

늪地帶로 부터의 蒸發에 對하여

金 光 植

<本協會理事·中央觀象臺研究調查部長>

本論文은 1970年 7月의 Agricultural Meteorology에 掲載된 오오스트렐리아大學 地球科學科의 Linaere 外 2名의 蒸發에 關한 研究業績이다. 湖水나 其他 水面으로부터의 蒸發에 關한 調査는 여러가지가 있으나 늪地帶의 水面으로부터의 蒸發에 對한 成果는 찾아볼 수 없으므로 本調査를 實施하였다. 더구나 갈대 등으로 水面을 덮고있는 植物이 있을 경우에 對해서 實施했으며 또한 가까운 곳에 있는 湖水로부터의 蒸發에 對해서도 同時 觀測을하여 여러가지 推定을 하고 있다. 水文學分野에서도 이와같은 蒸發에 關한 研究는 必要할 것이 더 우리나라에도 比較的 많은 늪地帶가 있기때문에 參考가 될가해서 本論文의 摘要를 紹介하기로 하였다.

實驗은 3,000 ha 에 걸친 늪地帶에 對해서 夏節 3日間 每 30分 觀測과 그로부터 16 km 떨어진 湖水로부터의 蒸發量 觀測을 實施하였다. 渦動相關測定器(Eddy-Correlation instrument)를 使用하여 兩者의 觀測을 하고 容積特性式을 使用하여 湖水로부터의 蒸發量을 求하기 爲하여 바람의 變動, 乾, 濕球溫度, 水面溫度等의 觀測을 行하였다.

지금까지의 調査結果로서는 直接觀測의 成果로서 Blaney 의 것이 있으며 늪地帶로부터의 蒸發量은 3年間 各各 152, 145, 152 cm 였고 湖水로부터의 蒸發은 121 cm 로서 늪地帶로부터의 蒸發이 약간이기는 하나 많은 것으로 되어있다.

著者는 Penman 의 式을 使用하여 Q_a 을 純放射 flux, R_T 를 周圍溫도의 日變動幅, r_a 를 力學的 抵擴值라고 하면, 潛蒸發率(Potential Evaporation Rate)은 $Q_a + 1.4 \times 10^{-4} R_T / r_a$ (r_a 는 風速 2m/sec 時, 4×10^{-2} min/cm)에 比例하는 것이다.

$$Q_a = (1 - \alpha) Q_s - 16 \times 10^{-4} (100 - T) \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$$

이고 갈대의 r_a 值가 Corn 의 r_a 值와 비슷하다고 하며 風速이 같다고하면 $r_a \approx 3 \times 10^{-3}$ min/cm 라고 가정하였

다.

Q_s (太陽放射強度)는 水面에 갈대와 같은 장애가 없을 경우에 $1 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$, 늪地帶와 湖水의 反射係數 α 가 各各 0.2 와 0.05 이고, $R_T = 10^\circ \text{C}$, 平均溫度 T 가 20°C 이면, 蒸發量의 推定值의 比 E_s/E_w (E_s , E_w 는 갈대가 우거진 面, 湖面으로부터의 蒸發量)는 E_s/E_w

$$= \frac{0.80 \times 1 + 16 \times 10^{-4} \times 80 + (1.4 \times 10^{-4} \times 10) / (3 \times 10^{-3})}{0.95 \times 1 + 16 \times 10^{-4} \times 80 + (1.4 \times 10^{-4} \times 10) / (4 \times 10^{-2})}$$

이고 그 計算結果 $E_s/E_w \approx 1.3$ 이 되고, 갈대가 우거져 있는 늪地帶로부터의 蒸發量이 湖水로부터의 蒸發量보다 많고 그 量은 1.3 倍에 該當되는 셈이다.

簡單히 推理하면 이 경우 갈대 자신이 蒸散하는 量을 考慮하지 않았으므로 水面으로부터의 蒸發은 갈대가 있기 때문에 增加되었다고 생각할 수 있다.

여기서 著者는 實驗에 依해서 이것을 밝힐려는 계획을 세우고, 測器에 關해서는 Fluxatron* 을 最適으로 생각했다. 또한 顯熱의 流動을 얻기 위해서는 溫도와 垂直風의 變動이 關係되므로 이것을 水面上 4 m 높이 的 mast 에 그 感部를 設置하고 바람의 垂直成分(w), 觀測에는 폴로페라式 風速計, 乾球溫度(T)의 測定에는 細線式 抵抗溫度計(Fine-Wire resistance thermometer)를 使用했다. w 와 T의 瞬間的인 偏倚는 電氣的으로 集計되며, 顯熱 flux H의 平均值가 積算되어 나온다. L을 水蒸氣의 潛熱, E를 蒸發量이라고 할때 乾球를 바꾸면 flux는 顯熱渦動 flux + 潛熱渦動 flux 의 合計, 即 $(H + LE)F$ 에 比例하는 量이다. (F는 Fluxatron 에 依한 測定值임을 表示함) 湖面蒸發率(E_B)의 推定은 周圍空氣의 容積特性(bulk properties)에 基因한 蒸發式으로부터 얻어진다. 即,

* 構造의 으로는 渦動熱流量과 顯熱 H를 空氣密度, 바람의 垂直成分, 氣溫, 定壓에서의 比熱의 函數임을 原理로하여 만들어진 Flux 測定器

$$E_B = \text{Constant} \times u_a (e_s - e_b)$$

여기서 e_s 라함은 湖面溫度에 있어서 물의 水蒸氣壓 (mb) u_a 는 높이 a 에서의 風速(m/sec), e_b 는 높이 b 에서의 大氣水蒸氣壓이다. Hefner 湖에서의 觀測 Data 로서는 上式의 常數로서 $a=b=8\text{ m}$ 로하고 1.21×10^{-3} 이 나와있다.

그리고 只今 여기서 $a=2\text{ m}$, $b=1.5\text{ m}$ 높이의 觀測 值로 修正하면

$$E_b = 0.134 \times u_2 (e_s - e_{1.5}) \text{ mm/day} \dots\dots\dots(a)$$

또한

$$LE_B = 0.383 \times u_2 (e_s - e_{1.5}) \text{ mm/cm}^2 \dots\dots\dots(b)$$

가 된다. 여기서 熱과 水蒸氣에 對한 移流係數(transfer coefficient)가 같다고 하면 顯熱 flux 에 對해서는

$$H_B = 0.26 \times u_2 (T_s - T_{1.5}) \text{ mw/cm}^2 \dots\dots\dots(c)$$

가 된다. 여기서 T_s , $T_{1.5}$ 는 各各 水面과 水面 1.5m 높이의 溫度(°C)다. 또한 Bowen 率 $\beta(=H/LE)$ 는 0.67 ($(T_s - T_{1.5}) / (e_s - e_{1.5})$) 로 되어있고, G 를 表面에 對한 熱 移流라고 하면

$Q_n - G = H + LE$ 이고, 潛熱과 顯熱의 移流를 推定할 수 있다. 觀測結果는 別表와 같으나 3 方法에 依한 結果는 $(H+LE)_F = 29$, $H_B + LE_B = 31$, $Q_n - G = 31$ 이 되어 大體로 一致되어 있다. 또한 flux H의 結果는 -2, -4, -3 과 잘 合致되고 LE로 表示한 潛熱 flux 도 31, 35, 34 로 잘 맞음을 알았다. 또한 Wyangan 湖에서의 測定에서는 2 日間の 各 觀測時의 LE_F , LE_B 를 比較하면 相當한 差異도 있고 또한 E_B/E_F 의 變動도 큼을 알았다. 但 1 日量을 살펴보면 23.8, 25.8 mm/day 로서 式에 依한 推定量이 Fluxatron 에 依한 測定值보다 큰 값을 나타냈다. 또한 坵地帶와 湖水의 同時觀測 結果에서는 坵地帶의 높이 3m(u_3), 湖水의 높이 2m(u_2) 에서의 風速은 1 回만을 除外한 22 回は u_2 가 u_3 보다 크고, 平均으로는 各各 1.9 m/sec, 4.3 m/sec 로 湖上의 바람이 強했다. 이 때문인지 坵地帶에서는 LE_F 의 平均 15.4, LE_B 의 平均 16.3 mw/cm² 였으나 湖水에서는 LE_B 의 平均 24.5 mw/cm² 로 커져 있음을 생각하면 15.4 mw/cm², 16.3 mw/cm² 로 一致를 본것은 凹凸(障害)의 크기와 坵地帶에서 測定한 높이가 그다지 影響을 미치지 않았다는 偶然히 생긴 巴란스에 依한 것 일지도 모른다. 이상의 推理와 觀測結果로 다음과 같은 結果를 간추리고 있다.

(1) New South wales 에서는 夏季는 坵地帶로부터의 蒸發量平均은 湖水로부터의 蒸發에 比해 大端히 적다. 이것은 理論的으로는 갈대가 우거져 있는 坵地帶가 크다고 생각되는데 이와 反對되는 結果가되는 까닭은 갈 대에 依해서 생기는 水面의 그늘 때문이라고 생각되고

있다.

反射能이 比較的 크고 乾季는 물의 移動에 對한 內部抵抗이나, 이 實驗에서는 湖水의 오아시스 影響이 劣 弱했다는 것 등에 依한 것이라고 본다.

(2) 周圍를 飽和시키는 甚한 降雨後에는 蒸發率은 坵地帶나 湖水나 같아진다. 湖水에서의 오아시스 效果가 減少되고 坵地帶에서의 갈대의 內部抵抗이 低下되기 때 문일 것이다.

(3) 적어도 乾燥期에는 湖水나 다른 水中에서의 갈 대의 생장이 물의 損失을 增加시키는 것이 아니고 오히 러 減少시키는 것으로 생각된다.

(4) 觀測期間中 日中の 顯熱 flux 는 湖水에서나 坵地 帶에서나 다 같이 적었다.

(5) 渦動相關測定器와 蒸發率을 計算하는 器械에 依 한 湖水의 同時測定 結果에서는 같은 값을 얻었다. 갈 대가 測器의 높이까지 떨어져있어도 坵地帶로부터의 蒸 發量에 對해서 式으로 부터의 推定值과 渦動相關測定 器에 依한 測定值는 充分히 比較할 수 있다.

(6) 渦動相關測定器는 應用하는데는 복잡한 技術을 必要로 하나 坵地帶와 같은 곳에서는 水收支法等의 他 方法에 比較하여 쓸만한 것이라고 생각된다.

a) 空氣中에 對한 energy flux 의 여러가지 方法의 推 定量 比較	
$(H+LE)_F$ (濕球를 使用한 Fluxatron 에 依함) 29	
H_B (b 式에 依함)	-4
LE_B (c 式에 依함)	35
$H_B + LE_B$ (위의 2 者 合計)	31
Q_n (純放射量)	80
G (湖水의 溫度調査로부터)	49
$Q_n - G (=H+LE)$	31
b) 顯熱 flux H 의 推定比較	
H_F (乾球를 使用한 Fluxatron 에 依함)	-2
H_B (c 式에 依함)	-4
H_{BR} (Bowen Ratio 에 依한 $H_{BR} = (Q_n - G) [\beta(1+\beta)]$ 에 依함)	-3
c) 潛熱 flux LE 의 推定值 比較	
$LE_F (= (H+LE)_F - H_F)$	31
LE_B (c 式에 依함)	35
LE_{BR} (Bowen Ratio 에 依한 $LE_{BR} = (Q - G) / (1 + \beta)$)	34