

Hargreaves 式에 의한 必要水量算定에 關한 小考

Method for Estimating Irrigation Requirements by G.H. Hargreaves.¹⁾

嚴 泰 營* · 洪 鍾 震*
Tae Young Um · Chong Jin Hong

Summary

The purpose of this study is to evaluate the existing methods for calculating or estimating the consumptive use (Evapotranspiration) of any agricultural development project area.

In determining the consumptive use water in the project area, there will require the best way for estimating irrigation requirement. Many methods for computing the evapotranspiration have been used, each of them with its merits and demerits at home and abroad. Some of these methods are listed as follows:

1. The Penman's formula
2. The Blaney-Criddle method
3. The Munson P.E. Index method
4. The Atmometer method
5. The Texas Water Rights Commission (TWRC) method
6. The Jensen-Haise method
7. The Christiasen method

Therefore, the authors will introduce the more widely used method for calculating Consumptive Use by G.H. Hargreaves.¹⁾

The formula is expressed in the form $E_p = K \cdot d \cdot T (1.0 - 0.01 \cdot H_n)$

$$H_n = 1.0 + 0.4H + 0.005H^2$$

This method was adopted for the first time to determine the Irrigation requirements of Ogseo Comprehensive Agricultural Development project (Benefited area: 100,500ha) in Korea. This method is presented in somewhat greater detail than the others. Formula is given for the computation of evapot-

*農業振興公社 調査設計部

ranspiration (with various levels of data availability) Sampel computation of irrigation requirements for Ogseo irrigation project is included.

The results and applied materials are summarized as follows.

1. In calculating the Hargreaves formula, the mean temperature relative, humidity, length of day, and percentage of sunshine from three stations of Iri, Jeonju, and Gunsan were used.
2. Monthly evaporation values were calculated by using the formula.
3. Meteorological data from the three stations records for the ten years (1963~1972) were used.
4. The annual irrigation requirements is 1,186mm per hectare, but the case to consider effective rainfall amount takes the annual irrigation demand being 700mm per hectare.

¹⁾ Hargreave is Agricultural Adviser, USAID, Bogota, Colombia

I. 緒 論

우리나라 大團位農業開發事業은 1965年度 以後 BRD借款事業으로 最初로 試圖한 錦江, 平澤事業地區를 其轉換點으로하여 오늘날과 같은 榮山江, 插橋川等等에 大事業地區의 施行을 하게되었다고 보아야겠다. 또한 全世界的으로 問題가 되고있는 食糧難 解消問題에 병행하여 事業의 必要性도 점차 커져 왔고, 이事業을 契機로 침체되었던 農工分野의 技術도 急進의 發展을 보았다. 특히 農業開發面積에 對해서 適正한 水源確保施設規模決定에 基本要素가 되는 作物消費水量(蒸發散量)算定法, 即 Blaney-Criddle式에 報給도 이를契機로 使用되기 始作하였다. 그러나 本方法을 適用함에는 實際實驗을 通하여 얻어지는 作物係數適用上에 問題點도 적지않았다. 그後 各農業試驗場 및 學界에서 適用係數 解決을 爲한 實驗이 施行되고 있어 永久한來日에 解決方法이 있을것으로 期待된다. 또한 우리의 技術이 向上되는 가운데 國際舞臺에서 先進諸國의 技術陣과 競爭을 하여야할 時期가 到來하였다. 故로 筆者는 現在 國際社會에서 널리 通用되고 IBRD(世界銀行)側에서 권장하고 있고 특히 東南亞地域에 報給勸獎하는 Hargreave氏의 消費水量算定에 對한 方法을 紹介하고자 함이며 아울러 實際事業에서 適用된 事例를 中心으로 應用面에 留意事項을 들어 說明코자한다. 本 Hargreaves方法은 ASCE(美國土木學會) 灌溉排水專門委員會와 CIDIAT(美國土 및 水資源開發局) 등에서 多年間 相異한 地域別로 實驗을 通하여 그 精度 및 利用可能性이 立證되었고 先進諸國에서도

널리 活用되고 있다는點도 아울러 소개하는바이다. 本方法은 國內에서는 最初로 沃舒農業開發事業地區(蒙利面積: 100,500ha)에 適用된 方法이며 本沃舒地區 妥當性檢討時에 從事하였던 TAHAL會社의 水文專門家 Dr. M. Negev, 灌溉排水專門家 Mr. I. Naor, Mr. H. Roa 氏等과 研究檢討된 資料를 計算例로서 引用說明코자하는 바이며, 本計算에서는 開發區域內에 位置한 全州, 裡里, 群山 等 三箇測候所의 氣象資料(1963~1972)를 同一期間別로 平均하여 諸計算에 使用하였다. 또한 本檢討過程에서 A-pan 蒸發量과 韓國標準蒸發計蒸發量과의 相關關係를 誘導하고 國內에서 灌溉用水量 算定에 適用可能與否를 判斷하고자 하며 年間必要水量을 在來方式 및 Blaney-criddle式의 한 값과 Hargreaves式에 依한 값을 比較코자 하는바이다.

今後 施行하게되는 農業開發地區(특히 借款事業地區)의 灌溉用水量 算定에 本 Hargreaves氏式에 依한 方法이 寄與하는바 클것으로 生覺되며 餘他諸國의 農業開發을 爲한 技術用役業務에 從事하게될 農工技術者에게도 큰도움이 될것으로 믿는다.

—Hargreaves式 由來—

- 1948년부터 Hargreaves氏에 依해 研究調査
- 1966. 11. 美國土木學會 灌溉排水專門委員會에 發表
- 其後 Hargreaves 및 灌溉技術陣에 依해 必要水量推定에 關한 適否試驗
- CIDIAT에 美產銀資金에 依해 Colombia, Venezuela, Ecuador 等 地域을 示範地區로 選定 施行을 通해 使用可能性 및 精度立證

II. Hargreaves 理論式

本公式는 開發하고자하는 地域에 緯度를 考慮하여 그地域의 晝間時間(Daytime)과 日平均相對溫度(Daily average Relative humidity), 平均氣溫(mean temperature) 및 Jordan의 日照率을 利用하여 美國 氣象學界에 標準蒸發計값 即 Class A pan의 값을 求하는 式으로서 基本理論式은 다음과 같이 表示된다.

$$E_p = 17.4 \cdot d \cdot T(1.0 - 0.01H_n) \dots\dots\dots(1)$$

그림 1에서 알수있듯이 $K=17.4$ 의 값은 Jordan의 日照率 90%일때 係數로 當然히 計算을 目的하는 地域의 Jordan日照率에 따라 補正값을 適用해야 함으로 日照係數의 K 값을 代置하여 一般式 $E_p = K \cdot d \cdot T(1.0 - 0.01H_n) \dots\dots(2)$ 으로 表示된다. 地域에 따라 補正해야하는 Jordan의 日照率에 對한 K 값은 表 1, 그림 1에서와 같다.

表-1. Jordan日照率 對日照係數

日照率(%)	30	40	50	60	70	80	90	備考
日照係數(K)	11.9	12.5	13.3	14.0	15.0	16.1	17.4	

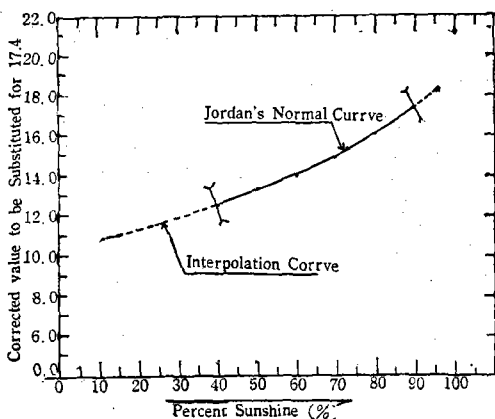


Fig. 1. Jordan's 日照率曲線

1. A-pan蒸發量算定

Hargreaves式 $E_p = K \cdot d \cdot T(1.0 - 0.01H_n)$

E_p = 月(旬)蒸發量(class A-pan), mm

d = 日 12時間에 對한 月間晝間時間係數(表 2)

T = 月平均氣溫, °C

K = 日照係數

H_n = 正午月 平均相對溫度, %

但 $H_n = 1.0 + 0.4H + 0.005H^2 \dots\dots\dots(3)$

H = 日平均相對溫度, % (13時的 습도)

여기서 日平均相對溫度資料가 없을時엔 다음式으로 求하여 使用한다.

$$H_n = 113 - 4.5\Delta T \dots\dots\dots(4)$$

H_n = 月平均正午相對溫度, %

ΔT = 月平均最大 및 月平均最少氣溫의 差, °C

Jordan氏의 日照係數를 適用하지 않을時엔 雲量을 고려한 式(5)를 使用하여도 無妨하다는 것을 christiasen氏는 밝혔다.

$$S = 100 - 1.6S_c^2 - 0.84S_c^3 \dots\dots\dots(5)$$

S = 日照係數(K 값의 相當한 값)

S_c = 雲量(cloud cover scale), 0~10

但 雲量 0~8까지는 1.25의 補正係數를 乘하여 求한다.

가. Jordan's 日照率(可照指數)

Jordan氏는 地球가 太陽을 中心으로 自轉과 公轉을 할때에 地球의 面을 平面으로 假定하고 緯度, 太陽의 赤緯와 地平掘折度를 考慮하여 宇宙三角法에 따라 (6)式을 誘導하고 實際日照時間과 可照指數比를 計算하여냈으며 全世界의 地上氣象觀測分野에서는 Jordan의 日照率을 使用하고있다. 또한 Hargreave's式을 利用하여 旬別로 日照率이 必要할 境遇엔 (6)式에 依한 月可照指數對 實際旬日照時間과 比를 求하여 그림 1에서 K 값을 求하면 된다. 萬一 Jordan's의 日照率이 算定되지 않은곳(餘他國, 韓國內엔 氣象年報 參照可能함)에선 此式을 使用하면 된다.

Jordan's formula :

$$\sin \frac{1}{2} t = \frac{\sqrt{\sin(45^\circ + \frac{4+\sigma+\tau}{2}) \cdot \sin(45^\circ - \frac{\phi-\delta-\tau}{2})}}{\cos \phi \cdot \cos \sigma} \dots\dots\dots(6)$$

ϕ : 緯度

σ : 太陽의 赤緯

τ : 地平掘折度로서 34'인

t : 可照指數~(日出부터 日南中時까지 또는 日南中時刻에서 日沒時刻까지의 時間을 角度로 表示한것(但 1時間=15°)

例 $t = \frac{\text{實際日照時間}}{\text{可照指數}} \times 100 = \%$

나. 月間晝間時間係數(d)의 分配

· 月間晝間時間比(d)값은 地球가 太陽을 中心으로 南北極을 軸으로 自轉 및 公轉을 하므로 本係數는 季節的으로 달라지며 地球上的 同一緯度線上에서는 그 값이 一定하다 表 2의 값들은 南北緯(Latitude north or Latitude south) 어느곳에서나 適用할수있다.

表-2. Monthly Daytime Coefficients, *d*, For use with Hargreaves formula

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Degree												
Lat. North												
44°	0.77	0.79	0.99	1.08	1.23	1.25	1.26	1.17	1.01	0.92	0.78	0.75
42°	0.79	0.80	0.99	1.07	1.21	1.23	1.24	1.16	1.01	0.93	0.80	0.77
40°	0.81	0.81	1.00	1.07	1.20	1.21	1.24	1.15	1.01	0.93	0.81	0.78
38°	0.82	0.81	1.00	1.07	1.19	1.19	1.21	1.14	1.01	0.94	0.82	0.80
36°	0.84	0.82	1.00	1.06	1.18	1.18	1.20	1.13	1.00	0.94	0.83	0.81
34°	0.85	0.83	1.00	1.06	1.17	1.16	1.19	1.12	1.00	0.95	0.84	0.83
32°	0.86	0.84	1.00	1.05	1.16	1.15	1.17	1.11	1.00	0.95	0.85	0.85
30°	0.88	0.84	1.01	1.05	1.14	1.14	1.16	1.11	1.00	0.96	0.86	0.86
28°	0.89	0.84	1.01	1.04	1.14	1.13	1.15	1.10	1.00	0.96	0.87	0.87
26°	0.90	0.85	1.01	1.04	1.12	1.12	1.14	1.09	1.00	0.97	0.88	0.88
24°	0.91	0.86	1.01	1.03	1.12	1.10	1.13	1.09	1.00	0.97	0.89	0.90
22°	0.93	0.87	1.01	1.03	1.11	1.10	1.12	1.08	1.00	0.98	0.90	0.91
20°	0.93	0.87	1.01	1.02	1.10	1.08	1.11	1.07	1.00	0.98	0.91	0.95
18°	0.95	0.87	1.01	1.02	1.09	1.08	1.10	1.06	0.99	0.99	0.92	0.95
16°	0.95	0.88	1.01	1.01	1.08	1.08	1.09	1.06	0.99	0.99	0.93	0.95
14°	0.96	0.89	1.01	1.01	1.07	1.05	1.08	1.05	0.99	0.99	0.94	0.96
12°	0.97	0.89	1.01	1.01	1.06	1.04	1.07	1.05	0.99	0.99	0.94	0.97
10°	0.97	0.89	1.01	1.01	1.06	1.03	1.06	1.05	0.99	0.99	0.95	0.97
8°	0.98	0.89	1.01	1.01	1.05	1.02	1.05	1.04	0.99	0.99	0.95	0.97
6°	0.98	0.90	1.01	1.01	1.05	1.02	1.05	1.04	0.99	1.01	0.95	0.98
4°	0.98	0.91	1.02	1.00	1.04	1.01	1.04	1.01	0.99	1.01	0.95	0.98
2°	1.01	0.91	1.02	0.99	1.02	0.99	1.02	1.02	0.98	1.02	0.98	1.01
0°	1.02	0.92	1.02	1.00	1.02	0.99	1.02	1.02	0.98	1.02	0.99	1.02
Lat. South												
0°	1.02	0.92	1.02	0.99	1.02	0.99	1.02	1.02	0.98	1.02	0.99	1.02
2°	1.02	0.93	1.02	0.98	1.01	0.98	1.01	1.02	0.98	1.02	0.99	1.03
4°	1.04	0.93	1.02	0.98	1.01	0.97	0.98	1.01	0.98	1.03	1.00	1.04
6°	1.05	0.94	1.02	0.97	1.00	0.96	0.98	1.00	0.98	1.03	1.01	1.05
8°	1.05	0.94	1.02	0.97	0.99	0.95	0.98	1.00	0.98	1.03	1.02	1.06
10°	1.06	0.94	1.02	0.97	0.98	0.94	0.97	0.99	0.98	1.04	1.02	1.07
12°	1.07	0.95	1.02	0.97	0.98	0.93	0.97	0.99	0.98	1.02	1.03	1.07
14°	1.08	0.96	1.02	0.96	0.97	0.92	0.96	0.98	0.98	1.04	1.04	1.08
16°	1.09	0.96	1.03	0.96	0.96	0.91	0.95	0.98	0.98	1.05	1.05	1.10
18°	1.10	0.97	1.03	0.96	0.96	0.90	0.95	0.97	0.98	1.06	1.06	1.11
20°	1.11	0.97	1.03	0.95	0.94	0.89	0.93	0.97	0.98	1.06	1.06	1.12
22°	1.12	0.97	1.03	0.95	0.93	0.88	0.93	0.96	0.98	1.06	1.07	1.13
24°	1.13	0.98	1.03	0.94	0.91	0.87	0.91	0.96	0.97	1.07	1.08	1.14
26°	1.14	0.99	1.03	0.94	0.91	0.85	0.90	0.94	0.97	1.07	1.09	1.15
28°	1.15	1.00	1.03	0.93	0.90	0.83	0.89	0.94	0.97	1.08	1.10	1.17
30°	1.16	1.00	1.04	0.93	0.89	0.83	0.88	0.94	0.97	1.08	1.11	1.18
32°	1.17	1.00	1.04	0.92	0.89	0.82	0.86	0.93	0.97	1.08	1.12	1.18
34°	1.19	1.01	1.04	0.92	0.88	0.81	0.85	0.92	0.97	1.09	1.13	1.20
36°	1.21	1.02	1.04	0.91	0.85	0.79	0.84	0.91	0.97	1.10	1.14	1.23
38°	1.22	1.03	1.04	0.91	0.84	0.78	0.82	0.90	0.97	1.10	1.15	1.24
40°	1.23	1.04	1.04	0.90	0.84	0.76	0.81	0.90	0.96	1.11	1.16	1.25
42°	1.25	1.05	1.05	0.90	0.82	0.74	0.79	0.89	0.96	1.11	1.17	1.27
44°	1.26	1.06	1.05	0.89	0.81	0.72	0.77	0.88	0.96	1.12	1.19	1.29
46°	1.28	1.07	1.05	0.89	0.79	0.70	0.76	0.87	0.96	1.13	1.20	1.31
48°	1.30	1.08	1.05	0.88	0.77	0.68	0.74	0.85	0.96	1.14	1.22	1.33
50°	1.32	1.09	1.05	0.87	0.76	0.66	0.72	0.84	0.95	1.14	1.24	1.36

本 d의 旬別分配는 Jordan의 旬別日照係數比에 準하여 月別값을 分配하여 旬別消費水量 算定에 使用하면 된다.

2. 蒸發散量計算(Computation of Evapotranspiration)

蒸發散量이란 葉水面蒸發과 蒸散량을 合하여 일컫는 말로서 上述한 方法에 依해 求한 A-pan 蒸發量(E_p)으로서 作物生育期別로 (7)式에 依해 畝面에서 必要한 純必要水量을 求할수 있다.

$$E_t = E_p \times K_1 \dots\dots\dots(7)$$

E_t : 蒸發散量, mm

E_p : A-pan 蒸發量, mm

K_1 : 作物係數

(7)式의 K_1 값은 다음에 收錄하는 Hargreave 式 作物分類群에 따라 作物別 全生育期間對 當該生育期에

對한 比率를 求하여 그림 2, 3과 表 3에서 求할수 있다.

Hargreave 氏 作物群

- (1) 水稻
- (2) Group A : 콩, 옥수수, 면화, 고구마, 감자, 사탕무, 사탕수수
- (3) Group B : 복숭아, 건포도, 호두, 올리브, 대추, 도마든, 난쟁이사탕수수
- (4) Group C : 참외, 양파, 당근, 호프, 포도, 아이던드
- (5) Group D : 보리, 아스파라가스, 아마, 귀리, 셀러리, 기타소곡類
- (6) Group E : 과수 및 피복작물, 바나나, 클로바 질경이
- (7) Group F : 귤, 레몬, Grapefruit
- (8) Group G : 알과파, 사탕수수類

表-3. 消 費 水 量 係 數(K_1)

生育期間 百分率	Group A	Group B	Group C	Group D	Group E	水 稻
0	0.20	0.15	0.12	0.08	0.90	0.80
5	0.20	0.15	0.12	0.08	0.90	0.90
10	0.36	0.27	0.22	0.15	0.90	0.95
15	0.50	0.38	0.30	0.19	0.90	1.00
20	0.64	0.48	0.38	0.27	0.90	1.05
25	0.75	0.56	0.45	0.33	0.90	1.10
30	0.84	0.63	0.50	0.40	0.90	1.14
35	0.92	0.69	0.55	0.46	0.90	1.17
40	0.97	0.73	0.58	0.52	0.90	1.21
45	0.99	0.74	0.60	0.58	0.90	1.25
50	0.00	0.75	0.60	0.65	0.90	1.30
55	0.00	0.75	0.60	0.71	0.90	1.30
60	0.99	0.74	0.60	0.77	0.90	1.30
65	0.96	0.72	0.58	0.82	0.90	1.25
70	0.91	0.68	0.55	0.88	0.90	1.20
75	0.85	0.64	0.51	0.90	0.90	1.15
80	0.75	0.56	0.45	0.90	0.90	1.10
85	0.60	0.45	0.36	0.80	0.90	1.00
90	0.46	0.35	0.28	0.70	0.90	0.90
95	0.28	0.21	0.17	0.60	0.90	0.80
100	0.20	0.20	0.17	0.20	0.90	0.20

III. Hargreaves 式에 의한 計算實例

國內에서 最初로 本方法이 適用된 沃舒農業開發地區는 三大江流域(錦江, 萬頃江, 東津江) 下流部에 광활한 開發面積(100, 500ha, 一=段階)이 散在되어

있어 開發地區內에 만도 全州, 裡里, 群山等 氣象觀測所가 있다. 氣象觀測資料를 보면 氣象因子들이 大同小異하나 그相異點들을 補正키 爲하여 三個觀測所의 資料를 同一期間別로 平均하여 實際計算에 適用하였다.

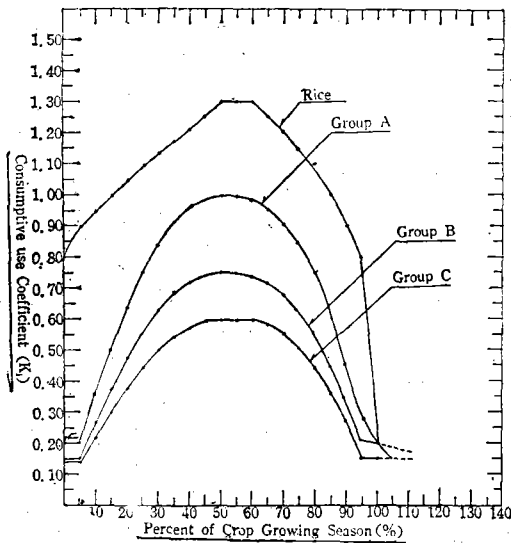


Fig. 2. Crop consumptive use coefficient curve 1

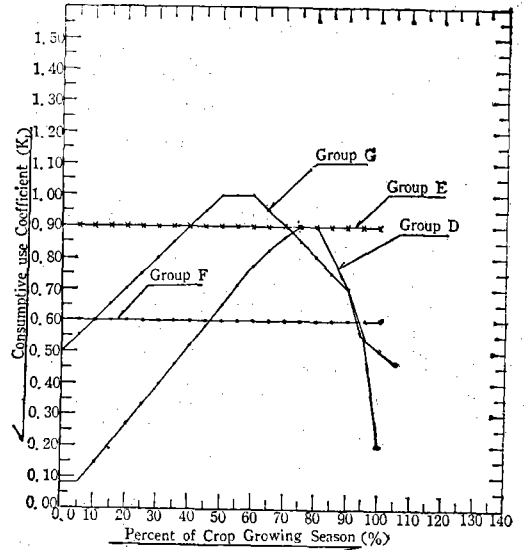


Fig. 3. Crop consumptive use coefficient curve 2

1. 氣象資料

가. 降雨量 (Precipitation), mm

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
裡里	33.4	30.3	67.0	80.2	83.3	154.4	268.5	185.6	147.4	48.1	46.5	30.4	1,172
全州	27.4	33.5	68.3	76.9	87.3	155.9	282.6	222.4	155.8	55.3	48.4	29.2	1,243
群山	29.4	25.9	56.7	67.1	68.5	152.5	222.0	184.1	162.4	57.6	45.6	33.1	1,105
平均	30.1	29.9	64.0	74.7	79.7	153.3	257.7	197.4	155.2	53.7	46.8	30.9	1,173

나. 氣溫 (Mean temperature), °C

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
裡里	-2.2	0.4	5.2	12.3	18.3	22.0	25.7	27.0	21.8	15.2	7.9	1.4
全州	-1.2	0.7	5.1	12.0	17.5	21.5	25.7	26.6	21.0	14.4	8.4	1.9
群山	-1.4	0.0	3.0	10.6	16.2	20.2	24.8	25.7	21.4	14.6	8.2	2.5
平均	-1.6	0.4	4.4	11.6	17.3	21.2	25.4	26.4	21.4	14.7	8.1	1.9

다. 溫度 (Mean Relative Humidity), %

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
裡里	72.3	82.5	82.5	84.3	77.0	80.0	86.0	84.0	83.7	77.7	78.0	77.7
全州	73.1	73.6	72.4	72.6	72.2	76.1	80.9	80.4	79.2	75.3	75.0	74.0
群山	79.2	76.4	74.6	77.2	75.8	80.0	84.0	81.0	78.8	73.3	74.0	74.0
平均	78.2	77.5	76.5	78.0	75.0	78.7	83.6	81.8	80.6	75.4	75.7	75.2

Hargreaves 式에 의한 必要水量算定에 관한 小考

라. 月間晝間時間係數 (d), Lat. North 36°

月 別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備 考
(d) 晝間係數	0.84	0.82	1.00	1.06	1.18	1.18	1.20	1.13	1.00	0.94	0.83	0.81	北緯36°에 對하여 表2에서 求함

마. Jordan's K값

月 別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備 考
日照率(%) K	50.0 13.3	58.5 13.9	57.1 13.8	55.0 13.7	54.6 13.7	51.2 13.4	41.6 12.7	51.6 13.4	51.0 13.4	63.4 14.4	60.0 14.0	48.8 13.2	氣象年報(全州 裡里, 群山의 平均값 그림 1에서

바. 月別蒸發量 (E_p), mm

※ 但 本蒸發量은 韓國標準規格蒸發計시(D=20cm)값인

月 別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	備考
裡 里	35.6	44.7	74.5	105.1	132.5	145.7	143.3	146.8	109.1	90.1	56.5	39.0	1,123.6	
全 州	29.2	32.7	64.8	103.5	128.2	136.1	118.0	117.7	95.2	79.8	43.9	32.4	981.6	
群 山	39.8	48.2	80.1	110.7	132.8	145.4	140.1	145.4	116.6	104.0	59.5	44.7	1,167.2	
平 均	34.8	41.8	73.1	106.4	131.1	142.4	133.8	136.6	106.9	91.5	53.3	38.7	1,094.8	

上述한 諸氣象資料를 根基로하여 月別로 Class A-pan蒸發量을 다음 表-3과 같이 求할수 있다.

表-3. A-pan 蒸發量 (E_p), mm

期 間	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備 考
月間晝間時間係數 (d)	0.84	0.82	1.00	1.06	1.18	1.18	1.20	1.13	1.00	0.94	0.83	0.81	表-라
Jordan's K값(K)	13.30	13.90	13.80	13.70	13.70	13.40	12.70	13.40	13.40	14.40	14.00	13.20	表-마
氣 溫 (°C) (T)	-1.60	0.40	4.40	11.60	17.30	21.20	25.40	26.40	21.40	14.70	8.50	1.90	表-나
日平均相對濕度% (H)	78.2	77.5	76.5	78.0	75.0	78.7	83.6	81.8	80.6	75.4	75.7	75.2	表-다
月平均相對濕度% (H _n)	62.60	62.00	61.00	62.70	59.00	63.40	69.40	67.20	65.70	59.60	60.00	59.50	(H _n =1.0+0.4H + 0.005H ² 式에 依함)
A-pan蒸發量mm (E _p)	-	-	23.00	63.00	114.70	122.70	118.50	131.20	98.30	80.40	40.00	8.00	(E _p =K·d·T(1-0.01H _n) 式에 依함)

灌溉水量算定에 앞서 水稻生育期인 夏節季의 A-pan蒸發量算定値와 韓國標準規格蒸發計(D=20cm) 蒸發量 값을 比較하여 兩者間에 相關關係를 檢討하였다. 韓國標準蒸發計의 값은 密閉되지 않은 自由水面으로 부터 蒸發하는量과 近似値를 求하기 爲해서는 直徑이 작은 蒸發計自體가 氣溫및日照熱에 민감한 반응이 큰點을 考慮하여야 되므로 減少係數를 0.9로 假定하여 그값을 감소시켰다. 따라서 韓國標準蒸發計補正値와 A型蒸發計値의 比는 $(\frac{0.9 \times E_p'}{E_p})$ 가 되며 月別比率는 表 4와같다. 또한 A-pan 蒸發

量은 月別로 計算한 값이지만 同一月에 對하여 年度別로 檢討한 結果 그差異가 別로 없었으며, 本計算値는 灌溉用水量算定에 適用하여도 무방함이 判明되었다.

表-3과같이 A-pan蒸發量을 求하여 年間 蒸發散量을 計算한다. 그리고 日間滲透되는 4.5mm/日(實測値)을 加算하여 年間必要水量을 算出하면 이값이 畝面에서 必要로하는 消費水量이된다. 이때에 適用하는 作物係數(K_c)는 水稻生育期에 相當하는 값을 그림 2에서 읽어 使用하면된다. 本計算에 適用

表-4.

A型蒸發計值와 韓國標準蒸發計補正值와의 關係

區 分	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	平均	備 考
① A型蒸發計蒸發量 mm, (E_p)	114.7	122.7	118.5	131.2	98.3	80.4		表-3
② 韓國標準蒸發計記錄mm, (E'_p)	131.1	142.4	133.8	136.6	106.9	91.5		表-4
③ $E'_p \times 0.9$	118.0	128.2	120.4	122.9	96.2	82.3		③=②×0.9
④ E'_p/E_p	1.03	1.04	1.02	0.94	0.98	1.02	1.00	④=③÷①

K_1 (表 5, 表 6)은 月間必要水量을 算定한 關係로 旬別로 K_{10} , K_{20} , K_{30} 을 求해 平均값을 使用하였다. 또 灌溉期間中에 降水量을 考慮하여 純必要水量을 $U=(E_{t+p})-ER$ 式에 依하여 求하여 보면 表 5와 같이 된다.

式中 U =純必要水量, mm
 E_t =蒸發散量, mm

p =滲透量, mm/日

ER =有効雨量, mm

또 田作灌溉에서 滲透量은 考慮치 않고 有効雨量 (Irrigation water Requirement No 21, Fig.3參照) 計算은 月別(蒸發散量) 消費水量(U)對 月平均降雨量(Y_t)에 대한 그림 4에서 求하여 田地必要水量을 表 6과 같이 計算한다.

表-5.

水 稻 必 要 水 量

(單位: mm)

月 旬	① 灌水深	② 蒸發量 (E_p)	③ 作物係數 (K_1)	④ 蒸發散量 (E_t)	⑤ 滲透量 (P)	⑥ 月間計	⑦ 降雨量 (R)	⑧ 有効雨量 (ER)	⑨ 必要水量 (WR)	⑩ 損失量加算(25%)
月 旬	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
5月 中下	50				100	150	53	32	118	157
6月 上中下	50 100 100	122.7	0.95	117	135	302	153.3	91.6	210	280
7月 上中下	80 30 80	118.5	1.20	142	139	261	257.7	154.0	107	143
8月 上中下	80 80 50	131.2	1.22	160	139	269	197.4	118.0	151	201
9月 上中下	50 50 30	98.3	0.90	89	135	204	155.2	93.0	111	148
10月 上	0	-		0						
計						1,186		489.6	697	929

註: 表 5에서 ① 5月中에 整地用水深 50mm와 6月 移秧用水深 50mm
 ② Hargreaves式에 依한 蒸發量(E_p) (表 3)
 ③ 그림 2,3에서 生育期別作物係數(消費水量係數)
 ④ ②×③
 ⑤ 月平均滲透量 4.5mm/日, 5月中 100mm이면 飽和狀態에 達한
 ⑥ 生育期別灌水深變化를 考慮한 月間畝面消費水量
 ⑦ 有效雨量을 考慮한 月間必要水量 $U=(E_{t+p})-ER=⑥-⑧$
 ⑧ 損失量 25% 加算(管理損失 및 水路內損失 包含)

Hargreaves 式에 依한 必要水量算定에 關한 小考

表-6. 田作(콩·고구마等 穀類) 必要水量(Gropu A) (單位: mm)

區分	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
月旬	蒸發量 (E_p)	作物係數 (K_1)	蒸發散量 (E_T)	月間計 (GWR)	降雨量 (R)	有効雨量 (ER)	必要水量 (NWR)	損失量加算 (30%)	④×損失量 (30)
6月	—	—	—	—	—	—	—	—	—
上中下	41	0.28	11	11	30.5	11	—	—	16
7月	118.5	0.67	79	79	154	70	9	12.8	112
上中下	131.2	0.95	125	125	118	81	44	62.5	178
8月	98.3	0.73	72	72	93	55	17	24.1	102
上中下	26.8	0.35	10	10	11	6	4	5.7	14
9月	0	—	—	—	—	—	—	—	—
上中下	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計			297	297			74	105.1	422

註: 表 6에서

- ① 表-3의 E_p
- ② 生育期別作物係數(그림 2, 3 참조)
- ③ ③=①×②
- ④ 그림 4와 表 7에서 求함
- 例 蒸發散量, 8月의 125mm=4.92" $U=4.92$ inch 降雨量, 8月의 118mm=4.64" $R=4.64$ inch
- 그림 4에서 U 對 R 座表를 읽어 補正係數를 適用하여 求한다. ⑦ ⑦=④-⑥
- ⑧ 灌溉效率 70%를 適用한 값 (即 $\frac{1}{1-0.3}=1.42$) ⑧=⑦×1.42 ⑨=④×1.42

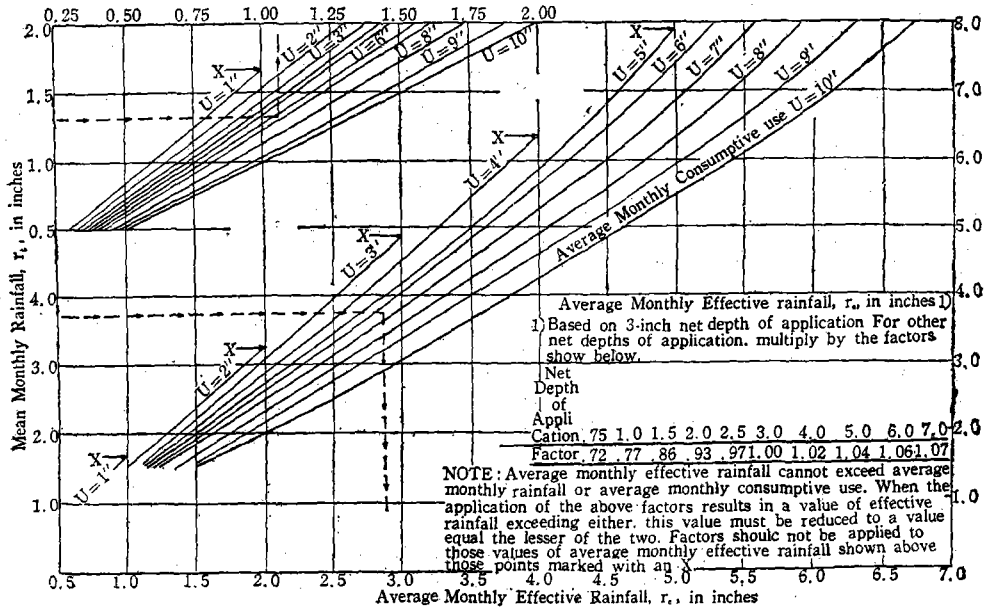


Fig. 4. Average monthly effective rainfall as related to mean monthly rainfall and average monthly consumptive use

表-7. Average monthly effective rainfall ¹⁾ as related to mean monthly rainfall and average monthly consumptive-use

Monthly Mean Rainfall, r_t inches	Average Monthly Consumptive-Use, u , in Inches									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
	Average Monthly Effective Rainfall, r_e , in Inches									
0.5	.30	.32	.35	.36	.37	.40	.42	.45	.47	.50
1.0	.60	.65	.70	.72	.74	.79	.82	.88	.98	1.00
1.5	.90	.98	1.05	1.10	1.13	1.17	1.22	1.32	1.45	1.50
2.0	1.00 1.67	1.29	1.38	1.43	1.47	1.56	1.62	1.75	1.88	2.00
2.5		1.59	1.70	1.78	1.84	1.94	2.02	2.15	2.30	2.50
3.0		1.85	1.99	2.11	2.20	2.30	2.41	2.55	2.70	2.95
3.5		2.00 3.23	2.27	2.41	2.55	2.64	2.79	2.95	3.11	3.38
4.0			2.55	2.71	2.88	2.97	3.15	3.32	3.51	3.80
4.5			2.82	3.00	3.21	3.30	3.49	3.71	3.92	4.22
5.0			3.00 4.87	3.26	3.51	3.62	3.83	4.09	4.32	4.63
5.5				3.55	3.81	3.95	4.17	4.45	4.71	5.04
6.0				3.81	4.09	4.24	4.50	4.80	5.80	5.44
6.5				4.00 6.37	4.35	4.52	4.80	5.12	5.42	5.81
7.0					4.60	4.80	5.10	5.41	5.72	6.15
7.5					4.84 5.00	5.06	5.36	5.68	6.03	6.45
8.0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00 7.89	5.31	5.60	5.93	6.32	6.74

1) Based on 3-inch net depth of application. For other net depths of application, multiply by the factors shown below.

Net Depth of Application	.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
Factor	.72	.77	.86	.93	.97	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07

Note: Average monthly effective rainfall cannot exceed average monthly rainfall or average monthly consumptive use. When the application of the above factors results in a value of effective rainfall exceeding either, this value must be reduced to a value equal the lesser of the two. Factors should not be applied to the values of average monthly effective rainfall shown below those encircled. Where mean monthly rainfall (r_t) is less than 0.5 inch it may be assumed to be 100 percent effective.

表-8. 年間必要水量比較表(水稻作) (單位: mm)

方法	地區名	必要水量	純必要水量 (有効雨量考慮)	備考
Hargreaves	沃舒地區	1,186mm	697mm	
Blaney-criddle	IBRD 錦江地區	1,121mm	532mm	
	昌寧地區	1,160mm	704.7mm	
在來方法	Small Earth Dam	1,222mm	700mm	(67/522) FAO/UN AGL/Rok

結 論

Hargreaves 式內 諸函數 說明에서 알수있듯이 作物消費水量算定에 要求되는 資料들이 國內氣象觀測所에서 蒐集이 可能하며 應用方法이 比較的 簡單하므로 今後에 施行되는 大單位 農業開發地區는 勿論

中小規模地區에 이르기까지 漸次擴大使用할만한 方法이라 하겠다. 또한 IBRD와 關聯있는 國際技術陣에서 널리 勸奨하는 點과 本方法을 利用하여 얻어진 다음에 結果를 볼때 앞으로 借款(IBRD, ADB)事業地區에 對한 妥當性 調査 및 分析에 寄與하는바 勿論 것으로 믿는다.

1. A-pan蒸發量과 韓國標準蒸發計蒸發量과의 相 關比는 $\frac{E'_p \cdot 0.9}{E_p}$ 로 求할수 있다.
2. 灌溉期間中 (5~10月)에 E'_p 와 $E_p = KdT(1.0 - 0.01H_n)$ 과의 平均比率은 1.0이다.
3. Hargreaves式에 의한 年間必要水量은 1,186 mm로서 Blaney-cridde式의 값들(表-8)과 같 이 1,200mm以內의 값이 였다.
4. 有效雨量을 考慮하여 불때 純必要水量이 700 mm以內였다.
5. 晝間時間係數(d)는 旬別 Jordan's 可照指數比 에 依해서 分配使用이 可能하다.

參 考 文 獻

1. Method for Estimating Irrigation Requirem-
ents by G.H. Hargreaves USAID, Bogota,
Colombia, April 1967.

2. Irrigation Water Requirements Technical
Release No. 21. USDA April, 1967
3. 氣象年報, 中央觀象臺發行 (1960~1974)
4. 地上氣象觀測法, 中央觀象臺 1971.
5. 沃舒地區 基本計劃報告書, 農振公 1975. 7月
6. Upland Developmet & Watershed Managem-
ent project, Seoul, FAO/UN Aug. 1973.
7. Hydrological Review (Pyong Taek-Kumgang
Irr. project) Apr. 1972 Rok.
8. 農業用水開發必要水量基準, 1972. 7. 農水產部
9. 土地改良事業計劃設計基準(灌溉編) 1969. 12.
農水產部
10. Field Irrigation Hand Book 日本 大畑昇一,
猿波良一 共著.
11. 昌寧地區 水文調查報告書 1975. 12