

# 태양열 지역난방기술 및 현황

지역난방시스템에 태양열을 활용하기 위한 태양열 시스템 기술과 국내외 기술개발 현황을 소개하고자 한다.

백 남 춘

한국에너지기술연구원 태양열연구센터 (baek@kier.re.kr)

## 연구의 개요

지역난방은 열공급 온도가 약간 높기는 하지만 연중 많은 열부하가 지속적으로 있기 때문에 다른 어느 분야 못지않게 태양열을 이용하기에 좋은 조건을 가지고 있다.

태양열시스템은 국내에서는 주로 사회복지시설, 기숙사, 학교, 양만장, 수영장, 골프장, 목욕탕 등 온수급탕 분야에 적용되어 왔다. 2007년도부터는 주택난방/급탕용 태양열시스템(집열면적이 12 m<sup>2</sup> 이상 규모)에 대한 정부의 지원이 이루어지고 있다.

태양열시스템은 연중 부하의 분포, 작동온도 등 여러 가지 요소에 따라서 적용효과(경제성)가 차이가 난다. 즉 태양열시스템의 경제성은 적용분야에 따라서 크게 차이가 난다. 그 중에서 가장 민감하게 영향을 미치는 것이 바로 연중 태양열 사용기간이다. 예를 들어 태양열시스템으로 난방을 하는 경우에는 난방부하가 거의 없는 5월 ~ 9월 기간에는 태양열을 집열해도 사용할 수가 없게 된다. 그러므로 태양열시스템은 연중 8개월 정도만 정상적으로 작동한다고 볼 수 있다. 게다가 하절기에 집열되는 태양열은 오히려 태양열시스템의 과열문제를 야기 시키기 때문에 안정성 차원에서도 문제가 될 수도 있다. 그런데 연중 열부하가 있는 분야에 태양열 적용은 연중 내내 집열되는 태양열을 전부 다 사용할 수 있기 때문에 에너지 절감효과가 커지게 되어 시스템 경제성

이 크게 향상된다.

지역난방에 태양열 적용은 바로 이러한 차원에서 적용가치가 큰 분야라고 할 수 있다. 게다가 어느시간대를 불문하고 지속적으로 많은 부하가 있기 때문에 축열조의 필요성이 없어지게 된다. 태양열 시스템에서 축열조가 없어진다면 시스템 구성이 간편해지고 이에 따른 펌프의 개수가 줄어들어 운전비도 적게 들며 무엇보다도 설치비를 줄일 수 있게 된다. 단지 한가지 단점은 지역난방의 공급 온도가 약간 높다는 것이다. 그러나 이것은 적절한 집열기 선정과 적정 시스템 설계로 보완될 수 있다.

태양열 산업이 가장 발달한 유럽의 경우에는 덴마크, 독일, 스웨덴, 오스트리아 등을 중심으로 태양열 지역난방시스템이 '90년대 중반부터 시범적용을 통해 신뢰성 및 타당성이 입증되었고, 현재는 보급이 확대되고 있는 단계이다.

본고에서는 태양열 지역난방의 현황과 시스템 소개, 그리고 태양열시스템 설계에 관한 기술적인 내용을 언급하고자 한다.

## 국내외 현황

### 국내현황

국내에서는 2007년도에 처음으로 분당의 지역난방시스템에 태양열시스템을 시범 적용한 바 있다. 이 시스템은 한국에너지기술연구원이 개발(참여기업 : 한국지역난방공사)한 시스템으로의 실증시험을 위

해 설치된 것으로 그림 1에 있는 바와 같다. 이 시스템은 60℃ 정도의 지역난방수 환수를 태양열 축열조 없이 태양열로 직접 90 ~ 95℃로 승온해서 공급하는 방식으로 기존의 태양열시스템과는 달리 변유량 제어방식을 사용했다. 집열기는 비교적 저온작동영역에서 효율적인 평판형 집열기와 고온에서 효율적인 진공관(단일진공관) 집열기를 사용해서(그림 8 b) 참조) 지역난방수 환수를 원하는 온도로 승온시키는 방식이다. 총 집열면적은 1069 m<sup>2</sup>(평판형 : 420 m<sup>2</sup>, 진공관형 649 m<sup>2</sup>)이다.

**외국현황**

독일은 1993년대 초부터 “Solarthermie 2000” 이라는 R&D 및 시범보급 프로젝트를 통해서 10년 동안

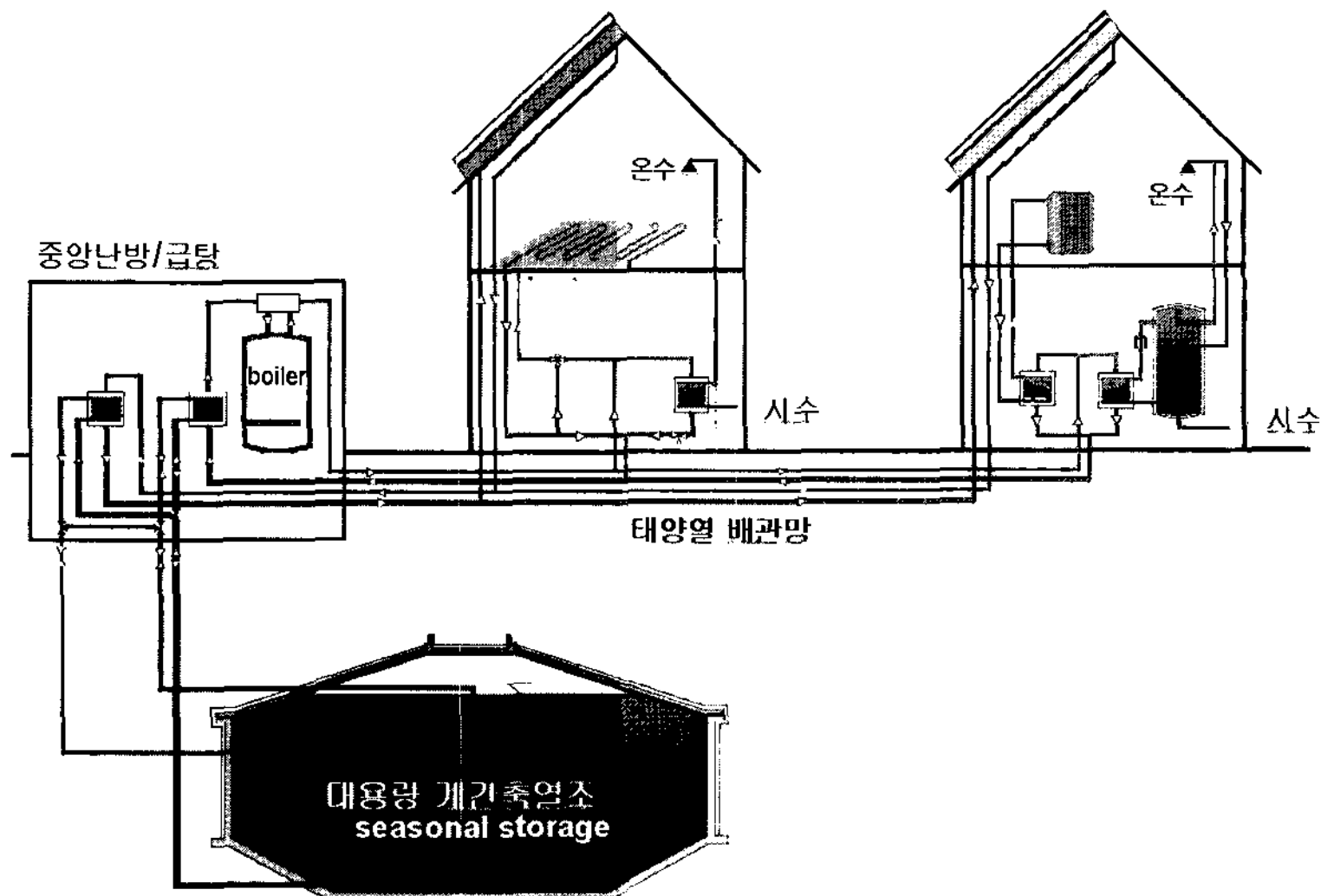
신규로 조성되는 단지 7개를 지역난방 개념의 중앙 공급식 태양열시스템을 연구 및 보급하였다. 2002년 그 효과가 긍정적으로 평가되어 “Solarthermie 2000 Plus” 라는 후속 프로젝트로 추가적인 대규모 태양열 중앙공급식 급탕시스템 보급을 추진하고 있다. 이 사업을 통해 조성된 지역난방 단지를 그림 2에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 태양열 시스템은 단지의 주택, 아파트, 학교, 주차장, 상가 등에 분산 설치되었으며, 하나의 시스템으로 통합



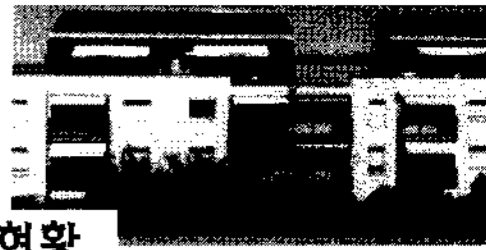
[그림 1] 지역난방용 태양열시스템 집열기 설치 전경



[그림 2] 태양열 지역난방 단지 사진



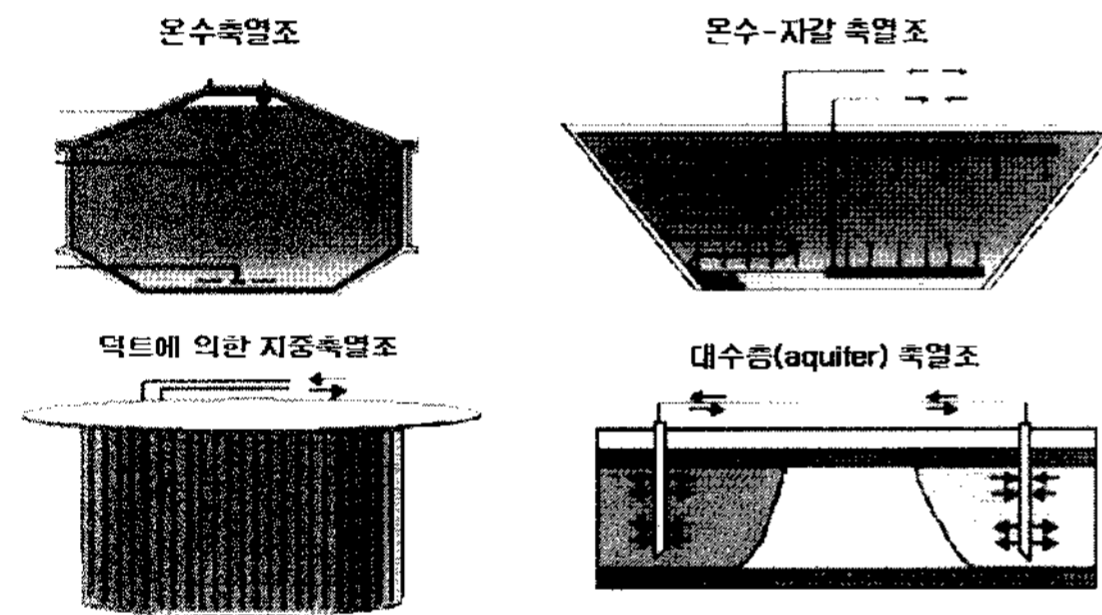
[그림 3] 계간 축열조가 있는 중앙공급식 태양열 시스템



운전되고 있다.

이 시스템 1개의 구성도를 그림 3에 나타내었다. 부하가 없는 하절기에 여분의 태양열을 계간축열조에 저장하였다가 필요시 사용할 수 있도록 하였다. 이 계간 축열조는 용량이 큰 저가의 축열조로 그림 4와 같이 여러 가지 종류가 있으며, 주로 지중에 매설되거나 지중의 토양을 이용하고 있다. 이 계간축열조는 축열의 역할도 있지만 하절기 태양열시스템의 과열을 막아주는 역할도 하고 있다.

세계에서 가장 큰 규모의 태양열 지역난방시스템은 덴마크에 있는 것으로 집열면적이 18,600 m<sup>2</sup>로 사진을 그림 5에 나타내었다. 이들 지역난방시스템은 지



[그림 4] 대규모 태양열 축열조의 형태

역난방수를 건물에 직접 공급하는 방식으로 공급온도는 국내의 지역난방보다 낮은 70℃ 내외이다. 이 시스템에는 하절기 열부하가 적어 사용하고 남은 태양열을 저장하였다가 가을에 사용하는 고무라바로 된 계간 축열조를 지중에 매설하여 사용하고 있다.

### 지역난방용 태양열시스템 설계

#### 지역난방시스템과의 연계방법

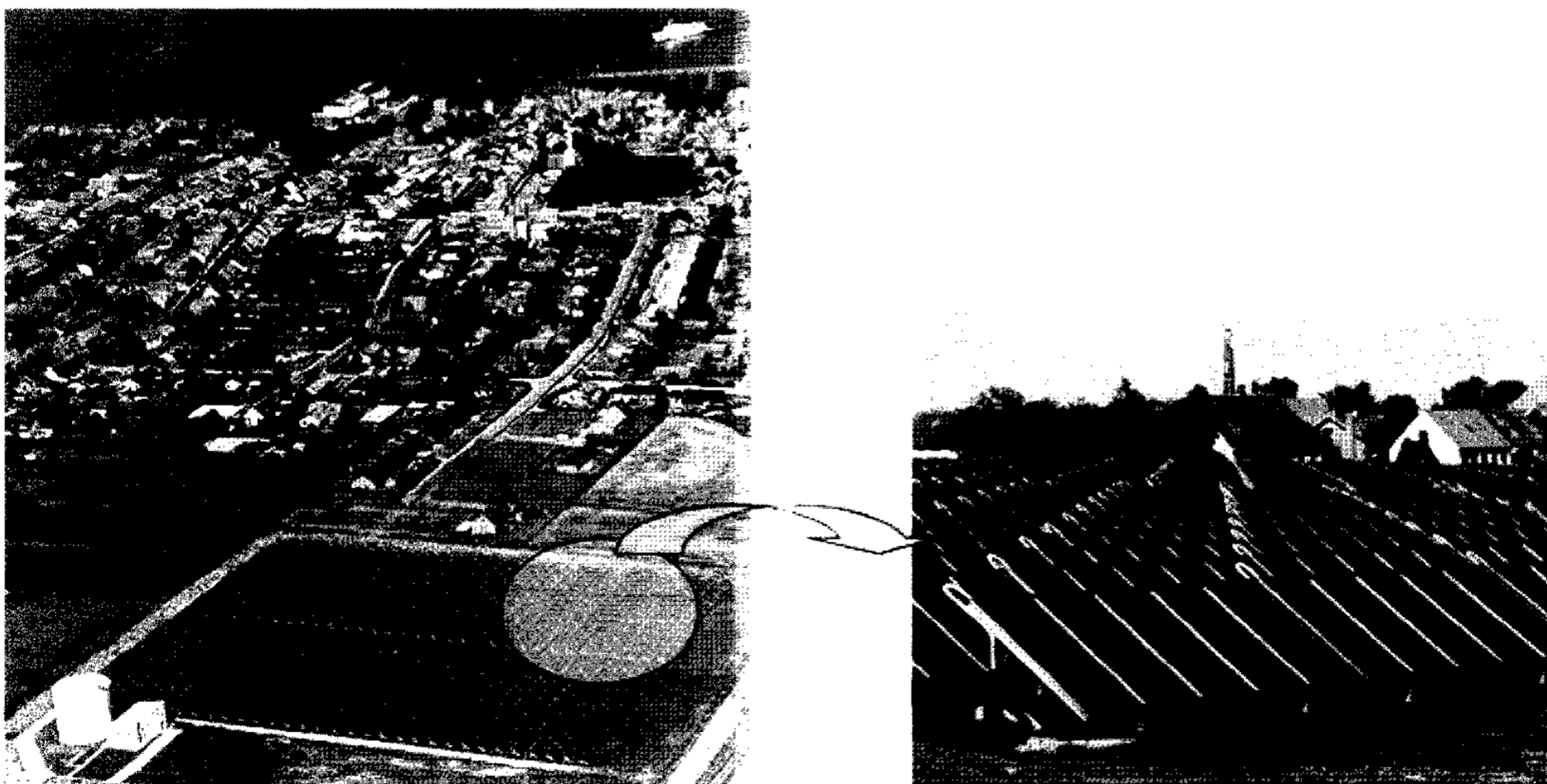
지역난방용 태양열시스템은 지역난방시스템과의 연계방법에 따라서 다음과 같은 3가지가 있을 수 있으며, 또한 이들을 상호 조합하는 방법도 있을 수 있다.

- i) 지역난방수 환수를 예열하는 방법
- ii) 지역난방수 보충수를 가열하는 방법
- iii) 지역난방수 환수를 공급온도로 승온하여 공급관에 넣어주는 방법

이들 3가지 방법에 대한 개념도 및 장단점을 표 1에 요약하였다.

#### 태양열시스템

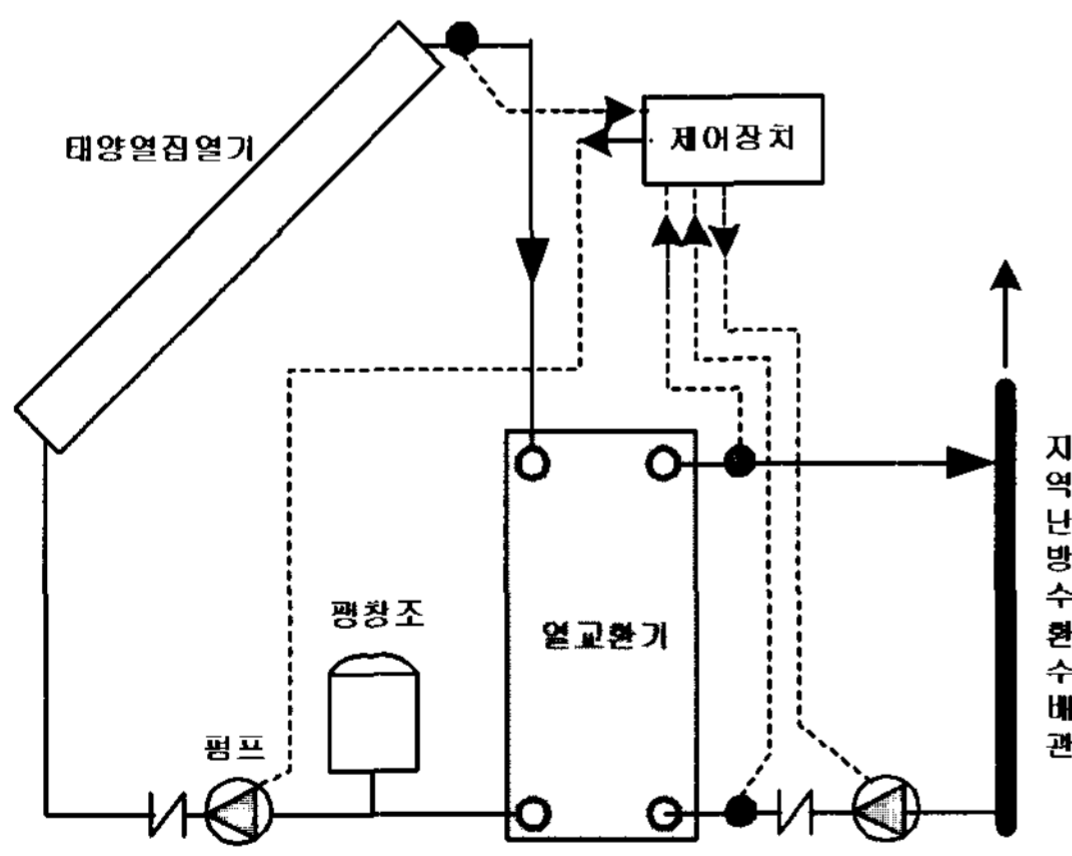
• 지역난방수 환수를 예열하는 태양열시스템  
이 방법은 태양열 시스템이 작동(집열)될 때 지역난방수 환수의 일부를 집열열교환기로 통과시켜 태



[그림 5] 덴마크 마스탈의 태양열 지역난방 시스템(집열면적 18,600 m<sup>2</sup>)

<표 1> 지역난방시스템에 태양열시스템 연계방식

연계방법	시스템 개념도	장·단점
(i) 지역난방수 환수를 예열하는 방법		-장점 : 적용이 용이하며 태양열시스템 효율이 높음 -단점 : 태양열로 인해 열병합발전시설로 가는 환수의 온도가 약간 높아짐
(ii) 지역난방수 보충수를 가열하는 방법		-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) 지역난방수 환수를 가열하여 공급관에 넣어주는 방법		-장점 : 지역난방의 개념에 적합하며, 태양열 부하가 크다. -단점 : 태양열시스템 효율이 낮고, 시스템 작동온도 및 압력이 높기 때문에 시스템 설계 및 제어의 정확성이 요구됨.



[그림 6] 환수 예열방식의 태양열시스템

양열로 수 ℃ 승온시켜서 환수배관에 다시 넣어주는 방법으로 그림 6에 있는 바와 같이 시스템이 구성된다. 이 시스템은 비교적 적용이 용이하고, 태양열 시스템의 작동온도가 낮아(50 ~ 60℃ 정도) 태양열 시스템의 효율이 높아지는 장점이 있다. 따라서 열

손실율이 작은 평판형 집열기나 진공관식 집열기가 사용될 수 있다. 이 시스템의 단점은 열병합발전으로 가는 지역난방수 환수(냉각수의 역할을 함)의 온도가 높아지기 때문에 이로 인한 열병합발전시스템의 발전효율이 약간 저하될 수가 있다.

이 시스템은 축열조가 없는 것을 제외하면 기존의 온수급탕용 태양열시스템과 동일하다. 환수온도를 일정온도 승온시킬 수 있도록 변유량 제어를 할 경우 펌프에 소비되는 전력량을 줄일 수 있다.

• 보충수를 가열하는 태양열시스템

지역난방 배관에서 유실되는 지역난방수와 보일러에 보충되는 보충수를 태양열로 예열하는 방법으로 그림 7과 같이 구성된다. 그림 7 a)는 보충수 탱크 없이 보충수가 집열열교환기(HX)를 통과하면서 가열되어 보충되는 방식이고, 그림 7 b)는 기존의 보충수 탱크를 예열하는 방식이다. 보충수의 온도는 일반적으로 시수온도 정도로 낮기 때문에 태양열 시스템 효율측면에서 보면 가장 좋은 방법이라고 할

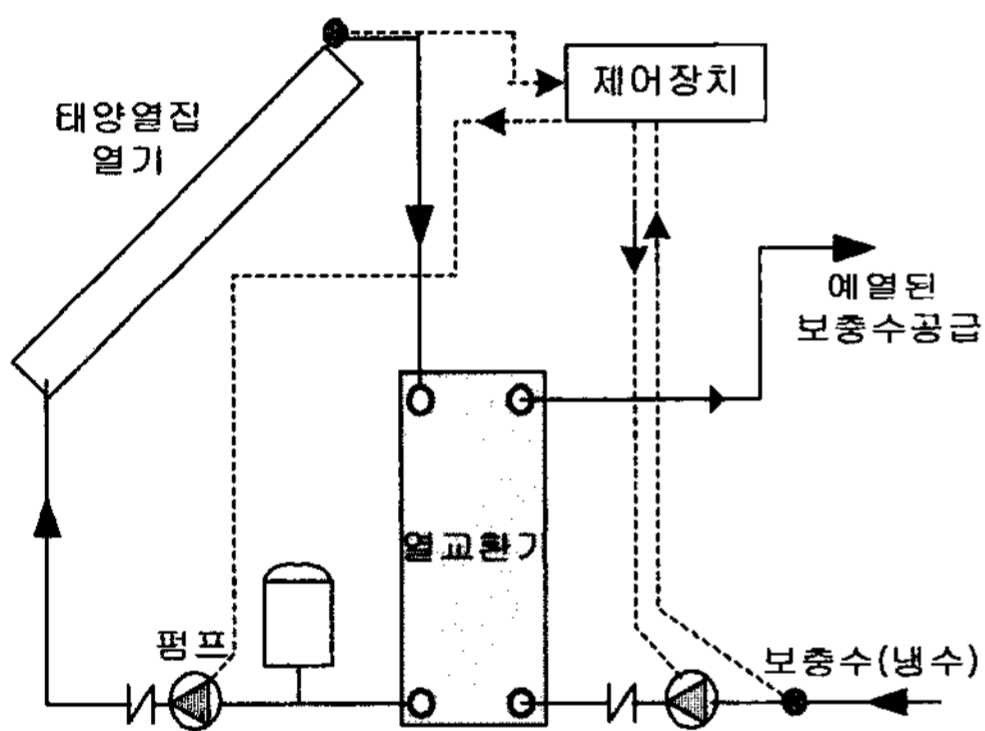


수 있다. 실제로 그림 7 a)방법에서 보충수는 태양열시스템이 작동(집열)되는 경우 지속적으로 공급되고, 그림 7 b)의 경우는 어느정도 축열된 후 공급할 수 있다.

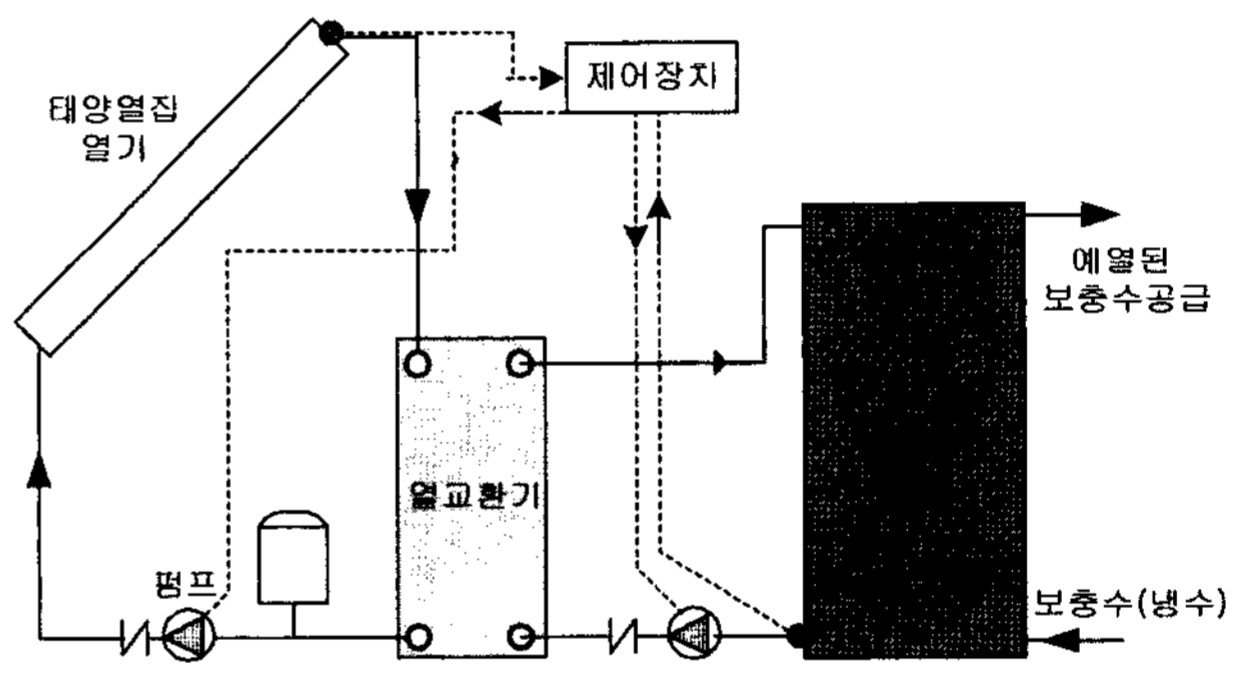
이 방식은 보충수의 양이 많지 않을 경우 태양열시스템 규모를 크게 할 수 없다. 따라서 태양열시스템 규모를 크게 할 경우 이 방식과 그림 7의 방식 2가지를 혼용하는 방식이 있을 수 있다.

- 지역난방수 환수를 가열하여 공급배관에 넣어주는 태양열시스템
- 이 방법은 지역난방수의 환수를 태양열로 공급은

도로 가열하여 공급배관에 넣어주는 방법으로 그림 8에 있는 바와 같이 구성될 수 있다. 기존의 태양열시스템처럼 태양열 축열조가 있는 시스템으로도 가능하나 설치비용이 많이 들뿐만 아니라 비효율적이다. 그림 8과 같이 태양열 축열조 없이 태양열에 의해서 설정온도로 가열되기 위해서는 태양열 집열매체 순환유량과 집열열교환기를 통과하는 지역난방수 환수의 양은 일사량 등 외기조건에 따라서 항상 설정온도로 가열될 수 있도록 유량이 제어(펌프의 rpm제어)되어야 한다. 즉 출구온도가 설정온도보다 낮아지면 유량이 감소되어야 하며, 설정온도보다 높아지면 증가되어야 한다.

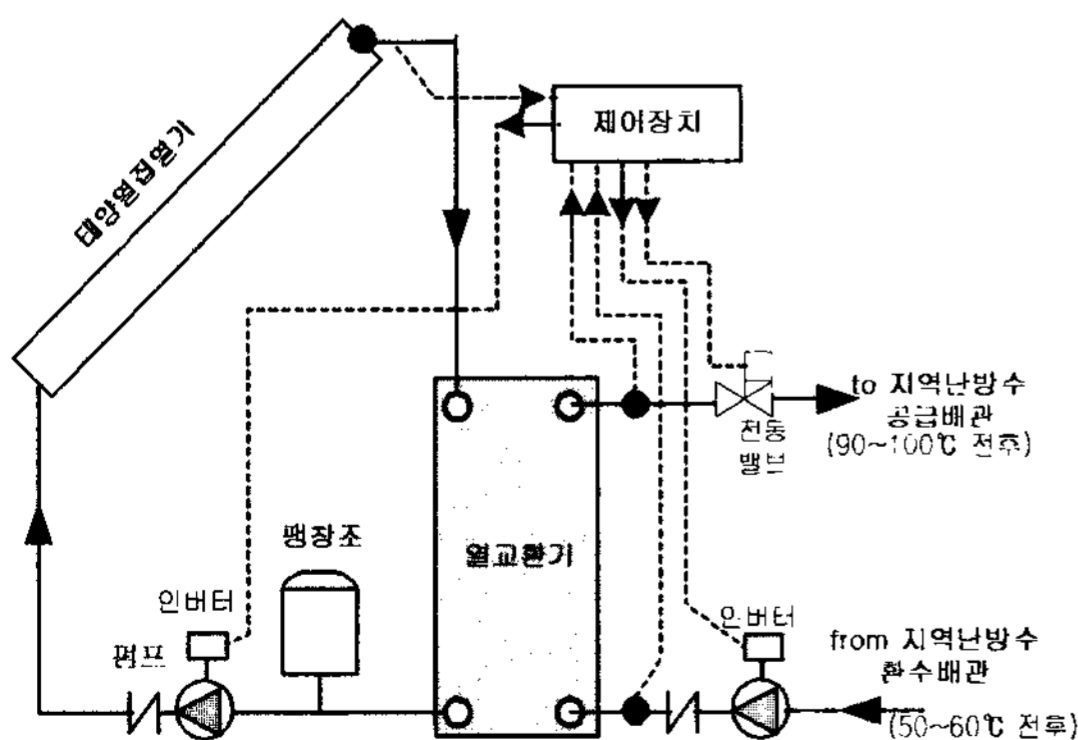


a) 단열된 보충수 탱크가 있을 경우

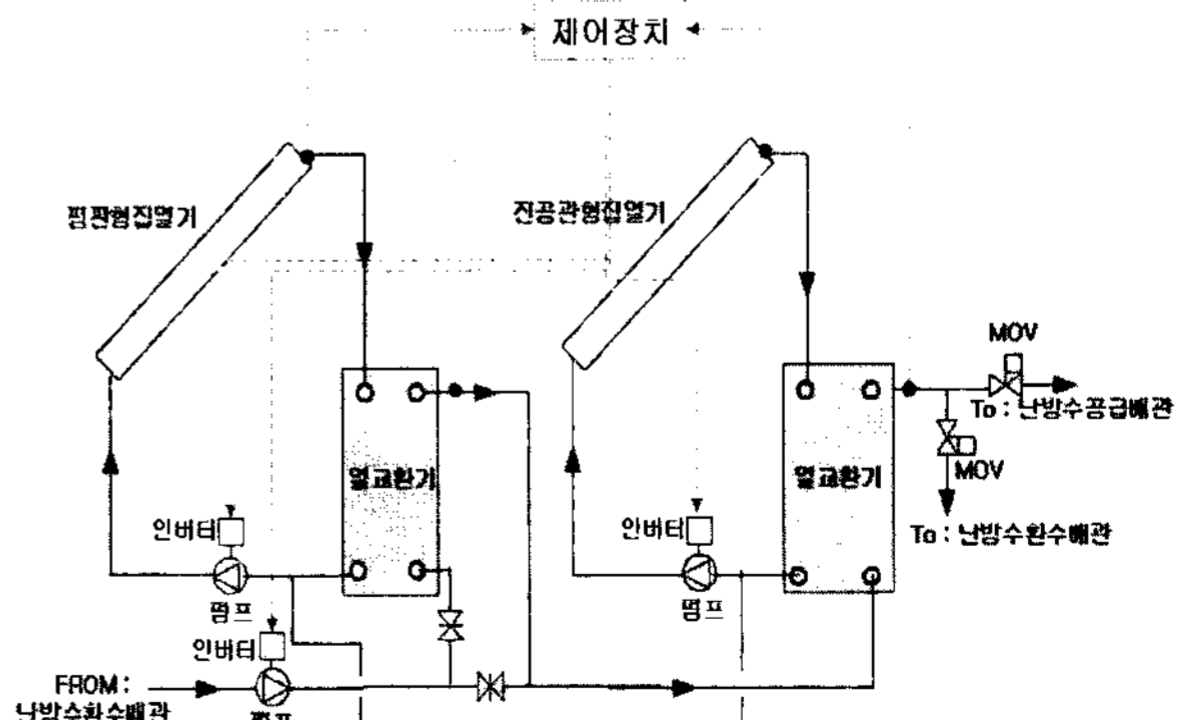


b) 보충수 탱크가 없을 경우

[그림 7] 보충수를 가열하는 태양열시스템

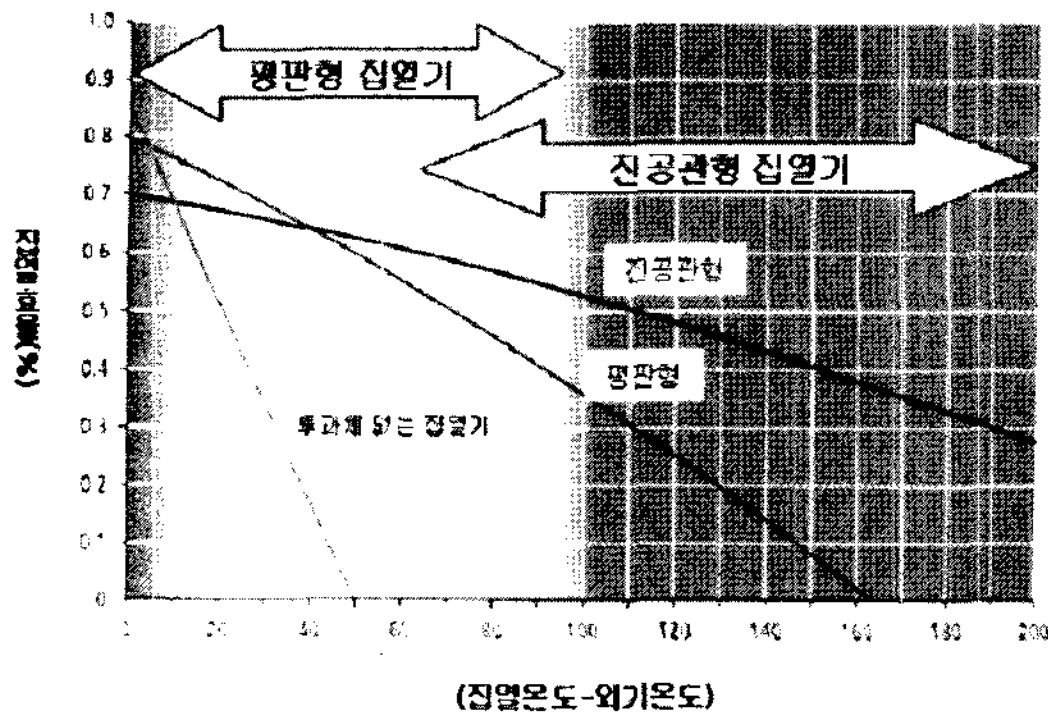


a) 한가지 집열기를 사용할 경우



b) 2가지 집열기를 사용할 경우

[그림 8] 환수를 공급온도로 가열하는 태양열시스템



[그림 9] 집열기별 적정 작동영역

이 시스템은 태양열로 50 ~ 60℃ 정도의 환수를 95℃ 전후까지 가열해야 하기 때문에 한가지 집열기를 사용할 경우에는 평판형 집열기는 사용이 불가능하며 고온 집열성능이 좋은 진공관형 집열기, PTC 집열기 등이 사용 가능하다. 이 경우 태양열시스템 구성은 그림 8 a)와 같다.

이 방식은 축열조 없이 태양열로 승온시켜야 할 온도폭이 크기 때문에 적정 작동영역이 다른 2가지 집열기를 사용해서 원하는 온도까지 효율적으로 승온시키는 것이 한가지 집열기를 사용하는 경우보다 효율적 일 수 있다. 그림 8 b)가 바로 집열회로를 저온용과 고온용으로 분리하여 각각의 집열열교환기를 직렬로 연결하는 방식이다. 이 시스템은 평판형과 진공관형 집열부의 집열순환 펌프와 열교환기를 통과하는 2차측의 지역난방수 펌프의 유량을 일사량 등에 따라 제어하여 원하는 온도(설정온도)를 얻는 방식이다. 태양열시스템을 보다 더 효율적으로 활용하기 위해서는 최저 유량으로도 설정온도를 얻을 수 없을 경우(그러나 태양열 집열이 있을 경우)에는 그림 6과 같이 태양열 예열방식으로 운전하여 환수배관에 다시 넣어주는 것도 바람직하다 할 수 있다. 열교환기 출구 측에 전동밸브가 있는 것은 바로 이러한 이유 때문이다.

변유량 제어방식의 태양열시스템은 아직은 국내 태양열 업체에서 사용하고 있지는 않지만 중대규모

태양열시스템에서 운전비를 50% 이상 줄일 수 있으면서, 축열조가 있는 시스템의 경우 축열조의 온도성층화를 향상시킬 수 있을 뿐 만 아니라 지역난방과 같이 부하가 지속적으로 있는 분야의 경우에는 태양열 축열조 없이 태양열시스템을 구성할 수 있기 때문에 태양열시스템의 경제성을 크게 향상시킬 수가 있다. 앞으로 이러한 방식은 산업공정열 분야에 많이 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

### 맺음말

전술한 바와 같이 지역난방지역에 태양열 적용은 다음과 같은 장점이 있다.

- 부하가 지속적으로 존재하기 때문에 태양열 축열조가 없어도 된다.
- 이로인해 시스템이 단순하며, 운전비 및 설치비용이 감소된다.
- 단일 시스템 규모가 크기 때문에 에너지절감효과가 크며 또한 사후관리가 용이하다.
- 연중 태양열을 사용할 수 있다.

그러나 지역난방의 열판매 단가가 낮아서 확대보급을 위해서는 정부의 지원이 필요하지만 에너지절감효과는 기존의 다른 어느 적용분야 못지않게 크다. 특히 신규로 계획되고 있는 지역난방 지역(예 : 혁신도시 등)에 단지 설계 단계에서부터 태양열 적용이 검토된다면 태양열 집열기 설치면적 확보는 물론이고 외관, 설치비용 등의 측면에서 보다 효율적인 적용이 가능할 것으로 예상된다.

현재 정부의 신재생에너지 보급지원과 관련한 지식경제부 고시에 정부의 태양열 보급지원은 “열판매 시설에는 지원 제외”라는 규정이 있어 아직까지는 정부의 지원(현재 설치비의 약 50% 지원)혜택을 못하고 있어 태양열을 적용하기에 좋은 분야이지만 보급은 이루어지고 있지 않다. 전 세계적으로 CO<sub>2</sub> 저감을 위해 신재생에너지 보급지원 및 의무화가 점차 강화되고 있는 시점에 태양열 지역난방은 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되며 또한 보급확대를 위한 정부의 지원정책이 마련되어야 할 것이다. ☉