

氣象資料에 의한 作物의 必要水量 決定

Water Requirement for Crops by using Meteorological data

李 重 基
Lee, Joong Key

Summary

Consumptive use of water

The calculation of the consumptive use by crop can be most accurate when it is actually measured. The mankind is not yet able to grasp all the natural conditions or phenomena.

The induces of actual measurement at a representative observatory and the formula obtained from the area were made as close as possible, which is called as the Blaney Criddle formula, published in 1945.

In calculating the water requirement of consumptive use of water by farm crops, a more accurate and reasonable formula should be induced as the factors other than temperature and day-time hours according to the location of project area have also influences.

The formula of Mr. Jerald E. Christiansen published in 1969 is based on the induces of the records of actual measurements for 3,928 months at 80 different stations and his formula covers a wider range of functions that calculate water requirement to induce the functions of moisture, wind, velocity, sunshine at elevations, in addition to temperature and daytime hours in accordance with latitude and was modified to be fit to natural phenomena.

The formula is being widely in use in many countries with their modification since it is worth while for use also in Korea, the formula is introduced and explained in the following.

1. 서 론

農業水文은 作物에 소요되는 必要水量을 經濟的이고 科學的인 方法으로 結定하여 農業用水 開發計劃에 最小의 豫算으로 最大의 效果를 얻는데 그 目的이 있다. 農作物에 對한 所要水量을 計算하는 方法은 여러가지가 소개되었으나 지금껏 많은 學者들의 끊임없는 努力과 研究의 結果로 發達해왔다. 韓國에서 使用했던 것으로 代表的인 것은 日本人들에 의해 소개되었던 作物의 風乾物 重量과 증발량의 函數로된 點算法이 使用되어 왔다. 그러나 이 方法中 계수는 韓國을 위해 만들어진 것이 아니며 뚜렷한 科學的 根據가 없기 때문에 不適當하였으나 他方法이 紹介되지 않았기 때문에 부득이 이 方法을 使用해왔던 것이다. 그러나 다행히도 1968년 농

正會員·農業振興公社 技術協力部

업진흥공사가 錦江 淸溪 水官事業을 시작하면서 內國的 태두리를 벗어나 世界의 技術陣과 並立하여야 할 不可避한 立場에 놓였을 때 紹介될 것이 1945年 Harry F. Blaney와 W.D. Criddle 兩氏가 實驗研究한 公式이다. 그러나 本公式을 그대로 韓國에 直接 使用케한 여러問題點이 있었으나 부득이 그대로 原形을 수정없이 使用해 왔던 것이고 또 世界 技術者間에도 그대로 認定 받을 수 있었다.

그러나 1969년에 Jerold E. Christiansen 氏의 學位 論文으로서 發表된 이公式은 80개 관측實驗場에서 3,928個月의 실측치로 公式을 수정 發見했다. 여기에 紹介하는 것은 不幸히도 韓國에서 使用한 것이 아니고, 越南에서 使用하게끔 만들어진 公式과 計算實例이다. 越南은 過去 100年間 佛蘭西의 統治하에 있을때 各市 市場에서 實측한 것으로 만든 單位 計算량을 푸즈건 1

정보당 1 초에 1 리터를 사용했기 때문에 필자가 3個年
間 越南政府의 水文專門 科員으로 있는 동안 修正 보
급한 것으로 지금은 越南 全域에 보급 使用되고 있으
며 ADB(아세아 개발은행)과 메콩 코미티(Mekong
Committee)에서도 이를 現在 使用하고 있는 것으로 前
來 新國에서도 修正 使用할 價値가 있는 것으로 사르
피르트 여기에 紹介한다.

2. 氣象要素 係數

지금 使用하고 있는 Blaney-Criddle 은 日照時間과
溫度의 函數만으로 되어 있으며 氣象因子와 實驗實側
值에서 오는 誤差의 修正值를 생략하지 아니했다. 그
러나 여기에 紹介하는 公式은 그 函數의 範圍를 溫度,
濕度, 風速 日射力量, 日照時間, 標高係數 및 作物係
數를 函數로 했으며 各氣象係數에서 오는 誤差를 最小
限으로 줄이기 위해 二次函數를 對數式으로 만든것이
다음과 같다.

가) 溫度係數

$$C_T = 0.393 + 0.02796 T_c + 0.0001189 T_c^2 \dots\dots\dots (1)$$

이 식은 單位가 °C 모서 이 單位를 없애기 위해 標
準값 $T_0 = 20^\circ C$ 를 使用하던

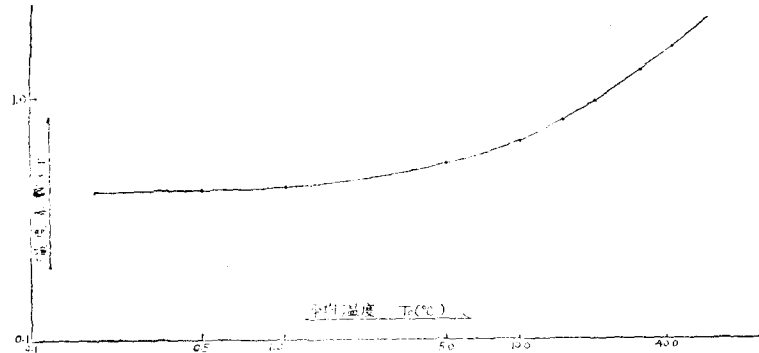
$$C_T = 0.393 + 0.5592(T_c/T_0) + 0.04756(T_c/T_0)^2 \dots (2)$$

이다 (1)式과 (2)式을 使用해서 各溫度別 溫度係數 C_T
를 計算한 것이 第1表와 같다. 이를 圖表로 表示한 것
이 제 1圖와 같다.

第1表. 平均溫度에 對한 溫度係數(°C)

溫 度 T_c	C_T	$\log C_T$
0.0	0.393	-0.4060
0.6	0.408	-0.3891
1.16	0.424	-0.3727
1.7	0.440	-0.3569
2.2	0.453	-0.3415
2.8	0.471	-0.3267
3.3	0.487	-0.3122
3.9	0.503	-0.2982
4.5	0.519	-0.2845
5.0	0.535	-0.2712
5.6	0.552	-0.2582
6.1	0.568	-0.2455
6.7	0.585	-0.2332
7.2	0.601	-0.2211
7.8	0.618	-0.2093
8.3	0.634	-0.1978
8.9	0.651	-0.1865
9.4	0.668	-0.1755

10	0.684	-0.1647
10.6	0.701	-0.1541
11.1	0.718	-0.1437
11.7	0.735	-0.1335
12.2	0.753	-0.1235
12.8	0.770	-0.1137
13.3	0.782	-0.1040
13.9	0.804	-0.0946
14.4	0.822	-0.0853
15.0	0.839	-0.0761
15.6	0.857	-0.0671
16.1	0.874	-0.0583
16.7	0.892	-0.0495
17.2	0.910	-0.0410
17.8	0.928	-0.0325
18.3	0.946	-0.0242
18.9	0.964	-0.0160
19.4	0.982	-0.0080
20.0	1.000	+0.0000
20.6	1.018	+0.0078
21.1	1.037	0.0156
21.7	1.055	0.0232
22.2	1.073	0.0307
22.8	1.092	0.0382
23.3	1.110	0.0455
23.9	1.129	0.0527
24.4	1.148	0.0599
25.0	1.167	0.0670
25.6	1.186	0.0739
26.1	1.205	0.0808
26.7	1.224	0.0876
27.2	1.234	0.0944
27.8	1.262	0.1010
28.3	1.281	0.1076
28.9	1.300	0.1141
29.4	1.320	0.1205
30.0	1.339	0.1269
30.6	1.359	0.1332
31.1	1.379	0.1394
31.7	1.398	0.1456
32.2	1.418	0.1517
32.8	1.438	0.1577
33.3	1.458	0.1637
33.9	1.478	0.1696
34.4	1.498	0.1754
35.0	1.518	0.1812
35.6	1.538	0.1870
36.1	1.558	0.1927
36.7	1.579	0.1983
37.2	1.599	0.2039
37.8	1.620	0.2094
38.3	1.640	0.2149
38.9	1.661	0.2203
39.4	1.682	0.2257
40.0	1.702	0.2311
40.6	1.723	0.2364



第1圖. 平均溫度 T_c 에 對한 溫度係數

나) 풍속係數

$$C_w = 0.708 + 0.00546W - 0.00001W^2 \dots \dots \dots (3)$$

單位를 없애기 위한 風速의 標準值 $W_0 = 97 \text{ km/day} = 16 \text{ km/hr}$ 를 取하면 (4)式은 다음과 같다.

$$C_w = 0.708 + 0.33(W/W_0) - 0.036(W/W_0)^2 \dots \dots \dots (4)$$

3式과 4式을 各 風速別로 計算한 것이 第2表와 같다. 여기에 使用되는 風速은 地上 60cm에서 測측한 값을 示하되나 이 記錄值가 없을때 다음 式으로 換算한다.

$$W_{0.6} = W_a(Z/Z_a) = W_a(0.6/Z_a)$$

여기서 $W_{0.6}$, 地上 60cm에서의 風速 W_a : 地上 Z_a 點의 風速

8.7	13.1	16.5	1.249	0.0966
9.4	13.8	17.4	1.277	0.1061
10.1	14.5	18.2	1.302	0.1147
10.7	15.1	19.0	1.326	0.1225
11.4	15.8	19.9	1.348	0.1296
12.1	16.5	20.7	1.367	0.1358
12.7	17.1	21.6	1.385	0.1414
13.4	17.8	22.4	1.400	0.1463
14.1	18.5	23.2	1.414	0.1504
14.8	19.1	24.1	1.426	0.1540
15.4	19.8	24.9	1.435	0.1569
16.1	20.5	25.7	1.443	0.1592
16.8	21.1	26.6	1.448	0.1609

第2表. 풍속차 풍속계수(km/시간)

地上 0.6m	2.0m	10.0m	C_w	$\log C_w$
0.0	0.0	0.0	0.708	-0.1497
0.3	1.2	1.5	0.735	-0.1334
0.7	2.1	2.7	0.762	-0.1180
1.0	2.9	3.7	0.788	-0.1034
1.3	3.7	4.6	0.814	-0.0896
1.7	4.3	5.4	0.839	-0.0764
2.0	4.9	6.2	0.863	-0.0639
2.3	5.5	6.9	0.887	-0.0520
2.7	6.1	7.6	0.911	-0.0406
3.0	6.6	8.3	0.934	-0.0297
3.4	7.1	8.9	0.956	-0.0194
3.7	7.5	9.5	0.978	-0.0095
4.0	8.0	10.0	1.000	-0.000
4.4	8.4	10.6	1.021	0.0090
4.7	8.8	11.1	1.042	0.0177
5.0	9.2	11.6	1.062	0.0260
5.4	9.6	12.1	1.081	0.0339
5.7	10.0	12.6	1.100	0.0415
6.0	10.4	13.1	1.119	0.0488
6.4	10.8	13.5	1.137	0.0557
6.7	11.1	14.0	1.154	0.0624
7.4	11.8	14.8	1.188	0.0748
8.0	12.5	15.7	1.220	0.0862

(다) 溫度係數

正午의 溫度係數는

$$CH_n = 1.25 - 0.87H_n + 0.75H_n^2 - 0.85H_n^4 \dots \dots \dots (5)$$

正午의 溫度를 觀測한 記錄이 없을때

$$H_n = 0.4H_m + 0.6H_m^2 \dots \dots \dots (6)$$

여기서 H_m 은 平均濕度로서 11시와 17시의 平均値이다. 이 記錄值가 없을 때는 溫度의 觀測值로서 換算할 수 있다.

$$H_n = 1.13 - 0.045 T_d$$

여기서 T_d 는 最大平均氣溫과 最小平均氣溫의 差 $^{\circ}\text{C}$

(5)式과 (6)式을 整理하면

$$CH_m = 1.25 - 0.37H_m - 0.6H_m^5 \dots \dots \dots (7)$$

(5)式과 (7)式을 利用하여 各溫度別로 溫度係數를 計算한 것이 第三表이며 이를 圖表로서 그친 것이 第 三圖이다.

(라) 日射量 係數

$$C_s = 0.542 + 0.8S - 0.78S^2 + 0.62S^3 \dots \dots \dots (8)$$

여기서 S : 日射量 平均値(%)에 對한 소수로서 表示한다.

第3表. 상대습도에 대한 습도계수

$\frac{H_n}{H_m}$	CH_n	$\log CH_n$	CH_m	$\log CH_m$
10	1.170	0.0683	1.212	0.0839
15	1.136	0.0554	1.194	0.0772
20	1.105	0.0432	1.176	0.0703
22	1.093	0.0386	1.168	0.0675
24	1.082	0.0341	1.161	0.0647
26	1.071	0.0296	1.153	0.0619
28	1.061	0.0253	1.145	0.0589
30	1.050	0.0210	1.138	0.0560
32	1.039	0.0168	1.130	0.0529
34	1.030	0.0126	1.121	0.0498
36	1.020	0.0085	1.113	0.0466
38	1.010	0.0043	1.105	0.0432
40	1.000	0.0000	1.096	0.0398
42	0.990	-0.0042	1.087	0.0361
44	0.981	-0.0085	1.077	0.0323
46	0.970	-0.0130	1.067	0.0283
48	0.960	-0.0177	1.057	0.0241
50	0.949	-0.0226	1.046	0.0199
52	0.938	-0.0277	1.035	0.0148
54	0.927	-0.0331	1.023	0.0097
56	0.914	-0.0389	1.010	0.0042
58	0.902	-0.0450	0.996	-0.0017
60	0.888	-0.0517	0.981	-0.0082
62	0.873	-0.0588	0.966	-0.0152
64	0.858	-0.0666	0.949	-0.0228
66	0.841	-0.0751	0.931	-0.0312
68	0.823	-0.0844	0.912	-0.0402
70	0.804	-0.0945	0.890	-0.0505
72	0.784	-0.1057	0.868	-0.0617
74	0.762	-0.1180	0.843	-0.0741
76	0.738	-0.1317	0.817	-0.0880
78	0.713	-0.1469	0.788	-0.1034
80	0.686	-0.1638	0.757	-0.1207
82	0.657	-0.1827	0.724	-0.1402
84	0.625	-0.2040	0.688	-0.1622
86	0.592	-0.2280	0.650	-0.1874
88	0.555	-0.2553	0.608	-0.2163
90	0.517	-0.2867	0.563	-0.2497
95	0.408	-0.3892	0.434	-0.3623
100	0.280	-0.5528	0.280	-0.5528

日射量 S 를 觀測한 값이 없을 때 雲量으로 換算할 수 있다. 이는

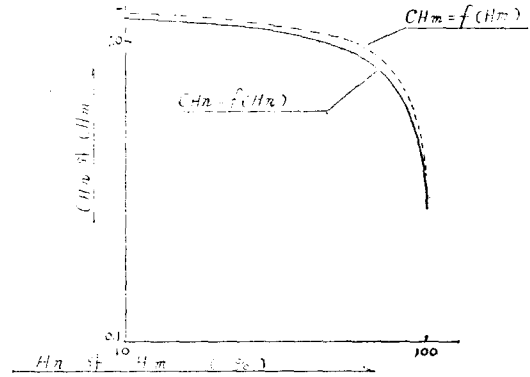
$$S=1.0-0.016S_c-0.0084S_c^2 \dots\dots\dots(9)$$

S_c 는 雲量으로서 單位는 %로 되어 있으나 어떤 觀測기구는 0~80%의 單位로 되어 있다. 이 때는 1.25 배해서 0~100%의 單位로 換算한다(이는 百分率로 表示한 것임). 計算의 便誼를 위해 標準值 $S_0=80\%=0.8$ 을 取해서 單位를 없애면

$$C_s=0.542+0.64(S/S_0)-0.4992(S/S_0)^2+0.3174$$

$$(S/S_0)^3 \dots\dots\dots(10)$$

(8)式과 (10)式으로 各 日射量 S 에 對해 日射量係數 C_s 를 計算한 表가 第4表이다.



H_m (11時와 17時의 平均습도)%
 H_n 正午의 습도 %

第2圖. 濕度係數

마) 標高係數

$$C_E=0.97-0.03E$$

計算의 便宜를 爲해 標高의 標準值 $E_0=305m$ 로 하여 單位를 없애면

$$C_E=0.97-0.03(E/E_0) \dots\dots\dots(12)$$

(11)式과 (12)式을 利用하여 計算한 標高係數가 第5表와 같다.

第4表. 日射量 S 에 對한 日射量係數

일사량%	C_s	$\log C_s$
0	0.542	-0.2660
2	0.558	-0.2536
3	0.565	-0.2477
4	0.573	-0.2420
5	0.580	-0.2365
6	0.587	-0.2311
7	0.594	-0.2259
8	0.601	-0.2209
9	0.608	-0.2160
10	0.615	-0.2112
11	0.621	-0.2066
12	0.628	-0.2021
13	0.634	-0.1978
14	0.640	-0.1935
15	0.647	-0.1894
16	0.653	-0.1854

17	0.659	-0.1814	73	0.952	-0.0216
18	0.664	-0.1776	74	0.958	-0.0186
19	0.670	-0.1739	75	0.965	-0.0156
20	0.676	-0.1702	76	0.672	-0.0125
21	0.681	-0.1666	77	0.979	-0.0094
22	0.687	-0.1631	78	0.986	-0.0063
23	0.692	-0.1597	79	0.993	-0.0031
24	0.698	-0.1564	80	1.000	0.0000
25	0.703	-0.1531	81	1.008	0.0033
26	0.708	-0.1499	82	1.015	0.0066
27	0.713	-0.1467	83	1.023	0.0099
28	0.718	-0.1436	84	1.031	0.0133
29	0.724	-0.1405	85	1.039	0.0167
30	0.729	-0.1375	86	1.047	0.0201
31	0.734	-0.1346	87	1.056	0.0236
32	0.738	-0.1317	88	1.064	0.0271
33	0.743	-0.1288	89	1.073	0.0307
34	0.748	-0.1260	90	1.082	0.0343
35	0.753	-0.1232	91	1.091	0.0379
36	0.758	-0.1204	92	1.101	0.0416
37	0.763	-0.1177	93	1.110	0.0454
38	0.767	-0.1150	94	1.120	0.0491
39	0.772	-0.1123	95	1.130	0.0529
40	0.777	-0.1096	96	1.140	0.0568
41	0.782	-0.1070	97	1.150	0.0607
42	0.786	-0.1044	98	1.160	0.0646
43	0.791	-0.1018	99	1.171	0.0686
44	0.796	-0.0992	100	1.181	0.0725
45	0.801	-0.0966			
46	0.805	-0.0940			
47	0.810	-0.0915			
48	0.815	-0.0889			
49	0.820	-0.0864			
50	0.825	-0.0838			
51	0.829	-0.0813			
52	0.834	-0.0787			
53	0.839	-0.0761			
54	0.844	-0.0736			
55	0.849	-0.0710			
56	0.854	-0.0684			
57	0.859	-0.0658			
58	0.865	-0.0632			
59	0.870	-0.0606			
60	0.875	-0.0579			
61	0.880	-0.0553			
62	0.886	-0.0526			
63	0.891	-0.0499			
64	0.897	-0.0472			
65	0.903	-0.0444			
66	0.908	-0.0417			
67	0.914	-0.0389			
68	0.920	-0.0361			
69	0.926	-0.0332			
70	0.932	-0.0304			
71	0.939	-0.0275			
72	0.945	-0.0245			

第5表. 丑卫望 標高系数

標 高	C_E	$\log C_E$
m		
0	0.970	-0.0132
30	0.973	-0.0116
60	0.976	-0.0100
90	0.979	-0.0084
120	0.982	-0.0068
150	0.985	-0.0052
180	0.988	-0.0036
210	0.991	-0.0020
240	0.994	-0.0004
270	0.997	0.0012
310	1.000	0.0028
340	1.003	0.0044
370	1.006	0.0060
395	1.009	0.0076
430	1.012	0.0092
460	1.015	0.0108
490	1.018	0.0124
520	1.021	0.0140
550	1.024	0.0156
580	1.027	0.0172
610	1.030	0.0188
640	1.033	0.0204
670	1.036	0.0220

800	1.039	0.0166
730	1.042	0.0179
769	1.045	0.0191
790	1.048	0.0204
820	1.051	0.0216
850	1.054	0.0228
880	1.057	0.0241
910	1.060	0.0253
950	1.063	0.0265
970	1.066	0.0278
1010	1.069	0.0290
1040	1.072	0.0302
1070	1.075	0.0314
1100	1.078	0.0326
1130	1.081	0.0338
1960	1.084	0.0350
1190	1.087	0.0362
1220	1.090	0.0374
1250	1.093	0.0386
1280	1.096	0.0398
1310	1.099	0.0410
1340	1.102	0.0422
1370	1.105	0.0434
1400	1.108	0.0445
1430	1.111	0.0457
1460	1.114	0.0469
1490	1.117	0.0481
1520	1.120	0.0492
1550	1.123	0.0504
1585	1.126	0.0515
1620	1.129	0.0527
1650	1.132	0.0538
1680	1.135	0.0550
1710	1.138	0.0561
1740	1.141	0.0573
1770	1.144	0.0584
1800	1.147	0.0596
1830	1.150	0.0607
1980	1.165	0.0623
2130	1.180	0.0719
2290	1.195	0.0774
2440	1.210	0.0828
2590	1.225	0.0881
2740	1.240	0.0934
2900	1.255	0.0986
3050	1.270	0.1038
3200	1.285	0.1089
3350	1.300	0.1139

ber method 法을 써서 田作物의 所要水量을 구하는 方法이 있고 畚作에는 구간법(Block method)을 使用해서 必要水量을 求하는 方法이 있으나 이들은 人力로서는 解決할 수 없는 여러 因子들(風速, 氣溫, 濕度, 日射量等) 自然條件과 같이 變할 수는 없기에 正確한 結果를 얻기란 不可能하다. 그러나 自然條件에 基의 近似라도록 誘導하기 위해 많은 學者들이 끊임없이 研究改良 하였다. J.E.Christiansen, Blaney-Criddle, Metha, 그리고 Chindasnguan 씨 들이 田作에 對하여 研究했고 畚作에는 忠北大學校 金哲基 교수 忠南大學校 田秉鎭 교수, 그리고 農村振興廳 農工利用研究所 함옥등氏 등이 많은 苦心 끝에 韓國에 適合한 水稻작(Rice paddy)의 必要水量을 測定하는 方法을 研究하여 農業水文學에 훌륭한 業績을 남겼다.

가) 所要水量

所要水量은 다음 公式으로 計算한다.

$$U = KE_V \dots\dots\dots(13)$$

이거서 K: 秀節에 따르는 作物別 係數로서 다음과 같다.

作物	K
알팔파(Alfalfa)	1.09
콩	0.98
옥수수, 사탕수수	1.00
목화	1.08
귀리	0.89
감자	1.02
계울밭	1.10
바	1.20~1.30
채소	0.9
과수	0.9

E_V : 葉水面蒸發量으로서 다음식으로 구한다.

$$E_V = 0.473 R_1 C_T C_{WR} C_S C_E \dots\dots\dots(14)$$

U: 作物別 所要水量

R: 日照時間으로서 所要水量을 計算하기 위해 氣溫이 20°C 일 때의 蒸發量과 同一한 水心으로 換算하여 表示한 것이 제 6 表와 같다.

이것은 위도 別로 換算하였으리 各 月別로 計算하였다. 그리고 기타 계수는 氣象係數들로서 第 1 表에서 5 表와 같다.

3. 作物의 所要水量

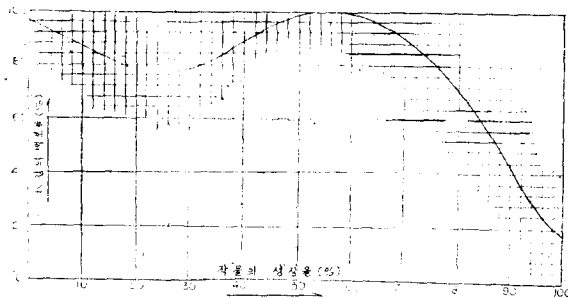
作物別 所要水量은 作物의 種類와 成長期別로 相異하다. 正確한 必要水量을 얻으려면 實測해야만 하리 實測하는 方法은 원통형법(Cylinder method)와 Cham-

第6表 日照時間에 따른 수심표(mm/day)

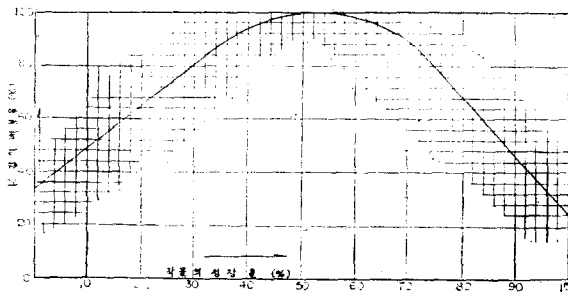
위도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60	1.44	3.59	6.99	11.29	14.80	16.58	15.68	12.62	8.70	4.66	1.93	0.90
50	3.76	6.06	9.24	12.85	15.59	16.83	16.17	13.87	10.61	7.13	4.38	3.12
45	4.95	7.29	10.27	13.51	15.86	16.90	16.32	14.37	11.48	8.30	5.61	4.27
40	6.17	8.47	11.23	14.08	16.05	16.91	16.40	14.78	12.28	9.38	6.83	5.47
35	7.40	9.61	12.09	14.55	16.15	16.83	16.40	15.10	13.00	10.38	8.03	6.69
30	8.63	10.69	12.86	14.93	16.15	16.66	16.32	15.32	13.62	11.30	9.18	7.92
25	9.82	11.69	13.53	15.22	16.06	16.39	16.14	15.43	14.14	12.14	10.29	9.14
20	10.95	12.61	14.10	15.39	15.87	16.01	15.86	15.44	14.54	12.91	11.34	10.34
15	12.00	13.44	14.57	15.44	15.56	15.55	15.47	15.33	14.83	13.61	12.33	11.50
10	12.96	14.18	14.92	15.36	15.15	14.99	14.98	15.12	15.00	14.24	13.23	12.60
5	13.84	14.79	15.16	15.17	14.65	14.33	14.39	14.80	15.06	14.74	14.05	13.60
0	17.84	16.63	18.63	17.50	17.12	15.99	16.71	17.53	17.67	18.42	17.37	17.70
5	15.32	15.71	15.26	14.48	13.34	12.77	12.93	13.84	14.84	15.32	15.38	15.31
10	15.91	16.03	15.15	13.97	12.56	11.86	12.08	13.20	14.58	15.42	15.90	16.00
15	16.42	16.16	15.00	13.35	11.70	10.87	11.15	12.46	14.20	15.42	16.31	16.59
20	16.83	16.27	14.59	12.64	10.76	9.83	10.16	11.64	13.70	15.33	16.62	17.00
25	17.14	16.27	14.16	11.83	9.75	8.75	9.11	10.80	13.11	15.17	16.80	17.39
30	17.33	16.14	13.64	10.93	8.68	7.61	8.01	9.84	12.42	14.91	16.87	17.68
35	17.45	15.88	12.99	9.95	7.55	6.43	6.87	8.83	11.65	14.53	16.84	17.86
40	17.40	15.50	12.23	8.89	6.40	5.26	5.71	7.78	10.79	14.03	16.71	17.93
50	17.12	14.37	10.40	6.80	4.17	3.05	3.41	5.15	8.76	12.66	16.21	17.75

나) 作物 係數 K 值의 修正

作物係數 K 値는 試驗場에서 實驗實測이 可能하다. 그리고 이 값은 作物의 成長期別로 다르므로 作物의 成長過程을 百分率로 하고 또 "K_n" 値를 百分率로 해



第3圖. 畚作의 K 값수정



第4圖. 田作의 K 값수정

서 表示한 것이 第3圖와 같다. 벼는 모내기 물이 必要하므로 波曲線을 이루고 있으나 第4圖의 田作은 山型曲線을 이루고 있다. 100%는 最高成長期를 말하는 것이다.

다) 作物體系(Crops Pattern)

作物의 成長過程과 耕作절차를 氣象條件과 現地의 立地條件에 맞췄을 體系化시킨 것을 作物體系라 한다. 그래서 간혹 이것을 Crops Calendar 라고도 부른다. 이는 作物의 全 生育期間을 百分率(%)로 分類하여 播種 및 과중기 이양 및 이식기 성장기 수확기 등으로 나누어서 計劃을 세우게 마련이며 이에 따라 作物係數 K 値를 修正해야 된다.

라) 有效雨量(Effective rainfall)

有效雨量은 강수량 全體가 作物成長에 所要되는 것이 아니기에 全體의 雨量中에서 作物에 所要되는 量을 除하고는 流出하거나 증발 또는 삼투하여 손실된다. 有效雨量을 計算하기란 아주 까다롭다. 計算에 必要한 因子는 蒸發量, 흙속의 函數量 흙의 물보유능력 삼투 손실량 作物이 흡수하여 저류시키는量 地勢에 따라 流下可能性과 流下量 등이 있다. 그러나 이런 因子 들을 計算의 函數로 만드려 實在로 計算하기란 不可能하다. 그래서 이 곳에 紹介되는 式은

$$E_R = R(1 - 0.006R) \dots \dots \dots (15)$$

(15)式에서 E_R : 有效雨量(cm)

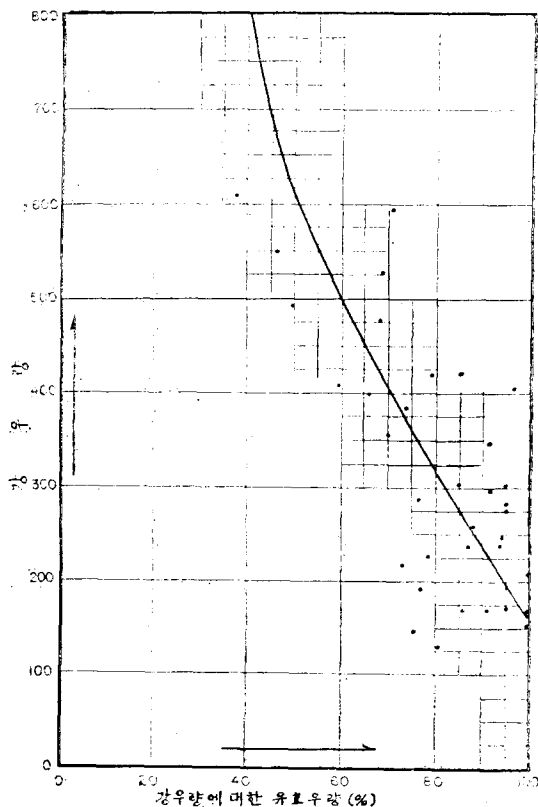
R : 降雨量(cm)

이 式으로 計算한 E_R (有效雨量)은 70%以上을 넘을 수 없고 20% 以下로 떨어질 수도 없다. 이 式은 單純히 計算式에 不過하나 東南亞에서 適合하게 使用할 수 있었지만 長期的 實驗研究下에 만든 것이 第5圖의 같다이 實驗結果는 降雨량이 170mm 以下 일 때는 雨量이 有效하고 320mm 時 80%, 370mm 일 때는 70%가 有效하다고 한다. 그러나 가뭄이 겪친 후에 내린 비는 이 경우에 맞을 지 모르나 雨期가 겪친 地區에서는 맞는 확율이 50%도 안된다. 上記 (15)式으로 降雨別 計算한 것이 第7表와 같고 第7表와 第5圖의 平均值가 第6圖와 같다.

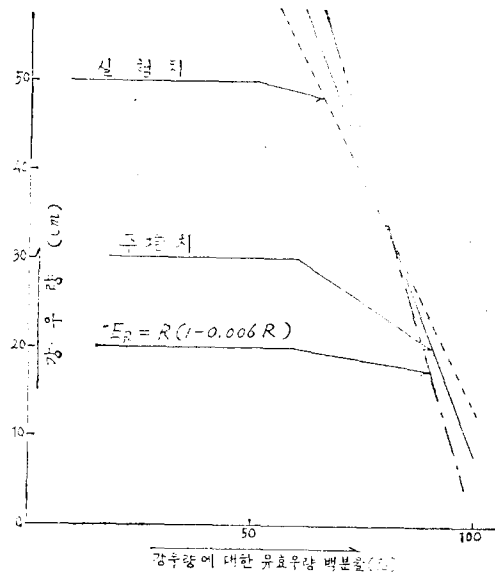
第7表. 降雨量에 대한 有效雨量表

(단위 cm)

강우량 R	5	10	15	20	25	30	40	50
R^2	25	100	225	400	625	900	1,600	2,500
0.006 R^2	0.15	0.6	1.35	2.4	3.15	5.4	9.6	15
유로우 E_R	4.85	94	13.65	17.6	21.85	24.6	30.4	35.0
백분율	100	100	91	88	87	82	76	70



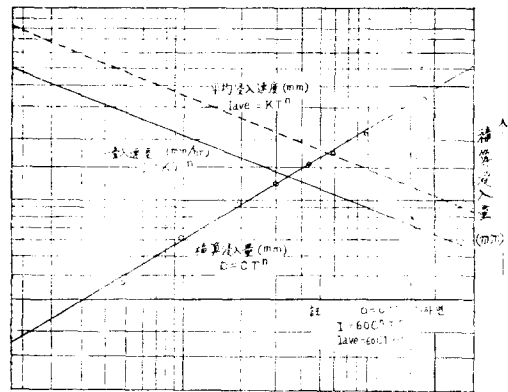
第5圖 有效雨量



第6圖. 강우량에 대한 유효우량

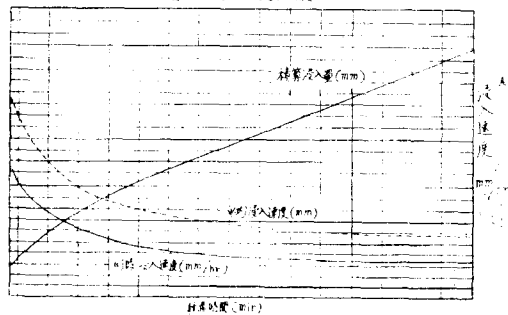
(마) 삼투손실량(Losses due to Percolation)

滲透水는 물 손실의 一部이지만 물이 植物根域에 도



経過時間 (min)

浸入曲線の 對數曲線



経過時間 (min)

第7圖. 浸入曲線の 實例

달할 수 있는 手段의 하나로서 없어서는 안된다. 滲透 水量의 測定은 土壤의 組織과 構造 함수율에 따라 支配된다. 그리고 作物에 對한 必要水量은 滲透손실이 絶對인 支配를 한다. 農業水文에 있어 滲透水量을 測定하는 것이 重要하다. 滲透손실의 測定과 손실량의 結定에는 여러 方法이 있다.

① 觸感法에 依해 實用的 土壤水分의 檢定은 第 8 表와 같다.

② 圓筒型浸透器(Cylinder type)에 의한 測定法은(農

振技術咨事 62 號 IR 1968 11 月 p25 참조) 現場의 代表的인 場所에 설치해서 水面의 降下速度를 測定해서 滲透손실을 結定하는 方法으로 그圖表가 第 7 圖와 같다. ③ 實驗實 測定法은 代表的인 장소의 흙을 試料로 다시 實驗室에서 공극을 흡의 함수비 等を 찾아내어 도표에서 求해내는 法으로 가장 正確한 方法이며 豫算을 絶減할 수 있는 것으로 권유하고 싶다.(農工學會誌 九권 2 호 均質土壤에서 一次的인 滲透現狀 1917.10 참조).

第 8 表. 觸感法에 依한 實用的土壤水分의 檢定表

圃場容水量에 對한 保有水分量(%) [殘留土壤水分]	土壤의 觸감 또는 外觀			
	甚히 輕한 組織 (粗輕土)	輕한 組織 (輕 土)	中位의 組織 (中位土)	重粘 또는 甚한 重粘組織 (重粘土)
	乾燥, 粗粒, 單粒으로 손가락사이로 흘러 내린다.	乾燥, 粗狀으로 指間에 흘러 내린다.	粉狀으로 乾燥되어 있다 메로는 皮殼을 이루고있으나 容易하게 粉狀으로 된다.	乾固되어 갈라져 있다.
50%以下	外觀은 乾燥되고 힘주어 쥘어도 塊狀으로 되지않는다.	外觀은 乾燥되고 힘주어 쥘면 塊狀으로 된다.	加壓시키면 서로 接着하여 뭉친다.	약간 부드러워 힘주어 쥘면 塊狀으로 된다.
50%~70%	上 同	강하게 쥘면 容易하게 球狀으로 된다.	球塊가되어 약간 可塑性이 있다.	球塊가되어 엄지와 人指사이에 棒狀으로 흘러나온다.
75%~圃場容水量(100%)	輕하게 結着하기 용이하고 강하게 쥘면 球塊를 만든다.	球塊가되나 容易하게 부서진다. 미끄러운 感은 없다.	球塊가 된다. 약간 可塑性이 있다. 미끄러운 感이 있다.	容易하게 指間사이로 흘러 나온다. 미끄러운 감이 있다.
圃場容水量(100%)	손에 쥘면 表面에 水分이 흘러나오지 않지만 球의 윤곽이 손에 남는다.	左 向	左 向	左 向
圃場容水量(100%) 以上	土壤을 손위에 놓고 살살 치면 自然히 水分이 흐른다.	반죽하면 自然히 들이나온다.	손에 쥘면 물이 自然히 흘러나온다.	表面에 自然히 들이나온다.

4. 作物生育을 위한 필요수량(Water requirement for crops)

作物生育에 必要한 水量 Q(必要水量)은

$$Q = U - ER + P = KE_v + P - E_R \dots\dots\dots(16)$$

- 여기서 Q; 作物에 純必要水量(mm/day)
- U; 作物의 所要水量 mm/day
- K; 作物係數
- E_v; 純葉水面 증발량(Potential evopo-transpiration)
- E_R; 有效雨量mm/day (Effective rain-fall)

16 式으로 計算한 것이 作物에 純必要水量이고 이에 水路손실 경지손실 및 기타 손실을 加算한 것이 總必要水量(Total water requirment for crops)이다.

여기 記述한 것이 중전에 使用했던 Blaney & Criddle 氏 式을 改良한 것으로 앞으로는 이 改良式을 써서 보다 좀더 正確하고 確實하고 理論的인 뒷받침을 할 수 있는 式을 使用해야 될 것이다. 韓國에서는 上記方法으로 計算實例가 없으나 越南에서 計算한 實例를 여기에 소개한다. 이는 ADB(Asian Development Bank)와 메콩委員會(Mekong Committee)에서도 使用하고 있다.

5. 計算例

가) 氣象係數

越南의 中部 高原인 Dalat 지방은 北緯 12°C 이고 해발 1,510m 로서 이 곳의 氣溫은 마치 韓國의 봄과 가

을 같다. 이 地方의 特産物은 欸스이며 山間地方이라서 農耕地도 欸하되만 水資源의 確保가 큰 問題이다. 그래서 모든 農場의 灌溉手段은 管水路(Pipe line)이다. Dalat 지방의 氣象記錄值가 第9表이다.

第9表. Dalat의 기강 기록치 해발 1,510m

구분	月	관측기간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	년평균
최고 평균 습도	1949~1964		93.7	92.2	93.3	95.6	97.1	97.0	97.1	97.5	97.6	97.7	96.4	95.0	95.9
평균 습도			74.6	71.6	72.0	77.0	83.6	85.5	86.2	87.3	88.3	86.3	81.3	77.4	80.9
최저 평균 습도			46.3	41.1	38.8	43.8	53.3	59.4	60.7	62.5	61.8	59.6	55.0	51.4	52.8
평균 운량	1940-41: 43 48-64		3.6	3.7	3.6	4.6	5.5	6.0	6.0	6.3	6.2	5.6	5.0	4.4	5.0
풍속(평균)	1956-64		E	E	E	E	E;W	W	W	W	W	E;W	E	E	
최대 강우량	1949~1964		37	90	140	213	455	283	396	367	396	603	194	89	1856
평균 강우량			4.7	25.0	38.2	115.5	233.9	157.5	196.3	207.9	256.1	257.5	66.6	30.7	1589.9
최저 강우량			0	0	1	10	123	77	81	152	82	94	1		991
최고 기온	1949~1964		30.8	31.8	34.2	32.6	32.6	31.0	30.5	30.5	30.2	30.2	29.7	29.2	34.2
평균 최고 기온			26.2	27.4	29.6	28.6	27.4	26.9	26.7	26.7	26.7	26.5	26.2	25.9	27.3
평균 기온			19.1	20.0	21.3	22.2	22.2	21.9	21.5	21.4	21.2	20.8	20.2	19.3	20.9
평균 최저 기온			13.4	14.0	15.0	16.8	18.1	18.4	18.1	18.2	18.1	16.9	15.5	14.0	16.4
최저 기온			7.2	6.4	8.6	10.9	14.4	15.8	15.0	14.8	14.3	11.4	6.6	7.4	6.4

Data: ,Atlas of physical Economical, and Soil Resources of the hower Mekong Basin Septem ber 1969)

第9表의 氣象記錄值의 溫度(平均)와 平均風速, 平均濕度 및 緯度 12°를 使用해서 各係數를 計算하였다 緯度 12°C 일 때 第6表에서 濕度係數는 第1表에서 風速係數는 第2表에서 그리고 濕度係數는 第3表에서 各各 計算한 것이 第10表과 같다. 그리고 9表의 雲量을 利用해 第4表에서 日射한 日射量係數가 第11表이고 또 標高係數는 1,510m 일 때 $C_E=0.97+0.03 \times 1,510/305=1.118=1.12$ 이다.

第17式과 各氣象係數表인 第10表과 第11表로서 計算한 葉水面증발량(Potential evapotranspirations)이 第12表과 같다.

나) 作物係數 K 값

Dalat 地方은 熱帶性 氣候이기 때문에 四季節 耕作이 可能하다. 이 지방의 主生産物이 欸스이므로 連作이 可能하며 벼는 二毛作이 안되어 單作을 計劃했다. 越南中部 高原지대와 作付體系는 다음 第13表와 같으며 第13表로서 作成한 畚作과 欸스 엽차 및 과수는 第14表와 같다. 이 作付體系와 第3圖에서 畚作을, 第4圖에서 田作의 K 값을 修正하였고 第12表의 E_v 값을 利用 13式에 代入하여 計算한 것이 第15表와 같다.

第10表. 日照時間 溫度係數 濕度係數表

구분	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. 日照時間의 환산 R		12.5	13.6	14.7	15.3	15.4	15.2	15.2	15.2	14.8	13.9	12.7	12.0
2. 溫度계수 $T_c^{\circ}C$		19.1	20	21.3	22.2	22.2	21.9	21.5	21.4	21.1	20.8	20.2	19.3
C_T		0.964	1.0	1.037	1.073	1.073	1.055	1.055	1.055	1.037	1.02	1.0	0.982
$\log T_c$		-0.016	0	0.0156	0.03	0.03	0.0232	0.0232	0.0232	0.0156	0.008	0	-0.008
3. 風速係數 W		14	14	12	10	9	11	10	11	9	9	11	12
km/hr													
C_w		1,414	1,414	1,397	1,302	1,255	1,328	1,302	1,328	1,255	1,255	1,328	1,367
$\log C_w$		0.15	0.15	0.136	0.115	0.102	0.128	0.115	0.128	0.102	0.102	0.128	0.136
4. 溫度係數 $H_n(\%)$		74.6	71.6	72	77	83.6	85.5	86.2	87.3	88.3	86.3	81.3	77.4
$H_n(R)$		0.74	0.72	0.72	0.77	0.84	0.86	0.86	0.87	0.88	0.86	0.81	0.77

CH_n	0.762	0.784	0.784	0.73	0.625	0.592	0.592	0.555	0.555	0.592	0.657	0.713
$\log CH_n$	-0.118	-0.106	-0.106	-0.142	-0.204	-0.228	-0.228	-0.255	-0.255	-0.228	-0.183	-0.147

第11表. 日射量表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S_c	3.6	3.7	3.6	4.6	5.6	6.0	6.0	6.3	6.2	5.6	5.0	4.4
$S_c \times 1.25$	4.5	4.6	4.5	5.8	6.9	7.5	7.5	7.9	7.8	7.0	6.3	5.5
$S(\%)$	45	46	45	58	69	75	75	79	78	70	63	55
C_s	0.531	0.805	0.801	0.815	0.926	0.965	0.965	0.993	0.986	0.932	0.891	0.849
$\log C_s$	-0.656	-0.094	-0.096	-0.089	-0.033	-0.016	-0.016	-0.003	-0.006	-0.031	-0.050	-0.071

$$E_v = 0.473 \times R \times C_T \times C_W \times C_H \times C_S \times C_E$$

$$= 0.473 \times 1.118 \times R \times C_T \times C_W \times C_H \times C_S \times 1$$

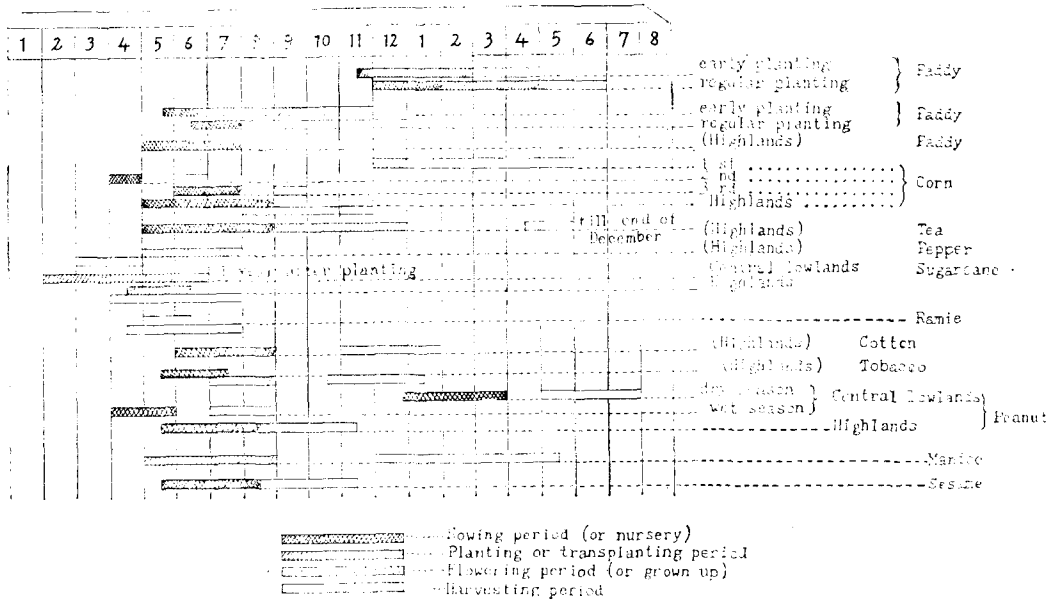
$$= 0.53 \times R \times C_T \times C_W \times C_H \times C_T \dots \dots \dots (17)$$

第12表. 업수면증발량 단위 (mm/day)

月	R	C_T	C_W	C_H	C_S	E_v mm/day	E_v mm/月
1	12.5	0.964	1.414	0.762	0.801	5.5	171
2	13.6	1.0	1.414	0.784	0.805	6.4	180
3	14.7	1.037	0.367	0.784	0.801	6.9	214
4	15.3	1.073	1.302	0.73	0.815	7.6	228
5	15.4	1.073	1.255	0.625	0.926	6.4	198
6	15.2	1.055	1.328	0.592	0.965	6.5	195
7	15.2	1.055	1.302	0.592	0.965	5.9	183
8	15.2	1.055	1.328	0.555	0.993	7.6	235
9	14.8	1.037	1.255	0.555	0.986	5.9	177

10	13.6	1.02	1.255	0.592	0.932	5.2	161
11	12.7	1.00	1.328	0.657	0.891	5.2	153
12	12.0	0.982	1.367	0.713	0.849	5.1	158
合計 平均							

第15表의 純所要水量 U 와 滲透손실水量 P 및 有効雨量 E_R 을 함수로한 純必要水量을 計算한 것이 第16表와 같다. 여기서 滲透손실 P 는 이 지구의 土性을 고려 3 단계로 구분하였다.



第13圖. 作付体系(越南中部高原地帶)(농업통계연보에서)

Crop	Jan.	Feb.	Mar.	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	
						NN	NIGG	GGG	HHHHH				
Rice	////////////////////							1.08		0.63	////////		
Vegetables	////////////////////				0.57		0.97	0.57				NNNNNNN	0.57
	HHHHHHHHHH												
	0.97		0.57										
Tea and ochards	GGG	GGG	GGGG	HHHH	NNNNNNNNNNNNNNNNNN			GGGG	GGGG	GGGG	GGGG	G	
				0.57	0.57						0.57		

여기서 N:도래기 및 이양기
 H:수확기
 G:상장기

第 14 圖. 주작물의 K 치와 작부체계

第 15 表. 각 작물별 작물계수와 所要水量

月	벼		채 소		과 수		귀 리		콩		고 구 마	
	K	U	K	U	K	U	K	U	K	U	K	U
1	—	—	0.57	3.7	0.57	3.2	0.57	3.2	0.6	3.3	0.57	3.2
2	—	—	0.90	5.8	0.57	3.7	—	—	—	—	—	—
3	—	—	0.90	6.3	0.75	5.2	—	—	—	—	—	—
4	—	—	0.57	4.4	0.80	6.10	—	—	—	—	0.57	4.4
5	—	—	0.57	3.7	0.90	5.8	—	—	—	—	0.57	3.7
6	1.18	7.70	0.90	5.9	0.90	5.9	0.57	3.8	0.6	3.9	0.8	5.2
7	1.18	7.0	0.90	5.4	0.90	5.4	0.80	4.8	0.8	4.8	0.9	5.4
8	1.30	9.9	0.57	4.4	0.90	6.9	0.89	6.9	0.9	6.9	1.0	7.6
9	1.30	7.7	0.57	3.4	0.80	4.8	0.89	5.4	1.00	5.9	1.02	6.1
10	1.20	6.3	0.90	4.70	0.75	3.9	0.89	4.7	1.0	5.2	1.0	5.2
11	0.63	3.3	0.90	4.7	0.57	3.0	0.80	4.2	0.9	4.7	0.8	4.2
12	—	—	0.57	3.0	0.57	3.0	0.57	3.0	0.8	4.1	0.57	3.0

第 16 表. 벼, 채소, 과수, 콩의 총필요수량(mm/day)

月	P	E _E	벼 mm/day				채 소				과 수				콩			
			u	Q ₆	Q ₄	Q ₂	u	Q ₆	Q ₄	Q ₂	u	Q ₆	Q ₄	Q ₂	u	Q ₆	Q ₄	Q ₂
1	6	—	—	—	—	—	3.7	9.7	7.7	5.7	3.2	9.2	7.2	5.2	3.3	9.3	—	—
2	"	1.0	—	—	—	—	5.8	10.8	8.8	6.8	3.7	8.7	6.7	4.2	—	—	—	—
3	"	11.3	—	—	—	—	6.3	1.0	—	—	5.2	—	—	—	—	—	—	—
4	"	3.7	—	—	—	—	4.4	6.7	4.7	2.7	6.1	8.4	6.4	4.4	—	—	—	—
5	"	6.6	—	—	—	—	3.7	3.1	1.1	—	5.8	5.2	3.2	1.2	—	—	—	—
6	"	4.9	7.7	8.8	6.8	4.8	5.9	7.0	5	3	5.9	7.0	5	3	3.9	5.0	3	2
7	"	5.7	7.0	7.3	5.3	3.3	5.4	5.7	3.7	1.7	5.4	5.7	3.7	1.7	4.8	5.1	3.1	1.1
8	"	5.9	9.9	10.0	8.0	6.0	4.4	4.5	2.5	0.5	6.9	7.0	5	3	6.9	7.0	5	3
9	"	7.2	7.0	5.8	3.8	1.8	3.4	2.2	0.2	—	4.8	3.6	1.6	—	5.9	4.7	2.7	0.7
10	"	7.0	6.3	5.3	3.3	1.3	4.7	3.7	1.7	—	3.9	2.9	0.9	—	5.2	4.2	2.2	0.2
11	"	2.2	3.3	7.1	5.1	3.1	4.7	8.5	6.5	4.5	3.0	6.8	4.8	2.8	4.7	7.9	5.9	3.9
12	"	1.0	—	—	—	—	3.0	8.0	6	4	3.0	8.0	6	4	4.1	9.1	7.1	5.1

滲透손실량은 A지구 6mm/
 B지구 4mm/
 C지구 2mm/

이며 이는 連續的인 손실로 計算하였다. 第16表는 必要水量을 水深으로 表示한 것이고 水量을 體積으로 換算하려며

$$Q_{\text{mm/day}} = 86,400 \times Q / 1,000 \times 1,000 \times 1,000 \\
 = 0.0000864 \text{m}^3/\text{sec} \times Q (\text{m}^3/\text{sec}/\text{ha})$$

이다. 이에다 수로와 경지 손실을 加算하면 總必要水量이 된다.

결 론

人間的 힘으로 大自然을 극복하기란 극히 不可能하지만 人間이 바라는 바의 어떤 근사치(近似值)에 접근

시킬 수는 있는 것이다. 그러기에 自然現狀에서 오는 결과와 人間이 求해낸 결과는 일치할 수 없다. 여기에 소개된 農作物의 必要水量 計算法은 우리 自然科學者가 取할 수 있는 모든 變數는 式의 變數로 取하여 計算式을 만드렸으나 아직도 얼마의 誤差가 있는지는 알수 없다.

그러나 現在까지 소개된 어떤 必要水量 計算式 보다 是 理論的이나 實際에 적합한 公式이기에 소개한 것이다. 그렇지만 앞으로도 더많이 수정하고 실험해야 될 것이기에 不斷한 勞力과 研究를 거듭하여 보다 훌륭한 公式을 유도하는데 공헌하는 것이 우리 各方의 落地에서 고생하는 土木者들의 사명일 것이다. 좀더 훌륭한 公式이 나오기를 바라며 본소고에 대한 아낌없는 지도와 논평이 있길 바란다.