

## 流域 물收支調查를 爲한 水文氣象學的인 基礎資料分析

李 光 浩

## Abstract

This article includes hydrometeorological analysis of evapotranspiration and precipitation, which are used available basic data for a certain basin water budget.

Evapotranspiration on water surface, bare soil and rice fields is directly measured by Thornthwaite's type Lysimeter and on water surface and vegetables computed using the Penman's equation.

Areal precipitation is analyzed through the Thiessen method and arithmetic mean method.

It is interested fact that the correlation coefficient for Class A Pan's evaporation vs. the actual evapotranspiration is the highest value among the coefficients for different type evaporimeter and Penman equation, and evaporation ratio on rice field's evapotranspiration vs. Class A Pan's evaporation is 1.5-2.3.

## I. 序 論

어떤 流域에 降水의 形態로서 落下된 물은 그 一部가 蒸發에 依하여 大氣中으로 돌아가고 나머지는 流出 또는 地下水로서 江을 通하여 바다로 흘러가게 된다. 이와같이 물收支를 構成하고 있는 降水·蒸發·流出 및 土壤水分 變化的 各 成分量은 그 流域의 氣候學的인 條件과 被覆狀態, 土壤의 種類 및 構造·傾斜等 物理的인 性質에 依하여 決定된다.

氣候의 濕潤示數를 調查하기 爲하여 Mühry는 1860 年에 처음으로 世界降水量 分布圖를 作成하였으며 1894 年 美國의 Weather Bureau는 Div. of Agricultural Soil 를 신설, 土壤水分을 調查하기 始作하였다. 한편 Thornthwaite(1931)는 美國에서 降水量과 蒸發量과의 比를 月降水量과 氣溫으로서 얻을 수 있는 經驗式을 誘導하였다. 또한 Kittredge(1938)과 Reichel(1952)은 各 各 美國과 Iberian 半島의 蒸發散量 分布圖를 作成하였다.

이와같이 過去에는 氣候學的인 見地에서 相對的인 量 正會員, 中央觀象臺研究調查部

으로 물收支를 다루어 왔으나 最近에 와서는 人口가 急 增하고 文化가 高度로 發達함에 따라 水資源開發과 管理 問題가 國家의 經濟發展에 큰 比重을 차지하게 되어 水 文氣象學的인 活用面에서 물收支를 調查하게 되었다.

最近 이러한 問題는 世界共通課題로서 대두되어 WMO, IHD, UNESCO, FAO 등 國際機構에서 U.N 各 會員國에 研究調査토록 권장하고 있다. 이에 呼應 하여 1970년 英國에서는 물收支에 관한 Symposium 이 開催되어 많은 論文이 發表된바 있다.

한편 우리나라에서는 1969년부터 IHD 그 사업의 일 환으로 建設部에서는 代表試驗流域을 設定, 물收支調 査를 하고 있다.

本論文에서는 流域 물收支調查에 基礎가 되는 降水 量, 蒸發散量에 對해 調查하였다. 即 降水量은 洛東江 流域을 對象으로 하여 몇가지 分析方法에 依해 面積 降水量을 求하여 比較·檢討하였다. 한편 水原農業氣 象觀測所에 被覆狀態別로 LYSIMETER를 設置하여 蒸 發散量을 觀測하였으며 이렇게 관측된 증발산량과 間 接的인 方法으로 求한 증발산량과의 相關性을 求하여 實際 蒸發散模型을 導出하기 爲한 基礎資料로 삼았다. 그리고 蒸發計 面積에 따른 蒸發比를 求하여 比較·檢 討하였다.

## II. 資料

### 1. 蒸發散量

1971年 4月1日 ~ 10月30일까지 水原農業氣象觀測所에서 被覆狀態別로 Thornthwaite형의 Lysimeter로 觀測된 資料를 利用하였으며 蒸發量은 Class A Pan과 소형증발계로 觀측된 資料를 利用하였다. 이밖에 間接的인 方法에 依한 蒸發散算定은 爲한 氣象要素를 觀測하여 資料로 삼았다.

### 2. 降水量

洛東江流域의 4個 觀測所(大邱, 釜山, 蔚山, 秋風嶺) 및 80~90個의 雨量觀測所의 資料를 利用하였다.

## III. 理論 및 方法

### 1. 蒸發散量 算定

本論文에서 蒸發散量은 直接 測定하는 水收支法과 間接的으로 算定하는 結合法을 써서 求하였다.

#### a. 水收支法

어떤 期間에 주어진 깊이의 土層層에 對한 水收支

式은

$$P = E + RO + UD + \Delta ST \dots\dots\dots(1)$$

여기서

- P : 降水量                      E : 蒸發散量
- RO : 流出量                    UD : 地下浸透量
- $\Delta ST$  : 水分變化量

으로 주어진다. 本論文에서 使用된 排水式 Lysimeter에 對해서는 (1)式에서 RO를 無視하거나 한곳에 모아 測定하고 UD를 Lysimeter의 Tank底面의 排水管을 通하여 測定하면 된다. 그리고  $\Delta ST$ 는 土壤水分이 圃場用水量까지 達했을 때의 始終을 水收支期間으로 잡으면 零이 된다.

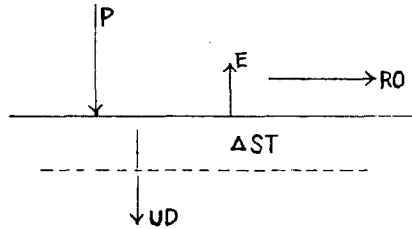


그림 1. 水收支

$$\text{即 } \bar{E} \approx \bar{P} - \bar{UD} (\Delta ST \approx 0) \dots\dots\dots(2)$$

로 하여 求한다. (그림 2)는 여기서 使用된 Lysimeter 構成圖이다.

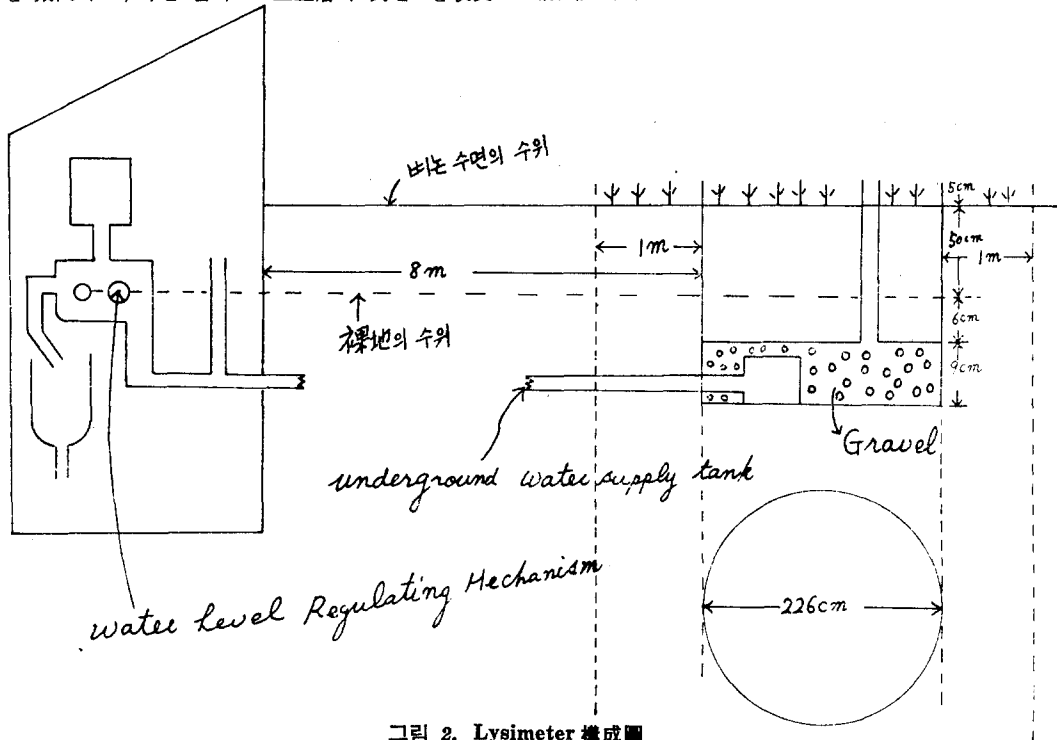


그림 2. Lysimeter 構成圖

**b. 結合法**

間接인 蒸發散算定에는 氣候學的인 方法, 亂流變動法, 空氣力學的인 方法, 熱收支法 等 여러가지가 있으나 實用的인 面과 可能한 面을 考慮하여 結合法을 써서 蒸發散量을 算定하였다.

Penman(1948)은 Dalton 형의 蒸發式과 熱收支式을 結合하여 다음과 같은 式을 誘導하였다.

$$E = \frac{\Delta R_n + \gamma LE_a}{L(\Delta + \gamma)} \dots\dots\dots(3)$$

여기서  $E$ 는 증발량 또는 증발산량(mm/day),  $\Delta$ 는 氣溫에 對한 飽和蒸氣壓 曲線의 勾配(mb/°C)

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

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

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

그리고  $R_n$ 은 純輻射量(증발량의 단위 mm/day)이며 다음 式으로 表現된다.

$$R_n = (1 - \alpha)RA(0.18 + 0.55n/N) - \sigma T^4(0.56 - 0.092\sqrt{ed})(0.10 + 0.90n/N)$$

윗 式에서  $\alpha$ 는 Albedo(水面的 境遇 0.05, 草地인 境遇 0.25를 使用했음)이며  $RA$ 는 大氣의 上部에 垂直으로 入射하는 短波輻射의 理論值(蒸發量의 單位 mm/day)이다. 그리고  $\sigma T^4$ 는 溫度  $T$ 에 對한 黑體輻射量(蒸發量의 單位 mm/day)이며  $\sigma$ 는 Stefan-Boltzman 상수이며  $1.171 \times 10^{-7} \text{ cal cm}^{-2} \text{ deg}^{-4} \text{ day}^{-1}$ 이다.

$\gamma$ 는 Psychrometric Constant(mb/°C)로서 다음과 같이 表示하여 求한다.

$$\gamma = 0.00066(1 + 0.00115t_w)P$$

$$\left[ \begin{array}{l} t_w : \text{습구온도}(^{\circ}\text{C}) \\ P : \text{氣壓}(mb) \end{array} \right]$$

$E_a$ 의 空氣力學的인 成分은 各 被覆狀態에 따라 다음 式으로 表示된다.

i) 水面에 對하여 :  $E_a = 0.35(e_a - e_d)(0.5 + \frac{U_2}{100})$

ii) 草地에 對하여 :  $E_a = 0.35(e_a - e_d)(1 + \frac{U_2}{100})$

여기서  $e_a$  : 氣溫에 對한 飽和蒸氣壓(mmHg),  $e_d$  : 蒸氣壓(mmHg),  $U_2$  : 2m 高度에서의 24時間 風程(mile/day)이다.

$L$ 는 蒸發潛熱(Cal/day)이고 溫度  $t^{\circ}\text{C}$ 일 때 다음 式으로 表示하여 求했다.

$$L \approx 595.9 - 0.545t$$

2m 高度에서의 風速은 Purvis(1961)의 다음과 같은 對數法則을 利用했다.

$$U_2 = \frac{U_h \log 6.6}{\log h}$$

여기서  $U_h$ 는  $h$ ft 高度에서 觀測한 風速이다.

上述된 式들은 中央電子計算所의 UNIVAC Computer 를 利用하여 計算하였다.

**2. 降水量**

集水域에 내린 물의 量으로서 表示되는 面積降水量은 算術平均法과 Thiessen 法을 써서 求하였다.

**a. 算術平均法**

$$P = \frac{1}{n}(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $P$ 는 平均面積降水量(mm),  $n$ 는 觀測所數, ( $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$ )은  $n$ 個 觀測所 雨量이다.

**b. Thiessen 法**

$$P = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A} \dots\dots\dots(5)$$

여기서  $A_1, A_2, \dots A_n$ 은  $P_1, P_2, \dots$ 에 代表되는 小面積,  $A$ 는 全體面積이다.

(5)式에서  $W_1 = \frac{A_1}{A}, W_2 = \frac{A_2}{A}, \dots W_n = \frac{A_n}{A}$ 으로 놓으면  $P = W_1 P_1 + W_2 P_2 + \dots W_n P_n$ 이 된다.

관측소가 차지하고 있는 面積은 集水域內의 觀測點을 連結하여 3각형의 各邊을 聯結하여 3각형의 各邊에 垂直二等分線을 그어 Thiessen 多角形을 만들어 Planimeter 로 10回 測定하여 平均한 값을 利用하였다.

**IV. 結果 및 考察**

**1. 實測된 蒸發散量, 蒸發量 및 計算值 比較**

(表 1)은 月別 증발산량 및 증발량을 나타낸다. 이 圖에서 보면 비의 수잉기와 出水기에 해당되는 8月과 9月의 증발산량이 180~194mm로써 가장 많은 값을 보이고 있다. Lysimeter 의 수면인 경우는 大體로 63~85mm, Penman 式(수면)에 의한 값은 최고 144.8mm 입을 알 수 있으며 草地인 경우는 最高 113.9mm를 보여 주고 있다. 한편 資料가 不足하지만 裸地의 경우가 가장 적은 값으로서 20~43mm 정도의 값을 보여 주고 있다.

表 2는 現在 각 관측소에서 관측하고 있는 Class A Pan, 소형증발계에 의해 관측된 증발량과 Lysimeter, 計算에 의한 값과의 比를 나타낸다. 이 圖에서 보면 裸地의 경우가 1.0~2.3으로 가장 큰 값을 나타내며

표 1. Evaporation and Evapotranspiration

월	mm						
	Penman式		LYSIMETER			소형증발계	Class Pan
	水面	草地	水面	裸地	水田		
4	*57.9	*44.6	*39.7	*21.0	—	*62.3	*50.2
5	135.2	106.9	84.1	42.8	—	137.8	108.9
6	137.0	112.3	76.8	32.6	**74.8	135.0	103.6
7	139.9	110.5	63.4	—	123.9	112.4	89.3
8	144.8	113.9	87.0	—	193.4	136.7	107.1
9	103.2	73.1	78.8	36.8	180.3	120.9	84.0
10	60.1	40.5	72.8	25.2	—	102.5	65.1

\* 4월 15일~4월 30일의 합계      \*\* 6월 12일~6월 30일의 합계

Lysimeter(수면)의 경우가 0.5~0.7로서 가장 적은 값을 나타내고 있다.

표 2. Evaporation Ratio

월	C/A	D/A	E/A	C/B	D/B	E/B
4	1.2	0.8	—	1.0	0.6	—
5	1.3	0.8	—	1.0	0.6	—
6	1.2	0.7	—	0.9	0.6	—
7	1.6	0.7	1.5	1.0	0.5	1.0
8	1.3	0.8	2.0	1.1	0.6	1.6
9	1.2	0.9	2.3	0.9	0.7	1.6
10	0.9	1.1	—	0.6	0.7	—

- A : Class A Pan으로 관측된 증발량
- B : 소형증발계로 관측된 증발량
- C : Penman식으로 계산된 증발산위(수면)
- D : Lysimeter(수면)으로 관측된 증발량
- E : Lysimeter(비논)으로 관측된 증발산위

2. 相關性

現在 各 測候所에서 觀測하고 있는 小型蒸發計나 實測段階에 있는 Class A Pan에 의한 蒸發量과 Lysimeter 및 間接的인 方法으로 算定해 낸 蒸發散量과의 相關關係는 蒸發散模型 導出에 必要하다.

表 3은 相關係數를 나타낸다.

이 表에서 보면 蒸發面이 水面인 境遇는 大體로 Lysimeter에 의한 蒸發量과 Class A Pan에 의한 蒸發量과의 相關係數가 0.82~0.97로서 가장 높은 相關을 나타냈으며 Penman 式의 水面에 있어서의 蒸發散位와는 0.39~0.54, 小型蒸發計에 의한 蒸發量과는 0.36~0.88의 相關을 나타내고 있다. 이러한 相關이 나타나는 것을 보면 水面에서의 蒸發量은 Class A Pan에 의한 資料를 利用하여 求할 수 있음을 시사해 준다.

한편 被覆狀態가 비논인 境遇는 水面에서와 마찬가지로 Class A Pan에 의한 값이 0.42~0.77의 相關을 가지고 있어 0.32~0.72, 0.54~0.71의 相關을 가지고

표 3. Correlation Coefficient

	월						
	4	5	6	7	8	9	10
	Lysimeter(수면)						
Class A Pan	0.91	0.90	0.97	0.92	0.86	0.90	0.82
Penman 式(수면)	0.54	0.69	0.64	0.82	0.65	0.74	0.39
소형증발계	0.79	0.75	0.42	0.47	0.88	0.86	0.36
	Lysimeter(비논)						
Class A Pan	—	—	0.77	0.42	0.56	0.57	—
Penman 式(초지)	—	—	0.63	0.51	0.45	0.68	—
Penman 式(수면)	—	—	0.71	0.31	0.38	0.72	—
소형증발계	—	—	0.71	0.54	0.60	0.67	—

있는 Penman(water)식에 의한 값과 소형증발계에 의한 값보다 높은 相關을 가지고 있음을 보여 준다.

3. 降水量

그림 3, 그림 4은 30년 간(1931~1960)과 1971년의 낙동강유역에서의 面積降水量分布도이다. 이 表에서 各 測候所의 Weight는 大邱:0.44, 蔚山:0.03, 秋風嶺:0.37, 釜山:0.16으로 한 것이다. 平年인 경우 全

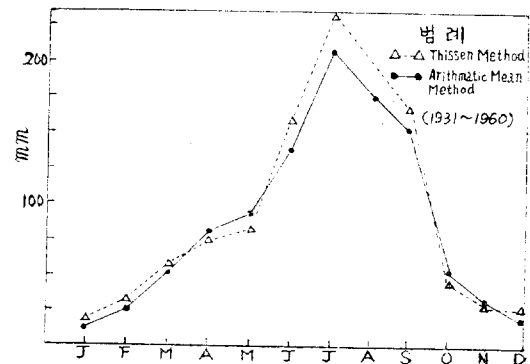


그림 3. 면적 강수량 분포(1931~1960 평균)

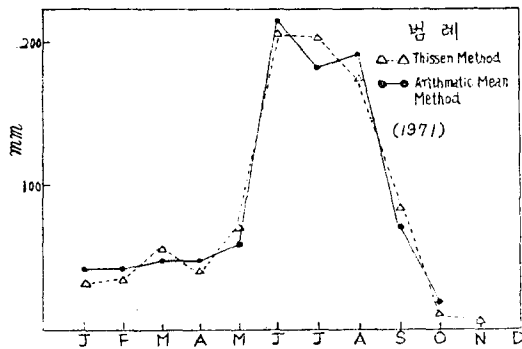


그림 4. 면적강수량 분포(1971)

년에 대한 면적降水量을 보면 Thiessen 法에 의해 求한 값이 1114.7mm로서 산술평균법에 의한 값보다 61.6mm 많게 나타난다.

그림 3 과 그림 4 를 보면 대체로 Thiessen 法과 산술평균법에 의해 분석된 면적강수량은 그 차이가 10% 以內에 들어 있음을 알 수 있다. 전반적으로 보아서 Thiessen 法에 의한 값이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이렇게 나타나는 이유는 분명하게 논할 수는 없지만 관측소의 수나 강수의 특성때문에 생긴 것이라고 생각된다.

### V. 結 論

1. 本論文에서 얻은 피복상태별 증발산량, 면적강수량자료는 증발산모형이나 유출량산정의 기초자료로서 유용할 것이다.
2. Class A Pan 에 의한 증발량과 Lysimeter 에 의한 증발산량과의 相關係數가 높게 나타나고 있는 것으로 보아 앞으로 어떤 地域의 蒸發散量을 얻기 爲해서는 Class A Pan 에 依한 觀測資料가 必要하다고 生覺된다.
3. 蒸發散量은 비논의 경우가 가장 많았으며 水面, 裸地의 境遇는 그 量이 비논의 경우보다 1/2~1/4 정도 적게 나타나고 있음을 알 수 있었다.
4. Class A Pan 에 對한 蒸發比는 비논의 경우가

1.5~2.3으로 가장 높았고 Lysimeter(水面)의 境遇가 0.7~0.9로서 가장 낮았다. 한편 소형증발량에 對한 증발비 역시 비논 : 1.0~1.6으로 가장 높았고 Lysimeter(수면)의 경우가 0.5~0.7로서 가장 낮음을 알 수 있었다.

〈註〉 本論文은 중앙관상대에서 발표한 1971年度 연구사업보고서(MR-71-2)의 一部를 要約한 것이다.

### 참 고 문 헌

- 1) Slater R.O. and McClroy I.C., (1961) : Practical Microclimatology, CSIRO Melbourne.
- 2) Thornthwaite, C.W. and B. Holzman., (1937) : The Determination of Evaporation from land and Water Surfaces, Mon. Wea. Rev. 67, 4-11.
- 3) Penman, H.L. (1948) : Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass, Proc. R. Soc. London; 193 Ser. A, 120-45.
- 4) Purvis, J.C., (1961) : Graphical Solution of the Penman Equation for Potential Evapotranspiration, Mon. Wea. Rev. 86, 92-96.
- 5) Thornthwaite, C.W., (1948a) : An Approach Toward Rational Classification of Climate, Geogr. Rev., 38, 55-94.
- 6) Thornthwaite, C.W. and J.R. Mather (1957b) : Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance, DREXEL Institute of Technology, Lab. of Climatology.
- 7) Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H., (1958) Hydrology for Engineers, MCGRAW-Hill, Civil Engineering Series, pp. 32-36.
- 8) (1963) : 한국의 홍수. 건설부
- 9) Wiesner, C.J., (1970) : Hydrometeorology, Chapman and Hall Company, LTD.
- 10) 박성우(1969) : 우리나라 가용수자원에 대하여, 물의 과학, 한국수문협회, 69.5. 1호