

건물의 냉난방에 태양열 이용

Utilization of Sun and Sky Radiation for Heating and Cooling of Building

J.I. Yellott

(ASHRAE Journal, DEC., 1973)

박 경 암* · 이 종 열* 譯

1. 머 리 말

태양 에너지가 이용되는 방법에는 3가지가 있다. 첫째로는 태양열을 이용하는 화학적인것, 둘째로는 태양열을 이용하는 전기 적인것, 셋째 태양열을 이용하는 열적인것이 있다. 첫째는 지구상의 생명체를 유지시키는 것이다(광합성). 둘째는 통신위성이서 필요한 전력을 제공하며 이방법을 지구상에서도 적용시킬수 있을 것이다. 셋째는 건물 난방과 냉방 그리고 가정용 온수를 위하여 필요한 많은 열을 제공하는데 사용되기 때문에 여기서 주로 다루게 될 것이다.

2. 태양열의 집열

일사량 데이타는, 오직 태양 직사 광선만을 이용하는 포물선형 집열기와, 직사 광선과 산란 광선(diffuse radiation)을 이용하는 평면형집열기에 의하여 어떤 지정된 위치, 날자, 시간에 집열할 수 있는 에너지가 얼마정도인지 측정하는 데 사용할 수 있다. 건물 난방과 냉방에 필요한 온도가 적당하다면 흡수식 냉동기를 위하여 250°F (121°C) 이상 필요하지 않기 때문에 잘 설계된 평면형 집열기로서 이 온도를 얻을 수 있다. 이

런 간단하지만 효율적인 고안들은 다음 각 절에서 세부적으로 검토 될 것이다. 평면형 집열기는 그림 1에서 보는 바와같이 5가지 요소로 구성되어 있다.

(1) 한장 혹은 두장의 유리나 광선을 투과시키는 프라스틱 필립이나 프라스틱 판으로 되어 있는 투명체.

(2) 입구(2-in)에서 출구(2-out)까지 열전달 유체를 통과 시킬 수 있는 판이나 방향을 조절할 수 있는 핀.

(3) 일반적으로 평면, 물결모양, 흠이 파진 금속판. 판이나 핀은 금속판에 열전달이 잘 되게 부착 되어야 한다.

(4) 판뒤에 열손실을 최소로 할 수 있는 절연체.

(5) 앞에 열거한 요소를 둘러 쌓고, 먼지, 습기 등을 막을 수 있는 케이스.

과거에 평면형 집열기는 여러가지 재료와 다양한 설계로 만들어 졌었다. 이 평면형 집열기는 물, 물과 에틸렌 그리콜(ethylene glycol)과 같은 부동액을 첨가하거나, 물과 암모니아, 프레온과 같은 냉매를 첨가하거나, 공기, 다른 개스를 가열 하기 위하여 사용 되었다. 노동력이나 재료를 될수 있는 대로 적게 투자하고 태양열을 가능한 많이 모으고, 높은 온도를 얻는데 목적이 있다. 이런 목적이 달성될 때 집열기는 긴 수명을

* 서울工大 大學院生

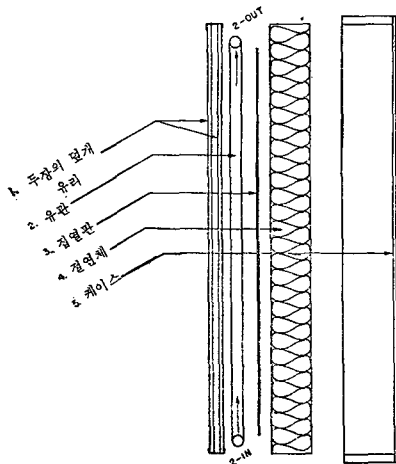


그림 1. 전형적인 물집열기의 단면도

가져야 한다. 이 수명을 단축시키는 것으로는 태양광선중의 자외선의 영향, 열전달 유체의 산성, 알칼리성에 의한 부식, 물의 경우 얼거나, 공기와 결합, 공기의 경우 먼지나 수분의 축적열팽창, 우박등의 원인에 의한 유리의 파손등이 있다.

3. 보호면의 재료

유리는 입사하는 短波 태양광선을 90%정도 투과하며 반면 평면형 집열기에서 방사하는 장파는 투과시키지 않으므로 집열기에 많이 사용하는 재료이다. 철분함유량¹⁾이 적은 유리는 수직 입사 때에 대략 0.85~0.90 정도의 높은 투과율을 0.3~3.0 μ 의 태양광선에 대하여 갖는다. 그러나 유리는 태양에 의하여 가열해진 표면에서 방출하는 3.0~50 μ 의 장파에 대해서는 투과율이 0이다.

프라스틱 필름이나 프라스틱판도 역시 높은 투과율을 갖지만 장파에 대해서도 0.4 정도의 높은 투과율을^{1), 2)} 갖는다. 프라스틱은 크기의 변화

일으키지 않고 유지할 수 있는 온도의 한계가 있고 여러가지 프라스틱중 몇가지 만이 오랜시간 동안 태양광선의 자외선에 견딜 수 있다. 프라스틱은 우박, 돌맹이에 견딜 수 있는 강점을 가지고 있으며, 얇은 필름 형태로써 아주 유연하다.

집열기에 보통 사용하는 유리는 single-strength(0.085~0.1in 두께)나 Double strength(0.11~0.133in 두께)이다. 그리고 창유리나 온실유리는 직사 광선에 대하여 약 0.87~0.85 정도의 투과율을 갖는다. 직사광선에 대해서 입사각에 따라 투과율이 현저하게 변한다. 표 1에 Double strength 맑은 창유리를 한장, 두장 사용할 때 입사각과 투과율과의 변화 관계를 보여 준다³⁾.

집열기에 사용하는 맑은 유리에 있어서 유리-공기 접촉면에서 4%의 반사는 투과율을 감소시키는 가장 중요한 요인이 된다. 투과율의 약 3% 정도는 흰물유리(water white glass)를 사용하므로 증가시킬 수 있다. 카메라와 망원경에 사용하는 반사를 막는 표면처리는 투과율을 상당히 향상시키지만 현재 생산비용이 상당히 많이 든다.

보호면에 먼지와 오물이 투과율에 미치는 영향은 상당히 적고, 때때로 내리는 비는 최대 투과율의 98~96% 정도의 투과율을 유지시키는데 적당한 것 같다^{1), 4)}.

보호면의 목적은 가능한 태양 에너지를 많이 통과시키고 유리면으로 될 수 있는 한 에너지 손실을 줄이는 데 있다. 유리는 집열판에서 방사하는 장파에는 불투명체이다. 그러나 이 장파의 흡수는 유리의 온도를 증가시켜 주위로 열손실을 일으킨다. 이런 열손실은 유리내부에 적외선 반사처리를 하므로써 줄일 수 있다¹⁾. 그러나 이 적외선 반사처리는 비용이 많이 들고, 태양광선의 유리 투과율의 10% 정도로 감소시킨다.

표 1. 유리 한장, 두장의 투과율과 흡색 페인트의 흡수율과 입사각과의 변화

입 사 각	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
유 리 한 장 투 과 율	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.84	0.79	0.68	0.42	0.00
유 리 두 장 투 과 율	0.77	0.77	0.77	0.76	0.75	0.73	0.67	0.53	0.25	0.00
보통 흡색 페인트의 흡수율	0.96	0.96	0.96	0.95	0.94	0.92	0.88	0.82	0.67	0.00

유리는 단파 태양광선은 통과시키고 장파 열선은 통과시키지 않은 것에 덧붙여서 대류에 의한 열손실을 줄인다. 보호면의 절연 효과는 여러장의 유리나, 유리 와 플라스틱을 사용하므로 높아진다. 보호면을 통한 열손실량은 다음 식으로 표시 된다.

$$Q_{u,p} = A_{c,p} \times U_{u,p} \times (t_p - t_o) \text{ Btuh} \quad (1)$$

여기서 $Q_{u,p}$ 는 집열기 면적 $A_{c,p}$ ft² 으로부터 유리면 위로 잃어버리는 열량이다. $U_{u,p}$ 는 열손실 계수이며 단위는 Btu/ft²F이다. t_p 는 집열기 온도이며, t_o 는 주위 대기의 온도이다.

4. 집 열 판

집열판의 주요 임무는 보호면을 통과하여 집열판에 도달한 태양 에너지를 될 수 있는 대로 많이 흡수하고, 가능한 유리면과 케이스를 통하여 대기에 열손실을 줄이고, 열전달 유체에 열을 전달 시키는 것이다. 단파 태양광선의 집열판에서 흡수율은 피막(coating)의 성질과 색깔, 입사각에 의존한다. 표 1에 보통 흑색 페인트 흡수율이 있다.

1955년 이전에는 보통 흑색 유화페인트가 집열판 피막(coating)에 널리 사용 되었다. 이스라엘의 Tabor, 미국의^{4, 5, 6} Gier 와 Dunkle 의 논문 에 의하면 단파 태양 스펙트럼(spectrum) (0.3 ~ 3.0 μ)과 장파 열스펙트럼(thermal spectrum) (3.0 ~ 30 μ)이 실제 겹치지 않는다는 것이 알게 되었다. 적당한 전해질 처리와 화학적 처리에 의하여 태양광선의 흡수율 α 가 크고, 장파 방사율 e_s 의 값이 적은 면을 만드는 것이 가능하다. ^{5, 6, 7, 8, 9} 실제 이런 선택된 표면은 단파 태양광선은 많이 흡수하고 장파 열선에 투명한 매우 얇은 층으로 구성된다. 그 아래층은 큰 방사율과 장파에 대해서는 적은 방사율을 갖어야 한다.

강열한 태양광선에 장시간 노출후 집열판의 요구되는 특성이 유지된 선택된 표면중에 Tabor의 전해과정에 의하여 생산된 것, 즉 도금된 강철판으로써 온수를 대량생산하는 데 사용했다. Tabor 표면은 태양에너지 흡수율 0.92 장파 방사율 0.10

을 갖었다.

Daniels⁷⁾는 선택된 표면을 생산할 수 있는 포괄적인 분석을 하였고 Christie¹⁰⁾는 현재 오스트레리아에서 이 방면에 대한 실험에 대해서 세부적으로 보여주고 있다.

선택된 표면은 집열표면의 온도가 주위대기 온도보다 높을때 특히 중요하다. 앞에 열거한 예는 태양열 이용에 있어서 선택된 표면을 사용한 결과로서 발표된 예중에서 몇개이다.

집열기의 목적이 액체를 가열하는 것이라면 판은 집열판에 잘 접착되어야 한다. M.I.T.에서 Hottel과 Woertz¹¹⁾의 우수한 연구에 의하여 시작해서 Whiller와 Erway에 의하여 연구가 계속된 많은 실험적이고 실제적인 조사가 세부적인 설계와 實行을 하였다. 집열판에 판을 부착시키는 방법은 세계 각 지역에 있는 설계자의 독창성에 도전하고 있다.

비용의 감소, 열전도율때문에 집열판에 사용되는 재료에는 구리, 알루미늄, 강철이 있다. 만약 집열면적 전부에 열전달 유체가 흘러내리면 집열판 재료의 열전달율은 중요하지 않게 된다. Whillier는 접착 열전달율¹²⁾의 영향을 연구하고 판과 집열판의 접착 열전도율만 좋다면 강철 판도 동관처럼 좋다는 결론을 내렸다. 접착 열전도율은 완벽하게 납땜된 판에서는 1,000Btuh/ft/F 정도 큰 값이지만 불량하게 적여놓거나 납땜하면 3.2 Btuh/ft/F 정도의 작은 값을 갖는다. 판과 집열판의 완전한 접착은 實行에서 가장 바람직 하지만 대량 생산설비가 요구된다.

그림 2는¹³⁾ 과거에 어느 정도 성공적으로 사용되었던 물과 공기 가열방법중 몇 가지를 보여준다. 오스트레리아,¹⁴⁾ 프랑스, 인디아, 일본,¹⁵⁾ 남아프리카,¹⁶⁾ 미국에 연구하는 어떤 사람에 의하여 이전에 시도되지 않았던 완전히 새로운 집열기를 고안할 수 있는 매우 독창적인 설계자가 있을 것이다.

그림 2에서 (A)는 집열판과 판이 一體가된 접착된 판 설계를 보여준다. 이런 것은 상업적인 放熱器나 다른 열교환기에 사용된다. (B)와 (C)는 금속판의 위어나 아래 납땜이나 다른 방법으

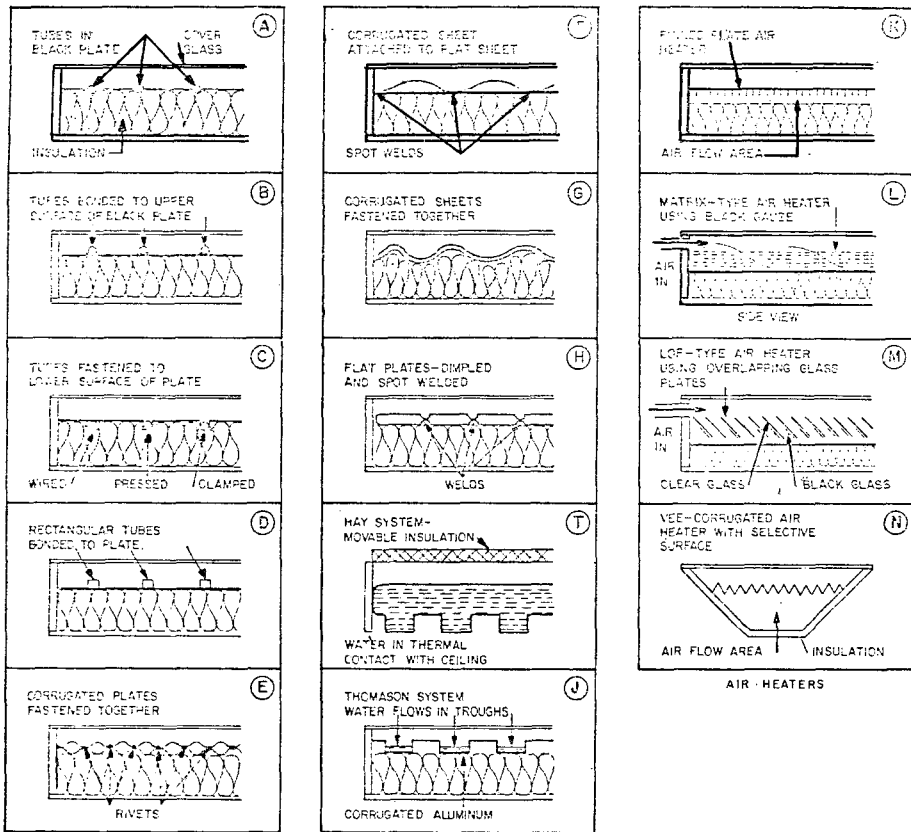


Fig. 2 Variations of solar water and air heaters

그림 2. 各種太陽熱溫水器와 空氣가열기

로 단단히 접촉시킨 관을 갖는 전통적인 유체 가열장치이다. 클립 (clip), 거털못 (clamp), 비틀림 철사, 등 고안품들이 어는 정도 성공적으로 시도 되었다. (D)는 집열판과 관사이에 접촉면적을 증가시키기 위해 원형단면보다 직각단면 관을 사용하였다. 기계적 압력, 브레이징 (brazing)이 실제 조립할 때는 사용된다.

(E), (F), (G)는 도금된 강판이 水密된 유체통로를 포함하는 용기와 함께 단단히 매어져 있다. (H)는 구리, 알루미늄, 도금된 강철 평판의 움푹들어간 곳을 스폿 (spot) 용접이나 리벳팅에 의하여 단단히 조여진 것을 보여준다. 관이 아니면 견딜 수 있는 압력에 한계가 있으므로 미국에서는 고압측에 일반적으로 사용되지 않는다. (I)는 물이 금속에 의하여 지지 되는 투명한 프라스틱

통에 있고 물표면 위에 수평으로 이동할 수 있는 절연체를 갖은 Hay 시스템¹⁶⁾에 사용되는 수평지붕 못을 보여 준다. 여름 냉방때는 부수적인 열발산이 증발에 의하여 얻어지므로 프라스틱 통은 절연체로 덮지 않아야 한다. 전연체는 여름에는 낮과 겨울밤에는 덮어야 한다.

그림 2에서 (J)는 경사가 큰 남향 지붕에 사용할 수 있는 Thomason씨의 물결모양 흡으로 된 알루미늄 집열기를 보여 준다.^{17, 18)} 물은 지붕의 보죽한 끝에 구멍이 뚫여진 동관에 의하여 지붕의 위에서 아래로 내려오는 흡에 물을 공급한다. 이 더운 물은 도금된 흡의 밑바닥에 모여서 지하 저장탱크에 모이게 된다.

공기나 개스는 가열은 공기와 금속관 사이에 낮은 열전달 계수를 갖기 때문에 접촉면적을 증

가시키는 형태(그림 2-K)가 사용된다면 평면형 집열기로도 할 수 있다. 매트릭스형(Matrix type) 물체(L), 유리, 알루미늄, 많은 다른 비슷한 물질로 걸쳐진판(M)은 입사한 태양광선을 많이 흡수하고 공기와 흡수 물체 사이의 접촉 면적을 증가시키는 데 사용된다.

우박이나 돌맹이에 의한 덮개 유리의 파손은 유리보다 몇인치 위에 철봉으로 된 틀에 $\frac{1}{2}$ " 철망을 사용하면 막을 수 있다. 이 철망의 사용은 약 15% 정도 흡수면적을 축소 시킨다. 이 면적 축소에 대한 보상으로 집열판의 전면적을 증가시키면 된다.

집열판과 절연체를 포함하고 유리를 지지 하는 케이스는 뒷면이 습기에 견딜 수 있는 나무틀이나, 녹이 슬지 않게 잘 페인트칠을한 얇은 금속 판으로 만들 수 있다. 석면세 멘트도 사용할 수 있지만 무겁고 깨어지기 쉽다. 섬유질 유리로 만들어진 플라스틱 케이스는 水密이고 대량생산할 수 있다. 덮개 유리는 날씨 변화에 견딜 수 있는 개스킷(gasket)으로 잘 고착시켜야 한다. 4ft² 보다 큰 유리는 다루기 힘들다. 이렇게 큰 집열기는 여러장의 적은 유리로 만든다. 압출 알루미늄이나 합성고무로 이 여러장의 유리를 연결 시킨다. 건물의 남향 콘크리트벽이 집열에 사용될 수 있는 프랑스 주택의 경우와 같이 집열면적이 필요 이상되는 경우는 벽에 흑색 페인트를 칠하여 벽과 유리를 1 in 정도 공간을 만들어 공기가 움직일 수 있게 한다. 만약 금속 집열판을 사용하면 집열판과 유리 사이를 대류에 의한 열전달을 막을 수 있는 절연층을 제공하기 위해서 정체공기("dead air") 공간을 만들어 두면 공기는 집열판 뒤에서 유동할 수 있다. 가느다란 금속을 필요한 구조적 지지를 주기 위해 사이 사이 사용할 수 있다. 이것은 공기의 유동방향을 지시하고 열전달 표면을 증가시켜 준다.

공기 가열 집열판의 선택은 집열판을 연속적으로 물결모양의 V형 흡을 만들므로 현저히 집열판의 특성은 향상된다.¹⁹⁾ 물결모양의 집열판은 방향을 선정하여 적당한 방향에 장치하면 평면형보다 더욱 큰 흡수율을 갖는 것이 몇년동안 실험

에서 보여준다. 평면형보다 방사율이 상대적으로 적다. V-형 물결모양 집열판은 흡수율을 향상시킬 뿐아니라 열전달 표면도 증가시킨다.

1961년 새로운 에너지원에 관한 UN 회의에서 G. Francia²⁰⁾는 평면형 집열판과 덮개 유리 사이에 투명한 벌집 모양의 구조물 사용을 제안했다. 이 벌집모양은 대류에 의한 열손실을 현저히 줄이고 장파의 방사를 상당히 줄인다. 더욱 근래의 연구²¹⁾는 그의 발견의 타당성을 증명하고, 비싸지 않고 대규모로 사용할 수 있는 벌집모양의 재질을 발견하려는 조사가 계속되고 있다.

5. 일사집열기의 응용

5.1. 서모사이펀

가장 널리 사용되는 태양열 이용 장치는 확실히 온수를 만드는 그림 3의 서모사이펀(thermosyphon)이다. 그림 2에 보여준 여러가지 집열판 중 판과 평면 집열판으로 구성된 것을 사용하며 설치 각도는 최대출력이 필요한 계절에 따라서 위도에 10~20° 정도 더하거나 뺀 각도로 남향으로 기울어지게 설치한다.

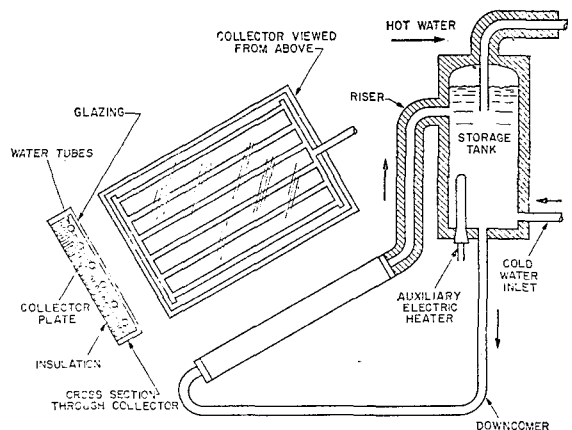


그림 3. Thermosyphon water heater showing details of storage tank and heat collector (Courtesy HPAC)

용량이 40~60 갤런의 절연된 저장 탱크는 집열판의 윗부분보다 저장 탱크의 밑바닥이 2ft 정

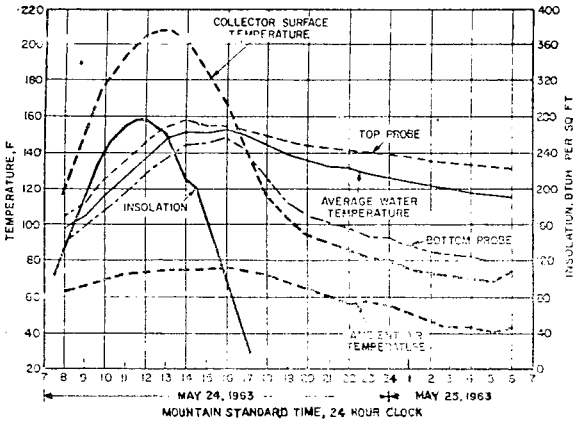


그림 4. Performance of typical thermosyphon water heater at phoenix, AZ on May 24 and 25, 1963. Forty gal. of water were heated to 150F (courtesy HPAC)

도 높게 설치한다. 절연된 down comer 을 통하여 찬물은 집열판의 헤더(header)로 들어간다. 다른 절연된 파이프는 윗헤더(header)를 탱크의 밑바닥에서 $\frac{2}{3}$ 높이의 곳에 연결한다. 시스템은 찬물로 채워져 있다. 햇빛이 비칠때 판에있는 물은 더워진다. 이 더워진 물은 판을 따라 위로 상승하여 라이저(riser)을 통하여 탱크에 들어간다. 햇빛이 집열판을 충분히 뜨겁게 하는 한 물은 계속 순환할 것이다. 그림 4는 그림 3의 대표적인 몇일간의 실험결과를 보여준다.

아주 맑은날 저녁에는 저장탱크는 추운 겨울날에는 120°F(49°C) 정도에서 뜨거운 여름날에는 165°F(74°C) 정도의 뜨거운 물로 가득찬다. 한 세대의 주택에서는 16~20ft²(1.5~1.9M²)의 흡수면적(집열판)과 40~60갤론(150~230l)의 물이면 이스라엘,²²⁾ 오스트레리아^{14, 23)}에서는 충분하다는 것이 밝혀졌다.

서모사이펀(thermosyphon)처럼 간단한 장치를 사용하는 데 주의해야 할 점이 있다. 탱크를 집열판보다 2ft 정도 높여 놓지 않으면 추운 밤에는 탱크에서 가열기(집열판)에 역류가 일어날 수 있다.²⁴⁾

얇게 유리 한장을 갖은 집열기는 추운 날씨에 얼어버릴 염려가 있으므로 이것을 방지할 조치가

필요하다. 대기 온도가 30°F(-1.1°C) 이하로 떨어질때 이중유리가 적당하다. 매우 추운 날씨에서는 부동액과 물을 가열기에 순환시키고 가정용 온수탱크에 코일형 열교환기를 사용하는 보조 시스템이 사용된다.

이스라엘²²⁾에서 수년동안 실험에서 사막의 먼지는 주요 문제가 되며 덮게 유리와 케이스 사이에 밀봉이 필요하다는 것을 보여준다. 미세한 흰 먼지와 밤 이슬은 결합하여 집열기의 성능을 감소시키고 기계적으로 없애야 하는 단단하고 반사체의 하얀 피막이 생성된다. 덮게 유리에 얇은 먼지는 뜨거운 물을 만드는 데 매우 적은 영향을 준다.

미국과 이스라엘에서 초기 집열기에 대한 견해는 적은 양의 물을 집열기 윗 부분에 물속의 광물질, 침전물의 침전을 시킬수 있을 정도의 높은 온도로 올릴 수 있는 연속적인 꾸불꾸불한 형태의 것이었다. 그림 2의 (B), (C)에 보여준 격자 시스템(system)은 헤더(header)의 청결, 집열판의 덮게가 좋고 물속의 침전물에 무관한 점등에서 유리하다. 실험은 $\frac{1}{2}$ in 표준 크기보다 적은 판을 사용 할 수 없다는 것을 보여준다. 잘 만들어지고 적당히 설계된 서모사이펀(thermosyphon)은 하루동안 효율은 대기온도와 바람속도에 의존하며 45~65% 정도 될 것이다.

5.2. 강제순환식 온수가열기

한개 혹은 두개의 집열판을 갖은 서모사이펀(thermosyphon)은 온수의 수요를 만족 시키지 못하는 경우가 많다. 저장탱크가 집열기보다 아래 또는 상당한 거리에 있어야 할 건축적 요구나 다른 요인들이 있다. 이런 경우에는 집열면적 1ft² 당 1gallon/hr의 유량을 유동시킬 강제 순환장치가 필요하다.²³⁾ 원심 온수 가속 펌프가 이런 적은 유동에 만족할 만하다는 것이 증명되었다.

여러개의 집열기가 동시에 작동할 때 연속-평행 방법이 집열기 모두가 평행한 것 보다 우수하다는 것이 발견되었다. 이 방면에 많은 실험을 한 오스트레리아 당국²³⁾은 24개관 이상은 평행하

게 작동시킬 수 있고, 더 많은 수의 관은 down-comer 들이 사용 되거나 여러개의 평행 시스템이 사용될 수 있다고 보고했다. 공기와 결합을 막기 위해서 구멍을 막는 것은 필수적이다.

5.3. 강제 순환공기가열기

공기 가열기에 대한 연구는 물 가열기에 대한 연구처럼 세부적 연구는 되어 있지 않지만 공기가 물보다 더 열전달 유체로 적합한 곳에서는 많이 적용된다. 공기는 얼지 않고, 공기가 새는 것은 걱정거리가 되지만 물이 새는 것보다 중대하지 않다. 태양 가열공기의 자연 순환방식이 가장 큰 태양 용광로 Odeillo 근처 Font Remeu 에 있는 프랑스風의 집에 설치 되어 있다. 공기의 비열은 0.24Btu/lb/F 인데 물의 비열은 1.0Btu/lb/F 이고, 공기 밀도는 0.075lb/ft³ 인데 물의 밀도는 62.4lb/ft³ 이다. 그러므로 집열기에서 물을 운반하는 파이프보다 공기에서 파이프는 더 커야 한다. 어떻게 대부분 공기조화 시스템(system)은 실제 냉난방에 있어서 공기를 사용하므로 공기가 열전달 유체로서 유리하다.

그림 (2)의 (k)는 공기 유동방향이 흡의 방향과 평행한 핀이 달린 평판 집열기를 보여준다. 어떤 경우에는 열흡수판의 양쪽으로 공기가 흐르도록 하는 것이 유리하다. 그리고 수평으로 핀이 달린 집열기나 물결모양 집열기에서 양쪽으로 공기가 들어와서 집열기의 중앙에 있는 공간에 연결된 팬에 의하여 공기를 끌어 내는 것은 더욱 바람직하다.^{25, 26, 27)}

그림 (2)의 (L)은 일정 두께의 규격화된 흑색 물체나 小孔 물체에 의하여 태양광선이 흡수되는 매트릭스형(Matrix type) 집열기이다. 공기는 이 시스템(system)을 모두 통과하여 나온다²⁵⁾.

그림 (2)의 (M)은 Löf 씨에 의하여 고안된 겹 유리 공기 가열기이다. 위에 있는 맑은 유리를 통과한 태양 광선은 아래 있는 흑색 유리에 의하여 흡수된다. 이 시스템에서 변환시킬 수 있는 점은 흑색이나 선택된 표면을 갖는 알미늄판을 사용하므로 판의 노출된 윗 부분은 흡수면으로 사용될 수 있고 아래부분은 열전달 면적으로 사

용할 수 있다.

그림 (2)의 (E)와 (F)에서와 같은 물결모양 강철 집열기나 알미늄 집열기는 공기에 대해서도 사용할 수 있다. 이것들은 상대적으로 적은 설치비가 드는 잇점이 있다. CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)의 오스트레리아 과학자들은 그림 (2)의 (N)에서와 같은 V-형 물결모양 공기 가열기의 사용을 개척하고 있다.

6. 집열 효율

집열기의 효율은 생각하고 있는 시간동안 태양 방사량에 대한 유용하게 집열된 에너지와의 비로써 정의 된다. 입사각이 바람직한 정오때의 순간적 효율은 아침과 저녁의 입사각이 큰 경우를 포함하는 하루 동안의 효율보다는 크다. 집열기의 효율을 계산하는 상세한 수학적 분석법이 참고문헌 1.4.19에 있다. 이 복잡한 문제에 대한 극히 간단화된 근사방법은 다음 식과 같다.

집열기 열흡수 [Btu/ft²] Lb/hr/ft F° = 열전달 유체유량 × 열전달 유체비열 × 유체의 온도증가

집열기의 단위 면적당 열평형은 아래처럼 표시된다.

태양 방사율 = 집열기 열흡수율 + 유리에 의하여 하늘에 분산된 태양광선 + 집열기에 의한 열손실 + 케이스 · 파이프에서 적은 열 손실

덜게 유리의 반사에 의한 열손실은 35° 입사 광선까지에 대하여 유리-공기면을 통과 하는 에너지의 약 4% 정도 된다. 그래서 전체적인 반사에 의한 열손실은 한장유리를 갖는 집열기에서는 8% 정도이며 두장유리를 갖는 집열기에서는 15% 정도이며 삼중유리를 갖는 집열기에서는 22% 정도이다.

유리에 의한 흡수된 에너지의 축적은 매우 복잡하다. 왜냐하면 유리온도의 상승은 집열판에서 유리로 열유동을 어느정도 감소시켜 줄 것이다. 흡수를 고려할 때 입사 각 40°까지는 한장유리에서는 10%, 이중유리에서는 18%, 삼중유리에서는 25% 정도의 손실이 있다. 얇은 프라스틱 필

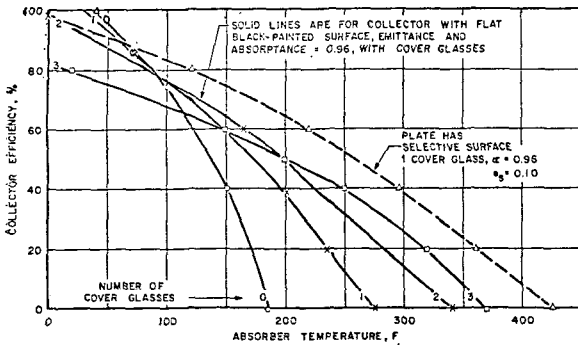


그림 5. 外氣溫 70°F (21.1°C)에서 300BTU/hft²의 일사조건 下에서 平板集熱器에 대한 效率(D. Erway 와 McGraw-Hill Book Co. 提供)

름의 사용은 이 손실량을 줄일 수 있다. 그러나 이 얇은 필름은 집열판에서 방사하는 장파의 열선을 30~40% 정도 투과시키는 단점을 가지고 있다. 밖에는 유리판 내부에는 한두장의 프라스틱 필름을 사용하는 것은 재미있는 가능성을 가지고 있다.

잘 절연된 집열기의 주요 손실 요인은 집열판에서 유리를 통하여 대기로 열유동에 의한 열손실이다. 이 열손실은 집열판의 장파의 방사율 ϵ_s 와 집열판온도와 유리 밖에 있는 대기 온도의 차이와, 바람속도의 함수이다.

집열판에 의한 에너지 흡수량은 입사광선의 강도 I_s 와 유리 흡수율 τ_g , 그리고 집열판의 흡수율 α_s 의 곱이다. 흡수율은 입사각 40°까지는 보통 90% 이상이지만 40° 이상의 입사각에 대해서는 흡수율과 투과율은 갑자기 떨어진다(도표 1 참조).

대기 온도 보다도 낮은 유체 온도에 대해서는 어떤 덮개 유리 없이도 효율은 높다.

집열판 표면 온도가 상승하면 효율은 한장유리를 갖고, 선택하지 않은 집열판 표면을 갖을 때 떨어진다. 좋은 선택된 표면을 만들면($\epsilon_s=0.10$ 정도) 온도가 200F(93.3°C)정도 상승할 때 효율에 있어서 상당한 향상을 보여준다. 선택되지 않은 표면에서는 200F(93.3°C) 정도에서 이중유리를 사용하여 열손실을 감소시켜도 투과율에 감소에 의하여 상쇄되므로 효율은 상승하지 않는다.

재래식의 흡수식 냉동기에 요구되는 250°F(121°C) 정도의 집열온도에서 삼중유리와 높은 방사율을 갖은 집열기나 한장유리이면서 $\epsilon_s=0.10$ 정도인 집열기를 갖고서 50% 정도의 효율을 얻을 수 있다.

7. 集光集熱器

평판집열기에 의해서 얻을 수 있는 것 보다 훨씬 높은 온도가 많은 양의 태양일사가 비교적 작은 집열면적위에 집중될 때 얻을 수 있다. 간단한 反射平板을 사용하므로써 집열면에 도달하는 태양 直達日射의 양을 상당히 증가시킬 수 있으나 天空을 횡단하는 태양의 移動때문에 집광집열기는 언제나 태양을 추적할 수 있어야 한다. 東西로 움직이는 포물단면의 반사 트로-프(reflective trough)는 태양의 赤緯변화에 대한 補正만 하면 되므로 최소한도의 조정을 필요로 한다. 오전과 오후에는 포물면 트로-프(trough)의 焦點線을 따라 통하게 된 집열판의 端末은 어느 정도의 그늘이 지게 됨이 불가피하나, 프랑스의 Trombe 와 Foex, 러시아의 Baum 에 의해서 만족할 만한 결과가 보고 되었다.

포물면 집광기는 探照燈의 반사기를 닮았고 아주 높은 온도를 얻을 수 있으나, 아주 정밀한 추적장치가 필요하고 천공복사는 집중시킬 수 없으므로 直達日射만을 이용할 수 있다.

태양을 추적하는 두가지의 중요한 方式이 있다. 經緯儀法(Altazimuth method)은 태양의 이동을 추적하기 위해서 추적면의 高度와 方位角을 변화시켜야 한다. 적도지방에 있어서는 집열기의 軸을 북쪽으로 향하게 하고 태양 赤緯의 變化를 補正하도록 그것의 경사각도를 變換시킬 수 있도록 장치했다. 이러한 집광기의 하룻 동안의 運行은 태양의 軌보기 운동을 補正하도록 단순히 1시간에 15°의 각도를 회전하도록 한다. Daniels 는 (참고문헌 45) 適溫을 얻기 위한 焦點調整集光器의 이용에 관한 아주 有用한 논술을 발표했다. 東西로 향하게 한 수평포물면 트로-프(trough)는 특히 Faber 가 고안한 형태가 많은 가능성을 갖

고 있는데, 이것은 그 지방의 위도만큼 경사를 고정시키고 여러 개의 작은 포물면 트로-프를 부착한 것이다.

집열관이 비교적 클 경우에는 조정이 거의 필요치 않다고 보고 되고 있다. Farber도 역시 적도지방에 포물면 트로-프를 이용하는 방법을 보고 하고 있다.

과거에 있어서 집광집열기의 주된 이용은 냉동이나發電에 사용하기 위한 증기나 高温의 流體를 생산하는 것이었다. 태양을 추적해야 함으로 인한 비싼 비용과 이 집열기의 복잡한 機構, 그리고 흐리거나 구름이 있는 날은 전연 作動할 수 없는 점 등은 銘心해야 할 결점이다.

8. 蓄熱方式

일년 동안의 전체 시간의 약 1/2 정도는 어떠한 곳에서도 밤이 되기 때문에 현재의 태양난방과 태양냉방 方式의 경우에 연속적인 運轉을 하려면 열 즉, 에너지의 저장 수단이 있어야 한다. 썬-도 사이폰 온수기(thermo syphon water heater)는 그 자체안에 축열조를 갖고 있으나, 일반적인 태양열이용 장치는 단독의 축열조가 필요하다. 주택의 냉난방에 필요한 열량을 축적할 수 있는 2가지의 적당한 方法이 있다.

8.1. 比熱을 利用한 蓄열방식

일찍부터 가장 널리 사용된 장치는 물이나 岩床을 사용하여 온도차에 의해 열을 저장했다. 물의 비열은 1.0 BTU/lb degF (1.0 kcal/kg deg) 이고 밀도는 62.4 lb/ft³ (1,000 kg/m³)이며, 그래서 물 1ft³가 그 온도를 10°F 증가시키게 되면 624 BTU (5.5 kcal/l)의 열량을 저장할 수 있다. 1,500 gal (5,700l)의 축열조는 6 sh tn (12,518, 5,680kg) 이상의 물을 담고 있으며 온도의 50°F 증가에 의하여 탱크의 축열용량은 625,900 BTU가 된다. 확실히 축열조는 열손실을 최소한으로 줄이기 위해서 단열이 잘 되어야 하고 축열조에서 집열기로 물을 공급하기 위해서 펌프가 필요하다. 가열된 물은 重力에 의해서 축열조로 되

돌아 오게 된다.

岩床은 열반송유체로서 공기를 사용할 때 사용하는 또 다른 축열방법으로서, 岩床을 통해 공기를 불어 넣거나 吸入할 때 필요한 압력강하(壓力降下)를 얻기 위해서 팬(fan)이 使用된다. 岩이나 다른 대부분의 고체물질은 비열이 0.20 BTU/lb degF에 가깝고 100lb의 무게가 되는 岩床 1ft³은 온도 1°F 증가에 대해서 20 BTU (5.0 kcal)의 열용량을 갖게 된다. Daniels는 球를 촘촘히 쌓았을 때 전체 체적의 약 1/3의 공간이 비게 되고 이 값은 구의 직경이 모두 同一하면 구의 크기에는 관계가 없다는 사실에 주목하였다.

岩은 1ft³ 당 6ft² (20m²)의 표면적을 가지나 이 물질을 2inch의 球의 형태로 사용하면 표면적이 크게 증가한다. Löf는 축열에 있어서 岩床을 이용하는 방법에 대한 광범한 연구를 했으며 그의 Denver House에 1 1/2~2in (40~50mm)의 자갈 11sh tn (10t)을 담고 있으며 높이가 18ft (5.5m)인 섬유板製의 2개의 圓柱를 사용했다.

오스트레리아에서는 태양집열기와 RBR(岩床蓄熱式) 냉방장치의 양자에 연관되어 岩積蓄熱장치가 널리 사용되고 있다. Choda와 Read는 340ft³ (9.6m³)의 압축축열장치에 열을 공급하기 위해 300ft² (27.9m²)의 표면적을 갖도록 직렬로 배치되었고, 각각 6×2.5ft 크기의 보호면을 가진 그림 2의 ㉞와 비슷한 20台的 집열기를 가진 태양공기가열기의 성능에 대해서 보고 했다.

1 in (25mm)의 폴리스티렌·포움(polystyrene foam) 단열재로서 側面과 頂部를 內張했으며 직경이 9.75ft (3.0m), 높이가 6ft인 아연을 입힌 철판제의 탱크속에 3/4in (20mm)의 깨끗한 현무암으로 된 岩이 들어 있다. 그 岩들은 3/8in (10mm)의 14게이지 金網(14gauge wire mesh) 위에 놓여 지고 岩床의 下部에 플레넘 챔버(plenum chamber)를 형성하는 많은 벽돌에 의해 支持된다. 그 岩床內의 岩의 밀도는 89lb/ft³ (1,430kg/m³)이고 비열은 0.21 BTU/lb degF이다. 80°F의 온도가 상승하면 그 장치의 축열용량은 510,000 BTU (129,000kcal)이었다.

Thomason은 수도 와싱턴의 'SOLARIS' 태양

열주택에 대해서 저렴한 값의 거대한 열전달면과 축열용량을 보충하기 위해서 1,600gal(6,000l)의 물탱크 주위에 50sh tn(46t)의 川石을 사용했다.

개별적으로 또는 조합하여 사용된 上述한 2가지의 축열방식은 모든 물질이 갖고 있는 잠열용량을 이용하는 것이나, 이것의 한계는 이용 가능한 물질의 비열이 단지 0.2C~1.0 BTU/lb degF의 범위에 속한다는 사실이다. 물의 동결이나 용해에 관련된 용해열(32°F에서 144 BTU/lb, 0°C에서 80kcal/kg)이나 혹은 나트륨鹽水化合物系の 동결이나 용해에 있어서 용해열(99~122°F에서 90~118 BTU/lb, 35.6~50°C에서 49.9~65.4 kcal/kg)은 주어진 물질의 무게와 용적안에 훨씬 더 많은 량의 열을 저장하는 方法을 제공한다.

冷凍장치에서 물은 有用한 “냉열을 저장하는”(cold storage) 물질이 되고, 잘 알려진 바와 같이 물이 동결할 때 팽창하는 특성을 보상하는 독창적인 장치가 Davis와 Lipper에 의해서 논술되었다. 그것의 실제 應用例는 공기 對 공기의 heat pump와 더불어 태양공기 가열기의 이용을 포함하고 있다. 이러한 신축가능한 물탱크에 의한 저온축열은 냉방기간중에 전력의 수요를 최소한으로 줄였으나 한편 耐熱性的의 polyester film 보호면을 가진 간단한 공기 가열기(그림 2의 ㉔形)는 난방기간동안에 용량과 成績係數의 상당한 개선을 가져 왔다.

8.2. 融解熱을 이용한 蓄熱方式

난방장치에 대한 Dr. Maria Telkes에 의한 광범한 연구는 91.4°F(33.0°C)에서 108 BTU/lb(60kcal/kg)의 용해열을 가진 잘 알려진 “Glauber鹽”(Na₂SO₄·10H₂O)에서 시작하여 실제로 이용 가능한 鹽水化合物의 장래 가능성에 대한 명확한 이해를 하게 해 준다. 이 값싸고 풍부한 재료는(1sh tn 당 35\$) 결정축진제로 쓸 수 있도록 3~4%의 붕사(硼砂)와 혼합하면 값이 1lb에 1\$ 미만이고 용해·응고점 온도는 89°F(31.7°C)이다.

그밖에 나트륨鹽과 結晶促進劑와의 혼합물은 광범위한 온도에 걸친 용해점을 얻을 수 있어서, 그 가운데는 空調장치의 低溫側에 “冷熱저장”

(cold storage)에 적당하고, 한편 다른 것은 태양집열기에 채집된 열을 저장하는 데 有望하다. 용해열 이용 물질의 使用에 있어서 성공의 열쇠는 그것이 작용하는 특성을 이해하는 것이다. 이것들이 層을 形成하는 것은 통상의 특징이며, 거기에서 고체성분은 殘留액체로부터 분리된다. 물이 凍結하면 얼음은 물보다 밀도가 낮으므로 다행히도 응고할 때에 얼음은 水面에 떠오르게 된다. 만약 그렇지 않다면 호수나 강은 위에서부터 밑으로 동결하는 것이 아니라 바닥에서부터 위로 동결할 것이다.

Dr. Telkes는 Glauber鹽이 큰 용기에 사용될 때 그것 역시 層을 형성하나 그것의 비중이 2.66인 반면에 잔류액체는 밀도가 그 1/2 이하인 까닭에 固體相은 底面에 가라 앉는다. 이러한 문제는 外表面을 열교환기로서 사용할 수 있는 길고 얇은 管狀의 容器를 사용함으로써 극복할 수 있다. 체적에 대한 표면적 比는 커야 하고 체적 1ft²당 열전달 면적이 25ft²의 범위 안에 있어야 한다.

Delaware 大學의 태양주택에 있는 축열장치는 鹽水化合物의 共融 혼합물을 수용하기 위해 형광등과 그 크기와 外觀이 흡사하고 細長한 플라스틱 管을 使用한다. 冷熱은 단지 off-peak 時에만 작동하는 히이터·펌프로부터 오는 공기에 의해 냉각된 1列의 管속에 저장된다. 熱은, 그 건물의 南側 벽과 지붕 위에 있는 공기 가열기로부터 공급받은 열에 의해서 낮동안 용해하는 다른 水化合物을 담고 있는 다른 1列의 管 속에 겨울밤 동안의 난방을 위해 저장이 된다.

9. 太陽 에너지를 이용한 冷房

冷溫을 얻기 위해서 열을 使用하는 것은 1세기 이상이나 이전부터 알려져 왔다. Abel Pifre는(1878년 파리에서) 원시적인 흡수냉동기를 작동시키기 위해서 태양보일러에 의해 만들어진 증기를 사용했으며 그렇게 해서 소량의 얼음을 제조했다고 알려지고 있다. 그시대 以後로 다른 연구자들은 태양의 복사 에너지가 냉동효과를 일으킬

수 있는 3가지의 方法을 개발했다. 이 3가지 시스템 모두가 종래의 에너지원에 의해 使用되고 있다.

그 첫번째가 플로리다대학에서 1936년에 W. P. Green에 의해 연구된 증기 분사장치(Steam jet system)이다. 증기 분사 ejector가 기능을 발휘하도록 충분히 높은 압력의 증기를 생산하기 위해 집광집열기가 사용되었고, 이것이 반대로 ejector에 연결된 탱크內的 물을 증발, 냉각시킨다. 이것의 成績계수(Coefficient of Performance)가 낮음이 입증되었고 태양추적집광기의 필요로 인해서 이 시스템은 상업적 견지에서 비현실적이다.

두번째의 시스템은 태양집열기에서 발생하는 수증기나 다른 증기를 사용하여 작동되고 Rankine Cycle Engine이나 turbine에 의해 운전되는 잘 알려진 압축냉동사이클을 채용하고 있다. Baum과 Kirpiche는 Tashkent에 건립된 거대한 태양추적포물면 집광기를 사용하여 하루에 500lb(227 kg)이 넘는 얼음을 제조했다. 그러나 그 장치는 너무나 경비가 많이 들고 복잡하여서 다른 사람의 추종을 불가하게 했다.

動作流體(working fluids)로서 불화탄화수소(flouated hydrocarbon)의 유용성은 태양을 동력으로 한 압축냉동에 다시 관심을 불러 일으켰다. Teagen과 Sergent는 R-22가 냉동 Cycle에 사용되는 한편, 동력 Cycle에 냉매형동작유체, 특히 R-114를 動作 Cycle에 사용하는 독창적인 시스템을 제안했다. 그들 장치의 일례는 1台的 4기통 왕복엔진이 사용되어 2기통이 動力을 공급하는 동안 다른 2기통은 R-22를 압축한다. 그들은 냉방에 필요치 않은 겨울철에 전력도 또한 공급할수 있는 시스템을 계획하고 있다. 128°C (248°F)의 태양집열기 온도와 공냉응축기(aircooled condenser)를 사용하여 그들은 성적계수를 0.4정도로 높일려고 하고 있다. 이 값은 전동기에 의해 작동되는 압축장치에 비교하면 낮지만 흡수식 장치에 비교하면 훌륭하다.

R. K. Swartson은 태양을 동력원으로 하는 냉동에 관한 종합적인 평론을 발표했는데 이것은 과거 몇십년 동안 시도되어온 여러종류의 흡수장

치에 그 중점을 두고 있다. Löf는 냉매로 수증기를 쓰고 吸收劑로 브롬화리튬염(lithium bromide)을 사용하는 상업적으로 유용한 흡수냉동 System의 운용을 논술하고 있다. J. A. Duffie에 의해 Wisconsin대학에서 행한 시험에 의하면 175°F(79.4°C)에 있어서 태양집열기의 온수는 250°F(121°C)의 열을 공급했을 때 定格 3RT의 市販장치로부터 2RT의 냉동효과를 낼수 있음이 밝혀졌다. 온도의 저하로 인한 定格이 떨어짐에도 불구하고 성적계수는 0.6이 유지 되었다.

Florida大學은 그들의 태양에너지 연구소의 관심을 암모니아水 흡수 cycle에 집중했으며, Farber는 태양흡수기가 암모니아를 수용액에서 추출하는 발생기도 되는 동시 연속냉동시스템의 성공적인 운전을 보고하고 있다. Florida대학의 장치는 전에 발표된 어떤 시스템보다도 더 낮은 집열기 온도에서도 냉방을 할수있고 오늘날 건립할수 있는 평판 집열기와 더불어 사용하는 데 잘 맞는 것으로 보인다. 종래의 시스템과 경쟁하려면 가격이 충분히 낮고 성능이 아주 높은 태양공조 시스템을 제작하기 위해 광범한 연구가 필요할 것이다. 그러나 태양냉방은 수요가 최고 높을 때에 최대의 에너지를 공급받을 수 있는 큰 잇점을 갖고 있다.

Dubin은 대사무소건물의 태양냉난방에 관한 논문에서 흡수장치는 종래의 장치가 필요로 하는 270°F(132°C)의 온수나 15psig(1.06kg/cm²)의 증기 보다도 210~220°F(98.9~104.4°C)의 온수 온도에서 잘 작동하는 100RT의 범위에서 이제 사용 가능하다고 말하고 있다.

그러나 이 장치의 용량은 다소 감소하였다. 그는 180~190°F(82.2°C~87.8°C)에서 충분히 작동할수 있는 흡수장치를 개발하기를 바라고 있다. Farber는 지붕면적이 일반적으로 소요의 집열기에 대해 充分한 단독주택에 적합한 크기의 장치는 이미 완성되었다고 보고 하였다.

10. 夜間복사와 증발에 의한 冷房

압축냉동은 공조설비를 가진 주택에 있어서 최

대의 전력소비원이다. 그래서 여름의 기후조건에서 쾌감을 얻기 위해 전력을 필요로 하지 않는 자연현상을 이용하려는 시도가 많이 있었다.

야나기마찌(柳町)는 동경에서, Bliss는 Tusco에서(참고문헌 1) 참조) 겨울철에 상온에서 열을 집열하고 여름철에 夜空에 열을 放出하기 위해서 남향의 지붕에 보호면이 없는 裸管집열기(unglazed tube-in-strip collector)를 사용하였다. 이 양자 모두가 복사천정(radiant ceiling)과 필요한 경우에 순환수의 온도를 높이거나 조정하기 위한 heat pump와 축열수조를 갖고 있다. Bliss에 의해 행하여진 야간복사의 분석이 이미 발표되었고 이 현상은 노점이 낮은 야간에 20~30 BTU/hft²(54~81 kcal/h m²)의 비율로 냉각을 할 수 있다.

야간의 복사와 증발의 組合은 1968년의 여름 동안에, phoenix에 있는 시범 Skytherm 건물에서 여름철의 전체 시간의 90%를 快感帶로 유지하는데 충분한 효과가 있었고, 여름철의 오후의 온도가 실제로 110F(43.3°C)를 초과했음에도 불구하고 항상 85F(29.4°C) 이하로 유지할 수 있었다. 0.1 HP의 전력을 소비하여 작은 팬-코일 유닛트(fan-coil unit)를 운전하여 알맞는 정도의 氣流를 일으킴으로써 쾌적감을 증진시켰음에도 불구하고 야간에 복사와 증발을 조합한 이 장치는 전력을 필요로 하지 않았다. 최초의 全面的인 Skytherm 주택은 고안자 Harold Hay와 캘리포니아 州立工科大学과 HUD와의 공동계획으로서 캘리포니아의 Atascadero에서 현재 운전되고 있다.

오스트렐리아의 CSIRO의 보고에 의하면 取替가 가능한 岩床이 가득찬 傳熱式 열교환기안의 岩을 냉각시키기 위해서 放出된 空氣중의 水分의 증발을 이용하는 냉방장치가 100여 곳의 학교에서 성공적으로 운전되고 있다고 한다. 이들 학교가 환기에 필요로 하는 신선한 공기량은 일반적으로 1인에 대해서 20~25ft³/min(34~43m³/h)로 생각되어 지고 있으며 幼兒學校나 國民學校는 發生輿氣가 보다 더 강하므로 더 높은 수치가 사용되었다. RBR 장치의 경우에는 여름철에 100%

의 補給空氣가 使用되었고, 그 量은 1인당 28~85ft³/min이다.

증발식 RBR(rock bed regenerator)에서는 증발냉각된 排氣空氣가 RBR을 통해 흐를 때 岩床이 냉각되고 거기에 取入된 공기가 통과하므로써 냉각이 되게 된다. 공기의 흐름은 매 10分마다 교체되고 물은 각 Cycle의 시초에 단 10초 동안 분출된다.

5in 두께의 작은 石板(1/4". screenings)을 통한 압력강차는 오직 0.13in(3mm)이므로 2000ft³/min의 장치에 사용되는 2台的 fan을 사용하기 위한 動力은 겨우 600watt이다. 이 장치의 床면적 1ft²당 動力消費量은 기계냉동의 경우 0.88 watt에 대해서 0.75~1.0watt이다.

Thomason은 1600gal(6000l)의 축열조로부터 물을 보호면이 없는 북쪽지붕경사면에 흘러 내리게 함으로써 비교적 낮은 露點온도에서 夜間의 冷却에 있어서 성공적인 몇 가지의 예를 보고하고 있다. 증발과 夜間복사의 조합은 어느 정도의 冷却효과를 나타내지만 瓦石汀의 여름은 자연 冷房에 의해서 쾌적한 환경을 기대할 수 없을 만큼 높은 습도를 나타내는 특징이 있다.

종래의 蒸發冷却器는 모터를 사용하는 壓縮 냉동이 출현하기 전에 남서부에 널리 사용되었다. 그것은 아직도 공장 건물이나 저렴주택의 냉방에 사용되고 있으나, 직접증발냉각으로 인한 높은 실내의 습도에 의해서 그것이 작동하는 온도인 100°F(37.8°C) 만큼이나 높은 온도에서와 같은 불쾌한 환경을 만든다.

11. 太陽열 이용暖冷房 方式

Tybovt와 L6f에 의해서 태양난방과 태양냉방을 組合한 장치가 이 들 가운데 하나만의 기능을 가지는 장치에 비해서 경제적 전망이 훨씬 유리하다는 것이 나타났다. 1ft²에 2~4달러인 집열기의 가격은 그것이 겨울철에만 사용될 때 보다는 일년을 통해 계속 사용될 때 훨씬 더 경제성이 있게 된다.

同一한 장치로 난방과 냉방 양자를 할 수 있는

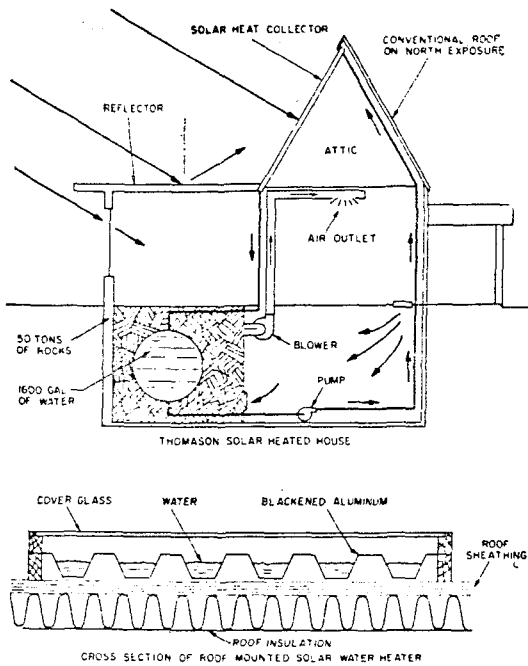


그림 6. Thomason의 태양난방방식 축열은 1600gal의 — 50t의 암에 의해 이루어진다. (HPAC 提供)

아주 간단한 장치가 1967~1968년의 18個月 동안 Phoenix에서 시험주택인 Hay Skytherm住宅에 사용되었다. 이 장치는 눈이 오지 않고 노점 온도가 아주 낮은 미국의 남서부 지방에 주로 적합한 것이다. 이것은 겨울동안에 日射를 채집하고 여름에 낮동안 축적된 열을 복사와 증발에 의해 天空에 放出하기 위해서 water-covered roof를 사용한다. 겨울 낮에 채집된 열의 손실을 막고, 여름철 낮의 일사가 물에 흡수되지 않도록 하기 위해서 耐候性的의 可動水平 우레탄(uretane) 단열판이 사용된다. 봄과 가을의 여러 주(週) 동안은 건물속의 축열조의 자연적인 “열저축 효과”(thermal flywheel effect)와 그것의 防水때문에 단열판의 이동을 전연 필요로 하지 않는다. 이 Skytherm 장치는 많은 수정을 할 수 있으며 야간의 복사와 증발, 양자에 의한 물의 冷却효과는 과소평가되어서는 안된다.

Thomason의 방식(그림-6)은 그림-2의 ㉑에 나타낸 바와 같은 아주 간단하고 값이 싼 집열기

를 支持하기 위해서 급경사가 진 지붕의 南面 전체를 이용한다. 집열면은 波形 알루미늄으로 만들어졌고 물의 흐름에 균일하도록 약간 위로 노출되어 있고 etching vinyl primer와 균일한 흑색페인트를 도장하였다. 집열기가 단열이 잘 되어 있는 지붕면 바로 위에 장치되어 있으므로 더 이상의 단열이 필요없다. 이러한 주택들에 대한 12년 이상 동안의 경험에서 얻어진 상당한 양의 정보와 함께 이것의 구조에 대한 상세한 내용이 참고문헌 55)에 게재되어 있다.

이 장치는 1600gal(6000l)의 축열조로부터 각 트러-프(trough)에 適量의 물을 공급하는 小孔을 가진 1/2in의 銅分配管으로 물을 순환시키기 위해 펌프가 필요하다. 따뜻해진 물은 重力에 의해서 sediment trap으로 돌아 오고 여기서 축열조로 流入된다. 주택 자체는 강제공기 순환방식에 의해서 냉난방이 된다. 공기는 물탱크를 둘러싼 계란모양의 50ton의 암으로부터 겨울에 열을 받는다. 이 암들은 축열물질이나 열반송면으로서의 역할도 하게 한다.

Thomason 방식에서 冷房은 소규모의 종래의 압축냉동기를 사용하여서 冷風을 崙저장소(rock bin)를 통해 불어넣고 축열조안의 물을 냉각시키고 다음 날의 낮 동안에는 반대로 실내의 공기를 냉각시키고 除濕시킬 수 있도록 암을 냉각시킨다. 압축기의 전동기는 오후의 peak hour 동안에는 작동되지 않도록 시간조절이 되어 진다.

Thomason은 적당한 조건의 장소에서는 축열조의 물을 북쪽의 지붕면에 흘러 내림으로서 夜間의 냉방에 이용하는 방법을 제안하고 있다. 우리는 물이 야간에 증발하거나 외부로 복사되는 것을 막기 때문에, 야간에는 南側에 설치한 보호면이 있는 집열기를 작동시켜서는 냉방의 효과를 거의 달성할 수 없다.

수도 와싱턴의 교외에 있는 Thomason 태양주택이 다른 어떤 종류의 태양난방장치 보다도 많은 작동시간을 기록해 왔다. 그것들의 有効性은 수시의 보조난방에 드는 기름값이 비슷한 규모의 이웃에 있는 재래식 주택의 기름값보다 훨씬 적게 든다는 사실로서 증명이 된다. 그러나 Solaris

장치를 다른 장소에서도 유효한가 평가하기 위해서는 개개의 要素의 성능에 관한 자료가 필요하다.

Delaware 대학의 태양열 이용주택인 "Solar One"은 태양열을 채집하고 전기를 발생시키기 위해 유화카드뮴(CdS) 전지를 사용하고 있다. 비록 CdS 전지는 宇宙계획에서 사용되는 single-crystal 실리콘전지보다 상당히 효율이 낮다고 인정되고 있으나 싼 값으로 대량생산할 수 있어서 경제적으로 봐서 이러한 장치에 사용합이 가능하다고 믿어진다.

겨울의 낮동안에 이 전지를 安全작동 온도內에 두기 위해 필요한 공기의 흐름은 융점 120°F의 공응염을 통해서 공기를 순환시키는 송풍기에 의해 이루어 진다. 주택의 남쪽 벽면위에 있는 6개의 수직 南面 panel 역시 겨울철에 보조난방 역할을 하게 된다.

여름 동안에 이 주택은 지붕위의 태양전지 panel에 의해 낮동안 充電된 축전지에 의해서 야간에 작동되는 Heat Pump에 의해 냉방이 된다. 약 50°F에서는 다른 공응염이 冷熱의 저장에 사용된다.

1973년 여름동안에 운전된 이 주택은 여분의 태양일사로서 열도 얻고 光電池로서 태양의 전기를 발전 하려는 최초의 시도를 보여 주고 있다. 그것은 주택의 소요열량과 전기량의 80% 정도를 태양으로부터 얻도록 설계되었고 그 不足分은 주로 off-peak때에 지방의 전기사업소로부터 공급 받게 될 것이다.

여름의 냉방과 기후가 독특한 곳에서 겨울철 난방양자가 모두 요구되는 경우에는 그림 7에서와 유사한 장치가 필요할 것이다. 2중 보호면을 가지거나 선택성표면으로된 성능이 높은 집열기는 온수나 다른 축열장치에다 얻을 수 있는 가장 높은 온도의 열을 축적할 수 있다. 가옥의 급탕은 축열조에내 부착된 코일이나 單獨 열 Syphon 가열기로 부터 얻어 진다.

축열장치로 부터 나온 물이나 공기는 pump나 fan에 의해서 열반송유체를 보조 가열기를 통해서 겨울철에는 난방장치로 보내고 여름철에는 흡

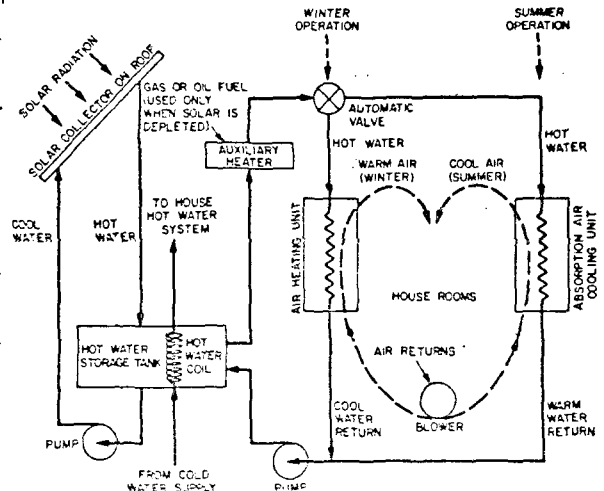


그림 7. 太陽 에너지를 利用한 住宅의 冷暖房(NSF/NASA와 Maryland大學 提供)

수식 공기 냉각기로 보내는 valve나 damper에 까지 순환된다. 그림-7에서는 나타내지 않은 응축기는 흡수식냉동 장치에 있어서 필수적인 부분이다. 커다란 규모의 장치에서는 응축기에 거의 습구 온도에 가깝도록 냉각된 물을 공급하기 위해서 냉각탑이 사용될 것이다. 공냉응축기는 건구온도 이상의 온도에서 작동해야 하고 그 결과 冷凍능력이나 成績係數가 떨어진다.

흡수장치는 브롬화리튬, 암모니아+물, 혹은 다른 흡수체의 혼합을 사용한다. 주된 필요요건은 200°F 以下의 열반송유체온도에서 적당한 정도로 높은 성적계수를 나타내도록 작용하는 능력이다.

태양이 충분히 집열기를 따뜻하게 한 후에 가열기 순환 pump의 스위치를 넣고, 태양일사가 불충분한 경우에 그것을 끄는 데 있어 적절한 공기냉각기를 제어하는데 필요할 것이다. 보조가열기는 천연가스의 사용이 장애에 늘어났다기 보다 줄어들 것이 예측되므로 화석연료보다는 전기에너지를 이용합이 더 좋다고 생각된다.

"全電氣주택"의 경우처럼 태양에 의해 난방을 하는 구조물은 열흡수나 겨울철의 열손실을 최소한으로 줄이기 위해 과도한 태양열흡수의 방치는 절대적으로 필요 불가결한 것이고, 이것을

동쪽과 서측에 최소한의 유리를 사용함을 의미한다. 여름에 직달일광으로부터 가려 질 경우에 남측에 단열유리를 사용하면 아주 유효할 수 있다.

12. 결 론

미국전역에 대한 태양일사分布圖는 수평면 $1ft^2$ 당의年間日平均日射量은 南西部의 $500Ly/d$ ($1850 Btu/ft^2d$, $466Kcal/m^2d$)의 높은 값에서 비가 많이 오는 태평양북서부의 $250Ly/d$ ($925Btu/d$, $233 Kcal/d$)의 낮은 값에 걸쳐 분포되어 있다. 대부분의 나라에서는 日平均被 복사량 (irradiation)은 $350Ly/d$ ($1290Btu/ft^2d$, $3500Kcal/m^2d$) 이상이다. 지붕면적이 $1,000ft^2$ ($92.9m^2$)의 주택은 年平均日射量이 平均必要暖房量 보다도 훨씬 많은 $1,000,000Btu/d$ ($252000Kcal/d$) 보다도 훨씬 상회한다.

현재까지의 태양에너지의 利用은 所要集열장치의 費用이 많이 들고, 계속되는 악천후에 사용하기 위한 100%의 예비용량을 준비해야 하는 필요성 등에 의해서 매력적인 것이 되지 못했었다. 종래에 사용해 오던 연료가 아주 풍부하고 값이 싸기 때문에 태양일사의 利用을 생각한다면 재래의 연료들을 보존하려는 자극이 거의 없었다. 그러나 그러한 상황은 급속히 變化하고 있다. 그리고 태양에너지의 利用에 관한 앞에 서술한 개요는 장래에 이 분야에 종사하려는 많은 기술자에게 도움이 될 것이다.

參 考 文 獻

1. A.M. Zarem and D.D. Erway. Introduction to the Utilization of Solar Energy (McGraw-Hill. New York, 1963).
2. F.E. Edlin: Plastic Glazings for Solar Energy Absorption Collector (Solar Energy, Vol. 2, No. 2, No. 2, 1958, p. 3).
3. G.P. Mitalas and D.G. Stephenson: Absorption and Transmission of Thermal Radiation by Single and Double Glazed Windows (Res. Paper

- 173, Div. of Building Res., Nat. Res. Council of Canada. Ottawa. 1962).
4. Handbook of Air Conditioning Fundamentals: ASHRAE. 1972. New York.
5. H. Tabor: Selective Radiation 1. Wavelength Discrimination (Trans. Conf. of Sci. Uses of Sci. Uses of Solar En., 1955, Vol. 2, Part 1-A. pp. 1-23, Univ. of Ariz. Press. 1958).
6. J.T. Gier and R.V. Dunkle: Selective Spectral Characteristics as an Important Factor in the Efficiency of Solar Energy Collectors (ibid. pp. 41-56).
7. F. Daniels: Direct Use of the Sun's Energy (Yale Univ. Press, 1964).
8. D.K. Edwards, et al: Spectral and Directional Thermal Radiation Characteristics of Selective Surfaces (Solar Energy, Vol. VI. Jan.-Mar., 1962, No. 1, 1-22).
9. E.A. Christie: Spectrally Selective Blacks for Solar Energy Collectors (Paper No. 7/81, 1970 I.S.E.S. Conf., Melbourne).
10. C.P. Butler, et al: Surfaces for Solar Spaccraft Power (Solar Energy, Vol. 8. No. 1. Jan-Mar., 1964, pp. 2-8).
11. H.C. Hottel and B.B. Woertz: The Performance of Flate Solar Collectors (Trans. ASME, Feb. 1942, Vol. 64, pp. 91-105).
12. A. Whillier; Thermal Resistance of the Tube-Plate Bond in solar Heat Collectors (Solar Heat Collectors Solar Energy, Vol. 8, No. 3, July-Sept., 1964, pp. 95-98).
13. J.F. Van Straaten; Hot Water from the Sun (Ref No. D-9, Nat. Building Res. Inst. of So. Africa. Council for Ind. and Sci. Res., Pretoria, Aug. 1961).
14. E.T. Davy: Solar Water Heating in Australia (1970 I.S.E.S. Conf., paper No. 4/71, Melbourne).
15. I. Tanishita: Present Situation of Commerical Solar Water Heaters in Japan (ibid. paper No. 2/73).
16. H.R. Hay and J.I. Yellott: Natural Air Conditioning with Roof Ponds and Movable

- Insulation (Trans. ASHRAE, Vol. 75, Part 1, 1669. pp. 165-177).
17. H.E. Thomason: Three Solar Houses (ASME paper 65-WA/SOL-3: see also Solar Energy, Vol. IV, No. 4, Oct. 1960. pp. 11-19 and Ref. 6, p. 279).
 18. H.L. and H.J.L. Thomason: Solar House Plans (Edmund Scientific Co., Barrington, N.J., 1972): see also, by the same authors, Solar Houses/Heating and Cooling Progress Report (Solar Energy, Vol. 15, No. 1, May 1973, pp. 27-40).
 19. K.G.T. Hollands; Directional Selectivity, Emittance and Absorbing Properties of Vee Corrugated Specular Surfaces (Solar Energy, Vol. 7, No. 3. July-Sept., 1963, pp. 108-116).
 20. G. Francia: A New Collector of Solar Radiant Energy (U.N. Conf. on New Sources of En., Rome, Vol. 4, p. 572, 1961).
 21. Buchberg, et al: Performance Characteristics of Rectangular Honeycomb Solar Thermal Converters (Solar Energy, Vol. 13, No. 2, May 1971, pp. 193-217).
 22. J.I. Yellott and R. Sobotka: An Investigation of Solar Water Heater Performance (Trans. ASHRAE, Vol. 70, 1964, pp. 425-433).
 23. R.V. Dunkle and E.T. Davey; Flow Distribution in Solar Absorber Banks (ibid. paper No. 4/35).
 24. D.W.N. Chinnery; Solar Water Heating in So. Africa (Bulletin No. 44. N.B.R.I., C.S.I.R., Pretoria, 1967).
 25. Maria Telkes; A Review of Solar House Heating (Heating and Vent., Sept. 1949, pp. 68-74).
 26. M. Telkes and E. Raymond; Storing Heat Chemical: A Report on the Dover House (Heating Vent., Nov. 1949, p. 80).
 27. E.A. Farber; Solar Energy Conversion and Utilization (Building Systems Design, June 1972).
 28. R.W. Bliss; An Experimental System Using Solar Energy and Night Radiation (U.N. Conf., 1961, paper No. E-35-S-30; see also Ref. 6, pp. 276 and (282)).
 29. R.L. Bliss; The Derivation of Several Plate Efficiency Factors (Solar Energy, Vol. 3, No. 4, Dec. 1959).
 30. G.O.G. Löf; Unsteady State Heat Transfer Between Air and Loose Solids (Ind. Eng. Chem., Vol. 40, 1948, pp. 1061-1070).
 31. D.J. Close, R.V. Dunkle and K.A. Robison; Design and Performance of a Thermal Storage Air Conditioning System (Mech. and Chem. Trans., Inst. of Eng., Australia, Vol. MC.-4, No. 1, May, 1968, pp. 45-54).
 32. A. Chada and W.R.W. Read; The Performance of a Solar Air Heater and a Rockpile Thermal Storage System (Paper No. 4/48, I.S.E. Conf., Melbourne, 1970).
 33. C.P. Davis and R.L. Lipper; Sun Energy Assistance for Air-Type Heat Pumps (Trans. ASHRAE, Vol. 64, 1958, pp. 97-110).
 34. Maria Telkes; Solar Heat Storage (Paper No. 64-WA/SOL-9, ASME, New York, 1964).
 35. M. Telkes; Storing Solar Heat in Chemicals (Heat. and Vent., Nov., 1949, pp. 80-86).
 36. K. Boer; A Combined Solar Thermal Electrical House (Int. Sol. Energy Congress, 1973, paper No EH-108).
 37. W.P. Green; Utilization of Solar Energy for Air Conditioning and Refrigeration in Florida: Master's thesis, College of Eng., Univ. of Florida, Gainesville, 1936).
 38. W.P. Teagan and S.L. Sargent; A Solar-Powered Combined Heating and Cooling System (Paper No. EH-94, 1973 I.S.E.S. Congress, Paris).
 39. R.K. Swartman, Vinh Ha and A.J. Newton; Review of Solar Powered Refrigeration (Paper No. 73-WA-SOL-6, ASME, 1974).
 40. E.A. Farber; Design and Performance of a Compact Solar Refrigeration System (Eng. Progress at U. of Fla., Vol. XXXJV, No. 2, p. 70, Gainesville).
 41. F.S. Dubin; Testimony before Subcom. on Energy, House Science and Astronautics Comm.,

- June 12, 1973 (published by Dubin-Mindel-Bloom Associates, New York).
42. E. A. Farber; The Direct Use of Solar Energy to Operate Refrigeration and Air Conditioning Systems (Tech. Progress Report No. 15, Florida Eng. and Exp. Station, Univ. of Florida, Gainesville, Nov. 1965).
43. J. I. Yellott; Japan Applies Solar Energy (Mechanical Engineering, March, 1969, pp. 46-51).
44. R. W. Bliss and Mary D. Bliss; Performance of an Experimental System Using Solar Energy for Heating and Night Radiation for Cooling (U.N. Conf. on New Sources of Energy, Rome, 1961).
45. R. W. Bliss; Atmospheric Radiation Near the Surface of the Earth (Solar Energy, Vol. 5, No. 3, 1961, pp. 103-120).
46. F. C. Hogg; A Switched-Bed Regenerative Cooling System (Proc. XIIIth Int. Conf. on Refrig., Vol. 4, Washington, 1971).
47. W. E. Read, et al; Use of RBR Systems in South Australian Schools (Aus. Refig., Air Cond. and Heating, Vol. 26, No. 12, Dec. 1972, pp. 20-27).
48. R. A. Tybout and G. O. G. Löf; Solar House Heating (Nat. Resources Journal, Vol. 10, No. 2, April, 1970, pp. 283-326).
-