

자연순환형 태양열온수기 동파방지기술

김 종 현, 홍 희 기^{*†}, 정 재 동^{**}

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

Freeze Protection for Passive Solar Water Heating System

Jong Hyun Kim, Hiki Hong^{*†}, Jae Dong Chung^{**}

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

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

^{**}Mechanical Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

(Received January 12, 2011; revision received April 5, 2011)

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 shortage of excessive electric power consumption. In the experimental device, hot water in storage tank was used to heat the outlet pipe from the tank if the pipe surface temperature falls lower than a set point. The cold water pipe to the storage tank was installed to directly contact the hot water pipe, so its temperature rose by transferred heat.

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

기 호 설 명

C_p : 물의 정압비열 [kJ/kg · K]

k : 열전도율 [W/m · K]

h_o : 대류열전달계수 [$W/m^2 \cdot K$]

L : 배관길이 [m]

r_i : 배관 안쪽의 반지름 [m]

r_o : 배관 바깥쪽의 반지름 [m]

r_{ad} : 단열재 바깥쪽의 반지름 [m]

t : 경과시간 [s]

t_f : 소요시간 [s]

T : 물의 온도 [°C]

T_i : 물의 초기온도 [°C]

T_f : 물의 최종온도 [°C]

T_o : 외기온도 [°C]

U : 총괄열전달계수 [$W/m^2 \cdot K$]

그리스 문자

ρ : 물의 밀도

1. 서 론

태양열 온수급탕 시스템과 관련된 요소기술은 선진국 수준에 거의 접근한 것으로 판단되나, 동파에 취약한 시스템 혹은 불안정한 성능을 보이는 시스템이 보급되는 경우 시장의 신뢰성을 회복하기는 어렵다.⁽¹⁾ 현재 국내에 보급되어 있는 태양열시스템

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2868; fax: +82-31-202-2625

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

은 소형의 경우 집열기의 상부에 축열조가 밀착되어 있는 구조의 자연순환형이 많으며, 중대형의 경우에는 강제순환형이 사용되고 있다. 1990년대 중후반에 대량으로 보급된 후 태양열에 대한 불신과 함께 시장에서 외면을 받은 제품은 크게 두 부류로 나눌 수 있는데, 우리나라의 기후특성에 적합하지 않은 동파에 취약한 저가형 자연순환형과 동파에 안전하기는 하지만 시스템이 복잡하고 고장가능성이 높은 열교환기가 있는 강제순환형이다.

자연순환형의 경우 간단한 구조와 효율성으로 국내외에 보급된 태양열시스템의 대다수를 차지하나, 혹한기를 거치는 우리나라의 중부지방에서는 동파 문제가 심각한 상황이었다. 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.

이러한 문제를 해결하면 태양열 에너지의 경쟁력 강화 및 보급에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.⁽²⁾ 이에 본 연구에서는 자연순환형 태양열온수기의 옥외 배관에 대해 기존의 전열선 가열법 이외에 온수 가열법을 제안하고, 이를 실증실험을 통해 성능을 평가하였다.

자연순환형 시스템은 Fig. 1에 보인 바와 같이 매우 단순한 구조이면서도 비교적 효율적인 운전이 가능한 방식으로 집열기에서 가열된 작동매체는 밀도차에 의해 자연순환되며, 순환펌프, 제어계통 등의 설비가 없으면서도 효율적인 운전이 가능하다. 국내외에 보급된 소형 태양열시스템의 다수를 자연순환형 태양열온수기가 차지한다. 이 방식의 가장 큰 단점은 0℃ 이하에서 동파의 가능성이 대단히 높다는 것이다. 따라서 혹한기가 있는 기후 조건의 지역에서는 작동매체로 부동액을 사용하고 부하측의 수도물은 조 내에서 열교환하는 구조를 취하게 된다.

열교환방식으로 과거에는 축열조 내에 열교환코일을 설치하는 방식도 사용되었으나, 최근에는 국내외를 막론하고 이중탱크(tank-in-tank)방식이 성능 면이나 제작의 용이성 면에서 유리하여 보편화된 상태이다. Fig. 1과 같이 바깥 탱크와 안쪽 탱크 사이의 제킷 부분에 집열기에서 가열된 부동액이 축열조 내부의 물을 가열하고 온도가 떨어진 상태에서 배출되어 다시 집열기로 자연순환하는 구조이다.⁽³⁾

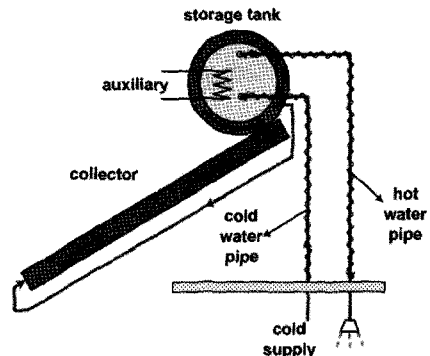


Fig. 1 Schematic diagram of general passive water heater.

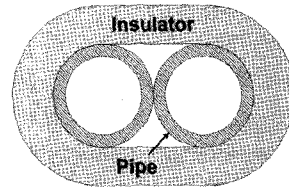


Fig. 2 Combined pipes.

집열기, 축열조 제킷 부분, 연결배관에는 부동액이 사용되어 동파 문제가 없으나, 축열조에 연결된 수도관 및 온수관이 야간에 외기온도가 영하로 떨어지면 동파의 가능성이 크다. 지금까지 주로 사용한 방법은 외기에 노출된 실의 수도관 및 온수관에 전열선을 설치하여 배관 내 물의 온도가 0℃ 근방까지 떨어지면 이를 가열하여 동파를 막는 '전열선 트레이싱법'이다. 동절기가 길면 장기간의 빈번한 작동으로 전열선이 파손되기 쉬우며 소비전력도 큰 편이다. 이로 인해 자연순환형 태양열온수기는 국내에서 적합하지 않은 방식으로 간주되어 왔다. 한편 온수로 배관을 가열하는 '온수 트레이싱법'은 축열조 내의 온수로 온수관을 가열할 수는 있으나 수도관을 가열할 수 없어 지금까지 태양열온수기에 적용된 바가 없었다. 그밖에 옥외의 축열조 및 배관 내의 물을 배수시키는 방법을 생각할 수 있으나, 완전히 빼내기 어려울 뿐 아니라 일부 남아 있는 경우 동파의 우려가 높고 물 낭비가 커져 적용하기가 쉽지 않다.⁽⁴⁻⁶⁾

본 연구에서는 축열조 내의 온수로 배관 내의 동결을 방지하는 '배관집합 온수 트레이싱법'을 제안한다. 실외의 온수관과 수도관을 독립적으로 설치·보온하는 대신 Fig. 2와 같이 맞게 설치하고 함

게 단열하게 된다. 온수관의 표면온도가 일정온도 이하가 되면 이를 감지하고 제어기가 자동밸브를 개방하여 축열조의 온수를 유출시켜 온수관을 가열하고 설정상한값 이상이 되면 밸브를 차단하게 된다. 이때 가열된 온수관은 수도관을 가열하게 되어 빈번한 밸브의 개폐를 방지하고 유출되는 온수의 양을 최소화시킨다.

2. 배관내 물의 냉각거동

단열된 배관 내의 물이 얼마나 빨리 냉각되는지 실험 및 해석을 통해 분석해 보았다. 이를 통해 전열선 트레이싱법에서 소요되는 에너지양 및 온수 트레이싱법에서의 작동횟수 등을 예측할 수 있다. 냉각속도에 영향을 주는 인자로는 배관경, 단열 정도, 외기온도 및 풍속, 초기수온 등이나, 실험에서는 배관경과 단열 정도 및 외기온도의 영향에 대해서만 파악하였다.

길이 30 cm의 탄소강관 15A(내경 16.1 mm, 두께 2.8 mm)와 20A(내경 23 mm, 두께 2 mm)에 90% 정도로 물을 채워 넣은 후 단열된 상태에서 냉동실에 수직으로 배치하였다. 냉동실 온도는 설정값 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 의 범위에서 유지되며, 3 m/s의 기류속도를 유지토록 하였다. 해석은 정량적인 엄밀함보다는 근사적인 경향을 파악하는 것을 목적으로, 단순화를 위해 대류의 효과 및 온도분포는 무시하고 집중용량법을 적용하여 도출하였다. 총괄열전달계수 U , 시간 t 에 따른 온도변화 T 및 최종온도에 도달한 소요시간 t_f 등은 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{1}{UA_i} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi Lk_{pipe}} + \frac{\ln(r_{ad}/r_o)}{2\pi Lk_{ad}} + \frac{1}{2\pi r_{ad}Lh_o} \quad (1)$$

$$\frac{T - T_o}{T_i - T_o} = \exp\left(-\frac{2Ut}{r_i\rho C_p}\right) \quad (2)$$

$$t_f = -\ln\left(\frac{T_f - T_o}{T_i - T_o}\right) \frac{r_i\rho C_p}{2U} \quad (3)$$

여기서 T_i , T_f 는 물의 초기 및 최종온도, T_o 는 외기온도이다.

탄소강관 15A에 폴리에틸렌 보온재(열전도율 $0.037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) 20 mm와 40 mm를 적용했을 때의 결과를 Fig. 3에 보인다. 관내 초기수온은 12.5°C , 냉동실의 온도는 -10°C 로 유지하였다. 0°C 까지 하강하는 데 소요되는 시간이, 실측값에 비해 계

산값이 25% 정도 작게 나타나는 경향을 보이거나 해석의 목적에 적합한 것으로 판단하여 이하 계산결과를 정리하였다.

Fig. 4에 단열재의 두께에 따른 소요시간의 변화를 나타내었다. 배관경 20A가 15A에 비해 2배 가까이 지속시간이 유지되나, 냉각속도를 늦추기 위한 목적으로 배관경을 크게 하는 것은 적합하지 않다. 배관 내의 물의 양이 늘어나기 때문에 가열해야 하는 열량도 증가하게 된다. 배관경 15A의 경우 단열재의 두께는 일반적으로 사용하는 20 mm에 비해 40 mm가 지속시간이 50% 정도 향상되는 것을 알 수 있다. 경년변화로 단열재의 열전도율이 떨어지는 연구결과⁽⁷⁾도 보고되고 있기 때문에 동파방지 가능성을 높이고 가열에 소요되는 에너지를 절감하

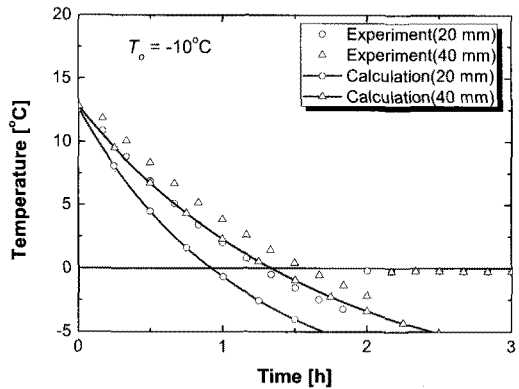


Fig. 3 Timewise variation of water temperature according to insulation thickness.

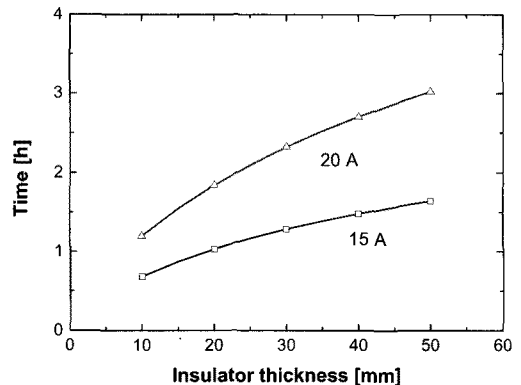


Fig. 4 Elapsed time to 0°C according to insulation thickness ($T_i = 15^\circ\text{C}$, $T_o = -10^\circ\text{C}$, $V_o = 2\text{m/s}$).

는 측면에서 40 mm를 사용하는 것이 바람직하다. 다만 실증실험에서는 보다 가혹한 조건을 구현하기 위해 두께 20 mm 단열재를 사용하였다.

관내 초기수온의 영향을 보인 것이 Fig. 5로서 높을수록 오래 지속되나 점차 경향이 둔화되는 것을 확인할 수 있다. Fig. 3에서와 같이 관내 수온과 외기온도의 차가 큰 냉각초기에 빠르게 수온이 떨어지는데 반해 점차 완만해진다. 따라서 전열선으로 가열하는 경우 관내 수온을 높은 온도까지 올리는 것보다 낮은 온도까지 빈번하게 올려주는 편이 유리하다. 물론 지나치게 낮게 설정하면 온·오프가 빈번해져 전열선 수명저하로 이어질 수 있다. 배관내 수온이 2℃까지 떨어지면 전열선을 가열하고 10℃에 도달하면 가열을 중지시킬 때 -10℃의 외기 조건에서 12시간 노출되는 경우 단열재 두께 20

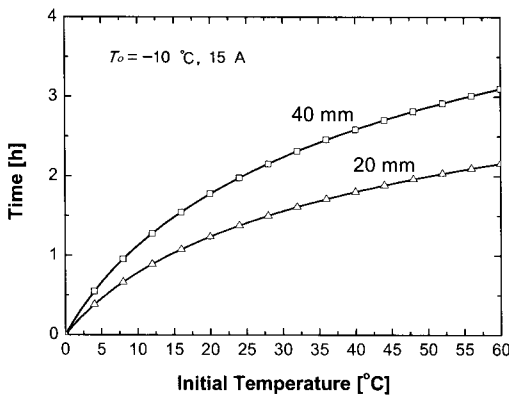


Fig. 5 Elapsed time to 0℃ according to initial water temperature.

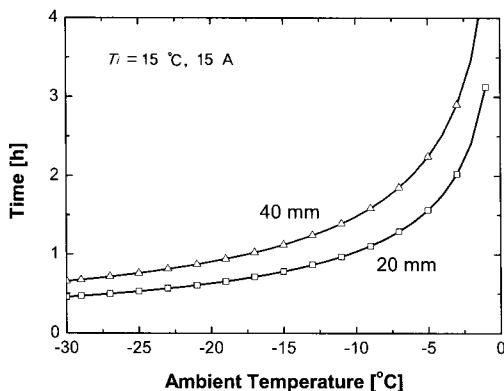


Fig. 6 Elapsed time to 0℃ according to ambient temperature.

mm에서 소비전력량은 0.05 kWh/m 정도를 보인다. 외기풍속의 영향은 매우 작은 편이나, Fig. 6과 같이 외기온도의 영향은 지대하여 -10℃ 이상에서는 지속시간이 급격히 상승하게 되며, 단열재 두께는 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 제안하는 핵심기술인 접합된 배관의 열전달 거동을 파악할 필요가 있다. 두 배관은 용접이 아닌 단순한 기계적 접촉을 취하도록 하였다. 두 관의 초기온도를 각각 22℃, 40℃에서 신속히 접합시킨 후 -5℃의 냉동고 내에 수직으로 배치시킨 상태에서의 온도변화를 나타낸 것이 Fig. 7이다. 예상한 대로 고온측은 저온측으로 열을 공급하면서 빠른 속도로 하강하고 저온측은 온도가 다소 상승하였다가 온도차가 점차 줄어들면서 이후 거의 동시에 0℃까지 하강하는 양상을 띤다. 단열재 두께 40 mm가 20 mm에 비해 1.5배 정도 더 지속됨을 보인다.

3. 시스템의 설치 및 실험

3.1 시스템 구성 및 측정

본 실험을 위한 태양열온수기는 집열기 1매와 축열조로 구성되어 있으며, 수원 소재 K대학교에 정남향으로 설치하였다. 시스템 제원은 Table 1에 보인다. 집열기와 축열조를 순환하는 열매체로는 프로필렌글리콜 30 wt% 수용액을 사용하였다. 태양열을 흡수한 집열관 내의 가열된 열매체는 자연대류로 집열기 상부에 설치된 축열조로 유동하고 축열조 내의 물과 열교환을 거쳐 온수를 생산하게 된

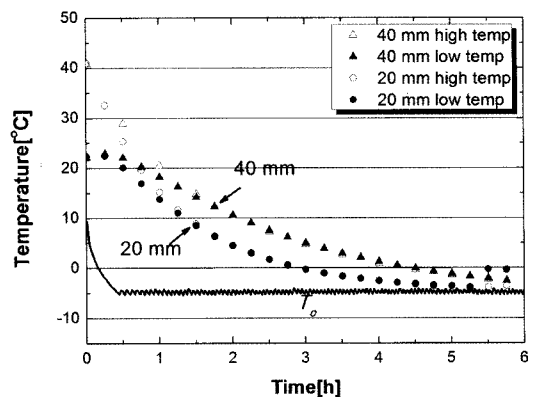


Fig. 7 Timewise variation of water temperature in combined pipes.

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
Heating wire	Resistance	16 W/m

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

동파방지를 위해 Fig. 8과 같이 태양열샤워실의 온수관에 전동밸브(소비전력 3 W)를 부착하였으며, 옥외배관(각각 11 m)에 전열선을 설치한 후 두께 20 mm의 보온재로 단열하였다. 전열선과 전동배수밸브의 동작을 위해 가장 온도가 낮을 것으로 추정되는 배관 위치에 열전대를 부착하고, 온도제어기를 통해 온·오프되도록 설정하였다. 전열선의 소비전력량 측정은 전자식 전력량계를 이용하였다. 외기온도 변화에 따른 옥외배관의 온도 파악을 위해 각 측정점마다 K-type의 열전대를 부착하여 3 초 혹은 36초 간격으로 측정하였다.

3.2 실험방법

실험은 2009년 12월부터 2010년 12월까지 동절기의 사용 환경을 전제로 진행하였다. 배관온도가 설정하한값까지 떨어지면 Fig. 8의 자동밸브가 개방되기 시작하여 축열조의 온수가 빠져나오고 동시에 수압으로 수돗물이 유입된다. 이후 설정상한값에 도달하면 밸브가 닫히기 시작하는데 실험에 사용된 자동밸브는 완전히 열리고 닫히는 데 각각 30 초 소요된다. 따라서 설정상한값에 도달한 이후에도 추가의 온수 유출이 이루어지기 때문에 배관온도는 더욱 상승하게 되며, 이를 고려하여 상한값은 10℃로 설정하였다. 한편 하한값은 0℃로 설정하는 것이 이상적이기는 하나 배관 중의 온도 불균일 및 온도제어기의 오차 등을 고려하여 안전하게 2℃로 하였다.

온도센서를 수도관에 설치하면 단시간에 설정상한값에 도달할 수 없기 때문에 온수유출이 매우 커

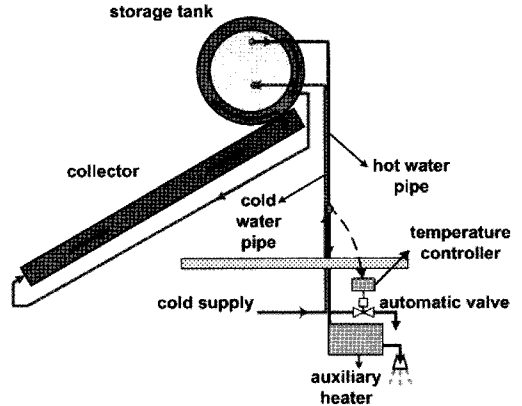


Fig. 8 Schematic diagram of solar water heater with combined pipes and automatic valve.

저 불합리하다. 자동밸브가 작동되기 직전의 온수관 온도분포를 파악해본 결과 실내 인입 직전이 가장 낮았다. 온수가 유출되기 시작하면 축열조에서 가까울수록 먼저 가열되고 실내로 인입되기 직전이 가장 늦게 가열되기 때문이다. 따라서 온도센서의 위치는 실내의 영향을 받지 않는 범주에서, 온수배관의 실내 인입전 1 m의 위치로 하였다. 비교실험으로서 전열선에 의한 동파방지법도 수행하였다.

4. 실험결과 및 분석

Fig. 9에 온수 트레이싱법에 대한 실험결과를 나타내었다. Fig. 9(a)에서 외기온도가 영하로 떨어지면서 동파방지 장치가 작동되는 것을 확인할 수 있다. 센서가 위치한 온수관 표면 온도 $T_{P,H}$ 는 약 20℃까지 상승하고 수도관 온도 $T_{P,C}$ 는 15℃ 근방까지 상승하였다가 이후 거의 5시간 정도 설정하한값인 2℃ 이상을 유지한다. 외기온도가 낮아지면서 지속 시간은 3시간 정도까지 감소하게 된다. 1회 작동될 때마다 3 L 정도의 온수가 빠져나가는 것으로 관측되었다. 온수배관 내의 체적이 2.3 L인 것을 고려하면 25% 정도 더 배출되었으며, 탄소강관을 가열하는 데 사용된 열량으로 간주할 수 있다. 이는 축열조 내의 온수 온도가 25℃일 때 탄소강관 15A에서 1 m 당 0.27 L의 온수유출에 해당된다. 따라서 배관 길이가 짧아지면 온수 유출량은 줄어들게 된다.

축열조 온수관 출구의 온도 $T_{s,out}$ 를 함께 나타내었으며 작동횟수가 늘어나면서 처음의 25℃에서 점차 낮아지게 되는데 냉수의 유입과 더불어 축열조

에서 외부로 열손실로 인한 것이다. 외기온도가 -10°C 이하까지 떨어진 Fig. 9(b)에서는 작동횟수가 보다 빈번해지며 평균 2시간 정도 지속되는 것으로 파악되었다. 24시간 동안 소비된 전력소모량은 0.4 Wh 로 무시할 만한 수준이었다.

앞서 언급한 바와 같이 설정상한값을 10°C 로 취하여도 밸브가 완전히 닫히는 데 30초 정도가 소요

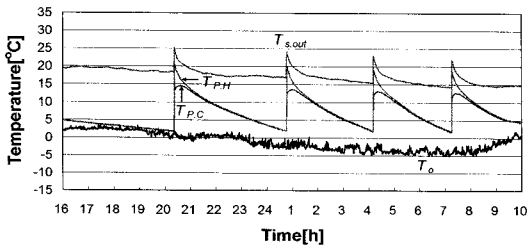
되며 이 과정에서 배관의 온도는 축열조 내 온수 온도 근방까지 상승하게 된다. 따라서 솔레노이드 밸브를 사용하지 않는 한 설정상한값은 그다지 큰 의미있는 값은 아니다. 다만 일사가 장기간 없는 상태에서 혹한의 기온이 이어지는 경우 축열조 내부 온도가 매우 낮아질 수 있으며 설정상한값에도 미치지 못하는 경우 물이 계속 빠져나올 수 있으므로 설정값을 다소 낮게 취하는 것이 안전하다. 또한 일정시간 이상 유출되면 밸브가 자동으로 차단하는 기능을 포함하는 것도 실제 적용시에는 바람직할 것으로 판단된다.

전열선 트레이싱법에 대한 실험결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10(a)는 설정온도를 4°C 와 11°C 로 하여 수도관과 온수관에 전열선을 모두 설치한 결과로서, 외기온도가 -8°C 일 때 1시간 정도 지속되며 총 동작횟수는 13회로 소비전력은 1.2 kWh 이었다. Fig. 10(b)는 배관을 결합한 상태에서 전열선을 한 가닥만 설치한 것으로 외기온도가 더 낮으면서도 동작횟수는 8회, 소비전력이 1.1 kWh 로 오히려 감소하게 된다.

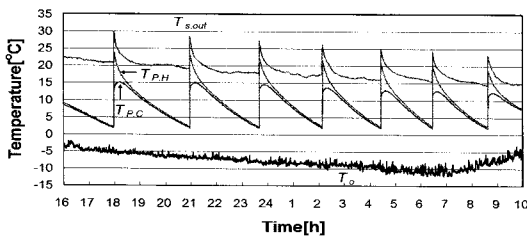
이는 분리된 배관을 별도로 단열했을 때 비해 배관을 결합함으로써 표면적이 감소하게 되고 지속시간이 연장되는 효과를 가져왔기 때문이다. 따라서 전열선 트레이싱법에서도 온수관과 수도관을 접합하는 방식이 유리하며 전열선의 길이가 절반으로 줄어 초기 시공비 면에서도 유리하다. 온수관과 수도관이 맞닿은 형태이기 때문에 평상시의 온수사용시 수도관으로의 열전달로 부하측 온수온도의 저하가 우려되기도 하나, 배관길이가 극히 길지 않는 한 열전달이 이루어지는 시간이 짧고 두 관 사이의 열저항이 큰 편이기 때문에 무시할 수 있을 정도이다.

기존의 전열선 트레이싱법과 본 연구에서 제안한 배관접합 온수 트레이싱법을 에너지 사용면에서 비교하는 것은 그다지 의미 있는 일은 아니다. -10°C 의 외기조건에서 온수 트레이싱법이 0.4 Wh , 전열선 트레이싱법이 1.1 kWh 이나, 전열선법에서의 전력소모량이 매우 큰 편이 아니기 때문에 실용상에는 큰 문제가 없다. 다만, 전열선의 수명이 최대 5년으로 적절한 유지관리가 뒤따라야 하는데 현실적으로 쉽지 않고 그 동안 동파의 직접적인 원인이 되고 있는 것이 현실이다.

배관접합 온수 트레이싱법의 장점은 전기소모량이 거의 없으면서도 반영구적이라는 것이며, 단점

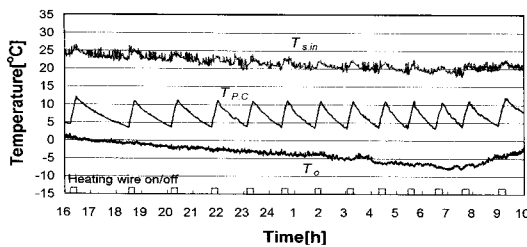


(a) 2010. 12. 17~12. 18

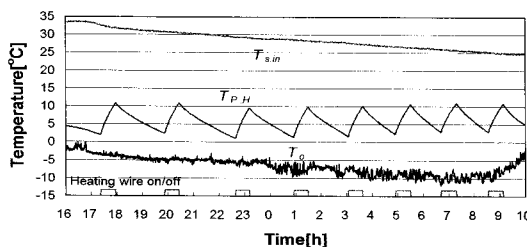


(b) 2010. 12. 15~12. 16

Fig. 9 Result graph of hot water tracing.



(a) separated pipes(2010. 2. 15~2. 16)



(b) combined pipes(2011. 1. 6~1. 7)

Fig. 10 Result graph of heating wire tracing.

은 역시 온수 유출이다. Fig. 9에서 보인 바와 같이 외기온도가 낮아짐에 따라 작동횟수가 증가하면서 온수 유출량이 늘어난다. Fig. 7에서와 같이 단열재가 20 mm에서 40 mm로 늘어나면서 지속시간이 1.5배 정도 증가하게 되고 온수유출량이 감소된다. 이와 더불어 수증기 저항성이 높아 단열성의 경년 변화가 적은 고무발포 단열재의 사용이 권장된다. 유출되는 온수는 생활용수로의 활용 등을 모색해야 하며, -10°C 이하가 이어지는 매우 추운 지역에서는 온수 유출이 전혀 없는 펌프순환 방식을 적용할 필요가 있다.

5. 결 론

자연순환형 태양열온수기의 문제점인 옥외배관의 동파를 해결하기 위해 배관접합 온수 트레이싱법을 제안하였다. 2010년 말부터의 혹한기가 지속된 기후조건에서의 실증실험 결과 가열된 온수관으로부터 수도관으로 적절한 열전달이 이루어지고, 원활한 작동이 확인되었다.

배관 길이와 직경, 단열재 두께, 외기온도에 따라 소비되는 온수량이 달라지며, 축열조 온수온도 25°C , 15A 탄소강관의 경우 m 당 0.27 L의 온수유출이 이루어지는 것으로 파악되었다. 실험에 사용한 20 mm보다는 40 mm의 단열재가 온수유출 저감을 위해 바람직하다.

한편 본 연구에서 제안한 배관결합은 온수 트레이싱법에서 필수이나, 기존의 전열선 트레이싱법에 적용하였을 때도 전력소비량 저감효과가 있으며 시공면에서도 유리한 장점을 보인다.

후 기

이 논문은 2009년도 경희대학교 연구년 지원에 의한 결과입니다.

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. Shah, L. J., Morrison, G. L. and Behnia, M., 1999, Characteristics of mantle heat exchangers for solar water heaters, Solar Energy, Vol. 67, pp. 79-91.
4. Kim, Y. H., 2007, The dynamic of freeze, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 503-509.
5. Duffie, J. A. and Beckman, W. A., 1991, Solar Engineering of Thermal Processes 2nd ed., John Wiley and Sons, p. 489.
6. 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.
7. Kim, Y. I., Chung, K. S., Oh, H. K., Suh, S. J., Oh, J. T., and Park, B. Y., 2009, Research on improvement of insulation construction performance, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 336-341.