

# Penman 式과 氣象要素를 利用한 蒸發散모델에 關하여

## On the Evapotranspiration Model derived from the Meteorological Elements and Penman equation

李 光 浩  
Lee, Kwang Ho

### ABSTRACT

This paper include the hydrometeorological analyses of evapotranspiration which is import factor concerning the estimate of water budget over a certain basin.

Evapotranspiration model mode by the multiple regression analysis between the evapotranspiration measured on various kinds of ground cover (water, bare soil and lawn) and the other meteorological elements affecting the evapotranspiration process, and the simple regression analysis between the evapo transpiration measured on each ground cover and the evapotranspiration on water and vegetables calculated from the Penman equation.

It is expected that the evapotranspiration models are a very useful formulae estimating ten days amounts or a month's amounts.

### 1. 序 論

日常生活에서 물의 有用性を 새삼 論議할 必要는 없으나 이렇게 重要한 물의 定量的인 分析에는 많은 難點이 內包되어 있다. 即 물의 供給源인 降水中 어느 程度의 물이 地中으로 침투하며 또 그 中 어느 程度가 蒸發되는가, 그래서 얼마나 되는 量을 우리가 利用하는가 등을 正確히 알아내기란 相當히 어렵고도 必要한 當面 課題로서 대두되고 있다.

一般的으로 물收支를 構成하고 있는 降水, 蒸發, 發散, 流出 및 土壤水分의 各 成分量은 그 地域의 氣候學的인 條件과 被覆狀態, 土壤의 種類 및 構造, 傾斜 등의 物理的인 必質에 依하여 決定된다. 이러한 물收支 構成要素의 定量的인 分析에 重要하고도 어려운 要素로서는 무엇보다도 水面이나 地面으로부터의 蒸發, 植物體로부터의 發散되는 물의 量이라고 할 수 있다.

Thornthwaite는 1931년에 氣候區分을 爲해 氣溫과

日射量을 가지고 蒸發散量을 推定해 내는 經驗式을 誘導 發表하였다. 그 後 Penman, McIlroy, Blaney and Criddle, Leichman 等 여러 學者들이 熱收支, 空氣力學的, 經驗的인 蒸發散 推定式을 誘導發表한 바 있다.

특히 UN에서는 1965년부터 1974년까지를 IHD로 定하여 會員國으로 하여금 水文開發을 爲한 물收支事業을 권장하고 있다.

한편 우리 나라에서는 建設部에서 IHD 事業의 一環으로 1969년부터 京畿道 龍仁에 試驗流域을 定하여 물收支調査를 하고 있으며 中央觀象臺에서는 1971년부터 四大江流域 물收支 基礎調査를 하고 있다. 또한 1972년에 曹喜九는 벼논狀態에서 實測된 蒸發散量과 Blaney and Criddle의 驗式으로 계산된 값과 比較하여 蒸發散 推定式을 誘導한 바 있으며, 1969년에 崔明洙는 Thornthwaite의 式과 Penman式으로 계산된 값들을 水面 蒸發量과 比較하여 Penman式이 蒸發散 推定에 有用하다는 것을 밝힌 바 있다.

本 論文에서는 蒸發散 算定式으로써 世界的으로 그 有用성이 認定되고 또 現在 우리 나라가 가지고 있는 資料로서 計算이 가능한 Penman eq.의 計算過程을 밝

하고 또 이 식으로 計算된 蒸發散量과 實測된 蒸發散量(水面, 裸地, 잔디)을 比較하여 蒸發散 모델을 誘導하였으며 또 蒸發散에 영향을 주는 氣象要素를 利用하여 蒸發散 모델을 誘導하였다. 그리고 誘導된 두가지 蒸發散 모델을 比較 檢討하였다.

## 2. 資料 및 方法

### 1) 資 料

本 論文에서 利用된 資料는 Penman eq.에 包含된 諸般 氣象要素의 日別 값(1972. 4. 1~9. 30 水原農業觀測所) 即 氣溫(幹球, 濕球, 最高), 日照示數, 日照率, 風速(6m 高度), 蒸氣壓, 蒸發量(水面, 裸地), 蒸發散量(잔디)과 緯度別 太陽 輻射量 等이다.

### 2) 方 法

#### 가. 蒸發散 모델

對象地域의 蒸發散量을 얻기 위해서는 그 地域의 地面 被覆狀態別로 배양기는 蒸發散量을 求하면 된다. 그러나 實際로 이 量을 實測하기란 經濟的으로나 運用面으로 어려움이 많으므로 干先 水原 農業氣象觀測所를 代表地域으로 하여 Thornthwaite Type의 Lysimeter에 被覆(水面, 裸地, 잔디)을 입혀 물收支法으로 觀測하였으며 必要한 氣象要素들의 관측은 地上氣象觀測法에 依하였다.

氣象要素를 利用한 蒸發散 모델은 實測된 被覆狀態別 蒸發散量과 蒸發散에 영향을 주는 氣象要素들과의 月別 相關을 求하여 相關이 높은 순서로 두 個의 氣象要素를 擇하여 最小自乘法을 써서 重相關回歸式을 月別, 被覆狀態別로 誘導하여 蒸發散 모델로 삼았다. 또 한 이들 各各의 蒸發散 모델들을 月別, 旬別, 日月의 相對誤差를 求하여 檢定하였다.

또한 Penman式을 利用한 蒸發散 모델은 Penman eq.으로 日別 蒸發散量을 計算하여 實測된 被覆狀態別 蒸發散量과의 回歸式을 求하여 蒸發散 모델로 삼았다. 上述된 計算들은 FACOM 23-10 computer를 利用하였다.

#### 나. Penman eq.의 計算過程

蒸發散量 算定式에는 熱收支法, 空氣力學的인 方法, 結合法, 氣候學的인 方法(經驗法)等 여러가지가 있다.

本 論文에서 使用된 Penman식은 19년에 Peman이 Dalton형의 蒸發式과 熱收支式을 結合하여 만들어 낸 結合式이다. Penman式은 다음과 같이 表現된다.

$$E(\text{mm/day}) = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_A (1 - r) (a + b n/N)$$

$$- \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \sigma T_a^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_d}) (0.10 + 0.90 n/N) + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} 0.35 \left( c + \frac{u}{100} \right) (e_a - e_d) \dots \dots (1)$$

여기서  $\Delta$ : 均平氣溫에서 飽和蒸氣壓의 勾配(mb/°C)

$R_A$ : 地球大氣의 上部에 수직으로 入射하는 短波輻射의 理論值(蒸發量 單位 mm/day)

$\gamma$ : Psychrometric Const (=0.65 mb/°C)

$r$ : Albedo(水面: 0.05, 草地: 0.25)

$n/N$ : 日照率(%),  $a=0.18$ ,  $b=0.56$

$\sigma T_a^4$ : 平均기온( $T_a$ )에서의 黑體輻射量(蒸發量 單位 mm/day)

$e_d$ : 蒸氣壓(mmHg)

$e_a$ : 飽和蒸氣壓(mmHg)

$c$ : 常數(水面: 0.5, 草地: 1.5)

$u$ : 2m 高度에서의 風程(miles/day)

(1) 式에서

$$\Delta = \frac{de_a}{dt} = \frac{e_a}{T} \left( \frac{6790.498}{T} - 5.02808 \right) \dots \dots (2)$$

여기서  $e_a$ 는 氣溫에 對한 飽和蒸氣壓(mmHg)으로 다음과 같이 表示된다.

$$e_a = \exp \left( 54.878919 - \frac{6790.4985}{T} - 5.02808 \log_e T \right)$$

여기서  $T$ 는 絕對溫度(°C)(=273.16+t)이다.

(1) 式에서  $R_A$ 는 Smithsonian table에서 地球大氣上部에 수직으로 入射하는 短波輻射量을 日別로 求하여 (附錄 I 參照) 平均氣溫(t°C) 때의 蒸發潛熱( $L=597.3 - 0.56 \cdot t$ )로 除하여 求한다.  $\sigma T_a^4$ 은 平均氣溫에서의 黑體輻射量을 平均氣溫에서의 蒸發潛熱로 나누어 求한다(附錄 II 參照).

2m 高度에서 風程  $u$ 는  $u_2 = \frac{u_1 \log 6.6}{\log h}$  (여기서  $u_1$ 는  $h$  ft 高度에서 관측된 風速,  $h$ 는 ft로 나타낸 風速計高度)(1961, Purvis)을 利用하였다.

## 3. 結果 및 考察

### 1) 相關性

(1)은 氣象要素, Penman eq.으로 計算된 蒸發散量(水面, 草地)과 實測된 蒸發散量(水面, 裸地, 잔디)과의 相關係數를 나타낸다. 이 그림에서 土壤水分과 日射量은 現在의 觀測資料로서는 測器나 그 觀測方法等이 統一되어 있지 않았기 때문에 除外하였다.

(그림 1)에서 實測된 蒸發散量과 氣象要素들간의 相關關係(5월 6일~9월 30일까지의 148일)는 大體로 氣象要素中 小型蒸發計의 蒸發量과 大型蒸發計의 蒸發量

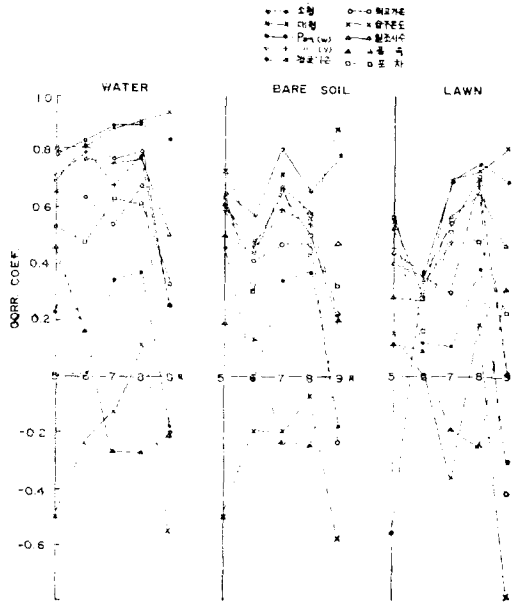


Fig. 1. Correlation Coefficient

이 높은 相關을 보이는 反面 平均氣溫, 濕球溫度, 風速 等은 有意性이 없는 것으로 나타나고 있다. 被覆狀態別로는 水面의 境遇 大型 및 小型蒸發計의 蒸發量이 0.84~0.85의 높은 相關을 보이고 있다. 이 밖에 裸地 및 잔디의 境遇도 역시 水面 蒸發量(大型 및 小型蒸發計)과의 相關이 제일 높아 0.51~0.64로 보이고 있으며 大分布表(1972, 정영진)에 依한 有意水準은 0.1% 임을 나타내고 있다.

한편 Penman eq.에 의한 計算值와의 相關係數는 水面의 境遇가 0.65~0.69로 제일 높고 裸地, 잔디의 境遇에는 0.34~0.69의 相關을 보인다(有意水準 0.1%).

또한 月別로 보면 水面蒸發量(大型 및 小型蒸發計)이 가장 높은 相關을 나타내고 있으며 水面蒸發量을 除外한 氣象要素들을 보면 相當히 不規則하지만 大體로 日照示數와 飽差( $e_a - e_d$ ) 그리고 最高氣溫 등이 다른 氣象要素에 비해 높은 相關을 보이고 있다. 特히 9月の 경우는 濕球溫度가  $-0.55 \sim -0.76$ 의 逆相關을 나타내고 있다. 이렇게 나타나는 것은 大氣中の 水蒸氣含有量과 蒸發과의 逆關係로부터 나온 結果라고 생각이 되지만 무엇보다도 9月の 氣象 Pattern이 큰 要因이 되는 것으로 思料된다.

한편 Penman eq.으로 計算된 값과는 水面蒸發量(大型 및 小型 蒸發計)보다는 그 相關이 比較的 낮은 便이나 其他 氣象要素 들보다는 全般的으로 높게 나타나고 있다. 特히 9月에는 有意性이 없는 것으로 나타나는 것으로 보아 증발산 모델로서는 不適當한 것처럼

보인다.

증발산 모델에 이용된 두개의 요소는 (그림 1)에서 相關이 높은 순서대로 擇한 것이다. 또 大型 및 小型 蒸發計蒸發量을 모두 포함시킨 것은 相關이 비슷한 點도 있지만 長期間의 관측자료가 있는 小型증발계, 또 앞으로 관측소에서 점차적으로 大型증발계로 代置될 것이라는 생각에서 이다.

또한 (표 1)에서 알수 있듯이 求하고자 하는 期間이 길어질수록 그 誤差가 激減하고 있는 것은 여기서 유도된 증발산 모델은 日별증발산량보다는 旬別 蒸發散量이, 旬別보다는 月別 蒸發散量을 推定하는 데 더욱 더 有用하다는 것을 암시해 준다.

2) 蒸發散 모델

(표 1)은 月別로 誘導된 蒸發散 모델이다.

Table 1. Evapotranspiration Model (Climatic element)

	Evapotranspiration Model	Standard Error		
		daily	ten days	Monthly.
수	5 $Y=0.324+0.767X_1-0.136X_3$	0.892	0.07	0.0
	$Y=0.422+0.671X_2-0.016X_3$	0.879	0.07	0.0
	6 $Y=0.230+0.636X_1-0.002X_3$	0.915	0.08	0.01
	$Y=0.013+0.617X_2+0.116X_3$	0.939	0.14	0.0
	7 $Y=0.008+0.493X_1+0.052X_3$	0.677	0.03	0.01
	$Y=0.017+0.556X_2+0.049X_3$	0.691	0.05	0.03
	8 $Y=-0.347+0.783X_1-0.057X_3$	0.667	0.07	0.0
	$Y=-0.169+0.756X_2-0.020X_3$	0.633	0.09	0.0
	9 $Y=1.319+0.768X_1-0.112X_6$	0.622	0.10	0.0
$Y=0.814+0.922X_2-0.068X_6$	0.386	0.07	0.0	
裸地	5 $Y=0.387+0.191X_1+0.127X_4$	0.826	0.24	0.0
	$Y=0.278+0.333X_2+0.089X_4$	0.753	0.18	0.01
	6 $Y=0.616+0.59X_1-0.192X_3$	0.875	0.29	0.0
	$Y=0.620+0.273X_2+0.027X_3$	0.987	0.37	0.0
	7 $Y=-0.123+0.352X_1+0.070X_4$	0.736	0.12	0.0
	$Y=-0.125+0.399X_2+0.069X_4$	0.735	0.20	0.01
	8 $Y=-0.865+0.647X_1+0.138X_3$	2.392	0.45	0.0
	$Y=-0.591+0.407X_2+0.282X_3$	2.431	0.45	0.0
	9 $Y=2.148+0.662X_1-0.139X_6$	0.667	0.32	0.01
$Y=1.765+0.787X_2-0.103X_6$	0.531	0.05	0.02	
잔디	5 $Y=-3.660+0.114X_1-0.242X_5$	1.328	0.44	0.01
	$Y=-3.086+0.295X_2+0.191X_5$	1.260	0.39	0.0
	6 $Y=-2.209+0.113X_1+0.164X_5$	1.273	0.46	0.0
	$Y=-3.816+1.509X_2+0.246X_5$	1.284	0.44	0.02
	7 $Y=-0.025+0.695X_1+0.06X_3$	1.685	0.24	0.0
	$Y=-0.018+0.807X_2-0.007X_3$	1.681	0.25	0.0
	8 $Y=-7.151+0.629X_1-0.275X_5$	1.552	0.10	0.01
	$Y=-7.472+0.658X_2+0.303X_5$	1.595	0.17	0.0
	9 $Y=5.113+0.508X_1-0.299X_6$	0.700	0.08	0.0
$Y=4.361+0.673X_2-0.265X_6$	0.547	0.08	0.03	

※  $\left( \begin{array}{ll} X_1: \text{ 소형증발계 증발량(mm)} & X_4: \text{포 차(mb)} \\ X_2: \text{대형 " (mm)} & X_5: \text{최고기온(}^\circ\text{C)} \\ X_3: \text{일조지수 (hr)} & X_6: \text{습구온도(}^\circ\text{C)} \end{array} \right)$

(표 2)는 Penman eq.을 이용한 蒸發散 모델을 나타낸다. 이 그림에서 9월은 相關係數의 有意性이 없어 除外하였다.

Table 2. Evapotranspiration Model (Penman eq.)

Month	Avapotranspiration Model	Standard Error (daily)
수 면	5 $Y = -0.72 + 0.84x$	1.04
	$Y = -0.80 + 1.10x_1$	1.03
	6 $Y = -2.09 + 1.19x$	0.98
	$Y = -2.39 + 1.58x_1$	0.99
裸 地	7 $Y = -0.78 + 0.76x$	0.94
	$Y = -0.13 + 0.77x_1$	1.07
	8 $Y = -1.42 + 0.93x$	0.93
	$Y = -1.44 + 1.20x_1$	0.95
잔 디	5 $Y = -0.33 + 0.56x$	0.88
	$Y = -0.49 + 0.76x_1$	0.84
	6 $Y = -0.22 + 0.46x$	0.97
	$Y = -0.29 + 0.60x_1$	0.98
7	$Y = -0.11 + 0.58x$	0.95
	$Y = -0.18 + 0.58x_1$	1.04
	8 $Y = -2.37 + 1.25x$	2.48
	$Y = -2.35 + 1.59x_1$	2.51
5	$Y = -0.05 + 0.52x$	1.46
	$Y = -0.36 + 0.79x_1$	1.42
	6 $Y = 0.68 + 0.43x$	1.28
	$Y = 0.65 + 0.55x_1$	1.28
7	$Y = -0.64 + 0.86x$	1.92
	$Y = 0.19 + 0.86x_1$	2.03
	8 $Y = -2.49 + 1.34x$	1.77
	$Y = -2.39 + 1.69x_1$	1.82

※  $(x: \text{Penman eq. (water)}$   
 $x_1: \text{" (vegetation)}$

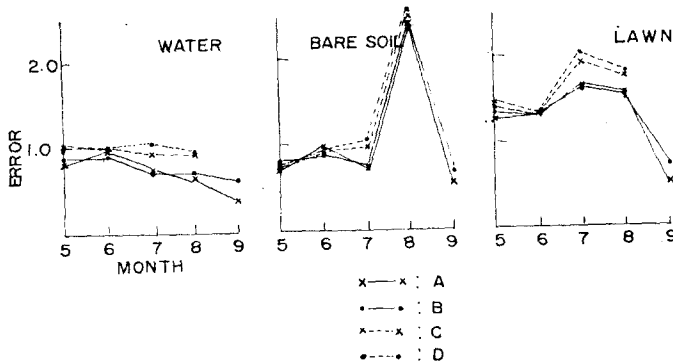


Fig. 2. 蒸發散 모델의 標準誤差

### 3) 모델의 比較

(그림 2)는 蒸發散 모델의 標準誤차를 나타낸다.

이 그림에서 A: 大型蒸發計 蒸發量이 包含된 蒸發散 모델, B: 小型蒸發計 蒸發量이 包含된 蒸發散 모델, C: Penman eq. (water)으로 부터의 蒸發散 모델, D: Penman eq. (Vegetation)으로부터의 蒸發散 모델에서의 標準誤차를 나타낸다. 이 그림에서 수면의 경우를 보면 7월을 除外하고는 A가 가장 誤差가 적은 반면 C, D의 誤差가 크게 나타나고 있다. 또 裸地의 경우는 5월과 9월은 A, 6월과 8월은 B의 誤差가 가장 적으며 7월은 A와 B의 誤差가 비슷하다. 한편 잔디의 경우 6월에는 A, B, C, D의 誤差가 크게 差異는 없지만 8월에는 B의 誤差가 적은 反面 5, 9월은 A의 誤差가 적게 나타나고 있다. 이렇게 나타나고 있는 點으로 보아 이들 蒸發散 모델中 A가 有用한 것처럼 보이나 B와 比較해서 別로 큰 差異가 없는 것으로 보아 병용해도 無妨한 것처럼 보인다. 특히 C, D는 全般的으로 A, B 보다 誤差가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 勿論 短期間의 資料로 分析된 것이기 때문에 C, D가 A, B 보다 더욱 더 有用할 것이라고 斷定할 수는 없다고 生覺된다. 좀더 長期間의 資料가 뒷받침이 된다면 좀더 正確한 蒸發散 모델이 될 것으로 思料된다.

### 4. 結 言

1) 蒸發散 모델을 誘導하기 爲한 氣象要素들과 被覆狀態別 蒸發散量과의 相關性은 5월과 9월은 大型蒸發計 蒸發量이 제일 높은 相關을 보였고 6, 7, 8월은 大體로 大型 및 小型蒸發計 蒸發量이 높은 相關을 보이고 있는 것으로 보아 被覆狀態別 蒸發散量은  $P_{an}$  蒸發量으로부터 間接적으로 求할 수 있다는 것을 알 수 있다.

이 밖에는 日照示數, 飽差, 最高氣溫, 濕球溫度의 順으로 相關이 높았으며 특히 平均氣溫과 風速은 相關係數의 有意性이 거의 없다는 것을 알 수 있었으며 大部分의 要素들이 有意性이 없는 것으로 나타났던 9월의 경우는 濕球溫度가  $-43 \sim -0.76$ 으로써 가장 높은 逆相關임을 알 수 있었다. 이 밖에 Penman eq.으로부터 求한 水面, 草地의 蒸發散量 값들은  $P_{an}$  蒸發量보다 낮은 相關을 보였으며 특히 9월에는 相關係數의 有意性이 없었다.

2) 本 論文에서 誘導된 蒸發散 모델의 適用은 日別 蒸發散量보다는 旬別, 月別 蒸發

散量을 推定하는 데 더욱 더 有用할 것으로 기대된다. 또 Penman eq.으로 計算된 蒸發散量으로부터 유도된 증발산 모델은 氣象要素로부터 유도된 증발산 모델보다 그 誤差가 크게 나타나고 있지만 그 差가 別로 크지 않다는 點과 大型蒸發計 蒸發量이 包含된 蒸發散 모델과 小型 蒸發計 蒸發量이 包含된 蒸發散 모델과의 誤差가 비슷하게 나타나는 點으로 보아 앞으로 이들 蒸發散 모델 적용에는 理論的, 實際的인 面을 考慮하여 적당히 선택해서 使用해도 無妨할 것이라고 生覺된다.

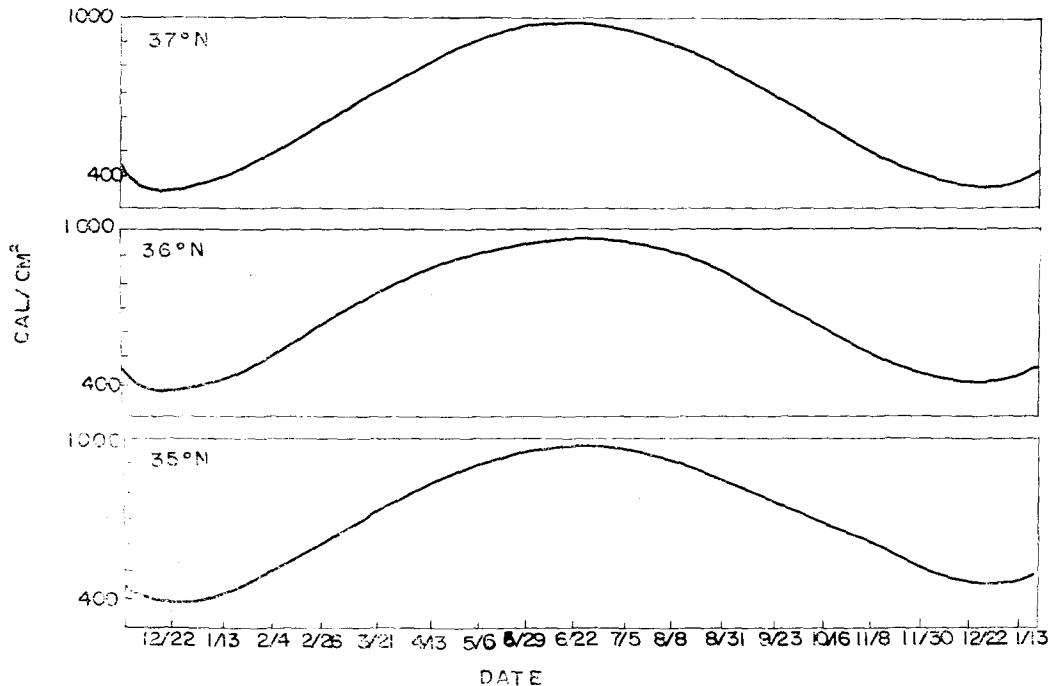
3) 本 論文에서 유도된 蒸發散 모델은 어떤 地域의 地面의 被覆狀態別 蒸發散量을 推定하는 데 有用할 것으로 生覺이 되지만 短期間(1972. 5. 6~1972. 9. 30)의 資料에 依한 것이기 때문에 만족스러운 結果를 기대하기는 어렵지 않을까 생각된다. 앞으로 계속해서 조사, 연구한다면 좀 더 精確하고 만족스러운 증발산 모델을 유도할 수 있을 것이다.

REFERENCES

Lee Kwang Ho., 1972 : Hydrometeorological analysis of the basin water budget, Journal of the Korean Society of Scientific Hydrologist, Dec. PP. 44-48.

Meinzer, D.E., 1942 : Hydrology, Dover Pub., N. Y., pp. 21.  
 Obradovich, M.M., 1971 : A study of the water balance in the Philippines, WMO/UNDP Project, Technical Series No. 13.  
 Purvis, J.C., 1961 : Graphical solution of the Penman Equation for potential evapotranspiration, Mon. Wea. Rev., 86, pp. 92-96.  
 List, R.J., 1968 : Smithsonian Meteorological Tables. Wash..  
 Thornthwaite, C.W., 1948 : An approach toward rational classification of climate, Geogr., Rev, 38, pp. 55-94.  
 Thomas, R.E., John, G.P., 1970 : A generalized computer program for the solution of the Penman equation for evapotranspiration, Journal of Hydrology 10, pp. 75-89.  
 Wiesner, C.J., 1971. : Hydrometeorology, Chapman and Hall Inc., pp. 119-128.  
 丁英鎮, 1972 : 近代統計學의 理論과 實際, 보진재  
 曹喜九, 1972 : 變數의 蒸發散量에 관한 統計的 研究 한국기상학회지, 제 8 권, 제 1 호  
 崔明洙, 1969 : 韓國의 蒸發散位와 植生에 關하여, 한국기상학회지, 제 5 권 제 2 호

附錄 I. 大氣上部의 日射量



附錄 II.  $\sigma T^4$  (mm/day)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10.89	10.90	10.92	10.94	10.95	10.97	10.99	11.01	11.03	11.05
1	11.06	11.08	11.09	11.11	11.13	11.15	11.17	11.19	11.20	11.22
2	11.23	11.25	11.28	11.31	11.32	11.34	11.36	11.38	11.39	11.40
3	11.41	11.43	11.45	11.46	11.47	11.49	11.50	11.52	11.54	11.57
4	11.59	11.50	11.61	11.63	11.64	11.66	11.68	11.70	11.72	11.74
5	11.76	11.78	11.80	11.82	11.84	11.86	11.88	11.90	11.92	11.93
6	11.95	11.96	11.98	12.01	12.03	12.06	12.08	12.09	12.11	12.12
7	12.13	12.14	12.16	12.17	12.19	12.21	12.24	12.26	12.29	12.31
8	12.32	12.33	12.35	12.36	12.38	12.40	12.42	12.44	12.46	12.48
9	12.50	12.51	12.53	12.55	12.57	12.59	12.61	12.63	12.64	12.66
10	12.69	12.71	12.73	12.75	12.77	12.79	12.81	12.83	12.85	12.87
11	12.89	12.90	12.92	12.94	12.96	12.98	13.01	13.02	13.04	13.06
12	13.08	13.10	13.12	13.14	13.16	13.18	13.20	13.22	13.24	13.26
13	13.28	13.30	13.32	13.34	13.36	13.38	13.40	13.42	13.44	13.46
14	13.48	13.50	13.52	13.54	13.56	13.58	13.60	13.62	13.64	13.66
15	13.68	13.70	13.72	13.74	13.76	13.79	13.81	13.83	13.85	13.87
16	13.89	13.91	13.93	13.95	13.97	13.99	14.01	14.03	14.05	14.07
17	14.09	14.11	14.14	14.16	14.18	14.20	14.22	14.24	14.26	14.28
18	14.30	14.32	14.34	14.36	14.38	14.40	14.42	14.44	14.46	14.48
19	14.51	14.53	14.55	14.57	14.60	14.62	14.64	14.66	14.68	14.70
20	14.72	14.74	14.77	14.79	14.81	14.83	14.85	14.87	14.89	14.91
21	14.94	14.96	14.99	15.02	15.04	15.07	15.09	15.11	15.12	15.14
22	15.16	15.18	15.21	15.23	15.26	15.29	15.31	15.33	15.35	15.37
23	15.38	15.40	15.42	15.45	15.47	15.50	15.52	15.54	15.56	15.58
24	15.60	15.63	15.65	15.67	15.69	15.72	15.74	15.76	15.87	15.80
25	15.83	15.85	15.87	15.89	15.91	15.93	15.96	15.99	16.01	16.03
26	16.06	16.08	16.11	16.13	16.15	16.18	16.21	16.23	16.25	16.27
27	16.29	16.32	16.35	16.38	16.41	16.44	16.47	16.49	16.51	16.52
28	16.53	16.55	16.57	16.59	16.62	16.65	16.68	16.70	16.72	16.74
29	16.76	16.78	16.81	16.84	16.86	16.88	16.91	16.93	16.96	16.98
30	17.00	17.01	17.03	17.06	17.09	17.12	17.14	17.17	17.20	17.22
31	17.25	17.27	17.30	17.33	17.35	17.38	17.41	17.43	17.45	17.47
32	17.49	17.51	17.54	17.56	17.59	17.61	17.64	17.66	17.69	17.72
33	17.74	17.76	17.79	17.82	17.84	17.86	17.88	17.91	17.94	17.97
34	17.99	18.01	18.04	18.07	18.09	18.11	18.13	18.15	18.18	18.21
35	18.24	18.27	18.29	18.31	18.33	18.36	18.39	18.41	18.43	18.47

附錄 III.  $\sigma/\gamma$

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.694	0.698	0.702	0.706	0.710	0.714	0.718	0.722	0.726	0.729
1	0.734	0.740	0.746	0.753	0.760	0.766	0.772	0.777	0.784	0.790
2	0.796	0.800	0.804	0.808	0.812	0.816	0.820	0.824	0.828	0.832
3	0.836	0.842	0.848	0.855	0.861	0.867	0.873	0.879	0.885	0.897
4	0.898	0.902	0.906	0.910	0.914	0.918	0.922	0.926	0.930	0.934
5	0.938	0.946	0.954	0.953	0.961	0.969	0.977	0.985	0.993	1.012
6	1.020	1.024	1.028	1.032	1.036	1.040	1.045	1.049	1.053	1.057
7	1.061	1.069	1.077	1.085	1.093	1.102	1.110	1.118	1.126	1.134
8	1.142	1.148	1.154	1.160	1.167	1.173	1.179	1.185	1.191	1.198
9	1.204	1.207	1.210	1.218	1.226	1.234	1.243	1.251	1.259	1.267
10	1.285	1.291	1.297	1.303	1.307	1.316	1.322	1.328	1.334	1.340
11	1.346	1.356	1.366	1.377	1.387	1.397	1.407	1.417	1.427	1.430
12	1.449	1.454	1.460	1.467	1.473	1.479	1.485	1.491	1.497	1.504
13	1.510	1.520	1.530	1.541	1.551	1.561	1.571	1.581	1.592	1.602
14	1.612	1.622	1.632	1.643	1.653	1.663	1.673	1.683	1.694	1.704
15	1.714	1.724	1.734	1.744	1.755	1.765	1.775	1.785	1.796	1.806
16	1.816	1.824	1.832	1.840	1.847	1.857	1.865	1.873	1.871	1.879
17	1.897	1.909	1.921	1.934	1.948	1.958	1.971	1.983	1.995	2.008
18	2.020	2.030	2.040	2.051	2.061	2.071	2.081	2.091	2.102	2.112
19	2.122	2.136	2.150	2.165	2.179	2.193	2.207	2.221	2.236	2.250
20	2.264	2.274	2.284	2.295	2.305	2.315	2.325	2.335	2.346	2.356
21	2.366	2.380	2.395	2.409	2.423	2.438	2.452	2.466	2.480	2.495
22	2.509	2.522	2.535	2.547	2.559	2.572	2.584	2.596	2.608	2.620
23	2.632	2.648	2.665	2.681	2.697	2.714	2.730	2.746	2.762	2.779
24	2.795	2.809	2.824	2.838	2.852	2.867	2.881	2.895	2.909	2.924
25	2.938	2.952	2.966	2.981	2.995	3.009	3.023	3.037	3.052	3.066
26	3.080	3.098	3.117	3.135	3.154	3.172	3.190	3.209	3.227	3.246
27	3.264	3.278	3.293	3.307	3.321	3.336	3.350	3.364	3.378	3.383
28	3.407	3.427	3.448	3.468	3.489	3.509	3.529	3.550	3.570	3.591
29	3.611	3.629	3.648	3.666	3.684	3.703	3.721	3.739	3.757	3.776
30	3.794	3.812	3.831	3.846	3.868	3.886	3.904	3.923	3.941	3.960
31	3.978	3.998	4.019	4.039	4.060	4.080	4.100	4.121	4.141	4.162
32	4.182	4.202	4.223	4.243	4.264	4.284	4.304	4.325	4.345	4.366
33	4.386	4.408	4.431	4.453	4.476	4.498	4.520	4.542	4.564	4.588
34	4.610	4.635	4.659	4.684	4.708	4.733	4.756	4.780	4.804	4.829
35	4.855	4.878	4.900	4.923	4.945	4.968	4.990	5.013	5.035	5.058

會 費 納 付

毎年 莫重한 事業을 推進하면서 恒常 會費納付가 遲延되고 있어 學會 運營에 많은 支障을 받고 있습니다.

여러분이 納付하는 會費는 本學會 運營의 動脈이 되오니 學會財政을 十分 惠諒하시어 現在까지 未納하신 會員은 다음과 같이 早速한 時日內에 自進納付하여 주시기 바랍니다.

納付金 : 年間 ₩1,000

納付處 : 直接納付 또는 振替口座 서울 554番에 拂込하여 주시기 바랍니다.