

밭 작물의最適灌溉水準과 計劃用水量 算定

The Optimum Irrigation Level and the Project Water Requirement for Upland Crops

尹 學 基* · 鄭 相 玉** · 徐 承 德**
Yoon, Hak Ki · Chung, Sang Ok · Suh, Seung Duk

Summary

This study was carried out to get the basic information of irrigation plans for upland crops such as the optimum irrigation level and the project water requirement. Red peppers and cucumbers were cultivated in PVC pot lysimeters filled with 60cm deep clay loam soil. Four tensiometers were installed in each pot to measure the soil water pressure head. Six levels of irrigation were used.

The results obtained from this study are summarized as follows :

1. The optimum irrigation level.

The irrigation level of FC-PF2.7 was found to be the optimum level for both red pepper and cucumber with respect to the yield and the weight per fruit. In case of FC-PF2.7, total ET during the irrigation period were 1005.2mm for red pepper, and 429.6mm for cucumber, respectively.

2. soil moisture extraction patterns.

Average soil moisture extraction patterns (SMEP) during the irrigation period were from 1st soil layer 43% : 32% : 16% : 9% for red pepper and 39% : 34% : 15% : 12% for cucumber, respectively. The extraction ratio of the upper soils showed very large values during the early stage of growth and decreased largely during the middle stage, and became larger in the last stage.

3. The project water requirement.

Among the reference crop evapotranspiration(ET_o) computation methods presented by FAO, the Penman method was found to be the best. The effective rainfall was computed by a modified USDA-SCS curve number equation. Availability ratios of the total rainfall during irrigation season were 59.2% for red pepper and 48.9% for cucumber, respectively. Net project water requirement of design year are 837.3mm for red pepper, and 502.5mm for cucumber, respectively.

* 密陽農蚕專門大學

** 慶北大學校 農科大學

키워드: 灌溉水準, 計劃用水量, 蒸發散量, 計劃基準年, 作物係數, Lysimeter, Tensiometer, 土壤水分消費型.

4. Design irrigation interval and maximum water quantity per irrigation.

It was found that design irrigation intervals are 2 days for red pepper and 3 days for cucumber, respectively. Maximum water quantity per irrigation were 37.4mm for red pepper and 36.3mm for cucumber, respectively.

I. 緒 論

우리나라는 近來에 産業이 發達하고 經濟가 發展함에 따라 宅地 및 工團造成 등으로 많은 農土가 蚕食되어 가고 있다. 統計¹⁷⁾에 의하면 우리나라의 밭面積은 1977년의 92萬8千ha에서 87년에는 79萬2千ha로 줄어 10年間に 무려 15% 程度의 減少현상을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이에 반해 所得水準의 向上으로 食生活이 漸次 高級化됨에 따라 菜蔬等 밭작물의 需要가 크게 늘어나고 있다. 따라서 밭작물의 安定的 生産 및 生産性を 向上시키기 위한 灌溉計劃은 대단히 重要하다고 하겠다.

한편, 물消費量에 있어서는 Hoiy²⁵⁾는 2000년대까지 世界的으로 年間 3.1%의 물消費增加를 豫測하였고 國土開發研究院¹⁾에 따르면 全國의 總用水需要는 1985년의 247億 m³에서 91년에는 318億 m³으로 約29% 增加하고, 그중 農業用水는 116億 m³에서 135億 m³으로 約 17% 增加할 것으로 展望하고 있다. 따라서 農業用水도 豊富하게 使用할 수 있는 狀況이 아니기 때문에 물의 適切한 使用·管理問題도 앞으로 深刻하게 考慮되어야 할 것으로 判斷된다.

本 研究의 主要 目的은 첫째, 밭작물에 관한 灌溉水準別 蒸發散量, 生長 및 收穫量을 調査·分析하여 最適灌溉水準을 究明하고 둘째, 灌溉計劃을 위하여 計劃基準年을 정해 여기에 대한 消費水量과 有效雨量의 推定方法을 研究·檢討하여 計劃用水量을 算定하고 計劃灌溉基準을 設定하는데 있다.

本 研究는 尹 等¹²⁾의 “灌溉水準이 고추의 收穫量 및 消費水量에 미치는 影響”의 繼續研究이다.

II. 研究 史

美國에서의 消費水量 研究는 1887年 農業試驗所가 設立됨과 더불어 始作되어 Mead²⁶⁾, Buf-fam²¹⁾ 등이 作物에 供給되는 水量을 測定한 바 있고, 1910年頃까지는 耕地供給水量을 測定하는 程度였다. 그後 20年程度는 季節用水量을 測定하기 위한 廣範圍한 試驗圃 및 現場 研究가 이루어졌다. 그 다음 20年間은 季節用水量의 推定方法에 重點을 두어 Penman²⁸⁾ Budyko²⁰⁾ 등이 水面蒸發量 推定에 適用되어 오던 에너지 平衡 概念을 作物이 자라는 地面에 適用시켰다. Thornthwaite 等³³⁾은 大氣中の 水蒸氣 濃度差와 風速變動을 考慮하여 作物의 蒸發散量(ET)를 구한 바 있다. 1960年代에 들어와 現代的인 電子裝備가 登場하면서 아주 短期間에 對한 蒸發量과 蒸散量의 測定이 이루어지기 始作했다.

70年代에 들어와서 FAO는 基準作物蒸發散量(ET₀)의 公式 4가지 [①Penman method, ②Blaney-Criddle method, ③Radiation method, ④Pan method]를 提示하여²³⁾ 여기에 作物係數(Kc)를 곱해 作物의 ET를 구하도록 하였고, 그以後 이 公式은 Doorenbos 等²³⁾, Frevert et al.²⁴⁾ 等に 의해 계속 研究·補完되어 왔다.

80年代에 들어와서 Shih³⁰⁾는 여러가지 氣象要素를 使用하여 ET를 算定해 그中 氣溫과 日射量이 가장 重要한 要素라고 報告했으며 Allen¹⁹⁾은 實測ET와 10가지의 變形 Penman式으로 算定한 ET들을 서로 比較하여 Penman-Monteith method가 가장 誤差가 적었다고 報告했다.

韓國에서는 農工利用研究所⁹⁾가 5年間に 걸쳐 밭작물의 用水量試驗을 實施하였다. 任¹³⁾은 오이의 全生育期間中の ET는 471 mm라고 發表했

Table-1. Test crops and outline of cultivation.

Crop	Species	Date of seeding	Transplantation density	Beginning date of observation	Period of harvest	Remark
Red pepper	Chuktoma	Feb. 15, 1988	2 plants/pot	June 6, 1988	Aug. 1~ Oct. 31	Seeding in greenhouse
Cucumber	Baekdda-dagi	Apr. 21, 1988	2 plants/pot	June 6, 1988	July 8~ Aug. 31	

으며 金 等^{3,4,6,7)}은 4年間に 걸쳐 밭작물의 消費 水量을 測定·報告한 바 있다.

最近에는 金 等⁸⁾이 토마토와 가을배추의 適 正灌溉點을 PF 2.6~2.7로 推定하고 葉面積과 ET의 關係를 發表했다. 또 金 等²⁾은 補正 Penman 式을 使用하여 ET₀를 算定하는 것이 가장 바람직하다고 하였고, 여름오이의 日平均消費 水量은 5.68 mm라고 보고하였다.

現在는 鄭 等^{14,15,16)}이 밭작物消費水量 算定方 法을 定立하여 綜合的인 計劃樹立 方法을 提示 하기 위한 研究를 進行中에 있다.

III. 材料 및 方法

1. 試驗材料

本 試驗은 慶北大學校 農科大學 試驗圃場에서 遂行되었고 供試作物 및 栽培概要는 Table-1과 같으며 栽培管理 및 施肥는 營農 指導書^{11,18)}에 따랐다. 使用한 土壤에 관하여는 尹 等¹²⁾에 仔細히 紹介하였으며 三角分類法³⁶⁾에 의한 土性은 埴壤土 (CL) 이었다. 氣象資料는 試驗圃場에서 약 700m 距離에 있는 大邱測候所에서 1948年 以後의 資料를 收集·使用하였다.

2. 試驗方法

本 試驗에서 使用한 라이시미터는 尹 等¹²⁾에 紹介한 바와 같고 試驗區配置는 Fig. 1과 같다. 使用한 灌溉水準은 ①좁은 範圍의 一定含水量을 維持시키는 方法(處理 I)으로 PF 1.8~2.0 (處理 I-A), PF2.2~2.4 (處理 I-B) 및 PF 2.8~3.0 (處

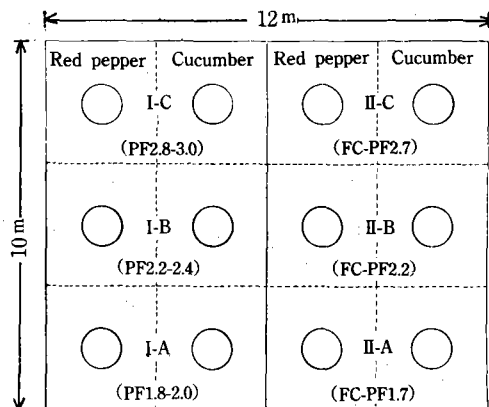


Fig. 1. Layout of the field experimental plots.

理 I-C) 의 3個水準과 ②어느 灌溉點에서 圃場 容水量(FC)으로 還元시키는 方法(處理 II) 으로 FC (PF 1.5)~PF 1.7 (處理 II-A), FC~PF 2.2 (處理 II-B) 및 FC~PF 2.7 (處理 II-C) 의 3個 水準으로 하였다.

灌溉量 計算은 生育初期에는 上部 2個層까지로 하였다. 그러나 有效土層이 漸次 깊어지는 것을 勘案하여 고추는 8月1일부터 오이는 7月1일부터 3個層까지로 하였다.

日蒸發散量 算定 및 試驗方法에 관한 其他 사항은 尹 等¹²⁾에 紹介한바와 같으며 Fig. 2는 tensiometer를 使用하여 土壤水分張力을 測定하는 光景이다.

한편 生育 및 收穫量 調査에 관하여는 尹 等¹²⁾에 言及한 외에도 葉面積을 測定하여 이를 pot內 地表面積으로 나누어 葉面積指數(Leaf area index : LAI)를 구했다.

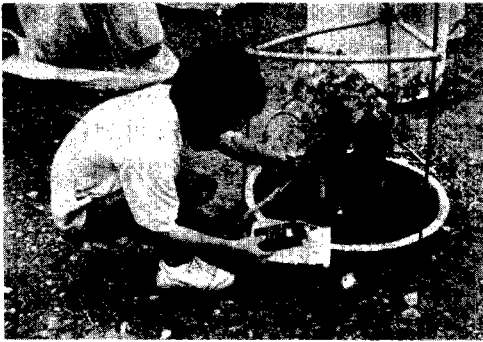


Fig. 2. Photo of soil water tension measurement.

3. 分析方法

가. 最適灌溉水準 決定

各作物別 最適灌溉水準은 收穫量이 가장 많고 同時에 열매 個當重量이 커서 商品價値가 가장 높은 灌溉水準으로 決定했다.

나. 土壤水分消費形態

土壤水分消費型은 最適灌溉水準에 對해 生育期別 土壤水分消費型과, 灌溉直後로부터 다음 灌溉時까지의 期間을 三等分했을때 各 等分 期間의 土壤水分消費型을 調査하여 土壤含水狀態에 따른 消費型의 變化를 分析하였다.

다. 計劃用水量 算定

計劃純用水量은 計劃基準年의 蒸發散量에서 計劃基準年의 有效雨量을 減하여 算定하였을며⁹⁾ 計劃基準年의 決定과 計劃基準年의 蒸發散量 및 有效雨量의 算定方法은 다음과 같다.

計劃基準年^{5,10)}은 大邱地方의 1948~82年의 35年間의 各作物의 栽培期間(고추 6~10月, 오이 6~8月) 中の 降雨資料를 頻度係數法으로 分析하여 再現期間 5年, 10年 및 20年에 對한 確率 降雨量을 구하고 再現期間 10年의 確率降雨量과 實際 降雨量이 가장 近似한 해를 計劃基準年으로 定하였다.

計劃基準年의 蒸發散量(ETd) 算定은 먼저 作物의 栽培試驗에서 實際 蒸發散量(ETa)을 各期別로 구하고 同時에 栽培年의 基準作物蒸發

散量(ETo)^{5,23,24)}을 各期別로 FAO 推薦公式에 의해 計算해서 各期別 作物係數(Kc=ETa/ETo)를 구한다. 다음 計劃基準年의 期別 ETo를 구하여 여기에 期別 Kc를 곱해 各期別 ETd를 구해 合算해서 總ETd를 구한다. FAO 推薦公式中 pan method는 使用하지 않았고 추가로 Ep와 蒸發散比(ETr)을 利用하는 蒸發散比法을 使用하였다.¹⁰⁾

計劃基準年의 有效雨量 算定은 USDA-SCS³²⁾의 直接流出量公式을 有效雨量公式으로 바꾸어 使用하였다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe} \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서 F : 流出이 始作된 後 땅속으로 浸透되는 量(mm)
- S : 流出이 始作된 後의 흙의 最大可能貯留量(mm)
- Q : 直接流出量(mm)
- Pe 流出이 始作된 後의 累加雨量(mm)

公式에서 Q=Pe-F가 되므로 이를 式(1)에 代入하면,

$$F = \frac{Pe \cdot S}{Pe + S} \dots\dots\dots (2)$$

初期浸透量 Ia=0.2 S이므로 Pe=P-Ia=P-0.2 S이며 總浸透量은

$$I = 0.2 S + F = 0.2 S + \frac{(P - 0.2 S) S}{P + 0.8 S} = \frac{1.2 PS - 0.04 S^2}{P + 0.8 S} \dots\dots\dots (3)$$

(단 P ≤ 0.2 S일때는 I=P)

또 最大可能貯留量 S는 다음 式으로 表示된다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \dots\dots\dots (4)$$

여기서 CN : 흙의 種類, 土地利用狀態, 흙의 初期含水狀態에 따라 변하는 curve number

따라서 有效雨量을 算定하고자 할 때에는 初期含水狀態가 普通일때의 CN값을 흙의 種類와 土地利用狀態에 따라 SCS의 表에서 구한 다음 灌溉直後의 土壤含水狀態에서 CN의 最大值를, 灌溉直前의 含水狀態에서 CN의 最小值를 역시 SCS의 表에서 정한다. 다음 이 最大值와 最小值 사이를 適當히 等分하여 等分된 各 區間의 中央에서의 CN값을 정하여 各 區間에서 降雨가 있을 때의 浸透量 I를 구할 수 있다. 이렇게 구한 I값이 그 區間에서의 有效土層의 土壤水分未治量을 초과할 때에는 超過值는 浸漏될 量이므로 除外해야 하며 이때 土壤水分未治量은 灌溉直後로부터 各 區間까지의 水分消費量의 累加量이므로 이를 分析하여 使用한다. 그 다음 어떤 量의 降雨가 N等分된 어느 한區間에 내릴 確率은 1/N이므로 各 區間마다의 I값을 1/N하여 합하면 該當 降雨量에 의한 有效雨量이 될 것이다.*

라. 計劃灌溉基準 設定

灌溉水準別 間斷日數 및 1回灌溉量은 月別 및 全期間平均量을 計算하여 그 變化를 알아 보았

다. 計劃基準年에 對하여는 各 作物別로 最適이라고 判斷되는 灌溉水準에 對해 peak期의 總迅速有效水分量(TRAM)을 구하고 이를 計劃基準年의 最大日消費水量으로 나누어 計劃間斷日數 및 最大1回灌溉量을 算定하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 最適灌溉水準

고추의 最適灌溉水準은 尹 等¹²⁾에서 言及한 바 FC ~PF2.7이었다.

오이의 灌溉水準別 蒸發散量, 生育狀態 및 收穫量에 따른 最適灌溉水準을 分析한 結果는 다음과 같다.

가. 灌溉水量 및 蒸發散量

오이의 生育期別 日蒸發散量 및 總灌溉水量, 灌溉效率는 Table-2와 같다. 平均日蒸發散量의 크기 順序는 큰 것부터 PF 1.8~2.0, FC~PF1.7, FC~PF 2.7, FC~PF 2.2, PF 2.2~2.4, PF 2.8~3.0으로 나타났다. 한편 處理 I과 II모두 灌溉水準別로 土壤水分의 平均PF값이 클수록 總灌溉水量은 적었고 灌溉效率는 높았다.

Table-2. Mean daily ETa of each 10-day period of a month for cucumber. (unit : mm/day)

Irri. level		Treatment - I			Treatment - II		
		A(PF1.8-2.0)	B(PF2.2-2.4)	C(PF2.8-3.0)	A(FC-PF1.7)	B(FC-PF2.2)	C(FC-PF2.7)
June	F*	3.70	2.81	2.70	3.70	3.38	3.11
	M	4.06	3.31	1.89	4.18	3.63	2.37
	L	3.20	2.35	1.39	3.39	2.65	1.84
July	F	8.38	6.55	4.22	6.48	5.59	4.88
	M	5.12	3.67	2.24	3.84	3.11	3.93
	L	6.82	5.20	3.10	5.88	4.97	6.52
Aug.	F	10.33	8.03	4.93	9.62	8.67	10.13
	M	5.72	4.44	2.69	5.23	4.77	5.26
	L	6.78	5.29	3.10	6.32	5.70	5.29
Mean		6.16	4.75	2.93	5.52	4.81	4.94
Total(mm)		536.2	413.0	255.2	480.0	418.5	429.6
Total irri. qt.(mm)		558.7	419.5	255.7	673.7	540.3	486.2
Irri. efficiency(%)		96.0	98.4	99.8	71.2	77.5	88.4

*F(M, L) : The first (middle, last) 10-day period of a month.

나. 生育狀態 및 收穫量

오이의 灌漑水準別 草長은 Table-3과 같고 추와 오이의 LAI는 Table-4와 같다. 草長과 LAI의 크기 順序도 蒸發散量의 크기 順序와 비슷한 樣相을 보였다.

오이의 灌漑水準別 平均日蒸發散量과 株當收穫量 및 열매個當重量의 關係는 Table-5와 같다. 收穫量 및 個當重量의 크기 順序는 LAI의 그것과 近似하였다.

다. 最適灌漑水準

오이에 있어서 收穫量 및 個當重量의 順序는 良好한 것부터 FC~PF 2.7, FC~PF 1.7, PF 1.8~2.0, FC~PF 2.2, PF 2.2~2.4, PF 2.8~3.0 이었다. 따라서 이번 시험에서 使用한 灌漑水準中에서는 FC~PF 2.7이 生育, 물 消費 및 收穫量 등을 綜合해서 볼 때 가장 良好하여 最適灌漑水準으로 判斷되었다.

最適水準으로 判斷된 FC~PF 2.7의 蒸發散量에 대해 살펴보면 다음과 같다. 生育期間中의 總蒸發散量은 429.6 mm(Ep의 1.09倍)이고 平均日蒸發散量은 4.94 mm/day이었다. 蒸發散이 가장 큰 8月 上旬에는 10.13 mm/day이었으며 日

Table-3. Stem length of cucumber with respect to irrigation levels. (unit : cm)

Date	Treatment - I			Treatment - II		
	A	B	C	A	B	C
	PF1.8-2.0	PF2.2-2.4	PF2.8-3.0	FC-1.7	PF2.2	PF2.7
June 6	10	9	10	9	9	11
June 26	48	42	35	48	30	20
July 16	202	182	160	172	147	163
Aug. 19	364	320	258	360	320	344
Sep. 3	396	342	274	387	350	374

Table-4. Leaf area index with respect to irrigation levels.

Date	Red pepper						Cucumber					
	Treatment-I			Treatment-II			Treatment-I			Treatment-II		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	PF1.8-2.0	PF2.2-2.4	PF2.8-3.0	FC-PF1.7	FC-PF2.2	FC-PF2.7	PF1.8-2.0	PF2.2-2.4	PF2.8-3.0	FC-PF1.7	FC-PF2.2	FC-PF2.7
June 26	0.20	0.19	0.21	0.20	0.35	0.60	0.72	0.29	0.37	0.56	0.35	0.19
July 16	0.86	0.69	0.49	0.75	1.62	3.33	3.03	1.72	1.55	1.92	1.55	2.65
July 26	-	-	-	-	-	-	3.91	2.65	2.03	3.17	2.80	4.15
Aug. 6	2.02	1.56	0.86	1.78	3.37	6.09	3.31	2.25	1.84	3.03	2.76	3.72
Aug.26	4.21	3.75	2.08	4.31	6.74	8.58	-	-	-	-	-	-
Sep.15	3.85	3.69	1.92	4.23	6.35	8.08	-	-	-	-	-	-

Table-5. Mean ETa, mean yield per plant and mean weight per fruit of cucumber with respect to irrigation levels.

Irri. level		Mean ETa (mm/day)	Mean yield per plant(g)	Mean weight per fruit(g)
Treatment-I	A(PF1.8-2.0)	6.16	1561	173
	B(PF2.2-2.4)	4.75	1162	166
	C(PF2.8-3.0)	2.93	718	160
Treatment-II	A(FC-PF1.7)	5.52	1565	174
	B(FC-PF2.2)	4.81	1525	169
	C(FC-PF2.7)	4.94	1585	198

蒸發散量의 最大值는 7月 29日의 16.4mm/day이 었다.

한편, 川西³⁵⁾의 生育期間中 平均灌溉量 5mm/day와 本 試驗의 4.94 mm/day는 近似한 값을 보였다. 또, 金 등⁷⁾이 壤土에서 FC~PF 2.7의 灌溉水準을 使用했을 때 總消費水量이 439.3 mm라 한것과 比較해도 本 試驗에서는 429.6 mm로 비슷했다. 그러나 農工利用研究所⁹⁾의 470.7 mm에 比較하면 적은 값이었다. 또 內藤³⁴⁾의 Ep의 1.3~1.5배에 比해서도 本 試驗에서는 1.09倍로 적은 값을 보였다. 이러한 差異는 地域이나 氣象環境의 差異, 土壤 및 栽培條件의 相異 등이 그 原因으로 判斷된다.

2. 土壤水分消費形態

가. 生育期別 土壤水分消費形態

各 作物의 最適灌溉水準으로 判斷된 FC~PF 2.7의 月別 土壤水分消費型(SMEP)은 Table-6과 같다. 여기서 各 層은 60 cm깊이를 4個의 均等한 土層으로 나누어 地表面으로부터 第1層으로 하였다. 全生育期間 동안의 平均土壤水分消費型은 第1層으로부터 고추, 오이 各各 43 : 32 : 16 : 9 및 39 : 34 : 15 : 12로서 Shockly³¹⁾나 Molz 等²⁷⁾

이 發表한 40 : 30 : 20 : 10과 類似한 結果를 보였다. 또 鄭 等¹⁵⁾은 高추의 SMEP가 50 : 30 : 15 : 5라고 發表한 바 있다.

SMEP를 生育段階別로 즉 生育初期와 最大 Kc가 나타난 時期 및 栽培 마지막 달로 나누어 살펴보면 다음과 같다. 生育初期에는 1~2層의 比率이 83~90%로 아주 높았으나 生育旺盛期에는 61~63%로 낮아졌다가 末期에는 다시 75~80%로 상당히 높아지고 있다. 이는 初期에는 根群域이 깊지 않고 또 土壤面蒸發의 比率이 커서 大部分이 上層部에서 消費되었으나 뿌리의

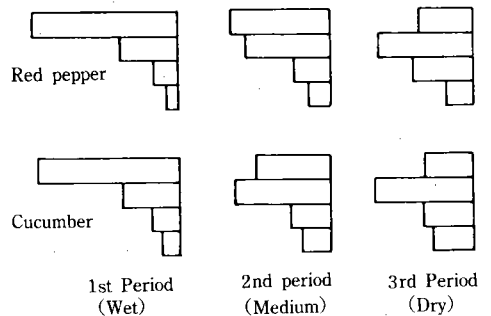


Fig. 3. Average SMEP when irrigation intervals are divided into 3 equal periods.

Table-6. Soil moisture extraction pattern (FC-PF 2.7).

Crop	Month	SMEP (%)			
		1st layer	2nd layer	3rd layer	4th layer
Red pepper	June	52	38	6	4
	July	43	29	15	13
	Aug.	37	25	23	15
	(Aug-L)*	(33)	(28)	(24)	(15)
	Sep.	37	30	20	13
	Oct.	48	32	16	4
	Mean	43	32	16	9
Cucumber	June	47	36	10	7
	July	34	31	19	16
	(July-L)*	(32)	(31)	(19)	(18)
	Aug.	42	33	15	10
	Mean	39	34	15	12

*The 10-day period which has the largest Kc.

成長과 더불어 차츰 下層部の 水分消費가 顯著하게 增加했다가 生育末期에 蒸散作用이 衰退해져 土壤面蒸發의 比率이 커지면서 初期와 비슷한 形態로 上層部の 水分消費比率이 增加한 것으로 判斷된다.

나. 土壤含水狀態에 따른 土壤水分消費形態
土壤의 含水量 程度에 따른 SMEP의 變化를 알아보기 위해 最適灌溉水準인 FC~PF 2.7에 대해 全生育期間에 걸쳐 間斷期間을 3等分하여 各 區間的 SMEP를 分析하여 平均한 結果는 Fig. 3과 같다. 灌溉後 처음에는 土壤面蒸發이 크고 뿌리密度가 큰 上層部の 水分이 集中的으로 消費되지만 上層部の 含水量이 적어지면서 차츰 下層部の 消費比率이 늘어나게 됨을 알 수 있다. 이는 鄭等¹⁵⁾이 알팔파에 관해 調査했던 結果와 一致하였다.

3. 計劃用水量 算定

計劃用水量은 最適灌溉水準이라고 判斷된 FC~PF 2.7에 대하여 算定하였다.

가. 計劃基準年

計劃基準年은 III, 3, 다項의 方法으로 分析하여 決定하였다.

우선 35年間的 各 作物의 栽培期間中の 總雨量的 分布狀態를 알기 위해 正規確率紙에 plot해 본 結果 모두 標準正規分布를 보여 標準正規分布時의 頻度係數法 公式를 使用하여 再現期間 5年, 10年 및 20年の 確率降雨量과 이에 가장 近似한 實際 降雨量을 가진 해를 구한 結果는

Table-7과 같다.

再現期間 10年(10年頻度 旱魃年)의 降雨量과 가장 近似한 해를 計劃基準年으로 定했을 때 고추에 대해서는 1976年, 오이에 대해서는 1973年에 해당되었다.

나. 計劃基準年의 蒸發散量

III, 3, 다項의 方法으로 ETd를 구한 結果는 다음과 같다.

1) 基準作物蒸發散量과 作物係數

ETo와 Kc 및 ETr은 Table-8과 같았다. 各 方法으로 計算한 세가지의 ETo중에서는 Penman method의 ETo가 가장 크고 radiation method의 ETo가 가장 작았다. 反對로 세가지 Kc中에서는 Penman Kc가 가장 작고 radiation Kc가 가장 컸다. ETr은 세가지 Kc값보다 작았다.

이를 生育期別로 살펴보면 生育初期에는 Kc 또는 ETr이 아주 작았으나 生育旺盛期에는 아주 커졌다가 作物의 蒸發散作用이 衰退하는 生育末期에는 다시 작아졌다.

2) 作物係數와 葉面積指數 및 表層水分狀態의 關係

一般的으로 Kc 또는 ETr은 葉面積指數(LAI)와 密接한 關係가 있는 것으로 알려져 왔다. 그러나 같은 LAI에서도 表土層의 含水量에 따라 ET가 달라질 것이므로 LAI와 第一土層의 日平均 PF값을 獨立變數로 하고 Kc 또는 ETr을 從屬變數로 하여 多重回歸分析을 行하였다. 이 分析에서는 表層含水狀態를 考慮하기 때문에 各 作物別로 모든 灌溉水準에 대하여 分析하였다.

Table-7. Probable rainfall during the irrigation season and design year.

Irrigation season	Return period (yrs)	Probable rainfall (mm)	Design year (actual value in mm)
June-Oct. (Red pepper)	5	539	1971 (533.6)
	10	453	1976 (422.6)
	20	383	1977 (390.7)
June-Aug. (Cucumber)	5	383	1966 (381.9)
	10	305	1973 (291.6)
	20	240	1977 (247.5)

Table-8. Reference crop evapotranspiration (ET_o) and crop coefficient (K_c).

Period	ET _a (mm/day)		ET _o (mm/day)			E _p (mm/day)	Red pepper			Cucumber					
	Red pepper	Cucumber	Penman	K _c			E _T	Penman	K _c		E _T	Penman	K _c		
				Bla.-Crid.	Radiation				Bla.-Crid.	Radiation			Bla.-Crid.	Radiation	
June	F	3.11	3.11	5.22	5.01	4.58	5.32	0.60	0.62	0.68	0.59	0.60	0.62	0.68	0.59
	M	2.62	2.37	5.56	5.43	4.81	6.05	0.47	0.48	0.54	0.43	0.43	0.44	0.49	0.39
	L	2.57	1.84	4.02	3.67	3.32	4.10	0.64	0.70	0.77	0.63	0.46	0.50	0.55	0.45
July	F	6.60	4.88	5.91	5.60	5.00	6.60	1.12	1.18	1.32	1.00	0.83	0.87	0.98	0.74
	M	3.84	3.93	2.65	2.98	2.01	2.80	1.45	1.29	1.91	1.37	1.48	1.32	1.96	1.41
	L	5.64	6.52	3.32	3.02	2.70	3.09	1.70	1.87	2.09	1.82	1.96	2.16	2.41	2.10
Aug.	F	13.34	10.13	6.16	6.12	5.59	5.81	2.17	2.18	2.39	2.30	1.64	1.66	1.81	1.75
	M	9.52	5.26	2.92	3.18	2.27	3.40	3.26	2.99	4.19	2.80	1.80	1.65	2.32	1.55
	L	14.64	5.29	4.05	4.08	3.55	4.31	3.61	3.59	4.12	3.40	1.31	1.30	1.49	1.23
Sep.	F	9.01		2.86	2.81	2.23	2.79	3.15	3.21	4.04	3.22				
	M	9.63		3.59	3.71	3.18	3.50	2.68	2.60	3.03	2.75				
	L	7.22		3.22	2.90	2.80	3.31	2.24	2.49	2.58	2.19				
Oct.	F	5.92		3.42	3.46	3.25	3.70	1.73	1.71	1.82	1.60				
	M	4.40		3.50	3.26	3.13	3.99	1.26	1.35	1.41	1.10				
	L	1.81		2.76	2.79	2.75	2.99	0.66	0.65	0.66	0.60				
Total	June-		429.6	379.4	373.0	321.7	395.1								
	Aug.		(4.94)	(4.36)	(4.29)	(3.70)	(4.54)					(1.13)	(1.15)	(1.34)	(1.09)
(Mean)	June-	1005.2		575.6	565.0	497.8	600.9								
	Oct.	(6.79)		(3.89)	(3.82)	(3.36)	(4.06)		(1.78)	(2.02)	(1.67)				

그 結果로 式(5)를 얻었고 各 方法에 따른 係數 및 相關係數는 Table-9와 같다.

$$K_c(\text{or } ETr) = C_1 - C_2 PF + C_3 LAI \dots\dots(5)$$

Table-9에서 보는 바와 같이 ETr과 Penman Kc의 境遇에는 相關係數 r이 아주 커서 Kc나 ETr이 LAI와 表層PF값을 充分히 反映하고 있어 土壤表層含水量과 LAI만으로도 Kc 또는 ETr을

구할 수 있을 것으로 思料된다.

한편, 土壤表層含水量을 除外하고 LAI와 Kc 또는 ETr의 關係를 分析해본 結果 r이 上記한 값보다 相當히 작았다. 또 金等⁸⁾은 토마토에서 $ETr = 0.435 \log(LAI) + 1.04$, $r = 0.947$ 로 發表한 바 있다. 따라서 Kc 또는 ETr을 구할 때에는 LAI와 함께 表層含水量을 考慮하는 것이 더 좋은 結果를 얻을 수 있는 것으로 判斷된다.

Table-9. Values of constants in Eq.(5).

Crop	Method	C ₁	C ₂	C ₃	Correlation coefficient
Red pepper	Penman	1.604	0.444	0.303	0.958
	Blaney-Criddle	1.579	0.436	0.296	0.953
	Radiation	1.967	0.535	0.329	0.948
	ETr	1.592	0.440	0.298	0.973
Cucumber	Penman	1.167	0.309	0.358	0.968
	Blaney-Criddle	1.154	0.310	0.375	0.967
	Radiation	1.473	0.385	0.419	0.916
	ETr	1.086	0.297	0.398	0.982

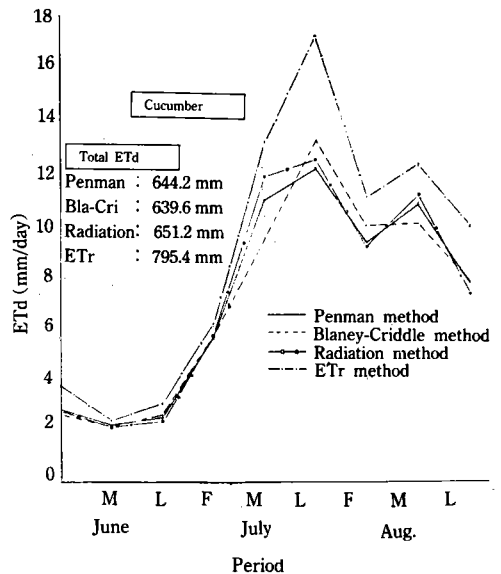
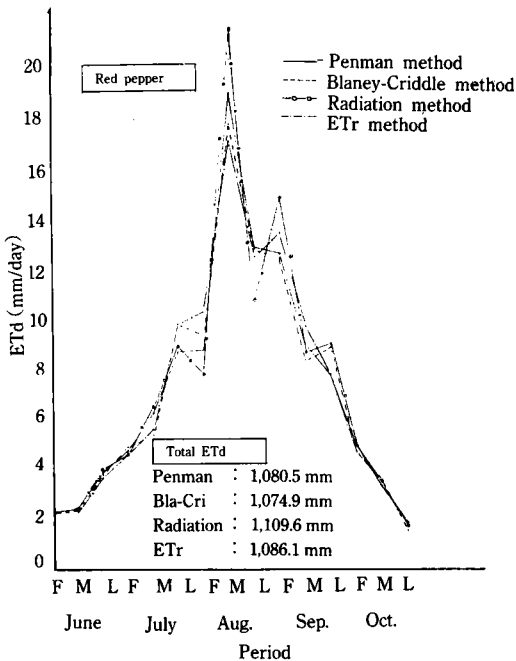


Fig. 4. Comparison of ETd values for design year (1976) from different methods (Red pepper).

Fig. 5. Comparison of ETd values for design year (1973) from different methods (Cucumber).

3) 計劃基準年の 蒸發散量 算定

고추와 오이에 대한 ETd를 計算하여 이를 圖表化한 것이 Fig. 4와 Fig. 5이다. 고추의 경우 各 方法으로 구한 ETd의 最小값과 最大값의 差가 34.7 mm에 지나지 않았다. 그러나 오이에 있어서는 ETr法の ETd는 다른 方法에 比해 相當히 컸다. 이는 오이의 計劃基準年인 1973年이 다른 해에 比해 7月中旬以後에 特히 높은 溫度와 큰 日射量을 나타내어 大邱測候所에서 使用한 直徑 20 cm의 小型蒸發計가 이 影響을 받아 實際 Ep보다 큰 Ep를 나타냈기 때문으로 思料된다.

4) 蒸發散量 算定方法의 比較

以上 네가지 方法으로 ETo 또는 Ep로부터 ETd를 구한 바 어느 方法이 氣象要素를 가장 잘 反映하고 있는가를 알아보기 위해 ETo 또는 Ep와 氣象要素들사이의 關係를 分析해 보았다. 氣象要素中 ETo 또는 Ep에 影響을 미치는 主要要素로서는 氣溫, 濕度, 日射量 및 風速의 네가지를 들 수 있다.³⁰⁾ 따라서 栽培期間인 6~10月の 旬別 平均氣溫 T(°C), 平均相對濕度 H(%), 平均日射量 S(MJ/m²/day) 및 平均風速 W(m/sec)를 獨立變數로 하고 旬別 ETo 또는

Ep(mm/day)를 從屬變數로 하여 多重回歸分析을 하였다. 그 結果로 式(6)을 얻었고 各 方法에 따른 係數 및 相關係數는 Table-10과 같다.

$$ETo(or Ep) = C_1 + C_2 T - C_3 H + C_4 S + C_5 W \dots\dots\dots (6)$$

네가지 方法 모두 r=0.995~0.986을 보여 ETo 또는 Ep가 氣象要素를 잘 反映하고 있어 ETd 算定에 使用할 때 그 信憑도가 높은 것으로 判斷된다. 그 中에서도 Penman method의 相關係數가 가장 컸다. 上記한 네가지 氣象要素中 1~2가지를 빼고 分析해 본 結果는 모두를 考慮했을 때의 結果보다 좋지 않았다.

또 하나의 比較方法으로 다음과 같은 分析을 實施하였다. 즉 栽培試驗에서 얻은 期別 ETa와 栽培年の 期別 ETo 또는 Ep間의 差 즉 ETa-ETo 또는 ETa-Ep의 分散程度가 작을수록 信憑도가 높을 것이다. Table-8의 ETa, ETo 및 Ep로부터 計算된 ETa-ETo 또는 ETa-Ep의 標準偏差를 구한 結果는 Table-11과 같다. 여기서 보는 바와 같이 Penman method가 가장 작은 값을 보였다.

以上の ETo 또는 Ep와 氣象要素의 關係,

Table-10. Values of constants in Eg.(6).

Method	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	Correlation Coefficient
Penman	0.083	0.127	0.043	0.238	0.257	0.995
Blaney-Criddle	0.681	0.153	0.044	0.199	0.031	0.992
Radiation	0.566	0.061	0.033	0.257	0.071	0.989
Ep	2.069	0.183	0.079	0.189	0.350	0.986

ETa-ETo 또는 ETa-Ep의 標準偏差의 比較, 또 Kc와 LAI 및 表層水分狀態의 關係分析 등으로 볼때 一般的으로 알려진 바와 같이 네가지 方法中에서 Penman method가 가장 信憑도가 높다고 하겠다. 한편, Doorenbos 等²³⁾, Allen¹⁹⁾ 및 金 等^{2,3)}도 Penman method가 가장 좋은 方法이라고 報告한 바 있다.

Table-11. Standard deviation of ETa-ETo or ETa-Ep for each 10-day period of a month. (unit : mm/day)

Crop	Standard deviation			
	Penman	Bla.-Crid.	Radiation	Ep
Red pepper	2.95	2.94	3.15	2.99
Cucumber	1.01	1.15	1.34	1.16

다. 有效雨量

有效雨량을 算定하기 위해 灌溉後 다음 灌溉까지의 期間中 土壤水分未治량을 月別로 分析한 結果는 Table-12와 같다. 여기서 制限土層의 SMEP는 全生育期間에 걸쳐 第1土層이 制限土層이었기 때문에 Table-6에서의 第1土層의 SMEP값이다. 또 Table-12의 土壤水分未治量公式에서 t는 灌溉後 다음 灌溉까지의 時間을 無次元量 5로 定해 灌溉直後를 t=0, 다음 灌溉直前을 t=5로 하였다. Wd는 灌溉後 時間 t때의 土壤水分未治量 (mm)이다. 따라서 總迅速有效水分量(TRAM)이 25.4mm일때 灌溉直後 t=0에는 Wd=0이며 다음 灌溉直前 t=5에는 Wd=25.4 mm가 된다.

土壤水分未治量公式는 灌溉後 다음 灌溉까지 每日의 라이시미터內 含水量의 變化를 計算해서 誘導했으며 灌溉直後에는 水分消費가 比較的 크고 차츰 時間이 흐름에 따라 2次曲線의 形態로

水分消費가 減少됨을 보이고 있다.

變形된 SCS公式을 利用하여 III, 3, 다項의 節次에 따라 作物別로 計劃基準年의 降雨量에 대한 有效雨량을 算定한 結果는 Table-13과 같다.

라. 計劃用水量

以上과 같은 結果로부터 各 作物의 計劃基準年의 計劃純用水量을 算定하였다.

고추의 境遇 計劃基準年인 1976年의 計劃純用水量은 Penman method의 ETd를 適用하면 計劃純用水量=1,080.5-243.2=837.3 mm이었다. 한편 金 等⁶⁾은 20年頻度 旱魃年에 고추에 대해 867.8 mm가 필요하다고 보고한 바 있다.

오이의 境遇 計劃基準年인 1973年의 計劃純用水量은 Penman method 의 ETd를 適用하면 計劃純用水量=644.2-141.7=502.5 mm이었다.

Table-12. Soil moisture deficit during the period from one irrigation to next irrigation.

Crop	Month	SMEP of control layer(%)	Total moisture deficit of control layer(mm)	TRAM(mm)	Equation of soil moisture deficit(mm)**
Red pepper	June	52	13.2*	25.4	Wd= -0.416t ² +7.158t
	July	43	13.2*	30.7	Wd= -0.443t ² +8.354t
	Aug.	37	13.2*	35.7	Wd= -0.517t ² +9.723t
	Sep.	37	13.2*	35.7	Wd= -0.517t ² +9.723t
	Oct.	48	13.2*	27.5	Wd= -0.368t ² +7.342t
Cucumber	June	47	13.2*	28.1	Wd= -0.402t ² +7.632t
	July	34	13.2*	38.8	Wd= -0.524t ² +10.38t
	Aug.	42	13.2*	31.4	Wd= -0.389t ² +8.225t

*13.2: (FC-water content at PF2.7)×control layer thickness.

**Wd: Soil moisture deficit at time t.

t: Time length after an irrigation when the irrigation interval is assumed 5 dimensionless units(5×time after irrigation / irrigation interval).

Table-13. Available rainfall of design year.

Crop	Design year	Total rainfall during irrigation season(mm)	Computed available rainfall(mm)	Availability ratio(%)
Red pepper	1976	410.6	243.2	59.2
Cucumber	1973	289.8	141.7	48.9

4. 計劃灌溉基準

가. 栽培年の 間斷日數 및 1回灌溉量

금번 試驗에서 月別로 間斷日數 및 平均1回灌溉량을 分析해 본 結果 處理 I의 境遇에는 灌溉水準의 PF값이 높을수록 大體로 間斷日數가 길어지고 1回灌溉량이 적어졌다. 그러나 處理 II의 境遇에는 灌溉點의 PF값이 클수록 間斷日數가 길어지고 1回灌溉량이 많아졌다. 이는 處理 II에서는 灌溉點의 PF값이 클수록 含水量 維持 範圍가 커지기 때문이다.

또 作物生育에 따라 蒸發散량이 많아질수록 間斷日數는 짧아지고 1回灌溉량은 많아졌으며, 다시 蒸發散作用이 衰退해짐에 따라 間斷日數는 길어지고 1回灌溉량은 減小하는 現象을 보였다. 따라서 같은 氣象條件이라면 葉面積이 커서 作物係數가 가장 클때 間斷日數는 가장 짧고 1回灌溉량은 가장 클 것으로 思料된다.

나. 計劃間斷日數 및 最大1回灌溉量

計劃間斷日數는 各 作物別로 灌溉水準 FC~PF 2.7에 대해 算定했다.

고추에 있어서 peak期의 SMEP는 Table-6에서 33:28:24:15이므로 制限土層은 第1層이다. 第1層의 두께는 150 mm이고 FC 및 PF 2.7에서의 容積含水量比가 各各 32.3% 및 23.5%이므로 $TRAM = (0.323 - 0.235) \times 150 / 0.33 = 40$ mm이다. 또 고추의 計劃基準年의 日最大消費水量은 Fig. 4에서 Penman method로 8月中旬에 18.71 mm/day이므로 計劃間斷日數 = $40 / 18.71 = 2.1$ 日 ≈ 2 日^{5.22)}이다. 따라서 最大1回灌溉量 = $18.71 \times 2 \approx 37.4$ mm이다.

오이에 있어서 peak期의 SMEP는 Table-6에서 32:31:19:18이므로 制限土層은 第1層이다. 따라서 $TRAM = (0.323 - 0.235) \times 150 / 0.32 = 41.3$ mm이다. 또 오이의 計劃基準年의 日最大消費水量은 Fig. 5에서 Penman method로 7月下旬에 12.09 mm/day이므로 計劃間斷日數 = $41.3 / 12.09 = 3.4$ 日 ≈ 3 日이다. 따라서 最大1回灌溉量 = $12.09 \times 3 \approx 36.3$ mm이다.

V. 要約 및 結論

本 研究는 밭作物에 關한 灌溉水準別 蒸發散量, 生長 및 收穫量 등을 조사·分析하여 最適灌溉水準을 究明하고, 計劃基準年을 定해 計劃用水量을 算定하고 計劃灌溉基準을 設定하고자 遂行하였다.

이를 위해 慶北大 農大 試驗圃場에서 고추와 오이를 植壤土를 채운 라이시미터를 使用하여 各各 6個의 灌溉水準으로 試驗栽培하였다.

試驗에서 얻은 資料를 分析한 結果는 다음과 같다.

1. 最適灌溉水準

가. 試驗에 使用한 灌溉水準中에서 고추, 오이 共히 FC~PF 2.7이 最適水準으로 判斷된다.

나. 最適水準으로 判斷되는 FC~PF 2.7의 境遇 平均日蒸發散量은 고추 6.79 mm/day, 오이 4.94 mm/day이었고 栽培期間中 總蒸發散量은 고추 1,005.2mm, 오이 429.6 mm이었다.

2. 土壤水分消費形態

가. 作物別 土壤水分消費型은 全生育期間을 平均하여 第一土層으로부터 고추는 43% : 32% : 16% : 9%, 오이는 39% : 34% : 15% : 12% 이었다.

나. 生育期別 土壤水分消費型은 生育初期에는 上層部の 消費率이 아주 높으나 生育旺盛期에는 初期보다 下層部の 消費比重이 커졌으며 衰退期인 末期에는 다시 上層部の 比重이 다시 커졌다.

3. 計劃用水量

가. 計劃基準年은 35年間的 栽培期間中の 降水量을 頻度分析하여 10年頻度 旱魃 降雨量과 實際 降雨量이 가장 近似한 해로 定했으며, 고추의 경우 1976年, 오이의 경우 1973年이었다.

나. 計劃基準年의 蒸發散量 算定方法中에서

Penman method가 가장 安定되고 信憑도가 높은 것으로 思料된다.

다. 有效우량 算定은 USDA-SCS의 流出量 公式를 浸透量을 구하는 公式로 變形시켜 土壤水分未洽量曲線과 같이 使用하였다. 計劃基準年의 栽培期間中 降雨에 대한 有效率은 고추에서 59.2%, 오이에서 48.9%이었다.

라. 計劃期準年의 計劃純用水量은 고추 837.3 mm, 오이 502.5 mm로 算定되었다.

4. 計劃灌溉基準

計劃間斷日數는 고추 2日, 오이 3日로 算定되었고 最大1回灌溉量은 고추 37.4 mm, 오이 36.3 mm로 算定되었다.

參 考 文 獻

1. 國土開發研究院 (1986) : 第2次 國土綜合開發計劃 修正案.
2. 金始源, 金善柱 (1988) : 밭灌溉의 計劃用水量 및 施設容量의 定立에 關한 研究, 韓國農工學會誌 30(4) : 23~44.
3. ———, ———, 金俊錫 (1987) : Floating Lysimeter에 의한 가을배추의 消費水量 調査 研究, 韓國農工學會誌 29(2) : 23~29.
4. ———, ———, 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 28(4) : 41~48.
5. ———, 金哲基, 李基春(1988) : 新稿 農業水利學, 鄉文社.
6. ———, 李庚熙, 都德鉉(1984) : 田作物 水分消費量 調査 研究, 韓國農工學會誌 26(2) : 47~58.
7. ———, 崔德秀 (1985) : 田作物 水分消費量 調査 研究(II), 韓國農工學會誌 27(1) : 37~45.
8. 金哲基, 金鎮漢, 崔洪奎 (1988) : 밭작物 消費水量에 關한 基礎的 研究, 韓國農工學會誌 30(3) : 25~37.
9. 農工利用研究所 (1971~75) : 밭灌溉 改良試驗, 試驗研究報告書.
10. 農水産部(1983) : 農地改良事業計劃設計基準 (灌溉) : pp.411~440.
11. 農業協同組合中央會(1988) : 고추栽培技術과 經營, 88農業經營技術支援團 教育資料 No 1 : pp. 27~92.
12. 尹學基, 鄭相玉, 徐承德 (1989) : 灌溉水準이 고추의 收穫量 및 消費水量에 미치는 影響, 韓國農工學會誌 31(2) : 82~91.
13. 任正男(1982) : 밭灌溉에 關한 研究, 農試總說 : pp. 519~524.
14. 鄭夏禹 外(1987) : 밭작物消費水量 算定方法 定立研究, 서울大 農大 農業開發研究所.
15. ———, (1988) : 밭작物消費水量 算定方法 定立研究(II), 서울大 農大 農業開發研究所.
16. ———, (1989) : ———, (III), 서울大農大 農業開發研究所.
17. 韓國農業機械學會誌(1988) : 農業機械연감 : pp. 44~48.
18. 興農種苗株式會社(1988) : 主要 밭작物栽培 요령 : pp.27~35.
19. Allen, R. G. (1986) : A Penman for All Seasons, J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 112(4) : 348-368.
20. Budyko, M. I. (1948) : Evaporation under Natural Conditions. (Translated from Russian), U. S. Dept. Com. Israel Program Sci. Trans. 751 : pp.130.
21. Buffam, B. C. (1900) : The Use of Water in Irrigation in Wyoming and Its Relation to the Ownership and Distribution of the Natural Supply, U. S. Dept. Agr. office of Expt. Sta. Bull. 81 : pp. 56.

22. Bureau of Reclamation(1978) : Drainage Manual, USDI : pp. 45.
23. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1977) : Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage paper 24, Rome, Italy.
24. Frevert, D. K., Hill, R. W. and Braaten, B. C. (1983) : Estimation of FAO Evapotranspiration Coefficients, J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 109(2) : 265-270.
25. Hoiy, M. (1971) : Water and the Environment, FAO Irrigation and Drainage Paper 8, Rome, Italy.
26. Mead, E. (1887) : Report of Experiments in Irrigation and Meteorology, Colo. Agr. Exp. Sta. Bull. 1 : pp. 12.
27. Molz, F. G. and Remson, I. (1970) : Extraction Term Models of Soil Moisture Used by Transpiring Plants, Water Resour. Res. 6(5) : 1346-1356.
28. Penman, H. L. (1948) : Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass, Proc. Roy. Soc. London 193 : pp. 120-145.
29. Petersen, M. R. and Hill, R. W. (1985) : Evapotranspiration of small Conifers, J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 111(4) : 341-351.
30. Shih, S. F. (1984) : Data Requirement for Evapotranspiration Estimation, J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 110(3) : 263-274.
31. Shockly, D. R. (1955) : Capacity of Soil to Hold Moisture, Agri. Eng. : pp. 109.
32. Soil Conservation Service(1984) : Urban Hydrology for Small Watershed, Technical release No. 55, USDA.
33. Thornthwaite, C. W. and Holzman, B. (1939) : The Determination of Evaporation from Land and Water Surface, Monthly Weather Review 67(1) : 4-11.
34. 内藤文男(1974) : 施設栽培における適正灌水量蒸散比の應用, 農業及園藝 49(5) : 671~675.
35. 川西良雄(1961) : 畑地蔬菜の灌漑に関する研究(1報), 灌水量が胡瓜の生態収量に及ぼす影響, 農業及園藝 36(1) : 87~88.
36. 土壤物理性測定法委員會(1985) : 土壤物理性測定法, 日本, 養賢堂.