

혹한기 지역에서의 자연순환형 태양열 온수기 동파방지

권재욱, 김종현, 홍희기^{*†}, 강명철^{**}

경희대학교 기계공학과 대학원, ^{*}경희대학교 기계공학과, 한라엔컴

Freeze Protection for Passive Solar Water Heating System in Bitter Cold Areas

Jae-Wook Kwon, Jong Hyun Kim, Hiki Hong^{*†}, Myeong Cheol Kang^{**}

ABSTRACT: In the present work, a new freeze protection method has been proposed for a natural circulation system of solar water heater. Though electrothermal wire is popularly used for the purpose, there are freezing troubles by wire cut-off and excessive electric power consumption. In the experimental device, hot water in a storage tank was circulated by a small pump and used to heat the outdoor pipes if the cold water pipe surface temperature falls lower than a set point. As a result, it was observed that there was no hot water waste while the solar water heating system operated without freeze and burst.

Key words: Solar thermal energy(태양열 에너지), Freeze protection(동파방지), Natural circulation(자연순환), Hot water tracing technique(온수 트레이싱법), Circulation pump(순환펌프)

1. 서론

현재 국내에 보급되어 있는 태양열시스템은 소형의 경우 집열기의 상부에 축열조가 밀착되어 있는 구조의 자연순환형이, 중대형의 경우에는 열교환기를 가지고 있는 강제순환형이 많다.⁽¹⁾ 자연순환형의 경우 간단한 구조와 효율성에도 불구하고 국내에 보급된 상당수의 시스템에 동파문제가 심각한 상황이었다.⁽²⁾ 즉 영하로 기온이 내려가면 배관 내의 물이 어는 것을 방지하기 위해 배관 주위의 열선이 가열되지만, 빈번한 작동으로 열선이 끊어져 동파로 이어지거나 과도한 전기사용료로 보급에 장애가 되어 왔다. 이전 논문⁽³⁾에서 자연순환형 태양열온수기의 옥외 배관을 접합시키고 축열조 내의 온수를 동파방지의 열원

으로 사용하고자 한 배관접합 온수 트레이싱법을 제안하였고, 실증실험을 통해 검증한 바 있다.

배관접합 온수 트레이싱법을 간단히 설명하면, Fig. 1과 같이 실외의 온수관과 수도관을 독립적

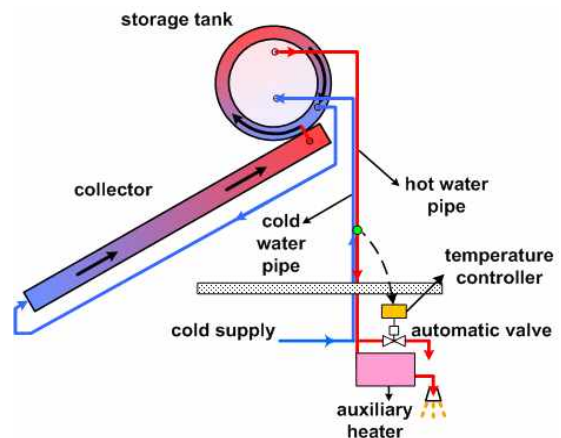


Fig. 1 Schematic diagram of solar water heater with combined pipes and automatic valve.

[†] Corresponding author

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

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

으로 설치·보온하는 대신 서로 맞게 설치하고 함께 단열하게 된다. 온수관의 표면온도가 일정 온도 이하가 되면 이를 감지하고 제어기가 자동 밸브를 개방하여 축열조의 온수를 외부로 유출시키면서 온수관을 가열하고 설정 상한값 이상이 되면 밸브를 차단하게 된다. 이때 가열된 온수관은 수도관을 가열하게 되며, 빈번한 밸브의 개폐를 방지한다.

배관접합 온수 트레이싱법의 장점은 전기소모량이 거의 없으면서도 반영구적이라는 것이며, 단점은 온수 유출이다. 외기온도가 낮아질수록 작동횟수가 빈번해지기 때문에 온수의 유출량이 늘어나게 되며, 옥외 배관이 길어지면 비례하여 유출량이 증가하게 되므로 적용에 제약이 따를 수밖에 없다. 본 연구에서는 소형펌프에 의한 온수 트레이싱법을 도입함으로써 외부로의 온수유출을 방지토록 하였다.

2. 시스템의 설치 및 실험

본 실험을 위한 태양열온수기는 집열기 1매와 축열조로 구성되어 있으며, 경희대학교 공과대학 실험동 옥상에 정남향으로 설치하였다. 시스템 제원은 Table 1에 보인다. 집열기와 축열조를 순환하는 열매체로는 프로필렌글리콜 30wt% 수용액을 사용하였다. 태양열을 흡수한 집열판 내의 가열된 열매체는 자연대류로 집열기 상부에 설치된 축열조로 유동하고 축열조 내의 물과 열교환을 거쳐 온수를 생산하게 된다.⁽⁴⁾ 부하측에서 온수를 사용하게 되면 축열조 하부를 통해 수돗물이 공급되고 온수가 축열조 상부를 통해 배출되도록 배관이 구성되었다.

동파방지를 위해 Fig. 2와 같이 실내측의 수도관과 온수관 사이의 바이패스배관에 순환펌프를 부착하였다. 수도관 표면에 설치한 온도센서의 측정값이 설정하한값(2℃) 이하가 되면 동파방지 운전모드가 되며, 순환펌프가 작동되면서 축열조 내의 온수가 온수관, 바이패스배관, 수도관을 거쳐 축열조로 귀환하는 구조이다. 배관온도가 설정상한값(8℃) 이상이 되면 순환펌프의 작동을 멈추게 된다. 혹한기 지역에 적용을 전제로 하였으므로 일사상태가 장기간 좋지 않으면 축열조 내부의 온도가 설정상한값 이하로 떨어질 수 있다. 따라서 펌프가 일정 시간 이상 작동되면 멈

Table 1 Specification of system

Collector	Size	1937×1022 mm
	Area	1.99 m ²
	Slope	40°
Storage tank	Type	tank in tank
	Capacity	150 L
Pipe	Material	carbon steel
	Diameter	15 mm
Circulation pump	Flow rate	0.65 lpm
	Output	15.6 W

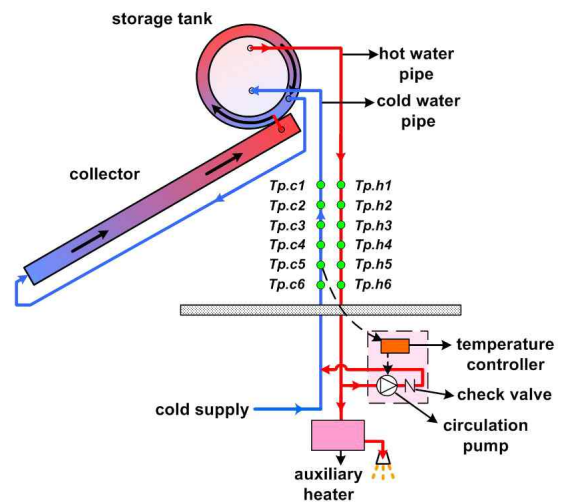


Fig. 2 Schematic diagram of solar water heater with combined pipes and circulation pump.

추도록 제어기에 설정하였다. 일정 시간은 외기 조건, 배관길이에 따라 달리 설정할 수 있으나 실험에서는 4분으로 하였다.

부하측에서 온수를 사용하고자 할 때 수돗물이 축열조를 거치지 않고 펌프측 바이패스배관을 통해 바로 부하측으로 공급되는 것을 막기 위해 역류방지 체크밸브를 설치하였다.

배관접합 온수트레이싱법에서와 달리 배관을 반드시 접합시킬 필요는 없으며 기존에 이미 온수관과 수도관이 분리된 채로 설치되어 있어도 추가공사 없이 적용 가능하다. 이때의 제어기 구동용 온도센서의 위치는, 동파방지 운전모드에서 온도가 가장 나중에 상승하는 수도관의 축열조 입구측이 된다. 한편 이전 연구에서 보인 바와 같이 배관접합 방식을 적용하는 경우 시공비 경감과 온도하강 속도 저하 효과가 있다. 본 연구에서는 이 방식을 사용하였으며 수도관과 온수관

(각각 11 m)을 집합 후 함께 단열(두께 20 mm 폴리에스틸렌 사용)하였다. 다만 온도센서의 위치에는 후술하는 바와 같이 신중을 요한다.

옥외배관의 온도 파악을 위해 Fig. 2와 같이 약 1 m 간격으로 K-type 열전대를 부착하여 3초 혹은 36초 간격으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

실험은 2010년 12월부터 진행하였다. 먼저 순환펌프 제어용 온도센서의 적정위치를 선정하도록 하였다.

Fig. 3은 제어점을 분리 배관 방식과 같은 수도관 축열조 입구측 온도인 $T_{p,cl}$ 으로 하였을 때의 결과이다. 시간에 따른 배관의 온도변화를 살펴보면 순환펌프가 동작한 오전 3시에 온도가 가장 낮은 위치는 $T_{p,b5}$, $T_{p,c5}$ 로서 제어점인 $T_{p,cl}$ 보다 2°C 정도 낮으며, 오전 10시에는 온도차가 4°C까지 나는 것을 확인할 수 있다. 이는 동파방지 운전모드가 진행되면 축열조에서 가장 가까운 $T_{p,hl}$ 이 가장 빨리 높게 올라가기 때문이며 이로부터 가열되는 $T_{p,cl}$ 도 상대적으로 높은 온도를 보이게 된다. 오전 10시에 제어점 온도인 $T_{p,cl}$ 은 2°C 이상이나, 축열조에서 멀리 떨어진 $T_{p,c5}$ 와 $T_{p,b5}$ 는 거의 영하로 떨어지는 것을 알 수 있다. 실내측에 가까운 $T_{p,c6}$ 는 오히려 이보다 높은데 실내 온도의 영향을 받은 것으로 간주된다.

이를 고려하여 제어점의 위치를 실내에서 약 2.5 m 떨어진 $T_{p,c5}$ 로 한 결과가 Fig. 4이다. 이 지점의 온도가 다른 배관온도보다 설정하한값인 2°C까지 먼저 하강하기 때문에 반복되는 실험에서도 배관 동파는 전혀 관찰되지 않았다. 축열조 내의 온수온도가 30~35°C, 외기온도가 -10°C로 유지될 때 순환펌프의 작동 주기는 약 2시간이고, 한번 작동될 때 2분 정도 가동되었다. 따라서 펌프에 소요되는 동력은 무시할 수 있을 정도로 작은 편이다.

최악의 상황을 고려하여 인위적으로 축열조 내부 온도를 5°C로 설정한 상태로 실험을 수행해보았다. 일사가 없는 것을 상정하여 낮 시간에도 집열기를 덮개로 가린 상태로 진행한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 축열조 내의 온도가 설정상한값인 8°C보다 낮기 때문에 순환펌프는 타이머 설정시간인 4분 동안 동작하게 된다. 외기 온도

가 -10°C 근방에서 작동주기는 30분 정도로 상당히 짧아지게 되며, 축열조 온도가 더욱 떨어지면 펌프는 연속해서 동작하기도 하였으나 동파로 이어지는는 않았다. 다만 이보다 더욱 가혹한 환경하에서는 축열조 내부에 전열선을 장착하여 0°C 근방까지 떨어지면 내부를 가열할 수 있는 방안이 강구된다.

이로부터 본 연구에서 제안한 펌프순환 온수트레이싱법은 이전 연구의 배관접합 온수트레이싱법과 동등한 효과를 얻으면서도, 온수의 유출이 전혀 없는 장점을 확인할 수 있었다. 또한 분리배관에도 사용이 가능하고, 기존 시스템에도 손쉽게 적용할 수 있는 이점이 있다. 다만 초기비용이 커질 수 있으므로, 국내에서는 산간지역이나 강원도 등지에 적용할 때 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

이전 연구인 ‘배관접합 온수 트레이싱법’이 혹한기 지역에서 옥외배관 길이가 길어질 때 온수 유출이 많아지기 때문에 이를 해결하고자 펌프순환 방식을 제안하였다.

순환펌프를 제어하기 위한 온도센서는 수도관 표면에 설치하되 실내에서 가까우면서도 실내온도의 영향을 받지 않는 2 m 정도가 적합하다. 혹한기에서의 실증실험을 통해 순환펌프는 원활하게 제어, 작동되었으며 동파는 전혀 관측되지 않았다.

혹독한 조건을 가정한 실험 결과 순환펌프의 작동주기가 30분 이내로 현격히 줄어들거나 연속적으로 작동되며 동파방지운전은 가능하였으나, 축열조 내의 온도가 0°C 근방까지 떨어지면 내부를 가열할 수 있는 방안이 강구된다.

참고문헌

1. KEMCO, 2008, Solar Energy, BooksHill.
2. Kim, S. S. and Hong, H., 2008, Measures and proposal for Korean solar water heating system, Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 631-636.
3. Duffie, J. A. and Beckman, W. A., 1991,

Solar Engineering of Thermal Processes 2nd ed., John Wiley & Sons, p. 489.

4. Kim, J. H. and Hong, H., 2010, Verification

experiment on freeze protection for solar hot water system, Proceedings of the SAREK Summer annual Conference, pp. 947-951.

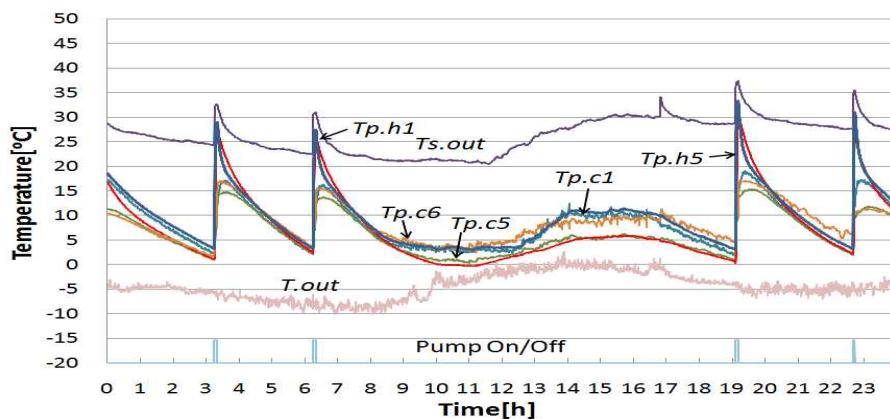


Fig. 3 Temperature variation controlled by $T_{p,c1}$

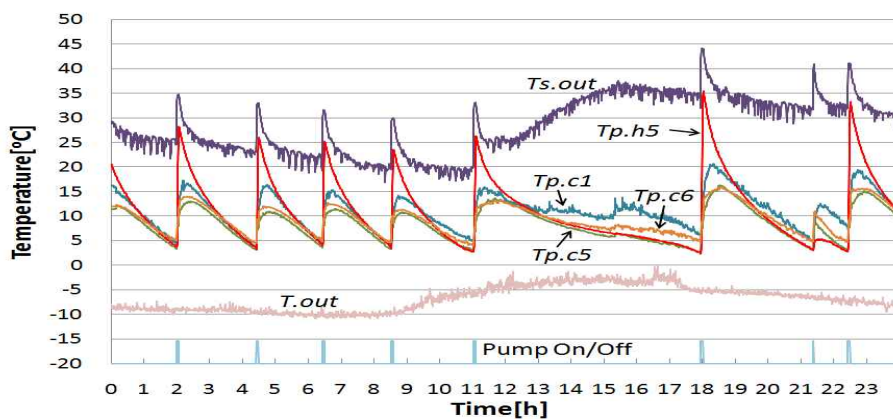


Fig. 4 Temperature variation controlled by $T_{p,c5}$

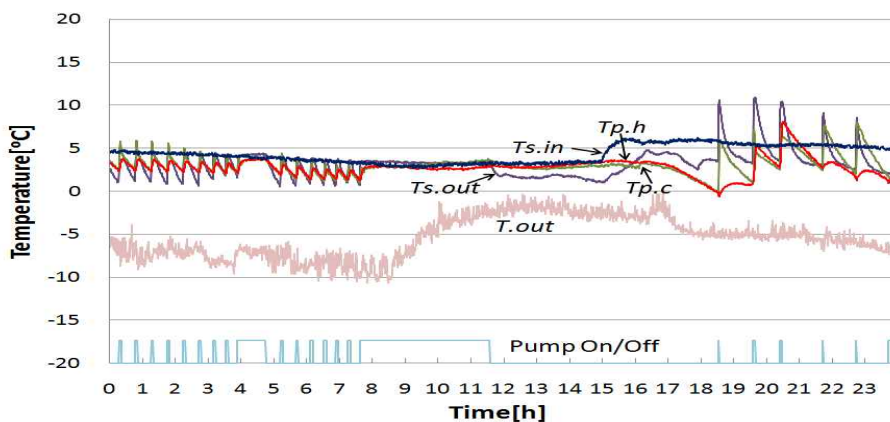


Fig. 5 Temperature variation under a severe condition