

밭 灌溉의 計劃用水量 및 施設容량의 定立에 관한 研究

- 蒸發散量 實測에 의한 밭用水量의 推定에 관하여 -

Study on the Establishment of Project Duty of Water and Facility Capacity in Upland Irrigation

- On the Estimation of Duty of Water for the Upland Crops by the Measurement of Evapotranspiration -

金 始 源* · 金 善 柱*
Kim, Shi Won · Kim, Sun Joo

Summary

The evapotranspiration of upland crops was measured by four types of lysimeter and water consumption characteristics together with the optimum irrigation point by the crops was defined. Among the evapotranspiration estimation formulas, the constant of wind function in the modified Penman equation was corrected to agree with the meteorological conditions of Korea.

The evapotranspiration of the crops in the project standard year was estimated according to the cropping system of the project area in Chungju, and from the estimated evapotranspiration, net duty of water per one time and irrigation intervals were investigated.

The results obtained are summarized as follows :

1. The evapotranspiration of the same crop measured at the same plot was slightly different by the lysimetric methods, and among the four types of lysimeter, the accuracy of the floating lysimeter was the highest.

2. The yields among the watering treatments showed the significance of 5% in the experiment with red cabbage and Chinese cabbage, and significance of 1% in the crisphead lettuce, and the optimum irrigation point for the tested crops was defined as pF 2.0 by the least square difference test.

3. The evapotranspiration of the crops in the mid-season stage showed maximum among the growing stages, and the average daily evapotranspiration by the crops over the growing seasons of cabbage, crisphead lettuce, Chinese cabbage, summer cucumber, tomato, salary and autumn cucumber was 4.18mm, 4.77mm, 3.99mm, 5.68mm, 4.00mm, 4.26mm and 3.39mm, respectively.

4. From the investigated soil moisture extraction pattern(SMEP) of the crisphead lettuce, cucumber and tomato, the proportion of the first layer in the initial stage showed over 50%, and the SMEP of the lowest fourth layer during the late-season stage in the experiment with cabbage and Chinese cabbage was 15.8% and 16.9, respectively, with showed that the root elongated to the lowest soil layer.

* 建國大學校 農科大學

5. The total available moisture(TAM) of clay loam was 21.2~23.3mm and that of sandy loam was 16.1~19.0mm under the optimum irrigation point of pF. 2.0, and the total readily available moisture(TRAM) of the crops cultivated in the clayloam soil was larger than that cultivated in the sandy loam soil, and the TRAM during the mid-and late-season were larger than that of the initial and crop development stage.

6. The estimated evapotranspiration by the corrected Pennam equation, which corrected the constant of the wind function in the modified Penman equation, was nearly agreed with the actually measured evapotranspiration of grass.

7. Among the several evapotranspiration estimation methods, the evapotranspiration estimated by the corrected Pennam equation was closed to the actual evapotranspiration of reference crop (grass) evapotranspiration, therefore it is suggested to use the corrected Penman equation to determine the duty of water of corps.

8. The average crop coefficient (Kc) of cabbage by the corrected Penman equation was 0.94 and that of crisphead lettuce, summer cucumber, tomato, salary, Chinese cabbage and autumn cucumber was 1.07, 1.22, 1.02, 1.01, 1.35, 1.09, respectively

9. The estimated total evapotranspiration of cabbage in the project area(Chungju) by the corrected Penman equation was 223.9mm and that of crisphead lettuce, Chinese cabbage, summer cucumber, tomato, salary and autumn cucumber was 215.7mm, 205.9mm, 359.0mm, 300.9mm, 332.1mm and 202.7mm, respectively.

10. The net duty of water per one time of the crops cultivated in the sandy loam soil, and the net duty of water per one time in the mid-season & late-season showed larger than that of the initial stage.

11. The shortest irrigation interval of cabbage in the project area was 4.2 days, and that of crisphead lettuce, Chinese cabbage, cucumber, tomato and salary was 1.2days, 2.3days, 1.8days, 2.2days and 2.7days, respectively.

I. 緒 論

近年에 들어와서 食生活構造의 變化가 穀類中心에서 肉類, 菜蔬類, 果實類로 高級化되고 있기 때문에 農業形態도 畚作中心에서 田作農業으로의 轉換이 漸進的으로 이루어질 展望이다. 그러나 이제까지는 灌溉事業이 米作을 위한 논의 灌溉改善에만 置重하여왔고 밭作物에 대한 灌溉改善에는 등한시하여 밭作物의 生産性이 전혀 改善되지 못하고 있는 實情이다.

따라서 밭農業을 개선하기 위하여 무엇보다도 중요한것은 밭作物의 低生産性을 개선하여 크게 增加하고있는 밭作物의 需要를 解決하고 經濟作物에 대한 選擇的인 擴大를 도모하는 일로서 이를 위해 우선적으로 해야 할 일이 밭에 대한 灌溉施設을 完備하고 안정적이면서도 적극적인 生産擴大를 위한 土地基盤을 整備하는 일이라고 본다.

그러나 지금 우리가 當面하고 있는 問題는 政府에서 밭에 대한 灌溉計劃의 樹立을 推進하려고 하더라도 灌溉計劃의 樹立에 가장 基本이 되는 各種 밭作物의 消費水量 算出에 대한 國內의 資料가 매우 빈약하다는 사실이다. 물론 金^{35,36,37,38,40,41,42} 등, 鄭¹¹ 등, 徐⁶⁹ 등에 의하여 發表된 資料가 있기는 하나 期別消費水量에 대한 係數化가 되지 못하여 灌溉計劃의 樹立에 適用할 基本資料로 삼기에는 빈약하다. 또한 日本등 外國의 試驗資料가 있기는 하나 氣象條件, 土壤條件 및 其他 環境條件등이 우리나라와 다르기때문에 外國의 試驗資料를 우리나라에 適用하는것은 不合理하다.

따라서 本 研究에서는 국내에서 많이 栽培되고 있는 結球상치, 가을배추, 오이, 토마토, 셀러리, 양배추등의 消費水量에 關한 基礎的試驗을 實施하여 灌溉計劃을 樹立하는데 基本이 되는 資料를 얻으려는 것으로서 첫째, 秤量라이시

미터 (weighing lysimeter), 플로우링 라이시미터 (floating lysimeter), 챔버 (chamber), 물收支式 라이시미터 (water balance lysimeter)를 利用하여 밭作物의 蒸發散量을 實測함으로써 作物의 生育段階別 水分消費特性和 灌水點別 灌溉效果를 究明하고 둘째, 實測된 基準作物(잔디)의 蒸發散量과 補正Penman式(修正Penman式의 補正式)을 比한 여러가지 蒸發散量推定公式에 의하여 算出된 잔디의 蒸發散量을 比較하여 基準作物의 蒸發散量을 推定하기에 適合한 方法을 究明하였으며 셋째, 이에따라서 灌溉計劃對象地區의 灌溉計劃年의 氣象資料로부터 算出된 基準作物의 蒸發散量과 本 試驗을 통하여 算出된 作物別 作物係數에 의하여 供試作物들의 消費水量을 推定하였다.

II. 主要蒸發散量推定式과 그 特性

1. Doorenbos와 Pruitt의 FAO修正 蒸發散量推定式

FAO에서 Doorenbos와 Pruitt가 Blaney & Criddle式은 平均氣溫과 晝間時間외에 最小相對湿度와 晝間風速을 考慮하고, Makkink式에는 平均相對湿度와 晝間風速을 追加하였으며, Penman式에 있어서는 風速函數項을 變形하여 提示한 4個 基準作物(잔디)의 蒸發散量(Reference Crop Erapotranspiration; ET_0) 算定公式을 各 方法別로 살펴보면 다음과 같다.

가. Blaney & Criddle法

$$ET_0 = a + bp(0.46T_{mean} + 8) \dots\dots\dots(2-1)$$

여기에서,

- ET_0 = 基準作物의 蒸發散量(mm/day)
- P = 晝間時間百分率(%)
- T_{mean} = 平均氣溫(°C)
- b = 日照率, 相對湿度, 風速에 따른 補正係數
- $a = 0.0043RH_{min} - n/N - 1.41$
- RH_{min} = 最小相對湿度(%)
- n/N = 日照率

나. 日射量法(Radiation method)

$$ET_0 = b \cdot W \cdot R_s - 0.3 \dots\dots\dots(2-2)$$

여기에서,

- ET_0 = 基準作物의 蒸發散量(mm/day)
- W = 溫度 및 高度에 따른 補正係數

R_s = 蒸發散水深으로 換算한 日射量(mm/day)

b = 平均相對湿度와 平均晝間風速에 따른 補正係數

다. Penman法

$$ET_0 = c \{ W \cdot R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) \} \dots\dots\dots(2-3)$$

여기에서,

- ET_0 = 基準作物의 蒸發散量(mm/day)
- W = 湿度 및 高度에 따른 補正係數
- R_n = 蒸發散水深으로 換算한 純輻射量(mm/day)
- $f(u)$ = 風速에 따른 函數
- $(e_a - e_d)$ = 平均氣溫에서의 飽和水蒸氣壓과 實際平均水蒸氣壓과의 差(mbar)
- c = 日射量, 晝間風速, 最大相對湿度 및 晝間/夜間風速比에 따른 補正係數

라. 蒸發計蒸發量法(Pan Evaporation method)

$$ET_0 = K_p \cdot E_{pan} \dots\dots\dots(2-4)$$

여기에서,

- ET_0 = 基準作物의 蒸發散量(mm/day)
- K_p = 平均風速, 晝間風速 및 蒸發計의 주변 環境에 따른 係數
- E_{pan} = 蒸發計蒸發量으로서 一定期間의 日平均값

2. 修正 Penman式

Penman式의 一般型은 式(2-5)와 같다.

$$ET = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n + G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot E_a \dots\dots\dots(2-5)$$

여기에서,

- 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($mb/^\circ K$)
- γ = 乾濕球常數($mb/^\circ K$)
- 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인 水蒸氣移動項(mm/day)

또한 $E_a = f(u) \cdot \Delta e \dots\dots\dots(2-6)$

여기에서, $f(u)$ = 經驗的으로 誘導된 風速函數

Δe = 蒸氣壓差

Penman式은 理論的으로 그 精度가 높기 때문에 充分한 氣象데이터가 있는 곳에서 폭넓게 應用되고 있다. Penman式은 式(2-5)에서 보는 바와 같이 에너지收支項(energy balance component)과 空氣動力項(aerodynamic component)으로 되어있으며, 式(2-6)과 같이 空氣動力項 중 첫째項은 經驗的으로 誘導된 風速函數(wind fun-

ction)로서 風速의 影響을 받으며, 둘째項은 飽和水蒸氣壓과 實際水蒸氣壓 또는 이슬점의 蒸氣壓과의 差(以下 蒸氣壓差; vapor pressure deficit)인데, 風速函數는 作物의 蒸發散量이 測定된 試驗圃場에서 計算된 蒸氣壓差로부터 計算된다. 그러나 蒸氣壓差를 計算하는 方法은 여러가지가 있으며 그 代表的인 方法 6가지를 들면 다음과 같다.

가. 平均氣溫의 飽和蒸氣壓에서 最低露點溫度의 蒸氣壓을 減하는 方法

나. 平均氣溫의 飽和蒸氣壓에서 平均相對濕度과 平均氣溫의 飽和蒸氣壓을 곱한 값을 減하는 方法

다. 平均氣溫의 飽和蒸氣壓에서 平均露點溫度의 蒸氣壓을 減하는 方法

라. 最高氣溫의 飽和蒸氣壓과 最低氣溫의 飽和蒸氣壓을 平均한 값에서 平均露點溫度의 蒸氣壓을 減하는 方法

마. 最高氣溫의 蒸氣壓差와 最低氣溫의 蒸氣壓差를 平均하는 方法

바. 平氣溫의 飽和蒸氣壓에서 濕度計에 의하여 觀測된 乾球과 濕球溫度로부터 計算된 實蒸氣壓을 減하는 方法

그리고 經驗의으로 誘導된 風速函數는 計算된 蒸氣壓差에 맞도록 되어있기 때문에 計算된 蒸氣壓差의 精度는 事實상 重要한 要素가 아니고, 重要한 것은 蒸氣壓差를 計算하는데 利用된 方法이 원래 風速函數를 誘導한 것과 關聯되어 있다는 것이다.

Penman이 最初로 風速函數를 誘導한 것은 氣溫平均(temperature averaging) 또는 蒸氣壓平均

(vapor pressure averaging)方法을 利用하여 計算된 蒸氣壓差가 크지않은 濕潤地域이기 때문에 이보다 乾燥한 氣候條件을 갖고 있는 地域에서 蒸氣壓平均法을 利用하여 計算된 Penman의 風速函數係數를 利用하는데는 무리가 있다. 그러나 많은 學者들이 나뭇대로의 蒸氣壓差 計算方法으로 準乾燥地域이나 乾燥地域에서 風速函數를 開發했기 때문에 이를 利用함에 있어서는 特別한 注意가 必要하다.

Penman式의 一般型에서 空氣動力項은 式(2-7)과 같다.

$$E_a = m (W_1 + W_2 \cdot U) \cdot \Delta e \dots \dots \dots (2-7)$$

여기에서,

m = 經驗的인 常數

w_1, w_2 = 經驗的으로 誘導된 風速函數 係數

u = 一定높이에서의 風速 (km/day)

Δe = 蒸氣壓差 (mbar)

그리고 現在 一般的으로 適用되고 있는 空氣動力項의 各 變數들의 값을 Cuenca¹³⁾ 등이 分類해 놓은 것을 보면 Table 2-1과 같다.

本 研究에서는 農村振興廳 農業技術研究所에서 柳⁶⁾ 등이 라이시미터를 利用하여 實測한 잔디의 蒸發散量과 修正 Penman式에 氣象資料를 代入하여 計算된 蒸發散量을 比較하여 空氣動力項중 風速函數의 常數 m 을 補正하는데 그 目的이 있으므로 最近들어 많이 使用되고 있는 Table-1의 6번째 常數와 係數를 適用하여 잔디의 蒸發散量을 推定하였다.

또한 Penman이 1948년에 最初로 開發한 式에

Table-1. Units and procedures for the Penman equation Aerodynamic Term.

Units for ET (1)	Units for U (2)	Wind measurement Ht. (m) (3)	Units for e (4)	m (5)	w_1 (6)	w_2 (7)	Method to compute e (8)	Reference crop (9)
mm/day	mile/day	2	mm Hg	0.35	1.0	0.0098	2	water
mm/day	mile/day	2	mm Hg	0.35	0.5	0.01	2	water
mm/day	mile/day	2	mm Hg	0.35	1.0	0.01	2	grass
cal/cm /day	Km/day	2	mbar	15.36	1.0	0.0062	2	grass *
in/day	mile/day	2	mbar	0.01034	1.1	0.017	4	alfalfa
mm/day	km/day	2	mbar	0.27	0.75	0.0115	5	alfalfa
mm/day	km/day	2	mbar	0.27	1.0	0.01	1, 3, 6	grass
cal/cm /day	km/day	2	mbar	15.36	1.06	0.0091	4	alfalfa

는 土壤으로의 熱收支量(soil heat flux) G가 無視되었으며 純輻射量(net radiation)은 다음의 式(2-8)로 推定되었다.

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - \sigma T_{mean}^4 (0.56 - 0.092 (Edp)^{\frac{1}{2}}) \cdot (0.10 + 0.90n/N) \dots\dots\dots (2-8)$$

여기에서, R_s = 水平面日射量(mm/day)
 α = 反射係數(albedo)
 σ = Stefan-Boltzman 常數(2×10^{-9} mm/day/°K)
 T_{mean} = 平均氣溫(°K)
 n/N = 日照率

Edp = 露點溫度에서의 飽和蒸氣壓(mbar)
 純輻射量 R_n 을 推定하는 式(2-8)은 몇몇 研究者들에 의하여 (Jensen²⁹ 1974; Doorenbos and Pruitt^{16,17} 1977; Wright⁷⁶ 1982) 약간씩 修正되었으며, Doorenbos와 Pruitt가 1977년에 FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24에서 提示한 純輻射量 推定式은 다음의 式(2-9)와 같다.

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - T_{mean}^4 (0.34 - 0.044 (Edp)^{\frac{1}{2}}) \cdot (0.10 + 0.90n/N) \dots\dots\dots (2-9)$$

式(2-9)에서 反射係數 α 는 作物表面에서 0.025로 固定시켰으며, Doorenbos와 Pruitt는 水平面日射量 R_s 가 實測되어 있지 못한 곳에서 R_s 를 推定하기 위한 方法을 式(2-10)과 같이 提示하였다.

$$R_s = (0.25 + 0.5n/N)R_a \dots\dots\dots (2-10)$$

여기에서, R_a = 大氣圈外廓面 日射量(mm/day)
 n/N = 日照率

그리고 Wright⁷⁶는 式(2-5)의 에너지 收支項 중 每日의 土壤熱收支量 G의 推定方法을 다음의 式(2-11)과 같이 提案하였다.

$$G = (T_{mean} - T_p) \cdot C_s \dots\dots\dots (2-11)$$

여기에서, G = 土壤의 熱收支量(mm/day)

T_{mean} = 平均氣溫(°K)
 T_p = 지난 3日間的 平均氣溫(°K)
 C_s = 經驗적인 比熱係數

위의 式(2-11)에서 Wright⁷⁶는 經驗적인 比熱係數 C_s 는 約 0.15mm/day/°K라고 하였다.

또한 式(2-5)의 乾濕球常數(psychrometric-constant) γ 는 다음의 式(2-12)로 計算된다.

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{\epsilon \lambda} \dots\dots\dots (2-12)$$

여기에서,
 C_p = 空氣의 比熱(0.24cal/g/°K)
 P = 氣壓(mbar)
 ϵ = 乾燥空氣에 대한 水蒸氣의 比重(0.622)
 λ = 蒸發潛熱

式(2-12)에서 蒸發潛熱 λ 는 다음의 式(2-13)으로 推定된다.

$$\lambda = 595 - 0.51(T_{mean} - 273.16) \dots\dots\dots (3-13)$$

그리고 式(2-5)에서 平均氣溫에서 計算된 飽和蒸氣壓과 溫度曲線의 기울기 Δ 는 다음의 式(2-14)로 計算된다.

$$\Delta = 33.86 [0.05904 (0.00738 T_{mean} + 0.8072)^7 - 0.0000342] (mbar/°C) \dots\dots\dots (2-14)$$

III. 作物의 蒸發散量 및 作物係數

1. 材料 및 方法

가. 供試土壤
 本 試驗에서는 두 種類의 土壤에 供試作物들을 栽培하였으며 試驗區 土壤의 國際土壤學會(ISS-S)三角分類法에 의한 土層別 土性은 Table - 2에서 보는 바와 같이 各各 粘質壤土(clay loam)와 砂質壤土(sandy loam)였다. 供試土壤의 土層別 理化

Table - 2. Physicochemical properties of soil by different layers in the experiment.

Soil type	Soil layer	Depth (cm)	Specific gravity	Bulk density	pH	O, M (%)	Mechanical analysis		
							Sand	Silt	Clay
Clay Loam	1st	0-10	2.62	1.21	6.3	2.4	45.7	33.2	21.1
	2nd	10-20	2.61	1.20	6.5	2.2	42.4	35.5	22.1
	3rd	20-30	2.60	1.18	6.4	2.2	42.2	34.8	23.0
	4th	30-40	2.63	1.23	6.5	2.1	43.3	35.0	21.7
Sandy Loam	1st	0-10	2.67	1.22	6.3	2.1	52.1	31.4	16.5
	2nd	10-20	2.69	1.23	5.9	1.9	53.2	30.5	16.3
	3rd	20-30	2.71	1.23	6.0	1.9	52.6	30.2	17.2
	4th	30-40	2.70	1.20	6.2	1.8	53.4	29.8	16.8

Table - 3. The tested crops and the measuring apparatus of consumptive use of water.

Crops	Measuring Apparatus of Consumptive use of water	Specification
Cabbage	Chamber	Ineer diameter 50cm, height 150cm
	Weighing Lysimeter	Inner diameter 30cm, height 40cm
Crisphed Lettuce	Weighing Lysimeter	Inner diameter 30cm, height 40cm
	Weighing Lysimeter	Inner diameter 30cm, height 40cm
Chinese Cabbage	Floating Lysimeter	Inner diameter 113cm, height 110cm
	Chamber	Inner diameter 50cm, height 150cm
Cucumber	Water Balance Lysimeter	Inner diameter 60cm, height 80cm
	Chamber	Inner diameter 50cm, height 150cm
Tomato	Floating Lysimeter	Inner diameter 113cm, height 110cm
	Chamber	Inner diameter 50cm, height 150cm
Salary	Weighing Lysimeter	Inner diameter 30cm, height 40cm

學的性質은 粘質壤土의 경우에 眞比重이 2.60, 假比重이 1.20내외였고, pH는 6.3에서 6.5로 中性에 가까왔으며, 有機物含量은 2.1에서 2.4%로 比較的 높은편이었다. 또한 砂質壤土의 경우에는 眞比重이 2.70, 假比重이 1.20~1.23으로 粘質壤土에 比하여 약간 컸으며, pH는 5.9에서 6.3으로 역시 中性에 가까왔고 有機物含量은 1.8%~2.1%로 粘質壤土보다 약간 떨어졌다.

나. 供試作物과 蒸發散量測定裝置

本 試驗에서는 밭作物중 灌水效果가 높고 灌水量도 다른 作物에 比하여 많은 葉菜類를 中心으로 遂行되었으며, 供試作物과 蒸發散量測定裝置는 Table - 3에서 보는 바와 같다.

다. 土壤水分測定 및 灌水管理

라이시미터 (lysimeter)內的 土壤水分減少狀況을 調査하기 위하여 各 라이시미터內에 直管式 텐시오미터 (vertical tube type tensiometer)를 地表에서 5cm, 15cm, 25cm, 35cm 깊이에 設置하여 每日 午前 10時에 텐시오미터의 水銀柱 높이를 測定하였다. 그리고 양배추, 결구상치, 가을배추의 경우 灌水點을 pF 1.7, pF 2.0, pF 2.7의 3水準으로한 3反復 灌水試驗을 하였고 오이, 토마토, 셀러리의 경우는 灌水點을 pF 2.0으로 定하여 灌水管理를 하였다. 또한 圃場容水量 및 pF값과 含水比와의 關係를 調査하기 위하여 텐시오미터의 水銀柱높이 變化에 따라서 試料를 3反復 採取하여 乾燥法에 의한 含水比測定을 進시켰다.

라. 修正Penman式의 補正

供試作物의 蒸發散量을 修正Penman式으로 推定하는데 있어서 그 正確性을 期하기 위하여 農

村振興廳 農業技術研究所에서 6年間 라이시미터를 利用하여 實測한 잔디의 蒸發散量을 基準作物의 蒸發散量으로 定하고 이를 再現하도록 修正 Penman式의 空氣動力項중 風速函數의 常數를 補正하였다. 즉, 風速函數의 常數 m을 補正하기 위해서 먼저 修正Penman式에 氣象資料를 代入하여 計算된 蒸發散量을 에너지項과 空氣動力項으로 分離하여 計算하고, 이를 實測한 잔디의 蒸發散量과 比較한 結果 Table - 4 에서 보는바와 같이 空氣動力項의 計算值/實測值가 0.8587로 나타나서 修正 Penman式의 風速函數 常數 m을 15.36에서 17.89로 補正하여 再次 基準作物인 잔디의 蒸發散量을 推定하였으며 이 補正된 修正Penman式을 以下 補正Penman 式이라 부르기로 한다.

空氣動力項의 風速函數 常數 m을 補正하여 基準作物인 잔디의 蒸發散量을 計算해본 結果 6年間의 日平均 蒸發散量 推定值가 實測值와 一致하였으며 實測值와 推定值의 相關도 補正Penman式이 修正 Penman式에 比하여 높게 나타났다.

마. 收量調査

供試作物중 오이와 토마토는 每日 收穫量을 調査하였으며, 其他作物들은 收穫後의 生體重을 0.1g 感度の 저울을 使用하여 試驗區別로 調査하였다.

바. 氣象調査

供試作物들에 대한 蒸發散量 및 水分消費特性 등의 調査와 並行하여 試驗期間중 試驗圃의 平均氣溫, 最高·最低氣溫, 相對湿度, 風速, 降雨量, 日照時間, 蒸發計蒸發量등의 氣象要因들을 試驗圃場에 設置된 農業氣象觀測所에서 調査하

밭 灌溉의 計劃用水量 및 施設容量의 定立에 관한 研究

Table - 4. Details of energy and aerodynamic term calculated by the modified Penmen equation to correct the wind function constant m.

(unit : mm/day)

Period	ET(A)	ET(P)	$\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}$	Rn + G	$\frac{\gamma}{\Delta+\gamma}$	Ea (P)	Ea (A)	Ea(P)/Ea(A)
82 04 F	2.60	2.42	0.566	2.893	0.434	1.750	2.22	0.79
83 04 F	2.10	2.36	0.593	2.564	0.407	2.138	1.42	1.51
85 04 F	2.45	1.99	0.577	2.468	0.423	1.352	2.42	0.56
82 04 M	2.90	3.29	0.586	4.225	0.414	2.000	1.02	1.96
85 04 M	2.95	3.03	0.624	3.018	0.376	3.066	2.84	1.08
83 04 L	2.20	2.59	0.657	2.631	0.343	2.591	1.37	1.89
84 04 L	2.70	2.91	0.646	3.255	0.354	2.270	1.69	1.34
85 04 L	3.23	3.04	0.631	3.557	0.369	2.196	2.67	0.82
86 04 L	2.86	3.12	0.643	3.467	0.357	2.510	1.77	1.42
84 05 F	3.38	3.73	0.659	4.320	0.341	2.614	1.56	1.68
85 05 F	2.97	2.78	0.695	2.919	0.305	2.496	3.09	0.81
84 05 M	3.94	3.60	0.698	3.965	0.302	2.783	3.89	0.72
86 05 M	3.14	3.09	0.664	3.725	0.336	1.872	1.99	0.94
82 05 L	3.25	3.44	0.724	3.883	0.276	2.366	1.59	1.48
84 05 L	3.71	3.81	0.718	3.987	0.282	3.375	3.01	1.12
82 06 F	3.45	1.58	0.715	1.220	0.285	2.521	9.05	0.28
84 06 F	3.49	3.14	0.737	4.043	0.263	3.260	1.94	1.68
82 06 M	3.58	1.63	0.741	1.079	0.259	3.231	10.73	0.30
84 06 M	4.59	3.94	0.754	3.805	0.246	4.520	7.00	0.65
85 06 M	4.53	4.00	0.743	4.089	0.257	3.732	5.81	0.64
86 06 M	3.54	3.40	0.741	3.489	0.259	3.214	3.69	0.87
82 06 L	3.80	1.90	0.753	1.358	0.247	3.559	11.24	0.32
85 06 L	3.54	3.60	0.762	3.676	0.238	3.310	3.10	1.07
86 06 L	3.94	2.40	0.755	2.506	0.245	2.061	9.74	0.21
81 07 F	2.09	1.67	0.746	1.664	0.254	1.755	3.34	0.53
82 07 F	4.10	2.04	0.769	1.403	0.231	4.193	13.08	0.32
84 07 F	2.72	2.80	0.768	2.974	0.232	2.221	1.88	1.18
85 07 F	2.43	2.68	0.763	2.837	0.237	1.185	1.12	1.06
82 07 M	3.90	1.72	0.772	1.258	0.228	3.329	12.85	0.26
84 07 M	3.55	3.57	0.769	3.902	0.231	2.452	2.38	1.03
85 07 M	3.11	2.54	0.770	2.636	0.230	2.216	4.70	0.47
86 07 M	3.21	1.92	0.757	1.852	0.243	2.122	7.44	0.29
81 07 L	3.57	3.68	0.794	3.802	0.206	2.201	2.68	0.82
82 07 L	3.30	1.42	0.770	0.973	0.230	3.019	11.09	0.27
83 07 L	1.90	2.09	0.777	2.087	0.223	2.120	1.25	1.70
86 07 L	4.28	2.13	0.775	2.136	0.225	2.107	11.66	0.18
82 08 F	3.50	1.50	0.788	1.139	0.212	2.896	12.28	0.24
81 08 M	3.06	3.27	0.776	3.470	0.224	2.588	1.64	1.58
82 08 M	2.80	1.30	0.786	0.944	0.214	2.648	9.61	0.28
83 08 M	4.30	4.71	0.794	4.870	0.206	4.107	2.10	1.96
84 08 M	5.44	4.24	0.791	4.460	0.209	3.480	9.15	0.38
85 08 M	3.21	3.13	0.783	3.138	0.217	3.171	3.47	0.91
86 08 M	4.09	2.23	0.771	2.432	0.229	1.565	9.67	0.16
81 08 L	2.55	2.72	0.759	2.891	0.241	2.191	1.48	1.48
82 08 L	2.60	1.11	0.761	0.847	0.239	1.933	8.18	0.24

83 08 L	2.40	2.69	0.761	2.581	0.239	3.039	1.82	1.67
84 08 L	3.22	2.71	0.780	2.719	0.220	2.722	5.00	0.54
85 08 L	3.63	3.70	0.797	3.751	0.203	3.505	3.15	1.11
86 08 L	4.09	2.75	0.761	2.853	0.239	2.412	8.03	0.30
81 09 F	2.27	2.44	0.735	2.520	0.265	2.261	1.58	1.43
82 09 F	2.66	1.29	0.738	0.827	0.261	2.640	7.85	0.34
84 09 F	2.54	2.19	0.746	2.288	0.254	1.932	3.28	0.59
85 09 F	3.50	2.70	0.769	2.705	0.231	2.700	6.15	0.44
86 09 F	4.02	2.56	0.749	2.626	0.251	2.373	8.18	0.29
81 09 M	2.66	2.77	0.700	3.093	0.300	2.040	1.65	1.24
82 09 M	2.44	1.03	0.726	0.476	0.274	2.487	7.64	0.33
84 09 M	3.14	3.08	0.717	3.384	0.283	2.318	2.53	0.92
85 09 M	1.64	1.58	0.728	1.564	0.272	1.619	1.84	0.88
86 09 M	2.62	2.54	0.715	2.664	0.285	2.256	2.51	0.90
82 09 L	3.06	1.19	0.696	0.331	0.304	3.144	9.31	0.34
84 09 L	3.41	2.48	0.705	2.584	0.295	2.206	5.38	0.41
85 09 L	2.35	2.37	0.697	2.393	0.303	2.340	2.26	1.04
86 09 L	2.34	2.07	0.691	2.172	0.309	1.868	2.71	0.69
81 10 F	1.84	2.14	0.676	2.175	0.324	2.067	1.14	1.81
82 10 F	2.45	2.33	0.697	2.350	0.303	2.316	2.68	0.86
84 10 F	2.67	2.29	0.649	2.600	0.351	1.734	2.80	0.62
85 10 F	1.88	2.02	0.671	2.160	0.329	1.750	1.30	1.35
86 10 F	2.50	1.64	0.681	1.580	0.319	1.784	4.47	0.40
81 10 M	1.93	1.77	0.644	1.853	0.356	1.616	2.07	0.78
82 10 M	1.84	2.00	0.687	2.011	0.313	1.984	1.47	1.35
84 10 M	2.51	2.08	0.666	2.074	0.334	2.099	3.37	0.62
85 10 M	1.72	1.89	0.664	1.932	0.336	1.786	1.30	1.37
86 10 M	2.91	1.50	0.635	1.545	0.365	1.423	5.28	0.27
81 10 L	1.65	1.52	0.589	1.578	0.411	1.465	1.75	0.84
82 10 L	1.46	1.77	0.604	1.767	0.396	1.787	0.99	1.81
83 10 L	1.90	1.69	0.591	1.756	0.409	1.586	2.11	0.75
84 10 L	1.93	1.80	0.607	1.739	0.393	1.912	2.22	0.86
85 10 L	1.62	1.72	0.641	1.791	0.359	1.627	1.31	1.24
86 10 L	3.59	1.30	0.588	1.210	0.412	1.457	6.98	0.21
81 11 F	1.44	1.31	0.510	1.342	0.490	1.316	1.54	0.85
82 11 F	1.52	1.24	0.615	1.252	0.385	1.290	1.95	0.66
81 11 M	1.22	0.77	0.504	0.874	0.496	0.689	1.57	0.44
82 11 M	1.16	0.95	0.578	0.899	0.422	1.022	1.52	0.67
83 11 M	0.80	0.94	0.502	0.965	0.498	0.915	0.64	1.43

ET(A) : Actual evapotranspiration of grass

ET(P) : Evapotranspiration of grass calculated by the modified Penman equation

Ea(P) : Evapotranspiration of aerodynamic term calculated by the modified Penman equation

Ea(A) : Evapotranspiration of aerodynamic term calculated from the actual evapotranspiration of grass

였다.

2. 結果 및 考察

가. 灌水點과 土壤水分消費水量

1985년부터 1987년까지 3年間 양배추, 결구상

치, 가을배치, 오이, 토마토, 셀러리의 6가지供試作物을 對象으로하여 이들의 生育期에 따른土壤水分消費水量(蒸發散量)을 라이시미터를 利用하여 測定한 結果는 다음과 같다.

1) 양배추

1985年 5月~7월에 양배추(供試品種: 자감람)의 灌水點別 消費水量을 究明하기 위하여 試驗에 대한 灌水開始點을 pF 1.7, pF 2.0, pF 2.7의 3處理로 區分하여 各 灌水處理別 消費水量을 3反復으로 秤量라이시미터를 利用하여 調査한 結果, 實測한 消費水量을 生育初期(initial stage; 生育의 始作段階), 伸長期(crop development stage; 生育初期부터 作物이 地面을 70~80% 덮을때까지), 生育中期(mid-season stage; 伸長期에서 作物의 成熟이 始作될 때까지), 그리고 生育後期(late season stage)의 4段階로 區分했을 때의 變化를 보면 Table - 5와 같이 生育初期인 6月上旬에 最小값을, 生育中期인 6月下旬에 最大값을 보인 後 生育後期인 7月中旬에 들어와서 減少하였으며, 全生育期間을 통한 總消費水量 및 日平均 蒸發散量은 灌水點別로 各各 311.0mm, 280.1mm, 236.9mm, 및 4.64mm, 4.18mm, 3.53mm로서 灌水點이 낮을수록 蒸發散량이 큰 것으로 나타났다.

Table - 5. Evapotranspiration of cabbage by the watering points during the growing period (1985).

(unit : mm/10days)

Period	Evapotranspiration (mm)		
	pF1.7	pF2.0	pF2.7
May L	25.1	23.9	19.7
F	39.4	37.7	30.1
June M	58.0	49.6	42.0
L	60.2	52.7	46.3
F	54.9	49.6	39.1
July M	32.9	28.2	26.9
L	40.5	38.4	32.8
Total	311.0	280.1	236.9
Daily Ave.	4.64	4.18	3.53

2) 結球상치

1986年 4月~6월에 結球상치(供試品種; Pennlake)의 灌水點別 消費水量을 調査하기 위하여 灌水點을 pF 1.7, pF 2.0, pF 2.7의 3處理로 하여 各 灌水點別 蒸發散量을 秤量라이시미터로 3反復 實測한 結果 Table - 6과 같이 3個 灌水點 모두 生育初期인 4月上旬에 最小값을 보인 後 漸次 增加하여 生育中期인 5月下旬에 最大값을 보여서 이때의 日平均 消費水量은 灌水點別로 各各 6.86mm, 6.04mm, 5.56mm였으며, 生育後期인

Table - 6. Evapotranspiration of cirshead lettuce by the watering points during the growing period(1986).

(unit : mm / 10days)

Period	Evapotranspiration (mm)		
	pF1.7	pF2.0	pF2.7
April F	19.0	15.3	14.2
M	49.7	41.4	36.1
L	41.7	36.1	30.4
May F	59.0	55.5	48.2
M	63.0	52.7	48.5
L	75.5	66.4	61.2
June F	51.0	47.5	43.2
Total	358.9	314.9	281.8
Daily Ave.	5.44	4.77	4.27

6月上旬에 접어들어 漸次 減少하였고, 全生育期間중의 總消費水量 및 日平均 消費水量은 灌水點別로 各各 358.9mm, 314.9mm, 281.8mm 및 5.44mm, 4.77mm, 4.27mm로서 역시 灌水點이 낮을수록 蒸發散량이 많았다.

3) 가을배추

1986年 8月~10월에 가을배추(供試品種: 삼진)를 對象으로 하여 3處理 3反復으로 秤量라이시미터를 利用하여 生育期別 蒸發散量을 調査한 結果 Table - 7에서 보는 바와 같이 生育初期인 8月下旬에 最小값을, 伸長期인 9月上·中旬에 最大값을 보인 後 氣溫, 日照時間, 日射量이 減少하는 10월에 들어와서 적어졌으며, 總消費水量은 灌水點別로 各各 318.6mm, 276.8mm, 237.5mm로서 灌水點이 낮을 수록 約 40mm의 差異로

Table - 7. Evapotranspiration of Chinese cabbage by the watering points during the growing period (1986).

(unit : mm/10days)

Period	Evapotranspiration (mm)		
	pF1.7	pF2.0	pF2.7
Aug. L	18.7	17.1	14.7
F	48.3	42.3	36.7
Sept. M	63.2	53.1	46.2
L	62.8	52.0	48.9
F	39.4	35.7	32.6
Oct. M	44.7	38.5	32.6
L	41.5	38.1	28.9
Total	318.6	276.8	237.5
Daily Ave.	4.75	4.13	3.54

蒸發散량이 많았다.

또한 가을배추의 蒸發散량을 3處理 3反復으로 秤量라이시미터法으로 調査한 것과 同時に 플로우팅라이시미터를 利用하여 灌水點이 pF 2.0 일 때의 가을배추의 生育期別 消費水량을 調査한 結果는 Table - 8 과 같이 生育初期인 8月 下旬과 9月 上旬에 最小값을 보인 後 漸次 增加하여 結球가 始作되는 9月 下旬에 58.1mm/10日로 最大값을 보여서 金³⁵⁾ 등의 報告와 거의 一致하였으며 生育後期에 들어와서 減少하였다. 그리고 가을배추의 全生育期間을 통한 總蒸發散량은 267.2mm로서 秤量라이시미터로 測定한 값보다 約10mm적게 나타났으며, 金⁴²⁾ 등이 田作物 消費水量 調査研究에서 배추 (供試品種: 삼진)의 總消費水量은 灌水點이 pF 2.1일 때 288mm였다고 報告한 것과 거의 一致하였다.

Table - 8. Evapotranspiration of Chinese cabbage at the watering point of pF2.0 during the growing period (1986).

(unit : mm/10days)

Period	Evapotranspiration
Aug L	12.7
F	30.6
Sept M	47.4
L	58.1
F	38.3
Oct M	40.8
L	39.3
Total	267.2
Daily Ave.	3.99

4) 여름오이

灌水點을 pF 2.0으로하여 체임버法和 물收支法으로 調査된 여름오이의 生育段階別 消費水량은 Table - 9와 같이 生育中期인 6月 下旬에 各各 8.55mm/day와 8.87mm/day로 最大값을 보였으며, 總消費水량은 체임버法이 403.3mm(日平均 5.68mm), 물收支法이 420.1mm(日平均 5.92mm)로서 消費水量測定方法間에 別로 差異를 보이지 않았다.

5) 토마토

1987年 5月~7월에 灌水點을 pF 2.0으로하여 체임버法和 플로우팅라이시미터法으로 測定된 토

Table - 9. Evapotranspiration of cucumber at the watering point of pF2.0 (1987).

(unit : mm/10days)

Period	Method	Chamber	Water Balance
May	M	21.4	24.3
	L	65.0	52.1
June	F	55.3	63.0
	M	61.9	68.7
July	L	85.5	88.7
	F	69.4	75.6
Total	M	32.7	35.0
	L	12.1	12.7
Daily Ave.		403.3	420.1
		5.68	5.92

마토의 消費水량은 Table-10에서 보는 바와 같이 最大값이 6月 下旬과 7月 上旬에 各各 65.1mm와 55.1mm였고, 總消費水량은 체임버法이 346.5mm(日平均 4.50mm), 플로우팅라이시미터가 308.3mm(日平均 4.0mm)로서 체임버法에 의한 總消費水량이 플로우팅라이시미터法보다 12%정도 많았는데 이는 플로우팅라이시미터의 경우는 作物의 蒸發散이 自然的인 生育環境속에서 일어나는데 比하여 체임버는 蒸散室內의 空氣가 外氣와 遮斷되어 蒸散室內部의 氣溫이 外部氣溫에 比하여 크게 높아지는데다가 吸風裝置에 의하여 吸入되는 空氣量만큼만 交換되는등 生育環境에 制約을 받기 때문인 것으로 생각된다.

Table - 10. Evapotranspiration of tomato at the watering point of pF2.0 (1987).

(unit : mm/10days)

Method	Chamber	Floating Ly.
May	M	14.6
	L	43.1
June	F	45.8
	M	42.4
July	L	54.7
	F	55.1
Total	M	30.1
	L	22.5
Daily Ave.		308.3
		4.00

6) 샐러리

1987年 5月~8월에 灌水點을 pF 2.0으로 하여 체임버法과 秤量라이시미터法으로 調査된 샐러리의 消費水量은 Table - 11 과 같이 全生育期間을 통한 總消費水量은 체임버에서 370.3mm(日平均 4.26mm), 秤量라이시미터에서 351.9 mm(日平均 4.04mm)로서 체임버法에 의한 것이 秤量라이시미터에 比하여 約5%程度 많았는데 이는 토마토에서 考察한것과 같은 理由에 의한것으로생각된다.

Table - 11. Evapotranspiration of salary at the watering point of pF2.0 (1987).

(unit : mm/10days)

Period	Method	Chamber	Weighing Ly.
May	M	35.9	36.1
	L	46.4	39.7
June	F	45.9	43.3
	M	50.6	47.0
July	L	57.7	50.3
	F	54.8	45.9
Aug.	M	35.9	43.9
	L	28.5	29.6
Total	F	14.6	16.1
Daily Ave.		370.3	351.9
		4.26	4.04

7) 가을오이

1987年 8月~10월에 灌水點을 pF 2.0으로하여 오이의 生育段階別 消費水量을 체임버法과 플로우팅라이시미터法의 두가지 方法으로 調査한 結果 Table - 12와 같이 生育中期인 9月 中旬의 消費水量이 各各 53.1mm, 49.0mm로서 最大값을 보였고, 總消費水量은 체임버에서 291.1mm(日平均 3.55mm), 플로우팅라이시미터에서 277.6mm(日平均 3.39mm)로서 여름오이에 比하여 110mm의 差異로 적게 나타났는데 이는 氣溫, 日照時間, 日射量등의 氣象條件에 起因하는 것으로 생각된다.

나. 基準作物의 實測蒸發散량과 主要蒸發散量 推定式에 의한 蒸發散량의 比較

主要蒸發散量推定式중에서 어느式이 가장 正確한 蒸發散量을 나타내는가를 究明하기 위하여 農村振興廳 農業技術研究所에서 1981年~1986年의

Table - 12. Evapotranspiration of cucumber at the watering point of pF2.0 (1987).

(unit : mm/10days)

Period	Method	Chamber	Floaing Ly.
Aug.	M	26.5	23.7
	L	27.9	25.2
Sept.	F	36.1	34.6
	M	53.1	49.0
Oct.	L	44.8	43.9
	F	47.6	46.4
Total	M	34.4	34.7
	L	20.7	20.1
Daily Ave.		291.1	277.6
		3.55	3.39

6個年에 걸쳐 라이시미터로 實測한 잔디(基準作物)의 蒸發散量을 補正 Penman式(修正 Penman式의 空氣動力項을 補正한 式)을 비롯하여 其他 主要蒸發散量推定式에 의하여 計算된 基準作物의 蒸發散량과 旬別로 比較한 結果는 Table - 13와 같이 農村振興廳에서 6個年間 라이시미터로 實測한 잔디의 蒸發散量은 日平均 2.74mm인데 比해서 補正Penman式에 의하여 計算된 蒸發散량의 日平均값은 2.74mm, 修正Penman式에 의한것 2.62mm, FAO Blaney & Criddle式에 의한것 3.35mm, FAO日射量法에 의한것 2.7mm, FAO Penman法에 의한것 2.98mm, FAO 蒸發計 蒸發量法에 의한것 2.70mm로서 이중 補正Penman式에 의한 推定蒸發散量值가 農村振興廳의 實測蒸發散量值에 잘 一致할 뿐만 아니라 全生育期間을 통한 標準誤差도 0.16으로서 實測蒸發散량의 標準誤差 0.15와도 別로 差가 없으므로 本研究의 進行에 있어서 補正Penman式을 基準으로하여 基準作物의 蒸發散量을 推定하여 나가는 것이 가장 合理的이라고 생각된다.

다. 作物係數

라이시미터를 利用하여 建國大學校 農村大學 實習農場에서 1985年~1987年의 3年間 實測된 供試作物의 生育時期別 蒸發散량과 試驗圃場에서 測定된 氣象資料를 補正Penman式에 代入하여 計算된 基準作物의 蒸發散량과의 比로서 作物係數(Crop coefficient; Kc)를 決定하였다. 本試驗에서는 ① 秤量라이시미터, ② 플로우팅라이시미터, ③ 체임버 및 ④ 물收支라이시미터의 4個

Table - 13. The evapotranspiration of grass measured and calculated by different evapotranspiration estimation methods.

(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	3.33	3.89	3.42	2.64	3.15	3.16
Cor. Penman	2.38	3.28	3.18	3.40	3.58	3.58	3.68	3.64	3.18	2.59	2.80	3.03
Mod. Penman	2.26	3.12	3.03	3.27	3.45	3.45	3.37	3.49	3.07	2.49	2.71	2.94
FAO B&C	2.51	3.17	3.49	3.65	4.01	3.90	4.71	5.11	4.40	3.60	3.97	3.98
FAO Radiation	2.97	3.51	3.33	3.68	3.82	3.67	3.91	3.64	3.09	2.19	2.47	2.80
FAO Penman	2.93	3.73	3.69	3.85	4.24	4.21	4.14	4.16	3.41	2.77	2.94	3.52
FAO Pan Evapo.	2.60	2.99	2.96	3.07	3.14	3.26	4.08	3.63	2.77	2.89	3.04	3.35

Method \ Period	Aug.			Sept.			Oct.			Nov.		Ave.
	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	
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
Cor. Penman	3.21	3.25	2.71	2.34	2.42	2.31	2.16	1.94	1.74	1.38	0.95	2.74
Mod. Peman	3.21	3.15	2.61	2.24	2.32	2.20	2.06	1.85	1.63	1.29	0.89	2.62
FAO B&C	4.27	4.10	3.47	3.53	3.38	2.97	2.36	2.46	1.94	1.50	0.62	3.35
FAO Radiation	2.79	3.07	2.30	2.26	2.40	2.35	2.19	1.97	1.87	1.24	0.94	2.71
FAO penman	3.46	3.59	2.67	2.55	2.29	2.48	2.06	1.99	1.73	1.22	0.91	2.98
FAO Pan Evapo.	3.29	2.58	2.57	2.56	2.62	2.49	2.07	1.92	1.78	1.31	1.13	2.70

測定方法에 의하여 供試作物의 蒸發散량을 調査 하였으나, 同一한 場所에서 測定된 同一作物의 蒸發散量도 測定方法에 따라 약간씩의 差異가 있는 것을 알 수 있었다. 따라서 供試作物의 作物係數를 決定하기 위해서는 우선 測定方法間에 發生하는 實測蒸發散량의 差를 基準이 되는 蒸發散量測定方法에 맞추어 줄 必要가 있으며, 本研究에서는 4個 蒸發散量測定方法중 精度가 가장 높은 플로우팅라이시미터를 基準으로하여 供試作物들의 作物係數를 算定하였다.

먼저 補正 Penman式에 氣象資料를 代入하여 推定된 基準作物의 蒸發散量を 살펴보면, 1985年의 推定値는 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 5月과 6月에는 4.0mm/day를 상회하다가 降雨로 因하여 日照時間등의 氣象條件이 나빠지는 7月 上旬과 中旬에 各各 2.80mm/day와 2.67mm/day로 떨어져졌으며 全生育期間을 통한 平均値는 3.94mm/day였다. 그리고 1986年의 蒸發散量推定値는 Fig. 2 와 같이 4月~6月에는 4mm/day内外로 計算되었고 最大蒸發散量은 5月 下旬에 5.28mm/day였으며 8月~10月의 蒸發散量은 3mm/day 内外로서 4月~6月사이의 推定値에 比해 1mm/day 程度의 差로 적게 나타났다.

또한 1987年의 推定値는 Fig. 3 에서 보는

바와 같이 降雨가 많았던 7月 中·下旬과 8月 上·下旬 그리고 氣溫등의 氣象條件이 떨어지는 10月 中·下旬을 제외하고는 3~5mm/day를 維持했으며, 全生育期間중의 日平均 蒸發散量은 3.46

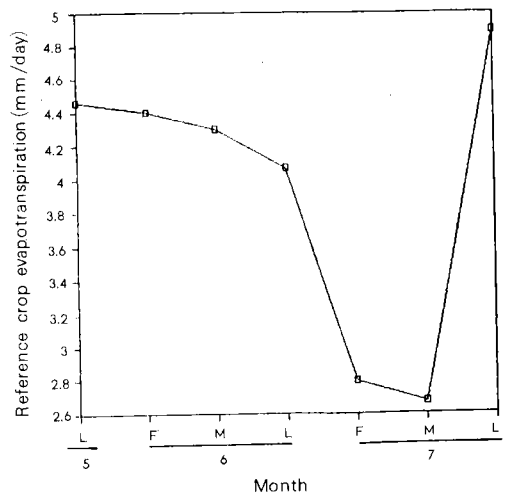


Fig. 1. Variation of reference crop evapotranspiration (ETgrass) by the corrected Penman equation in 1985.

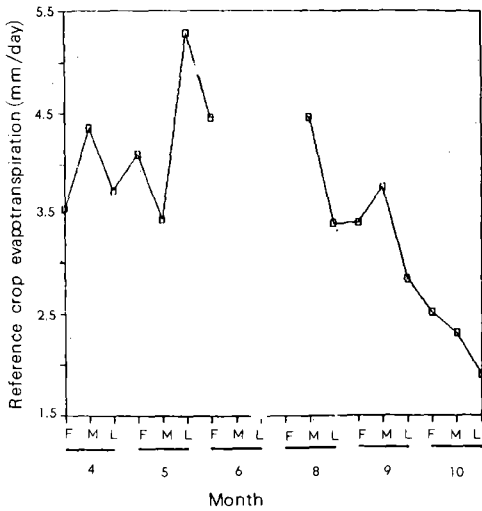


Fig. 2. Variation of reference crop evapotranspiration (ET_{grass}) by the corrected Penman equation in 1986.

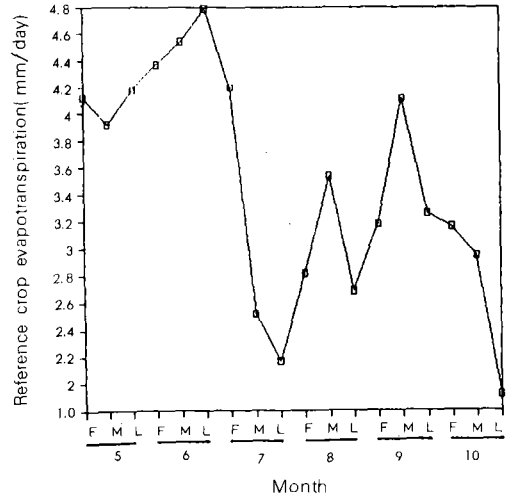


Fig. 3. Variation of reference crop evapotranspiration (ET_{grass}) by the corrected Penman equation in 1987

mm였다.

라이시미터를 利用하여 實測한 作物의 蒸發散量과 前述한 補正Penman式에 의하여 推定된 基準作物의 蒸發散量으로부터 算出한 作物係數를 供試作物別로 살펴보면 다음과 같다.

1) 양배추

양배추의 生育時期別 作物係數는 Table -14에서 보는 바와 같이 生育初期에 0.8이었고, 伸

長期에 들어와서 0.88~1.03으로 增加한 後生育中期에 1.08~0.90으로 最大値를 보여주었으며, 生育後期에는 1.02~0.87로 減少하였고 作物係數의 平均値는 0.94로 나타났다.

2) 結球상치

生育段階別 結球상치의 作物係數는 Table 14와 같이 生育初期에 0.81, 伸長期에 0.89~0.91, 生育中期에 1.27~1.44, 生育後期에 1.18~1.00, 그리고 全體平均이 1.07로서 양배추에 比

Table - 14. Crop coefficient (Kc) of cabbage, crisphead lettuce, summer cucumber, tomato and salary.

Crop		cabbage	crisphead lettuce	summer cucumber	tomato	salary
April	F		0.81			
	M		0.89			
	L	0.80	0.91			
May	F	0.88	1.27			
	M	1.03	1.44	0.97	0.74	0.82
	L	1.08	1.18	1.26	0.98	0.90
June	F	0.90	1.00	1.13	0.98	0.94
	M	1.02		1.21	0.99	0.99
	L	0.87		1.59	1.21	1.07
July	F			1.47	1.29	1.16
	M			1.15	1.08	1.27
	L			0.99	0.91	1.06
Aug.	F					0.92
	M					
	L					
Average		0.94	1.07	1.22	1.02	1.01

하여 약간 크게 나타났다.

3) 여름오이

오이의 作物係數는 Table - 14 에서 보는 바와 같이 生育初期에 0.97, 伸長期에 1.26~1.21, 生育中期에 1.21~1.47, 生育後期에 1.15~0.99, 그리고 全體平均이 1.22로서 그 값이 比較的 큰 편이었다.

4) 토마토

生育段階別 토마토의 作物係數는 Table 3-13 과 같이 生育初期가 0.74~0.98, 伸長期가 0.98~0.99, 生育中期가 1.21~1.29, 生育後期가 1.08~0.91 이었으며, 全生育期間을 통한 平均作物係數는 1.02로 나타났다.

5) 샐러리

샐러리의 作物係數는 Table - 14 와 같이 生育初期에 0.82~0.90, 伸長期에 0.94~0.99, 中期에 1.07~1.16, 後期에 1.06~0.92로서 平均 1.01로 나타나 結球상치 및 토마토와 비슷한 傾向을 보였다.

6) 가을배추

가을배추의 生育期에 따른 作物係數의 變化는 Table - 15 와 같이 生育初期가 0.75, 伸長期가 0.96~1.26이었고, 生育中期가 2.05~1.53 으로 最大값을 나타냈으며, 生育後期가 1.77~1.12, 平均作物係數가 1.35로서 큰 편이었다.

7) 가을오이

Table - 15. Crop coefficient (Kc) of Chinese cabbage and autumn cucumber.

Period \ Crop		Chinese cabbage	Autumn cucumber
Aug.	M		0.67
	L	0.75	0.85
Sept.	F	0.90	1.09
	M	1.26	1.19
Oct.	L	2.05	1.32
	F	1.53	1.47
	M	1.77	1.18
	L	1.12	0.95
Average		1.35	1.09

生育期에 따른 가을오이의 作物係數는 Table - 15 에서 보는 바와 같이 生育初期에 0.67~0.85, 伸長期에 1.09~1.19, 生育中期에 1.32~1.47, 生育後期에 1.18~0.95로 平均作物係數가 1.09 여서 여름오이에 比하여 약간 작은값을 보였다.

라. 1회분의 純用水量

1) 土壤水分消費型

供試作物들의 土壤水分消費型 (Soil Moisture Extraction Pattern; SMEP)을 알아보기 위하여 降雨 또는 充分한 灌溉를 실시한 후 맑은날 이 3~4日 連續될때 土層(第1層: 0~10cm, 第2層: 10~20cm, 第3層: 20~30cm, 第4層: 30~40cm)別로 土壤試料를 3反復 採取하여 40cm깊이에 대한 生育時期別 土壤水分消費型을 調査한 結果는 Table - 16 와 같다. 本 試驗에서는 葉采類의 適正灌水點이 pF2.0으로 究明되었으므로 作物別 土壤水分消費型도 適正灌水狀態에서의 生育期別 變化를 調査하였다.

2) 作物別 1회분의 純用水量

作物의 根群域에 보류된 有效水分 (Available

Moisture; AM)은 作物에 의한 蒸散과 土壤表面을 통한 蒸發에 의하여 消費되어 土壤内の 水分이 漸次 萎凋點 또는 灌水點에 接近하게 되며, 그 減少比率는 土壤表面으로 부터의 깊이에 따라 다르다. 灌溉의 要點은 土壤内の 水分이 生 生沮害水分點 또는 適正灌水點에 이르기 直前に 灌溉를 實施하여 根群域의 土壤水分을 圃場容水量의 狀態로 回復시키는데 있으며, 制限土層内の 平均土壤水分이 圃場容水量에서 부터 生長沮害水分點까지 低下한 時點의 有效土層内에서 消費된 全水分量을 全容易有效水分量 (Total Readily Available Moisture; TRAM)이라 하고 이것을 1회분의 純灌溉水量이라 定하고 있다. 1회분의 純灌溉水量은 一般적으로 밭에 있어서의 灌溉 組織容량을 決定하기 위한 것이며, 作物의 土壤水分消費型에 의거한 全容易有效水分量을 基礎로하여 理論的 純灌溉水量을 計算하는 方法이고, 本 試驗에서도 이 方法에 의하여 1回 灌水量을 決定하였다.

Table - 16. Soil moisture extraction pattern of the crops by the growing stages at the watering point of pF2.0.

(unit : %)

Crop	Stage	Initial	Crop Develop.	Mid Season	Late Season
	Soil Layer				
Cabbage	1st	44.0	39.7	34.1	33.3
	2nd	38.2	33.4	30.2	27.2
	3rd	10.1	15.4	21.0	23.7
	4th	7.7	11.5	14.7	15.8
Crisphead Lettuce	1st	56.2	41.9	35.2	34.7
	2nd	29.4	31.0	30.1	27.9
	3rd	9.6	17.7	22.3	24.2
	4th	4.8	9.4	12.4	13.2
Chinese Cabbage	1st	42.1	34.1	32.8	30.5
	2nd	36.8	30.9	28.4	28.0
	3rd	13.0	20.3	22.5	24.6
	4th	8.1	14.7	16.3	16.9
Cucumber	1st	52.3	43.8	40.4	39.6
	2nd	32.7	33.1	30.4	28.9
	3rd	11.4	16.7	21.4	23.5
	4th	3.6	6.4	7.8	8.0
Tomato	1st	54.0	44.1	42.8	40.7
	2nd	33.2	36.2	34.9	33.6
	3rd	9.7	13.7	15.8	16.9
	4th	3.1	6.0	6.5	8.8
Salary	1st	46.7	40.4	37.2	34.9
	2nd	37.2	36.0	33.5	29.6
	3rd	11.4	15.1	19.1	22.3
	4th	4.7	8.5	10.2	13.2

Table - 17. Total available moisture by the crops calculated from the field capacity and moisture content at the watering point of pF2.0.

Crop	Cabbage	Crisphead Lettuce	Chinese Cabbage	Cucumber	Tomato	Salary
Average F. C. (%)	43.6	43.4	38.3	33.4	33.4	33.4
Ave M. C. (%) at pF2.0	37.8	38.1	34.3	28.7	28.7	28.7
Total A. M. (mm)	23.3	21.2	16.1	19.0	19.0	19.0
Soil texture	Clay loam	Clay loam	Sandy loam	Sandy loam	Sandy loam	Sandy loam

*The moisture content is percent by volume and values are average of three replications.

本 試驗에서 調査된 總有效水分量은 Table - 17과 같으며 各 土層의 有效水分量은 圃場容水量(重量%)에서 灌水開始點인 pF 2.0에서의 土壤水分量(重量%)을 減한 값에 各 土層의 假比

重과 土壤의 깊이를 곱하여 算出하였다. 作物에 따른 各 土層의 有效水分(AM)은 粘質壤土에서 栽培된 양배추가 土層(第1層: 0~10cm, 第2層: 10~20cm, 第3層: 20~30cm, 第4層: 30~40cm)

別로 各各 5.71mm, 6.17mm, 5.76mm, 5.61mm로서 總有效水分量(Total Available Moisture; TAM)이 23.25mm였고, 粘質壤土에서 栽培된 結球 상치는 土層別로 各各 4.96mm, 5.04mm, 5.31mm, 5.91mm로서 TAM이 21.22mm였다. 또한 砂質壤土에서 栽培된 가을배추의 경우는 有效水分량이 土層別로 各各 3.78mm, 4.06mm, 4.18mm, 4.08mm여서 總有效水分량이 16.10mm로 粘質壤土보다 約 6mm程度 적었으며, 역시 砂質壤土에서 栽培된 오이, 토마토 및 샐러리는 有效水分량이 層別로 各各 4.72mm, 4.42mm, 4.71mm, 5.16mm이고 總有效水分량이 19.01mm로서 역시 粘質壤土의 경우보다 約 3mm程度 적었다.

그리고 作物의 生育段階別 土壤水分消費型(S-MEP)을 土層別 有效水分량에 代入하여 算出한 各 土層의 水分消費를 基準으로 했을 때의 水分消費量중 最小값을 나타내는 制限層의 값 즉, 全容易有效水分量(TRAM)을 各 供試作物의 生育段階別로 調査한 結果 Table - 18 에서 보는 바와 같이 粘質壤土에서 栽培된 作物이 砂質壤土에서 栽培된 作物보다 全容易有效水分량이 컸으며, 生育段階別로는 下層土의 水分消費比率이 커지는 生育中期와 後期の 全容易有效水分량이 生育初期에 비하여 漸次 增加하였다.

다. 間斷日數

1回分の 灌溉水量을 灌溉한 後 다음의 灌溉가

必要한 時期까지의 灌溉間隔을 間斷日數(irrigation interval)라 하며 灌溉를 통해 給水한 물이 根群域內에 有效하게 貯藏되어 作物에 吸收利用되는 時間에 의하여 決定되고, 따라서 最短間斷日數는 作物의 蒸發散이 가장 旺盛한 時期에 發生하게 된다. 本 試驗에서 調査된 供試作物들의 生育段階別 間斷日數를 보면 Table - 18 에서 보는 바와 같이 양배추의 경우 伸長期의 間斷日數가 2.9日, 그리고 生育中期가 3.1日로 비슷하였으며, 結球상치는 生育中期에 2.2日로 最短間斷日數를 나타냈다. 가을배추의 경우도 生育中期의 間斷日數가 2.2日로서 가장 짧았으나 伸長期의 2.4日과 큰 差異가 없었으며, 消費水量이 比較的 많은 오이는 伸長期와 生育中期의 消費水量이 많기때문에 다른 作物에 比하여 짧았고, 토마토는 生育初期와 後期の 間斷日數가 크게 나타났으나 伸長期와 生育中期는 짧은 편이었다. 또한 샐러리의 경우는 生育初期, 伸長期, 生育中期가 各各 2.8日, 2.7日, 2.8日로 거의 같았으나 生育後期에는 5.0日로서 消費水量이 크게 減少한 것을 알 수 있었다.

IV. 用水量의 推定

1. 計劃對象地區

供試作物에 對한 用水量의 推定對象地域은 양

Table - 18 Total readily available moisture and irrigation interval of the crops by the growing stages.

Crop	TRAM(mm) & Interval (days)	Stage				Soil Texture
		Initial	Crop develop	Mid season	Late season	
Cabbage	T*	13.0	14.4	16.7	17.2	Clay loam
	I**	3.3	2.9	3.1	5.3	
Crisphead	T	8.8	11.8	4.1	14.3	Clay loam
Lettuce	I	2.9	3.2	2.2	3.1	
Chinese Cabbage	T	9.0	11.1	11.5	12.4	Sandy loam
	I	3.2	2.4	2.2	3.2	
Cucumber	T	9.0	10.8	11.7	11.9	Sandy loam
	I	3.7	1.7	1.3	3.4	
Tomato	T	8.7	10.7	11.0	11.6	Sandy loam
	I	6.0	2.3	2.0	3.9	
Salary	T	10.1	11.7	12.7	13.5	Sandy loam
	I	2.8	2.7	2.8	5.0	

*T=Total Readily Available Moisture

**I=Irrigation Interval

배추, 결구상치, 가을배추, 오이, 토마토, 셀러리등을 栽培하고있는 忠北 忠州地域을 對象으로 하였다.

2. 計劃基準年の 策定

計劃對象地區인 忠州地域의 計劃基準年은 確率 $\frac{1}{10}$ 의 渴水年을 基準으로 하였으며, 1972년부터 1986년까지 15年間の 降雨資料를 分析한 結果 非超過確率 $\frac{1}{10}$ 의 確率雨量이 863.44mm로 計算되었고, 이로부터 860.2mm의 降雨가 發生한 1977年을 計劃基準年으로 決定하였다.

3. 計劃基準年の 基準作物 蒸發散量

앞에서 基準作物의 蒸發散量推定에 있어서 補正 Penman式에 의하는 것이 어떤 다른 蒸發散量推定式에 의하는 것보다 實測值에 가까운 것을 確認하였다. 따라서 忠州地域의 計劃基準年인 1977年의 氣象資料를 補正 Penman式에 代入하여 基準作物(잔디)의 蒸發散量을 推定한 結果는 Table - 19에서 보는 바와 같이 4月~11日까지의 全期間을 통한 蒸發散量의 平均值는 27.5mm/10 days로 나타났다.

4. 供試作物의 總消費水量 및 旬最大消水水量推定

計劃基準年の 氣象資料를 補正 Penman式에代

Table - 19 Reference crop evapotranspiration (ETgrass) estimated by the corrected Penman equation of the planning standard year with ten year's drought frequency in ChungJu.

(unit : mm/10days)

Period	April			May			June			July		
	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L
	17.2	23.6	24.5	27.1	32.1	34.2	37.5	40.6	40.6	27.5	35.1	48.5
Period	Aug.			Sept.			Oct.			Nov.		Ave.
	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	
	30.6	32.0	35.5	24.3	25.4	24.2	20.2	16.5	14.0	10.7	9.7	27.5

Table - 20 Estimated evapotranspiration of cabbage, crisphead lettuce, summer cucumber, tomato and salary by the corrected Penman equation.

(unit : mm/10days)

Period	Crop	Cabbage	Crisphead lettuce	Summer cucumber	Tomato	Salary
		April				
	F		13.9			
	M		21.0			
	L	19.6	22.3			
May	F	23.8	34.4			
	M	33.1	46.2	31.1	23.8	26.3
	L	36.9	40.4	43.0	33.5	30.8
June	F	33.8	37.5	42.4	36.8	35.3
	M	41.4		49.1	40.2	40.2
	L	35.3		64.6	49.1	43.4
July	F			40.4	35.5	31.9
	M			40.4	37.9	44.6
	L			48.0	44.1	51.4
Aug.	F					28.2
Total		223.9	215.7	359.0	300.9	332.1
Average		32.0	330.8	44.9	37.6	36.9

Table -21 Estimated evapotranspiration of Chinese cabbage, autumn cucumber by the corrected Penman equation.

(unit : mm/10days)

Period		Crop	Chinese cabbage	Autumn cucumber
Aug	M			21.4
	L		26.6	30.2
Sept.	F		21.9	26.5
	M		32.0	30.2
Oct.	L		49.6	31.9
	F		30.9	29.7
	M		29.2	19.5
	L		15.7	13.3
Total			205.9	202.7
Average			29.4	25.3

入하여 計算된 基準作物의 蒸發散量에 作物別 作物係數(Kc)를 곱하여 供試作物의 蒸發散量을 推定한 結果는 Table-20에서 보는 바와 같이 양배추의 경우는 全生育期間중의 總蒸發散量이 223.9mm였고, 結球상치는 215.7mm였으며, 여름오이는 359.0mm로서 양배추나 結球상치에 比하여 100mm以上 많았고, 토마토는 300.9mm 그리고 셀러리는 332.1mm로 推定되었다. 또한 作物別 旬 最大消費水量은 양배추가 生育後期인 6月 中旬에 41.4mm, 結球상치가 5月 中旬에 46.2mm, 여름오이가 역시 生育中期인 6月 下旬에 64.6mm, 토마토의 경우는 오이와 같이 生育中期인 6月 下旬에 49.1mm로 最大값을 나타냈으며, 셀러리도 生育中期인 6月 下旬에 53.9mm로 最大였다.

그리고 가을배추와 가을오이의 消費水量을 推定한 結果 Table-21에서 보는 바와 같이 가을배추의 경우 總消費水量은 205.9mm였으며 最大蒸發散量은 9月 下旬에 49.6mm였다. 그리고 가을오이는 總蒸發散量이 202.7mm로서 가을배추와 비슷하였으며, 旬最大蒸發散量은 生育中期인 9月 下旬에 31.9mm였다.

以上の 結果를 綜合해보면 補正Penman式에 의하여 推定된 作物의 生育期別 消費水量의 變化는 Fig. 4에서 보는 바와 같다.

5. 1회분의 純用水量

灌溉計劃對象地區의 土性이 粘質壤土와 砂質壤土이므로 本試驗의 供試土壤도 그 理化學的 性質이 같은 粘質壤土와 砂質壤土로하여 作物別 水分消費特性등을 Table-18과 같이 推定하였

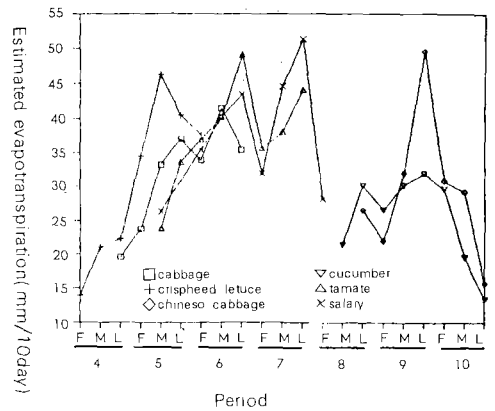


Fig.4. Variation of the estimated evapotranspiration of crops calculated by the corrected Penman equation during the growing period.

으며, 이 作物別 1회분의 純用水量을 計劃對象地區에 그대로 適用하였다.

6. 間斷日數

計劃對象地區의 計劃基準年 氣象資料로 부터 推定된 作物의 生育時期別 蒸發散量과 1회분의 純灌溉水量으로 부터 算出된 作物의 生育段階別 間斷日數는 Table-22에서 보는 바와 같이 양배추는 生育初期, 伸長期, 中期, 後期가 各各 6.6日, 4.4日, 4.9日, 4.2日이였으며, 結球상치는 生育段階別로 各各 6.3日, 5.3日, 1.2日, 3.8日이였고, 가을배추는 各各 3.4日, 3.5日, 2.3日, 4.2日이었다. 그리고 오이의 間斷日數는 生育段

Table -22. Irrigation interval of the crops by the growing stages of the project area.

(unit : days)

Stage Crop	Initial	Stage		
		Crop develop	Mid season	Late season
Cabbage	6.6	4.4	4.9	4.2
Crisphead Lettuce	6.3	5.3	1.2	3.8
Chinese Cabbage	3.4	3.5	2.3	4.2
Cucumber	2.9	2.5	1.8	2.7
Tomato	3.6	2.9	2.2	2.6
Salary	3.3	2.7	2.8	2.9

階別로 各各 2.9日, 2.5日, 2.2日 및 2.6日로 比較的 高른 傾向을 보여주었으며, 토마토의 경우는 生産初期의 3.6日 제외하고는 2.2日~ 2.9日로 나타났고, 셀러리는 生育段階別로 各各 3.3日, 2.7日, 2.8日, 2.9日로서 역시 比較的 高르 게 나타났다.

V. 結 論

本 研究에서는 밭작물의 蒸發散량을 라이시미터를 利用하여 實測하고 作物別 水分消費特性和 適正灌水點등을 究明하였으며, 蒸發散量推定公式중 修正Penman式의 風速函數를 補正함으로써 우리나라의 氣象條件에 맞는 補正 Penman式을 提示하였다. 또한 調査된 資料를 利用하여 計劃對象地區인 忠州地域의 作付體係에 따른 計劃基準年에 있어서의 作物別 蒸發散량을 推定하였고, 이로부터 밭灌溉計劃을 樹立하는데 있어서 施設容量 決定의 基準이 되는 計劃對象地區의 1回分の 純用水量, 間斷日數등을 推定하였으며, 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 同一場所에서 實測된 同一作物의 蒸發散量도 그 測定方法에 따라 약간의 差異가 있었으며, 4個 蒸發散量 測定方法중 플로우팅라이시미터(floating lysimeter)法이 가장 精度가 높았다.

2. 灌水處理를 pF 1.7, pF 2.0, pF 2.7의 3處理로 하였을 때 處理間의 收穫量은 양배추와 가을배추는 5%, 結球상치는 1%의 有意性이 있었으며, 適正灌水點은 有意差檢定 結果 供試作物 모두가 pF 2.0으로 究明되었다.

3. 適正灌水點에서의 全生育期間을 통한 作物別日平均 消費水量은 양배추 4.18mm, 結球상치 4.77mm, 가을배추 3.99mm, 여름오이 5.68mm, 토마토 4.00mm, 셀러리 4.26mm, 가을오이 3.39mm였다.

4. 作物의 生育段階別 土壤水分消費型 (SM EP)은 結球상치, 오이, 토마토가 生育初期에 第1層의 比率이 50%以上으로 높았으며, 양배추와 가을배추는 生育後期에 第4層의 水分消費比率이 各各 15.8%, 16.9%로서 뿌리의 伸長이 좋았음을 알 수 있었다.

5. 供試土壤의 總有效水分量(TAM)은 適正灌水點인 pF 2.0일때 粘質壤土가 21.2~23.3 mm였고, 砂質壤土가 16.1~19.0mm로 粘質壤土가 砂質壤土보다 約 5mm程度 많았으며, 全容易有效水分量(TRAM)은 粘質壤土에서 栽培된 作物이 砂質壤土에서 栽培된 作物보다 많았고, 生育段階別로는 下層土의 水分消費比率이 커지는 生育中期와 後期の 값이 生育初期나 伸長期에 比하여 큰 값을 보였다.

6. 修正Penman式의 空氣動力項중 風速函數의 常數를 補正한 補正Penman式에 의해 計算된 蒸發散량은 잔디의 實測蒸發散量과 잘 一致하였다.

7. 蒸發散量推定方法중 補正 Penman 式으로 計算된 蒸發散량이 基準作物(잔디)의 蒸發散量 實測值에 가까와서 앞으로 作物의 蒸發散량을 推定하여 用水量 決定을 함에 있어서 補正Penman式을 使用하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

8. 補正Penman式으로 計算된 供試作物別 平均作物係數(Kc)는 양배추 0.94, 結球상치 1.07, 여름오이 1.22, 토마토 1.02, 셀러리 1.01, 가을배추 1.35, 가을오이 1.09였다.

9. 灌溉計劃對象地區(忠州)에서 補正Penman式으로 推定된 作物別 總消費水量은 양배추 223.9mm, 結球상치 215.7mm, 여름오이 359.0mm, 토마토 300.9mm, 셀러리 332.1mm, 가을배추 205.9mm, 가을오이 202.7mm였다.

10. 1回分の 純用水量은 粘質壤土에서 栽培된 作物이 砂質壤土에서 栽培된 作物보다 컸으며, 生育段階別로는 下層土의 水分消費比率이 커지는 生育中期와 後期の 純用水量이 生育初期에 比하여 컸다.

11. 計劃對象地區에서 作物別 最短間斷日數는 양배추 4.2日, 結球상치 1.2日, 가을배추 2.3日,

오이 1.8日, 토마토 2.2日, 셀러리 2.7日로 計算되었다.

本 研究는 '86~'87年度 韓國科學財團의 研究費支援에 의하여 遂行되었음.

參 考 文 獻

1. Allen, R. G. (1986) : A Penman for All Seasons, ASCE Journal of Irrig & Drainage Engng., Vol. 112, No. 4 : pp. 348-368.
2. Allen, R. G. and Pruitt, W. O. (1986) : Rational Use of the Blaney-Criddle formula, ASCE Journal of Irrig. & Drainage Engng., Vol. 112, No. 2 : pp. 139-155.
3. 荒木陽一, 五島康(1983) : 施設野菜의 かん水 用始點と かん水量に關する 研究, 野菜試驗場 報告, A第11號 : pp. 177-187.
4. 반채돈, 권영삼(1977) : 마늘관수에 관한 시험 연구, 농촌진흥청 시험연구보고서 : pp. 505-514.
5. Benami, A and Ofen, A. (1983) : Irrigation Engineering, International Irrigation Information Center, Israel.
6. Blaney, H. F. and Criddle, W. D. (1950) : Determining Water Requirements in Irrigated Area from Climatological and Irrigation Data, USDA-SCS TP96.
7. Boast, C. W. and Robertson, T. M. (1982) : A "Micro-Lysimeter" Method for Determining Evaporation from Bare Soil : Description and Laboratory Evaluation, Soil Sci. Soc. American Journal, Vol 46 : pp. 689-696.
8. Christiansen, J. E. (1968) : Pan Evaporation and Evapotranspiration from Climatic Data, ASCE Journal of Irrig. & Drainage Div., Vol 94 : pp. 243-264.
9. Christiansen, J. E. and Hargreaves, G. H. (1969) : Irrigation Requirement from Evaporation, Proc. VII. Congr. ICId, Mexico City, 23 : pp. 570-596.
10. 鄭夏禹, 朴成宇, 金哲基, 柳寬植(1987) : 밭作物 消費水量 算定方法 定立研究, 서울大學校 農科大學 農業開發研究所, 農林水産部, 農業振興公社.
11. 鄭夏禹, 劉漢烈(1970) : 田作物의 灌溉法에 關한 比較研究, 韓國農工學會誌, 第12卷 1號 : pp. 21-31.
12. Cripps, J. E. L., George, P. R., and Oakley, A. E. (1982) : Scheduling Irrigation of Cabbage Using Pan Evaporation, Irrigation Science, Vol. 3 : pp. 185-195.
13. Cuenca, R. H. (1982) : Application of Penman Equation Wind Function, ASCE Journal of Irrig. & Drain. Engng., Vol. 108, No. 1 : pp. 13-23.
14. 竹中筆, 駒村政治(1984) : 節水を慮した1回の 灌溉水量についての 再檢討, 濕潤地域におけり 煙地灌溉用水計劃の 研究(I), 農土論集 第111號 : pp. 25-33.
15. de Vries, D. A. (1959) : The Influence of Irrigation on the Energy Balance and the Climate near the Ground, Journal of Meteorology, Vol. 16 : pp. 256-270.
16. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1974) : Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24, Rome, Italy.
17. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1977) : Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24, Rome, Italy.
18. 江崎要, 竹中筆, 駒村政治(1982) : 煙池用水의 量的水準について, 農業用水利用構造に關する 實驗的研究(VI), 農業土木學會論文集 第100號 : pp. 41-54.
19. _____, _____ (1984) : 煙地におけり 的用水利用と 氣象との關係, 農業用水利用構造に關する 實驗的研究(VII), 農業土木學會論文集 第111號 : pp. 15-23.
20. Frevert, K. K., Hill, R. W., and Braaten, B. C. (1983) : Estimation of FAO Evapotranspiration Coefficients, ASCE Journal of Irrig. & Drainage Engng., Vol. 109, No. 2 : pp. 265-270.
21. Fritschen, L. J. and Gry, L. W. (1979) : Environmental Instrumentation, Springer-Verlag.
22. Fuchs, M., Hausenberg, I., and Stanhill G. (1964) : A Field Test of the Control of Cotton Irrigation Practice from Class A Pan Data, Israel Journal of Agric. Res., Vol. 14, No. 4

- : pp. 237-239.
23. Guide to Hydro meteorological Practices(1-970) : WMO-No 168, TP. 82.
 24. Guitjens, J. C. (1982) : Models of Alfalfa Yield and Evapotranspiration, ASCE Journal of Irrig. & Drainage Div., Vol. 108, No. 3 : pp. 212-222.
 25. Hansen, V. E., Israelsen, O. W., and Stringham, G. E. (1979) : Irrigation Principles and Practices, Fourth Ed., John Wiley & Sons.
 26. 荻原佐太郎(1972) : 火山灰土におけるろ菜栽培の適正かん水點(2), 農業及園藝, 47(5) : pp. 739-742.
 27. 任正男(1982) : 밭 灌溉에 관한 研究, 農試總說 : pp. 519-524.
 28. 任正男(1982) : 콩 보리 作付體系下에서의 大氣蒸發要求 및 土壤水分의 函數로서의 蒸發散量, 韓國土壤肥科學會誌, 15(4) : pp. 213-220.
 29. Jensen, M. E. (1974) : Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements, Rep. by the Tech. Comm. Irrigation Water Requirements, ASCE Irrig & Drainage Division.
 30. Jensen, M. E. and Haise, H. R.(1963) : Estimation Evapotranspiration from Solar Radiation, ASCE Journal of Irrig & Drainage Eneng., Vol. 89 : pp. 15-41.
 31. 加藤一郎, 內藤文南, 谷口利策, 鴨全福也(1963) : 作物의 水分消費特性에 關する 研究(3報), チツヤ 等の 結球蔬菜의 蒸散量について, 日怨學雜, 32(4) : pp. 319-325.
 32. 川西良雄(1961) : 煙地蔬菜의 灌溉에 關する 研究(1報), 灌水量が胡瓜의 生態 收量에 及す 影響, 農業及園藝 36(1) : pp. 87-88.
 33. 金哲會, 高在君(1977) : 土壤水分含量 豫測 및 計劃灌溉 模擬 模型開發에 關한 研究(I), 韓國農工學會誌 第19卷 1號 : pp. 1-17.
 34. _____, _____ (1977) : 土壤水分含量 豫測 및 計劃灌溉 模擬 模型開發에 關한 研究(II), 韓國農工學會誌 第19卷 2號 : pp. 25-34.
 35. 金顯詰, 鄭斗浩(1974) : 배추用水量에 關한 研究, 韓國農工學會誌 第16卷 2號 : pp. 70-77.
 36. 金根培, 金哲基(1985) : 煙草生育期間중의 消費水量에 關한 基礎的 研究, 韓國農工學會誌 第27卷 1號 : pp. 62-70.
 37. 金哲會, 柳時昶, 李根厚, 徐元明(1980) : 田作物의 必要水量 決定을 爲한 研究, 韓國農工學會誌, 第22卷 3號 : pp. 37-45.
 38. 金始源, 崔德秀(1988) : 田作物 水分消費量 調査研究(II), 韓國農工學會誌, 第27卷 1號 : pp. 37-45.
 39. _____, 金哲基, 李基春(1984) : 新稿 農業水科學, 鄉文社.
 40. _____, 金善柱, 金俊錫(1987) : Floating Lysimeter 에 의한 가을배추의 消費水量 調査研究, 韓國農工學會誌 第29卷 2號 : pp.23-29.
 41. _____, _____, 盧熙洙(1986) : Weighing Lysimeter에 의한 結球상치의 蒸發散量 調査研究, 韓國農工學會誌 第28卷 4號 : pp.41-48.
 42. _____, 李康熙, 都德鉉(1984) : 田作物 水分消費量 調査 研究, 韓國農工學會誌 第26卷 2號 : pp.47-58.
 43. 權容雄(1979) : 韓國의 降水氣象環境에 따른 밭 土壤과 主要 밭作物의 水分 potential에 關한 研究, 비닐하우스 灌溉施設 workshop.
 44. 李撥亨(1966) : 蒸發量測定과 Penman公式에 의한 蒸發量計算, 韓國農工土木學會誌 第8卷 2號 : pp. 44-56.
 45. 李康熙(1980) : 마늘의 生態 및 收量에 미치는 觀水效果 研究에 關한 研究, 建國大學校 農業資源開發研究所 論文集 第6輯 : pp. 29-42.
 46. _____, 金炳友(1980) : 施設栽培에서 菜蔬增收을 위한 效果의인 觀水方法에 關한 研究, 建國大學校 學術誌, 第26輯 : pp.325-337.
 47. Linacre, E. T. (1977) : A Simple Formula for Estimating Evaporation Rates in Various Climates, Using Temperature Data Alone, Agricultural Meteorology, Vol. 18 : pp. 409-424.
 48. 農業振興公社(1979) : 밭灌溉 設計 便覽.
 49. _____ (1982) : 밭灌溉理論 및 灌溉計劃樹立, 農業振興公社 技術情報 : pp.8-26.
 50. _____ (1983) : '82試驗研究事業報告書 : pp.15-36.
 51. _____ (1985) : 밭基盤造成技術資料.
 52. 農水産部, 農業振興公社(1980) : 農業用水開發必要水量基準.
 53. Monteith, J. I.(1972) : Weather and the Growth of Crops, Rep. E. Malling Research Station for 1971, L70 : pp.21-34.

54. 沖森當, 大友讓二, 松田栄(1965): 하우스菜蔬に對する 觀水試驗, 土壤水分張力ときウリの生育について, 農業反園藝 40(11): pp.1987-1988.
55. 大久保隆弘(1977): 畑地カンガイ計劃(4), 畑カンガイと作物, 日農業土木學會誌, 45(8): pp. 37-42.
56. Penman, H. L. (1948): Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass, Proc. Royal Soc. London, 193: pp.120-145.
57. _____ (1956): Estimating Evaporation, Trans. American Geophysical Union, Vol. 37, No. 1: pp. 43-50.
58. 유관식, 민경범, 임정남, 최관순(1979): 고추에 대한 灌溉效果 試驗, 農村振興廳 農業技術研究所 試驗研究報告書: pp. 252-254.
59. _____, _____, 이수성(1980): 배추에 대한 灌溉效果 試驗, 農村振興廳 農業技術研究所 試驗研究報告書: pp.248-251.
60. _____, _____, 이수성(1980): 배추에 대한 灌溉效果 試驗, 農村振興廳 農業技術研究所 試驗研究報告書: pp.167-171.
61. Severin, M., Moriconi, M. L., and Tonna, G. (1984): Dewfall and Evapotranspiration Determination during Day- and Night time on an Irrigated Lawn, American Meteorological Society: pp.1241-1246.
62. Shih, S. F. (1983): Soil Surface Evaporation and Water Table Depths, ASCE Journal of Irrig. & Drainage engng., Vol. 109, No. 4: pp.366-376.
63. _____ (1984): Data Requirement for Evapotranspiration Estimation, ASCE Journal of Irrig. & Drainage Engng., Vol. 110, No. 3: pp. 263-274.
64. Shouse, P., Jury, W. A., and Stolzy, L. H. (1980): Use of Deterministic and Empirical Models to Predict Potential Evapotranspiration in an Advective Environment, agronomy Journal, Vol. 72: pp. 994-998.
65. Slabbers, P. J. (1980): Practical Prediction of Actual Evapotranspiration, Irrigation Science, Vol. 1: pp. 185-196.
66. Stanhill, G. (1961): A Comparison of Methods of Calculating Potential Evapotranspiration from Climatic Data, Israel Journal of Agric. Res., 11(3-4): pp. 159-171.
67. _____ (1962): The Control of Field Irrigation Practice from Measurement of Evaporation, Israel Journal of Agric. Res., 12(2): pp.51-62.
68. Stearns, F. W., Carlson, C. A. (1960): Correlations between Soil Moisture Depletion, Solar Radiation, and Other Environmental Factors, Journal of Geophysical Research, Vol. 65, No. 11: pp. 3727-3732.
69. 徐孝德, 權永杉(1983): 가을배추 生育期別 觀水效果 試驗, 農村振興廳 試驗研究報告書: pp. 82-89.
70. Tanner, C. B. and Pelton, W. L. (1960): Potential Evapotranspiration Estimates by the Approximate Energy Balance Method of Penman, Journal of Geophysical Research, Vol. 65, No. 10: 3391-3413.
71. Thornthwaite, C. W. (1948): An Approach toward a rational classification of climate, Geograph. Rev., 38: pp. 55-34.
72. 엄기철, 임정남, 유관식外(1982): 園藝作物 灌溉效果 比較試驗, 農村振興廳 農業技術研究所 試驗研究報告書: pp. 331-342.
73. 嚴泰營, 洪鍾震(1976): Hargreaves式에 依한 必要水量算定에 關한 小考, 韓國農工學會誌, 第18卷 3號: pp. 4195-4205.
74. Van Bavel, C. H. M. (1966): Potential evaporation: the Combination concept and its experimental verification, Water Resources Research, Vol. 2: pp. 455-467.
75. 綿原孝夫, 松田昭男, 松田榮(1965): 蔬菜の養水分の 時期別吸收量に關する試驗, 夏キュウリの 養水分の 吸收について, 農業及園藝 40(12): pp. 1927-1928.
76. Wright, J. L. (1982): New Evapotranspiration Crop Coefficients, ASCE Journal of Irrig. & Drainage Div., Vol. 108, No. 2: pp. 57-74.
77. 柳能桓, 閔丙燮(1974): 밭에의 土壤水分 消費機構에 關한 研究, 韓國農工學會誌 第16卷 4號: pp.11-27.