

엽온도 측정을 통한 증발산량 산정

Estimating evapotranspiration using leaf temperature

이 훈 선* · 이 남 호(한경대)
Lee, Hoon Sun · Lee, Nam Ho

Abstract

This study was to evaluate the effect of leaf temperature on daily evapotranspiration of crop. A transpiring crop will be cooled by the vaporization of water to a temperature below that of the surrounding air. Leaf temperature was measured a infrared thermometer. Crop evapotranspiration was measured by the method of lysimeter. A statistical model for estimating evapotranspiration was developed and tested. It was showed that the model was applicable.

I. 서론

작물의 생산량 증대 방법과 최적의 생육조건 조성을 위해 작물의 생태를 파악하려는 노력이 계속 되어 왔다. 그 중에서 기본적인 작물의 체온 즉 엽온도에 관한 중요성이 인식되어 왔다. 엽온이란 잎의 표면온도의 측정에서 얻어지는 것으로 열전대나 서모스탯 등의 온도 센서가 주로 이용되며 최근에는 적외선 온도계의 개발로 식물의 엽온도 측정에 적외선 온도계가 많이 사용되고 작물의 water stress를 평가하는데도 적외선 온도계를 사용 작물 엽온도를 측정하여 사용하고 있다.

작물 상태를 작물생장에 방해되지 않는 방법으로 신속하게 측정이 이루어져야 하는데 지금까지의 방법들은 작물을 파괴적으로 손상 시킬 뿐만 아니라 시간과 인적 자원을 많이 필요로 했다. 뿐만 아니라 눈에 띄는 작물의 변화를 이용하여 작물의 상태를 파악할 경우 작물이상을 발견하고 이에 대처하기에는 너무 늦는 경우가 많다.

적외선 온도계의 사용은 작물의 수분 스트레스를 측정하기 위해 1963년 Tanner에 의해 처음 사용 되었고 Ehrler(1973)은 관개계획에 T_c 와 T_a 차이를 이용할 것을 제안하였다. Idso 등(1977)은 작물의 엽온도와 대기온도 차이는 계절별 물 사용량과 작물 수확량에 관계가 있다고 했다. 공기의 미흡 증기압, 풍속 및 습복사 등이 환경 변화에 대한 T_c-T_a 를 표준화하기 위해서 작물의 수분스트레스모델에 첨가 되어왔으며 이 작물 스트레스 지표는 스트레스의 시작은 추정할 수는 있지만 물의 사용량은 나타내지 못한다라고 했다.

(T_c-T_a)로부터 증발산량을 예측하는 방정식은 에너지수지 식의 여러 형태로 나타낼 수 있는

데 Bald와 Rosenberg(1976)는 순복사열, 토양열흐름, Tc-Ta 및 공기역학적저항과의 관계로 규명하였다. Jackson (1977)등은 하루 한번 측정된 엽온도로부터 증발산량을 산출했다.

본 연구는 엽온도와 대기온도의 차가 작물의 증발산량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실험을 실시하고 그 결과를 이용하여 증발산량 추정모형을 개발하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

본 연구를 위한 실험은 한경대학교 농촌공학과 실험포장에 설치된 폭 4m, 길이 6m, 높이 3m의 아치형 PC온실에서 2000년 6월 8일 ~ 7월 20일까지 실시하였다. Fig.1은 사용된 온실안의 전경이며 공시작물은 황금 배추로 하였으며 재배방식은 포트 재배로 하였다. 포트의 크기는 직경 25cm, 높이 30cm를 이용하였으며 총 포트의 수는 포트 4개를 1개조로 3개조 총 12개를 실시하였다. 3개조는 조별로 10일~15일 간격으로 정식 하여 배추의 생장에 따른 초기 증기 후기별로 차이를 관찰하였다. 측정은 정오에 실시되었다. 엽온도는 SATO의 적외선 온도계를 사용하여 측정하였으며 토양수분은 TDR을 이용하여 측정하였다. 증발산량은 포트 무게를 측정하여 일별로 산정 하였다.

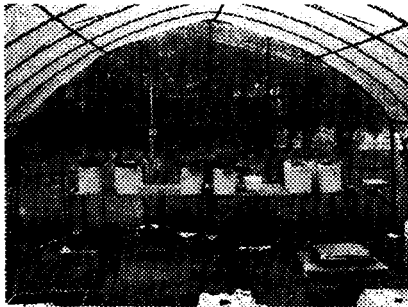


Fig.1 Layout in the greenhouse



Fig.2 Measuring canopy temperature

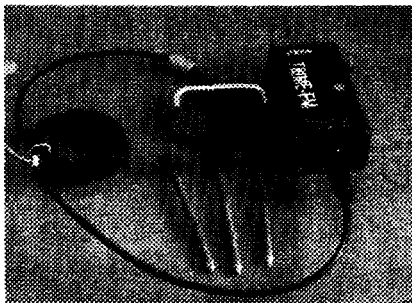


Fig.3 Time domain reflectometry



Fig.4 Infrared thermometry

Fig.2는 측정광경이고 Fig.3, Fig4는 이번 실험에 사용된 TDR과 적외선 온도계이다

III. 결과 및 고찰

1. Tc와 Ta의 분포

2000년 6월 8일 ~ 7월 20일 까지의 Tc와 Ta의 추이를 비교 한 것이다. Fig.5는 변화되는 추이가 Tc와 Ta가 거의 같은 패턴을 나타내고 있고 온도 분포는 20℃ ~ 45℃정도로 온실내부가 온도가 다소 높았음을 보여주고 Tc가 Ta보다 높은 경우는 작물이 수분 스트레스를 받은 경우로 6월 28일 경우 토양수분이 11.2%, 7월 3일의 경우는 8%로 배추가 생육하기에 부족한 토양 수분을 나타냈다.

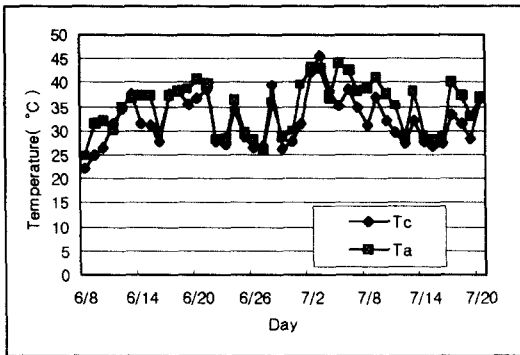


Fig. 5 Typical diurnal air temperature and canopy temperature pattern

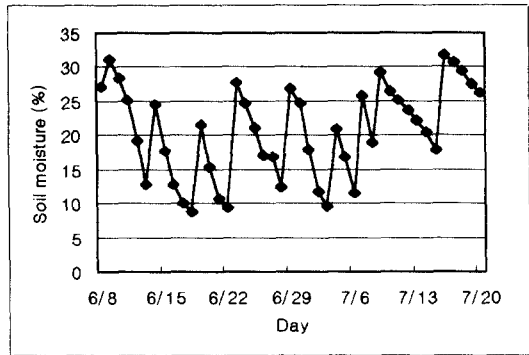


Fig. 6 Daily soil moisture variation

Fig.6은 일별 토양수분 변화를 그래프로 나타낸 것이며 급수 주기는 5~7일로 측정된 토양수분을 참고하여 배추 생육에 적당한 시기로 실시하였다. 대체적으로 토양수분은 10%내외에서 35%내외로 변화하였다.

3. Tc-Ta와 증발산량 관계

Fig.7~Fig.9는 Tc-Ta와 증발산량과의 상관관계를 분석한 그래프들이다. 실험이 한 여름 온실 내부 온도가 40℃를 웃도는 고온에서 이루어져 Tc-Ta값이 날씨가 맑은 경우 10℃ 안팎의 높은 값을 보이고 있으며 증발산량 또한 상당히 높은 값을 보이고 있다. 대체로 Tc-Ta의 값이 클수록 증발산량이 증가하는 결과를 보여 주고 있다. 여기서 (a),(b),(c)는 1차 정식, 2차정식, 3차정식을 표시한다.

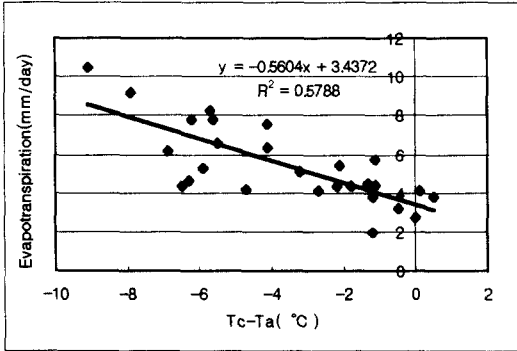


Fig. 7 Tc-Ta and ET relationship(a)

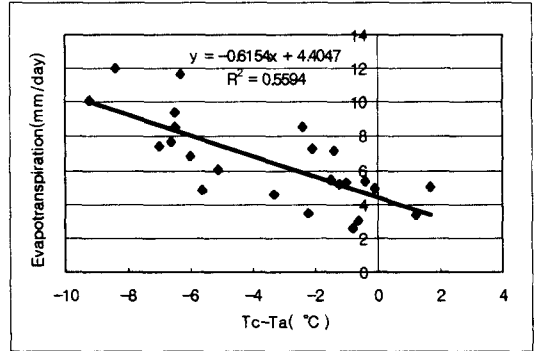


Fig. 8 Tc-Ta and ET relationship(b)

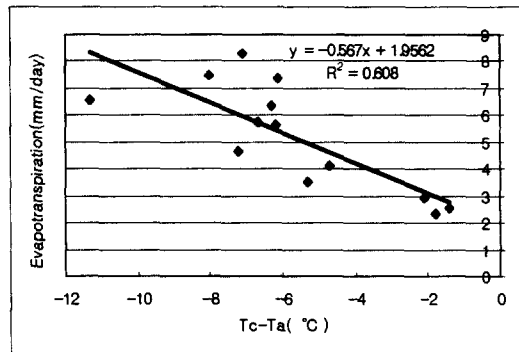


Fig. 9 Tc-Ta and ET relationship(c)

Fig.10~Fig.12는 급수 후 토양수분 함량의 저하에 따른 Tc-Ta의 변화를 보여 주고 있다. 토양수분 함량과 Tc-Ta의 관계는 음의 상관관계를 보여주고 있다.

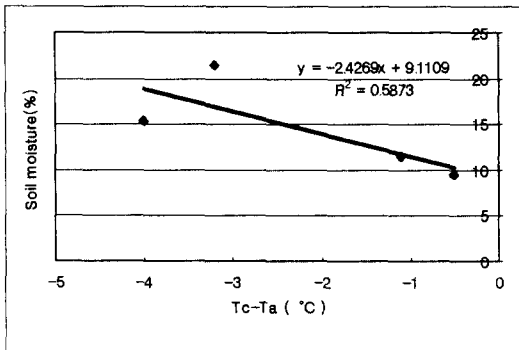


Fig.10 (Tc-Ta)and soil moisture relationship(a)

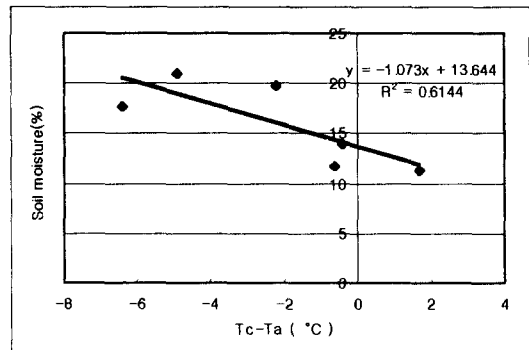


Fig. 11 (Tc-Ta)and soil moistur relationship(b)

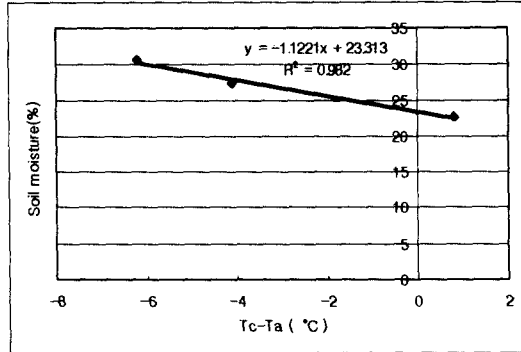


Fig. 12 (Tc-Ta) and soil moisture relationship(c)

4. 기상인자와 (Tc-Ta)를 이용한 추정 증발산량 산정 모형

증발산량 모형을 개발하기 위해 Tc-Ta, 습도, 일사량을 이용하여 다중회귀분석을 실시하였다. 실증발산량의 값은 포트 4개의 평균값을 사용했으며 다중회귀 분석 결과는 Table.1에 정리되어 있다.

Table. 1 기상인자와 증발산량과의 관계

class	Tc-Ta	Tc-Ta + 습도	Tc-Ta + 일사	Tc-Ta + 습도 + 일사
R ²	0.578	0.446	0.795	0.801

Table. 1에서 보는 것과 같이 Tc-Ta와 습도의 경우 결정계수가 가장 낮았고 가장 높은 Tc-Ta, 습도 및 일사를 고려한 경우의 추정 증발산량 통계모형이 가장 적합한 것으로 나타났으며 다음 식으로 나타내었다.

$$ET = -0.197 \times (Tc-Ta) + 4.577 \times Ra + 0.762 \times H + 2.4408 \quad \text{----- (1)}$$

여기서, ET = 추정 증발산량(mm/day)

Ra = 일사량(Kw/m²)

H = 습도(%)

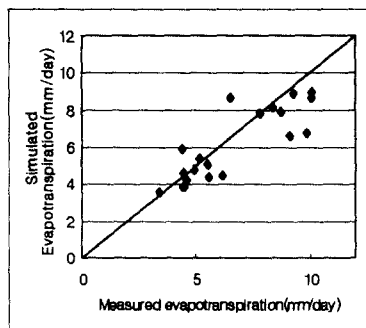


Fig. 13 Comparison of simulated and measured evapotranspiration

실측 Tc-Ta, 습도 및 일사량 자료와 식 (1)의 통계모형을 이용하여 모의 발생하였는데, 그 결과는 Fig.13에 도시되어 있다. 이때 RMS오차는 1.038mm/day였고 증발산량이 4~6mm/day 일 때 양호한 것으로 나타났다.

IV. 결론

1. Tc와 Ta는 평균적으로 Tc가 4℃정도 높으며 Ta가 높을 경우는 작물이 수분 스트레스를 받았을 경우에 나타난다.
2. Tc-Ta와 증발산량의 관계의 경우에는 대체로 Tc-Ta값이 클수록 증발산량이 증가한다.
3. 토양수분과 Tc-Ta는 음의 상관관계를 보이고 대체로 (Tc-Ta)값이 클수록 토양수분값 또한 큰 결과를 보여주고 있다.
4. Tc-Ta, 습도, 일사를 이용한 다중회귀 분석 결과를 이용하여 증발산량 산정 모형을 개발하고 그 적용성을 검토한 결과 모형은 사용 가능한 것으로 나타났다.

V. 참고문헌

1. 김광식 외, 1986, 농업기상학, 향문사
2. 김진현, 김철수, 구건호, 이기명, 1995, 마이크로컴퓨터에 의한 시설재배의 자동화에 관한 기초연구(3), 한국농업기계학회지 20(2)
3. 소선변, 이천우, 1986, 기상관측법, 교문사
4. 손정익, 김문기, 전기전자계측, 한국원예기술정보센터
5. 이석건, 1992 농업환경조절공학, 교보문고
6. 이규철, 류관희, 노상하, 홍순호, 1992, 완전제어형 실험용 작물생육장치의 개발(1)-온습도 제어 시스템, 한국농업기계학회지17(1)
7. 차종환, 김건수, 1987, 농림기상학, 선진문화사
8. Noble Abraham, P.S. Hema, E.k. Saritha, Shinoj Subramannian, 1999, Irrigation automation based on soil electrical conductivity and leaf temperature, agricultural water management 45(2000) pp.145~157
9. A.R. Mitchell, R.J. hanks, 1984, Predicting evapotration from canopy temperature, Advances in Evapotranspiration pp 114~121.
10. 이양수, 1998, 적외선 복사계를 이용한 벼 군락 표면온도 측정, 한국농화학회p.86
11. J. L. Hatfield, 1985, Evapotranspiration obtained from remote sensing methods, Advances in irrigation, Daniel Hillel pp.403~410.