

太陽熱空氣加熱器의 性能實驗

車 宗 熙* · 宋 熙 烈**

(1976. 5. 31 接受)

Performance of Solar Air Heaters

Jong Hee Cha and Hi Yul Song

Abstract

This study was concerned with performance of 2 types of black painted solar air heaters, one is finned type heater, the other is mesh type. The performance test of heaters was made under the different operating conditions during winter season of December in Seoul area. It was analyzed and discussed by comparing the overall efficiency of 2 solar heaters at the same mass flow rate and ambient temperature.

Experimental results show that finned type solar heater is better than mesh type from the point of view of design and heat removal efficiency. Finned-type solar air heater supplies hot air up to 30 degree centigrade above ambient temperature with an overall efficiency of 47 percent while mesh type was 44 percent.

1. 序 論

太陽熱集熱器에서 熱傳達媒體로서 空氣를 使用하면 水點以下의 外氣溫度에서도 冷却材의 凍結의 憂慮가 없고 裝置內 金屬材料의 腐蝕의 可能性도 적으며 冷却材의 漏洩도 큰 問題가 되지 않는다. 또한 比熱도 작아 比較的 高溫을 얻을 수도 있다. 그러나 液體보다 熱傳達係數가 낮고 蓄熱方法도 簡單하지 않다.

太陽熱空氣加熱器는 用途에 있어서 建物, 住宅의 暖房뿐만 아니라 穀物, 木材等の 乾燥에도 使用될 수 있다. 이것이 暖房目的으로 使用될 때는 裝置가 簡單하여 製作經費가 比較的 低廉하며 故障의 可能性이 적어 保守도 容易하고 壽命도 길 것이다.

太陽熱空氣加熱器는 오래 전부터 몇 가지 형식이 設計 試作되어 그 性能이 實驗된 바 있었다. 그러나 아직 基本的 設計는 確定된 것 같지 않으며 더 많은 實驗資料가

必要하다고 본다. 더욱이 太陽에너지 條件은 地域性을 가지므로 使用現地에서의 實驗資料는 利用價値가 더 크 다 하겠다.

지금까지 設計된 太陽熱空氣加熱器를 大別하면 (1) 겹쳐진 유리板型 (2) 알루미늄箔板型 (3) 핀(fin)型 (4) 허니컴型 (5) 주름진 型板 (6) 平金屬板型 등이 있다.

太陽熱空氣加熱器의 初期의 實驗은 Löf¹⁾의 겹쳐진 유리板으로 만든 것이 있다. 그는 검게, 着色한 鋁모양 의 유리板을 여러개 서로 겹치게 配列하여 箱子속에 넣어 各板사이를 空氣가 지나게 하여 加熱되게 하였다. 이 實驗에서 200°F의 溫도와 最高의 60% 集熱效率를 얻었다고 報告하고 있다. 같은 構造에 對한 16年間의 性能이 報告되고 있다²⁾. Löf는 平行한 鋼板사이를 空氣를 지나게 한 構造의 空氣加熱器에 對한 實驗도 한 바 있다³⁾.

Shoemaker⁴⁾는 틈새가 있는 알루미늄箔板을 使用한 加熱器를 試作한 바 있으며 그後 Chiou⁵⁾는 같은 型의 것에 對한 理論 및 實驗의 研究結果를 報告한 바 있다.

* 正會員, 韓國原子力研究所

** 韓國原子力研究所

Bevill 및 Brandt⁶⁾ 알루미늄材를 써서 핀형을 만들어 集熱效率를 測定한 바 있다.

Whillier⁷⁾는 選擇性 ฟิล을 한 吸熱板위를 유리 및 PVF 필름으로 덮어 加熱器를 만들어 實驗하고 있다. Gupta⁸⁾는 겹게 칠한 주름진 板을 사용한 空氣加熱器에 對하여 送風動力, 熱損失 및 集熱效率 등이 調査된 바 있다. 또 Buchberg 및 Lalude⁹⁾는 허니컴(honeycomb) 모양의 多孔을 사용하여 設計製作하고 있고 Charters¹⁰⁾는 검은 ฟิล을 한 單--平板을 吸熱板으로 하여 空氣와 直接接觸도록 한 加熱器를 試作하여 技術 및 經濟的 評價를 하고 있다.

最近에 와서 Satcunanathan 및 Deonarain¹¹⁾은 두 金屬板과 두 유리板으로 構成된 加熱器를 製作하여 유리板 사이를 먼저 지나게 한 後金屬板 사이를 지나게 한 實驗을 하고 있다. Kayes¹²⁾는 垂直한 것을 配列한 平板型 集熱器를 實驗하고 있다.

本實驗에서는 지금까지의 研究結查를 基礎로 하여 價格의 低廉과 性能의 向上을 考慮하여 (1) 두 平行 鋼板 사이에 핀을 配列한 型 및 (2) 鐵板과 金屬網을 組合한 型을 設計, 組立하여 主로 空氣溫度變化 및 集熱效率를 觀察하였다.

2. 實 驗

2-1. 太陽熱空氣加熱器의 構造

(1) 핀형(finned type)

핀型 加熱器의 構造概要는 Fig. 1에 表示한 바와 같다. 吸熱板은 約 1800×900mm의 넓이와 0.5mm의 두께를 가진 鋼板으로서 太陽光線이 入射하는 側은 普通의 無光澤 黑色塗料를 칠하고 다른 한 쪽은 같은 두께의 鋼板으로 깊이 15mm, 間隔 50mm로 空氣流通方向에 平行하게 配列 溶接하여 부착한 것이다. 이 吸熱板에 平行하고 20mm의 間隔을 두고 다른 鋼板에 의하여 空氣流路를 形成하였다. 이 두 鋼板과 두께 3mm의 2張의 유리 덮개板, 알루미늄反射板, 그리고 polyethylene으로 된 斷熱材 등을 나무箱子안에 그림과 같이 收容하여 集熱器 機能을 갖도록 構成하였다. 2張의 유리板間隔은 12mm 아래쪽의 유리板과 吸熱板사이의 間隔은 20mm, 그리고 斷熱材두께는 50mm이다.

(2) 網型(mesh type)

網型 加熱器의 構造概要를 Fig. 2에 表示하고 있다. 핀型과 類似한 構造를 가지며 핀型에서의 熱板 대신에 黃銅製 100mesh의 金屬網을 挿入한 것이다.

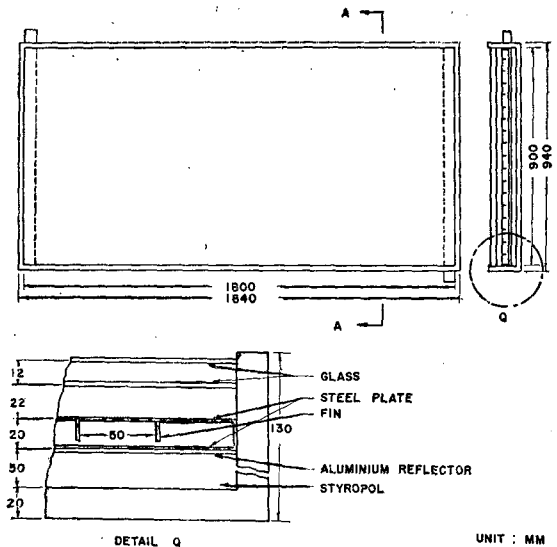


Fig. 1. Solar Air Heater: Finned Type

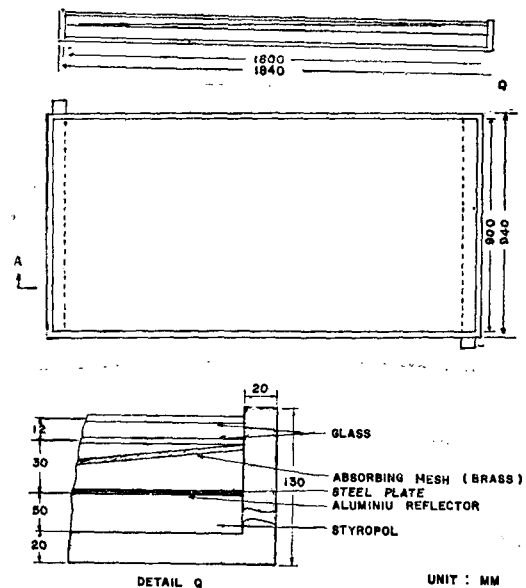


Fig. 2. Solar Air Heater: Mesh Type

아래쪽 유리덮개板과 흑색칠을 한 鋼板 사이의 間隔은 30mm이며 그 사이에 黑色으로 着色한 黃銅網을 그림과 같이 유리板과 鋼板 사이에 對角線狀으로 挿入하여 아래쪽 유리덮개板과 鋼板사이를 空氣를 流動시키면서 太陽熱을 傳達받아 加熱되도록 한 것이다. 金屬網을 넣은 것은 熱傳達面積을 增加시키어 傳熱效果

를 높이려 한 것이다.

2-2. 實驗裝置

空氣加熱器의 性能實驗裝置의 概要는 Fig. 3과 같다. 實驗用 空氣循環回路는 空氣加熱器, 自給槽, 送風機 및 流量計로 構成된다. 外氣 또는 自給槽로 부터 送風機에 의하여 吸入된 空氣는 流量計를 거쳐 空氣加熱器의 헤더(header)로 流入한다. 空氣加熱器의 좁은 幅의 兩側에 달린 헤더는 收斂形을 가지며 空氣加熱器內側에 多孔을 두어 空氣流量 分布가 均一이 되도록 設計하였다. 空氣加熱器內에서 加熱된 空氣는 그대로 使用되거나 또는 蓄熱을 위하여 自給槽로 들어가 自給을 加熱, 貯熱된다. 여기서 使用된 自給槽는 600mm×600mm×700mm의 容器內에 20-40mm 直徑 크기의 自給을 채우고 外部를 岩綿으로 熱遮斷하게 한 것이다.

送風機는 1/4PS 直流 電動機로 驅動되며 그 電壓變化에 의하여 流量을 調節하였다. 流量測定은 피토휘管(pitot tube)을 使用하였으며 差壓을 마노메타로 읽어 速度를 測定하여 이를 質量流量으로 換算하였다. 마노미터의 液體는 比重 0.80의 kerosene系를 使用하였다. 本實驗에서는 空氣加熱器의 空氣入, 出口, 吸熱板의 表面 및 外氣의 各部溫度를 20番線의 銅-콘스탄탄熱電對에 의하여 測定하였다. 吸熱板表面의 溫度는 熱電對 接合點을 中央部에 銀鑲接하여 測定되었다.

2-3. 實 驗

實驗은 12月中 거의 같은 外氣溫度下에서 各型마다

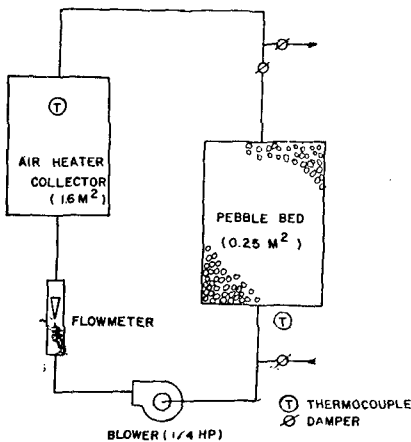


Fig. 3. Schematic Diagram of Experimental Apparatus for Air Heater.

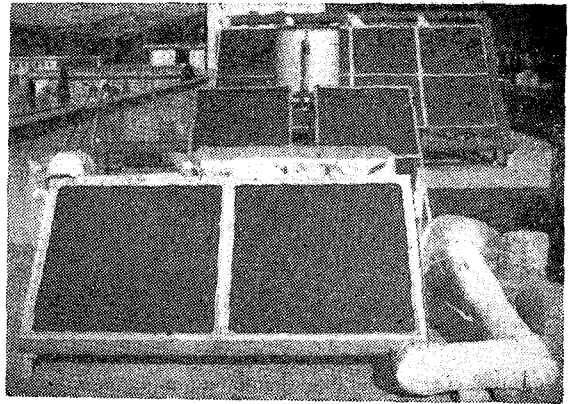


Fig. 4. Photographic View of Experimental Apparatus

여러가지 質量流量에 對하여 實施되었다. 實驗裝置는 建物の 屋上에 同一 高度에 모다 設置하였다.

먼저 實驗裝置의 各部 및 計測器의 機能을 點檢하였다. 그中 自給槽는 內部의 流量分布가 均一하지 않아 今番實驗에서 實驗點採擇을 隘하기로 하였다. 따라서 空氣流動은 再循環없이 開放循環하였다. 卽 外氣로부터 流入된 空氣는 加熱器에서 加熱된 後 다시 外氣로 放出하는 方式을 取하였다.

流量은 16.4, 18.7 및 22.2kg/m² hr로 變化하였으며 피토휘管에 連結된 마노미터의 差壓을 換算하여 얻었다. C-C型 熱電對로부터의 起電力은 Bristol Model 12PH 553 記錄計에 의하여 測定, 記錄하여 溫度로 換算하였다.

太陽熱空氣加熱器의 固定角度는 正南向으로 水平에 對하여 50도를 取하였다. 太陽의 日射量은 Eppley型 (EKO Model E74052) 日射計를 水平 및 50度 傾斜面에 對하여 測定하여 使用하였다.

實驗은 午前 10時부터 午後 4時까지에 걸쳐 한가지 質量流量에 對하여 各點의 溫度測定이 계속적으로 實施되었다. Fig. 4는 實驗裝置의 外觀을 사진으로 본 것이다.

3. 實驗結果 및 考察

3-1. 熱傳達 性能에 관한 式

太陽熱加熱器에서는 一般의 輻射, 對流 및 傳導 現象이 일어난다. 加熱器의 單位面積當 收集되는 有效 太陽에너지量은 太陽日射에너지量으로부터 損失을 減한 것이다. 太陽熱加熱器의 性能은 熱傳達能力을 말하며

이것 氣候條件, 設計條件 및 運轉條件等에 關係되는 여러가지 變數와의 函數關係가 있다.

一般的으로 太陽熱集熱裝置의 效率은 다음과 같이 定義하고 있다.

$$\eta = \frac{q_u}{AI} = \frac{GC_p(t_o - t_i)}{I} \quad (1)$$

여기의 q_u =集熱器의 有效集熱量(kcal/hr), A =集熱面積(m^2), G =空氣의 質量流速(kg/m^2hr), I =全日射量(kcal/ m^2hr), t_o , t_i =空氣의 出口 및 入口溫度($^{\circ}C$) C_p =空氣의 定壓比熱이다.

空氣가 吸熱板에 平行하게 流動하는 空氣加熱器에 對하여 Whillier⁷⁾는 다음과 같이 熱流速을 表示하고 있다

$$\frac{q_u}{A} = F'F'' [I \cdot f_c - U_L (t_i - t_a)] \quad (2)$$

또는

$$\frac{q_u}{A} = F' [I \cdot f_c - U_L (t_{av} - t_a)]; t_{av} = \frac{t_i + t_o}{2} \quad (3)$$

$$여기서 F' = U_o / U_L \quad (4)$$

$$F'' = \frac{1 - e^{-U_o I / GC_p}}{U_o / GC_p} \quad (5)$$

여기의 F' =集熱效率係數, F'' =流動係數, f_c =有效透過吸收積¹³⁾ U_L =集熱器熱損失係數 (kcal/ $m^2hr^{\circ}C$) U_o =全熱傳達係數(kcal/ $m^2hr^{\circ}C$), t_a =周圍溫度($^{\circ}C$).

위의 (1)式과 (2)式으로부터

$$t_o - t_a = \frac{f_c}{U_L} \cdot I \left[1 - \frac{e^{-U_o I / GC_p}}{G} \right] + (t_i - t_a) \frac{e^{-U_o I / GC_p}}{G} \quad (6)$$

$$또 \frac{t_o - t_a}{t_i - t_a} = e^{-U_o I / GC_p} \quad (7)$$

위의 關係式을 利用하여 熱傳達媒體의 熱的 物性値가 알려지면 實驗的으로 F' , F'' , U_L 를 얻으면 어느 條件下에서도 集熱效率 및 出口溫度的 計算이 可能한 것이다.

太陽熱空氣加熱器에 對한 熱傳達은 平行한 두 平板사이의 流體流動의 경우가 適用될 것이다. Kays¹⁴⁾는 두 平板에서 한쪽이 加熱되고 다른 하나가 熱絕緣되었을 때 空氣流動에 對하여 다음 式을 發表한 바 있다.

$$N_u = 0.0158 R_e^{0.8} \quad (8)$$

여기의 N_u 는 Nusselt 數이고 Re 는 Reynolds 數이다

3.2. 實驗結果와 그 考察

Fig.5는 핀型加熱器에 對한 實驗例로서 代表的 性能을 나타낸 것이다. 實驗條件은 平均外氣溫度가 $5^{\circ}C$ 이고 日間 總日射量은 $4200kcal/m^2$ 이다. 空氣는 once-through로 循環하며 流量은 $22.2kg/m^2hr$ 이다. 吸熱

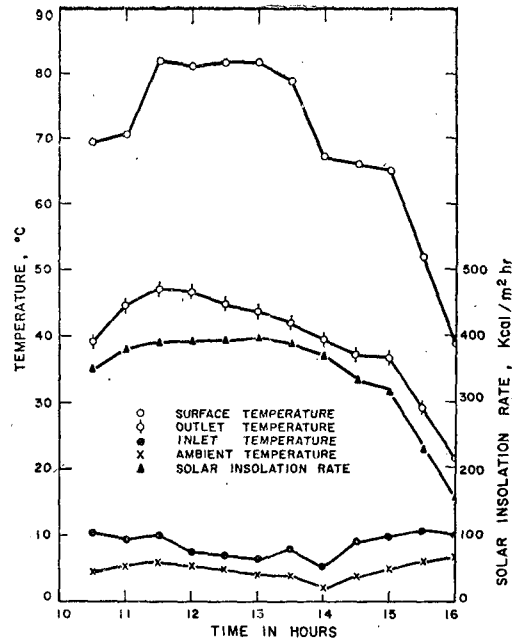


Fig. 5. Temperature Variation in Collector: Finned Type

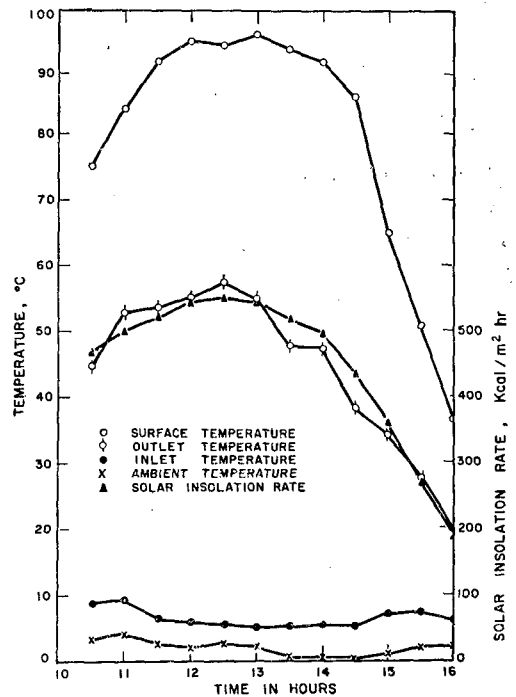


Fig. 6. Temperature Variation in Collector: Mesh Type

板의 表面溫度는 正午前後하여 約 82°C 까지 上昇하고 있으며 空氣出口溫度는 最高 48°C 에 達하고 있다. 吸熱板의 表面 및 空氣出口의 溫度는 午後 2時 頃以後 急히 降下되고 있다. Fig. 6은 網型加熱器의 代表的 實驗例로서 最高日射率이 550kcal/m²hr 의 맑은 日氣와 平均外氣溫度가 5°C 의 氣候條件을 나타내고 있다. 空氣流量은 핀型의 경우와 거의 同一條件이다. 吸熱板의 表面溫度는 正午부터 午後 1時 사이에 98°C 에 到達하고 있으며 空氣出口溫度는 正午前後하여 約 60°C 에 接近하고 있다. 空氣의 入口 및 出口溫度差는 핀型의 경우 最高 38°C 이고 網型의 경우는 最高 50°C 에 達하고 있다. 이와같이 once-through 의 경우 30~50°C 의 큰 溫度差를 얻을 수 있음은 液體使用時의 5~10°C 에 比하여 高溫을 얻는 可能性을 크게 하여 주고 있으며 또한 空氣加熱器의 하나의 長點이라 할 수 있다.

Fig. 7은 實驗期間中의 日間平均集熱器效率를 핀型과 網型에 對하여 表示한 것으로 핀型은 最高 54%, 網型은 最高 約 50%를 나타내고 있다. 大體의 40~54% 範圍에 들고 있으며 液體를 使用한 實驗¹⁵⁾에서의 20~50%에 比하여 높다. 空氣를 使用하는 경우 一般의 液體의 경우에 比하여 熱傳達係數는 低下된다. 集熱器效率의 增加는 熱傳達表面의 增加와 流量의 增加에 起

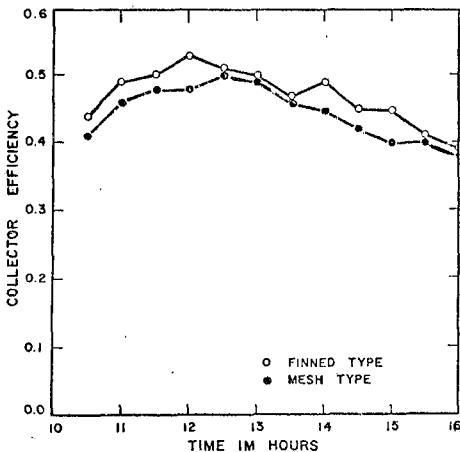


Fig. 7. Variation of Collector Efficiency

因한다고 본다.

Fig. 8은 핀型에 對한 同一外氣 및 日射率條件下에서의 空氣流量變化에 따른 集熱器效率의 變化를 日間中 얻은 것으로 大體로 本實驗에서 採擇한 流量範圍內에서

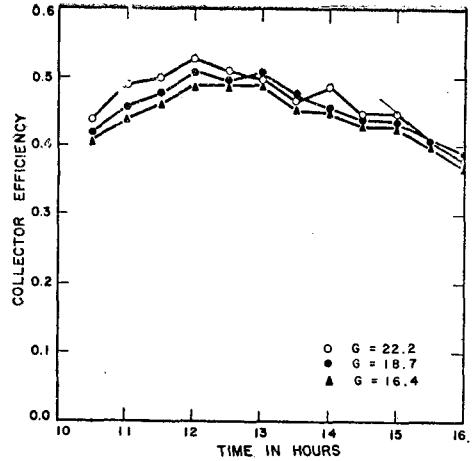


Fig. 8. Collector Efficiency as a function of Flowrate

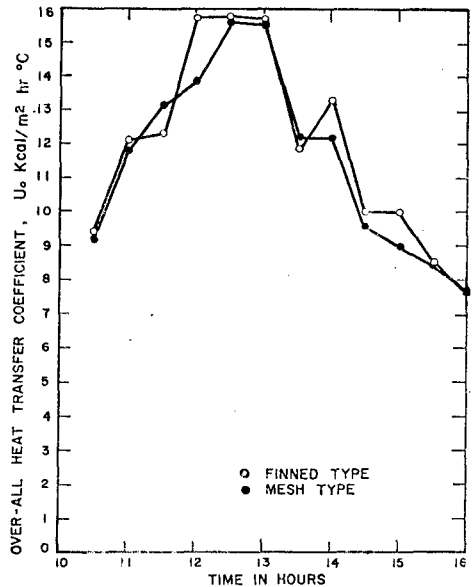


Fig. 9. Overall Heat Transfer Coefficient

는 큰 差異가 없음을 알게 된다. 流量의 增加에 따라 效率이 높아지고 있으며 16.4kg/m²hr 로 부터 22.2kg/m²hr 로 增加시키었을때 約 5~10%의 效率增加를 얻고 있다. 空氣의 送風動力增加에 比하여 效率增加는 顯著 하다고 볼 수 없다.

Fig. 9는 集熱器의 全熱傳達係數, Uo 를 計算하여 日間時間의 變化와 함께 핀型과 網型에 對하여 表示한 것

이다. 이 값은 大體로 $10 \sim 15 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr}^\circ \text{C}$ 의 範圍에 있으며 最高 輻射의 경우 $15.8 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr}^\circ \text{C}$ 로서 液體使用時의 값¹⁵⁾에 比較하여 1/10에 不過하다. 이것은 空氣使用時의 低熱傳達效果의 短點이기도 하다.

여기서 空氣加熱器가 두장의 平行板으로 構成된 것으로 假定하여 熱傳達係數를 推算하여 보기로 한다. 本實驗에서 使用한 輻射型이나 網型과는 詳細構造에 있어서 差異가 있으나 構造概要는 類似한 範圍에 있다고 볼 수도 있어 order of magnitude에 있어서 同一하게 다루어 볼 수도 있을 것이다. 平行板間의 輻射熱傳達係數는 다음 式으로부터 計算된다.

$$hr = \frac{4\sigma T^3}{(1/\epsilon_1) + (1/\epsilon_2) - 1}$$

여기서 板內 平均絕對溫度를 約 340°K , 板表面에서의 放射率 ϵ_1, ϵ_2 를 0.95로 假定하면 $hr \approx 7 \text{ kcal/m}^2 \text{ C}$ 를 얻는다. 板內 空氣流動에 의한 熱傳達係數는 流量이 $22.2 \text{ kg/m}^2 \text{ hr}$ 의 경우 $Re \approx 41000$ 이 되어 이를 Kays의 式에 代入하면

$$N_u = 0.0158(41)^{0.8} \times (10^3)^{0.8} = 77$$

$$h = 77 \times \frac{k}{De} = \frac{17 \times 0.029}{2 \times 0.02} = 53 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr}^\circ \text{C}$$

를 얻는다. 輻射熱傳達係數와 對流熱傳達係數를 觀察할 때 大略 本實驗에서 얻은 全熱傳達係數에 接近함을 認定하게 된다.

實驗條件에 의하여 空氣流量 및 各 溫度 t_o, t_i 및 t_s 가 주어지면 (7)式으로부터 全熱傳達係數 U_o 를 計算할 수 있으며 또한 파라미터 $U_o/C_p, U_o/GC_p$ 를 얻을 수 있다.

(1)式에 根據하여 集熱器效率 對 $(t_i - t_o)/I$ 의 曲線으로부터 $(F'F'')f_s$ 및 f_s/U_L 가 求하여지며 한편 유리의 吸收透過積 f_s 가 주어지면 $F'F''$ 및 U_L 를 얻을 수 있다. 또한 $F' = \frac{U_o}{U_L}$ 의 關係로부터 F' 가 求하여 진다.

다음은 輻射型과 網型의 太陽熱空氣加熱器에 對하여 $G = 22.2 \text{ kg/m}^2 \text{ hr}$ 와 平均實驗溫度條件을 주어 위의 各 파라미터를 求하면 Table 1과 같이 된다.

Fig. 10은 加熱出口溫度의 函數로 空氣使用의 경우의

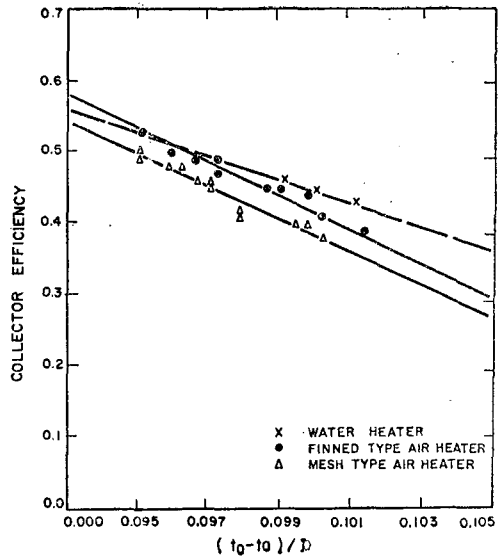


Fig. 10. Comparison of Collector Efficiency as a Function of Outlet Temperature

集熱器效率를 물 使用의 경우와 比較한 것이다. 空氣를 使用하는 경우라도 液體使用에 比較하여 別遜色이 없음을 알게 된다.

4. 結 論

輻射型과 網型의 2가지 太陽熱空氣加熱器의 性能實驗으로부터 다음의 結論을 얻는다.

(1) 空氣를 冷却材로 使用하면 開放循環이라도 한 集熱器에서 $30 \sim 50^\circ \text{C}$ 의 溫度上昇을 얻을 수 있다. 이것은 液體使用時의 $5 \sim 10^\circ \text{C}$ 上昇에 比較하여 顯著하게 높은 溫度上昇이다.

(2) 集熱器效率에 있어서도 液體使用의 경우에 比較하여 거의 同一한 값을 나타내고 있다.

(3) 集熱器效率에 對하여 輻射型이 網型에 比較하여 若干 높은 傾向을 보여 주고 있다.

Table 1. Performance Parameters for Solar Air Heaters

Type	Mass Flow Rate (Kg/m ² hr) G	U_o/C_p	U_o/GC_p	f_s/U_L	Overall Heat Loss Coefficient U_L	Collector Efficiency Factor F'	Heat Removal Efficiency Factor $F'F''$
Finned Type	22.2	49.3	2.22	0.061	12.29	0.96	0.77
Mesh Type	22.2	48.3	2.18	0.058	12.93	0.895	9.72

參 考 文 獻

- 1) G.O.G. Löf, Performance of Solar Energy Collectors of Overlapped Glass-Plate Type, Course-Symposium on Space Heating with Solar Energy, MIT, *Proc. Space Heating with Solar Energy*, pp. 72-86, 1950
- 2) J.C. Word, Long Term Performance of an Overlapped Glass Plate Solar-Air Heater, NSF/RANN Workshop on solar Collectors for Heating and Cooling of Building, pp. 87-91, 1974
- 3) G.O.G. Löf and T.D. Nevens, Heating of Air by Solar Energy, *Ohio Journal of Science*, Vol. 53, pp. 272-280, 1953
- 4) M.J. Shoemaker, Notes on a Solar Collector with Unique Air Permeable Media, *Solar Energy*, Vol. 5, No. 4, pp. 138-141, 1961
- 5) J.P. Chiou, Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of Metallic Foil Matrices using Radiation as the Heat Source and their Application to the Design of Solar Collectors, ph. D. Thesis, The Univ. Wisconsin, 1964
- 6) V. Bevill and H. Brandt, A Solar Energy Collector for Heating Air, *Solar Energy*, Vol. 12, No. 1, pp. 19-36, 1968.
- 7) A. Whillier, Performance of Black-Painted Solar Air Heaters of Conventional Design, *Solar Energy*, Vol. 8, pp. 31-37, 1964
- 8) C.L. Gupta and H.P. Garg, Performance Studies on Solar Air Heaters, *Solar Energy*, Vol. 11, No. 1, pp. 25-31, 1967
- 9) H. Buchberg and O. Lalude, Design of Honeycomb-porous Bed Solar Air Heaters, ISES Conf. Prpr. Pap No. 7-63, 1970
- 10) W.W.S. Charters, Some Aspects of Flow Duct Design for Solar-Air Heater Applications, *Solar Energy*, Vol. 13, No. 2, pp. 283-288, 1971
- 11) S. Satcunanathan and S. Deonarine, A Two-Pass Solar Air Heater, *Solar Energy*, Vol. 15, No. 1, pp. 41-49, 1973
- 12) J.H. Keyes, Project Sungazer, A Vertical-Vaned Flat Plate Collector with Forced-Air Heat Transfer, NSF/RANN Workshop on Solar Collectors for Heating and Cooling of Buildings pp. 313, 1974
- 13) A. Whillier, Low Temperature Engineering Application of Solar Energy, Design Factors Influencing Solar Collector Performance, p. 28, *ASHRAE*, New York, 1967
- 14) W.M. Kays, Convective Heat and Mass Transfer, New York, McGraw-Hill, 1966
- 15) J.H. Cha, Experimental Study on Solar Space Heating, *J. of KSME*, Vol. 15, No. 3, pp. 293-302, 1975
- 16) J.H. Cha, Performance of Solar Collectors, *J. of KSME*, Vol. 14, No. 3, pp. 249-257, 1974