

# 태양열 이용기술의 분류 및 현황



● 1950년생  
● 에너지 공학을 전공하였으며, 건물의 열성능 해석 S/W 개발에 관심을 가지고 있다.

전 홍 석

한국에너지기술연구소



● 1951년생  
● 전자공학을 전공하였으며, 자동제어시스템에 관심을 가지고 있다.

김 부 호

한국에너지기술연구소

## 1. 머리말

지구상의 주요 에너지원인 태양에너지의 이용기술은 '70년대 석유파동을 계기로 활발히 연구가 되어왔으나 '80년도 중반에 들어 석유 가격의 안정세로 인하여 현재는 둔화된 실정에 있다.

지구상에 떨어지는 태양에너지의 양은  $173 \times 10^{16}$ GW로서 엄청난 양이다. 이 중 30% 정도는 대기권에서 반사되며, 70%가 대기권내로 들어와 이 중의 약 67% ( $81 \times 10^{16}$ GW)가 직접 열에너지로 변화된다. 이와 같이 막대한 태양에너지를 이용하는 기술을 대별하면 다음과 같이 두 가지로 구분된다.

하나는 집열장치를 이용하여 태양열 에너지를 이용하는 것으로서 건물의 냉난방 또는 온수급탕과 산업공정열 등에 이용되며 다른 하나는 태양광 이용기술로 태양전지를 이용한 광전 변환소자에 의한 전력을 생산하는 것이다.

이 글에서는 태양에너지를 직접 열에너지로 변환하여 이용하는 태양열 시스템에 대하여 논하기로 한다.

태양열의 직접 이용기술은 활용온도에 따라 다음과 같이 분류한다.

(1) 저온활용(低溫活用) : 150°C 이하

1) 온실(溫室) : 40°C 이하

- 2) 온수급탕(溫水給湯 ; water heating) : 30~65°C
- 3) 난방(暖房, space heating) : 자연형 및 설비형
- 4) 냉방(冷房, space cooling)
- 5) 냉난방(冷暖房, space heating and cooling)
- 6) 태양열 취사(太陽熱炊事, solar cooking)
- 7) 태양열 건조(太陽熱乾燥, solar dehydration)
- 8) 태양열 증발(太陽熱蒸發, solar distillation)
- 9) 태양못(太陽못, solar pond) 등
- (2) 중간온도 활용 : 120~315°C
  - 1) 공업용 증기 발생(process steam generation)
  - 2) 태양 엔진(solar engine) 등
- (3) 고온 활용(高溫活用) : 260°C~3,870°C
  - 1) 태양열 발전(solar power generation) : 500°C~1,100°C
  - 2) 일반 공업에의 활용 : 540~1,100°C
  - 3) 금속, 요업에의 활용 : 540~2,200°C
  - 4) 태양로(太陽爐, solar furnace) : 2,200~3,870°C

## 2. 태양열시스템의 정의

태양열 시스템이라 함은 그 구성요소로 집열부, 축열부 및 이용부를 갖춘 시스템을 의미하며 각 부분의 열전달 방법에 따라 다음과 같이 분류된다.

(1) 모두 기계적 강제 순환에 의할 때 이를 설비형(active) 시스템이라 한다.

(2) 모두 비기계적 자연순환에 의할 때 이를 자연형(passive) 시스템이라 한다.

(3) 열전달 방법이 주로 자연 순환 방식에 의하나 약간의 기계적 강제 순환도 첨가한 것을 혼합형(hybrid) 시스템이라 한다.

여기서 기계적 강제순환은 펌프나 송풍기와 같이 외부로부터 다른 에너지를 소모하는 기계적 장치를 사용하여 열을 전달시키는 방식을 말하며, 자연순환은 외부로부터 다른 에너지의 소모 없이 자연적인 현상인 자연대류복사 및 전도에 의해 이뤄지는 방식을 말한다.

## 3. 자연형 태양열 시스템

### 3.1 시스템 개념

자연형 태양열(自然型 太陽熱) 시스템은 각 구성부(집열부, 축열부, 이용부) 간의 에너지 전달방법이 자연순환, 즉 전도, 대류, 복사 등의 현상에 의한 것으로 특별한 기계장치 없이 태양에너지를 자연적인 방법으로 집열, 저장하여 이용할 수 있도록 한 것이다.

자연형 태양열 난방 시스템 구성부의 특성은 다음과 같다.

(1) 집열부는 일반적으로 투명한 남면(南面)의 유리면이다. 유리 이외에도 투명한 플라스틱이나 섬유 유리가 사용될 수 있다.

이때 재료의 선택은 햇빛이나 기타 기후 요소들에 의한 재료의 퇴화 등을 고려하여야 한다.

(2) 축열부의 재료로서는 물 또는 기타 액체 등과 함께 조적 구조(masonry : 콘크리트, 벽

돌, 모래, 타일, 돌 등)도 사용된다.

또한 용융소금이나 파라핀과 같은 상변화 물질(PCM : phase changing material)을 사용하여 축열성능을 높일 수도 있다.

(3) 열의 분배는 전도, 대류, 복사 등과 같은 자연적인 방법에 의하여 이루어지므로 송풍기와 같은 기계장치는 가급적 피한다.

(4) 열 조절을 위해 통기구(vent), 댐퍼(damper), 가동 단열 및 차양장치 등이 부수적으로 사용될 수 있다. 자연형 태양열 시스템은 주로 난방을 위해 사용되지만, 여름철에 과열을 방지하고 냉방효과를 도모할 수 있는 방법이 강구되어야 한다.

자연 냉방 방식에는 자연 통풍, 구조체(構造體)에 의한 냉각 효과, 주야간 개구부(開口部) 개폐, 냉각 공기의 유입, 실내 공기의 야간 냉각, 지중(地中) 냉각효과, 증발효과, 그리고 건습제 등의 이용과 같은 방식들이 있다.

### 3.2 시스템의 분류

자연형 태양열 시스템은 각 구성부 간의 에너지 전달 방법이 자연순환(즉, 전도, 대류 및 복사 현상)에 의한 것이므로 특별한 기계 장치 없이 태양 에너지를 자연적인 방법으로 집열 저장하여 이용할 수 있도록 한 것이다.

이 자연형 태양열 시스템은 태양 에너지를 적용하는 방법에 따라 다음과 같이 구분할 수 있으며, 또한 물리적 분류로 나눌 수도 있다. 유형별 장단점은 표 1과 같다.<sup>(2)</sup>

#### (1) 적용방법상 분류

##### ㄱ) 직접 획득형(direct gain)

남향면의 집열창(集熱窓 ; glazing)을 통하여 겨울철에 많은 양의 태양에너지가 실내로 들어 오게 설계한 형태이다. 실내 바닥이나 벽에 열 에너지로 태양 에너지를 저장하며 야간이나 흐린날에 난방에 이용한다.

실내의 난방이 태양의 직사광에 의하여 직접적으로 이루어지는 방식이다.

##### ㄴ) 간접 획득형(indirect gain)

태양의 열에너지를 별도의 구조물 벽이나

표 1 유형별 자연형 태양열 시스템의 장·단점

유형	장 점	단 점
직접획득 방식	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 일반화되고 비교적 저렴하다.</li> <li>2) 계획 및 시공이 용이하다.</li> <li>3) 창외 재배치로 가능하다.</li> <li>4) 투과체는 다양한 기능을 할 수 있다.</li> <li>5) 축열조가 없어도 된다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 유리창이 넓으므로 프라이버시가 결핍된다.</li> <li>2) 주간에 많은 현휘 현상(glare)을 초래한다.</li> <li>3) 자외선에 의한 직물과 사진의 퇴화 현상이 발생된다.</li> <li>4) 축열체가 구조적인 역할을 겸용하지 못하면 시공비가 비싼편이다.</li> <li>5) 과열 난방이 초래되기 쉽다.</li> <li>6) 야간 단열체 처리를 안 하면 열손실이 많다.</li> </ol>
축열벽 방식	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 현휘와 자외선에 의한 퇴화 현상은 안 생긴다.</li> <li>2) 거주 공간내 온도 변화가 적다.</li> <li>3) 축열된 복사 에너지는 야간에 방출하여 난방시킨다.</li> <li>4) 여러 방식중, 현재 가장 많이 개발된 방식이다.</li> <li>5) 비교적 추운 기후에 유리하다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 남측벽의 일면은 투과체로, 다른 면은 축열체로 된 이중면이어야 한다.</li> <li>2) 벽의 부피가 크고 고가이며 조망이 결핍된다.</li> <li>3) 축열벽은 건물내 유효 공간을 점유한다.</li> <li>4) 추운 기후에서는 야간에 투과체를 단열하지 않으면 열 손실이 많다.</li> <li>5) 가동식 야간 단열재는 고가이며, 현재 기술 상태는 미비하다.</li> </ol>
부착온실 방식	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 인접된 주거 공간의 온도 변화가 적다.</li> <li>2) 채소나 다른 식물을 키울 수 있는 공간이 확보된다.</li> <li>3) 완충 지대의 역할을 하여 건물의 열 손실을 줄인다.</li> <li>4) 자연과 가까이 할 수 있다.</li> <li>5) 기존 건물에 쉽게 적용될 수 있다.</li> <li>6) 온실이 생기므로 건물 디자인은 자연을 도입한 장식적인 공간이 형성된다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 디자인에 따라 열 성능이 크게 다르다.</li> <li>2) 상업적인 가치가 있도록 잘 시공하려면 시공비가 비싸다.</li> </ol>
축열지붕 방식	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 냉방 효과를 건물 전체에 골고루 분배할 수 있다.</li> <li>2) 건물내 온도 변화가 적다.</li> <li>3) 현휘나 자외선에 의한 퇴화 현상은 안 생긴다.</li> <li>4) 냉난방에 모두 효과적이다.</li> <li>5) 온화한 기후에서는 보조난방, 냉방 방식을 고려할 필요가 없다.(사막 기후에 알맞음)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 천장 위 무거운 축열체가 심리적으로 부담스럽다.</li> <li>2) 축열지붕의 면적은 최소한 바닥면적의 50%가 필요하다. 건물 디자인을 보다 세련시킬 필요가 있다.</li> <li>4) 무거운 축열체를 구조적으로 처리하는데 비용이 많이 든다.</li> </ol>
자연대류 방식	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 현휘나 자외선에 의한 직물의 퇴화 현상은 안 생긴다.</li> <li>2) 가장 저렴한 방식이다.</li> <li>3) 국부적인 난방식, 축열조가 꼭 필요치는 않다.</li> <li>4) 기존 건물에 쉽게 적용할 수 있다.</li> <li>5) 열손실이 가장 적은 방식이다.</li> <li>6) 집열기의 부착 설치가 가능하다(retrofit)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 세심한 시공과 기술이 필요하다.</li> <li>2) 축열체의 축열이 직접 이루어지지 못하고 대류 공기에 의하여 이루어지므로 다른 방식보다 나쁘다.</li> <li>3) 건물 및 축열조의 위치를 고려하여 집열기는 하부에 설치하여야 한다.</li> </ol>

물벽에 축열한 다음 자연 순환에 의해 실내의 난방효과를 얻도록 한 방식이다. 즉, 태양과 실내 난방공간 사이에 집열창을 바로 앞에 둔 축열벽을 설치하여 주간에 집열된 태양열이 서서히 방출되도록 설계한 것으로 실내 난방은 태양 에너지의 간접 이용으로 이루어진다. 간접획득형의 대표적인 예로는 트롬벽(trombe wall)과 물벽(water wall)시스템을 비롯하여 지붕수조(roof pond) 혹은 부착형 온실(attached greenhouse) 시스템 등이 있다.

#### ㄷ) 분리 획득형(isolated gain)

집열부 및 축열부를 이용부, 즉 실내 난방공간과 격리시킨 방식을 말한다.

이 방식은 실내로부터 떨어져 있거나 단열된 집열부를 두고 난방이 필요할 때 독립된 대류 작용에 의하여 그 효과를 얻도록 한 것이다.

그러나 실제 건축에서는 이상의 세 가지 방식을 적당히 조합하여 사용하는 경우가 상례이다.

자연형 태양열 주택의 위치는 가능한 대지의 북쪽에 정함으로써 주위의 건물이나 자연 장애물에 의한 태양광의 차단을 피하고 주택 자체는 정남향으로 축조하여 동서를 축으로 길게 연장시켜 좁으므로써 겨울철에 최대한의 일조를 얻도록 하는 것이 좋다

아울러 여름철 냉방 효과도 거둘 수 있도록 자연 냉방(passive cooling) 개념의 도입 활용이 병행되어야만 한다.

#### (2) 물리적인 분류

##### ㄱ) 직접 획득 방식(direct gain)

가장 보편적인 방법으로 태양의 복사열이 생활 공간을 통과해 축열체에 저장된다. 따라서, 생활 공간은 햇빛에 의해 직접 가열되면서 동시에 집열기로서의 역할도 한다. 남향으로 위치하며, 열취득을 목적으로 설계된 집열창이라도 채광, 조망, 외관미 등의 조건을 만족시켜야 한다.

##### ㄴ) 축열벽 방식(thermal storage walls)

간접 획득 방식의 일종인 이 방식은, 생활공

간을 통과한 열을 축열체가 직접 태양으로부터 받아들여서 열에너지를 저장하여 생활 공간으로 전달해 주는 방식이다.

그 기본적인 고려 사항을 보면, 축열벽을 통하여 전달된 열이 실내로 복사될 수 있는 거리는 약 4.5m~6m로서, 실의 길이는 이 거리 이하가 바람직하다. 축열벽은 남쪽에 배치하고, 그늘이 지지 않도록 하며, 축열벽 자체에 요철이 있는 것은 문제가 되지 않지만, 요철에 의해 그림자가 생긴다면 축열효과가 저하될 수 있으므로 주의해야 한다.

##### ㄷ) 부착 온실 방식(attached sun spaces)

거주 공간과 분리된 별개의 공간에 태양 복사 에너지를 받아들여 저장해 두었다가 다음에 분배할 수 있도록 하는 방식으로, 건물의 남쪽에 설치되며, 동서로 긴 형태의 평면을 취하는 것이 보통이다.

실내 바닥 면적에 대한 집열 면적의 비율은 0.3~0.9 정도가 적합하다.

##### ㄹ) 축열 지붕 방식(thermal storage roof)

축열 지붕 방식은 지붕 자체가 집열기의 역할을 하며, 단층 지붕에만 적용 가능하다. 복층 건물일 경우 최상층에만 응용이 가능하나, 건물을 계단식으로 계획한다면 각 층에 이 방식을 적용할 수 있다. 이 방식은 건물 높이에 제한을 받으며 방위나 평면 계획에는 구애받지 않는다. 이 방식은 겨울철 난방뿐 아니라, 여름철의 냉방에도 효과적이다. 난방시에는, 오전 10시~오후 2시 사이에는 지붕에 그늘이 지지 않도록 하여야 한다. 축열 지붕의 깊이는 일반적으로 15~30cm이며, 그 구조체는 150~300kg/m<sup>2</sup>의 하중을 충분히 견딜 수 있어야 한다.

##### ㅁ) 자연 대류 방식(convective loop)

이 방식은 집열부가 받아들인 태양열로 인해 집열부 내의 공기가 가열되면, 자연대류 현상에 의해 온열 공기가 집열부와 거주 공간 또는 배열 공간 대상(암상: 岩床 등)을 순환한다는 원리에 입각하고 있다.

집열부가 거주 공간과 완전히 분리되기 때문

에, 설비형 시스템과 비슷해 보이나 강제 순환 방식(기계사용)을 사용하지 않는다는 점에서 자연형 시스템의 일종이며, 주로 온수 급탕용으로 사용된다.

ㄴ) 혼합형(hybrid system)

## 4. 설비형 태양열 시스템

### 4.1 개요

설비형 태양열 시스템은 태양열을 흡수하는 집열부와 집열된 열을 저장하는 축열부 및 축열된 열을 사용하는 이용부로 구성되며, 기타 순환 시설, 보조 열원 및 제어 장치가 추가로 설치된다. 여기서는 이들 구성부 사이의 열 이동에 있어서 태양열을 제어 가능한 방법으로 집열하고 축열하며, 이용하기 위하여 기계적 설비를 사용한 시스템에 대해서만 언급한다.

태양열을 이용하려면 우선 태양열을 모으는 집열기가 있어야 하고, 그 모은 열을 사용할 곳으로 운반하는 전열 매체를 포함한 순환 시설이 있어야 한다. 또 흐린날이나 밤에 사용할 수 있도록 태양열을 저장하는 축열조가 있어야 한다. 태양열을 모으는 흑색으로 된 흡열판위에 유리 덮개를 씌워 만든 철재 상자를 집열기라 부르며, 흡열판의 열을 전달하는 매체로는 흔히 액체(물) 또는 공기를 사용한다. 전열 매체로 액체를 쓰는 경우에는 그 액체가 통과하는 통로인 파이프를 흡열판에 부착시킨다. 한편 공기를 전열 매체로 쓰는 경우에는 흡열판 밑으로 공기를 통과하게 한다. 액체 또는 공기가 일정한 속도로 흐를 수 있도록 급수 펌프 또는 송풍기를 사용하여 이 전열 매체를 열이 사용될 곳으로 흐르게 한다. 낮에 해가 나는 동안 집열기로 열을 모으고, 열 저장조에는 낮에 모은 열을 밤 또는 흐린날에 쓸 수 있도록 열을 저장한다. 액체식인 경우는 뜨거운 물을 열저장조에 저장하고, 공기식인 경우는 자갈 등을 채운 저장조에 뜨거운 공기를 통과시켜 자갈 등을 뜨겁게 하여 열을 저장하여, 낮에 저장된 열을 야간에 방을 덥히는데 사용한다.

이와 같이 설비형 태양열 시스템은 집열기가 필수적이며 집열기 효율에 따라 시스템 효율에 큰 영향을 미치므로 집열기 선택이 중요한 요소이다. 태양열 시스템 설계자는 어떤 기기를 선정하여, 어떻게 조합하며, 어떻게 제어할 것인가를 고려해야 한다. 태양열 난방 및 급탕 설계자는 위의 방법을 고려하여 시스템의 열적 성능이 최대가 되도록 하여야 한다. 주택 난방에 태양열 이용에 관한 실제적인 연구는 1939년 미국 M.I.T.에서 최초로 광범위하게 수행되었다. 1939년부터 1960년까지 태양열 난방이 가능한 소형 태양의 집 4동이 건설되어 성공적으로 운용되었다.<sup>(1)</sup>

“Hottel and Woertz (1942), Hesselschwert (1950), Engenbretson(1964)” 제일 마지막에 건설된 M.I.T ‘태양의 집 4호’는 연간 난방 및 온수 공급 열 부하의 2/3 정도를 태양열로 대체하도록 설계되어, 두 차례의 난방 기간 중의 열적 성능을 측정하여 보고된 바 있다.

1958년 Lof가 설계하여 건축한 미국 덴버(Denver) ‘태양의 집’은, 열전달 매체를 액체가 아닌 공기를 사용한 것으로, M.I.T ‘태양의 집 4호’와는 태양열 시스템이 근본적으로 다르다.

덴버의 ‘태양의 집’의 성능은 가동 첫째 “Lof et al(1964)”과 1974년부터 1975년까지의 난방 기간 “Ward and Lof(1975)”중에 측정하여 보고된 바 있다. 우리 나라는 주로 평판형 집열기를 이용한 주택의 난방 및 급탕을 위한 태양열 주택이 '90년말 735채에 이르며, 온수 급탕 시설로 10,700기가 설치되어 있다.

한국 동력 자원 연구소에서는 실험용 태양열 주택 5동을 건설하여 그 성능을 평가 분석한 바 있다.

### 4.2 집열기 종류 및 구조

집열기의 종류를 전열 매체의 종류에 따라 구분하면 액체식 및 공기식(空氣式)의 두 가지로 구분된다. 집열기의 집열 방법 및 집열기의 형태에 의해서 구분하면 평판형(flat plate col

lector), 진공관식(evacuated tubular collector), 집중식(concentrating for focusing collector) 등의 집열기가 있다. 태양열 집열기에서의 에너지 전환은 흡열부에 태양 복사 에너지가 흡수되어 이 자체가 가열되면, 곧 열전달 매체에 열이 전달됨으로써 이루어진다.

가용 열에너지는 현열(sensible heat) 또는 잠열(latent heat) 형태로 나타나며 이를 이용하기 위하여 열전달 매체를 자연 순환(natural convection) 또는 강제순환(forced circulation) 시켜준다. 평판형 집열기는 열전달 매체의 취득 온도를 외기 온도 이상 100°C 이하의 범위로 보며, 이 집열기의 장점은 전 일사량, 즉 직달 및 분산 일사 성분 모두를 이용할 수 있다는 점과 태양광을 추적하지 않아도 된다는 점이다.<sup>(3)</sup> 여기에서는 건물의 냉난방 및 온수 가열에 실제로 가장 널리 쓰이는 평판형 집열기로 된 액체식 및 공기식 집열기만을 대상으로 설명한다.

#### (1) 액체식 집열기

액체식 집열기(液體式 集熱器)의 일반적인 크기는 2m×1m×15cm이다. 두 개의 유리 덮개 사이의 간격은 1cm 정도이고, 안쪽 유리 덮개와 흡열판 사이의 간격은 약 2cm이다. 흡열판과 집열기 바닥 사이에는 5~10cm 정도로 단열한다.

흡열판 재료로는 구리나 강철 및 알루미늄 등이 사용된다.

#### (2) 공기식 집열기

공기식 집열기가 액체식과 특히 다른 점은 그 크기와 유체의 흐르는 통로이다. 즉 공기식 흡열판의 경우는 열전달이 잘 되도록 공기가 흡열판의 전 내부표면과 마주 닿으면서 흐르게 되어 있다.

### 4.3 태양열 난방 시스템

#### (1) 시스템 개요

태양열 난방(太陽熱暖房) 시스템은 집열기로 물 또는 공기를 열매체로 하여 태양열을 집열하여, 이열을 직접 실내 공기 가열에 사용하는

것으로서, 집열부, 축열부, 이용부와 기타 순환 시설, 보조 열원 및 제어 장치로 구성되어 있다. 일반적으로 집열기로 얻는 열량과 건물의 난방 부하 및 기타 열 부하는 항상 평형 상태를 이루지 못한다. 따라서 이러한 점을 적절히 조절하기 위한 기계적인 제어 장치가 필요하다.

#### (2) 시스템 종류 및 장·단점

태양열 난방 시스템은 집열계통, 축열계통, 보조열원, 순환제어 계통으로 구분되는데, 경우에 따라 아래와 같이 작동되도록 설계된다.

(가) 태양열의 집열이 가능하고 건물 난방이 필요하지 않을 때는 집열된 열을 축열조에 보낸다.

(나) 태양열의 집열이 가능하고 건물 난방이 필요한 때는 집열기에서 얻는 열을 건물로 공급한다.

(다) 날씨가 흐려 태양열의 집열이 불가능하고, 건물 난방에 열이 필요할 때에는 축열된 열을 건물에 공급한다.

(라) 위의 경우 축열조에 열이 없으면 보조 열원을 작동시켜 건물에 열을 공급한다.

이외에도 축열조에 열이 충분히 축열되고, 건물의 난방이 필요 없을 때, 태양열이 공급되는 경우가 있는데, 이 때는 남은 열을 방출해 버리든가 온수 생산에 이용할 수 있다.

태양열 난방 시스템의 종류는 집열 매체에 따라 액체식과 공기식이 있다. 액체식은 집열 매체를 물이나 부동액을 사용하고 있으며, 공기식은 공기를 집열매체로 사용하고 있다.

일반적으로 공기식은 집열기가 다소 값싸질 가능성이 있고, 동결, 부식의 염려가 없다는 이점이 있으나 집열순환 동력이 매우 크고, 덕트나 축열조 설치에 따른 공간이 크다는 단점이 있다. 액체식 및 공기식 시스템의 장단점은 표 2에 있다. 공기식 시스템이 우수한 경우는 다음과 같다.<sup>(4)</sup>

(가) 단층의 학교, 공장, 창고 등 집열기와 난방실을 인접해서 배치할 수 있고, 태양 의존율을 크게 잡지 않고 축열조 등을 사용하지 않

표 2 액체식 및 공기식 장·단점

항 목	액 체 식	공 기 식	비 고
집열용 순환 동력	적다(100~200W)	많다(0.75~1.5 kW)	집열량 : 15,000kcal/h(max) $\Delta\theta = 10\text{deg}$ 물 : 25LPM $\times$ 10mAq
배관/덕트 지름	적당(32A)	크다(500mm)	공기 : 5,000CMH $\times$ 20mmAq
축열조 용적	작다(10m <sup>3</sup> )	크다(25m <sup>3</sup> )	최대 축열량 100,000kcal 공기식은 용기 코스트가 싸질 가능성이 있다.
배관/덕트 코스트	약간 싸다	약간 비싸다	공기식 집열기는 헤더 부분이 의외로 어느 정도 비싸다.
연결의 위험성	있음	없음	
누수의 위험성	있음	없음	액체식은 누수의 중대 사고가 될 가능성이 있는데 비해 공기식은 특히 위험은 없으나 발견이 곤란해서 효율 저하를 초래할 염려가 있다.
소음·진공	적다	크다	패소음 열 밸런스 계산
급탕 시스템과의 조합	간단함	약간 곤란	공기식에서는 집열기 내에 급탕용 보조 코일을 넣는 것이 좋을 때가 있다.
건물내의 적합성	좋다	나쁘다	

는 경우.

(나) 집열기 및 배관 등의 동파가 우려되는 추운 지방.

(다) 건물 구조상 지붕 밑 등이 간단하게 집열실이 될 수 있는 경우.

액체식 시스템의 장점으로는 열매체가 직접 축열 매체로 사용되므로, 축열조에서의 온도 강하가 없고, 축열조의 부피가 작아진다는 것이다. 반면에 결빙 문제가 제기되며 열교환기가 필요하고, 부식 문제가 발생하는 단점이 있다.

### (3) 액체식 태양열 시스템

이 시스템은 집열 열전달 매체로서 물이나 부동액을 사용하고 축열체로서는 물을 사용한다. 태양열 집열기는 입사된 태양 복사 에너지를 가용 열에너지로 전환하는데 이용된다. 이 에너지는 수조식 축열조에 잠열의 형태로 저장되고, 난방 및 온수 급탕에 열이 필요할 경우

에 공급된다. 결빙기에 태양열 집열기에서의 동파를 방지하기 위하여 자동 배수 방식을 이용하거나 부동액을 열전달 매체로 사용한다.

부동액을 열전달매체로 사용할 경우에는 집열기와 축열조 사이에 액체-액체식 열교환기를 설치한다.

액체-공기식 열교환기는 축열조로부터 건물 내로 난방을 위한 열을 공급하는데 이용된다.

또한 액체식 열교환기를 하나 더 두어 온수 급탕에도 이용된다. 보조 열원은 축열조의 열로써 불충분할 경우에 사용된다. 그 밖에 제어 장치, 압력조절밸브, 펌프 및 배관 등으로써 시스템이 구성된다. 보통 태양열 집열기내 열매체 설계 유량은 집열 면적 1m<sup>2</sup>당 약 0.015 l/sec이다. 축열조 용량은 집열 면적 1m<sup>2</sup>당 50~100l의 수량이다. 태양열 시스템의 성능을 태양열 집열기 면적 1m<sup>2</sup>당 축열 수량이 50l 이상되는 한 집열 성능이 크게 변하지 않는다.

그러나 축열 수량이 지나치게 클 경우 집열 성능은 향상되나, 축열수 온도가 낮아 이용 효과가 감소되므로 그 지방의 기후 조건이나 태양열 기기의 특성에 맞게 설계하여야 한다. 일반적으로 추운 지방이거나 태양열 집열기가 고온용일수록 축열 용량은 적게 하고 더운 지방이거나 저온용 집열기를 사용할 경우에는 축열 용량을 크게 잡는 것이 바람직하다. 축열 난방을 위한 액체-공기식 열교환기는 태양열 시스템의 성능을 지나치게 저하시키지 않도록 설계되어야 한다. 만일 열교환기의 용량이 너무 적으면 축열수의 온도가 필요 이상으로 높아야 하므로 태양열 집열 효율을 저하시키게 된다. 액체식 시스템의 설계 기준은 표 3과 같다.

(4) 공기식 태양열 시스템

이 시스템은 태양열 집열기로부터 더워진 공기가 실내나 축열조로 보내지도록 된 것이다. 집열된 태양 복사 에너지는 더워진 공기에 의하여 자갈을 덥혀 가용 열에너지로 저장된다. 난방이 필요할 경우 태양열 집열기로부터의 열이 불충분하면 자갈식 축열조로 통하여 공기가 순환되어 실내로 열을 공급하게 된다. 보조 열원은 자갈식 축열조의 열이 부족할 경우에 사용된다. 온수 급탕에 필요한 열은 태양열 집열기로부터 나오는 더워진 공기에 의하여 공기-액체식 열교환기로 액체식 태양열 시스템에서와 같이 예열된다. 만일 태양열로서 불충분하면 일반 온수기로 승온하여 급탕하게 된다. 태양열 축열조의 용적은 집열면적  $1m^2$  당  $0.15 \sim 0.35m^3$ 이다. 집열 용량을 최대하고 송풍기의 용량을 최소로 하기 위하여, 자갈의

크기는 지름이  $1 \sim 3cm$ 되는 고른 자갈을 사용한다.

가능한 한 축열조 내에서 먼지 발생을 줄이기 위해서는 공기 여과기를 설치하는 것이 좋다.

이러한 공기식시스템의 장점은 액체식시스템에 비해 집열기에서 결빙 문제를 우려할 필요가 없으며 부식이 적고, 축열조 자체가 열교환기 역할을 하고, 열풍을 열교환기 없이 직접 건물에 주입시킨다는 것이다. 반면에 온수 생산이나 냉방을 겸할 경우 공기의 열전달 계수가 작아 열교환기가 커야 하고, 송풍기의 동력 소비가 크며 축열조에 먼지가 쌓일 염려가 있다는 단점이 있다.

공기식 태양열 시스템의 설계 기준은 표 4와 같다.

(5) 냉방 시스템

태양열 냉방(冷房)에는 주거의 냉방은 물론 음식물의 냉장도 생각할 수 있으며, 무엇보다도 난방 시스템과 병행하여 여름철에는 냉방에, 겨울철에는 난방에 같은 집열기를 공용할 수 있는 시스템이 관심을 끌고 있다. 이에 태양열 냉방 시스템의 시설비가 크므로 가능한 이의 비중을 줄이기 위함이다. 냉방의 방법으로는 태양열을 전기나 기계적인 에너지로 바꾸어 압축을 이용하는 것과 집열기에서 얻은 열로 열펌프(heat pump)를 작동시키는 것, 그

표 3 액체식 시스템 설계 기준

집열 유량(50-50Ethylene Glycol-Water)	$0.015l/s \cdot m^2$
집열기 경사 및 방위각	위도+10°, 남향
집열 열교환기	$F_R \cdot 1F_R > 0.9$
축열 용량	$50 \sim 100l/m^2$
부하 열교환기	$1 < \epsilon \cdot C_{min}UA < 15$
온수 급탕 예열조 용량	온수 급탕기의 1.5~2.0배

표 4 공기식 태양열 시스템 설계 기준

집열 공기 유량	$5 \sim 10l/s^{10}m^2$
집열기 경사 및 방위각	위도+10°, 남향면
축열 용량	$0.15 \sim 0.35m^3$ 자갈/ $m^2$
자갈 크기(지름)	$1 \sim 3cm$
축열기조의 공기 유동 길이	$1.25 \sim 2.5m$
온수 급탕 예열조 용량	온수 급탕기의 1.5~2.0배
압력 강하 축열조	$2.5 \sim 7.5mm A_g$
압력 강하 집열기	$2 \sim 20mm A_g$
압력 강하 배관	$1mm A_g/15mm$
배관 단열	2.5cm Fiberglass
누설	없음



리고 흡수액과 흡수제를 사용하는 흡수법이 있다.

일반 주거 건물의 냉방 방법에는 냉각, 증발, 복사 냉방 등이 있다.

## 5. 온수 급탕 시스템

### 5.1 시스템 개요

현재 태양열 이용에 있어 가장 오랜 역사와 경제성을 갖는 분야는 이미 실용 단계에 와있는 온수 급탕 시스템이다.

태양열 온수 급탕(溫水給湯)에서 요구되는 적정 온도의 수준이 40~60°C 정도의 저온이므로 집열 장치의 가격이 비교적 저가이고 단순하여, 생산 및 설치에 경제성이 높아 다른 태양열 이용 분야보다 온수 급탕 분야가 앞서 있다.

온수 급탕 부하는 1년 내내 필요하고, 다른 태양열 시설, 즉 냉난방보다 시설의 사용시간, 이용률이 높고 설치 및 조작의 단순함 등이 경제성을 높이는 이유이다. 특히, 에너지 절약이라는 측면에서 온수 급탕이 항상 저온의 온수(40~60°C)를 가열하므로, 평균 집열 온도가 낮기 때문에 집열 효과가 높아지므로, 냉난방의 경우와는 달리 흐린날이나 겨울철 같은 때에도 온도가 그다지 높아지지 않더라도 그 만큼의 에너지 절약을 할 수 있다는 장점이 있다.

실용화 단계에 와 있는 온수 급탕 분야는, 이런 적정 온도의 온수에 대한 연중 내내의 필요성과 사용상의 목적이 적절하게 혼합된 결과이다.

이런 의미에서 온수 급탕 시스템은 저온 이용이라는 이점이 설계시 최대한 반영되어 있어야 한다.

### 5.2 시스템 종류

온수급탕 시스템의 종류를 분류하는 데는 여러 관점으로 구분할 수 있으나, 대체로 구분기준을 작동 유체의 순환에 동력의 사용 여부로

자연형(passive) 태양열 온수 급탕 시스템과, 설비형(active) 태양열 온수 급탕 시스템으로 나눈다. 즉, 동력을 사용하여 열 매체나 물을 강제 순환시켜 온수를 얻는 시스템이 설비형 시스템이고, 동력의 사용 없이 비중차에 의한 자연대류를 순환 원리로 하는 시스템이 자연형 시스템이다.

자연형 시스템은 순환 원리 및 작동 유체에 따라 बै치(batch)형 온수급탕기, 자연대류형 온수급탕기, 상변화형(phase change type)온수 급탕기로 분류한다.

설비형 시스템도 순환원리, 즉 순환 회로 구성에 따라 밀폐식 설비형 온수 급탕기, 개폐식 설비형 온수급탕기, 배수식 설비형 온수 급탕기 등으로 분류한다.<sup>(5)</sup>

#### (1) 자연형 태양열 온수 급탕기

##### (가) बै치형 온수 급탕기

배치(batch)형 온수 급탕기(溫水給湯器)는 집열기/축열조형(collector/storage type), 축열조부착형(built-in storage type), 상자형(gread box type), 일체형(integral type) 등으로 불리우기도 하며, 다른 종류의 태양열 온수급탕기보다 오랜 역사를 가지고 있으며, 집열과 축열 기능을 동시에 만족하는 설계 및 제작이 가장 간단한 구조로 각광을 받고 있는 시스템이다.

배치형 온수 급탕기는 태양에 직접적으로 노출된 축열 탱크를 사용한다. 이 탱크는 보온이 되어 있지 않으며, 무광택 흑색 페인트나 선택 흡수막으로 처리되어 집열 기능을 갖는다. 이 시스템은 항상 이중창을 설치하지만, 보다 추운 지방에서는 필름창을 하나 더 설치하여 3중창으로 열 손실 방지 효과를 높인다.

또한 야간 열 손실을 줄이기 위해 단열 덮개를 야간에 덮거나 별도의 축열 탱크에 저장하는 방법 등이 있고, 야간 덮개의 안쪽에는 반사판을 부착하여 주간에 집열 효과를 더욱 높이기도 한다.

##### (나) 자연 대류형 온수 급탕기

자연 대류(自然對流)를 작동 원리로 하는 전

형적인 자연형 시스템이다. 이 시스템의 구조는 평판형 집열기와 그 위에 설치된 축열탱크, 그리고 이 둘을 연결하는 관으로 구성된다.

태양열에 의한 집열기에서의 온도 상승으로 더워진 물은 비중차에 의해 집열기 위의 축열탱크로 상승관을 통해 올라가고, 이 온수는 탱크 하부로 내려가면서 성층화된다. 탱크 하부로 내려오면서 수온이 낮아진 물은 다시 집열기 하부로 들어가 가열되기 시작하는 자연 순환을 반복한다. 순환은 일사가 시작됨과 동시에 시작하여 일사량이 영(0)이 되면 정확하게 정지하며, 이와 같은 외부의 동력 및 제어 장치가 없더라도 순환의 정확성을 갖는 것이 이 시스템의 장점이다.

#### (다) 상변화형 온수 급탕기

이 온수기는 열전달 매체로 상변화 물질을 사용한다. 상변화(像變化) 물질은 배관내에서 부식을 일으키지 않는 물질이며, 일사되는 동안 집열기에서 액체 상태에서 증기 상태로 바뀌어 보다 높은 열을 전달한다.

단열된 탱크가 집열기 위에 있다면, 그리고 단열된 배관이 상향으로 설치된다면, 자연대류형 순환 원리를 갖도록 설계가 가능하다. 그렇지 않을 경우 펌프의 사용이 필요하며, 이 시스템에 사용되는 밸브, 배관재 그리고 펌프 사용시 펌프도 상변화 물질을 위해 특별히 고안된 것들이 사용되어야 한다.

집열기가 태양열에 의해 가열되기 시작하면 액체 상태의 상변화 물질은 증기 상태로 바뀌고, 이것은 비중차에 의해 상승하고, 집열기 위에 설치된 축열 탱크 내의 열교환기를 통과하면서 상변화 물질의 잠열이 물을 데우는 열교환이 일어나며, 이 증기 상태의 상변화 물질은 응축되기 시작한다. 그런 다음 응축된 상변화 물질은 중력에 의해 집열기 하부로 다시 돌아가 순환을 계속한다.

#### (2) 설비형 태양열 온수 급탕기

##### (가) 밀폐식 설비형 온수 급탕기

밀폐식(密閉式) 시스템은 동절기에 외부에 노출된 집열 배관 및 집열기의 동파 방지를 위

하여 집열 매체를 부동액+물(50 : 50)을 사용하여 밀폐 회로를 강제 순환 시키는 시스템으로 부동액 시스템이라고도 한다.

밀폐식 시스템은 열 매체로 부동액을 사용하므로 동파위험이 전혀 없고, 열 매체가 배수되지 않는 시스템이므로 배관 시공시에 구배가 정확하지 않아도 되며, 집열 배관이 밀폐 회로를 구성하므로 순환 펌프의 부하가 적어 전력 소모가 적은 장점이 있다. 반면 열매체가 부동액이므로 부동액 구입 및 열교환 코일 설치로 인한 초기 투자비가 많이 들며, 배관 누수시에는 오염의 위험 및 부동액 보충으로 인한 유지 관리비가 많이 드는 단점이 있다.

##### (나) 개폐식 설비형 온수 급탕기

개폐식 시스템은 동절기에 외부의 집열 배관 및 집열기의 동파를 방지하기 위하여 집열기 하단부의 온도 감지로 동파 위험 온도에 달하면, 자동 배수 밸브를 작동시켜 열 매체를 배수하는 시스템이다.

이 시스템은 열교환 코일 및 팽창조가 필요 없으며, 초기투자비가 적게 들고, 축열조에서 직접 열교환이 되므로 시스템 효율이 높은 장점이 있다. 반면에 자동 배수 밸브에 의한 배수로 동파를 방지하므로 정확한 온도 감지가 필요하고, 집열 매체가 배수되는 시스템이므로 배수가 잘 되도록 집열 배관의 정확한 구배를 요하며, 개방 회로로 인한 순환 펌프의 많은 부하로 전력 소모가 많아진다.

##### (다) 배수식 설비형 온수 급탕기

배수식(排水式) 시스템은 동절기에 집열배관 및 집열기의 동파를 방지하기 위하여, 배수 저장조를 축열조 하단에 따로 두어, 집열 순환 펌프가 정지되면 집열 매체가 배수 저장조로 배수되도록 한 시스템이다.

이 시스템은 집열 순환 펌프가 정지되면 열매체가 배수되므로 동파 위험이 비교적 적고, 열매체로 물을 사용하므로 유지비가 적게 든다. 그러나 열매체가 배수되는 시스템이므로 펌프 부하가 많이 걸려 전력 소모가 많고, 집열 배관의 정확한 구배가 필요하며, 동절기에

펌프 정지시 열매체 배수로 인한 집열효율 저하, 축열조 열교환 코일 및 배수 저장조 설치로 인한 초기 투자비가 많이 드는 단점이 있다.

(라) 공기식 설비형 온수 급탕기

집열기에서 데워진 공기는 팬(fan)에 의해 강제 순환 된다.

공기식 시스템은 공기-액체(물) 열교환기에 의해 열교환을 하며, 동파나 부식의 문제점이 없는 장점이 있다. 이 시스템에 사용되는 배관은 액체식 시스템의 배관보다 커야 하며, 기밀에 세심한 주의를 요한다. 그리고 이 시스템을 작동하는 데는 보다 많은 운영비가 드는 것이 단점이다.

## 6. 맺 음 말

'70 년대에 석유파동을 겪으면서 국내에서는 태양에너지 이용기술 개발의 필요성을 인식하여 비상한 관심을 갖고 태양에너지 연구소를 설립하는 등 대체에너지 개발에 박차를 가해왔다.


그러나 '80 년대 중반 이후 유가의 지속적인 안정으로 기술개발 투자가 점차 둔화되고 있는 실정이다.

'90년대 중반에 예상되는 고유가 시대와 작년의 걸프사태와 같은 돌발적인 사태에 기인한 유가 불안정 요인은 우리 나라와 같은 석유자원이 전무한 상태에서는 매우 충격적인 일로

받아들여 지고 있다. 그 뿐 아니라 화석연료의 사용 증가에 따른 지구온난화 현상 및 환경보전 문제가 크게 부각되고 있는 현상에서 태양에너지 이용기술 개발은 장기적인 계획 하에 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

이와 같은 주변환경의 변화와 에너지 공급의 안정화를 위해서도 새로운 자세와 정책적인 기술개발 투자 및 지원을 강화해야 할 것이다. 태양열 이용기술 중 일부 실용화된 분야는 적극적인 보급 활성화가 이루어지도록 지원을 해야하며 기술개발을 위한 연구비를 선진국 수준으로 높여야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- (1) Duffie J.A. and Dechman, W.A., 1980, "Solar Engineering of Thermal Process", John Wiley and Sons Inc., New York.
- (2) 오정무, 조일식, 강대호, 강용혁, 전명석, 1986, "자연형 태양열 시스템 개발" 동력자원연구소 보고서.
- (3) 이종호, 김부호, 백남춘, 정 모, 1984, "설비형 태양열 시스템 개발" 동력자원연구소 보고서.
- (4) 차종희, 김은일, 유제인, 1981, "태양열 난방설계" 교문사.
- (5) 태양에너지학회, 1991, "태양에너지 핸드북", 태림문화사. 

附 錄  
국내 태양에너지 보급 현황

구 분		연 도	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	計	
태 陽 說	住宅		4	21	154	247	254	20	22	1	—	30	—	—	—	753	
	給湯施設		—	76	67	658	171	303	145	365	754	1,095	1,848	2,265	2,953	10,700	
	其他給湯		2	6	30	18	25	17	11	11	4	11	9	16	14	174	
	○官舍		—	—	5	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	7	
	○公衆		—	—	5	2	11	6	1	3	—	5	4	8	—	45	
	木浴湯		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	○골프場		—	—	1	—	—	2	6	4	3	4	2	3	9	34	
	○派出所		—	—	5	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	
	○養蠶場		—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	1	2	5
	○콘도		—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1	
	미니엄		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	○其他		2	6	14	14	10	8	4	4	1	2	3	4	3	75	
	小計		6	103	251	923	450	340	178	377	758	1,136	1,857	2,281	2,967	11,627	
	熱 說	住宅		—	1	1	24	32	10	290	172	—	—	64	—	—	594
學校教室			—	—	33	25	111	100	133	258	366	388	156	99	6	1,675	
其他			—	—	—	—	—	—	2	9	—	10	13	10	2	46	
小計			—	1	34	49	143	110	425	439	366	398	233	109	8	2,315	
計		6	104	285	972	593	450	603	816	1,124	1,534	2,090	2,390	2,975	13,942		
太 陽 光	有人燈臺		—	—	—	—	—	—	2	2	2	2	2	1	1	12	
	無人燈臺		44	8	48	66	32	65	63	17	22	62	40	10	—	477	
	電話電源		—	12	10	10	48	105	169	72	31	122	226	269	465	1,539	
	雨量測定		45	33	—	—	—	—	—	5	17	35	—	35	11	181	
	其他		—	—	1	2	2	—	9	81	1	2	7	27	2	134	
	小計		89	53	59	78	82	170	243	177	73	223	275	342	479	2,343	
容量W		609.4	408.4	5,305.8	6,757.8	6,120	16,336.2	50,742.4	42,110	155,562	86,556	132,050	95,465	170,483	768,506		
合 計		95	157	344	1,050	675	620	846	993	1,197	1,757	2,365	2,732	3,454	16,285		