

# 空氣式 平行板型 太陽集熱器 性能實驗

車 宗 熙\* · 宋 熙 烈\*

## Performance Tests on Parallel Plate Type Solar Air Heater

Jong Hee Cha and Hi Yul Song

### Abstract

This study was concerned with the performance of solar air heater using parallel channels. Heat transmission model was developed and fabricated to increase the economic feasibility for solar heating system by using the cheap zinc plate.

The performance was discussed as a function of mass flow rate, and plate, inlet and outlet temperatures. Experimental results show that heat transmission model is sufficient for the analysis of thermal characteristics of air heater and collection efficiency is better than the domestic water heater, as the range 32-49 percent.

Collection efficiency in the 2 layers of glass cover is better than that in 1 layer, so it is considered better to use the 2 layers of glass cover during the cold winter season in Korea.

### 1. 序 論

太陽熱暖房에 있어 傳熱媒體로 空氣를 使用하면 冬季 期間中 凍結의 憂慮가 없고, 부식이 減少되는 利點이 있다. 太陽熱暖房裝置의 集熱器役割로 設計製作된 太陽熱 空氣加熱器는 Löf<sup>1)</sup>에 依해 最初로 製作實驗되었는데 그는 겹쳐지게 配列한 黑色도장의 유리판을 使用한 加熱器에 對해 實驗한 바 있으며, Close<sup>2)</sup>는 Fin型 加熱器에 對해 研究報告하였다. Buelow<sup>3)</sup>는 주름진 板을 利用한 空氣加熱器에 對해 詳細히 그 實驗結果를 記述하였으며, Bucherberg<sup>4)</sup>, Laude는 려니킵 모양의 多孔을 利用한 集熱器에 對해 研究檢討한 바 있다. Charters<sup>5)</sup>는 검은 철을 한 單一平板을 吸熱板으로 한 加熱器를 試作하여 技術 및 經濟性評價를 하였다. Gupta<sup>6)</sup>는 金屬網의 加熱器에 對해 그 性能實驗을 하였다. 著자들은 앞서 Fin型 및 金屬網型 集熱器의 性能實驗을 한 바 있으나<sup>7)</sup> 이들은 性能이 比較的 良好한 反面製作의 不便이 있다. 本 研究에서는 集熱器의 製作上의

簡便과 效率 및 經濟性을 向上시키기 爲하여 합석판을 利用한 平行板空氣式 太陽熱加熱器의 熱傳達모델을 設計하여 그 集熱性能을 實驗적으로 考察하였다.

### 2. 熱傳達性能式

水平面直達日射量 및 擴散日射量을  $I_b, I_d$ , 水平面直達日射量에 對한 傾斜面日射量의 比를  $R_d$ , 地表面反射率을  $\rho_d$  라 하면 傾斜面에 入射되는 太陽輻射熱,  $I_s$ 는 水平面輻射熱量,  $I_0$ 로부터, 다음과 같이<sup>8), 9)</sup> 計算된다.

$$I_s = I_b R_d + I_d (1 + \cos S) / 2 + \rho (I_b + I_d) (1 - \cos S) / 2 \quad (1)$$

太陽輻射熱이 集熱器에 吸收될 때, 透明덮개판의 透過吸收積( $\tau\alpha$ )를 評價하는게 重要한데, 이는 다음 式으로 나타난다.

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_d} \quad (2)$$

集熱器로부터 對流 및 輻射로 因한 熱損失係數,  $U_L$ 을 나타내는 式에는 Hottel<sup>10)</sup>式이 있는데 Klein<sup>11)</sup>은 이 基本式을 修正하여 다음과 같은 式을 誘導하였다. 이 式은 集熱板의 溫度가 40~130°C이고, 그 許容公差는

\*正會員, 韓國原子力研究所

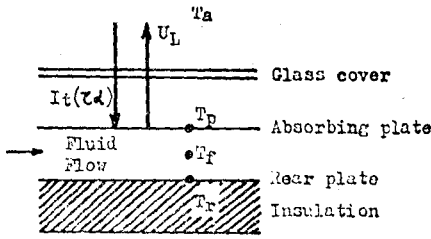


Fig. 1. Heat Transmission Model of Solar Air Heater

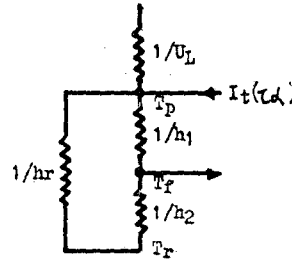


Fig. 2. Circuit Diagram of Thermal Resistance

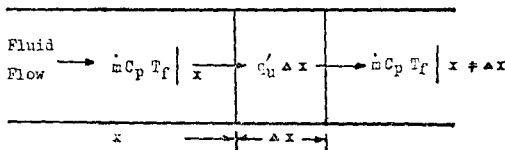


Fig. 3. Energy Balance on Fluid Element

$\pm 0.2 W/m^2 \cdot C$ 이다.

$$U_L = \left( \frac{N}{(344/T_p) [(T_p - T_a)/(N+f)]^{0.31} + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[E_p + 0.0425N(1 - \epsilon_p)]^{-1} + [(2N+f-1)/\epsilon_g] - N} \quad (3)$$

여기서  $N$ : 유리덮개판의 수

$f$ :  $(1.0 - 0.04h_w + 5.0 \times 10^{-4}h_w^2)(1 + 0.058N)$

$\epsilon_g$ : 유리덮개板的放射率

$\epsilon_p$ : 集熱板的放射率

$T_a$ : 外氣溫度, °K

$T_p$ : 集熱板溫度, °K

$h_w$ :  $5.7 + 3.8V$

이다. Fig. 1과 2는 集熱器의 熱傳達모델과 熱저항회로도를 나타내고 있다. 集熱板 뒷면으로는 熱損失을 무시하고, 集熱板, 뒷판 및 流體의 에너지 均衡을 取하면, 다음 式으로 나타낼 수 있다.

○ 集熱板:  $I_t(\tau\alpha) - U_L(T_p - T_a)$

$$-h_r(T_p - T_r) - h_1(T_p - T_f) = 0 \quad (4)$$

○ 뒷판:  $h_r(T_p - T_r) - h_2(T_r - T_f) = 0 \quad (5)$

○ 流體:  $h_1(T_p - T_f) - h_2(T_f - T_r) - q_u = 0 \quad (6)$

式(4), (5) 및 (6)에서  $q_u$ 를 각각  $(T_p, T_a)$  및  $(h_r, h_1, h_2, T_f, T_a)$ 의 함수로 表示하면 다음 式으로 나타낸다.

$$q_u = I_t(\tau\alpha) - U_L(T_p - T_a) \quad (7)$$

$$q_u = F' [I_t(\tau\alpha) - U_L(T_f - T_a)] \quad (8)$$

$$\left( F' = \frac{h_r h_1 + h_r h_2 + h_1 h_2}{h_r U_L + h_2 U_L + h_r h_1 + h_r h_2 + h_1 h_2} \right)$$

流體는 集熱器에  $T_f$ 로 流入되어, 集熱器內에서 加染되어  $T_0$ 로 나온다. Fig. 3에서와 같이 두 平行板 사이를 지나는 流體의 溫度의 에너지 均衡을 取하면 다음과 같다.

$$\dot{m} C_p T_f|_{x+\Delta x} - \dot{m} C_p T_f|_x = q_u' \cdot \Delta x \quad (9)$$

(9)式을  $\Delta x$ 로 나누고,  $\Delta x \rightarrow 0$ 일 때

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{dx} = q_u' \quad (10)$$

(8)式을 (10)式에 代入하여 積分解를 求하면

$$F' B [I_t(\tau\alpha) + U_L T_a - U_L T_f] = \text{Exp}\left(-\frac{F' B U_L x}{\dot{m} C_p}\right) \quad (11)$$

여기서 境界條件으로,  $x=0, T_f=T_i$ 를 取하면

$$\frac{T_f - T_a - I_t(\tau\alpha)/U_L}{T_i - T_a - I_t(\tau\alpha)/U_L} = \text{Exp}\left(-\frac{F' B U_L x}{\dot{m} C_p}\right) \quad (12)$$

이 되고 上式에서 境界條件으로서,  $x=L, T_f=T_0$ 를 取하면

$$T_0 = T_i + [I_t(\tau\alpha)/U_L - (T_i - T_a)] \left[ 1 - \text{Exp}\left(-\frac{U_0 A_c}{\dot{m} C_p}\right) \right] \quad (13)$$

이 된다. 有效吸收熱量  $q_u$ 는

$$q_u = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{A_c} = \frac{\dot{m} C_p}{A_c} (T_0 - T_i) \quad (14)$$

로서 (13)과 (14)式에서

$$q_u = F' [I_t(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] \quad (15)$$

$$\left( F' = F' F'' \right. \\ \left. F'' = \frac{\dot{m} C_p}{U_0 A_c} \left[ 1 - \text{Exp}\left(-\frac{U_0 A_c}{\dot{m} C_p}\right) \right] \right)$$

집열기의 性能을 評價하기 爲해선 上記 (7), (8) 및 (15)式을 使用하여 集熱器의 性能파라미터를 實驗의 方法으로 決定할 수 있다. 即 集熱效率을 溫度差-熱流束比에 對해 plotting하여 그 기울기와 切片에서 유리덮개판의 투과 흡수係, 前열손실계수, 集열판효율계수, 열저게계수가 決定된다.

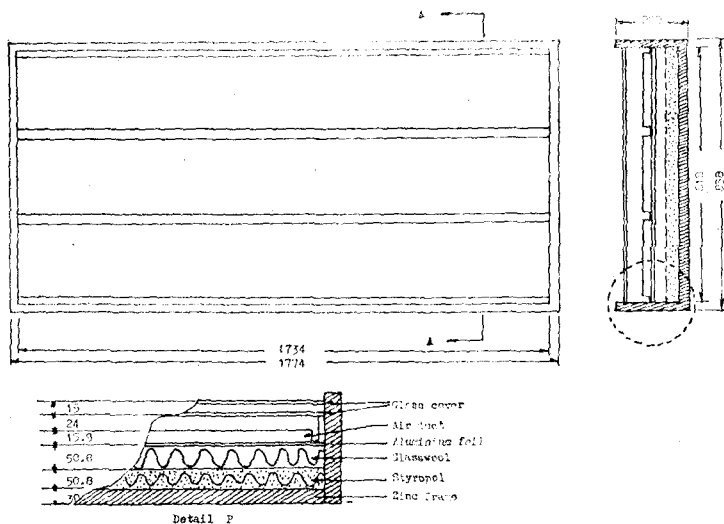


Fig. 4. Diagram of Solar Air Heater

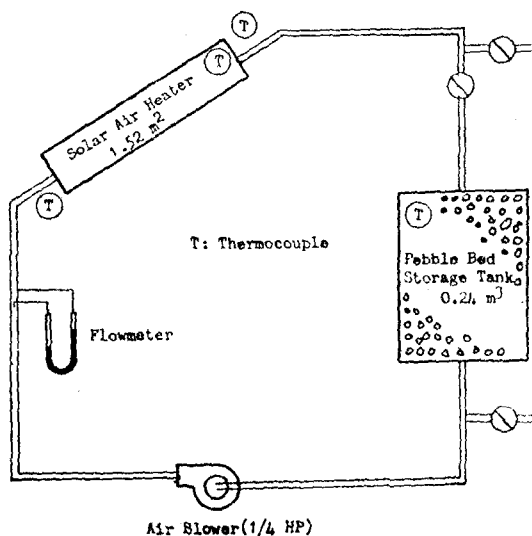


Fig. 5. Schematic Diagram of Experimental Equipment System for Solar Air Heater

### 3. 實驗裝置 및 實驗方法

太陽熱空氣加熱器의 實驗裝置는 集熱器, 蓄熱槽, 送風機 및 流量計로 構成된다.

本實驗에 使用한 空氣加熱器는 Fig. 4에 表示한 바와 같이 두개의 합석판을 平行으로 하여 그 사이로 空氣가 通過하도록 되어 있고, 強度를 주기 위하여 集熱板을 三等分으로 溶接하였으며, 太陽熱의 吸收性을 良好하게 하기 위하여 양쪽면을 無光澤의 아크릴계 有機

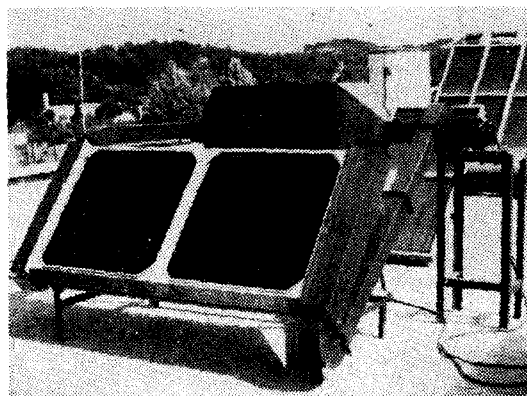


Fig. 6. Photographic view of experimental apparatus

塗料로 칠하였다. 集熱板 뒷면은 熱損失을 防止하기 위하여 그라스울(50.8 mm)과 스티로폴(50.8 mm)로 絶緣시켰고, 가장자리도 絶緣하여 합석판프레임에 이를 넣었다.

우리는 普通 창유리 2枚를 使用하였고, 集熱板에서 24 mm 위에 유리 1枚를 이 유리판에서 15 mm 위에 또한장을 設置하였다. 集熱板은 그 두께가 0.3 mm 이고, 두 平行板의 間격은 15.9 mm이며, 集熱器의 面積은 1.52 m²이다. 자갈조는 크기가 600×600×700 mm 이고, 容量은 0.24 m³의 4각조로 外部를 101.6 mm의 스티로폴로 단열시켰으며, 자갈의 크기는 20~40 mm 이다. Fig. 5와 Fig. 6에 空氣加熱器의 實驗裝置圖 및 外觀을 표시하였다. 자갈조에서 逆風機로 吸入된 空氣는 流量計를 지나 加熱器의 헤더로 吸入加熱되어, 이 加熱

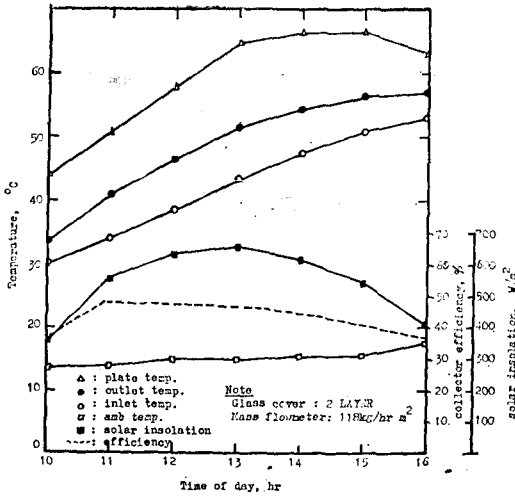


Fig. 7. Temp. Variation of Collector in Seoul Oct. 25, 1976

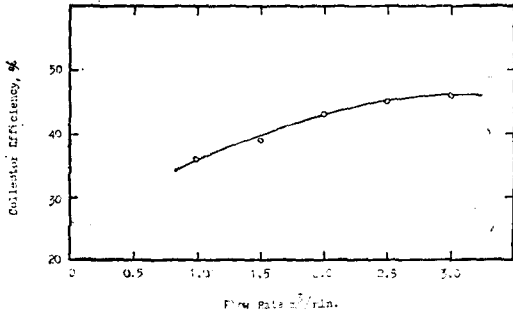


Fig. 8. Effect of Flow Rate

된 空氣는 자갈로 流入되어 자갈을 加熱시켜 蓄熱된다. 送風機는 1/4馬力 直流電動機로 驅動되고, 整流器의 電壓變化에 依해 流量을 調節하였다. 空氣의 流量은 Pitot tube를 使用하여 그 壓力差를 마노메타의 눈금으로 읽어 이를 質量流量으로 換算測定하였으며, 마노메타의 封液는 比重이 0.79인 Kerosene을 使用하였다. 集熱器는 서울地方에서 最適傾斜角인 50°로 正南向으로 設置하였고, 太陽幅射熱을 測定하기 위해 日射計를 集熱器와 同一하게 設置하였다. 자갈 355 kg을 자갈조에 넣은 후 送風機를稼動하여 空氣다트에서 空氣가 새는 가를 점검하고, 空氣流量을 調節한다. 또한 集熱器와 日射計의 유리면을 깨끗히 닦고, 熱電帶와 記錄計의 機能을 점검한 후, 實驗에 들어간다. 자갈조를 단열하고 재순환시켜 溫度上昇을 기하면서 每時間 集熱器의 入口, 出口, 表面 및 外氣溫度變化를 測定한다. 流量範圍은

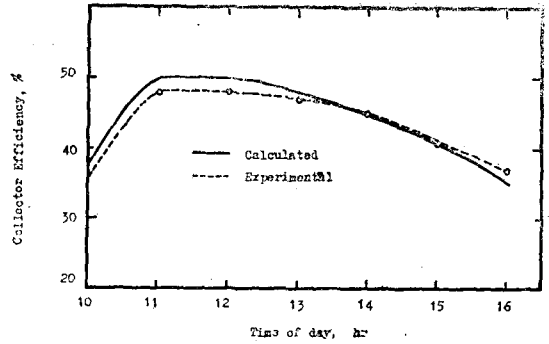


Fig. 9. Comparison between Experimental and Calculated Value

1~3 m<sup>3</sup>/min로 變化시켰다. 測定點의 溫度는 C-C형 熱電帶에 依한 起電力을 自動記錄計로 測定하였으며, 日射量은 Eppley형 日射計로 測定하였다. 實驗은 集熱이 可能한 午前 10시부터 午後 4시까지 實施하였고, 測定 間격은 1시간이다.

#### 4. 實驗結果 및 考察

本 實驗은 主로 10月中 空氣式太陽熱加熱器의 溫度變化 및 集熱效率에 對해 考察하여 그 集熱性能을 評價하였다. 加熱器의 代表的인 集熱性能例를 Fig. 7에 表示하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 日射量은 最高 12時의 600 W/m<sup>2</sup>이고, 集熱판의 溫度는 最高 67°C까지 上昇하고 있다. 平均集熱率은 252.9 W/m<sup>2</sup>이며, 集熱效率은 最高 50%에서 最下 37%이다. 外氣溫度는 13~18°C 附近이었다. 유리덮개판은 2장이고, 質量流量은 118 kg/hr·m<sup>2</sup>이다. 여기서 자갈조의 溫度上昇은 23.2°C이다. 同一日射量, 外氣溫度 및 流入溫度下에서 空氣流量에 따른 集熱效率의 變化를 調査하여 Fig. 8에 表示하였는 바 流量의 增加에 따라 集熱效率도 增加하고 있다.

Fig. 9와 Table 1은 同實驗期間中の 日中時間에 따른 集熱效率을 實測値와 計算式에 依한 값과의 比較를 表示한 것으로, 比較的 잘 接近하고 있음을 보여 주고 있어, 本 實驗에서 設計한 集熱器의 熱傳達모델로 熱特性을 解析하기에 充分하다고 思料된다. 여기서 計算值式(13)에서  $T_i$ 와  $T_0$ 가 주어지면,  $T_0$ 를 理論적으로 計算하여, (14)式에 依해 集熱效率을 求할 수 있다. Fig 10~12는 作動條件 即 溫度差-熱流束比가 集熱效率에 미치는 影響을 나타낸 것으로, 集熱器의 集熱板, 流, 空氣溫度, 平均空氣溫度의 함수로서 集熱效率을 보

Table 1. Comparison of Collector Efficiency Calculated with Experimental

Time	Amb Temp, °C	Inlet temp, °C	Outlet temp, °C	Energy absorbed by Collector W/m <sup>2</sup>	Collector Calculated	Efficiency, % Experimental
10	13.3	30	33.2	124	37	36
11	13.9	34	40.8	262	50	48
12	15	38.6	46.4	301	50	48
13	15	43.3	51.2	308	48	47
14	15.6	47.5	54.6	275	45	45
15	15.6	50.9	56.6	223	41	41
16	17.2	53.2	57.1	151	34	37

Table 2. Comparison of Performance Parameter with Domestic Water Heater

Type	Mass Flowrate G, kg/min. m <sup>2</sup>	$(\tau\alpha)/U_L$	Transmittance Absorption Product, $(\tau\alpha)$	Overall Heat loss Coeff, $U_L$	Overall Heat Transf. Coeff, $U_0$	Collector Effi. Factor, $F'$	Heat Removal Effi. Factor, $F_r$
Air	1.97	0.197	0.75	3.81	3.24	0.848	0.814
Water	1.45	0.172	0.75	4.36	3.97	0.910	0.70

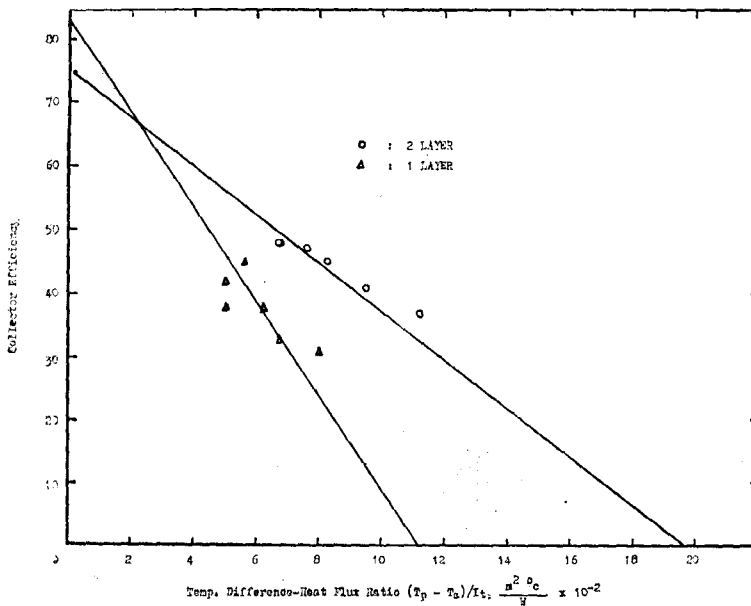


Fig. 10. Collector Efficiency as a Function of Plate Temperature

유리덮개판의 1장 및 2장의 경우를 比較하고 있는데, 2장의 경우가 효율이 현저히 높은 사실을 알 수가 있다.

Table 2는 空氣式太陽熱加熱器의 性能파라메타를 求하여 이를 液體式集熱器(國內產 Roll Bond 型)과 比較한 것으로, 效率面에서 볼 때 별 遜색이 없다.

### 5. 結 論

本 實驗에서 합석판을 使用한 空氣式太陽熱加熱器의 集熱性能을 實驗한 結果 다음의 結論을 얻었다.

(1) 本 研究에서 設計한 平行板空氣熱器의 熱傳達도

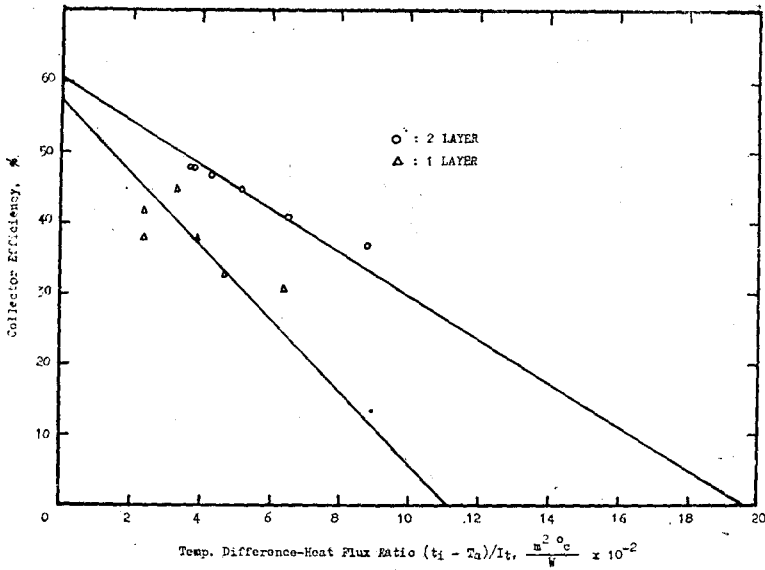


Fig. 11. Collector Efficiency as a Function of Inlet Temperature

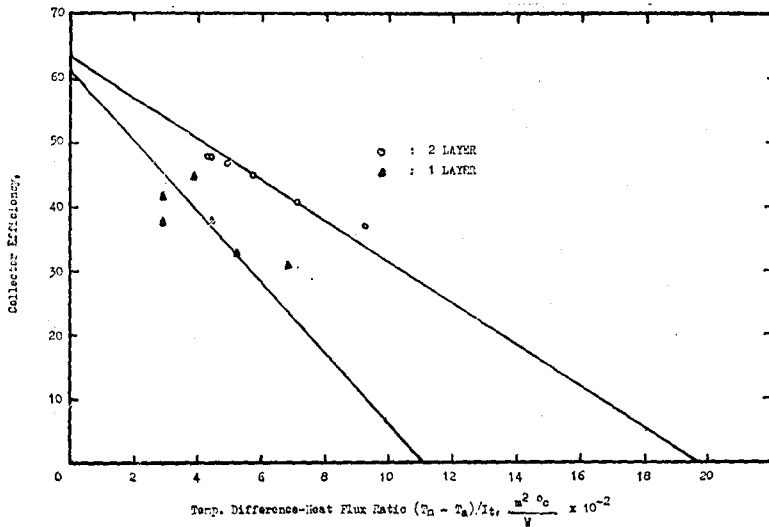


Fig. 12. Collector Efficiency as a Function of Mean Air Temperature

델은 熱特性을 解析하기에 充分하다.

(2) 集熱効率は 30~50%로, 液體式集熱器에 比해 손  
색이 없다.

(3) 實用流速範圍에서 50°C 以上の 温風을 얻을 수  
있다.

(4) 유리덮개판을 2장 使用時는 1장 使用時에 比해 集  
熱性能이 현저히 良好하므로, 한국과 같이 추운 겨울에  
는 유리덮개판을 2장 使用함이 바람직하다.

(5) 本 實驗에서 設計한 二 平行板空氣熱器는 製作이  
簡便하고 比較的 저렴하다.

記 號

$A_c$ : Collector Area,  $m^2$

$B$ : Width of Collector,  $m$

$C_p$ : Specific heat,  $W-hr/kg^\circ C$

$F'$ : Collector Efficiency Factor

$\dot{F}''$ : Flow Factor  
 $F_r$ : Heat-Removal Efficiency Factor  
 $h_1$ : Convective Heat Transfer Coeff. between Absorbing plate and Flowing Air Stream,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$   
 $h_2$ : Convective Heat Transfer Coeff. between Rear Plate and Air Stream,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$   
 $h_r$ : Radiation Coefficient,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$   
 $I_t$ : Solar Insolation Rate on Collector,  $W/m^2$   
 $L$ : Lengths of Air Heaters in Direction of Air Flow, m  
 $\dot{m}$ : Mass Flowrate, kg/hr  
 $N$ : Number of Glass  
 $q_u$ : Useful Heat Collected Per Unit Area,  $W/m^2$   
 $T_a$ : Ambient Temp,  $^\circ C$   
 $T_i$ : Collector Inlet Temp,  $^\circ C$   
 $T_o$ : Collector Outlet Temp,  $^\circ C$   
 $T_p$ : Collector Plate Temp,  $^\circ C$   
 $U_L$ : Overall Heat Transfer Coeff, Air Inside Heater to Ambient,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$   
 $\alpha$ : Absorption of Glass Cover  
 $\epsilon$ : Emissivity  
 $\eta$ : Collector Efficiency, %  
 $\tau$ : Transmission of Glass Cover  
 $(\tau\alpha)$ : Effective Transmissivity-Absorptivity Product of Glass Cover  
 $\sigma$ : Stephan Boltzmann Constant

- (2) D.J. Close, Solar Air Heaters for Low and Moderate Temperature Applications, Solar Energy, Vol. 7, No. 2, (1953)
- (3) F.H. Buelow, Corrugated Solar Heat Collectors for Crop. Drying, Sun at Work, 4th Quarter p. 8, (1962)
- (4) H. Buchberg and O. Laude, Design of Honeycomb Porous Bed Solar Air Heaters, ISES Conf. Pr. Pap. No. 7-63, (1970)
- (5) 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)
- (6) C.L. Gupta and Garg., "Performance Studies on Solar Air Heaters", Solar Energy 11, (1967)
- (7) 차종희, 송희열, 태양열 공기가열기의 성능 실험, 공기조화 냉동공학, 제 5권 제 2호, pp. 91-97, (1976)
- (8) Duffie, J.A., and Beckmann, W.A., "Solar Energy Thermal Processes, Wiley, New York, (1974)
- (9) Liu, Y.H., and Jordan, R.C., "The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar Energy Collectors", Solar Energy, Vol. 7, No. 2, p. 53, (1963)
- (10) Hottel, H.C., and Woertz, B.B., "Performance of Flat-Plate Heat Collectors", Trans. ASME, 64, 91, (1942)
- (11) Klein, S.A., "The Effects of Thermal Capacitances Upon the Performance of Flat-Plate Solar Collectors", M.S. Thesis, Univ., of Wisconsin, (1973)

### 參 考 文 獻

- (1) G.O.G. Löff, Solar Energy Collectors of Overlapped Glass-Plate Type, MIT Proc Space Heating with Solar Energy, pp. 72, 86 (1950)