

水稻의 蒸發散量 推定方法에 關한 研究

A Study on the Method for Estimating Evapotranspiration from Paddy Fields

許 在 錫* · 鄭 夏 禹*
Jae Seok Huh , Ha Woo Chung

Summary

Evapotranspiration is a major factor determining the water consumption in the rice fields. Therefore, realistic evapotranspiration estimates are important to the agricultural water resources planning. In Korea, however, the Blaney-Criddle formula, which was developed under the meteorological condition of western arid United States and the upland cultivation, has been widely used to estimate evapotranspiration from paddy fields. Hence, it has considered that the Blaney-Criddle formula would not be the proper method for the Korean paddy condition.

The purpose of this study is to select the most appropriate and realistic method for estimating evapotranspiration from paddy field in Korea and to derive crop coefficients using the chosen method.

The results are summerized as follows.

1. Total seasonal-average evapotranspiration by the field observation was 660mm for Tongil and 621.0mm for the Japonica variety of rice. The amount of evapotranspiration for Tongil variety was 6% larger than that of the Japonica variety.
2. There was no significant differences in the amount of evapotranspiration among early, middle and late mature varieties, that is, early 638mm, middle 627mm and late 630mm for the whole growing season.
3. The rate of peak evapotranspiration appeared at the beginning of August and was in the range of 7.7-8.0mm/day according to the different mature varieties.
4. The correlation between pan evaporation data and the calculated evapotranspiration using related meteorological data from various methods suggested such as Radiation (FAO), Hargreaves, Christiansen, Hargreaves-Christiansen, Jensen-Haise, showed high statistic significance. Therefore, it seemed to use those formulars in estimating evapotranspiration instead of using pan evaporation data.
5. It was concluded from the analysis of field data that the evapotranspiration estimate for Blaney-Criddle method might not be appropriate in Korea. On the other hand, Penman equation showed more accurate estimation at the flourishing stage of rice than

* 서울大學校 農科大學

the pan evaporation method.

6. The crop coefficients for the Penman and pan-evaporation method were obtained by graphical representation.

I. 緒 論

人口增加에 따른 食糧需要가 急增하게 됨으로써 食糧資源 確保를 爲한 米穀增產의 必要性이 더욱 切實한 問題로 臺頭되었다.

벼의 多數穫을 爲해서는 灌溉水의 適期, 適量供給이 必須의이다. 우리나라에서는 頻繁한 旱魃로 많은 被害를 겪어 왔는데, 이 旱魃克服을 爲해서는 長, 短期의이고 効率의인 灌溉水量的 供給計劃이 樹立되어야 할 것이며 그를 爲해서는 灌溉水量的 正確한 決定이 무엇보다도 先行되어야 한다.

灌溉水量的 決定에는 用水路에서의 水路損失量과 本畝에서의 浸透量, 蒸發散量 等の 여러 因子를 考慮해야 하지만 이 中에서도 生育段階나 氣象條件, 그 외의 여러 要因에 따라 그 變化가 甚한 因子인 蒸發散量을 正確히 推定할 수 있으면 灌溉水量的 正確한 決定이 훨씬 용이하게 될 것이다.

더우기, 最近에 이르러 多收穫 品種의 植付面積 增加 및 栽培時期의 早期化和 기술의 向上으로 消費水量的 過去의 境遇보다 增加되어 이에 대한 算定方法이 再檢討되어야 할 것이다.

이에 本 研究의 目的은 氣象條件, 水稻品種(一般系, 統一系, 早·中·晚生種), 生育時期 等に 따른 蒸發散量을 實測하고, 지금까지 여러 나라에서 開發한 蒸發散量 推定式에 우리나라의 5個 實驗地域의 氣象資料를 適用한 結果와 實驗에 依하여 實測된 蒸發散量을 比較 分析하여 今後의 蒸發散量을 推定하는데 가장 適合한 方法을 選定하고 그 方法에 따른 作物係數 K 值를 誘導함으로써 貯水池의 必要貯水量 算定에 基本資料를 提示하고자 하는데 本 研究의 목적이 있다.

II. 蒸發散量 推定方法

現行까지 蒸發散量의 推定에 關해서는 많은 學者들에 依해서 여러가지 方法으로 研究¹⁾되어 왔으나 대체로 다음과 같은 5가지 形態로 大別되는데, 分析에 使用된 方法을 살펴보면 다음과 같다.

① 結合法(combination method)

penman^{12), 13)}이 1948년에 自由水面에서의 蒸발량을 推定하는 方法으로 蒸發面의 에너지 平衡을 利用하여 蒸發에 必要한 에너지項과 蒸發된 水蒸氣를 空氣中으로 擴散시키는 바람의 影響을 考慮한 項等 두 가지를 結合한 式을 變形하여 FAO에서 開發한 式은¹⁾:

$$ET_o = c \left[\underbrace{W \cdot R_n}_{\text{日射量項}} + (1-W) \cdot \underbrace{f(u) \cdot (ea-ed)}_{\text{空氣力學項}} \right]$$

ET_o : 基準作物의 蒸發散量(mm/day)

W : 濕度加重因子

R_n : 純輻射 蒸發當量(mm/day)

$f(u)$: 風速函數

$(ea-ed)$: 平均氣溫에서의 飽和水蒸氣壓과 實際水蒸氣壓의 差(mb)

C : 晝·夜間 氣象條件의 補正因子

② 日射量法(Radiation method)

太陽輻射 에너지가 蒸發散量에 가장 큰 影響을 미친다고 生覺하여 日射量(solar radiation)을 利用하여 蒸發散量을 推定하는 方法으로 Makkink(1957)¹⁴⁾ 式을 變形하여 FAO¹⁾에서 開發한 式이다.

$$ET_o = C(W \cdot R_s) \text{ (mm/day)}$$

ET_o : 基準作物의 蒸發散量(mm/day)

R_s : 日射量 蒸發當量(mm/day)

W : 溫도와 高度에 따른 加重因子

C : 平均濕度和 晝間時間 風速에 따른 補正係數
또한 Jensen-Haise¹⁵⁾ 式은 다음과 같다.

$$E_{tp} = G(T - T_x) R_s$$

$$G = \frac{1}{C_1 + C_2 \cdot C_h}$$

$$C_h = \frac{50}{e_2 - e_1}$$

C_2 : 7.6°C

C_1 : 38 - (2xEle/305)

T : -2.5 - 0.14(e₂ - e₁)°C/mb - Ele/550

E_{tp} : 潛在蒸發散量(mm/day)

Ele: 海拔高度(m)

R_s : 日射量(ly/day)

③ 蒸發計 蒸發量法

이 方法은 實測된 蒸發計蒸發量과 潛在蒸發散量은 單純比例 關係가 있다는 假定下에 誘導된 式이다.

$$ET_o = K_p \times E_{pan}$$

ET_0 : 基準作物의 蒸發散量

E_{pan} : 蒸發計 蒸發量(mm/day)

K_p : 蒸發計 係數

④ 溫度法(temperature method)

蒸發散량을 推定하는 方法中 가장 오래된 方法으로서 氣溫을 測定하여 蒸發散량을 推定하는 方法으로 대표적으로 Blaney-Criddle⁴⁾式이 있다.

$$U = K[P(0.46T + 8)]$$

U : 蒸發散量(mm/day)

T : 日平均氣溫(°C)

P : 年總晝間時間에 對한 日晝間時間 比率(소수점)

K : 作物係數

⑤ 多重相關法(multiple correlation method)

蒸發散量에 影響을 미치는 여러 氣象要因을 多重 相關分析하여 蒸發散량을 推定하는 方法이다.

i) Christiansen³⁾

$$E_{tp} = 0.755 E_v \cdot G \cdot C_w \cdot C_H \cdot C_S$$

$$G = 0.862 + 0.179(T_c/T_{cw}) - 0.041(T_c/T_{co})^2$$

$$C_w = 1.189 - 0.240(W/W_o) + 0.051(W/W_o)^2$$

$$C_H = 0.499 + 0.620(H_m/H_{mo}) - 0.119(H_m/H_{mo})^2$$

$$C_S = 0.904 + 0.0080(S/S_o) + 0.088(S/S_o)^2$$

E_v : A型 蒸發計(class A pan) 蒸發量(mm/day)

T_c : 平均氣溫(°C) $T_{cw} : 20^\circ\text{C}$

W : 地上 2m의 平均風速(km/hr)

$W_o : 6.7\text{km/hr}$ H_m : 平均相對濕度(소수점)

$H_{mo} : 0.60$ S : 日照率(소수점) $S_o : 0.80$

ii) Hargreaves⁴⁾(1959)式

$$E_{tp} = 17.4 D \cdot T_c \cdot F_H \cdot F_w \cdot F_S \cdot F_E$$

$$F_H = 0.59 - 0.55H_n^2$$

$$F_w = 0.75 + 0.0255 \sqrt{W_{kd}}$$

$$F_S = 0.478 + 0.58S$$

$$F_E = 0.950 + 0.0001E$$

H_n : 正午濕度(소수점)

W_{kd} : 地上 2m의 平均風速(km/day)

S : 日照率(소수점)

E : 高度(m)

D : 係數

iii) Hargreaves-Christiansen⁴⁾式

$$E_{tp} = 0.492 R_S \cdot C_{TT} \cdot C_{WT} \cdot C_{HT}$$

$$G : 0.463 + 0.425(T_c/T_{co}) + 0.112(T_c/T_{co})^2$$

$$C_{WT} : 0.672 + 0.406(W/W_o) - 0.0780(W/W_o)^2$$

$$C_{HT} : 1.035 + 0.240(H_m/H_{mo})^2 - 0.275(H_m/H_{mo})^3$$

R_S : 日射量(Jy/day)

T_c : 平均氣溫(°C) $T_{co} : 20.0^\circ\text{C}$, $W : 6.7\text{km/hr}$

H_{mo} : 平均相對濕度

Ⅲ. 資料 및 分析方法

1. 品種 및 測定裝置

서울(건국대), 水原(서울대), 淸州(충북대), 全州(전북대), 大邱(경북대) 5개 地域의 實驗資料 즉 서울은 建國大 金始源 教授, 淸州는 忠北大 金哲基 教授, 全州는 全北大 李基春 教授, 大邱는 慶北大 金照雄 教授들의 資料를 利用하여 分析되었으며 기간은 1982年 6月 上旬에서 9月 下旬까지이다.

벼의 品種은 아래의 Taleb1과 같고 그외의 기타 재배 方法은 표준재배 方法에 準하였으며 水稻의 蒸發散량을 實測하기 위해서 Fig.1와 같이 水深을 一 定하게 維持시킬 수 있는 소형 라이시메타를 製作하여 品種別 各 3反復으로 埋設하고 그안에 1株 3本植으로 栽培하였다.

Table-1. Rice plant varieties in different expermental sites

location variety	Seoul	Suwon	Cheongju	Jeonju	Daegu
1	Taebaek (E.T)	Hukuhikari (E.J)	Geumgang (M.J)	Josaengtongil (E.T)	Taebaek (E.T)
2	Pungsan (M.T)	Sang pung (M.J)	Akibare (M.T)	Irri 345 (M.J)	Pungsan (M.T)
3	Hangang (L.T)	Hangang (L.T)	Milyang (M.T)	Akibare (L.J)	Jinju (L.J)

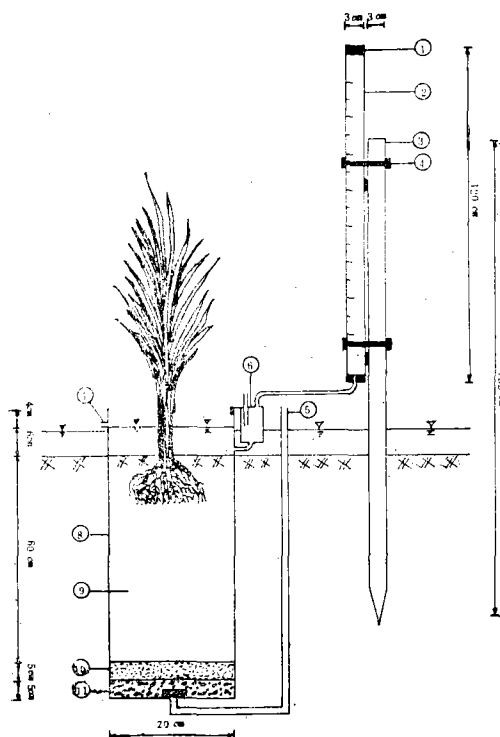
E; Early mature variety

M; Middle mature variety

L; Late mature variety

J; Japonica variety

T; Tongil variety



- ① Rubber stopper
- ② Glass pipe
- ③ Stand pipe
- ④ Clipper
- ⑤ Drainage pipe
- ⑥ Constant leveling apparatus
- ⑦ Out-let
- ⑧ P.V.C Cylinder
- ⑨ Soil
- ⑩ Sand
- ⑪ Gravel

Fig. 1. Constant water leveling micro-lysimeter

2. 分析方法

各實驗地域에서 測定된 日氣象資料를 實驗地域의 氣象觀測所로부터 수집하여 各 分析方法에 따른 潛在蒸發散量을 算出하고 實測値와 比較하여 가장 尙觀性이 높은 方法을 찾아내고 各 方法에 따른 作物係數 K 值를 日別, 旬別, 月別로 誘導한다. 그 電算化 過程의 flow-chart는 Fig. 2와 같다.

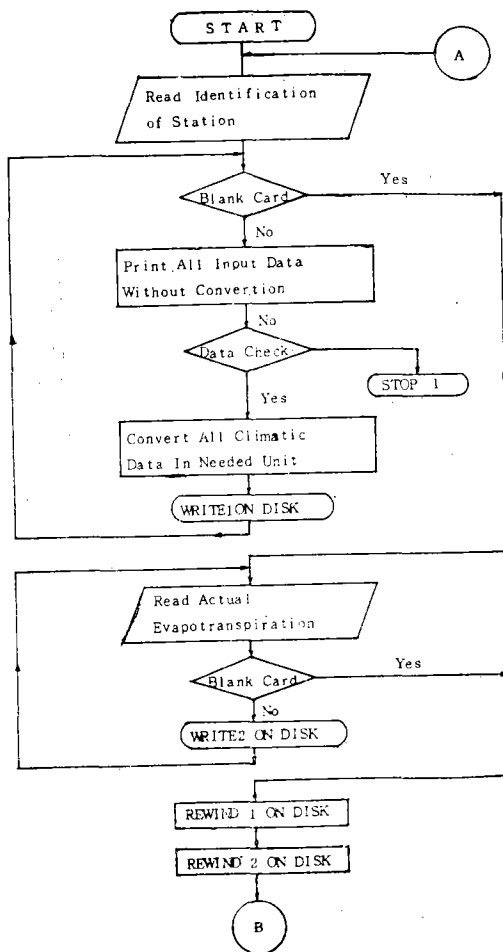


Fig. 2. Flow Chart of ETP

IV. 結果 및 考察

1. 實測蒸發散量

全國 5個 地域에서 實驗한 結果 水稻의 蒸發散量의 값은 Table-2와 같으며 그 變化樣狀은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 移秧後 漸增하여 7月 上旬부터 急增하기 始作하여 8月 上旬에 最大値를 나타내고 있다. 보통 早生種은 出穗開化期인 7月 下旬에 最大値가 나타나지만, 今年 7月 下旬의 경우에는 全國 各 實驗地域이 이 期間에 降雨가 많았던 關係로 蒸發散量이 減少된 것으로 여겨진다.

生育期間中의 旬別 最大蒸發散量은 早生種 7.7 mm/day, 中生種 8.0mm/day, 晚生種 8.0mm/day로

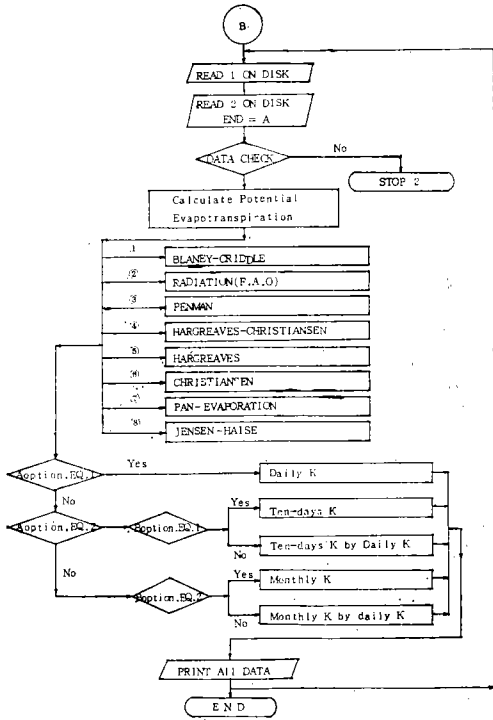


Fig. 3. Continued

實測되었고, 全生育期間(110일간)의 總蒸發散量은 早生種 638mm, 中生種 627mm, 晚生種 638mm로 早·中·晚生種에 따른 差異는 크지 않고 統一系가

660mm, 一般系가 621mm로서 統一系가 一般系보다 약 6% 程度 增加하고 있음을 보여주고 있다. 이는 權¹⁹⁾(1976)의 統一系와 一般系 品種間의 差인 70mm보다는 그 差異가 약간 작은 편이다.

또 全灌溉期間의 平均値는 一般系가 5.65mm/day, 統一系가 6.0mm/day로 黃²⁰⁾(1971) 등의 全期間 1日 平均量 5.56~6.04mm와 거의 비슷하게 나타나고, 閔²¹⁾(1965)의 實驗에서의 1日 平均量 6.13mm~6.74mm/day보다는 낮은 값으로 나타났다.

2. 潜在蒸發散量 算定

各 地域別로 諸方法에 依해 算定된 旬別 潜在蒸發散量은 Table-3에 그리고, 全體地域의 平均 潜在蒸發散量은 Table-4에 나타나 있다.

여기서 Blaney-Criddle式은 生育期間과 地域間에 그 값의 큰 變化를 보이지 않는 반면에 그밖의 다른 式에 依해 計算된 값은 變化의 幅이 크게 나타났다. 즉 우리나라에서는 氣象要素인 溫度가 6月 上旬과 9月 下旬 사이에 16°~30°C로 變하였고 日照率 P項은 緯度에 따른 값의 差가 적어 Blaney-Criddle式의 算定값은 全生育期間을 通하여 큰 差異가 없었다.

그러나 다른 式들은 濕度와 日射量의 項을 包含하고 있기 때문에 같은 時期라도 降雨나 雲量의 程度에 따라 地域間에 潜在蒸發散量 算定값이 큰 差異를 보였으며 時期別로 볼때도 算定값의 變動이 크게 나타났다.

Table-2. Actual evapotranspiration on paddy field

Station	Variety	Month (Ten-days)	5			6			7			8			9		
			L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L		
Seoul	E(T)		—	3.9	4.8	4.0	5.5	7.7	6.8	6.3	5.4	5.1	—	—	—		
	M(T)		—	3.9	5.5	3.8	5.3	7.0	5.8	6.4	6.4	5.4	5.4	—	—		
	L(T)		—	3.6	5.6	3.9	5.6	8.6	7.1	6.3	6.7	4.1	6.0	—	—		
Suwon	E(J)		—	4.0	5.6	6.9	6.9	7.6	5.9	7.8	4.8	4.9	5.6	—	—		
	M(J)		—	4.1	5.6	5.9	7.3	7.3	5.6	8.4	4.5	4.3	5.7	—	—		
	L(T)		—	4.3	6.2	6.4	7.1	7.5	5.5	8.5	5.3	5.6	6.8	5.6	—		
Cheongju	M(J)		—	3.6	4.9	6.5	6.7	8.3	6.5	9.4	5.3	5.2	5.4	4.5	—		
	M(T)		—	4.1	5.2	5.8	5.7	6.4	5.0	8.2	5.2	5.1	5.2	4.2	—		
	M(T)		—	4.2	5.5	6.1	5.8	7.0	5.4	8.8	5.6	5.1	5.2	6.5	—		
Jeonju	E(T)		—	—	5.3	6.4	6.7	5.4	5.8	8.1	6.2	3.1	3.5	4.3	—		
	M(J)		—	—	6.3	5.4	6.7	5.4	7.0	8.3	5.9	3.7	3.5	4.0	—		
	L(J)		—	—	5.8	5.7	6.8	5.5	7.2	8.8	6.0	3.9	4.5	5.4	2.1		

水稻의 蒸發散量 推定方法에 關한 研究

Daegu	E(T)	—	—	7.0	6.6	8.0	6.5	6.0	9.6	8.0	4.9	5.2	6.1	3.8
	M(T)	—	—	5.9	6.9	8.2	6.0	6.0	8.4	5.6	5.0	5.4	6.6	—
	L(J)	—	—	6.9	6.9	8.1	5.6	5.8	8.4	6.3	5.4	5.4	5.8	—
Mean	E	—	3.6	5.7	6.3	6.7	7.0	6.1	7.7	5.9	4.5	4.9	4.9	—
	M	—	3.9	5.4	5.7	6.5	6.8	5.9	8.0	5.6	4.7	5.0	5.3	—
	L	—	3.9	5.9	5.7	6.9	7.0	6.4	8.0	6.1	4.8	5.6	5.0	—
	J	—	3.9	5.6	6.3	7.0	6.6	6.3	8.0	5.5	4.6	5.0	4.9	—
	T	—	3.9	5.8	5.5	6.4	7.0	6.1	7.8	6.0	4.8	5.3	5.4	—
Total Mean		—	3.9	5.7	5.9	6.7	6.8	6.1	7.9	5.8	4.7	5.2	5.2	3.0

E ; Early mature variety
L ; Late mature variety
T ; Tongil variety

M ; Middle mature variety
J ; Japonica variety

Table-3. Potential evapotranspiration estimated by several method

method	location	Blaney-Cridle					Penman					Pan evaporation					Radiation(F.A.O)				
		①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
6	E	5.8	5.7	6.0	—	—	4.7	5.0	5.3	—	—	4.7	5.9	6.0	—	—	4.8	5.4	5.5	—	—
	M	6.1	6.0	6.1	6.1	6.3	4.7	4.4	4.8	5.1	6.1	5.0	5.0	5.3	5.7	7.0	4.3	4.3	4.6	4.9	5.6
	L	6.2	6.1	6.2	6.2	6.0	4.7	4.9	5.5	5.0	5.4	5.6	5.9	6.7	5.8	6.1	4.4	4.8	5.5	4.8	4.6
7	E	6.5	6.3	6.5	6.4	6.4	4.8	5.1	5.4	5.1	5.4	5.4	5.9	6.5	6.8	6.9	4.4	5.0	5.3	4.8	4.6
	M	6.4	6.2	6.3	6.2	6.3	4.6	4.3	4.3	3.7	3.9	5.6	6.4	4.8	3.5	5.0	4.1	4.2	3.8	3.1	3.1
	L	6.2	6.1	6.2	6.3	6.2	4.4	3.4	3.6	4.3	3.8	4.3	5.2	4.5	4.4	4.8	3.7	2.9	3.0	3.8	2.9
8	E	6.4	6.3	6.4	6.4	6.5	4.3	4.1	4.7	4.7	4.7	4.2	3.8	5.8	4.4	6.6	3.6	3.9	4.7	4.3	4.3
	M	6.2	6.1	6.2	6.2	6.2	4.0	2.6	3.6	3.6	3.9	2.7	4.5	3.5	4.4	4.7	3.4	2.1	3.0	3.1	3.5
	L	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	3.9	2.9	3.3	2.8	3.3	3.2	2.5	3.6	3.3	3.5	3.3	2.6	2.9	2.3	2.3
9	E	5.4	5.3	5.6	5.3	5.2	4.6	3.6	3.0	3.7	3.8	5.1	2.5	3.9	2.5	4.9	4.1	3.4	2.8	3.5	3.4
	M	5.0	5.0	5.4	5.0	4.9	3.3	3.4	3.0	3.5	3.4	4.0	4.1	4.9	3.8	4.1	3.8	4.2	3.6	3.2	3.5
	L	—	—	—	4.5	—	—	—	—	3.5	—	—	—	—	3.7	—	—	—	—	3.4	—

① Seoul ② Suwon ③ Cheongju ④ Jeonju ⑤ Daegu

Table-4. Potential evapotranspiration estimated by several method

method	location	Hargreaves					Christiansen					Christiansen-Hargreaves					Jensen-Haise				
		①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
6	E	5.5	4.5	6.1	—	—	3.7	5.3	5.0	—	—	3.9	3.8	4.4	—	—	3.4	4.5	5.0	—	—
	M	5.4	4.5	5.4	5.1	7.0	3.8	4.1	4.2	4.6	5.1	3.6	3.3	3.7	3.9	4.9	3.2	3.4	4.0	4.4	4.8
	L	5.6	4.6	6.1	4.7	5.7	4.3	5.0	5.3	4.8	4.5	3.7	3.7	4.5	3.8	4.0	3.5	4.0	4.7	4.2	3.6
7	E	6.5	5.4	6.6	5.7	6.3	4.1	5.5	5.3	5.6	5.3	3.8	4.0	4.5	4.0	4.1	3.9	5.0	5.4	4.8	4.5
	M	5.1	4.2	4.8	3.4	4.8	4.4	4.5	4.0	2.9	3.9	3.6	3.1	3.2	2.5	2.7	3.5	3.8	3.8	3.0	2.9
	L	3.8	3.3	4.1	4.3	4.0	3.4	3.3	3.8	3.7	3.7	3.0	2.2	2.5	3.2	2.5	3.1	2.7	2.8	3.7	2.8
8	E	4.2	4.1	5.6	4.7	5.7	3.4	4.1	5.2	3.8	5.5	3.1	2.9	3.8	3.5	3.7	3.3	4.0	4.9	4.4	4.3
	M	2.9	2.5	3.9	3.8	5.0	2.2	2.3	3.0	2.9	3.9	2.7	1.6	2.5	2.6	3.1	2.9	1.7	2.9	3.0	3.4
	L	3.4	2.6	3.3	2.4	3.4	2.6	2.3	3.0	2.2	2.8	2.7	1.9	2.3	1.8	2.1	2.5	2.3	2.3	2.6	1.9

9	E	4.5 3.4 3.6 4.0 4.2	3.9 3.8 3.3 3.2 3.9	3.4 2.4 2.1 2.7 2.8	2.9 3.1 2.4 2.9 2.8
	M	4.1 4.9 3.4 3.6 4.4	3.7 3.9 3.6 3.2 4.0	3.0 3.7 2.5 2.5 3.3	3.2 4.6 2.8 2.8 3.2
	L	— — — 2.5 —	— — — 3.1 —	— — — — —	— — — 2.5 —

Table-4. Mean potential evapotranspiration in Korea

Method	Period			6			7			8			9		
	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L
Blaney-Criddle	5.83	6.12	6.30	6.42	6.28	6.20	6.40	6.18	5.60	5.40	5.08	4.52			
Penman	5.00	5.02	5.10	5.16	4.66	3.90	4.50	3.54	3.24	3.74	3.32	3.50			
Pan evaporation	5.51	5.61	6.02	6.40	4.82	4.72	5.10	3.56	3.22	3.44	4.01	3.70			
Radiation(F.A.O)	5.23	4.74	4.82	4.82	3.66	3.26	4.16	3.02	2.68	3.44	3.75	3.46			
Hargreaves	5.36	5.48	5.34	6.10	4.46	3.90	4.86	3.62	3.02	3.94	4.08	3.50			
Christiansen	4.78	4.36	4.78	5.16	3.94	3.58	4.40	2.86	2.58	3.62	3.67	3.10			
Christiansen-Hargreaves	4.03	3.88	3.94	4.08	3.02	2.68	3.40	2.50	2.16	2.68	3.00	2.60			
Jensen-Haise	4.30	3.96	4.00	4.72	3.40	3.02	4.18	2.78	2.32	2.82	3.30	2.50			

3. 蒸發計 蒸發量과 其他 方法과의 對比

먼저 氣象觀測所에서 實測한 蒸發計 蒸發量과 實測된 氣象資料를 利用하여 Hargreaves式, Radiation (F.A.O), Christiansen式, Hargreaves-Christiansen式, Jensen-Haise式 等に 의하여 計算된 潛在 蒸發散量과 比較하여 보면 Table-5와 Fig. 3과 같

다.

여기에서 보면 各式들에서 얻어진 Etp와 蒸發計 蒸發量과의 回歸分析에서 相關係數는 0.833~0.945로 高度의 相關性이 있는 것으로 나타나 만약 蒸發計 蒸發量을 測定하기 곤란하거나 또는 各 地方別로 蒸發計의 位置나 크기가 各各 다른 경우에는 上記의 여러 方式을 使用하여도 무방하리라고 생각된다.

Table-5. Regression between pan evaporation and potential evapotranspiration

Method	Item	Regression Coefficient r	Standard Error S.E	F-value	Regression Equation
Hargreaves		0.833	0.657	188.18	$y=0.85x+1.08$
Christiansen		0.945	0.373	760.30	$y=1.18x+0.07$
Christiansen-Hargreaves		0.875	0.574	272.13	$y=1.34x+0.56$
Jensen-Haise		0.834	0.656	189.33	$y=1.14x+0.69$
Radiation(F.A.O)		0.849	0.626	215.83	$y=1.17x+0.32$

x ; potential evapotranspiration y ; pan evaporation

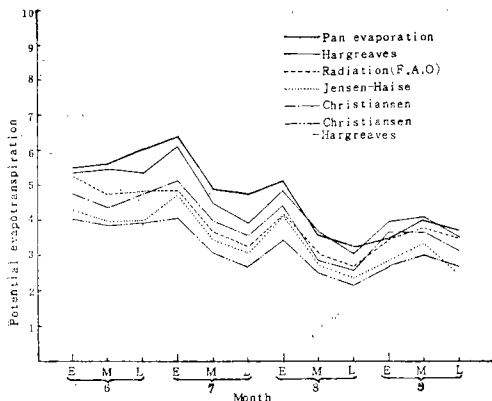


Fig. 3. Variation of pan evaporation and several potential evapotranspiration

4. Blaney-Criddle, Penman, 蒸發計 蒸發量과 水稻의 實測蒸發散量과의 對比

水稻의 正確한 作物係數 K值를 求하기 위하여 旬別로 Blaney-Criddle式과 Penman式으로 計算한 값 및 實測된 蒸發計 蒸發量과 實測한 蒸發散量과 比較하고 그 正確性을 검정하였다. 위의 세가지 方法을 比較한 結果는 Table-6과 같으며 全生育期間에 따른 變化量은 Fig.4에 나타나 있다. Table-6과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 Blaney-Criddle式의 算定값과 水稻의 實際蒸發散量과의 相關性이 낮게 나타나는데 특히 水稻의 生育이 旺性한 여름철에 降雨가 많고 濕度가 比較的 높은 우리나라에서는 잘 맞지 않는다

것으로 나타났다. 이는 降雨時 實際蒸發散량은 적은 데 比하여 計算된 값은 式에서 日照率項이 緯度別 常數項으로 되어 있어 크게 나타나서 그런 것으로 생각된다.

한편 Penman式에 依한 값과 實測值와의 比較는 相關係數가 全生育期間동안 0.404~0.836으로서 比較的 相關性이 높고 特別히 降雨時나 벼의 生育이 旺盛한 6月 下旬과 8月 中旬사이에는 다른 어느式보다도 相關性이 높게 나타났고 蒸發計 蒸發量과 實測值를 比較한 결과는 벼의 生育이 旺盛하지 않고

蒸發量이 蒸散量보다 많은 6月上旬과 中旬, 그리고 生育終期인 9月 初旬과 中旬에는 蒸發計 蒸發量이 Penman式보다 相關性이 더 높았다. 따라서 水稻의 蒸發散量을 예측 하는데는 좀 복잡하기는 하지만 Penman式이 가장 正確한 예측 方法이 될것으로 思料된다.

그러므로 여기서는 가장 精確하다고 판단되는 Penman式과 實用的 方法인 蒸發計 蒸發量法에 依한 作物係數 K를 求하여 Fig.5와 Fig.6과 같이 圖表化 하였다.

Table-6. Regression among actual evapotranspiration and penman, pan evaporation, Blaney-Criddle method

Period	Regression	Penman			Pan evaporation			Blaney-Criddle		
		r	F	Regression Equation	r	F	Regression Equation	r	F	Regression Equation
6	上	0.404	1.370	$y=0.56x+1.07$	0.629	4.579	$y=0.35x+1.86$	0.194	0.273	$y=-0.52x+6.9$
	中	0.602	7.394	$y=0.59x+2.72$	0.687	11.584	$y=0.57x+2.56$	0.547	5.540	$y=3.45x-15.33$
	下	0.675	10.885	$y=2.34x-6.13$	0.520	4.834	$y=1.45x-2.95$	-0.605	7.520	$y=-7.95x+54.67$
7	上	0.589	6.540	$y=2.34x-5.64$	0.763	18.054	$y=1.32x-1.79$	-0.652	9.591	$y=-8.07x+58.51$
	中	0.836	30.119	$y=3.03x-5.77$	0.709	13.057	$y=1.17x+1.28$	0.472	3.730	$y=7.33x-39.20$
	下	0.659	9.981	$y=1.09x+1.82$	0.093	0.114	$y=0.85x+5.28$	0.487	4.054	$y=5.00x-24.907$
8	上	0.653	9.143	$y=2.66x-3.94$	0.419	2.789	$y=1.34x+2.125$	0.304	1.319	$y=5.00x-24.04$
	中	0.649	9.509	$y=0.66x+1.98$	0.507	4.506	$y=0.47x+4.12$	0.573	6.33	$y=11.833x-67.37$
	下	0.426	2.868	$y=0.77x+2.22$	0.010	0.015	$y=0.019x+4.65$	0.276	0.905	$y=5.05x-24.905$
9	上	0.090	0.116	$y=0.17x+4.55$	0.720	13.293	$y=0.67x+2.45$	0.227	0.657	$y=0.92x+1.25$
	下	0.650	9.501	$y=1.08x+1.98$	0.507	4.506	$y=0.476x+4.11$	0.573	6.338	$y=11.833x+67.374$

* x ; Estimated potential evapotranspiration
y ; Measured actual evapotranspiration

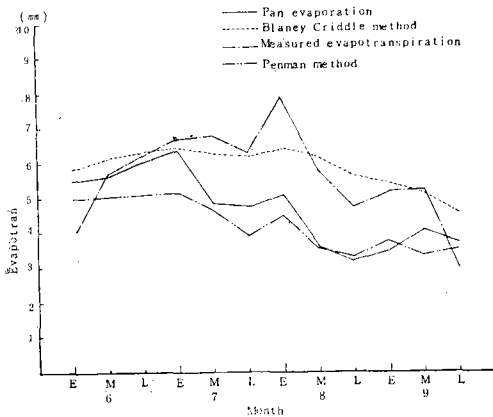


Fig. 4. Variation of measured evapotranspiration and potential evapotranspiration

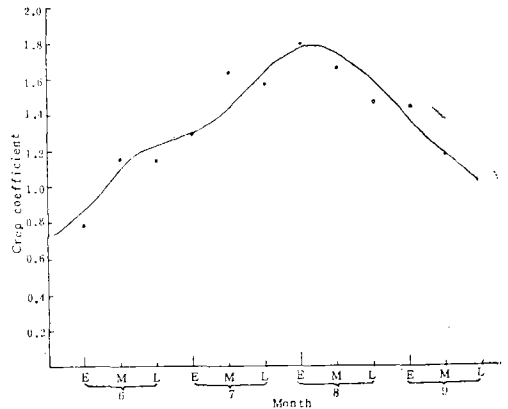


Fig. 5. Crop coefficient for the Penman method

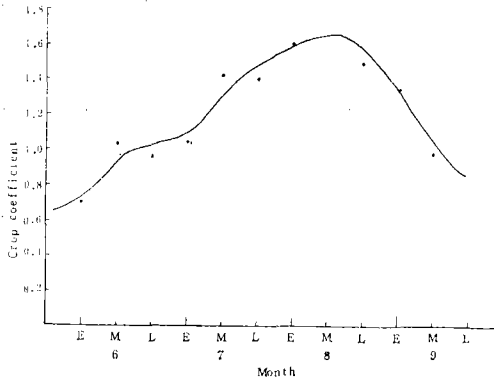


Fig. 6. Crop coefficient for pan evaporation method

V. 結 論

灌溉水量的決定에 가장 큰影響을 미치는 蒸發散量을 正確히 예측하는 것은 아주 重要하고도 힘든 일이다.

現在까지 國內의 많은 學者^{19), 20), 21), 22), 23), 24)}들에 의해 이 分野에 對한 많은 研究가 이루어져 왔지만 이는 大部分이 Blaney-Criddle式에 의해 作物係數(K)를 求하는 方法이었다.

그러나 기존의 Blaney-Criddle式은 原來 美國西部地域의 乾燥한 氣候에 알맞는 式으로 蒸發散에 影響을 미치는 溫度와 風速이 考慮되지 않았고, 蒸發에 直接的인 影響을 미치는 日射量을 溫度와 日照時間의 間接的인 要素로 代身하고 있어 간편하긴 하지만 氣象條件에 따른 正確性을 기대하기가 어렵다고 생각되어 이에 본 研究에서는 水稻의 生育時期에 따른 正確한 蒸發散量을 求하고 지금까지 世界各國에서 開發된 蒸發散量 推定式 (Blaney-Criddle, penman, Radiation(F.A.O) pan evaporation, Hargreaves, Christiansen, Hargreaves-Christiansen, Jensen-Haise) 등을 比較하고 보다 正確한 方法으로 作物係數(K)를 求하고자 試圖하였는바 그 主要 結果는 다음과 같다.

1. 全生育期間에 걸친 總蒸發散量은 統一系 660 mm, 一般系 621mm로서 統一系 品種이 一般系品種보다 6%程度 增加되었고, 品種別로는 早生種 638 mm, 中生種 627mm, 晚生種 630mm로서 早生, 中生, 晚生種에 따른 差異는 별로 없는 것으로 나타났다.

2. 旬別 最大蒸發散量의 時期는 8月上旬에 나타났으며 이때의 蒸發散量은 早生種 7.7mm/day, 中生種 8.0mm/day, 晚生種 8.0mm/day 이었다.

3. pan 蒸發量과 Hargreaves, Christiansen, Radiation (F.A.O) Hargreaves-Christiansen, Jensen-Haise式들에 의한 算定值를 比較한 結果 高度의 有意性이 認定되었다. 따라서 이 方法들을 pan 蒸發量 代身에 使用하여도 무방할것으로 思料된다.

4. Blaney-Criddle penman式의 算定값 및 pan 蒸發量을 實測蒸發散量과 比較한 結果 Blaney-Criddle式은 相關性이 極히 낮은 것으로 나타났으며, penman式은 作物의 生育活動이 旺盛한 期間에 pan 蒸發量보다 더 높은 相關性을 보였다.

5. 여러가지의 蒸發散 推定方法中 가장 正確하다고 生覺되는 Penman式과 實用的인 pan 蒸發量에 對한 作物係數(K)의 旬別值를 求하고 圖表化하였다

參 考 文 獻

1. Blaney, H.F. and Criddle, W.D. (1945) Determining water requirement in irrigated areas from climatological Data. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37 : 931-943.
2. Blaney, H.F. and Criddle, W.D. (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA (SCS) TP-96, 48p.
3. Christiansen J.E. (1966). Estimating pan evaporation and evapotranspiration from climatic data. ASCE, Irrigation and Drainage Div. Symp. on Methods for Estimating Evapotranspiration.
4. Christiansen J.E. and Hargreaves G.H. (1969). Irrigation requirements from evaporation. Proc. VII. Congr. ICID, Mexico City, 23 : 570-596.
5. Consumptive Use of Water and Irrigation Water requirements (1973) ASCE Committee on Irrigation Water requirements.
6. Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1974). Guide line for prediction of crop water requirements, FAO Irrig. and Drain. Paper No. 25, FAO, Rome.
7. Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1977). Guide

- line for predicting of crop water requirements
FAO Irrig. and Drain. Paper No. 25, FAO,
Rome.
8. Jensen, M.E.(Ed.) (1974). Consumptive use of water and irrigation water requirements. Rep. Tech. Com. On Irrig. Water Requirements. Am. Soc. Eng., Irrig. Drain. Divi. 227p. Chicago, Dec., 65pp.
 9. Jesen, M.E. (1966c) "Empirical methods of estimating or predicting evapotranspiration using radiation, Proc. Conf. on Evapotranspiration, Am. Soc. of Agr. Engr., Chicago, Dec., pp.57—61, 64,
 10. Jensen, M.E. and Haise, H.R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation, J. Irrig. and Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr., 89 : 15—41,
 11. Makkink, G.F.(1957), "Testing the paman formula by means of lysimeters," J. Inst. Water Eng. 11(3) : 277—288,
 12. Penman, H.L. (1948), Natural Evaporation from open water, bare soil and grass, "Proc. Roy. Soc. London, A 198 : 120—146.
 13. Penman, H.L.(1963). Vegetation and hydrology, Tech. Comm. No. 53, Common Wealth Bureau of Soils, Harpenden, Eng., 125pp.
 14. Pruitt, W.O.(1966). Empirical method of estimating evapotranspiration using primarily evaporation pans, Proc. Conf. on Evapotranspiration, Am. Soc. Agr. Engr., Chicago, Dec., pp. 57—61.
 15. Rohwer, C.(1931). Evaporation from free water surfaces," U.S. Dept. Agr. Tech. Bull. 271, 96pp.
 16. Tanner, C.B. (1960). Energy balance approach to evapotranspiration from crops, Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 24 : 1—9.
 17. Tanner, C.B.(1967). Measurements of evapotranspiration, In: Irrigation of agricultural lands, Mono. No. 11, Am. Soc. Agron., Madison, pp. 534—574.
 18. Van Bavel, C.H.M. (1968). Disc. of climate and evaporation of crops J. Irrig. and Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr., 68 : 533—535.
 19. 權純國, 鄧斗浩(1976) : 新品種 統一벼의 蒸發散에 關한 研究, 農事試驗研究報告書 (農工編) Vol. 18. pp1~11. 農村振興廳
 20. 金哲基(1971), 新品種 統一벼의 用水量測定試驗 農工學會誌 13(4). pp.21~26.
 21. 金始源, 吳完錫, 金善柱(1981), 水路品種間의 必要水量 差異에 關한 研究. 農工學會誌23(2), pp.35~14.
 22. 閔丙燮(1965), 水稻用水量에 關한 研究, 農工學會誌 2, pp. 49~59.
 23. 閔丙燮(1969), 벼 生育期間中의 논에서의 水分消費에 關한 研究(I). 農工學會誌 11(2), pp.1~27.
 24. 農수산부, 농업진흥공사(1982) 농업용수 개발 시험연구, pp. 345~427.
 25. 黃根(1969), 各種土性別 經濟的 用水量決定試驗. 農工學會誌 11(1), pp. 43~61.