RESEARCH ARTICLE



수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 학교건물 적용을 위한 드레인백 시스템의 과열 및 동파방지 유용성 평가

주홍진¹ · 이경호^{2*} · 안영섭³ · 이왕제⁴

Evaluation of the Usefulness of the Drain Back System to Prevent Overheating and Freezing for Facade installed Solar Hot Water System for School Building

Joo, Hong-Jin¹ · Lee, Kyoung-Ho^{2*} · An, Young-Sub³ · Lee, Wang-Je⁴

ABSTRACT

In this study, a drain back system to prevent summer season overheating and winter season freezing of facade installed solar hot water system for school building was suggested and evaluated by long-term experiments. The drain back system proposed in this study was configured as a system with a control valve to modulate the amount of drained water when drain-back is called. The controller of the drain-back system allows the user to set the set point temperature and control whether to remain or discharge the working fluid inside the piping of the solar hot water system. In addition, the piping system was constructed so that a part of the working fluid pump power recovered by installing a micro hydro turbine with a capacity of 10 W at the end of the return pipe of the solar hot water system. In order to experimentally evaluate the reliability and usefulness of the drain back system to prevent overheating and freezing, long-term demonstration experiments were carried out to use tap water that is vulnerable to freezing and overheating as a working fluid. As a result of long-term experiments, the temperature inside the heat storage tank could be kept below the setting temperature of 68°C in the summer season. Also, the freezing problem of the solar hot water system did not occur at all even when the outside temperature was continuously below -10°C in the winter season.

주요어: 수직 벽면 설치형 집열기, 태양열 온수급탕, 드레인백, 과열방지, 동파방지

Keywords: Facade installed solar collector, Solar hot water system, Drain Back, Overheating protection, Freezing protection



Journal of KIAEBS 2021 June, 15(3): 239-251 https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20210021

pISSN: 1976-6483 eISSN: 2586-0666

Received: April 16, 2021 **Revised:** April 27, 2021 **Accepted:** May 18, 2021

© 2021 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attrib-

ution Non-Commercial License (http://creative-commons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

¹한국에너지기술연구원 재생에너지연구소 신재생열융합연구실 선임연구원,

²한국에너지기술연구원 재생에너지연구소 신재생열융합연구실 책임연구원,

³한국에너지기술연구원 재생에너지연구소 신재생열융합연구실 선임기술원,

⁴한국에너지기술연구원 재생에너지연구소 신재생열융합연구실 기술원

¹Senior Researcher, Renewable Heat Integration Laboratory, Korea Institute of Energy Research, Daejeon, Korea

²Principal Researcher, Renewable Heat Integration Laboratory, Korea Institute of Energy Research, Daejeon, Korea

³Senior Engineer, Renewable Heat Integration Laboratory, Korea Institute of Energy Research, Daejeon, Korea ⁴Engineer, Renewable Heat Integration Laboratory, Korea Institute of Energy Research, Daejeon, Korea

^{*}Corresponding author: Lee, Kyoung-Ho, Tel: +82-42-860-3525, E-mail: khlee@kier.re.kr

서론

공공건물로 분류되는 학교건물은 학생 수가 감소하고 있으나 학교 수는 증가하고 있으며, 방과 후 활동을 중심으로 한 다양한 활동의 증가로 인하여 에너지 소비량이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(Park, 2014). 국내의 경우 대학교와 연구시설을 포함한 전체 교육시설의에너지소비량은 건물부분 에너지 소비량의 약 14%를 차지하며 이는 비주거용 건물에서 상업용, 백화점 다음으로 가장 많은 소비량을 보이고 있다. 이에 따라, 그린스쿨 사업(Kim, 2020) 제로에너지 스쿨 사업(Lee et al., 2019) 등과 같이 정부에서는 다양한 형태의 에너지성능개선사업을 추진해 왔으나 시설개선 및 신재생에너지 설치 등과 같은 하드웨어적 관점의 사업 중심으로 에너지관리의 효율성과 사용자의 참여를 통한 에너지성능개선은 아직 초기 단계에 머무르고 있는 실정이다(Kim and Shin, 2012).

또한 산업통상자원부에서 시행하고 있는 '신재생에너지 설치의무화사업'에 따라 공공기관인 학교건물은 신재생 적용비율은 2018년 24%에서 '19년에는 27%, '20년부터는 30%이상으로 확대되었다. 최근에는 태양광설비 위주의 적용 사례가 많이 나타나고 있으나 점차 신재생의무화 비율이 높아지고 있는 추세이며, 지붕(옥상)에 설치되는 PV만으로는 신재생의무비율을 달성하기 어려워, 그 대안으로 벽면일체형태양광(building integrated photovoltaic), 벽면일체형태양열(building integrated solar thermal), 태양광열복합모듈(photovoltaic thermal) 및 연료전지를 포함한 신재생용복합 모델들이 고려되고 있다.

특히 무상급식 실시 후 학교 내에서 급식을 담당하고 있으며 이에 따른 에너지 비용 부담 또한 늘어났기 때문에 과거 학교에너지 분석에서 포함되지 않았던 급탕 사용량이 증가하였다. 이러한 결과는 기존 학교 건물에서 우선적으로 적용되었던 냉난방 절감 기술과 함께 급탕 사용에너지와 전기에너지 사용량을 효과적으로 줄일 수 있는 신재생에너지의 검토가 융복합적으로 이루어져야할 것으로 판단된다. 따라서 급식을 실시하는 학교의 경우 급탕에너지를 우선적으로 줄일 수 있는 급탕설비 융복합형 태양열 급탕시스템의 검토가 이루어질 필요가 있다(Park, 2014).

그러나 초중고등학교는 방학이라는 특성이 존재함에 따라 위생용 및 취사용 온수 부하가 급격히 줄어드는 기간이 동절기와 하절기 약 한달 가까이 지속적으로 발생되어 온수 부하 감소에 따른 태양열 시스템의 과열문제 및 불필요한 운전에 의한 펌프 동력 과다소모와 같은 문제점이 발생될 수 있다.

한편 국내 태양열 시스템의 연간 지속적인 안전운영을 위해 과열 방지 및 동파방지를 위한 연구동향을 살펴보면 이중진공관형 태양열 집열기의 CPC 반사판 각도를 조절하여 하절기 집열을 방지하는 연구를 수행하였다(Yoo et al., 2015). 그러나 논문에서 제시한 시스템은 태양열 집열기의 생산 단가 및 설치 단가가 증가하여 태양열 시스템의 경제성을 감소시키며 또한 벽면에 설치가 불가능한 단점이 있다. Park et al. (2007)은 태양열 시스템의 하절기 과열방지를 위해 집열기 내부에 R-22 냉매를 직접 공급하여 히트펌프의 열원으로 사용하는 시스템을 제시하였다. 그러나 이러한 시스템은 국내의 경우 아직까지 냉매를 삽입하는 태양열 집열

기에 대한 인증시험 및 KS 기준이 마련되어 있지 않음에 따라 실제 건물에 적용하기에는 다소 어려움이 있다. Kwon et al. (2011)과 Kim and Hong (2010)은 자연순환형 태양열 온수기에 배관접합 온수 드레이싱법을 사용하여 배관 내의 유체 온도가 일정온도 이하 도달 시 강제적인 온수 배출로 시수 및 온수 배관의 동파를 방지하는 연구를 수행하였다. 그러나 이러한 동파방지 기술은 동절기 지속적으로 악천후 발생시 축열조 내부의 온수 자체 온도가 너무 낮게 유지 될 수 있으며 특히 축열조가 분리된 설비형 시스템의 경우 적용이 어려운 점이 있다. 본 연구에서는 학교건물에 적용 가능한 수직 벽면형 설치 방식의 태양열 온수급탕 시스템

본 연구에서는 학교건물에 적용 가능한 수직 벽면형 설치 방식의 태양열 온수급탕 시스템의 하절기 과열방지 및 동절기 동파방지를 위한 드레인백 시스템을 제안하고자 하며, 열매체로서 물을 사용하는 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 하절기와 동절기에 걸친 장기간의 실증 시험을 통해 드레인백 시스템의 안전성 및 유용성을 제시하고자 한다.

시스템의 설계 및 사양

시스템 개요

학교건물에 적용 가능한 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템으로서 본 연구에서는 히트 파이프식의 단일 진공관형 집열기 56개 Tube를 적용하였고, 전면적 기준 약 14 ㎡, 정남향, 설치 경사각 90°로 하였으며, 한국에너지기술연구원 내의 제로에너지 성능시험동 남측 벽면에 설치하였다. Figure 1은 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 설치 모습의 사진을 나타낸 것이며, Figure 2는 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 본연구에서는 드레인백(Drain-back)방식의 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 유용성 및 안정성을 입증하기 위하여 태양열 집열기의 열매체를 과열 및 동파에 취약한 물을 사용하여 하절기 및 동절기 가혹 조건에서 실증 시험을 수행하였다.

수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템에 사용된 축열조는 220 L 용량의 내장형 코일 열교환기가 적용된 축열조를 사용하였으며 온수 부하가 있을 시 시수를 내장형 코일을 통과시켜 승온 후 부하로 공급하는 방식이다. 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템에 적용된 드레인백시스템은 기존 자동 배수 시스템과 달리 사용자가 온도를 설정하여 열매체 배관 내부의 유체를유지 또는 배출 할수 있는 형태로 구성하였다. 적용된 드레인백 시스템의 경우 하절기 온수부하 감소로 태양열 축열조의 온도가 설정 온도 이상으로 높아지거나 동절기에 배관 내부의온도가설정 온도 이하로 감소할 경우에 각각 열매체 배수를 제어하기 위한 전동 밸브를 개방하여 배관 내부의 열매체를 축열조로 낙수하여 배수시키는 방식이다. 본 연구에서 제안한 드레인백 시스템은 기존 상시 낙수 방식의 드레인백 시스템(Botpaevetal., 2016)들과 비교하여 사용자가과열 방지 온도 및 동파 방지 온도를 설정 할수 있으며 상시 낙수 방식에 비해 배관 일부분에 물이 채워져 남아 있도록 열매체 배수제어를 통하여 조절할수 있어 펌프가 재구동되는 경우에 기존 드레인백 태양열시스템에 비하여 펌프 소비 동력을 줄일 수 있는 장점이 있다(Eicher et al., 2018).



Figure 1. Photograph of the experimental system

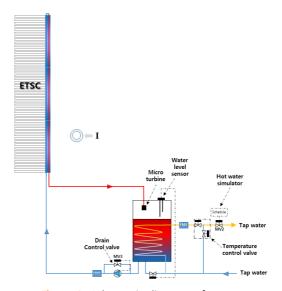


Figure 2. Schematic diagram of system

또한 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 특성상 집열매체의 환수 라인은 중력에 의해 열매체가 낙수됨에 따라 마이크로 수력 터빈을 환수라인 최 끝단 부분인 축열조 상단에 설치 하여 열매체의 자연낙하로 마이크로 수력 터빈을 구동하여 전기를 생산하도록 시스템을 구성하였다. 또한 열매체 환수라인의 자연낙하에 의한 마이크로 수력 터빈 구동을 통해 발생된 전력은 소형 LED 전구와 연계하여 터빈 작동 시 LED 전구가 켜지도록 시스템을 구성하였다. Figure 3은 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 드레인백 시스템 적용을 위한 열매체 공급 및 환수 배관 구성 사진 및 마이크로 수력 터빈 연계 LED 전구 설치 모습을 나타낸 것이다. Figure 4는 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 온수 부하모사를 위한 자동온도 조절 장치 및 온수부하 배출 스케쥴 설정을 위한 PLC 연계 온수부하 모사장치를 나타낸 것이다. Table 1은 드레인백 시스템이 적용된 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 구체적인 사양을 나타낸 표이다.

Table 1. Specification of main components of the system

Collector	Type	Single Evacuated Tube Heat Pipe
	Tube	55 EA
	Area	14 m²
	Tilt angle	90°
Storage Tank	Type	Open Tank
	Heat exchanger	Inner Coil
	Material	SUS304
Pipe	Diameter	20 mm
	Material	Copper
Pump	Flow rate	Max 20LPM
	Power	600W
Micro Turbine	Voltage	DC 12 V
	Current	0 - 150 mA
	Power	10 W
	Diameter	20 mm
Pyranometer	Range	$0{\sim}2000\mathrm{W/m^2}$
	Tilt angle	90°
Temperature Sensor	Type	4 wire RTD
Working fluid	Material	Tap water
Flow meter	Range	0~20 LPM
riow meter	Type	Magnetic FLow Meter

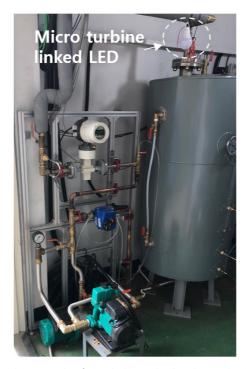


Figure 3. Photograph of LED light and solar thermal side piping



Figure 4. Photograph of hot water load simulation device

제어 및 모니터링

수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템 제어 및 모니터링에 필요한 센서 설치도는 Figure 5 와 같다. 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템에 적용된 드레인백 자동제어 밸브의 동작은 진 공관형 태양열 집열기 매니폴드 내의 온도와 축열조 상부의 온도 두 가지를 통해 전동밸브의 ON-OFF 개페시기를 설정하도록 구성하였다. 하절기 온수부하 감소로 축열조 상부의 온도 가 증가할 경우 드레인백 시스템의 전동밸브가 열리게 되며 동절기 진공관형 태양열 집열기 매니폴드의 온도가 설정 온도 이하로 감소할 경우 동파 방지를 위해 전동밸브가 열리게 되는 방식이다. 드레인백 시스템의 작동 상태 및 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 작동 유무확인을 위해 집열부의 입구 및 출구에 4 Wire RTD 온도센서를 설치하였고, 축열조 내부의 온도 분포를 확인하기 위해 상, 중, 하 3개의 4 Wire RTD를 설치하였다. 또한 태양열 집열부의 유량과 부하 측의 온수공급 유량을 확인 할 수 있도록 전자식 유량계를 설치하였다. 드레인백 방식의 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템 제어에 사용된 조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Specification of control conditions of the system

Working Elvid Dump	ON	$T_6 - T_2 \ge \triangle T_{p,on} (12^{\circ}C)$
Working Fluid Pump	OFF	$T_6 - T_2 < \triangle T_{p,off} (3^{\circ}C)$
Drain Back Open (Summer season)	ON	$T_3 \ge 68^{\circ}C$ (Open)
	OFF	$T_3 < 65^{\circ}C$ (Close)
Drain Back Open (Winter season)	ON	$T_7 \le 7^{\circ}C$ (Open)
	OFF	$T_7 > 7^{\circ}C$ (Close)

국내에 보급된 태양열 온수급탕 시스템에 사용되는 기존 드레인백 시스템의 경우 열매체 펌프 작동 중지 시 배관 내부의 열매체를 배관으로부터 완전히 배수시키는 방식을 적용하고 있다. 따라서 하절기 태양열 시스템의 과열 발생시 열매체가 배관으로부터 완전히 배수됨에 따라 잦은 펌프 ON-OFF에 따른 소비 동력이 증가하는 단점이 있다(Elimar et al., 2015). 그 러나 본 연구에서 제안한 드레인백 시스템은 하절기 태양열 축열조의 온도 및 드레인백 밸브의 개폐온도를 설정할 수 있음으로 기존 상시 배수 방식의 드레인백 시스템의 단점을 보완할수 있도록 하였다.

태양열 환수 측에 설치된 마이크로 수력 터빈의 작동 유무를 확인 할 수 있도록 마이크로 수력 터빈에서 나오는 전압 값을 측정하였으며 터빈에서 발생된 전력을 사용하여 축열조 상부에 장착한 소형 LED 전구를 가동 하도록 시스템을 구성하였다. 위와 같이 측정된 온도, 유량, 전압, 일사량 값은 Labview 프로그램을 사용하여 실시간으로 시각화 하여 모니터링 화면에 데이터 및 그래프화 하였으며 이와 함께 1분 단위의 데이터를 저장 할 수 있도록 모니터링 시스템을 구축하였다. Figure 6은 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 모니터링 화면을 나타낸 것이다.

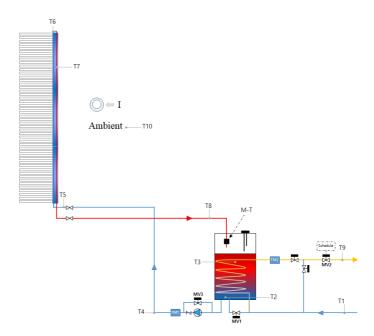


Figure 5. Diagram of sensor installation

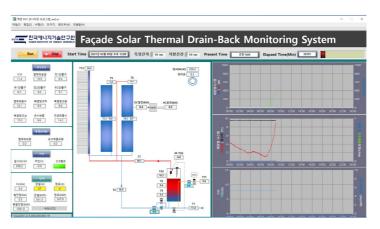


Figure 6. Photograph of monitoring system

측정결과 및 분석

소형 마이크로 수력 터빈이용 펌핑 에너지회수

드레인방식의 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템은 앞서 설명한 바와 같이 중력에 의해 낙수되는 열매체 환수 라인 끝부분에 마이크로 터빈을 장착하였으며 열매체 순환펌프 구동 시 자연낙하하는 열매체에 의하여 마이크로 터빈이 구동하여 DC 12V의 전압이 발생되도록 시스템을 구성하여 에너지를 회수할 수 있도록 하였다. 마이크로 터빈을 통해 발전되는 약 10W의 전력은 기계실 내부의 소형 LED 전구와 연계하여 터빈 작동 시 LED 전구가 ON 되 도록 시스템을 구성하였다. 벽면설치형 태양열 온수급탕 시스템의 경우 수직으로 설치되는 집열기 특성상 펌프의 소비 동력이 증가하는 것을 고려하여 태양열 집열기 KS 인증 기준 KS B ISO 9806에서 제시하는 단위 면적당 0.02 kg/s 보다 적은 0.01 kg/s(약 8.4 LPM)의 열매체 가 순환되도록 순환유량을 설정하였다. Figure 7은 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 열매체 순환펌프 작동 시 마이크로 터빈의 출력 전압을 나타낸 것이다. Figure 7에서 보는 바와 같이 열매체 순환펌프 가동 시 마이크로 터빈으로부터 DC 12V의 전압이 발생되는 것을 알 수 있 다. 일사량에 따라 차온제어에 의해 태양열 열매체 순환펌프가 ON-OFF 되며, 펌프가 OFF 되고도 환수 배관 내부에 있던 열매체가 중력에 의해 낙수되면서 펌프 구동 없이 약 2분 정도 마이크로 터빈이 작동 되는 것으로 나타났다. 회수에너지를 측정한 결과, 마이크로 수력 터빈 을 통해 생산된 전력은 열매체 펌프 전력 소비량의 약 2%를 회수 할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용된 마이크로 터빈 용량은 수직벽면형 태양열 온수급탕 시스템에 최적화된 것이 아니며 이에 대한 보다 구체적인 연구가 필요할 것이다. Figure 8은 열매체 순환펌프 작 동 시 마이크로 터빈으로부터 발생된 약 10 W의 전력을 활용하여 기계실 내부의 소형 LED 전구가 동작하는 것을 나타낸 것이다.

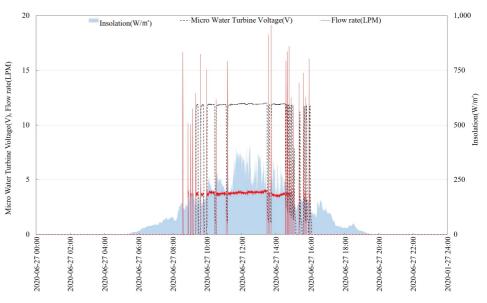


Figure 7. Micro turbine voltage according to flow rate



Figure 8. Micro turbine linked LED light operation

하절기 과열 방지

수직벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 드레인백 시스템을 통한 하절기 과열 방지 실험을 2020년 7월부터 2020년 9월까지 수행하였다. 학교건물의 특성상 방학기간 동안 온수 급탕부하가 거의 없는 상태임을 고려하여 본 시험에서는 온수부하가 없는 것으로 설정하여 드레인백 시스템의 하절기 과열방지 유용성 및 신뢰성을 검증하였다.

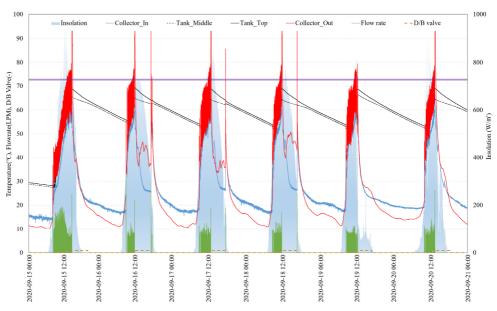


Figure 9. Temperature variation of solar hot water system in summer season

Figure 9는 2020년 하절기 과열방지 실험 기간 중 태양열 축열조의 상부 온도가 연속적으로 5일 이상 68°C에 도달한 9월 15일부터 9월 20일까지의 벽면형 태양열 온수 급탕 시스템의 연속 운전에 대한 일사, 온도, 유량, 밸브상태 등의 시험 데이터를 나타낸 것이다. 하절기 과열 방지를 위해 드레인백 시스템의 가동 조건으로는 축열조 상부 온도 T3이 68℃이상일 경우

MV3 전동밸브가 개방되어 진공관형 태양열 집열기의 열매체가 배수되어 축열조로 환수 되 고 축열조의 상부 온도 T3이 65℃ 이하로 떨어질 경우 MV3 밸브가 폐쇄되도록 설정하였다. 이러한 설정온도는 사용자가 임의로 수정이 가능하며 본 연구에서는 KSB 8295 태양열 온수 기 구조시험 기준 조건을 참조 하여 68 $^{\circ}$ C와 65 $^{\circ}$ C를 적용하여 시험한 것이다. Figure 9에서 나 타낸 바와 같이 하절기 오전 시간만으로도 온수부하가 발생되지 않음에 따라 축열조의 온도 가 급격히 가열되는 것을 알 수 있다. 약 6일간의 연속 실험 결과 MV3 전동밸브가 개방되는 조건인 축열조 상부 온도 T3이 68℃ 이상 조건에 도달되는 시간은 평균 오전 11시 30분으로 나타났다. MV3 밸브가 개방된 직후부터 온수부하가 없는 조건에서도 축열조 상부 온도 T3 이 서서히 감소하는 것은 축열조 자체의 열손실에 의한 것으로 볼 수 있으며, 연속 실험 기간 동안의 경우 온수부하가 없는 상태에서는 오후 4시 이후에 MV3 밸브가 다시 폐쇄되는 조건 에 도달되는 것으로 나타났다. 연속 실험이 수행된 9월 15일부터 9월 21일 까지 오후 시간의 경우 6일 연속 축열조 상부 온도인 T3가 설정온도에 도달하여 MV3 밸브가 지속적으로 개방 되는 것으로 나타났다. 9월 16, 17, 18일의 경우 축열조 상부 온도T3이 다시 설정온도 이하로 낮아지게 되어 MV3 밸브가 폐쇄된 후 열매체 순환펌프의 차온제어 조건에 도달하여 펌프의 기동정지가 반복적으로 동작되었으며 진공관형 태양열 집열기의 환수 온도 T6이 급격히 높 아졌다 낮아지는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 제안한 드레인백 시스템 적용 시 벽면형 태양 열 온수 급탕 시스템의 하절기 축열조 상부 온도 T3을 원하는 온도 이하로 유지 시킬 수 있는 것이 가능하였다.

동절기 동파 방지

본 연구에서는 여름철 과열방지 뿐만 아니라 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 열매체로 물을 사용하여 동절기 기간의 드레인백 시스템의 동파 방지 기술의 유용성을 검증하고자 하 였다. 동절기 기간의 동파 방지 실험은 2020년 11월부터 2021년 1월 까지 약 3개월에 걸쳐 연 속 실험이 수행되어졌다. 동절기 기간에도 하절기와 마찬가지로 학교 건물의 특성상 온수부 하가 없는 것으로 설정하여 드레인백 시스템의 동절기 동파방지 실험을 수행하였다. Figure 10은 동파방지 실험 기간 중 외기 온도가 가장 낮았던 2021년 1월 1일부터 1월 6일까지 혹한 기 기간의 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 연속 운전에 대한 일사, 온도, 유량, 밸브상태 등 과 같은 시험 데이터를 나타낸 것이다. 동절기 동파 방지를 위해 드레인백 시스템의 MV3 밸 브의 개방 조건은 열매체 배관 내부의 온도T7을 감지하여 설정 온도 이하로 떨어지면 MV3 밸브가 개방되어 외기에 노출된 배관 및 진공관형 태양열 집열기 매니폴더 내의 열매체가 축 열조로 화수 되는 시스템으로 구성하였다. 동절기 동파 방지 실험기간 중 드레인백 시스템의 MV3의 개방 조건으로는 드레인백 감지 온도 T7이 7℃ 이하로 떨어질 경우 MV3가 개방되어 열매체가 환수되며 7°C이상일 경우 MV3가폐쇄되는 조건으로 설정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 2021년 1월 1일부터 1월 6일까지의 MV3밸브의 감지 온도의 경우 최대 −11°C 이 하의 매우 낮은 외기온도에 벽면형 태양열 온수급탕 시스템이 노출되고 있는 것을 알 수 있다. 약6일간의 연속 실험 중 MV3 밸브가 개방되어 동파방지가 작동된 시간은 6일 전체 144시간 중 128시간으로 나타났으며 MV3가 폐쇄되어 열매체 순환펌프가 작동된 시간은 약 12시간 정도로 나타났다. 동파에 가장 취약한 물을 열매체로 사용한 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 혹한기 연속 시험결과 본 연구에서 제안한 드레인백 시스템 적용 시 안정적으로 동파를 방지할 수 있는 것으로 나타났다.

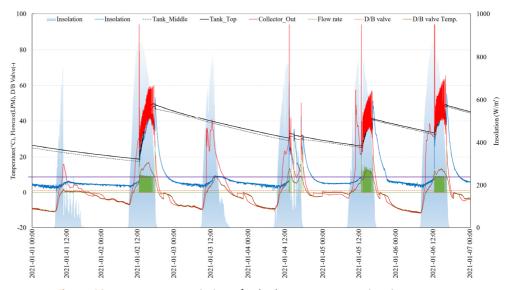


Figure 10. Temperature variation of solar hot water system in winter season

본 연구에서 제안한 드레인백 시스템 적용 시 벽면형 태양열 온수 급탕 시스템의 경우 태양열 시스템의 열매체를 물을 사용하였음에도 불구하고 하절기 및 동절기의 과열 및 동파를 방지 할 수 있는 것이 가능하였다. 또한 본 연구에서 제안한 드레인백 시스템의 경우 기존 태양열 시스템의 과열 및 동파 방지를 위해 사용되는 부동액 및 전열선 방식과 비교하여 열매체 누출에 의한 환경오염 문제, 열매체 보충 및 전열선 사용에 의한 운영유지비를 저감 할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 제안한 드레인백 시스템은 배관 내부의 열매체가 중력에 의해 모두 환수 될 수 있는 수직 설치용에 적합한 방식으로 지붕 및 구조물 설치형에 대한추가적인 드레인백 시스템 연구가 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 학교건물에 적용을 위한 목적으로 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 하절기 과열방지 및 동철기 동파방지를 위해 드레인백 시스템을 제안하고자 하며, 드레인백 시스템의 유용성 및 신뢰성 검증을 위해 열매체로서 물을 사용하여 하절기 및 동절기에 걸친 장기간의 연속 실험을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 수직벽면형 드레인백 태양열시스템은 열매체 배수제어밸브를 적용하여 사용자가 열매체 배수가 이루어지는 여름철의 과열온도를 설정할 수 있도록 시스템을 구성하였으며 이를 통해 하절기 온수부하 감소 시 태양열 시스템의 과열을 방지 할 수 있고 축열

조 내부의 온도를 설정한 온도 이하로 연속적으로 유지할 수 있었다.

동절기의 경우 열매체 배관 내부의 온도를 측정하여 드레인백 시스템의 동파방지를 위한 배수가 이루어지는 온도를 설정할 수 있도록 하였으며 이를 통해 열매체를 물을 사용한 상태에서도 혹한기 기간에도 배관 및 설비의 동파 문제가 발생되지 않았다. 따라서 기존 태양열 온수 급탕 시스템과 비교 시 열매체 및 동파방지를 위한 전열선을 사용하지 않음에 따라 유지관리 비용을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

성능검증 실험이 수행된 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 열매체 환수 라인 끝부분에 마이크로 터빈을 장착하였으며 열매체 순환펌프 구동 시 중력에 의해 낙수되는 열매체의 위치에너지를 이용해 마이크로 터빈을 구동하도록 시스템을 구성하였으며 실험결과 열매체 펌프의 압력 저하 없이 마이크로 터빈으로부터 10W의 전력을 생산하여 기계실 내부의 소형 LED 전구가 점등되는 것을 확인하여 펌프소비에너지의 약 2% 수준에서 미활용되는 에너지를 회수할 수 있음을 확인하였다. 따라서 수직 벽면형 태양열 온수급탕 시스템의 경우 환수 배관 열매체의 위치에너지를 이용한 마이크로 터빈 구동이 가능할 것으로 판단되며 이에 대한 보다 구체적인 연구가 필요할 것이다.

후기

본 연구는 2018년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20182010600110).

References

- 1. Botpaev, R., Loyvet, Y., Perers, B., Furbo, S., Vajen, K. (2016). Drainback solar thermal systems: A review. Solar Energy, 128, 41-60.
- 2. Kim, M.K., Shin, D.H. (2012). A Study on Improvements of Policy System on School Building Retrofits for Energy Efficiency. Seoul Studies, 13(3), 159-173.
- 3. Kim, S.J. (2020). Suggestions for Green Smart School Policy Implementation . Review of Architecture and Building Science, 64(11), 29-32.
- 4. Kwon, J,W., Kim, J.H., Hong, H.K. (2011). Freeze Protection for Passive Solar Water Heating System in Bitter Cold Areas. Journal of the Korean Solar Energy Society, 31(5), 41-46.
- 5. Lee, H.J., An, J.W., Kim, I.S. (2019). methodology for verification of energy saving performance of Zero Energy School (ZES), Korean Society for Energy, 28(1), 37-44.
- 6. Park, Y.C., Ko, K.S., Han, Y.R. (2007). A Study on Hybrid Heating System with Anti-Superheating Devices. Journal of the Korean Solar Energy Society, 27(2), 19-27.
- 7. Yoo, I.H., Shin, S.Y., Kim I,H. (2015). A Study on the Application of Solar heating system for Residence Environment Improvement and reducing temperature rise of during summer time. Journal of the Residential Environment Institute of Korea, 13(2), 97-106.

- 8. Eicher, S., Bunea, M., Guillaume, M., Bony, J., Citherlet, S. (2018). Drainback solar thermal systems in switzerland market overview and main barriers. International Solar Energy Society, EuroSun 2018 Conference.
- 9. Kim, J.H., Hong, H.K. (2010). Verification Experiment on Freeze Protection for Solar Hot Water System. 2010 SAREK Summer Annual Conference, 947-951.
- 10. Elimar, F., Franz M., Stephan F. (2015). Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat application, IEA SHC Task 49, Technical Report A.1.2.
- 11. Park, K.H. (2014). National and public school building retrofit plan research, KEEI Report, 14-15.