

太陽에너지 活用 研究

I. 平板集熱機와 太陽熱溫水機

朴元勳, 李時雨, 朴源禧
韓國科學技術研究所

Solar Energy Utilization

Part I. Flat-Plate Solar Collector and Solar Water Heater

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

Korea Institute of Science and Technology, Seoul 132, Korea

要 約

代替에너지源으로서 實用化가 희망적인 太陽에너지 活用に 관한 研究開發의 現況을 소개하여 에너지 輸入國인 韓國에서의 太陽에너지 研究를 위한 參考資料를 마련코자 한다. 특히 實用性이 큰 太陽 에너지의 低溫活用 즉 平板集熱機를 이용한 太陽熱冷暖房, 溫室, 太陽蒸發機, 太陽熱乾燥에 重點을 두고 集光集熱에 의한 太陽熱發電이나 光化學的 또는 光電學的 研究는 그 概況만을 소개한다. 第I部에서는 太陽에너지 活用研究의 體系的 分類와 함께 太陽에너지의 經濟性을 좌우하는 平板集熱機와 이의 가장 간단한 活用시스템인 太陽熱溫水機를 取扱하고자 한다.

Abstract

The solar energy is presently the most promising as an alternative energy source, and R&D activities on its utilization are reviewed to provide a stimulant for similar efforts in energy-importing Korea. The so-called low-temperature utilization such as solar space heating and cooling, greenhouse, solar still and solar dehydration is more emphasized as practical means of implementation in developing countries. Whereas sophisticated solar thermal power generation employing solar concentration principle, heliochemical and helioelectric researches are briefly reviewed. Part I discusses the systematic classification of solar energy utilization, flat-plate solar collector upon which solar energy economics depends mostly, and the simplest system made of this collector, namely, solar water heater.

I. 序 論

1. 에너지危機와 太陽에너지

1973 年の 油類波動으로 심각하게 대두된 에너지問題는 人類의 未來와 直結되므로 그동안 기술적으로 이를 해결하려는 노력이 持續되어 오고 있으나 에너지問題 자체가 複合的要因에 의한 것이므로 에너지危機意識은 더욱 깊어지고 있는 실정이다. 더구나 現時點에서의 에너지問題는 에너지資源의 絕對產出量의 否足 때문이 아니고 限定된 石油資源의 地域的 偏在로 인한 需要供給의 政治·社會的 不均衡問題가 主要原因이고 技術的 側面으로는 石炭活用技術의 未確立과 核에너지의 還境汚染 및 安定性 問題의 未解決에 緣由하므로 問題의 複雜性은 加重되고 있다.

지금까지 에너지의 主宗을 이루고 있는 石油, 天然가스, 石炭과 같은 化石燃料과 水力, 原子力 이외에 강화되는 公害規制를 만족시킬 수 있는 無公害에너지(clean energy)로서 研究開發되고 있는 새로운 에너지源으로서 太陽에너지 외에도 石炭가스화, 石炭液化, 地熱에너지, 水素에너지, 核融合에너지, 廢資源再活用 등이 있겠으나 賦存에너지源이 低質無煙炭 뿐인 韓國 으로서는 太陽에너지의 比重이 다른 나라에 비해 더욱 크다고 할 수 있다. 특히 太陽에너지가 脚光을 받는 것은 生命의 根源이 太陽에너지이고 人類文明이 太陽에너지에 根據를 두고 있다는 면 이유들 밖에도 太陽에너지는 無公害·無料의 無限定한 에너지源이기 때문이다.

太陽에너지의 活用上 缺點은 에너지密度가 작고 晝夜, 季節 및 日氣條件에 따라 예측할 수 없이 변화가 심하므로 太陽에너지의 集熱·貯藏·活用技術의 開發은 地域性을 벗어나지 못한다는 사실이다.

2. 太陽에너지 研究開發 現況

太陽에너지 研究開發은 政府가 主導하여 이루어지고 있는 바 美國을 예로들면 2020年代에 가서는 建物 冷暖房의 35%, 氣體燃料의 30%, 液

體燃料의 10%, 電氣에너지의 20% 를 太陽에너지로 代替할 것을 目標로 하여 지금까지는 ERDA의 주관아래 National Science Foundation이 先導의 役割을 하였으나 앞으로 그 책임을 Solar Energy Research Institute가 이양받을 것이다. 1977 年度에 太陽에너지 研究開發에 2億9千萬弗을 投入할 豫定이다. 日本도 Sunshine 計劃 아래 政府機關의 研究所에서 遂行하고 있으며 歐洲에서는 프랑스, 독일을 중심으로 Ispra에 있는 유럽共同體의 研究所를 求心點으로 國際的協力도 圖謀하고 있다. 작은 規模의 活用으로서 溫水給湯 및 冷暖房, 太陽電池 등은 産業體에서도 관심을 갖고 일부 機器의 製作 및 技術開發이 進行되고 있으나 電氣發電과 같은 大規模의 응용은 今世期末에나 活用可能性이 있는 것으로 기대되어 政府가 研究投資를 하는 것이 先進國들의 實情이다.

開發途上國들은 자본이 부족하고 研究開發에 종사할 기술자들이 부족한 관계로 經濟的으로 確實하고 쉽게 活用할 수 있는 분야에 연구가 집중되고 있어 太陽熱의 低溫에서의 活用과 平板集熱機의 開發에 중점을 두고 있다. 開發途上國의 立場에서는 獨自의으로 그들의 實情에 맞는 太陽에너지 活用計劃을 樹立하고 研究를 遂行함과 동시에 先進開發國들과의 密接한 技術交流에 힘써 各地域 나름대로의 氣候變化, 日照量, 太陽과의 位置關係 등으로 부너 潛在的인 太陽에너지 活用 可能性을 판단할 수 있는 基礎資料를 얻을 수 있을 것이다.

우리나라의 太陽에너지 活用研究는 1974년에 韓國原子力研究所가 科學技術處의 지원으로 태양의 집을 설치하여 실험을 한 것이 本格的인 研究의 시작이라고 할 수 있다. 그후 1975年 大韓住宅公社가 Thermosyphon 式 太陽熱 溫水機와 單一農家の 방 하나를 暖房하도록 太陽熱暖房시스템을 建設하였고 韓國科學院에서는 鐵製 太陽熱 集熱機를 開發試驗한 바 있다. 韓國科學技術研究所 熱機械研究室은 株式會社 럭키와 科學技術處의 共同支援으로 空氣循環式 태양의 집(온돌)開發에 관한 研究를 遂行중에 있다. 이밖에도 개인이 건축한 태양의 집이 몇군데 있으나

우리나라가 太陽에너지 活用の 適地이며 에너지 輸入國임을 생각하면 좀더 과감한 研究投資가 있어야 되겠다.

3. 太陽에너지 活用研究의 分類

太陽에너지 活用은 그 에너지의 蓄積媒體에 따라 다음과 같이 分類할 수 있다.

가. 太陽熱의 直接利用

나. 太陽熱의 間接利用

(1) 風力

(2) 海洋熱

(가) 海洋溫度差利用

(나) 潮力發電

(다) 波力發電

다. Biomass conversion

이상을 學問的 見地에서는 다음과 같이 分類하고 있다.

가. 光化學的 研究 (Heliochemical research)

(1) 光合成 (Photosynthesis)

(2) Bioconversion

(3) 光化學反應 등

나. 光電學的 研究 (Helioelectrical research)

(1) 太陽電池 (Solar cell)

(2) 太陽光發電 등

다. 光熱學的 研究 (Heliothermal research)

太陽熱의 直接利用은 대개 光熱學的 研究에 속하며 集熱溫度 즉 活用溫度에 따라 아래와 같이 細分할 수 있다.

(1) 低溫活用 (150°C 이하)

(가) 溫室 (40°C 이하)

(나) 溫水給湯 ($27^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$)

(다) 住居暖房

(라) 住居冷房

(마) 住居冷暖房

(바) 太陽熱 炊事

(사) 太陽熱 乾燥

(아) 太陽 蒸發機 (Solar still)

(자) 太陽貯 (Solar pond)

(2) 中間溫度 活用 ($120^{\circ}\text{C}\sim 320^{\circ}\text{C}$)

(가) 工業用 蒸氣發生

(나) 太陽엔진

(3) 高溫活用 ($260^{\circ}\text{C}\sim 3,900^{\circ}\text{C}$)

(가) 太陽熱發電 ($260^{\circ}\text{C}\sim 1,100^{\circ}\text{C}$)

(나) 一般工業에의 活用 ($260^{\circ}\text{C}\sim 1,100^{\circ}\text{C}$)

(다) 金屬·窯業에의 活用 ($540^{\circ}\text{C}\sim 2,200^{\circ}\text{C}$)

(라) 太陽爐 ($2,200^{\circ}\text{C}\sim 3,900^{\circ}\text{C}$)

이밖에 넓은 의미의 光熱學的 研究에 風力, 海洋熱에너지의 活用이 포함된다.

위에서 분류된 太陽에너지 活用研究의 現況을 分野別로 詳述키로 한다. 主要內容은 다음과 같다.

가. 平板集熱機

나. 太陽熱 溫水機

다. 太陽熱 暖房

라. 太陽熱 冷房

마. 太陽 蒸發機

바. 溫室

사. 太陽熱 乾燥

아. 集光集熱機

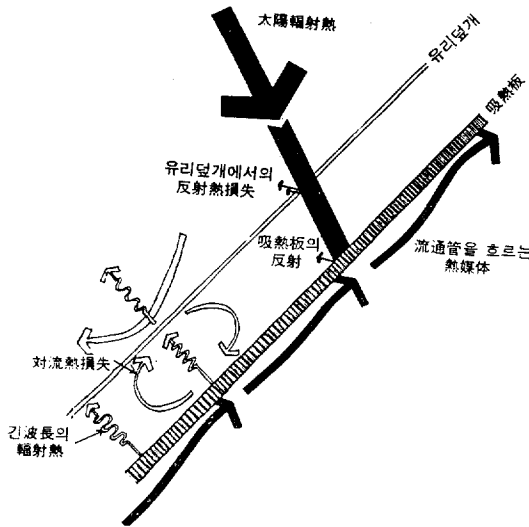
자. 太陽熱發電

차. 太陽光發電

II. 平板集熱機 (Flat-Plate Solar Collector)

集熱機는 太陽 輻射熱을 쉽게 活用할 수 있는 有用한 에너지로 바꾸어 集熱하는 裝置로서 太陽熱 活用に 있어서 가장 基本的인 부분이다. 流體와 流體사이의 熱傳達이 이루어지는 보통의 熱交換機와는 달리 集熱機는 먼 곳에 있는 太陽으로부터 輻射되어 오는 에너지를 모아 熱媒體인 流體에 傳達하므로 輻射 熱傳達이 重要하고 비교적 密度가 작고 시시각각으로 변하는 太陽熱에 따라 그 特性을 分析해야만 된다는 문제점이 있다.

太陽熱 集熱機에는 平板集熱機와 集光集熱機 (Solar concentrator)의 두 種類가 있다. 平板集熱機는 太陽빛을 받아들이는 부분과 吸熱板의 면적이 같은데 비해 集光集熱機는 빛을 받아들이는 장치가 集光이 가능한 一種의 光學機器로서 集光으로 에너지密度를 증가시켜 면적이 작은 吸熱裝置에 集熱시킨다. 따라서 平板集熱機

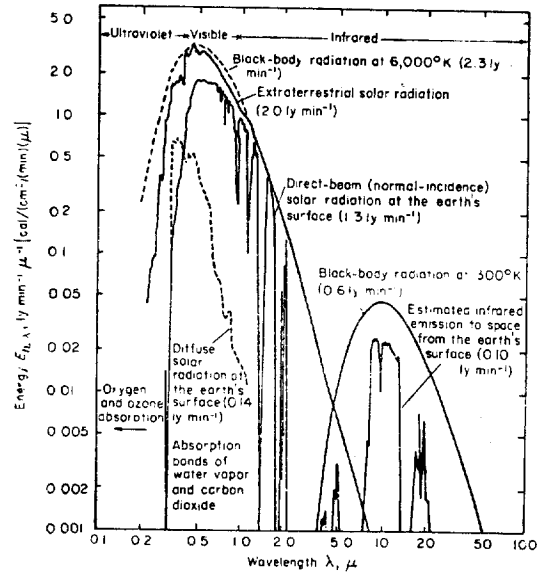
그림 1. 平板集熱機의 構造^{GR12)}.

에서 얻을 수 있는 集熱溫度는 비교적 낮아 太陽熱의 低溫活用に 適合하며 集光集熱機는 集光度에 따라 高溫을 얻을 수 있어 中間溫度이상의 高溫活用に 이용되고 있다. 여기에서는 우선 住居冷暖房의 經濟性에 관심을 주고 있는 平板集熱機에 관한 研究開發 現況을 記述한다.

1. 集熱原理 및 構造

典型的인 平板集熱機의 構造는 그림 1과 같다. 太陽熱을 잘 吸收하는 검은 金屬板으로 된 吸熱板을 유리나 플라스틱으로 된 투명한 덮개로 싸우고 외부로의 熱損失을 막기 위해 옆면과 밑바닥은 斷熱되어 있다. 吸熱板에는 傳熱媒體가 흐르는 流通管이 처음부터 組立되어 있기도 한다.

集熱機의 原理는 물체의 輻射熱 放出原理로 說明할 수 있는데 그림 2를 참고하기 바란다. 輻射熱은 그 물체의 溫度에 영향을 받는데 太陽은 그 表面溫度가 6,000°K로서 여기서 나오는 輻射에너지의 波長은 0.1~3.0 μ 이다. 반면에 地球上 물체의 온도는 이보다 훨씬 낮아 波長도 3 μ 이상으로 길어진다. 투명덮개는 太陽의 直射光線이나 다른 물체에서 反射되어 들어오는 태양빛은 투과시키나 吸熱板에서 反射되어 나오는

그림 2 太陽과 地球의 輻射에너지 分布^{GR6)}

波長이 긴 赤外線은 투과시키지 못하므로 투명덮개와 吸熱板 사이의 空間에 에너지가 蓄積된다. 이것이 바로 溫室效果(greenhouse effect)이다.

보통 平板集熱機의 투명덮개는 鐵의 함량이 적은 유리로 하는데 鐵의 함량이 많으면 유리 자체의 太陽熱 吸收率이 높기 때문이다^{FC2)}. 이런 유리의 波長이 짧은 태양빛 透過率은 90% 이상인 반면 吸熱板에서 반사되는 波長이 긴 스펙트럼은 거의가 차단이 되며 또한 유리덮개는 熱傳達係數를 감소시키므로 對流熱損失도 감소시킨다. 반면에 反射에 의한 熱損失이 있으며^{FC3)} 熱傳導를 줄이기 위해 유리덮개의 수를 늘리는 것은 그만큼 施設費가 상승되므로 보통 덮개의 수는 1~2이다.

吸熱板은 특수 칠을 하여 太陽熱을 잘 吸收하는(吸收率 90%이상) 동시에 再輻射를 줄일 수 있다(放射率 10%이하)^{FC4,5)}.

이같은 選擇性塗料(selective coating)에 대한 연구가 많이 행하여지고 있지만 아직까지는 그 경제성이나 수명이 만족스러운 상태는 아니고 일반적으로 선택성이 없는 검은색 페인트를 이용해도 무난하다^{FC6~9)}.

이상과 같이 최대한의 太陽輻射熱을 集熱機

안으로 받아들여 吸熱板에서 吸收한 후에는 熱媒體 流通管으로 흐르는 流體(보통 물이나 공기)에 熱傳達를 시키는데 吸熱板과 流通管의 接着狀態는 熱傳達效率에 큰 영향을 미치므로 적어도 熱傳導度가 30 Kcal/hr. m. °C 이상이 되도록 熔接을 잘 해야 한다^{FC10)}.

集熱機의 옆면과 바닥을 통한 熱損失을 줄이기 위해 斷熱材를 쓰는데 熱傳達係數가 일반적으로 0.2 Kcal/hr. m². °C 이하가 되도록 함이 바람직하다. 유리덮개를 통한 熱損失을 줄이기 위해 두장의 유리를 사용하는 경우 공간을 1~2cm로 하는 것이 좋으며 이 사이의 공기를 빼어 眞空으로 하면 더욱 좋으나 이의 유지에 많은 비용이 들게 된다. 熱媒體에 대해서는 실제로 集熱機를 이용하는 시스템에서 설명하기로 한다.

2. 集熱機의 効率

集熱機의 效率는 덮개판 위에 도달하는 太陽에너지量에 대한 熱媒體가 集熱機 入口에서 出口로 지나는 동안 얻는 熱量의 百分率로 나타낸다. 集熱機의 效率에 影響을 주는 因子는 유리덮개의 透過率, 吸熱板의 吸收率, 각 부분을 통한 熱損失, 유리 덮개와 集熱板의 溫度差, 太陽의 日射量, 流通管사이의 거리, 熱媒體의 流量 등을 비롯한 여러 變數들이 있어 복잡한 樣相을 나타낸다. 이러한 集熱機에서의 熱傳達 現象을 分析하려는 研究가 여러 사람에 의해 遂行되었으며 간단하게 짜여진 모델로부터 여러 有用한 結果가 얻어졌다^{FC11~14)}.

集熱機에서의 熱收支式은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$A_c \cdot \{I_b \cdot \tau_b \cdot \alpha_b + I_{h,d} \cdot \tau_d \cdot \alpha_d\} = Q_U + Q_L + Q_S$$

$$I_{h,d} = 0.21 + 0.29\alpha + 1.67CC, \quad I_{h,b} = I_h - I_{h,d}$$

$$I_b = \frac{I_{h,b} \cos i}{\sin \alpha}, \quad \eta = \frac{Q_U}{I_b + I_{h,d}}$$

여기에서

A_c : 集熱機의 面積 (cm²)

I_b : 直射光線으로 유리 덮개에 도달하는 太陽熱 (cal/cm² · hr)

τ_b : 直射光線이 유리덮개를 통한 透過率

α_b : 直射光線의 吸熱板에서의 吸收率

$I_{h,d}$: 擴散에 의해 集熱機에 도달하는 太陽熱 (cal/cm² · hr)

τ_d : 擴散에 의한 光線이 유리 덮개를 통한 透過率

α_d : 擴散에 의한 光線의 吸熱板에서의 吸收率

Q_U : 熱媒體에 傳達된 熱量 (cal/hr)

Q_L : 集熱機에서의 총 熱損失 (cal/hr)

Q_S : 集熱機의 溫度 上昇에 所要되는 熱量 (cal/hr)

α : 水平面에 대한 太陽의 高度 (degree)

i : 集熱機 平面에 垂直한 線과 太陽 直射光線이 이루는 각 (degree)

I_h : 水平面에 到達하는 총 太陽熱量 (cal/cm² · hr)

CC : 구름의 量 ($CC=0$ 이면 快晴한 날, $CC=10$ 이면 구름이 가득찬 狀態)

위의 式에서 보는 바와 같이 集熱機에 도달하는 太陽熱量을 알려면 구름의 量으로부터 擴散에 의한 間接的인 太陽熱을 계산하고 ^{FC15, 16, 4)} 直射光線에 의한 太陽熱量은 集熱機의 傾斜度와 太陽의 高度에 대한 補定을 하여야 한다^{FC17, 18)}.

集熱機에서의 熱損失은 투명 덮개를 통한 對流, 輻射熱損失, 바닥과 옆면을 통한 熱損失 등이 있으며 溫度和 風速 등에 影響을 받는다. 유리덮개를 통한 總熱傳達係數를 구하는 式이 發表되었으며^{FC17)} 이에 대한 實驗式도 구하여졌다^{FC18)}.

또한 集熱機의 傾斜度에 따라 이總熱傳達係數가 어떻게 변하는가 하는 實驗式과^{FC19)} 덮개가 유리가 아닌 플라스틱의 경우에 대해서도 研究되었다^{FC14)}. 바닥과 옆면을 통한 熱損失은 斷熱이 잘된 경우 무시하기도 한다.

熱損失을 제외한 나머지 熱은 吸熱板의 溫度를 올리거나 熱媒體에 傳達되는데 그 量은 熱媒體 流通管 사이의 거리, 吸熱板과 流通管 사이의 熱傳導度, 熱媒體의 流量 등에 좌우된다. 이를 說明하기 위해 fin efficiency factor, collector efficiency factor, collector heat removal factor 등이 定義되었다^{FC11)}. Fin efficiency factor는 熱媒體流通管 사이의 溫度分布에 대한 影響을 나타내며 collector efficiency factor는 吸熱板의

溫度가 그 지점에서의 熱媒體의 溫도와 같을때 吸熱板에 吸收되는 熱量에 대해 실제 吸收되는 熱량의 比를 나타낸다. Collector heat removal factor는 吸熱板에 吸收된 熱 중에 熱媒體에 傳達된 量을 나타내며 이들 係數의 값이 集熱機設計에 따라 어떻게 변하는가는 문헌 FC7의 7장에 說明되어있다. 이렇게 하여 熱媒體에 傳達된 熱량을 구하면 集熱機에 到達한 太陽熱로부터 集熱機의 效率를 계산할 수 있다.

실제 氣候條件과 太陽의 日射量은 時時刻刻으로 변하므로 매 時間마다의 效率를 구하거나 하루 혹은 한달의 평균 氣候條件으로부터 구하기도 한다.

集熱機製作會社에서는 그들 製品의 效率를 여러 變數에 따라 실험으로 구하고 그 자료와 함께 必要한 集熱機의 面積을 구하는 方法을 제시하므로 太陽熱시스템의 設計에 利用할 수 있다.

이외에도 集熱機 豆개에 쌓인 먼지가 集熱機 效率에 어떠한 影響을 미치는가에 대한 研究가 遂行되었다(FC20). 또한 이제까지의 계산에서 集

熱機 자체의 熱容量에 대해서는 고려하지 않았는데 이를 고려한 非定常狀態 모델도 研究되었다

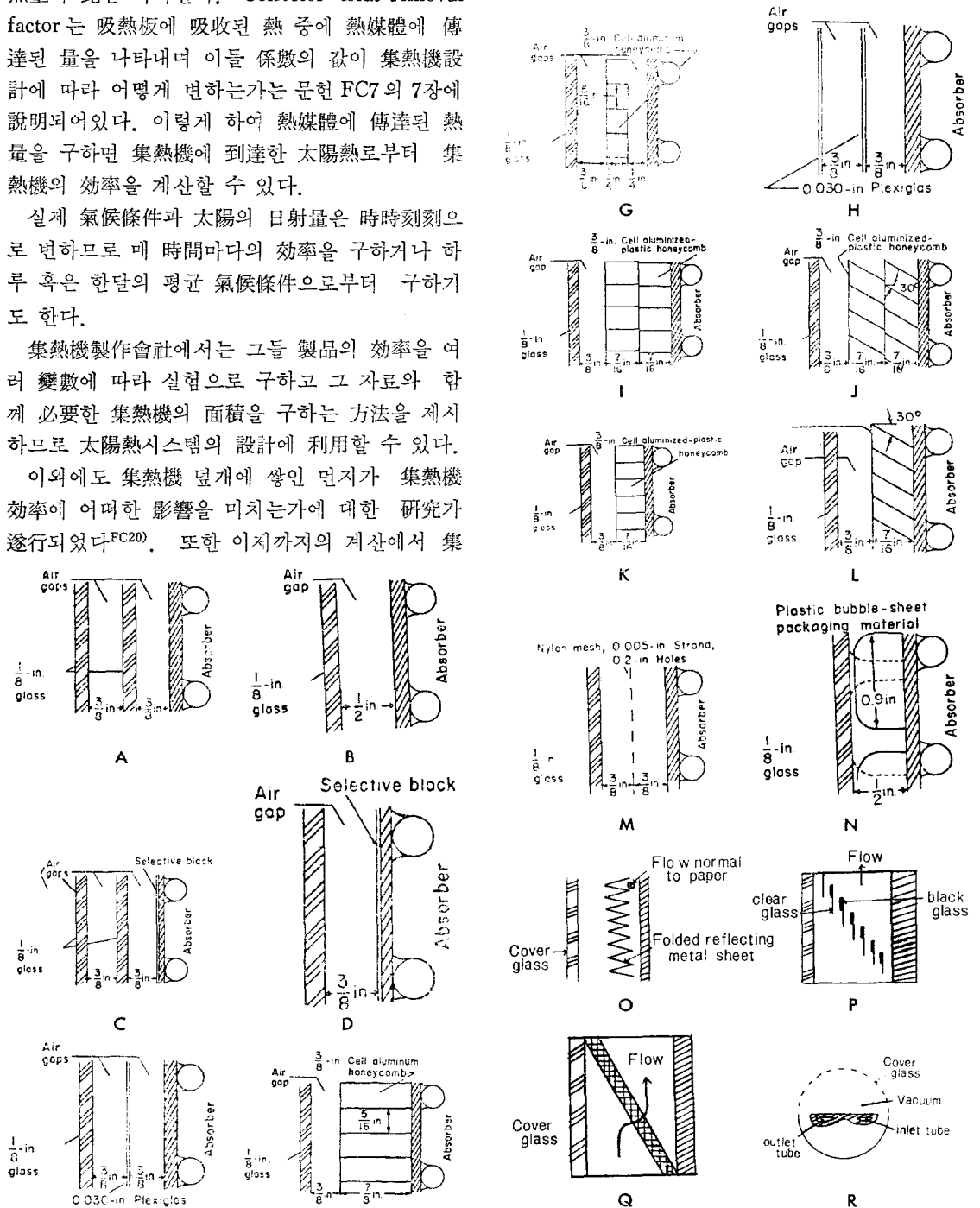


Fig. 3. Various collector configurations GR6.

FC21).

3. 集熱機의 여러 形態

미국 필라델피아의 펜실베니아 大學에서는 그림 3과 같은 여러 形態의 集熱機에 대한 實驗이 遂行되었다^{FC22)}. A의 形態는 가장 많이 쓰이는 標準形으로 몇몇 회사에서 製品으로 生産되고 있다. 두개의 유리 덮개에 集熱板은 흑색 페인트 칠이 되어있으며 이의 集熱效率에 대한 많은 研究가 進행되었다^{FC23)}.

集熱機 B는 A에 비해 덮개가 하나 없으므로 원가 절감이 되나 熱損失이 많아 效率이 떨어진다. 外氣溫度가 높은 아열대 지방에서는 이 形態도 바람직하다. 集熱機 C와 D는 A와 B의 吸熱板에 選擇性있는 특수 塗料를 칠한 것으로 吸收率에 높고 熱의 放出이 작아 앞으로 經濟的이고 수명이 긴 塗料의 開發이 필요하다고 하겠다. E와 H는 유리 덮개를 플라스틱 판으로 대체한 것인데 大量生産이 容易하나 熱과 紫外線에 대한 安定性이 문제가 된다. F, G, I, J, K, L은 集熱板과 유리 덮개 사이에 벌집 모양의 통로를 설치한 것으로 이로 인하여 유리 덮개와 吸熱板 사이의 空氣의 自然循環이 방지되어 熱損失이 減少하고 A보다 원가가 節減된다고 하나 太陽熱의 透過를 감소시키므로 이에 대한 研究가 더 필요한 상태이다^{FC24, 25)}. M, N은 각각 吸熱板과 유리 덮개 사이에 나일론망과 플라스틱막을 설치하여 熱損失을 줄이고 원가를 節減하자는 것인데 그 操業狀態에 대해서는 앞으로 研究가 進階되어야 할 것이다. 集熱機 O는 吸熱板을 일정한 각도로 틸트모양으로 한 것인데 이렇게 하므로써 吸熱板의 吸收率에 增加한다고 알려졌다^{FC26, 27)}.

集熱機 P는 空氣 加熱用으로 여러개의 유리를 階段式으로 配列하고 한쪽 끝에 검은 칠을 하여 熱을 吸收한다^{FC28)}.

集熱機 Q는 吸收率에 큰 金屬조각들을 對角線으로 配列하여 吸熱하고 이 사이를 지나는 空氣를 加熱하는 形態이며^{FC29)} 集熱機 R은 眞空인 유리관에 吸熱板을 놓아 熱損失을 감소시키는 形態이다^{FC30)}.

이제까지 여러 形態의 集熱機를 소개하였는데 標準形 集熱機 A 이외에는 아직까지는 널리 普遍化되지 않고 있는 實情이라 하겠다.

참고로 美國의 여러 會社에서 製作한 集熱機를 寫眞으로 실었다. 그림 4가 Olin 社에서 製作한 roll bond形 集熱機이다. 두 장의 구리板이나 알루미늄板을 원하는 形態의 配管이 되게 軋成形成하여 겹친 다음 열처리하여 하나의 均一한 板으로 만든 것이며 표면은 吸熱이 잘 되게 검은 칠을 한다. 熔接이 필요없고 吸熱板에서의 熱이 직접 熱媒體로 傳達되기 때문에 效率이 높고 製作原價가 싼 것으로 되어있다. 그림 5는 Revere 社에서 開發한 集熱機로서 既存建物에 設置하는 것이다. 특수 塗料를 칠한 구리板에 四角의 구리관을 나사로 조여 부착시켰으며 두 장의 유리판을 덮개로, 유리층을 斷熱材로 使用해 알루미늄 상자에 포장한 것이다.

그림 6은 Solar System 社에서 開發한 모델 Aquarius I으로 자유로이 移動시켜 設置할 수 있는 溫水機이다. 集熱機는 산화구리를 입힌 吸熱板으로 되어있고 상자안에는 溫水탱크 및 펌

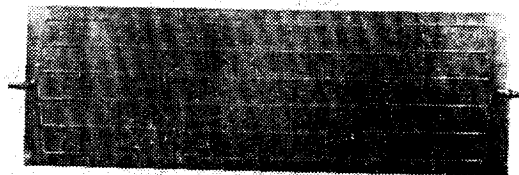


그림 4. Olin 社의 Brass roll bond 太陽集熱機.

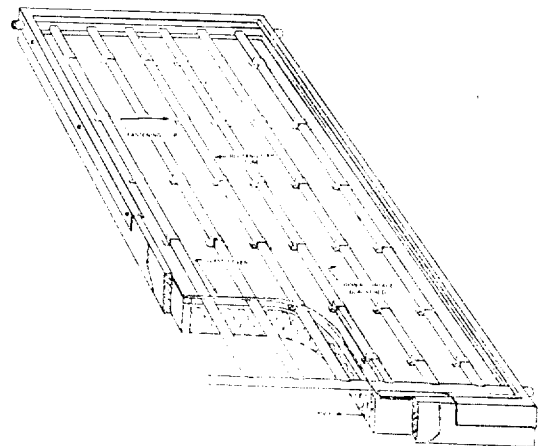


그림 5. Revere 社의 太陽集熱機.

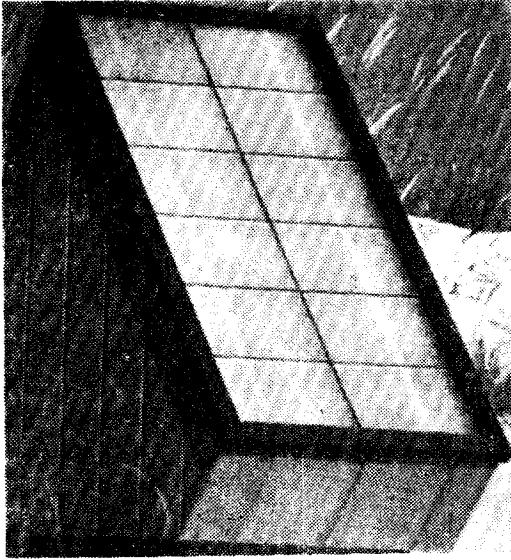


그림 6. Solar system 社의 Aquarius I 太陽熱集熱機.

프, 自動制御 裝置가 되어있어 어느 위치나 太陽熱을 잘 받게 놓고 찬물과 30W의 電源을供給하면 원하는 溫度의 溫水를 얻을 수 있다.

Ⅲ. 太陽熱溫水機 (Solar Water Heater)

太陽熱을 利用한 溫水의 生産은 太陽熱의 低溫活用으로 太陽熱利用의 어느 분야보다도 發展되어 있으며 美國^{WH1)}, 日本, 이스라엘, 오스트레일리아 같은 여러 나라에서 企業化되어 지붕에 設置하는 溫水機를 비롯한 여러 裝置들이 生産되고 있다. 在來의 化石燃料값이 비교적 저렴했을 당시 별로 關心의 對象이 되지 못했으나 燃料값이 上昇되고 있는 요즘점차 經濟性을 인정받고 있으며 앞으로의 大衆化는 集熱機의 大量生産에 의한 원가 절감에 따라 그 보급 속도는 더욱 빨라질 것이다.

美國에서는 4人 家族用의 30ft² (3m²) 集熱機와 50gal(200l) 탱크로 된 溫水機를 設置費까지 합쳐 \$300로 판매하고 있으며, 日本形 溫水機 가격은 현재 약 \$100~\$150으로 호가되고 있다.

太陽熱 溫水機는 根本的으로 平板集熱機와 어

기서 加熱된 물을 貯藏하는 溫水탱크로 되어있다. 平板集熱機는 前章에서 記述하였으므로 여기서는 集熱機와 溫水탱크를 連結하는 循環시스템을 중심으로 記述한다.

1. 循環方式

循環方式은 自然循環式과 強制循環式으로 구분된다. 간단한 시스템인 自然循環式의 系統圖는 그림 7과 같다^{WH2,3)}.

自然循環式은 溫度에 따른 물의 比重差를 利用하여 循環시키는 것으로 溫水탱크가 集熱機보다 위에 있어야 한다. 補助熱源은 溫水의 溫度가 일고자 하는 溫度보다 낮을 때 作動하게 된다. 그림 8에는 펌프를 利用한 強制循環式 溫水生産方法의 系統圖가 圖示되어 있다^{WH3)}. 強制循

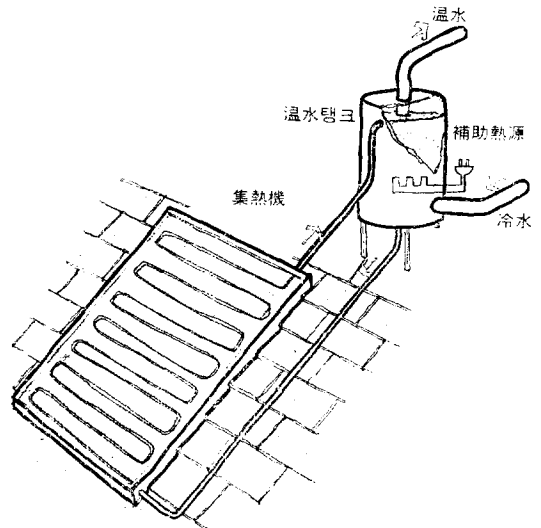


그림 7. 自然循環式 溫水機 GR12).

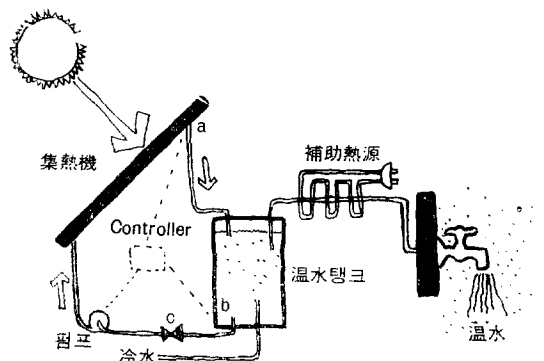


그림 8. 強制循環式 溫水機 GR12).

環에는 溫水탱크가 集熱機보다 높은 위치에 있을 필요가 없으며 大量的의 溫水를 얻고자 할때는 이 方法을 利用한다^{WH20)}. 펌프는 a 지점의 온도보다 b 지점의 온도보다 정해진 溫度 이상이어야 作動한다. c는 물이 逆流하는 것을 막아 밤에 集熱機에서 熱損失되는 것을 방지한다.

自然循環에서는 比重差에 의해 흐름이 생기므로 流量은 溫度差의 函數라 하겠다. Löff 등은^{WH5)} 自然循環 溫水生産에 있어서 集熱機를 통한 溫度의 增加가 10°C 정도임을 여러 條件의 實驗에서 알아내었다. 또한 Close 는^{WH6)} 自然循環 시스템에서 循環流量에 대한 分析과 溫度計算 및 實驗으로 역시 이러한 事實을 알아내었다. 自然循環시스템의 모델을 만들때 이러한 溫度差를 近似値로 택해 計算하기도 하고 실제로 比重과 溫度의 分布, 管內의 壓力降下로부터 구하기도 한다. Tabor 는^{WH7)} 流體가 흐르는 管의 抵抗을 크게하여 循環流量을 작게하는 반면 한번의 循環으로 큰 溫度差를 얻는 시스템을 만들었으나 그 效率는 별 차이가 없음을 발표하였다.

2. 補助熱源

溫水生産시스템에 있어서 얻어지는 溫水의 溫度는 시간에 따라 변하는데 氣候變化가 比較的인 심한 곳에서는 적당한 크기의 集熱機 및 溫水탱크를 設置하고 필요할 때는 補助熱源으로 充當하는 것이 經濟的이다. 補助熱源을 設置하는 方法은 세가지가 있으며 그림 7과 같이 溫水탱크에 設置하는 것과 그림 8와 같이 溫水탱크에서 나오는 물을 加熱하는 것, 그리고 직접 들어오는 찬물을 加熱하여 溫水탱크를 거치지 않고 供給하는 方法이 있는데, 첫째와 둘째 方法이 주

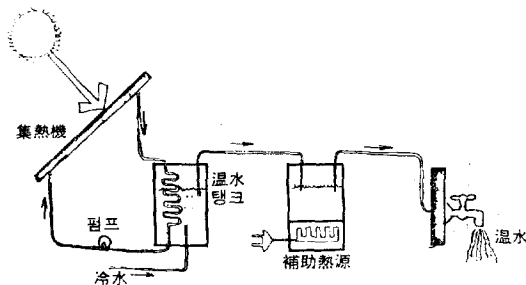


그림 9. 不凍液을 使用한 溫水生産機^{GR12)}.

로 쓰인다. Gutierrez 는^{WH4)} 이들 세 方法을 여러 操業資料를 통해 比較 檢討하였다. 대개의 경우 溫水탱크를 나가는 곳에 補助熱源을 設置하는 것이 熱效率가 좋다.

3. 結氷對策

集熱機가 太陽熱을 받지 못하는 동안 外氣溫度가 氷點이하일 때는 結氷對策을 세워야 한다. 對策으로는 세가지 方法이 있는데 첫째는 물이 얼어버릴 가능성이 있을 때나 操業하지 않을 때 裝置內의 물을 빼어버리도록 設計하는 것과, 둘째는 循環流體에 不凍液을 섞어 熱交換機에서 물을 데우는 방법, 세째로는 어느 경우에도 견딜 수 있게끔 부틸 리버등으로 集熱機를 만드는 方法 등이다. 이제까지 첫째, 둘째의 方法이 實驗으로 活用되었는데 不凍液을 쓰는 경우의 系統圖는 그림 9와 같다^{WH3)}. 熱交換機를 쓰는 경우 溫度降下를 補償해야 하므로 集熱機의 面積을 그만큼 크게해야 된다^{WH8)}

4. 集熱機와 탱크設備

溫水機에 使用하는 集熱機는 대부분 平板集熱機로서 그 代表的인 形態는 그림 10과 같다. (a)는 直徑 1.2~1.5cm의 튜브를 12~15cm 간격으로 集熱板에 용접한 것이다. 찬물이 들어오고 溫水가 나가는 부분은 直徑 2.5cm의 튜브로 平板에 부착된 튜브와 連結되어있다. 平板의 材質은 구리나 아연 도금한 철판 등이 使用된다. 集熱機板은 밑에 5~10cm의 斷熱을 하고 金屬이나 石綿 상자에 담아 1~2개의 유리 덮개를 2.5cm 정도의 空間을 띄워서 씌운다. 集熱機 크기는 보통 1.2m×0.6m 혹은 1.2×1.2m 정도이다. (b)는 하나의 튜브를 集熱板에 용접한 形態이고 (c)는 平板과 파도 모양의 板을 붙여 만든 形態이다. 平板集熱機의 吸熱效果를 크게하기 위해 特殊表面處理를 하기도 한다^{WH 9, 10)}. 또한 圓筒形 集熱機를 利用한 溫水生産方法도 있다^{WH 11)}.

溫水탱크는 특히 斷熱이 잘 되어야 하며 20cm 두께의 유리섬유로 외벽을 감싼다. 家庭用에는 2.5cm 이상의 파이프가 配管에 쓰이며 역시 斷

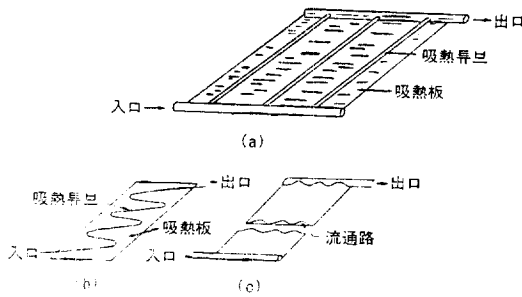


그림 10. 溫水生産에 利用되는 集熱機形態

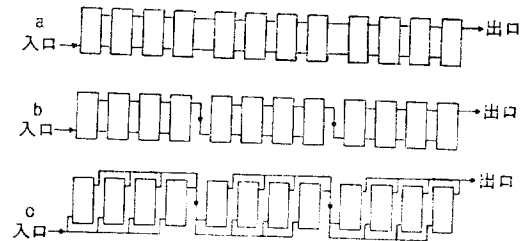
熱이 잘 되고 그 길이가 가급적 짧아야 한다. 탱크의 어느 위치에서 溫水を 뽑아 쓰느냐에 따라 그 溫度가 달라지므로 파이프 連結時 그 位置 選定이 중요하다. Close는^{WH 6)} 自然循環시스템의 경우 탱크 높이에 대한 溫度分布를 구하였다.

5. 시스템 設計^{WH 12, 13)}

다른 太陽熱 利用分野와 마찬가지로 溫水生産機에서도 얻고자 하는 溫水量에 따라 각 부분의 最適 크기를 구하는 것이 중요하다. 여기에는 補助熱源의 가격, 集熱機의 가격, 氣候條件, 얻고자 하는 溫水의 量, 溫度 등을 고려하여야 한다. 家庭用 溫水生産의 경우 어느 정도 資料의 蓄積이 이루어진 狀態이다.

溫水의 溫度를 65°C 로 하고 1人當 필요한 물의 양을 하루 45kg으로 잡았을 때 集熱機의 面積은 4人 家族의 경우 4m^2 가 적당하며 集熱機의 傾斜는 그 지방 緯度의 0.9배 정도가 적당하다고 알려져 있다. 탱크의 크기는 補助熱源을 使用해야 하는 경우 필요한 물의 1.5배, 補助熱源을 使用하지 않는 경우 2.5배가 적당하다. 集熱機의 方向은 北半球의 경우 남쪽을 향하게 한다.

[WH 14)] Davey는^{WH 14)} 오스트레일리아의 여러 기관에서 實用化되고 있는 溫水生産 시스템의 生産量, 이라든가 集熱機 面積 등을 조사하였다. 集熱機를 設計하고 連結하는데 있어서 각 부분에서의 溫度分布와 壓力降下가 어떻게 변하는가 하는 것도 고려해야 한다. Dunkle과 Davey는^{WH 15)} 찬물이 들어 오는 파이프와 溫水가 나가는 파이프

그림 11. 集熱機의 連結方法^{GR 5)}
a) 並列 b) 直列—並列 c) 並列—直列

프 사이를 連結하여 集熱板에 接着되어 있는 튜브를 통한 壓力降下를 測定하였다. 그 結果 찬물이 들어오는 입구에서 제일 가까운 첫번째 튜브와 제일 먼 끝 부분의 튜브를 통한 壓力降下가 가장 커서 이곳을 통한 流量이 커짐을 알게되었다. 이에따라 溫水 出口의 온도는 중간 튜브에서 加熱된 물보다 낮아지며 이러한 效果는 많은 集熱機를 그림11의 (a)처럼 並列로 連結할 경우 커지게 된다. 따라서 튜브의 수가 16개 이상 일 때는 (b), (c)와 같은 連結方式이 바람직하다.

溫水機의 獨特한 例로서 日本에서는 集熱機와 溫水탱크가 結合된 形態가 開發되어 상당수가 팔리고 있다 한다^{WH 16, 17)}. 대개가 검은 칠을 한 플라스틱이나 유리관에 물을 담아 놓고 太陽熱을 받아 加熱시키는 形態이다. 또한 溫水生産 시스템은 水泳場의 물을 적당한 溫度로 데우는 데도 利用되는데 이 경우는 水泳場 자체가 溫水탱크가 된다. Andrassy와 deWinter는 水泳場 물을 데우는 시스템의 設計와 建築에 관한 資料를 集約하였다^{WH 18, 19)}.

一般參考文獻

- GR1. F. Daniels, "Direct Use of the Sun's Energy," New Haven, Conn., Yale University Press, 1964.
- GR2. Hans Rau, "Solar Energy," Macmillan Co., 1964.
- GR3. J.I. Yellott, "Solar Energy Utilization for Heating and Cooling," National Science

- Foundation, NSF 74-41, 1974.
- GR4. J.R. Williams, "Solar Energy, Technology and Application," Ann Arbor Science Publishers Inc., 1974.
- GR5. J.A. Duffie and W.A. Beckman, "Solar Energy Thermal Process," John Wiley & Sons, 1974.
- GR6. J.F. Kreider and F. Kreith, "Solar Heating and Cooling: Engineering, Practical Design, and Economics," McGraw-Hill Book Co., 1975.
- GR7. "Energy R & D, Problems and Perspectives," Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 1975.
- GR8. J.A. Merrigan, "Sunlight to Electricity: Prospects for Solar Energy Conversion by Photovoltaics," MIT Press, 1975.
- GR9. ERDA, "Solar Energy Heating and Cooling Products," 1975.
- GR10. C. Pesko, "Solar Directory," Ann Arbor Science Publishers Inc., 1976.
- GR11. NAS, "Energy for Rural Development," National Academy of Science, 1976.
- GR12. R.L. Crowther, P. Karius, L. Atkinson and D.J. Frey, "Sun/Earth," A.B. Hirschfeld Press, Inc., 1976.
- GR13. K.W. Böer, editor, "Sharing the Sun: Solar Technology in the Seventies," Proceedings of the Joint Conference of the American Section, International Solar Energy Society and Solar Energy Society of Canada, Inc., August 15-20, 1976, Winnipeg, Canada, Vols 1~10, Pergamon, 1976.
- FC1. J.A. Duffie and W.A. Beckman, "Solar Energy Thermal Process," John Wiley & Sons, New York, 1974.
- FC2. J.F. Kreider and F. Kreith, "Solar Heating and Cooling-Engineering, Practical design and Economics," McGraw-Book Co., 1975.
- FC3. M.P. Thekaekara, "Solar Energy outside the earth's atmosphere," *Solar Energy*, **14** (1973), 109.
- FC4. G.O.G. Löf and R.A. Tybout, "A model for optimizing solar heating design," ASME paper 72-WA/Sol-8, 1972.
- FC5. T.F. Irvine, "Solar collector surfaces with wavelength selective radiation characteristics," *Solar Energy*, **2**, Nos. 2-3, (1958), 12.
- FC6. P. Kokoropoulos, E. Salem and F. Daniels, "Selective radiation coatings-preparation and high temperature stability," *Solar Energy*, **3** (1959), 19.
- FC7. H. Tabor "Selective surfaces for solar collectors," Low Temperature Engineering Applications of Solar Energy, New York, ASHRAE, 1967.
- FC8. H. Tabor, J. Harris, H. Winberger and B. Doron, "Further studies on selective black coatings," Proceedings of UN Conference on New Sources of Energy, **4** (1964), 618.
- FC9. D.A. Williams, T.A. Lappin and J.A. Duffie, "Selective radiation properties of particulate coatings," *Trans. ASME, J. Engr. Power*, **85A** (1963), 213.
- FC10. A. Whillier and G. Saluja, "Effects of materials and of construction details on the thermal performance of solar water heaters," *Solar Energy*, **9** (1965), 21.
- FC11. R.W. Bliss, "The derivations of several plate efficiency factors useful in the design of flat-plate solar-heat collectors," *Solar Energy*, **3** (1959), 55.
- FC12. H.C. Hottel and A. Whillier, "Evaluation of flat-plate collector performance," Transaction of the Conference on the Use of Solar Energy, **2**, part 1, 74, Univ. of

平板集熱機

- Arizona Press 1958.
- FC13. A. Whillier, "Solar Energy Collection and its Utilization for House Heating," ScD. Thesis, MIT 1953.
- FC14. A. Whillier, "Design factors influencing collector performances," Low Temperature Engineering Applications of Solar Energy, New York, ASHRAE, 1967.
- FC15. B. Y. H. Liu and R. C. Jordan, "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation," *Solar Energy*, **12** (1968), 107.
- FC17. H. C. Hottel and B. B. Woertz, "Performance of flat-plate solar heat collector," *Trans. ASME* **64** (1942), 91.
- FC18. 문헌 (FC1) p52
- FC19. S. A. Klein, "The effects of thermal capacitance upon the performance of flat-plate solar collectors," M. S. Thesis, University of Wisconsin, 1973.
- FC20. H. P. Garg, "Effect of dirt on transparent covers in flat-plate solar energy collectors," *Solar Energy*, **15** (1974), 299.
- FC21. S. A. Klein, J. A. Duffie and W. A. Beckman, "Transient considerations of flat-plate solar collectors," *ASME, J. Engr. Power*, **96A** (1974), 109.
- FC22. N. Lior and A. P. Saunders, "Solar collector performance studies," NSF/RANN/SE/GI 27976/TR73/1, National Center for Energy Management and Power, University of Pennsylvania, Philadelphia, August, 1974.
- FC23. M. Altman, et. al., "Conservation and better utilization of electric power by means of thermal energy storage and solar heating," NSF/RANN/SE/GI 27976/PR73/5, University of Pennsylvania, Philadelphia, 1973.
- FC24. K. G. T. Hollands, "Honeycomb devices in flat-plate solar collectors," *Solar Energy*, **9** (1965), 159.
- FC25. W. W. S. Charters and L. F. Peterson, "Free convection suppression using honeycomb cellular materials," *Solar Energy*, **13** (1972), 4.
- FC26. K. G. T. Hollands, "Directional selectivity, emittance and absorptance properties of vee corrugated specular surfaces," *Solar Energy*, **7** (1963), 108.
- FC27. F. Trombe, M. Foex, and M. Lepoint Vinh, "Research on selective surfaces for air conditioning dwellings," Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy, **4** (1964), 625, 638.
- FC28. K. Selcuk, "Thermal and economic analysis of the overlapped-glass plate solar-air heaters," *Solar Energy*, **13** (1971), 165.
- FC29. Y. H. Hamid and W. A. Beckman, "Performance of air-cooled radiatively heated screen matrices," *Trans. ASME, J. Engr. Power*, **93** (1971), 221.
- FC30. E. Speyer, "Solar energy collection with evacuated tubes," *Trans. of ASME, J. Engr. Power*, **86** (1965), 270.

太陽熱温水機

- WH1. J. E. Scott, "The solar water heater industry in South Florida: history and projections," *Solar Energy*, **18** (1976), 387.
- WH 2. "Solar water heaters, Principles of design, construction and installation," Div. of Mech. Engr. Circular No. 2, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia (1964).
- WH3. J. A. Duffie and W. A. Beckman, "Solar Energy Thermal Process," John Wiley & Sons, Inc., 1974 p. 252.
- WH4. G. Gutierrez, et al., "Simulation of forced circulation water heaters: Effects of auxiliary energy supply, load type and

- storage capacity," *Solar Energy*, **15** (1974), 287.
- WH5. G. O. G. Löf and D. J. Close, Low Temperature Engineering Application of Solar Energy, "Solar water heaters," New York, ASHRAE, 1967.
- WH6. D. J. Close, "The performance of solar water heaters with natural circulation," *Solar Energy* **6** (1962), 33.
- WH7. H. Tabor, "A Note on the thermosyphon solar hot water heater," Cooperation Mediterraneene pour L' Energie Solaire (COMPLES) Bulletin No. **17** (1969), 33.
- WH8. F. de Winter, "Heat exchanger penalties in double-loop solar water heating systems," *Solar Energy*, **17** (1975), 335.
- WH9. D. J. Close "Flat-plate Solar absorbers: The production and testing of a selective surface for copper absorber plate," Report E. D. 7, Engineering Section, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia (1962)
- WH10. R. Sobotka, "Solar water heaters," Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy, **5** (1964), 96.
- WH11. S. A. Vince, "A high-speed cylindrical solar-water heater," *Solar Energy*, **13** (1971), 339.
- WH12. C. L. Gupta and H. P. Garg, "System design in solar water heaters with natural circulation," *Solar Energy*, **12** (1968), 163.
- WH13. H. P. Garg, "Design and performance of a large-scale solar water heater," *Solar Energy*, **14** (1973), 303.
- WH14. E. T. Davey, "Solar water heating in Australia," Paper represented at Melbourne International Solar Energy Conference (1970).
- WH15. R. V. Dunkle and E. T. Davey, "Flow distribution in absorber banks," Paper presented at Melbourne International Solar Energy Society Conference (1970).
- WH16. I. Tanishita, "Recent development of solar water heaters in Japan," Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy, **5** (1964), 102.
- WH17. I. Tanishita, "Present situation of commercial solar water heaters in Japan," Paper presented at Melbourne International Solar Energy Society Conference (1970).
- WH18. S. Andrassy, "Solar water heaters," Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy, **5** (1964), 20.
- WH19. F. deWinter, "How to design and build a solar-energy swimming pool heater," a publication of the Copper Development Association, Inc. (1973).
- WH20. G. J. Parker, "A forced circulation system for solar water heating," *Solar Energy*, **18** (1976), 475.
- WH21. H. P. Garg, "Year round performance studies on a built-in storage type solar water heater at Jodhpur, India," *Solar Energy*, **17** (1975), 167.
- WH22. R. S. Chauhan, "Performance of a collector-cum-storage type of solar water heater," *Solar Energy*, **18** (1976), 327.

