

清州地方의 時清明指數와 散亂比와의 關係(II)
 Relationship between Hourly Clearness Index and
 Diffuse Ratio at Cheongju Area(II)

李 弘 柱*

H. J. Lee

Summary

The estimation of beam radiation intensity on a tilted surface is very important to the design of a solar energy system.

In order to get the beam radiation intensity, it is required to calculate the ratio of the diffuse solar radiation to the global radiation (k_d).

The data measured at Chung-Buk National University, Cheong-ju, (from May 16, 1985 to Nov. 10, 1987) were analysed to define the relationship between hourly clearness index (k_t) and diffuse ratio (k_d).

The results are as follow:

1. The percent of clearness index (k_t) of less than 0.3 and of more than 0.8 were 2.7% and 3.1% respectively, and between 0.5 and 0.8 was 76.5%.
2. The regression equation between k_t and k_d was an exponential function as:

$$k_d = \begin{cases} 1 & : (k_t < 0.1) \\ 1.28 \times 0.074^{k_t} & : (0.1 \leq k_t < 0.9) \\ 0.12 & : (0.9 \leq k_t) \end{cases}$$

There was a little difference between the results of this study based on the data of 30 months and the results of previous study (ITRA 2(1):42-47, 1986.) based on the data of 8 months.

3. The hourly exponential regression equation between k_t and k_d was $k_d = A \times B^{k_t}$ and the values of constant A and coefficient B of the equations are as the following table;

The values of constant A and coefficient B in the regression equation.

time (hour)	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	08-17
A	1.148	1.72	1.195	1.096	1.0	1.595	1.81	0.781	0.741	1.28
B	0.113	0.40	0.0675	0.078	0.095	0.0467	0.0406	0.206	0.39	0.074

4. The percent of k_d of less than 0.4 was 72.9% and of more than 0.7 was 6.6%.
5. Total mean value of k_t and k_d were 0.56 and 0.32, respectively. From 10:00 to 15:00 o'clock the total mean value of k_t was smaller than the hourly mean values of k_t and the one of k_d larger.

*安城農業專門大學 農業機械科

Nomenclature

- I_o : 外氣圈 水平面 太陽強度 (W/m^2)
- I : 地表 水平面 全太陽強度 (W/m^2)
- I_d : 地表 水平面 散亂太陽強度 (W/m^2)
- k_t : 時清明指數 ($=I/I_o$)
- k_d : 散亂比 ($=I_d/I$)
- \bar{K}_t : 月平均 清明指數 ($=\bar{H}/\bar{H}_o$)
- \bar{K}_d : 月平均 散亂比 ($=\bar{H}_d/\bar{H}$)
- I_b : 地表 水平面 直達 太陽強度 (W/m^2)
- K_t : 日 清明指數 ($=H/H_o$)
- K_d : 日 散亂比 ($=H_d/H$)
- \bar{H}_o : 外氣圈의 月平均 水平面 太陽強度 (W/m^2)
- H_o : 外氣圈의 日 水平面 太陽強度 (W/m^2)
- \bar{H} : 地表面의 月平均 水平面 全太陽強度 (W/m^2)
- H : 地表面의 日 水平面 全太陽強度 (W/m^2)
- H_d : 地表面의 月平均 散亂太陽強度 (W/m^2)
- H_a : 地表面의 日 散亂太陽強度 (W/m^2)
- G_{sc} : 太陽常數 ($=1353W/m^2$)
- δ : 赤緯
- ϕ : 測定地點의 緯度 (淸州의 緯度 $=36.63^\circ N$)
- n : 줄리우스 日 (The day number of the year:
 $1 \leq n \leq 365$)
- ω : 時間角

1. 緒 論

地球表面에 到達하는 太陽輻射에너지의 強度는 太陽光이 大氣圈을 지나는 동안 아무런 防害도 받지 않고 到達하는 直達太陽強度와 大氣圈에서 各種 粒子에 依하여 散亂된 後 到達하는 散亂太陽強度로 區分된다.

大部分의 氣像觀測所에서는 一般의 으로 水平面 全太陽強度(I)만을 測定하고 있으나 太陽에너지 利用 시스템을 設計하는 데에는 그 地域의 直達太陽強度를 推定하여야 한다. 直達太陽強度는 大氣의 透過率을 求하여 計算하는 方法도 있으나²⁾, 外氣圈의 水平面 太陽強度를 計算하고 地表面에 到達하는 水平面 太陽強度와 散亂 太陽強度를 長期間에 걸쳐 測定하여 清明指數와 散亂比 사이의 關係로부터 推定하기도 한다^{2,3,4,5,6)}.

Liu와 Jordan은 地表面에서 測定한 月平均 水平

面 全太陽強度(\bar{H})와 外氣圈 水平面 月平均 太陽強度(\bar{H}_o)의 比(\bar{H}/\bar{H}_o)를 月清明指數(\bar{K}_t)라 하였다⁴⁾.

같은 方法으로 日太陽強度(H)와 時間太陽強度(I)로부터 日清明指數(K_t)와 時清明指數(k_t)를 算定한다²⁾.

Orgill과 Hollands는 時清明指數(k_t)와 散亂比(k_d)를 利用하여 Canada의 觀測資料를 分析하고 時清明指數(k_t)와 散亂比(k_d) 사이에 다음과 같은 關係가 있음을 究明하였다⁴⁾.

$$k_d = 1 - 0.249 k_t \quad ; (k_t \leq 0.35)$$

$$= 1.557 - 1.84 k_t \quad ; (0.35 < k_t \leq 0.75)$$

$$= 0.177 \quad ; (0.75 < k_t)$$

P. J Smetana 등은 太陽強度를 1分 間隔으로 測定分析한 結果⁷⁾,

(1) 水平面 散亂太陽強度가 正確하게 測定되면 分析方法에 關係없이 傾斜面의 直達太陽強度를 算出할 수 있다고 하였으며,

(2) 實測分析한 k_d 와 k_t 와의 關係는 誘導된 多重回歸曲線을 中心으로 그 周圍에 幅넓게 分散된다고 하였다.

Frutos 등은 k_d 가 k_t 만의 單純函數가 아니므로 이와같은 現狀은 當然한 것이라 하였으며 散亂太陽強度를 k_d 와 k_t 와의 關係만으로 正確하게 求할 수 없음을 示唆하였다³⁾.

Muneer와 Hawas는 印度에서 K_t 와 K_d 의 關係를 分析한 結果⁵⁾,

(1) k_t 와 k_d 사이에는 3次回歸式의 關係가 있었으며,

(2) K_t 와 \bar{K}_d 사이에는 直線回歸式의 關係가 있고

(3) 한 地域의 清明指數와 散亂比와의 關係式을 他 地域에 그대로 適用하는 것은 妥當性이 없다고 하였다.

李 등은 淸州地方에서 時清明指數(k_t)와 散亂比(k_d) 사이에는 다음과 같은 關係가 있음을 보고하였다.

$$(1) k_d = 1 \quad ; k_t \leq 0.2$$

$$1.665 \times 0.0705^{k_t} \quad ; 0.2 < k_t < 0.8$$

$$0.2 \quad ; 0.8 < k_t$$

(2) 날씨가 맑은 境遇에도 全太陽強度中 20%는 散亂太陽強度이었다.

本 研究에서는 太陽에너지 利用 system設計를 위

한 直達 太陽強度를 求하기 위하여 k_d 와 k_t 의 關係를 分析하여 清州地方의 散亂太陽強度의 特性을 整理하려 하였다.

2. 實測 및 分析方法

1) 測定器機 및 方法

水平面 全太陽強度 및 散亂太陽強度는 2臺의 太陽強度計(Macam Co, Model 101)로 測定하였고 散亂太陽強度는 陰板圓影法(Shadow disk method)으로 測定하였다⁸⁾

2) 測定期間 및 回数

太陽強度의 測定期間은 1985년 5월 16일부터 1987년 11월 10일 사이였으며 測定日數는 29日이었고 測定期間中 每日 08:30부터 17:00까지 30分 間隔으로 測定하였다.

3) 分析方法

時清明指數(k_t)와 散亂比(k_d)는 다음 式과 같다.

$$k_t = I / I_o \dots\dots\dots (1)$$

$$k_d = I_d / I \dots\dots\dots (2)$$

(1)式中 外氣圈 太陽強度(I_o)는 다음 式으로 求하였다.

$$I_o = \frac{12}{\pi} \times G_{sc} \times [1 + 0.033 \cos(\frac{360n}{365})] [\cos\delta(\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \frac{2\pi}{360}(\omega_2 - \omega_1) \sin\phi \sin\delta] \dots\dots (3)$$

여기서

$$\phi = 36.63^\circ \text{ (清州地方의 緯度),}$$

$$\delta = 23.45 \sin(\frac{284+n}{365} \times 360) \text{ 이다.}$$

$$G_{sc} = 1353 \text{ w/hr}$$

또한, 地表의 水平面에 到達되는 直達太陽強度(I_b)는 다음과 같이 計算된다.

$$I_b = I_o k_t (1 - k_d) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 I_o 는 1年中 날짜와 時間이 주어지면 一定한 값을 가지므로, k_t 가 클수록, k_d 가 작을수록 I_b 의 값이 커지므로 太陽에너지 利用에 있어서 k_d 의 값은 重要한 要因으로 作用함을 알 수 있다.

3. 結果 및 考察

1985年 5月 16일부터 1987年 11月 10日 사이에 清州地域에서 實測한 水平面 太陽強度와 散亂太陽強度를 基礎로 k_t 와 k_d 사이의 關係를 다음과 같이 分析하였다.

1) 時清明指數(k_t)와 散亂比(k_d)의 發生頻度

그림 1은 k_t 와 k_d 의 發生頻度を 나타낸 것으로 k_t 의 發生頻度는 $0.5 < k_t \leq 0.8$ 의 範圍에서 全體의 76.5%를 차지하고 있었으며, k_d 는 全體의 72.9%가 $k_d \leq 0.4$ 의 範圍內에 있었다.

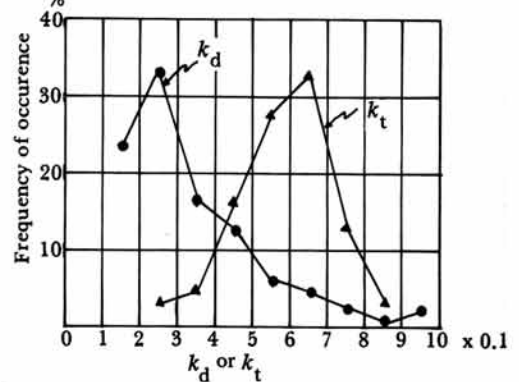


Fig. 1. The frequency of occurrence for hourly clearness index, k_t and diffuse ratio, k_d .

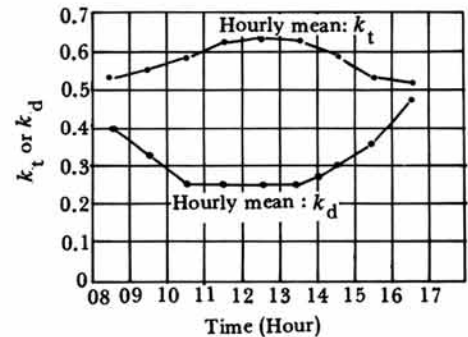


Fig. 2. Comparison of Hourly Meane Values of k_t and k_d Vs total mean values.

清州地域의 時清明指數(k_t)와 散亂比(k_d)의 平均値는 各各 0.56과 0.32였다.

그림 2는 k_t 와 k_d 의 時間別 平均値를 比較한 것으로 10時부터 15時 사이에는 k_t 의 時間平均値가 全體平均値보다 큰 값을 보이는 반면, k_d 는 작은 값을 보이고 있다.

2) k_t 와 k_d 의 關係

Table 1. Values of constant A and coefficient B in exponential regression equations ($k_d = A \times B^{k_t}$)

Hour Item	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	08-17
A	1.148	1.72	1.195	1.096	1.0	1.595	1.81	0.781	0.741	1.28
B	0.113	0.40	0.0675	0.078	0.095	0.0467	0.0406	0.206	0.39	0.074

Table 2. Comparison of k_d obtained from the regression equations.

k_t	Time (solar hour)									
	08-17	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
0.8	0.16	0.20	0.13	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.22	0.35
0.7	0.20	0.25	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.26	0.38
0.6	0.27	0.31	0.25	0.24	0.24	0.24	0.25	0.27	0.30	0.42
0.5	0.35	0.39	0.34	0.31	0.31	0.31	0.34	0.37	0.35	0.46
0.4	0.45	0.48	0.47	0.41	0.40	0.39	0.40	0.50	0.42	0.51
0.3	0.59	0.60	0.65	0.53	0.51	0.50	0.64	0.67	0.49	0.56
0.2	0.76	0.74	0.90	0.70	0.66	0.63	0.86	0.95	0.57	0.61
0.1	0.99	0.92	1.25	0.91	0.85	0.80	1.17	1.31	0.67	0.67

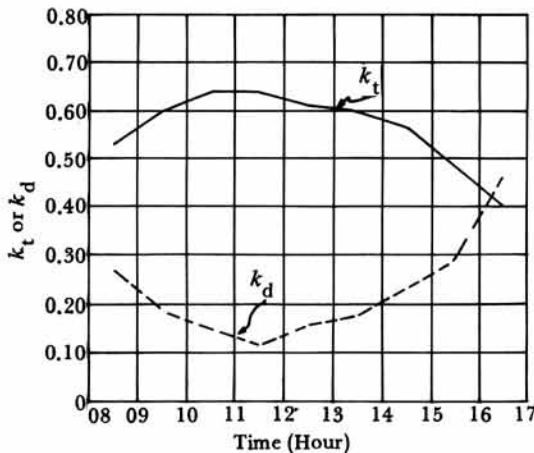


Fig. 3. Variations of k_t and k_d on Sep. 23, 1987.

表 1 은 時清明指數 (k_t) 와 散亂比 (k_d) 의 關係를 表示한 指數形回歸式 ($k_d = A \times B^{k_t}$) 中 常數 A 와 係數 B 의 값을 나타낸 것이다.

表 2 는 時間別로 求한 回歸式을 利用하여 k_t 의 값에 對應하는 k_d 의 값을 求한 것으로 9時 以前과 15時 以後에는 다른 時間에 比하여 큰 값을 보이고 있다.

그림 3 은 實測期間中 하루 (1987. 9. 23) 동안에

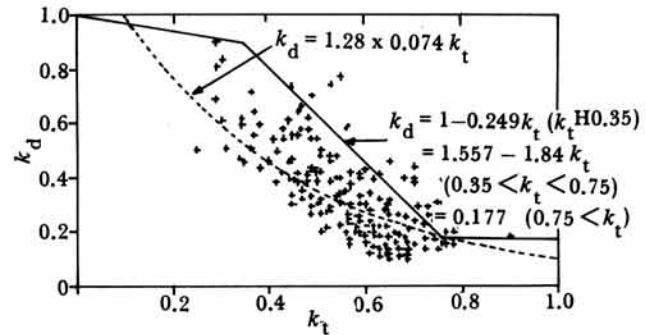


Fig. 4. Correlation of diffuse ratio, k_d with hourly clearness index, k_t .

k_t 와 k_d 가 時間에 따라 相對的으로 變化하는 狀態를 보여주고 있는 것으로 12時 (太陽時) 를 中心으로 대략 左右對稱을 이루고 있음을 알 수 있다.

그림 4 는 全實測期間에 걸쳐 求한 k_t 와 k_d 의 回歸曲線과 分布狀態를 보인 것으로, Orgill 과 Hollands 가 구한 回歸曲線과는 큰 差를 나타내고 있는 바, 이는 地域이 다르기 때문인 것으로 思料된다.

4. 結 論

淸州地方의 水平面 全太陽強度中에서 散亂 太陽強

도가 차지하는 比率($k_d = I_d/I$)을 求하고 太陽時間別로 清明指數(k_t)와 散亂比(k_d) 사이의 關係를 밝힘으로서 太陽에너지 利用 裝置에 必要한 基礎資料로 活用할 수 있도록 1985年 5月 16日부터 1987年 11月 10日까지 清州地域에서 實測한 資料를 分析하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 全實測回數中에서 $0.8 < k_t$ 와 $k_t < 0.3$ 인 境遇는 各各 3.1%와 2.7%이었고, $0.5 \leq k_t < 0.8$ 인 境遇는 76.5%이며 k_t 의 全體平均값은 0.56이었다.

2) 全實測值를 利用하여 k_t 와 k_d 사이의 關係에 對한 回歸式을 求한 結果 다음과 같은 指數函數關係式을 구할 수 있었다.

$$k_d = \begin{cases} 1 & ; (k_t < 0.1) \\ 1.28 \times 0.074^{k_t} & ; (0.1 \leq k_t < 0.9) \\ 0.12 & ; 0.9 \leq k_t \end{cases}$$

이 式은 李等이 1985.5~1985.11까지 8개월간의 實測資料로 求한 것과는 差異가 있었으며, 그 原因은 本研究의 實測期間이 前 研究에 比하여 더 길었고 測定資料가 많기 때문이며 正確도가 큰 結果를 얻은 것으로 思料된다.

3) 每時間別 k_t 와 k_d 와의 關係는 $k_d = A \times B^{k_t}$ 와 같은 指數型 回歸式으로 表現할 수 있었다.

4) 全實測期間中 $k_d \leq 0.4$ 인 境遇는 72.9% 이었고 $k_d > 0.7$ 인 境遇는 6.6%를 차지하였고 k_d 의 平均値는 0.32이었다.

5) 10時부터 15時 사이의 k_t 와 k_d 의 時間別 平均値와 全體平均値를 比較하면 k_t 는 時間別 平均値가 全體平均値보다 큰 反面, k_d 는 작은 값을 보였다.

이와같은 結果로 미루어보아 하루중 太陽에너지를 가장 效率的으로 利用할 수 있는 時間帶는 10時부터 15時 사이임을 確認할 수 있었다.

參考文獻

1. 李弘柱, 宋鉉甲. 1986. 清州地方의 時清明指數(k_t)와 散亂比(k_d)와의 關係, 農村熱에너지 研究報告 論文集 2(1): 42-47.
1. Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1980. Chapter 2. Available Solar Radiation, Available Solar Engineering of Thermal process. pp.28-107.
2. Frutos, F.V. Ruiz and J. Gutierrez. 1985. Correlations Between The Solar Diffuse And Global Radiation for Madrid. Revue Internationale D'Helio technique ler Semester. pp.7-12.
4. Liu, B.Y.H. and R.C. Jordan. 1960. The Interrelationship and Characteristics of Distribution of Direct and Total Solar Radiation. Solar Energy. 4(3):1-19.
5. Muneer, T. and M.M. Hawas. 1984. Study of Diffuse and Global Radiation Characteristic in India. Energy Conversion, Mgmt. 24(2):143-149.
6. Orgill, J.F. and K.G.T. Hollands. 1977. Correlation Equation for Hourly Diffuse Radiation on a Horizontal Surface. Solar Energy. 19:357-359.
7. Smietana, P.J. Jr. and R.G. Floschini and et al. 1984. A New Look at the Correlation of k_d and k_t Ratios and at Global Solar Radiation Tilt Models using One-Minute Measurement Solar Energy. 32(1):99-107.
8. 1978. Methods of Testing to Determine The Thermal Performance of Solar Collector. ASHRAE Standard.