

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)

A Study on the Development of a Simulation Model for Predicting Soil Moisture Content and Scheduling Irrigation

金 哲 會* · 高 在 君**
Chul Hoi Kim · Chae Koon Koh

IV. 模型의 檢定

4-1. 土壤 및 氣象資料

農業技術研究所의 1975年 土壤水分 測定資料를 基礎로 模型의 檢定을 하여 보았으며 供試土壤의 土壤別 物理的인 特性은 表 3과 같다.

한편 氣象資料는 水原地方의 氣象月報에 依하여 算定하였다.

作物의 栽培狀況 및 作況은 平年作이었으며 보리, 콩의 輪作 體制에 의하여 栽培管理하였고 栽培期間中의 灌溉는 實施하지 않았으며 其他의 栽培는 作物試驗場의 試驗基準에 準하여 實施하였다.

土壤水分의 測定은 깊이 50cm까지를 根域으로 設定하고 各各 10cm, 20cm, 35cm의 깊이에 Gypsum Block을 設置한 後, 日別 土壤水分含量을 測定하여

Table 3. Some physical characteristics of surveyed soils

Soil type	Soil depth	Moisture retention			Bulk density (g/cc)
		1/10 atms	1/3 atms	15 atms	
Clay loam	10cm	35.67	27.25	16.33	1.04
	20cm	39.10	29.87	17.90	1.14
	35cm	39.10	29.87	17.90	1.14
Sandy loam	10cm	28.28	21.05	10.01	1.15
	20cm	32.26	23.42	11.14	1.28
	35cm	32.26	23.42	11.14	1.28
Loamy Sand	10cm	19.20	13.44	4.68	1.20
	20cm	21.12	14.78	5.15	1.32
Sand	35cm	21.12	14.78	5.15	1.32

* 慶尙大學
서울대학교 農科大學

深度別 假比重을 利用, 깊이 位單로 保水量을 算定 하였다.

4-2. 土壤水分 豫測量과 測定值와의 比較

4-2-1. 模型-I

土壤水分含量을 保水量으로 表示하여 氣象, 作物,

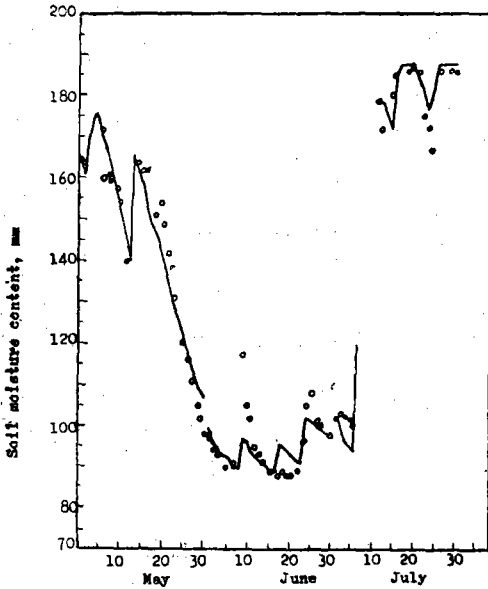


Fig. 12-a. Comparison between estimated soil moisture contents by Model-I and measured values for clay loam.

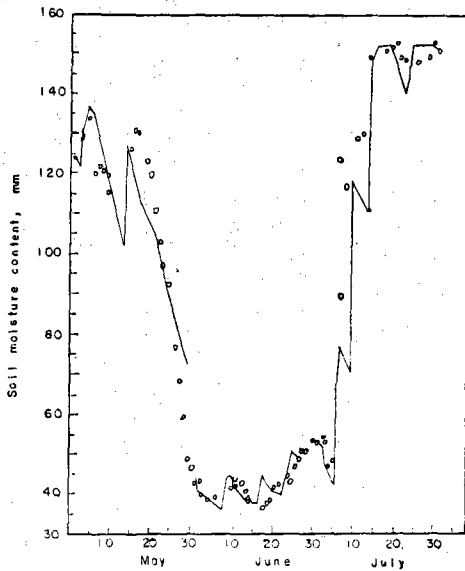


Fig. 12-b. Comparison between estimated soil moisture contents by Model-I and measured values for sandy loam.

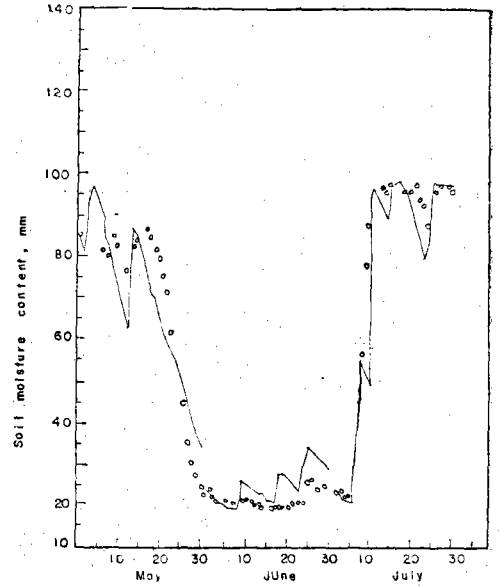


Fig. 12-c. Comparison between estimated soil moisture contents by Model-I and measured values for loamy sand.

Table 4. Comparison of 10-day mean relative errors of estimated values from the simulation model(Model-I)

Month	Soil type Ten-day	Clay	Sandy	Loamy	Remark
		loam	loam	sand	
May	First	2.82	3.93	6.28	
	Mid	3.32	6.92	10.54	
	Last	4.45	22.48	26.09	
	Mean*	3.68	13.52	16.18	
June	First	4.75	2.40	8.23	
	Mid	3.75	5.46	19.93	
	Last	3.05	7.05	25.23	
	Mean*	3.80	5.32	18.28	
July	First	13.44	15.30	13.60	
	Mid	1.59	7.98	3.40	
	Last	2.34	4.90	6.52	
	Mean*	6.35	9.73	8.32	
Sum**		13.83	28.57	42.78	
Mean		4.61	9.52	14.26	

* indicates monthly mean derived from the sum of daily relative mean errors.

** indicates the sum of monthly means.

土壤 등의 資料에 의하여 本 模型을 適用하여 1975年 5月부터 7月까지의 土壤水分含量을 算定하여 實測 値와 比較하여 본 것은 그림-12(a, b, c)과 같다.

各 推定値의 精密性을 表示하고자 每月的 觀測値와 推定値와의 誤差를 觀測値로서 나눈 百分率로 求한 것은 表-4와 같다.

表-4에 의하면 粘土質로움의 경우는 5月은 平均 3.7%, 6月은 3.8%, 7月은 6.4%로서 平均 4.6%, 砂質로움 土壤의 경우는 13.5%, 5.3%, 9.7%로서 平均 9.5%의 差異를 보였으며, 로움砂質土는 16.2%, 18.3%, 8.3%로서 平均 14.3%를 보여 주어 大體의 15% 未滿의 誤差를 나타내고 있는 것으로 보아 實用上 適用이 可能하다. Jensen⁽⁵⁷⁾은 日別 平均 誤差가 ±15%로서 推定할 때 工學的인 見地에서는 滿足할 수 있다고 提示하였고, 一般的으로 土壤水分의 測定誤差를 ±10%로 定義하고 있음을 볼 때, 模型-I의 結果는 比較的 正確한 값이었다고 본다.

한편 各 土壤別 日別 推定誤差를 살펴보면 砂質로움 土壤의 경우 5月 27日~31日頃에 18~57%의 큰 差를 보였는데 이는 測定用 라이시메터의 排水에 起因되는 것으로 관찰할 수 있었다. 6月 中旬의 境遇에는 有效降雨量에 依하여 模型의 推定値를 계산 하였는데, 約 15%程度로서 一時的인 增加를 보 이기는 하였으나, 그 以後 土壤水分含量의 上昇으로 推定値가 類似한 값으로 還元되었다. 그러나 이와 相反된 現象은 7月 8日~9日頃에 나타나서 實測値가 總 降雨量의 2倍 以上을 넘는 保水量의 增大를 보여 推定値와 相對的으로 높은 差를 나타내 주었다. 여기에서는 橫滲透로 流入된 것은 實際의 圃場이 傾斜地에서 오는 差라고 判斷 되었다.

이와 類似한 傾向은 粘土質로움과 로움砂質土에서 도 觀察되었으나, 特히 로움砂質土의 推定値의 큰 誤差는 주로 有效降雨量의 選定에서 起因되는 것으로 다른 土壤의 경우와는 差가 있었으며, 즉 推定 誤差의 累積 現象으로 볼 수가 있었다.

따라서 本 模型의 適用은 實用的으로 매우 妥當 하였음을 알 수 있었고, 模型에 依한 土壤水分含量의 推定 過程은 Feedback system을 使用하고 있어 適當한 間隔으로 土壤水分含量을 實測하여 補完하는 것이 必要하다고 思料되었다.

그러나 充分한 灌溉를 하였을 경우에는 土壤水分含量 豫測期間이 相對的으로 短縮되고, 이 때 圃場容水量으로부터 貯溜量 方程式을 適用하기 때문에 灌溉計劃의 利用으로서는 有用한 結果를 나타낼 것

이라고 判斷되었다.

4-2-2. 模型-II

土壤水分 減少曲線法에 依한 土壤水分含量의 推定 値와 實測値를 圖示하면 그림-13(a, b, c)과 같으며 表-5은 推定値와 實測値와의 差에 對한 百分率로서 旬別로 表示한 것이다.

表-5에서와 같이 推定値는 粘土質로움은 11.3%, 砂質로움의 경우 14.4%, 로움砂質土는 16.25%로서 比較的 近似한 값을 보였으나, 旬別 推定値를 살펴 볼 때 相當差를 나타낸 것을 알 수 있었는데 이것은 λ 値의 選擇에 左右될 것으로 思料되었다. 即 5月中·下旬의 경우는 各各 5~10% 程度로 近接함을 볼 수가 있었으며, 이 때에는 그림-8의 土壤水分 減少曲線을 利用한 結果로서 이에 따라서 그 精密性이 向上될 可能性을 考慮할 수 있다. 推定에서 使用할 λ 値는 土壤水分含量의 平均減少率에 依하여 算定하였는데 그 利用性은 큰 것으로, 結果的으로 土壤水分 減少曲線의 利用은 보다 長期間의 土壤水分含量의 實測資料를 利用할 必要性이 있음을 提示하는 것이다.

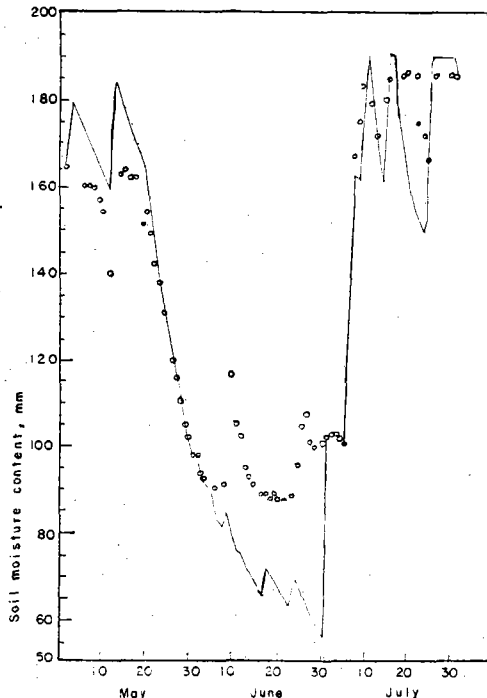


Fig. 13-a. Comparison between estimated soil moisture contents by soil moisture depletion curve method and measured values for clay loam.

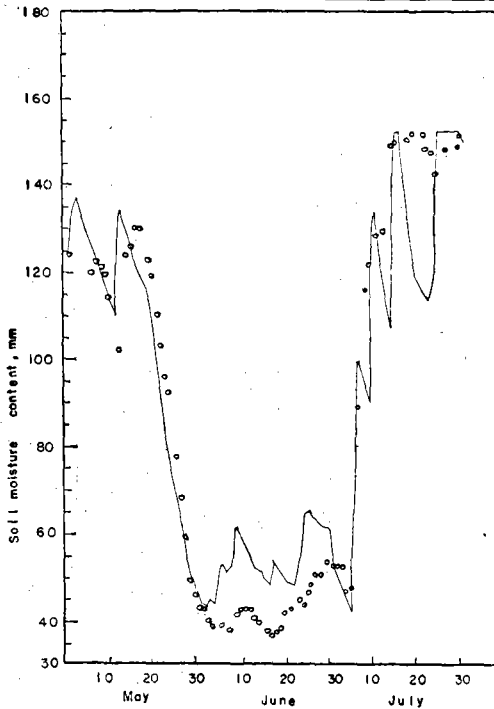


Fig. 13-b. Comparison between estimated soil moisture contents by soil moisture depletion curve method and measured values for sandy loam.

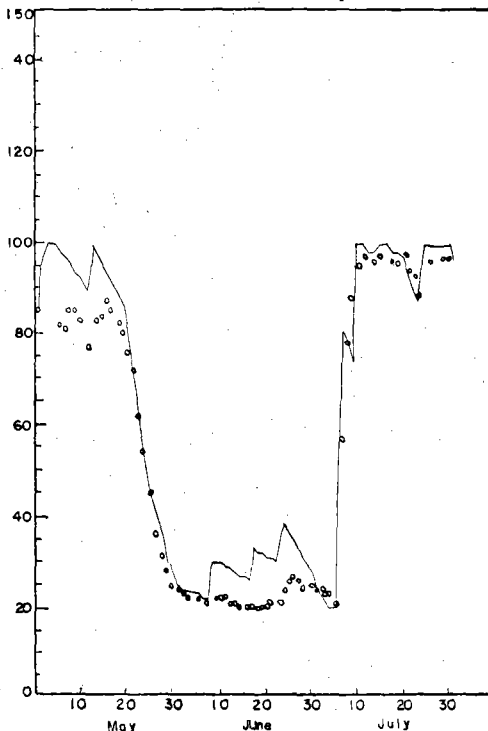


Fig. 13-c. Comparison between estimated soil moisture contents by soil moisture depletion curve method and measured values for loamy sand.

Table 5. Comparison of 10-day mean relative errors of estimated values from the soil moisture depletion curve method.

Month	Soil type Ten-day	Clay	Sandy	Loamy	Remarks
		loam	loam	sand	
May	First	5.30	1.25	12.20	
	Mid	9.14*	5.26*	11.16*	
	Last	2.59*	7.77*	5.93*	
	mean	5.29	5.72	9.16	
June	First	10.83	23.20	11.41	
	Mid	22.78	28.67	44.93	
	Last	34.35	25.31	39.68	
	Mean	23.15	26.00	33.39	
July	First	3.45	11.69	11.07	
	Mid	5.88	9.16	2.73	
	Last	7.97	12.86	3.59	
	Mean	5.56	11.35	6.20	
Sum		34.00	43.07	48.75	
Mean		11.33	14.35	16.25	

* indicates estimated values are based upon the derived soil moisture depletion curves of Fig. 8.

4-3. 妥當性檢討

以上の結果로부터 兩 모델의 妥當性を 考察해 보면 氣象, 作物 및 土壤資料의 模型은 土壤斷面의 水收支 模型에서 부터 誘導한 理論性에 根據를 갖고 있으며, 따라서 根域의 正確한 定義로부터 土壤水分含量의 消費類型을 作物의 蒸發散量에 接近시킬 수 있어 推定結果에 있어도 妥當한 값을 얻을 수가 있다.

특히 氣象 豫報資料로부터 土壤水分含量의 豫測을 할 수 있으며, 이로부터 밭 灌溉時期의 推定이 可能할 뿐만 아니라, 나아가 蒸發散資料의 廣範圍한 豫測이 導入됨으로써 農業 全般에 걸친 寄與가 可能하리라고 본다. 한편, 實測 土壤水分資料에 誘導된 土壤水分 減少曲線法은 圃場의 實測資料가 提供되어야 하고, 栽培作物을 考慮하지 않았을 뿐만 아니라, 降雨量을 除外한 氣象條件을 無視한 結果로서 使用에는 便利하지만 比較的 어려운 點이 있다. 그러나 實際 適用에 있어서 實測資料에 依한 灌溉時期의 豫測에는 利用할 수 있다고 期待되었다.

특히 David⁽¹¹⁾는 蒸發散量에 依한 模型 即 氣象, 作物 및 土壤資料에 依한 模型과 指數 函數와의 混合型을 提示하였는데, 土壤含水率에 따라서는 土壤水分減少曲線상의 適用이 有用함을 提示하여 이었

依한 灌溉計劃의 樹立의 妥當性을 提案하였다. 따라서 이 方法의 發展은 資料의 具備에 따라서 發展시킬 수 있을 것으로 考慮되나 現實的으로는 無理가 있을 것으로 判斷된다.

V. 結 論

土壤水分含量의 豫測을 위한 두가지 模型을 設定하여 實測資料와 比較 檢定한 바, 土壤水分未治量의 물收支 概念을 導入한 數學的인, 模型-I은 設定의 理論의 背景이 優秀하고 氣象 豫報資料를 利用하여 土壤水分變化를 豫測할 수 있다는 長點이 있고, 豫測值의 精密도가 매우 높아서 實用化에 適用이 可能하였다.

反面 既存 土壤水分 資料를 利用하여 誘導한 土壤水分減少曲線의 模型-II는 實用上 簡便性은 認定이 되나 長期間의 綜合的인 實測資料가 具備되어져야 하므로 現實的으로는 보다 發展的인 研究가 必要할 것이다.

田作에 있어서 보다 合理的인 물收支 配分을 통하여 適正收量을 確保하기 위하여는 計劃灌溉의 運用이 必要하며 灌溉體制의 確立으로 食糧增產에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

摘 要

本 研究는 밭 作物의 充分한 收量 確保에 必須的인 環境要因들中 調節 可能 因子의 하나인 灌溉의 時期와 量을 豫報할 수 있는 體制와 節次를 樹立하는데 必要한 土壤水分含量의 豫測 模型을 開發하고자 遂行되었다.

2種의 模型을 設定하여 이를 檢討한 결과 模型-I은 土壤斷面에서의 물收支 概念을 根幹으로한 土壤水分未治量에 關한 數學的 模型이며, 模型-II는 既存資料를 利用하는 土壤水分減少曲線의 解析에 基礎를 둔 模型이다. 模型-I의 設定에 있어서 模型構成要素가 되는 蒸發散量, 有效降雨量, 排水量等에 關한 算定方法의 論議와 既存 資料로부터 各要素들의 算定에 必要한 媒介變數들의 抽出을 試圖하였다. 模型-II는 既存의 土壤水分含量 實測 資料에 依하여 各種 條件別 土壤水分減少曲線의 方程式을 誘導함으로써 設定되었다.

設定된 模型을 利用하여 土壤水分을 豫測하고 이 資料로써 灌溉의 時期와 量을 決定하는 節次가 論議되었으며 이를 土臺로 하여 計劃灌溉 模型을 設定할 수 있었다.

實測值와 模型에 依한 豫測值와의 比較로 各 模型의 妥當性 與否가 檢討되었다.

이상의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 任意의 圃場 土壤斷面에 對한 물 收支 模型으로 土壤水分未治量 D 는 다음 式으로 나타낼 수 있었다.

$$D = \sum_{i=1}^n (Et - Re - I + Wd), D \geq 0 \dots \text{式}(2)$$

2. 諸 氣象要素를 利用한 各種 潛在蒸發散量 算定式中 pan 또는 tank에서의 蒸發量 實測值와 가장 잘 符合되는 結果를 주는 式은 水原地方의 境遇 Penman式으로서 各種 蒸發計로부터의 蒸發量과는 高度의 正相關을 나타내 주며 大型蒸發計 蒸發量과 가장 잘 符合되었다.

이 때 大型蒸發計 蒸發量 Y 와 Penman式에 의하여 算定된 潛在蒸發散量 X 와는 $Y = 0.7436X + 17.2918$ 의 回歸關係가 成立되었고 相關係數는 $r = 0.9169^{**}$ 이었다.

3. 蒸發散量의 推定式에 개입된 比例常數인 消費計數 Kc 를 作物의 特性 및 土壤特性의 函數로서 定義하였다. 즉

$$Kc = Kco \cdot Ka + Ks \dots \dots \dots \text{式}(6)$$

여기서 Kco , Ka 및 Ks 는 各各 作物係數, 土壤水分係數, 補正係數이다.

가. 作物係數 (Kco)

보리, 콩, 밀에 對한 各 生育段階別 作物係數는 作物別로 相異한 結果로 보여 주었으며 砂質 loam, 粘土質 loam 및 loam 砂質土에 對한 土壤水分係數는 Pierce型과 類似한 것이었다.

나. 補正係數 (Ks)는

$$Ks = Kc - Kco \cdot Ka \text{에서}$$

$$Kc = Kco \cdot Ka \geq 1.0 \text{ 이면 } Ks = 0 \text{ 으로 하였으며}$$

$$Kc = Kco \cdot Ka < 1.0 \text{ 이면 } Ks = 1 - Kco \cdot Ka \text{ 에}$$

依하여 推定하였다.

4. 有效降雨量 (Re)는 5mm를 最大 無效降雨量으로 하고

$$R - D \geq 0 \text{ 이면 } Re = D \dots \dots \dots \text{式}(7-a)$$

$$R - D < 0 \text{ 이면 } Re = R \dots \dots \dots \text{式}(7-b)$$

에 依하여 算定하였으며 1972年 1月 1일부터 1975年 12月 31일까지의 4個年值를 考慮하였다.

5. 排水量 (Wd)는 降雨量과 土壤水分未治量의 差로서 計算할 수 있었다. 이 때 $Wd = 0$ 이면 土壤未治量式이 그대로 成立되고 $Wd > 0$ 인 경우에는

$$D = \sum_{i=t_j}^n (Et - Re - I + Wd) \text{로 修正하여야 하며 } t_j \text{는}$$

2~3일로 하였다.

6. 土壤水分減少曲線의 季節別 作物別 및 氣象狀
態別 一般式은 $SMC = \sum(C_i \text{Exp}(-\lambda_i t_i) + R_{e_i} - \text{Exc-}$
 $\text{ess}_i)$ 로서 模型化 할 수 있었으며 實測資料에 依하
여 旬別에 다른 常數인 λ 值를 計算한 바 有意性 있
는 土壤間, 旬別間 차이를 認定할 수 없었다.

7. 灌溉의 時期 및 量은 式(12-a) 및 式(12-b,c)
式에 依해 算定할 수 있었다.

8. 以上을 結果를 綜合하여 Computer에 依하여
몇 가지 假定 밑에 計劃灌溉 模型을 完成하였으며 그
結果는 다음과 같다.

가. 潛在 蒸發散量을 推定할 때 完全한 氣象實測資
料가 있을 때는 Penman式, 氣象豫報資料가 있을 때
는 Jensen-Haise式, 그리고 氣象 豫報資料가 提供되
지 않았을 때는 式(15)을 使用하였고 이 때 常數

$a=1.27, b=2.0$ 이었다.

나. 入力資料로서의 月曆은 作物의 有效 被覆效果
의 最大值를 보이는 때를 基準으로한 作物月曆을 使
用하였다.

9. 模型의 檢定을 爲하여 1975年 5월부터 7月까
지의 各種 條件別(氣象, 作物, 土壤) 土壤水分 實測
值를 模型-I 및 模型-II에 依한 豫測值와 比較
하여 誤差를 檢討한 바, 模型-I의 境遇 各 土壤別
로 相對誤差에 若干의 差異가 있으나 旬別 豫測值
의 誤差는 月平均 4.6%~14.3%로서 15% 未滿이
었다.

模型-II에서는 역시 土壤別로 差異가 있었으나
月平均 11.3%~16.3%로서 模型-I 보다는 若干은
誤差를 보여 주었다.

引 用 文 獻

- Bahrani, Bozorg & S.A. Taylor, (1967), Influence of Soil Moisture Potential and Evaporative Demand on the Actual Evapotranspiration from an Alfalfa Field, Agron. Jour., pp.233~237.
- Baier, W. & G. W. Robertson, (1968), The Performance of Soil Moisture Estimates as Compared with the Direct Use of Climatological Data for Estimating Crop Yields, Agr. Meteorol., Canada, No.5, pp.17~31.
- Berstein, L., (1961), Tolerance of Plants to Salinity, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR 4, pp.1~12.
- Black, T.A., W.R. Gradner, & G.W. Thurtell, (1969), The Prediction of Evaporation, Drainage, and Soil Water Storage for a Bare Soil, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol.33, pp.655~660.
- Blaney, H.F. & K.V. Morin, (1942), Evaporation and Consumptive Use of Water Empirical Formulae, Trans. Amer. Geophy. Union, pp.76~83.
- _____, & W.D. Criddle, (1962), Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements, Agr. Res. Ser., USDA. Tech. Bull. No.1275, pp. 1~59.
- Bond, J.J. & W.O. Willis, (1970), Soil Water Evaporation: First Stage Drying as Influenced by Surface Residue and Evaporation Potential, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 34, pp.924~928.
- Buras, N., Nir., & D. E. Alpervits, (1973), Planning and Updating Farm Irrigation Schedules, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR1. pp.43~51.
- Burman, R.D., (1976), Intercontinental Comparison of Evaporation Estimates, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR1, pp.109~118.
- Cannell, G.H., (1962), Irrigation Efficiency as it Influences Water Requirements of Crops, ASAE. SP-SW- 0162, pp.47~56.
- Cary, J.W., (1965), Vapor Pressures of an Air-Water Interface During Evaporation, Agron. Jour., Vol. 57, pp.607~670.
- _____, & J.L. Wright, (1971), Response of Plant Water Potential to the Irrigated Environment of Southern Idaho, Agron. Jour., Vol. 63, pp. 691~695.
- 조희구, (1971), 蒸發散量의 算定과 그 問題點, 韓國水文學會誌, Vol.4, No.2.
- _____, (1972), 벼논의 蒸發散量에 關한 統計學的 研究, 韓國氣象學會誌, Vol.8, No.1.
- _____, (1974), 韓國領域의 衛道卷에서 大氣의 水平面 日射量, 韓國氣象學會誌, Vol.10, No.1, pp.29~42.
- 趙載英, 李殷雄, (1962), 作物學概論, 鄉文社, 서울, pp.35~56.
- Christiansen, J.E., (1968), Pan Evapotrans-

- piration from Climatic Data, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR2, pp. 243~265.
18. 정두호, 김현철, (1971), 오차드 그라스와 라디노크로바와 혼파 재배에 따른 용수량 및 관개 효과시험, 농공이용연구소, 농공-농토-1, pp. 21~30.
19. —, —, (1972), 당근 배추용수량 시험, 농공이용연구소, 농공-농토-2, pp.135~161.
20. —, 권순국, (1973), 딸기 용수량 시험, 농공이용연구소, 농공-농토-3, pp.58~63.
21. —, —, (1972~75), 통일벼 용수량 시험, 농공이용연구소, 농공-농토-3, pp.2~5.
22. 鄭英詳外, (1976), 野山開發地の 土壤浸蝕에 關하여, J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert., Vol. 9, No. 1, pp.9~16.
23. Corey, A.T., (1970), Introduction to Irrigation and Drainage, p.72.
24. Criddle, W.D., (1966), Empirical Methods of Predicting Evapotranspiration Using Air Temperature as the Primary Variables, Conf. Proc., ASAE. pp.54~56.
25. Dale, R.F., (1966), Evapotranspiration and Weather Forecasts for Agriculture, Conf. Proc., ASAE. pp.10~11.
26. Dale, R.F. & R.K. Shaw, (1965), The Climatology of Soil Moisture, Atmospheric Evaporative Demand, and Resulting Moisture Stress Days for Corn at Ames, Iowa, J. Appl. Met., Vol. 4, pp.661~669.
27. David, W.P. & E.A. Hiler, (1970), Predicting Irrigation Requirements of Crops, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IR3, pp.241~255.
28. Decker, W.L., (1966), Potential Evapotranspiration in Humid and Arid Climates, Conf. Proc., ASAE., pp.23~26.
29. Denmead, O.T., & R.H. Shaw, (1961), Availability of Soil Water to Plants as Affected by Soil Moisture Content and Meteorological Conditions, Agron. Jour., pp.385~390.
30. —, —, The Effects of Soil Moisture Stress at Difference Stages of Growth on the Development and Yield of Corn, Agron. Jour., Vol. pp.272~274.
31. —, —, Evapotranspiration in Relation to the Development of Corn Crop, Agron. Jour. Vol. pp.725~726.
32. Evans, N.A., (1962), Methods of Estimating Evapotranspiration of Water by Crops, ASAE, SP-SW-0162, pp.2~10.
33. Fitzgerald, P.D. & 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., Vol 9, pp.985~994.
34. Fitzpatrick, E.A., & H.A. Nix, (1969), A Model for Simulating Soil Water Regime in Alternating Fallow-Crop Systems, Agri. Meteol., Vol.6, pp.303~319.
35. Flinn, T.C., (1972), The Simulation of Crop-Irrigation Systems.
36. Fok, Yu-Si, & V.E. Hansen, (1966), One-Dimensional Infiltration into Homogeneous Soil, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR3 pp.35~47.
37. —, (1967), Infiltration Equation in Exponential Forms, J. of Irri. & Drain., Proc. of ASCE. IR4, pp.125~135.
38. Franzoy, C.E. & E.L. Tankersley, (1970), Predicting Irrigations from Climatic Data and Soil Parameters, Trans. of ASAE. Vol. No., pp.814~816.
39. Fritschen, L.J., (1966), Energy Balance Method, Conf. Proc., ASAE., pp.34~37.
40. 富士岡義一, (1973), かんがい排水學の歩み, 富士岡義一 教授論文集 編集委員會, pp.52~55, pp.272~283.
41. Goddard, W.B. & W.O. Pruitt, (1966), Mass Transfer. — Eddy Flux Method, Conf. Proc., ASAE. pp.42~44.
42. Hagan, R.M. & J.I. Stewart, (1972), Water Deficits—Irrigation Design and Programming, J. of Irri. & Drain., Proc. of ASCE., IR2, pp.215~237.
43. Hall, W.A. & W.S. Butcher, (1968), Optimal Timing of Irrigation, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IR2, pp.267~275.
44. Hammon, W.R., (1961), Estimating Potential Evapotranspiration, J. of Hydraul. Div., Proc.

- of ASCE., HY3, pp.107~120.
45. —, (1966), Evapotranspiration and Water Yield Predictions, Conf. Proc., ASAE. pp.8~9, p.13.
 46. Hanks, R.J., H.R. Gardner, & M.L. Fairburn, (1967), Evaporation of Water from Soils as Influenced by Drying with Wind or Radiation, Proc. Soil Sci. Amer. Div., S-1, Vol.31, No.5, pp.593~598.
 47. Hansen, V.E., (1966), Evapotranspiration and Water-Resources Management, Conf. Proc., pp. 12~13.
 48. 한옥동, 김현철, (1970), 목초 용수량 시험, 시험연구보고서, 농공이용연구소, pp.13~34.
 49. —, —, (1971), 오이 용수량 시험, 시험연구보고서, 농공이용연구소, pp.31~61.
 50. Hargreaves, G.H., (1968), Consumptive Use Derived from Evaporation Pan Data, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IR1, pp.97~105.
 51. Harrold, L.L., (1966), Measuring Evapotranspiration by Lysimetry, Conf. Proc., ASAE. pp. 28~33.
 52. 長谷部次郎 外, (1963), かんがい期における作物の水分消費に関する試験, 東海近畿試験場研究報告, 栽培, 第2部, 第4號, pp.23~29.
 53. Hiroshi, N, Computer-Oriented Mathematical Model Simulation Techniques for Design and Management of Drainage Systems, pp.375~392.
 54. Holmes R.M. & G.W. Robertson, (1963), Application of the Relationship between Actual and Potential Evapotranspiration in Dry Land Agriculture, Trans. ASAE., pp.65~67.
 55. Israelsen, O.W., (1952), Irrigation Principles and Practices, John Wiley & Sons, Inc., pp.284~316.
 56. Jensen, M.E., (1966), Empirical Methods or Predicting Evapotranspiration Using Radiation, Conf. Proc., ASAE., pp.49~53, p.64.
 57. —, (1966), Irrigation Water Requirements of Lawns. —A Discussion, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IR1, pp.95~100.
 58. —, (1972), Irrigation Water Requirements and Management, AE 795 AX, Colo. St. Univ. Press
 59. —, Water Consumption by Agricultural Plants, pp.1~22.
 60. Jensen, M.E. & H.R. Haise, (1963), Estimating Evapotranspiration from Solar Radiation, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR4, pp.15~41.
 61. —, D.C.N. Bobb, & C.E. Franzoy, (1970), Scheduling Irrigation Using Climate-Crop-Soil Data, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE, IR1, pp.25~38.
 62. —, J.L. Wright, & B.J. Pratt, (1971), Estimating Soil Moisture Depletion from Climate, Crop, and Soil Data, Trans. ASAE. 14(5) pp.954~959.
 63. 鴨田福也 外, (1973), 畑作物のかんがい合理化に関する研究, 東海近畿農業試験場研究報告 第25號, pp.1~12.
 64. 金子良, 丸山利輔, (1967), 鬼怒川流域における農業用水の反復利用, 農業土木試験場報告, 第5號, pp.31~47.
 65. 김현철, 정두호, (1973), 보리 용수량에 관한 시험, 농공이용연구소, 농공-농토-3, pp.43~57.
 66. 김인기 外, (1971), 水資源開發을 위한 洛東江流域의 물收支조사, 중앙관상대 연구조사부, MR-71-2.
 67. 김인기, 정윤태, 外, (1972), 수차원 개발을 위한 금강유역의 수문기상학적 연구, 중앙관상대 연구조사부, MR-72-4.
 68. 金光植, (1973), 農業氣象學通論, 富民文化社.
 69. —, 外, (1976), 新制 農業氣象學, 郷文社.
 70. King, K.M., (1966), Mass Transfer— Profile Methods, Conf. Proc., ASAE. pp.38~41.
 71. 권순국, 정두호, (1975), 맥류 용수량 시험, 농공이용연구소, 농공-농토-4, pp.105~128.
 72. Langley, M.N., (1966), Evapotranspiration and Irrigation Project Planning and Management, Conf. Proc., ASAE. pp.6~7, p.16.
 73. Lemon, E.M., (1966), Plant Factors and Transpiration: The Plant Community, Conf. Proc., pp.17~21, p.26.
 74. Linacre, E.T., (1967), Climate and Evaporation from Crops, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. ASCE., IR4, pp.61~79.
 75. —, (1969) Climate and Evaporation from Crops—A Discussion, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR2, pp.348~352.
 76. Lowry, W.P., (1959), The Falling Rate Phase of Evaporative Soil-Moisture-Loss— A Critical

- Evaluation, Bulletin of American Meteorological Society, pp.605~608.
77. Makkink, G.P., (1957). Testing the Penman Formula by Means of Lysimeters, I.W.E., pp. 277~288.
78. 関丙燮 外 (1972), 農業水利學, 郷文社, 서울, pp.93~122.
79. 민정덕 (1974), 한국의 중발산 climateology, 한국기상학회지, 제10권 1호, pp.19~27.
80. 水保勳外, 暗キヨ流出解析へのユニットグラフ法の適用と暗キヨ流出量の長期變動の推定, 農業土木學會論文集, Vol. 38.
81. Molz, Fred J., (1972), Simulation of Post-Irrigation Moisture Movement, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IR4, pp.523~533.
82. Moore, C.V., (1961), A Genral Analytical Framework for Estimating the Production Function for Crops Using Irrigation Water, pp.876~889.
83. 内藤文男 外, (1973), 蒸發散比の應用にする畑地かんがいの合理化に關する研究, 東海近景農業試驗場 研究報告, 第25號, pp.13~47.
84. Nix, H.A. & E.A. Fitzpatrick, (1969), An Index of Crop Water Stress Related to Wheat and Grain Sorghum Yields, Agri. Mete. Vol. 6, pp.321~337.
85. Noffsinger, T.L., (1966), Solar Radiation—Adequacy of Present USA and World Networks, Conf. Proc., ASAE. pp.62~64.
86. 農林部, (1972), 農業用水開發 必要水量基準, pp.4~13.
87. 嚴泰營, 洪鍾麗, (1976), Hargreaves式에 依한 必要水量 算定에 關한 小考, 韓國農工學會誌, Vol.18, No.3, pp.33~43. p. 88. (1973~1975),
89. 오재섭, (1973~1975), 토양수분 장기에보 체 제 확립에 관한 시험, 시험연구보고, 식물환경연구소.
89. 朴成宇 外譯, (1969), 水文學, 國民出版社, 서울, pp.98~133.
90. Penman, H.L., (1948), Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. pp.120~245.
91. Pierce, L.T., (1958), Estimating Seasonal and Short-Term Fluctuations in Evapotranspiration from Meadow Crops. Bull. Amer. Mete. Soc., Vol.39, No.2, pp.73~78.
92. —, (1960), A Practical Method of Determining Evapotranspiration from Temperature and Rainfall, Trans. of ASAE. Vol. No. pp.77~81.
93. Power, J.F. & D.D. Evans, (1962), Influence of Soil Factors on the Water Requirements of Crops ASAE., SP-SW-0162, pp.40~46.
94. Prescott, J.A., A Climatic Index for the Leaching Factors in Soil Formation, J. of Soil Sci., Vol, pp.9~19.
95. Pruitt, W.O., (1960), Relation of Consumptive Use of Water to Climate, Trans. ASAE., Vol. 3, pp.9~13, p.17.
96. —, (1962), Weather Factors that Influence Water Requirements of Crops, ASAE. SP-SW-0162, pp.24~39.
97. —, (1966), Empirical Method of Estimating Evapotranspiration Using Primarily Evaporation Pans, Conf. Proc., ASAE, pp.57~61.
98. Richard, D.S., (1957), A Comparison Between Measured and Calculated Soil Deficit, N.J. of Science & Technology, pp.48~70.
99. Rosenberg, N.J., H.E. Hart, & K.W. Brown, (1968), Evapotranspiration—Review of Research, Univ. of Nebraska, pp.5~78.
100. 劉漢烈, 高在君, (1969), 田作物의 灌溉法에 關한 比較研究(I), 韓國農工學會誌, Vol. 11. No.1.
101. Sastry, G. & S.C. Agarwal, (1972), Prediction of Irrigation Advance Fuction by Dimensional Analysis, J. of Irri. and Drain. Div., Proc. of ASCE., IR2, pp.247~253.
102. 식물환경 연구소, (1967), 농사시험 연구보고, 제10집, 3권 pp.1~7.
103. 신재성, (1973), 토양수분 보존에 관한 시험, 시험연구보고, 식물환경 연구소.
104. 慎鏞華, 黃桂善, (1976), 水原地方의 蒸發散量分析, J. Ror. Soc. Soil. Sci. Fert. Vol.9, No. 1, pp.47~55.
105. Shockley, D.C., (1966), Evapotranspiration and Farm Irrigation Planning and Management, Conf. Proc. ASAE. pp.3~5.
106. Smith, D.V., (1973), System Analysis and Irrigation Planning, J. of Irri. and Drain. Div.,

- Proc., of ASAE. IR1, pp.89~107.
107. Smith, R.E. & H.A. Schreiber, (1973), Poin Processes of Seasonal Thunderstorm Rainfall—
1. Distribution of Rainfall Events, Water Resources Res., Vol.9 No.4, pp.871~873.
108. Stanhill, G., The Accuracy of Meteorological Estimates of Evapotranspiration in Arid Climates, pp.477~482.
109. —, (1961), A Comparison of Methods of Calculating Potential Evapotranspiration from Climatic Data, Agric. Res. 11: (3~4), Israel, pp.159~171.
110. Stewart, J.I. & R.M. Hagan. (1973), Functions to Predict Effects of Crop Water Deficits, J. of Irri. Drain. Div., Proc. of ASCE. IR4, pp.421~439.
111. —, —, & W.O. Pruitt, (1974), Functions to Predict Optimal Irrigation Programs, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IR2, pp. 179~199.
112. Tanner, C.B., (1960), Energy Balance Approach to Evapotranspiration from Crops, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol.24 No.1, pp.1~9.
113. —, (1966), Comparison of Energy Balance and Mass Transport Methods for Measuring Evaporation, Conf. Proc., ASAE., pp.45~48.
114. —, & W.L. Pelton, (1960), Potential Evapotranspiration Estimates by the Approximate Energy Balance Estimate Method of Penman, J. of Geophy. Res., Vol.65 No.10, pp. 3391~3413.
115. —, & Muchs, (1968), Evaporation from Unsaturated Surfaces; A Generalized Combination Methods, J. of Geophy. Res., Vol.73, No.4, pp.1299~1304.
116. Taylor, S.A., (1962), Estimating Future Water Requirements of Crops, ASAE., SP-SW-0162, pp.11~23.
117. Turc, L., (1961), Evaluation des Besoins en eau D'irrigation, Evapotranspiration Potentielle, Ann. Agron. 12(1), pp.13~49.
118. Vaadia, Y., F.C. Raney, & R.M.Hagan. (1960), Plant Water Deficits and Physiological Processes, pp.265~292.
119. van Bavel, C.H.M., (1966), Potential Evaporation: The Combination Concept and Its Experimental Verification, Water Resour. Res. Vol.2 No.3, pp.455~467.
120. van Staveren, J.M., (1973), Drainage Principles and Application, III. Surveys and Investigations, Intl. Inst. for Land Reclamation, Pub. No.16, Vol.3, pp.53~111.
121. Varlev, I, (1976), Evaluation of Nonuniformity in Irrigation and Yield, J. of Irri. & Drain. Div., Proc., of ASCE., IR1, pp.149~164.
122. Wilcox, L.V., & W.F. Resch, (1963), Salt Balance and Leaching Requirement in Irrigated Lands, Agri. Res. Serv., USDA. Tech. Bull., No.1290, pp.1~23.
123. Windsor, J.S. & Ven T. Chow, (1971), Model for Farm Irrigation in Humid Areas, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IR3, pp.369~385.
124. Wisler, E.H., (1965), Irrigation Planning Using Climatological Data, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE., IR4, pp.1~11.
125. Woolley, J.T., (1966), Plant Factors and Transpiration— The Individual Leaf, Conf. Proc., pp.14~16.
126. Wright, J.L., (1967), Micrometeorological Methods as Tools for Increasing Crop Production and Water-Use Efficiency, Proc. 18th Annual Fertilizer Conf. of Pac. Northwest, Twin Falls, Idaho.
127. Wu, I-pai & Tung Liang, (1972), Optimal Irrigation Quantity and Frequency, J. of Irri. & Drain. Div., Proc. of ASCE. IR1, pp.117~133.
128. 山崎不二夫, 農地工學, 東京大學出版會 pp.399~424
129. 山崎不二夫, 長谷川新一, (1972), 畑地かんがい, 農山漁村文化協會, pp.33~78.
130. 柳能恒, 閔丙燮, (1974), 밭에서의 土壤水分消費機構에 관한 研究, 韓國農工學會誌, Vol.16, No.4.
131. 尹龍男, (1976), 水文學, 請文閣, 서울, pp. 60~84.