平面式 太陽熱 集熱機의 性能에 關한 硏究

Study on the Performance of the Flat-Plate Solar Collectors.

張 奎 燮* 金 滿 秀*
Chang, Kyu Seop* Kim, Man Soo*

Snmmary

Solar energy is a potential source of power that offers much promise being used for low-temperature applications like drying farm crops, space heating, and water heating for domestic uses. Already much of it are being used for those purpouse in foreign countries. However, very little research has been done to determine the possibility of using the solar energy in Korea.

This study was conducted to develop the general prediction equation of the total radiation on a horizontal surface in Daejeon area based on 5 years (1972. Jun.1—1976. Dec. 31) meteorological data (bright sunshine hours, average total horizontal radiation), and to obtain experimentally the thermal efficiency of solar air and water collectors, which will be used as a basic data of designing flat-plate solar collector system. In addition to the thermal efficiency of the collectors the relationship among those factors affecting it such as weather condition, orientation fcctor, and tilted angle of collector was analyzed. The results of this study were as follows:

1. The general prediction equation of the total radiation on a horizontal surface in Daejeon area based on bright sunshine hours was developed as $H_{av.}=(1.546\frac{n}{N}-0.582)H_0$. Predicting the total radiation on a horizontal surface by the above equation was thought to be possible because t values of 0.882 was smaller than any t values at above 0.05 level on the basis of two tailed test of the difference between the calculated and the recorded values.
2. It was observed that optimum tilt angle of the collector in the summer and the autumn drying season was 13 degrees and 51 degrees respectively, these values could be obtained by adding or substracting approximately 25 degrees from the latitude of this area (36.3°N).

   The relationship between orientation factor and declination of sun at suitable tilt angle of 33 degrees ($s=0.9\phi$) was shown at Fig.4.
3. The thermal efficiency of solar water collector was shown 13.4—51.6% on Aug. 15 (the minimum radiation recorded) and 43.8∼537% Aug.20 (the maximum

* 忠南大學校 農科大學

radiation recorded), and 13.8～46.6% and 44.3～49·7% were shown on each corresponding day.

4. The thermal efficiency of the collectors according to the weather condition was shown a big difference of about 10% between the day of the maximum radiation recorded and the minimum, but the differen of efficiency between the air and the water collector was at most 2～3%.
5. Even if the efficiency of the solar water collector was a little higher than the solar air collector, for drying farm products, the solar air collector was thought to be more effective because the air heated by collector could be directly used for drying them.

1. 緖 論

太陽에너지의 利用은 限定된 化石에너지 源과 그 生產의 地域的 偏在로 오래 前부터 많은 關心의 對象이 되어 있었고, 特히 1973年 油類波動 以後에는 未來에 닥쳐올 에너지 危機의 克服策으로 硏究에 拍車를 加하고 있다.

太陽에너지지는 無限한 量이지만 季節 및 晝夜間에 따라 그 強度의 變化가 심하여 利用上의 어려운 點은 있으나 效率的인 集熱 및 貯藏法의 開發로 그 問題點을 解決할 수 있을 것으로 期待 된다. 太陽에너지가 많이 利用되고 있는 分野로는 農產物의 乾燥나 煖房 等과 같은 낮은 온도로 그 利用이 可能한 產業 分野이며 農業에서의 그 利用은 날로 增加 하고 있다. 美國의 에너지 硏究開發局(ERDA)에 依하면 西紀 2000年에 가서는 一般 產業分野에서 利用되고 있는 에너지의 10%와 農業分野에서 利用되는 에너지의 50%가 太陽에너지로 代替될 것이라 한다[1].

太陽에너지 利用을 爲한 集熱裝置로는 一般的으로 Flat-plate collector와 Focusing collector가 있는데 前者는 低溫集熱裝置이고 後者는 高溫集熱裝置에 屬하는 것으로 本 實驗에서는 Flat-plate collector에 對하여만 遂行되었다. 美國 等地에서는 이미 平面式集熱機(Flat-plate collector)가 商品化 되어 市販되고 있으며 그 理論的인 分析에 關해서도 많은 硏究가 遂行되어 왔다.[4,5,6,7,10,11,15,20] 그러나 이미 開發된 集熱機를 그대로 利用할 수 없는點은 太陽에너지가 地域 및 季節에 따라 큰 變化를 하기 때문이다. 따라서 Löf[8] 等은 全 世界的으로 分布되어 있는 668個 日射量 觀測所의 記錄値와 233個所의 日照時數에 依한 日射量의 一般式을 求하고 그것에 依해 全 世界의 日射量分布圖를 作成한 바 있었고 觀測値가 없는곳의 日射量을 決定할 때나 미래의 日射量을 豫測할 必要가 있을 경우에는 이와 같은 方法이나 이와 비슷한 방법으로 氣象資料를 分析하여 그 값을 決定한 바도 있었다.[12,13,18]

氣象觀測所에서 測定되고 있는 日射量은 單位時間當의 總 水平面日射量이며 이에는 direct(beam) radiation과 diffuse radiation으로 크게 區分할 수 있으며 이들의 分布 比率은 日照時數와 氣象상태에 따라 變하며 日照時數가 많은 날은 diffuse radiation이 總 水平面日射量의 10%～20%가 된다고 報告한 바있다.[12,13,17,18,19] 日射量은 測定面의 傾斜度, 季節, 時刻에 따라서도 상당히 變하는데 大體로 水平面日射量은 6月 初旬경이 最大가 되고 垂直面日射量은 2～3月과 10～11月에 最大가 된다.[17,19]

太陽熱을 效率的으로 利用하기 爲해서는 集熱機의 設置方向과 角度를 考慮하여야 할 것이며 이에 따른 硏究 結果는 많은 文獻에서 볼수 있다.[3,12,17,18] 太陽熱 利用 System의 設計에는 그 地方의 水平面日射量과 方向係數(Orientation facfor), 集熱機의 適定傾斜角 等을 알아야 하는데 이들 값은 緯度, 季節, 時刻에 따라 變하므로 어느 特定한 使用期間에 對하여 그 값들을 決定하든가[18], 長時間의 氣象 資料에 依해 決定하고 있다.[12,13]

集熱機의 效率을 測定키 爲한 式으로는 Energy balance의 理論에 입각하여 Hottel Woertz, Whillier[2,4,5,6,7,11,15,16] 等에 依해 開發 發展되었다. Whillier[11]는 集熱機의 效率 算定時 가장 큰 影響을 미치는 集熱機의 熱損失係數(U_L)은 一定한 값으로 使用할 수 있다고 하였으며 Buelow[16] 等은 空氣加熱集熱機(Solar air collector)에 對한 實驗結果에서 U_L의 값은 낮은 溫度의 範圍內에서는 一定한 값을 使用하여도 別 問題가 되지 않는다고 하였다. 또한 그는 流量이 많을 수록 集熱機가 얻을 수 있는 溫度가 낮으

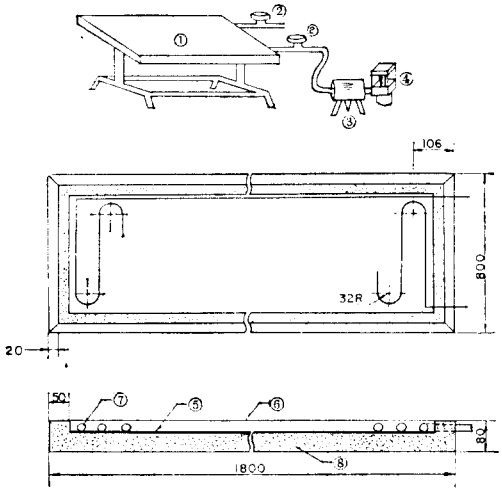
며 集熱機 入口의 溫度가 높은 空氣일수록 그 效率은 낮았었다고 報告한 바 있으나 Gupta[7]等은 물加熱集熱機(Solar water collector)의 實驗結果 流量이 적을 경우는 集熱機의 높은 溫度에 依한 損失熱量이 많기 때문에 오히려 效率은 떨어진다고 報告하였다. Whillier[9,10,11]等의 空氣 및 물加熱集熱機에 對한 硏究에 依하면 U_L에 影響을 미치는 吸熱板과 流體사이의 熱傳導係數는 流量이나 吸熱板의 傾斜度에 別 影響을 받지 않는다고 하였으며 集熱機의 뒷면 및 옆면의 熱損失係數는 윗면 熱損失係數의 約10%~30%에 該當한다고 報告한 바 있었다.

이와같이 外國에서는 많은 硏究가 遂行되어 왔으나 우리나라에서는 1974年 原子力硏究所가 "太陽의 집"을 製作하여 實驗을 했던 것이 最初이며 그 後 別다른 硏究가 없는 實情이다.

따라서 本 實驗에서는 太陽에너지 利用의 基本資料가 되는 大田地方의 日射量을 日照時數에 依해 豫測할 수 있는 一般式을 誘導하고 太陽에너지 集熱裝置開發의 基礎資料로서 두 種類의 平面式集熱機의 效率을 求하고 이에 影響을 미치는 氣象要素와 方向係數 및 傾斜角과의 相互關係를 究明하고져 하였다.

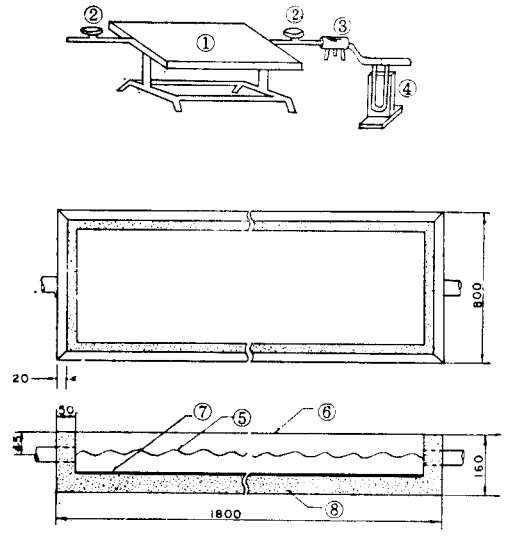
Table. 1. Specification of the solar collectors and its material

Items \ Collectors		Solar air collector	Solar water collector
Size ($L\times W\times H$,m)		1.80×0.80×1.60	1.80×0.80×0.08
Net glass area (m²)		1.17	1.19
Tilted angle (degree)		23°	23°
Flow rate per netglass area(kg/hrm²)		9.56	75.30
Material	absorbing surface	Black-painted corrugated aluminum plate	Black-painted aluminum plate
	insulation	Polystylene foam with thickness of 0.05m	Polystylene foam with thickness of 0.05m



① Solar water collector ② Thermometer
③ Circulating pump ④ Rotameter
⑤ Al. plate with black painted ⑥ Gloss(t=3)
⑦ copper pipe(ϕ 1.59) ⑧ Foam polystylene

Fig. 1-a. Schemamatic diagram of experimental apparatus and details of solar water collector.



① Solar air collector ② Thermometer
③ Fan ④ orifice meter
⑤ Corrugated Al. plate with blackpointed
⑥ Glass (t=3) ⑦ Al. plate with black painted
⑧ Foam polystylene

Fig 1-b. Schematic diagram of experiemental apparatus and details of Solar air collector.

2. 實驗裝置 및 方法

가. 實驗裝置

本 實驗에 使用된 太陽熱集熱機는 그림(1)에서 보는 바와 같이 空氣加熱集熱機(Solar air collector)와 물加熱集熱機(Solar water collector)를 各各 製作하였으며 이들 裝置는 Whiller[10,11] 等의 研究結果 및 그外 數件의 研究結果를 參考하여 製作되었다. 이들의 材料로는 알미늄板, 銅管. Polystylenefoam 等이 使用되었다. 製作 使用된 太陽熱 集熱機의 主要 諸元 및 材料는 表(1)과 같다.

나. 實驗方法

本 實驗은 1977年 7月 25日부터 9月 28日까지 實施하였고 1日 稼動時間은 08時부터 18時까지 10時間 동안을 每時 한時間 單位로 集熱機의 入口溫度, 出口溫度 및 大氣溫度를 測定하였으며 水平面日射量의 一般式, 集熱機의 適定傾斜角, 方向係數(orientation factor) 및 集熱機의 效率 等의 誘導와 計算은 다음 方法에서와 같이 實施하였다.

1) 月 平均水平面日射量의 一般式

地表上의 日射量은 大氣中의 水蒸氣 오존(Ozone), 구름의 粒子 等에 의하여 主로 吸收되고[17] 남은 量이 測定되는 것이며 이 中에서 구름에 依한 영향이 가장 크기때문에 水平面日射量을 日照時數에 依해 구하려는 研究가 오래 前부터 施圖되어 왔었다[8]. 最近에 와서 Löf[8]나 Page[8]等에 依하여 修正된 式은 다음과 같다.

$$H_{av.}=H_0(a+b\frac{n}{N}) \quad \cdots\cdots(1)$$

여기서,

$H_{av.}$=average horizontal radiation for the period

H_0=average radiation outside of the atmosphere for the some location

n= average daily hours of bright sunshine

N=maximum daily hours of bright sunshine

윗식에서 大氣圈 밖의 水平面日射量(H_0)은 다음 式[8]에 의하여 每月 15日을 기준하여 計算하였다.

$$H_0=\frac{24}{\pi}I_{sc}\left[\left\{1+0.033\cos\left(\frac{360n'}{365}\right)\right\}(\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s+\frac{2\pi\omega_s}{360}\sin\phi\sin\delta)\right] \quad \cdots\cdots(2)$$

여기서

I_{sc}=Solar constant (4,871 KJ/m²day)

n'=day of the year (day)

ϕ=latitude (degree)

δ=declination of sun (degree)=$23.45\sin\left[360\frac{284+n'}{365}\right]$

ω_s=sunrise hour angle (degree)

式 (1)을 가지고 1972年 1月 1日에서 1976年 12月 31日까지 5年間의 水平面日射量 및 日照時數 等 大田地方의 資料를 分析하여 每月의 水平面日射量의 一般式을 誘導하였다.

2) 集熱機의 適定傾斜角

集熱機의 適定傾斜角은 緯度, 季節 및 時刻에 따라 變하므로 一定한 期間의 基準日을 定하여 그날의 正午에 集熱機의 面과 太陽光線이 垂直이 되도록 한 後 方向係數를 가장 크게 하는 集熱機의 傾斜角을 그 期間동안의 適定傾斜角으로 하였다.

3) 方向係數(Orientation factor)

方向係數는 direct radiation의 경우와 diffuse radiation때의 값으로 나누어 지며 direct radiation의 方向係數는 水平面에서의 日射量에 對한 傾斜面에서의 日射量의 比로서 表示하고 그 값 R_b는 다음 式으로 주어 진다.

$$R_b=\frac{\cos\theta_T}{\cos\theta_Z}=\frac{\cos(\phi-s)\cos\delta\cos\omega+\sin(\phi-s)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega+\sin\phi\sin\delta} \quad \cdots\cdots(3)$$

여기서,

θ_T=incident angle of the direct radiation on tilted surface

θ_Z=indicent angle of the direct radiation on horizontal surface

s=the slope measured from the horizontal to the tilted surface

ω=hour angle from solar noon

diffuse radiation의 方向係數는 集熱機의 傾斜角(s)만의 函數로서

$$R_d=\frac{1}{2}(1+\cos s) \quad \cdots\cdots(4)$$

로 나타내어 지며 그 外에 地面으로 부터 反射되는 radiation 等은 無示하였다. 本 實驗에서의 方向係數 計算은 集熱機를 年中 使用할 경우 大田地方의 適定傾斜角인 33°에서와 效率算定의 경우에는 8月 15日을 基準한 適定傾斜角 23°에서 實施하였다.

4) 集熱機의 效率

集熱機의 效率은 다음 式들에 依하여 求하였다.

$$\eta=\frac{Q_u/A}{HR}\times 100 \quad \cdots\cdots(5)$$

$$Q_u/A=F_R[S-U_L(T_{fi}-T_a) \quad \cdots\cdots(6)$$

$$HR=H_bR_d+H_dR_d=H(0.8R_b+0.2R_d)\cdots\cdots(7)$$

$$S=HR(\tau\alpha)_e(1-d)(1-s)=0.81HR\cdots\cdots(8)$$

$$U_L=U_t+U_b+U_e=1.1U_t\cdots\cdots(9)$$

$$\frac{U_t(s)}{U_t(45)}=1-[(s-45)(0.00259-0.00144\varepsilon_p)]$$
$$=1-[(s-45)(0.00122)]\cdots\cdots(10)$$

$$F_R=F'F''\ U_0=F'U_L\ F''=\frac{1-e^{-\frac{U_0}{GC_p}}}{\frac{U_0}{GC_p}}\cdots(11)$$

$$F'=\frac{1}{1+\frac{U_L}{h}}\text{for Solar air collector}\cdots\cdots(2)$$

$$F'=\frac{1}{\frac{BU_L}{\pi dh}+1.3}\text{for solar twater collector}(13)$$

여기서

η=Solar collectos efficiency(%)

Q_u/A=useful energy gain per unit time and area (KJ/hrm²)

H=Radiation received on horizontal surface (KJ/hr m²)

R=Orientation factor

S=Abosorbed solar energy per unit time and area, (KJ/hrm²)

U_L=Collector heat loss coefficient including allowance for back and edge losses (KJ/hrm²°C)

U_t=Top loss coefficient (KJ/hrm²°C)

U_b=Bottom loss coefficient (KJ/hrm²°C)

U_e=Edge loss coefficient (KJ/hrm²°C)

U_0=Overall heat transfer coefficient (KJ/hrm²°C)

R_b=Orientation factor for direct radiation

R_d=Orientation factor for diffuse radiation

$(\tau\alpha)_e$=Effective transmittance-absorptance product

d=Dust effect (decimal)

s=Shading effect (decimal)

F_R=Collector heat removal factor

F'=Collector efficiency factor

F''=Flow factor

$U_t(s)$=Top loss coefficient at tilted angle withs (KJ/hrm²°C)

$U_t(45)$ Top loss coefficient at tilted angle with 45° (KJ/hrm²°C)

3. 結果 및 考察

가. 月 平均 水平面日射量의 記錄値와 一般式에 依한 計算値의 比較.

Löf[3,8] 等은 그들이 開發한 日射量에 關한 一般式에 依해 日射量의 世界的인 分布圖를 作成한바 있었고 式(1)의 常數인 a, b의 값도 氣候條件이나 植物의 分布에 따라 그 값을 分類하였으나 우리나라에서 이들 값을 直接 適用하기는 매우 困難하므로 大田地方의 5年間(1972.1.1~1976.12.31)의 記錄値를 가지고 統計處理했던바 $Hav=(1.546\frac{n}{N}-0.582)H_0$

Table. 2. The average and the maximum hours of bright sunshine, and average daily total radiation calculated and recorded values on the horizontal surface, for Daejeon

Month	H_0(KJ/m²day)	n(hr)	N(hr)	n/N	$H_{av.}$ (KJ/m²day)	H(recorded) (KJ/m²day)
Jan.	17053	6.24	9.00	0.693	8345	7252
Feb.	22171	6.84	9.80	0.698	11021	10539
Mar.	23558	7.13	11.00	0.648	11989	11694
Apr.	35186	7.93	11.90	0.666	15751	15483
May.	39517	8.37	12.20	0.686	18911	18070
Jun.	41269	8.92	12.30	0.725	22233	20482
Jul.	40418	7.74	11.90	0.650	17093	17534
Aug.	36952	7.65	11.70	0.654	15856	17382
Sep.	31030	6.97	10.50	0.664	13794	13961
Oct.	24216	6.66*	10.40*	0.640*	9867	--
Nov.	18283	5.40*	9.10*	0.593*	6121	—
Dec.	15730	5.05*	8.50*	0.595*	5315	—

*averaged values based on 5 years data

의 式을 얻을수 있었다. 이 式에서의 常數 a, b의 값과 Löf[8,9]等의 硏究結果와는 큰 差異가 있었다.

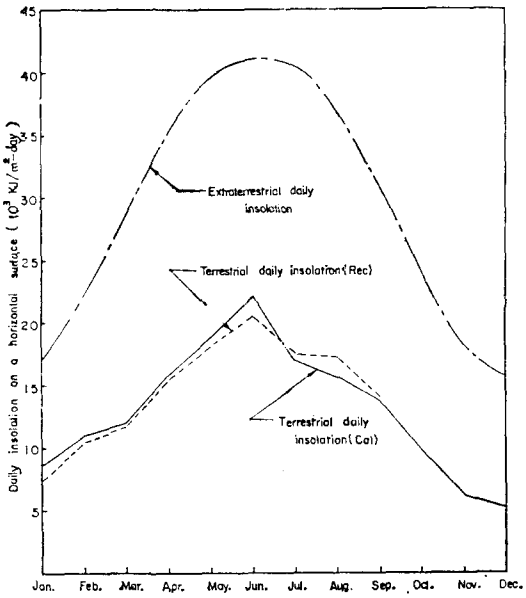


Fig. 2. Relationship among the extraterrestrial daily insolation, terrestrial daily insolation calculated on the basis of the bright sunshine hours and recorded values, for Daejeon.

여기서 求한 式에 1977年度의 n, N의 값과 日射量의 記錄値와 比較한 것을 表(1)과 그림(2)에 표시 하였다. 이 것에서 알 수 있는 바와 같이 地表上에서의 水平面日射量은 大氣圈 밖의 水平面日射量의 1/3~2/3 程度로 줄고 이 現象은 日射量이 적은 1月 11月 및 12月에는 1/3程度로 줄어지고, 그外의 경우는 約 半 程度로 줄어짐을 알수 있었다.

이 式에 依한 計算値와 記錄値를 比較해 보면 1月에서 6月까지는 計算値가 記錄値보다 약간 많은 값이나. 7月에서 9月까지는 그 反對의 現象으로 나타났으며 記錄値가 없는 10月, 11月, 12月에서도 비슷한 傾向일 것으로 判斷된다. 그리고 計算値와 記錄値間의 差에 對하여 t 檢定을 實施한 結果 $t=0.882$로서 어느 水準에서도 그들 間의 有意性이 認定되지 않으므로 이 式에 한依 日射量의 計算이나 豫測을 할 수 있을 것으로 思料된다.

나. 集熱機의 適定傾斜角

集熱機의 效率을 높이기 爲해서는 吸熱板이 恒常 太陽光線과 垂直이 되도록 維持시키는 것이 가장 바람직 하겠으나 이러한 裝置는 機構가 複雜하고 製作費가 비싸므로 될수 있으면 集熱機를 一定한 方向과 傾斜角으로 固定하거나 集熱機의 傾斜角度만 약간 調整하도록 하는 것이 좋을것이다.

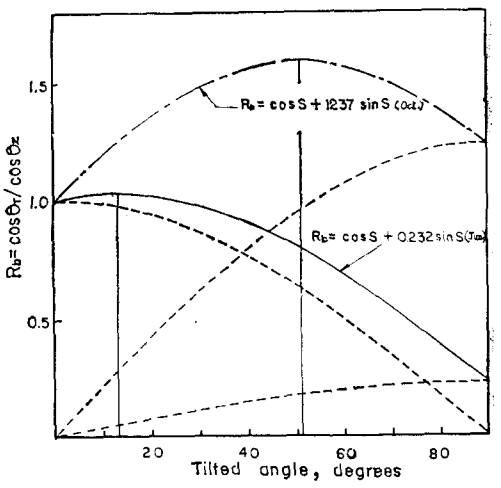


Fig. 3. Optimum tilted angle based on drying season of Jun 30 & Oct. 30.

適定傾斜角은 集熱機가 單位時間에 가장 많은 太陽에너지를 받을 수 있는 角으로서 이것은 季節과 時刻에 따라 變하므로 一定한 期間의 方向係數(R_b)를 가장 크게 하는 값으로 決定할 수 있을 것이다. 本 實驗에서는 集熱機를 農產物 乾燥에 利用될 경우를 考慮하여 大田地方의 夏穀 乾燥期間을 6月 15日에서 7月 15日, 秋穀 乾燥期間을 10月 15日에서 11月 15日로 假定한다면 이 두 期間의 適定傾斜角은 두 期間동안의 中央이 되는 6月 30日과 10月30日을 定하고 各各 이날의 正午에 太陽光線과 集熱機의 吸熱板이 垂直이 되도록 傾斜角을 定하면 될 것이다. 式(3)에서 $\phi=36.3°$, $\delta=23.18°$(6月 30日), $-14.74°$ (10月 30日), $\omega=0$ 等의 값을 代入하여 整理하면 $R_{bjun}=\cos s+0.232\sin s$ 와 $R_{boct}=\cos s+1.237\sin s$의 式을 얻을 수 있고 이 式들을 그림(3)에 圖示하였다. 그림에서 알수 있는바와 같이 夏穀 乾燥期間의 適定傾斜角은 13°이고 秋穀 乾燥期間은 51° 임을 알수 있고 또한 이 값들은 이들 두式을 微分해서도 얻을수 있는 값이다.

一般的으로 集熱機의 適定傾斜角은 그 地方의 緯度와 比較하여 나타내는데 Morse etal[3,14]等은 年平均的으로 가장 많은 日射量을 받을 수 있는 傾斜角

은 偉度의 約 90%의 角이라 하였으며 1年에 두번 集熱機의 角度를 調整할 경우에는 冬節期에 $\phi+10°$, 夏節期에는 $\phi-10°$의 傾斜角이 適定傾斜角이라 하였다. 또한 Morse etal은 長期間 繼續하여 集熱機가 使用될 경우에는 適定傾斜角에서 적은 角度의 變化는 別 問題가 되지 않는다고 하였다. 따라서 大田地方의 適定傾斜角은 夏穀 乾燥期間에 約 $\phi-25°$이고 秋穀 乾燥期間에는 約 $\phi+25°$로 表示할 수도 있다.

다. 年中 方向係數의 變化

方向係數中 diffus radiation의 方向係數는 集熱機의 傾斜角에 따라 一定한 값을 가지고 그 값은 集熱機가 조금만 傾斜를 가져도 恒常 1보다 적은 값이 된다. 그리고 全體의 日射量中 diffuse radiation은 日照時數가 많은 날일 수록 적은 값을 가지므로 方向係數의 決定은 direct radiation의 方向係數인 R_d의 값을 되도록이면 크게 定하는것이 集熱機의 效率을 높일수 있겠으나 方向係數(R_b)는 季節, 時刻, 集熱機의 傾斜角에 따라 變하기 때문에 보다 正確한 太陽熱 利用 system의 設計 等에는 그 期間과 適定傾斜角에 該當하는 값을 計算하여 使用하여야 할 것이다.

集熱機를 年中 使用할 경우 大田地方의 適定傾斜이라 할수 있는 $s=33°$에서 太陽의 declination角에 따라 方向係數의 變化를 正午로 부터의 時間에 따라 表示한 것은 그림(4)와 같다.

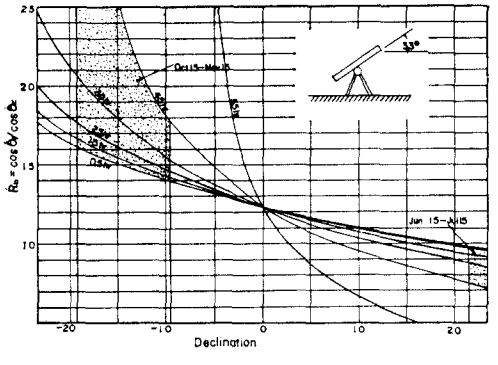


Fig. 4. Ratio Rb, $\cos\theta_T/\cos\theta_Z$ for a surface with slope 33° toward equator at latitude 36.3°N, at various times from noon.

方向係數의 變化는 大體로 春分에서 秋分까지는 1.0 內外로 分布되어 있고 秋分을 지나 다음해의 春分까지는 1.24~2.5의 範圍內에서 分布되어 있음을 알수 있다. 이러한 傾向은 어느곳에서나 傾斜角이 0~90° 內에서는 비슷한 傾向을 보이고 夏節期인 6, 7, 8月의 方向係數는 集熱機의 適定傾斜角에서도 1을 약간 넘는 값에 불과하기 때문에 이때의 日射量도 水平面日射量과 別 差異가 없다.

그림(4)에서 점들로 表示한 部分이 農產物 乾燥期間의 方向係數인데 그 값들의 分布狀態를 보면 夏穀 乾燥期間에 0.72~0.96으로 水平面日射量보다 약간 적은 값이나 秋穀 乾燥期間에는 1.4~2.5의 分布로서 이 두期間동안의 集熱機가 받을수 있는 太陽에너지는 비슷할 것으로 看做된다.

라. 集熱機의 效率

集熱機의 效率 分析에는 實驗期間中 月 平均 水平面日射量이 가장 많았던 8月을 擇했으며 그中 水平面日射量이 가장 많았던 20日과, 가장 적었던 15日에 對하여 式(5)—(13)을 使用하여 두 集熱機의 效率을 比較 分析한 것을 그림(5)에 圖示하였다.

두 集熱機의 效率은 물加熱集熱機(Sola water collector)의 경우 8月 15日에는 13.4~51.6% 이었고, 8月 20日에는 43.8~53.7% 였으며 空氣加熱集熱機(Solar air collector)의 경우 各各 같은 날에

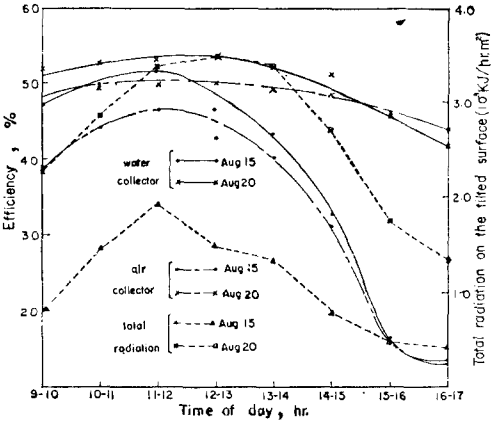


Fig. 5. The thermal efficiency of the collectors and total radiation on the tilted surface at the day of the extreme radiation incident recorded on the horizontal surface during August.

13.8~46.6와 44.3~49.7%였다. 이와 같은 結果는 Whillier[5,7,10,11,14]等의 結果와 비슷하였으나 물加熱集熱機의 경우는 本實驗의 結果가 약간 낮은 값을 보였으나 이것은 實驗條件 等의 變化에서 온 結果라

思料된다.

물加熱集熱機는 空氣加熱集熱機보다, 日射量의 多少에 關係없이 2~3% 程度 높은 效率을 보였으며 8月의 集熱機 平均效率도 물加熱集熱機가 44.2%, 空氣加熱集熱機가 41.3%로서 물加熱集熱機가 約 3% 程度 높은 效率을 보였다. 이와 같이 集熱機의 種類에 따른 效率의 變化는 심하지 않으나 氣象條件이 다른 8月 15日과 8月 20日의 集熱機效率은 두 集熱機 모두 平均 10% 程度의 큰 差異를 보였으며 하루中의 最大의 效率이 얻어지는 時間도 日射量이 最大인 時間과 같은 期間이고 또 8月 15日에는 두 集熱機 모두 效率의 變化가 심하였으나 8月 20日에는 效率의 變化가 크지 않음을 알수 있었다. 따라서 集熱機의 效率은 集熱機의 種類보다도 氣象條件의 變化에 더 큰 影響을 받고 있다고 判斷된다.

大體로 물加熱集熱機가 空氣加熱集熱機보다 약간 높은 效率을 보이고 있었으나, 午後 4時 以後에는 空氣加熱集熱機가 물加熱集熱機보다 약간 높은 效率을 나타내는데 이러한 現象은Gupta[7] 等의 硏究結果에서와 같이 午後에는 集熱機 內의 流體의 溫度가 낮아지는데 이때 낮아지는 程度가 물보다 空氣가 심하여 空氣加熱集熱機의 入口溫度와 大氣溫과의 差는 別로 없으나 물加熱集熱機의 경우는 그差가 심하기 때문에 集熱機의 損失熱量이 많아 지는데 起因한 것으로 判斷된다.

以上의 結果에서와 같이 一般的으로 물加熱集熱機가 空氣加熱集熱機 보다는 그 效率이 약간 높으나 이러한 集熱機들을 農產物의 乾燥에 利用한다면 加熱된 空氣는 直接 利用될 수 있을 뿐만아니라 어느 程度의 風速을 維持할 수 있는 反面 물加熱集熱機에서와 같이 利用可能한 熱로 바꿀 수 있는 熱交換裝置가 必要없기 때문에 農產物 乾燥에의 利用價値는 空氣加熱集熱機가 더 클것으로 思料된다.

4. 結　論

農產物 乾燥에 利用할수 있는 太陽 에너지集熱裝置 開發을 爲한 基礎 資料를 얻기 爲하여 大田地方의 日射量을 日照時數에 依해 豫測할 수 있는 一般式을 5年間(1972.1.1~1976.12.31)의 氣象資料로서 誘導하고 그 式에 依한 計算値와 記錄値를 比較 分析하였으며 물加熱集熱機와 空氣加熱集熱機를 各各 製作하고 實驗을 通하여 그 集熱效率을 分析했던 結果를 要約하면 다음과 같다.

가. 大田地方의 日照時數에 依한 月 平均 水平面 日射量의 一般式은 $H_{av}=(1.546\frac{n}{N}-0.582)\,H_0$ 로 表示되며 이式에 依한 計算値와 記錄値 間의 差에 對하여 t 檢定을 했던바, $t=0.882$로서 그 有意性은 認定되지 않으므로 이式에 依해서도 日照量을 豫測할 수 있을 것으로 判斷되었다.

나. 이 地方의 夏穀 및 秋穀 乾燥期間의 集熱機 適定傾斜角은 各各 偉度(37.3°N)에서 約 25°을 빼거나 더한 값인 13°와 51°였으며 集熱機의 傾斜角 33°의 경우 方向係數(R_b)와 太陽의 declination과의 關係를 그림(4)에 圖示하였다.

다. 두 集熱機의 效率은 물加熱集熱機의 경우 8月 15日(最小日射量)에는 13.4~51.6%, 8月 20日(最大日射量)에는 43.8~53.7%였으며 空氣加熱集熱機의 경우 各各 같은 날에 13.8~46.6%와 44.3~49.7%였다.

라. 두 集熱機 들間의 效率은 各各 같은 날에 있어서 2~3% 程度의 差를 보이지만 日射量이 最大인 날과 最小인 날에 있어서의 效率은 두 集熱機 모두 平均 10% 程度의 큰 差異를 보였다.

마. 두 集熱機 間의 效率은 물加熱集熱機가 약간 높았지만 農產物의 乾燥에는 加熱된 流體를 直接 利用할 수 있는 空氣加熱集熱機가 더 效率的일 것으로 思料된다.

參 考 文 獻

1. Vindum J. and K. Bentz 1977. Solar Energy for industrial Process hot water. Agriculturing Engineering (Jul.) pp. 37—42.
2. Koh H.K. 1977. Use of Flat-plate solar collector in the regeneration of silica gel. unpublished Ph.D Dessertation, Kansas, State Univerity.
3. Duffie J.A., and W.A. Beckman 1974. Solar energy thermal process. A Wiley-interscience Publication, John Wiley &Sons, Inc., New York
4. Garg H.P. 1973. Design and performance of Large-size solar water heater. solar Energy Vol. 14 pp. 303—312
5. Gupta C.L and H.P Gary 1967. Performance Studies on solar air heaters. Solar Energy Vol.11 No. 1. pp. 25—31
6. Kanna Mohan Lal 1967. Design Data for solar heating of air. Solar Energy Vol. 11, Nos. 3, 4 pp. 142—144

7. Bhardwaj R.K and B.K. Gupta 1967. Performance of a flat-plate solar collector. Solar Energy Vol. 11, Nos. 3.4 pp. 160—162.
8. Löf G.O.G., J.A. Duffie and C.O. Smith 1966. World distribution of solar radiation. Solar Energy Vol. 10. No.1 pp. 27—37
9. Igbal M. 1966. Free convection effects inside tube of flat-plate solar collectors. Solar Energy Vol. 10. No.4 pp. 207—211.
10. Whillier A and G Saluja. 1965. The thermal performance of solar water heaters. Solar Energy Vol. 9 No.1 pp. 21—26.
11. Whillier A. 1964 Black painted solar air heaters of conventional design. Solar Energy Vol.8. No.1 pp. 31—37.
12. Liu B.Y.H and R.C Jordan 1963. The long-term average performance of flat-plate Solar energy collectors. Solar Energy Vol.7. No.2 pp. 53—70.
13. Close D.J. 1963. Solar air heaters for low and moderate temperature applications. Vol. 7 No. 3 pp. 117—124.
14. Becker C.F. and J.S. Boyd 1961. Availability of solar energy. Agriculturing Engineering.
15. Hottel H.C. and A. Whillier 1958. Evaluation of flat plate solar collector Performance. Trans. conf. on the use of solar energy 2. pp. 74.
16. Buelow F.H. and J.S Body 1957. Heating air by solar energy. Agricultural Engineering (Jan.) pp. 28—30
17. Becker C.F and J.S Boyd 1957. Solar Radiation availability on surfaces in the United States as affected by season orientation, latitude, altitude and Cloudiness. Solar Energy Vol. 1 No. 1. pp. 13—21.
18. Threlkeld J.L. and R.C Jordan 1955. Solar radiation during Cloudless days. Heat. Pip. Air Cond. Vol. 27 No. 2 pp. 117—122.
19. Parmelee G.V. 1954. Irradiation of vertical and horizontal surfaces. by diffuse solar radiation from Cloudless skies. Heat. Pip. Air Cond. Vol. 26. No. 8 pp. 129—136.
20. Hottel H.C. and B.B. Woertz. 1942. Performance of flat-plate solar heater collectors. Trans. A.S.M.E 64. pp. 91—104.