월 20일을 기준으로 시뮬레이션을 진행하였으며, 시뮬레이션 모듈 구성은 Fig. 2에 보인다. 실측된 기상데이터는 Data Reader 모듈 Type 9c를 통하여 TRNSYS에 입력된다. 기상데이터의 온도와 일사량 처리 모듈 Type 16a를 거친 일사조건이 집열기 모듈 Type 1b에 입력되며 이러한 조건을 바탕으로 시뮬레이션이 이루어진다. 상부가열코일과 나선재킷 등 2개의 열교환기를 포함하고 있는 축열조 모듈 Type 60d는 실린더 형태로 단순화시켰다. 10개의 노드로 구성된 성층화된 축열조로 가정하였다. 사각형의 단면을 갖는 나선재킷 유로는 같은 수력 직경을 갖는 원관으로 대체하였다.

4. 실험결과 및 분석

Fig. 3은 2011년 7월 20일 시스템이 작동한 오전 9시경부터 약 16시까지에 대한 실험과 시뮬레이션의 결과를 비교한 것이며, 축열조의 상부온도 및 하부온도, 상하부 온도차의 변화를 그래프로 나타내었다. 그래프 하단에 나타난 실험과 시뮬레이션에 대한 축열조 상하부 온도차는 초반부에 약간의 차이를 보이다가 2시간이 지나면서 거의 일치하는 양상을 보인다. 초반부에 나타난 차이는 시뮬레이션에서의 시스템 작동시간이 실험보다 늦기 때문으로 판단된다.

Fig. 4는 실험이 이루어진 날의 경사면에 대한 일사량, 획득열량, 집열효율을 나타낸 것이다. 하루동안 집열면에 투사된 일사량은 245 MJ이며 실험의 경우 125 MJ의 집열량으로 약 51%의 집열효율을, 시뮬레이션의 경우 110 MJ의 집열량으로 약 45%의 집열효율을 보인다.

시뮬레이션에서의 집열효율이 실제 실험에서의 집열효율보다 약 6% 낮은 것을 알 수 있는데, 이는 축열조 구조의 상세한 모델링이 시뮬레이션에 완전히 반영되지 않기 때문으로 판단된다. 축열조 구조의 단순화 과정에서 높이의 변화가 발생하였으며, 이러한 변화는 축열조 내 성층화에 영향을 미칠 수 있다. 또한 열교환기의 위치, 길이, 면적, 물성은 입력이 가능하나, 열교환기의 정확한 형태 및 세부 조건은 시뮬레이션에 반영하기 힘들다는 점은 축열조 내 온도분포에 영향을 미

칠 수 있다.

Fig. 5는 해당일 오후 1시의 축열조 높이의 변화에 따른 온도변화를 그래프로 나타낸 것이다. 축열조의 최상부와 최하부에서 온도의 변화가 급격히 커지며 성층화를 이루는 것을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 유효에너지를 높이고 집열효율을 향상시키는 태양열 축열조의 성층화 촉진 실험 및 시뮬레이션을 진행하였다.

동일한 기상조건을 바탕으로 비교한 결과, 시스템 작동 및 온도분포가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 집열효율에서 발생한 오차는 크지 않으므로 실험과 시뮬레이션의 결과를 반복 비교하여 적절히 보정을 함으로서 일치율을 더욱 높일 수 있다.

본 연구를 통하여 TRNSYS를 이용한 시뮬레이션의 신뢰성을 확인하였으며, 이를 통해 연구의 효율성 및 경제성 향상이 가능할 것이라 생각된다.

향후 태양열시스템의 설계 및 분석에 다양하게 TRNSYS를 이용한 시뮬레이션을 적용할 계획이며, 나아가 CFD를 이용한 시뮬레이션의 결과와

비교를 실시함으로써 시뮬레이션의 신뢰도를 더욱 향상시킬 계획이다.

참고 문헌

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. Kwon. J.W and Hong, H., 2011, Enhancement of Stratification for Solar Water Storage Tank, Proceedings of the SAREK Summer annual Conference, pp. 1196-1199
3. Choi, B.S., Kim, J.H., Kang. Y.T., Hong, H., 2004, Verification experiment and analysis for 6kW solar water heating system, Part 2: Modelling and Simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 556-565
4. Duffie, J.A., and Beckman, W.A., 1991, Solar Engineering of Thermal Process, 2nd ed, John Wiley & Sons, New York., pp. 250-252