

콩 生育時期別 蒸發散量의 推定模型 設定

孫膺龍* · 嚴基哲** · 柳寬植** · 金基駿***

A Simulation Model for Estimating Evapotranspiration of Soybean Crop

Eung Ryong Son*, Ki Cheol Eom**, Kwan Sig Ryu** and Ki Joon Kim***

ABSTRACT

Lysimeter and field experiments were conducted in Sandy Loam to establish a simple estimation model for evapotranspiration (ET) of soybean for three years (1984-1986).

Potential ET (PET) could be estimated by the eq.1 using Pan-evaporation (E_o) and was ranged from 1.1 to 4.6 mm/day during the experiments.

$$PET \text{ (mm/day)} = 1.348 + 0.573 E_o \dots\dots\dots (1)$$

Crop coefficient (K_c=maximum ET/PET) could be estimated by the eq.2 using Growth degree (G= days after planting/total growing days) and was ranged from 0.2 to 1.1 and from 0.6 to 1.4 for monoculture cropping and double cropping followed by barley, respectively, during the experiments.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Monoculture : } K_c = 0.016 + 3.719 G - 3.224 G^2 \\ \text{Double cropping : } K_c = 0.609 + 2.014 G - 2.120 G^2 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

However, the maximum K_c was shown when G was about 50% and 40% for the monoculture and the double cropping, respectively.

Soil water coefficient (f=AET/maximum ET) could be estimated by the eq.3 using soil water tension (ψ) in 15cm depth, and it was decreased to 0.2 when ψ was 10 bar.

$$f = 0.755 - 0.537 \log |\psi| \dots\dots\dots (3)$$

Consequently, the model to estimate the Actual ET (AET) of soybean was determined as eq.4 with the correction coefficient of -0.380.

$$\widehat{AET} \text{ (mm/day)} = PET \cdot K_c \cdot f - 0.380 \dots\dots\dots (4)$$

The estimated AET were compared with the measured AET to verify the model established above. The average deviation of the estimated ET (AET) was 0.5782±0.338 (mm/day), and it would be within reasonable confidence range.

緒 言

밭작물의 灌溉計劃을 樹立하기 爲해서는 作物根圈

内の 물收支에 對한 解析이 우선적으로 先行되어야 하는데^{1,7)} 重要的 것은 土壤 內에서의 水分移動에 關한 解析 뿐 아니라, 土壤表面으로부터의 蒸發量과 作物에 의한 蒸發量을 正確히 測定하는 것이다. 그

* 高麗大學校 農科大學(College of Agri., Korea Univ., Seoul 136-701 Korea)
** 農業技術研究所(Agricultural Science Institute, R.D.A., Suwon 440-100 Korea)
*** 建國大學校 農科大學(College of Agri., Kon-Kuk Univ., Seoul 133-701 Korea) <'88. 7. 18 接受>

러나 蒸發量과 蒸散量은 모두 根圈으로부터의 水分流出量에 해당되므로 이 두가지의 합인 蒸發散량을 測定하여 收支 解析에 利用하고 있다.^{15, 17)}

作物의 實際 蒸發散량을 비교적 正確히 實測할 수 있는 方法으로는, 土壤水分消耗法^{15, 24)} (Soil water depletion method)이나 Lysimeter 利用法^{7, 14)} 등의 직접적인 方法과, 에너지收支法(Energy balance method)¹¹⁾이나 物質移動法(Mass transfer method)¹²⁾ 등의 理論적인 方法이 있다. 그러나 어느 方法에 의해서든지, 作物의 蒸發散량을 實測하기 위해서는 복잡하고도 다양한 測定機器들이 使用되어야 하며 또한 栽培環境의 여러가지 物理化學의 特性을 調査해야 된다. 따라서 作物의 實蒸發散량을 推定할 수 있는 模型을 開發한다는 것은 灌溉計劃의 樹立을 위하여 必須적인 研究果題일 것이다.

蒸發散량의 推定을 위한 模型開發은, 熱收支와 土壤水分移動式 등을 適用하는 動的模型(Dynamic method)^{28, 35)}에 의할 수도 있으나, 實際로 作物을 栽培하면서 여러가지 栽培環境과 實蒸發散량을 調査하면서 推定模型의 變量들을 設定한 後 各 變量의 係數를 實驗적으로 決定하는 經驗的模型의 開發에 關한 研究가 主로 試圖되어 왔다.^{3, 5, 8, 13, 37)} 그 結果 여러가지 氣象資料와 實驗係數를 利用하여 蒸發散량을 推定할 수 있는 公式이 많이 開發되어 現在까지도 밭作物의 灌溉計劃 樹立에 널리 使用되고 있다.^{5, 7, 13, 20, 37)} 그러나 이들 公式에 의한 推定值와 實測值와의 比較에 關한 많은 研究結果들을 檢討해 볼 때 地域에 따라서는 그 適用性이 一致하지 않는 경우도 있다.^{3, 4, 10, 25, 32, 37)} 이는 이들 公式에 의한 推定值의 計算에 必要한 變量들의 測定에 對한 問題點, 推定模型의 實驗係數 및 補正係數들의 設定方法과 誤差範圍 等 模型들에 따라 여러가지 原因이 있을 것으로 생각된다.

蒸發散량의 推定模型에 關한 國內研究에 있어서는, 土壤水分未洽量의 豫測에 依한 計劃灌溉 模型開發에 關한 研究^{나²²⁾}, 土壤資料와 氣象資料를 갖고 土壤水分含量의 豫測을 통하여 배추의 蒸發散량을 推定할 수 있는 模型開發에 關한 研究^{도¹⁷⁾} 遂行되었으나, 現在까지의 蒸發散量 推定模型들은 土壤水分張力(tension) 보다는 土壤水分含量의 豫測에 의하여 蒸發散량을 推定토록 試圖되어 왔으며, 특히 우리나라에 있어서 밭作物의 蒸發散량을 推定할 수 있는 模型 開發에 關한 研究는 全般的으로 未洽 아주 未洽한 편이다.

따라서 本 研究는 콩을 供試作物로 하여 3年間의 圃場栽培와 同一圃場 內의 Lysimeter 를 통하여 얻어진 成績과 氣象資料를 토대로 하여, 蒸發散에 關與하는 要因을 氣象因子, 作物因子 및 土壤因子로 區分한 後, 各 因子別 推定式을 求하여 補正係數와 함께 이들을 단계적으로 適用하므로써, 우리나라 氣象條件에 맞는 實用的인 蒸發散量 推定模型을 設定코자 實施하였다.

끝으로 本 研究를 遂行할 수 있도록 研究費를 지원해 주신 한국과학재단에 감사의 뜻을 표합니다.

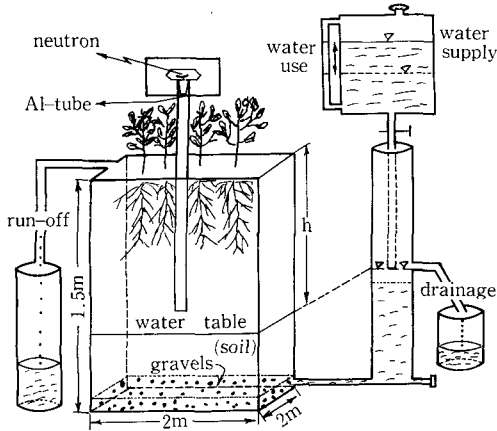
材料 및 方法

1. 栽培 및 蒸發散量 測定

砂壤土에서 광교品種의 콩을 60cm×20cm의 재식 밀도로 하여, 제 1次試驗年度(1984)에는 6月 21日 播種하여 10月 22日 收穫하였으며(백후작 栽培 : soybean followed by barley), 第3次試驗年度(1986)에는 5月 22日 播種하여 10月 22日 收穫하였다(단작栽培 : Monoculture).

土壤水分條件의 差異를 두기 위하여 自然降雨條件에서 栽培한 無灌溉區, 土壤水分 張力이 各各 0.2 bar와 0.5 bar에 도달할 때 sprinkler로 灌溉하는 灌溉區, 그리고 圃場에서 降雨을 차단시키면서 栽培한 旱魃處理區를 두었다. 土壤水分含量의 測定은, 根圈의 土壤構造를 파괴하지 않고 깊이별 土壤水分含量을 Neutron Moisture Gauge(CPN 503, MC-1 Model)을 利用하여 表층에서부터 地下 55cm까지 10cm 간격으로 經時的(週 1~2回) 測定하였다. 土壤水分張力은 Tensiometer와 Gypsum-block을 作物播種時 地下 15cm 깊이에 설치하여 經時的(週 3回) 測定하였다.

大氣의 蒸發要求量의 指標로 使用되고 있는 潛在蒸發散量(PET: Potential Evapotranspiration)²⁹⁾은 Penman의 定義에^{29, 30)} 따라, 그림 1과 같은 有底 Lysimeter 內에서 water-table을 50cm로 유지시키면서 牧草(잔디)의 旬別 물消耗량을 測定하여 算出하였다. 또한 PET를 測定할 때와 같은 條件에서 土壤水分不足이 전혀 없는 상태에서 牧草 이외의 어떤 作物을 栽培하면서 算出된 蒸發散량을 그 作物의 最大蒸發散量(MET: Maximum Evapotranspiration)으로 정의하여,^{6, 8, 19)} '84年과 '86年의 2年間 그림 1과 같은 有底 Lysimeter 內에서 water-table을 70cm로 유지시키면서 旬別로 콩의 MET를



*PET : Kentucky blue grass (h=0.5m).
 *MET : Soybean (h=0.7m).
 *AET : Field condition.

Fig. 1. Schematic Diagram of Lysimeter measuring Potential ET (PET) and Maximum ET (MET).

調査하였다. 圃場栽培條件(無灌溉區, 灌溉區, 旱魃處理區)에서의 콩의 實蒸發散量(AET: Actual Evapotranspiration)은 式 1 과 같은 물收支式을^{15, 16, 19)} 利用하여 土壤水分消耗에 의한 직접적인 方法에 의해 測定하였다.

$$AET = \int_{t_1}^{t_2} \left[R - r + \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} dz + I \cdot e + K(\theta) \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) \right] dt \quad (1)$$

단, t_1 는 測定時期, z_1 는 土深, θ 는 土壤水分含量, R 은 降雨量, r 은 流失量, I 는 灌溉量, e 는 灌溉效率, $K(\theta)$ 는 水利傳度度 (Hydraulic Conductivity), H 는 土壤水分張力を 뜻한다.

2. 蒸發散量 推定模型

實蒸發散量(AET)를 推定하기 위한 模型은, 式 2 와 같은 係數 K 를 求하므로써 氣象資料를 利用하여 PET를 算出함과 아울러 AET를 推定할 수 있게 한 것이 보편적이나^{7, 19, 21)}, 이와 같은 경우에는 生育時期別 作物特性에 의한 蒸發散 程度와 土壤條件에 의한 蒸發散 程度가 係數 K 에 한꺼번에 포함되므로, 式 2로 決定되는 係數 K 의 誤差는 커질 것으로 생각된다.

$$K = AET / PET \quad (2)$$

그러므로 本研究에 있어서는 蒸發散量에 關與하는 因子를 氣象因子, 作物因子 및 土壤因子로 各各區分하여 推定토록 했으며, 氣象因子는 蒸發散의 原

動力(Driving Force)인 大氣의 蒸發要求量을 뜻하는 것으로써⁷⁾ PET를 그 指標로 삼았다. 作物因子는 作物의 種類 및 生育時期別 作物特性에 따른 蒸發散量의 變化程度를 나타내는 것으로써⁷⁾, 式 3과 같이 定義되는 作物係數(K_c : Crop Coefficient)^{6, 8, 19)}를 그 指標로 삼았다.

$$K_c = MET / PET \quad (3)$$

土壤因子는 土壤水分이 土壤表面을 통한 蒸發와 作物에 의한 吸收가 얼마나 용이한가에 따라 決定되는데, 이는 土壤水分含量 또는 有效水分含量 등의 函數로 求할 수도 있겠지만,^{8, 9, 18, 33)} 作物生育에 必要한 水分의 吸收와 蒸發散量은 土壤-作物-大氣連續系의³¹⁾ 水分張力 勾配에 따라 左右되므로^{6, 23, 27, 34)}, 土壤因子는 土壤水分 張力の 函數로 求해지는 것이 보다 타당할 것이다. 그러므로 本研究에서는 土壤因子를 式 4와 같이 定義되는 土壤水分係數(f)⁷⁾를 그 基準으로 삼아서 土壤水分張力の 函數로 求하였다.

$$f = AET / MET \quad (4)$$

또한, 氣象條件과 作物生育時期別 土壤水分 條件에 따라 實蒸發散量 AET는 式 5와 같이 되지만,

$$AET = PET \cdot K_c \cdot f \quad (5)$$

AET의 推定值인 \hat{AET} 는 AET의 實測值에 對하여 誤差를 포함하기 때문에 式 6과 같이 되면, \hat{AET} 를 위한 各各의 推定值

$$\hat{AET} = \hat{PET} \cdot \hat{K}_c \cdot \hat{f} \pm (\text{Error}) \quad (6)$$

들은 式 7, 8 및 9와 같이 設定하였다.

$$\hat{PET} = a_1 + b_1 \cdot E_0 \quad (7)$$

$$\hat{K}_c = a_2 + b_2 \cdot G + b_3 \cdot G^2 \quad (8)$$

$$\hat{f} = a_3 + b_4 \cdot \log |\psi| \quad (9)$$

단, a_i 와 b_i 는 회귀계수, E_0 는 栽培圃場에서의 pan-蒸發量 또는 氣象旬報의 大形 pan 蒸發量, G 는 콩의 生育 경과율(播種後 經過日數 / 全生育日數), $|\psi|$ 는 土壤水分張力の 절대값을 뜻한다. 따라서 AET의 推定을 爲해서는 氣象因子, 作物因子 및 土壤因子의 推定式들인 式 7, 8 및 9의 係數들을 求해야 함은 물론이려니와, 式 6의 誤差項을 決定해야 된다. 그런데 模型의 誤差를 補正하기 爲한 補正係數 C 는 式 10 또는 式 11의 形態로 設定될 수 있지만, 模型의 精密度는 式 10의 경우는 C 의 影響을 받게 되지만, 式 11의 경우는 C 의 影響을 받지 않게 된다.²⁶⁾

$$\hat{AET} = C \cdot (\hat{PET} \cdot \hat{K}_c \cdot \hat{f}) \quad (10)$$

$$\hat{AET} = (\hat{PET} \cdot \hat{K}_c \cdot \hat{f}) \pm C \quad (11)$$

따라서 AET의 推定模型式인 \hat{AET} 는 式 11에 의하여 設定토록 試圖하였다. 本 研究에 있어서 實蒸發散量의 推定模型 設定 過程에 對한 概略圖는 그림 2와 같다.

本 研究의 第一次年度인 1984년에는 Lysimeter 處理와 圃場栽培(無灌溉區, 灌溉區, 旱魃處理區)를 하면서 PET, E_0 , MET, ψ 및 AET를 實測하였으며, 第二次年度인 1985년에는 Lysimeter 處理區만 두면서 E_0 와 PET를 實測하였고, 第三次年度인 1986년에는 Lysimeter 處理와 圃場栽培를 하면서 PET, MET, E_0 , ψ 및 AET를 實測하였다. 또한 이들의 結果를 利用하여 實蒸發散量의 推定模型을 設定하고, 模型의 各 係數들은 회귀식에 의해서 求하였다.

結果 및 考察

1. 潛在蒸發散量(PET)의 推定

그림 3은 本 研究期間 동안 有底 Lysimeter를 利用하여 實測한 PET의 變化樣容을 나타낸 것으로서, 旬別 氣溫, 日射量, 日照時間, 相對濕度, 風速

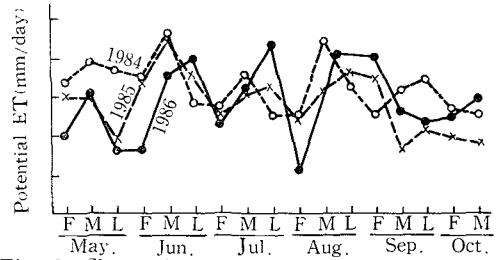


Fig. 3. Change in potential ET (mm/day) during the crop cultivation.

等 氣象條件의 差異에 의해 PET의 變異폭은 큰 편이었으며, 콩 栽培期間인 5月~10月의 平均 PET는 2.987 ± 0.890 mm/day이었으며 그 範圍는 1.1~4.6 mm/day이었다.

表 1은 外國에서 開發된 PET 推定模型式 中에서 世界的으로 널리 利用되고 있는 4가지의 推定模型式에^{1,2,7,25,29} 의한 推定值 및 pan 蒸發量값(E_0)과, Lysimeter에서 實際로 測定된 PET와의 단순 상관 회귀식과 相關係數를 나타낸 것으로서, 어느 模型에 依하던지 그 推定值들과 實測值와는 高度의 有意性 있는 相關關係를 나타내었다. 이 結果로 볼 때

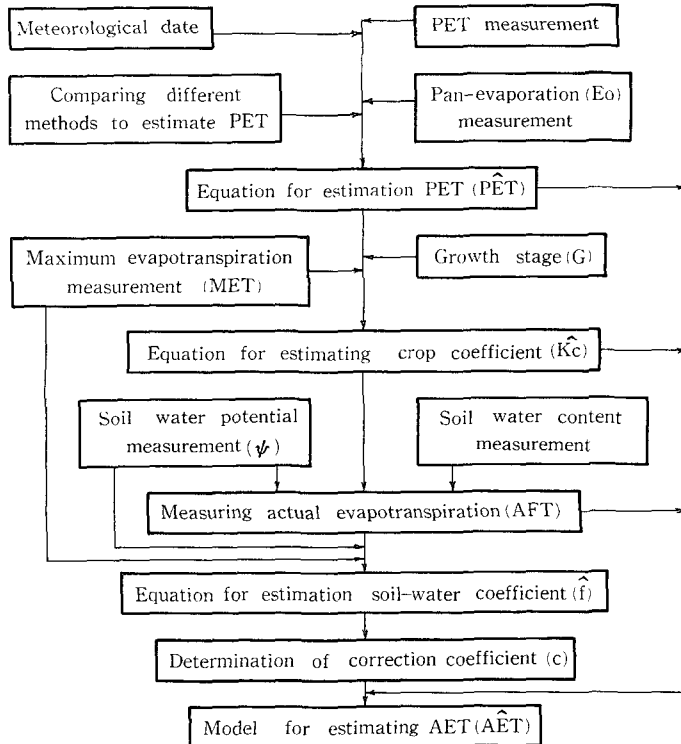


Fig. 2. Modeling procedure to estimate actual evapotranspiration.

外國에서 開發된 여러가지 模型들은 PET를 推定함에 있어 그 利用이 可能함을 보여줬다. 그러나 上記한 模型式들에 의하여 PET를 推定하기에는 그 推定方法이 복잡할 뿐만 아니라 여러가지 氣象資料를 調査해야하는 短點이 있다.

또한, E_0 값과 實測된 PET 와도 역시 高度의 有意性 있는 相關係를 보였다. 이 結果로 볼 때, 推定方法이 복잡하며 外國의 氣象條件下에서 開發된 既存의 模型式에 의한 PET의 推定보다는, E_0 한 가지 氣象資料만 使用한 表 1의 회귀식을 利用하여 PET를 推定하는 것이 보다 간편하고 實用的이면서 우리나라 氣象條件에 適合한 PET를 推定할 수 있다고 思料된다. 따라서 本 研究에서 實蒸發散量을 推定함에 있어 氣象因子인 PET의 推定式은 表 1의 結果인 式 12를 利用하였다.

$$\widehat{PET} = 1.348 + 0.573 \cdot E_0 \text{ (mm/day)} \dots\dots\dots(12)$$

2. 作物係數 (K_c)의 推定

實蒸發散量의 推定에 있어 作物因子의 指標인 K_c (式 3)는 作物의 生育時期에 따라 달라지므로, 콩의 生育經過率에 따른 K_c 의 變化樣相을 나타낸 것이 그림 4이며, 生育初期에는 단작의 경우가 맥후작의 경우보다 K_c 가 낮았다. 이것은 作物生育初期 단계의 蒸發散量에 있어서 作物에 의한 蒸散量보다는 土壤表面에서의 蒸發量이 차지하는 比率이 더 크며(16,36), 단작경우(1986)의 PET가 맥후작경우(1984)의 PET보다 낮았던 것으로 보아(그림 3) 大氣의 蒸發要求量이 적어서 맥후작의 경우보다 土壤表面에서의 蒸發量이 적었던 것에 기인된다고 思料된다. 그리고 단작의 경우 K_c 는 약 0.2~1.1 範圍이었으며, 맥후작의 경우 K_c 는 약 0.6~1.4 範圍이었다. 또한 단작과 맥후작의 경우 各各 生育이 약 50% 및 약 40% 進전되었을 때(G =약 0.5 및 0.4)에 K_c 가 最高值를 보여, 이 時期가 作物自體의 特性에 의해 蒸發散이 가장 旺盛한 生育단계라고 생각된다. 作物의 生育經過率(G)과 K_c 와의 回歸式은 단작과 맥후작의 경우 各各式 13과 14와 같았으며 모두 高度의 有意性 있는 相關係를 나타내었다.

작의 경우보다 K_c 가 낮았다. 이것은 作物生育初期 단계의 蒸發散量에 있어서 作物에 의한 蒸散量보다는 土壤表面에서의 蒸發量이 차지하는 比率이 더 크며(16,36), 단작경우(1986)의 PET가 맥후작경우(1984)의 PET보다 낮았던 것으로 보아(그림 3) 大氣의 蒸發要求量이 적어서 맥후작의 경우보다 土壤表面에서의 蒸發量이 적었던 것에 기인된다고 思料된다. 그리고 단작의 경우 K_c 는 약 0.2~1.1 範圍이었으며, 맥후작의 경우 K_c 는 약 0.6~1.4 範圍이었다. 또한 단작과 맥후작의 경우 各各 生育이 약 50% 및 약 40% 進전되었을 때(G =약 0.5 및 0.4)에 K_c 가 最高值를 보여, 이 時期가 作物自體의 特性에 의해 蒸發散이 가장 旺盛한 生育단계라고 생각된다. 作物의 生育經過率(G)과 K_c 와의 回歸式은 단작과 맥후작의 경우 各各式 13과 14와 같았으며 모두 高度의 有意性 있는 相關係를 나타내었다.

$$\widehat{K}_c = 0.016 + 3.719 \cdot G - 3.224 \cdot G^2 \quad (R = 0.97^{**}) \dots\dots\dots(13)$$

$$\widehat{K}_c = 0.609 + 2.014 \cdot G - 2.120 \cdot G^2 \quad (R = 0.73^{**}) \dots\dots\dots(14)$$

따라서 本 研究에서 實蒸發散量을 推定함에 있어 作物因子인 K_c 의 推定(\widehat{K}_c)은 式 13과 式 14를 利用하였다.

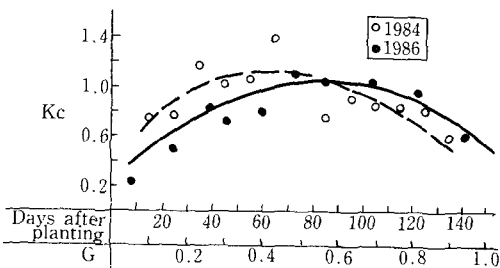


Fig. 4. Crop coefficient (K_c) with respect to growth degree (G =days after planting/total growing days) during soybean cultivation.

3. 土壤水分係數 (f)의 推定

實蒸發散量 推定에 있어 土壤因子의 指標인 土壤水分係數(f)는, 土壤水分條件에 따른 作物뿌리의 水分吸收 樣相에 의해 달라지므로(6,23,27), f 를 콩의 뿌리밀도가 높은 15cm 깊이의 土壤水分 potential의 函數로 나타낸 것이 그림 5이다. 그림 5에서와 같이 15cm의 土壤水分 potential이 log 函數의으로 낮아질수록 f 는 직선적으로 減少하였고, 그 回歸式은 式 15와 같았으며 역시 高度의 有意性 있는 相

Table 1. Relationship between measured PET with Lysimeter and estimated PET by several estimated models.

| Model | Regression equation | Correlation coefficient (n=40) |
|--|---|--------------------------------|
| Penman method ²⁹⁾ | $\frac{1}{J}$ PET = 0.783 + 0.612 E ²⁾ | 0.69** |
| Evaporation method ²⁾ | PET = 1.337 + 0.691 E | 0.60** |
| Radiation method ²⁵⁾ | PET = 1.087 + 0.533 E | 0.63** |
| Blaney-Criddle method ^{1,2)} | PET = 1.096 + 0.570 E | 0.56** |
| Pan-Evaporation(E_0) ³⁾ | PET = 1.348 + 0.573 E_0 | 0.59** |

1) PET : Potential ET measured with Lysimeter(mm/day).

2) E : Potential ET estimated by each model(mm/day).

3) E_0 : Pan-Evaporation(mm/day).

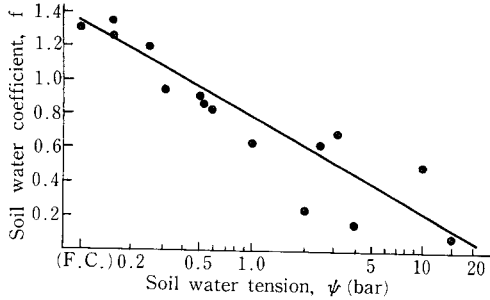


Fig. 5. Soil water coefficient ($f = AET/MET$) with respect to soil water tension(ψ).

關係를 나타내었다.

$$\hat{f} = 0.755 - 0.537 \cdot \log|\psi| \quad (R = -0.90^{**}) \dots (15)$$

따라서 본 연구에서 實蒸發散량을 推定하기 爲한 土壤因子인 f 의 推定(\hat{f})은 式 15를 利用하였다. 단 $|\psi|$ 는 土壤水分 張力の 絶대값을 뜻한다.

4. 實蒸發散량의 推定模型式(\hat{AET})

作物의 蒸發散에 關與하는 各 因子들인 氣象因子(PET), 作物因子(\hat{K}_c) 및 土壤因子(\hat{f})를 各 式 12, 13, 14 및 15에 依하여 推定한 後, 式 11에 依하여 AET를 推定하도록 模型式을 設定하였다. 이때 補正係數 C는 栽培期間中 實測된 各 處理別 AET 값들과 式 11에 依하여 推定된 AET 값들에 對하여 $\sum (AET_i - \hat{AET}_i) = 0$ 을 만족시켜주는 C 값을 補正係數로 決定하였으며, 본 推定模型式의 경우 C 값은 -0.380 이었다.

따라서 본 연구의 結果들로서, 콩의 圃場栽培條件에서, pan 蒸發量(E_0)과 土壤水分 potential(ψ)을 調査하므로써, 生育經過率을 利用하여 콩의 生育時期別 實蒸發散量 AET를 式 16에 依하여 推定(\hat{AET})할 수 있을 것으로 생각된다.

$$\text{콩의 } \hat{AET} = \hat{PET} \cdot \hat{K}_c \cdot \hat{f} - 0.380 \text{ (mm/day)} \dots (16)$$

$$\text{단, } \hat{PET} = 1.348 + 0.573 \cdot E_0,$$

$$\text{(단작) } \hat{K}_c = 0.016 + 3.719 \cdot G - 3.224 \cdot G^2$$

$$\text{(백후작) } \hat{K}_c = 0.609 + 2.014 \cdot G - 2.120 \cdot G^2$$

$$\hat{f} = 0.755 - 0.537 \cdot \log|\psi| \text{ 이다.}$$

5. 模型의 檢定

어떤 것을 推定하는데 있어서는 多少間의 誤差가 必然的으로 뒤따르게 된다.²⁶⁾ 推定模型이 아무리 理論的으로 妥當하여도, 推定模型에 依한 推定値와 實測値를 比較하여 볼 때 그 差異가 너무 크면 그 模型의 設定은 無爲로 돌아간다. 그러나 그 差異가 實用上 別 問題를 惹起하지 않을 程度이면 推定模型

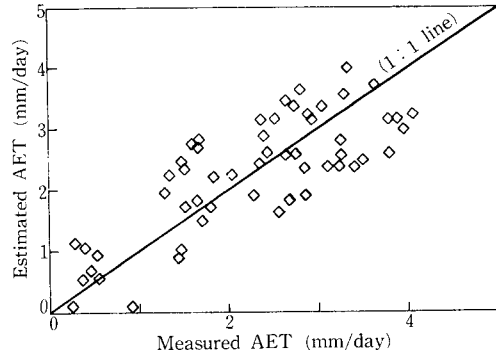


Fig. 6. Relationship between measured AET in the field condition and estimate AET by eq. 16 during soybean cultivation.

으로 받아들일 수 있다.^{17, 26)}

콩을 實際 圃場栽培를 하면서 經時的으로 土壤水分含量, 土壤水分 potential(ψ), 降雨量, 流去量, 灌溉量, 灌溉效率 및 水利傳度度 등을 測定하여 土壤水分消耗法에 依하여 實測한 AET의 實測値들과, 같은 期間에 對한 氣象旬報의 E_0 값, 生育經過率 및 處理別 調査한 ψ 를 利用하여 式 16의 推定模型에 依하여 推定한 AET의 推定値들과 서로 比較한 것이 그림 6이다. 그림 6에서와 같이 본 연구의 AET 推定模型(式 16)에 依한 推定値들은 實測値와 거의 同直線(1:1直線)上에 가깝게 分布하였으며, 實測値와 推定値 間의 편차는 0.572 ± 0.338 (mm/day) 程度로써 그 變異程度는 작은 것으로 나타났다.

이상의 結果로 볼 때 본 연구에서 設定된 콩의 蒸發散量 推定模型은 앞으로의 콩 栽培에 있어 旱越頻度 分析, 灌溉計劃 등 實際 適用에 그 活用價値가 높다고 判斷된다. 그러나 본 연구의 模型이 3年間의 試驗結果에 依한 것이기 때문에 콩의 蒸發散量을 推定함에 있어서 完全한 推定模型이라기 보다는 實用的인 模型의 一例라고 볼 수 있다. 따라서 앞으로 長期間동안의 試驗結果를 利用하여 좀더 完備한 推定模型을 設定할 수 있는 研究가 계속되어야 할 것이다.

摘 要

砂壤土에서 콩(광교)을 Lysimeter 와 圃場栽培(無灌溉區, 灌溉區, 旱魃處理區)를 하면서, 콩의 蒸發散에 關與하는 因子를 氣象因子, 作物因子 및 土壤因子로 區分하여, 各 因子에 對하여 潛在蒸發散量(PET), 作物係數(K_c) 및 土壤水分係數(f)를 그 지

標로 삼아서 이들의 推定式을 設定하므로써, pan 蒸發量(E_0)과 生育經過率(G) 및 土壤水分張力(ψ)을 利用하여 生育時期別 콩의 實蒸發散量(AET)을 推定할 수 있는 模型을 設定코자 實施한 本 研究의 結果는 다음과 같다.

1. 콩 栽培期間인 5月~10月の PET는 平均 2.987 mm/day 정도로서, 그 範圍는 1.1~4.6 mm/day 이었으며, PET의 推定式은;

$$\hat{PET} = 1.348 + 0.573 \cdot E_0 \text{ 이었다.}$$

(E_0 : pan-蒸發量, mm/day)

2. K_c 의 範圍는 단작의 경우 0.2~1.1, 맥후작의 경우 0.6~1.4 程度이었으며, K_c 의 推定式은;

$$(\text{단작}) \hat{K}_c = 0.016 + 3.719 \cdot G - 3.224 \cdot G^2,$$

(맥후작) $\hat{K}_c = 0.609 + 2.014 \cdot G - 2.120 \cdot G^2$ 이었다.
 (G: 生育經過率)

3. 作物自體의 生育特性에 의해 K_c 가 最大值가 되었던 生育時期는 단작의 경우 生育이 약 50%, 맥후작의 경우 약 40% 進진되었을 時期이었다.

4. 土壤水分條件에 의해 蒸發散이 영향을 받는 程度를 나타내는 f 는, 15cm 깊이의 土壤水分張力(ψ)과 log 函數的인 相關關係에 있었으며, f 의 推定式은;

$$\hat{f} = 0.755 - 0.537 \cdot \log |\psi| \text{ 이었다.}$$

5. 콩의 生育時期別 實蒸發散量(AET)을 E_0 , G 및 ψ 을 利用하여 推定할 수 있는 模型을 設定하였으며, AET의 推定模型은;

$$AET = \hat{PET} \cdot \hat{K}_c \cdot \hat{f} - 0.380 \text{ (mm/day) 이었다.}$$

6. 本 研究에 의한 推定模型을 利用하여 콩의 生育時期別 實蒸發散量을 推定한 推定值들과 實際 圃場栽培 條件에서 實測된 實測值들은 서로 1:1 直線上에 가깝게 分布하였으며, 그 편차는 0.572 ± 0.338 (mm/day) 이었다.

引用 文 獻

1. Blaney, H.F. and W.D. Criddle. 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA. Soil Cons. Serv. SCS-TP 96: 44.
2. _____ and W.D. Criddle. 1962. Determining consumptive use irrigation water requirements. USDA. Tech. Bul. 1275: 59.
3. _____ and K.V. Morin. 1942. Evaporation and consumptive use of water empirical

- formula. Trans. Amer. Geophys. Union. pp. 76-83.
4. Burman, R.D. 1976. Intercontinental comparison of evaporation estimates. J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR1. : 109-118.
5. Christiansen, J.E. 1968. Pan evapotranspiration from climatic data. J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR2. : 243-265.
6. Clarkson, D.T., J. Graham, and J. Sanderson. 1974. Water uptake by roots of marrow and barley plants. Lecombe Lab. Ann. Rep. 1973: 9-11.
7. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. and Drainage Paper No. 24. Rome. 144p.
8. _____ and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrig. and Drainage Paper 33, Rome. 194p.
9. Federer, C.A. 1979. A soil-plant-atmosphere model of soil water transpiration and availability of soil water. Water Res. Res. 15: 355-362.
10. Fitzgerald, P.D. and G.G. Cossens. 1966. Irrigation investigations in Otago, New Zealand. (II) Applicability of Penman's and Thornthwaite's methods of estimating transpiration rates to determination of moisture deficits of three central Otago soils. N.Z.J. Agri. Res. 9: 985-994.
11. Fritschen, L.J. 1965. Accuracy of evapotranspiration determinations by the Bowen Ratio method. Bull. Intern. Assoc. Sci. Hydrol. 10. : 38-48.
12. Goddard, W.B. and W.O. Pruitt. 1966. Mass Transfer-Eddy Flux method Proc. Conf. on Evapotranspiration. Am. Soc. Agr. Engr., Chicago. Dec. pp 38-41.
13. Hargreaves, G.H. 1968. Consumptive use derived from evaporation pan data. J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IRI. pp 97-105.
14. Harrold, L.I. 1966. Measuring evapotranspiration by Lysimetry. Proc. cont. on Evapotranspiration. Am. Soc. Agr. Engr., Chicago.

- Dec. pp 28-33.
15. Hillel, D. 1980. Fundamentals of soil Physics. Academic press, London pp 123-165p.
 16. _____. 1980. Application of Soil Physics. Academic press, London : 147-215p.
 17. 任正男. 1987. 氣象資料에 의한 배추의 生育時期別 土壤水分蒸發散量 및 收量 推定模型에 관한 研究. 서울大學校 博士學位 論文. pp 19-58.
 18. Im, J.N., Y.S.Jung, K.S. Ryu and S.H. Yoo. 1982. Evapotranspiration of soybean-barley cropping as a function of evaporation and available soil water in the root zone. J. Kor.Soc.Soil Sci. Fert. 15 : 213-220.
 19. Jensen, M.E. 1973. Consumptive use of water and irrigation water requirements. Ed. Am. Soc. Civ. Engr., New York, 210p.
 20. _____. and H.R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE IR4. : 25-38.
 21. 鄭夏禹·朴成宇·金哲基·柳寬植. 1987. 발작物 消費水量 算定 方法 定立 研究. 농업개발 연구소. 농업진흥공사 연구과제 보고서. : 48-50.
 22. 金哲會. 1977. 土壤水分含量 豫測 및 計劃 現況 模擬 模型 開發에 관한 研究. 한국농공학회지. 19(1) : 6-22.
 23. Landsberg, J.J. and N.D. Fowkes. 1978. Water movement through plant roots. Ann. Bot. 42 : 493-508.
 24. Lowry, R. L. and A. F. Johnson. 1942. Consumptive use of water for agriculture. Am. Soc. Civ. Engr. Trans. 107. : 1243-1302.
 25. Makkink, G.F. 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. J. Inst. Water Eng. 11(3) : 277-288.
 26. Mandel, J. 1964. The statistical Analysis of Experimental Data. Inter Science Publishers, John Wiley & Sons. New York. pp 312-389.
 27. Meyer, W.S., E.L. Greasen, and A.M. Alston. 1978. Resistance to water flow in the seminal roots of wheat. J. Exp. Bot. 29 : 1451-61.
 28. Nimah, M.N. and R.J. Hanks. 1973. Model for estimating soil water, plant, and atmospheric interrelations : I. Description and sensitivity. II. Field test of model. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37 : 522-532.
 29. Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, A193 : 120-146.
 30. _____. 1956. Evaporation : An introductory survey, Neth. Jour. Agr. Sci. Vol. 1 : 9-29.
 31. Philip, J.R. 1966. Hydrostatics and plant water relations : some physical aspects. Ann. Rev. Plant Physiol. 17 : 245-268.
 32. Pruitt, W.O. 1960. Relation of consumptive use of water to climate. Trans. ASAE. Vol. 3. : 9-13, 17.
 33. Radcliffe, D., T. Hayden, K. Watson, P. Crowley, and R.E. Phillips. 1980. Simulation of soil water within the root zone of a crop. Agron. J. 72 : 19-24.
 34. Ritchie, J.T. 1973. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. Agron. J. 65 : 893-897.
 35. Rosenberg, N.J., H.E. Hart, and K.W. Brown. 1968. Evaporation-Review of reseach. Univ. of Nebraska. pp 5-78.
 36. Russel, M.B., L.W. Hurlbut and D.E. Angus. 1959. Water and hydrologic cycle. Adv. Agr. 11 : 4-34.
 37. Van Bavel, C.H.M. 1966. Potential evaporation. : The combination concept and its experimental verification. Water Resour. Res. 2(3) : 455-467.