

설비형 태양열 시스템 기술 현황

백 남 춘

한국에너지기술연구원 태양열연구센터 (baek@kier.re.kr)

태양열 이용

태양열 이용은 태양으로부터 오는 복사에너지를 열에너지로 변환해서 직접이용하거나 저장했다가 필요시 이용하는 기술로서, 복사광선을 고밀도로 집광해서 고온의 열을 이용하는 기술(예, 태양열 발전)과 집광하지 않고 직접 이용하는 저온이용 기술이 있으며, 이용분야는 주로 온수급탕, 난방, 산업공정열, 열발전 등 열에너지를 필요로 하는 분야에 광범위하게 사용된다.

태양열시스템은 전 세계적으로 80% 이상이 주택의 온수급탕 및 난방용으로 사용되며, 그 중에 80% 이상이 온수급탕용으로 사용된다. 국내에서는 IMF 이전에 약 18만여대의 태양열 온수기가 보급된바 있으나 그 이후로 태양열 온수기가 정부의 보급지원 대상에서 제외되었기 때문에 현재는 거의 보급이 중단된 상태이다. 따라서 현재 국내의 태양열 시장은 IMF 직전 시장의 약 10 ~ 15% 정도에 불과한 실정이다. 국내에서는 주로 사회복지시설, 기숙사, 학교, 양만장, 수영장, 골프장, 목욕탕 등 온수급탕 분야에 적용되어 왔다. 2007년도부터는 주택 난방/급탕용 겸용의 태양열시스템(집열면적이 14 m² 이상 규모)에 대한 정부의 지원이 이루어지고 있다.

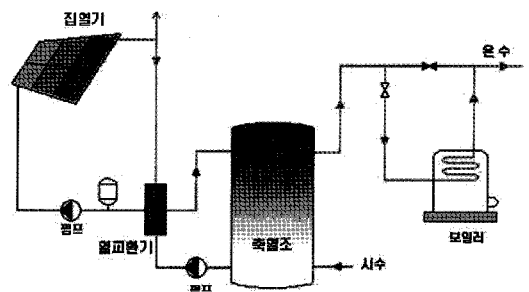
설비형 태양열 시스템

기술 원리 및 특징

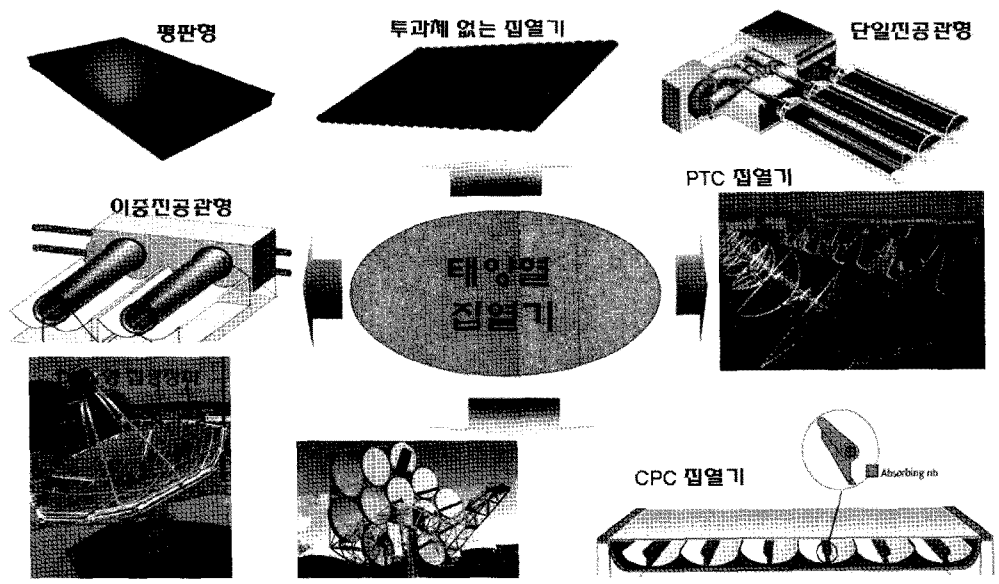
태양열을 이용하는 시스템은 크게 설비형 태양열 시스템(Active Solar System)과 자연형 태양열시스템(Passive Solar System)으로 구분된다. 자연형 태양열시스템은 태양열에 의해서 얻어지는 열을 이동하는 펌프나 팬(Fan)과 같은 구동장치가 없이 직접 이용하는 시스템을 의미하며, 설비형 태양열시스템은 열에너지로 변환된 열(열매체)을 구동 장치에 의해서 이용부로 이동되는 시스템을 의미한다.

자연형 태양열시스템은 주로 건물의 구조물을 이용해서 태양열을 집열 및 축열해서 이용하는 방법으로 직접 획득방식과 간접 획득방식이 있으며, 트롬볼(Tromb wall), 온실 등이 여기에 포함되며, 80년대부터 주택, 우체국, 학교 등에 시범 적용되어 왔다.

한편 설비형 태양열시스템은 태양열 집열기를 이용하여 태양복사에너지를 열에너지로 변환하여 변환된 열에너지를 직접 이용하거나 별도의 축열장치



[그림 1] 설비형 태양열 온수급탕 시스템의 예



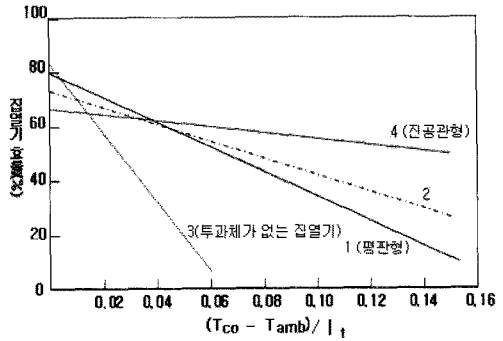
[그림 2] 태양열 집열기(집광기) 종류

에 저장하였다가 필요시 사용하는 시스템이다. 이 기술은 '70년대 말부터 보급되기 시작하였으며, 국내에서도 건물의 난방 및 온수급탕분야, 온실난방 등에 많이 보급되었다. 설비형 태양열시스템은 일반적으로 그림 1에 있는바와 같이 태양열을 집열하는 집열부, 집열된 열(사용하고 남는 여분의 열)을 저장할 수 있는 축열부, 태양열이 없거나 부족할 경우 열을 공급하는 보조열원장치와 시스템 제어장치로 구성된다.

태양열 집열기

설비형 태양열시스템에서 가장 핵심적인 부분이 태양열 집열기이다. 지금까지 전 세계적으로 상용화된 집열기는 그림 2에 있는 바와 같은 것들이 있으며, 평판형 집열기와 진공관형(단일 및 이중 진공관형) 집열기가 주로 건물의 난방 및 온수급탕용으로 널리 사용되고 있다. 날씨가 청명한 지역에서는 집광형 집열기인 PTC 집열기가 온수급탕용이나 산업공정열, 태양열 발전 분야에 사용되기도 하며, Dish 형과 같이 고집광형은 주로 태양열 발전에 사용된다.

일반적으로 집열기의 집열효율(η_{co})은 그림 3과



[그림 3] 집열기 성능곡선

같이 $(T_{co} - T_{amb})/I_t$ 의 함수로 표시된다. 이것을 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\eta_{co} = a - b \cdot x$$

$$= a - b \frac{T_{co} - T_{amb}}{I_t}$$

여기서

T_{co} : 집열기 입구로 들어가는 열매체 온도

T_{amb} : 외기온도

I_t : 집열면 일사량(W/m²K)

a, b: 집열기 성능에 의해서 결정되는 값으로, a는 최고효율(열손실이 없을 때의 집열효율), b는 집열기의 열손실 계수로 이들 값은 그림 2에서 y축과의 교점과 곡선의 기울기에 해당함. 따라서 a값은 클수록, b값은 작을수록 좋은 집열기 임.

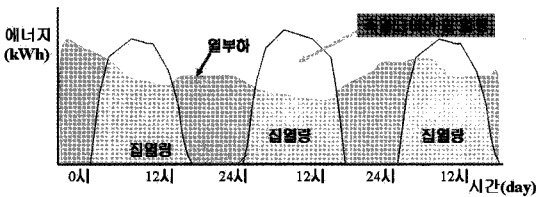
일반적으로 현재 상용화 된 평판형과 진공관형 집열기의 열성능 범위는 표 1에 있는 바와 같이 집열기에 따라서 열성능 차이가 크다.

<표 1> 집열기의 열성능 범위

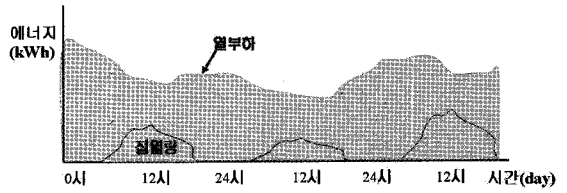
집열기 종류	열성능 계수	비고
평판형	a	0.7 ~ 0.8
	b (W/°C · m ²)	6.0 ~ 3.5
진공관형	a	0.6 ~ 0.72
	b (W/°C · m ²)	0.8 ~ 3.0

태양열 축열조

태양열시스템은 그림 4 a)와 같이 집열되는 시점과 사용시점이 일치하지 않기 때문에 특별한 경우를 제외하고는 축열조를 필요로 한다. 참고로 그림 4 b)는 축열이 필요 없는 경우의 예이다. 축열은 양질의 열에너지를 필요한 시간에 필요한 양만큼 수요측에 공급하여 에너지를 효과적으로 사용할 수 있도록, 열에너지를 효율적으로 저장하였다가 공급하는 기술이다. 크게 축열은 현열축열과 상변화 물질을 활용한 잠열축열에 의한 방법이 있으나, 현재는 주

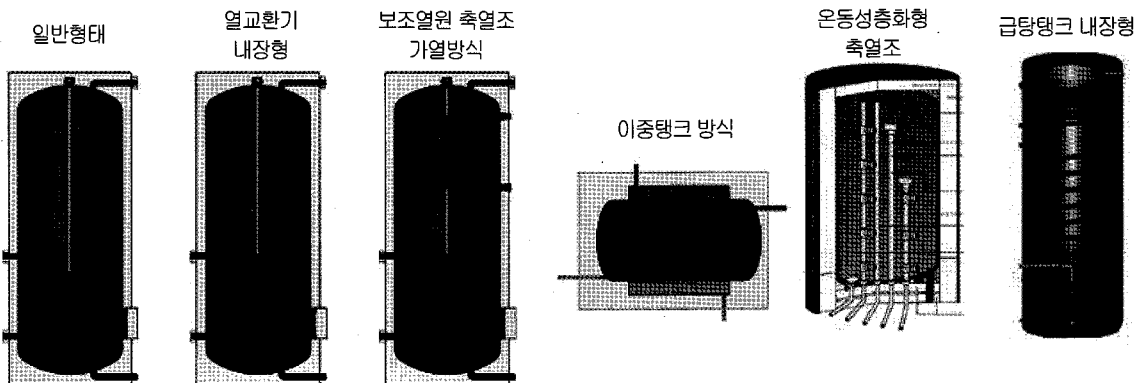


a) 축열이 필요한 경우

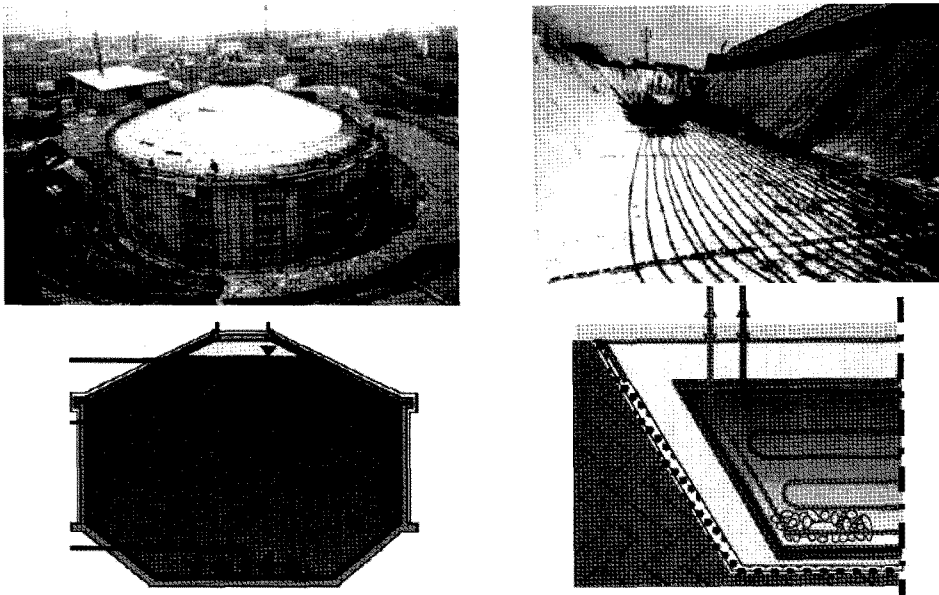
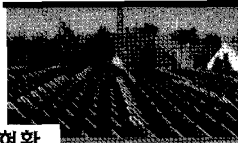


b) 축열이 불필요한 경우

[그림 4] 열부하와 태양열 집열에 따른 축열의 필요성



[그림 5] 각종 태양열 축열조의 형태 (소형)



[그림 6] 태양열 계간축열조(Seasonal Storage)

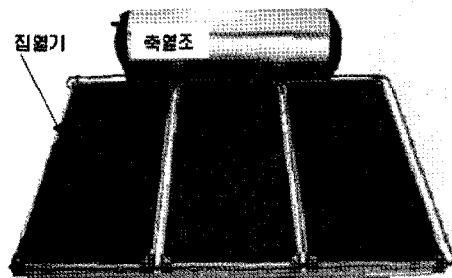
로 물을 축열매체로 하는 현열 축열방법이 사용된다. 주택의 난방, 급탕용의 소형 축열조는 그림 5에서 축열조 내에 열교환기를 내장시켜 콤팩트화 시킨 것이 주로 유럽을 중심으로 상용화 되었다.

중·대형의 축열조는 판형 열교환기를 축열조 외부에 두는 방식으로 축열조 내부에는 온도 성층화(고온의 물은 상단부에 모이게 하는 기술)를 위한 디퓨저만 있는 축열조가 주로 사용된다.

한편 대규모 태양열 아파트단지나 태양열 중앙공급시스템, 태양열 지역난방시스템 등에는 그림 6과 같이 지중에 매설되는 콘크리트 탱크, 고무라바 탱크, 토양 축열 등과 같은 대규모 용량의 계간 축열조도 사용되고 있다. 이러한 축열방식은 저가로 많은 양의 태양열을 부하가 적은 하절기에 축열하였다가 열부하가 많아지기 시작하는 가을부터 사용된다. 이러한 대용량의 계간축열조는 주로 독일, 덴마크, 스웨덴과 같은 국가에서 대규모 태양열 단지 등에 많이 사용되고 있다.

태양열 시스템 기술

태양열시스템은 일반적으로 다음과 같은 것들이

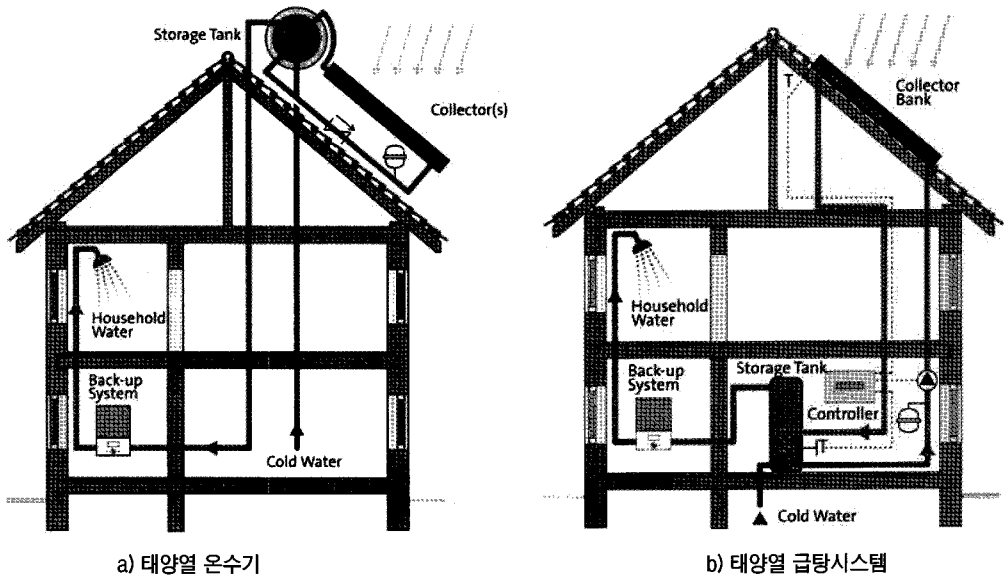


[그림 7] 태양열 온수기(자연순환식)

상용화 되어 보급되고 있다.

태양열 온수기 및 온수급탕 시스템

태양열 온수기라고 하면 그림 7과 같이 축열조가 집열기 상단부에 있는 일체화된 태양열 온수급탕 장치를 의미한다. 이 제품은 국내에 약 18만대 이상이 보급되었다. 주로 축열조 내부 상단부에 보조열원인 심야전기 히터가 내장되어 있는 것이 일반적이다. 이 온수기는 집열판에서 가열된 집열매체가 축열조와의 자연순환에 의해서 축열조의 물을 가열시킨다. 즉, 집열기에서 가열된 열매체(부동액)는 밀도가 낮



[그림 8] 태양열 온수기 및 태양열 온수급탕시스템 설치 및 작동 예

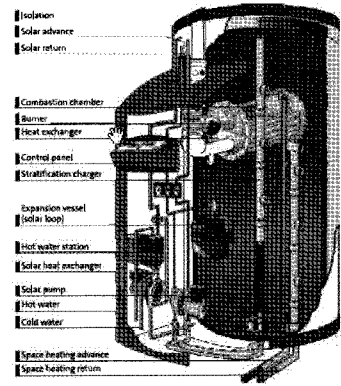
아저 상단부인 축열조(열교환기나 2 중탱크 사이)로 올라가서 온수탱크 내부의 온수를 가열하고 다시 온도가 낮아져서 집열기 하단부로 들어가서 가열되면서 상단부로 올라가게 된다. 그림 8은 태양열 온수기와 온수급탕 시스템의 작동 및 설치 개념도를 나타낸 것으로 배관 길이가 최단거리가 될 수 있도록 설치되는 것이 바람직하다. 특히 태양열 온수기의 경우 시수와 온수배관의 외부 노출길이를 최소화시켜야 동파방지 및 열손실을 줄일 수 있다.

태양열 콤비시스템

유럽에서 주택의 난방/급탕 겸용으로 개발된 시스템으로 집열기를 제외한 축열조, 펌프, 제어장치 등이 그림 9와 같이 패키지화 된 것으로 보일러까지를 포함한 것도 있다. 이 시스템은 시공을 간단하게 하기 위해서 개발된 것으로 시스템을 단순화시킨 것이 특징이다.

태양열 냉난방시스템

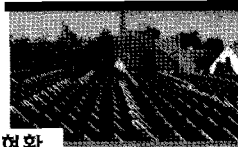
태양열은 난방뿐만이 아니라 냉방도 가능하다. 태양열시스템을 비하절기에는 난방용으로 사용하고, 하절기에는 냉방용으로 사용한다. 태양열로 구동되



[그림 9] 패키지화 된 축열조

는 냉동기는 가능한 한 저온으로 작동되는 것이 중요하다. 지금까지 개발된 태양열 구동 냉동기는 다음과 같은 것들이 있다.

- 흡수식 냉동기 : 리튬/브로마이드를 작동매체로 사용하는 1중효용 흡수식 냉동기로 3 RT 이상이 일본에서 개발되었다. 현재는 태양열로 작동될 때는 1중효용으로, 보조열원으로 작동될 때는 2중 효용으로 되는 1중 2중 겸용의 흡수식 냉동기가 개발 중에 있다.



- 흡착식 냉동기 : 실리카겔을 흡착제로 사용하는 냉동기로 최근에 독일에서 개발되어 시범 적용되고 있다.

태양열 지역난방 시스템

최근에 들어서 유럽을 중심으로 지역난방에 대규모 태양열시스템을 적용하는 사례가 점차 증가하고 있다. 그림 10은 덴마크에 있는 지역난방용 태양열 시스템으로 집열기 면적이 18,600 m²로 단일시스템으로는 세계에서 가장 큰 태양열 시스템이다. 이 외에도 여러개의 태양열 지역난방시스템이 독일, 덴마크, 스웨덴 등에 설치된바 있다.

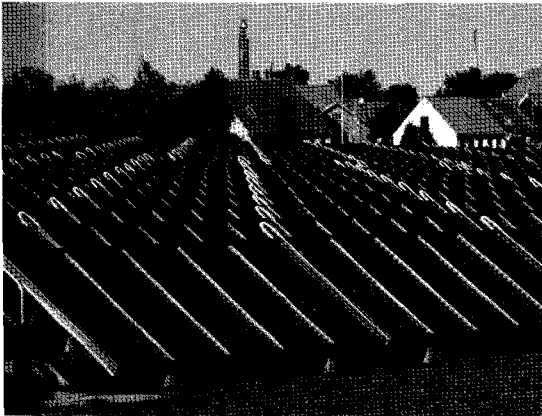
국내에서는 그림 11과 같이 태양열 축열조 없이 평판형과 진공관형 2개 종류의 집열기를 사용하여

직접 태양열 집열기로부터 원하는 온도를 얻는 변유량 항온제어방식의 태양열 지역난방시스템이 분당의 지역난방시스템에 적용되어 운전되고 있다. 이 시스템은 약 60℃ 전후의 지역난방수 환수의 온도를 축열조 없이 설정온도(대략 95 ~ 100℃)로 승온시키는 시스템으로 1차로 평판형 집열기로 승온시킨 뒤 2차로 진공관형 집열기로 원하는 온도까지 승온하는 방식의 시스템이다. 이 시스템은 태양열 축열조가 없기 때문에 시스템이 아주 단순하고 설치비도 줄일 수 있는 장점이 있다.

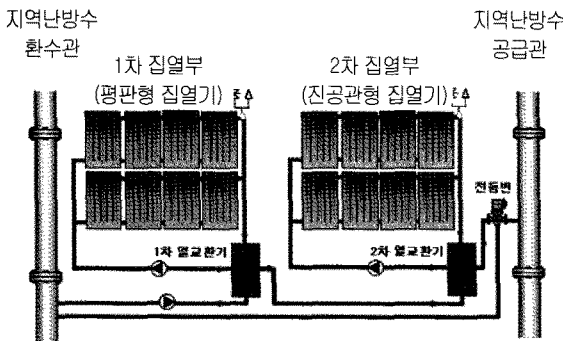
태양열 주상 복합 단지 조성

최근 독일, 오스트리아 등을 비롯한 유럽에서는 신규 주상복합단지를 태양열로 난방 및 급탕을 하는 대규모 태양열 단지가 보급되고 있다. 이미 10여개 신규 단지가 조성되었다. 그 대표적인 것이 독일의 "Solarthermie 2000" 프로젝트로 수행된 것으로 그림 12에 각 단지의 일부분을 나타내었다. 이들 단지는 부하가 적은 하절기에 태양열을 축열할 수 있는 그림 6과 같은 저가의 대규모 용량의 계간축열(Seasonal Storage)조를 가지고 있다. 이들 신규로 조성되는 주거 복합단지에 설계단계부터 Low Energy building과 태양열시스템이 복합된 기술은 에너지 절감 및 건축의장적인 측면에서 성공한 성공 사례로 발표되고 있다.

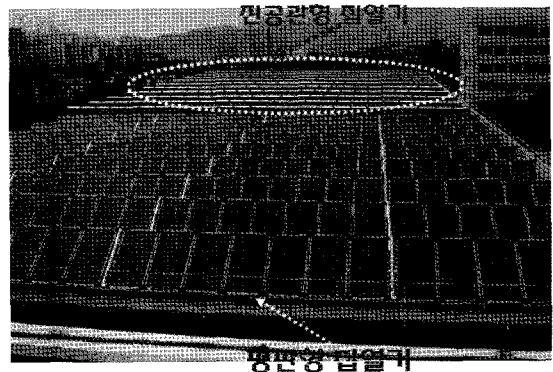
이 사업을 통해 조성된 태양열 단지 1개를 그림 13에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 태양열 시스템은 단지의 주택, 아파트, 학교, 주



[그림 10] 태양열 지역난방 시스템



[그림 11] 축열조가 없는 변유량 정온제어 방식의 태양열 지역난방 시스템(분당)



차장, 상가 등에 분산 설치되었으며, 그림 14와 같이 하나의 시스템으로 통합 운전되고 있다. 부하가 없는 하절기에 여분의 태양열을 계간축열조에 저장하였다가 필요시 사용할 수 있도록 하였다.

기타 태양열 시스템

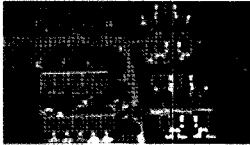
태양열은 전술한 바와 같은 분야에 주로 사용되나 최근에는 다음과 같은 분야에 서의 활용을 위해서도 연구와 시범 적용이 되고 있다.

- 태양열 산업공정열
- 태양열 해수담수화
- 태양열 건조

최근의 태양열 기술개발 동향

2007년도 이후 유럽을 중심으로 신축건물에 신재생 heating 또는 태양열 적용 의무화가 점차 확산되면서 신축 건물을 중심으로 태양열시스템 설치가 크

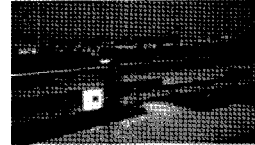
Hamburg (1996)



Friedrichshafen (1996)



Neckarsulm (1998)



Steinfurt (1999)



Rostock (2000)



Hannover (2000)



Chemnitz, 1. stage (2000)



Future (2001+)

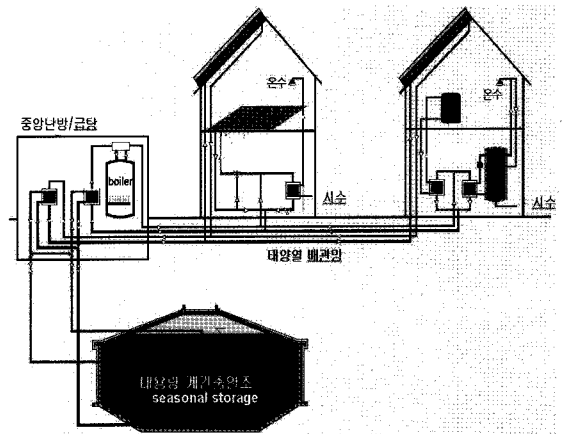
Attenkirchen (hybrid storage)
München
Crailsheim

Solarthermie-2000 Part 3
Solar Assisted District Heating

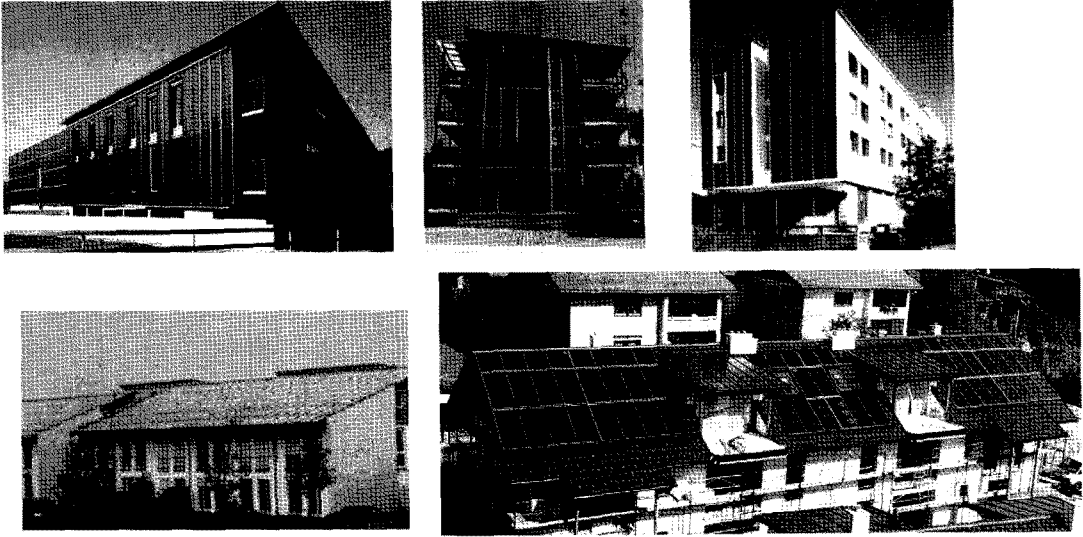
[그림 12] "Solarthermie 2000"으로 보급된 대규모 태양열 단지(독일)



[그림 13] 태양열 지역난방 단지 사진



[그림 14] 태양열 시스템 구성도



[그림 15] 건물일체형 태양열 집열시스템

계 확대되고 있다. 신재생 heating을 의무화 하고 있는 경우 주거건물의 대부분은 태양열시스템(주로 온수급탕용)이 선택되고 있다.

태양열 집열기가 좀 더 건축적인 측면에서 효과적으로 활용될 수 있도록 건물일체형 태양열 집열기가 최근들어 선진국을 중심으로 활발하게 개발 및 적용되고 있다. 그림 15는 건물의 외장재 역할을 하는 건물일체형 태양열 집열기가 설치된 건물을 보여주고 있다. 최근 정부의 그린홈 100만호 보급이 발표되고 또한 선진외국을 중심으로 에너지 자립형 건물에 대한 연구 및 보급이 크게 증가하고 있는 시점에 이러한 연구는 태양열 집열기가 보다 다양한 형태로 건물에 적용되어 태양열 보급 확대에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

최근에는 태양열시스템의 경제성 확보를 위해 폴리머와 같은 신소재를 이용한 폴리머 태양열 집열기 및 시스템의 저가화 연구가 유립을 중심으로 이루어지고 있으며, 일부 저온용 집열기가 개발되고 있다.

태양열시스템 적정 적용분야

태양열시스템을 효율적으로 활용하기 위해서는 다음과 같은 2가지 조건을 만족하는 분야에 적용되어

야 한다.

- ① 년 중 태양열 사용기간이 긴 분야
- ② 가능한 한 저온을 이용할 수 있는 분야

이와 같이 태양열시스템은 2가지 대 원칙 즉, “연간 태양열시스템 사용기간이 길면서 저온으로 집열을 해도 되는 분야”에 적용되는 것이 효과적이라고 할 수 있다. 이러한 분야는 대체적으로 온수를 사용하는 분야이며 고온의 온수를 필요로 하는 분야라도 태양열은 ‘예열(pre-heating)’ 개념으로 사용될 수 있도록 시스템을 설계하고 운전되도록 해야 태양열 시스템 효율이 높아진다. 이러한 이유로 인해 태양열 난방 보다는 태양열 온수급탕 시스템이 더 효과적인 이유이다.

좀 더 구체적으로 태양열시스템을 적용하기에 적정한 분야를 세부적으로 보면 대략 다음과 같다.

- 수영장, 목욕탕, 스포츠 센터 등 온수를 많이 사용하는 상업용 건물
- 골프장의 온수급탕 분야
- 사회복지시설의 온수급탕 시스템
- 기숙사, 연수원, 여관, 호텔 등 숙박시설
- 주택 또는 집단 주거시설의 온수시설
- 지역난방시스템
- 연중 부하가 있는 산업공정열 분야

맺음말

태양열 기술이 재생에너지원 중에서는 비교적 일찍 실용화되었으나 최근 태양광, 풍력 등에 비해 R&D 및 정부 지원정책이 다소 소원해지는 분위기가 있다. 그러나 최근에 기후협약과 관련해서 정부의 에너지 절감목표 달성이 당초와는 달리 어려울 것으로 판단되자 보급효과가 큰 재생에너지원 중심으로 보급방향이 바뀌어야 한다는 목소리가 국내외적으로 다시 일고 있다.

태양열 집열기는 현재 국내에서 6 ~ 7개 업체에서 생산되고 있으며, 이중진공관 집열기가 또한 중국으로부터 수입되고 있는 실정이다. 전문기업으로 등록된 업체는 100여개 이상이 되나, 이 중에서 태양열 시스템 설계 및 시공능력을 갖춘 업체는 소수에 불과한 실정이다.

국내에서 인증된 태양열 집열기나 온수기는 20여 개 모델에 이르고 있다. 인증제품 중에서도 열성능이 약 25% 정도까지 차이가 있을 정도로 열성능 인증기준이 낮으므로 집열기 선정 시 참고하는 것이

좋다. 인증제품에 대한 성적서는 에너지관리공단 홈페이지에서 볼 수 있다.

이미 유럽의 경우 스페인, 독일, 이태리, 프랑스 등의 국가를 중심으로 신축건물에 열부하 (또는 온수 급탕 부하)의 일정부분을 신재생 Heating (또는 태양열)으로 공급하도록 하는 의무화 정책이 시도되고 있다. 이로 인해 가장 보급 증가가 두드러지는 분야 중에 하나가 바로 태양열이다. 우리나라는 이들 국가에 비하면 현재의 시장은 10%도 채 안되고 있다. 따라서 태양열 산업의 시설투자가 거의 이루어지지 않고 있어 제품의 신뢰성 향상에 어려움을 겪고 있으며, 또한 중국의 제품 점유율이 갈수록 증가되고 있어 국내 태양열 산업의 앞날을 걱정하는 이들이 많다. 따라서 비교적 경제성이 좋고 에너지 변환 효율이 높은 태양열시스템과 같은 재생에너지시스템이 많이 보급될 수 있도록 보급정책이 바뀌어야 한다는 의견이 제기되고 있다. 특히 전세계 태양열 시장의 80% 정도를 차지하는 주거용 태양열 온수기(시스템)에 대한 보급지원은 시급한 문제가 아닐 수 없다. ●