

혹한기 지역에서의 자연순환형 태양열 시스템 동파방지

권재욱*, 김종현**, 홍희기***

*경희대학교 대학원 기계공학과(kjw014@naver.com), **케이티이엔지(hyuns16@naver.com),
***경희대학교 기계공학과(hhong@khu.ac.kr)

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

Kwon, Jae-Wook* Kim, Jong-Hyun** Hong, Hi-ki***

*Dept. of Mechanical Eng, Graduate School, Kyung Hee University(kjw014@naver.com),
**Dept. of R&D, KTENG(hyuns16@naver.com),
***Dept. of Mechanical Eng, Kyung Hee University(hhong@khu.ac.kr)

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.

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

기 호 설 명

T_{out} : 외기온도 (°C)
 $T_{s,out}$: 축열조 출구온도 (°C)
 $T_{p,c}$: 수도관온도 (°C)
 $T_{p,h}$: 온수관온도 (°C)

1. 서 론

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 효율성

투고일자 : 2011년 8월 23일, 심사일자 : 2011년 8월 26일, 게재확정일자 : 2011년 10월 17일
교신저자 : 홍희기(hhong@khu.ac.kr)

에도 불구하고 국내에 보급된 상당수의 시스템에 동파문제가 심각한 상황이었다.²⁾ 보편적으로 사용되고 있는 열선가열법에서는, 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 논문⁴⁾에서 자연순환형 태양열온수기의 옥외 배관을 접합시키고 축열조 내의 온수를 동파방지의 열원으로 사용하고자 한 배관접합 온수 트레이싱법을 제안하였고, 실증실험을 통해 검증한 바 있다.

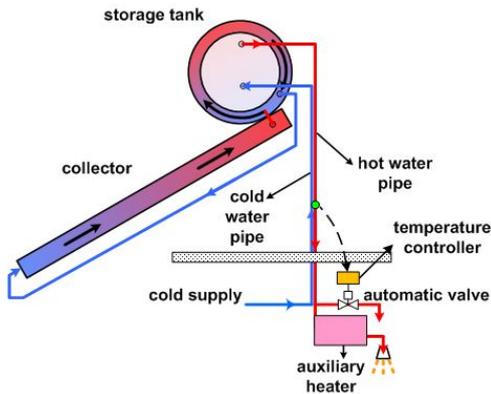


그림 1. 배관접합 온수 트레이싱법을 적용한 태양열 온수기 개략도

배관접합 온수 트레이싱법을 간단히 설명하면, 그림 1과 같이 실외의 온수관과 수도관을 독립적으로 설치·보온하는 대신 서로 맞게 설치하고 함께 단열하게 된다. 온수관의 표면온도가 일정온도 이하가 되면 이를 감지하고 제어기가 자동밸브를 개방하여 축열조의 온수를 외부로 유출시키면서 온수관을 가열하고 설정 상한값 이상이 되면 밸브를 차단하게 된다. 이때 가열된 온수관은 수도관을 가열하게 되며, 빈번한 밸브의 개폐 및 온수의 유출을 방지한다.

배관접합 온수 트레이싱법의 장점은 전기소모량이 거의 없으면서도 반영구적이라는 것이

며, 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

실험은 2010년 12월부터 실제 사용 환경을 전제로 진행하였다.

2.1 시스템 구성 및 측정

본 실험을 위한 태양열온수기는 집열기 1매와 축열조로 구성되어 있으며, 경희대학교 공과대학 실험동 옥상에 정남향으로 설치하였다. 집열기의 경사각도는 설치지역의 위도보다 다소 크게 동절기에 유리한 40°로 취했다. 시스템 제원은 표 1에 보인다. 집열기 와 축열조를 순환하는 열매체로는 프로필렌글리콜 30wt% 수용액을 사용하였다.

표 1. 시스템 제원

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

태양열을 흡수한 집열관 내의 가열된 열매체는 자연대류로 집열기 상부에 설치된 축열조로 유동하고 축열조 내의 물과 열교환을 거쳐 온수를 생산하게 된다.⁴⁾ 자연순환형에 사용되는 축열조의 열교환 방식에는 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 tank-in-tank 방식을 사용하였

다. 부하측에서 온수를 사용하게 되면 축열조 하부를 통해 수돗물이 공급되고 온수가 축열조 상부를 통해 배출되도록 배관이 구성되었다.

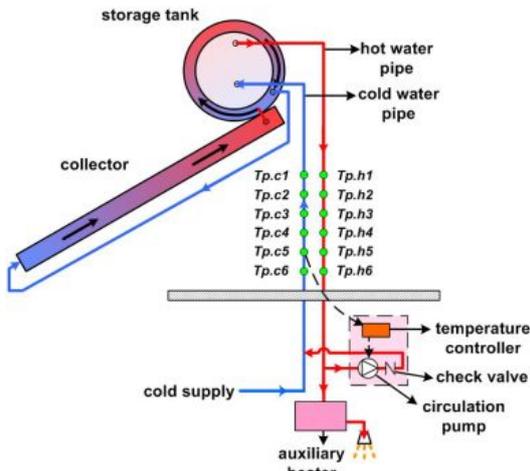


그림 2. 순환펌프를 사용한 태양열온수기의 개략도



그림 3. 순환펌프와 제어기

동과방지를 위해 그림 2와 같이 실내측의 수도관과 온수관 사이의 바이패스배관에 그림 3의 순환펌프를 부착하였다. 순환펌프와 배관의 연결은 8mm 실리콘 튜브를 사용하여 펌프의 위치를 유연하게 조절할 수 있도록 하였다. 부하측에서 온수를 사용하고자 할 때 수돗물이 축열조를 거치지 않고 펌프측 바이패스배관을 통해 바로 부하측으로 공급되는 것을 막

기 위해 역류방지 체크밸브를 함께 설치하였다. 펌프를 온·오프 작동시키기 위한 온도제어기와 릴레이를 같은 공간에 수납하였다.

옥외 배관은 수도관과 온수관(각각 11 m)을 접합 후 함께 단열(두께 20 mm 폴리에틸렌 사용)하였으며, 온도 파악을 위해 그림 2와 같이 약 1 m 간격으로 K-type 열전대를 부착하여 3초 혹은 36초 간격으로 측정하였다.

2.2 실험방법

시스템의 작동은 수도관 표면에 설치한 온도센서의 측정값이 설정하한값(2℃) 이하가 되면 동과방지 운전모드가 된다. 순환펌프가 작동되면서 축열조 내의 온수가 온수관, 바이패스배관, 수도관을 거쳐 축열조로 귀환하는 구조이다. 배관온도가 설정상한값(8℃) 이상이 되면 순환펌프의 작동을 멈추게 된다. 하한값은 0℃로 설정하는 것이 이상적이거나 배관 중의 온도 불균일 및 온도 제어기의 오차(±0.3%) 등을 고려하여 안전하게 2℃로 설정하였다. 혹한기 지역에 적용을 전제로 하였으므로 일사상태가 장기간 좋지 않으면 축열조 내부의 온도가 설정상한값 이하로 떨어질 수 있다. 따라서 펌프가 일정 시간 이상 작동되면 멈추도록 제어기에 설정하였다. 일정 시간은 외기조건, 배관길이에 따라 달리 설정할 수 있으나 실험에서는 4분으로 하였다.

순환펌프를 적용한 동과방지 시스템은 이전 연구에서 사용하였던 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, 동과방지 운전모드에서 온도가 가장 나중에 상편 이전 연구에서 보인 바와 같이 배관접합 방식을 적용하는 경우 시공비를 낮출 수 있고 온도하강 속도를 떨어뜨리는 효과가 있다. 다만 온도센서의 위치에는 후술하는 바와 같이 신중을 요한다.

3. 실험결과 및 분석

실험은 매우 추웠던 2010년 12월부터 2011년 2월에 걸쳐 진행하였다. 먼저 순환펌프 제어용 온도센서의 적정위치를 선정하도록 하였다.

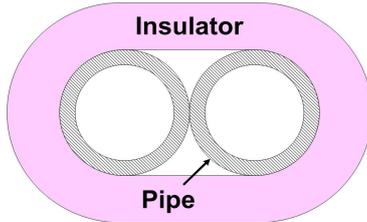


그림 4. 접합배관 단면도

앞서 언급하였듯이 그림 2의 수도관과 온수관이 분리된 상태에서 보온이 된 경우에 순환펌프가 작동되면 $T_{p,cl}$ 의 수도관 온도가 가장 나중에 상승되기 때문에 이를 제어점으로 사용하면 된다. 반면에 그림 4와 같이 수도관과 온수관을 맞게 설치하고 동시에 단열하게 되면 $T_{p,hl}$ 이 가장 먼저 상승하기 때문에 $T_{p,cl}$ 이 가장 낮은 온도를 보이지 않을 가능성이 높다.

그림 5는 제어점을 수도관 축열조 입구측 온도인 $T_{p,cl}$ 으로 하였을 때의 결과이다. 시간에 따른 배관의 온도변화(표 2 참조)를 살펴보면 순환펌프가 동작한 새벽 3시에 온도가 가장 낮은 위치는 $T_{p,hl}$, $T_{p,c5}$ 로서 제어점인 $T_{p,cl}$ 보다 1°C 정도 낮으며, 오전 10시에는 온도차가 거의 4°C까지 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 동파방지 운전모드가 진행되면 축열조에서 가장 가까운 $T_{p,hl}$ 이 가장 빨리 상승하기 때문이며 이로부터 가열되는 $T_{p,cl}$ 도 상대적으로 높은 온도를 보이게 된다. 오전 10시에 제어점 온도인 $T_{p,cl}$ 은 설정하한값(2°C) 이상이나, 축열조에서 멀리 떨어진 $T_{p,c5}$ 와 $T_{p,hl}$ 는 거의 영하로 떨어지는 것을 알 수 있다. 실내측에 가까운 $T_{p,c6}$ 는 오히려 이보다 높는데 실내 온도의 영향을 받은 것으로 간주된다.

이를 고려하여 제어점의 위치를 실내에서 약 2.5 m 떨어진 $T_{p,c5}$ 로 한 결과가 그림 6이다. 이 지점의 온도가 다른 배관온도(표 3 참조)보다 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.

표 2. 제어점이 $T_{p,cl}$ 일 때 주요 배관의 온도변화

제어점	시간	$T_{p,cl}$	$T_{p,c5}$	$T_{p,hl}$	$T_{p,c6}$
$T_{p,cl}$	03:00	2.2°C	0.9°C	1.0°C	1.8°C
	10:00	3.8°C	0.8°C	0°C	3.3°C

표 3. 제어점이 $T_{p,c5}$ 일 때 주요 배관의 온도변화

제어점	시간	$T_{p,cl}$	$T_{p,c5}$	$T_{p,hl}$	$T_{p,c6}$
$T_{p,c5}$	02:00	4.3°C	2.3°C	2.7°C	5.1°C
	04:24	3.6°C	2.2°C	2.5°C	4.6°C
	06:25	4.5°C	2.6°C	3.2°C	4.9°C
	08:31	4.0°C	2.4°C	2.4°C	6.1°C
	11:00	5.0°C	2.0°C	1.7°C	4.3°C

최악의 상황을 고려하여 인위적으로 축열조 내부 온도를 5°C로 설정한 상태로 실험을 수행해 보았다. 일사가 없는 것을 상정하여 낮 시간에도 집열기를 덮개로 가린 상태로 진행한 결과를 그림 7에 나타내었다. 축열조 내의 온도가 설정상한값인 8°C보다 낮기 때문에 순환펌프는 제어기 설정시간인 4분 동안 동작하게 된다. 외기 온도가 -10°C 근방에서 작동주기는 30분 정도로 상당히 짧아지게 되며, 축열조 온도가 더욱 떨어지면 펌프는 연속해서 동작하기도 하였으나 동파로 이어지는 않았다. 다만 이보다 훨씬 더 가혹

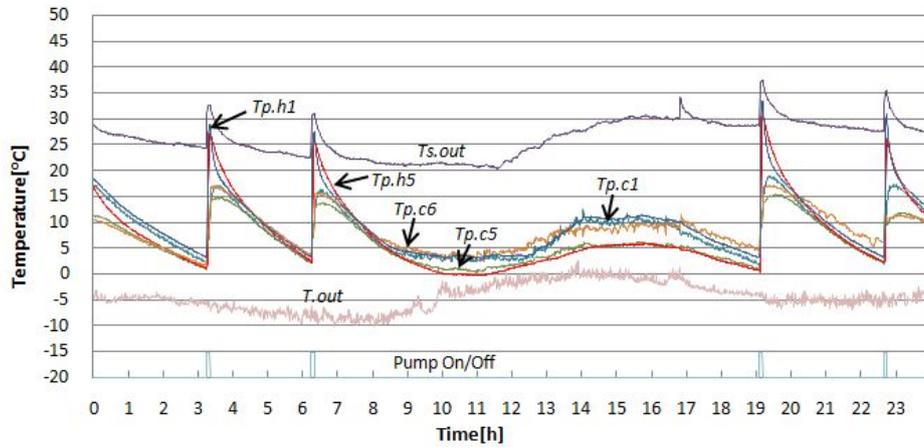


그림 5. 제어점이 T_{pc1} 일 때 온도변화 그래프

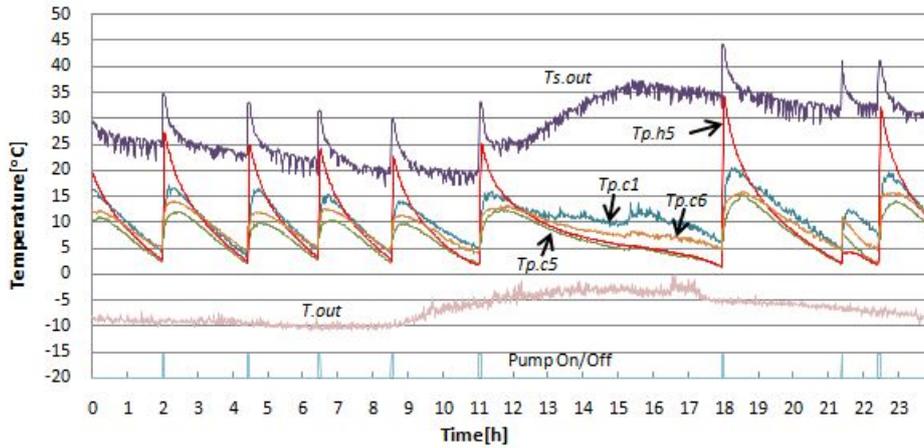


그림 6. 제어점이 T_{pc5} 일 때 온도변화 그래프

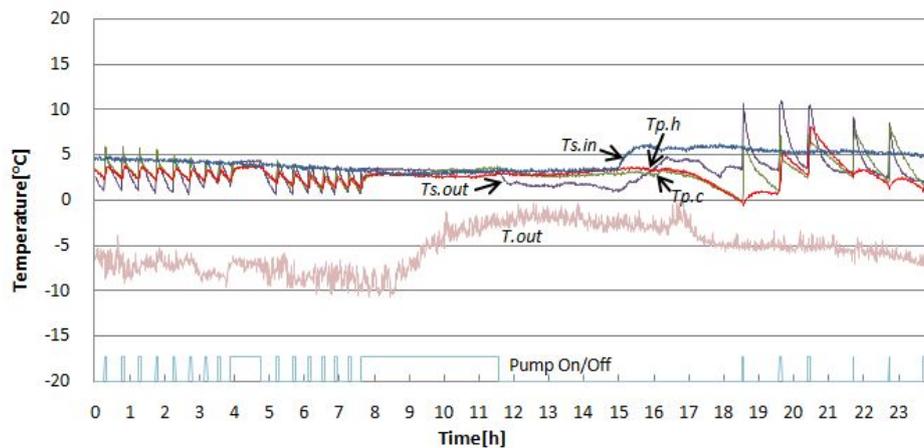


그림 7. 흑한기를 가정한 온도변화 그래프

한 환경 하에서는 축열조 내부에 전열선을 장착하여 0℃ 근방까지 떨어지면 내부를 가열할 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다.

이로부터 본 연구에서 제안한 펌프순환 온수트레이싱법은 이전에 수행한 배관접합 온수트레이싱법과 동등한 효과를 얻으면서도, 온수의 유출이 전혀 없는 장점을 확인할 수 있었다. 또한 분리 배관에도 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.

한편 기존의 전열선 방식에서 전열선이 파손되거나 펌프순환 온수트레이싱법에서 펌프가 정상적으로 작동하지 않는 경우 자동으로 경보를 해춤으로써 동파를 방지하는 기능이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

이전에 수행한 ‘배관접합 온수 트레이싱법’이 혹한기 지역에서 옥외배관 길이가 길어질 때 온수유출이 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℃ 근방까지 떨어지면 내부를 가열할 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

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., Hong, H., Chung, J. D., 2011, Verification experiment on freeze protection for solar hot water system, Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 327-333.