

FAO Blaney-Criddle 公式의 合理的인 利用

辛 逸 善

(農業振興公社 農業土木試驗研究所 試驗室長)

이 資料는 1986年 5월에 發行한 美國土木學會, 灌溉排水工學誌 Vol. 112, NO. 2에 Richard G. Allen 및 William O. Pruitt에 의하여 寄稿한 것을 整理한 것이다.

概 要

FAO Blaney-Criddle(FAO-BC) 증발산량 공식이 라이시메타에 재배된 알팔파의 실제 증발량값과 지역의 풍속함수를 고려한 Penman 식의 값을 비교 검증되었다. 실측된 일사량 온도 상대습도 및 풍속의 값들이 사용되었을 때에는 lysimeter의 측정값과 FAO-BC식의 계산값이 잘 일치하였다고 도보정이 미국 Idaho 지역 관측소간의 추정치 분산을 감소시켜 주었다. 日別 Penman식과 FAO-BC식에 의한 推定値의 統計량은 알팔파를 對象으로 측정한 증발산량의 값과는 偏差를 나타내고 있다. 비농업지역 관측소의 상대습도와 대기온도는 Idaho 전역의 소비수량을 추정하기 위하여 건조상태와 위치에 따라 조정되었다. FAO-BC의 推定値는 알팔파를 기초로 한 作物係數로 사용할 수 있다.

1. 緒 論

理論에 根基를 둔 Penman複合式과 같은 증발산량 공식은 에너지와 기체의 역학적 변화

에 기인하는 공기이동, 건조상태, 온도, 일사량 등의 영향을 고려한 식이다.

유감스럽게도 소비수량의 推定은 일사량, 풍속, 공기수증기압의 결핍등이 측정되지 않은 지역에서 필요하게 된다.

여러 지역에서 기상자료의 측정 또는 기상자료가 없으므로, 주로 기온과 주간시간만으로 증발산량을 추정한다.

가장 널리 이용하고 있는 方法으로 原來의 BC式, 修正 SCS-BC式, 修正 FAO-BC式 등이 있다.

FAO-BC식은 原來 BC식 및 SCS修正식과는 근본적으로 동일하며, 기후조건(Climatic Conditions)과 지역기상(local Weather)을 고려할 수 있는 “보정계수(Correction factors)”를 포함하고 있다.

보정계수는 정밀한 계산에서는 문제가 있지만, 기온방법의 적용에는 수정이나, 조정없이 사용 가능하다.

이 論文은 FAO-BC公式을 利用하여 合理的인 消費水量을 얻기 위한 조건과 方法에 대하여 설명하고자 한다.

FAO-BC의 一般式은 (1)과 같다.

$$E_{t_0} = \{a + b[P(0.46T + 8.13)]\}$$

$$\left[1 + 0.1\left(\frac{Elev}{1000}\right)\right] \dots\dots\dots (1)$$

여기서 E_{t_0} : 일정기간 작물ET(소비수량)의 推定値

T : 일정기간 平均日溫度(°C)

P : 산정기간 및 위도에서 年間 총 주간 시간에 대한 日平均 晝間 時間(%)

a, b變數 : 일별최소상대습도의 평균값(%) (RHmin), 일조시간 비율(Nratio), 20M높이에서의 낮시간 평균풍속(m/sec)(Vday), 등을 고려하였을 때 수정 ET값 추정을 위한 보정계수

$$a=0.0043(RHmin) - Nratio - 1.41 \dots\dots\dots(2)$$

a는 (2)식에 의하여 산정하며, b값은 RHmin, Nratio, 및 Vday로 부터 구하기도 하고,^{12, 19)} Frevert et al¹¹⁾에 의한 다음 방정식 (3)식에 의해서도 산정한다.

$$b=0.81917 - 0.0040922(RHmin) + 1.0705(Nratio) + 0.065649(Vday) \dots\dots(3)$$

(3)식은 풍속이 1m/sec이상인 곳에서 적용되며, 24시간 동안 풍속만을 측정할 곳에서의 晝間風速은 식(4)와 같이 구한다.

$$Vday = \frac{V_{24}(Vratio)}{43.2(1+Vratio)} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 V_{24} : 24시간 풍속(km/day)

Vratio : 주간과 야간의 풍속비율

Doorenbos와 Pruitt⁹⁾는 주간 및 야간의 풍속비율에 대한 자료가 없는 곳에서는 Vratio의 값으로 2.0을 제안하였다.

日照可能時間에 對한 實日照時間의 平均比率는 식(5)와 같이 일사량 추정치로 계산할 수 있다.

$$Nratio = 2.0 \left(\frac{R_s}{R_a} \right) - 0.5 \dots\dots\dots(5)$$

여기서 R_s : 일증발량으로 표시된 지표상의 태양일사량의 測定 또는 推定值(mm/day)

R_a : 일증발량으로 표시된 초단파 태양복사열(mm/day)

식(5)는 Idaho Kimberly에서 맑은날(Nratio

=1) 측정할 地表上의 太陽일사량과 잘 일치하였다.

表-1, 2는 P와 R_a 를 나타낸다.

식(1)에서의 "Elev."는 平均海面 標高이며, Doorenbos와 Pruitt¹⁹⁾은 건조 및 반건조 기후에서의 봄과 여름에 대한 標高修正을 제안하였다.

표고가 높은 지역에서는 저기압 및 건조공기의 낮은 열함유량으로 인하여 평균 일기온이 아래로 편중되므로 상향조정이 필요하다.

Allen, Brockway^{1, 2)} 및 Pochop 등은 FAO-BC와 SCS-BC 방법에 대해 각각 해발 1000m에 대하여 약 10%의 標高修正이 必要하다고 제안하였다.

FAO-BC식은 잔디에서의 증발산량을 推定하고자 하였고, Doorenbos와 Pruitt⁹⁾ 및 Pruitt⁹⁾는 잔디를 기준으로 한 作物係數를 제시하였다. 여기서 말하는 잔디라 함은 80~150mm 키의 일정한 높이로 잘 자라서 地表面을 완전히 덮고, 물不足이 없는 상태로 정의 한다.⁹⁾ 잔디를 기준으로 한, FAO-BC식은 수많은 lysimeters 실험을 통하여 이 식을 계속 검증하여 왔다.

FAO Blaney-Criddle 식은 Nevada洲,⁷⁾ Washington洲¹⁰⁾ Idaho洲,²⁾ Oregon洲⁸⁾ 및 California 등 미국 서부지역에서의 소비수량을 推定하는데 적용되고 있다.

오늘날의 기준증발산량 推定方法은 증발산량에 영향을 주는 모든 환경요소를 전부 고려하지 않고, 경험적인 인자를 많이 고려하는 경향이 있다. 따라서, 모든 기준증발산량 추정방법은 새로운 지역 또는 기후조건에 적합할 경우에 순일사량, 증기압, 바람, 기온, 표고, 기류 및 증발산량과의 상호관계를 설명할 수 있는 지 반드시 재검증을 하여야 한다. 기준 증발산량 추정식의 검증은 Penman²¹⁾ 식의 空氣 역학적인 항과 같이 방정식을 완전히 재구성한다든가, 방정식에 선형회귀계수를 곱하여 실행한다. 식의 검증을 위해서는 우선 lysimeter 등을 이용한 기준작물 증발산량의 정확한 측정이 요구된다.

表-1. 북반구에서의 연간 총주간 시간에 대한 평균 日晝間時間(P) (%).

Latitude (degree)	Month											
	Jan. (1)	Feb. (2)	Mar. (3)	Apr. (4)	May. (5)	June. (6)	July. (7)	Aug. (8)	Sept. (9)	Oct. (10)	Nov. (11)	Dec. (12)
0	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274
5	0.268	0.270	0.273	0.276	0.279	0.280	0.280	0.277	0.275	0.271	0.269	0.268
10	0.263	0.267	0.273	0.279	0.284	0.287	0.285	0.281	0.275	0.269	0.264	0.261
15	0.256	0.263	0.272	0.282	0.290	0.294	0.292	0.285	0.276	0.266	0.258	0.254
20	0.250	0.259	0.271	0.284	0.295	0.301	0.298	0.289	0.276	0.263	0.253	0.247
25	0.243	0.255	0.271	0.287	0.301	0.308	0.305	0.293	0.277	0.261	0.247	0.239
30	0.236	0.251	0.270	0.290	0.308	0.316	0.312	0.297	0.278	0.258	0.240	0.231
35	0.227	0.246	0.269	0.294	0.315	0.325	0.320	0.302	0.279	0.254	0.233	0.222
40	0.238	0.240	0.268	0.298	0.323	0.336	0.330	0.308	0.280	0.250	0.224	0.211
45	0.206	0.234	0.267	0.303	0.333	0.349	0.341	0.316	0.281	0.245	0.214	0.198
50	0.193	0.226	0.266	0.308	0.345	0.364	0.355	0.322	0.282	0.240	0.203	0.182
55	0.175	0.216	0.264	0.315	0.360	0.384	0.372	0.332	0.284	0.233	0.188	0.162
60	0.152	0.203	0.262	0.323	0.380	0.414	0.297	0.345	0.285	0.224	0.167	0.134
65	0.114	0.183	0.257	0.332	0.410	0.472	0.438	0.361	0.285	0.211	0.136	0.085

表-2. 북반구에서의 초단파 태양복사열(Ra) (mm/day).

Latitude (degree)	Jan. (1)	Feb. (2)	Mar. (3)	Apr. (4)	May. (5)	June. (6)	July. (7)	Aug. (8)	Sept. (9)	Oct. (10)	Nov. (11)	Dec. (12)
0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
5	14.1	14.9	15.6	15.5	15.0	14.6	14.7	15.2	15.3	15.1	14.4	13.9
10	13.2	14.3	15.3	15.6	15.5	15.2	15.3	15.5	15.3	14.6	13.6	13.0
15	12.2	13.5	14.9	15.7	16.0	15.8	15.8	15.8	15.1	14.1	12.7	11.9
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.3	16.3	15.9	14.8	13.4	11.7	10.8
25	10.1	11.7	13.7	15.5	16.4	16.7	16.6	15.8	14.5	12.6	10.6	9.5
30	8.9	10.7	13.0	15.2	16.5	17.0	16.7	15.7	13.9	11.7	9.5	8.3
35	7.6	9.6	12.2	14.7	16.4	17.2	16.8	15.5	13.2	10.7	8.2	7.0
40	6.4	8.5	11.3	14.2	16.3	17.3	16.7	15.1	12.5	9.6	7.0	5.7
45	5.1	7.3	10.3	13.5	16.1	17.3	16.6	14.6	11.7	8.5	5.6	4.3
50	3.8	6.1	9.3	12.7	15.7	17.2	16.4	14.0	10.9	7.2	4.3	3.9

Idaho FAO-BC식의 검증을 위한 방법으로, FAO-BC 식에 의한 월증발산량과 Wright의 Kimberly Penman식에 의한 알팔파의 월증발산량을 비교하였다. Weighing lysimeter에 의한 Alfalfa의 일별 측정을 통하여 Kimberly와

Idaho에서 검증한 Kimberly Penman의 적용은 Alfalfa 작취, 재성장기간 및 Alfalfa를 재배하지 않는 여러해 동안에 대한 Alfalfa 기준 증발산량의 추정을 가능하게 하였다. FAO-Blaney-Criddle 식에 의한 추정치와 Kimberly Pen-

man식에 의한 추정치 사이에는 간단한 倍率關係가 있다. FAO Blaney-Criddle 식은 잔디의 ET에 대한 예측이고, Kimberly Penman식은 알팔파에 대해서 ET를 예측한 것이기 때문에 이의 비율을 基準比(Reference Ratio)라고 정의하여 왔다. 生育期중에 月別로 計算된 이 기준비는 FAO-Blaney-Criddle 식을 Alfalfa기준으로의 전환 및 FAO식을 지역에 따라 적합하게 적용할 수 있도록 한다. 알팔파를 기준으로 한 전환은 Wright^(7, 22)의 알팔파 기준 작물계수에 대한 FAO-BC의 사용을 가능하게 하였다. FAO-BC 식과 잔디 lysimeter 또는 기 검증된 잔디기준의 증발산량 측정방법과의 검증을 Pruitt가 제시한 잔디 기준작물계수에 의한 FAO-BC의 사용을 가능하게 할 것이다.

1965년에서 1978년까지 14년간 Idaho Kimberly에서 산정한 Peman/FAO-BC기준비의 평균치는 그림. 1과 같다.

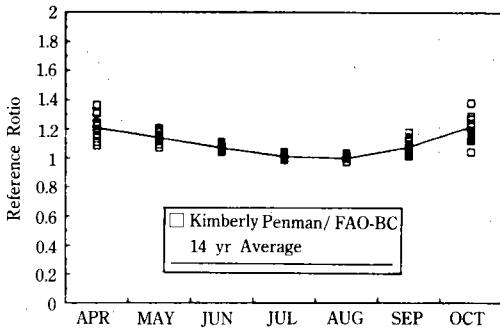


그림. 1. Idaho Kimberly에서 산정한 Penman / FAO-BC 평균기준비(1965~1978).

FAO-BC를 표고에 대해 수정한 값을 보면 월별비율의 범위는 봄에는 1.4까지 높아지며 여름에 1.0으로 떨어진다. FAO-BC식을 다른 Idaho지역에 적용시키기 위해서는 標高修正을 해야 한다. 이에 대한 14년간의 표고 수정을 한 平均基準比는 表-3과 같다. $E_{tr} = a + b_{Eto}$ 등의 1차 회귀분석은 계산 결과를 향상시키지 못하였다.

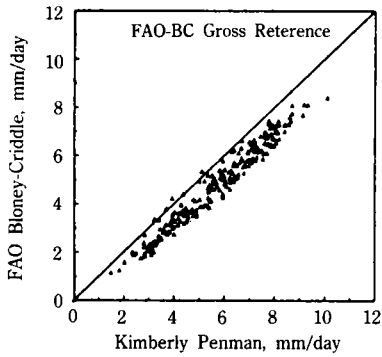
알팔파를 기준으로 표고 750~1700m인 8개 지역에서 실시한 Kimberly Penman식과 FAO-

表-3. 標高修正을 한 平均基準比(Idaho, Kimberly 1965-1978).

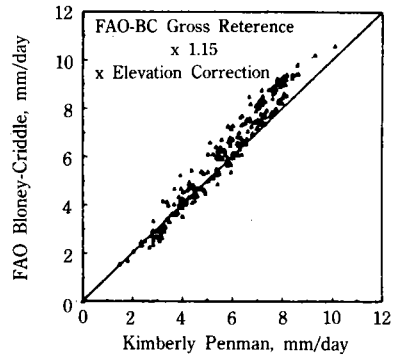
Month (1)	Reference ratios with elevation correction (2)	Reference ratios without elevation correction (3)
April	1.21	1.36
May	1.14	1.28
June	1.07	1.20
July	1.01	1.13
August	1.00	1.12
September	1.08	1.21
October	1.22	1.37

BC식에 의한 월별 증발산량(E_{tr})의 비교는 그림. 2와 같으며, 이들은 표고수정을 한 결과이다. 그림. 2(a)는 Doorenbos와 Pruitt⁽⁹⁾가 發表한 FAO-BC에 의한 추정치를 보여주고 있는바, 이는 잔디를 기준한 것이다. 그림. 2(c)는 FAO-BC추정치에 1.15를 곱한 알팔파 E_{tr} 의 추정치를 보여주고 있다. 여기서, 1.15의 값은 적당한 바람이 불고, 햇볕이 잘드는 건조한 기후에서 Pruitt⁽⁹⁾가 제안한 잔디의 기준 ET를 알팔파 ET의 최고치로 변환하는 값을 말한다. 그림. 2(e)와 (f)는 FAO-BC값에 Kimberly 기준비를 곱한 것이며, 그림. 2(e)에서의 FAO-BC는 表-3의 3열의 기준비를 적용시킨 것이다. 또한, 그림. 2(f)의 FAO-BC값은 表-3의 (2)열의 기준비와 10/1000(%/m)의 標高修正을 한 값이다.

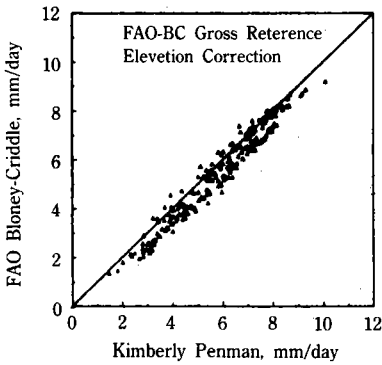
8개지역에서의 FAO-BC식과 Kimberly Penman식은 1.15의 기준계수에 적용했을 때 잘 일치하였다. 그러나, 현저한 향상은 表-3의 2열에 표시되어 있는 기준비를 적용하였을 경우이며, 표고수정을 하였을 때 8개지역의 추정치의 분산이 줄어드는 결과를 보여주었다. FAO-BC에 의한 월별 증발산량과 Kimberly Penman식에 의한 증발산량 사이의 표준편차는 그림. 2(c)의 0.44mm/day로 부터 그림. 2(f)에서는 0.31mm/day로 감소하였다.



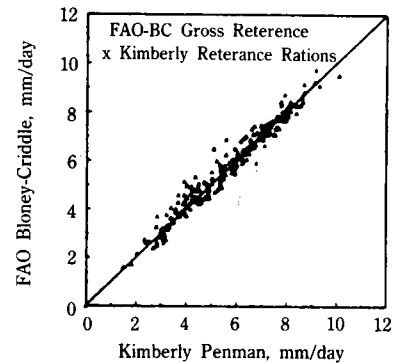
(a)



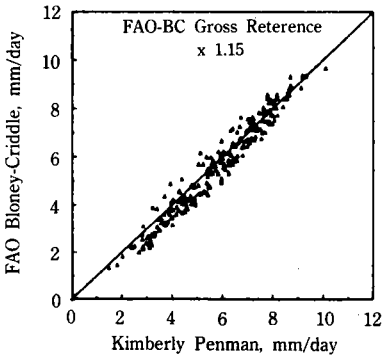
(d)



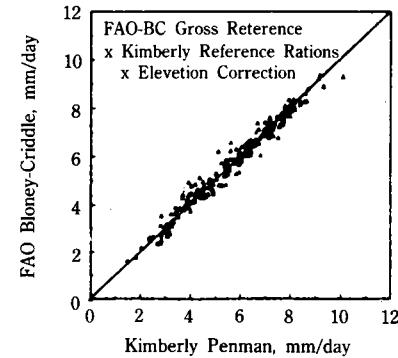
(b)



(e)



(c)



(f)

그림. 2. Kimberly Penman식과 FAO-BC에 의한 월별추정치의 비교.

(a) Kimberly Penman식과 FAO-BC의 1 : 1 비교

(b) 표고수정을 한 E_r 의 추정치

(c) 1.15를 곱한 E_r 의 추정치

(d) FAO BC식에 1.15를 곱하고, 고도수정을 한 E_r 의 추정치

(e) Kimberly 기준비에 의한 E_r 의 추정치

(f) 8개지역에서의 고도수정 및 Kimberly 기준비에 의한 E_r 의 추정치

2. 日別推定値의 算定

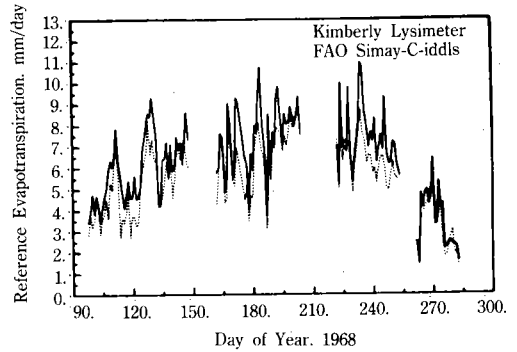
Doorenbos와 Pruitt⁹⁾는 온도방법의 한계성 때문에 이 방법을 이용하여 ET를 추정하는데 있어서 30일 기간 정도의 FAO-BC 이용을 제안하였다. 그러나, FAO-BC에 氣溫, 風速, 太陽일사량과 最少相對溫度에 對한 日別 측정값을 적용하였을 때 좋은 推定結果를 나타냈다.

1969년 Idaho Kimberly에서 FAO-BC 방법에 의거 기준비와 標高修正을 適用한 日別推定値가 그림. 3(a)와 같다. 그림. 3(b)는 Kimberly Penman 방법으로 알팔파의 全生育期 동안의 알팔파 증발산량을 日別 lysimeter 측정치로 보여 주고 있다.

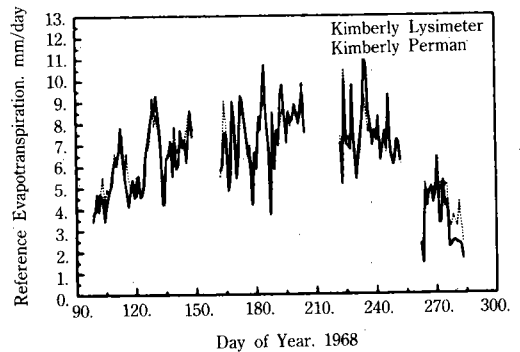
미기상학적인 변화에 따른 FAO-BC의 민감도는 Kimberly Penman 및 lysimeter 측정치의 그것과 마찬가지로 비슷한 경향을 보인다. 이러한 민감도는 FAO-BC식이 단순선형회귀 방정식인 반면에 Kimberly Penman식은 포장실험 및 이론적인 내용을 가지고 있다는 사항을 고려하여 보면 상당히 예민하다고 말할 수 있다. Kimberly보다 높거나, 낮은 Idaho洲의 다른 지역에서 標高를 수정하여 산정한 FAO-BC값과 Kimberly Penman값 사이의 日別推定値는 그림. 3(a)와 그림. 3(b)에서 보는 바와 같이 비슷한 경향을 보이고 있다. Ohio Coshocton에서 標高修正을 한 FAO-BC 방법에 의한 日別推定値와 과수원 오차드그라스에 대한 日別測定値는 그림. 3(c)와 같다. 이 측정치는 1977年 全年度의 日別測定이다. 이때 lysimeter內的 잔디는 자연강우 상태였고, 1977年 동안에 한번만 수확을 하였다.

Coshocton에서는 FAO-BC 추정치에 기준비를 適用하지 않았다. 그림. 3(c)에서 FAO-BC 방법은 Coshocton과 같이 다습한 환경에서 日別증발산량이 잘맞는 추정치를 얻을 수 있었다. 8月の 日平均相對濕度가 Kimberly에서는 30%인 반면에 coshocton에서는 60%정도 이다.

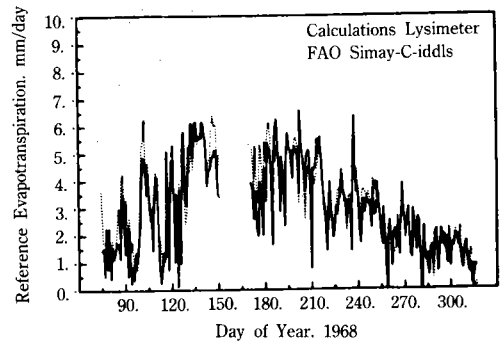
일별 기준으로 하는 FAO-BC식에 要求되는 자료는 Penman식에서 필요한 자료와 기본적으로 동일하며, 日照時間比는 일사열로 계산



(a)



(b)



(c)

그림. 3. (a) FAO BC 식과 Kimberly lysimeter에 의한 일별 증발산량.
(b) Kimberly Penman식과 lysimeter에 의한 일별 증발산량.
(c) 고도수정을 한 FAO BC 식과 Coshocton lysimeter에 의한 일별 증발산량.

할 수 있고, 최소상대습도는 이슬점 기온이나, 또는 증기압, 최대기온으로 산출할 수가 있다. 그러므로, 순일사량을 제외하고는 FAO-BC식의 일별 추정치는 Penman식과 비교하여 볼때 기상자료의 측정이 동일하다. 그러나 이러한 비교는 FAO-BC 추정치의 신뢰성과 정확성을 反映한다. 이러한 事前 比較에서의 자료는 灌溉中에 측정하였다.

3. 氣象環境에 대한 補正

관개는 대기중의 氣溫을 냉각시키고, 습도를 높게하고, 공기의 이동을 억제하므로써 그 지역기후의 변동에 기여하게 된다. 따라서, 관개는 잠재증발력과 이에 상응하는 기준증발산량을 감소시킨다. 관개지역에서의 消費水量을 추정할 때, 기상측정은 관개조건을 代表하는 것이며, 또는 건조한 지역에 대해서는 수정되어야 하는 것은 대단히 중요한 사항이다.

과거 연구결과로는 관개지역의 평균기온은 인접한 비관개 지역에서의 평균기온 보다 2~5°C 낮으며, 상대습도는 증가하고, 증기압은 떨어지는 것으로 보고되었다. 관개지역에서 기온이 떨어지는 것은 光線의 分散이 더해지고 대류에너지가 감지할 수 있는 열보다는 잠재열로 변하기 때문이며, 기온의 저항정도는 표면 증발이 적든가 혹은 지역이 건조하든가에 따라 좌우된다.

4. 氣 溫

NWC(National Weather Service) 기상관측 지역의 氣溫計 인근에서 측정한 증발산량의 값이 균등하게 형성되지 않고 있음을 볼 수 있는 바, 기상관측의 위치가 종종 아스팔트내 또는 주변, 유전지역이거나, 자갈이 많은곳 도심, 지붕이 있는 구조물, 비관개지역 및 비배지역등 이었다.

FAO-BC 공식은 물공급이 원활한 농업지역의 lysimeter에서 얻은 기온을 이용, 개발한 공식이기 때문에 건조지역에서의 기온을 사용하게 되면 ET 값이 과다하게 추정된다.

表-4의 자료는 평균대기온도 변화에 따른 FAO-BC 증발산량 추정값의 민감도를 나타내고 있다.

Allen과 Brockway^{1, 2)}는 기온측정 자료의 적용과 관측소 환경의 영향을 고려하여 “건조율(Aridity Rating)”을 사용할 것을 제안하였다.

NWC관측소의 장기기온 자료는 건조율(aridity rating)에 最大期待氣溫을 곱한후 이와 관측기온과의 차를 구하므로써 관개지역에 대한 자료로 조정되었다.

Allen과 Brockway가 이용한 최대기온도 값은 Idaho 남쪽 관측소에서 15km 이내에 있는 건조지역의 한 알팔파 관개지구의 온도자료를 기초로 한 것이다.

表-5는 건조지역 관측치와 平均氣溫의 乾燥

表-4. 평균온도 변화에 따른 FAO-BC 증발산량 추정값의 민감도.

Mean air temperature (°C)	Increase in Air Temperature, C(%)								
	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+10
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
10	3.6	7.3	11.0	14.6	18.3	21.9	25.6	29.2	36.5
15	3.1	6.2	9.3	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	30.9
20	2.7	5.3	8.0	10.7	13.4	16.0	18.7	21.4	26.7
25	2.4	4.7	7.1	9.4	11.8	14.2	16.5	18.9	23.6
30	2.1	4.2	6.3	8.4	10.6	12.7	14.8	16.9	21.1
35	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.5	13.4	15.3	19.1

調整値를 나타내고 있다.

남부 Idaho 비관개지역의 평균기온에 대해 제안 조정된 최대값은 8월중에 4.5°C이다.

건조율은 기온계가 地表面에 인접 設置되었을 때의 건조의 영향과 기온계 주변의 일반적인 地域에 대한 건조의 영향이 감안되어야 한다.

Allen과 Brockway²⁾는 다음 (b)식을 이용하여 Idaho洲内の 100개소 기온관측소에 대하여 관측소 건조율(Aridity Ratings : AR)을 계산하였다.

$$AR = 0.4(\text{Site AR}) + 0.5(\text{Area AR}) + 0.1(\text{Regional AR}) \dots \dots \dots (6)$$

여기서, 地點건조율(Site AR)은 반경 50m내

에서 센서에 직접 영향을 미치는 건조율을 말하며, 地區건조율(Area AR)은 상방향으로 바람의 영향을 받는 반경 1.5km 범위의 건조율을 말하고 地域건조율(Regional AR)은 상방향으로 바람의 영향을 받는 반경 50km이내의 건조율을 말한다.

각각의 건조율 범위는 0~100%이며, 0%는 表面에서 끊임없이 증발이 일어나는 완전히 관개되고 있는 지역을 뜻하며, 100%는 비관개 지역 혹은 작물을 재배하지 않는 넓은 도시화 지역을 말한다.

NWC에는 각 관측소별로 건조율이 산정되어 있어 이를 이용된다.

表-6은 Idaho Pocatello와 Twin Fall 근처의 3지역 기상관측소별 건조율을 나타내고 있다.

表-5. 건조지역 관측치와 평균기온의 건조조정치.

Month (1)	Temperature Departure(°C)			Aridity(°C) (5)	Desert Precipitation (mm)	
	Maximum (2)	Minimum (3)	Average (4)		1981 (6)	Long term (7)
April	2.7	2.4	2.5	1.0*	29	23
May	1.3	0.6	0.9	1.5	28	28
June	2.4	1.8	2.1	2.0	5	22
July	4.8	2.9	3.8	3.5	1	3
August	5.2	4.3	4.7	4.5	5	8
September	3.3	2.7	3.0	3.0	6	11
October	0.3	1.6	0.9	0.0	24	13

*Aridity effect used to adjust mean air temperature data from NOAA stations(°C). Values were calculated by smoothing average departure values listed in Col. 4.

表-6. 남부 Idaho 기상관측소별 건조율.

Station name (1)	Station Aridity Ratings*				Ground cover (6)
	Silte(%) (2)	Area(%) (3)	Region(%) (4)	Cumm.(%) (5)	
Pocatello WSO AP (POC)	100	90	60	90	Rooftop
Twin Falls 2 NNE (2NE)	90	40	10	55	Bare ground
Twin Falls 3 SE	50	30	0	0	Irrigated grass
Twin Falls WSO(WSO)	0	0	0	0	Irrigated grass

*0= irrigated ; 100= completely arid.

Pocatello 관측소는 비행장의 아스팔트 포장 도로와 비관개지에 인접한 지붕에 설치되어 있고, Twin Falls 2NNE 관측소는 Twin Falls 지역내의 상업지역 주차장변에 설치되어 있다.

Twin Falls WSO 관측소는 Kimberly 근처의 VSDA-ARS 연구소에 위치한다.

5. 其他 氣象因子(Secondary Weather Parameters)

FAO-BC공식(최소상대습도, 최대일조시간(%), 주간풍속)에서 이용된 부수적인 기상인자는 1個洲 内에서 利用할 수 있는 地點이 거의 없다.

더우기, 이용할 수 있는 자료는 종종 신뢰성이 의심스러우며 非農業地域에서 취득한 것이다. 그러므로, 센서로 부터 얻는 부수적인 기상자료는 조정되어야 한다.

태평양 연안 북서 강유역 위원회(Pacific Northwest River Basin Comission ; PNRBC)가 조사 보고한 Idaho 洲内 5개관측소의 RHmin 자료가 그림. 4에 나타나 있고, Kimberly 연구소(Twin Falls WSO)에 있는 NWC(National Weather Service)에서 報告한 RHmin 값도 포함되어 있다.

그림. 4에서 Lewinston 관측소를 제외한 4개 관측소 전부가 Idaho洲 남부 높은 사막 지대에 위치하고 있다.

각 관측소간의 가장 큰 차이점은 센서 주위의 환경이고, Kimberly의 환경은 주위에 관개

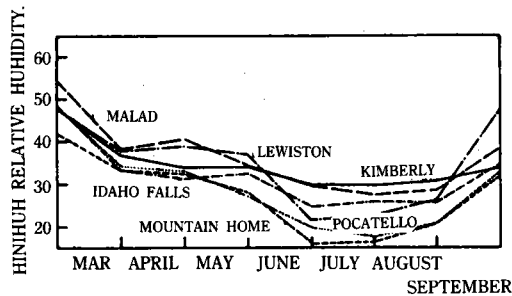


그림. 4. Idaho 洲内 5개관측소의 평균상대습도 최소값.

포장으로 둘러 싸인 관개를 하는 잔디로 되어 있다. 그 외 5개 관측소의 위치는 Pocatello의 Sagebrush와 Mountain Home에 있는 비행장 주변과 Idaho Falls와 Malad에 있는 주거지역 및 농장등이다.

RHmin값도 관측소의 영향을 받는데, 비행장에서의 RHmin감소는 센서 주위 환경에 기인하며, 비농업지역에서의 월별 RHmin값이 年中 30% 혹은 그이상 크게 나타났다.

낮시간(7A.M-7P.M)의 風俗은 24시간 동안의 바람으로부터 산정되기도 하며, 지역적 낮과 밤의 풍속비율로 계산된다. 풍속을 代表하도록 수정되어야 한다.

또한, 구조물이 가까이 있음으로 인하여 야기되는 공기흐름의 방해 및 표면에서 일어나는 불규칙성 등도 고려하여야 한다.

일반적으로, 비농업지역과 건조지역에서의 風速은 작물이 있는 지역보다는 크게 나타난다.

6. 事 例

건조지역에 있는 관측소에 대한 기온의 調整效果和 농업지역에서의 부수적인 기상자료의 利用效果가 表-3 및 그림. 5에 나타나 있다. Idaho洲 Twin Fall 지방의 月別 알팔파 기준 ET는 농업지역인 Kimberly의 기상자료와 비농업지역인 Twin Fall의 온도자료 및 비농업지역인 Pocatello 기상자료를 이용하여 산출하였다.

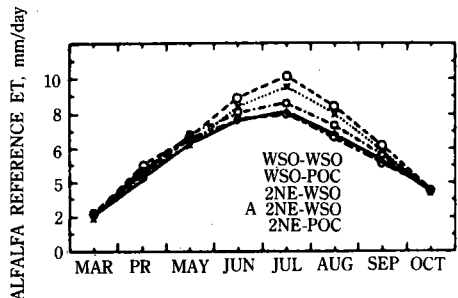


그림. 5. Pocatello와 Kimberly의 부수자료를 FAO-BC식에 적용했을때 Twin Fall의 월별 알팔파 기준 ET값.

비농업지역인 Twin Falls 관측소에서의 온도와 비농업지역인 Pocatello 관측소에서의 부수적인 기상자료를 이용했을 때 성장기의 ET는 약 16% 증가하였다.(表-7의 (b)참조)

기준 ET값은 건조지역인 Twin Falls(表-6)에서의 관측온도를 조정한 Kimberly 자료와 농업지역인 kimberly(2및 5列)의 부수적인 기상자료를 사용했을 때 감소하였다.

表-7. Twin Fall 관측소에서 FAO-BC식에 의해 산정된 월별 알팔파 기준 ET값.

Month (1)	Reference Evapotranspiration(mm/Day)					
	WSO-WSO ^a (2)	WSO-POC ^b (3)	2NE-WSO ^c (4)	a2NE-WSO ^d (5)	2NE-POC ^e (6)	a2NE-aPOC ^f (7)
March	2.0	1.9	2.2	2.2	2.1	2.2
April	4.2	4.5	4.7	4.5	5.0	4.8
May	6.3	6.2	6.8	6.5	6.7	6.5
June	7.6	8.4	8.1	7.7	8.9	8.4
July	8.1	9.5	8.6	8.0	10.1	8.6
August	6.8	8.0	7.3	6.6	8.4	7.0
September	5.3	5.8	5.6	5.1	6.2	5.3
October	3.4	4.4	3.6	3.6	3.6	3.6
Total(mm)	1,340	1,460	1,440	1,350	1,560	1,420
Error(%)	0	9	7	+1	+16	+5

^aWSO temperature with Kimberly secondary data (irrigated setting).

^bWSO temperature with Pocatello secondary data (irrigated temperature data, arid secondary data).

^c2NNE temperature with Kimberly secondary data (arid temperature data, irrigated secondary data).

^d2NNE temperature with Kimberly secondary data and correction for site aridity (adjusted arid temperature data, irrigated secondary data).

^e2NNE temperature with Pocatello secondary data without aridity correction (arid temperature data, arid secondary data).

^f2NNE temperature with Pocatello secondary data with RHmin limited to greater than 30% and correction for temperature site aridity.

Twin Falls에서의 수정온도 보다 30% 또는 그 이상되는 Pocatello의 부수적인 자료인 최소상대온도를 사용함으로써 Kimberly 자료를 사용한 값보다 추정치를 5%이내로 향상시켰다.

7. 統計的인 調整

소비수량을 산정하기 위한 통계적인 많은 방법이 있는 바, 특히 부수적인 기상자료의 요소를 상수로 하고 기온 하나 만을 적용했을 때는 모집단(True Population) 변수를 과소평가 할 수 있으므로 통계적인 조정을 필요로

한다.

모집단의 통계적인 특성이 방정식에 의한 것과 완전히 일치하지는 않으나, 빈도분석은 모집단의 측정값에 의한 것보다는 방정식으로 산정하는 것이 옳은 방법이라고 볼수 있으므로 lysimeter로 측정된 모집단 값과 통계방정식에 의한 값이 가능한 한 비슷해야 한다.

반면에 구조물, 조직, 물관리 계획 등을 방정식에 의한 추정이 큰 오차를 범할 수 있으므로 통계적 방법에 의해 위험도를 분석(Risk Analysis)해야 한다.

副隨的인 要素를 固定시키고 온도만을 사용하는 FAO-BC 방법에 의해 統計處理한 결과는

그림. 6과 같다.

長期間의 부수적인 자료를 이용한 FAO-BC 방법으로 산출한 잔디의 月別 ET 추정치는 14년에 걸쳐 매년 월별 부수적인 자료를 이용한 FAO-BC 방법으로 산출한 잔디의 ET 추정치보다 절반이하 이다.

또한 그림. 6은 Kimberly Penman식을 이용한 알팔파기준 월별 평균증발산량을 나타내는데, 여기서 사용한 계산자료는 日別測定値와 月別平均值였다.

월별 부수적인 요인을 상수로 주어졌을 때 日別 FAO-BC의 변수감소에 대한 것이 그림. 7과 같다.

Kimberly에서 4월~10월까지 lysimeter로 측

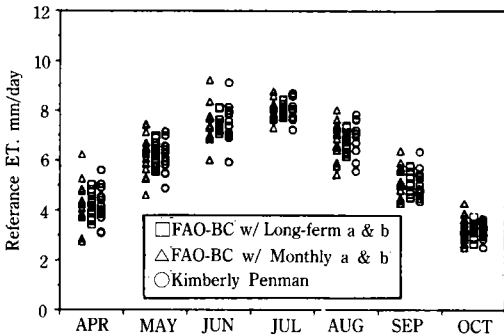


그림. 6. Kimberly Penman식을 이용한 알팔파 기준 月別平均 증발산량.

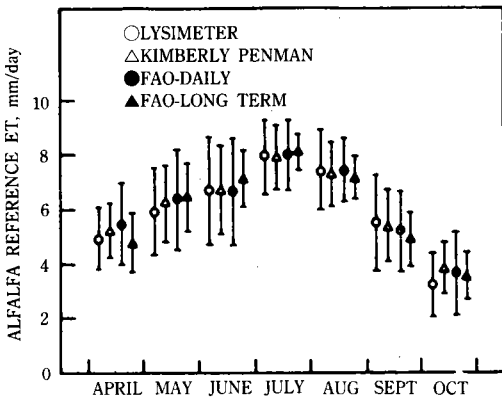


그림. 7. Kimberly에서 4월-10월까지 lysimeter로 측정한 알팔파 ET값과 Kimberly Penman식에 의한 추정치에 대한 日別·月別 ET 평균값을 표준편차.

정한 알팔파의 ET값과 Kimberly Penman식에 의한 추정치에 대한 日別·月別 ET의 평균 값과 표준편차가 포함되어 있다.

“FAO-日別 추정치”는 일기온, 일사량, 풍속, 최소상대온도 등의 자료를 이용 산정하였다.

이때, 최소상대습도(RHmin)는 오전 8시 현재의 증기압, 이슬점 온도, 최대기온시의 포화 증기압으로 계산된 것이다.

“FAO-Long Term”은 日氣溫, Nratio, RH-min, 및 Vday는 14년간의 월별 평균치를 이용 계산하였다.(月別 값을 a 및 b로 固定시키고)

대기온도만을 고려한 경우나 또는 요인 등을 변수로 하였을 때, FAO-BC에 의한 추정치의 變數가 크게 감소되는 것이 그림. 6 및 7에 나타나 있으며, 빈도분석을 끝내기 전에 필요한 방법의 수정이 필요하다.

Allen과 Wright³⁾는 남부 Idaho에서는 FAO-BC에 의해서 산정된 ET값에 4월부터 10월까지 月別로 1.7, 1.6, 2.7, 2.2, 2.1, 1.6 및 1.4의 표준편차 값을 곱하는 것을 제안하였다.

장기간의 부수자료를 FAO-BC에 의해 추정된 계절별 소비수량의 표준편차는 기준 알팔파 ET의 모집단에 실제 변수를 좀더 정확히 반영하기 위하여 2.3을 곱해야 한다.

SCS-BC값에 대한 수정도 FAO-BC의 방법과 유사하다.

다른 지역에서 온도방법에 대하여 수정에 필요한 통계치는 그 지역의 풍속, 일사량 및 증기압 등의 변수에 달려있다.

Allen과 Wright³⁾은 Kimberly Penman식이 lysimeter에서 측정한 ET값을 비교해 볼때 15~20%까지 월표준편차가 적게 나타내고 있음을 발견하였다.

月別 부수자료에 의한 FAO-BC 값은 lysimeter의 것보다 약 5~10%의 낮은 표준편차를 나타낸다. 그리고, 방정식의 왜곡계수(Skew Coefficient)는 정규분포(Normal Distribution) 이하 임을 보여준다.

8. 要約 및 結論

FAO-BC공식은 E_{tr} 계산에 의해 일정기간 동안의 부수적인 기상자료(a, b)로 사용할 때 이 든가 혹은 일정지역에 대해 ET를 계산할 때 기준증발산량에 대해 좋은 결과를 보여준다.

FAO-BC 방법은 비교적 계산이 쉽고, 특히 Computer를 이용하면 더욱 계산이 편리해진다. a와 b계수가 선형이므로 계산을 도표화 할 수 있다.

標高修正을 하지않고 FAO-BC식을 사용하였을 때 Idaho洲에서 여름에는 1.15계수를 곱함으로써 알팔파 ET값 산정에 매우 좋은 결과를 보여주는 반면에 봄·가을에 산정한 값은 낮

게 나타나고 있다.

관측소의 표고에 따른 ET값의 수정은 표고에 따라 넓게 정확한 추정을 할 수 있다. 잔디나 알팔파의 증발산량을 산정하기 위해 lysimeter에서 측정된 값을 적용한 FAO-BC의 ET 측정법이 제안되었다.

건조지역의 온도계로 측정된 기온은 관개지역에서의 기온 보다 4~5°C가 높으므로 실측한 기온과 습도 등은 작물의 성장시기, 건조상태, 표고에 따라 수정해야 한다.

또한, 증발산량 산정 방정식이 갖고 있는 왜곡도(歪曲度)와 표준편차는 lysimeter로 산정한 지역 수정계수를 곱하여 수정해야 한다.