

종관자료를 이용한 벼 재배지대별 군락 내 기온 예측

윤영관 · 윤진일

경희대학교 생명자원과학연구원/농학과
(2001년 10월 17일 수락)

Using Synoptic Data to Predict Air Temperature within Rice Canopies across Geographic Areas

Young-Kwan Yoon and Jin I. Yun

*Department of Agronomy/Institute of Life Science and Natural Resources,
Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea
(Manuscript accepted October 17, 2001)*

ABSTRACT

This study was conducted to figure out temperature profiles of a partially developed paddy rice canopy, which are necessary to run plant disease forecasting models. Air temperature over and within the developing rice canopy was monitored from one month after transplanting (June 29) to just before heading (August 24) in 1999 and 2001. During the study period, the temporal march of the within-canopy profile was analyzed and an empirical formula was developed for simulating the profile. A partially developed rice canopy temperature seemed to be controlled mainly by the ambient temperature above the canopy and the water temperature beneath the canopy, and to some extent by the solar altitude, resulting in alternating isothermal and inversion structures. On sunny days, air temperature at the height of maximum leafages was increased at the same rate as the ambient temperature above the canopy after sunrise. Below the height, the temperature increase was delayed until the solar noon. Air temperature near the water surface varied much less than those of the outer- and the upper-canopy, which kept increasing by the time of daily maximum temperature observed at the nearby synoptic station. After sunset, cooling rate is much less at the lower canopy, resulting in an isothermal profile at around the midnight. A fairly consistent drop in temperature at rice paddies compared with the nearby synoptic weather stations across geographic areas and time of day was found. According to this result, a cooling by 0.6 to 1.2°C is expected over paddy rice fields compared with the officially reported temperature during the summer months. An empirical equation for simulating the temperature profile was formulated from the field observations. Given the temperature estimates at 150 cm above the canopy and the maximum deviation at the lowest layer, air temperature at any height within the canopy can be predicted by this equation. As an application, temperature surfaces at several heights within rice fields were produced over the southwestern plains in Korea at a 1 km by 1km grid spacing, where rice paddies were identified by a satellite image analysis. The outer canopy temperature was prepared by a lapse rate corrected spatial interpolation of the synoptic temperature observations combined with the hourly cooling rate over the rice paddies.

Key words : temperature profile, microclimate, rice, crop canopy, plant disease forecast, spatial interpolation, remote sensing

I. 서 언

기온, 습도, 바람, 강수량, 일사량 등 최소한의 기상 자료를 이용해서 작물의 생육과 수량을 예측하고자 하는 작물모형, 작물군락으로 부터의 증발산과 농경지의 물수지를 추정하는 수문모형, 해층의 비래시기 및 장소를 예측하는 대기경계층 모형 등 다양한 형태와 수준의 농업모형들이 농업경영상의 의사 지원 도구로 자리 잡아가고 있다. 특히 식물병 발생 및 피해정도의 예측을 목적으로 하는 병발생 모형들은 현재 외국의 경우 상용화 단계에 있으며(Aylor, 1999; Hatfield and Thomason, 1982), 국내에서도 벼, 감자, 고추 등을 대상으로 병반 확산 및 병의 진전도를 예측할 수 있는 실험적인 모형들이 개발되어 왔다(Kim and Park, 1988; Ahn et al., 1998; Choi et al., 1988). 공기감염성 식물 진균병 예측에 가장 자주 이용되는 기상요소는 군락 내 기온과 대기습도이다. 또한 이것과 밀접한 관련이 있는 잎, 줄기 등 식물체 표면의 결로 여부는 보다 정량적인 식물병 예측모형의 구동을 위해 반드시 필요한 요소로 인식되고 있다(Yun et al., 1998).

모형에 입력시킬 이들 시간별 기상자료는 포장 근처에 무인기상관측소를 설치, 운영함으로써 얻을 수 있다. 현재 많은 실험포장에서는 군락외부 표준기상 뿐만 아니라 벼 군락 내 온도, 습도, 엽면습윤까지도 측정할 수 있는 무인기상관측장비를 운용하고 있는데, 작물생장모형이나 병예찰모형들은 이러한 정확한 기상 자료를 토대로 시험장으로 대표되는 공간 범위 내에서 현재의 작물발육단계와 병 발생 가능성 여부 등 식물병 종합관리에 필요한 귀중한 정보를 생산해 낸다. 그러나 이러한 모형들의 입력자료인 기상자료가 농장이나 과수원에 서식하는 병원균이나 식물주변의 기상과는 크게 다른 곳에서 생산된 자료라면 이 모형으로부터 얻어지는 정보의 가치는 크게 떨어질 수 있다. 왜냐 하면 병 예찰모형은 대개 군락내 미기상 조건을 변화시키면서 특정 병 발생 양상을 관찰하여 얻은 경험적 모형이기 때문이다.

담수상태에서 재배되는 벼 군락내의 온도와 습도는 군락외부 대기의 그것과는 상당한 차이를 보인다. Yun et al.(1997)은 맑은 시간대의 군락내 평균 기온은 군락외부 기온보다 최대 3°C까지 낮았으며 주간보다 야간의 기온차가 더 커진다 하였다. 또한 노장과 군락내 기온차가 가장 작았던 시간대는 오전 9시부터 12시로

서 1°C 내외의 차이가 있었고 구름이 낀 시간대의 벼 군락내 기온도 백엽상 기온에 비해 지속적으로 낮았으나, 주·야간에 무관하게 거의 일정한 기온차를 보인다고 하였다. Lee et al.(1984)은 투광율이 높아 수온상승이 이루어지는 벼의 생육초기에는 수온이 관측 노장 백엽상 기온보다 높게 나타나며, 수면 바로 위 10 cm 층위의 기온이 30 cm 층위의 기온 보다 높게 나타나지만, 엽면적이 증가하여 일사가 차단되면 수온은 기온 보다 낮아지고 10 cm 층위의 기온이 30 cm 층위의 기온 보다 낮아지게 된다고 하였다. Yoon et al.(2000)은 출수기 이전의 벼 군락 내 기온 연직구조는 출수기 이후의 완전히 형성된 군락과 크게 다르며, 주로 수온과 군락외부 기온, 그리고 태양고도에 의해 결정된다고 하였다.

그러나 현재 사용되고 있는 병해충 예찰모형, 작물생장모형들은 군락내부의 기온과는 차이가 있는 표준기상관측소의 자료를 이용하고 있으며, 농가뿐 아니라 일부 연구기관에서도 인근 기상관서의 표준기상 자료를 수정 없이 자기 농장이나 실험포장의 기상값으로 대응하고 있다. 그렇다고 해서 모든 농가포장마다 미기상관측을 하는 것은 현실성이 없으며 경제성도 없는 일이므로 넓은 지역에 산재한 벼 군락내 기온을 예측하는 실용적인 방법을 찾아낸다면 모형을 이용한 의사결정과정에 크게 기여할 것이다.

벼의 생육기간 중 병 발생은 이앙기 이후 출수기까지인 생육중기에 집중적으로 일어나게 되므로 만약 군락 내 층위에 따른 기온분포에 근거한 정밀한 병 예찰모형의 구동을 목적으로 한다면 최고분얼기 이전의 기온구조에 대한 정보가 필요하다. 따라서 본 실험은 이앙기 이후 출수기 사이의 벼 포장을 대상으로 군락내부 기온의 층위별 분포양상을 정밀관측하고, 이를 토대로 표준기상관측소 자료 혹은 군락 외부 관측자료만으로 임의시기, 임의지점의 군락내부 기온을 추정할 수 있는 간단한 방법을 찾아내고자 하였다. 또한 식물병 관리는 지역성을 벗어나기 어려우므로 지리정보시스템 및 원격탐사자료의 활용을 통한 군락내부 기온추정법의 광역화 및 예찰모형의 광지역 적용을 위한 방법을 모색하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 벼 군락내부 기온자료 수집

경기도농업기술원 병 예찰포장에서 재배중인 추청벼

군락을 대상으로 1999년과 2001년 두 번에 걸쳐 이
양 한 달 뒤인 6월말 부터 출수 직후인 8월말까지
자체제작한 미기상관측장비를 설치하여 군락 내외부
기온의 연직분포를 조사하였다. 포장실험에 들어가기
전에 온도조절 챔버 내에서 센서간 비교실험을 실시하
였다. 사용된 미세선 열전대(fine wire thermocouple,
재질 chromel-constantan, 직경 0.003 mm)는 다른 기
온측정센서와 달리 기온변화에 따른 반응속도가 빨라
서 아직 온도평형이 이루어지지 않은 상내 환경에서는
기온의 공간적 변이가 측정오차로 전이될 수 있으므로
측정 30분전에 미리 상내 온도를 각각 20°C, 25°C,
30°C, 35°C로 일정하게 유지시켰다. 측정값은 다채널
데이터로거 CR21X(Campbell Scientific, USA)를 이
용하여 매 5초 간격으로 측정하고 그 1분 평균값을
계산하였다. 센서들 중 각 온도범위별 측정값의 표준
편차가 0.1°C 이내인 것만 선발하여 본실험에 사용하
였다.

미세선 열전대를 이양이 끝난 논에서 관개수면 위
10 cm부터 100 cm까지 10 cm 간격으로 설치하였고,
군락 외부의 기온값을 얻기 위해 250 cm 위치에 1개
를 추가로 설치하였다. 자료기록장치는 모든 전기적
회로가 외부환경과 완전 차단된 밀폐형으로서 장마철
또는 비는 같은 우리나라의 특수한 설치여건에서도 장
기운영이 가능한 CR10X(Campbell Scientific, USA)
를 이용하였다. 온도측정은 매 10초 간격으로 실시하
였고 그 10분 평균값을 취하였다.

군락외부의 중기후권 기상을 대표하는 자료로서 같
은 기간 중 수원기상대의 매시 기온, 운량, 일사량을
수집하였으며, 본 실험에서 수집한 군락 내부의 매시
기온자료는 수원기상대에서 수집한 운량과 일사량을
기준으로 전운량 3이하이며 일사량 20 MJ m⁻² 이상인
“맑은 날”과, 전 운량 8이상이며 일사량 10 MJ m⁻²
이하인 “흐린 날”, 그리고 강우량이 기록된 “비온 날”
등 셋으로 나누었다.

2.2. 기온 연직구조 추정모형

군락외부 날씨상태에 따라서 군락내부 기온변화 또
한 다를 것이므로 맑은 날, 흐린 날 그리고 비온 날
의 비 군락 각 층위별 기온의 경시변화를 일출 이후
기온이 증가하여 일중 최고값에 도달하기까지의 기온
상승국면(warming phase)과 이후 기온이 점차 감소하
는 기온하강국면(cooling phase)의 연속주기로 분류하

였다. 군락 외부의 기온경시 변화에 따라 군락내부 각
층위별로 나타나는 변화를 정량화 하기 위해 우선 군
락외부 기온을 대표하는 250 cm 기온과 군락내부 수
온의 영향을 직접적으로 받는 10 cm 기온간의 편차를
구했다. 다음에 이 편차의 경시변화 양상을 일중 시간
의 함수로 표현하고, 마지막으로 각 층위별 기온을 군
락외부 기온과 이 편차함수로 부터 추정할 수 있는
수식을 유도하였다.

유도된 수식이 실용성을 갖기 위해서는 정확한 군락
외부기온을 알아야 한다. 가장 쉽게 얻을 수 있는 기
온자료는 기상청 소속의 전국 70여개 기상관서에서 생
산한다. 그런데 기상관서의 관측노장에서 측정된 기온
값은 유도된 수식에서 요구하는 군락외부 기온과는 차
이가 있다. 관측노장은 항상 짧게 예취된 잔디로 덮여
있으며 가뭄이 심한 경우를 제외하고는 관개를 하지
않지만 비는 거의 전 생육기간 동안 일정 수심의
담수상태에 있기 때문이다. 서로 다른 지표 피복에 따
른 기온차이를 알아보기 위해 대구, 진주, 춘천, 전주,
광주, 청주, 수원, 대전 등 8개 시도 병 예찰포장에
설치된 무인기상관측장비(automated weather station :
AWS)와 이들 지역에 소재한 기상청 소속 관측소로
부터 매 3시간 간격 기온자료를 1999년 7월 1일 부
터 8월 31일까지 수집하여 비교하였다.

2.3. 남서부 벼 재배지대 적용

식물 병의 발생과 확산은 지역성이 강하며 이를 예
측하기 위해서는 병 예찰모형의 다지점 동시 적용이
필요하다. 즉 넓은 지역에 산재한 벼논의 군락내부 기
온값을 동시에 알아야 하며, 이를 위해서는 유도된 수
식에 입력할 군락외부 기온값 역시 공간자료 형태로
제공되어야 한다. 본 실험에서는 Yun *et al.*(2000)이
제시한 “고도보정 거리역산 내삽방법”에 의해 종관자
료만으로 우선 “가상지형” 상의 기온표면을 1 km×
1 km 해상도로 생성한 후, 벼논에 해당되는 지역만
발취하여 앞서 관찰된 8개 시도 벼논-관측노장 기온
편차 관계를 적용함으로써 군락외부 기온표면을 얻고
자 하였다.

실제적용을 위해 전라남북도 지역을 중심으로 하는
1만 3천 km²에 대하여 Yun *et al.*(2000)의 방법에
의해 기상청 정규관측소의 매 시간 관측값을 공간내삽
함으로써 초지로 덮여있는 가상지형상의 기온표면을
모의하였다. 다음에는 Hong *et al.*(2001)의 방법에 따

라 위성사진으로 부터 벼 재배지대만 선별하였는데, 1999년 4월부터 2000년 5월까지 청명한 날의 NOAA-AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 위성자료를 이용하여 식생지수(normalized difference vegetation index : NDVI)를 계산하였다. 무감독분류법에 의해 월별 피복종류를 삼림, 농경지, 도시, 수역 등으로 분류한 다음, 8월 중에 삼림으로 분류되었으나 5월에는 수역으로 분류되는 픽셀만 추출하여 벼논으로 간주하였다. 기상지형상의 기온표면 가운데 벼논으로 판정된 픽셀을 대상으로 기온 하강분을 보정하고, 군락내부 기온추정식을 적용하여 층위별 기온값을 추정하였다.

III. 결과 및 고찰

초장이 50~60 cm에 도달한 7월 중순 맑은 날 자료만으로 구성된 기온 연직구조가 Fig. 1이다. 군락외부의 기온 경시변화에 따른 군락내부의 기온 연직구조를 살펴보면, 이이 가장 무성한 곳을 중심으로 그 위쪽에서는 각 층위별 기온 편차가 거의 없으며 그 아래쪽으로는 수면으로 갈수록 기온이 지수함수적으로 감소한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 군락내부 최하층의 온도편차를 알 수 있다면 기온 연직구조의 경시변화를 모의할 수 있다.

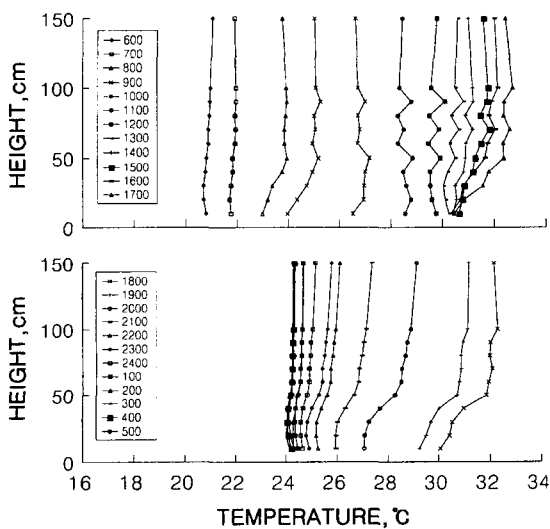


Fig. 1. Hourly profiles of air temperature over and within the paddy rice canopy during the warming (upper) and the cooling (lower) phase of 20 July 1999 (canopy height : 60 cm).

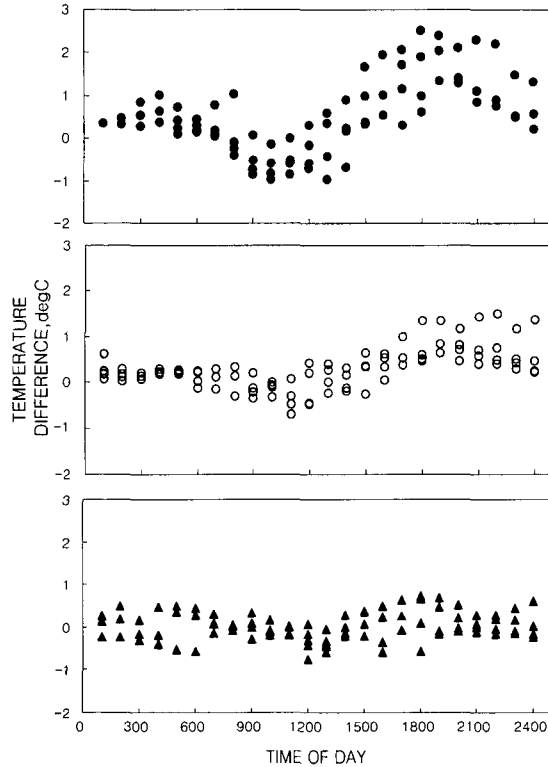


Fig. 2. Temporal march of the maximum deviation between the above canopy and the within canopy temperatures on sunny (top), cloudy (middle), and rainy days (bottom).

군락외부 150 cm 기온과 군락내부 수면 위 10 cm 기온간 차이를 비교해 보면 맑은 날에 가장 컸고 흐린 날 약 절반으로 감소하다가 비오는 날에는 사실상 변화가 없어졌다(Fig. 2). 맑은 날을 기준으로 보면 기온편차는 정오 부터 증가하기 시작하여 일몰 무렵 최대에 이르며, 이후 계속 감소하다가 자정 이후 부터는 감소율이 줄어든다. 오전 9시부터 13시까지는 오히려 군락외부 보다 수면 부근의 군락내부 기온이 더 높아 부의 편차를 보인다.

이러한 경향은 지속적으로 감소하는 아침 양상과 포물선으로 표현되는 오후 양상으로 설명할 수 있으며, 전체 변이의 약 90%를 설명할 수 있는 두 개의 비선형함수에 맞출 수 있다(Fig. 3).

군락내부 어떤 높이에서의 기온은 군락외부 기온과 군락내부 최하층의 기온편차에 의해 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$T_z = T_{150} - D_{max} e^{-0.03(z-10)} \tag{1}$$

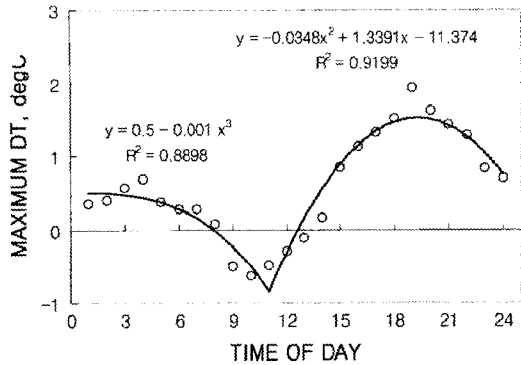


Fig. 3. Fitted curves for the maximum deviation on sunny days.

여기서 T_{150} 은 군락 상부 150 cm에서의 온도이며, z 는 수면으로 부터의 높이(단위: cm)이다. D_{max} 는 Fig. 3에서 설명된 것처럼 시간대에 따라 다음 두 가지 식에 의해 추정할 수 있다.

$$D_{max} = 0.5 - 0.001 Hr^2 \quad (\text{for } 01:00 \text{ to } 10:00 \text{ LST}) \quad (2)$$

$$D_{max} = -0.0348 Hr^2 + 1.3391 Hr - 11.374 \quad (\text{for } 11:00 \text{ to } 24:00 \text{ LST}) \quad (3)$$

맑은 날 군락내부 임의 높이에서의 기온은 이들 식에 의해 추정할 수 있으며 흐린 날의 경우 D_{max} 값을 절반으로 줄여서 적용하면 된다. 실제 측정된 T_{150} 값과 이 식들을 이용하여 1999년 7월 11일 군락내부 기온을 계산해 보면 실측치가 갖고 있는 일중 시간대별 기온 연직구조의 특성(isothermal, lapse, inversion)이 잘 표현하고 있음을 알 수 있다(Fig. 4).

벼 군락내부의 기온이 외부기온에 비해 지속적으로 낮다는 사실은 경험적으로 잘 알려져 있으며 정밀한 측정실험에 의해서도 확인된 바 있다(I.R.R.I., 1980; Kim *et al.*, 1991; Yun *et al.*, 1997). 대구, 전주, 춘천, 전주, 광주, 청주, 수원, 대전 등 8개 시도 병 예찰포장에 설치된 AWS와 각 예찰포장으로 부터 가장 가까이 위치한 기상관서로 부터 매 3시간 간격 기온 자료를 수집하여 비교한 결과 예상대로 벼논에서 항상 기온이 낮다는 사실을 확인하였다. 본 실험에 의하면 지표특성이 “짧게 예취된 잔디밭”으로 부터 “담수상태의 벼논”으로 바뀔 때 따라 생기는 기온의 하강폭은 전국적으로 0.6~1.2°C이며 평균 0.8±0.3°C이다(Fig. 5). 동일한 기상조건하에서도 관측노장과 벼논간에 순

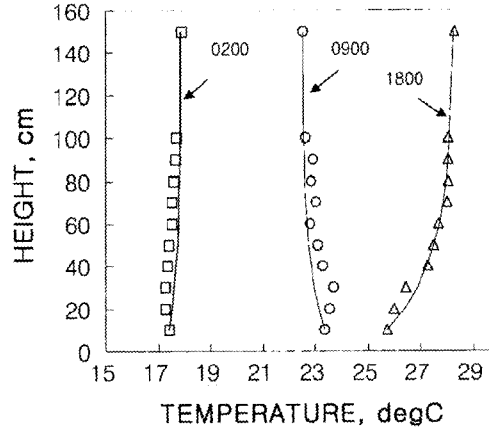


Fig. 4. Simulated temperature profiles at 02:00 (isothermal), 09:00 (lapse) and 18:00 LST (inversion) on July 11, 1999. Symbols are observed temperature data.

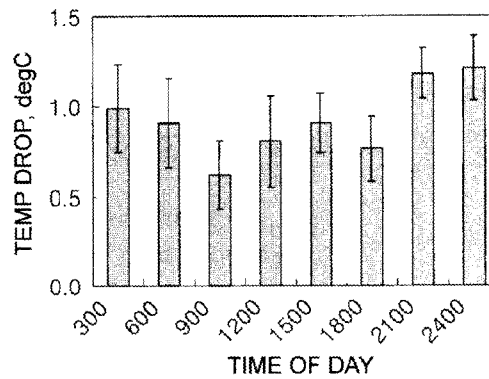


Fig. 5. Temperature drop averaged across the 8 experimental rice fields compared with the corresponding synoptic stations.

복사에너지의 차이가 존재하지만, 편의상 동일한 양으로 가정하고 관측노장과 벼논의 지표부근 기온을 결정하는 에너지수지를 예상해 보면, 벼 군락의 경우 순복사에너지의 용도 가운데 잠열과 저장열이 관측노장보다 훨씬 크고 현열성분은 작아진다(Uchijima, 1961; Iwakiri, 1965). 관측노장의 경우 순복사에너지 가운데 더 많은 부분이 기온상승의 구동력인 현열로 바뀔 수 있다.

남서부 평야지대를 대상으로 NOAA-AVHRR 위성 사진으로부터 추출한 벼논 특성의 픽셀에 한해 시간대별 기온 하강분을 보정하고 군락내 높이별 기온 추정 값을 얻을 수 있었다. Fig. 6은 그 중 1999년 7월 11일 14:00에 수면 위 30 cm 높이 기온을 보여준다 벼논의 위치를 파악하기 위해 사용된 위성영상의 공간

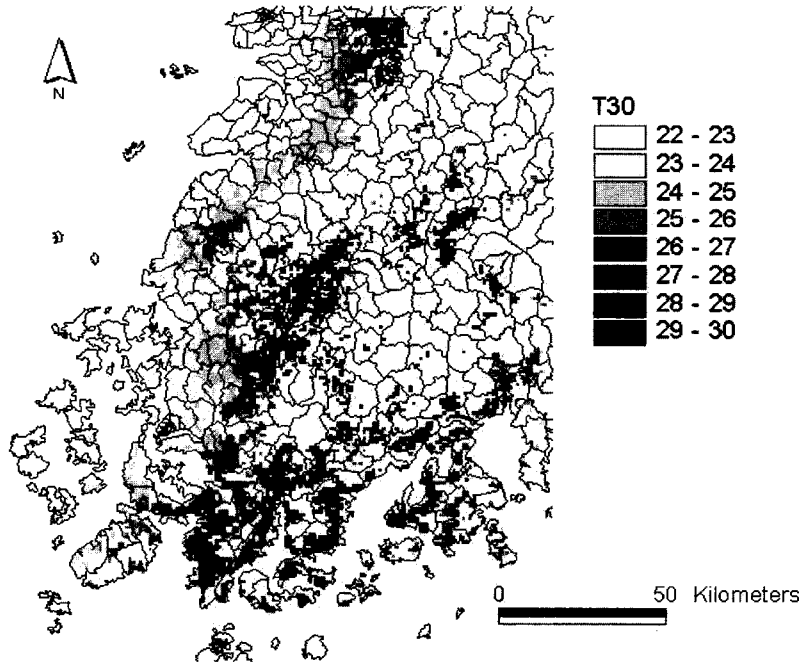


Fig. 6. Estimated temperature surface at 30 cm height within the rice fields in the southwestern region of Korea on July 6, 2000.

해상도가 1 km×1 km로서 우리나라의 농경지 규모에 비해 상대적으로 조방적이므로 실제 벼논의 분포와는 다를 수 있을 것이다. 하지만 이런 종류의 정보는 정확한 좌표값과 함께 주어지므로 식물병 예찰모형의 광역적 적용과 예찰결과의 공간적 분석에 큰 도움을 줄 것이다.

IV. 적 요

넓은 지역에 걸친 병 예찰모형의 동시 다지점 적용은 지역특이적 식물 병 관리체계 구축을 위한 전제조건이다. 예찰모형의 구동변수로서 군락내부 기온자료 역시 충분한 공간해상도와 공간범위로 준비되어야 한다. 생육중기의 벼 군락기온구조에 관한 실측정보를 토대로 만들어진 실용성 있는 광역 군락기온분포 예측 기법을 제시한다. 이양 후 한 달째부터 출수기까지 벼 군락 내 기온 연직구조의 경시변화를 관측하여 맑은 날, 흐린 날, 비오는 날의 군락외부기온(250 cm)과 군락내부기온(10 cm)간 편차의 경시변화양상을 정량화하였고, 이를 토대로 군락외부 기온값이 주어지면 군락내부 임의높이의 기온을 추정할 수 있는 경험식을 작성하였다. 벼논의 경우 맑은 날 인근 관측노장 대비

전국적으로 0.6~1.2°C 낮다는 사실을 근거로 기온 공간내삽시 지표피복 특성이 벼논인 경우의 보정량을 결정하였다. 전라남북도 지역을 대상으로 기상청 정규관측소의 매 시간 관측값을 공간내삽 함으로써 초치로 덮여있는 기상지형상의 기온표면을 1 km×1 km 해상도로 생성하였고, 위성영상자료의 분석을 통해 이들로부터 벼논에 해당되는 픽셀만 추출하여 기온 하강분을 보정함으로써 군락외부 기온을 준비하였다. 벼논특성을 가진 픽셀에 준비된 군락내부 기온추정식을 각각 적용하여 층위별 기온값을 추정하였다.

감사의 글

본 연구는 주저자(윤영관)의 경희대학교 농학과 석사학위 논문의 일부로서 수행되었으며, 한국과학재단 특정기초연구사업(1999-2-221-002-5)의 재정지원을 받아 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

인용문헌

Ahn, J. H., Y. I. Hahm and K. Y. Shin, 1998: Modeling for prediction of potato late blight progress. *Korean Journal*

- of Plant Pathology*, **14(4)**, 331-338.
- Aylor, D. E., 1999: Biophysical scaling and the passive dispersal of fungus spores: relationship to integrated pest management strategies. *Agricultural and Forest Meteorology* **97**, 275-292.
- Choi, W. J., E. W. Park and E. J. Lee, 1988: LEAFBLST : A computer simulation model for leaf blast development on rice. *Korean Journal of Plant Pathology* **4(1)**, 25-32.
- Hatfield, J. L. and I. J. Thomason (eds.), 1982: *Biometeorology in Integrated Pest Management*. Academic Press, New York, 491pp.
- Hong, S. Y., S. K. Rim, K. S. Lee, I. S. Jo and K. U. Kim, 2001: Estimation of rice-planted area using Landsat TM imagery in Dangjin-gun area. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**, 5-15.
- I.R.R.I., 1980: *Agrometeorology of the Rice Crop*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 254pp.
- Iwakiri, S., 1965: On the evapotranspiration from paddy field in a southern part of Kyushu. *Journal of Agricultural Meteorology* (Tokyo) **21**, 15-21.
- Kim, L. Y., K. T. Um, I. S. Jo and H. B. Kim, 1991: Distribution of air, water and soil temperatures of paddy fields in Korea. *Research Reports of Rural Development Administration* **33**, 99-117.
- Lee, J. T., Y. S. Jung, I. S. Ryu and B. C. Kim, 1984: Changes in temperature and light distribution in the rice crop canopy at the different growth stages, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* **17(2)**, 108-113.
- Uchijima, Z., 1961: On characteristics of heat balance of water layer under paddy plant cover. *Bulletin of National Institute of Agricultural Science* **8**, 243-265.
- Yoon, Y. K., J. I. Yun, K. R. Kim, E. W. Park, H. Hwang and S. I. Cho, 2000: Air temperature profile within a partially developed paddy rice canopy. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **2**, 204-208.
- Yun, J. I., J. Y. Choi, Y. K. Yoon and U. Chung, 2000: A spatial interpolation model for daily minimum temperature over mountainous region. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **2**, 175-182.
- Yun, J. I., J. C. Shin, Y. D. Yun, E. W. Park, S. I. Cho and H. Hwang, 1997: Canopy microclimate of water-seeding rice during elongation period. *Korean Journal Crop Science* **42(4)**, 473-482.
- Yun, J. I., K. S. Cho, H. Hwang, E. W. Park and S. I. Cho, 1998: Estimating microclimatic elements of a fully developed paddy rice canopy based on standard weather data. *Journal of Korean Meteorological Society* **34(2)**, 216-221.