

濟州島의 農業氣候 分析

II. 無人觀測網에 의한 氣象實況資料 蒐集 및 蒸發散位 計算

尹 進 一*

Agricultural Climatology of Cheju Island

II. Potential Evapotranspiration Based on Near-Real Time Data Measured by Automated Weather Stations

Jin Il Yun*

ABSTRACT : Weather data acquisition and potential evapotranspiration (PET) calculation procedure were investigated to support the agricultural development efforts in the mid-altitude mountainous region of Cheju Island. Automated weather stations (AWS) were installed at two points representing the east and the west of the study area. A personal computer was employed to collect the near-real time weather data from AWS through the public telephone line. Hourly data were available for solar radiation, air and soil temperature, relative humidity, wind speed and direction, and precipitation. Based on the data for the month of June 1989, daily climatic features were comparatively analyzed for the two areas and the Penman equation was used to calculate PET. Air temperature was higher by 1 to 2 degree C in the east due mainly to the higher solar radiation and partly to the Föhn effect caused by the daytime southwesterly blowing over Mt. Halla. Diurnal march of soil temperature lagged by 4 hours behind that of air temperature, and the diurnal range for 10cm subsurface soil was 3 degree C. Wind was consistently stronger and a marked sea-land breeze circulation was detected in the west. Calculated PET values were higher in the east by 6% than in the west. Overall values from the east and the west of the mid-altitude mountainous region were higher by 30% than those of the coastal region, which were estimated from the Class A Pan evaporation measured by the Korea Meteorological Service Offices.

濟州道는 전체 면적 182,000 정보 중 海岸에 가까운 해발 200m 이내의 55,000 정보만이 일반농경지로 利用되고 있다. 그 이유중 하나는 海岸에서 멀어질수록 農業用水의 확보가 어렵기 때문이다. 年降水量만으로 볼 때 서귀포는 수원지방에 비해 400mm 가량 많으면 특히 颱風의 통과길목으로서 作物期間中에 충분한 量의 비가 내린다. 그러나 섬의 북쪽과 서쪽의 海岸地帶를 제외한 섬전역의 土壤이 火山灰土로 구성되어 있기 때문에 透水性이 매우 크다. 뿐만 아니라 섬전역에 散在한 無水川을 통해 集中豪雨時에도 많은 量의 물이 단시간에 바다로 流出된다. 또한 연중 8m/s 이상의 강풍일수가 수원지방의 23일에 비해 171일(濟州測候所)에 달해 그만큼 土壤의 乾燥速度가 빠르다. 이러한 要因들이 북

합적으로 작용하여 충분한 降雨量에도 불구하고 가뭄에 의한 피해가 빈번하므로 비교적 물이 풍부한 海岸地帶에서만 주요 農業活動이 이루어지고 있다.

國內에서 차지하는 이곳의 氣候의인 特殊性 때문에 지금까지는 해발 200m 이하의 溫暖氣候資源을 利用한 高溫要求性作物의 재배가 地域農業의 중추적 역할을 담당해 왔으나, 최근의 農산물 輸入開放에 따른 열대성과일의 수입예시로 이러한 위치가 위협받고 있는 실정이다. 그러나 濟州道는 地形氣候의 分析해 보면 한라산을 중심으로 高度 및 방위에 따라 다양한 형태의 農業方式이 가능성을 알 수 있다. 특히 해발 200m 이상 600m 까지의 “中山間地帶”는 그 면적이 66,000 정보에 달하며 경사도는 1~5도로 매우 완만하여 장차 開發潛在力

* 慶熙大學校 食糧資源開發研究所(Institute for Food Resources Development, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea) <'90. 8. 29 接受>

이 큰 곳으로 기대된다.

새로운 地域의 農業開發事業에 있어서 시행착오를 줄이기 위한 가장 확실한 투자는 그 地域의 氣候資源 調査라고 할 수 있다. 道內 中山間地帶처럼 물 부족이 예상되는 地域의 경우 부족한 水資源의 효율적 利用과 최적 영농시스템의 도입을 위해 그중에서도 특히 蒸發散位에 관한 情報가 필요하다. 蒸發散位 (Potential evapotranspiration)란 “地表를 완전히 덮은 건강한 草地群落在 충분한 水分을 공급받는 조건에서 일정기간 동안 大氣中으로 방출하는 水分의 量”으로서 오직 그 地域의 氣候條件에 의해 결정되는 값이다.⁴⁾ 이 값은 作物의 要水量 추정을 위해 필요한 가장 기본적인 農業氣候指數로서 여러가지 방법에 의해 계산할 수 있다. 食糧農業機構 (FAO)에서는 최소한의 氣候資料를 利用하여 蒸發散位를 추정할 수 있는 간편식을 開發해 많은 開發途上國에서 利用할 수 있도록 하였다.¹⁾ 최근에는 氣候資料 蒐集技術과 日氣豫報技術의 발전에 힘입어 地域의 蒸發散位 추정이 精巧해지고 그 利用價値 또한 증대되고 있다.³⁾

濟州道에는 1989년 5월부터 이 地域의 農業發展을 지원하고 氣象災害를 줄이기 위해 근대적인 農業 氣象情報시스템이 구축되고 있다.⁷⁾ 본 研究에서는 이 시스템의 構成要素인 無人氣象觀測 및 資料蒐集 網을 통해 얻어진 每時氣象資料를 利用하여섬의 동쪽과 서쪽 中山間地帶 두 지점의 蒸發散位를 추정하고자 하였다. 本稿는 그 중 無人觀測網의 구성에 대한 설명과 1989년 6월 한달간 두 지점에서 蒐集된 氣候資料의 특성 및 蒸發散位 추정결과를 수록하였다.

材料 및 方法

1. 氣候資料 蒐集

1989년 5월에 한라산을 중심으로 각각 동쪽과 서쪽 中山間地帶에 위치한 제동목장(해발 380m)과 이시돌목장(해발 343m) 방목지에 無人氣象觀測裝備를 설치하였다. 이들 지점의 주위는 경사도가 완만한 넓은 초원地帶로서 각각 中山間地帶 동과 서의 平均의인 大氣狀態를 나타내기엔 적합한 것으로 평가되었다(Fig. 1).

觀測要素는 氣溫, 相對濕度, 水平面 全日射, 風向, 風速, 降水量, 그리고 地溫(地表下 10 및 50 cm) 등 8개였으며 氣溫과 相對濕度는 지상 1.5

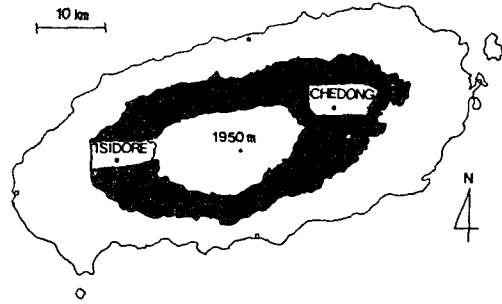


Fig. 1. Map of Cheju Island with the points of the experimental weather observation. Shaded area represents the mid-altitude mountainous region with the altitude range of 200 to 600m above mean sea level. Filled squares indicate standard KMS weather station locations.

m, 風向과 風速은 2.5 m 높이에서 測定하였다. 사용된 受感部는 Thermistor (氣溫), Thermocouple (地溫), Pope sensor (濕度), Silicon pyranometer (日射), Potentiometer vane (風向), Switch closure anemometer (風速), Tipping bucket rain-gauge (降水)들로서 모두 3m 높이의 철제 삼각대를 제작하여 적당한 높이에 설치하였다. 각 受感部에서 나오는 전기적인 신호 (Analog, Pulse)는 lead cable을 따라 건전지전원에 의해 작동하는 데이터 로거 (Campbell Scientific Inc., USA, Model CR 10)에 입력되어 사용자가 원하는 형태의 資料로 변환된다. 이들 資料는 필요에 따라 內藏記憶場所에 저장되거나 資料通信手段에 의해 원격지의 퍼스컴으로 전달된다.

實驗期間中에는 1분에 한번 受感部 신호를 받아들이고 이들의 한시간 平均값(예외: 降水量은 누적치)을 內藏記憶場所에 저장하였다. 저장된 資料는 變復調裝置(modem)와 전화회선을 통해 하루 한번씩 濟州測候所 및 氣象研究所에 설치한 퍼스컴에서 받아들여 分析에 利用하였다. 資料蒐集體系를 그림으로 요약한 것이 Fig. 2이다. 본 實驗에는 1989년 6월 1일부터 30일까지 한달간 觀測資料를 利用하였다.

2. 蒸發散位 計算

蒸發散位의 계산은 Penman에 의해 제시된 熱收支-空氣力學 組合方法을 따랐으며 식의 최종적인 형태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.²⁾

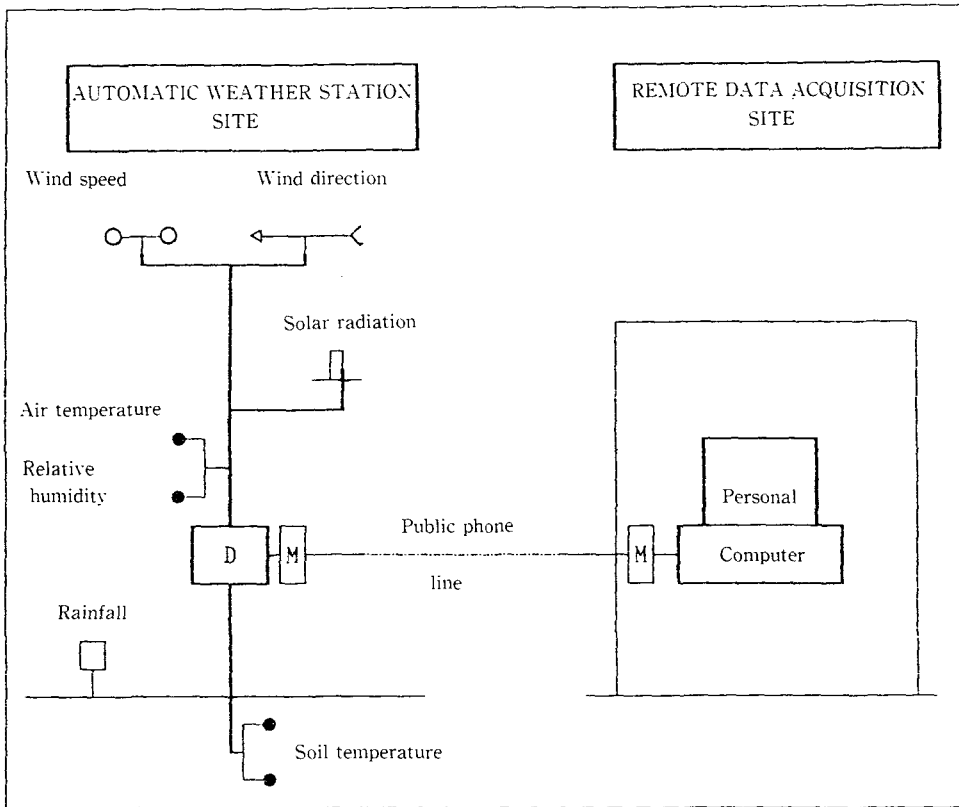


Fig. 2. An overview of the automated weather data acquisition system in Cheju Island. (Abbrevintions : D→ Datalogger, M→Modem)

$$PET = \frac{s}{s + \gamma} (R_n - G) + \frac{\rho C_p}{s + \gamma} \frac{k^2 U}{\left(\log \frac{z - d}{z_0}\right)^2} (e_s - e_a) \dots (1)$$

이 식에서

PET는 蒸發散位(W/m²)

s는 地表面에서 風速測定高度사이 大氣의 平均 溫度(本 實驗에서는 氣溫)에서 관찰되는 飽化水蒸氣壓 曲線의 기울기(Pa/C),

γ는 psychrometric constant(64.5 Pa/C),

R_n은 純輻射에너지(W/m²),

G는 地中熱流(W/m²),

ρ는 濕潤大氣의 密度(1.2 kg/m³),

C_p는 濕潤大氣의 定壓比熱(1015 J/kg/C),

k는 von Karman costant(0.41),

z는 風速 測定高度(2.5m),

U는 높이 z에서의 순간風速(m/s),

d는 假想草地群落의 零面變位(0.07 m),

z₀는 假想草地群落의 거칠기 길이(0.01 m),

e_s는 현재氣溫에서의 飽化水蒸氣壓(Pa),

e_a는 현재氣溫에서의 實際水蒸氣壓(Pa)

이 가운데 s는 氣溫(T_a)에 0.5를 더한 값과 0.5를 뺀 값에서 각각 飽化水蒸氣壓을 계산한 다음, 두 값의 差를 1.0으로 나누어 얻었다. 飽化水蒸氣壓의 추정식은 다음과 같다.

$$e_s = 610.78 \exp\left(\frac{17.269T_a}{T_a + 237.3}\right) \dots (2)$$

Psychrometric constant는 定義式 P C_p/L E에 P = 96500, C_p = 1015, L = 2442000, E = 0.622를 대입하여 구했다. 여기서 現地氣壓(P)은 濟州測候所 觀측값의 6월 平均값을 高度補正한 것이다. 比熱(C_p)은 大氣壓과 平均水蒸氣壓으로부터 각각의 구성비율을 구한 다음, 乾燥空氣의 C_p(1004)와 水蒸氣의 C_p(1952) 값을 각각 곱하여 합친 값이다. L과 E는 각각 물의 蒸發潛熱(J/kg), 乾燥大氣의

分子量에 대한 水蒸氣分子量的 比를 나타낸다.
 純輻射에너지 Rn은 다음 식으로부터 추정하였다.

$$Rn = (1 - \alpha) R_s - \frac{\epsilon \sigma (T_a + 273)^4 (1 - a - b(0.01 e_a)^{0.5})}{(2 - \epsilon)}$$

..... (3)

이 식에서

- ε는 地表와 大氣의 長波輻射能(0.96으로 가정),
- α는 假想草地群落의 Albedo(0.25로 가정),
- R_s는 水平面 全日射(W/m²)
- σ는 Stephan-Boltzman 常數(5.67 × 10⁻⁸),
- a와 b는 經驗的으로 얻어지는 常數이다.

純輻射收支 추정식의 後項은 長波輻射收支를 나타내며 大氣中の 水蒸氣 含量에 따라 變化하는 長波輻射收支를 추정하기 위해 식 중에 經驗常數 a, b를 필요로 하는 Brunt equation이 포함되어 있다. Brunt equation의 常數로는 일반적으로 a = 0.605, b = 0.055가 平均값으로 알려져 있으며,⁵⁾ 본 實驗에서는 이 값들을 수정없이 사용하였다.

地中熱流(G)는 測定하지 않았으나 24시간 값을 누적하면 거의 零에 가까와 하루이상의 기간을 단위로 한 蒸發散位 계산에서는 무시하여도 좋으므로,⁶⁾ 본 實驗에서는 每時間 G = 0으로 간주하였다.

無人觀測網으로부터 蒐集된 每時氣象資料를 식(1)에 직접 대입하여 PET flux를 계산하였으며, 이를 시간당 값(단위 MJ/m²)으로 환산하였다.

結果 및 考察

1. 主要 氣候要素의 日中變化

蒐集된 氣象資料를 시간대별로 한달간 平均을 계산한 것이 Fig. 3에 실려 있다. 水平面日射量은 水分當量으로 환산하여 한시간에 최고 0.8mm(정오경)에 달하며 한라산 동쪽에 위치한 제동목장에서 약간 높은 값이 觀測되었다. 氣溫은 정오부터 약 4시간동안 일최고치가 유지되며 역시 동쪽에서 1~2도 정도 높았다. 바람은 一般的으로 야간에 비해 주간에 강해지며 이러한 傾向은 동쪽에서 더욱 뚜렷하였다. 서쪽인 이시돌 목장에서는 제동목장에 비해 특히 야간風速이 강했는데, 風向의 주야간 교대가 뚜렷함을 알 수 있다. 大氣濕度의 경우 相對濕度는 氣溫과 반대의 日中變化樣狀을 보이며 동쪽의 濕度日較差가 약간 컸다. 大氣濕度를 水蒸氣壓으로 표현하

면 氣溫樣狀과 흡사해지는데 植物群落의 증산활동이 활발한 주간 水蒸氣壓이 야간에 비해 높았다. 氣溫과 마찬가지로 동쪽인 제동목장에서 지속적으로 높은 水蒸氣壓이 觀測되었다.

6월 한달간 資料를 통해 비교해 볼 때 두 지점간에 가장 뚜렷한 차이를 보이는 것은 氣溫이다. 동일 위도상의 비슷한 高度에 위치한 두 지점간에 주야간 지속적으로 이 정도의 氣溫偏差가 나타난 원인은 첫째 純輻射量의 차이이다. 6월중의 平均 日射量의 차이는 7%에 불과하나 純輻射量은 서쪽에 비해 동쪽이 무려 18% 가량 많았다. 그러나 氣溫上昇에 직접 관련된 純輻射成分은 顯熱이므로 植物群落에 충분한 水分이 공급된다면 대부분의 純輻射에너지는 蒸發潛熱로 사용되고 顯熱成分은 상대적으로 줄어든다.⁵⁾ 실제에 있어 6월중 降雨日數는 이시돌 목장 12일, 제동목장 13일이었으며, 降雨量도 이시돌 목장 213.9mm, 제동목장 502.3mm로서 이 기간중 土壤水分이 충분했을 것으로 예상되므로 純輻射量의 차이만으로 두 지점간 氣溫差를 완전히 설명할 수 있다고 단언하기는 어렵다.

따라서 두 地域間 氣溫差의 일부가 顯熱移流, 즉 외부로부터의 顯熱流入에 기인하였던 것인지 확인할 필요가 있다. 局地的인 溫暖大氣의 移流現象으로 Föhn 현상이 잘 알려져 있다. 만약 한라산 남쪽기슭을 넘어 남서기류가 제동목장쪽으로 流入된다면 Föhn 현상이 나타날 가능성은 충분하다. 濟州道 지역의 6월중 平均濕度는 80% 이상으로서 산록경사를 따라 기류가 上昇한다면 쉽게 凝結高度에 도달하여 구름을 형성하고 비를 뿌릴 수 있으며, 下降하는 기류는 斷熱昇溫에 의해 局地的인 氣溫差를 보일 것이다. 확인을 위해 6월중의 平均風向을 비교하면 동쪽인 제동목장의 경우 晝夜間 모두 남-남서계열이 主風向이나, 서쪽(엄밀한 의미에서 남서서쪽)에 위치한 이시돌 목장의 경우 晝間에는 남서풍, 夜間에는 동풍계열이 우세하다(Fig. 3). 두 지점 모두 夜間에는 한라산 쪽에서 불어 내려오는 滑降風(Katabatic wind)의 영향을 받고 있음을 알 수 있는데 이것은 海陸風 순환 cell의 하층풍을 형성한다.⁸⁾ 주목할 것은 晝間에는 두 地域의 風系가 거의 일치한다는 사실이다. 아침 10시경부터 저녁 7시까지의 두 지점의 主風向이 남-남서계열로서 前述한 Föhn 현상을 일으킬 수 있는 조건을 형성한다. 따라서 두 지점간 氣溫差의 원인은 이상의 두 가지, 純輻射와 顯熱移流로서 설명하는 것이 합리적

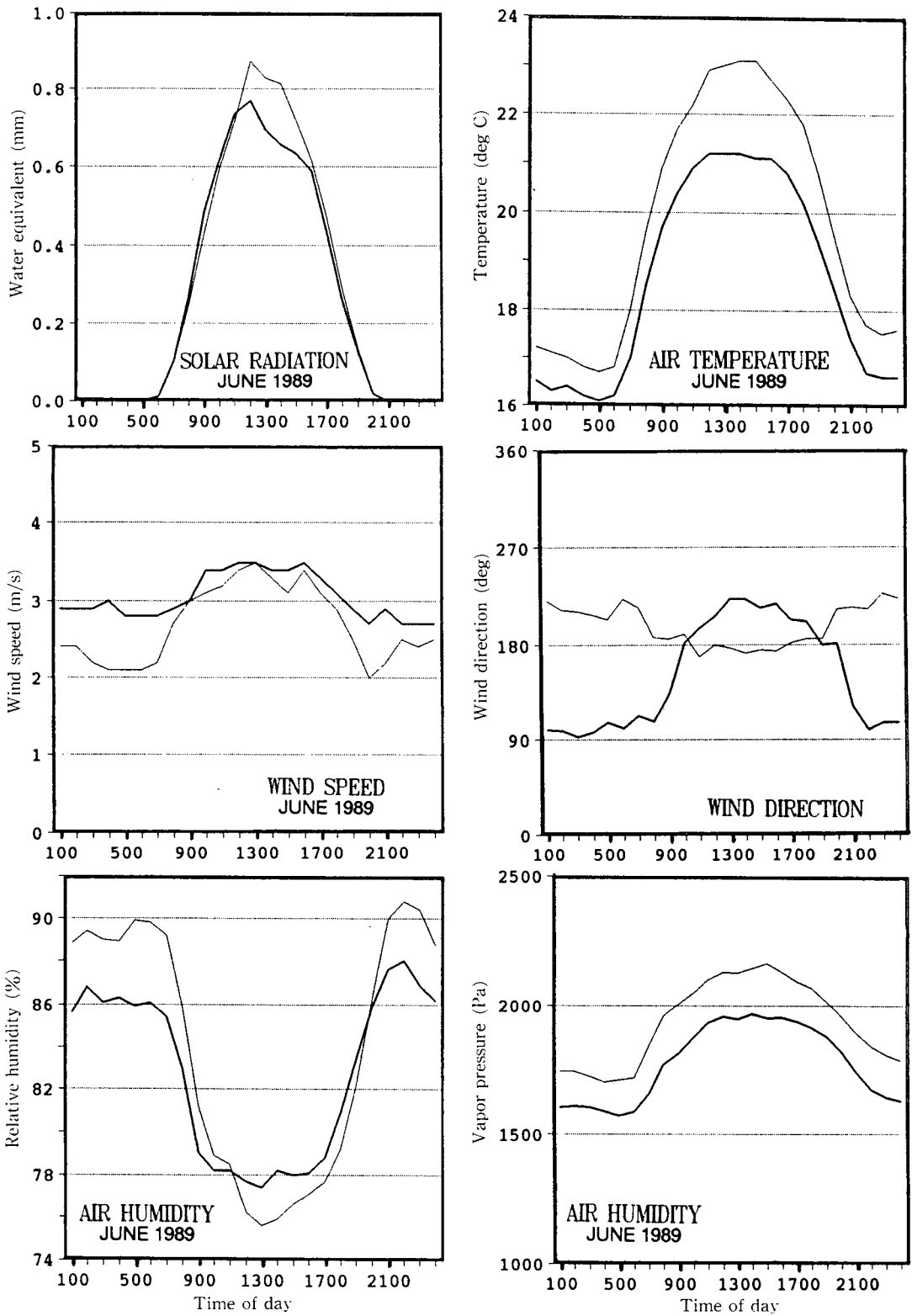


Fig. 3. Diurnal march of major weather variables for the east (solid line) and the west (heavy solid line) of Mt. Halla in June 1989. Each value stands for 30 day average of the hourly observations.

이다.

지하 50cm 깊이의 地溫은 24시간 동안 變化範圍가 1도 이내이며, 지하 10cm 地溫은 日較差가 3도 정도로 그 진폭이 확대되었다(Fig.4). 地中溫度の 極值가 나타나는 시각은 氣溫의 경우에 비해

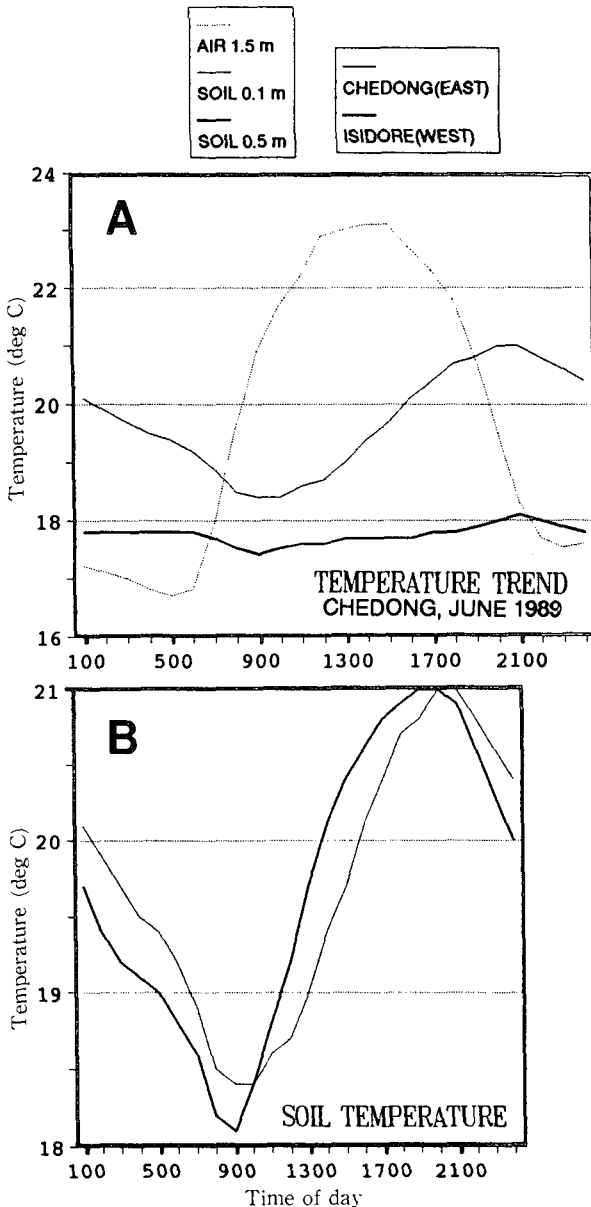


Fig. 4. Diurnal march of the air-, 10cm soil- and 50 cm soil temperatures at Chedong Ranch averaged over 30 days in June 1989 (A) ; The 10cm soil temperature variation observed at two sites in the east and the west of Mt. Halla (B).

4시간 가량 지연되며, 10 cm와 50 cm 사이에도 最高溫度 출현시각이 1시간 정도 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 지하 10cm 地溫의 變化曲線은 동쪽인 제동목장에서 1시간 가량 늦어지는 傾向인데 그 정확한 원인은 究明하지 못하였다. 다만 土性이 동일하다는 가정하에 양 지점간 表土의 水分含量 차이가 토양의 熱傳導係數에 영향을 주었을 것으로 짐작할 뿐이다.

2. 蒸發散位

두 지점의 6월 한달간 총 蒸發散位는 水分當量으로 환산하여 약 100mm가 계산되었는데 동쪽이 서쪽에 비해 6% 정도 많았다(Table 1). 같은 期間中 水平面日射量은 7%, 相對濕度는 2% 정도 동쪽이 높았으나 風程은 12%가 적었다. 晝間の 純輻射量을 지배하는 短波輻射收支는 全日射量에 의해 결정되며 長波收支 결정에는 大氣中の 水分자의 역할이 크다. 즉 大氣中の 濕度가 높아지면 地表로부터 방출되는 長波輻射 가운데 많은 부분이 水分자에 의해 흡수되었다가 地表를 향해 재방출되기 때문이다. 제동목장의 경우 계산된 純輻射에너지가 무려 18%나 더 많았던 이유는 日射量과 濕度가 모두 이시돌 목장에 비해 높았기 때문이다.

蒸發散位는 기본적으로 純輻射에너지의 크기에 의해 지배되나 물의 地表-大氣수층에 미치는 空氣力學的 저항도 무시할 수 없다. 風速이 약할 경우 地表와 大氣사이에서 형성되는 경계층의 두께가 늘어나고 따라서 속도가 느린 分子擴散에 의해 이동해야 할 거리가 길어지기 때문이다. 또한 大氣가 濕潤할수록 증발산의 驅動力인 蒸氣壓差가 적어지므로 大氣濕度の 역할도 매우 중요하다. 이시돌 목장의 경우 風速이 높고 濕度는 낮았기 때문에 純輻射量의 큰 차이에도 불구하고 최종적으로 계산된 蒸發散位값은 제동목장에 비해 그만한 차이가 나지 않았다.

계산된 蒸發散位값을 海岸地帶의 값과 비교하기 위해 濟州測候所 및 서귀포 氣象觀測所의 대형증발계 수면 증발량으로부터 蒸發散位를 계산하였다. 일반적으로 濕潤氣候地帶의 증발산위는 대형증발계(Class A pan) 觀測值의 80% 정도로 알려져 있으며 氣候條件에 따라 10% 정도 변이가 있다.¹⁾ 6월중 濟州와 서귀포의 수면증발량은 각각 89.5, 81.3mm로서, 계산된 蒸發散位는 71.6, 65.0mm였다. 觀測露場의 여건을 감안해서 이들 觀測值가 실제에 비해 과소평가되었음을 알 수 있으나, 이를

Table 1. Monthly climatic summary for June 1989.

Elements	Unit	Chedong (East)	Isidore (West)
Solar radiation	MJ m ⁻²	503.5	469.7
Mean air temperature	C	19.8	18.6
Mean 10cm soil temperature	C	19.7	19.7
Mean 50cm soil temperature	C	17.8	17.4
Mean relative humidity	%	84.0	82.8
Total wind run	km	6975	7909
Precipitation	mm	502.3	213.9
Net radiation*	MJ m ⁻²	225.0	191.1
Potential evapotranspiration*	MJ m ⁻²	253.2	236.9
Water equivalent of PET*	mm	103.5	97.0

* Calculated values based on the observed hourly weather data.

감안하더라도 이달 중 中山間地帶의 蒸發散位가 海岸地帶에 비해 30% 가량 높았던 것으로 추정할 수 있다.

하루동안의 蒸發散位값을 시간대별로 分析해 보면 그 樣狀이 全日日射 및 純輻射에너지의 日中 變化傾向을 따르고 있음을 알 수 있다(Fig. 5). 서쪽인 이시돌 목장의 경우 정오 이후 한낮에는 동쪽 제동목장에 비해 20% 이상 낮은 값을 보이나, 오전 중에는 비슷하거나 오히려 제동목장에 비해 더 높다. 특히 야간에는 負의 蒸發散位(즉 凝結力)가 지속적으로 낮은 상태임을 확인할 수 있다. 이것은 야간

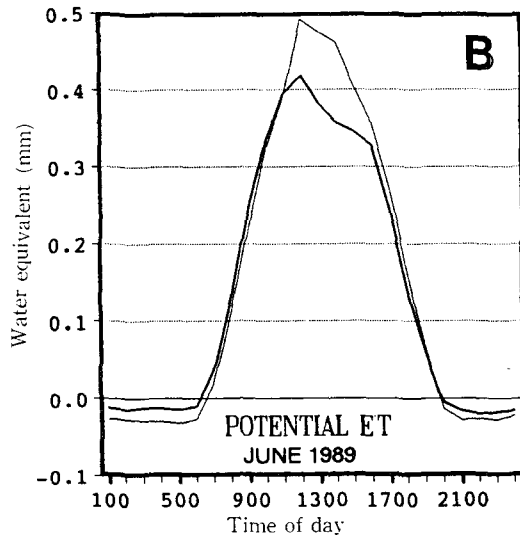
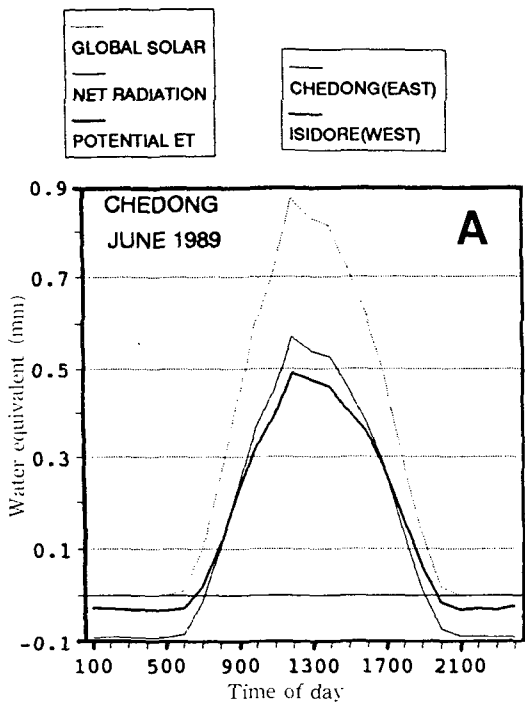


Fig. 5. Diurnal march of the observed solar radiation, calculated net radiation and potential evapotranspiration at Chedong Ranch averaged over 30 days in June 1989 (A); Comparison of the potential evapotranspiration estimates between the east and the west of Mt. Halla (B).

에 地表의 輻射冷却에 의해 地表附近 水蒸氣가 응결될 수 있는 기회가 어떤 원인에 의해 적어진다라는 뜻이다. 일반적으로 야간에 大氣濕度가 낮거나 風速이 강하면 응결력이 떨어지는데, 역시 이시돌 목장의 夜間風速이 제동목장에 비해 강했기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 보인다.

摘 要

道内 中山間地帶 農業開發 지원을 위해 필요한 氣候資料를 蒐集하고 蒐集된 資料로부터 農業氣候指

數의 하나인 蒸發散位를 계산하는 과정에 대하여 研究하였다. 섬의 동쪽과 서쪽 中山間地帶 氣候를 대표할 수 있는 두 지점에 無人觀測所를 설치하고 퍼스컴通信 기술을 利用해 日射, 氣溫, 地溫, 濕度, 風向, 風速 및 降水資料를 蒐集하였다. 1989년 6월 한달간 蒐集된 資料를 利用해 두 지점간 日氣象 特性을 分析하였으며, Penman 식에 의해 蒸發散位값을 추정하였다. 상대적으로 풍부한 純輻射에너지와 南西氣流에 의한 Föhn 현상에 의해 섬의 동쪽 中山間地帶가 서쪽에 비해 1~2도 가량 높은 氣溫을 유지하였다. 地溫은 두 지점간에 차이가 없었으며 최고 및 최저溫度 출현시각은 氣溫에 비해 4시간 지연되었다. 바람은 서쪽에서 강했으며 주야간 海륙풍 순환 현상도 동쪽에 비해 뚜렷하였다. 계산된 蒸發散位값은 동쪽이 서쪽에 비해 6% 높았으며 海岸地帶 추정값에 비해 30% 가량 높았다.

謝 辭

본 研究는 1988 및 1989년도 科學技術處 特定 研究費의 지원으로 수행되었다. 測器設置 및 資料 蒐集을 도와 준 氣象研究所 微氣象研究室 및 濟州道 현지 관계자들에게 깊은 감사를 드린다.

引 用 文 獻

1. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 144pp
2. Kanemasu, E.T., M.L. Wesely, B.B. Hicks and J.L. Heilman. 1979. Techniques for calculating energy and mass fluxes. p156-182. In B.J. Barfield and J.F. Gerber(eds.) Modification of the Aerial Environment of Plants. American Society of Agricultural Engineers.
3. Meyer, S.J., K.G. Hubbard and D.A. Wilhite. 1988. Improving projected potential evapotranspiration estimates using National Weather Service forecasts. J. Appl. Meteorol. 27(10) : 1183-1188
4. Rosenberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma. 1983. Microclimates-the Biological Environment (2nd ed.), John-Wiley & Sons, 495pp
5. Sakuratani, T. 1987. Studies on evapotranspiration from crops. (2) Separate estimation of transpiration and evaporation from a soybean field without water shortage. J. Ag. Meteorol. 42(4) : 309-317
6. Shaw, R.H. 1982. Microclimatology (mimeo). Iowa State University, 441pp
7. 과학기술처. 1989. 濟州地域 農業氣象 情報시스템의 開發 및 利用(1). 中央氣象臺 氣象研究所 主管 特定研究課題 最終報告書. 306pp
8. 윤진일 · 이민영 · 조천호 · 이종범. 1988. 한라산 南斜面의 夜間氣溫分布 분석을 위한 事例研究. 氣象 研究論文集 5(1) : 34-42
9. 윤진일 · 유근배 · 이민영 · 정귀원. 1989. 濟州島의 農業氣候 分析. (1) 地形氣候 추정법과 冬季 日最低氣溫 분포. 韓作誌 34(3) : 261-269