

## 〈論 文〉

## 蒸發量의 時空的 變化

## Seasonal Variations of the Evaporation in Korea

李 光 浩\*

Kwang Ho Lee

金 文 一\*\*

Moon Il Kim

## Abstract

The distributions of the copper plated (small) pan evaporation in both space and time are analysed with the data observed, and the lake and the potential evapotranspiration are estimated from the climatological data. These values are compared with each other and to the precipitation for deducing the seasonal amounts and variations of water budgets in the selected basins and regions.

The meteorological factor which is closely associated with the small pan evaporation is the insolation, and the next is the air temperature. The contributions of the wind and the relative humidity to the evaporation are hardly recognizable when they are used as the monthly values. The relationships among the small pan, the Class A pan and the lake evaporation are well correlated with each other with the correlation coefficient of above 0.90, so it may be possible to derive other evaporations from knowing one evaporation.

The ratio of the Class A pan and the lake evaporation to the small pan evaporation in annual are about 73% and 55%, respectively, except the mountaineous area where the values are about 10% less than those. The evapotranspiration reach about 40~60% of the annual precipitation, but in May and October two values are nearly same. The frequencies of the monthly evaporation in class intervals in the regions are also provided.

## 要 旨

우리나라에서 증발량의 시간적 공간적 분포를 4대강 유역과 영동지방으로 나누어 기후자료를 이용하여 분석하고, 호수면 증발량과 증발산위량을 계산하여 다른 증발량 및 강수량과 비교함으로써 지역별 물수지요소의 변화를 조사하였다. 또한 증발에 영향을 미치는 기상요소와의 관계를 분석함으로써 기후관측요소 상호간의 관계를 규명하였다.

소형증발계에 가장 큰 영향을 미치는 기상요소는 일사량이며, 다음은 기온이나 풍속 및 상대습도 등은 그 월별값을 나타낼때 거의 기여도가 없었다. 소형증발량과 대형증발량 및 호수면증발량은 서로 그 월별값의 상관이 0.90을 상회하므로 어느 한 증발량으로부터 유추할 수 있고, 년 소형증발계

\* 全北大學校 師大 地學教育學科 副教授 : College of Education, Jeonbuk National University

\*\* 氣象研究所 氣象技正 : Applied Meteorological Laboratory, Meteorological Research Institute

에 대한 대형증발량 및 호수면 증발량의 비는 각각 73% 및 55%정도이나, 산지에서는 그보다 약 10% 정도가 낮았다. 증발산위량은 작물생육기에 소형증발량의 약 80%에 달하나 년 평균치는 약 70% 정도이며, 강수량의 40~60%에 달한다.

## 1. 序 論

人口의 增加와 産業의 發展, 및 生活水準의 向上으로 因하여 물에 대한 効率的 利用 및 그 요구가 急増하고 있으므로 限定된 降水資源을 효율적으로 관리 운영하 는 것이 이에 대한 적절한 대응책이라 할 수 있다.

降水資源中, 다시 大氣中으로 되돌아가는 量 즉 蒸發 量에 研究는 可用 水資源을 推定하고, 그 保存과 利用 에 대한 水資源 開發 綜合計劃에 기여할 수 있는 기초 資料를 生産함과 동시에 더 나아가 증발억제의 효율성 進단에 필요한 資料의 조사를 대상으로 한다.

蒸發量의 觀測은 19세기 말부터 蒸發計를 地面附近 에 설치하여 관측하기 시작하였으며 국가마다 다소 다른 크기의 증발계를 사용하고 있으므로 그 자료의 통일성이 없었으며 현재에도 이러한 문제를 지니고 있어서 세계기상기구에서는 국제수문분과위원회(IASH)와 함께 국제관측년(IGY) 중에 각 會員國에게 Class A Pan 증발계를 사용하도록 권장한 바 있다(WMO, 1974).

호수면 증발량의 관측은 증발계의 설치와 관리의 어려움 때문에 현재도 거의 시행되지 못하고 있다. 美國에서는 1915년부터 대형증발계(Class A Pan)을 이용하여 호수면 증발량 관측망을 구성하였으며 소련에서는 약간 다른 형태의 증발계를 띄워 관측하고 있으나(WMO, 1974) 대부분이 연구목적으로 시행되었고(Sellers, 1965; Yamamoto and Kondo, 1964), 그 결과는 대체로 대형증발계 증발량의 약 0.5~1.3 배가 되나 장소와 계절에 따라 달라서 일반적으로는 대형증발계 증발량보다 적게 나타난다고 하였다.

1940年代 후에는 蒸發散位量에 對한 概念이 도입됨과 동시에 (Thorntwaite, 1944. and 1948; Blaney, 1952; Penman, 1956; Budyko, 1956) 여러가지 蒸發散位計가 고안되어 사용되고 있다.

우리나라에서는 소형증발계(직경 20cm, 깊이 10cm의 동판)로서 1908년도 부터 1960년도 말까지 증발량을 관측하였다. 이 소형증발계는 일사가 강할 때에는 증발계 자체의 가열로 인하여 실제보다 더 많은 증발량을 관측하게 된다. 그러므로 그후 부터는 대형증발계(직경 120cm, 높이 25cm의 야연철판재)로서 증발량을 그리고 특수관측소에서는 Thorntwaite식 증발산위계를 이용하여 증발산위량을 관측하고 있으나 동

계에는 結水때문에 관측하지 않는다. 水面蒸發量은 아직도 정규관측은 하지 못하고 있으며, 다만 연구 목적으로 관측이 시도된 적이 있다(기상연구소 1979).

蒸發量에 대한 理論的인 研究는 擴散過程과 熱平衡 方法을 이용한 것들로 크게 나눌 수 있다. 熱平衡方程式을 이용하여 증발량을 처음으로 추정 한 사람은 Schmidt(1920)와 Angstrom(1920)이었으나 蒸發熱과 傳導 및 熱擴散에 의한 熱의 比에 對한 의견을 달리하고 있으며 Bowen(1926)은 前者를 관측가능한 요소로 변형한 식을 유도하여 계산함으로서 Cummings and Richardson(1927)의 관측결과에 의하여 뒷받침 되었다. Sutton은 1943년에 2次元 擴散方程式과 관련 경계조건을 주고 열전도 방정식을 이용하여 地表面 蒸發量 計算式을 만들었으며(Sutton, 1953), 1943년에 Pasquill은 특별히 고안된 풍동을 사용하여 증발과정을 측정하고 分子擴散에 의한 運動 擴散率을 利用하여 계산식을 유도하고 봄철 蒸發量의 日變化를 계산하였다(Pasquill, 1949).

Thorntwaite와 Holzman(1939)은 넓은 지역에서 擴散方程式을 가지고 風速, 水蒸氣의 高度變化率을 고려한 蒸發方程式을 만들었고, 그 후 Holzman(1943)은 大氣安定度 概念을 첨가하여 이를 발전시켰다. 그 후 Penman(1948)은 擴散過程과 熱平衡 要素를 결합하여 水面, 裸地, 草地面에서의 蒸發散量 算定式을 유도하였으며 Nomogram도 만들어져 있다(Purvis, 1961).

蒸發散量을 직접 관측하지 않고 氣象要素를 이용하여 계산하는 方法이 Thorntwaite(1948), Penman(1948), Budyko(1956), Sellers(1964), Balachandran et al.(1975),에 이르기까지 무수한 方法이 제안되고 있다(Palmer and Havens, 1958; Purvis, 1961).

우리나라에서는 Thorntwaite식을 도입하여 기후분류를 시도한 이래(金, 1962), 1960년대 말에 蒸發散位計의 관측과 더불어 植産分布와의 관계(崔, 1969), 유역별 물수지(金, 1968; 중앙기상대, 1972; 기상연구소, 1979) 및 수도작과 관련한 증발산위를 조사하였고(金, 1969; 曹, 1972), 蒸發量의 推定方法(曹, 1969) 및 Climatology 개념을 도입하여 증발산위량 및 물수지를 유도한 바 있다(閔, 1974).

本 研究에서는 蒸發量 資料를 農林과 水資源分野에서 쉽게 引用하여 사용할 수 있도록 처리하려고 노력하였다. 즉 全國을 5個 지역인 漢江, 錦江, 洛東江流

域과 湖南, 嶺東 및 山岳地方으로 區分하고 그 지역의 代表 觀測地點 두곳을 選定하여 소형과 대형증발량을 분석하고 호수면 및 蒸發散位量을 氣候 觀測資料로 부터 구하여 月別값과 그 相關을 도시하였다. 또한 蒸發에 영향을 주는 氣象要素와의 關係를 분석함으로써 氣候觀測要素 相互間의 關係를 규명코자 한다.

## 2. 資料 및 地域區分

### 가. 資料

소형증발량의 經年變化分析에는 1908년부터 1980년까지의 관측자료가 사용되었으며 소형증발계 증발량의 月別 階級別 發生頻度는 1960~1980년사이의 값이 이용되었다. 또한 蒸發量과 氣象要素와의 關係 및 호수면 증발량을 규명하기 위하여 使用된 資料中 蒸發量, 氣溫, 風速, 日照時間, 露點溫度 및 降水量은 30年(1951~1980) 氣候平年值(中央氣象臺, 1982)의 값을 使用하였고 日射量은 5年間(1972~1976)의 자료인데 그 理由는 증양기상대 산하 農觀分室이 확장되면서 日射量觀測을 시작하였으나 기간이 경과함에 따라 폐소된 곳도 있어서 一樣한 통계기간을 얻기 곤란한 점이 있기 때문이다. 또한 본 研究에서 選定된 測候所에서 日射量觀測을 하고 있지 않는 곳(例: 淸州, 大田, 秋風嶺, 大邱)은 인근 農觀分室의 日射量觀測 資料를 利用하였다. 大型蒸發量은 1972년부터 1981년까지 10年間의 자료를 利用하였다.

蒸發散位量을 계산하기 위한 氣溫觀測資料는 20年間(1961~1980)의 資料를 利用하였으며 이는 통계의 穩妥성을 고려한 것이다. 이밖에 수원 측후소를 비롯한 여러곳에서 Thornthwaite형 증발산위계를 利用한 地面의 피복상태별 증발산위량을 1970년도 이후부터 관측하고 있으나 그 관측자료는 植物 生育期에 한정되어 있을 뿐만 아니라 다소의 缺測資料가 있어 직접 利用은 하지 못하였으며 수원에서 관측된 비논의 증발산위량과 계산된 증발산위량의 값을 비교하는 데 일부 利用하였다.

### 나. 地域區分

우리나라는 國土는 작으나 地形의인 특징때문에 氣象現象이 地域에 따라 다르게 나타나며 또한 水文學의으로 다를 때는 流域別로 다뤄 지는 것이 보통이므로 본 研究에서도 지역을 漢江, 洛東江, 錦江流域과 섬진강과 영산강을 포함하는 호남지역 및 영동의 5개 지역으로 나누고 각 지역마다 그 位置, 氣象資料 觀測年度 및 그 地域의 代表性을 고려하여 두개의 氣象資料 觀測地點을 選定하였다. 漢江流域에서는 서울과 春川

을, 錦江流域에서는 淸州와 大田을, 湖南地方에서는 全州와 光州를, 洛東江流域에서는 大邱와 暫州를, 嶺東地方에서는 江陵과 浦項을 擇하였으며 또한 山岳地方의 特性을 규명하기 위하여 대관령과 추풍령을 선택하였다. 地域別로 代表地點을 선정하지 않고 그 地域의 觀測值를 모두 고려하여 그 平均値를 利用할 수도 있으나 統計期間이 서로 다를 수도 있으나 統計期間이 서로 다를 수 있으며 또한 算術平均値가 그 지역을 代表한다고 볼 수 없는 點과 極値를 나타내는 값이 포함될 우려성이 있어 본 연구에서는 유역 대표지점에 대한 氣候觀測資料의 平均値를 그 流域代表値로 가정하고 分析하였다.

## 3. 蒸發量計算方法의 선택

### 가. 水面 蒸發量

본 연구에서는 Kohler와 Richards(1962)가 1954년과 1958년에 Hefner 호와 Meade 호를 대상으로 구한 Nomogram을 利用하여 水面蒸發量을 月別로 計算하였다. 여기에 使用된 氣象要素는 氣溫, 露點溫度, 風速 및 日射量이다. 이 中에 風速資料는 地上 0.5m 높이의 日別 風程을 사용해야 하므로 각 측후소의 풍속자료에 0.4배를 하여 使用하였다. 이것은 우리나라 측후소에 설치되어 있는 풍속계의 높이가 10m이기 때문이다.

### 나. 蒸發散位

증발산위를 계산하는 方法은 여러가지가 있으나 현재 우리나라에서는 관측되고 있는 氣象要素를 利用하여 계산 가능하고 또 가장 용이하게 利用될 수 있는 方法은 Thornthwaite(1948)가 기후분류의 한 方法으로 유도해낸 式이라고 볼 수 있다. 이 方法은 우리나라를 포함한(김, 1962, 1968; 증양기상대, 1972; 기상연구소, 1979) 세계 각국에서 널리 사용되고 있음과 동시에 많은 검토가 행해져 왔다. 본 연구에서는 상술된 Thornthwaite의 式을 利用하여 증발산위량을 계산하였으며 이로 부터 강수량자료와 함께 물수지를 검토하였다. 이 方法의 결함으로 지적될 수 있는 점은 월평균기온이 0°C 이하 일 때 증발산위량이 없다는 점과 26.5°C 일 때는 열수지와 무관하게 기온과 단순상관으로 나타낸다는 점이 모호한 점이라고 할 수 있다. 또한 이 方法은 다른 기상자료를 利用한 계산방법들보다 그 값이 다소 적게 나타나고 있다. (Sellers, 1965)

4. 分 析

가. 小型蒸發量의 經年變化

서울지방에서 觀測된 소형증발량의 經年變化는(그림 1)에서 보여 주는 바와 같이 1950년대 以前에는 그 기복이 커서 2.5mm/day에서 4mm/day인 해도 있으나 그 以後에는 대체로 一樣한 형태를 보여 주고 있어서 그 平均值 3.1mm/day에 대하여  $\pm 0.3$ mm/day 이내의 변화를 나타내고 있다. 대체로 우리나라의 다른 지점에서 觀측된 증발량의 經年變化도 서울에서 觀측된 經年變化的 趨勢와 거의 비슷하게 1939年을 前後하여 年最大 蒸發量을 보여 주고 있으며 그 값은 4.0~5.8mm/day를 나타내고 있다. 이 기간중에 서울의 年 平均 日蒸發量은 3.1mm/day이며 표준편차는 0.3였다. 또한 年平均 小型蒸發量은 약 1130mm/year로서 年 降水量과 거의 같은 量이다.

그림 1의 아랫그림은 윗그림에서 보여준 年平均 日蒸發量의 빈도를 나타내고 있으며 同期間의 年平均 日蒸發量인 3.1mm/day가 발생빈도 18회로서 가장 많고 이 平均值를 中心으로 한 두 표준편차 범위내에 자료의 약 68%가 포함되고 있다. 특히 1950년대 이후는

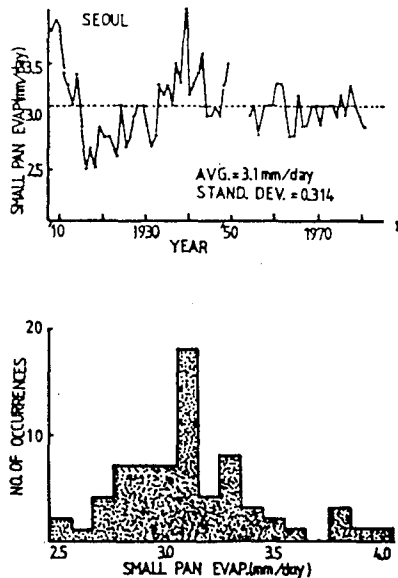


Fig. 1. Variations of the annual mean daily evaporations(mm/day) measured with the copper plated (small) pan at Seoul for 1908~1980 (upper), and their frequency diagram(below). From 1950 to 1953 evaporations were not measured.

모든 자료가 이 표준편차내에 포함되고 있으며 그 年變化가 적음은 다른 氣象要素의 변화와 더불어 장기 기후변동을 조사할 가치가 있다고 생각된다.

나. 小型蒸發量과 氣象要素와의 相關

氣象要素와 地面狀態에 따라 다르게 나타나는 蒸發量에 대체로 주된 영향을 미치는 氣象要素로는 日射量 및 氣溫, 風速, 水蒸氣含有量등을 들 수 있다. 이들의 기여도는 日射와 氣溫이 가장 커서 80%, 그 다음이 풍속으로 14%, 수증기 함유량은 6%로 밝힌 바 있다. (Chang, 1971)

그림 2는 증발량과 기상요소들간의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 氣象要素로서는 月 平均 氣溫, 風速, 日照

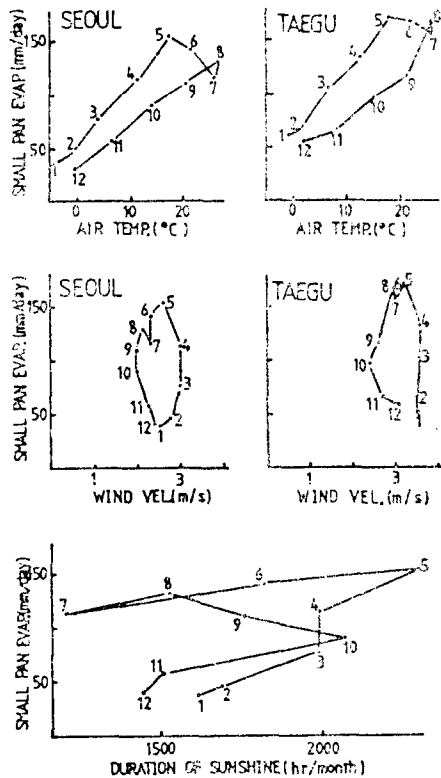


Fig. 2. Monthly sequences of the evaporations in relation to the monthly mean air temperatures in °C (upper), the wind velocities in m/sec (middle), the monthly duration of sunshine in hours (bottom)averaged for 30 years(1951~1980)at Seoul and Taegu weather stations. Evaporations were measured with the copper plated pan.

時間 및 日射量을 擇했으며 지역으로는 서울과 大邱를 選定하였다. 이렇게 選定한 理由로서 두 地域은 위도와 경도로 보아 相對的인 位置이며 內陸에 위치할 大

都市로서의 代表性을 고려한 것이다. 또한 分析에 利用된 氣象要素外에 降水量, 水蒸氣壓, 相對濕度도 고려할 수 있으나 降水量은 夏季에 集中되어 있으며 蒸發量도 夏季에 많은 편이나 一次相關을 지나고 있지 않음이 分明하며 蒸氣壓은 그 平均值보다도 수직구배가 더 증발량과 관계가 깊으나 관측되지 않는 사항이고 相對濕度는 氣溫變化에 따라 다르며 계절적 변화가 크지 않기 때문에 除外하였다.

그림 2에서 氣溫과 소형증발량과의 관계는 1월부터 5월까지의 기온의 증가와 증발량의 증가가 一次의으로 잘 일치하고 있으나 6월과 7월에는 逆相關을 보이고 있으며 8월부터 12월까지의 대체적으로 좋은 直線相關을 보여 주기는 하나 같은 氣溫下에서 봄철보다 가을철에 약 30%정도 적은 값을 나타내고 있다. 따라서 氣溫을 가지고 증발량을 유추하기는 特別히 여름철인 경우 더욱 힘들 뿐 아니라 全季節을 통하여 一次相關에 대한 분산이 크다. 月平均 風速은 서울이나 大邱에서 그 月變化가 2 m/sec 以下로서 비슷하지만 大體로 겨울과 봄에 強하고 여름과 가을에 弱하므로 증발량과 거의 相關이 없는 것으로 나타나고 있다. 그러나 日別蒸發量인 경우에는 같은 氣象狀態下에서 바람이 강한 경우에 증발량이 크게 나타나는 것은 당연하다. 이와 같이 月平均 蒸發量이 平均風速과 거의 關係가 없다 하더라도 두 지점 공히 月變化의 순환특징을 보여 주고 있다. 즉 1월부터 4월까지의 풍속의 증가와 증발량의 증가를 식별할 수 있으며 5월부터 10월까지는 풍속의 감소와 증발량의 감소현상이 있으나 10월부터 동계에 걸쳐서는 그 反對이다. 일조시간과 증발량과의 관계는 서울의 경우만을 도시하였는데 특히 겨울철에는 7월보다도 일조시간이 긴 반면 증발량은 적으며 일조시간이 年中 가장 적은 7월의 증발량이 일조시간이 긴 5월과 40 mm/month의 差밖에 나타나지 않고 있는 것은 여름철의 日中에 雲量이 많아서 나타나는 현상이므로 일조시간도 그 월별값을 이용할 경우에 증발량과 직접적인 관계가 적음을 알 수 있다.

氣象要素와 증발량과의 相關을 보면 日射量이 가장 높은 相關을 보이고 있다. 즉 서울에서 관측된 日射量(x)에 대한 蒸發量(y)의 月變化의 直線식은

$$y = 0.591x - 63.8$$

로 표시되며 相關係數는 0.93이다. 칠곡분실의 일사 관측자료를 사용하여 구해 보면 그 直線식은

$$y = 0.51x - 55.7$$

상관계수 0.91로서 서울보다는 다소 낮은 편이나 大體로 비슷하다. 광주에서는

$$y = 0.448x - 19.7$$

로 표시되며 상관계수는 0.97로 높고, 대전의 경우에는 유성분실의 일사량 관측자료를 사용하였는 데도 직 선식은

$$y = 0.391x - 22.9$$

상관계수는 0.98에 이르고 있다. 이와 같이 소형 증 발량은 일사량의 과다에 직접적으로 영향을 받으며 langley로 표시한 月平均 日射量의 25~40%에 해당 하는 값이 된다.

다. 地域內 小型蒸發量의 比較

좁은 지역에서의 蒸發量은 地形的인 영향이 크지 않 은 한 한地點의 관측치가 그 지역을 대표할 수 있음은 WMO의 地上氣象觀測所間의 설치 권고거리 150km에 미루어 기상자료의 동질성을 지니고 있다고 할 수 있 다. 그림 3은 4대강 유역과 東海岸地方 및 山岳지방의 代表觀測所間의 月平均 小型蒸發量의 相關을 나타 낸 것이다.

이 그림에서 보면 인접관측소간의 소형 증발량間的 상관계수는 0.92를 나타내고 있는 동해안지방의 강릉 과 포항을 除外하고는 0.98~0.99를 보이고 있다. 특

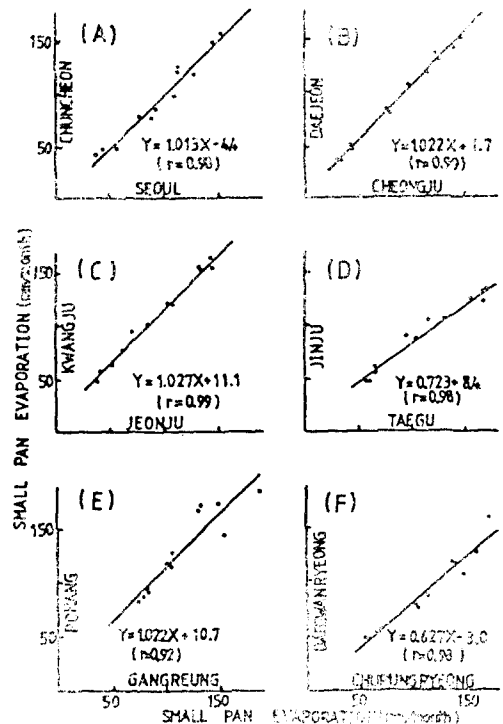


Fig. 3. Relationships of the monthly evaporations observed with the copper plated (small) pan at two major weather stations in the same basins and regions.

히 낙동강유역에서 대구의 소형증발량이 진주의 값보다 약 25%정도 많게 나타나고 있는 것은 대구지방의 年日射量이 진주지방보다 約 25%정도 많은 것과 잘 일치하고 있다.

이 자료에 따르면 서울과 춘천 및 청주와 대전은 그 중 어느 한 地點의 증발량을 사용하더라도 그 두 지방을 代表할 수 있다고 볼 수 있으나 대구와 진주, 추풍령과 대관령은 月平均 蒸發量이 20~30%차가 나며 全州와 光州 및 강릉과 포항은 約 20%의 差를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 자료는 유역 및 지역별 두 代表 地點의 算術平均値를 그지역의 대표치로 사용하였으며, 수면증발량 및 증발산위량을 계산하기 위한 두지점의 기상요소의 값도 산술평균한 값을 이용함으로써 그 유역 및 지역의 代表性을 가능한 한 나타낼 수 있도록 하였다.

#### 라. 小型蒸發量의 階級別 發生率

소형증발량은 다른 기상요소들의 年變化와 비슷하게 겨울철에 적고 여름철에 많다. 1961~1980년까지 20년간의 지역별로 월평균 일별증발량의 최대 빈도를 보이는 증발량의 영역은 한강유역에서는 겨울철에 거의 1~2mm 이내이며 3월에는 2.0~2.9mm, 4월에는 3.0~4.9mm, 5월과 6월에는 4.0~5.9mm이고, 7월부터는 감소하여 7월과 8월에는 3.0~4.9mm, 9월에는 3.0~3.9mm, 10월에는 2.0~2.9mm를 나타내고 있다. 따라서 이 유역의 소형증발량의 월별 평균 값은 경년변화에 큰 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있다. 금강유역에서는 한강유역과 별 차이가 없으며 다만 5월과 6월의 증발량이 약 1mm 정도 한강유역보다 적게 나타나고 있는 점이 다르다. 호남지방은 금강유역과 비슷한 형태이나 여름철에 걸쳐서 그 변화가 크게 나타나고 있다. 낙동강유역에서는 5월과 6월을 中心으로 달이 바뀔 때마다 약 1mm의 규칙적인 증감을 보여 주고 있는 것이 특징이며 또 여름철의 월 증발량 변화폭이 크다. 영동지방에서는 다른 지방보다 월별 변화폭이 가장 커서 월평균 증발량 대표치를 결정하기 어려울 정도이며, 특히 겨울철 증발량이 타지역보다는 약 1mm 정도 많다. 이것은 영동지방이 타지역보다 겨울철 평균기온이 높고 靄의 영향등인 것으로 생각된다. 山地에서의 증발량은 高度의 영향은 거의 나타나지 않고 황해사면의 월 증발량과 거의 같은 발생빈도를 나타내고 있다.

#### 마. 大型蒸發量과 小型蒸發量과의 比較

대형증발량( $y_1$ )과 소형증발량( $x_1$ )과의 밀접한 상관계수를 구해보면 0.95~0.98의 높은 값을 나타내고 있으며 회귀직선의 기울기도 산악지방을 제외하고는

거의 같은 0.75 내외를 보이고 있다. 즉 한강유역에서는 회귀식이

$$y_1 = -0.4 + 0.733x_1$$

상관계수 0.97, 금강유역에서는

$$y_1 = -7.4 + 0.782x_1$$

상관계수 0.98, 호남지방에서는

$$y_1 = 0.1 + 0.669x_1$$

상관계수 0.98, 낙동강유역에서는

$$y_1 = -5.5 + 0.792x_1$$

상관계수는 0.98, 영동지방에서는

$$y_1 = -12.2 + 0.719x_1$$

상관계수 0.98, 산지에서는

$$y_1 = +10.0 + 0.807x_1$$

상관계수 0.95 이었다.

여기서  $y$ 는 대형증발량(mm/month),  $x$ 는 소형증발량(mm/month)이다. 따라서 소형증발량으로부터 대형증발량을 추정함이 가능함을 암시하나 다만 이 값을 대형증발량이 관측되는 4월~10월까지의 월별 값의 相關인 點을 유의해야 할 것이다. 이 기간동안에 대형증발량이 소형증발량에 대한 비는 한강유역과 산악지방이 0.73이고, 금강유역이 0.72이며 낙동강유역은 0.75인 반면 영동지방은 가장 적은 0.63이다.

#### 바. 水面蒸發量

Kohler와 Richards(1962)의 Nomogram을 利用하여 水面蒸發量을 구해 보면 한강유역에서의 年水面 蒸發量은 601.3mm로서 소형증발량 1096.6mm의 約 55%이며 작물생육기의 대형증발량의 約 73%임을 알 수 있다. 금강유역의 경우는 연 소형증발량 1077.0mm의 약 52%이며 대형증발량의 72%이다. 호남지방에서는 연 소형 증발량 1188.9mm의 53%, 대형증발량의 82%이다. 낙동강유역에서는 연 소형증발량 1223.9mm의 54%, 대형증발량의 76%이다. 영동지방에서는 연소형 증발량 1462.8mm의 42%이고 대형증발량의 64%이다. 山地에서는 연 소형증발량 1184.3mm의 42%, 대형증발량의 59%이다. 대체로 보아 수면 증발량은 평지에서 소형증발량의 53%정도이며 山地에서는 약 42%로 추정된다. 증발산위량과 비교해 보면 각지역의 차가 별로 나타나지 않으나 대체로 증발산위량의 80%내외를 보이고 있음을 알 수 있다.

한편 수면증발량과 소형증발량과의 상관을 조사해 보면 전지역을 통하여 두증발량간의 상관계수가 0.90을 상회하고 있으며 산악지방을 제외한 전지역에서 그 비가 거의 같은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 수면 증발량은 대형증발량의 0.75 배로서 미국 및 캐나다에서 조사된 결과(Sellers, 1965; Gray, 1973)

와 잘 일치하며, 대형 증발량보다 적게 나타나고 있어서 수면증발량은 대형증발량의 0.6~0.8의 범위에 속한다고 하였다. (Chorley, 1969)

사. 蒸發散位와 降水量分布의 比較

지역별 연 증발산위량은 산악지방의 636.7mm에서 낙동강유역의 770.9mm로서 강수량의 48~60%이다. 계절변화를 보면 봄에는 150mm 내외이며 여름에는 남부내륙지방이 크고 강원도 산악지방이 적으며 370mm~438mm의 분포를 나타낸다. 이 값은 다른 세계절을 합한 량보다 많은 양이다. 가을에는 봄보다 약 30mm 정도 많으며 지역별 특징이 거의 없이 140mm을 보인 강원도 내륙지방이 가장 적고 남부지방으로 갈수록 많아져 남해안지방이 190mm를 보이고 있다. 겨울에는 남부해안지방에서는 15mm, 내륙지방에서는 5mm 내외를 나타낸다. 이 증발산위량은 7월과 8월에만 소형증발량과 같거나 큰 값을 보이며 4월과 10월에는 소형증발량의 50%정도 나타내고 있다. 또한 4월~10월의 증발산위량은 4대강유역에서 소형증발량의 80%가 되고 있음을 알 수 있다.

지역별로 증발산위량에 대한 강수량의 과부족상태를

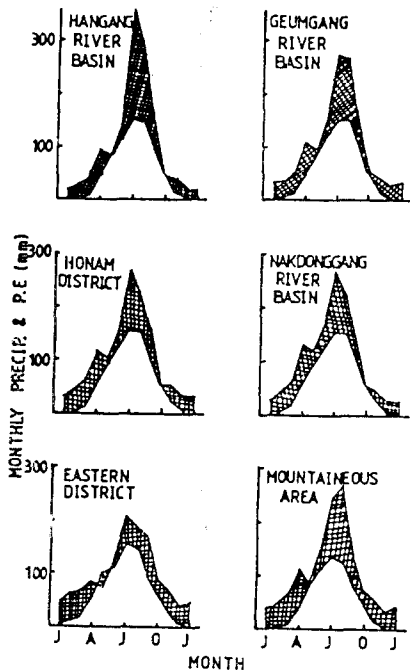


Fig. 4. Diagram showing the differences between the monthly precipitations and the potential evapotranspirations. Dark areas indicate the water surplus and the dotted area the water deficit.

도시한 것이 그림 4이다.

이 그림에서 증축은 월이고 횡축은 월강수량 및 증발산위량이다. 검은 부분은 강수량이 증발산위량을 상회하는 시기이며 점을 찍은 부분은 증발산위량이 강수량을 상회하는 시기이다. 6개지역에서 공히 여름철에 강수량이 집중되어 있으며 특히 한강유역에서는 7월 강수량이 300mm를 상회하고 있으며 기타 지역에서도 거의 그 값을 육박하고 있다. 산악지방에서는 7월보다 8월에 다소 많은 경향이나 7월이나 별 차이가 없다. 또한 봄철에는 4월의 강수량이 다른 달보다 큰 것이 특징이다. 증발산위량은 여름철 특히 7월에 가장 많으며 이것은 기온의 함수이기 때문이라고 誘推되며 그 계절변화가 전지역을 통하여 거의 같다. 즉 5월과 10월을 전후하여 강수량과 증발산위량이 거의 같아서 가장 물이 부족한 시기이며 여름에는 증발산위량을 훨씬 상회하고 있다. 지역별로 보아도 대체로 연 증발산위량은 연강수량의 53.4~62.4%을 보이고 있다. 대체로 봄, 가을에 걸쳐 건조한 시기가 되나 강수량과 증발량의 계절변화는 거의 같은 위상을 갖고 있을 뿐 아니라 물의 요구도가 가장 큰 시기에 강수량도 많은 것은 자연의 혜택이라 하지 않을 수 없고 더구나 강수량이 증발산위량을 훨씬 넘고 있으므로 이 강수량의 보존과 이용에 노력을 기울인다면 천혜적인 조건을 갖출 수 있다고 할 수 있다. 그러나 문제는 강수형태가 호우형이며 이호우기에도 한발현상을 나타내는 경우가 빈번하다는 점이다. 이러한 호우형의 강수자원의 보존 관리가 무엇보다 선행되어야 될 것으로 생각된다.

5. 討 議

물수지를 이루고 있는 기상요소 중 중요한 것은 강수량과 증발량이다. 강수량은 측기의 미소한 문제점을 제외한다면 큰 문제가 없으나, 증발량의 경우는 측기는 물론 설치장소와 지표면의 피복상태 및 토양수분 함유도의 변화에 따라 크게 다르므로 정확한 관측이 가장 어려운 기상 요소이다. 우리나라에서는 약 80년간에 이르는 증발량 관측기록을 보유하고 있으나 아직도 전국토의 지표면에서 실제로 증발되는 양을 확실하게 결정을 못하고 있으며 이는 외국에서도 마찬가지다. 우리나라에서는 강수량의 약 90%에 달하는 소형증발량관측치로 미루어 그 50~55%를 실제 증발량으로 취하고 있다. (崔, 1976) 따라서 이와같은 실제 증발량을 추정하기 위하여 무수한 증발산 관측 및 계산 방법 등이 제시되었지만 일반적으로 적용될 수 있는 방법이 없음은 그만큼 증발량 해석의 난이성을 내포하고 있음

을 시사해 준다. 본 연구에서 구한 지역별 소형증발량이 5월과 6월에 걸쳐 가장 크게 나타나고 있음은 이 시기에 부족한 강수량과 함께 농업용수부분에 큰 문제가 되고 있다는 점은 다른 연구결과와 마찬가지로이다.

대형증발량의 소형증발량에 대한 비는 지역별로 다소 다르나 한강유역에서는 0.73으로서 조(1969)가 수원에서 조사한 결과보다 7%정도 적은 값이다. 또한 본 연구에서 수면증발량을 구하는데 사용된 Köhler와 Richardo(1962)의 방법은 꼭 정확한 방법이라고는 볼 수 없고 또한 깊지 않은 호수면에 적용되므로 호수의 열변화에 대한 영향을 고려하지 않은 것이다. 그러나 유도된 결과는 작물성장기에 대형증발계 증발량과의 비가 0.59~0.82로서 미국에서 관측된 결과인 0.6~0.8의 범위임을 알 수 있다. (Chorley, 1969)

연 증발산위량은 전 지역을 평균하여 710mm 내외로서 降水量의 55%정도이며 이 결과는 김(1952)의 特定地點에 대한 計算結果나 김(1968)의 10大江流域 물收支 結果 및 민(1974)이 Lettau(1969)의 Climatonomy의 개념을 이용하여 計算한 결과는 물론 그 후에 行해진 研究結果(中央觀象臺, 1972; 氣象研究所, 1979)등과 거의 일치한다. 또한 日本 中部地方에서 계산된 값과도 일치하나(Fukui, 1977) Tihornthwaite法에 의해 계산된 값이 외국의 경우 Budyko, Penman式을 이용했을 때보다도 다소 적게 나타나는 경우도 있다. (Sellers, 1965, Eagleman, 1967)

그러나 이 蒸發散位量이 實際 地表面 蒸發量으로 인정하기에는 여러가지 문제점을 가지고 있다고 할 수 있다. 즉 증발산위량은 지표면의 건조도를 고려하지 않은 것이다. 따라서 본 증발산위량은 비논의 증발량을 추정하기에 적당하다고 생각되며 실제로 全 國土表面에서 증발되는 물의 양은 이보다 다소 적은 값이 될 것이다.

## 6. 結 論

本 研究에서 얻은 結論은 다음과 같다.

(가) 小型蒸發量의 經年變化는 1950年代 以後부터 거의 一樣한 값을 나타내고 있으며 年平均 蒸發量은 嶺東地方이 가장 많은 1,460mm 정도이고 錦江流域이 가장 적은 1,080mm이다.

(나) 小型蒸發量에 가장 큰 영향을 미치는 氣象要素는 日射量으로서 그 月別 相關이 0.95를 상회하고 있으며 langley로 表示된 月日射量의 25~40%에 해당하는 값이 된다. 다음은 氣溫이지만 夏季에는 거의 逆相關이 나타나고 있다. 그 外 風速이나 降水量 혹은 相

對濕度 등은 月 平均값을 이용한 때 小型蒸發量과 一次的인 相關이 없다. 또한 위도가 같거나 인근지점의 蒸發量은 거의 일치하여 降水量보다 局地性이 적었다.

(다) 小型蒸發量의 月別 階級別 발생빈도의 최빈영역은 冬季에 2mm/day 이내이며 5월과 6월에 가장 많아서 4.0~5.9mm 정도이다.

(라) 湖水面 蒸發量은 5개 지역이 612.8mm에서 676.1mm의 범위로서 小型蒸發量의 약 53%이고 大型蒸發量의 약 75%이나 산악지방에서는 그보다 10%정도가 적다.

(마) 小型蒸發量과 大型蒸發量의 比는 約 0.73이다. 그리고 小型과 大型 및 湖水面 蒸發量은 相關이 0.90 이상의 높은 一次式으로 표시될 수 있음으로 어느 한 양만 관측된다면 다른 양의 推定이 可能하다.

(바) 年 蒸發散位量은 707.6mm~779.0mm이며 夏季에는 小型蒸發量보다 다소 크나 他季節에는 적고 山岳地方에서는 그 값보다 약 35% 적게 나타나고 있다.

(사) 降水量과 蒸發散位量의 差는 그 量이 거의 같은 5월과 10월을 除外하고는 大體로 降水量이 464~620mm 정도 많으며 한강유역에서는 年 降水量의 47%, 錦江流域에서는 43%, 湖南地方에서는 41%, 洛東江流域에서는 40%, 嶺東地方에서는 38%, 山岳地方에서는 51%에 달하는 量이었다.

## 謝 辭

本 研究은 1983年度 水資源총량에 대한 수문기상학적 추정과 相關한 연구중 한분야이며 이를 위해 연구비 지원을 해준 한국과학재단에게 감사를 드린다.

## 참 고 문 헌

- 기상연구소, 1979; 한강유역의 강수량과 증발량의 비 MR-79-5, 기상연구소, p. 78.
- 김광석, 1968; 10 대강유역(남한)의 물수지, 한국기상학회지 4, p. 1-7.
- 김병찬, 1969; 1969년도 수도관계 기간중의 증발산량 조사, 한국기상학회지, 5-2, p. 9-18.
- 김연옥, 1962; Thornthwaite의 신분류법에 의한 한국의 기후분류, 이화여대논총, 3, p. 235-249.
- 민경덕, 1974; 한국의 증발산 Climatonomy, 한국기상학회지, 10-1, p. 19-27.
- 조희구, 1969; Mass-Transfer 법에 의한 증발량의 추정, 한국기상학회지, 5-1, p. 3-10.
- \_\_\_\_\_, 1972; 비논의 증발산량에 관한 통계적 연구, 한국기상학회지, 8-1, p. 23-29.
- 중앙기상대, 1972; 수자원개발을 위한 금강유역의 수



- 문기상학지연구 MR-72-4, 중앙기상대, p.142.  
 \_\_\_\_\_, 1982; 한국기후표, 1, 중앙기상대 p.368.  
 최명수, 1969; 중발산위와 식생에 관하여, 한국기상학회지, 5-2, p.1-9.
- Ångstrom, A., 1920; Applications of Heat Radiation Measurement to the Problems of the Evaporation from Lakes and the Heat Convection at Their Surfaces, Geog. Ann., 2, 237-252 (cited from Malon, 1951).
- Blaney, H.F., 1952; Consumptive Use of Water, Trans. Ame. Soc. Civil Engrs., 117, 949-973.
- Bowen, I. S., 1926; The Ratio of Heat Losses by Conduction and by Evaporation from any Water Surface, Physics Rev., 27, 779-787.
- Bucyko, M. I., 1956; The Heat Balance of the Earth's Surface, Translated by N. A. Stepanova, Office of Tech. Serv., Washington, p.259.
- Chang, J.H., 1971; Climate and Agriculture, Aldine Pub. Co., Chicago, p.204.
- Chorley, R.J., editor, 1969; Introduction to Physical Hydrology, Methuen & Co., p.211.
- Cummings, I.S. and B. Richardson, 1929; Evaporation from Lakes, Physics Rev., 30, 527-534 (cited from Malon, 1951)
- Eagleman, J.R., 1967; Pan Evaporation, Potential and Actual Evaporation, J.Appl. Met., 6, 482-488.
- Fukui, E., editor, 1977; The Climate of Japan, Kodansha Ltd., p.317.
- Köhler, M.A. and M.M. Richards, 1962; Multicapacity Basin Accounting for Predicting Runoff from Storm Precipitation, J. Geophys. Res., 67, 5187-5197.
- Wea. Rev. 88, 192-196.
- Sellers, W.D., 1964; Potential Evapotranspiration in Arid Zones, J. Appl. Met., 3, 98-104.
- \_\_\_\_\_, 1965; Physical Climatology, Univ. Chicago
- Lettau, H., 1969; Evapotranspiration Climatology, Mon. Wea. Rev., 97, 691-699.
- Pasquill, F., 1949; Some Estimates of the Amount and Diurnal Variation from a Clayland Pasture in Fair Spring Weather, Quart. J. Roy. Met. Soc., 75, 249-256.
- Penman, H.I., 1948; Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass, Proc. Roy. Soc., London, A 193, 120-145.
- \_\_\_\_\_, 1956; Estimating Evaporation, Trans. Ame. Ceophys. Un., 31, 43-50.
- Purvis, J.C., 1961; Graphical Solution of the Penman Equation for Potential Evapotranspiration, Mon. Press, Chicago, p.272.
- Sutton, O.G., 1953; Micrometeorology, McGraw-Hill Book Co., p.333.
- Svedrup, H.U., 1946; The Humidity Gradient over the Sea Surface, J. Met., 3, 1-8.
- Thorntwaite, G.W. and B. Holzman, 1939; The Determination of Evaporation from Land and Water Surfaces, Mon. Wea. Rev., 67, 4.
- Thorntwaite, C.W., 1948; An Approach toward a Rational Classification of Climate, Geog. Rev., 38, 55-94.
- WMO, 1974; Guide to Hydrological Practice, WMO NO 168, Geneva.
- Yamamoto, G. and J. Kondo, 1964; Evaporation from Lake Towada, J. Met. Soc. Japan, 42, 85-96.