

지역난방수 환수 승온방식의 태양열 지역냉난방 시스템 분석

백남춘¹⁾, 신우철²⁾, 이진국³⁾, 윤응상⁴⁾, 윤석만⁵⁾

A Study on the Design and Analysis of District Solar Heating and Cooling System with Preheating of Returning District Heating Water

Baek, Nam-Choon*, Shin, U-Cheul**, Lee, Jin-Kook*, Yoon, Eung-Sang*, Yoon, Suk-Man***Junun

Key words : Solar thermal system(태양열 시스템), District heating and cooling system(지역냉난방), Computer simulation(컴퓨터 시뮬레이션), Solar system design(태양열시스템 설계)

Abstract : This study was carried out the design and analysis of solar thermal system with preheating of returning district heating water for the Chung-ju district heating and cooling system. Two different types of solar collectors are used for this system. TRNSYS simulation program was used for the analysis. As a results, the solar system efficiency is 35.8% for the plate type and 45.1% for the evacuated type solar collector in the case of 50℃ for the returning district heating water temperature. The returning district heating water temperature is on of the very important factors that is influence on the system efficiency. So the effect of the returning district heating water temperature on the system efficiency is analyzed in this study.

Nomenclature

T : temperature, ℃

$F_R(\tau\alpha)$: intercept of collector efficiency

$F_R U_L$: negative of the first order coefficient of collector efficiency.

subscrip

C,O : collector outlet

ON : pump on

OFF : pump off

DHW,R : returning district heating water

1. 서론

최근 들어 신규로 조성되는 신도시 및 신시가지를 중심으로 지역냉난방 시스템 적용이 확산되고 있으며, 또한 이미 많은 단지가 지역냉난방으로 운영되고 있다. 지역난방 지역에 태양열시스템 적용은 유럽을 중심으로 1990년대 중반부터 연구 및 보급되고 있다. 그 중에서 덴마크의 Mastal 지역이나 스웨덴의 Kungälv 지역, 독일의 Neckasulm 지역외에 6개 지역이 이미 시범 설치되어 운전되고 있다.

태양열 시스템은 특히 저온의 열에너지를 지속적으로 사용하는 분야에 적용이 효과적이기 때문에 '1980년대부터 지금까지 신·재생에너지원 중에서는 보급이 가장 많이 이루어지고 있는 분야

중에 하나이다. 지금까지는 주로 태양열은 단일건물이나 용도로 사용되어 왔으며, 상당분야가 관리자가 없는 가정용 온수기나 소규모 시스템이 대부분을 차지하고 있다. ①

지역냉난방 태양열을 시스템은 지금까지 보급된 중·소규모 시스템에 비해서 여러 가지 장점이 있을 수 있다. 그중에서 가장 큰 장점이라 할 수 있는 것은 시스템을 관리할 수 있는 관리자가 있다는 것과 동절기에는 난방과 급탕부하, 하절기에는 냉방과 급탕 등이 복합적으로 공존하기 때문에 1년 내내 많은 부하가 지속적으로 있다는 것이다. 따라서 설치장소만 확보된다면 연중 태양열을 효과적으로 이용할 수 있으며, 또한 얼마든지 대규모 태양열시스템 보급이 가능하다.

지역난방 지역에 태양열시스템 설치하는 지역난방 업체가 가지고 있는 부지나 건물은 태양열 시스템을 설치하기에 상당히 좋은 입지조건을 가지고 있을 뿐만아니라 지역난방 지역내에 학교와 같

1) 한국에너지기술연구원

E-mail : baek@kier.re.kr

Tel : (042)860-3535 Fax : (042)860-3538

2) 대전대학교

E-mail : shinuc@dragon.taejon.ac.kr

Tel : (042)860-3535

3) 한국에너지기술연구원

E-mail : jklee@kier.re.kr

Tel : (042)860-3535 Fax : (042)860-3538

4) 한국에너지기술연구원

E-mail : yoon@kier.re.kr

Tel : (042)860-3535 Fax : (042)860-3538

5) 한국지역난방공사

E-mail : smyoon@kdhc.co.kr

Tel : (031)780-4441

은 공공시설이나 건물, 공용 주차장 등 상당수 있다. 게다가 태양열 시스템은 지역난방지역내의 어디에 설치된다하더라도 지역난방 배관망에 연결이 가능하다. 따라서 여러개의 시스템으로 분산 설치된다 하더라도 결국 기존의 지역난방 배관망에 연결되기 때문에 기존의 중소규모 태양열 시스템에 비해 대규모화가 가능하며 또한 관리자 및 관리시스템이 확보되어 있기 때문에 과거의 태양열 시스템에서 갖고 있는 사후관리의 문제점이 제거될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 작동온도가 높은 지역난방시스템에 비교적 저온으로 구동될 수 있는 태양열 시스템을 효과적으로 연계할 수 있는 시스템인 지역난방수 환수를 태양열로 예열하는 태양열시스템에 대한 설계 및 분석을 수행하였다. 이 분석에는 지역난방용 태양열시스템의 최적화를 위해 필요한 주요 변수에 대한 Parametric study가 포함되었다.

2. 본 론

2.1 지역난방 시스템

지역난방 시스템의 회로는 Fig. 1과 같다. 열원시설인 열병합발전시설과 열전용 보일러, 축열조, 지역난방수(District Heating Water : DHW)가 순환되는 배관망, 지역난방펌프, 이용부 등으로 구성된다.

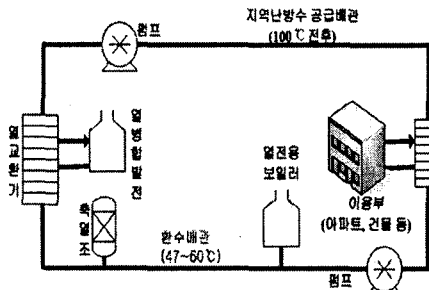


Fig.1 Schematic diagram of district heating system

지역난방수의 순환은 지역난방수 배관(이하 열배관)을 통해서 이루어진다. 이 열배관을 통해 순환되는 지역난방수는 열원시설(열병합발전시설)에 의해 100℃ 전후의 온도로 가열되어 공급된다. 침두부하시나 필요시 사용하기 위해 부하가 적은 시간대에 일부의 열은 축열조에 저장된다. 열배관을 순환하고 있는 지역난방수 환수온도를 기준으로 유량을 조정하여 열부하 크기에 적절한 열량을 공급하는 유량 제어방식을 사용한다.

2.2 열부하

충주 지역난방 지역의 지역난방수의 월별 공급온도 및 출구온도와 공급유량은 Fig. 2와 같다.

이들 곡선으로부터 이 지역난방 지역의 월별 열부하를 계산할 수가 있다. 지역난방수 순환유량은 동절기가 대략 1200~1700m³/h, 하절기가 300m³/h 정도로 동절기가 하절기에 비해서 순환유량이 많다. 한편 공급온도와 환수온도는 그림 2에 있는 바와 같이 동절기에는 100~104℃ 정도로 공급되어

48~53℃ 정도로 회수된다. 하절기는 98℃ 내외로 공급되고 61℃내외로 회수된다. 이와 같이 동절기에 비해 하절기에는 공급온도가 낮고 환수온도가 높은 이유는 하절기의 부하 중에 냉방부하가 많기 때문이다. 즉, 지역난방지역에서 냉방용으로 사용되는 냉동기는 1중효용 흡수식 냉동기로 여기에 공급되는 온도는 90℃ 전후, 회수되는 온도는 8~5℃ 전후이므로 이 흡수식 냉동기에서 회수되는 온도가 높기 때문에 동절기에 비해 전체적으로 지역난방수 환수온도가 높아지게 된다.

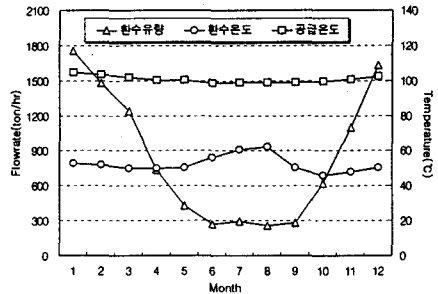


Fig.2 Monthly supply and return temperature of district heating water and flow rate

2.3 시스템 모델 및 작동

지역난방지역에 적용될 수 있는 태양열시스템은 여러 가지가 있을 수 있으나⁽¹⁾ 태양열 시스템의 효율을 고려한다면 가능한한 태양열 작동온도를 낮출 수 있는 시스템으로 설계되어야 한다. 이를 위해서는 적용 가능한 태양열시스템 중 하나가 바로 온도가 낮은 환수되는 지역난방수를 예열하는 방법이다. 이 시스템은 Fig. 3과 같이 구성된다.

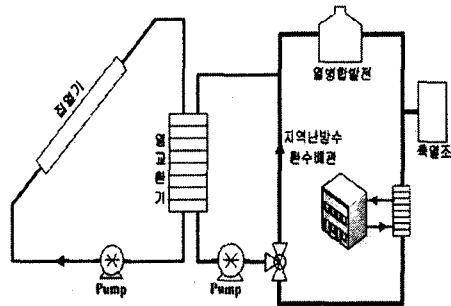


Fig.3 Schematic diagram of preheating of returning DHW by the solar system

태양열시스템은 부동액시스템으로 집열열교환기를 통해 환수되어 열원(열병합발전시스템)으로 가는 지역난방수의 온도를 승온하는 시스템이다. 이 시스템은 기존의 태양열난방 및 급탕시스템과는 달리 일사량이 있는 주간시간대에 부하가 태양열 집열량 보다도 월등히 크기 때문에 태양열 축열조가 필요 없게 된다.

본 분석에서 사용된 태양열 시스템 규모는 한

정된 예산으로 인해 집열면적을 1,000m²으로 제한하였다. 집열기는 Table 1에 있는 바와 같이 2가지 종류를 기본 모델로 하였으며, 집열기 I은 일반적인 평판형 집열기이고 집열기 II는 $F_R U_L$ 값이 작은 진공관식 집열기이다. 집열열교환기는 일반적으로 사용되는 관형 열교환기를 사용하였으며, 이 열교환기의 열교환효율은 일반적으로 사용되는 70%로 가정하였다.

태양열집열기에서 집열되는 태양열은 집열열교환기를 통해서 지역난방수 환수의 온도를 상승시킨다. 지역난방배관을 순환하는 순환수의 유량은 [그림 2]에 있는 바와 같으며, 이중의 일부가 펌프에 태양열 집열순환펌프의 순환조건이 되면 동시에 이 난방수의 일부가 펌프에 의해 집열열교환기의 2차측으로 순환된다. 순환유량은 집열열교환기 1차측과 2차측 모두 집열면적당 0.015kg/(m²·sec)로 하였다.

Table 1 Specification of district solar heating system

item		specification
Collector area		1000m ²
Solar collector type	Collector I (Plate type)	$F_R(\tau\alpha)=0.78$ $F_R U_L=5.0\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
	Collector II (Evacuate type)	$F_R(\tau\alpha)=0.65$ $F_R U_L=1.5\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
Collector tilt angle		36.5°
Collector azimuth		South
Heat exchanger efficiency		70%
Thermal fluid of collector		50% Propylene glycol

3. 시뮬레이션 및 결과 분석

3.1 시뮬레이션 모델 및 작동

지역난방수 환수 상승방식의 태양열 지역냉난방시스템의 시뮬레이션을 위해서 사용된 프로그램은 TRNSYS 15.1 이다. 태양열 시스템의 작동은 Table 2에 있는 바와 같다. 환수온도는 50℃로 가정하였으며, 집열매체 및 태양열 열교환기 2차측을 순환하는 지역난방수 유량은 54,000kg/h(집열기 단위면적(m²)당 0.015kg/sec)로 하였다. 한편 태양열시스템은 집열기 상단부의 온도($T_{c,o}$)와 지역난방수 환수온도($T_{DHW,R}$)간의 온도차(ΔT)에 의해서 제어되는 차온제어방식을 사용하였다.

$$\Delta T = T_{c,o} - T_{DHW,R}$$

본 시뮬레이션에서는 ΔT_{ON} 과 ΔT_{OFF} 를 각각 10℃와 3℃로 하였다.

이 차온제어장치에 의해 2개의 펌프(열교환기 1차측의 집열매체와 2차측의 지역난방수 순환펌프)가 구동되며 구체적으로 다음과 같다.

- 펌프가 OFF상태 일 때 :
 - $\Delta T \geq 10^\circ\text{C}$ 이면 펌프는 ON되고,

- 그 이외의 조건이면 펌프는 계속 OFF상태
- 펌프가 ON상태 일 때 :
 - $\Delta T \leq 3^\circ\text{C}$ 이면 펌프는 OFF 상태
 - 그 이외의 조건이면 펌프는 계속 ON상태

Table 3 Operating condition

items	specification
Collector circulation flow rate	0.015kg/(m ² ·sec)
System Control	Differential Temperature Controller $\Delta T_{on} = 10^\circ\text{C}, \Delta T_{off} = 3^\circ\text{C}$
District heating water supply temperature	95℃
Returning temp. of district heating water	50℃

3.2 기상자료

본 시뮬레이션에 사용된 일사량과 외기온도는 Fig. 4에 있는 바와 같이 월평균치(해당지역의 20년간 평균치)를 사용하였으며 TRNSYS의 Radiation Processor를 이용하여 시간별 데이터로 환산하여 사용하였다.

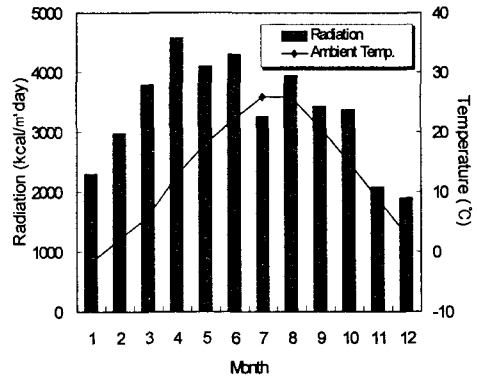


Fig. 4 Solar radiation and ambient temperature

3.3 분석결과

지역난방수 환수유량 중에서 태양열시스템의 열교환기 2차측으로 통과되는 유량의 비는 월별로 Fig.5와 같다. 태양열시스템이 작동조건이 되면 집열열교환기 2차측으로 순환되는 유량은 년 중 일정하나 지역난방수의 순환량이 월별로 변하기 때문에 순환유량비가 월별로 변하게 된다. 동절기에는 약 1-2% 정도에 지나지 않던 것이 하절기에는 20%정도가 된다.

Fig. 6은 2가지 다른 집열기에 대해서 지역난방수 환수온도가 50℃일 때와 60℃일 때 월평균 집열효율을 나타낸 그림이다. 환수온도가 50℃일 때 시스템효율은 평판형 집열기를 사용한 시스템의 경우가 25-41%, 진공관식 집열기를 사용한 시스템이 42-49% 정도로 나타났다. 평판형 집열기를 사용한 시스템의 월별 시스템효율 변화폭이 진공

관식 집열기를 사용한 시스템에 비해 큰 것으로 나타났으며, 진공관식 집열기를 사용한 태양열시스템의 효율이 높게 나타났으며, 연평균치는 각각 35.8%와 46.0%이다. 환수온도가 60°C일 때는 2가지 집열기를 사용한 시스템 모두가 효율저하가 있었으며 특히 평판형 집열기를 사용한 시스템의 경우가 더욱 큼을 알 수 있다.

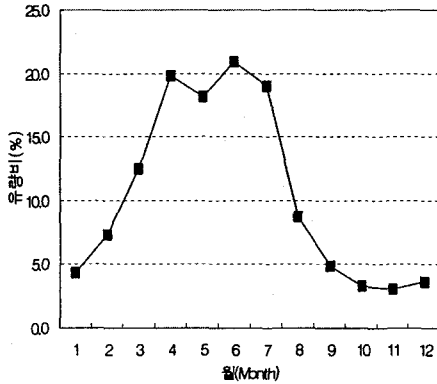


Fig.5 Circulation ratio of solar heat exchanger to DHW

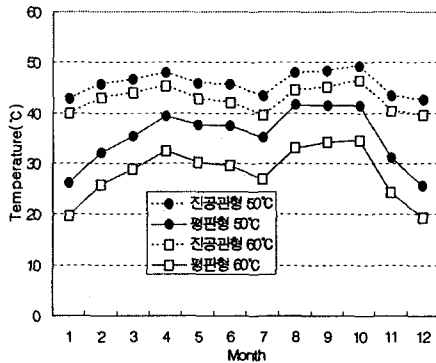


Fig.6 Monthly solar system efficiency by two different collectors and returning DHW temperature

참고로 Fig.7은 1월 1일에 진공관형 집열기를 사용한 태양열시스템의 작동상태를 나타낸 것으로 집열기 입출구 온도와 태양열시스템에 의해서 가열된 지역난방수(집열열교환기를 통과한)의 온도를 나타낸 것이다. 집열열교환기를 통해 가열된 지역난방수의 온도는 약 2~3°C가 된다.

Fig.8은 월별 태양열 의존율을 나타낸 그림으로 진공관식을 사용할 경우가 동절기 0.03~0.04%, 하절기 0.04~0.07%, 그리고 평판형을 사용할 경우가 동절기 0.02~0.03, 하절기 0.036~0.062% 되는 것으로 나타났다. 연평균치는 진공관식과 평판형 집열기를 사용한 경우가 각각 0.077%, 0.06%가 된다.

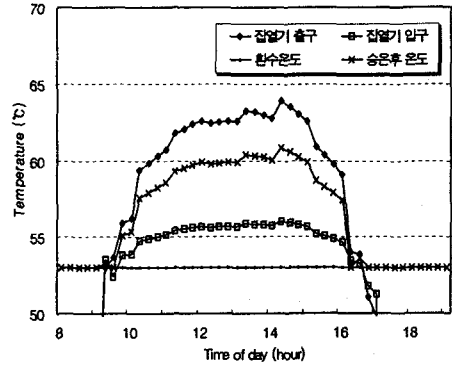


Fig.7 Evacuated solar collector inlet and outlet temperature and DHW outlet temperature of solar heat exchanger(1st January)

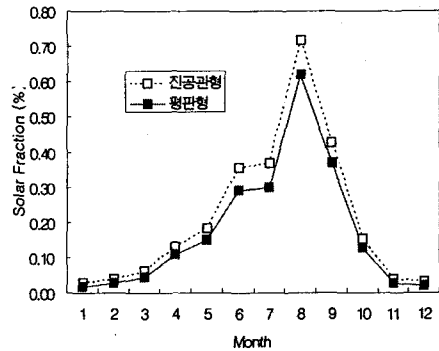


Fig.8 Monthly solar fraction

3.4 Parametric study

환수되는 지역난방수를 예열하는 태양열시스템의 성능은 환수되는 온도가 시스템성능에 큰 영향을 미치게 된다. Fig. 9는 환수온도에 따른 연평균 태양열시스템 효율을 나타낸 그림이다. 진공관식 집열기를 사용한 시스템은 환수온도가 45°C에서 65°C로 높아짐에 따라 47.6%에서 41.5%로 낮아지며, 평판형의 경우는 39.7%에서 21.5%로 낮아져서 평판형을 사용한 시스템이 환수온도 증가에 따른 시스템 효율저하가 큰 것으로 나타났다. 따라서 지역난방의 환수온도 상승 방식의 태양열시스템은 가능한 한 낮은 환수온도에 적용하는 것이 효과적임을 알 수 있으며, 특히 열손실 계수가 큰 집열기일 수록 더욱 더 그렇다. Fig.10은 환수온도에 따른 집열량의 변화를 나타낸 그림이다. 환수온도가 45°C에서 65°C로 변할 때 연간 집열량은 48Gcal에서 41Gcal로 감소하며, 평판형은 40Gcal에서 25Gcal로 감소한다.

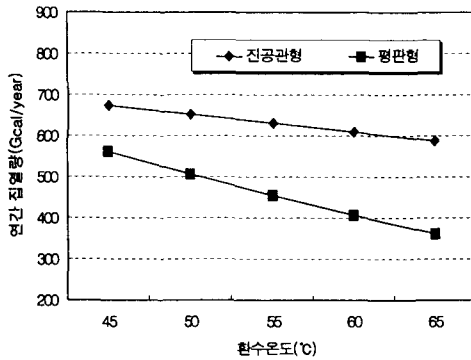


Fig.9 Collected solar energy vs. returning DHW temperature

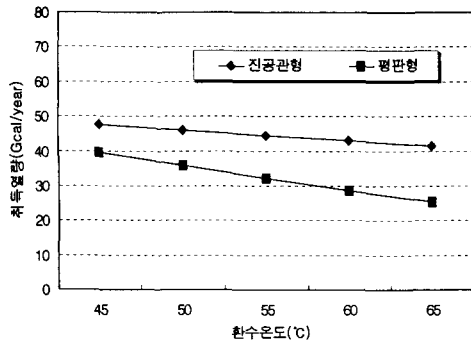


Fig.10 The influence of returning DHW on the yearly solar system efficiency

3. 결론

본 연구에서는 지역난방수 환수예열방식의 태양열시스템의 열성능에 대해서 분석하였다. 분석은 TRNSYS를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션기법을 사용하였으며, 청주의 지역난방시스템을 대상으로 하였다. 태양열시스템의 규모는 1000m²를 기준으로 하였으며, 2가지 다른 집열기(진공관형 집열기와 평판형 집열기)를 사용하는 시스템에 대해서 각각 성능 분석을 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- i) 이 시스템은 비교적 고온으로 작동되는 지역난방시스템에 태양열을 효과적으로 이용할 수 있는 시스템으로 집열되는 태양열을 축열 없이 직접 사용할 수 있는 시스템으로 연평균 태양열시스템 효율이 높다. 연평균 시스템 효율은 지역난방수 환수온도에 따라서 달라지며, 50°C를 기준으로 할 경우 평판형 태양열시스템의 경우가 35.8%, 진공관식 태양열시스템 효율은 46.1%로 나타났다.
- ii) 지역난방시스템은 지역과 월에 따라서 환수온도가 47-65°C 정도로 약간의 차이가 있으며, 이 환수온도가 태양열 시스템 성능에 중요한 영향을 미치며, 환수온도가 증가할수록 태양열 시스템 성능을 저하된다. 특히 열손실 계수가 큰 평판형 집열기를 사용하는 태양열시스템인 경우 이 환수온도 증가에 따라서 태양열시스템

연평균 효율은 약 40%에서 29%로, 그리고 진공관식의 경우 47%에서 35%로 저하된다.

- iii) 집열기 1000m² 설치할 경우 태양열 의존율은 약 평판형과 진공관 집열기를 사용할 경우 각각 0.06%, 0.077 정도가 되는 것으로 나타났다.

References

- [1] “태양열시스템 최적화와 신뢰성 향상을 위한 설계 및 성능기준 개발과 실증시험 연구”, 백남춘 외, 2002. 12
- [2] 신우철, 백남춘, “설비형 태양열시스템 설계 분석 프로그램 개발”, 한국태양에너지학회는 문집, 제 23권, 제 4호, pp. 11-20, 2003.
- [3] TRNSYS 14.2 Reference manual, University of Wisconsin-Madison, 1996.
- [4] J.A. Duffie & W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes-2nd ed., Wiley, New York, 1991.
- [5] ASHRAE, Active Solar Heating Systems Design Manual, 1992