

乾燥加工用 太陽熱 集熱裝置에 關한 研究

Concentrating Solar Collector for Drying Process

李 炳 赫*

(Lee, Byung Hyuk)

(1986. 4.18 접수)

ABSTRACT

A concentrating solar collector of parabolic-cylindrical type is designed and constructed to provide a heat source of higher temperature for drying processes. Usually collectors of concentrating type require such peripheral auxiliary units as solar tracking system, heat medium circulation pump and temperature controller. However in this study, for simplification's sake in the maintenance of a collector system, it is intended to design a concentrating collector system which does not furnish these auxiliary units by adapting natural circulation system instead of forced circulation and by adjusting collector system to solar altitude manually and periodically. And based on the experimental data, a conceptual design for a heat sources of 50KWt thermal output is presented and discussed.

1. 序 論

太陽에너지의 活用 추세는 근래 能動集熱型에서 自然蓄熱型으로 바뀌어가는 경향에 있다. 그것은 경제적인 측면에서 볼 때 太陽에너지 施設에 대한 技術개발이 아직 投資回收를 보장못한 단계에 있기 때문이며, 장치 개발의 여지가 많음을 뜻한 것으로 볼 수 있다.

그러나 能動集熱型中에서도 給湯用集熱器는 그 實用성이 입증되어 보급을 확대해 나가는 단계에 있고, 先進國에서는 太陽熱을 産業工程用熱로 活用하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 1)~4)

이 研究에서도 産業工程用熱源 특히 農水産物の 乾燥加工用熱源으로 活用할 수 있는 太陽熱 集熱裝置의 개발을 목표로 하였다.

乾燥加工에 쓰일 熱源은 平板式集熱裝置로 얻을 수 있는 溫度보다는 높은 것이 보다 효율적이기 때문에 集光型 集熱方式을 택하였는데 이

方式은 일반적으로 太陽追跡裝置, 熱媒體循環裝置, 熱媒體溫度判別裝置 등 주변시설을 必要로 하여 裝置의 運營에 있어서 많은 부담이된다. 그러므로 本研究에서는 이들 周邊施設을 일체 사용하지 않기 위하여 熱媒體強制순환方式을 自然순회방식으로, 太陽自動追跡장치 대신 週期的인 手動調整方式을 試圖하였고, 또 施設을 큰 規模로 쉽게 확장할 수 있도록 設計하는데 力點을 두었다. 이러한 方針에 입각하여 集熱裝置를 設計 제작하여 集熱實驗을 하였으며, 이 集熱裝置를 使用한 熱出力 50 kw級의 乾燥加工用熱源에 대한 基本 設計를 提示檢討하였다.

2. 集熱裝置의 構成

本 集熱裝置의 集光曲面은 圓筒拋物線型으로서 集光軸은 東西方向으로 固定되고, 集光曲面을 南北子午線方向으로 돌려서 太陽高度에 맞출 수 있게 한 構造인데 그 主要部分은 (1)集光反射

* 이 논문은 1985년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음

* 正會員: 西江大學校

鏡固定틀 (2) 熱吸收管 (3) 蓄熱水槽 등으로 되어 있고 各 主要部分의 設計內容은 다음과 같다.

2.1 集光反射鏡固定틀

円筒拋物線型틀의 側面구조 諸元은 Fig. 1 에 보인 바와 같다.

集光集熱方式에 있어서 熱媒體의 最高到達溫度는 集光曲面의 光集束比에 따라 결정되는데, 실험에 의하면 日射세기 0.9 kw/m^2 에서 集光比가 5 ~ 20 범위에서는 集光表面溫度가 $75 \sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ 가 되므로 $70 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 溫度를 얻기 위하여 光集束比가 10 이 되도록 拋物面을 設計하였다.

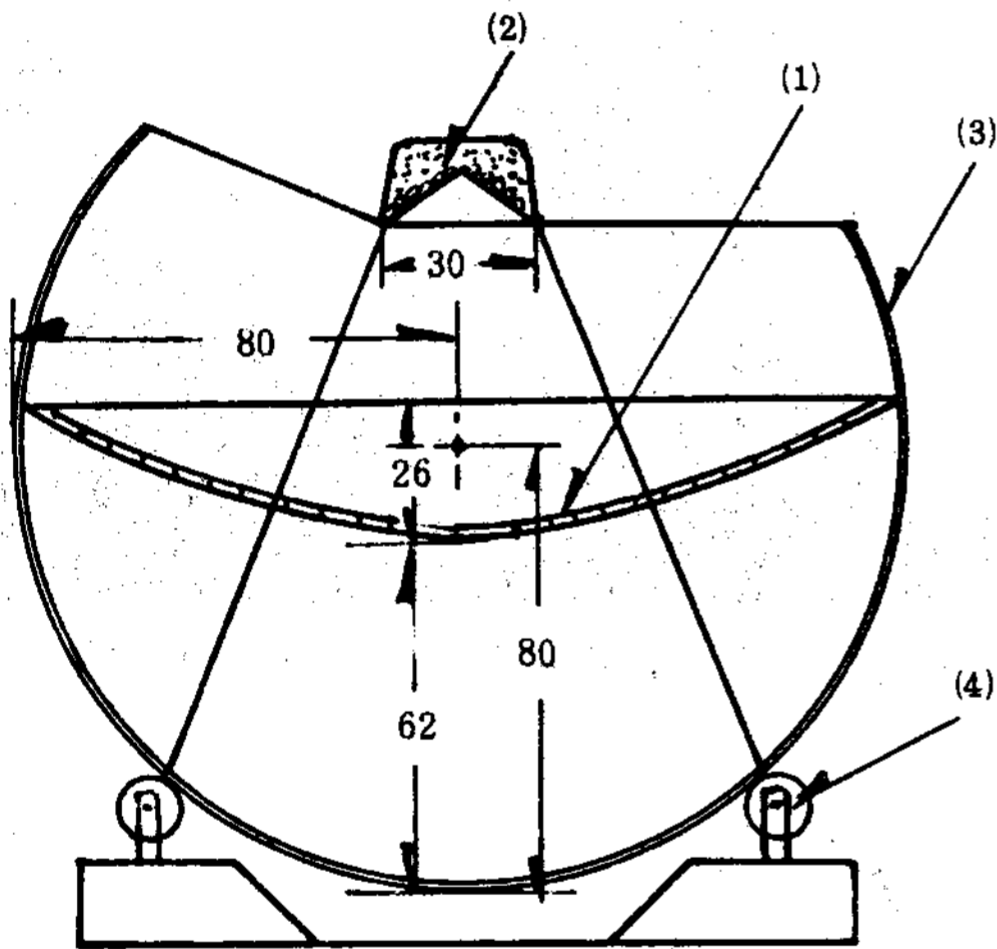


Fig. 1. Side-view configuration of parabolic-cylindrical collector.

Fig. 1 에서 (1)은 拋物線型틀로서 이 틀 위에 反射鏡을 고정하고, 反射光은 拋物線의 焦點位置에 놓인 熱吸收管(2)에 集束된다. (3)은 틀 (1)을 固定함과 동시에 이를 돌려서 太陽高度에 맞출 수 있게 하는 円形 받침틀이며 (4)는 이 틀을 받치는 바퀴이다. 集光軸方向의 구조는 [사진 2]에서 볼 수 있는 바와 같이 6區間으로 나누어져 있는데 1區間의 길이는 反射鏡의 길이 91.5 cm 이고, 또 한 區間에는 폭 5 cm 의 反射鏡 30枚를 틀에 고정시켰다. 그리고 모든 反射鏡片은 鏡面保護를 위하여 epoxy 수지를 칠

하고 破損防止目的으로 線테프를 붙여 사용하였다.

受光面積을 넓히기 위해서는 軸方向으로 反射鏡틀을 붙여서 손쉽게 任意로 擴張시킬 수 있도록 設計하였다.

2.2 熱吸收管

熱吸收管의 斷面構造는 Fig. 2 와 같다.

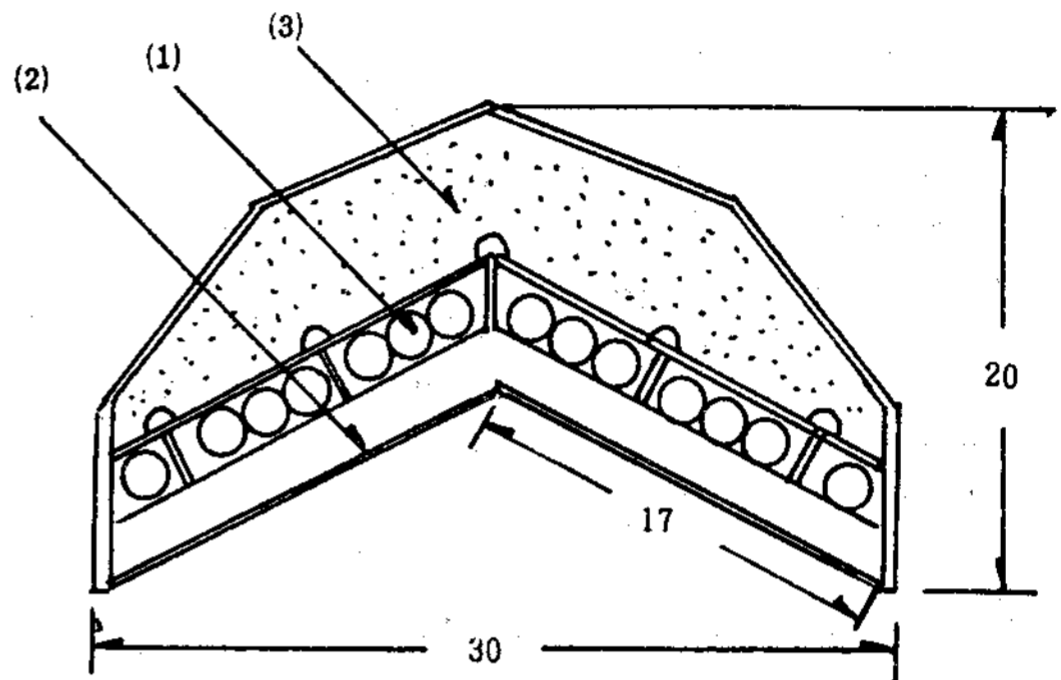


Fig. 2. Cross-sectional configuration of heat collector

Fig. 2 에서 (1)은 直徑 1.6 cm , 두께 0.3 mm , 길이 600 cm 의 구리管 14개를 하나로 結束固定하고, 光吸收表面은 無光黑色페인트를 분사식으로 도포하여 처리하였다. (2)는 吸收된 熱이 空氣의 對流에 의하여 유실되는 것을 防止하는 窓유리이다. (3)은 保溫점 浸水防止 덮개이다. 여기서 特히 熱吸收管의 受光窓의 幅을 크게 設計한 것은 太陽 추적장치를 사용하지 않고 集熱할 수 있도록 하기 위한 것으로 그 근거에 대해서는 다음 (4)項에서 검토한다.

2.3 熱媒體 自然循環方式

集光式 장치에서는 일반적으로 熱媒體 순환 펌프를 必要로 하는데, 이 研究에서는 裝置의 運營·維持의 간편화를 위해서 순환펌프를 사용하지 않은 自然循環方式을 試圖하였다.

Fig. 3 은 이 集熱系의 全體配置를 나타낸 것이다.

그림에서 熱吸收管 (1), (2)를 2分하여 (1)은 南쪽에 (2)는 北쪽 後例에 配置하여 蓄熱水槽(3)와 最短순환路를 構成토록 하여 自然순환이 효율적

으로 이루어질 수 있게 하고, 또 熱吸收管은 水平面과 2°의 傾斜角을 이루게 하였다. 그림에서 數値는 水平地面 HH'로 부터의 높이를 cm單位로 나타낸 것이다.

[사진 1]은 全集熱裝置의 側面을 [사진 2]는 平面조감配置를 보인 것이다.

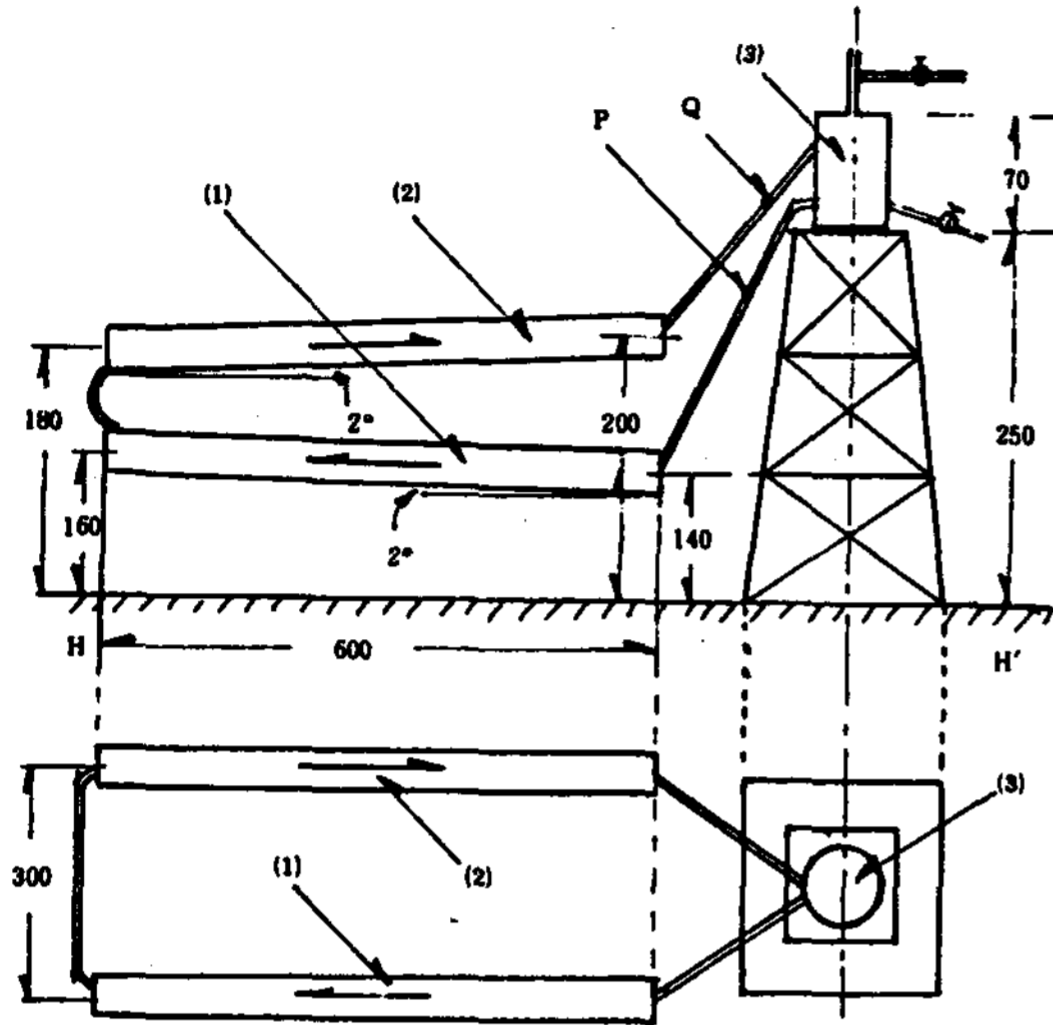


Fig. 3. Schematic diagram of solar collector system.

2.4 集光式 集熱裝置에서 太陽追跡裝置를 사용하지 않은 集光系에 대한 검토

集光式裝置에 있어서는 集束된 光을 熱吸收面에 入射시키기 위한 太陽追跡裝置가 必要한데 本 研究에서는 追跡裝置 대신 手動式 調整方式을 選擇하여 設計하였다. 다음에 이에 대한 근거를 검토한다.

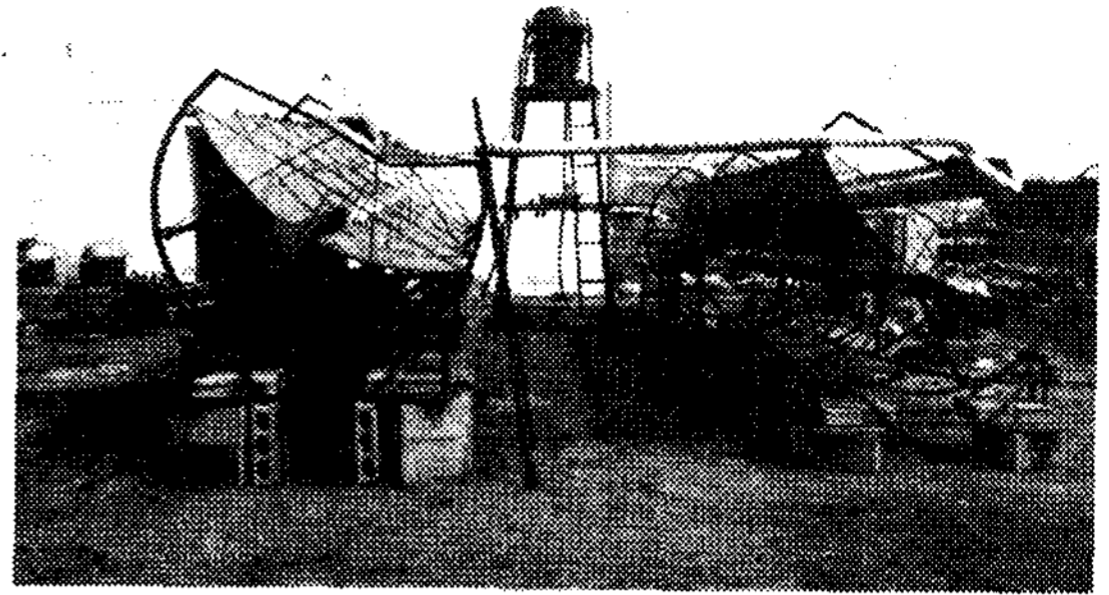
太陽位置는 Fig.4를 參照하여 다음 關係式³⁾으로 주어진다.

$$\sin \theta = \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos H + \sin L \cdot \sin \delta$$

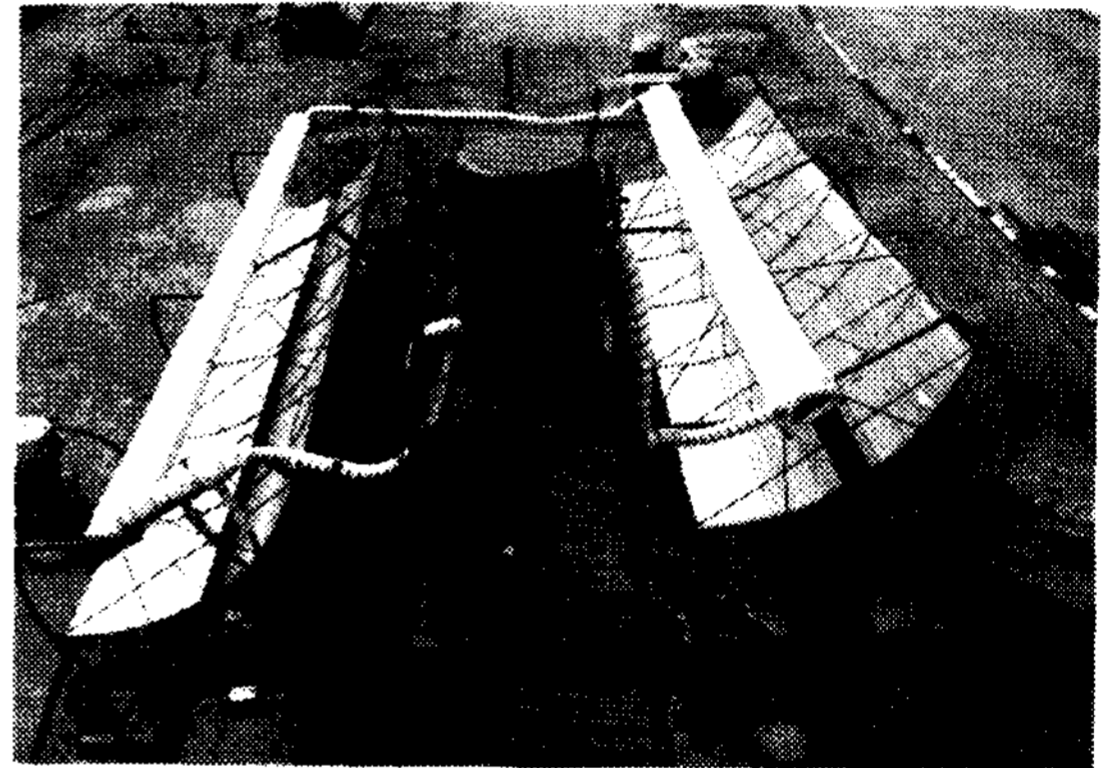
$$\sin \phi = \cos \delta \cdot \sin H / \cos \theta$$

여기서 L : 緯度, δ : 赤道面과 黃道面과의 角

H : 太陽正午位置로 부터 時間 4分을 각도 1°로 환산한 任意時刻의 角距離



[사진 1] 集熱裝置의 側面사진



[사진 2] 全集熱裝置의 平面조감사진

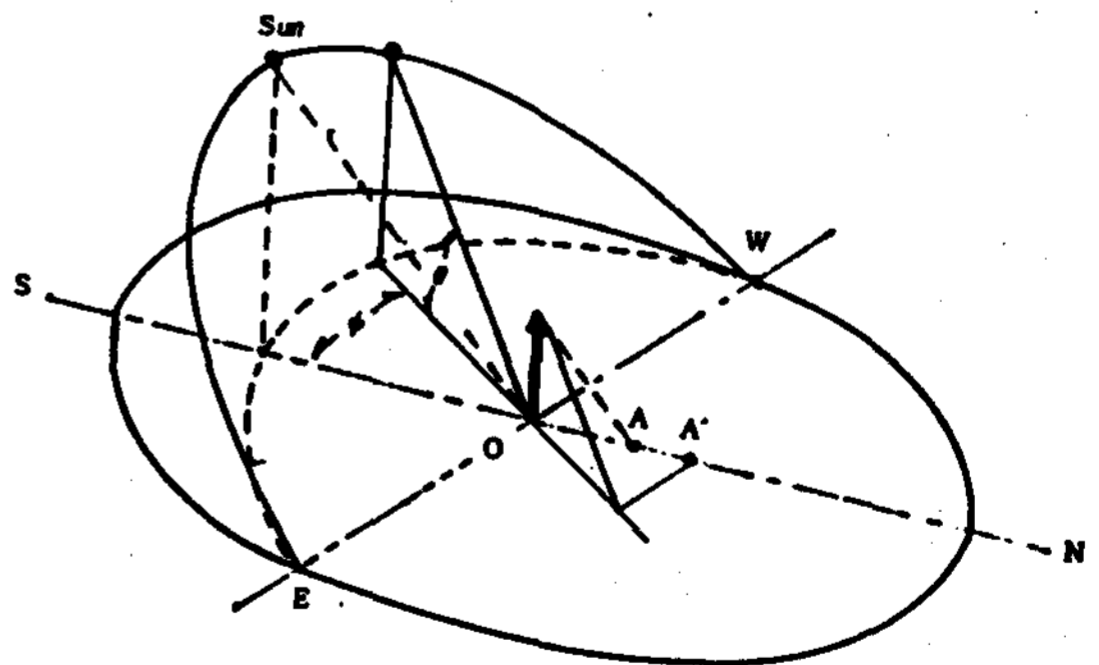


Fig. 4. Graphical illustration of solar altitude (θ) and solar azimuth (ϕ).

太陽의 位置變動에 따른 熱吸收管上에서의 集光中心의 移動은 円筒拋物線型틀의 集光軸이 東西方向으로 固定되어있는 점을 감안하면 다음과 같이 생각할 수 있다. 지금 集熱裝置를 太陽高度에 바르게 調整하였을때 反射面上에 投影되

는 吸收管의 그림자 位置를 基準點으로 하여, 太陽移動에 따른 子午線上에서의 吸收管의 그림자의 移動거리 r 는 吸收管과 反射面과의 距離를 ℓ 라 하면

$$r = \ell \cot \theta \cdot \cos \theta$$

로 주어지며, 이것은 Fig. 4 의 SN線上에서 $\overline{OA'} - \overline{OA'} = \overline{AA'}$ 에 該當된다. 이 길이는 간단한 作圖를 통해서 熱吸收管上에서의 集光中心의 移動거리에 近사적으로 같음을 찾아 볼 수 있다.

Fig.5는 主要季節別로 1日 時刻에 따라 反射面上에 投影되는 熱吸收管의 그림자가 正午 때의 位置로부터 子午線上을 移動한 距離를 나타낸 것으로 $\ell = 60\text{cm}$ 로 잡고 計算한 것이다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 熱吸收管의 受光窓의 幅을 30cm 로 크게 잡으면 太陽高度의 日變化에 대해서는 受光角을 調整할 必要없이 冬至를 중심으로 한 12月과 1月은 하루 3時間 내지 4時間 그리고 다른 季節에는 全日照時間에 해당되는 5~6時間 集熱할 수 있다. 그러나 季節的 變化로는 集光中心이 本 裝置에 있어서 10日에 約 4cm 移動하므로 日變化의 最大值를 收容할 수 있게 하기 위해 10日에 1回 手動調整 하도록 하면 된다.

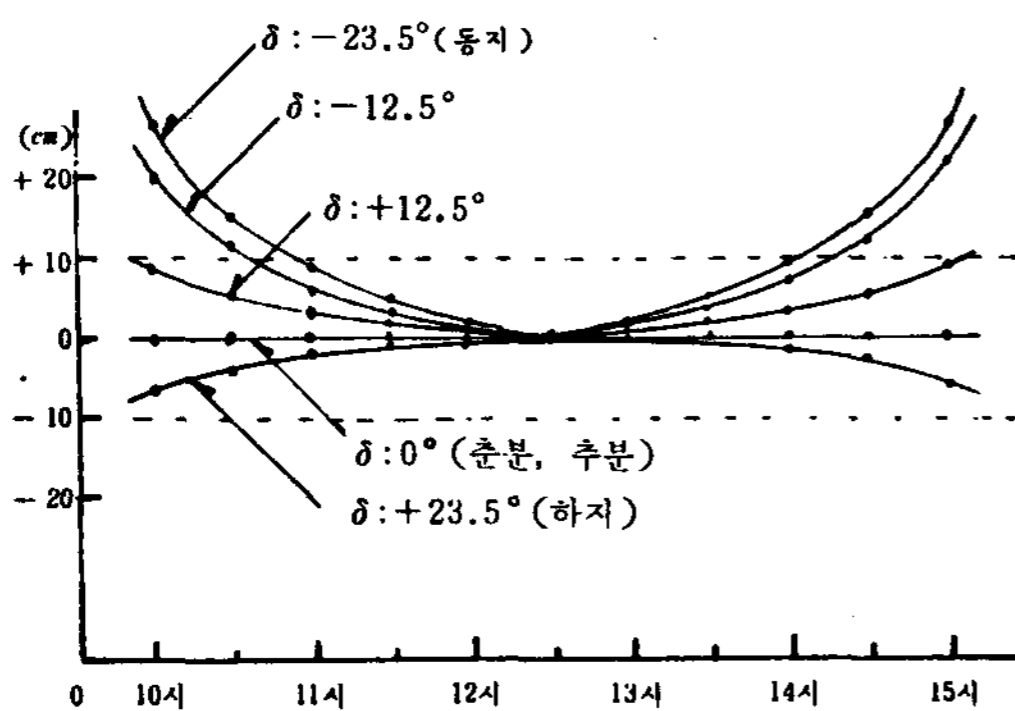


Fig. 5. Day-time shift of shadow edge along the meridian from the noon position with respect to the variations of solar declinations.

3. 集熱測定

3.1 測定計器

가) 日射세기 測定 ; 日射세기는 Eppley Lab.社의 Eppley Radiometer (Model 8 - 48 , 計器定數 $12.17 \times 10^{-6} \text{ V/W-m}^2$)의 受光面을 円筒拋物線型들의 受光面과 一致시켜 틀에 固定하여 測定하였다. 따라서 이값은 水平面에 대한 日射세기와는 다르다.

나) 溫度測定 ; 集熱溫度는 Fig.3 의 P . Q점에서 각각 熱媒體流入 및 流出溫度를 K型 熱電對와 Keithley社의 616 Digital Electrometer를 써서 測定하였다.

3.2 熱吸收管上의 集束光의 세기

集光式裝置에 있어서 光集束度는 集熱效率와 직접 관계있는 重要한 要因이므로 이의 確認測定을 하였다. 本 裝置에서는 有效反射面幅 120cm 에 入射하는 光이 熱吸收管上에서 幅 10cm 내로 集束되었으며, 有效 入射에너지의 約 $70 \sim 75\%$ 가 吸收管面上에 入射되었다.

3.3 集熱量 測定 및 效率

本 集熱裝置는 自然循環型으로서, 有效受光面積 12m^2 , 裝置의 總熱媒體量 110ℓ 에 대한 代表的인 集熱結果를 보이면 Fig. 6 과 같다. Fig. 6 에서 點線으로 나타낸 것은 平均 日射세기가 測定時間동안 거의 一定한 값 0.8 KW/m^2 을 維持하고 周邊溫度 10°C 의 晴明한 條件下에서 集熱한 것으로 $T'in$ 과 $T'out$ 는 各各 流入 및 流出 溫度이다. 集熱양상을 보면 처음 集熱溫度가 비교적 낮은 상태에서는 流出-流入溫度差가 12°C 정도 되었으나 集熱溫度가 높아짐에 따라 이 溫度差가 점차 좁혀져 $3 \sim 4^\circ\text{C}$ 가 되면 集熱이 이루어지지 않음을 보여주고 있다. 그리고 또 集熱裝置의 溫度가 50°C 以上되면 14時 30分頃 以後에는 역시 集熱되지 않음을 볼 수 있다.

Fig. 6 에서 實線으로 나타낸 것은 最高 到達溫度를 얻기 위해 實驗한 結果이다.

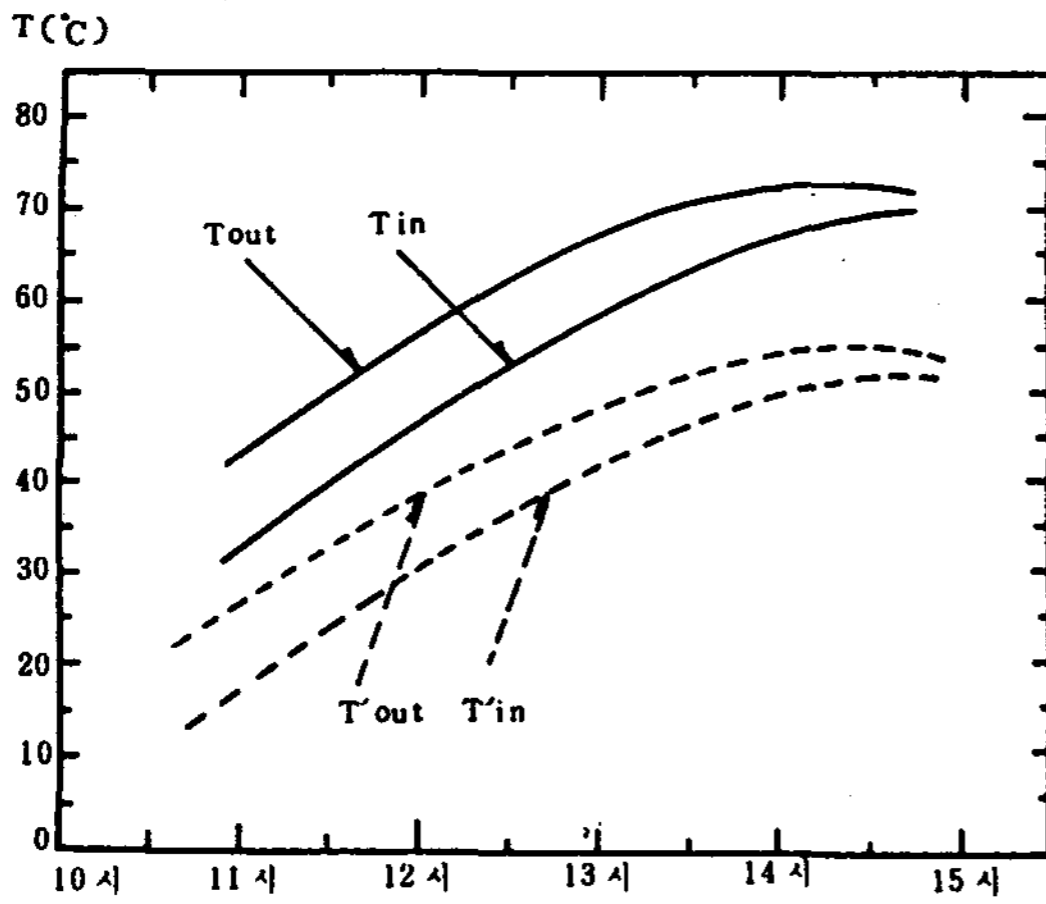


Fig. 6. Day-time temperature variations of collector.

平均 日射세기 0.95 KW/m^2 , 周邊溫度 14°C 의 代表的인 晴明한 氣象條件下에서 처음부터 溫度 28°C 의 熱媒體를 써서 集熱을 시작한 것으로 $40 \sim 60^\circ\text{C}$ 範圍에서는 流出-流入 溫度差가 $8 \sim 10^\circ\text{C}$ 로 維持되다가 14時頃에 最高 73°C 에 到達하고 그 以後에는 溫度差가 점차 좁혀져 集熱되지 않음을 보여주고 있다.

여기서 每分集熱量을 보면 40°C 以下에서는 35 Kcal/min $40 \sim 50^\circ\text{C}$ 범위에서는 平均 25 Kcal/min ; $60 \sim 70^\circ\text{C}$ 에서는 平均 15 Kcal/min 되었다. 그리고 이 集熱裝置의 集熱

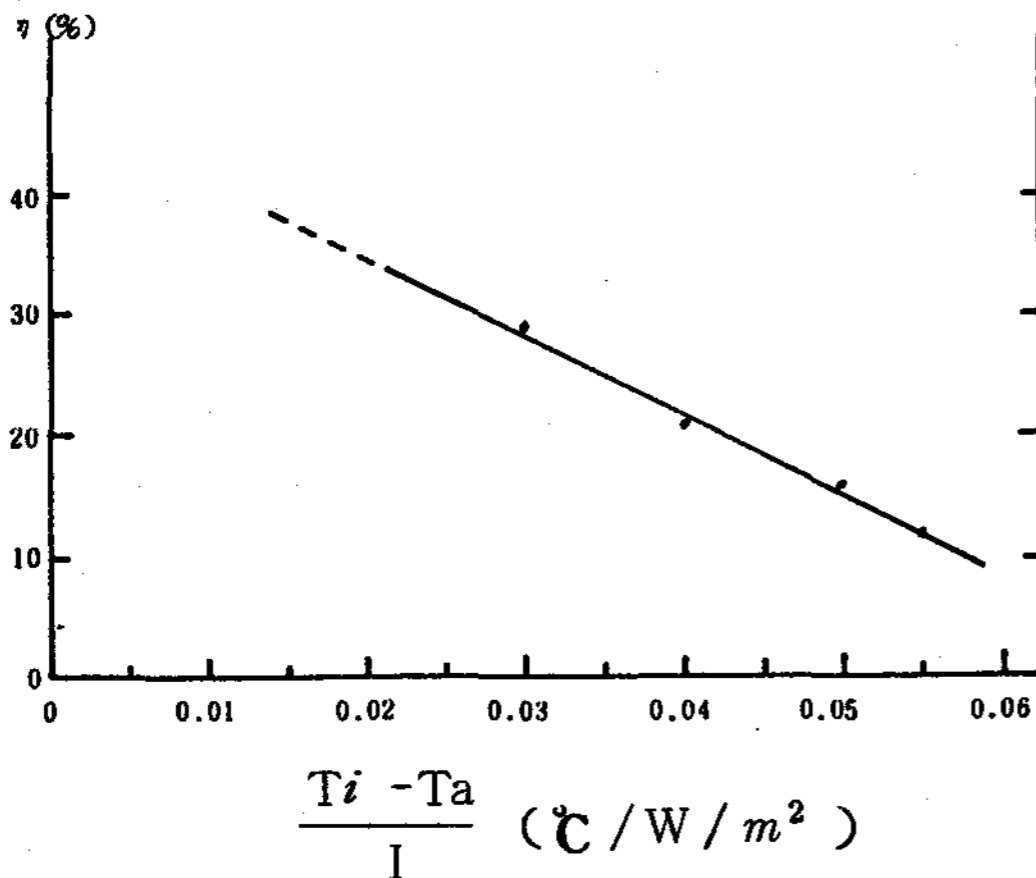


Fig. 7. Thermal efficiency of collector with respect to heat-loss factor.

効率は Fig. 7 에 보인 바와 같다. 그림에서 T_i 는 平均集熱溫度, T_a 는 周邊溫度, I 는 日射세기인데 熱損失率 $(T_i - T_a) / I$ 에 대한 集열효율을 나타낸 것으로, 日射세기 $700 \sim 900 \text{ W/m}^2$, 주변온도 10°C 일 때 集熱溫度 $30 \sim 40^\circ\text{C}$ 범위에서는 20% , $50 \sim 65^\circ\text{C}$ 범위에서는 10% 로 集熱됨을 알 수 있다.

4. 乾燥加工用 熱源에 대한 基本設計 및 檢討

集熱溫度가 높아갈수록 일반적으로 集熱効率が 低下되기 때문에 高溫集熱을 위한 對策으로 熱吸收管의 受光窓의 덮게를 2重으로하여 실험하였다.

比較를 위하여 熱吸收管을 集光軸方向으로 3개 區間으로 나누어 두겹유리 덮게한 部分, 한겹 유리 덮게한 部分, 유리덮게 하지 않은 部分의

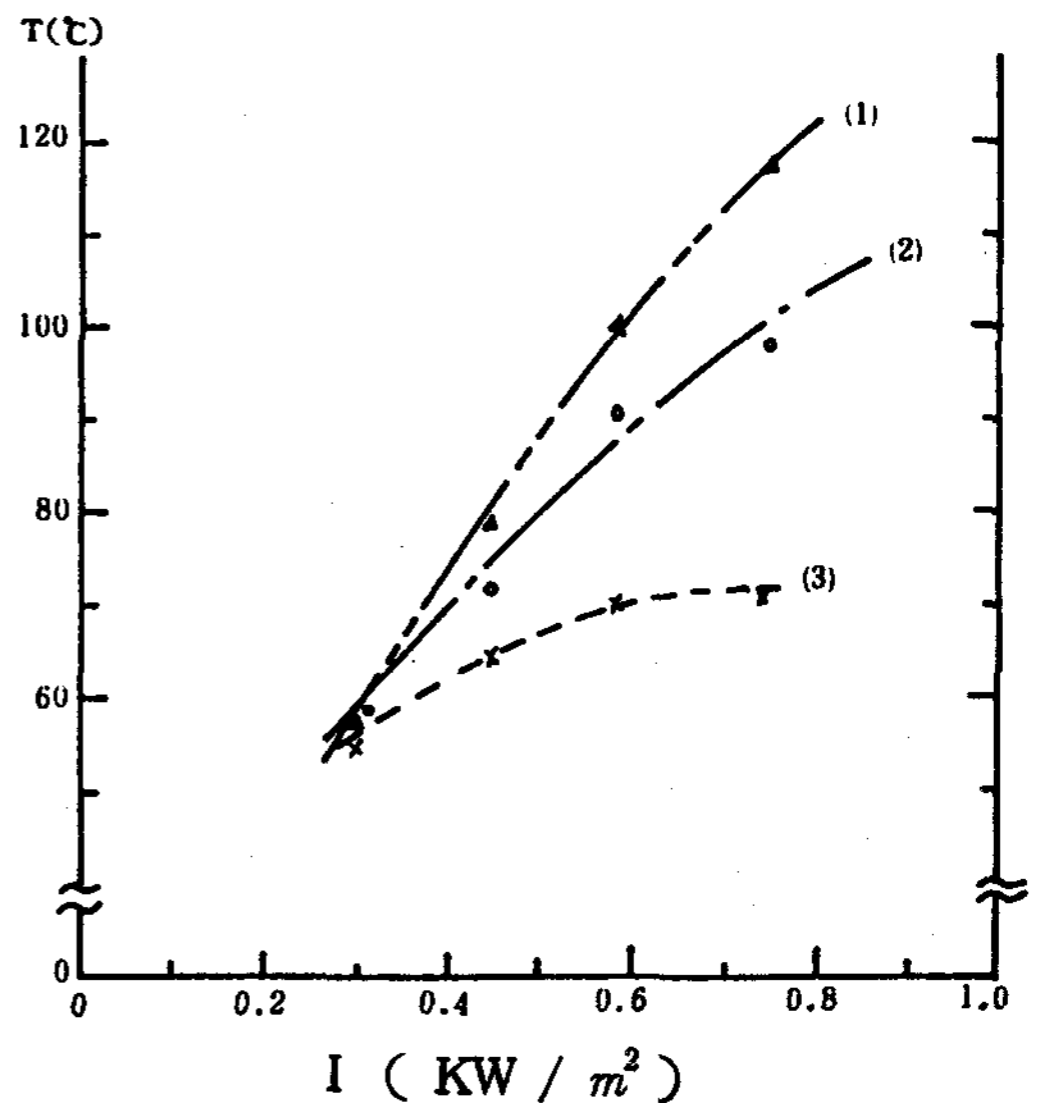


Fig. 8. Maximum attainable temperature with heat collector covered with a double cover glass (1), a single cover glass (2) and without cover glass (3).

最高到達 溫度를 測定하였다. Fig. 8 은 日射세기에 따른 各部位의 最高到達溫度를 나타낸

것으로 그림에서 (1)은 두겹 (2)는 한겹 (3) 유리 덮게 하지 않은 것에 대한 값이다.

日射세기가 $400W/m^2$ 이하에서는 유리 덮게의 効果는 나타나지 않으나, 日射세기가 커질수록 두겹 유리 덮게의 最高到達溫度는 높아졌다. 그림에서 보면 주변온도 $8^{\circ}C$ 때 日射세기 $750W/m^2$ 에서 最高溫度가 두겹은 $118^{\circ}C$, 한겹은 $96^{\circ}C$, 덮게하지 않은 것은 $71^{\circ}C$ 가 되었다. 이 값은 吸收管의 熱媒體를 除去한 狀態에서 實驗한 것이나 高溫集熱에는 受光窓을 두겹유리 덮게를 하는 것이 效果的임을 알 수 있다.

위의 基礎實驗結果에 입각하여 每分 1ℓ 의 물을 蒸發乾燥시킬 수 있는 熱出力 $50KWt$ 級의 高溫集熱系의 基本的 設計를 提示 檢討한다.

基本指針으로는 熱媒體의 모든 循環經路에서 集熱이 이루어질 수 있도록 하되 集熱部를 2分하여 南쪽 앞줄에는 한겹 유리 덮게한 熱吸收管을, 北쪽 뒷줄에는 두겹 유리 덮게한 것을 配置하여 熱媒體가 늘 集熱하면서 自然循環하도록 한다.

다음 熱出力 $50KWt$ 를 얻기 위한 集熱系의 規模를 살펴본다.

지금 集熱과 作業등의 條件으로 日射세기 $750W/m^2$, 주변온도 $10^{\circ}C$ 때 $75^{\circ}C$ 로 加熱된 熱媒體가 물을 每分 1ℓ 의 比率로 蒸發시킨후 $25^{\circ}C$ 로 冷却되어 循環한다고 假定한다. 여기서 集熱效率을 低溫部의 한겹 유리 덮게는 25% , 高溫部의 두겹 유리 덮게는 10% 로 잡을때 물 1ℓ 의 蒸發熱 $600Kcal$ 를 1分間에 集熱하기 위해서는 앞에서 實驗한 受光面積 $12m^2$ 의 集熱裝置 24대가 必要하다. 그리고 또 매분 $600Kcal$ 를 供給하기 위해서는 熱媒體의 流量이 $12\ell/min$ 가 되어야 하는데 本 實驗結果로 부터 推定한 自然循環 流速이 $2\ell/min$ 된 점을 감안하면 全體 集熱系는 Fig. 9 에 보인 바와 같이 中央의 熱媒體 탱크를 中心으로 한줄에 集光軸길이 $24m$ 의 集熱裝置를 左右에 各各 6대

식 總 12臺를 配置한 構成이 된다.

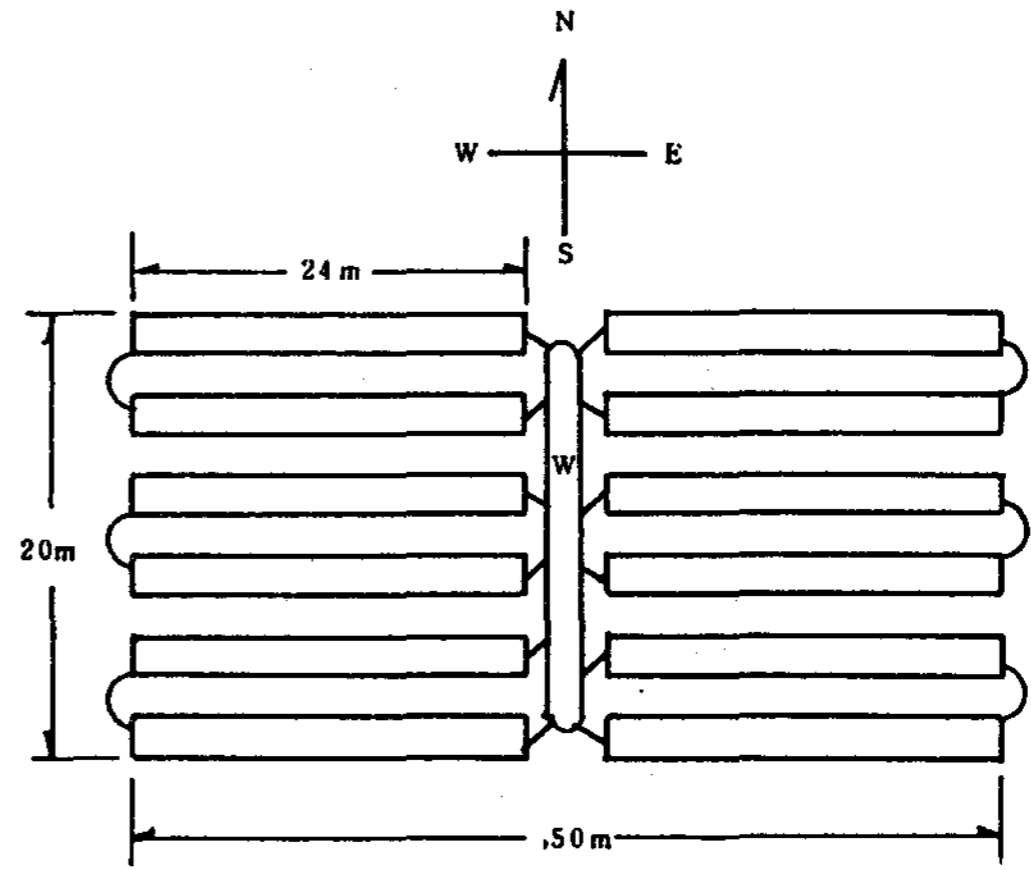


Fig. 9. Schematic of the proposed collector system of $50kw$ t thermal out-put.

이 規模의 集熱系의 集熱能力을 연탄 (熱量 $4,600Kcal$)과 比較해 보면, 연탄 1개를 8時間에 걸쳐 完全 燃燒시키는 率로 發熱率을 잡는다면 연탄 60개를 同時에 燃燒시킬때 발생하는 發熱率과 같고 또 1時間의 集熱量은 연탄 8개에 해당되는 熱量임을 알 수 있다.

V. 結 論

乾燥加工등 産業工程用으로 쓰일 高溫 熱源을 太陽熱을 集熱시켜 얻기 위하여 反射曲面이 円筒拋物線型의 集光式集熱裝置를 設計 製作하였다. 集光式集熱裝置는 일반적으로 太陽追跡裝置, 熱媒體 循環裝置, 溫度判別調節裝置등을 必要로 하나 本 研究에서는 이 周邊裝置들을 일체 사용하지 않은 集熱裝置 즉 熱媒體 自然循環方式과 手動式 太陽高度 調整方式을 導入 設計하여 集熱效率을 測定하였다. 代表的인 集熱效率값으로 $(T_i - T_a) / I$ 값이 $0.02, 0.04$ 및 0.06 일때 各各 $30\%, 20\%$ 그리고 10% 가 되었으며, 日射세기 $0.95KW/m^2$, 주변溫度 $14^{\circ}C$ 때 最高到達溫度 $73^{\circ}C$ 를 얻었다. 그리고 여기서 얻은 實驗結果를 基礎로 熱出力 $50KWt$ 級

李炳赫

의 高溫集熱系에 대한 基本的 設計를 提示 檢討
하였다.

References

- 1) Norton T. Pierce, Solar Energy, Vol. 19, pp. 395-400 (1977)
- 2) T. Tanaka, S. Sawata, K. Sakuta, Solar Energy. Vol. 19, pp. 335-341 (1977)
- 3) Engineer's Guide To Solar Energy. (1979)
- 4) Solar Energy Utilization Handbook (1985)
Japan Solar Energy Society