

熱사이폰식 太陽熱 溫水시스템의 性能實驗

金 斗 千* 朴 勝 德*

〈 Performance Tests on a Solar Water Heating System
in Thermosyphonic Flow〉

Doo Chun Kim, Seung Duk Park

Abstract

A small domestic solar water heating system in thermosyphonic flow was tested in Seoul. The system consisted of four flat plate aluminium roll-bond type collectors of total effective area $3.28 m^2$ and a 280l storage tank. It was tilted 52° relative to the horizon. And the collector plate, collector tube and storage tank were equipped with 14 thermocouples.

As the results, the following facts were found ;

- 1) To provide water at $55^\circ C$ for a family of four in Seoul, a collector area of $3-4 m^2$ and a storage capacity of 180l-200l are suggested. And this system can supply hot water at above $45^\circ C$ day about.
- 2) In the late afternoon hours, it might be advantageous to stop the flow in the system as heat losses to the environment increase unduly.
- 3) Without any hot water consumption throughout the day, water temperature distributions inside the storage tank was found almost linear. This indicates essentially no mixing inside the storage tank.
- 4) In case of a small domestic solar water heating system, it is better to employ a single transparent cover rather than double one.

記 號 說 明

A_c : 集熱器의 有效面積, m^2
 A_T : 蓄熱槽의 表面積, m^2
 b : 集熱板의 流路 幅, m
 C_p : 比熱, kcal/kg $^\circ C$
 D : 먼지에 의한 日射量 減少率
 d_i : 集熱板 流路의 水力直徑, m
 F : 集熱板의 편 效率
 F' : 集熱器 效率係數
 F_e : 有效 透過一吸收積

F_R : 集熱器 熱除去係數
 G : 集熱器 質量流量, kg/h $\cdot m^2$
 h_{fi} : 集熱器 流路 熱傳達係數, kcal/h $\cdot m^2 \cdot ^\circ C$
 I_t : 傾斜面 日射量, kcal/h $\cdot m^2$
 \dot{m} : 流體의 質量流動率 kg/h
 Q_u : 全有用熱量, kcal/h
 q_a : 集熱板 吸收熱量, kcal/h $\cdot m^2$
 T_a : 外氣溫度, $^\circ C$
 $T_{f,i}$: 集熱器로의 流入溫度, $^\circ C$
 $T_{f,o}$: 集熱器로의 流出溫度, $^\circ C$
 T_m : 流體의 平均溫度, $^\circ C$

* 正會員, 陸軍士官學校 機械工學科

ΔT_m : 蓄熱槽內의 流體의 溫度上昇, °C
 U_L : 集熱器의 總合熱傳達係數, kcal/h.m².°C
 U_T : 蓄熱槽의 總合熱傳達係數, kcal/h.m².°C
 W : 集熱板의 流路간격, m
 W_t : 蓄熱槽內의 流體의 質量, kg
 y_{day}, y_{hour} : 1日 및 時間別 裝置效率
 θ : 時間; h

I. 序 論

平板形集熱器와 蓄熱槽로, 構成된 熱사이폰式 太陽熱溫水器에 關한 具體的인 研究는 Yellot와 Sobotka,^[1] Close^[2]로 비롯되는데 이들은 溫水器內의 蓄熱槽, 集熱器의 入口와 出口, 吸熱板과 유리面에 銅-콘스탄탄 熱傳帶를 設置하여 各部의 溫度를 測定하고 이를 解析하여 全裝置의 性能을 評價하는 方法을 提示하였다. 따라서 이들의 研究는 시스템의 作動方式이 裝置의 效率에 미치는 影響에 局限되었으며 시스템의 性能에 關係되는 媒介變數에 對해서는 取扱하지 못하였다. Gupta와 Garg^[3]는 시스템 設計를 위한 理論的인 模型을 開發하고 實驗結果를 利用하여 集熱器 上端으로 부터 蓄熱槽 下端間의 높이, 集熱器의 크기, 蓄熱槽의 크기와 形態, 配管의 크기와 길이등의 變數가 全시스템의 性能에 미치는 影響을 解析하였다. Ong^[4, 5], Shitzer^[6] 등의 實驗結果는 시스템內의 流體의 流量이 日射量과 類似한 양상으로 變化하며, 3m²의 集熱器와 140l의 蓄熱槽로 된 시스템에서는 正午에 最大가 되며 1l/min에 이르는 것으로 報告되어 있다.

熱사이폰作用에 의한 물의 自然對流의 양상은 매우 複雜하여 아직도 그 理論的 體係가 完全하지 못하나 以上の 結果를 綜合하면 다음과 같다.

1) 流體의 循環은 加熱로 인한 密度差에 依하여 이루어 지므로 密度差가 커질수록 流量이 增加하여 裝置의 性能이 增加된다. 따라서 蓄熱槽는 重直方向의 溫度勾配가 크게끔 直徑에 對한 길이의 比를 크게 만드는 것이 좋다.

2) 配管의 길이가 길어져도 시스템의 性能에는 큰 影響을 미치지 않으나 管路內의 流動抵抗을 줄이기 위해서는 可能的 한 짧게 하고 그 直徑은 25mm程度가 適合하다.

3) 늦은 午後에는 蓄熱槽의 溫度가 上昇하여 熱損失이 增大되므로 蓄熱槽에서 集熱板으로의 물의 流動을 中止시키는 것이 좋다.

本 論文에서는 上述한 事項들을 고려하여 4人家族의 家庭用으로 有效集熱面積 3.28m²과 蓄熱槽容量 180l을 標準으로 한 太陽熱 溫水器를 國內에서 設計製作하여 野外實驗을 通하여 시스템의 性能을 評價하고 給湯用 溫水供給의 可能性을 檢討하였다.

II. 太陽熱 溫水시스템의 性能解析

2-1. 平板形 集熱器의 性能

平板形 集熱器의 有用集熱量은 動作流體의 集熱器로의 流入溫度 $T_{f,i}$ 와 大氣溫度 T_a 의 項으로 表示된 一般화된 性能公式^[7]으로 부터 計算된다.

$$Q_u = F_R A_c [q_a - U_L (T_{f,i} - T_a)] \dots\dots (1)$$

여기서 U_L 는 集熱板과 周圍空氣와의 總合熱傳達係數로서 吸收板의 溫度, 外氣溫度, 透明덮개의 種類와 枚數, 集熱板의 傾斜角 및 風速等에 依하여 計算된다.^[7] 그리고 熱除去係數 F_R 는

$$F_R = \frac{G C_p}{U_L} \left\{ 1 - \exp(-U_L F' / G C_p) \right\} \dots\dots (2)$$

로 表示되는데 C_p 는 流體의 比熱이며 G 는 集熱器 單位面積當의 流體의 質量流動率이다. 그리고 F' 는 集熱器效率係數인데 集熱板의 形態, 핀 效率 및 管路內의 熱傳達係數等에 依해 다음式으로 부터 計算한 것이다.

$$F' = \frac{1}{\frac{W U_L}{\pi d_i h_{fi}} + \frac{W}{b + (W-b) F}} \dots\dots (3)$$

q_a 는 單位面積의 集熱板에 吸收된 熱量인데

다음 式으로 부터 求할 수 있다.

$$q_a = I_t F_e (1 - D)(1 - S) \dots \dots \dots (4)$$

여기서 F_e 는 參考文獻^[8]로 부터 計算한 日射入射角에 依하여 計算되는 透明덮개의 數에 따라 時角別로 計算되는 有効透過一吸收積이며, D 와 S 는 透明덮개의 먼지와 集熱器 후레임에 依한 그림자로 因한 減少率이다.

2-2. 시스템의 性能

集熱器와 蓄熱槽로 된 全시스템의 熱平衡을 고려할때 配管으로 부터의 熱損失을 無視하면 集熱器의 全有用熱量은 蓄熱槽內의 流體의 加熱熱量과 蓄熱槽의 損失熱量の 合과 같아 진다.

$$Q_u = W_t C_p \frac{dT_m}{d\theta} + U_T A_T (T_m - T_a) \dots \dots \dots (5)$$

여기서 W_t , C_p 및 T_m 는 蓄熱槽內의 流體의 質量, 比熱 및 平均溫度이며, θ 는 시간길이이고, T_a 는 θ 시간 동안의 平均外氣溫度이다. 그리고 U_T 는 蓄熱槽의 總合熱傳達係數이고 A_T 는 外表面的 面積이다.

그러므로 $\theta = 1$ 로 하였을 때의 蓄熱槽內의 流體의 溫度上昇은 다음 式으로 부터 計算할 수 있다.

$$\Delta T_m = \{ Q_u - U_T A_T (T_m - T_a) \} / W_t C_p \dots \dots (6)$$

集熱板을 흐르는 流體의 流量은 溫度上昇과 密度差를 求하여 壓力降下를 計算하여 流量을 求하는 D. J. Close^[2,7]의 方法이 있으나 그 過程이 너무 複雜하므로 여기서는 集熱器를 通過할 때의 流體의 溫度上昇과 蓄熱槽內의 流體의 熱取得量으로 부터 求하도록 한다.

流體의 集熱器로의 流入溫度 $T_{f,i}$, 流出溫度 $T_{f,o}$, 流體의 質量流量을 \dot{m} 라 하면

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{f,o} - T_{f,i}) \dots \dots \dots (7)$$

가 되며, 이 것을 式(1)과 같게 놓으면 質量 流量 \dot{m} 는 다음 式으로 計算된다.

$$\dot{m} = \frac{F_R A_c \{ q_a - U_L (T_{f,i} - T_a) \}}{C_p (T_{f,o} - T_{f,i})} \dots \dots \dots (8)$$

每時刻에서의 시스템의 效率은 集熱器에 入射된 日射量에 對한 蓄熱槽內의 流體의 熱取得量의 比로 부터 求할 수 있다.

$$y_{hour} = \frac{W_t C_p \Delta T_m}{I_t \cdot A_c} \dots \dots \dots (9)$$

또 1日의 平均效率은 다음 式으로 부터 計算할 수 있다.

$$y_{day} = \frac{W_t C_p \sum_{i=\theta_1}^{\theta_2} \Delta T_m}{A_c \sum_{i=\theta_1}^{\theta_2} I_t} \dots \dots \dots (10)$$

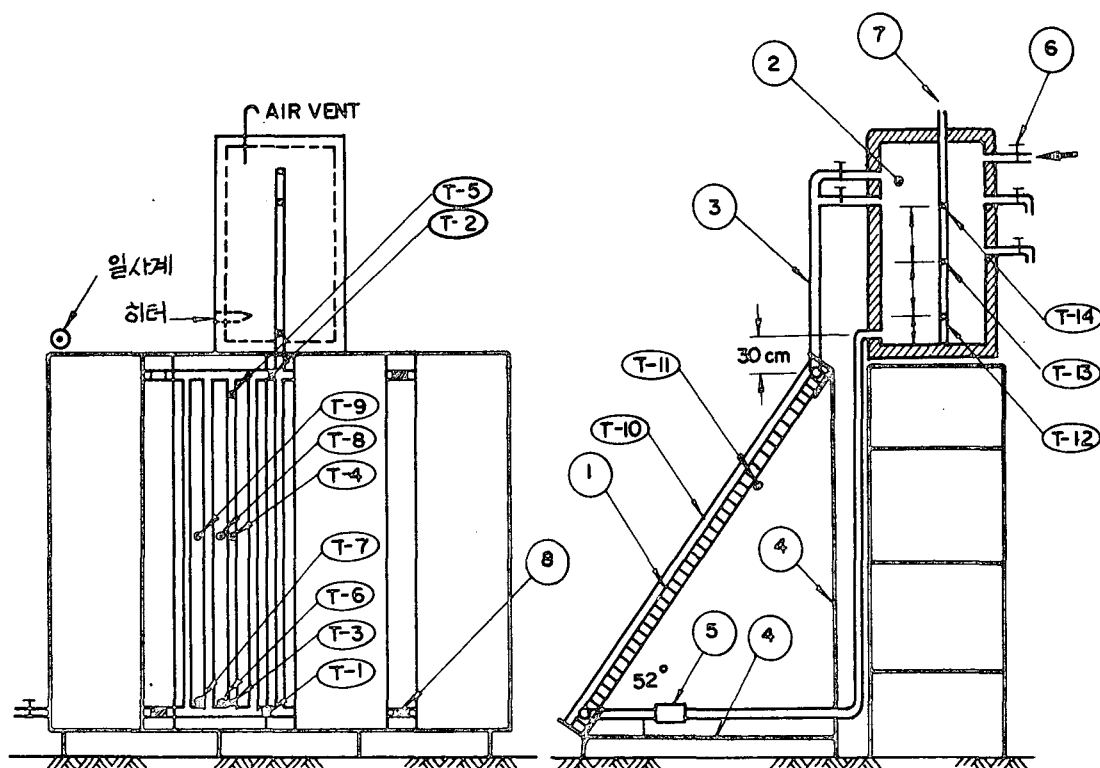
여기서 θ_1 과 θ_2 는 시스템의 作動 開始時刻과 終了時刻이다.

III. 實驗

3-1. 實驗裝置

4人家族을 基準한 典型的인 小型 家庭用 太陽熱温水器는 하루에 1人當의 所要 給湯量을 45 l로 보고 一家庭當의 給湯量 180 l을 供給할 수 있도록 만든 것으로서, 180~360 l의 蓄熱槽와 3~4 m의 集熱器를 直徑 25 mm의 鋼管으로 連結한 것이다^[9].

本 實驗에 使用한 裝置는 有効面積이 0.82 m²인 國產 알루미늄 로울본드型 集熱器 4個와 最大 容量이 282 l인 蓄熱槽 및 이들을 連結하는 總길이 5.4 m의 直徑 25 mm의 鋼管으로 構成되어 있다. Fig. 1은 그 配置圖이고 그 外觀은 Fig. 2와 같다. 集熱器의 製元은 Table. 1과 같으며 그 構造를 Fig. 3에 表示하였다. 集熱器와 集熱器의 連結에는 異金屬間의 接觸에 依한 부식을 防止하고 加熱과 冷却의 反復效果에 依한 伸縮性에 對備할 수 있는 실리콘고무를 使用하였다. 蓄熱槽는 直徑 60 cm 높이 100 cm의 圓筒形 강철제인데 그 外部에는 10 cm의 岩線을 채우고 다시 直徑 80 cm의 保護탱크를 씌웠다.



ELEVATION

SIDE VIEW

- ① COLLECTOR
- ② STORAGE TANK
- ③ 25 mm \varnothing STEEL PIPE
- ④ FRAME SUPPORT
- ⑤ FLOW METER
- ⑥ SUPPLY WATER VALVE
- ⑦ THERMOCOUPLE SUPPORT
- ⑧ RUBBER HOSE
- T-1 ~ T-14 THERMOCOUPLE MEASURING POINT

Fig. 1. Arrangement of collectors and storage tank

Table 1. Technical data of a solar collector

集熱板의 材料	알루미늄 1.6 mm 두께
吸收面	黑色아크릴 塗料도장, 吸收率 0.90
튜브의 단면적	60 mm ²
튜브의 간격 및 數	12 cm, 4 個
유리의 枚數	1 枚
유리의 種類	2.3 mm 普通유리, 放射率 0.88
후레임	두께 2 cm 木製
裏面絶緣	25 mm 유리線, 25 mm 스티로폼, 4 mm 合板
總面積	0.913 m ²
有效面積	0.82 m ²

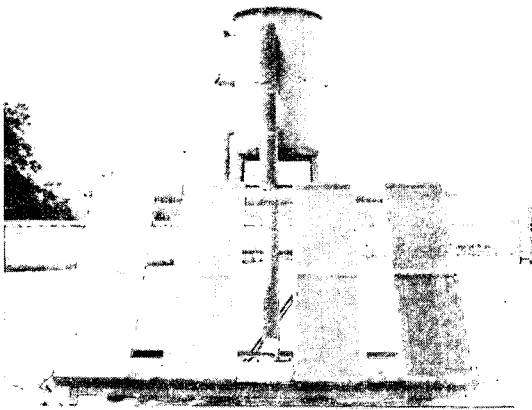


Fig. 2. Photographic view of a solar water heating system

實驗變數인 貯湯水量, 蓄熱槽의 下面과 集熱器 上部헤더와의 높이差, 集熱器의 傾斜角度 및 給湯水의 初溫等인데 貯湯水量은 集熱器에서 加熱된 流體가 蓄熱槽로 流入되는 높이로 調整할 수 있도록 180ℓ~200ℓ과 230ℓ~250ℓ用의 2個의 流入口를 마련해 두었고, 높이차는 30 cm 集熱器의 傾斜角度는 年中 一定한 에너지 供給을 爲한 最適值^[10]인 52度로 固定시켰으며 實驗始作時의 初溫 調節用 헤더와 排水밸브 및 空氣抽出口를 設置해 두었다. 시스템의 入力인 日射量은 Fig. 2에 보인 바와같이 集熱器와 同一한 傾斜角으로 集熱器 左上端에 附着시켰다.

3-2. 實驗方法

溫度測定을 爲한 銅-콘스탄탄熱傳帶(cc. 號 28)를 Fig. 1에 表示된 14個所에 附着한 다음에 溫度 基準點인 얼음물통과 連結하고 補償線으로 測定場所인 室內까지 끌어서 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 精度를 가진 電位差計(thermocouple potentiometer, cropico, type p 4/E)에 連結하여 補正한 後에 12點 打點式 電子 自動平衡型 記錄計(韓國生絲 co, TR-212, 精度 1°C , 눈금 $0\sim 200^{\circ}\text{C}$) 및 4 轉盤 멀티코더(Watanabe instruments co, MC 611-4H, 10 mV)에 連結하였다. 日射計(EKO Pyrano-

meter Model MS-61, $5.0\text{ mV/cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ 精度 $0\sim 2\text{ cal/cm}^{-2}\text{min}^{-1}$)는 亦是 補償線으로 測定室까지 連張하여 自動記錄計(Chino, Model EH 800-01, 1點 記錄式, 10 mV)에 連結하였다. 流量計는 溫水計(金湖電機, 25 mm ϕ , 10000 m^3 , 최소눈금 1ℓ)를 使用하였으며 風速은 CE NCO 風速計로 測定하였다.

實驗은 서울 近郊인 泰陵에서 1980年 3月 13日부터 5月 9日까지 約 60日間 實施하였는데, 아침 8~9時에 180ℓ의 市水를 蓄熱槽에 넣은 다음에 中間에 代어 쓰지 않고 午後 16時에 測定을 完了하면 모두 排水시키는 方法을 擇하였다. 測定은 流量, 風速 및 雲量은 每時刻別로 하였으며 이 外의 모든 測定데이터들은 自動記錄되었다.

IV. 實驗結果 및 考察

雲量이 零인 快晴한 날인 3月 26日의 測定值는 Table 2와 같으며, 이 測定值로부터 計算한 集熱器와 全시스템의 性能은 Table 3와 같다.

여기서 透明덮개를 2.3 mm 普通유리 1枚를 使用했을 때 參考文獻[11]의 2枚를 使用한 境遇에 比하여 集熱器 效率係數는 大同小異하지만 熱除去係數 F_R 이 0.95에서 0.933으로 約 2% 減少하고 總合熱傳達係數 U_L 의 約干의 增大로 因하여 集熱效率이 10%程度 減少하였음을 알 수 있다. 그러나 2枚의 경우에 內側 유리의 熱膨脹에 依한 破損等을 고려하면 溫水器에서는 1枚의 유리로 하는 것이 더 바람직함을 알 수 있다.

Fig. 4는 하루中の 日射量, 外氣溫度, 蓄熱槽의 平均溫度 및 集熱器의 流, 出入口의 溫度變化를 圖示한 것이다. 이 그림에서 集熱器와 蓄熱槽의 平均溫度는 入力인 日射量의 變化에 1時間 程度 지연되어서 變化함을 알 수 있다. 따라서 처음 1時間 동안에는 集熱器의 入口溫度는 거의 一定하게 維持되고 蓄熱槽內의 물은 混合되지 않기 때문에 集熱器 出口溫度가 上昇

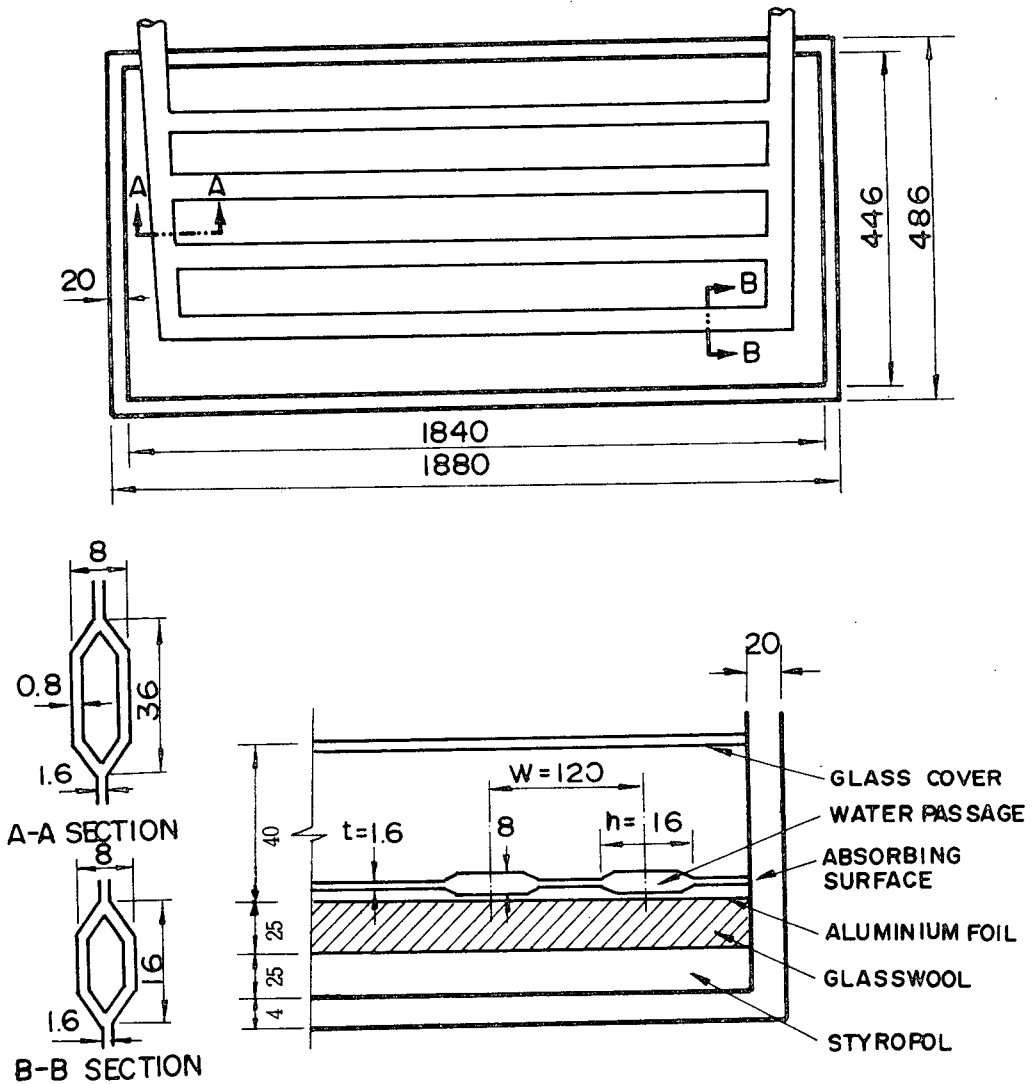


Fig. 3. Structure of aluminium roll-bond type flat-plate collector.

하게 되고 이 보다 다소 지연 되어서 入口溫度가上昇하기 始作하여 13~14時頃에 그 差異가 最大로 되었다가 15時頃에는 크게 줄어 들고 出口溫度가 入口溫度보다 約 30分 앞서서 降下함을 알 수 있다. 이것은 集熱器 流出入口의 溫度差의 減少, 日射量의 減少 및 外氣溫度의 降下로 因한 流速의 低下로 말미암아 熱損

失이 增大됨을 뜻하므로 自動調節밸브를 장치하여 流體의 循環을 中止시켜야 함을 시사하는 것이다.

Fig. 5는 蓄熱槽內의 溫度分布를 圖示한 것이다. 實驗 始作時間에는 높이에 따른 溫度差는 거의 없으나 時間이 經過할수록 커지는 것을 알 수 있는데, 이것은 蓄熱槽內의 流體의 流動이

熱사이론式 太陽熱 温水시스템의 性能實驗

Table 2. Measured data of a solar water heater, march, 26

時間 (hour)	風速 (m/s)	雲量 (1/10)	溫度 (°C)				
			外氣	集熱器入口	集熱器出口	集熱板* (平均值)	蓄熱槽 (平均值)
9	3.58	0	4.2	10.3	30.8	33.57	15.7
10	2.15	0	7.0	11.3	43.2	47.52	22.5
11	3.68	0	7.9	13.8	58.6	67.62	32.1
12	11.50	0	8.0	17.3	63.0	73.08	40.7
13	3.98	0	9.2	24.0	65.5	75.91	47.8
14	7.18	0	10.0	32.7	65.6	70.85	55.9
15	8.75	0	10.2	39.6	66.4	68.39	59.6
16	5.35	0	10.0	40.5	61.0	59.78	61.3

* ; Fig. 1의 溫度測定點 T-3에서 T-9까지의 平均値임
 + ; Fig. 1의 溫度測定點 T-12에서 T-14까지의 平均値임

Table 3. Calculated performance of a solar water heater, march, 26

時間 (hour)	太陽高度 β (deg)	太陽方位 ϕ^* (deg)	入射角 i (deg)	反射角 r (-)	透過率 τ (-)	有効 $\tau \alpha F_o$ (-)	日射量 I_t (kcal/h, m ²)	吸收熱量 Q_a (kcal/h)
9-10	33.9	-61.8	48.8	0.059	0.820	0.848	579.8	1485.5
10-11	43.5	-47.0	34.8	0.046	0.846	0.872	706.6	1862.7
11-12	50.8	-27.6	22.0	0.044	0.853	0.879	798.4	2120.4
12-13	54.0	-3.5	14.2	0.043	0.855	0.880	839.5	2233.0
13-14	52.1	21.4	19.0	0.044	0.854	0.879	806.9	2144.6
14-15	45.8	42.2	31.1	0.045	0.849	0.875	700.6	1852.7
15-16	36.7	58.1	44.9	0.054	0.831	0.858	527.8	1368.3
一日平均					0.874			
* ; -는 正南을 基準하여 東쪽, +는 西쪽임								
時間 (hour)	損失係數 U_L (kcal/h, m ²)	Fin 效率 F (-)	集熱器效率 係數 F^1 (-)	熱除去係數 F_R (-)	損失熱量 Q_L (kcal/h)	有用熱量 Q_u (kcal/h)	集熱效率 y^{hour} (-)	流量 \dot{m} (kg/h)
9-10	5.496	0.983	0.976	0.958	261.5	1,224.0	0.580	46.7
10-11	5.956	0.982	0.974	0.954	134.7	1,728.0	0.672	45.1
11-12	7.442	0.978	0.968	0.936	572.4	1,548.0	0.533	34.2
12-13	7.582	0.977	0.967	0.930	955.0	1,278.0	0.418	29.3
13-14	7.165	0.978	0.969	0.942	686.6	1,458.0	0.496	39.2
14-15	7.476	0.977	0.967	0.920	1,186.7	666.0	0.261	22.3
15-16	7,200	0.978	0.969	0.891	1,062.3	306.0	0.159	12.9
一日平均	6.902	0.979	0.970	0.933		8,207.0	0.455	32.8
註 ; 모든 계산치는 시간간의 中間時刻인 30分을 基準한 것임								

매우 느리기 때문에 混合이 거의 이루어 지지 않음을 뜻하는 것이다.

Fig. 6는 期間中에서 降雨日 7日과 土, 日 曜日 및 公休日 15日을 除外한 36日間の 16時의 温水의 平均溫度 分布이다. 期間中 土, 日 曜日을 除外한 43日을 基準할때 適正溫度 수준인 55°C以上인 날은 15日로 全體의 1/3을 多

少 上廻하며, 給湯用으로 可能한 45°C 以上인 날은 24日로 半을 훨씬 넘는다. 따라서 2~3日에 1回 以上の 給湯用 温水 供給이 可能함을 알수 있다.

V. 結 論

4人家族을 基準한 一家庭에서 必要한 180%

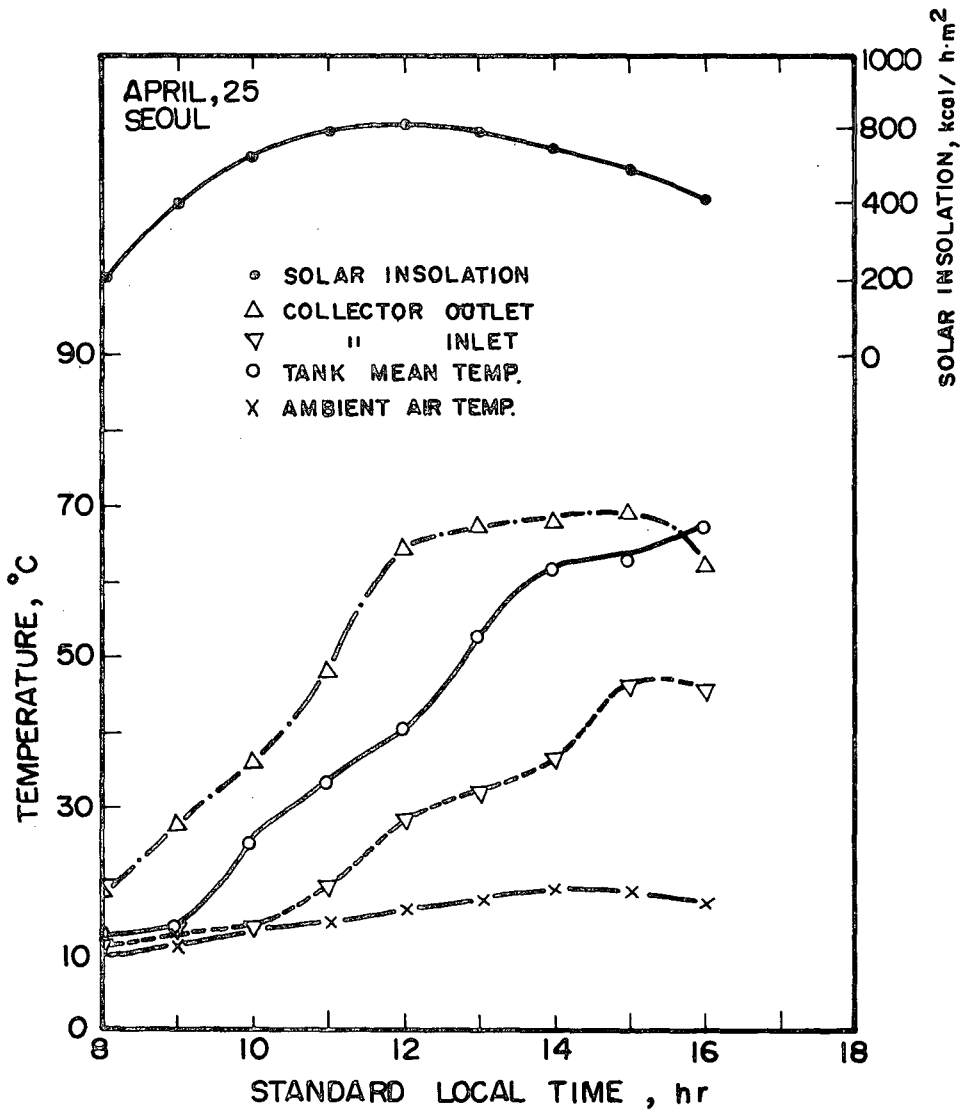


Fig. 4. Daily variation of weather condition and temperature of a solar water heating system.

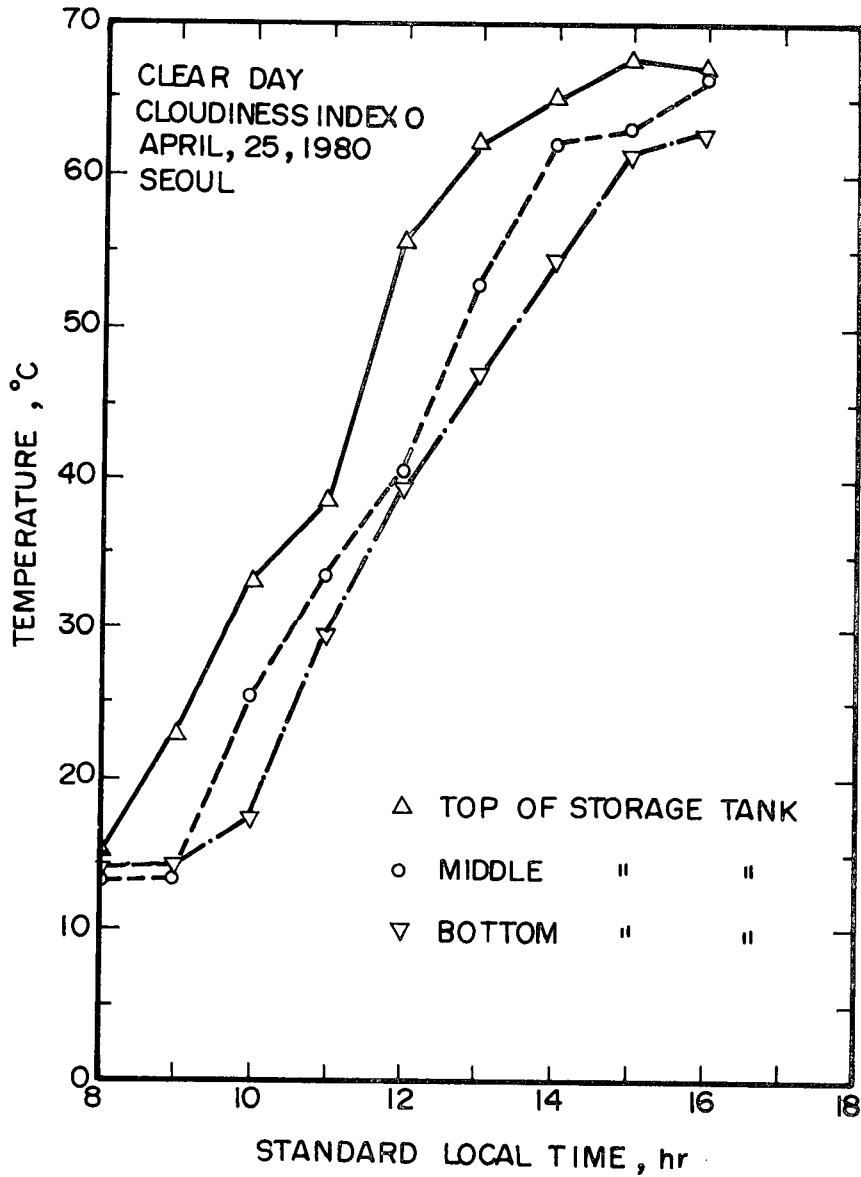


Fig. 5. Daily water temperature variation of the storage tank.

의 温水를 供給할 수 있는 太陽熱温水器를 設計 製作하여 서울 近郊의 野外에서 그 性能을 實驗한 結果는 다음과 같다.

1) 標準 給湯溫度인 55°C의 温水를 저녁에 한꺼번에 使用하는 境偶에 서울 地方에서의

열사이폰式 太陽熱温水器의 適正 規格은 集熱面積 3~4㎡과 180l~200l의 標準容量에 약간의 餘有를 둔 250l 程度의 蓄熱槽가 適合하다.

2) 小型 熱사이폰式 太陽熱温水器의 集熱

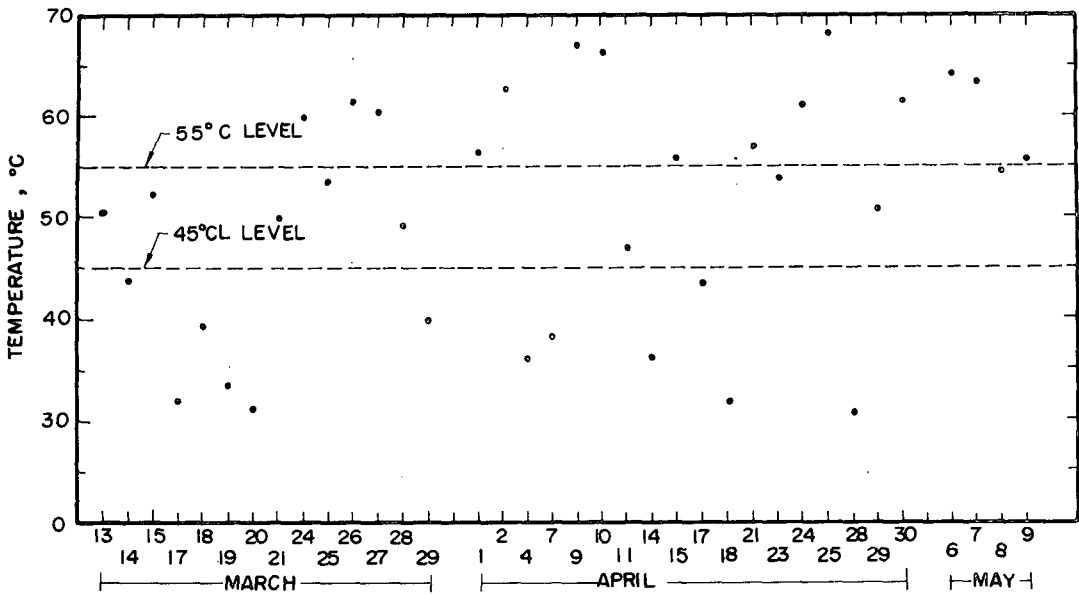


Fig. 6. Temperature distribution of hot water at 4 P.M.

기의 透明덮개는 1 枚가 좋다.

3) 午後 3 時頃부터 集熱器의 流, 出入口의 溫度差가 減少하기 始作하여 Table. 3에서 보인 바와 損失熱量이 急激히 增加하므로 16 時頃에 作動을 中止시켜야 한다.

4) 熱사이폰式 太陽熱溫水器에서는 蓄熱槽 內의 流體는 거의 混合되지 않는다.

따라서 集熱器 流, 出入口의 流體의 溫度差를

크게 하여서 시스템의 性能을 增加시키려면 蓄熱槽의 細長比는 可能한 限 크게 하는 것이 좋다.

後 記

本 研究는 1979 年度 峨山社會福祉事業財團의 研究費 支援의 一部로 이루어 졌으며 峨山社會福祉事業財團의 研究費 支援에 對하여 感謝를 表한다.

參 考 文 獻

1. J.I. Yellot and R. Sobotka, An Investigation of Solar Water Heating Performance ASHRAE Trans., Vol. 70, pp. 425-433, 1964
2. D.J. Close, The Performance of Solar Water Heaters with Natural Circulation, Solar Energy, Vol. 6, pp. 33-40, 1962
3. C.L. Gupta and H.P. Garg, System Design in Solar Water Heaters with Natural Circulation, Solar Energy, Vol. 12, pp. 163-182, 1968
4. K.S. Ong, A Finite-Difference Method to Evaluate the Thermal Performance of a Solar Water Heater, Solar Energy, Vol. 16, pp. 137-147, 1974
5. K.S. Ong, An Improved Computer Program for the Thermal Performance of a Solar Water Heater, Solar Energy, Vol. 18, pp. 183-191, 1976

6. A. Shitzer, D. Kalmanoviz, Y. Zvirin and G. Grossman, Experiments with a Flat Plate Solar Water Heating System in Thermosyphonic Flow, Solar Energy, Vol. 22, pp. 27-35, 1979
7. J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Energy Thermal Processes, John Wiley & Sons, New York, 1974
8. 金斗千, 韓國의 快晴日의 日射量資料 算出과 그 利用, 空氣調和·冷凍工學, 第8卷 第4號, 1979
9. R. N. Morse and D. J. Close, Solar Water Heating, Chapt. XI, Application of Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings, ASHRAE GRP 170, ASHRAE New York, 1977
10. 金斗千, 太陽熱 集熱器의 最適傾斜角에 關한 研究, 陸士 論文集 第十六輯, 1977
11. 金斗千, 朴勝德, 自然循環 太陽熱 温水加熱器의 性能, 陸士 論文集 第十八輯, 1978