

多段二次元 集光式 太陽熱 集熱器 開發에 關한 研究

Development of Multistage Concentrating Solar Collector

I. 多段二次元 集光式 太陽熱 集熱器의 熱的 性能分析

I. Thermal performance of multistage cylindrical parabolique concentrating solar collector

宋 鉉 甲*
(Song, Hyun Kap)

ABSTRACT

It is desirable to collect the solar thermal energy at relatively high temperature in order to minimize the size of thermal storage system and to enlarge the scope of solar thermal energy utilization.

In this study, to develop a solar collector that has both advantages of collecting solar thermal energy at high temperature and fixing conveniently the collector system for long term period, a cylindrical parabolique concentrating solar collector (M.C.P.C.S.C) was designed, which has several rows of parabolique reflectors and thin thickness such as the flat-plate solar collector, maintaining the optical form of concentrating solar collector.

The thermal performance of the M.C.P.C.S.C. newly designed in this study was analysed theoretically and experimentally.

The results are summarized as follows:

- 1) prediction equation for outlet temperature, T_o , of heat transfer fluid and for the thermal efficiency, η , of the collector were derived as;

$$T_o = [C + B \ln(\frac{I_c(t)}{\rho \nu^3})] T_i$$

$$\eta = \frac{A}{A_c} \dot{m} [(C-1) + B \ln(E \cdot di^6 \frac{I_c(t)}{\dot{m}^3})] \frac{T_i}{I_c(t)}$$

- 2) When the insolation on the tilted solar collector surface, I_c , was $900 - 950 \text{ W/m}^2$ and the heat transfer fluid was not circulated in tubular absorber, the maximum temperature on the absorber surface was $100 - 118^\circ\text{C}$, this result suggested that the heat transfer fluid could be heated up to $98 - 116^\circ\text{C}$.

The maximum temperature on the absorber surface was decreased with the increase of the collector shape factor, L_p/L_w

* 正會員：忠北大學校 農業機械科

● 本 研究는 韓國科學財團의 研究費 支援으로 遂行된것임.

- 3) There was a good agreement between the experimental and theoretical value of solar collector efficiency, η , which was proportional to the collector shape factor, L_p/L_w .
- 4) It is desirable to continue the study on the relationship between the collector shape factor, L_p/L_w , and the thermal efficiency of solar collector.

記號說明

- A : $\frac{C_p}{3600}$, E : 2.256×10^4
- A_c : 太陽熱 集熱器의 集熱面積(m^2)
- AH : 太陽時間角(degree)
- B, C : 數式에 사용된 常數
- C_g : 幾何學的 集光比
- C_p : 定壓比熱(Kcal / $kg^\circ K$) [$L^2 T^{-2} t^{-1}$]
- d_i : 熱媒體 循環파이프 內徑(cm)
- e : $\frac{I_{HD}}{I_{HS}}$: 地表 水平面 散亂太陽強度와 地表 水平面 直射太陽強度와의 比
- f : 拋物 反射曲面의 軸점거리
- h : 太陽高度角(degree)
- i : 集熱面 法線과 太陽直射光이 이루는 入射角 (degree)
- I_c : 集熱器를 向日調節하지 않을 경우의 集熱 傾斜面上的의 太陽強度(W/m^2) [MT^{-3}]
- $I_{c, full}$: 集熱器를 完全 向日調節한 경우의 集熱 傾斜面上的의 太陽強度(W/m^2)
- $I_{c, fix}$: 固定設置된 集熱器 傾斜面에서의 太陽 強度(W/m^2)
- $I_c(t)$: 集熱器 傾斜面에서의 瞬間太陽強度 (W/m^2)
- I_D : 地表面에서의 直射太陽強度(W/m^2)
- I_H : 地表 水平面에서의 全太陽強度(W/m^2)
- I_{HD} : 地表 水平面에서의 直射太陽強度(W/m^2)
- I_{HS} : 地表 水平面에서의 散亂太陽強度(W/m^2)
- I_{HSC} : 空中장애물에 의한 散亂太陽強度 (W/m^2)
- I_{HSE} : 地面장애물에 의한 散亂太陽強度 (W/m^2)
- K : 熱媒體의 熱傳導率($W/m^\circ C$) [$MLT^{-3}t^{-1}$]
- L_p : 受熱파이프의 길이(m) [L]
- L_w : 拋物 反射曲面의 開口幅(m) [L]
- \dot{m} : 循環熱媒體의 體積流量(ℓ/hr)
- T_i : 集熱器의 熱媒體 入口溫度($^\circ K$) [T]
- T_o : 集熱器의 熱媒體 出口溫度($^\circ K$) [T]
- V : 受熱파이프內 熱媒體流速(m/sec) [LT^{-1}]
- δ_r : 許容偏角, θ_{max} : 림각(Rim angle)
- ρ : 熱媒體의 密度(kg/m^3) [ML^{-3}]
- μ : 熱媒體의 黏性係數($kg/m \cdot sec$) [$ML^{-1}T^{-1}$]

1. 緒 論

經驗적으로 確立된 熱力學 第二法則에서 提示 하고 있는 바와 같이 熱은 高溫體에서 低溫體로 傳達되므로 低溫의 熱을 高溫으로 利用할 수 없으나, 高溫의 熱은 低溫으로 利用할 수 있다.

그러므로 太陽熱을 가능한 限 高溫으로 集熱, 貯藏하므로써 利用範圍가 넓어짐은 勿論이고, 熱貯藏施設規模도 縮小할 수 있는 長點을 갖는다.

A. Rabl, J. O'Gallagher, and R. Winston⁶⁾은 複合 拋物反射曲面으로 된 二次元 集光式 太陽熱 集熱器(Compound Parabolic Concentrator : CPC)에 關한 研究에서 集光 比가 1.5 X인 경우의 光學的 效率은 71%였고, 集熱器(CPC) 最大熱效率 η_{max} 은 65~68%인 것으로 分析하였으며, 이 경우에 集열 角 傾斜각 조절은 效率에 큰 影響을 주지 않는

다고 밝히고 있다. 또한 값싼 反射板 材料로는 알루미늄으로 鍍金된 플라스틱板을 추천하였다.

C.K.Hsieh⁵⁾는 複合 拋物 反射 曲面으로 된 二次元 集光式 太陽熱 集熱器의 熱的 分析에서 太陽熱 集熱器의 熱效率 η 는 反射板의 反射率 ρ , 덮개유리의 光투과율 τ 과 受熱파이프의 熱吸收率 α 의 영향을 크게 받는데 反하여 集熱器 作動條件에는 크게 영향을 받지 않는다고 밝히고 있으며, 集光비가 큰 CPC 집열기는 散亂太陽強度(Diffuse Radiation)가 큰 곳에서는 사용하지 않는 것이 바람직하다고 하였다.

Ugur Ortabasi, and Francis P.Fehlner⁷⁾는 眞空유리管內에 두곡선을 교차시켜 만든 거울(Cusp mirror)로된 複合 拋物 反射板에 의한 히트파이프(heat pipe) 太陽熱 集熱器와 眞空유리管內에 銅으로 된 吸熱板을 넣어 만든 히트파이프 集熱器를 比較한 研究에서 太陽強度와 熱媒體溫度差와의 비인 $\frac{\Delta T}{I_c}$ 의 값이 큰 경우에는 複合 拋物 反射曲面으로 된 히트파이프가 集熱效率이 컸으며, 反面에 $\frac{\Delta T}{I_c}$ 의 값이 적은 경우에는 平板型 吸熱板으로 된 히트파이프가 集熱效率이 높다고 하였다. 이와 같은 결과는 히트파이프 集熱器에서도 集光形態로 된 集熱器는 高溫集熱에 適合하고 平板形으로 된 集熱器는 低溫集熱에 適合함을 證明하고 있는 것이라 할 수 있다.

本 研究에서는 施設農業이나 겨울철 暖房에 太陽熱을 값싸고 便利하게 利用할 수 있도록 光學的으로는 集光型으로 하여 比較的 高溫集熱로 熱貯藏施設規模를 縮小可能하게 하고, 外形적으로는 平板型 集熱器와 같이 두께를 얇게 하여 設置利用을 便利하게 할 目的으로 集熱器의 內的 構造인 拋物 反射曲面을 1, 2, 或은 4 줄로 하여 多段二次元 集光式 集熱器를 構成·製作하였다.

이와 같이 構成, 製作된 集熱器의 熱的 性能 特性을 次元解析法에 依하여 豫測하고, 實驗적으로 分析하여 集熱器 效率提高에 影響을 주는 主要因을 究明함으로써 效率 높은 太陽熱 集熱器를 開發하는 데 必要한 資料와 方案을 提示 하려 하였다.

2. 實驗遂行地域의 太陽強度分析

本 研究에서 考案, 製作한 多段 拋物 反射曲面으로 된 二次元 集光式 太陽熱 集熱器의 熱的 性能分析을 爲하여 實驗遂行地域의 水平面 全太陽強度 I_H 와 散亂太陽強度 I_{HS} 및 集熱 傾斜面 太陽強度 I_c 를 測定하였으며, 太陽強度分析의 正確을 기하기 위하여 I_H 와 I_{HS} 를 근거로 I_c 를 다시 理論적으로 計算하였다.

集熱器를 正南向으로 固定하고, 또한 向日調節하면서 實驗하였으며, 이들 各 경우에 對한 I_c 計算을 위하여 유도한 式은 다음과 같다.

• 向日調節의 경우 :

$$I_{c \cdot full} = I_{HS} \left(1 + e \frac{1}{\sinh} \right) \dots \dots \dots (1)$$

• 正南向으로 固定設置한 경우 :

$$I_{c \cdot fix} = I_{HS} \left(1 + e \frac{\cos i \cdot \cos AH}{\sinh} \right) \dots \dots (2)$$

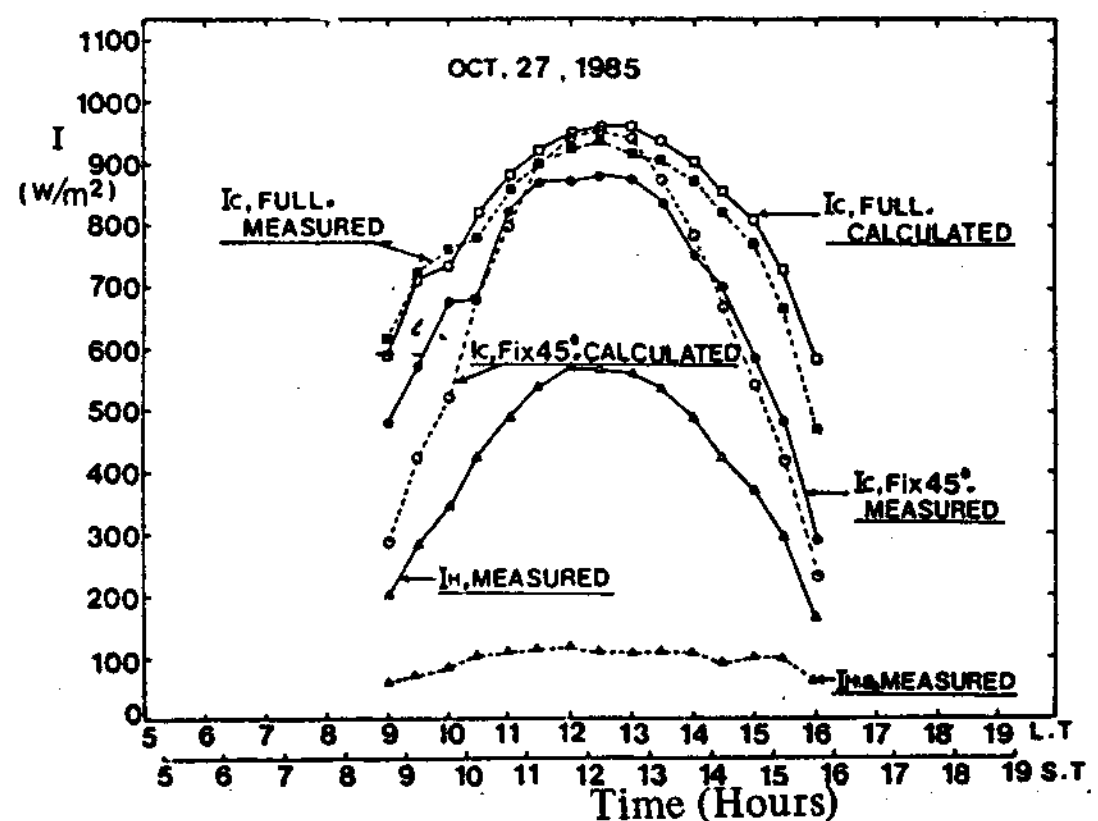


Fig. 1. Diurnal variation of solar global radiation on the horizontal and tilted surface and diffuse solar radiation.

(L.T. = Legal time)
(S.T. = Solar time)

Fig.1은 (1)과 (2)式으로 計算된 $I_{c \cdot full}$, $I_{c \cdot fix}$ 와 實測한 I_H , I_{HS} , $I_{c \cdot full}$, $I_{c \cdot fix}$ 에 對한 實驗 遂行地域인 淸州地方의 太陽強度에 對한 하나의 例이다.

3. 多段 拋物 反射曲面으로 된 二次元 集光式 太陽熱 集熱器 構成

太陽熱을 可能한 限 高溫으로 集熱하여 貯藏하는 것이 使用에 便利하다. 이와같은 條件에 接近하면서 設置利用에 便利한 集熱器를 만들기 爲하여 光學的으로는 集光式으로 比較的 高溫集熱을 可能하게 하고, 外形的으로는 平板型 集熱器와 같이 두께를 얇게하기 爲하여 여러줄의 拋物 反射曲面으로 된 多段 二次元 集光式 集熱器를 이 研究에서 다음과 같은 方法으로 새로이 構成製作하였다.

3-1. 集熱器 性能에 미치는 光學的 및 構造的 要因分析

拋物 反射曲面으로 된 二次元 集光式 集熱器 性能에 미치는 光學的 및 構造的 要因은 集光比 $C_g = \frac{L_w}{\pi d}$, 口徑比 $D = \frac{L_w}{f}$, 許容偏角, δ_r , 림각(Rim Angle) θ_{max} , 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w}$ 와 受熱 파이프의 直徑 d , 등이다. 이들 構造的 要因들의 適當한 組合으로 이루어지는 拋物 反射曲面的 斷面要素는 Fig.2와 같으며, 이斷面의 윤곽曲線은 拋物線의 特性에 의하여 다음과 같은 式으로 表示된다.

$$y = \frac{x^2}{4f} \dots\dots\dots (3)$$

集熱性能을 提高하고 比較的 高溫集熱을 爲해서는 幾何學的 集光比를 最大로 하여야 하므로 最大集光比인 $C_{gmax} = \frac{L_w}{\pi d_{min}}$ 의 關係를 근거로 Fig.2에 表示된 構造的 要因들 間의 函數關係⁹⁾를 求하면 다음과 같다.

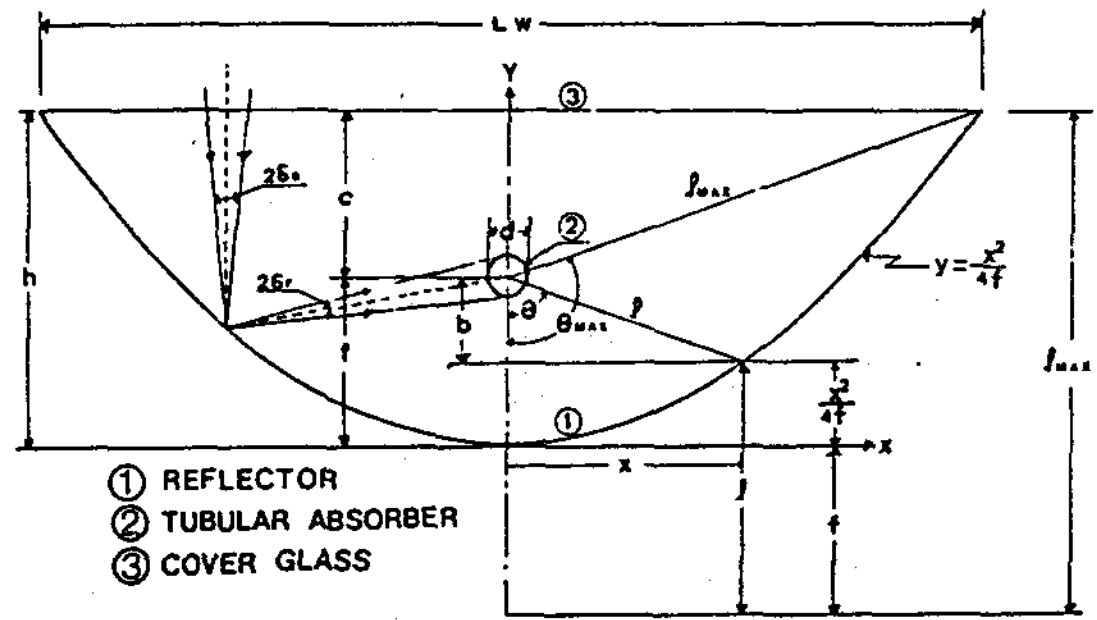


Fig. 2. Cross section of cylindrical parabolic concentrating solar collector (C.P.C.S.C)

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{L_w}{D} \\ d_{min} &= 2\left(f + \frac{L_w^2}{16f}\right) \sin \delta_r \\ C &= \frac{D}{16}L_w - f \\ h &= \frac{D}{16}L_w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

여기서, 幾何學的 集光比, C_g 가 最大인 條件에서 最適口徑比, D 는 $4\sqrt{3}$ ⁹⁾이 되므로 (4)式을 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} f &= 0.1443 L_w \\ d_{min} &= 0.02 L_w \\ C &= 0.2887 L_w \\ h &= 0.433 L_w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

3-2. 集熱器 斷面要素의 치수決定

集熱面積 $A_c = 1.8 \times 0.84 = 1.512 m^2$ 로 決定하고, 이를 근거로 拋物 反射曲面的 開口幅을 $L_{w1} = 0.84 m$, $L_{w2} = 0.42 m$ 그리고 $L_{w3} = 0.21 m$ 의 三段階로 變化시켜 앞에서 유도한 (5)式에 代入하므로서 1, 2 혹은 4줄로 된 3개의 集熱器 斷面치수를 決定하였다. 이와 같이 決定한 集熱器 斷面要素의 치수는 Table 1과 같고, 이를 근거로 本 研究에서 設計製作한 集熱器의 外形은 Fig.3과 같다. 反射曲面이 1줄로 된 集熱器를 一段, 2줄로 된 경우를 二段, 4줄로 된 경우를 四段이라 하였으며, 이와 같이 여러 段으로 된 集熱器를 이 研究에서 多

Table 1. Dimensions of multistage cylindrical parabolic concentrating solar collector designed in this study.

Items	Symbole	Unit	Dimensions		
			Single row	Double rows	Quadruple
Geometric Concentration Ratio	C_g	None	22.3	11.15	5.57
Diameter of Tubular absorber pipe	d_o	mm	31	21	21
Total Aperture Area	A_c	m^2	$1.8 \times 1.8 = 1.512$	1.512	1.512
Gross Depth of Solar Collector	h_g	m	0.27	0.175	0.16
Gross Length of Solar Collector	L_c	m	1.88	1.88	1.88
Gross Width of Solar Collector	W_c	m	0.96	0.96	0.96
Gross Area of Solar Collector	A_g	m^2	$1.88 \times 0.96 = 1.805$	1.805	1.805
Total Length of Tubular Absorber Pipe	L_p	m	1.8	3.6	7.2
Inside Diameter of absorber pipe	d_i	mm	29	19	19
Top Width of Parabolic Reflector	L_w	m	0.84	0.42	0.21
Shape Factor of Solar Collector	L_p/L_w	None	2.14	8.57	34.29
Focus length	f	mm	121.2	60.6	30.3
Distance between Focus and Cover Glass	C	mm	242.5	121.3	60.6
Thickness of Cover Glass	D_c	mm	3	3	3
Depth of Insulation (Urethane)	D_s	mm	5	5	5
Thickness of Parabolic Reflector (Polished Stainless)	D_{pr}	mm	0.6	0.6	0.6

4. 次元解析에 의한 集熱器의 熱效率, η , 豫測

太陽熱 集熱器의 熱效率은 構造的 要因, 熱媒體의 物理的 性質과 氣象的 要因 등에 依하여 支配된다. 이와 같은 複合要因들에 依한 集熱器 效率을 考慮한다는 것은 대단히 複雜하기 때문에 本 研究에서는 이 要因들을 無次元項으로 만들어 簡單化하고, 이들 無次元項과 集熱器 效率과의 關係를 實驗的으로 맺어주므로서 集熱器 效率을 豫測할 수 있도록 하였다.

4-1. 熱媒體 出口溫度, T_o 에 對한 無次元 項 分析

本 研究에서 製作한 集熱器의 熱媒體 出口溫度 T_o 에 影響을 주는 主要 要因을 整理하면 다음과 같다.

$$T_o = f(L_w, L_p, V, \rho, \mu, K, C_p, T_i, I_c) \dots \dots \dots (6)$$

여기서, 幾何學的 集光比 C_g 는 設計過程에서 最大集光比 C_{gmax} 을 考慮하여 一定하게 하였기 때문에 變數로 고려하지 않았다.

버킹함 파이 理論⁴⁾ (Buckingham - ham Pi theorem)에 依하여 (6)式을 無次元化 하면 다음과 같다.

$$\frac{T_o}{T_i} = f\left(\frac{L_p}{L_w}, \frac{L_w \cdot \rho \cdot V}{\mu}, \frac{\mu \cdot C_p}{K}, \frac{C_p \cdot T_i}{V^2}, \frac{I_c}{\rho V^3}\right) \dots \dots \dots (7)$$

本 研究에서는 $T_o \doteq 25 \sim 80^\circ C$ 범위 內에 있게 되므로 熱媒體의 物理的 性質(ρ, μ, C_p, K)은 큰 變化가 없으므로 一定한 것으로 가정할 수 있으며, T_i, L_w, V 는 一定하게 維持되므로 (7)式의 6個 無次元項(Pi term),

$$\pi_1 = \frac{T_o}{T_i}, \quad \pi_2 = \frac{L_p}{L_w}, \quad \pi_3 = \frac{L_w \cdot \rho \cdot V}{\mu}, \quad \pi_4 =$$

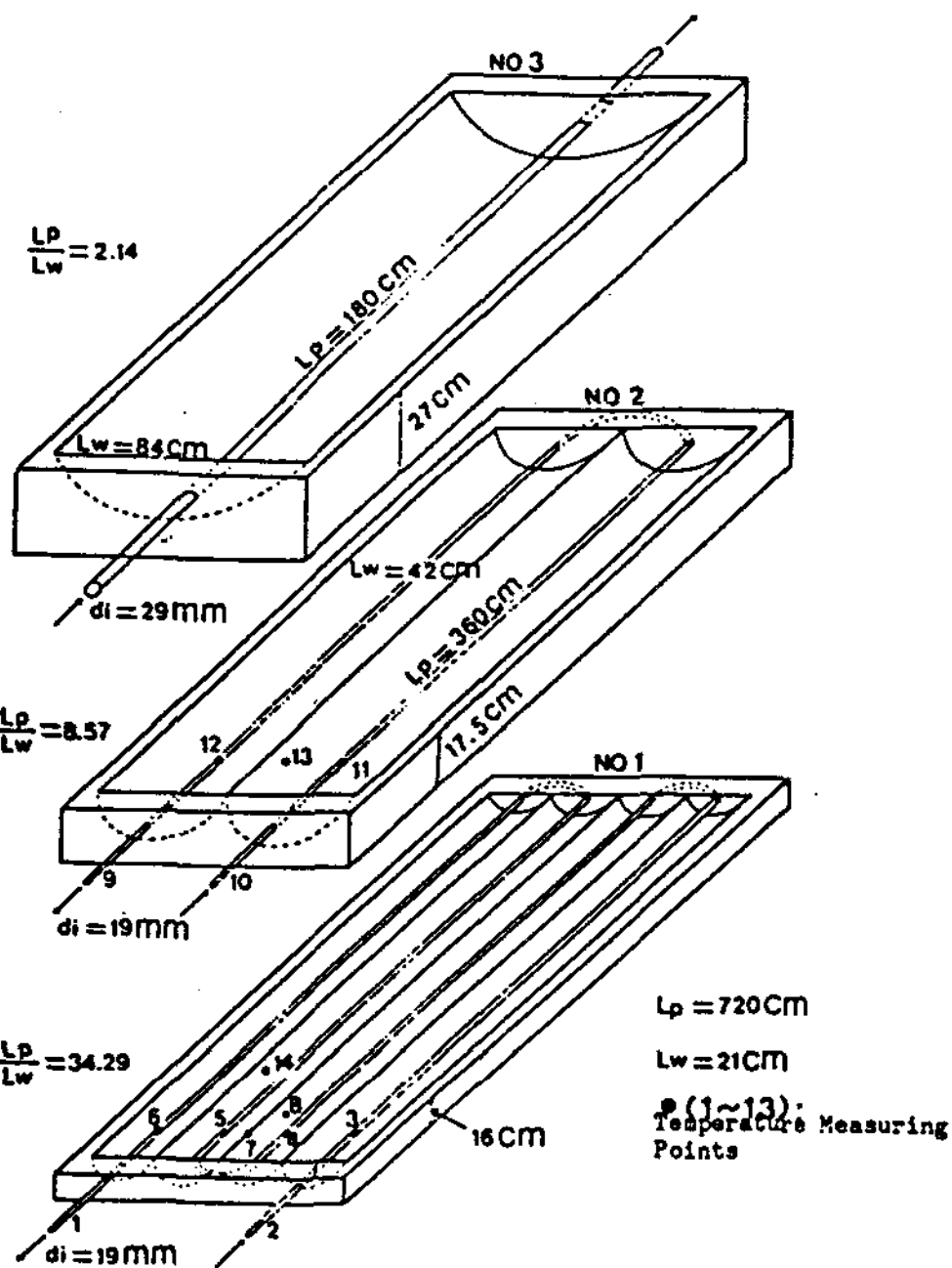


Fig. 3. Configuration of multistage cylindrical parabolic concentrating solar collector.

승현갑

$\frac{\mu \cdot C_p}{K}$, $\pi_5 = \frac{C_p \cdot T_i}{V^2}$, $\pi_6 = \frac{I_c}{\rho V^3}$ 中에 $\pi_3, \pi_4,$
 π_5 는 常數項으로 되어 (7)式은 다음과 같이 3
 個의 無次元項으로 된다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{T_o}{T_i} &= f\left(\frac{L_p}{L_w} \cdot \frac{I_c}{\rho V^3}\right) \\ \pi_1 &= f(\pi_2, \pi_6) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

4-2. 熱媒體 出口溫度, T_o 의 豫測

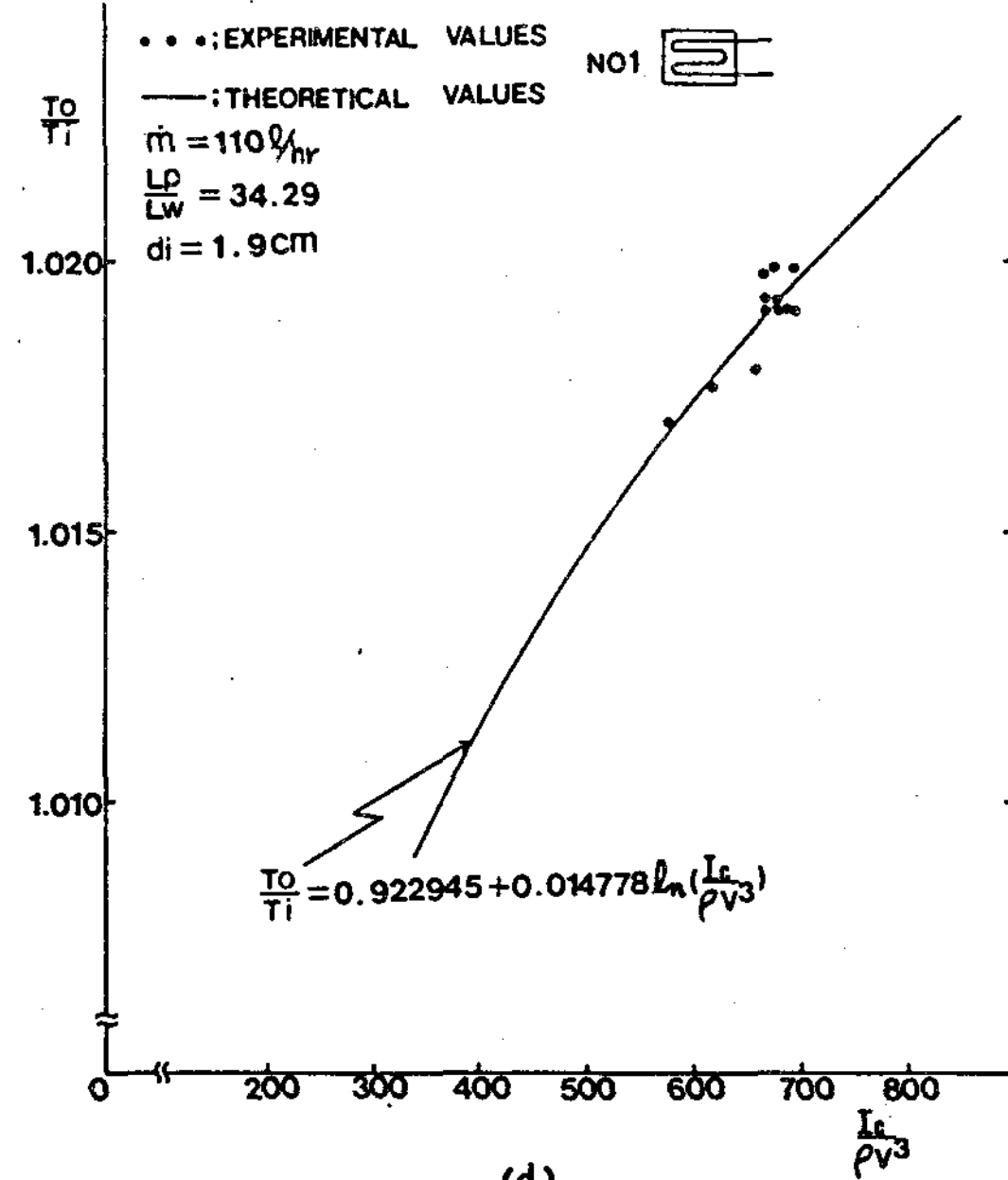
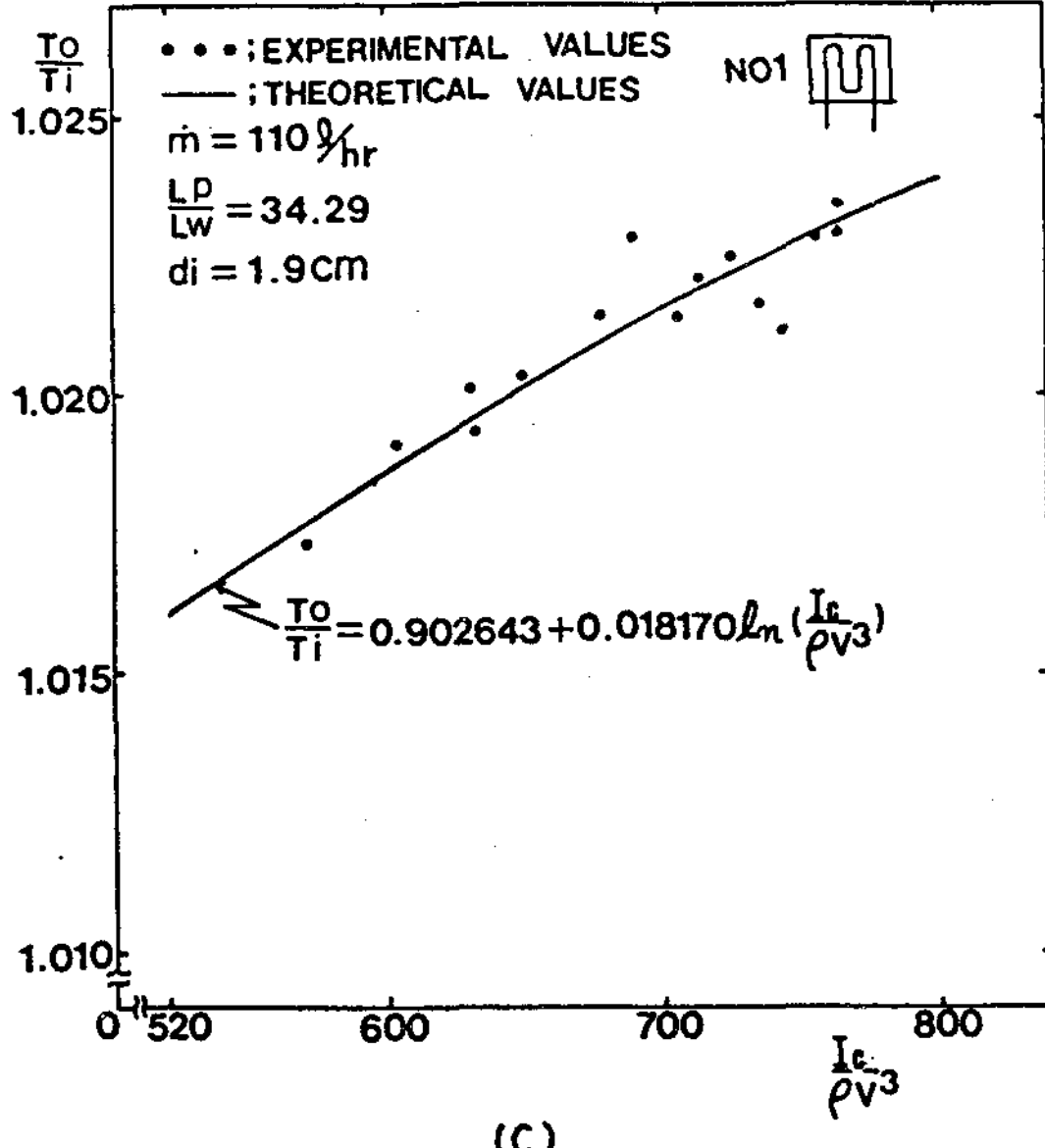
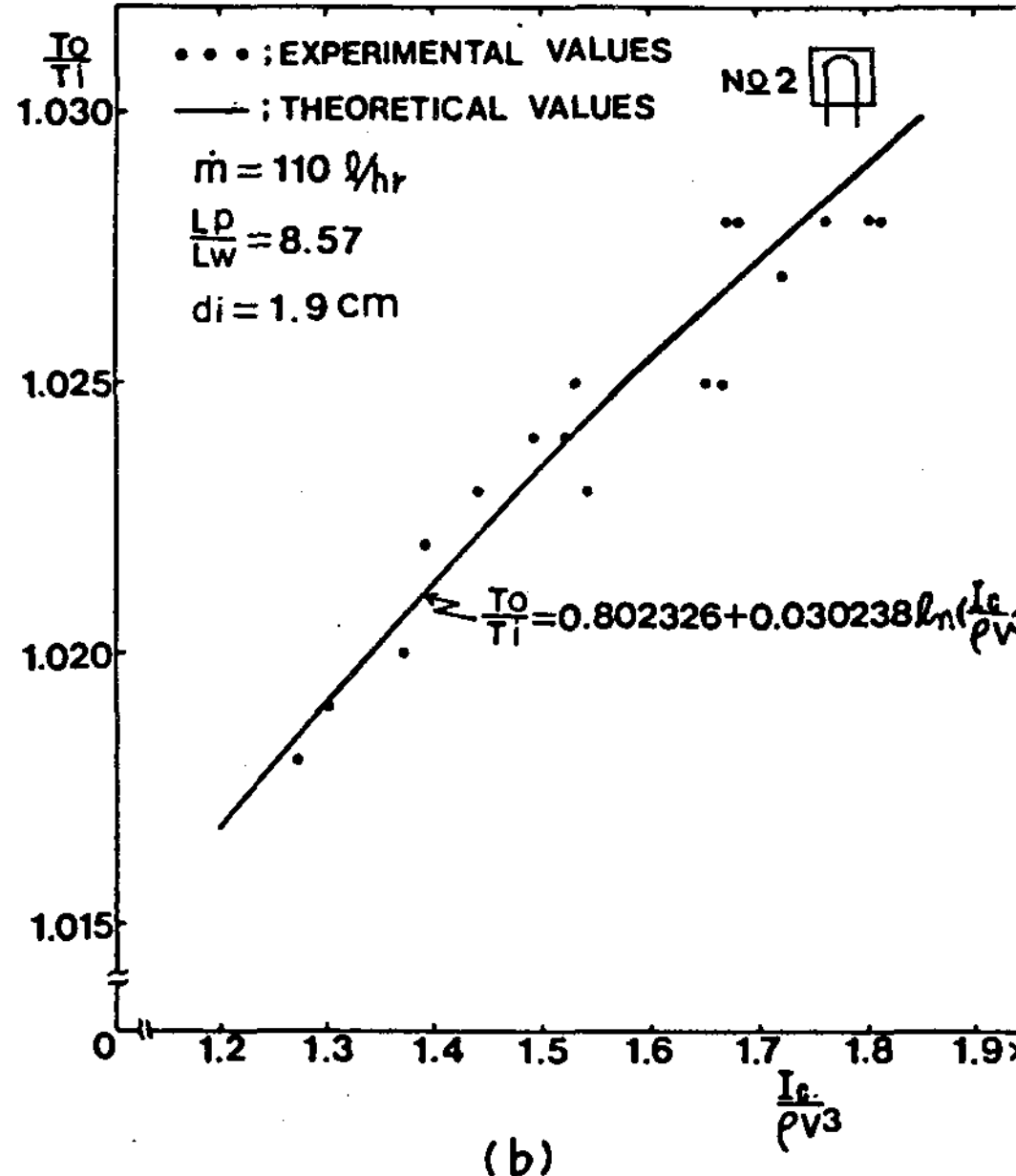
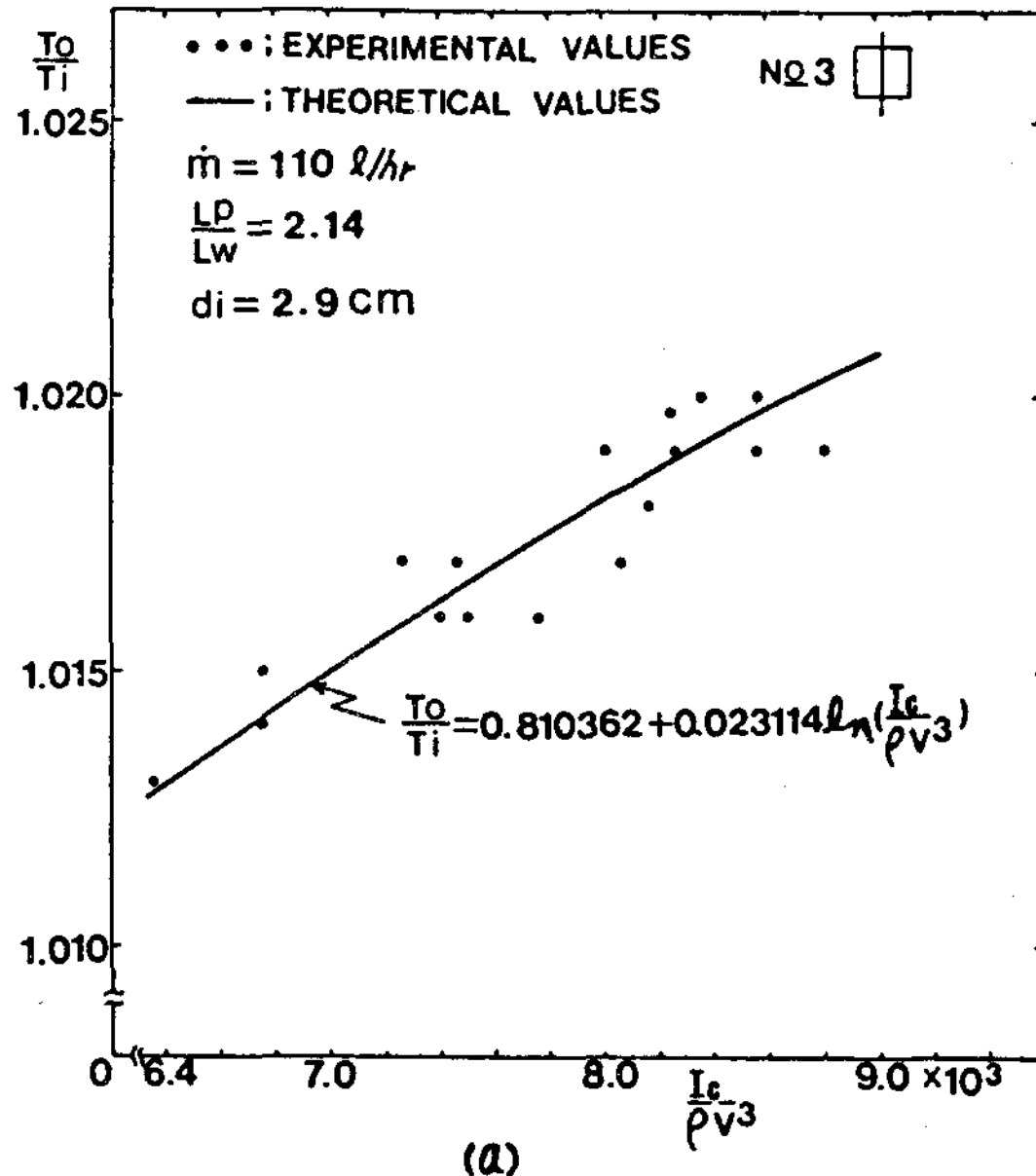


Fig. 4. (a), (b), (c), (d), Relationship between the Pi-terms $\frac{T_o}{T_i}$ and $\frac{I_c}{\rho V^3}$ in accordance with the value of L_p/L_w

$\pi_2 = \frac{L_p}{L_w}$ 의 값을 2.14, 8.75, 34.29 로 變
 化시켜 만든 1, 2 혹은 4 줄로 된 多段集光式
 集熱器를 中心으로 한 여러 가지 要因에 依하여
 無次元項 π_1 과 π_6 間의 關係를 해석하기 爲하

여 이들 집열기에 대한 열적 성능 실험을 하였으며, 그 결과를 Fig.4 (a), (b), (c), (d)에 표시하였다. $\pi_6 = \frac{I_c}{\rho V^3}$ 를 橫軸으로 하고, $\pi_1 = \frac{T_o}{T_i}$ 를 縱軸으로 한 Fig.4에 표시된 실험 결과에 대하여 回歸方程式을 求하므로서 π_1 과 π_6 間의 關係가 一般的으로 (9)式과 같은 對數函數 關係를 갖게 됨을 알 수 있었다. (Fig.4 (a), (b), (c), (d) 참고)

$$\pi_1 = C + B \ln \pi_6 \quad \dots\dots\dots (9)$$

無次元項으로 表示된 (9)式으로부터 T_o 에 關하여 整理하면 다음 式과 같이 되며 式中 常數 B, C는 實驗的 方法에 依하여 決定된다.

$$T_o = [C + B \ln(\frac{I_c(t)}{\rho V^3})] T_i \quad \dots\dots\dots (10)$$

4-3. 集熱器 效率, η 의 豫測

集熱器 熱效率에 關한 既存 計算式인 $\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A_c I_c}$ 에 理論 및 實驗的 方法으로 앞에서 유도한 (10)式을 代入하므로서 다음과 같은 集熱器 效率, η 에 關한 새로운 關係式을 얻게 된다.

$$\eta = \frac{A}{A_c} \cdot \dot{m} [(C-1) + B \ln(\frac{I_c(t)}{\rho V^3})] \frac{T_i}{I_c(t)} \quad \dots\dots\dots (11)$$

(11)式 中 熱媒體 流速, V를 流量, \dot{m} 으로 바꾸어 정리하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\eta = \frac{A}{A_c} \cdot \dot{m} [(C-1) + B \ln(E \cdot d_i^6 \cdot \frac{I_c(t)}{\dot{m}^3})] \frac{T_i}{I_c(t)} \quad \dots\dots\dots (12)$$

多段 二次元 集光式 太陽熱 集熱器의 熱效率, η 에 關한 豫測式을 次元 解析法에 依하여 (12)式과 같이 誘導하므로서 集熱器의 熱媒體 入口溫度 T_i , 流量 \dot{m} 과 集熱 傾斜面에서의 太陽強度 I_c 만의 測定으로 번거로운 실험없이 集熱器 效率 η 를 (12)式에 依하여 豫測할 수 있게 되었다. (Fig.10, 11 參考)

5. 實驗裝置 및 方法

5-1. 實驗裝置

本 研究에서 構成, 製作한 1, 2 혹은 4줄로된 多段 拋物 反射曲面의 二次元 集光式 太陽熱 集熱器(Fig.3 參考)의 熱的 性能에 關한 理論的 豫測結果를 實驗的으로 그 妥當性을 證明하기 爲하여 集熱器 性能實驗裝置를 Fig.5와 같이 構成하였다.

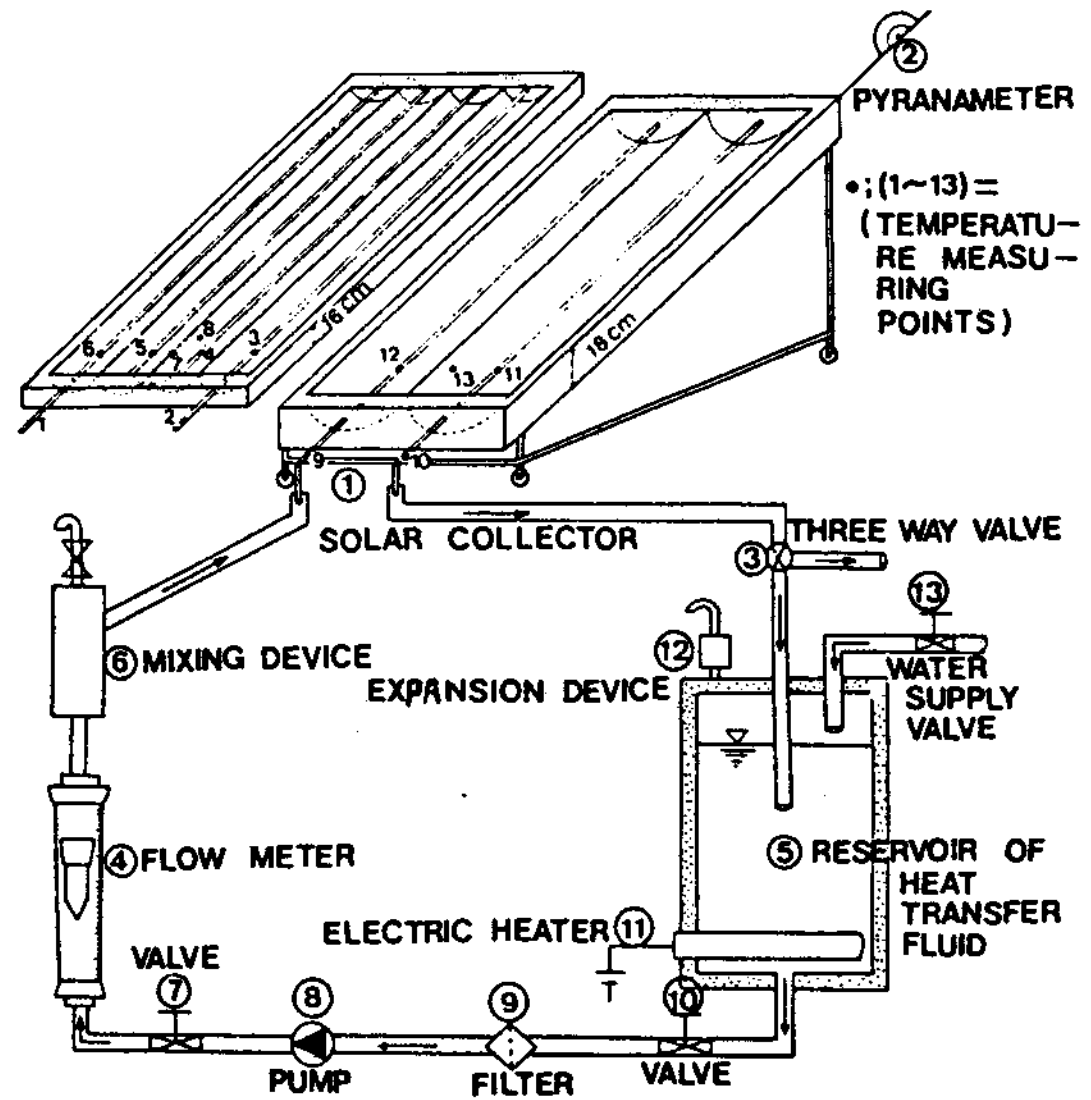


Fig. 5. Experimental equipment for the solar collector performance test (Transfer fluid is water)

5-2. 實驗方法

多段 二次元 拋物 反射曲面으로 製作한 集熱器의 熱的 性能特性을 實驗하기 爲하여 먼저 集熱器를 5分 間隔으로 人爲的으로 向日調節하였고, 다음에는 實際的 利用을 考慮하여 淸州地方의 年中 適正 傾斜角인 $\beta \approx 45^\circ$ 에 맞추어 正南向으로 集熱器를 固定設置하여 實驗하였다.

그리고 集熱器를 縱으로 세우거나, 橫으로 놓히는 경우에 따라 달라지는 集熱器의 熱的 性能을 比較하기 爲하여 集熱器 自體의 固定을 縱과 橫方向으로 變化시켰다. (Table 2. 참고)

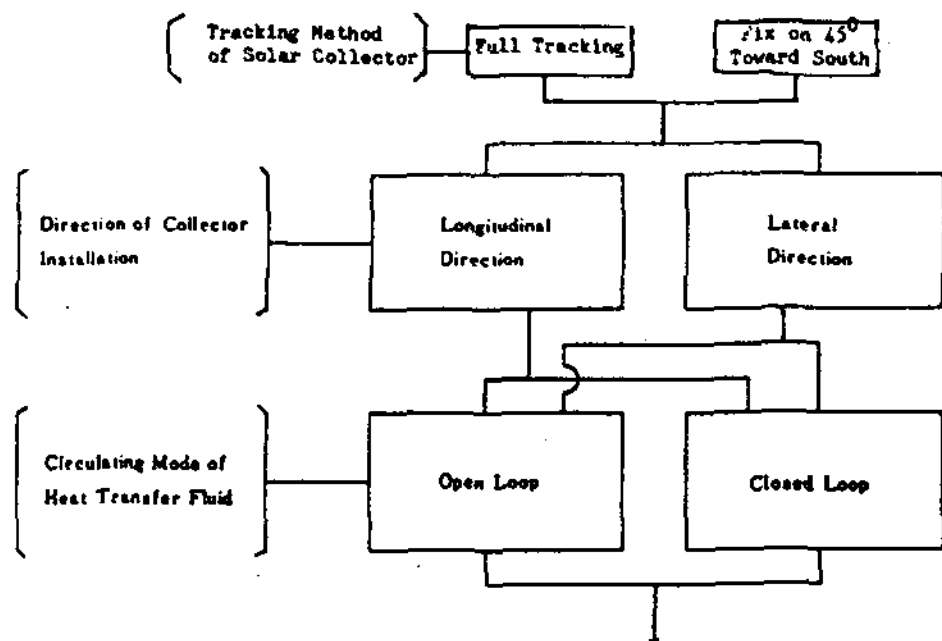
이때 熱媒體 循環은 開放系와 閉鎖系로 하였으며, 流量 \dot{m} , 溫度 T_o , 그리고 太陽強度

1. 測定은 15分 間隔으로 하였다.

一次 實驗은 1984年 10月 1日부터 11月 3日까지 施行하였으며, 二次 實驗은 1985年 10月 2日에서 11月 30日까지 施行하였다.

이상과 같은 集熱器 性能實驗을 爲한 變數要因들 間의 組合은 Table 2와 같으며, 實驗誤差를 줄이기 위하여 3個月間 反復實驗하였다.

Table 2. Combination of Experimental Variables



Items of Measurement	Symbols	Variable Range	Unit	Measuring Apparatus	Others	
Incident Solar Radiation on the Solar Collector Surface	I_c	600-1000	W/m ²	Pyranometer	Computed with Horizontal Insolation	
Control of Collector Angle	Vertical	B	43-73	Degree	Newly Composed Tilt Angle Measuring Apparatus	Based on the Principle of Direct Solar Beam and Gravitational Force
	Horizontal	AH	-45 ~ +60	Degree	Angle Measuring Apparatus	
Flow Rate of Heat Transfer Fluid	\dot{M}	110	L/h	Flow Meter (Float Type)	Measuring Range : (31-150L/h) Accuracy : 0.5L/h	
Inlet Temperature of Heat Transfer Fluid	T_i	10 ~ 25	°C	Copper-Constantan Thermocouple	Measuring Range (0-200°C)	
Outlet Temperature of Transfer Fluid	T_o	15 ~ 70	°C	Copper-Constantan Thermocouple	-	
Ambient Temperature	T_a	12-25	°C	Thermometer	Under Shade near Solar Collector	

6. 實驗結果 및 考察

本 研究에서 考案 製作한 多段 二次元 集光式 太陽熱 集熱器의 熱的 性能特性을 究明하기 爲한 理論的 및 實驗的 分析結果를 考察하면 다음과 같다.

6-1. 集熱器 效率에 관한 理論式 誘導

集熱器 效率에 영향을 주는 主要 要因을 추출하여 次元解析法으로 無次元項을 誘導하였고,

이들 無次元項들 間의 函數關係를 實驗的 方法으로 誘導하였다. Fig.4 (a), (b), (c), (d)는 集熱器의 形狀係數인 $\frac{L_p}{L_w}$ 를 2.14, 8.75, 34.29

로 變化시켜 無次元項 $\pi_1 = \frac{T_o}{T_i}$ 과 $\pi_6 = \frac{I_c}{\rho V^3}$ 間의 關係를 實驗的으로 分析한 結果이다. $\frac{L_p}{L_w}$ 變

化에 따른 모든 경우의 實驗結果는 對數函數關係로 分析되었으며, 이때 회귀곡선과 實驗結果 間의 상관계수는 0.80 ~ 0.85 이었다.

이와 같이 實驗結果가 回歸曲線上에 密度있게 接近하지 못한 것은 實驗的 오차에 기인한 것으로 판단되었다. 이와 같은 實驗的 方法으로 分析된 π_1 과 π_6 間의 函數關係를 근거로 集熱器 效率에 관한 理論式을 誘導하게 되므로 無次元項 間의 函數關係를 정밀도 높게 求하여야 한다.

그러므로 보다 精確한 반복 實驗을 通하여 無次元項 間의 函數關係를 具體化해 주고 있는 常數, B와 C를 精確히 分析해야 할 것으로 판단되었다. ((11)(12)式 參考)

6-2. 集熱器內 各部位의 溫度分布

本 研究에서 製作한 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w} = 34.29$ 인 集熱器(No.1)와 $\frac{L_p}{L_w} = 8.57$ 인 集熱器(No.2) 內 主要部位의 溫度分布를 熱媒體 循環方法에 따라 測定分析한 結果 Fig.6과 같다.

集熱傾斜面 太陽強度 I_c 가 900 ~ 950 W/m²에서 受熱파이프에 熱媒體가 循環하지 않는 $\dot{m} = 0$ 인 경우 $\frac{L_p}{L_w} = 34.29$ 인 集熱器(No.1)에서는 受熱파이프의 最高表面溫度, $T_{max} = 100$ °C였으며, 같은 條件에서 $\frac{L_p}{L_w} = 8.57$ 인 集熱器(No.2)에서는 受熱파이프의 最高表面溫度 $T_{max} = 118$ °C였다. 이와 같은 結果는 集熱媒體를 最高 98 °C와 116 °C까지 加熱할 수 있음을 시사해 주었다. 즉, 集熱器 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w}$ 가 큰 경우일수록 熱媒體 加熱最高溫度는 낮아짐을 보

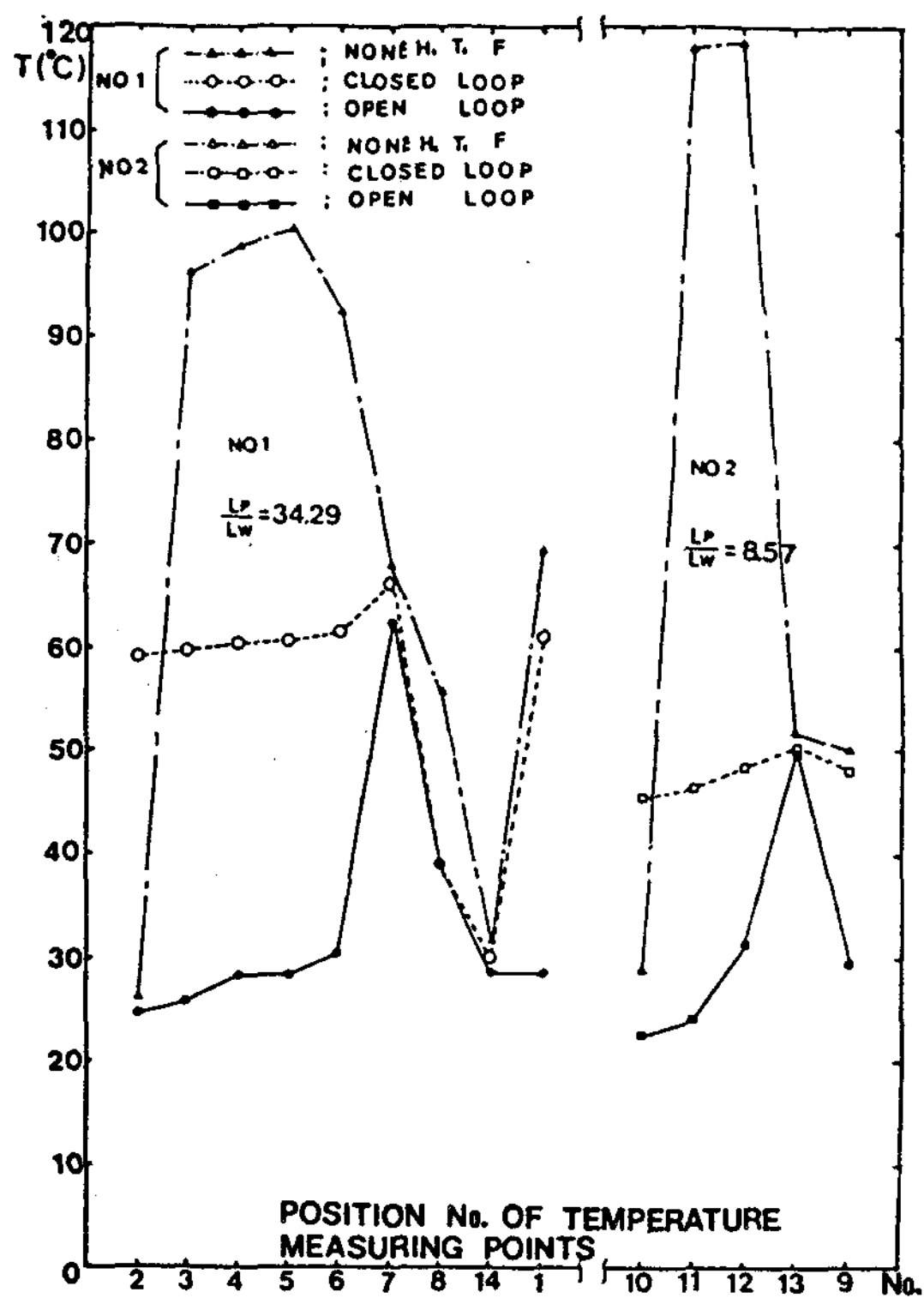


Fig. 6. Temperature variation on the important parts of solar collector (M.C.P.C.S.C.)

여 주었다. (Fig.6 參考)

受熱파이프에 熱媒體가 循環하는 경우에는 拋物 反射曲面의 表面溫度가 가장 높았으며, 다른 部位의 溫度보다 約 20°C ~ 30°C 높게 나타났다.

이와 같이 反射曲面 溫度가 높은 것은 集熱器의 熱損失 要因이 되므로 可能한 限 이 部分의 溫度上昇을 억제하기 爲한 集熱器의 構造的 改善이 必要하다.

6-3. 太陽強度에 따른 熱媒體 出口溫도와 集熱量 變化

集熱器의 熱媒體 出口溫度 T_o 와 單位面積 當 集熱量 Q 는 太陽強度 I_c , 熱媒體 流量 \dot{m} 과 集熱器 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w}$ 에 크게 影響을 받고 있음을 實驗을 通하여 알 수 있었다. (Fig. 7 참고)

$\frac{L_p}{L_w} = 2.14$ 인 集熱器(No.3)의 경우, 集열경 사면 太陽強度 $I_c = 890 \sim 1020 \text{ W/m}^2$ 이었으며, 熱媒體流量 \dot{m} 이 50 l/hr 에서 70 l/hr 로 유량차 $\Delta\dot{m}$ 이 20 l/hr 로 될때, 熱媒體의 出口溫度差, ΔT_o 는 2.2°C 였고 單位時間當, 單位面積當 集熱量 $\dot{Q} = 430 \text{ W/m}^2$ 로 熱媒體 流量差 $\Delta\dot{m} = 20 \text{ l/hr}$ 에 의한 集熱量差는 거의 없었다.

이상과 같은 條件에서 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w} = 34.29$ 인 集熱器(No.1)의 熱媒體 出口溫度差 $\Delta T_o = 2.0^\circ\text{C}$ 였고 單位時間當, 單位面積當 集熱量 $\dot{Q} = 530 \text{ W/m}^2$ 로, $\Delta\dot{m} = 20 \text{ l/hr}$ 에 의한 集熱量差 $\Delta\dot{Q}$ 는 대단히 작았으나 集熱量 \dot{Q} 는 $\dot{m} = 50 \text{ l/hr}$ 에서 보다 $\dot{m} = 70 \text{ l/hr}$ 에서 약간 큰 값을 보였다. (Fig.7 참고)

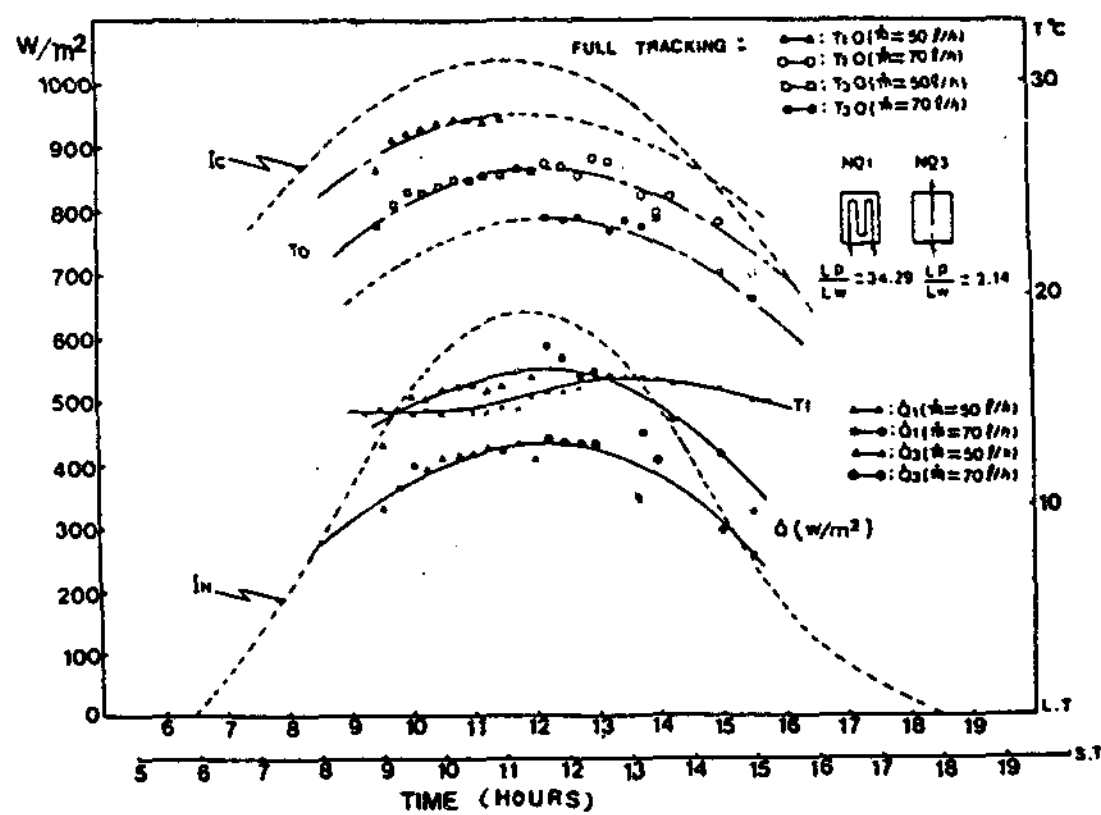


Fig. 7. Variation of T_i , T_o and Q depending on solar irradiance. (L.T = legal time) (S.T = solar time)

이상과 같은 結果는 $\frac{L_p}{L_w} = 34.29$ 인 集熱器 (No.1)의 集熱能力이 $\frac{L_p}{L_w} = 2.14$ 인 集熱器 (No.3)보다 優秀함을 보여 주었다.

6-4. 集熱器의 向日調節 效果

形狀係數 $\frac{L_p}{L_w} = 34.29$ 인 集熱器(No.1)와

승현간

$\frac{L_p}{L_w} = 8.57$ 인 集熱器(No.2)를 閉鎖循環系로 結合시켜, 向日調節한 경우와 正南向으로 固定設置한 경우의 集熱面積當 集熱량을 測定比較하였다.(Fig.8 참고)

이때 集熱面積은 3.024 m^2 이었고, 加熱媒體인 물의 量은 36 l 로 集熱面積當 11.9 l/m^2 이었으며, 加熱媒體 循環流量은 110 l/hr 로 하였다. 集熱器를 向日調節하는 경우, 10月25日에 加熱時間은 太陽時로 8時30分에서 15時30分까지 7時間이었으며, 16時以後에는 冷却이 始作되었다.

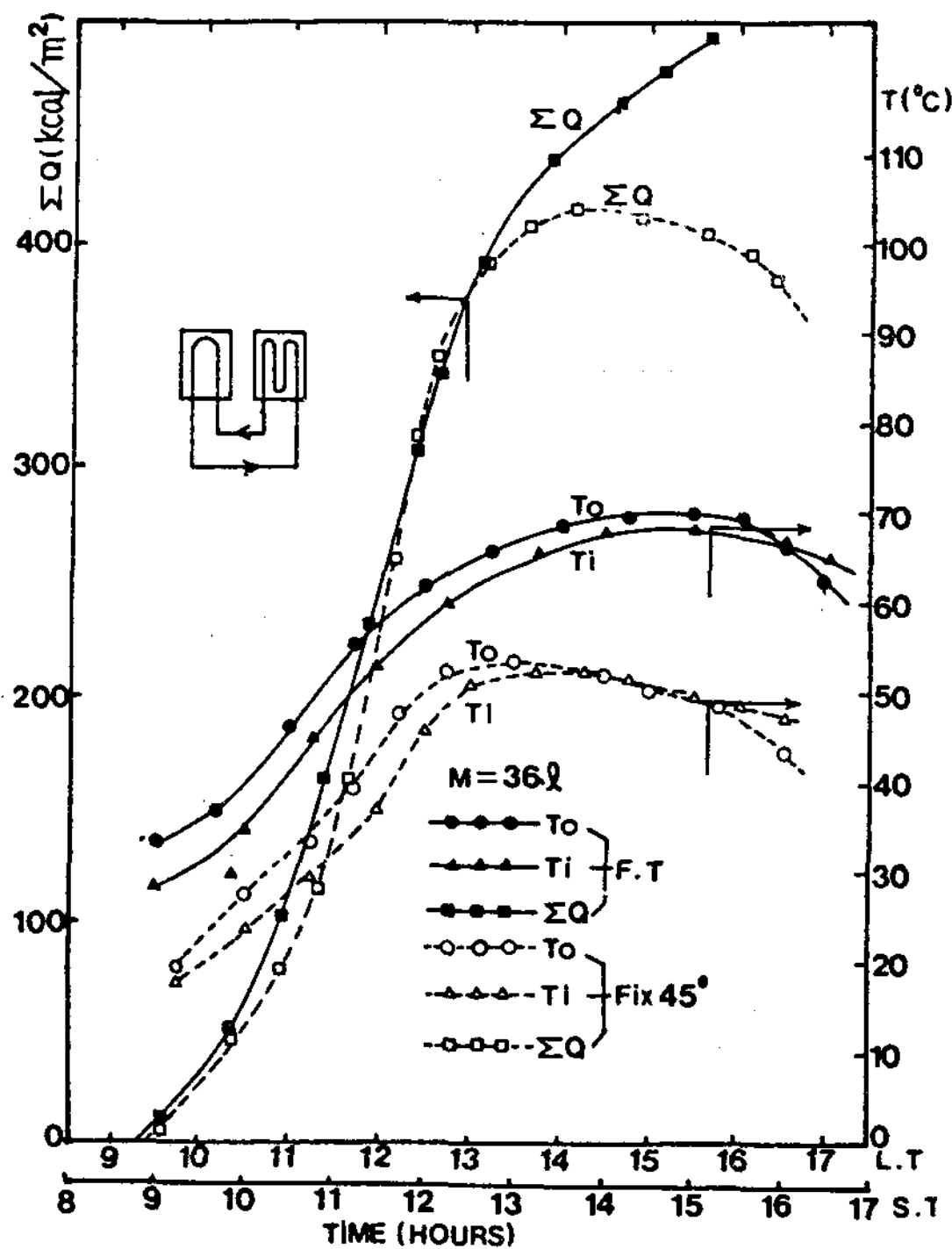


Fig. 8. Variation of inlet and outlet temperature of H.T.F. and the accumulated heat, ΣQ in accordance with the collector installation method (full tracking, F.T., and fix 45°)

이에 比하여 集熱器를 固定設置하는 경우에는 加熱時間은 太陽時로 9時에서 14時30分까지 5.5時間이었으며, 14時30分以後에는 冷却이 始作되어 向日調節의 경우보다 加熱時間이 1.5時間 정도 짧은 것으로 나타났다.(Fig.8 참고)

위와 같은 條件에서 太陽時로 12時30分까지는 向日調節한 경우와 固定設置한 경우에 集熱量 差異가 없었으나, 12時30分以後에는 固定設置한 경우의 集熱量은 급격히 減少하였으며, 向日調節한 경우의 集熱量은 太陽時로 15時30分까지 繼續 增加하는 現象으로 미루어 보아 向日調節에 의한 集熱效果가 午前 보다 午後에 현저하게 나타남을 알 수 있었다.(Fig.8참고)

向日調節의 경우 集熱量은 크지만 向日調節을 爲한 費用이 추가되기 때문에 集熱器 設置方法을 決定하기 爲해서는 向日調節效果와 設置費用間의 損益計算을 해야할 것으로 판단되었다.

6-5. 實驗的 方法에 의한 集熱效率 η , 分析
 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w} = 2.14$ 인 1段 集光式 集熱器 (No.3), $\frac{L_p}{L_w} = 8.57$ 인 2段 集光式 集熱器 (No.2), 그리고 $\frac{L_p}{L_w} = 34.29$ 인 4段 集光式 集熱器를 開放循環系로 向日調節하여 $\frac{L_p}{L_w}$ 와 I_c 의 變化에 따라 集熱器效率 η 를 實驗的으로 分析하였다.

모두 같은 集熱面積(1.512 m^2)을 가진 以上과 같은 세가지 形態의 集熱器에서 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w}$ 가 작은 경우보다 큰 경우에 集熱效率 η 가 크게 나타났다.(Fig.9 參考)

이와 같은 現象은 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w}$ 가 클수록 熱媒體가 循環파이프 內에 머무르는 時間이 길어져서 열흡수를 많이하기 때문인 것으로 判斷되었다.

Fig.9에서 보는 바와 같이 I_c 가 클수록 세 가지 形態의 集열기 모두 η 가 높게 나타난 것은 I_c 가 크면, 적을 경우보다 受熱파이프와 熱媒體間에 溫度句配가 더 크게 되기 때문에 일어나는 熱傳達현상으로 判斷되었다.

受熱파이프에 集光된 太陽輻射熱을 可能的限 熱媒體에 많이 傳達하여 集熱器의 熱效率를 높

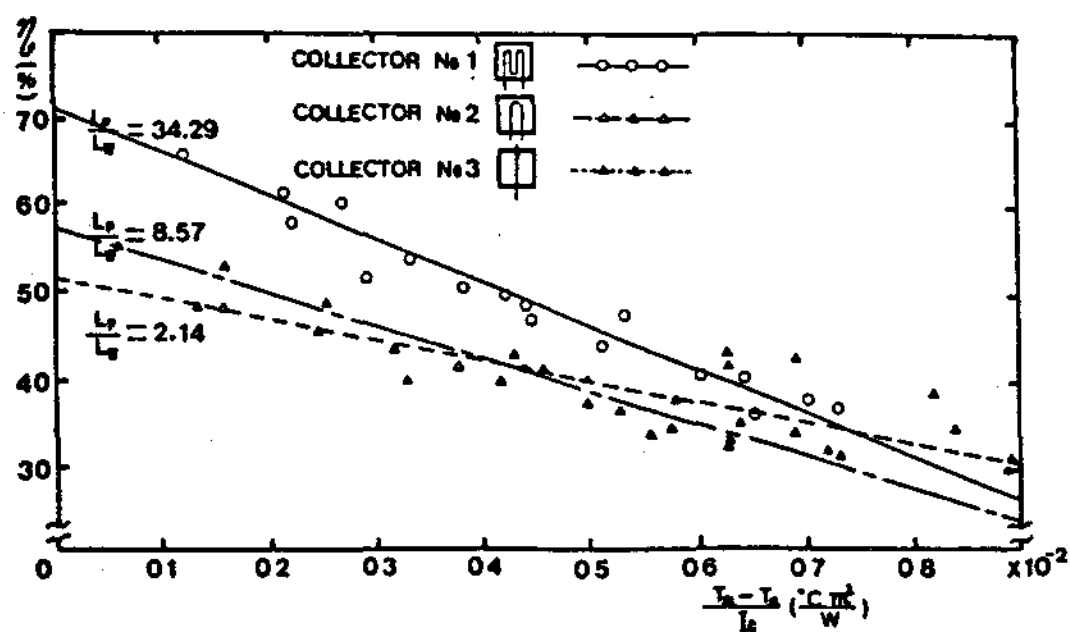


Fig. 9. Effect of collector shape factor $\frac{L_p}{L_w}$ on the thermal efficiency of solar collector.

이기 爲해서는 拋物 反射曲面을 여러 줄로 하여 形狀係數 $\frac{L_p}{L_w}$ 를 크게 할수록 좋으나, $\frac{L_p}{L_w}$ 가 증가할수록 熱媒體 加熱 最高溫度 $T_{o\max}$ 이 낮아지는 逆現象이 있으므로(Fig.6 참고), $\frac{L_p}{L_w}$ 값은 우리가 必要로 하는 $T_{o\max}$ 에 依하여 制限되어야 할 것으로 思料된다.

6-6. 集熱器 設置方法이 集熱效率 η 에 미치는 影響

拋物 反射曲面이 4 줄로 된 4段 集光式 集熱器($\frac{L_p}{L_w} = 34.29$)를 對象으로 集熱器 設置方向이 η 에 미치는 影響을 理論的 方法과 實驗的 方法으로 分析하였다.

理論的 分析은 次元解析法에 依하여 本 研究에서 誘導한 (12)式에서 $\frac{T_i}{I_c}$ 를 變化시켜 η 를 解析하므로서 이루어졌으며, 實驗的 分析은 集熱器를 縱·橫으로 設置方向을 變化시켜가며 向日調節하고, 同時에 熱媒體 流量, \dot{m} 과 入·出口溫度 T_i, T_o 그리고 I_c 를 測定하여 η 를 計算하므로서 이루어졌다.

縱·橫設置方向에서 η 는 두 경우 모두 $\frac{T_i}{I_c} = 0.4 (m^2 \cdot K/W)$ 를 變曲點으로 增加, 減少하는 傾向을 보였다.(Fig.10 參考)

縱方向 設置 경우가 橫方向 設置 경우보다 集熱效率 η 가 8~11% 정도 크게 나타났으며,

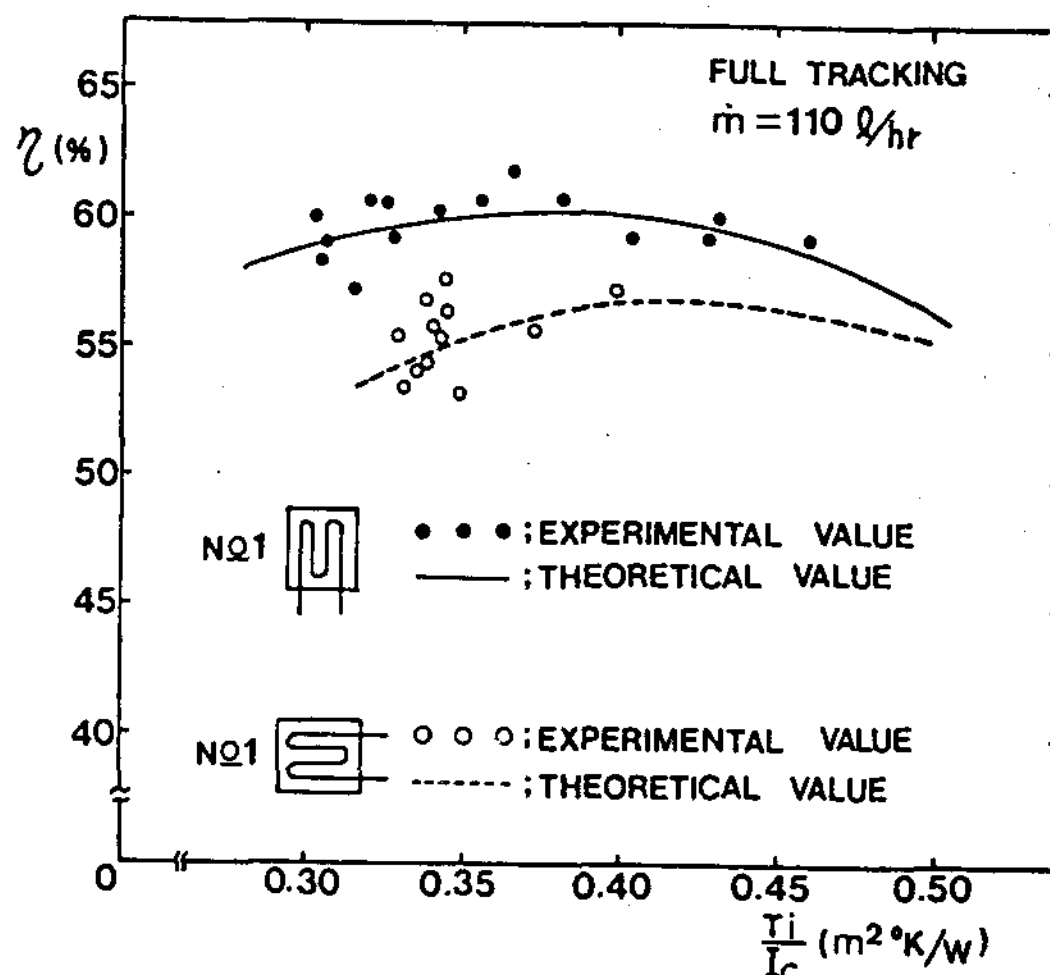


Fig. 10. Effect of the direction of solar collector installation (longitudinal and lateral direction) on the thermal efficiency of solar collector.

理論値와 實驗値는 잘 接近하였다. 이는 橫方向 보다는 縱方向設置가 바람직함을 示唆해 주는 것으로 判斷되었다.

6-7. 集熱器 形狀係數(L_p/L_w)가 集熱效率 η 에 미치는 影響

1, 2 혹은 4 줄의 拋物 反射曲面으로 된 3 가지 形態의 集熱器의 縱方向으로 設置하고, 向日調節하여 實驗한 結果와 次元 解析法에 依한 分析結果를 根據로 集熱器 形狀係數 L_p/L_w 에 따른 集熱效率 η 를 比較하였다.

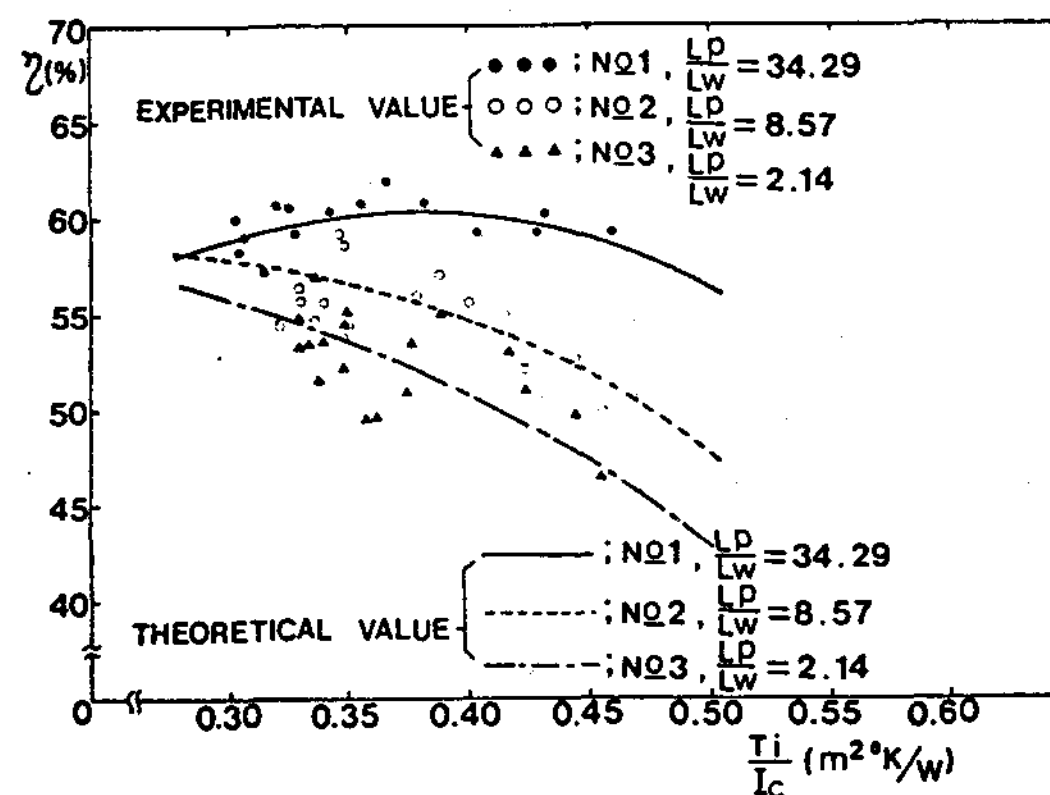


Fig. 11. Effect of the collector shape factor $\frac{L_p}{L_w}$ on the efficiency of the solar collector. (in case of longitudinal installation)

3 가지 形態의 集熱器 모두 T_i/I_c 項이 增加함에 따라 集熱效率 η 는 曲線的 變化傾響을 보였으며, 集熱器 形狀係數 L_p/L_w 가 큰 경우일 수록 減少率이 적었고 L_p/L_w 가 적을수록 集熱效率 η 는 적은 값을 보였다. 다시 말해서 같은 集熱面積內에 二次元 拋物 反射曲面의 隸수를 增加시킴에 따라 集熱效率를 높일 수 있음을 알 수 있었다. (Fig.11 參考)

7. 結 論

太陽輻射熱을 可能한 限 比較的 高溫으로 集熱·貯藏하므로써, 蓄熱施設 規模를 最小化하고, 設置利用이 간편할 뿐만 아니라, 열가 製作利用을 可能하게 하기 위하여 本 研究에서는 光學的으로는 集光型으로 比較的 高溫 集熱을 可能하게 하고, 外型적으로는 平板型 集熱器와 같이 두께를 얇게 하여 設置利用이 便하도록 集熱器內에 拋物 反射曲面을 1, 2 혹은 4 줄로 하였다. 이렇게 하여 多段 二次元 集光式 集熱器를 構成, 製作하였으며, 이들 集熱器의 熱的 性能特性을 理論과 實驗을 通하여 分析 比較한 結果 다음과 같다.

(1) 次元解析에 依한 集熱器의 熱媒體 出口溫度 T_o 와 集熱器 效率 η 에 關한 豫測式은 다음과 같이 求할 수 있었다.

$$T_o = [C + B \ell_n \left(\frac{I_c(t)}{\rho V^3} \right)] T_i,$$

$$\eta = \frac{A \dot{m}}{A_c} \left[(C-1) + B \ell_n \left(E \cdot di^6 \cdot \frac{I_c(t)}{m^3} \right) \right] \cdot \frac{T_i}{I_c(t)}$$

(2) 集熱傾斜面 太陽強度 $I_c = 900 \sim 980$ W/m^2 에서 새로 構成, 製作한 集熱器에 의하여 加熱할 수 있는 最高溫度 範圍는 $98^\circ C \sim 116^\circ C$ 였으며, 集熱器 形狀係數 L_p/L_w 가 커짐에 따라 加熱最高溫度는 낮아짐을 보였다.

(3) 集熱器 熱效率의 實驗値는 次元解析에 依한 豫測値와 잘 부합했으며, 集熱器 形狀係數, L_p/L_w 가 增加함에 따라 集熱效率 η 도 增加하

였다.

(4) 集熱器 形狀係數 L_p/L_w 를 보다 많이 變化시켜 L_p/L_w 의 變化에 따른 熱媒體 加熱 最高溫度, $T_{o,max}$ 과 集熱效率 η 와의 關係를 究明하는 研究를 앞으로 계속하여야 하며, 單位 集熱器 마다 受熱파이프에 어떤 형태의 熱吸收 完충장치를 부착하여 集熱效率를 提高하는 研究를 계속하여야 할 것으로 판단되었다.

REFERENCES

1. Brock A. Lebaron, William A. Peterson, and Inge Dirmhirn. "Correction for Diffuse Irradiance Measured with Shadowbands." Solar Energy Vol. 25, pp. 1-13, 1980.
2. Christian Perrin de Brichambaut et Guy Lamboley. "Le Rayonnement Solaire au Sol et Ses Mesures." pp. 11-71, 1974.
3. Frank Kreith, Jan F. Kreider. "Principle of Solar Engineering." McGraw-Hill, pp. 203-313, 1978.
4. Glenn Murphy, "Similitude in Engineering." New York, pp. 1-72, 1950.
5. Hsieh C.K. "Thermal Analysis of CPC Collector." Solar Energy Vol. 27, pp. 19-29, 1981.
6. Rabl. A.J. O'Gallagher and R. Winston. "Design and Test of Non Evacuated Solar Collectors with Compound Parabolic Concentrators." Solar Energy Vol. 25, pp. 335-351, 1980.
7. Ugur Ortabasi and Fransis P. Fehlner. "CUSP Mirror-Heat Pipe Evacuated Tubular Solar Thermal Collector." Solar Energy, Vol. 24, pp. 477-489, 1980.
8., "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collector." ASHRAE Standard. 1977.
9. 宋 鉉甲, 延 光錫, 趙 誠瓚, "太陽熱 集熱器 開發에 關한 研究, <拋物 反射曲面으로 된 二次元 集光式 太陽熱 集熱器의 性能 分析>", 韓國 農業機械學會誌 10 (1) pp. 54 ~ 68. 1985.