

지역난방용 태양열시스템

백 남 춘^{*†}, 이 진 국^{*}, 윤 응 상^{*}, 윤 석 만^{**}, 신 우 철^{***}

^{*}한국에너지기술연구원, ^{**}한국지역난방공사, ^{***}대전대학교

Solar District Heating System

Nam-Choon Baek^{*†}, Jin kook Lee^{*}, Eung Sang Yoon^{*}, Suk Man Yoon^{**}, U-Chul Sin^{***}

ABSTRACT: This study was carried out solar heating system design for district heating and it's the performance analysis by experiment. This experimental system was installed in Bundang district heating area in the end of 2006. The flat plate and vacuum tube solar collector are combined in one system. So district heating water is heated first by flat plate solar collector and than by vacuum tube solar collector. This solar heating system has not a solar buffer tank and is operating with variable flow rate to obtain a setting temperature of 90~95°C. As a result, the daily solar thermal collection efficiency is about 30 to 40% for the plate type and 50 to 55% for the vacuum tube solar collector. It varied especially depend on the weather condition like as solar radiation and ambient temperature. This variable flow rate system can be also reduced much pumping power more than 50%.

Key words: Solar heating system(태양열 난방시스템), District heating system(지역난방), 시스템 최적화 설계(System optimization), 태양열 제어(System control)

기 호 설 명

T : 온도(°C)

T_{High} : 집열기 출구온도(°C)

T_{Low} : 집열 열교환기 2차측 열매체의 입구온도(°C)

하첨자

set : 설정치

1. 서 론

지역난방시스템에 태양열 적용은 달리 지역난방 작동온도가 약간 높다(100°C 내외)는 단점이 있으나 지금까지 태양열시스템이 적용되어오던 단일 건물 및 다른 단일분야와는 부하가 지속적으로 있고, 시스템 규모의 대형화가 가능하며 또

한 사후관리가 용이하다는 장점 때문에 태양열을 적용하기에 매우 좋은 여건을 가지고 있다. 좀 더 구체적으로 보면

- 다양한 형태의 열부하로 인해 일 년 내내 상당히 많은 양의 열부하가 지속적으로 발생.
 - 지역난방수 열 공급망을 통해 광범위한 지역으로 열을 공급하고 있기 때문에 태양열 시스템도 광범위한 지역에 분산 설치가 가능.
 - 태양열시스템 규모를 대형화 할 수 있으며, 이로 인한 시스템 효율 저하는 없다.
- 이러한 조건에 부합되는 태양열시스템을 개발하기 위해 다음과 같은 연구를 실시하였다.

- 태양열시스템의 효율적인 사용과 신뢰성 확보를 위한 시스템 구성 및 운전방법
- 지역난방시스템과의 효율적인 연계방법
- 집열온도에 적합한 집열시스템의 선택
- 고온으로 승온에 적합한 태양열시스템 개발
- 부하가 지속적으로 있는 분야에 적합한 태양열시스템 및 제어기법 개발

- 통합제어 및 분산된 태양열시스템의 중앙감시 시스템 구축
- 시범적용을 통한 지역난방용 태양열시스템의 신뢰성 확보
- 향후 보급 확대를 위한 지역난방용 태양열시스템 설계 및 분석 기법 개발

2. 관련 기술의 국내·외 현황

2.1 국내

태양열기술개발은 '88년부터 본격적으로 수행되었다. 현재 평판형과 진공관형 집열기가 상용화 되었으며, 작동온도가 주로 60℃ 전후의 온수 급탕용 태양열시스템이 개발 및 보급되고 있다. 그러나 지역난방시스템용 태양열시스템은 본 연구를 통해 개발된 시스템이 2007년에 한국지역난방공사 분당지사예 국내에서는 처음으로 설치되어 현재 가동 중에 있다.

2.2 국외

'90년대 중반이후 유럽에서는 지역난방에 태양열시스템 적용연구 및 시범적용이 활발히 진행되고 있다. 태양열이 적용된 지역난방시스템은 국내의 경우와는 달리 대부분 소규모 시스템으로 지역난방수 공급온도도 70℃ 내외로 낮다(지역난방수 직접공급방식). 이들 지역난방시스템에 적용된 태양열시스템은 하절기 열부하가 상당히 적기 때문에 저가의 대규모 계간 축열시스템이 적용되었다. 이들 계간 축열조는 Fig.1에 있는 바와 같으며, 크게 다음과 같은 2가지 목적이 있다.

- 하절기 여분의 태양열 저장
- 하절기 태양열 집열부의 과열 방지

따라서 이들 계간 축열시스템은 대부분 지중에 매설되거나 지중 축열 매체를 이용하는 방식으로 상당한 열손실을 감수하더라도 적은 비용으로 설치 가능한 시스템들이다.

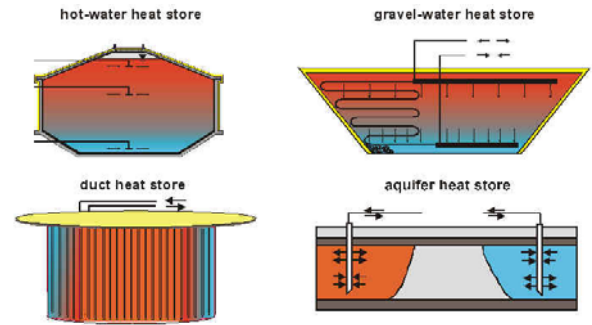


Fig. 1 Seasonal thermal storage type

3. 지역난방용 태양열시스템

3.1 지역난방시스템과의 연계방법

지역난방용 태양열시스템은 그 연계방법에 따라서 다음과 같은 3가지가 있을 수 있으며, 또한 이들을 상호 조합하는 방법도 있을 수 있다.

i) 지역난방수(DHW) 환수 예열방식(Fig.3)

- 장점 : 적용이 용이하며 태양열시스템 효율이 높음

- 단점 : 태양열로 인해 열병합발전시설로 가는 환수의 온도가 약간 높아짐

ii) DHW 보충수 가열방식(Fig.4)

- 장점 : 태양열시스템 효율이 가장 높으며, 또한 안정성이 좋다.

- 단점 : 보충수량이 작을 경우 태양열 규모가 작아질 수 있음(그러나 태양열이 보충수를 가열하고 남은 경우 환수를 가열하게 할 경우 시스템 규모를 얼마든지 크게 할 수 있음)

iii) DHW를 공급온도로 승온하여 공급관에 넣어주는 방식(Fig.5)

- 장점 : 지역난방의 개념에 적합하며, 태양열 부하 큼.

- 단점 : 태양열시스템 효율이 낮고, 시스템 작동온도 및 압력이 높기 때문에 시스템 설계 및 제어의 정확성이 요구됨.

이 중에서 iii)의 방식에 대한 실증시스템이 설계 및 적용되었다

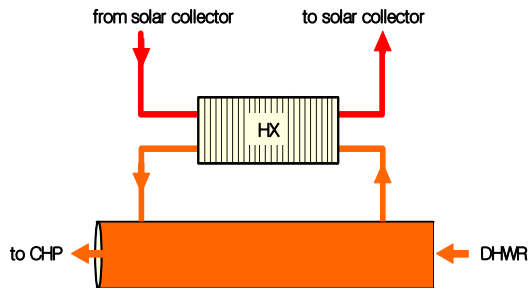


Fig. 2 Preheating of returning DHW

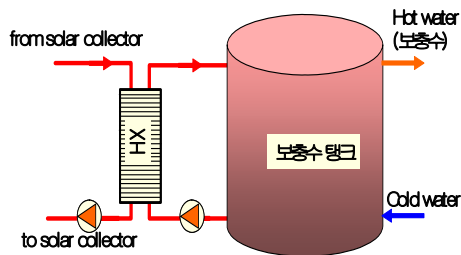


Fig. 3 Preheating of Supplementary water of DHW

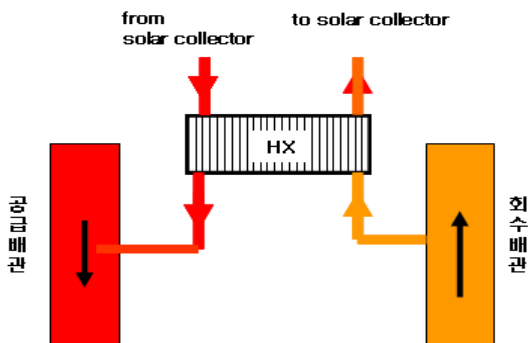


Fig. 4 Heating of returning DHW to supplying temperature

3.2 실증시험용 시스템 설계

3.2.1 시스템 개요도

태양열시스템은 Fig. 5와 같이 평판형과 진공관형 집열기 array 각각이 분리된 집열회로를 구성하고 있다. 이들 각각의 집열회로는 집열열교환기에 의해서 분리되며 2차측 열매체측면에서 보면 이들 집열열교환기는 직렬로 연결되어 있다. 따라서 집열열교환기를 통과하는 2차측 열매체인 지역난방수는 지역난방수 환수배관의 일부가 이들 집열열교환기를 통해서 설정온도로 가열

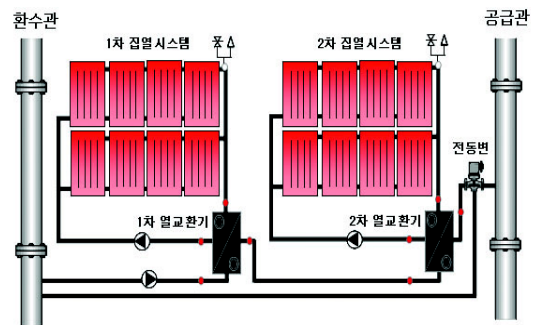


Fig. 5. Solar collector system

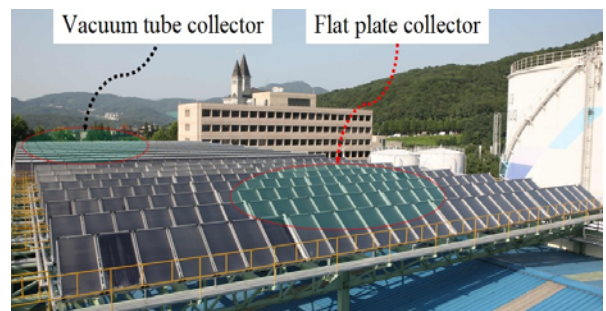


Fig. 6 Photo of solar collector field

되어 공급관으로 들어간다. 즉 지역난방수 환수는 1차로 평판형 집열기에서 승온된 후 진공관형 집열열교환기로 들어가서 설정온도로 승온되어 공급관으로 유입된다. 따라서 외기조건과 일사량 조건에 관계없이 태양열시스템이 작동될 경우에는 항상 설정온도로 가열되도록 하기 위해서 집열매체 및 열교환기 2차측 지역난방수 유량이 제어되도록 하는 변유량 제어를 도입하였다. 그런데 최소 유량 하에서도 설정온도 이하가 될 경우에는 집열열교환기를 통해 나오는 지역난방수는 다시 환수관으로 들어가도록 구성하였다. 이것은 전동밸브에 의해서 제어된 제어된다.

설치된 시스템의 집열부 전경은 Fig. 6과 같다.

3.2.2 시스템 구성 및 제원

태양열 시스템의 구성, 제어 등 보다 상세한 시스템도를 Fig. 7에 나타내었다. 시스템은 전술한 바와 같은 2가지 종류의 집열기로 구성된 집열부와 각각의 열교환기, 변유량 제어장치, 인버터가 부착되어 펌프의 RPM 제어가 가능한 펌프, 가열된 DHW를 공급배관 또는 환수배관으로 넣

어 줄 수 있도록 전동밸브 등으로 구성되어 있다. 또한 성능측정을 위해서 각각의 집열부 입구 및 출구에 열전대를 설치하였고, 각각의 집열회로에 유량계, 집열열교환기 2차측의 지역난방수 유량을 측정하기 위한 유량계, 그리고 집열면에 일사량계를 설치하였다.

사용된 집열기 및 집열면적, 주요 사양은 Table 1과 같다. 집열기는 평판형과 단일진공관형으로 열성능은 Fig 8에 있는 바와 같다. 이 열성능 곡선에서 알 수 있듯이 평판형 집열기는 저온영역에서 그리고 진공관식 집열기는 고온영역에서 상대적으로 높은 효율을 보이고 있음을 알 수 있다.

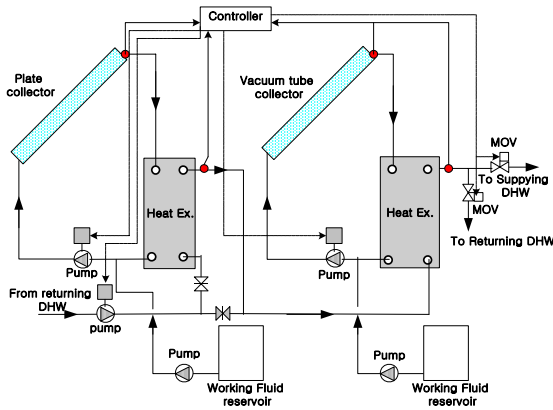


Fig. 7 Solar system configuration

Table 1. Specification of district solar heating system

item		specification
Collector area	Flat plate	430m ²
	vacuum tube	637m ²
Solar collector type	flat plate	$F_R(\tau\alpha) = 0.79$ $F_R U_L = 4.94 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$
	vacuum tube	$F_R(\tau\alpha) = 0.65$ $F_R U_L = 1.5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$
Collector tilt angle and azimuth		36.5° south
Heat exchanger		Plate type
Collector fluid		30% Propylene glycol

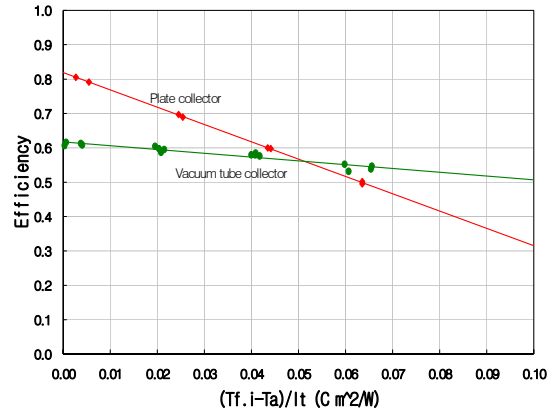


Fig. 8 Collector efficiency curve

3.3 시스템 제어

일사량을 포함한 외기조건에 관계없이 태양열로 일정온도를 승온시켜 주거나 설정온도로 공급할 수 있는 시스템에 적용 가능한 변유량 차온제어기법을 개발하였다. 이 방식은 기존의 단순 차온제어 방식에 비해 태양열시스템의 운전비용(펌프 전력소비)을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 시스템 작동시간을 길게 하여 시스템 효율을 높일 수가 있다. 또한 지역난방과 같이 지속적으로 열부하가 있는 분야(주로 산업공정열)에 태양열시스템 적용 시 태양열 축열조가 없는 시스템으로 구성이 가능하기 때문에 시스템이 단순해지며 시스템 설치비용을 크게 줄일 수 있다.

이 방식은 펌프의 ON/OFF는 차온제어에 의해 이루어지고, 펌프가 ON 된 상태에서는 순환유량을 제어해서 열교환기 2차측 출구온도가 항상 설정온도가 되도록 하거나 승온 온도가 항상 일정하게 되도록 제어하는 것이다. 설정온도는 크게 다음과 같은 2가지 방식이 있다.

(i) 정온제어방식 : 열교환기 혹은 집열기 출구온도를 설정온도가 되도록 제어하는 방식

(ii) 승온 온도폭을 항상 일정하게 해주는 제어방식 (ΔT_{set} , $\Delta T_{set} = T_{High} - T_{Low}$)

여기서

T_{High} : 집열기 출구온도, T_{Low} : 집열 열교환기 2차측 열매체의 입구온도 또는 T_{High} , T_{Low} : 2차측 집열 열교환기 출구 및 입구 온도

이와 같이 변유량 차온제어 방식에서는 설정온

도(차온 또는 출구온도)를 항상 일정하게 제어해주는 방식이다. 즉 설정온도보다 낮을 경우는 집열매체 순환유량과 집열 열교환기 2차측 유량을 줄여주고, 반대로 높을 경우는 이들 유량을 높여서 태양열시스템이 작동될 경우에는 항상 설정온도 또는 그 이상이 되도록 맞춰주는 방식이다. 유량제어는 펌프의 RPM 제어에 의해서 이루어진다.

3.4 시험결과 및 고찰

3.4.1 작동특성 분석

Fig. 9는 시운전시 시스템(각각의 집열부)의 작동상태를 나타낸 그림이다. 이 결과에서 알 수 있는 바와 같이 평판형 집열부에서와는 달리 진공관형 집열부에서는 아침에 초기작동시 펌프가 작동되기 시작해도 일정시간동안 집열기 출구온도가 지속적으로 올라감을 알 수 있다. 이러한 현상은 초기 유량이 적을 경우 더 심해지게 되어 과열의 원인이 될 수도 있다. 초기에 한두 번의 이러한 현상이 있는 후에는 정상적으로 유량이 제어됨을 알 수 있다. 이와 같은 초기 작동시 급격한 온도상승은 진공관 집열기에서 히트파이프를 갖는 집열기가 갖는 특성 때문인 것으로 사료된다. 즉 히트파이프가 가지고 있는 작동매체의 잠열 때문에 일사량 강도와는 무관하게 순간적으로 많은 열교환이 일어나는 것에 기인하는 것으로 사료된다.

따라서 이러한 현상 때문에 진공관의 집열기의 경우 초기 작동유량을 적게 할 수 없으며, 또한 설정온도가 본 시스템에서와 같이 높을 경우에는 설정온도 보다 낮은 온도에서 펌프가 ON되도록 해야 집열기에서 순간적인 과열현상을 막을 수 있다.

3.4.2 장기성능 분석

2월부터 5월까지 태양열시스템의 일별 집열량 및 시스템 효율을 그림 6.6에, 그리고 일별 일사량을 Fig. 10에 나타내었다. 시스템 효율은 평판형의 경우는 일사량과 외기온도에 따라서 크게

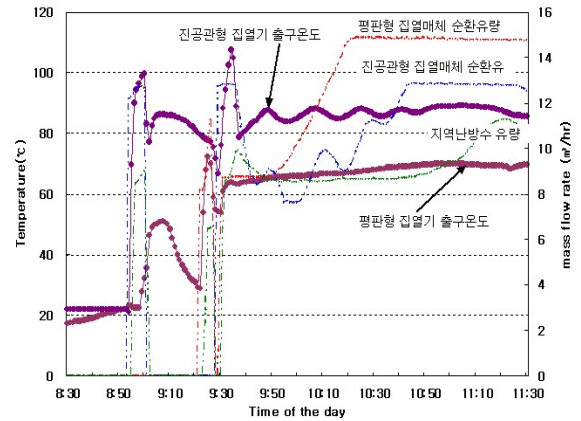


Fig. 9 Operation characteristics of each collector field

변하는 반면 진공관형 집열기의 경우는 일사량이나 외기온도에 적게 영향을 받는다. 즉, 일사량이 나뉠수록, 그리고 외기온도가 낮을수록 평판형과 진공관형 집열기의 시스템 효율 차이가 큼을 알 수 있다. 일반적으로 알고 있는 바와 같이 열손실 계수가 큰 집열기의 경우 주로 외기온도와 집열온도에 의한 영향 못지않게 일사량에 의해서도 집열성능에 큰 영향을 미치게 된다.

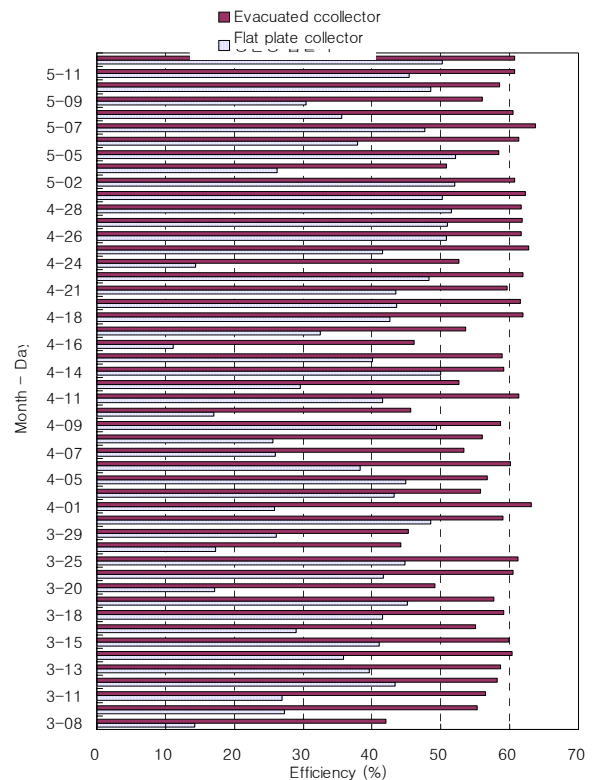


Fig. 10 Daily Solar system efficiency

4. 결론

본 연구를 통해서 국내 지역난방에 적합한 태양열시스템을 개발하고 이중 한 가지를 분당에 실증시험 장치로 설치하였다. 지역난방용으로 개발된 태양열시스템은 기존의 태양열시스템과는 달리 태양열 축열조가 없이 원하는 온도를 직접 집열기에서 생산하는 변유량 제어방식의 시스템이다. 이 시스템은 축열조가 없기 때문에 시스템이 단순하며 작동온도 영역이 다른 2가지 이상의 집열기를 사용하여 보다 경제적이고 효율적으로 원하는 온도를 직접 생산할 수가 있으며 또한 운전비용이 저렴하다는 것이 특징이다. 변유량 제어방식의 시스템이다. 이 시스템은 축열조가 없기 때문에 시스템이 단순하며 작동온도 영역이 다른 2가지 이상의 집열기를 사용하여 보다 경제적이고 효율적으로 원하는 온도를 생산할 수가 있으며 또한 운전비용이 저렴하다는 것이 특징이다.

본 연구를 통해서 2가지 다른 집열기가 한 시스템에 적용될 경우에 각각의 집열기가 갖는 특성에 대해서 분석하였다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

○ 진공관형의 아침 초기 작동특성이 평판형과는 달리 히트파이프의 작동매체의 잠열로 인해 갑자기 집열순환 펌프가 ON 되자마자 수분(3~5분 내외)동안 열교환량이 집중되면서 집열기 출구온도가 지속적으로 올라가는 현상이 있다. 이로 인해 과열현상이 발생하는 경우가 있다. 따라서 이러한 현상 때문에 진공관의 집열기의 경우 초기 작동유량을 적게 할 수 없으며, 또한 설정온도가 본 시스템에서와 같이 높을 경우에는 설정온도 보다 낮은 온도에서 펌프가 ON되도록 해야 집열기의 순간적인 과열현상을 막을 수 있다.

○ 본 시스템은 2개의 다른 집열기 회로가 집열 열교환기를 통해서 직렬로 연결된 시스템으로 각 회로의 집열 특성이 약간씩 다르다. 따라서 시스템 제어에 이 집열특성이 반드시 반영되어야 한다.

○ 2월 중순부터 5월 중순까지 약 3개월간의 운전결과 일별 태양열시스템 효율은 일사량 및 외기온도에 따라서 크게 변한다. 일사량이 나쁠수록, 그리고 외기온도가 낮을수록 평판형과 진

공관형 집열기의 집열 효율 차이가 큼을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원 (과제번호 : 2004-N-SO02-P-02-0-000)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. “태양열시스템 최적화와 신뢰성 향상을 위한 설계 및 성능기준 개발과 실증시험 연구”, 백남춘 외, 2002. 12
2. “대규모 태양열 지역난방 및 급탕시스템 개발 및 적용연구”, 백남춘 외, 2007. 5.
3. 신우철, 백남춘, “설비형 태양열시스템 설계분석 프로그램 개발”, 한국태양에너지학회논문집, 제 23권, 제 4호, pp. 11-20, 2003.
4. TRNSYS 14.2 Reference manual, University of Wisconsin -Maidison, 1996.