

Penman式의 適用에 있어서 地域別 日射量 推定을 爲한 係數의 算定

A Calculation of the Coefficients for Estimating the Regional Radiation in Using the penman Equation

高 熙 元* · 黃 垠** · 金 始 源***
Ko, Heui Weon · Hwang, Eun · Kim, Shi Won

Summary

To suggest the fundamental data for the estimation of crop evapotranspiration by the calculated coefficients for estimating the radiation suitable to the different regions of Korea in application of Penman equation, the daily data such as s_c (skycover), n (actual sunshine hours), N (possible sunshine hours), R_s (horizontal solar radiation) and R_a (extraterrestrial solar radiation) for 10 years (from 1977 to 1986) collected from 19 meteorological stations were analysed. The results are summarized as follows :

1. The coefficients a , b and c for estimating the radiation taken by the regression method with the daily and monthly mean data of the skycover and the ratio of R_s to R_a were shown as $a=0.619$, $b=-0.0202$, $c=-0.0023$ and $a=0.64$, $b=0.0377$, $c=0.0001$ in average respectively.
2. The coefficients a and b for estimating the radiation analysed by the regression and arithmetic method from the daily ratio of sunshine hours and R_s to R_a were shown as $a=0.157$, $b=0.529$, and $a=0.119$, $b=0.726$ in average, respectively.
3. The coefficients a and b for estimating the radiation calculated by the regression method based on the monthly ratio of sunshine hours and radiation were shown as $a=0.319$ and $b=0.557$ in average.
4. The values of a and b for estimating the radiation taken from the relationship between the daily ratio of sunshine hours and radiation showed high significance level.
5. The standard deviation and the coefficient of variance between the radiation calculated from the coefficients by the regression and arithmetic method with the daily data and the actual radiation were analysed and compared to the results by the coefficients of

* 農業振興公社 研修院

** 江原大學校 農科大學

*** 建國大學校 農科大學

- the modified Penman method ($a=0.18, b=0.55$) and by those of the F.A.O modified Penman method($a=0.25, b=0.5$). The standard deviation and the coefficient of variance by the regression method in this study showed the lowest value.
6. From the above results, it is suggested that regression method using the coefficients taken from the relationship between the ratio of sunshine hours and the ratio of radiation based on the daily data has the highest accuracy in estimating the radiation.
 7. The average reference crop evapotranspiration estimating by the modified Penman method using the coefficients a and b derived by the regression method from the daily meteorological data was closer to the actual evapotranspiration of grass measured in Suwon area than the estimated evapotranspiration by the modified Penman method and the F.A.O modified Penman method.

I. 緒 論

우리나라의 降水量은 地域의으로는 多少 差異는 있지만 年平均降水量이 1,159mm로서 該량의 2/3가 여름철에 偏在되어 있어 總水資源量의 利用率이 13%에 지나지 않고 있다.

그러나 向後 人口의 增加와 工業 및 農業用水의 急増을 考慮해 볼때 水資源의 開發 및 效率的인 利用도 當면 과제라고 하겠다. 特히 1986年度 農業用水需要는 118.3億 m^3 이지만 10餘年後인 2001년에는 158.4億 m^3 가 豫想되므로 農業用水開發 및 確保를 위한 諸般施設 및 維持管理가 그 어느때 보다도 重要한 問題로 대두되고 있다. 이에 對處하기 위해서는 물의 正確한 需給計劃이 이루어져야 하는데 그중 물의 利用面에서 農業用水量이 큰 비중을 차지하고 있어 合理的인 農業用水量의 算定이 要求되고 있다. 이러한 견지에서 作物의 消費水量을 正確히 推定한다는 것은 合理的이고 效率的인 灌溉를 위하여 매우 重要한 것이다. 作物의 消費水量은 地域의 氣象條件과 土壤에 따라 다르겠으나 벼 또는 밭作物의 消費水量의 推定에서 가장 基本이 되는 것은 蒸發散量의 正確한 推定이다.

蒸發散量의 計算公式에는 Blaney & Criddle, Thornthwaite, Hargreaves, Radiation 및 Penman式등 여러가지가 있으나 우리나라에서는 1970年代에 農業振興公社가 I. B. R. D 借款으로 錦江, 平澤地區 農業綜合開發事業을 施行할때

蒸發散量算定公式으로 Blaney & Criddle公式을 使用하게 되었다.

그런데 이 公式은 元來 美國의 乾燥地帶에서 開發된 밭 作物의 蒸發散量算定式으로서 晝間時間百分率과 平均氣溫의 2個氣象因子만을 利用하여 旬別蒸發散量을 計算하기 때문에 이를 우리나라에 適用하는데는 多少 問題가 제기되어 왔다. 그러므로 效率的인 물管理와 長期間의 물 需要를 豫測하는 데는 日別蒸發散量을 얻을 수 있는 蒸發散量推定公式이 必要하다고 본다. 最近 우리나라에서는 蒸發散量에 對한 많은 研究가 發表되었는바 Penman式이 우리나라 氣象與件에 適合한 公式으로 認定되고 있다.

이 Penman 式은 氣溫, 相對濕度, 風速日照時間, 日射量 등 複合的인 氣象要素에 依하여 蒸發散量이 計算되기 때문에 精度가 높은 것이며 또한 日別 蒸發散量을 計算할 수 있어서 물 收支分析을 爲해서도 合理的인 公式이라고 判斷된다. 그런데 Penman式의 構成因子 중에서 日射量의 推定이 重要한 項인바 우리나라의 各地域別 氣象特性에 알맞는 日射量推定公式이 절실히 要求되고 있다.

따라서 本 研究에서는 全國의 19個 氣象觀測所에 對한 日射量推定을 爲한 地域別 係數를 결정하여 Penman式에 依한 蒸發散量算定에 適用될 수 있도록 하였다.

II. 日射量推定の理論的背景 및 利用

短波輻射(Shortwave solar radiation)는 大氣 중을 통과하여 地面에 도달되는 사이에 大氣에 의하여 吸收되거나 散亂 또는 反射되어 줄어들게 되며 地面에 도달되는 에너지(Global radiation)는 大氣의 狀態를 變化시키는 중요한 요인이 된다.

全天輻射量(R_s)은 日射에너지를 電氣 또는 蒸發熱로 變換시켜주는 全天輻射計(Pyranometer)로 측정될 수 있다. 이 全天輻射量 또는 水平面日射量은 作物의 蒸發散量推定, 水面으로부터의 蒸發量計算, 水溫 및 地溫 등의 研究에 利用되고 있으며, 따라서 日照時間과 日射量의 關係를 안다는 것은 중요하다고 하겠다.

이를 爲하여 Angstrom²⁾은 1924년에 日射量과 日照時間의 關係를 線型的 關係式으로 最初로 제시하였으며 그 式은 다음과 같다.

$$R_s = R_0 \{ \alpha + (1 - \alpha) \frac{S}{S_0} \} \dots \dots \dots (2-1)$$

여기서

- R_s : 日別 全天輻射量(MJ/m²/day)
- R_0 : 清明日의 全天輻射量(MJ/m²/day)
- S : 日照時間(hr/day)
- S_0 : 可照時間(hr/day)
- α : 常數

실제로 α 는 구름을 通過하는 短波輻射의 透過係數의 일종이다. 그리고 S_0 는

- (1) 天文學的으로 決定된 낮의 길이
- (2) 동일한 記錄點에 의한 最大 觀測值,

(3) 地形에 따른 地域別 낮의 길이중 最大值 등의 方法으로 解析될 수 있다. 그런데 이 公式에 있어서는 R_0 가 대부분의 氣象環境에 있어서 清明日의 數가 극히 적기 때문에 決定하기 어렵고, 특히 同一한 場所에 있어서도 大氣중의 水分이나 細塵이 약간만 變하여도 R_0 의 값이 상당한 폭으로 變하기 때문에 問題가 된다. 그러므로 이러한 問題點을 考慮하여 Prescott²⁵⁾은 R_s 를 大氣圈外廓面에서 받는 短波輻射量으로 變換한 修正公式을 만들었으며 그 式은 다음과

같다.

$$R_s = R_a (a + b \cdot n / N) \dots \dots \dots (2-2)$$

여기서

- R_s : 日別 水平面日射量(MJ/m²/day)
- R_a : 大氣圈外廓面에서 받는 短波輻射量(MJ/m²/day)
- n : 日照計에 의해 測定된 日照時數(hr/day)
- N : 天文學的 方法으로 決定된 낮의 길이(hr/day)
- a : 구름이 하늘을 완전히 덮은날 地面에 도달되는 R_a 의 百分率
- b : 구름이 하늘을 완전히 덮은날 구름에 의하여 흡수된 百分率

現在는 主로 Prescott式에 依하여 水平面日射量이 推定되고 있는데 이 경우에 R_s 의 正確度는 推定된 係數 a 와 b 에 左右된다. Penman方程式은 作物의 蒸發散量을 推定하는데 있어서 理論的으로 그 精度가 높기때문에 充分한 氣象데이터가 있는 곳에서 폭 넓게 利用되고 있으며 이 方程式은(2-3)에서 보는바와 같이 에너지收支項(Energy balance component)과 空氣動力項(Aerodynamic component)으로 構成되어 있고 에너지項은 그 變數로서 純輻射量(Net radiation, R_n)과 土壤面을 통한 熱收支量(Soil heat flux : G)를 取하고 있다.

$$ET = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot E_a \dots \dots (2-3)$$

여기서,

- ET : 蒸發散量(mm/day)
- Δ : 平均氣溫에서 計算된 飽和蒸氣壓과 溫度曲線의 기울기(mb/°K)
- γ : 乾濕球常數(mb/°K)
- R_n : 純輻射量(mm/day)
- G : 土壤의 熱收支量(mm/day)
- E_a : 空氣動力學的 水蒸氣移動項(mm/day)

즉 Penman이 1948년에 最初로 개발한 方程式에는 土壤面을 통한 熱收支量 G 가 無視되었고 純輻射量 R_n 은 다음식 (2~4)으로 推定되었

다.

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot [R_s - \delta T_{\text{mean}}^4 (0.56 - 0.092(\text{edp})^{1/2}) \cdot (0.10 + 0.90 \cdot n/N)] \dots (2-4)$$

여기서

R_s : 水平面日射量(mm/day)

α : 反射係數(albedo)

δ : Stefan-Boltzman 常數(2×10^{-9} mm/day / $\cdot K$)

T_{mean} : 平均氣溫($^{\circ}K$)

n/N : 日照率

ed_p : 露點溫度에서의 飽和蒸氣壓 ($\cdot \text{mbar}$)

式(2-4)에서 純輻射量(R_n)은 純短波輻射量(R_{ns})에서 純長波輻射量(R_{ni})을 뺀 값이며 純短波輻射量(R_{ns})은 水平面日射量(R_s)에서 反射量($\alpha \cdot R_s$)을 뺀 값으로서 一般의 作物로 被服된 狀態에서의 反射係數(α)는 약 0.25를 取하고 있다.

그리고 水平面日射量(R_s)은 日射計에 依하여 測定된 값을 利用하거나 實測資料가 없는 경우에는 式(2-2)를 利用하여 推定하게 된다. 純輻射量 R_n 을 推定하는 式(2-4)는 1977년에 F.A.O의 Doorenbos와 Pruitt¹³⁾에 의하여 式(2-5)와 같이 修正되었다.

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot [R_s - \delta T_{\text{mean}}^4 \cdot (0.34 - 0.044(\text{edp})^{1/2}) \cdot (0.10 + 0.90 \cdot n/N)] \dots (2-5)$$

Penman²³⁾은 水平面日射量 R_s 를 推定하는 式(2-2)의 係數 a , b 를 0.18과 0.55로 算定하였으며, Doorenbos와 Pruitt¹³⁾는 a , b 係數의 값을 0.25와 0.50으로 提案하고 있다.

III. 資料 및 分析

1. 資料

우리나라의 中央觀象臺傘下 測候所는 31個所에 달하고 있으나 水平面 日射量을 包含한 氣

象狀況을 觀測하고 있는 測候所는 서울을 비롯하여 19個所이다. 本 研究에서는 이들 19個所全體를 對象으로 1977년부터 1986년까지 平均雲量(S_c), 大氣圈外廓面日射量(R_a), 水平面日射量(R_s), 可照時間(N), 實測日照時間(n)에 對한 日別資料 248,445個를 蒐集하여 컴퓨터에 入力시켜 分析하였다.

이들 測候所의 全國分布는 Fig.1과 같고 測候所別 緯度, 經度, 標高 및 月別水平面日射量(R_s/R_a), 月別日照率(n/N), 月別平均雲量(S_c)는 Table-1~4와 같다.

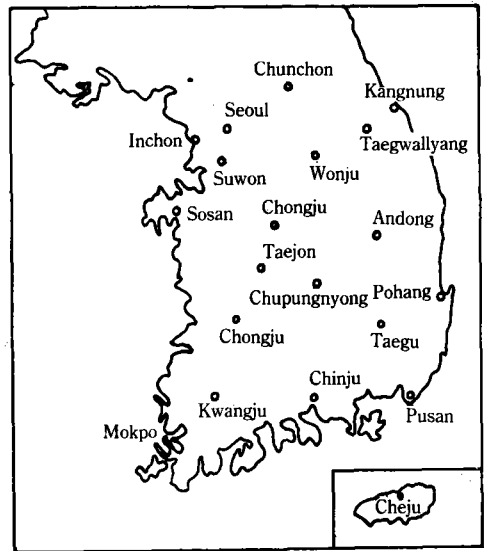


Fig. 1. Solar radiation observation station.

2. 分析方法

氣象資料를 利用하여 日射量을 推定하는 方法에는 平均雲量(S_c)과 日射率(R_s/R_a)의 相關으로 $R_s = (a - b \cdot S_c - C \cdot S_c^2) \cdot R_a$ 로 表示되는 2次回歸方法(Nonlinear regression method)에 依한 것과 日照率(n/N)과 日射率(R_s/R_a)의 相關으로 $R_s = (a + b \cdot n/N) \cdot R_a$ 로 表示되는 線型回歸方法(Linear regression method) 및 算術平均方法(Arithmetic mean method)으로 大別된다.

Table-1. Period and number of data by the stations collected for the analysis.

No.	Station	Periods	No. of data	LAT(N)	LONG(E)	EL(M)	Remark
1	Seoul	77-86(10YR)	18,060	37.34	126.58	85.50	
2	Inchön	77-86(10YR)	18,250	37.29	126.38	68.90	
3	Suwon	77-86(10YR)	18,225	37.16	126.59	36.90	
4	Chongju	77-86(10YR)	18,160	36.38	127.16	59.00	
5	Taejön	84-86(3YR)	5,480	36.18	127.24	77.10	
6	Chupungnyöng	82-86(5YR)	9,085	36.13	128.00	245.90	
7	Chunchon	77-86(10YR)	16,055	37.54	127.44	74.00	
8	Kangnūng	77-86(10YR)	18,065	37.45	128.54	26.00	
9	Chönju	82-86(5YR)	9,110	35.49	127.09	51.20	
10	Taegu	82-86(5YR)	9,115	35.53	128.37	57.80	
11	Pohang	82-86(5YR)	9,120	36.02	129.23	5.60	
12	Kwangju	82-86(5YR)	9,130	35.08	126.55	70.90	
13	Chinju	77-86(10YR)	18,110	35.12	128.06	21.50	
14	Pusan	81-86(6YR)	10,930	35.06	129.02	69.20	
15	Mokpo	77-86(10YR)	18,085	34.47	126.23	53.40	
16	Cheju	82-86(5YR)	9,130	33.31	126.32	22.00	
17	Andong	83-86(4YR)	7,295	36.33	128.43	139.30	
18	Sösan	81-86(6YR)	10,790	36.46	126.28	19.70	
19	Taegwallgöng	78-86(9YR)	16,250	37.41	128.44	842.00	
Total			248,445				

本 分析에서는 19個測候所에 對하여 蒐集한 資料에 依據, 日別 및 月平均氣象因子를 利用하여 上記한 方法으로 日射量推定係數를 誘導하여 相關係數(correlation Coefficient)를 比較한 바 平均雲量과 日射率의 相關에 의한 方法보다 日照率과 日射率의 相關에 의한 方法이 相關性이 높은 것으로 나타났다(Table-5, 6, 7 參照). 따라서 日別氣象資料인 日照率과 日射率에 의한 回歸 및 算術平均方法으로 얻어진 係數 a, b에 對해서는 F-test에 의한 有意性을 檢定하였다. Table-8에서와 같이 各 方法別로 推定日射量과 實測日射量의 相關에서 얻어지는 標準偏差(Standard deviation)와 變異度(Coefficient of Variance)에 對해서도 各各 分析한 바 線型回歸方法(Linear regression method)에 의한 結果가 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 日別氣

象資料를 利用하여 線型回歸方法에 依해 얻어진 係數를 適用해서 計算한 蒸發散量과 잔디의 實測蒸發散量(Actual ET of grass) 및 Modified Penman, F.A.O. modified Penman의 方法으로 計算된 蒸發散量을 比較하였다. 이와같은 分析過程을 흐름圖로 나타내면 Fig.2와 같다.

IV. 結果 및 考察

1. 日照率에 의한 日射量推定

가. 日射率

水平面日射量의 大氣圈外廓面日射量에 對한 透過率을 우리나라 各 地域別 및 月別로 調査한 結果는 Table-2에서 보는바와 같이 仁川, 淸州, 江陵, 濟州地域이 34.6%~39.1%로서 比較的 낮게 나타났는데 特히 仁川地域의 透過率은 平

Penman式의 適用에 있어서 地域別 日射量 推定을 爲한 係數의 算定

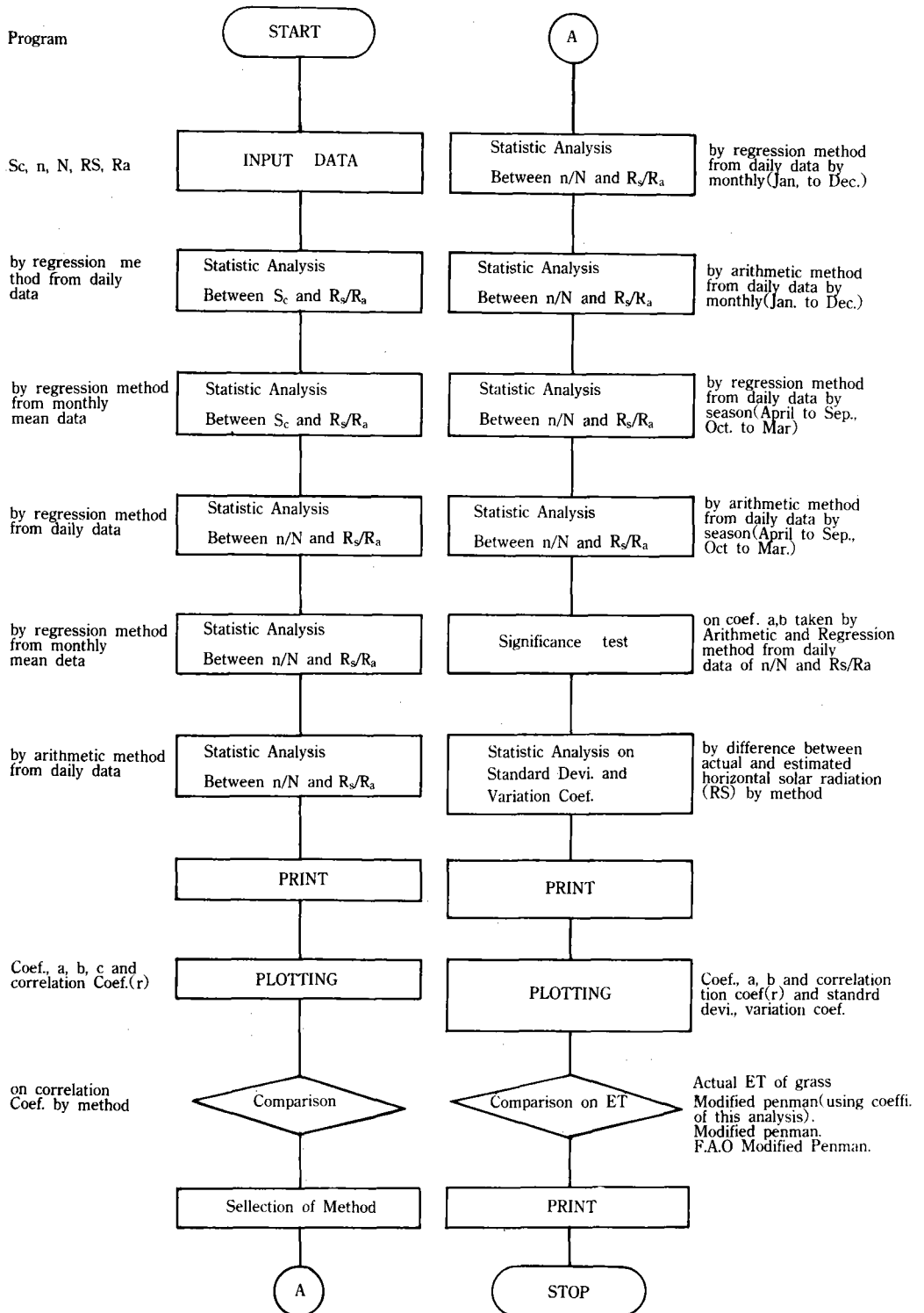


Fig. 2. Flow Chart for Analysis.

Table-2. The monthly ratio of actual horizontal solar radiation to extraterrestrial solar radiation (Rs/Ra) for each station.

No. Stat./Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	AVE
1 Seoul	0.462	0.473	0.462	0.433	0.422	0.354	0.288	0.336	0.406	0.485	0.432	0.422	0.4145
2 Inchön	0.368	0.390	0.382	0.362	0.350	0.309	0.271	0.306	0.334	0.387	0.346	0.343	0.3456
3 Suwon	0.518	0.512	0.490	0.463	0.459	0.380	0.313	0.359	0.424	0.520	0.481	0.487	0.4505
4 Chongju	0.395	0.411	0.406	0.395	0.402	0.328	0.302	0.337	0.334	0.422	0.355	0.367	0.3711
5 Taejön	0.516	0.521	0.491	0.483	0.470	0.398	0.383	0.454	0.406	0.506	0.455	0.449	0.461
6 Chupungnyöng	0.508	0.488	0.461	0.436	0.432	0.337	0.289	0.321	0.316	0.456	0.420	0.432	0.408
7 Chunchon	0.433	0.480	0.479	0.448	0.425	0.382	0.307	0.335	0.360	0.411	0.362	0.366	0.399
8 Kangnüng	0.441	0.451	0.405	0.407	0.381	0.285	0.289	0.296	0.325	0.405	0.418	0.438	0.3784
9 Chönju	0.475	0.462	0.460	0.474	0.463	0.383	0.331	0.383	0.365	0.489	0.420	0.423	0.4275
10 Taegu	0.545	0.520	0.467	0.453	0.464	0.359	0.326	0.404	0.356	0.446	0.484	0.498	0.4435
11 Pohang	0.576	0.530	0.484	0.478	0.487	0.366	0.349	0.378	0.355	0.494	0.515	0.532	0.462
12 Kwangju	0.483	0.471	0.473	0.476	0.464	0.361	0.319	0.395	0.374	0.503	0.423	0.428	0.4308
13 Chinju	0.527	0.520	0.488	0.457	0.461	0.348	0.347	0.385	0.392	0.512	0.496	0.493	0.4521
14 Pusan	0.612	0.569	0.535	0.492	0.491	0.380	0.376	0.446	0.400	0.538	0.534	0.563	0.4946
15 Mokpo	0.455	0.475	0.469	0.455	0.458	0.356	0.341	0.408	0.413	0.500	0.428	0.404	0.4301
16 Cheju	0.313	0.336	0.419	0.389	0.485	0.377	0.403	0.418	0.391	0.472	0.393	0.300	0.3913
17 Andong	0.522	0.502	0.482	0.468	0.481	0.418	0.367	0.424	0.393	0.460	0.454	0.467	0.4531
18 Sösan	0.540	0.539	0.511	0.512	0.498	0.476	0.347	0.398	0.430	0.510	0.434	0.468	0.4719
19 Taegwallyöng	0.520	0.522	0.473	0.450	0.439	0.355	0.321	0.324	0.352	0.452	0.447	0.499	0.4295
Ave.	0.485	0.483	0.465	0.449	0.449	0.366	0.330	0.374	0.375	0.472	0.437	0.441	0.4271

均 34.6%로서 最低였고 月別透過率도 40%를 超過하는 달이 없었다.

이에 反하여 瑞山 및 釜山地域의 透過率은 各各 47.2%와 49.5%로서 他 地域에 比하여 5%~10% 程度 높았으며 透過率의 全國平均値는 42.7%로 나타났다. 그리고 透過率의 月別값은 全 地域에서 降雨가 많이 發生하는 6月~9月에 平均 40% 以下로서 낮은 편이고 10月~5月の 平均値는 40% 以上으로서 높은 편이다. 이는 IV. 1. 나에서와 같이 日照率에 기인하는 것으로 料된다.

나. 日照率

實測日照時間(n)의 日照時間(N)에 對한 比率 即 日照率(n/N)을 各 地域別로 調査한 結果는 Table-3에서 보는 바와 같이 濟州地域이 平均40.8%로서 最低값을 나타내는 反面 釜山地

域은 平均57.2%로서 15% 以上の 差異를 보였고 其他地域들은 48.7%~53%로서 比較的 高 分布를 보여 日照率의 全體 平均값은 51%로 나타났다. 또한 日照率의 月別變化는 6月~9月에 平均 50%미만으로서 낮은 편이고 10月~5月の 平均値는 50% 以上으로서 높은 편으로 日照率의 變化樣相과 같은 傾向을 보여 주었다. 특히 7月の 日照率은 平均 37.2%로서 最低값을 나타내고 있는데 이는 Table-4에서 보는 바와 같이 雲量의 影響을 받은 것으로 생각된다.

다. 日照量推定係數의 誘導

本 研究에서는 日照率로부터 日照量을 推定하는 公式의 係數 a, b를 誘導하는데 있어 回歸方程式과 算術平均式의 2가지 方法을 利用하였으며 資料의 分析에 있어서는 日別氣象資料와 月平均氣象資料의 2가지 경우로 나누어 係數를

Table-3. The monthly ratio of Sunshine hours(n/N) for the each station.

No. Stat./Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	AVE
1 Seoul	0.540	0.557	0.571	0.537	0.528	0.445	0.300	0.355	0.496	0.585	0.484	0.499	0.4914
2 Incön	0.571	0.605	0.570	0.548	0.528	0.463	0.371	0.453	0.521	0.592	0.532	0.552	0.5255
3 Suwon	0.553	0.573	0.575	0.541	0.551	0.463	0.349	0.393	0.498	0.575	0.506	0.539	0.5096
4 Chongju	0.539	0.566	0.565	0.571	0.585	0.474	0.396	0.450	0.485	0.571	0.470	0.510	0.5151
5 Taejön	0.584	0.531	0.550	0.567	0.561	0.439	0.414	0.498	0.442	0.568	0.493	0.497	0.512
6 Chupungnyöng	0.611	0.589	0.551	0.531	0.532	0.450	0.356	0.420	0.429	0.580	0.522	0.519	0.5075
7 Chunchon	0.571	0.644	0.609	0.574	0.543	0.505	0.358	0.412	0.481	0.544	0.471	0.540	0.521
8 Kangnūng	0.632	0.599	0.499	0.490	0.493	0.348	0.339	0.360	0.407	0.535	0.544	0.596	0.4868
9 Chönju	0.550	0.521	0.534	0.546	0.531	0.469	0.360	0.443	0.436	0.556	0.456	0.471	0.4894
10 Taegu	0.700	0.634	0.574	0.548	0.567	0.464	0.389	0.463	0.449	0.566	0.555	0.625	0.5445
11 Pohang	0.675	0.602	0.518	0.522	0.564	0.429	0.390	0.429	0.400	0.544	0.570	0.647	0.5241
12 Kwangu	0.591	0.551	0.560	0.539	0.539	0.438	0.360	0.482	0.453	0.572	0.481	0.520	0.5071
13 Chinju	0.649	0.632	0.571	0.526	0.509	0.350	0.350	0.403	0.433	0.590	0.539	0.612	0.5136
14 Pusan	0.734	0.639	0.576	0.530	0.547	0.440	0.425	0.556	0.484	0.612	0.630	0.696	0.5724
15 Mokpo	0.479	0.518	0.515	0.516	0.534	0.392	0.372	0.491	0.499	0.615	0.497	0.456	0.4903
16 Cheju	0.259	0.292	0.436	0.486	0.524	0.428	0.434	0.485	0.431	0.495	0.373	0.257	0.4083
17 Andong	0.647	0.604	0.584	0.567	0.594	0.455	0.381	0.460	0.380	0.505	0.529	0.568	0.5228
18 Sösan	0.549	0.567	0.597	0.572	0.562	0.495	0.365	0.431	0.513	0.592	0.457	0.483	0.5152
19 Taegwallyöng	0.668	0.624	0.567	0.566	0.567	0.431	0.362	0.363	0.429	0.558	0.580	0.643	0.5298
Ave.	0.584	0.571	0.554	0.541	0.545	0.441	0.372	0.439	0.456	0.566	0.510	0.538	0.5098

誘導하였는데 日別氣象資料를 利用하여 回歸方程式 및 算術平均式으로 係數 a, b를 誘導한 結果는 Table-5에서 보는 바와같이 回歸方程式으로 計算된 係數 a는 0.14~0.18로 比較的 高른 分布를 보여 주었다. 19個 測候所의 平均값은 0.157로 計算되었는데 이는 Penman²³⁾이 英國과 가나(Ghana)에서 觀測된 氣象資料로 부터 얻은 係數 a의 값 0.18에 比하여 약 0.02만큼 적게 나타났다.

그리고 係數 b는 仁川, 淸州, 江陵을 除外하고는 0.50~0.59로 分布되었고 全地域의 平均값은 0.529로서 Penman²³⁾이 計算한 0.55에 比하여 係數 a와 같이 0.02程度 적게 나타났다.

또한 日別資料를 利用하여 回歸方程式으로 誘導한 係數 a, b를 適用하여 推定된 日射量과 實測된 日射量과의 相關係數를 計算한 結果

Table-5와 같이 그 값이 比較的 높은 편이어서 全國의 平均值가 0.882 였으며 日照率의 影響을 끼치는 係數 b가 다른 地域에 比하여 적게 나타난 仁川, 淸州 및 江陵의 경우는 0.79~0.85로 낮았고 安東은 0.97로서 日射量의 推定值와 實測值가 거의 一致하는 것으로 나타났다.

한편, 算術平均式으로 計算된 係數 a는 Table-5에서 보는바와 같이 0.11~0.14로서 回歸方程式으로 計算된 係數와 마찬가지로 比較的 高른 편이었으며 全國의 平均값은 0.119로서 回歸方程式으로 計算된 0.157에 比하여 작게 나타났다.

係數 b는 仁川, 淸州, 春川에서 各各 0.55, 0.57, 0.61를 나타낸데 대하여, 其他 地域은 0.68~0.85로서 보다 큰 값을 나타냈으며 그 폭은 a의 값에 比하여 高르지 못했다.

Table-4. Monthly mean cloud amount(Sc) for the 19 stations.

(unit : 1/10)

No. Stat./Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	AVE
1 Seoul	3.9	4.1	4.7	5.0	5.3	6.4	7.5	6.9	5.8	4.3	5.0	4.4	5.28
2 Incheon	3.5	3.6	4.3	4.8	5.1	6.0	7.1	6.2	5.3	4.0	4.4	4.0	4.86
3 Suwon	3.7	3.9	4.3	4.7	4.7	6.2	6.6	6.4	5.4	4.1	4.7	4.1	4.90
4 Chongju	4.4	4.2	4.5	4.7	4.6	6.1	6.8	6.3	5.8	4.3	4.9	4.3	5.08
5 Taejon	4.1	4.5	4.5	4.6	4.9	6.6	6.5	5.8	5.8	4.3	4.9	4.9	5.12
6 Chupungnyong	4.0	4.3	4.9	4.8	5.1	6.1	6.9	5.8	5.9	4.1	4.5	4.2	5.05
7 Chunchon	4.0	3.7	4.7	4.9	5.3	6.2	7.3	6.7	6.0	4.7	5.0	4.2	5.23
8 Kangnung	3.1	3.6	4.8	5.1	5.5	7.1	7.1	6.8	6.1	4.4	4.0	3.3	5.08
9 Chonju	4.5	5.2	5.2	5.0	5.3	6.5	7.0	6.0	6.0	4.4	5.4	5.0	5.46
10 Taegu	3.0	4.5	5.0	5.1	5.4	6.6	7.0	6.3	6.2	4.3	4.4	3.4	5.10
11 Pohang	2.5	3.5	4.8	5.0	4.9	6.4	6.4	5.7	6.0	4.2	3.7	2.8	4.66
12 Kwangju	5.3	5.7	6.1	5.9	6.1	7.2	7.6	6.5	6.6	5.1	5.8	5.7	6.13
13 Chinju	3.4	4.0	5.2	5.5	5.4	7.1	7.3	6.5	6.4	4.6	4.6	3.2	5.27
14 Pusan	2.9	4.2	5.3	5.6	5.8	6.9	6.8	5.8	6.3	4.5	4.0	3.2	5.11
15 Mokpo	5.6	5.2	5.1	5.1	5.0	6.6	6.7	5.7	5.3	3.9	4.9	5.4	5.38
16 Cheju	7.6	7.4	6.8	6.0	5.7	7.4	6.4	5.7	6.5	5.5	6.4	7.4	6.57
17 Andong	2.9	3.7	5.0	5.1	5.2	6.5	6.7	5.9	6.9	5.1	4.3	3.7	5.08
18 Sosan	4.5	4.7	4.5	4.9	5.4	6.0	6.9	6.1	5.3	4.3	5.3	5.1	5.25
19 Taegwallyong	3.3	4.0	4.7	5.0	5.1	6.6	7.3	7.3	6.3	4.4	4.3	3.2	5.13
Ave	4.01	4.42	4.97	5.09	5.25	6.55	6.94	6.23	5.99	4.45	4.76	4.29	5.25

全國의 平均값은 0.726으로서 回歸方程式으로 計算된 0.529에 비하여 약 0.2程度 크게 나타났다.

以上の 結果를 綜合하여 보면 日氣象資料를 利用하여 回歸方程式으로 計算된 係數 a와 b의 平均値는 各各 0.157과 0.529로서 Penman의 係數 0.18과 0.55에 비하여 0.02程度 작게 계산되었으며 推定値와 實測値의 相關係數는 0.882로서 높게 나타났고 算術平均式으로 計算된 係數 a와 b의 平均値는 各各 0.19와 0.726으로서 Penman이 提示한 係數에 비하여 a는 0.01, b는 0.18 程度 크게 나타났다. 그런데 推定値와 實測値의 相關係數는 0.881로서 回歸方程式에 의한 것과 같이 높은 相關性이 있었으며 Table-5에서와 같이 係數 a, b에 대한 有意性檢定도 高度의 有意性이 있음을 보여 주었다. 月平均氣象

資料를 利用하여 回歸方程式으로 係數 a, b를 誘導한 結果는 Table-6에서 보는 바와 같다. 係數 a는 0.10~0.20으로 그 差異가 크게 나타났으며 全國의 平均値는 0.139로서 日氣象資料를 利用하여 計算된 0.157과 比較할때 약간 작았다.

係數 b는 0.45~0.65 로서 역시 回歸方程式에 의한 全國平均値는 0.557로서 日氣象資料를 利用하여 計算된 0.529에 비하여 약간 큰값을 보였다. 月平均氣象資料를 利用하여 計算된 日射量의 推定値와 實測値의 相關係數는 平均 0.807로서 日氣象資料로 부터 計算된 日射量의 推定値와 實測値와의 相關係數 0.882에 비하여 크게 떨어지는 것으로 나타났다.

2. 平均雲量에 의한 日射量推定

平均雲量과 日射率의 相關을 알기위하여 日

Table-5. The value of coefficient a, b and the correlation coefficient(r) calculated from the daily data and it's significance test.

No.	method Stat.	Regression				Arithmetic mean				Remark
		a	b	r	*F	a	b	r	*F	
1	Seoul	0.162	0.515	0.894	14,371	0.125	0.703	0.894	14,371	
2	Inchön	0.137	0.396	0.846	9,184	0.106	0.545	0.845	9,108	
3	Suwon	0.173	0.545	0.896	14,832	0.135	0.716	0.896	14,832	
4	Chongju	0.142	0.444	0.822	7,562	0.111	0.571	0.822	7,562	
5	Teajön	0.159	0.590	0.946	9,316	0.109	0.848	0.946	9,316	
6	ChupungYöng	0.148	0.511	0.875	5,929	0.116	0.669	0.875	5,929	
7	Chunchon	0.142	0.494	0.879	10,905	0.117	0.610	0.878	10,797	
8	Kangnüng	0.152	0.465	0.787	5,875	0.114	0.701	0.785	5,798	
9	Chönju	0.161	0.544	0.897	7,494	0.115	0.787	0.896	7,410	
10	Taegu	0.145	0.548	0.858	5,081	0.109	0.721	0.858	5,081	
11	Pohang	0.159	0.577	0.889	6,867	0.120	0.815	0.889	6,867	
12	Kwangju	0.152	0.550	0.906	8,356	0.114	0.768	0.906	8,356	
13	Chinju	0.170	0.548	0.864	10,659	0.129	0.722	0.861	10,374	
14	Pusan	0.157	0.589	0.894	8,694	0.116	0.802	0.894	8,694	
15	Mokpo	0.177	0.516	0.870	11,255	0.128	0.793	0.869	11,149	
16	Cheju	0.159	0.568	0.892	7,102	0.122	0.815	0.891	7,025	
17	Andong	0.172	0.538	0.965	19,728	0.127	0.753	0.961	17,594	
18	Sösan	0.186	0.555	0.904	9,639	0.141	0.771	0.904	9,639	
19	Taegwallyöng	0.138	0.549	0.870	10,112	0.116	0.683	0.870	10,112	
Ave.		0.157	0.529	0.882	9,629	0.119	0.726	0.881	9,474	

*Significance by F-test

Table-6. The value of Coefficient a, b and Correlation Coefficient(r) Calculated by the regression method from the monthly mean data.

No. Station	a	b	r	Remark
1 Seoul	0.182	0.472	0.847	
2 Inchön	0.100	0.467	0.774	
3 Suwon	0.147	0.595	0.865	
4 Chongju	0.097	0.530	0.736	
5 Taejön	0.083	0.737	0.974	
6 Chupungnyöng	0.104	0.598	0.769	
7 Chunchon	0.115	0.542	0.856	
8 Kangnüng	0.138	0.493	0.610	

No. Station	a	b	r	Remark
9 Chönju	0.177	0.510	0.831	
10 Taegu	0.167	0.467	0.751	
11 Pohang	0.139	0.616	0.784	
12 Kwangju	0.117	0.618	0.860	
13 Chinju	0.164	0.560	0.758	
14 Pusan	0.120	0.654	0.761	
15 Mokpo	0.182	0.509	0.781	
16 Cheju	0.116	0.556	0.758	
17 Andong	0.196	0.491	0.990	
18 Sösan	0.175	0.577	0.880	
19 Taegwallyöng	0.120	0.584	0.757	
Ave.	0.139	0.557	0.807	

射量を 推定하는 公式의 係數 a, b, c를 誘導하는데 있어서 日別氣象資料와 月平均氣象資料를 利用하였다.

月別雲量資料를 適用하여 計算된 係數 a, b 및 c값을 各 測候所別로 살펴보면 Table-7에서와 같이 a값은 0.456~0.677, b값은 -0.0536~0.009, C값은 -0.0047~0.008로서 比較的 高른 分布를 보였으며 a, b, c값의 全國平均値는 각각 0.619, -0.0202, 및 -0.0023으로 나타났고 推定日射量과 實測日射量과의 相關係數는 平均 0.797로서 日照率에 依하여 日射量을 推定하는 方法에 比하여 크게 낮았다.

한편 月平均雲量을 適用하여 計算된 係數 a, b 및 c값을 各 測候所別로 살펴보면 Table-7에서와 같이 a값은 0.390~1.043, b값은 -0.1425~

0.0564, C값은 -0.0042~0.0068로서 日別雲量으로 計算한 값보다 不規則한 分布를 보였으며 a, b 및 c값의 全國平均値는 0.64, -0.0377, 및 0.0001로 計算되어 Black⁸⁾가 發表한 것과 差異가 있었으나 이는 地域에 따른 氣候特性에 의한 것으로 判斷된다.

日射量의 推定値와 實測値의 相關係數는 平均 0.792로서 日別雲量資料에 依한 경우와 거의 같았으나 역시 日照率을 利用하여 日射量을 推定하는 方法보다 相關係數가 크게 떨어짐을 알 수 있다.

3. 推定方法別 變異度

앞서 日氣象資料를 利用하여 回歸方程式 및 算術平均式으로 計算된 各 測候所別 日射量推

Table-7. The value of coefficient a,b,c and the correlation coefficient(r) calculated by the regression method from the daily and monthly mean data.

No	Station	based on daily data				based on monthly mean data				Remark
		a	b	c	r	a	b	c	r	
1	Seoul	0.638	-0.0460	0.0004	0.803	0.555	-0.0107	-0.0028	0.857	
2	Inchön	0.456	-0.0002	-0.0032	0.771	0.390	0.0073	-0.0032	0.729	
3	Suwon	0.674	-0.0500	0.0007	0.805	0.684	-0.0495	0.0003	0.837	
4	Chongju	0.507	-0.0080	-0.0027	0.739	0.494	-0.0217	-0.0005	0.696	
5	Taejön	0.643	-0.0079	-0.0039	0.882	0.885	-0.1192	0.0068	0.963	
6	Chupungnyöng	0.595	-0.0188	-0.0026	0.812	0.719	-0.0700	0.0016	0.790	
7	Chunchon	0.554	-0.0088	-0.0029	0.794	0.452	0.0121	-0.0040	0.821	
8	Kangnūng	0.575	-0.0434	0.0006	0.684	0.524	-0.0252	-0.0006	0.571	
9	Chönju	0.617	-0.0116	-0.0032	0.811	0.856	-0.1147	0.0064	0.829	
10	Taeju	0.677	-0.0515	0.0080	0.729	0.726	-0.0787	0.0042	0.678	
11	Pohang	0.660	-0.0193	-0.0033	0.827	0.690	-0.0484	-0.0001	0.773	
12	Kwangju	0.627	0.0000	-0.0042	0.797	0.426	0.0564	-0.0089	0.830	
13	Chinju	0.612	-0.0004	-0.0040	0.762	0.522	0.0170	0.0053	0.730	
14	Pusan	0.753	-0.0536	0.0004	0.774	0.680	-0.0202	-0.0029	0.743	
15	Mokpo	0.611	-0.0076	-0.0036	0.801	0.676	-0.0499	0.0008	0.756	
16	Cheju	0.638	0.0000	-0.0047	0.834	1.043	-0.1425	0.0065	0.845	
17	Andong	0.604	0.0009	-0.0043	0.893	0.534	0.0029	-0.0034	0.973	
18	Sösan	0.653	-0.0075	-0.0038	0.841	0.608	-0.0033	-0.0042	0.861	
19	Taegwallyöng	0.671	-0.0510	0.0005	0.783	0.696	-0.0588	0.0012	0.759	
Ave.		0.619	-0.0202	-0.0023	0.797	0.640	-0.0377	0.0001	0.792	

定係數로 算定한 日射量과 實測된 日射量과의 標準偏差와 變異度는 Table-8에서 보는바와 같이 算術平均式의 경우, 標準偏差가 3.68MJ/m²/day, 變異도가 30.5% 인데 比하여 回歸方程式의 경우에 標準偏差는 3.02MJ/m²/day, 變異도는 25.2%로 나타나서 回歸方程式으로 誘導된 係數를 利用하여 日射量을 推定하는것이 算術平均法에 比하여 精度가 높게 나타났다. Penman³²⁾이 提示한 係數 a=0.18, b=0.55와 F.A.O.의 Doorenbos와 Pruitt¹⁸⁾가 提示한 a=0.25, b=0.5를 適用하여 推定된 경우의 標準偏差는 각각 3.10MJ/m²/day와 3.24MJ/m²/day 그리고 變異도는 각각 25.9%, 27%로서 回歸方程式에 比해서 그

精度가 낮은 것으로 나타났다. 따라서 本 研究에서 日別氣象資料를 利用하여 回歸方程式으로 얻은 a, b로 日射量을 推定함으로써 Penman式에 의한 蒸發散量算定에 있어서 正確性을 기할 수 있으리라고 생각된다.

4. 基準作物의 實測蒸發散量과 Penman式으로 計算된 蒸發散量의 比較

本 研究에서 日別氣象資料를 利用하여 回歸方程式에 依해 얻은 水原地方의 日射量推定係數 a, b값을 修正 Penman式에 代入하여 推定한 蒸發散量과 農村振興廳 農業技術研究所에서 1981年~1986年에 實測한 基準作物(잔디)의 蒸發

Table-8. Standard deviation and coefficient of variance of the observed solar radiation to the estimated solar radiation by the coefficients calculated by the regression method.

No.	Station	ST. D.				C. Var.				Remark
		AV	RG	M.P	F.M.P	AV	RG	M.P	F.M.P	
1	Seoul	3.27	2.67	2.77	2.93	28.5	23.3	24.1	25.5	
2	Inchön	3.19	2.90	3.37	3.40	32.8	29.8	34.6	34.9	
3	Suwon	3.33	2.76	2.79	2.98	26.8	22.2	22.5	24.0	
4	Chongju	3.73	3.51	3.80	3.86	35.0	32.8	35.5	36.1	
5	Taejön	3.44	2.19	2.21	2.44	26.1	16.6	16.7	18.5	
6	Chupungnyöng	3.41	2.92	3.07	3.22	29.5	25.3	26.6	27.9	
7	Chunchon	3.14	3.00	3.07	3.18	27.9	26.6	27.3	28.2	
8	Kangnüng	4.55	3.85	4.02	4.08	43.9	37.2	38.8	39.4	
9	Chönju	3.76	2.91	2.94	3.08	30.5	23.6	23.8	24.9	
10	Taegu	3.78	3.30	3.38	3.56	30.3	26.5	27.1	28.5	
11	Pohang	4.07	3.15	3.16	3.35	31.3	24.2	24.3	25.8	
12	Kwangju	3.55	2.81	2.85	3.01	28.4	22.5	22.8	24.1	
13	Chinju	3.91	3.33	3.34	3.45	30.3	25.8	25.8	26.7	
14	Pusan	4.02	3.22	3.24	3.43	28.6	22.9	23.0	24.4	
15	Mokpo	4.46	3.38	3.42	3.49	35.3	26.7	27.0	27.6	
16	Cheju	4.47	3.51	3.52	3.61	37.1	29.1	29.1	30.0	
17	Andong	2.61	1.66	1.67	1.82	20.0	12.7	12.8	14.0	
18	Sösan	3.73	3.02	3.01	3.13	27.9	22.6	22.5	23.4	
19	Taegwallyöng	3.59	3.26	3.33	3.49	30.2	27.5	28.0	29.4	
AVE		3.68	3.02	3.10	3.24	30.5	25.2	25.9	27.0	

Note : · Av. : Arithmetic mean method · M.P : Modified Penman method.
 · Rg. : Linear regression method · F.M.P : F.A.O Modified Penman method.

Table-9. The evapotranspiration of grass measured and calculated by Penman formula.

(unit : mm/day)

Method \ Period	April			May			June			July		
	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L
Actual ETgrass	2.38	2.68	2.76	2.81	3.04	3.35	3.53	3.89	3.42	2.64	3.15	3.16
*Modified Penman	2.30	2.95	2.96	3.27	3.46	3.72	4.05	3.95	3.60	3.10	3.18	3.35
Modified Penman	2.36	3.01	3.03	3.35	3.53	3.80	4.13	4.03	3.69	3.18	3.35	3.43
F.A.O Modified Penman	3.19	4.11	4.16	4.27	4.71	5.08	5.39	5.30	4.72	4.16	4.07	4.63

Method \ Period	Aug			Sept			Oct			Nov		Total
	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	Ave
Actual ETgrass	2.84	3.82	3.08	3.00	2.48	2.58	2.11	2.04	2.03	1.27	1.06	2.74
*Modified Penman	3.62	3.45	2.83	2.72	2.67	2.46	1.95	1.72	1.52	1.15	0.89	2.82
Modified Penman	3.70	3.53	2.90	2.78	2.73	2.51	2.00	1.77	1.56	1.18	0.92	2.89
F.A.O Modified Penman	4.67	4.49	3.52	3.33	2.93	3.00	2.26	2.13	1.79	1.46	1.13	3.67

* Using coeffi. of this analysis.

散量과 比較한 結果 Table-9에서 보는바와 같이 잔디의 實測蒸發散량을 平均한 값은 2.74mm/day인데 比하여 水原地方의 日射量推定係數 $a=0.173$, $b=0.545$ 를 代入하여 計算된 蒸發散량의 平均값은 2.82mm/day로 0.08mm/day의 差異를 보였다. 또한 修正Penman式에, Penman이 提示한 日射量 推定係數 $a=0.18$, $b=0.55$ 를 代入하여 計算한 蒸發散량의 平均값은 2.89mm/day로서 本 研究에서 誘導한 係數 a , b 를 適用한 경우보다 實測值와의 差異는 크게 나타났다.

F·A·O의 修正Penman式에 依한 係數 $a=0.25$, $b=0.50$ 를 代入하여 推定된 蒸發散량의 平均값은 3.67mm/day로서 이는 2個의 方法에 比하여 그 差異가 컸다. 따라서 蒸發散량을 推定하는데 있어서는 本 研究에서 誘導된 地域別 日射量推定係數를 修正Penman式에 代入하여 蒸發散량을 算定하는 것이 現在 사용하고 있는 Penman式의 係數 및 F·A·O 修正Penman式의 係數를 利用하는 것보다 그 精度가 높을 것으로 사료된다.

V. 結 論

本 研究는 Penman式을 適用함에 있어서 우리나라 各 地域에 適合한 日射量推定을 爲한 係數를 算定하여 作物의 蒸發散量 計算에 基礎資料를 提供하고자 19개 氣象觀測所의 10年間 (1977~1986)資料를 蒐集하여 分析한 것으로서 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 平均雲量과 日射率의 關係에서 日別 및 月 平均氣象資料를 使用하여 回歸方法으로 分析한 日射量推定係數의 平均값은 $a=0.619$, $b=-0.0202$, $c=-0.0023$ 및 $a=0.64$, $b=-0.0377$, $c=0.0001$ 로 각각 나타났다.

2. 日照率과 日射率의 日別資料에 依하여 回歸 및 算術平均方法으로 分析한 日射量推定係數의 平均값은 $a=0.157$, $b=0.529$ 및 $a=0.119$, $b=0.726$ 으로 각각 나타났다.

3. 月平均日照率과 日射率의 關係에서 回歸方法에 依한 日射量推定係數의 平均값은 $a=0.139$, $b=0.557$ 이었다.

4. 日別日照率과 日射率의 關係에서 얻은 日射量推定係數 a, b값은 高度의 有意性이 있는 것으로 나타났다.

5. 本 研究에서 日別氣象資料를 利用한 日照率과 日射率의 關係로부터 回歸 및 算術平均方法으로. 얻은 係數에 依한 日射量의 推定値와 實測値, modified Penman 係數에 依한 日射量의 推定値와 實測値, F.A.O modified penman式에 依한 日射量의 推定値와 實測値와의 標準偏差 및 變異度 中에서 回歸方法에 依하여 얻은 係數를 適用한 結果가 가장 작은 값을 보였다.

6. 이상의 結果를 보아 日射量推定을 爲하여는 日別氣象資料를 根據로한 日照率과 日射率의 關係에서 回歸方法에 依하여 얻어진 係數를 利用하는 것이 가장 精度가 높은 것으로 나타났다.

7. 本 研究에서 日別氣象資料를 利用하여 回歸方法으로 얻은 日射量推定係數 a, b값을 modified Penman式에 代入하여 計算된 基準作物의 蒸發散量과 Penman係數에 依한 蒸發散量 및 F.A.O modified Penman式에 依한 蒸發散量을 計算한 結果 本 分析에서 얻어진 係數를 利用하여 推定된 蒸發散量이 實測値에 가장 근접하였다.

參 考 文 獻

- Allen, R.G. and Pruitt, W.O.(1986) : Rational Use of the Blaney-Criddle formula, ASGE Journal of Irrig. & Drainage Engng., Vol. No. 2 : pp. 139-155.
- Angstrom, A.,(1924) : Solar and terrestrial radiation, Q.J.R. Meteorol. Soc., 50 : 121.
- Angstrom, A.,(1956) : On the computation of global radiation from records of sunshine, Ark, Geofis., 2 : 22.
- Angstrom, A.,(1957) : "On the Computation of Global Radiation from Records of Sunshine", Arkiv for Geofvsik, Vol. 2, Stockholm, Sweden, p. 471.
- Baier, W., and Robertson, G.W.,(1965) : "Estimation of Latent Evaporation from Simple Weather Observations", Canadian Journal of Plant Science, Vol.45, p.276.
- Baker, D.and Haines, D.,(1969) : Solar Radiation and Sunshine Duration Relational in the U.S.A. Agric, Exp, Stn., Univ, Minnesota.
- Black, J.N.C.W. Bonython and L.A. Prescott, (1954) : Solar radiation and the duration of sunshine, Quart, J. Roy. Meteor. Soc., 80, 231-235.
- Black, J.N.,(1956) : The distribution of solar radiation over the earth's surface. Arch fur Meteor., Geophys und Bioklim, Ser. B, 7, 165-189.
- Blaney, H.F. and Criddle, W.D.(1950) : Determining Water Requirements in Irrigated Area from Climatological and Irrigation Data, USDA-SCS TP96.
- 鄭夏禹外 10人(1986) : 作物消費水量 算定方法定立, 서울大學校 農科大學 農業開發研究所.
- 趙夏晚外 2人(1987) : 地面에 도달하는 日射量과 關聯氣象 變數들과의 相關.
- 中央觀象臺 : 氣象月報, 1977~1986(1月~12月號).
- Doorenbos, J, and Pruitt, W.O.(1974) : Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24, Rome, Italy.
- Fitzpatrick, E.A., and Stern, W.R.,(1965) : "Components of the Radiation Balance in a Dry Monsoonal Environment," Journal of Applied Meteorology, Vol.4, p. 649.
- 韓國動力資源研究所 日射量資源現況分析, KE-83-18.
- 黃垠, 高熙元(1985) : 春川地域의 獎勵水稻品種의 用水量 測定試驗(II), 江原大學校 論文集 第21輯.
- _____ (1986) : 春川地域의 獎勵水稻品種

- 의 用水量 測定試驗(III), 江原大學校 論文輯 第23輯.
18. _____ (1987) : 春川地域의 獎勵水稻品種의 用水量 測定試驗(IV), 江原大學校 論文輯 第25輯.
19. KMIB(Koninklijk Meterologisch Instituut van Belgie), (1971) : Distribution du rayonnement solarie en Belgique. KNIB Publ., Ser. A.
20. 高熙元(1988) : 春川地域의 獎勵水稻品種의 用水量 測定試驗, 韓國農工學會誌 Vol. 29, No. 4, pp. 93~105.
21. 農水産部, 農業振興公社(1980) : 農業用水 開發必要水量基準.
22. 朴成宇, 權純國, 徐承德, 安秉基, 李淳赫, 崔禮煥(1984) : 應用水文學, 鄉文社.
23. Penman, H. L.,(1948) : "National Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass," Proceedings, Royal Society of London, Series A, Vol. 193, p. 120.
24. _____ (1956) : Estimating Evaporation, Trans, American Geophysical Union, Vol. 37, No.1 : pp.43-50.
25. Prescott, J. A.,(1940) : "Evaporation from a Water Surface in Relation to Solar Radiation," Transactions, Royal Society of South Australia, Vol. 64, p. 114.
26. Rietveld, M.R.(1978) : A New Method for estimating the regression Coefficients in the formula relating Solar radiation to sun-Shine, Agricultural Meteology, 19, 243-252.