

나선 재킷형 축열조를 적용한 태양열 시스템에 대한 실험

김진홍, 최봉수, 홍희기^{*†}

경희대학교 대학원, *경희대학교 기계산업시스템공학부

Experiment for Solar Thermal System with Spiral-Jacketed Storage Tank

Jin Hong Kim, Choi Bong Su, Hiki Hong^{*†}

Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

*School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

ABSTRACT: Conventional active solar heat system is applying mainly way to make use of heat exchanger. But this system needs wide space and has possibility of trouble by that also become complicated is risen. Also, cost is grown in installation as is complicated. This study wished to reduce these problem by minimum. So, we experimented that measure efficiency of solar heat system that apply spiral-jacketed storage. As the result of the experiment, efficiency is lower than previous system. But, it can do that is affirmative about the practical use possibility when see other advantages.

Key words: Solar energy(태양 에너지), Heat exchange(열교환기), Storage tank(축열조), Spiral-jacket(나선재킷)

기 호 설 명

그리스 문자

C_p : 정압 비열 [kJ/kgK]

F : 태양열 의존도

I_t : 경사면 투사 일사량 [kJ]

\dot{m} : 질량유량 [kg/s]

Q_u : 집열기 획득열량 [kJ]

Q_{load} : 부하측 공급열량 [kJ]

Q_{aux} : 보조열원의 소요열량 [kJ]

T_c : 집열판 온도 [°C]

T_s : 축열조 온도 [°C]

T_{sup} : 샤워기 공급 온수 온도 [°C]

T_w : 시수 온도 [°C]

η : 집열 효율

하첨자

b : 하부

h : 상부

i : 입구측

$load$: 부하측

m : 중부

o : 출구측

1. 서론

현재 국내에 보급되어 있는 태양열 시스템은 소형의 경우 집열기의 상부에 축열조가 밀착되어

† Corresponding author

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

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

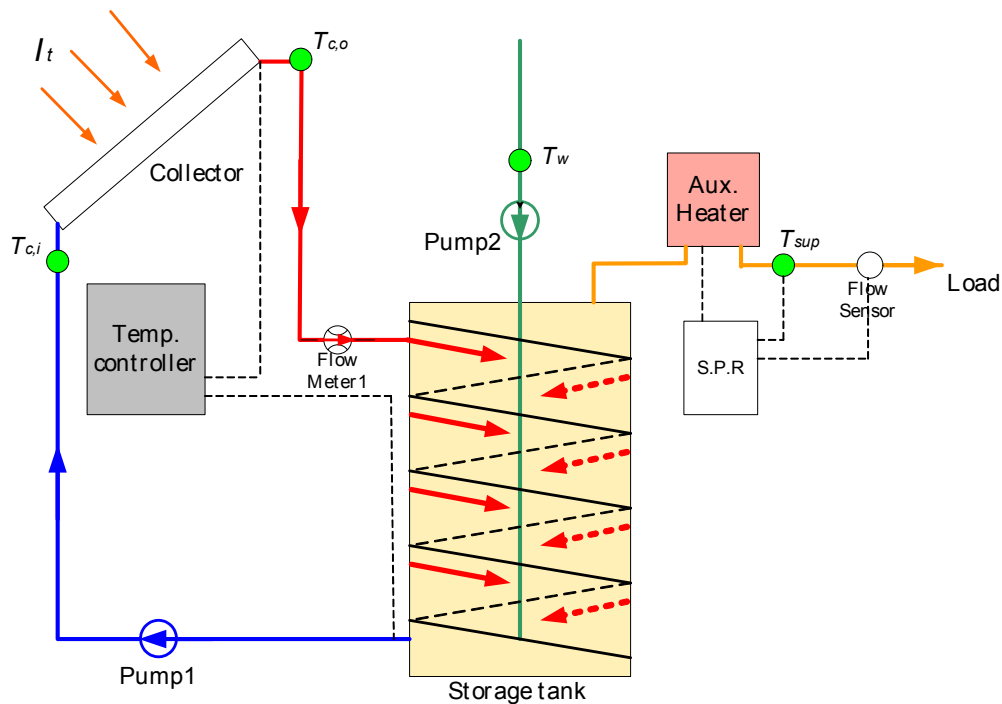


Fig. 1 Schematic diagram of spiral-jacketed storage system.

있는 구조의 자연순환형이, 중대형의 경우에는 열교환기를 가지고 있는 강제순환형이 많다.

자연순환형의 경우 간단한 구조와 효율성에도 불구하고 혹한기를 거치는 우리나라에서는 동파문제로 그다지 적합하지 않은 것으로 판단된다. 강제순환형은 집열기 순환측인 1차 배관과 축열조 순환측인 2차 배관으로 분리되며, 열교환기를 따로 설치해야 하기 때문에 시스템의 규모가 커지고 복잡해지는 단점이 있다. 이로 인해 시스템의 고장 가능성이 높아지고 시공비의 상승으로 보급에 장애가 된다.

이러한 문제들을 해결하면서 기존의 시스템과 동등한 성능을 갖는 태양열 시스템이 개발된다면, 태양열 에너지의 보급에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 나선형의 열교환 유로를 갖는 재킷형 축열조를 제안하고, 이를 적용한 시스템을 구성하여 그 성능을 평가하였다.

재킷형 축열조를 이용함으로써 시스템에 열교환기를 따로 설치할 필요가 없어 시스템을 단순하게 구성할 수 있으며, 설치장소의 제약도 훨씬 줄어들게 된다. 앞서 언급한 대로 고장의 가능성이 줄어들고 초기투자비용도 대폭 줄일 수 있다. 그러나 기존의 시스템에 비해 성능이 현저하게 떨어지면 현실적으로 적용이 어려우므로 본 연구에서는

우선 나선 재킷형 축열조에 대해 개략적인 설계를 수행하고 제작한 것을 기존의 태양열 온수급탕 시스템에 적용하여 그 가능성을 알아보았다.

2. 실험

본 연구에서는 기존에 설치하여 실험중이던 열교환기가 포함된 태양열 온수급탕 시스템을 개조하여 이용하였다. 기존 시스템의 경우 1차측 배관에서 열교환기를 거쳐 2차측 배관으로 열을 전달해주었으나,⁽¹⁾ 새로운 시스템에서는 집열기에서 가열된 작동매체가 열교환기를 경유하지 않고 바로 축열조의 나선 재킷으로 연결되는 구조를 취하고 있다. 시스템에 대한 개략도를 Fig. 1에, 주요 제원을 Table 1에 나타내었다.

본 연구의 핵심요소인 나선 재킷 축열조의 개략도를 Fig. 2에 보인다. 400리터 용량의 축열조의 외부에 재킷형태로 틀을 씌우고 그 사이의 공간에 나선형의 유로를 만들었다. 축열조의 외부에 나선형의 띠처럼 형성된 유로를 통해 브라인이 순환하며 내부의 물로 열을 전달해주는 구조이다. 도면에 보이는 바와 같이 유로의 폭은 15mm이고 피치는 120mm로 설계하였다. 이는 기존의 시스템의 성능에 근접하도록 한 것으로

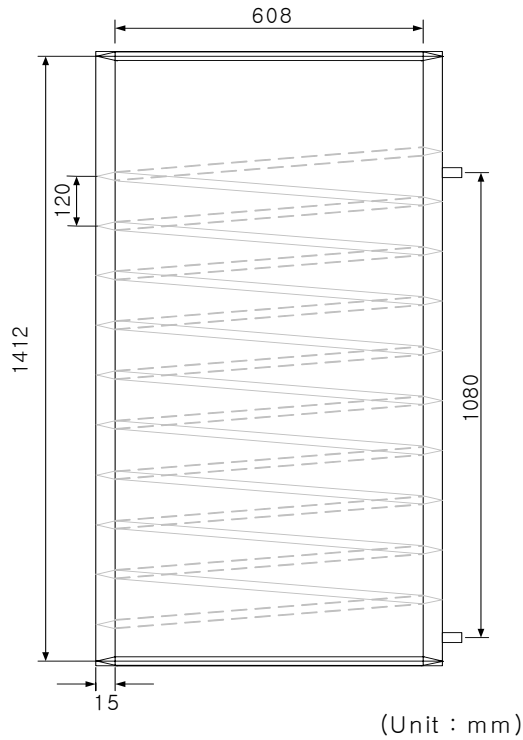


Fig. 2 Spiral-jacketed storage tank

이에 대한 설계 근거는 다음과 같다.

먼저 기존의 시스템에서 일사조건이 좋았던 2003년 10월 15일 12시의 일사량, 축열조 평균온도를 기준상태로 정하였다. 기존 시스템의 집열기 특성값, 축열조 출구온도, 열교환기의 UA 값 등은 이미 알려져 있으므로 기준상태에서 기존 시스템의 획득열량을 구한 후, 이로부터 새로운 시스템을 대상으로 기준상태에서 동일한 열량을 얻기 위한 UA 를 구하고 이를 만족시키기 위한 나선유로의 폭과 피치를 산출하였다. 축열조 상부의 300mm까지는 유로를 구성하지 않았는데 빈 공간을 팽창탱크의 역할을 할 수 있도록 고안한 것이다.

획득열량 및 집열효율, 태양에너지 의존율의 계산에 사용된 수식은 각각 다음과 같다.

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

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

$$F = \frac{Q_{load} - Q_{aux}}{Q_{load}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

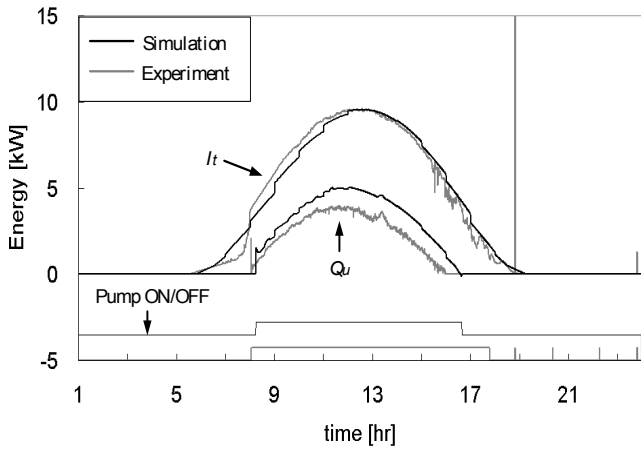
Table 1 Specification of system

Collector	Size	1179×2228 mm
	Area	2.5 m ²
	Unit	4
	Slope	40°
Storage	Type	Spiral-jacket
	Capacity	400 ℓ
	UA	223 W/K
	Material	Steel
Pump	Capacity	60 lpm (H : 4 m)
	Output	80 W
Control module	Type	Digital difference temperature control
Pipe	Material	Copper & Steel
	Diameter	20 mm
Auxiliary Heater	Type	Electric geyser
	Capacity	13.2 kW

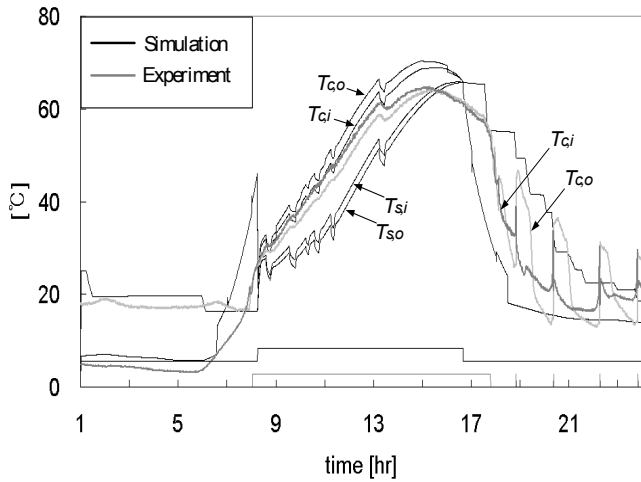
열교환기가 설치되어 있는 기존 시스템과 새로운 시스템의 직접적인 성능비교가 불가능하여 시뮬레이션 기법을 이용하였다. 즉 나선 재킷 방식의 축열조를 이용한 새로운 시스템을 이용하여 실험하고 성능을 측정 한 후 동일 기상 및 부하조건에서 기존 시스템으로 운전하였을 경우의 성능을 시뮬레이션으로 예상하여 비교하였다. 본 연구에 이용된 시뮬레이션 프로그램으로는 미국 위스콘신 대학의 SEL(Solar Energy Lab)에서 개발된 TRNSYS 15.3을 이용하였다. 이 프로그램에 대한 소개는 이전의 연구에서 언급된 바 있다.⁽²⁾

2004년 3월에 시스템의 개조를 완료하고 측정을 시작하였다. 시스템의 각부에 설치되어 있는 센서에서 36초 간격으로 측정된 데이터는 연구실 내에 설치된 데이터로거를 통해 PC에 저장된다. 경사면에 투사되는 일사량은 집열기와 같은 각도인 40°로 일사계를 설치하여 측정하였으며 시스템 각 측정점의 온도는 K-type의 열전대를 이용하여 측정하였다. 유량의 경우 기존 시스템과 동일 조건에서의 비교를 위해 밸브를 조절하여 전과 같은 0.43 kg/sec로 설정하였다.

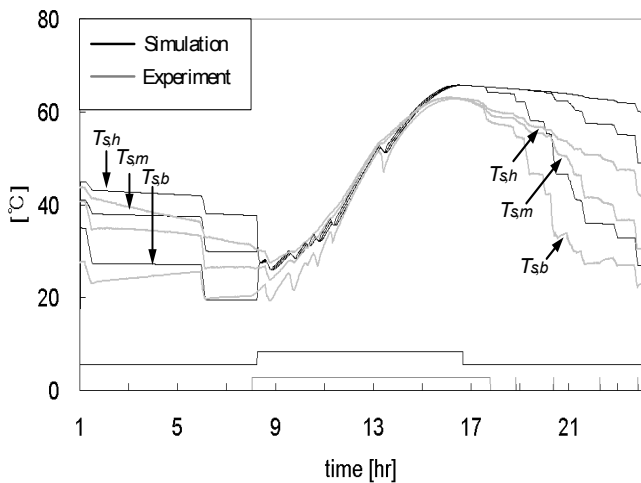
1, 2차 배관계통으로 분리되어 있던 기존 시스템의 경우 1차측 배관계통인 집열기의 출구측 온도와 2차측 배관계통인 축열조의 출구측 온도를 측정하여 그 차온으로 시스템을 제어하는 방식이었다. 그러나 새로운 시스템의 경우 2차측 배관이 없기 때문에 1차측 배관 즉 집열기의 입·출구 온도만을 이용하여 운전을 제어하였다. 현재



(a) Energy



(b) System temperature



(c) Storage temperature

Fig. 3 result graph about representative day.

는 집열기의 입·출구 온도차가 10°C 이상일 경우 시스템의 운전이 시작되고 1°C 이하일 경우 시스템의 운전이 정지하도록 조건을 설정하였다. 10°C 와 1°C 의 차온은 시스템의 적절한 제어온도를 찾아내기 위해 실험 초기에 다양한 온도조건으로 실험을 해본 후 찾아낸 조건이다. 시스템 정지 조건인 1°C 는 최적치이지만 운전조건인 10°C 는 시스템에 설치되어 있는 제어모듈의 한계상 임의로 설정해 놓은 조건으로 이는 경우에 따라 더 큰 온도가 필요할 것으로 보인다.

3. 결과 및 분석

Fig. 3에 전형적인 패턴을 보인 2004년 4월 29일에 대한 실험과 시뮬레이션 결과의 에너지량과 시스템 각부 및 축열조 내부의 온도 그래프를 나타내었다. 오전 8시경부터 집열운전이 시작되어 약 16시까지 집열되고 있음을 알 수 있다. 나선재킷형 축열조의 경우 기존의 시스템과는 달리 집열 운전중에 축열조 내부의 유동이 전혀 없기 때문에 집열 운전 중 축열조 내부의 성층화 문제가 우려되기도 하였다. 그러나 실험 결과 성층화의 문제는 거의 없는 것으로 나타났다. 온도그래프에서 9시에서 13시 사이의 실험데이터를 보면 축열조 하부의 온도가 떨어지는 현상이 나타난다. 이로 인해 축열조 내의 온도가 균일하지 못하고 성층화가 형성된 것이라고 보여질 수도 있지만 이는 그 시간 동안에 부하가 작용했기 때문에 발생한 현상으로 집열 운전 중 축열조의 성층화와는 무관하다. 축열조의 구조상 부하가 작용할 경우 수도관에서 들어오는 시수는 바닥부분으로 유입되고 부하측으로 공급되는 온수는 상부에서 공급되어 축열조 내부에 piston flow를 형성해 주기 때문에 발생하는 현상으로 부하가 없는 16시경 집열 운전시의 축열조 내부온도는 거의 동일한 분포를 보인다.

Fig. 3으로부터 전반적으로 나선재킷 방식의 새로운 시스템이 기존보다 성능이 떨어지고 있음을 알 수 있다. 에너지량의 경우 획득열량에서 확인한 차이를 보이고 있고 또한 시스템 각부의 온도 및 축열조 내부온도도 기존 시스템보다 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 비교 결과를 Table 2에 수치로 나타내었다. 획득열량의 경우 기존의 시스템보다 약 39% 정도 줄어든 것을 알

Table 2 Comparison of conventional and new systems

	Simulation data (Previous system)	Experiment data (Spiral-jacket type)	difference (%)
Irradiation (MJ)	252.8	251.1	0.5
Heat collected (MJ)	102.4	73.6	39.1
Heat load (MJ)	99.9	99.9	0.0
Auxiliary energy (MJ)	14.1	14.8	-5.1
Efficiency (%)	40.5	29.3	38.3
Solar fraction	0.86	0.85	0.9

수 있고 이로 인한 집열효율 역시 40.5%에서 29.3%로 감소하였다. 실험의 경우 일사계를 이용하여 직접 측정된 일사량이고 시뮬레이션의 경우 기상청에서 제공받은 기상데이터에 의한 일사량이기 때문에 0.5% 정도의 오차를 보였으나 무시하였다.

먼저 집열 성능이 현격하게 저하하는 이유로 개략적인 설계에 의한 열전달 효과의 감소를 들 수 있다. 즉 열교환이 이루어지는 나선유로에서 열전달량이 증가하기 위해서는 유속의 증가가 필요하나 예비계산에서 지나치게 작게 예측한 것으로 볼 수 있다. 나선유로 제작상의 제약으로 폭을 15mm 이하로 가공하는 것은 어려우나 피치를 120mm보다 작게 하는 것은 가능하므로 이를 줄여 유속 및 열전달계수를 높일 수 있을 것으로 보인다. 필요한 경우에는 펌프유량의 증대도 생각할 수 있다.

기존 시스템에서는 스테인리스와 구리로 이루어진 원통-코일형 열교환기를 사용하였으나 나선재킷 방식의 시스템은 열교환기가 설치되어 있지 않고 축열조 외부에 나선형의 유로를 형성하여 열교환을 하였으며 재질 역시 스테인리스나 구리에 비해 열전도도가 높지 않은 강판을 사용하였다. 더욱이 축열조 내벽에는 부식 방지를 위해 에나멜을 코팅하였기 때문에 열저항의 증가를 가져와 열교환 효율을 저하시켰다고 볼 수 있다. 그러나 이에 대해 열저항을 계산해 본 결과 그 차이는 그리 크게 나타나지 않았다. 축열조를 구성하는 재료 자체의 두께가 그리 두껍지 않기 때문에 열저항이 시스템의 성능에 미치는 영향이 절대적이지는 않다.

성능개선을 위해 축열조의 재질을 바꾸고 내부에 유동을 형성해주는 등의 조치를 취할 경우 간단하고 경제적인 시스템을 구성하기 위한 초기의 목적에서 벗어날 수도 있다. 따라서 이에 대해서는 정밀한 설계 및 경제성 평가를 통해 보다 명확한 대안이 마련되어야 할 것으로 보인다.

4. 결론

지금까지 설비형 태양열 시스템이라 하면 집열기와 열교환기, 축열조를 가진 다소 복잡하고 부피가 큰 시스템을 생각해왔다. 그러나 이러한 시스템을 단순화시켜 시스템의 고장확률 저하 및 공간성, 경제성 등을 확보하기 위하여 나선재킷 방식의 축열조를 적용하여 그 성능을 측정하였다. 측정결과 연구 초기의 기대와는 다르게 기존의 시스템보다 획득열량에서 약 39% 정도의 차이를 보였다. 성능이 많이 떨어지는 것으로 나타났다지만 이는 아직 연구 초기 단계이기 때문이며, 또한 성능이 다소 떨어진다고 하더라도 기존 시스템에 비해 많은 장점을 가지고 있기 때문에 쉽게 유용성 여부를 판단할 수는 없다고 보여진다.

축열조의 재질을 스테인리스강으로 바꾸어서 열저항을 줄여준다면 지금보다 더 높은 성능을 보일 것이라고 예측하였다. 그러나 어느 정도의 성능향상이 있긴 하겠지만 단가가 높아지는 단점이 있으므로 이에 대한 자세한 논의는 경제성을 평가해본 후에 이루어져야 할 것이라고 생각된다. 또한 축열조 내부에 유동을 일으킨다면 열전달적인 관점에서 성능이 증가할 것이라고 예상되지만 시스템이 복잡해질 우려가 있고 성능향상의

문제도 고려해야하기 때문에 성급히 결론지을 수 없는 문제라고 생각된다. 따라서 이에 대한 연구는 향후에도 계속 경제성 평가를 포함하여 수행해갈 예정이며 본 연구에서는 기존의 시스템과의 성능비교를 그 활용가능성을 확인해보았다.

후 기

본 연구는 중소기업청 지원 산학연 지역컨소시엄사업(S0305110-E0810316-07009011)에 의해 수행되었으며 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Kim, J. H., Kim, S. S., Choi, B. S. and Hong, H., 2004, Verification Experiment for 6kW Solar Water Heating System part 1 : verification experiment, Proceedings of the SAREK, Vol. 16, No. 2, pp. 128-134
2. Kim, J. H., Park, Y. W., Lee, B. J., Kim, S. S. and Hong, H., 2003, Economy analysis of solar hot water heating system, Preceedings of the SAREK summer annual conference, pp. 189
3. Korean Solar Energy Society, 2001, Solar energy handbook, Taerim, pp. 369-416
4. Solar Energy Lab, 1944, TRNSYS Manual, Univ. of Wisconsin-Madison. U.S.A.
5. Stoecker W. F. and Jones J. W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill, Second Edition, pp. 380-400
6. Duffie J. A. and Beckman W. A., Solar engineering of thermal process, 1991, c, John Wiley & Sons pp. 487-512
7. McQuiston F. C., Parker J. D., Spitler J. D., 2000, Heating, Ventilating, and Air Conditioning, John Wiley & Sons, Fifth Edition, pp. 297-340
8. Cengel Y. A., Heat transfer, 1999, McGraw-Hill, pp. 149-217