

## Vegetation Canopy의 접지층 환경에 대한 열적 영향

### 제 2 부 : 벼 식피층 관측

진 병 화 · 황 수 진

부산대학교 환경문제연구소 · 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소  
(1998년 2월 11일 접수)

## On the Thermal Effect of Vegetation Canopy to the Surface Sublayer Environment

### Part II : Measurement for Rice Vegetation Canopy

Byong-Hwa Jin<sup>\*</sup> and Soo-Jin Hwang

<sup>\*</sup>The Institute Environmental Studies, Pusan National Univ., Pusan 609-735, Korea

Research Institute of Computer, Information and Communication Pusan National Univ., Pusan 609-735, Korea

(Manuscript received 11 February, 1998)

To verify the accuracy of the numerical experiment of Part I, measurements at the matured rice canopy located around Junam reservoir were performed at August 14, 1995. According to the measured data, the foliage temperature recorded the highest value, and the ground temperature was the lowest around noon, and these results coincided with those of the numerical experiment using the combined model of Part I. From the estimation using measured data, the maximum value of the latent heat flux was  $380 W m^{-2}$ , the highest value among energy balance terms, and the energy redistribution ratio of the latent heat flux was averaged as 0.5, the highest values among redistribution ratios. These results are the same as those of the numerical experiment in tendency, but they reveals a little lower in the absolute values than those from the numerical experiment.

Key word : vegetation canopy measurement, surface layer, latent heat flux

#### 1. 서 론

지면-대기간의 에너지 교환 과정 중에서 식피층(vegetation canopy)이 접지층 대기 환경에 미치는 영향은 주로 수치 실험을 통하여 실행된다. 그리고 사용한 모델의 타당성은 보통은 타 공개 모델과 비교함으로써 검증되고 야외 관측으로 검증한 사례는 드물다. 본 연구는 Deardorff<sup>1)</sup>와 Pielke<sup>2)</sup> 모델을 결합한 개선 모델을 이용하여 식피층의 열적 영향을 연구한 "Vegetation Canopy의 접지층 환경에 대한 열적 영향(제 1 부: 수치실험)"을 관측으로 검증하여 벼 식피층에 대하여 Pielke(1984) 모델의 적용이 가능한지를 알아 보는데 목적이 있다. 관측치로 추정된 열수지 항은 수치실험에서 사용한 Pielke(1984)의 계산 방법을 그대로 따랐고, 에너지 재분배 비는 황수진<sup>3)</sup>의 방법을 이용하였다.

#### 2. 야외 관측 및 분석

본 연구를 위하여 경상남도 창원시 동면 주남저수지 부근의 벼 논(Fig. 1)에서, 일 년 중 벼가 최대로 성장한 상태에 있는 1995년 8월 14일의 24시간 동안 야외 관측을

실시하였다.

##### 2.1. 관측 항목과 측기의 보정

벼논의 토양은 직접 채토하고 분석한 결과 Fig. 2에 제시한 바와 같이 미국농무성의 토양 분류 기준에 의하면 미사(silt)로 나타났다.<sup>4)</sup> 관측 항목은 Table 1과 같으며 장비의 설치는 소선섭과 이천우,<sup>5)</sup> Watanabe,<sup>6)</sup> 황수진<sup>3)</sup> 등의 관측법을 참고하여 Fig. 3과 같이 하였다.

기온 관측용 온도계는 Fig. 4와 같이 스티로폼 접시를 통풍이 잘 되게 적절한 간격으로 쌓고, 상부 접시를 제외한 모든 접시에 지름 2 cm의 통풍구를 만들어 제작하였다. 그리고 직달일사 및 산란광이 투입되는 것을 방지하기 위하여 접시의 바깥쪽은 흰색, 내부는 검은 색으로 칠하였으며 열전대(copper-constantan thermocouple)가 통풍구의 한 가운데에 위치하도록 접착제로 고정시켰다. 제작한 온도계의 보정을 위하여 아스만 통풍식 건습계와 비교 관측을 실시한 결과는 Fig. 5와 같이 온도계 센서 상호간의 차이가 0.3°C 이하였고, 아스만 통풍식 건습계의

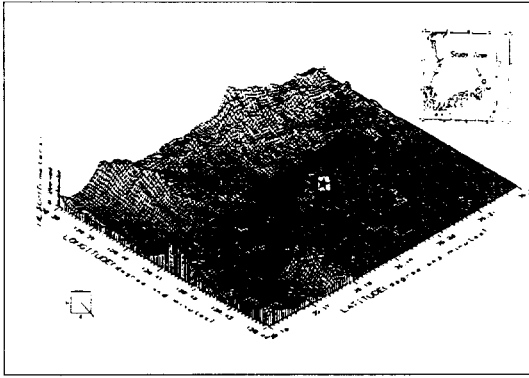


Fig. 1. Topography around the site of Junam rice paddy. The shaded dark area indicates Junam reservoir, and ★ is the measurement site.

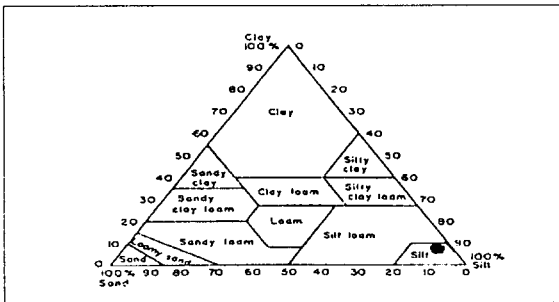


Fig. 2. Textural triangle giving soil types based upon USDA classification. ● indicates the Junam paddy field soil.

온도와도 큰 차이가 없었으므로 제작한 온도계의 관측치를 그대로 사용하였다.

온도는 매 초마다 자동으로 감지하여 매 분마다 그 평균치를 자료기록장치(CR-10)에 저장되게 하였다. 저장된 자료는 휴대용 컴퓨터로 수시로 수거하였다. 토양 상부 깊이 0.05 m의 수층이 존재하기 때문에 벼논의 토양 표면 온도는 열전대를 수층 하부 토양 면에 접촉시켜서 그늘 상태를 유지한 채 관측하였다. 엽면 온도는 Watanabe<sup>6)</sup>의

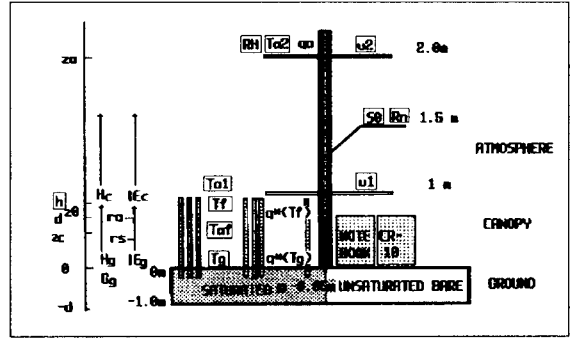


Fig. 3. Schematic illustration for mounting of equipments and for measured elements of rice canopy (squared). Some elements without square can be calculated from measured data. Measured elements indicate as follows:

$T_g$ ,  $T_{af}$ ,  $T_f$ ,  $T_{a1}$ ,  $T_{a2}$  are temperature of ground, vegetation canopy, foliage and air temperature of 1m height, that of 2m height, respectively. And  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $S_0$ ,  $R_n$ ,  $RH$ ,  $h$  are wind speed of 1m, and 2m, insolation, net radiation, relative humidity, height of rice, respectively.

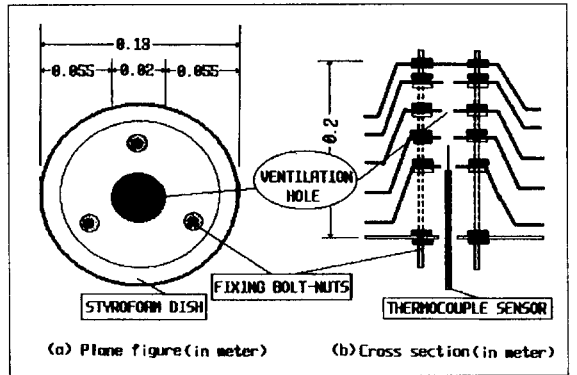


Fig. 4. Schematic illustrations of the manufactured thermocouple thermometer with styrofoam dishes.

Table 1. Measured elements and mounted equipments during field measurement, August 13 -15, 1995

element	symbol	unit	height(m)	remarks
air temp.	$T_a$	K	1.0, 2.0	copper-constantan thermocouple( $\phi$ 0.25 mm)
air temp. within canopy	$T_{af}$	K	0.5	copper-constantan thermocouple( $\phi$ 0.25 mm)
foliage temp.	$T_f$	K	0.5	copper-constantan thermocouple( $\phi$ 0.25 mm)
ground temp.	$T_g$	K	-0.05	copper-constantan thermocouple( $\phi$ 0.25 mm)
relative humidity	RH	%	2.0	Assmann aspiration psychrometer
wind speed	$u$	m/s	1.0, 2.0	3-cup anemometer (MAKINO, VF-750)
net radiation	$R_n$	$W m^{-2}$	2.0	net Radiometer (Tech-Exp.)
insolation	$S_0$	$W m^{-2}$	1.5	Kipp and zonen Holland pyranometer (type: CM11, sensitivity: $5.42 \times 10^{-6} V/Wm^{-2}$ )

관측 지점에 따라 열전대를 기공이 위치한 벼의 뒷면에 부착하여 관측하였다.

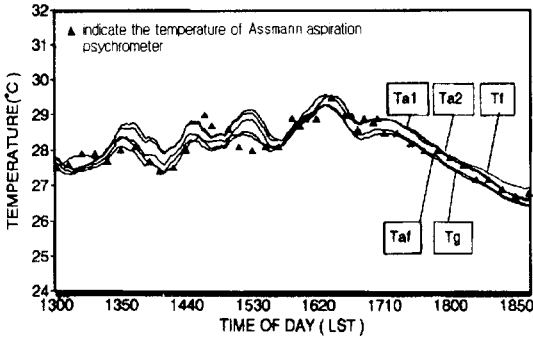


Fig. 5. Temperatures of the Assmann aspiration psychrometer and those of the copper-constantan thermocouple sensors with styrofoam dishes.

식피층 내부의 기온은 벼 키의 중간인 0.5 m 높이에 제작한 온도계를 설치하여 측정하였고, 식피층 상단의 기온은 벼 높이 1.0 m보다 약간 높은 공기층에서 측정하였다. 풍속은 0.1 m/s까지 관측 가능한 미풍용 풍속계(MAKINO사 제작)를 식피층 상단인 1.0 m와 2.0 m의 두 고도에 설치하여 관측하였다. 일사계와 순복사계는 1.5 m 고도에 설치하였다(Fig. 3).

2.2. 관측 결과 및 열수지 항 추정

Fig. 6은 식피층 각 부분의 온도를 관측한 것이다. 엽면 온도의 최고치는 수치 실험 결과와 마찬가지로 12시경에 308K로 관측되었다. 지면 온도는 야간에는 평균 302K, 주간에는 최고치가 306K로 다른 온도보다 더 낮고 일교차도 작았다. 이것은 야간 중에는 식피층 하부에서 지열이 보존되고 주간에는 식피층에 의하여 일사가 반사되기 때문이다. 이러한 관측 결과는 수치실험 결과와 매우 잘 일치하였다.

Fig. 7에서 제시된 풍속은 2.0 m 고도에서 1.0 m/s 이하로 관측되어 비교적 약풍이었으나 16시경 국지적인 적난운 통과로 인하여 약 2시간 정도 2.5 m/s에 달했다. 그러나 1.0 m 고도의 풍속은 관측기간 내내 0.5 m/s 이하이거나 거의 정온 상태를 보였다.

벼논의 단파복사는 12시경에  $827 W m^{-2}$ 였다(Fig. 8). 열수지 항을 Pielke<sup>2)</sup> 방법에 의거하여 계산한 결과 현열 플럭스는 최고  $100 W m^{-2}$ 로 작았으나 낮시간 동안의 잠열 플럭스는 최고  $380 W m^{-2}$ 에 달하였다(Fig. 9). 이것은 Taconet et al<sup>7)</sup>이 1차원 지면-식피층-대기의 결합 모델로 최성기의 조밀한 식피층에서 구한 잠열 플럭스,  $310 W m^{-2}$ 보다 약간 큰 값이다. 관측치로 계산한 열수지 항들은 선행 연구와는 연구 대상 및 조건의 차이 때문에 그 값 자체를 비교할 수는 없지만 잠열 플럭스가 더 크게 추정되고 현열 플럭스가 그보다 훨씬 더 작게 추정되어 벼논의 특성을 잘 나타내었다. 그러나 관측치를 대입하여 계산한 최대 잠열 플럭스는 수치실험 결과인  $600 W m^{-2}$

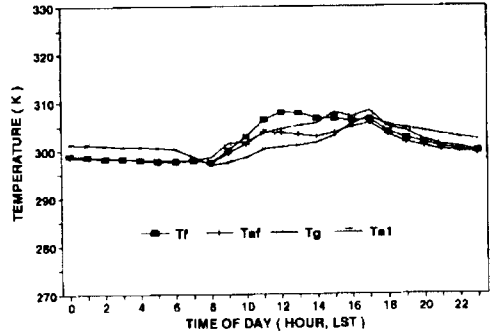


Fig. 6. Diurnal variations of temperatures in the rice-vegetation for 24 hours of August 14, 1995.  $T_f$ ,  $T_{af}$ ,  $T_g$ ,  $T_{a1}$  indicate the temperature of the foliage, the air within the canopy, the ground, the air above the canopy, respectively.

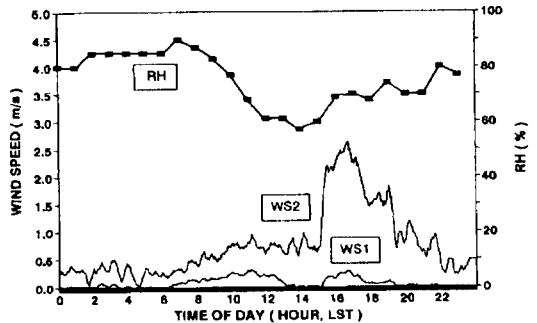


Fig. 7. Same as Fig. 6, but for wind speed and relative humidity(RH : Relative humidity, : wind speed at 1 m level,  $ws_2$  : wind speed at 2 m level).

의 67% 정도로 적게 추정되었다.

2.3. 에너지 재분배

입사한 단파 복사 에너지가 벼논에서 어떻게 재분배되는지를 황수진(1994)의 방법에 의거하여 정량적으로 조사하였다. Fig. 10에서 주간만을 대상으로 분석한 결과 일사에 대한 순복사의 비는 약 0.8이었다. 현열의 비가 아주 작게 나타난 반면 잠열의 비는 주간 동안 평균 0.5를 기록하였다. 잠열 방출 효과는 늦은 오후에 가까울수록 증가하여 수치실험 결과와 경향성은 매우 잘 일치하였다. 그러나 그 비는 수치실험 결과보다 평균 0.2 정도 더 낮게 추정되었다.

3. 결론 및 토의

지표면 에너지 교환 과정에서 식피층의 열적 효과를 연구하기 위하여 경상남도 창원시 동면 주남저수지 부근

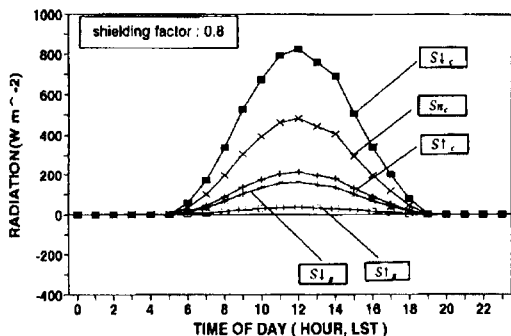


Fig. 8. Diurnal variation of calculated shortwave radiation terms.  $S$ ,  $S_n$  means incident, and net solar radiation, respectively. Subscript  $c$ ,  $g$  means canopy, and ground, respectively. And arrows indicate direction of energy transfer.

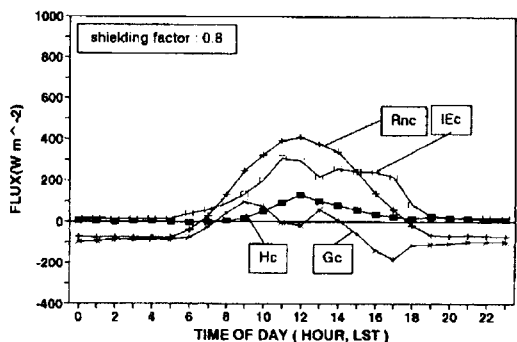


Fig. 9. Same as Fig. 8, but for net radiation( $R_n$ ), sensible heat( $H_c$ ), latent heat( $IE_c$ ) and residual term( $G_c$ ).

벼논의 온도, 풍속, 습도를 관측하고 Pielke<sup>2)</sup> 식을 이용하여 열수지 항을 추정하였다. 미사 토양인 벼논에서 야외 관측한 결과 정오 부근에서 열면 온도는 가장 높고, 지면 온도는 가장 낮았다. 잠열 플럭스는 최대치가  $380 W m^{-2}$ 로 열수지 항 중에서 가장 높고, 잠열 재분배는 평균 0.5였으며 일몰 시각에 가까울수록 더 크게 나타났다. 수치실험 결과와 관측치를 비교해 보면 잠열 방출량이 가장 많을 뿐만 아니라 잠열 재분배 비도 가장 크며 늦은 오후로 갈수록 그 비가 증가되었다. 이러한 경향성과 정오를 전후하여 열면 온도가 최고로 나타나는 것은 수치 실험 결과와 매우 잘 일치하였다. 그러나 잠열 플럭스는 수치실험에서 구한 값의 2/3, 잠열 재분배 비는 5/7로 다소 낮게 나타났다. 이러한 오차는 관측시의 가변적인 대기 상태, 관측 장비 자체의 오차, 계수 선정의 적절성 등에 기인하는 것으로 생각된다. 이러한 요인들이 차후 연구에서 좀 더 보완된다면 보다 개선된 토양-식피층-대기의 결합이 제시될 수 있으리라 사료된다.

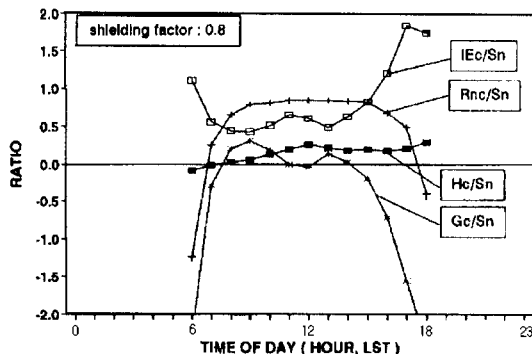


Fig. 10. Same as Fig. 8 but for ratios of  $R_n / S_n$ ,  $H / S_n$ ,  $IE / S_n$ ,  $G_c / S_n$  for saturated rice-vegetation canopy.

### 참 고 문 헌

- 1) Deardorff, J. W., 1977, A Parameterization of Ground-Surface Moisture Content for Use in Atmospheric Prediction Models, *J. of Appl. Meteorology*, 16, 1182-1185.
- 2) Pielke, R. A., 1984, *Mesoscale Meteorological Modeling*, Academic Press, 374-420.
- 3) 황수진, 1994, The effect of soil moisture on the energy balance at the bare soil surface, Tsukuba University, 博士學位 論文, 83-95pp.
- 4) Clapp, R. B. and G. M. Hornberger, 1978, Empirical Equations for Some Soil Hydraulic Properties, *Water Resource Research*, 14(4), 601-604.
- 5) 소선섭, 이천우, 1986, *기상관측법*, 교문사, 337pp.
- 6) Watanabe, 1987, *農業環境實驗法*, 사이언스ハウス, 285pp.
- 7) Taconet, O., R. Benard, and D. Vidal-Madjar, 1986, Evapotranspiration over an Agricultural Region Using a Surface Flux/Temperature Model Based on NOAA-AVHRR Data, *J. of Climate and Applied Meteorology*, 25, 284-307.