

# 受動形 太陽熱 教室 暖房裝置에 관한 研究

朴 喜 鎔\* · 丁 海 冠\*\*

A Study on Passive Solar Classroom Heating System

Hi Yong Pak\* and Hai Kwan Jung\*\*

## A B S T R A C T

The passive type solar energy heating system for the classroom was investigated. A classroom in a primary school located at Gangnam-ku, Seoul was taken as a model classroom and the heat balance equation was established. The temperature in the classroom and solarium were calculated from the heat balance.

At clear days, the temperature in the classroom and solarium were measured and compared with the calculated values.

The calculated and measured values for the temperature agreed with, in general, in the discrepancy of 20% range. It was found that the smaller size of solarium could provide the increasing of energy efficiency for the classroom temperature.

\* 正會員, 漢陽大學校 工科大學

\*\* 韓國職業訓練管理公團

記 號 說 明

- A : Area
- C : Specific heat
- g : Gravitational acceleration
- Gr : Grashof number
- Gr\* : Modified Grashof number
- h : Average heat transfer coefficient
- k : Thermal conductivity
- L : Length of heated plate
- $\dot{m}$  : Mass flow rate
- Nu : Average Nusselt number
- p : Pressure
- Pr : Prandtl number
- Q : Heat capacity
- T : Temperature
- $\Delta T$  : Temperature difference
- R : Gas constant
- U : Overall heat transfer coefficient
- v : Velocity
- V : Volume
- z : Altitude
- $\alpha$  : Solar elevation angle
- $\alpha$  : Absorptivity
- $\beta$  : Surface azimuth angle
- $\gamma$  : Incidence angle
- $\rho$  : Density of air
- $\tau$  : Transmissivity
- $\sigma$  : Stefan-Boltzmann constant
- Subscript
  - c : Cold air
  - d : Corridor
  - DN : Horizontal surface
  - DV : Vertical Surface
  - h : Hot air
  - p : Thermal storage plate
  - r : Class room

- s : Solarium
- $\infty$  : Open air condition

1. 緒 論

太陽熱 暖房裝置를 크게 分類하면 受動形(自然形), 能動形(또는 設備形), 및 併形(또는 混合形)으로 分類할 수 있는데 受動形은 消極的 利用方法으로 集熱, 蓄熱, 給熱 機能을 機械裝置없이 建物 自體의 構造에 依하는 단순한 太陽熱 暖房方式으로 自然對流 依한 空氣循環으로 室內暖房을 하고 斷熱材 1 用으로 暖房效果를 極大化할 수 있다.

受動形은 初期設備投資가 적고 建築이 簡單하며 可動機械部分이 전혀 없거나 적어서 維持 用이 거의 없고 室內溫度變化를 減少시켜 熱으로 安樂感을 주지만 利用熱容量 및 動作時 間이 느리고 窓門周圍 等に 斷熱裝置가 必要하 夏節期에 室內過熱現象을 調節하여야하고 대 히 複雜한 熱的 設計 및 配線修理나 改造가 어 워 融通性이 없는 短點이 있다. 受動形 暖房 裝置는 氣候에 對應하는 建築技術에 깊은 뿌리 갖고 있으며, Balcomb<sup>(1)</sup>은 熱이 自然의 形 로 흐르는것을 受動形 暖房裝置라 하였으나 에너지의 循環이 自然的으로 이루어지고 시스 中の 어느 部分이 主된 室內空間과 접촉하고 는 形을 受動形 暖房裝置라 定義할 수 있다. 受動形 暖房裝置는 防音效果가 크고 거의 永 的이며, 특히 晝間에만 利用하는 學校, 事務 等の 公共建物에 適合하다. 受動形 暖房方式

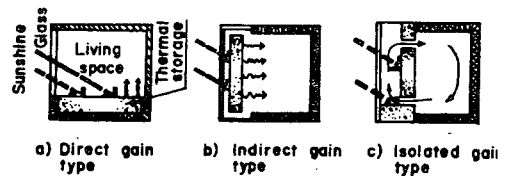


Fig. 1. Principle of passive Solar heating system

直接獲得形<sup>(2)</sup>, 間接獲得形<sup>(3)</sup> 및 溫室獲得<sup>(4)</sup>이 있고 이들의 簡略한 原理는 Fig. 1 과 같다.

본 研究에서는 政府의 에너지節約施策의 一環으로 太陽熱을 學校暖房에 示範的으로 利用한 京市內 江南區 某國民學校 教室의 受動形 暖房 시스템을 理論的으로 解析하여 시간에 따른 室內溫度를 計算하고 이 값을 測定値와 比較하였으며 溫室의 크기를 調節하므로써 受動形 暖房裝置의 熱效率를 改善할 수 있는가를 檢討하였다.

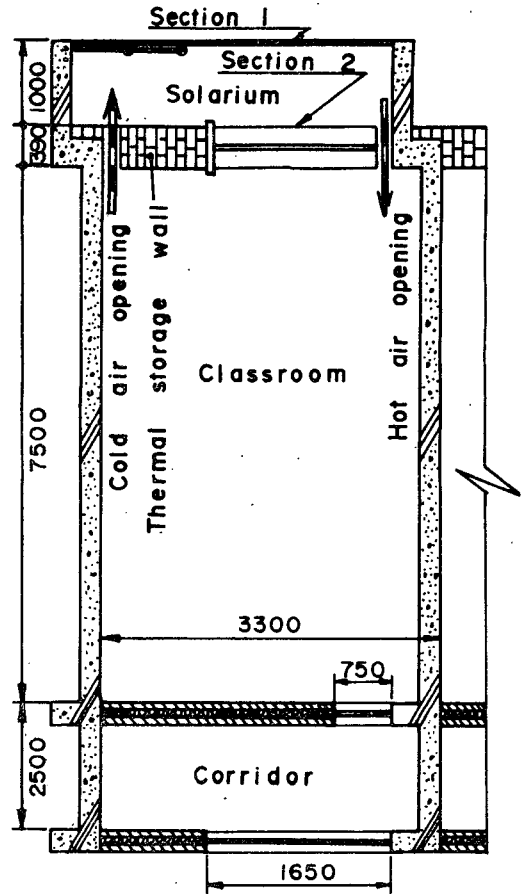
### 理 論

本 研究에서 研究對象으로 택한 國民學校는 層 建物이고 校長室, 教務室, 宿直室 等 夜間도 利用하는 곳은 能動形 太陽熱 暖房裝置를 設하였고, 나머지 教室들은 受動形으로 施設되었다. 建物은 北位 37°36' 東經 127°02'로 立角은 正南에서 東쪽으로 11° 方向으로 되 있다.

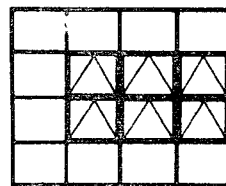
受動形으로 暖房裝置가 된 教室中 中間層(3)의 한 가운데에 位置한 教室을 選擇하므로 教室의 바닥과 天井 및 隣接한 教室間의 熱達은 無視할 수 있었다. 이 教室의 側面圖와 面圖는 Fig. 2와 같다.

實際 教室의 細部의인 構造와 值數를 모두 考하여 熱的 平衡式을 얻어서 太陽熱로 인한 室의 溫度와 教室의 溫度를 精確히 計算하는 은 너무나 艱難한 일이고, 또한 本 研究의 主的은 溫室의 크기를 調節하여 受動形 暖房裝置의 熱效率를 改善할 수 있는가를 檢討하는 일기 때문에 熱的 平衡式을 얻기 위하여 다음과 같은 假定을 하였다.

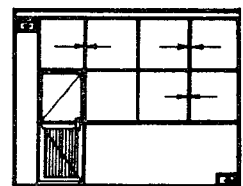
- 1) 教室의 天井壁과 바닥壁을 통한 熱傳達은 無하다.
- 2) 溫室의 前面 유리窓을 통하여 들어온 太陽熱의 一部分은 蓄熱壁과 溫室內 칸막이壁을 加熱하고 나머지 熱은 溫室內의 空氣를 均一加熱한다.
- 3) 高溫開口部를 통하여 教室로 들어온 熱은 教室內의 空氣를 均一하게 加熱시키고 나머지



a) Side view of classroom



b) Front view of section 1



c) Front view of section 2

Fig. 2. Front and side view of sample classroom

陽熱의 一部分은 蓄熱壁과 溫室內 칸막이壁을 加熱하고 나머지 熱은 溫室內의 空氣를 均一加熱한다.

(3) 高溫開口部를 통하여 教室로 들어온 熱은 教室內의 空氣를 均一하게 加熱시키고 나머지

熱은 열 教室 사이의 壁과 冊床, 器物 등을 加熱하며 복도의와 壁面을 通하여 對流로 損失된다.

(4) 溫室 및 教室內的 空氣, 壁, 器物 등을 加熱할 때 이들의 溫度는 均一하게 增減한다.

(5) 하루중 太陽熱의 強度는 時間의 函數이기 때문에 熱的 解析을 위하여서는 無限個數의 時間增分을 만들어 數值的 計算을 修行하여야 하나 本 研究에서는 30分 내지 1時間의 時間增分을 하여 計算한다.

以上の 假定을 바탕으로 하여 熱的 模型을 Fig. 3에 나타내었다.

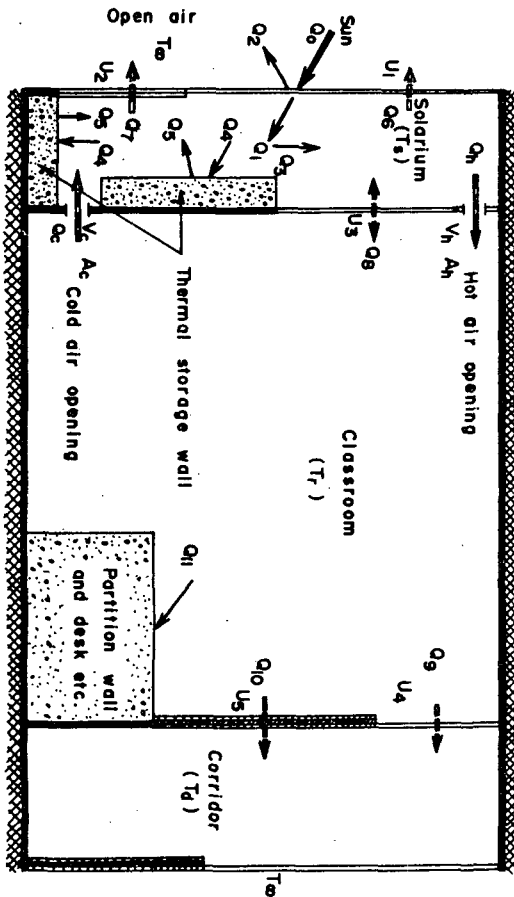


Fig. 3. Heating model of passive type

이 研究는 1982年 3月부터 시작하였으나 教室 溫度의 測定은 1982年 10月에 이루어졌기

때문에 日射量의 데이터는 서울地方의 10月 日射量을 적용하였다. 直達日射와 天空日射를 考한 서울地方의 10月中 平均 水平面 日射量 Fig. 4에 나타내었다.<sup>(5)</sup>

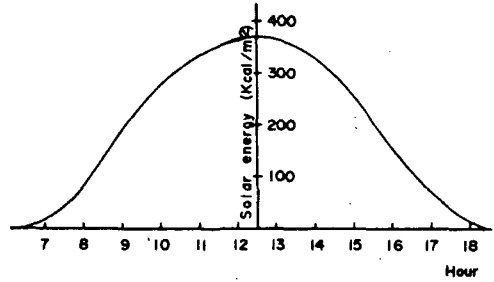


Fig. 4. Average horizontal plane solar energy at October in Seoul

또한 Fig. 5에는 太陽高度,  $\beta$ 와 方位角, 및 入射角,  $\gamma = (\alpha - \beta)$ 와의 關係를 보였기 따라서 每時 法線面 直達日射量을  $Q_{DN}$ 라하면 直면 直達日射量  $Q_{DV}$ 는 다음과 같이 換算된다

$$Q_{DV} = Q_{DN} \times \cos \beta \cdot \cos \gamma \quad (1)$$

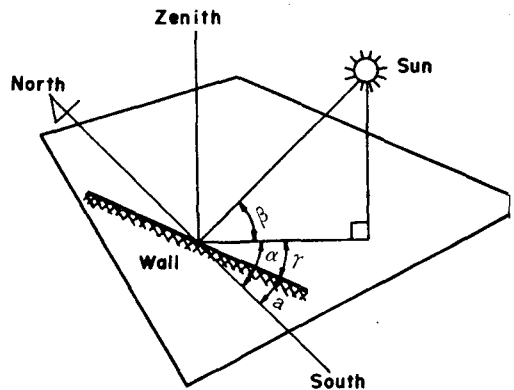


Fig. 5. Solar elevation and incidence angle

또한 前面 유리窓門에서의 全 放射率은 0.9로 하였다.<sup>(6)</sup> 外氣에 對한 平均熱傳達係數는  $N_U = C (Re)^n Pr^{\frac{1}{3}}$ 의 關係式에서  $C = 0.026$  및  $n = 0.805$ 로 하였고<sup>(7)</sup> 유리 熱傳導係數는  $0.78 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 로 하였다.<sup>(8)</sup> 溫

蓄熱壁 表面에서의 自然對流에 對한 平均熱傳達係數는  $Nu = C (Gr \cdot Pr)^m$ 의 關係式에서  $C = 0.10$  및  $m = \frac{1}{3}$ 로 하였다.

溫室內 前面유리와 空氣사이의 自然對流는 一정한 熱플럭스 條件下에서  $2 \times 10^3 < Gr \chi^* Pr < 10^6$  範圍에 들어가므로 다음 式을 使用하였다.<sup>(10)</sup>

$$\frac{h_3 \cdot L}{k} = 0.17 (Gr^* Pr)^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

모든 物性值는 膜溫度에서의 값을 使用하여 前面유리, 前面사시, 溫室과 教室사이의 유리 및 教室과 복도사이에서의 總合熱傳達係數를 求하였다. 특히 出入門이나 窓門의 틈새를 통한 熱傳達도 있을 수 있지만 그 값을 무시하였다. 이 때 같이하여 求한 各種 總合熱傳達係數의 값은 Table 1과 같다.

Table 1. Calculated values for overall heat transfer coefficient

$U_1 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
2.370	2.780	2.179	2.370	0.337

또 蓄熱壁 表面溫度는 太陽輻射와 低溫輻射에 對하여 吸收率을  $\alpha_{태양} = 0.52$  및  $\alpha_{저온} = 0.89$ 로 하여 計算하였다.<sup>(11)</sup> 따라서 輻射平衡에서 太陽으로부터 吸收한 熱은 周圍媒質과의 長波長 輻射熱交換이 같아야 하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\left[ \frac{Q}{A} - h (T_{po} - T_{so}) \right]_{태양} \cdot \alpha_{태양} = \alpha_{저온} \cdot \sigma (T_{표면}^4 - T_{주위}^4) \quad (3)$$

以上으로부터 全體의 熱平衡을 1時間當 積算式으로 表示하면

$$Q_r = \tau Q_{Dv} A - \sum U A (T_r - T_{\infty}) \quad (4)$$

따라서, 時間當 熱取得量 = 유리의 透過率 × 時間 및 位置面積 積算當 垂直日射量 × 窓面積 - 建物을 둘러싼 各部分의 總合熱傳達係數와 面積과의 積和 [kcal / hr  $^\circ C$ ] × (時間平均室溫度 - 時間平均外氣溫度)으로 쓸 수 있다. 以上으로부터 溫

度에서의 熱平衡式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q_1 - Q_h + Q_c - Q_4 + Q_5 - Q_6 - Q_7 - Q_8 = Q_3 \quad (5)$$

여기에서

$$Q_h = \dot{m}_h C_p T_{si} = \rho A_h v_h C_p T_{si}$$

$$Q_c = \dot{m}_c C_p T_{ro} = \rho A_c v_c C_p T_{ro}$$

$$Q_4 = \rho V_4 C_4 (T_{si} - T_{so})$$

$$Q_5 = h_5 A_5 (T_{pi} - T_{si})$$

$$Q_6 = U_1 A_1 (T_{si} - T_{\infty o})$$

$$Q_7 = U_2 A_2 (T_{si} - T_{\infty o})$$

$$Q_8 = U_3 A_3 (T_{si} - T_{ro})$$

$$Q_3 = \rho V_3 C_p (T_{si} - T_{so})$$

로 쓸 수 있으므로 즉, 時間當 溫室에 蓄積되는 熱量은

$$Q_1 - \rho A_h v_h C_p T_{si} + \rho A_c v_c C_p T_{ro} - \rho V_4 C_4 (T_{si} - T_{so}) + h_5 A_5 (T_{pi} - T_{si}) - U_1 A_1 (T_{si} - T_{\infty o}) - U_2 A_2 (T_{si} - T_{\infty o}) - U_3 A_3 (T_{si} - T_{ro}) = \rho V_3 C_p (T_{si} - T_{ro}) \quad (6)$$

또 教室에서의 熱的 平衡式은

$$Q_h + Q_8 - Q_c - Q_9 - Q_{10} - Q_{11} = \rho V_r C_p (T_{ri} - T_{ro}) \quad (7)$$

여기에서

$$Q_8 = U_3 A_3 (T_{si} - T_{ri})$$

$$Q_9 = U_4 A_4 (T_{ri} - T_{do})$$

$$Q_{10} = U_5 A_5 (T_{ri} - T_{do})$$

$$Q_{11} = \rho_{11} V_{11} C_{11} (T_{ri} - T_{ro})$$

이므로 다시쓰면 다음과 같이 時間當 教室에 蓄積되는 熱量을 求할 수 있다.

$$\dot{m}_h C_p T_{si} + U_3 A_3 (T_{si} - T_{ri}) - \dot{m}_c C_p T_{ro} - U_4 A_4 (T_{ri} - T_{do}) - \rho_{11} V_{11} C_{11} (T_{ri} - T_{ro}) = \rho V_r C_p (T_{ri} - T_{ro})$$

時間差別 溫室과 教室의 理論的 熱計算은 溫度測定을 한 10月初를 기준으로하여 建物에 最初 太陽이 비치기 始作한 7時30分부터 計算하였다. 時間增分 熱量計算을 하여 溫室과 教室의 溫度를 구한 결과는 Fig. 6과 같다.

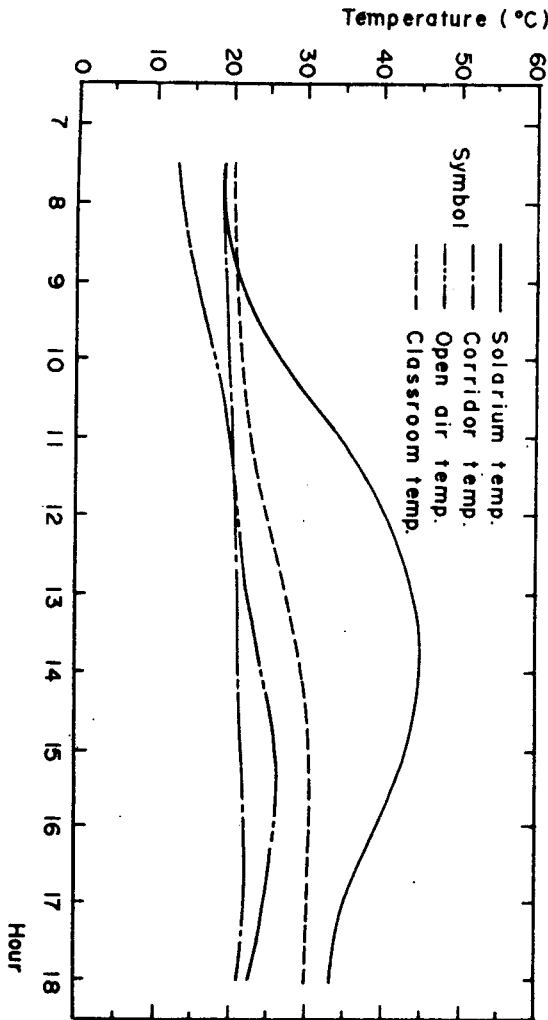


Fig. 6. Calculated temperatures VS. time

### 3. 測 定

測定の主要部分은 温室, 外氣, 教室, 複道, 直上・下層과 양쪽 隣接教室로 溫度計의 設置位置는 Fig. 7에 보였다.

溫度計는 유리管 溫度計 (光一計量器製作社, 使用範圍 0~50℃)를 使用하였다.

各 溫度計의 固有誤差를 補正하기 위하여 0℃와 20℃ 정도의 물속에서 各各 3回씩 測定하

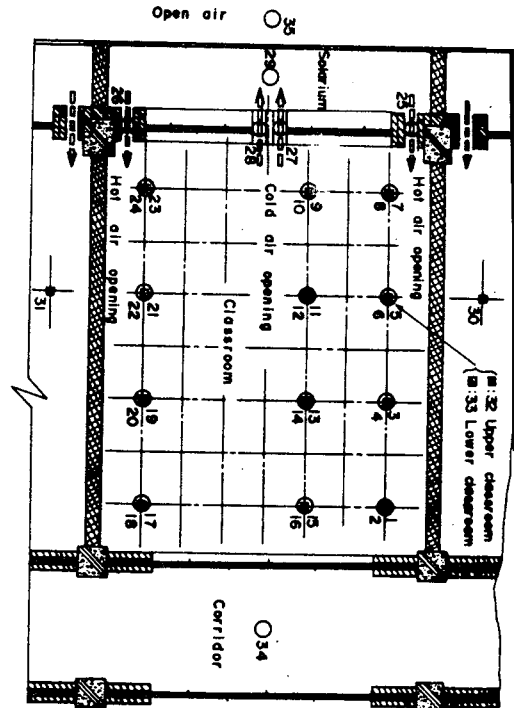


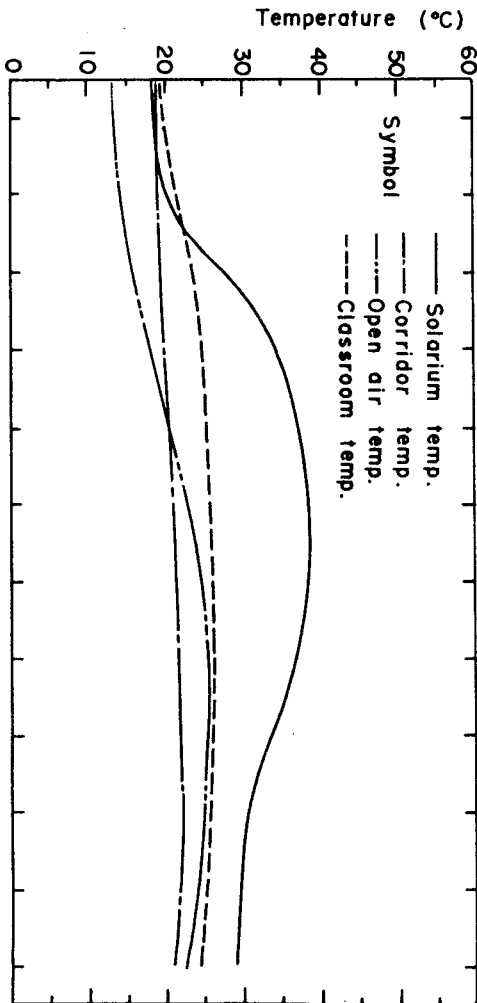
Fig. 7. Position of centigrade thermomet

여 個個의 溫度補正값을 잡았다.

教室에서는 1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23番 溫度計는 天井에서 아래로 1.1 m 位置에, 2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24番 溫度計는 바닥에서 위로 1 m되는 位置에 가는실로 天井에 매달았다. 高溫開口部 入口에 25, 26番 溫度計를, 低溫開口部 入口에 27, 28番 溫度計를 附着하였으며 温室과 복도의 中央位置에 29, 34番 溫度計를 附着하고 外部에 35番 溫度計를 설치하였다. 直上・下層과 兩쪽 隣接教室에 6, 26番과 對稱으로 바닥에서 1 m되는 곳에 30, 31, 32, 33番 溫度計를 설치하였다. 高 低溫開口部 入口에서 空氣速度의 測定은 Nihon Kagaku Kogyo社 製品인 Anemomaster (Mode AM-A11/11~1111)를 使用하였다.

測定하기前 温室 및 教室의 칸막이壁 및 冊子 등을 均一溫度로 하기 위하여 하루前에 教室 및 温室의 모든 窓門을 開放하였다.

測定은 82年 10月 9, 10日 兩日間 日出時  
 間 06時 35分부터 30分 間隔으로 日沒時刻  
 18時 30分까지 測定하였으며 溫度測定과 同  
 時 高·低溫開口部의 速度도 測定하였다. 測  
 定에 따른 人爲的인 自然對流를 防止하는데 特  
 한 注意를 하였다.  
 外氣 및 溫室에서의 溫度計는 太陽輻射에 依  
 溫度上昇을 防止하기 위하여 햇빛 가리개를  
 置하였다.  
 또 速度計는 使用前 補正을 하였으며 計器自  
 己 固有誤差는 없는 것으로 하였다.



g. 8. Measured temperatures VS. time

4. 結果 및 考察

測定한 溫室, 教室, 복도 및 外氣의 溫度分布  
 는 Fig. 8과 같다.

溫度測定 教室의 溫度의 分布를 알기 위하여  
 日出時刻인 06時 35分, 建物에 처음 빛이 들기  
 始作한 07時 30分 및 教室의 最高溫度가 되는  
 13時 30분에 各 溫度計 位置의 溫度를 그래프  
 로 나타내면 Fig. 9와 같다.

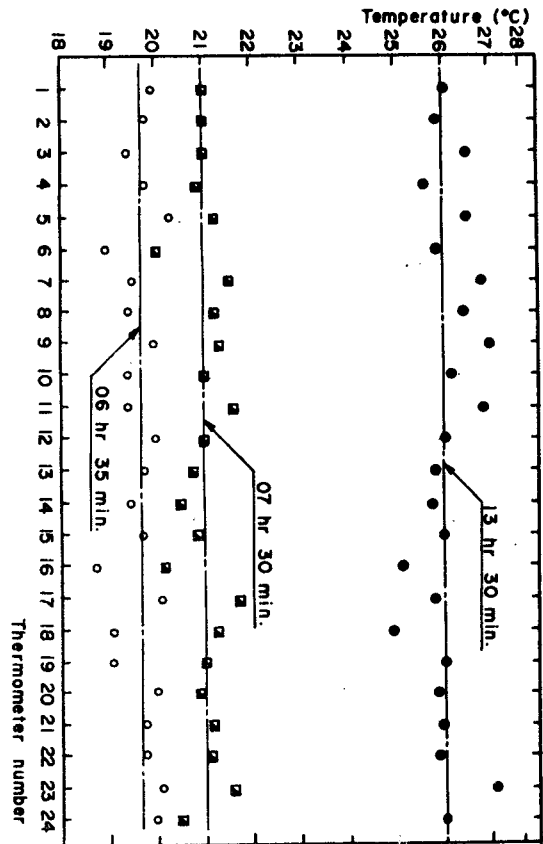


Fig. 9. Temperature distribution chart of classroom

教室의 平均溫度와 最大溫度差는 18番의  
 -1.4℃ 23番의 +1.1℃로 約 ± 5% 以下이  
 므로 教室의 溫度는 平均溫度로 使用할 수 있다.  
 18番 溫度計의 溫度가 낮은 이유는 出入門부근  
 이기 때문이고 23番 溫度計의 溫度가 높은 이

유는 高溫開口部와 가깝게 位置하여 있기 때문이라 생각된다.

이 研究를 爲하여 選擇한 教室은 直上·下 및 양쪽 隣接한 教室과의 熱傳達를 無視하기 위하여 建物の 한 가운데에 位置한 教室로 選擇하였는데, 과연 隣接教室과의 溫度의 對稱이 成立하느냐를 檢討하기 爲하여 對稱을 이루는 溫度計의 番號는 6番과 30番, 22番과 31番 및 6番과 33番으로 이들 位置에서 7時30分, 13時30分 및 18時03分일때의 溫度分布를 나타내면 Fig. 10과 같다.

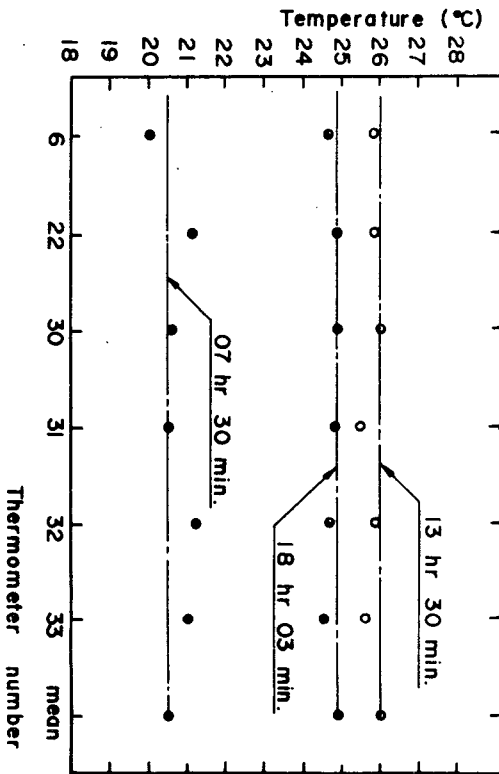


Fig. 10. Temperature distribution chart of adjacency classroom

이 그림에서 보는 바와 같이 7時30分에 약간의 差異 (0.3 °C)가 存在하지만 時間이 흐를수록 隣接教室과 對稱을 이루는 溫度計의 값들은 갈아짐을 볼 수 있다. 따라서 直上·下 및 兩쪽 隣接教室 사이의 熱傳達은 假定을 한것과 같

이 無視할 수 있다. 實際로 測定한 温室의 度와 計算한 溫度를 比較하여 보면 Fig.11 및 Fig.12와 같다.

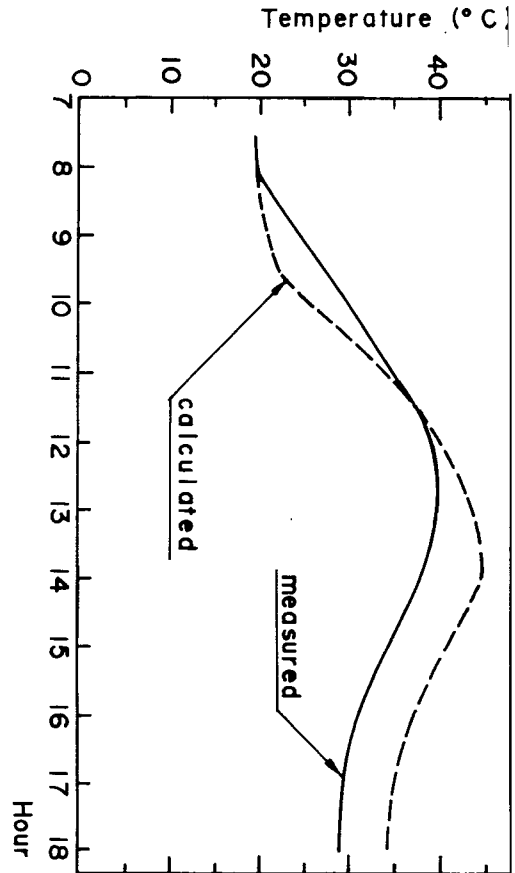
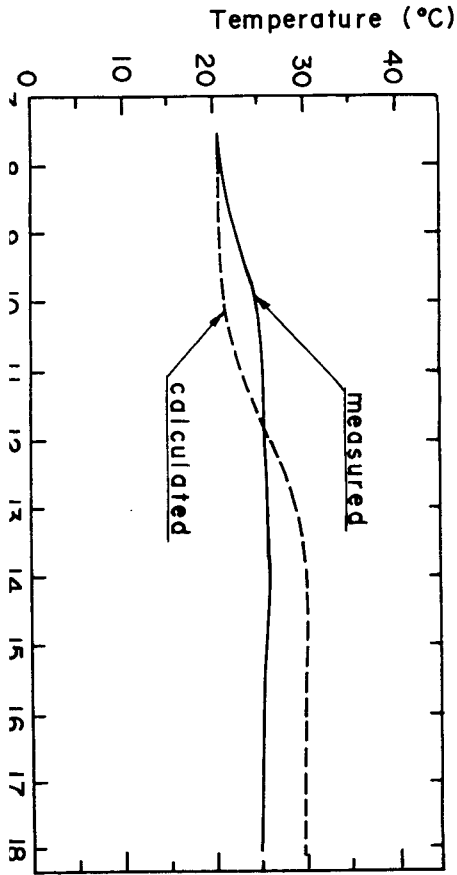


Fig. 11. Comparison between measured and calculated values for solarium temperature

이들 그래프를 살펴보면 温室 및 教室內의 氣溫度는 正午頃을 基準으로하여 午前에는 計值가 測定值보다 더 작고 午後에는 計算值가 測定值보다 더 크게 나타난다. 例를들어 午前에 장 큰 差異를 나타내고 있는 午前10시에 教室空氣의 溫度는 計算值가 21.0 °C이고 測定值 24.8 °C로 나타나서 結局 計算値는 測定値에 하여 約 15.3 % 낮게 나타났고, 午後에 가 큰 差異를 나타내고 있는 午後4시에 教室의





12. Comparison between measured and Calculated values for classroom temperature

· 計算値는 30.7 °C이고 測定値는 25.5 °C로 나타나서 結局 計算値는 測定値에 比하여 約 % 높게 나타났다. 이와같은 差異를 나타내 原因은 熱的模型을 만들어 줄 때 設定한 여러 假定으로 因한 誤差가 蓄積되었기 때문이고 判斷되고 特히 壁이나 器物等の 溫度가 一하게 增減한다는 假定으로 因한 誤差가 크고 생각된다. 그러나 大略 最大 20%의 溫度 範圍에서 解析(計算) 結果는 實測値와 近似히 一致한다고 할 수 있다. 또, 教室의 溫度 上昇시키기 위해서는 溫室의 크기 및 蓄熱壁 크기와 材質, 그 熱容量과 熱傳導性, 熱放出

能力 및 熱分配能力, 熱保存能力, 高·低溫開口部の 크기에 따른 高·低溫空氣의 流動速度 等에 關係가 있으나, 本 研究에서는 教室의 規格과 構造, 建築物의 材質 等 모든 要素를 그대로 두고, 단지 溫室의 크기만을 5 분지 1로 縮小하고 앞에서 計算한 方法과 同一하게 教室의 溫度를 計算하여 Fig. 13에 나타내보았다.

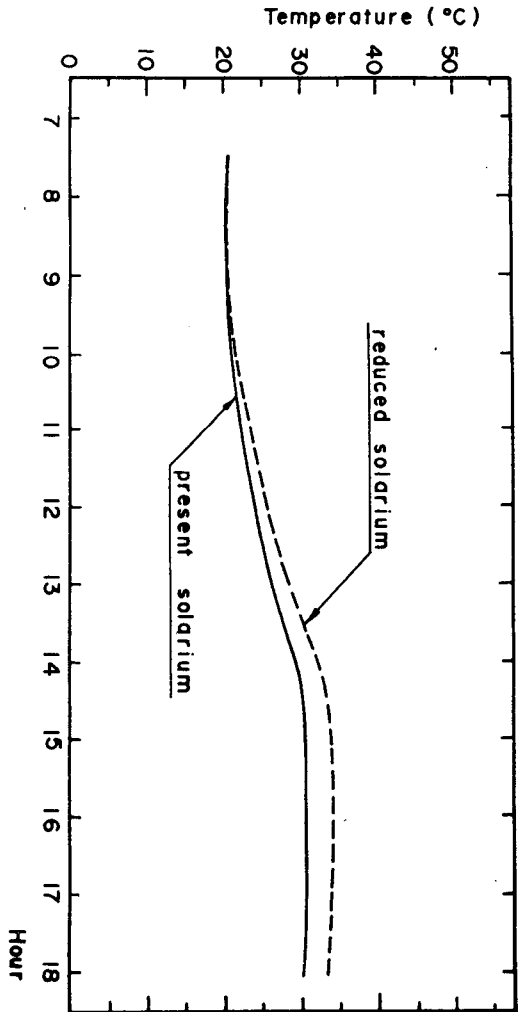


Fig. 13. Comparison between calculated Classroom for present solarium and reduced solarium

但, 溫室의 크기를 縮小할 때 高·低溫開口部에서 空氣의 流動速度는 原來의 開口部에서 測

定한 값을 다음과 같이 修正하였다.

溫室과 教室사이에 Bernoulli 方程式을 適用하면,

$$\frac{P_{교실}}{\rho} + \frac{v_{교실}^2}{2} + z_{온실} = \frac{P_{온실}}{\rho} + \frac{v_{온실}^2}{2} + z_{온실}$$

에서  $p = \rho RT$ ,  $z_{온실} = z_{교실}$ ,  $v_{온실} = 0$ ,  $v_{교실} \approx v_{개구부}$  라 할 수 있으므로

$$\frac{v_{개구부}^2}{2} + \frac{\rho RT_{교실}}{\rho_{교실}} = \frac{\rho RT_{온실}}{\rho_{온실}}$$

그러므로

$$v_{개구부} = \sqrt{2R(T_{온실} - T_{교실})} = \sqrt{2R\Delta T} \quad (9)$$

$$\frac{v_{축소온실}}{v_{기준온실}} = \frac{\sqrt{2R\Delta T_{축소}}}{\sqrt{2R\Delta T_{기준}}} = \sqrt{\frac{\Delta T_{축소}}{\Delta T_{기준}}} \quad (10)$$

과 같이 誘導하여 縮小하였을 때의 理論的인 高低溫開口部の 空氣速度를 求하여 教室의 溫度를 計算하였다.

Fig. 13에서 보는바와 같이 溫室의 크기를 縮小한 結果, 教室의 溫度는 午前 10時 부터 增加하기 始作하고 午後 2時頃 부터는 約 4℃의 增加가 繼續的으로 維持되고 있다. 教室의 온도를 最大로 增加하기 위하여서는 溫室의 크기를 여러가지로 縮小하여 最適值를 求하여야 하나 이 研究에서는 다만 教室의 溫度를 增加시키기 위한 여러가지 要素中 溫室의 크기를 縮小시킴으로서 教室의 溫度를 增加시킬 수 있는 可能性을 糾明하였다.

## 5. 結 論

受動形 太陽熱教室 暖房裝置에 對한 本 研究를 通하여 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

(1) 이 研究에서 세운 熱平衡 模型을 基準으로하여 計算한 教室의 空氣溫度는 最大誤差 約 20% 範圍內에서 實測値와 잘 부합한다.

(2) 既存 受動形 太陽熱 暖房教室에서 溫室의 크기는 教室의 空氣溫度에 크게 영향을 미치게 되고 適切한 크기로 既存 溫室의 크기를 縮小하여라도 暖房效果는 改善될 수 있다.

## 參 考 文 獻

- (1) J.D.Balcomb, "Summary of the Passive Solar Heating and Cooling Conference Los Alamos Scientific, pp. 20 ~ 30, 1973
- (2) M.G.Davies, "the Contribution of Solar Gain to Space Heating" pp.435, 1973
- (3) F.Tromb, "Heating by Solar Radiation Solar Age pp.13 ~ 19, 1979.
- (4) P.Davis, "To Air is Human, Some Humanistic Principles in the Design of Thermosiphon Air Heaters", pp.40 ~ 1970.
- (5) KSCP - B - 1021, "太陽熱冷暖房 및 시스템 技術基準", 公업진흥청, pp.393, 1979.
- (6) H.C.Hottel and W.H.McAdams, "Heat Transmission", 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1954.
- (7) J.D.Knudsen, and D.L.Katz, "Fluid Dynamics and Heat Transfer", McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 309, 1958.
- (8) A.I.Brown and S.M.Marco, "Introduction to Heat Transfer", 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York pp. 410, 1958.
- (9) E. J. Baylay, "An Analysis of Turbulent Free Convection Heat Transfer", Proc Inst. Mech. Eng., Vol 169, no.20, pp. 361, 1955.
- (10) J.P.Holman, "Heat Transfer", 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York pp. 246 ~ 280, 1977.
- (11) G.G.Gubareff and J.E.Janssen, "Thermal Radiation Properties Survey 2d ed., Minneapolis Honeywell Regulatory Co., Minneapolis, Minn., 1960.