

## 담수직파 벼의 신장기 군락내 미기후 특성

윤진일\* · 신진철\*\* · 윤용대\*\* · 박은우\*\*\* · 조성인\*\*\* · 황헌\*\*\*\*

### Canopy Microclimate of Water-Seeding Rice during Internode Elongation Period

Jin Il Yun\*, Jin Chul Shin\*\*, Yong Dae Yun\*\*, Eun Woo Park\*\*\*, Seong In Cho\*\*\* and Heon Hwang\*\*\*\*

**ABSTRACT**: Temperature, humidity and wetness duration were monitored for fully developed paddy rice canopies with 3 different structures induced by the seeding method (puddled-soil drill seeding, DS; hand broadcasting, HB; machine broadcasting, MB). Within-canopy air temperature averaged over "clear sky" hours during the study period (maximum tillering through heading) was lower than the screen temperature at a nearby standard weather station, especially in the night. The same trend was true for "overcast sky" hours except the diurnal distinction. Vapor pressure within the canopy was high during the daytime and low in the night, making the daytime deviation from outside the canopy more significant on clear days. Under the overcast sky, the canopy maintained a steady 5 to 10% higher vapor pressure than the outside regardless of day or night. Daily maximum temperature was observed to be higher within the canopies with more leaf mass, making MB the highest, HB the lowest, and DS in between. Relative humidity was over 90% in the night and dropped to 70% in the mid-afternoon, but vapor pressure within the canopy was highest at around 13:00 LST. Dew point depression was lowest and, combined with the temperature, the relative humidity was highest in HB. Mean period of wetting duration was in the order of DS>HB>MB, while the dew point depression was greatest in DS.

**Key words**: Microclimate, Rice, Water-seeding rice, Temperature, Humidity, Dew period.

담수상태에서 재배되는 벼의 경우 생육 및 병발 생에 직접적인 영향을 주는 군락미기후가 군락외 부의 표준기상과 크게 다르다<sup>6)</sup>. 벼의 주요 병 발 생을 정확하게 예찰하기 위해서는 군락내 기온과

습도, 나아가 엽면습윤지속시간에 관한 정확한 정 보가 필수적이므로 표준기상자료로부터 군락미기 후를 추정하기 위한 노력이 경주되어 왔다<sup>1)</sup>. 벼 군락내 미기후에 관한 연구는 다수 보고된 바 있

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(농 95-6 : 식물환경과학분야 거점연구소) 지원에 의해 수행되었음.

\* 경희대학교 농학과(Department of Agronomy, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea)

\*\* 작물시험장 수도재배과(Rice Production Division, National Crop Experiment Station, Suwon 441-100, Korea)

\*\*\* 서울대학교 농업생명과학대학(College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea)

\*\*\*\* 성균관대학교 생명기전공학부(Department of Bio-Mechatronic Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-746, Korea)

〈'97. 3. 22 接受〉

으나 대부분 이앙재배 벼를 대상으로 한 것이며, 최근 재배면적이 늘고 있는 직파재배 벼에 대한 연구결과는 찾아 보기 어렵다<sup>7,9)</sup>. 직파재배의 경우 파종양식이 다양하여 형성되는 군락구조가 이앙재배와 다른 것은 물론, 파종법에 따른 차이점도 예상된다.

직파재배양식은 크게 건답직파와 답수직파로 나눌 수 있다. 답수직파 재배양식은 파종 방법에 따라 표면직파와 토중직파로 분류되며 표면직파는 흩어뿌림(산파) 위주로서 대면적일 경우 항공기를 이용하나 소면적에서는 손이나 살립기에 의존한다. 토중직파는 최근 보급되고 있는 조파기를 이용하는데 “무논골뿌림”으로 알려져 있다<sup>3)</sup>.

본 실험은 벼 병발생과 관련깊은 군락내 기온과 습도 및 엽면 습윤지속시간의 경시적인 변화를 무논골뿌림, 살립기산파, 손파종 등 세 가지 방법으로 파종된 답수직파 답에서 관측하여 인근 표준기상관측소의 종관자료와 비교함으로써 차후 군락미기후 예측과정에 기초자료로 삼기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 벼 재배

공시 벼 품종은 ‘화성벼’로서 1995년 5월 3일 작물시험장 답작포장내 답수직파 시험포에 파종량 40kg/ha, 시비량 N-P-K = 110-70-80kg/ha 수준에서 세 가지 방법으로 파종하였다. 첫번째는 가장 보편적인 직파법으로서 무논골뿌림 처리인데, 입모율은 50.6%였다. 둘째는 종자를 황토로 분의하여 입제살포기로 흩어뿌리는 살립기산파 처리로서, 입모율은 62.7%였다. 셋째는 손으로 흩어 뿌리는 관행적인 손파종 처리로서, 입모율은 77.5%였다. 따라서 첫번째 처리는 답수조파이며 두번째와 세번째 처리는 답수산파로 분류할 수 있다.

### 2. 군락 내외부 기상자료 수집

최고분얼기에 도달하여 초형구조가 거의 완성된 1995년 7월 20일 각 시험구(가로 9 × 세로 50

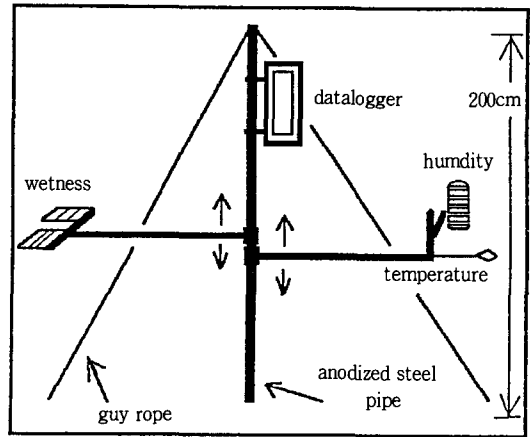


Fig. 1. A schematic of data acquisition platform for monitoring the microclimate of rice crop canopy.

m)의 중앙지점에 자체 제작한 군락 미기상관측 장치를 설치하였다. 이 장치는 길이 2m 직경 5cm인 아연도금 철관에 데이터로거 보호상자와 두 개의 1m짜리 센서거치대, 그리고 세 개의 지지대가 부착된 형태로써 두 개의 센서거치대는 수직 및 수평방향으로 부착위치를 조절하도록 되어있다(그림 1).

군락내 기온 및 습도는 초관 최상단으로부터 10cm 아래쪽에, 그리고 이슬검지는 초관 최상단과 동일한 위치에 센서가 설치되도록 센서 거치대의 높이를 일주일마다 한번씩 조절하였다. 군락내 기온은 0.1mm 직경의 E형 열전대(Type E Thermocouple) 두 개를 이용하여 노출상태에서 측정하도록 하였으며, 군락내 습도는 자연대류형 소형 스크린 속에 박막 capacitor형 센서(Model HMP35C, Vaisala, Finland) 한 개를 넣어 측정하였다. 기온과 습도센서는 설치 전 이틀 동안 growth chamber 내에서 기차보정을 실시하였다. 엽면습윤도는 모조엽(artificial leaf) 방식의 CSI237(Campbell, USA) 센서 두 개씩을 표면 코팅처리 없이 쌍으로 북향 30도 경사지게 설치, 측정하였다<sup>5)</sup>.

센서의 측정값은 데이터로거에 저장하였다가 추후 분석에 이용하였는데, 측정 간격 1분, 평균

값 계산 및 저장간격 한 시간으로 7월 21일부터 8월 20일까지 31일간 연속 측정하였다. 군락내외부 비교를 위해 같은 기간 중 실험포장으로부터 300m 가량 떨어진 수원기상대 표준 기상자료를 수집하여 군락외부 기상값으로 삼았다.

### 3. 실험기간 중 날씨 개요

7월 하순부터는 장마가 그치고 기온이 본격적으로 상승하였는데 7월 하순에서 8월 중순까지 수원기상대에서 관측된 각 순별 평균기온이 26.9, 27.3, 27.6℃로서 평년보다 1~2℃ 높았으며, 일최고기온의 순별 평균값도 모두 30℃를 넘었다. 이 기간 중 일최저기온이 25℃를 넘는 소위 ‘熱帶夜’도 4일이나 기록되었다.

강수량은 7월 하순에만 27.7mm로서 적었고 8월 상순과 중순에는 각각 232.4 및 294.1mm의 집중호우를 기록하였다. 특히 8월 8일 하루 동안만 180.6mm, 8월 19일에는 무려 227.3mm의 큰 비가 내렸다. 따라서 일조시간도 7월 하순에 가장 많은 87.2시간이었고 8월 상순과 중순에는 49.5 및 63.8시간에 그쳤다. 총 31일간의 관측기간 중 비가 온 날은 14일이었으며 평균 운량이 50% 이하인 맑은 날은 10일이었다.

## 결과 및 고찰

### 1. 군락 내외부 기온 비교

1995년 7월 21일부터 8월 20일까지 31일간(벼 재배기간 중 가장 기온이 높은 시기) 매 3시간 간격으로 주간에는 일조시간, 야간에는 운량을 근거로 판별하여 맑은 시간대와 흐린 시간대로 하늘상태에 따라 자료를 나누었다. 즉 같은 날이라도 시간대에 따라 자료의 소속이 달라질 수 있다.

맑은 시간대의 세 처리군락내 평균기온은 기상대 노장의 백엽상 기온보다 최대 3℃까지 낮았다(그림 2). 시간대 별로는 야간의 기온차가 더 컸는데 자정무렵에는 4℃까지 군락내 기온이 낮은 적도 있었다(7월 28일). 노장과 군락내 기온차가 가장 적은 시간대는 0900~1200시 사이로서 1℃ 내외였다.

관측노장과 벼군락의 기온차를 결정짓는 가장 중요한 요인은 지표의 성질이다. 관측노장은 항상 짧게 예취된 잔디로 덮여 있으며, 특별히 가물 때 말고는 관개를 하지 않는다. 반면 벼군락은 중간 낙수 또는 간단관개를 실시하지만 거의 전 생육기

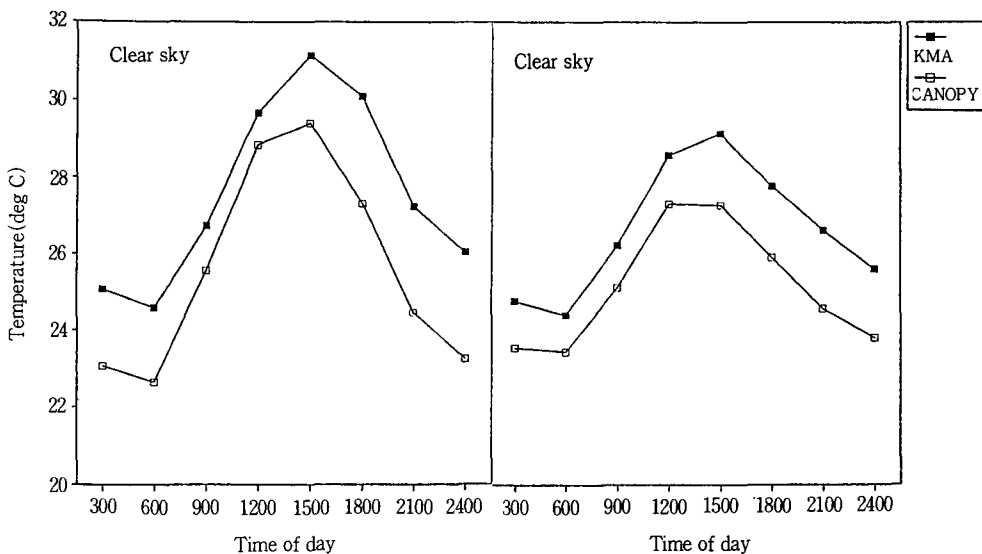


Fig. 2. Air temperature within the rice crop canopy averaged over the hours of clear and cloudy sky during the 1995 crop season (July 21~August 20). Solid rectangles represent the standard screen air temperature observed at a nearby KMA station.

간 동안 일정 수심의 담수상태이다. 관개수에 의해 대기와 차단된 논토양의 비열, 열전도도 등 열적 특성은 관측노장의 잔디로 덮인 토양과 상당한 차이가 있다. 여름철에 해안지방은 같은 위도의 내륙지방보다 평균기온이 낮고, 내륙지방에서도 대형 호수(특히 댐건설에 의한 저수지) 부근에서는 여름철 기온이 호수 생성전보다 낮아지는 것이 관찰된다<sup>10)</sup>. 이는 주로 물 자체의 열적 특성이 일반 토양과는 다른 데서 오는 현상이다. 또한 관측노장의 지표면은 변화하는 날씨 조건에 따라 건조 혹은 습윤상태가 반복되므로 맑은 날에는 지표면이 수분부족 상태이나 벼군락은 담수로 대기의 증발수요를 항상 충족시킨다.

동일한 기상조건 하에서도 관측노장과 벼군락간에 순복사에너지의 차이가 존재하지만, 편의상 동일한 양으로 가정하고 관측노장과 벼군락의 지표부근 기온을 결정하는 에너지수지를 예상해보면, 벼군락의 경우 순복사에너지의 용도 가운데 잠열과 저장열이 관측노장보다 훨씬 크고 현열성분은 작아지는 것을 알 수 있다. 관측노장의 경우 순복사에너지 가운데 많은 부분이 기온상승의 구동력인 현열로 바뀌어 뚫힌다. 따라서 맑은 날 낮 시간대의 벼군락의 저온현상은 쉽게 추정 가능하다. 다만 낮 시간대의 기온하강폭이 예상보다 크지 않은 것은 군락내부 기온의 측정위치가 초판 최상단으로부터 10cm 아래로서 대체로 일사에너지의 흡수표면 높이에 해당하기 때문에 자유수면상에서 나타나는 기온 하강폭을 상당부분 상쇄한 결과라고 생각된다.

한편 물의 열적인 특성만 고려한다면 낮 시간대 물 자체에 저장되었던 열량(즉 수온 상승에 쓰인 열량)이 야간에는 온도경사에 따라 군락내부 공기 중으로 전달될 것이기 때문에 관측노장보다 높은 기온을 예상할 수도 있다. 그러나 실측 결과는 주간보다 오히려 야간에 기온하강 정도가 심한 것으로 나타났다. 지표특성이 동일하다면 구름이 없는 야간에는 지표로부터의 장파 지구복사 방출에 의해 지표부근 대기의 온도가 장파복사가 차단된 백엽상내의 기온보다 낮아지는 것이 당연하다. 따라서 야간 복사 냉각량과 논물의 저장열 방출량간 상대적 크기에 따라 관측노장-벼는 사이 기온차가

영향을 받을 것으로 예상할 수 있다. 여기서 벼 군락내부의 기온은 엽면적이 가장 많이 모여있는 草冠上部의 기온인데, 草冠部 역시 야간 복사냉각으로 관측노장의 접지층과 유사한 엽은 및 주변 기온의 하강효과를 보인 것으로 판단되며, 냉각정도가 물의 저장열에 의한 승온효과를 상쇄하고도 남을만큼 크다는 결론을 내릴 수 있다. 이같은 야간 저온현상은 지표로부터 樹冠部가 상당히 높이 격리된 과수군락의 내외부 기온 차이에 비해 훨씬 심하다<sup>4)</sup>.

야간의 벼 군락 내부기온 하강현상이 측정에 사용된 열전대의 노출 때문에 점점의 온도가 주변 대기온도보다 낮아져서 생겼을 가능성을 완전히 배제할 수 없다. 이같은 의문을 밝히기 위해 동일한 위치에 복사차단 스크린(Model CSI41002, Campbell, U.S.A.)을 장착한 센서를 설치하여 야간기온을 측정된 결과 노출된 센서와 동일한 기온값을 얻었다. 따라서 본 실험에서 수집된 기온값은 센서자체의 야간 복사냉각 효과나 이로 인한 측정오차로부터 안전한 것으로 판단된다.

하늘이 흐린 경우의 벼군락내 기온 역시 백엽상 기온에 비해 지속적으로 낮았다(그림 2). 그러나 맑은 경우와 달리 낮과 밤의 차이가 뚜렷하지 않고 거의 일정한 기온차(1~2℃)를 보였다. 즉 낮 시간대의 군락내 기온과 백엽상 기온간 차이는 맑은 경우와 유사하나 야간의 기온차는 상당히 줄어들었다. 이는 흐린날의 야간 복사냉각량이 맑은 날보다 훨씬 적기 때문으로 판단된다. 즉 흐린 날의 기온차이는 복사의 영향이 제거된 순수한 벼군락 자체의 열적 특성에 따라 나타난다고 해석할 수 있다. 벼군락은 관측노장과 비교하면 상시담수에 따른 물의 영향, 잔디보다 훨씬 큰 지표 거칠기 길이(roughness length), 稻體와 습기많은 대기 로 이루어진 영성한 질량구조 때문에 열적인 완충능력(buffering capacity)이 크다. 특히 稻體 및 湛水面 증발산으로 인한 純輻射에너지의 潛熱 소모 효과가 顯熱의 감소, 즉 기온의 하강으로 나타났다고 볼 수 있다.

## 2. 군락 내외부 습도 비교

상대습도는 측정 시점의 기온에 따라 왜곡될 가

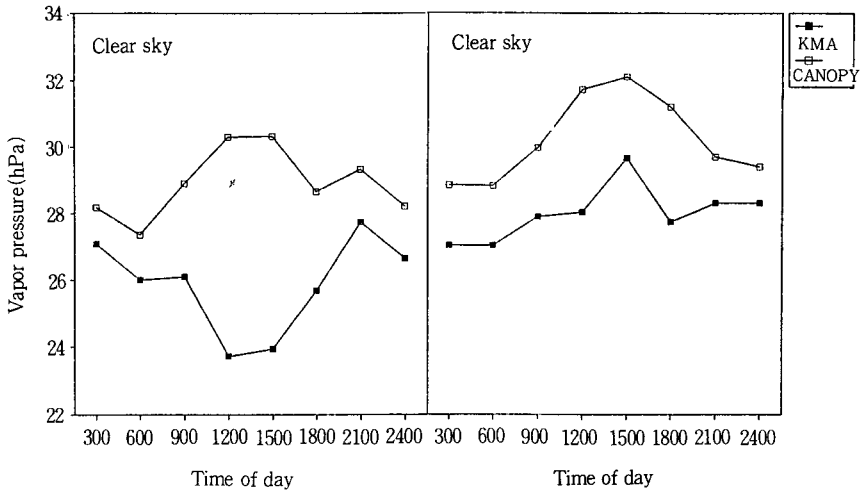


Fig. 3. Partial pressure of within-canopy water vapor averaged over the hours of clear and cloudy sky during the 1995 rice crop season(July 21~August 20). Solid rectangles represent the standard screen vapor pressure observed at a nearby KMA station.

농성이 크므로 일단 수증기압으로 변환하여 분석하였다. 기상대 관측노장의 수증기압은 맑은 시간대의 경우 24~28hPa 정도인데, 대체로 낮시간에 낮고 야간에는 높은 경향을 보였다(그림 3). 이는 상대습도의 주·야간 변동양상과도 상당히 유사하다. 한편 벼군락 내부의 수증기압은 일중 지속적으로 관측노장보다 높고 주야간의 양상이 반전되었다. 낮시간대에 군락내 수증기압이 증가하는 것은 관개수의 증발 및 도체의 증산작용에 기인하는 것인데, 정오 이후 1500시까지 한낮에는 관측노장 수증기압과의 차이가 7hPa 이상으로 벌어져 군락내부의 다습조건을 보여 준다. 이렇게 다습한 조건은 관측노장보다 낮아진 군락 내부 기온과 맞물려 상대습도 값을 큰 폭으로 상승하게 할 것이니 공기감염성 진균병의 발생과도 연관이 있을 것이다. 2100시 경에는 또 한번의 수증기압 peak를 관찰할 수 있는데, 이는 관측기간 중 이 시간대에 소낙성 강우가 빈번하였던 데 기인한 것으로 보인다.

관측노장에서 측정된 배경대기의 수증기압은 맑은 날보다 흐린 날 더 높아지며, 특히 낮시간 동안 크게 상승하였다. 반면 군락내부의 습도값은 일중 거의 같은 비율로 높아져서 맑은 날의 경시 변화 양상과 크게 달라지지 않았다(그림 3). 따라

서 흐린날 벼군락의 수증기압은 주·야간에 무관하게 관측노장에 비해 5~10% 정도 높은 값이 일중 유지되었다.

### 3. 파종양식에 따른 군락내 기온 특성

실험기간 중인 8월 1일과 실험이 끝난 직후인 8월 24일의 각 처리구별 생육상황이 표 1에 수록되어 있다. 최고 분얼기 무렵인 8월 1일 조사된 초장은 손파종에서 94cm로 가장 길었으며 다음은 살림기 산파구로 85cm, 무논골뿌림구가 가장 짧아서 81cm였다. 평방미터당 줄기수 역시 손파종에서 816개로 가장 밀식되었고, 살림기산파에서 562개, 무논골뿌림은 448개였다. 그러나 엽면적지수(LAI)는 살림기산파구에서 6.1로 가장 컸고, 다음이 손파종으로 5.6, 무논골뿌림은 4.6이었다. 관측완료 시점인 출수기 무렵에는 초장의 경우 무논골뿌림구와 손파종구에서 다같이 103cm, 살림기 산파구에서는 91cm였다. 평방미터당 줄기수는 무논골뿌림 451, 살림기산파 541, 손파종 597이었으며 엽면적지수는 무논골뿌림 4.5, 살림기산파 6.2, 그리고 손파종에서 4.1이었다. 이 기간 중 다른 처리에서는 엽면적과 줄기수에 큰 변화가 없었지만, 손파종구에서는 크게 감소하였다. 출수기는 세 처리구 가운데 손파종만 8월 22

Table 1. Variations in some growth characteristics of paddy rice during the study period (maximum tillering to heading stage) as influenced by the planting method

Character	Stage Method	Maximum tillering (Aug. 1)			Heading (Aug. 24)		
		Drill seeding	Hand broadcast	Machine broadcast	Drill seeding	Hand broadcast	Machine broadcast
Number of tillers (m <sup>-2</sup> )		448±21	816±62	562±55	452±33	597±72	541±65
Shoot dry weight (g m <sup>-2</sup> )		511±48	747±99	676±67	816±7	781±35	983±16
Leaf area index		4.6±0.4	5.6±0.9	6.1±0.4	4.5±0.2	4.1±0.6	6.2±0.3
Plant height (cm)		81.4±2.9	93.9±2.5	84.8±3.1	102.5±1.3	103.1±4.7	90.8±3.0

일이었고 나머지는 모두 8월 26일이었다.

연중 최고온기이며 벼의 일생 중 수량형성에 매우 중요한 시기인 유수형성기에서 수잉기에 해당되는 7월 21일부터 8월 20일까지 약 한달간 관측된 군락내 기온을 매 시간대별로 평균한 것이 그림 4A이다. 일중 최고기온은 대체로 1300시에서 1500시 사이에 나타나며 파종양식에 따라 최고 1°C의 차이를 보였다. 살립기산파에서는 이 시간대에 29°C를 넘었으나 손파종구에서는 28°C에 머물렀다. 이러한 기온차이는 1500시 이후 일몰시 까지 지속되었다. 야간이나 오전 시간대에도 그 차이는 적으나 손파종구의 상대적인 저온경향은 뚜렷하였다. 무논골뿌림논에서의 기온은 주간의 경우 살립기산파와 손파종논의 중간 정도이나 야간에는 손파종논과 거의 비슷한 경향을 보였다.

파종방법에 따라 가장 큰 차이를 보인 생육지표는 단위면적당 줄기수와 엽면적지수였다(표 1). 손파종구의 줄기수는 살립기산파보다 최고분얼기에 40%, 출수기에도 10% 정도 많았으나, 엽면적은 줄기수와 반대로 최고분얼기에 8%, 출수기에는 34% 정도 손파종구에서 적었다. 즉 손파종구는 높은 입모율에 힘입어 재식밀도가 높아졌으나, 밀식으로 인해 엽 생장은 상대적으로 부진하였다고 볼 수 있다. 일반적으로 밀식된 논외의 군락내 기온이 더 높을 것으로 추측하나 본 실험에서는 오히려 밀도가 낮은 살립기산파논에서 기온이 높았다.

이류의 영향을 무시할 수 있는 조건에서 잠열이나 현열의 형태로 이용될 수 있는 에너지의 총량인 순복사량은 벼군락이 흡수한 복사에너지에서 외부로 방출된 양을 제외한 것이다. 그런데 낮시간 동안의 흡수일사량은 활성 흡수표면적, 즉 벼

군락의 엽면적에 따라 좌우되므로 잎이 상대적으로 무성한 살립기산파구에서 기온이 높아진다. 반면 야간에는 일사가 없으므로 군락으로부터 외부로 방출되는 지구복사량(terrestrial radiation)에 따라 기온이 결정되는데, 잎이 무성할수록 방출되는 복사량이 많아서 군락의 체온, 나아가 군락내부의 기온이 낮아진 것으로 생각된다. 그러나 담수상태의 벼논으로부터 대기를 향해 방출되는 지구복사는 단지 도체의 일표면에서만 나오는 것이 아니고 장파 복사능(emissivity)이 1.0에 가까운 관개수와 군락내부의 다습한 대기로부터도 방출된다. 이들 초관하부로부터 방출되는 지구복사는 상부의 무성한 잎에 의해 “흡수-재복사”의 과정을 거쳐 결과적으로 군락내부 기온의 하강을 저해하게 된다.

지표특성이 발 상태에 가까운 과수원의 경우 맑은 날 한낮의 군락내부 기온은 외부보다 항상 높았는데<sup>4)</sup>, 벼논에서는 오히려 낮았다. 이는 담수상태의 지표상 접지층은 건조토양 접지층과는 달리 현열부분이 현저히 줄어들었다는 사실에 기인한다. 군락내부 기온 연직구조를 살펴보면 사과나무의 잎이 가장 많이 부착되어 있는 1~1.5m 높이에서 낮과 밤의 기온교차가 가장 컸는데, 벼군락에서도 낮시간 동안은 잎이 무성한 초관상부의 기온이 엽면적이 많은 처리(살립기산파구)에서 그렇지 않은 처리(손파종구)보다 항상 높게 나타났음을 확인할 수 있다. 그러나 야간 기온은 과수원과 달리 잎이 적은 손파종구에서 오히려 더 낮았다.

무논골뿌림구의 엽면적지수를 손파종구와 비교해 보면, 실험초기(최고분얼기)에는 더 작은 값이나, 후기(출수기)에는 오히려 더 큰 값을 보였다.

다. 실험기간 중 낮시간 동안의 평균적인 경향은 역시 엽면적의 다소에 따라 살립기산파구보다는 낮고, 손파종구보다는 높은 기온을 보였다. 그러나 야간에는 손파종구와 거의 비슷하거나 약간 낮은 경향이였다.

#### 4. 파종양식에 따른 군락내 습도 특성

상대습도는 기온이 낮았던 손파종구에서 주·야간 모두 가장 높은 값을 보였다(그림 4B). 상대습도의 일중 경시변화 양상은 매우 단순하여 2000시 이후 이튿날 0900시까지 13시간 동안(손파종구에서는 14시간)은 90% 이상 거의 포화상태를 유지하고, 나머지 시간 중에는 1500~1600시 경의 70~80%를 최소값으로 하는 주기함수 양상이다. 여기서 상대습도 90% 이상의 시간대는 일부 식물 진균병 예찰과점에서 잎 표면이 젖어있는 것으로 간주하는 ‘엽면습윤지속시간’에 해당되므로 비의 경우에도 중요한 의미를 가질 것으로 생각된다.

그러나 기온이 가장 높았던 살립기산파구의 상대습도는 무논골뿌림구와 거의 비슷한 정도로 나타나 군락내 절대습도는 높을 것으로 예상되며, 측정 당시 군락내 기온을 토대로 상대습도값을 실제 수증기압으로 변환하여 표현할 경우, 예상대로 살립기산파구에서 가장 높았고 무논골뿌림구에서 가장 낮았다(그림 4C).

수증기압의 일중 최대값 발생시각은 정오부터 1300시 사이로서 상대습도값의 최저값이 나타난 오후 1500~1600시와 큰 차이가 있다. 주간내 군락내 수증기압 상승요인은 앞서 설명한대로 관개수면 증발과 엽면 증산이다. 식물잎의 증산작용은 기공 개폐도에 의해 조절되며 기공의 수증기 확산저항값은 일중 태양고도가 높아 군락내 일사수광량이 가장 많은 정오 무렵에 최저값을 보인다고 알려져 있다. 정오무렵 벼에서 최대 증산 및 최저 저항값이 기록되는 시간대에 발작물에서는 일시적으로 기공저항이 증가하고 증산량이 줄어드는 ‘midday-depression’ 현상이 나타나는데<sup>8)</sup>, 이는 발토양의 경우 수분상태에 따라 이 시간대의 강력한 증산 수요를 충족시키지 못하여 식물체가 일시적인 water stress 상태에 들기 때문이다. 본

실험에서 관찰한 수증기압의 일중 변화양상에 따르면 벼군락에서는 이러한 ‘midday-depression’ 현상이 나타나지 않았다. 2000~2100시 경 일시적인 수증기압 상승원인은 확실하게 밝혀지지 않았지만 이러한 식물체 생리상태와 관련된 것은 아니며, 이 시간대에 자주 발생한 소낙성 강우에 의한 것으로 추정된다.

그림 4D는 군락내 습도상태를 이슬점온도로 표현한 것으로서 수증기압의 변동경향과 유사하다. 즉 살립기산파구에서 가장 높고, 무논골뿌림구에서 가장 낮았으며, 상대습도값이 가장 높았던 손파종구에서는 이들 사이의 중간값을 보였다. 무논골뿌림구에서는 습도측정 위치가 골 사이여서 처리들 가운데 환기조건이 가장 좋았다고 볼 수 있다. 반면 같은 흠어뿌림이지만 살립기산파구는 잎의 양이 많았고 손파종구는 줄기의 수가 많았는데, 군락내 절대습도는 살립기산파구에서 높았다. 통상 밀식구라 하면 습도가 높을 것이라는 선입견을 갖는데 본 실험결과는 군락내 절대습도의 결정에는 단순한 재식밀도보다는 엽면적이 더욱 중요함을 보여준다.

그러나 식물의 주요 성장반응은 이러한 절대습도보다는 상대적인 건습상태에 더 큰 영향을 받는다. 예를 들어 증산 속도는 식물체와 주변대기 사이의 water potential gradient를 따라 결정되는데, 이때 주변대기의 water potential은 상대습도가 좌우한다. 또한 병발생과 관련 깊은 엽면결로 현상은 잎 주변 공기의 노점편차(dew point depression: DPD)가 쉼에 도달할 때 일어난다. 본 연구의 주요목적도 이러한 식물병 관련 미기상요소의 변화 추정이므로 노점편차로 표현한 군락내 습도상태를 확인해 보았다.

군락내부 노점편차는 현재상태에서 잎이나 줄기표면에 이슬이 맺히도록 하기 위해 떨어뜨려야 할 온도량으로 정의할 수 있으며, 그 값이 작을수록 “습도”가 높고 이슬이 맺힐 가능성이 크다. 각 파종양식별 벼군락의 DPD는 야간에 거의 0에 가까운 값을 유지하다가 0700시 이후 급격히 커져서 정오부터 1800시까지 4℃ 이상을 유지하였다(그림 4E). 이후 그 값이 크게 떨어져 2100시 무렵에는 1℃ 이하를 보이며 이튿날 아침까지 쉼에

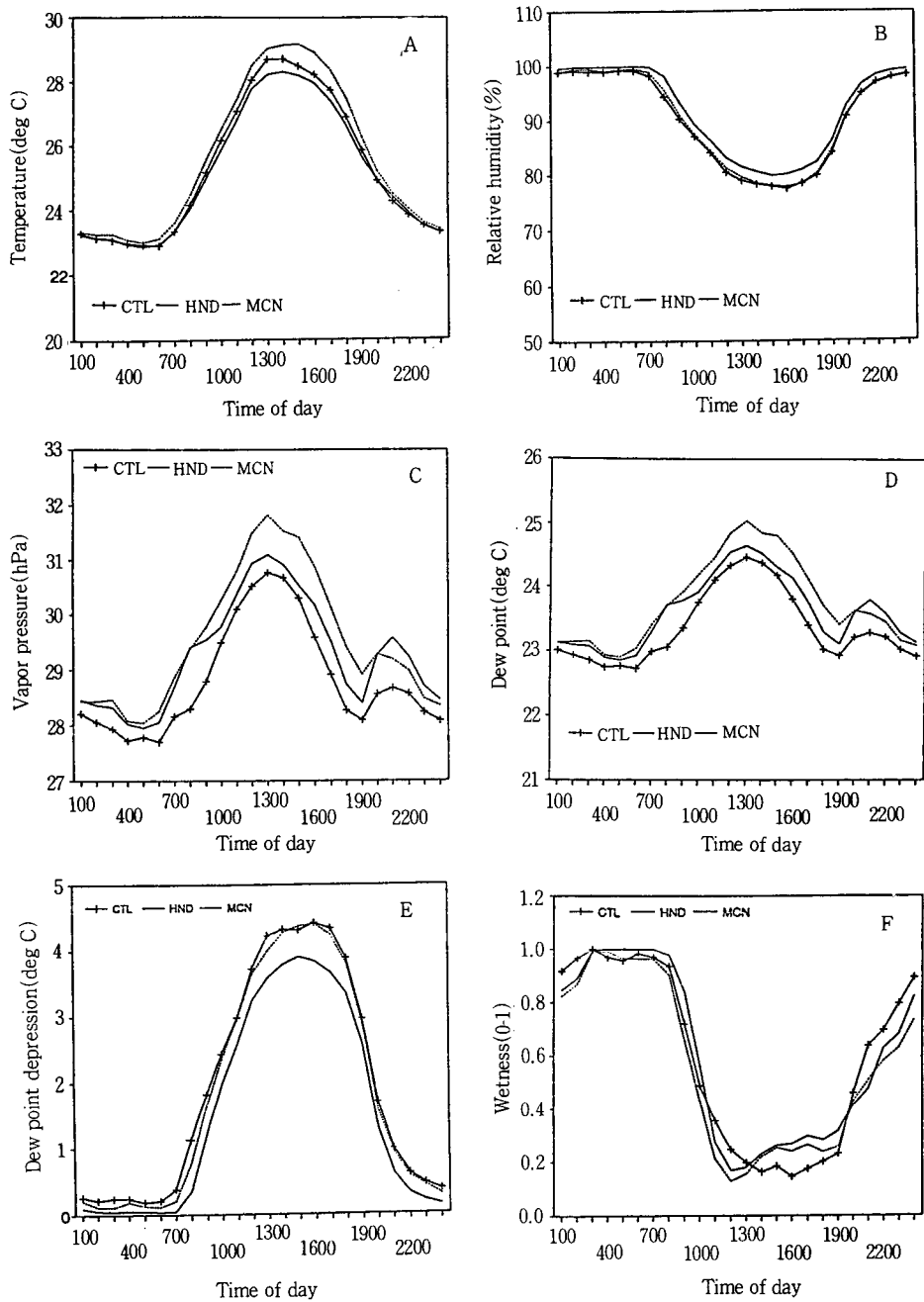


Fig. 4. Temporal march of air temperature(A), relative humidity(B), vapor pressure(C), dew point(D), dew point depression(E) and leaf wetness(F) within lowland-rice crop canopies with different seeding methods averaged over 31 days during the 1995 crop season (July 21~August 20). CTL means a row seeding at 3~4cm subsoil, HND means a hand broadcasting, and MCN means a sprayer seeding.



## 적 요

가깝게 접근하였다. 파종양식별로는 손파종구에서 주·야간 모두 지속적으로 작은 값을 보이며, 무논골뿌림구에서는 가장 큰 값을 보였다. 살림기산파구의 경우 무논골뿌림구의 DPD에 거의 근접한 값을 유지하였다. 이같은 DPD의 경시변화 추이는 앞서 살펴 본 상대습도의 변화 추이(그림 4B)와 반대되는 양상이다.

식물병 예찰에 필요한 엽면습윤지속시간은 관행적으로 상대습도가 90% 이상인 시간대를 적산해 사용하고 있는데<sup>2)</sup>, 실험에서 얻은 자료에 이 기준을 적용시키면 대체로 2000~0900시에 해당되며 이때의 기준 DPD값은 1.7~1.8°C이다. 이것을 결로센서에 의해 직접 측정된 결과와 비교해보면 상대습도나 DPD에 의한 습윤지속시간 추정 가능성을 대략적으로 가늠해 볼 수 있다. 그림 4F에서 보인 습윤지속시간은 매 시간대별로 많이 젖어 있었던 기간을 비율로 표시한 것이다. 여기서 주의할 점은 결로센서에 기록된 습윤지속시간은 노점에 도달되어 잎표면에 이슬이 수막을 형성한 것만 기록한 것이 아니고, 강우나 약제살포 등, 결로외의 현상으로 센서표면에 물방울이 맺힌 경우를 모두 포함한 것이다. 상대습도 90% 이상 혹은 DPD 1.7~1.8°C 이하인 오전시간대에 실제 잎표면이 젖어 있었던 기간은 한 시간당 0.7시간 이상으로 비교적 일정한 값을 유지하였다. 그러나 결로가 시작되는 오후에는 한 시간당 0.4시간까지 변이폭이 늘어나 상대습도나 DPD값으로부터 결로 현상의 시작점을 정확하게 찾아내기는 어렵다. 또한 파종양식에 따른 습윤지속시간의 일중변화양상이 지금까지 보아온 상대습도나 DPD와 차이가 있음도 알 수 있다. 특히 오후 시간대의 엽면 습윤지속시간의 경우 DPD값이 가장 컸던 무논골뿌림구에서 오히려 가장 길게 나타나는 점도 특이한데, 추후 강우시간대의 자료를 제외한 순수 결로시간 자료만을 이용하여 재분석할 필요가 있다. 그림 4F에서 나타난 결과만으로 판단한다면 엽면 습윤지속시간은 살림기산파구에서 가장 짧고 무논골뿌림구에서 가장 길게 나타나며, 그 차이는 한 시간 정도라 할 수 있다.

벼 병발생과 관련 깊은 군락내 미기후의 파종양식에 따른 차이를 비교하기 위해 1995년 5월 3일 작물시험장 답작포장내 담수직파 시험포에 '화성벼'를 공시하여 무논골뿌림(대조구), 살림기산파, 손파종 방법으로 재배하였다. 파종방법에 따라 가장 큰 차이를 보인 생장지표는 단위면적당 줄기수와 엽면적으로서 손파종구의 줄기수는 살림기산파보다 10% 많았으며, 엽면적지수는 반대로 8% 적었다. 최고 분얼기인 7월 20일부터 출수 직전인 8월 20일까지 군락내 기온, 습도, 엽면습윤지속시간을 측정하고, 비교를 위한 군락외부 기상자료는 실험포장으로부터 300m 떨어진 수원기상대로부터 얻어 분석한 바, 주요 결과는 다음과 같다.

1. 맑은 시간대의 군락내 평균 기온은 군락외부 기온보다 최대 3°C까지 낮았으며, 주간보다 야간의 기온차가 더 컸다. 노장과 군락내 기온차가 가장 작았던 시간대는 0900~1200시로서 1°C 내외의 차이가 있었다. 구름이 낀 시간대의 벼 군락내 기온도 백엽상 기온에 비해 지속적으로 낮았으나, 주·야간에 무관하게 거의 일정한 기온차(1~2°C)를 보였다.
2. 군락외부의 수증기압은 맑은 시간대의 경우 주간에 낮고 야간에 높은 경향이나, 군락내부의 수증기압은 주간에 높고 야간에 낮아 군락내외부 습도차는 주간에 컸다. 흐린 시간대에는 군락내부의 습도가 외부 관측노장에 비해 주야간에 무관하게 5~10% 정도 높은 값이 유지되었다.
3. 일중 군락내 최고 기온은 1300~1500시에 나타났으며 엽면적이 많았던 살림기산파구에서 29°C를 넘었으나 밀식에도 불구하고 엽면적이 적었던 손파종구에서는 28°C에 머물렀다. 무논골뿌림논의 기온은 주간의 경우 살림기산파와 손파종논의 중간정도이나 야간에는 손파종논과 비슷하였다.
4. 상대습도는 기온이 낮았던 손파종구에서 주·야간 모두 가장 높았으나, 기온이 가장 높았던 살림기산파구의 상대습도는 무논골뿌림구와

비슷한 정도였다. 상대습도는 2000시 이후 이틀날 0900시까지 90% 이상을 유지하였고, 1500~1600시에 70~80%로 가장 낮았다. 그러나 수증기압의 일중 최대값은 1200~1300시에 나타났다.

5. 군락내부 노점편차(DPD)는 손파종구에서 주·야간 지속적으로 작았고 무논골뿌림구에서 가장 컸다. 살림기산파구에서는 무논골뿌림구의 DPD와 거의 같거나 약간 낮았다. 습윤지속시간은 오전 중에는 한 시간당 0.7~0.8시간 이상으로 일정한 값을 유지하였으나, 오후에는 0.4시간까지 떨어져 변이가 심했다. 파종양식에 따른 습윤지속시간의 일중변화 양상은 상대습도나 DPD의 경향과는 일치하지 않았으며, 평균적인 엽면습윤지속시간은 살림기산파구에서 가장 짧았고 무논골뿌림구에서 가장 길었는데, 그 차이는 한 시간 정도였다.

## LITERATURE CITED

1. 조성인, 박은우, 황헌, 윤진일. 1996. 벼 주요 병 발생생태 구명 및 자료의 정보화기술연구. 교육부지원 거점연구소과제 연차보고서. p 102.
2. Gillespie T.J, Sribastava B and Pitblado R.E. 1993. Using operational weather data to schedule fungicide sprays on tomatoes in southern Ontario, Canadian Journal of Applied Meteorology 32:567-573.
3. 호남작물시험장. 1994. 벼 직파재배의 현황과 문제점 및 발전방향 (행정간행물 31232-518 72-77-9401). 농촌진흥청 호남작물시험장. p 100.
4. Hwang K.H and Yun J.I. 1992. Diurnal temperature profiles in an apple orchard on summer days. Research Collection of Institute of Food Development, Kyung Hee University 13:90-99.
5. \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 1996. Wet-dry transition resistance of leaf wetness sensors used in automated weather stations. Journal of Korean Meteorological Society 32(2):223-228.
6. I.R.R.I. 1980. Agrometeorology of the rice crop. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. p254.
7. Kim L.Y, Um K.T, Jo I.S and Kim H.B. 1991. Distribution of air, water and soil temperatures of paddy fields in Korea. Research Reports of R. D. A. (rice) 33(3):99-117.
8. Lee H.J, Yun J.I and Lee K.H. 1981. Diurnal changes in stomatal diffusion resistance and distribution of stomata on different leaf positions in barley and wheat. Korean J. Crop Sci. 26(1):45-50.
9. M.R.I. 1981. Studies on the micro-meteorological conditions and chilling injury of rice. Annual Report(MR 81-5), Meteorological Research Institute, Seoul, Korea. p230.
10. 윤진일, 신만용, 임준택, 황재문, 이순구. 1996. 주암 및 임하 다목적댐 건설에 따른 기후변화 조사(5). 한국수자원공사 용역연구 보고서. p642.