

## 太陽에너지 活用研究

### Ⅱ. 太陽熱暖房과 冷房, 太陽蒸發器, 溫室 및 太陽熱乾燥

朴 元 勳·李 時 雨·朴 源 燾

韓國科學技術研究所

## Solar Energy Utilization

### Part Ⅱ. Solar Space Heating and Cooling, Solar Still, Greenhouse, and Solar Dehydration

Won-Hoon Park, Shi-Woo Rhee, and Won-Hee Park

*Korea Institute of Science and Technology, Seoul 132, Korea*

## 要 約

第1報의 平板集熱器와 太陽熱溫水器에 이어 이번 第2報에서는 太陽에너지의 低溫活用으로서 가장 脚光을 받고 있는 太陽熱에 의한 住居 暖房 및 冷房, 淡水生産을 目的으로 한 太陽蒸發器, 農産業에의 應用인 溫室 및 太陽熱乾燥에 대하여 研究開發의 側面에서 現況을 紹介한다. 이들 分野에 대한 활발한 研究結果로 太陽熱暖房과 太陽蒸發器는 그 經濟性이 立證된 地域이 많다. 溫室은 熱損失을 줄이기 위한 效果的 熱管理에, 太陽熱乾燥에 있어서는 經濟的 시스템開發에 研究가 集中되고 있다. 우리나라에서도 實用性이 큰 위와 같은 分野의 研究가 先行되어야 한다. 太陽熱冷房은 아직 技術的인 可能性을 試驗하는 段階에 있다.

## Abstract

Solar residential heating and cooling, solar stills producing potable water, greenhouse and solar dehydration as agricultural applications are reviewed with an emphasis on similar R & D activities in Korea. These phases of solar energy utilization at low temperature are considered the most attractive as practical means. Solar space heating and solar stills are already in operation in many localities competing with conventional methods. As for greenhouse and solar dehydration research efforts are concentrated on effective energy management by reducing heat loss and cost-effective system development, respectively. Technical details of solar space cooling are still under tests. Solar energy utilization at high temperature will be reviewed in part Ⅲ of this series.

## 1. 太陽熱暖房 (Solar Space Heating)

住居의 暖房은 溫水生産 시스템을 확대한 것이라 생각할 수 있으나 아직까지는 개인 또는 研究機關에서의 實驗段階에 머물러 있고 經濟적으로도 일부 地域의에는 實用化에 未洽하다고 볼 수 있다. 太陽熱暖房에 관한 연구는 오래전부터 世界各國에서 遂行되었고 많은 종류의 太陽의 집 (Solar house) 이 建築되었으나 문헌상에 널리 알려진 例만을 소개 하기로 한다.

1938년 美國의 MIT大學에서 太陽熱暖房에 관한 研究가 시작되었고 1950년에는 이에 대한 심포지움이 있었으며<sup>SH1)</sup> 이 研究의 일환으로 네체의 太陽의 집이 세워졌다. 이중 두번째의 太陽의 집은 集熱器와 蓄熱槽가 複合된 형태로 建物の 남쪽 수직벽이 集熱器 역할을 한다.<sup>SH5)</sup>

이러한 形態는 겨울철에 太陽빛을 많이 받을 수 있으며 프랑스의 오테이오 지방에도 이 形態의 집이 세워졌다.

네번째의 太陽의 집은 마사츄세츠의 렉싱턴에 지어졌는데 集熱器와 蓄熱槽에서 熱媒體로 물을 사용하였다.<sup>SH3, 4)</sup>

1961년에는 UN의 새로운 에너지 資源에 대한 모임에서 여러 地域의 氣候에 맞게 設計된 太陽熱暖房시스템에 대한 發表가 있었다.<sup>SH2)</sup>

아리조 나 의 사막에는 자갈을 利用한 蓄熱槽와 공기를 熱媒體로 하는 太陽의 집이 세워졌고<sup>SH6)</sup> 역시 같은 방식으로 Löf는 콜로라도의 덴버에 太陽의 집을 짓고 居住하였다<sup>SH7, 9)</sup>. Böer 등은<sup>SH10)</sup> 델라웨어의 뉴아크에 太陽의 집을 세웠는데 이 시스템은 集熱板의 일부를 光電池 使用에 할당하였다.

오스트레일리아에서도 熱媒體로는 공기, 蓄熱媒體로는 자갈을 利用한 太陽의 집이 조업중에 있으며<sup>SH9)</sup> 韓國科學技術研究所에서도 이러한 太陽의 집을 建築中에 있다. 이 章에서는 太陽熱暖房 시스템의 種類, 設計, 操業 및 經濟性에 대해 記述하기로 하고 暖房 및 冷房을 同一한 시스템으로 共用할 수 있는 경우에 대해서는 다음 章에서 記述하기로 한다.

## 가. 暖房시스템의 種類

太陽熱暖房 시스템은 集熱系統, 蓄熱系統, 補助熱源, 循環·制禦系統으로 구분되는데 경우에 따라 아래와 같이 作動되도록 設計된다.

첫째 : 太陽熱이 비추고 있고 建物 暖房이 必要하지 않는 때는 얻어지는 熱을 蓄熱槽에 보낸다.

둘째 : 太陽熱이 비추고 建物 暖房이 必要한 때는 集熱器에서 얻는 熱을 建物로 供給한다.

셋째 : 太陽熱이 비추지 않고 建物 暖房에 熱이 必要하며 蓄熱槽에 熱이 있는 경우 蓄熱槽의 熱이 建物에 供給된다.

네째 : 위의 경우 蓄熱槽에 熱이 없으면 補助熱源을 作動시켜 建物에 熱을 供給한다.

이외에도 蓄熱槽에 熱이 飽和되고 建物の 暖房에도 熱이 必要없으며 太陽熱은 供給이 되는 경우가 있겠는데 이때는 남은 熱을 放出해 버리든가 溫水生産에 利用할 수 있겠다.

使用하는 熱媒體에 따라 太陽熱暖房시스템을 다음과 같이 나눌 수 있다.

### (1) 溫風暖房 시스템

溫風暖房 시스템의 系統圖는 그림 1과 같다. 熱媒體는 空氣이며 蓄熱槽는 자갈로 채워져 있다. 空氣는 集熱器에서 加熱되어 蓄熱槽 혹은 建物에 供給되며 送風機에 의해 建物안의 空氣

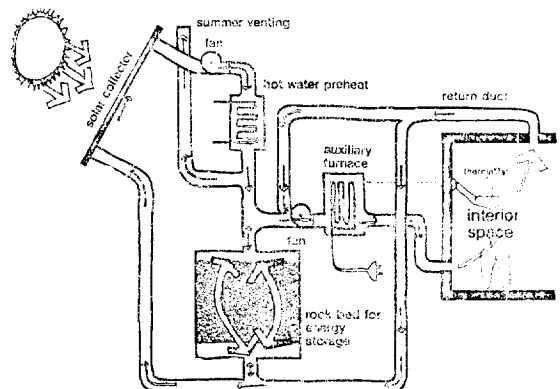


그림 1. 溫風暖房시스템 GR12)

는 蓄熱槽나 集熱器로 循環된다. 集熱器나 蓄熱槽에서 얻는 熱이 暖房負荷에 미치지 못할 때는 補助熱源이 作動한다. 이러한 溫風 시스템의 長點은 溫水 시스템에 비해 集熱器에서 結氷문제를 우려할 필요가 없으며 腐蝕이 적고 蓄熱槽 자체가 熱交換器 역할을 하고 熱風을 熱交換器없이 직접 建物에 주입시킨다는 것이다. 반면에 溫水生産이나 冷房을 겸할 경우 空氣의 熱傳達係數가 작아 熱交換器가 커야해서 가치가 없고 送風機의 動力 소비가 크며 蓄熱槽에 먼지가 쌓일 우려가 있다는 短點이 있다.

溫風 시스템을 이용한 예가 Löff에 의해 콜로라도의 덴버에 세워진 太陽의 집이다<sup>SH7, 8)</sup>. 이 집은 1층 바닥 面積이 195m<sup>2</sup>이고 地下室 面積이 102m<sup>2</sup>이며 外氣溫度가 -18°C, 風速이 3.9m/sec 일 때 暖房負荷가 27,350kcal/hr 이다. 이 太陽의 집의 集熱器는 Overlapped glass plate形態<sup>SH12)</sup>로서 55.7m<sup>2</sup>의 面積이고 45°角도로 기울어져 있다. 蓄熱槽는 3cm 정도 직경의 자갈 10,640kg을 직경 0.91m, 높이 5.5m의 원통 2개에 담아 만들었고 이 자갈의 比熱은 0.18kcal/kg·°C 이다. 1959년 建築된 이래 현재까지 정상 조업을 하고 있으며 전체 暖房負荷의 25% 정도를 太陽熱로 충당하고 있어 經濟的 規模인 50~75%에 미달하고 있다.

## (2) 溫水暖房 시스템

溫水暖房 시스템의 간단한 系統圖는 그림 2와 같다. 이 그림은 結氷문제가 제기되어 不凍液을 사용한 경우이고 이러한 문제가 없을 때는 集熱

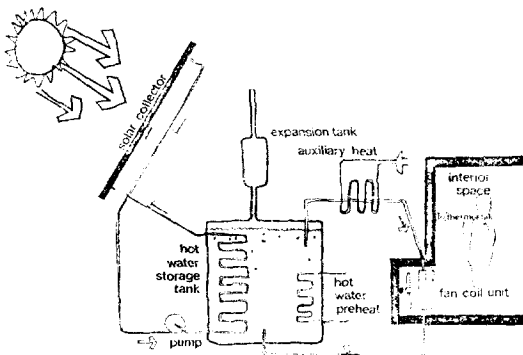


그림 2. 溫水暖房시스템<sup>GR12)</sup>

器에서 데워진 물이 직접 蓄熱槽에 混入된다.

이 시스템의 長點은 熱媒體가 직접 蓄熱媒體로 사용되므로 蓄熱槽에서의 溫度降下가 없고 蓄熱槽부피가 작아지며 溫水生産이나 吸收冷房法에 利用이 비교적 쉽다는 것이다. 또한 펌프의 動力도 적게 소모된다. 반면에 結氷問題가 제기되며 建物에 熱을 傳達하기 위해 熱交換器가 필요하고 腐蝕問題가 있다.

이 시스템을 利用한 예가 MIT 太陽의 집의 네 번째 경우이다<sup>SH3, 4)</sup>. 이 집은 1959년에서 1960년 그리고 1961년의 조업자료가 나와있다. 이 建物은 2층으로 총 面積이 135m<sup>2</sup>이고 集熱器 面積은 59.5m<sup>2</sup>으로 지면과 60° 각도로 남쪽을 향하고 있다. 集熱器는 鐵의 含量이 적은 두장의 유리 덮개와 검은 철을 한 알루미늄板, 그리고 吸熱 튜브는 구리로 되어 있고 그 끝은 空白과 유리 솜으로 斷熱된 形態이다. 蓄熱槽는 5,670kg의 물을 담을 수 있고 補助熱源은 油類를 使用하며 暖房의 조절은 建物의 溫度를 測定해 建物쪽 熱交換器로 보내는 溫水의 量을 制禦하므로써 이루어 진다. 이밖에도 必要한 溫水를 60°C로 얻는다.

이 太陽의 집의 1960년 10월에서 61년 3월까지의 조업상태를 보면 暖房에 필요한 총 熱量이 16.8×10<sup>6</sup>kcal이고 溫水生産에 필요한 熱量이 4.2×10<sup>6</sup>kcal인데 이중 57% 정도를 太陽熱로 충당하였다.

## 나. 시스템 設計

### (1) 暖房負荷의 계산

暖房시스템 각 부분의 크기를 정하려면 建物의 暖房에 必要한 熱量인 暖房負荷를 計算하여야 한다. 暖房負荷를 計算하기 위해서는 建物의 각 부분을 통한 熱損失을 구해야 하는데 가장 간단한 方法이 degree-day 모델로 建物의 暖房負荷는 고정된 室內의 適正溫度와 (보통 18°C) 外氣溫度와의 差로 결정된다<sup>SH13)</sup>. 우리나라에서도 관상대의 資料로부터 이 degree-day를 구한 예가 있다<sup>SH14)</sup>.

Butz는 建物의 각 부분의 熱容量과 유리창, 日射量, 바람의 속도, 建物內에서의 熱發生量 등

으로 計算하였다<sup>SH15)</sup>.

이외에도 각 시간마다의 氣候변화로 부터 컴퓨터를 이용해 計算하는 경우도 있다.

### (2) 集熱系統

集熱器의 設計에 있어서는 地面과의 傾斜角, 유리덮개의 갯수, 面積등을 정하여야 한다. 傾斜角의 最適値는 太陽熱暖房의 경우 그 지방 緯度에 10~20°를 더한 값으로 나타나고 있다<sup>SH16)</sup>. 유리덮개의 갯수는 溫帶地方에서는 두개, 亞熱帶地方에서는 하나, 寒帶地方에서는 셋이 最適値로 나타나고 있다<sup>SH16)</sup>. 集熱器의 面積을 計算하기 위해서는 여러 資料가 필요한데 우선적으로 필요한 것이 太陽의 日射量이며 보통 한달의 平均値를 구한다. 또한 日射量중에 直射日光과 間接日光이 차지하는 분량, 集熱器의 傾斜와 계절에 따르는 太陽의 高度에 대한 補正係數, 集熱器의 効率, 建物の 暖房負荷중 太陽熱로 充당할 양 등을 결정해야한다. 이에 대한 計算의 예는 문헌 (SH12)에 나와 있다. 여기에서 集熱器의 面積이 나오면 年中 각 달마다 太陽熱로 充당할 수 있는 熱量을 計算하여 실제 暖房負荷보다 적은 경우는 補助熱源으로 보충한다. 集熱器의 效率는 製品을 만드는 회사에서 資料를 제시하며 그들 나름대로의 設計方法을 내놓기도 한다. 또한 이제까지의 여러 資料로 부터 集熱器 面積의 最適値는 建物바닥 면적의 1/3~2/3로 나타나 이를 近似的으로 이용할 수도 있겠다.

### (3) 蓄熱系統

蓄熱槽는 斷熱된 容器에 溫水暖房의 경우에는 물, 溫風暖房의 경우는 자갈등을 이용하고 때로는 熔融鹽을 이용하기도 한다. 물을 쓸 경우는 材料費가 적게 들고 裝置의 부피가 작다는 長點이 있고 자갈의 경우는 담아두기 쉽고 그 자체가 熱交換器의 역할을 한다는 長點이 있다. 蓄熱槽의 부피는 자갈의 경우 集熱器 面積당 0.17~0.26m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> 이 보통이며 물의 경우는 0.05~0.075m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> 정도이다. 熔融鹽의 融解熱을 이용하는 경우는 물을 이용하는 것보다 더 부피가 작아질 수 있으나 이에 대해서는 앞으로의 연구가

필요한 상태이다.

### 다. 太陽熱 暖房의 經濟性

太陽熱 暖房의 경우 設置費 및 維持費를 計算하고 在來의 燃料로 暖房할 때와 비교하여 그 妥當性을 檢討하는 것과 經濟的으로 最適인 集熱器 面積을 하는 것이 중요하다.

太陽熱 暖房의 특징은 初期 設備投資가 큰 대신 燃料費가 節約된다는 것이므로 在來의 燃料를 使用하는 경우와 비교하려면 이 初期 設備投資를 裝置의 수명을 고려하여 1년 단위의 投資로 換算하여 비교하는 것이 合理的이다.

그 換算하는 式은 다음과 같다<sup>SH12)</sup>.

$$C_h = C_{h, tot} \cdot CRF$$

$$CRF = \frac{i(i+1)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$C_h$  : 1년 단위로 換算한 設備投資

$C_{h, tot}$  : 初期 設備投資

$i$  : 年金利

$n$  : 裝置수명의 期待值, 年

단 이 式에서는 材料費의 上昇이나 貨幣價値의 변동은 고려하지 않은 것이다. 예를 들어 20年 수명에 8%의 利率을 제산하면 CRF는 0.102가 되고 여기서 구한  $C_h$ 에 每年 所要되는 維持費와 補助燃料費를 합한 것이 太陽熱暖房에 필요한 1년 비용이 되겠다. 一例로서 美國의 Albuquerque에 設置된 太陽의 집의 經濟性 分析에 대한 Butz의<sup>SH17)</sup> 計算을 소개하였다. 이 太陽의 집의 設計 資料와 각 부분의 가격은 표 7과 같다. 실제로 이 집은 溫水暖房시스템으로 暖房, 溫水生産 및 冷房을 동시에 할 수 있게 設計된 것이나 여기서는 暖房 및 溫水生産 시스템에 관한 結果만 記述하고 冷房을 겸한 경우는 다음 章으로 미루겠다.

여기에서 裝置수명은 20年, 年金利는 8%로 잡았다.

이 建物の 暖房負荷 32,300KJ/degree°C-day에 대하여 실제 1년간의 暖房 및 溫水生産에 필요한 熱量은 88.5×10<sup>6</sup>KJ이었다.

集熱器의 값과 燃料費는 地域 및 時間에 따라 달라지므로 集熱器의 가격 ( $C_c$ )을 \$20/m<sup>2</sup>,

표 1. Albuquerque 태양의 집의 設計資料

形 態	: 平板集熱器를 利用한 溫水暖房시스템
集熱器의 面積	: 13.9, 32.5, 60.4, 88.3m <sup>2</sup>
蓄熱槽의 크기	: 61.0 l/m <sup>2</sup> 集熱器面積
集熱器의 傾斜度	: 40°
建物の 바닥面積	: 167m <sup>2</sup>
緯 度	: 35°N
暖房負荷	: 32,300KJ/degree°C-day
蓄熱器의 가격	: \$ 0.132/l
配管, 펌프, 制禦裝置등의 가격	: \$ 250

\$ 40/m<sup>2</sup>, \$ 60/m<sup>2</sup>로 변화시켰고 燃料費는 (C<sub>F</sub>) \$ 2/10<sup>6</sup>KJ, \$ 4/10<sup>6</sup>KJ, \$ 6/10<sup>6</sup>KJ로 在來의 燃料費를 기준으로 해서 변화시켰다.

太陽熱 暖房費를 計算할 때 集熱器와 蓄熱槽, 그밖에 파이프, 펌프, 制禦器 등의 가격을 포함시키고 약간의 動力費인 維持費는 무시하였다. 集熱器의 面積에 따라 補助熱源으로 充當해야 할 量이 달라지는데 이 부분은 在來의 燃料費로 計算하였으며 補助熱源을 供給하는 裝置費는 在來

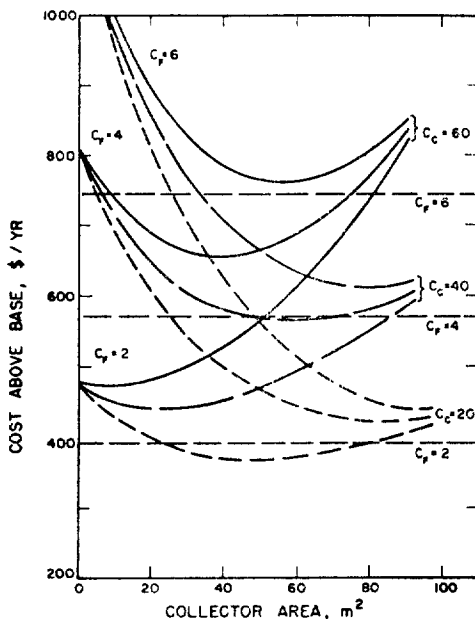


그림 3. 集熱器 面積에 따르는 Albuquerque 태양의 집 暖房費.

C<sub>F</sub>; 燃料가격 \$/10<sup>6</sup>KJ

C<sub>C</sub>; 集熱器가격 \$/m<sup>2</sup>

의 燃料만을 쓰는 경우와 같다고 보아 양쪽 모두 제외하였다.

이렇게 해서 구한 結果가 그림 3에 圖示되어 있다.

점선으로 수평으로 圖示한 것은 각각 \$ 2.0/10<sup>6</sup>KJ, \$ 4.0/10<sup>6</sup>KJ, \$ 6.0/10<sup>6</sup>KJ 가격의 燃料만으로 1년 동안 필요한 熱量을 充當하였을 때 드는 비용이며 각 곡선은 주어진 集熱器의 가격과

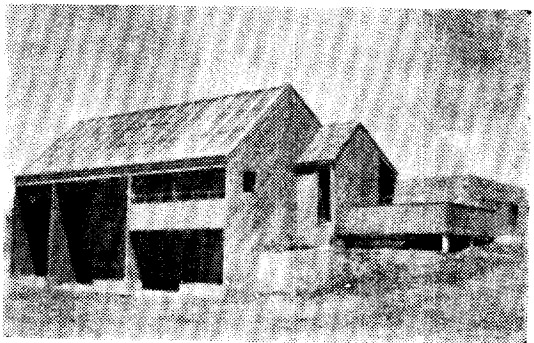


그림 4. 美國에서 建築된 태양의 집의 代表的인 例  
上: Denver house

中: MIT house

下: Colorado State University house

燃料費에 대한 太陽熱 暖房時의 비용이다. 예를 들어 燃料값이  $\$4.0/10^6\text{KJ}$ 이고 集熱器의 값이  $\$40/\text{m}^2$ 일때는 集熱器의 面積이 5에서  $58\text{m}^2$ 일때 太陽熱暖房이 經濟性이 있게 되고 集熱器의 面積이  $20\text{m}^2$ 일때 비용이 가장 적게 드는 最適置로 나타난다. 또한 燃料값이  $\$2.0/10^6\text{KJ}$ 일때는 集熱器의 값이  $\$40/\text{m}^2$ ,  $\$60/\text{m}^2$ 일때 모두 經濟性이 맞지 않으며 集熱器의 값이  $\$20/\text{m}^2$ 일때만  $5\text{m}^2$ 에서  $40\text{m}^2$ 사이의 集熱器面積에 대해 經濟性이 맞게 된다.

이러한 資料는 氣候條件이 다르고 여러 價格與件이 다른 지역에서 마찬가지로 적용되는 것은 아니며 그 地域의 條件에 따라 이러한 方式의 計算이 수행되어야 그 地域에 맞는 經濟性 평가를 할 수 있을 것이다.

참고로 그림 4에 美國에서 建築된 太陽의 집의 代表的인 例를 실었다.

## 2. 太陽熱冷房(Solar space cooling)

太陽熱冷房은 太陽熱에 의한 溫水生産이나 暖房보다는 研究資料의 蓄積이 적은 편이며 吸收空氣調和(absorption air conditioning)에 太陽熱을 利用하는 기술적 可能性을 검토하는 研究가 주로 행하여 졌다.

太陽熱冷房에는 住居의 冷房은 물론 음식물의 冷藏도 포함시켜 생각할 수 있으며 무엇보다도 暖房시스템과 결하여 여름철에는 冷房에, 겨울철에는 暖房에 같은 集熱器를 共用할 수 있는 시스템이 관심을 끌고 있다. 이는 太陽熱 冷房 시스템의 施設費가 크므로 可能한한 이의 比중을 줄이기 위함이다.

冷房의 方法으로는 太陽熱을 電氣나 機械的인 에너지로 바꾸어 壓縮을 이용하는 것과 集熱器에서 얻은 熱로 heat pump를 作動시키는 것, 그리고 吸收液과 吸收劑를 使用하는 吸收法이 있다. 첫번째 경우는 在來의 冷房시스템과 동일하므로 생략한다.

## 가. 吸收冷房 시스템(Absorption cooling system)

吸收冷房은 作動方法에 따라 다음과 같이 구분된다.

### (1) Continuous absorption cooling

이 시스템은 集熱器에서 얻은 熱을 蓄熱槽로 循環시켜 使用하는 것으로 그 系統圖가 그림 5에 圖示되어 있다.

平板集熱器에서 얻을 수 있는 溫度인  $80^\circ\text{C}$  정도에서 操業할 수 있는 시스템 중 실제로 利用되는 것은  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  시스템으로 absorber와 condenser에서 冷却水가 필요하므로 冷却塔가 있어야 한다.

集熱器에서 얻어진 熱은 물을 媒體로 하여 蓄熱槽에 循環되고 蓄熱槽의 데워진 물은 建物の 冷房에 필요한 양에 따라 generator로 보내져 冷房시스템의 熱源으로 쓰이게 된다. 集熱器에서 얻어지는 더운 물로 作動하는  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  冷房시스템에 관한 연구는 美國의 위스콘신 大學에서 遂行되었으며<sup>SC1)</sup> 곧 이어 Duffie 등에 의해 設計變數들과 作動條件이 研究되었다<sup>SC2)</sup>. 오스트레일리아에서는 實驗室 규모의 집을 지어<sup>SC3)</sup> generator와 absorber 사이의 熱交換器의 設計, 冷却水の 溫度, generator의 設計에 대해 研究하였다.

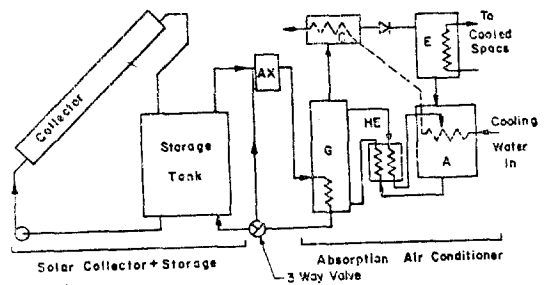


그림 5. 太陽熱을 이용한 absorption cooling 시스템  
SH11)

AX; auxiliary heater      E; evaporator  
G; generator              A; absorber  
C; condenser              HE; heat exchanger

Chinnappa는<sup>SC4)</sup> LiBr-H<sub>2</sub>O 냉房 시스템을 콜롬보에서 操業하여 建設費등을 計算하였다.

Lauck 등은<sup>SC5)</sup> 吸收冷房시스템의 조업에 대하여 特定한 氣候條件에서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다.

LiBr-H<sub>2</sub>O 시스템 이외에도 NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 시스템이 있는데 NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 시스템은 generator에서 높은 溫度를 필요로 하기때문에 큰 규모로 하기가 힘들다. Farber 등은<sup>SC6, 7, 8)</sup> NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 냉房시스템을 平板集熱器로 作動시키는 實驗을 하였다.

## (2) Intermittent absorption cooling

이 시스템은 集熱器에서 얻은 熱을 蓄熱槽로 循環시키는 것이 아니고 직접 generator로 보내 冷凍劑를 만들어 이것을 condenser에서 凝縮시켜 저장하는 것이다. 이러한 시스템에서는 주로 NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O와 NH<sub>3</sub>-NaSCN등을 使用하는데 이제까지는 建物の 冷房보다는 製氷이나 冷蔵에 應用되었다. Blyas등과<sup>SC8)</sup> Sargent에<sup>SC9)</sup> 의해 NH<sub>3</sub>-NaSCN 시스템에 대한 研究가 遂行되었고 Williams등은<sup>SC10)</sup> 集光集熱器를 利用한 NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 시스템의 研究를 하였다. 平板集熱器를 利用한 NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 시스템은 Chinnappa와<sup>SC11, 12)</sup> Swartman등에<sup>SC13)</sup> 의해 研究되었다.

## (3) Open cycle cooling

이 시스템은 空氣의 濕度を 減少시킨후 다시 물을 증발시키므로써 空氣를 冷却시키는 것으로 물을 冷凍劑로 쓴다고 볼 수 있다. Löf는<sup>SC14)</sup> 吸收劑로 Triethylene glycol을 써서 冷房에 利用하고 회석된 Triethylene glycol은 太陽熱로 다시 濃縮시키는 裝置를 제안하였다. Dunckle<sup>SC15)</sup>은 吸收劑로 실리카겔을 利用하고 이를 다시 太陽熱로 乾燥시키는 方法을 고안하였다.

## 나. Heat pump

Heat pump는 낮은 溫度에서 에너지를 吸收하여 높은 溫度에서 에너지를 放出하는 시스템이며 vapor compression cycle이 이용되고 있다. 集熱器와 heat pump시스템 모두 裝置費가 많이 들므로 이의 節減에 대한 研究가 필요하다.

Jordan등은<sup>SC16)</sup> 太陽熱 冷·暖房을 겸한 heat pump 시스템을 고안하였으며 美國의 Albuquerque에서는 이 시스템을 직접 建物에 利用하였다<sup>SC17)</sup>. Yanagimachi와 Bliss는<sup>SC18, 19)</sup> 낮 동안에는 集熱器에서 얻는 熱로 溫水를 만들어 저장하고 밤에는 集熱器에서의 輻射熱 放出로 찬물을 만들어 저장하여 heat pump를 利用해 두 蓄熱槽의 溫度差를 적절히 유지하므로써 建物の 冷·暖房에 利用하는 시스템을 고안하였다.

## 다. Nocturnal cooling 시스템

太陽熱이 비치지 않는 밤의 찬 空氣를 利用해 蓄熱槽의 자갈을 冷却시키고 자갈층을 밤하늘에 노출시키므로써 輻射熱 損失로 인해 더욱 冷却시킨후 낮동안 建物の 空氣를 이 蓄熱槽에 순환시켜 冷却效果를 얻는 方法이다.

이러한 시스템은 습기가 적고 밤하늘이 차고 맑은 사막에서 유리하게 利用할 수 있다. 太陽熱을 직접 利用한다고는 볼 수 없지만 暖房에 活用하던 자갈 蓄熱槽를 冷房이 필요한 여름에 活用할 수 있다. 또한 자갈 蓄熱槽에 물을 넣어 증발에 의한 冷却效果를 얻기도 한다. Close와 Dunkle은<sup>SC20, 21)</sup> 이 자갈 시스템에서 필요한 冷房負荷에 대한 蓄熱槽의 부피, 空氣流量, 熱傳導度, 摩擦係數등 設計에 필요한 技術적인 資料를 구하였다.

## 라. Passive cooling 시스템

### (1) Sky-Therm 시스템

Hay에<sup>SC22, 23)</sup> 의해 開發되어 特許로 등록되었으며 Sky-Therm은 商標名이다. 이것은 集熱板에 斷熱된 서터를 設置하여 겨울에는 낮에 太陽熱을 받고 밤에 서터를 닫아 熱損失을 막아 暖房을 하고 반대로 여름에는 밤에 서터를 열어 輻射熱 損失에 의한 冷却效果를 얻고 낮에는 서터를 닫아 熱의 流入을 막으므로써 冷房을 하는 것이다. 이 시스템의 實驗操業이 美國 캘리포니아의 Atascadero에서 行해 지고 있다.

### (2) 其他參考事項

建物에 닿는 太陽熱은 그 建物の 冷·暖房負荷에 影響을 미치게 된다. 창문의 크기, 方向, 유리의 종류, 색깔, 벽의 크기, 남쪽 벽의 面積 등에 따라 太陽熱이 遮斷되거나 建物로 流入되는 정도가 달라지며 이를 適切히 조절하여 冷·暖房 效果를 얻을 수 있다. 유리창에 커튼을 달든가 지붕 처마의 길이를 조절하는 등으로 여름철의 太陽熱 流入을 줄이고 겨울철에는 이의 流入을 크게 하는 方向으로 建物을 지으면 冷·暖房에 소요되는 비용을 줄일 수 있다.

## 마. 冷房시스템 設計

### (1) 冷房負荷의 計算

冷房負荷는 建物안의 溫度를 일정하게 유지하기 위하여 建物內部로 부터 제거해야 할 熱量을 나타내며 kcal/hr 혹은 톤으로 (1 톤=3,024kcal/hr) 표시한다. 冷房負荷는 하루 중의 시간에 따라 크게 변하므로 最大 冷房負荷가 되는 時間을 기준으로 設計를 해야한다. 冷房負荷의 計算에는 벽면을 통한 熱流入, 太陽熱의 流入, 새어 들어오는 空氣, 새어나가는 空氣, 建物內部에서의 熱과 水分의 發生 등을 고려해야 한다. 이의 計算方法은 문헌(SH13)을 참조하기 바란다.

### (2) 冷房效率

平板集熱器에서 얻어지는 낮은 溫度로 作動할 수 있는 吸收冷房 裝置는 흔히 쓰이는 機械的인 에너지를 이용한 冷房裝置보다 가격이 비싸 初期 投資가 크게 된다. 아직까지는 太陽熱利用에 맞게 冷房裝置의 각 부분을 最適으로 設計하는 문제에 대한 研究에는 미치지 못 하였고 generator에서 수증기를 使用하는 이제까지의 冷房裝置를 改造하여 集熱器에서 加熱된 溫水를 供給하므로써 操業하는 實驗이 行하여지고 있다<sup>SC1)</sup>.

이렇게 改造된 冷房裝置는 集熱器에서 얻는 溫水로도 公稱能力에 맞게 操業할 수 있으며 absorber와 condenser를 冷却시키기 위한 冷却塔을 設置해야 한다.

실제 3 톤 能力의 吸收冷房시스템의 操業에서 溫水의 溫度가 82~93°C로 generator에 供給될

때 公稱能力인  $COP=0.6$ 으로 ( $COP=\frac{\text{冷房效果}}{\text{入熱}}$ ) 가동되며 <sup>SC25)</sup> 이 보다 溫度가 減少되면 COP가 떨어지게 된다. 冷房裝置의 操業에는 補助熱源을 開一閉로 制禦하여 generator에 들어가는 溫水의 溫度를 위의 범위로 조절하여 公稱能力으로 操業하는 경우와 集熱器에서 얻어지는 溫水를 직접 generator에 供給하는 경우가 있다. 後者の 경우 冷房裝置의 COP는 溫水의 溫度와 冷却水의 溫度에 따라 변하게 된다<sup>SC2)</sup>. Butz는 <sup>SH15)</sup> LiBr-H<sub>2</sub>O 시스템에서 溫水의 溫度와 冷却水의 溫度에 따라 COP가 변하는 式을 구하였다. 實際 太陽熱冷房 시스템에서는 公稱能力으로 操業하는 경우 補助熱源의 燃料費를 증가시키므로 바람직스럽지 못하며 시시각각으로 변하는 太陽熱의 特性을 감안할 때 generator에 供給되는 溫水의 溫度가 변하여 COP가 減少하더라도 集熱器와 蓄熱槽에서 얻어지는 溫水를 직접 活用하는 것이 유리하다. 太陽熱 冷房시스템에서는 이러한 操業條件에 맞는 設計가 필요하며 generator와 evaporator의 設計에 대한 研究가 더 진척이 되어야 할 것이다.

### (3) 集熱器

太陽熱을 利用해 建物の 溫度를 조절하는 경우 冷·暖房을 겸하는 것이 年中 集熱器의 利用率을 높이게 된다.

여름의 冷房負荷와 겨울의 暖房負荷를 고려할 때 어느 것을 기준으로 하여 設計할 것인가는 각 지방의 氣候條件에 따라 달라지겠지만 아직까지는 이에 대한 평가를 내릴만한 資料의 蓄積이 이루어지지 않은 상태이다.

Löf와 Tybot에<sup>SC24)</sup> 의하면 冷·暖房을 겸하는 경우 集熱器 傾斜度の 最適置는 그 지방의 緯度와 같고 유리 덮개는 暖房보다 하나가 많게 하는 것이 유리하다고 하였다. 또한 여름철의 冷房負荷가 큰 곳에서는 冷·暖房을 겸하는 것이 유리하며 겨울철의 暖房負荷가 큰 곳에서는 暖房시스템만 設置하는 것이 유리함을 밝혔다. 이러한 평가는 集熱器와 LiBr-H<sub>2</sub>O 冷房시스템의 가격이 大量生産에 의해 결정될 경우를 가정한 것이



므로 하나의 방향제시는 되겠지만 아직까지는 신뢰성 있는 經濟性 평가는 힘들다 하겠다.

#### (4) 蓄熱槽

集熱器에서 얻어지는 熱을 蓄熱하는 경우는 暖房시스템과 동일하며 이외에 集熱器에서 얻어지는 熱을 직접 generator에 보내 冷凍劑를 만들어 이를 저장하는 방법이 있다, 이 방법을 活用하면 蓄熱槽에서 冷凍劑가 損失이 되더라도 결국은 그것이 冷凍效果를 나타낸 것이므로 溫水를 저장했을때 熱이 損失되는 것보다 유리하나 冷凍劑의 저장에는 그만큼 裝置費가 많이 들게된다, 蓄熱槽의 부피는 溫水를 저장하는 경우 暖房시스템에서 예를 든 것과 마찬가지로이다.

#### 바. 冷·暖房 시스템의 經濟性

暖房시스템에서 說明한 바와 마찬가지로 初期設備費를 年間 投資費로 換算하여 在來의 燃料를 사용하는 경우와 비교하였다. 이 冷·暖房시스템은 暖房에서 說明한 예와 같은 Albuquerque에 있는 太陽의 집으로 그 系統圖는 그림 6과 같다<sup>SH11)</sup>.

다른 시설은 暖房의 경우와 같고 冷房을 위한

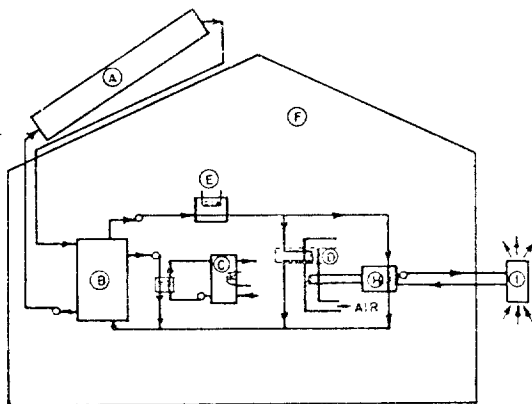


그림 6. 冷·暖房시스템 系統圖<sup>SH11)</sup>

- |                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| A: collector                  | B: storage tank                 |
| C: hot water system           | D: space heating heat exchanger |
| E: main auxiliary heater      | F: the building                 |
| H: absorption air conditioner | I: cooling tank                 |

LiBr-H<sub>2</sub>O시스템과 冷却塔, 冷房制禦裝置 등이 추가된다. 冷房시스템으로는 Arkla의 3톤 容量을 사용하였다.

集熱器에서 加熱된 물이 蓄熱槽로 循環되고 이 물은 generator로 보내지게 되는데 建物の 溫度가 지정된 溫度보다 높아지면 補助熱源을 가동시켜 generator에 보내지는 물을 加熱한다. 冷却塔는 대기의 濕球 溫度보다 6°C 높게 操業하는 것으로 하였다. 이외의 設計자료는 표 1과 같다. 이외에도 冷房裝置의 이용은 吸收冷房시스템과 在來의 冷房시스템과의 가격차를 \$1,000로 하여 初期投資에 포함시켰다. 在來의 冷房시스템을 操業하는 경우 電氣값을 3¢/kwh로 잡고 COP를 2.1로 잡아 1년간 維持費를 \$214로 하였으며 燃料費가 \$2,4,6/10<sup>6</sup>KJ일 경우의 暖房費를 합하면 在來의 冷·暖房시스템을 이용하는 경우 年中 維持費가 각각 \$392,570,747이 된다. 이렇게 해서 얻은 結果가 그림 7에 나와있다. 在來의 冷·暖房시스템을 이용하는 경우의 비용은 수평인 점선으로 표시되어 있으며 각 곡선은 燃料費가 \$2,4,6/10<sup>6</sup>KJ일때와 集熱器가 가격이 \$20,40,60/m<sup>2</sup> 일때의 太陽의 집의 設置 및 운전에 필요한 年中 投資費가 되겠다. 예를 들어 集熱器의 가격이 \$20/m<sup>2</sup>이고 燃料費가 \$2/10<sup>6</sup>KJ일 경우 이 冷·暖房시스템은 集熱器의 面積이 20에서 80m<sup>2</sup>사이 일 때 在來의 冷·暖房시스템보다 經濟的임을 알 수 있다.

이 資料는 마침 그 地域의 氣候特性이 冷房 및 暖房負荷가 적절히 균형을 이루고 있는 경우였으며 하나의 方向을 제시한 예에 불과할 뿐 각 地域의 氣候條件과 建物の 特性에 따라 集熱器面積의 最適値가 변하고 그 經濟性의 판단 結果도 변할 수 있으므로 그 地域나름대로의 分析이 필요하다 하겠다.

### 3. 太陽蒸發器 (Solar still)

人間의 生存에 있어서 물은 必要下可缺한 것이지만 地球上에 存在하는 대부분의 물은 鹽分을 포함하거나 다른 不純物로 汚染되어 있어 직접 사용할 수 없는 실정이다. 더구나 地球上의

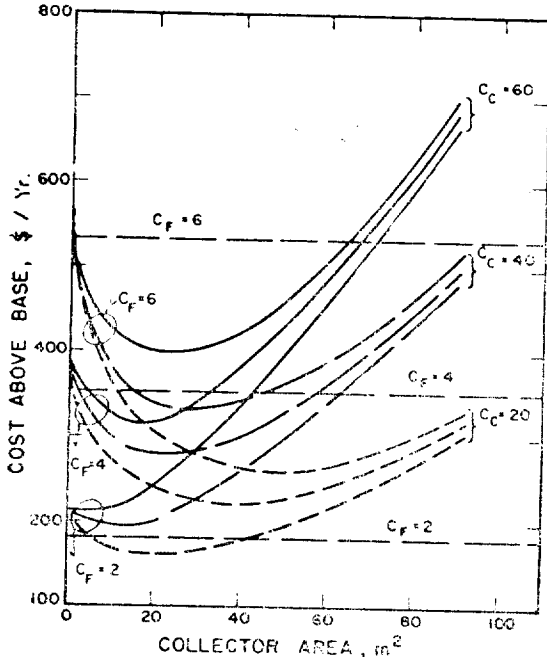


그림 7. 集熱器 面積에 따른 Albuquerque 태양의 집의 冷·暖房費

$C_F$ : 燃料費 \$/10<sup>6</sup>KJ

$C_C$ : 集熱器가격 \$/m<sup>2</sup>

많은 부분은 건조하고 황폐한 지역이어서 신선한 물을 生産하거나 輸送하는데 소비하는 에너지는 막대한 것이다. 이중에서도 큰 비중을 차지하고 있는 것이 바닷물에서 食水を 만들어 내는 것이며 여기에 代替에너지인 太陽熱을 利用하는 방안이 활발히 研究되어 왔다<sup>SS1)</sup>. 鹽水로부터 淡水를 만드는데 太陽熱을 利用하는 方法은 集熱器로 熱을 얻어 단순한 代替에너지로 活用하는 間接的인 方法과 <sup>SS2)</sup> 太陽蒸發器를 利用하는 直接的인 方法이 있다. 太陽蒸發器의 원리는 天日鹽의 제조와 마찬가지로 단지 밀폐된 장치에서 투명한 막을 통해 太陽熱을 투과시켜 가열하고 증발되는 수분을 응축시키는 것이다. 이에 대한 特許가 1870년 美國에서 처음으로 출원되었고 1872년에는 칠레에서 처음으로 대규모의 太陽蒸發器가 製作되어 成功的으로 操業되었다<sup>SS3)</sup>. 이외에도 오스트레일리아, 그리스, 인도, 스페인, 멕시코, 미국, 소련 등 여러 나라에서 操業을 하고 있으며 깨끗한 물을 쉽게 얻을 수 없는 島嶼地方과 더러운 물밖에 없는 벽지의

食水難 解決에 도움을 주고 있다. 장치가 간단하고 큰 기술이 필요없으며 年中 太陽빛이 풍부한 지방에서는 쉽게 操業할 수 있으므로 우리나라에서도 이를 活用한다면 落島같은 벽지의 食水難 해결에 도움이 될 것이다.

#### 가. 太陽蒸發器의 形態와 操業原理

##### (1) 水槽形蒸發器(Basin-type still)

太陽蒸發器의 대부분이 이 形態에 속하며 가장 많이 活用되고 있고 그 모양은 그림 8과 같다.

평지에 칸을 막고 鹽水를 담아 그 위에 투명한 판으로 덮개를 한 것이다. 鹽水를 담아 놓는 부분의 밑바닥은 熱이 損失되지 않게 斷熱을 하고 물이 스며들지 않는 검은 색의 아스팔트나 고무 등으로 하여 透過熱을 잘 吸收하게 한다. 透明板을 투과한 빛은 이 바닥에서 吸收되어 鹽水의 溫度를 올리게 되고 여기서 생긴 증기가 투명한 관에 응축되어 흘러내려 淡水를 모으는 곳으로 모이게 된다. 덮개는 응축된 물이 바로 밑으로 떨어지지 않고 옆으로 흘러내리도록 적당한 傾斜가 지도록 해야 한다. 장치 전체는 증기

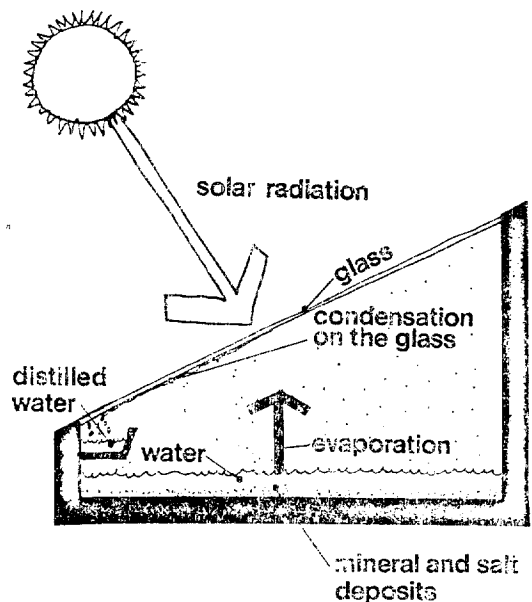


그림 8. 水槽形 太陽蒸發器 GR12)

가 새어나가지 않도록 완전 밀폐되는것이 效率이 좋다.

鹽水を 담아 놓은 부분은 鹽이 석출하지 않도록 濃縮된 물을 뽑아주면서 새로운 鹽水を 넣어 주는 連續式으로 조업하거나 일정한 시간이 지나면 안의 鹽水を 전부 갈아주는 非連續式 조업을 한다. 생성된 淡水는 흙통을 따라 모여져 밖으로 나오게 된다. Eibling등에<sup>SS22)</sup> 의하면 이 장치에서 얻은 淡水의 量은 아래 식과 같이 표시된다.

$$P = 4.72 \times 10^{-2} (R/27)^{1.4} \text{ l/m}^2/\text{day}$$

여기서 R은 太陽熱 輻射量으로 單位는 cal/cm<sup>2</sup>/day이다. 실제 여러가지 操業條件 등으로 인한 生成量의 변화를 감안한다면 이 식의 오차 범위는  $\pm 25\%$ 로 보고 있다.

水槽形 蒸發器의 熱力學的 모델은 Löf등에<sup>SS4)</sup> 의해 세워져 컴퓨터를 利用하여 太陽輻射熱과 外氣溫度, 風速등이 生成物量에 미치는 影響이 檢討되었다.

Morse등은<sup>SS5)</sup> 非定常狀態에 대한 熱傳達, 物質傳達式을 세워 시간마다의 生産量을 구하고 여러 변수가 미치는 영향을 研究하였다. Cooper는<sup>SS6)</sup> 太陽蒸發器에 대한 모델을 세워 컴퓨터 시뮬레이션을 하였고 鹽水の 두께, 風速, 지붕의 傾斜度 등 여러 변수의 影響을 고찰하였으며 實驗으로<sup>SS7)</sup> 이 모델의 타당성을 검토하였다. 또한 Cooper는<sup>SS8)</sup> 투사되는 太陽輻射熱 중에 蒸發器에서 유용하게 쓰이는 부분이 얼마나 되는가 計算하는 方法을 제시하였으며 鹽水の 濃도가 진해짐에 따라 輻射熱吸收가 어떻게 변하는가에 대한 연구도 하였다<sup>SS9)</sup>. Soliman은<sup>SS10)</sup> 지붕 바깥의 風速의 영향을 고찰하였으며 Malik등은<sup>SS11)</sup> 蒸發器의 生産量을 늘리는 방안으로 廢熱을 利用해 데운 鹽水を 밤에 太陽蒸發器안에 供給하는 方法을 제안하였고 外氣溫도와 물의 깊이, 供給하는 鹽水の 溫度 등에 의한 生成量의 변화에 대해 研究하였다. Proctor는<sup>SS12)</sup> 太陽蒸發器에 다른 形態의 廢熱을 利用하는 方法으로 鹽水を 담아 놓은 곳에 熱交換器를 設置한다든가 공장의 廢冷却水 등을 利用하는 研究을 하였다.

이제까지 얻어진 結果를 종합해 보면 鹽水の

溫度가 높을수록 증발이 잘되어 生産量이 늘어나며 따라서 外氣의 溫度가 높을 때 生成量이 많게된다. 이 경우 바람의 속도가 클 수록 덮개에서 外부로 熱傳達이 잘되고 鹽水和 덮개 사이의 溫度가 커지므로 生成量이 증가한다. 鹽水の 두께는 얇을수록 물의 溫度가 쉽게 올라가 증발이 잘 되므로 生成量이 늘어나지만 바닥이 마를 정도이면 效率이 떨어진다.

한편 Garg등은<sup>SS13)</sup> 양쪽 면으로 기울어진 지붕의 경우 傾斜面이 南北을 향하는 것이 收率이 좋으며 鹽水の 太陽熱 吸收를 촉진시키기 위해 染料를 넣는 것이 收率을 향상시킴을 밝혔다. Bahadori 등은<sup>SS14)</sup> 투명 덮개의 傾斜度가 낮아 鹽水和 덮개 사이의 空間이 작을수록 收率이 높아지는 것에 착안하여 유리를 표면 처리하브로써 물방울과의 접촉각을 작게하여 傾斜度を 낮추어도 물을 잘 흘러내리게 하는 방안에 대해 연구하였다.

太陽蒸發器의 透明덮개의 材質은 유리 또는 플라스틱이 있는데 Tleimat 등은<sup>SS15)</sup> 유리 덮개와 플라스틱 덮개로 된 여러 形態의 蒸發器를 製作 操業하여 비교하였다. 유리가 透過率이 높고 수명이 긴 반면 충격에 약하고 플라스틱은 제조 및 운반이 용이하고 여러가지 모양으로 제작할 수 있으나 透過率과 수명에 있어서는 유리에 뒤진다. 앞으로 좀더 透過率이 높고 수명이 긴 플라스틱 材質이 필요하며 대량 생산이 가능한 플라스틱이 유리보다 各광을 받을 것으로 생각된다. Hay는<sup>SS16)</sup> 이제까지 플라스틱으로 제조된 太陽蒸發器의 技術開發과 特許에 대한 문헌을 검토하였고 Szulmayer는<sup>SS17)</sup> 透明덮개로 폴리에틸렌이나 PVC를 쓰고 바닥의 斷熱材로는 스티로폼으로 만든 蒸發器를 만들었다.

## (2) 傾斜形蒸發器(Tilted tray still)

이 장치는 적당한 傾斜角으로 놓여진 平板集熱器의 集熱板에 鹽水가 흐르고 여기서 蒸發한 증기가 透明덮개에 응축하여 흘러내리는 것이다. 水槽形蒸發器보다는 效率이 좋으나 조업이 까다롭고 經費가 더 드는 것으로 나타났다.

Howe 등은<sup>SS18)</sup> 傾斜진 集熱板을 계단식으로

만들어 操業하였으며 톱니모양의 SS19) 集熱板을 만들어서도 실험하였다.

### (3) 網形蒸發器(Wick still)

이 장치는 鹽水を 吸水性이 강하고 輻射熱을 잘 받아들이는 섬유에 흘려보내 蒸發시키는 것이다. 이때 吸水된 물의 溫度가 이제까지의 어느 裝置보다 높아 收率이 向上된다는 것이 長點이다. 水槽形蒸發器의 경우  $540\text{cal}/\text{cm}^2/\text{day}$ 의 日射量에서  $3.26\text{l}/\text{m}^2/\text{day}$ 의 淡水를 얻는 반면 網形蒸發器에서는  $4.8\text{l}/\text{m}^2/\text{day}$  정도의 結果가 나와 있다<sup>SS1)</sup>. 칠레의 Frick 등은 <sup>SS20)</sup> 傾斜진 面에 黃麻를 깔라 플라스틱이나 유리 덮개를 하고 黃麻에 鹽水を 흘려보내며 操業하였다. Coffey는 <sup>SS21)</sup> 최근 그의 特許에서 微細한 氣孔을 가진 폴리에틸렌을 수직으로 세우고 덮개를 하여 鹽水가 모세관 현상으로 스며 올라가며 蒸發하게 하여 높은 收率을 얻었다고 발표하였다. 그는 이 裝置를 바다에 띄워 섬유의 끝부분이 바닷물에 잠기게 하여 연속 操業을 하는 裝置도 고안하였다. 아직은 이러한 蒸發器에 대한 操業 經驗이 부족한 상태이며 研究가 더 進行이 되어야 할 것이다.

### 나. 太陽蒸發器의 經濟性

太陽蒸發器에서 生産되는 물의 가격은 建設費와 維持費가 대부분인데 이는 물론 쉽게 얻을 수 있는 自然水와는 비교가 안될 것이다. 그러나 물을 다른 곳에서 실어와야 할 地域의 경우는 운송비 등을 고려하여 그 타당성이 검토되어야 할 것이다. 또 다른 問題點은 실제 太陽蒸發器를 利用하는 것이 在來의 에너지를 利用하는 蒸溜法이나, 冷凍法, 逆參透膜法에 비해 유리한가 하는 것이다. Eibling 등은 <sup>SS22)</sup> 太陽蒸發器에서 生産되는 물의 가격을 計算하는 方法을 例示하였으며 氣候條件이 좋은 지역에서는 하루 生産量 200톤 이하의 소규모일때 太陽蒸發器를 利用하는 것이 유리하다고 밝혔다.

앞으로의 太陽蒸發器는 좀더 가볍고 大量生産이 용이하며 운반이 편하고 面積을 많이 차지하지 않는 것이 바람직하며 食水가 부족한 벽지에

서 가옥의 지붕에 設置하는 形態나 바닷물에 띄울수 있는 形態, 혹은 휴대용으로 비상시에 쓸수 있는 形態등 그 용도를 더욱 넓힐 수 있을 것이다. 또한 溫室과 太陽蒸發器를 복합하여 농작물재배에 活用하는 것도 研究가 되고 있다 <sup>SS23)</sup>. 溫室의 벽을 높게 만들어 벽을 통해 들어 오는 햇볕은 농작물이 받게 하고 지붕에 太陽蒸發器를 設置해 이 물로 농작물을 가꾸는 등 여러 形態를 고안 하면 황무지에서도 농작물을 재배할 수 있을 것이다.

## 4. 溫室(Greenhouse)

### 가. 概況

溫室은 17世紀에서 18世紀에 걸쳐 英國에서 活用되기 시작했는데 그 당시 유리의 大量生産이 이루어져 이를 活用한 太陽熱 利用의 시초라 하겠다. 현재 溫室의 活用技術은 그 당시와 별로 다를 바 없으나 農産物 價格의 상승에는 비교가 안될 만큼 급상승하는 에너지 가격에 따라 溫室의 効率的인 熱管理에 대한 研究가 활발해지고 있다. 溫室은 그 자체로서도 좋은 集熱裝置이지만 熱損失이 크고 建物 자체나 내부의 容量이 작으므로 外氣의 溫도와 太陽熱輻射量에 따라 그 내부 溫도의 변화가 극히 심한 것이 특징이다. 낮동안에는 換氣를 제대로 해 주지 않으면 필요 이상으로 내부 溫度가 상승하여 문제가 되고 있고 <sup>GH1)</sup> 반면에 밤에는 外部로 熱損失이 심해 適正 溫度를 유지하기 위해서는 燃料使用이 불가피해지는 것이다. 이러한 점을 감안하여 美國의 ERDA(Energy Research and Development Administration)에서는 溫室의 效果的인 熱管理와 太陽熱의 効率的인 利用으로 燃料消費를 줄이기 위해 ARS(Agricultural Research Service)와 함께 이에 대한 研究를 후원하고 있다 <sup>GH2)</sup>.

美國의 경우 1969年의 農業統計에 의하면 전국적으로  $3,000\text{만m}^2$ 의 溫室이 있으며 이의 暖房에 소비되는 燃料를 太陽熱로 代替한다면 年間  $120\text{만kl}$ 의 油類를 절약할 수 있을 것으로 보고 있다.

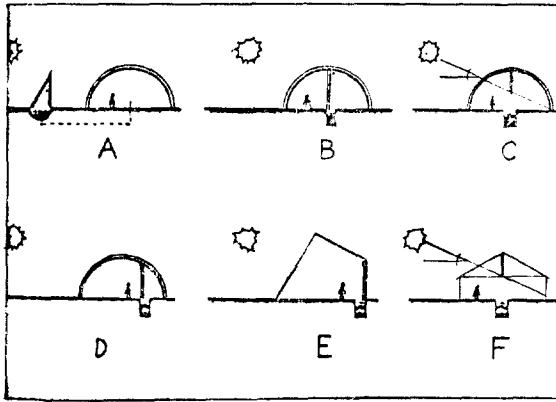


그림 9. 溫室暖房의 여러形態<sup>GH12)</sup>

#### 나. 研究動向

溫室 暖房은 建物 暖房과 別로 다를 바가 없어 앞서 설명했던 시스템을 그대로 적용시킬 수 있으나 단지 溫室 자체가 太陽빛을 받아 들이는 시스템이므로 設計面에서 나름대로의 특징이 있다. 간단한 시스템은 溫室 자체를 集熱器로 보고 溫室內부의 空氣를 熱媒體로 하는 것이다. 낮 동안에는 室內의 데워진 空氣를 자갈을 담은 蓄熱槽에 循環시켜 熱을 저장하면서 內部 溫度를 일정하게 유지시키고 밤에는 이 熱을 活用하는 方法이 있다<sup>GH3)</sup>. 溫室 바닥의 흙속에 管을 묻고 여기에 空氣를 循環시켜 室內溫度를 조절하기도 한다<sup>GH3)</sup>. 建物과 溫室을 함께 지어 양쪽의 冷·暖房시스템을 하나로 하므로써 熱利用率을 높이는 방안이 또한 주목을 끌고 있다<sup>GH4, 5)</sup>. 溫室의 材質로는 값싸고 設置가 간단하며 빛을 透過시킬 수 있는 플라스틱 필름이 많이 쓰이고 있으나 여기에서는 특히 외벽을 통한 熱損失이 문제가 되고 있어, 이를 해결하기 위한 研究가 集中的으로 수행되고 있다. 플라스틱 필름으로 二重의 벽을 만들어 그 사이에 空氣를 불어 넣거나<sup>GH6)</sup> 液體거품을 넣어 斷熱하는 方法이 研究되고 있으며<sup>GH7)</sup> 溫室의 內部벽에 검은 형질의 커튼을 달아 햇빛이 들어오는 양을 조절하고 밤에는 熱損失을 막는 方法도 제안되었다<sup>GH8)</sup>. 커튼의 材質과 設置 技術 등이 研究되었고 이를 利用한 溫室의 操業資料도 구해졌으며<sup>GH9, 10)</sup> 광

산 근처의 溫室에서는 年中 10~18°C로 광산에서 換氣되는 空氣를 겨울철 暖房으로 利用한 例도 있다<sup>GH11, 12)</sup>.

溫室의 暖房을 위해 別도의 集熱器를 設置하는 方法이 그림 9에 圖示되어 있다. 필요한 暖房負荷를 計算해 集熱器의 面積을 정하여 A와 같이 溫室 바깥에 設置하는 方法의 操業및 經濟性에 대한 검토가 이루어졌다<sup>GH13)</sup>. 溫室外부에 溫水貯(Solar pond)를 設置해 暖房에 利用하는 方法도 있으며<sup>GH14)</sup> 폴리에틸렌으로 가격이 저렴한 集熱器를 製作 暖房에 利用하는 方法도 研究되었다<sup>GH15, 16)</sup>. 集熱器를 B, C, D, F와 같이 溫室 內部에 設置하여 溫室內部로 들어오는 太陽熱을 일부 여기에서 吸收해 蓄熱하는 方法이 있다. E와 같이 溫室內부의 북쪽벽을 수직이나 혹은 적당한 角으로 경사지게 하여 集熱板으로 活用하든가<sup>GH17)</sup> 지붕의 적당한 위치에 수직의 벽을 달아 活用하기도 한다<sup>GH18)</sup>.

이외에 溫室의 內部溫度를 조절하는 方法으로 특이한 物質을 써서 溫室지붕을 透過하는 빛의 量을 制禦하기도 한다. 溫室의 지붕을 두겹의 유리로 만들고 적당한 有機物質을 20°C 이상이 되면 蒸氣가 되어 빛의 透過를 減少시키고 그 이하로 떨어지면 응축하여 全量의 빛을 투과시키는 方法이 고려되고 있다<sup>GH19)</sup>. 또한 美國의 보잉社에서는 두 유리벽 사이의 空間에 熱媒體를 循環시키는 方法을 研究하고 있는데<sup>GH20)</sup> 이 熱媒體는 식물이 光合性에 필요로 하는 파장의 빛은 透過시키고 나머지는 熱로 吸收하여 利用할 수 있다. 이러한 物質들은 빛에 의해 分解되지 말아야 하고 熱에 安定해야 하며 부식성이 없고 물에 잘 녹으며 가격이 싸야 한다는 점이 요구되고 있으며 이에 대한 研究도 進行되고 있다.

### 5. 太陽熱乾燥(Solar dehydration)

#### 가. 概況

太陽熱을 이용한 農產物의 乾燥는 太陽熱이 새로운 에너지源으로 擡頭되기 오래전부터 우리 생활에 이용되어 왔다. 그러나 아직까지는 대부분이 露天에서 직접 太陽熱을 쬌는 原始的인 단

계를 벗어나지 못하고 있는 경우가 많다. 이에 따라 갑작스런 氣候변화로 비나 혹은 바람에 의해 불순물로 오염이 되기도 하고 벌레나 다른 가축으로부터 피해를 입어 품질이 떨어지거나 먹지 못할 정도로 損傷되는 수도 있었다. 또한 이제까지 米穀이나 잎담배, 人蔘 등의 여러 農産物 乾燥에 在來의 化石燃料를 사용해 온 실정이었다. 그러나 이 農産物의 乾燥가 太陽熱의 低溫活用으로서 비교적 손쉽게 적용할 수 있는 分野이므로 우리나라에서도 可能性이 크고 에너지 절약이라는 관점에서 研究活動이 시급히 요구되는 分野라 하겠다.

太陽熱을 利用한 乾燥에는 두가지 類型이 있는데 첫째가 乾燥하고자 하는 物質을 직접 太陽熱에 露出시키는 것이다<sup>SD1, 2, 3)</sup>. 이때에는 햇빛에 의한 光反應의 效果를 얻을 수 있어 農作物에 남아있는 葉綠素의 分解가 이루어져 덜 익고 푸른 빛을 띠는 作物을 알맞게 익혀 적절한 색깔을 얻을 수 있으며 光反應에 의한 기타 여러 불필요한 성분의 제거나 필요한 성분의 生成 등의 效果를 볼 수 있다는 長點이 있다. 반면에 太陽熱의 過熱에 의한 作物의 損傷이나 필요한 成分의 파괴 등을 예상할 수 있고 通風과 熱傳達가 고루 되지 않으므로 乾燥速度가 느리고 品質이 不均一해진다는 短點이 있다.

두번째 方法은 太陽熱로 溫風을 만들어 이것으로 乾燥시키는 것이다<sup>SD1, 4, 5, 6)</sup>. 이 경우는 農作物이 직접 太陽熱을 받지 않으므로 過熱에 의한 피해가 없고 乾燥가 고르게 빨리 된다는 長點이 있는 반면에 光反應에 의한 效果가 없어 葉綠素의 파괴가 이루어지지 않아 品質이 低下된다는 短點이 있다.

#### 나. 研究開發現況

農作物을 값싸게 위생적으로 乾燥시킬 수 있는 것이 太陽熱 乾燥方法이라 할 수 있으나 이 分野에 대한 研究는 크게 활발하지 못했다고 볼 수 있다. 太陽熱乾燥는 太陽熱의 低溫活用으로 대개의 경우 60~80°C의 溫風을 利用하는데 熱에 의해 農作物 속의 수분이 蒸發하고 이 수증기가 空氣에 실려 제거된다. 太陽熱乾燥의 경우

도 平板集熱器에서 溫風을 얻지만 이 경우 空氣의 溫도와 함께 濕도가 중요한 영향을 미치므로 冷·暖房의 경우와는 달리 한번 사용된 空氣는 循環하지 않고 排出해 버린다.

溫水시스템에서는 集熱器에서 吸收된 熱이 튜브 속의 溫水에 傳達되어야 하나 太陽熱乾燥에서는 空氣가 集熱板위를 흐르며 加熱되므로 보다 저렴한 값으로 製作할 수 있다. 集熱器는 유리 덮개 밑에 熱傳達面積이 크고 太陽熱 吸收率에 높은 金屬片 등을 담아 밑바닥은 斷熱하여 이 사이로 空氣가 흐르는 동안에 加熱되는 形態를 많이 쓴다. Akyurt 등은 <sup>SD8)</sup> 유리 덮개 밑에 배열하는 여러 材質의 太陽熱吸收率에 대해 조사하였으며 吸收率 0.97 정도의 검게 칠한 쇠조각을 사용한 集熱器를 製作하고 補助熱源을 사용하여 연속적으로 乾燥시킬 수 있는 장치를 만들었다. Beville 등은 <sup>SD7)</sup> 얇은 알루미늄 板을 배열하여 90%의 集熱效率를 얻었으며 이외에도 여러 곳에서 集熱器에 대한 研究가 進行되었다 <sup>SD9~12)</sup>.

農作物이 乾燥되는 速度는 乾燥에 사용되는 空氣의 濕度, 流量, 作物의 含水量에 따라 달라지며 乾燥에 利用되는 空氣의 濕도와 평형을 이루는 作物의 含水量도 作物에 따라 달라지므로 乾燥器의 設計에는 이런 점들을 고려하여야 한다<sup>SD4, 13)</sup>. 乾燥室은 밑에 空氣가 통하는 땅을 놓고 그 위에 乾燥하려는 作物을 쌓아 놓으며 지붕에는 排氣裝置를 만들어 밑으로 들어온 溫風이 바닥의 땅을 통해 쌓아 놓은 材料를 지나서 排氣가 되게 한다. 農作物의 종류에 따라 水分含量的의 許容値가 다르고 作物의 크기에 따라 壓力降下 등이 달라지므로 이점도 乾燥器設計에 고려해야 한다<sup>SD13)</sup>.

이상에 언급한 溫室이나 太陽熱乾燥 外의 農産業에의 太陽에너지 活用으로서 食料品の 가공이나 家畜舍의 暖房에도 太陽熱을 利用하고 있다. 참고적인 예로 美國에서는 太陽熱의 農産業 研究에 1976年 180萬弗을 투자하고 있는데 溫室 研究에 50萬弗, 農産物乾燥에 50萬弗, 家畜舍의 暖房에 50萬弗, 農産物 加工에 30萬弗을 投資하고 있다.

## References

## 太陽熱暖房

- SH1. R. W. Hamilton, ed., "Space heating with solar energy," Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, 1954
- SH2. G. O. G. Löf, "Use of solar energy for heating purposes; space heating," Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy, 5 (1964), 114.
- SH3. C. D. Engebretson and N. G. Ashar, "Progress in Space heating with solar energy," Paper 60-WA-88 presented at the New York ASME Meeting (1960).
- SH4. C. D. Engebretson, "The use of solar energy for space heating-M. I. T. Solar House IV," Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy, 5(1964), 159.
- SH5. F. N. Hollingsworth, "Solar heating test structure at MIT," Heating and Ventilating, May 1947.
- SH6. R. W. Bliss, "Design and performance of the nation's only fully Solar-heated house," Air conditioning, Heating and Ventilating, October 1955, 92.
- SH7. G. O. G. Löf, M. M. El-Wakil and J. P. Chiou, "Residential heating with solar heated air-The Colorado Solar House," *Trans. ASHRAE* Oct. 1963, 77.
- SH8. G. O. G. Löf, M. M. El-Wakil and J. P. Chiou, "Design and performance of domestic heating system employing solar-heated air-The Colorado house," Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy, 5(1964), 185.
- SH9. D. J. Close, R. V. Dunkle and K. A. Robeson, "Design and performance of a thermal storage air conditioner system," *Mech. Chem. Engr. Trans.*, Inst. Engrs. Australia, MC-4 (1968), 45.
- SH10. K. Böer, "A combined solar thermal electrical house system," Paper represented at International Solar Energy Society Conference, Paris (1973).
- SH11. J. A. Duffie and W. A. Beckman, "Solar Energy Thermal Process," John-Wiley & Sons, Inc., 1974.
- SH12. J. F. Kreider and F. Kreith, "Solar heating and cooling: Engineering, practical design and economics," McGraw-Hill Book Co., 1975, P141.
- SH13. "ASHRAE Handbook of Fundamentals" and "ASHRAE Guide and Data Book," New York, Am. Soc. Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, 1972.
- SH14. 서울공과대학 "한국의 공기조화 설계용 외기조건에 관한 연구", 과학기술처 1970년도 연구개발사업보고서 MOST-R-70-46-M. E., 1970.
- SH15. L. W. Butz, "Use of solar energy for residential heating and cooling," M. S. Thesis in Mechanical Engineering, Madison, Univ. of Wisconsin, 1973.
- SH16. G. O. G. Löf and R. A. Tybout, "Cost of house heating with solar energy," *Solar Energy*, 14 (1973), 253.
- SH17. L. W. Butz, W. A. Beckman, and J. A. Duffie, "Simulation of a solar heating and cooling system," *Solar Energy*, 16 (1974), 129.

## 太陽熱冷房

- SC1. R. Chung, J. A. Duffie and G. O. G. Löf, "A study of a solar air conditioner" *Mech. Engr.* 85 (1963), 31.
- SC2. J. A. Duffie and N. R. Sheridan, "The part-load performance of an Absorption refrigerating machine," Supplement au Bulletin de l'Institute International du

- Froid, 381-387 (1965).
- SC3. N.R. Sheridan, "Performance of the Brisbane solar house," Paper Represented at International Solar Energy Society Conference, Melbourne, 1970.
- SC4. J. C. V. Chinnappa, "The solar operation of a vapor absorption cycle air conditioner at Colombo," *Trans. Inst. Engrs., Ceylon*, (1967), 19
- SC5. F. Lauck, P. S. Myers, O. A. Uyehara and H. Glander, "Mathematical model of a house and solar-gas absorption cooling and heating system," *ASHRAE Trans.*, **71** (1965), 273.
- SC6. M. Eisenstadt, F. M. Flanigan, and E. A. Farber, "Tests prove feasibility of solar air conditioning," *Heating, Piping and Air Conditioning*, **32**, No. 11, (1960), 120.
- SC7. E. A. Farber, "Design and performance of a compact solar refrigeration system," Paper represented at International Solar Energy Society Conference, Melbourne, 1970.
- SC8. C. C. Blytas and F. Daniels, "Concentrated solutions of NaSCN in liquid ammonia solubility, density, vapor pressure, viscosity, thermal conductance, heat of solution and heat capacity," *J. Am. Chem. Soc.*, **84** (1962), 1075.
- SC9. S. L. Sargent and W. A. Beckman, "Theoretical performance of an Ammonia-Sodium thiocyanate Intermittent Absorption Refrigeration cycle," *Solar Energy*, **12** (1968), 137.
- SC10. D. A. Williams, R. Chung, G. O. G. Löf, D. A. Fester and J. A. Duffie, "Cooling systems based on solar regeneration," *Refr. Engr.*, **66** (Nov. 1958), 33.
- SC11. J. V. C. Chinnappa, "Experimental study of the intermittent vapor absorption refrigeration cycle employing the refrigerant-absorbent system of ammonia water and ammonia lithium nitrate," *Solar Energy*, **5** (1961), 1.
- SC12. J. V. C. Chinnappa, "Performance of an intermittent refrigeration operated by a flat-plate collector," *Solar Energy*, **6**, No. 4, (1962), 143.
- SC13. R. K. Swartman and C. Swaminathan, "Further studies on solar-powered intermittent absorption refrigeration," Paper Represented at International Solar Energy Society Conference, Melbourne, 1970.
- SC14. G. O. G. Löf, "House heating and cooling with solar energy," Solar Energy Research, Madison, Univ. of Wisconsin Press, p. 33, 1955.
- SC15. R. V. Dunkle, "A method of solar air conditioning," *Mech. and Chem. Engr. Trans., Inst. Engrs., Australia*, MC-1 May 1965, 73
- SC16. R. C. Jordan and J. L. Threlkeld, "Design and economics of solar energy heat pump system," *Heating, Piping and Air Conditioning*, **28** (1954), 122.
- SC17. F. H. Bridgers, D. D. Paxton and R. W. Haines, "Solar heat for a building," Paper 57-SA-26 presented at ASME meeting Mech. Engr., June 1957.
- SC18. M. Yanagimachi, "Report on two and a half year's experimental living in Yanagimachi Solar house II," Proceedings of UN Conference on New Sources of Energy, **5** (1964), 233.
- SC19. R. W. Bliss, "The performance of an experimental system using solar energy for heating, and night radiation for cooling a building," Proceedings of the UN Conferences on New Sources of Energy, **5** (1964), 148.
- SC20. D. J. Close, "Rock pile thermal storage



- for comfort air conditioning," *Mech. Chem. Engrg. Trans. Inst. Engr.* (Australia), Vol. MC-1 (1965), 11.
- SC21. R. V. Dunkle, "A method of solar air conditioning," *Mech. Chem. Engrg. Trans. Inst. Engrs.* (Australia), Vol. MB-1 (1965), 73.
- SC22. H. R. Hay and J. I. Yellott, "A naturally air conditioned building," *Mech. Engrg.*, **92** (1970), 19.
- SC23. H. R. Hay, "Energy technology and solarchitecture," *Mech. Engrg.*, **94** (1973), 18.
- SC24. G. O. G. Löf and R. A. Tybout, "Design and cost of optimal systems for residential heating and cooling by solar energy," *Solar Energy*, **16** (1974), 9.
- SC25. G. O. G. Löf and R. A. Tybout, "The design and cost of optimized systems for cooling dwellings by solar energy," paper presented at the International Solar Energy Society Congress, Paris, 1973.
- SS6. P. I. Cooper, "Digital simulation of transient solar still processes," *Solar Energy*, **12** (1969), 313.
- SS7. P. I. Cooper, "Digital simulation of experimental solar still data," *Solar Energy*, **14** (1973), 451.
- SS8. P. I. Cooper, "The absorption of radiation in solar stills," *Solar Energy*, **12** (1969), 333.
- SS9. P. I. Cooper, "Some factors affecting the absorption of solar radiation in solar stills," *Solar Energy*, **13** (1972), 373.
- SS10. S. H. Soliman, "Effect of wind on solar distillation," *Solar Energy*, **13** (1972), 403.
- SS11. M. A. S. Malik and Van Vi Tran, "A simplified mathematical model for predicting the nocturnal output of a solar still," *Solar Energy*, **14** (1973), 371.
- SS12. D. Procter, "The use of waste heat in a solar still," *Solar Energy*, **14** (1973), 433.
- SS13. H. P. Gary and H. S. Mann, "Effect of Climatic, operational and design parameters on the year round performance of single-sloped and double sloped solar still under Indian arid zone conditions," *Solar Energy*, **18** (1976), 159.
- SS14. M. N. Bahadori and F. E. Edlin, "Improvement of solar stills by the surface treatment of the glass," *Solar Energy*, **14** (1973), 339.
- SS15. B. W. Tleimat and E. D. Howe, "Comparison of pastic and glass condensing covers for solar distillers," **12** (1969), 293.
- SS16. H. R. Hay, "Plastic solar stills: Past, present, and future," *Solar Energy*, **14** (1973), 393.
- SS17. W. Szulmayer, "Solar stills with low thermal inertia," *Solar Energy*, **14** (1973), 393.

## 太陽蒸發器

- SS1. K. S. Spiegler, "Principles of Desalination," Academic Press Inc., 1966.
- SS2. Hanrik Weihe, "Fresh Water from Sea Water: Distilling by Solar Energy," *Solar Energy*, **13** (1972), 438.
- SS3. German Frick and Julio Hirschmann, "Theory and Experience with Solar Stills in Chile," *Solar Energy*, **14** (1973), 405.
- SS4. G. O. G. Löf, J. A. Eibling and J. W. Bloemer, "Energy balances in solar distillers," *A. I. ChE. J.* **7** (4) (1961), 641.
- SS5. R. N. Morse and W. R. W. Read, "A rational basis for the engineering development of a solar still," *Solar Energy*, **12** (1968), 5.

- 73), 415.
- SS18. E. D. Howe and B. W. Tleimat, "Twenty years of work on solar distillation at the University of California, *Solar Energy*, **16** (1974), 97.
- SS19. S. Satcunanathan and H. P. Hansen, "An investigation of some of the parameters involved in solar distillation," *Solar Energy*, **14** (1973), 353.
- SS20. German Frick and Johann von Sommerfeld, "Solar stills of inclined evaporating cloth," *Solar Energy*, **14** (1973), 427.
- SS21. J. P. Coffey, "Vertical solar distillation," *Solar Energy*, **17** (1975), 375.
- SS22. J. A. Eibling, S. G. Talbert and G. O. G. Löf, "Solar stills for community use-Digest of technology," *Solar Energy*, **13** (1971), 263.
- SS23. M. K. Selcuk, "Solar stills for agricultural purposes," *Solar Energy*, **17** (1975), 103.
- 溫 室
- GH1. A. E. Canhan and E. W. Golding, "Solar radiation and horticulture in Britain," *Solar Energy*, **7** (1963), 34.
- GH2. M. R. Jensen, ed., "The utilization of solar energy in greenhouses and integrated greenhouse-residential systems," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, Univ. of Arizona Tucson (1976), 173.
- GH3. D. R. Price, et. al., "Solar heating of the green houses in the northeast," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 173.
- GH4. H. F. Zornig, M. Davies and T. E. Bond, "Design criteria for green house-residences" Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 223.
- GH5. M. H. Jensen and C. N. Hodges, "Residential environmental control utilizing a combined solar collector-greenhouse," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 243.
- GH6. W. J. Roberts, M. K. Kim and D. R. Mears, "Air inflated and air supported greenhouses," Paper presented at the annual meeting of American Society of Agricultural Engineers, Paper No. 72-404 (1972).
- GH7. J. E. Groh, "Liquid foam insulation systems for greenhouses," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 213.
- GH8. W. J. Roberts, "Automatic black cloth shading for greenhouses," Biological and Agricultural Engineering Extension Paper, College of Agriculture and Environmental Science, Rutgers-The State University, New Brunswick, N.J. (1970).
- GH9. J. C. Simpkins, D. R. Mears and W. J. Roberts, "Reducing heat losses in polyethylene covered greenhouses," Paper presented at the Annual Meeting of American Society of Agricultural Engineers, paper no. 75-4022 (1975).
- GH10. R. A. Aldrich and J. W. White, "Internal curtains for energy conservation in greenhouses," Paper presented at the North Atlantic Region of American Society of Agricultural Engineering Paper no. NA 76-104 (1976).
- GH11. J. N. Walker et. al., "Temperature and humidity in a solar heated greenhouse ventilated with deep mine air," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 223.

- dings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 61.
- GH12. J. W. Buxton, "Growth of selected plants in a mine-air-ventilated greenhouse," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 74.
- GH13. P. O. McCormick, "Performance of non-integral solar collector greenhouses," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 51.
- GH14. T. H. Short, W. L. Roller and P. C. Bodger, "A solar pond for heating greenhouses and rural residences-A preliminary report," Paper presented at the Annual Meeting of American Society of Agricultural Engineers, paper no. 76-4 012 (1976).
- GH15. W. J. Roberts, et. al., "Heating plastic greenhouses with solar energy," ASAE paper no. 76-102.
- GH16. D. R. Mears and C. D. Baird, "Development of a low cost solar heating system for greenhouses," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 88.
- GH17. R. C. Liu and G. E. Carlson, "Proposed solar greenhouse design," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 129.
- GH18. J. W. Wiegand, "Greenhouse solar heating: Techniques and economics" Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 28.
- GH19. J. W. White, et. al., "Energy conservation systems for greenhouses," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 191.
- GH20. C. Deminet, "Glass solar collectors for greenhouses and integrated greenhouse-residential systems," Proceedings of the Solar Energy-Fuel and Food Workshop, University of Arizona, Tucson (1976), 160.

### 太陽熱乾燥

- SD1. E. U. Khan, "The utilization of solar energy," *Solar Energy*, **8** (1964), 17.
- SD2. T. A. Lawand, "A solar cabinet drier," *Solar Energy*, **10** (1966), 158.
- SD3. B. Wilson, "The role of solar energy in the drying of vinefruit," E/CONF 35/S/4, UN Conference on New Sources of Energy, Rome (1961).
- SD4. F. H. Buelow, "Drying crops with solar heated air," E/CONF/35/S/17, UN Conference on New Sources of Energy, Rome (1961).
- SD5. T. A. Lawand, "The operation of a large scale solar agricultural drier-progress report Tech. Rep. T33, Brace Res. Inst. McGill University (1967).
- SD6. A. L. Phillips, "Drying coffee with solar heated air," *Solar Energy*, **9** (1965), 213.
- SD7. V. S. Bevil and H. Brandt, "A solar energy collector for heating air," *Solar Energy*, **12** (1968), 19.
- SD8. M. Akyurt and M. K. Selcuk, "A solar drier supplemented with auxiliary heating systems for continuous operation," *Solar Energy*, **14** (1973), 313.
- SD9. J. P. Chiou, M. M. El-Wakil and J. A. Duffie, "A slit and expanded aluminum foil matrix solar collector," *Solar Energy*, **9** (1965), 73.

- SD10. C. L. Gupta and H. P. Garg, "Performance studies on solar air heater, *Solar Energy*, **11** (1966), 25.
- SD11. D. J. Close, "Solar air heaters," *Solar Energy*, **7** (1963), 117.
- SD12. C. P. Davies and R. I. Lipper, "Solar energy utilization for crop drying," E/CONF/35/S/53, UN Conference on New Sources of Energy, Rome (1961).