

시설내의 기준작물 증발산량 산정모형의 개발

A Model for Estimating Reference Crop Evapotranspiration in the Greenhouse

이 남 호* · 오 승 태**
Lee Nam Ho · Oh Seung Tae

Abstract

In order to provide basic information for the estimation of reference crop evapotranspiration in the greenhouse, an experiment was performed. Daily evapotranspiration of the reference crop was measured using lysimeters. Kentucky Blue Grass was used as a reference crop. Climatic elements in the greenhouse such as air temperature, relative humidity, and radiation were measured. The influence of each climatic element on the evapotranspiration were analyzed. A multi-regression model for the estimation of reference crop evapotranspiration in the greenhouse was developed and tested. Simulated evapotranspiration by the model were in good agreement with measured evapotranspiration.

I. 서 론

시설재배의 필요성이 고조되면서 시설재배면적이 증가되고 있는데, 이와 같은 시설재배의 양적인 증가에 맞추어 질 높은 생산기술이 요구되고 있다. 온실 내에서 작물을 재배하는 것은 가장 집약적인 농업생산활동의 하나이고 이의 생산기반은 거의 인공적이거나 인간에 의해 만들어지는 특성을 갖고 있다. 따라서 인위적인 환경조절이 생산량을 결정하는 직접적인 요인으로 작용하고 있는데, 이들 환경요인 중에서 적정 토양수분의 유지는 식물의 일차적인 생존과 관련되어 있다. 시설재배를 위한 관개는 노지재배와 같이 우선 강우량을 이용하고 부족 되는 보충수를 공급한다는 개념과 달리 필요한 전량의 물을 공급해야 한다는 측

면에서 더욱 적절한 관리가 요구된다.

비료를 물과 동시에 공급하는 경우에 부적절한 물관리는 물과 비료의 과다·과소 사용에 따른 경제적·환경적 문제를 야기 할 수 있다. 따라서 적절한 물관리가 이루어 지기 위해서는 재배작물의 증발산량이 규명되고 이에 의해 적절한 관개가 이루어지는 것이 중요하다. 또한 정확한 증발산량의 예측은 시설재배를 위한 관개용수원의 규모 결정, 관개시설의 규모결정 및 이들의 운영관리에 필수적이다. 노지재배를 위한 증발산량산정에는 많은 연구결과들이 제시되어 오고 있으나 노지와는 작물의 생육환경이 다른 시설내에서의 증발산량에 관한 연구는 매우 적다.

노지의 증발산량을 추정하기 위해서는 일반적으로 잔디나 안파파를 기준작물로 한 증발산량과 작

*한경대학교 농촌공학과

**한경대학교 대학원

키워드 : 기준작물 증발산량, 시설내 증발산량, 라이시미터, 증발산량 모형

물별 작물계수를 이용하고 있다. 노지에 대한 기준작물 증발산량은 Blaney & Criddle, Penman, Hargreaves, Jensen & Haije 등에 의해서 그 추정 방법들이 제시되었고 또한 국내의 적으로 많은 작물에 대한 작물계수들이 제시되고 있다.

시설재배에 의한 증발산량은 일부 실측된 예가 있으나 시설환경이나 재배방식들을 고려해서 정량적으로 파악된 예는 거의 찾아 볼 수 없다. 시설재배가 발달된 일본의 경우에는 토마토, 메론, 오이, 상추, 샐러드 및 화훼 등에 대한 생육 시기별 평균일 증발산량과 증발산비 등이 제시되고 있다(鵬田福也, 1997). 우리나라의 경우는 허(1997)는 시설내 환경요인과 오이의 증발산량과의 관계를 조사하여 회귀 모형을 개발한 바 있고 남 등(1998)은 시설재배 상추 및 오이의 재배방식 및 생육단계별 증발산량을 실측조사 하였다. 특히 국내의 적으로 시설 내에서의 증발산량을 추정하기 위한 기준작물 증발산량의 개념이 도입된 적이 없는 실정이다.

본 연구는 시설 내에서의 관개시설의 계획 및 운영에 활용할수 있는 기초자료를 제공하기 위해서 온실 내에서 잔디를 이용하여 기준작물 증발산량을 측정하고 이를 추정 할 수 있는 모형을 개발하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 경기도 안성시에 위치한 한경대학교

농촌공학과와 PE 온실(Fig. 1 참조)이 사용되었다. 기준작물로는 한지용인 Kentucky Blue Grass (*Poa pratensis*)가 사용되었는데 Fig. 2 와 같이 온실 전면적에 걸쳐 잔디가 식재되었다. 기준작물의 증발산량은 Fig. 3 과 같은 라이시메타를 이용하여 매일 오전 10시에 1회 측정되었다. 기준작물의 증발산량과 외부환경인자와 내부환경인자의 관계규명을 위하여 환경인자들이 측정되었는데, 외부 환경인자로는 강우, 풍속, 온도, 습도, 일사량, 증발계증발량, 내부 환경인자로는 온실내의 온도, 습도, 일사량, 증발계증발량 등이 측정되었다. 실험은 1999년 3월1일부터 2000년 2월 28일까지 실시되었다.

실측한 기준작물의 증발산량에 대한 각 환경인자들의 영향을 분석하여 중요한 환경인자를 도출하기 위해서, 계절별 환경인자별 상관분석을 실시

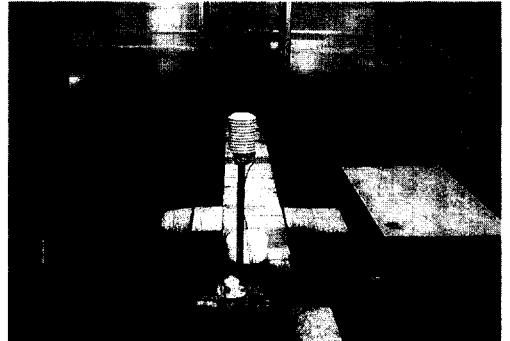


Fig. 2 Inside view of greenhouse



Fig. 1 Greenhouse used for experiment

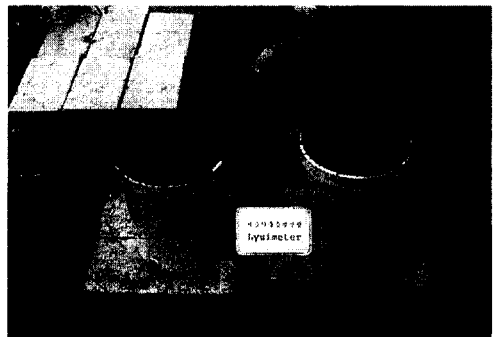


Fig. 3 Lysimeter

하였다. 기준작물 증발산량의 추정을 위한 모형을 개발하기 위해서 환경인자들을 고려한 다중회귀분석이 이루어 졌다. 또한 추후 개발 예정인 전산모형의 구성에 필요한 기초 자료로 활용하기 위하여 현재 개발되어 노지의 기준작물 증발산량의 산정에 사용되고 있는 공식들의 적용 가능성을 검토하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 환경인자와 실측 기준작물 증발산량과의 관계

가. 온실내부환경인자

1) 기 온

온실내부의 기온이 기준작물 증발산량에 미치는 영향을 분석한 결과는 Fig. 4와 Table 1 에 도시되었다. 봄 기간에는 기온이 R^2 가 0.49로 가장 높은 상관성을 보이고 그 다음으로는 겨울, 가을 여름 순으로 상관성을 나타내고 있다. 여름에는 R^2 가 0.02로서 가장 낮은 상관성을 나타내고 있는데

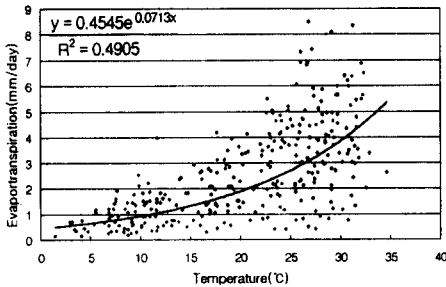
이는 온실내부의 온도가 25~32°의 범위 내에 주로 형성되고 있는 반면에 증발산량은 0~9mm/d의 큰 변화를 보이고 있어 온도의 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 연구기간 1년간의 온도의 영향은 R^2 가 0.49로 나타났다.

2) 습 도

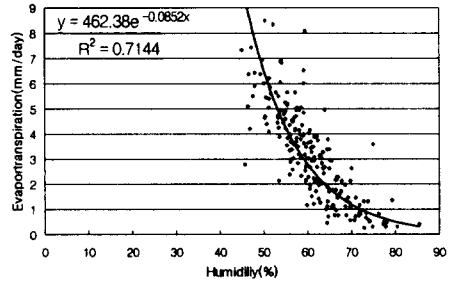
온실내부의 습도가 기준작물 증발산량에 미치는 영향을 분석한 결과는 봄기간의 습도가 R^2 가 0.81로 가장 높은 상관성을 보이고 그 다음으로는 가을, 여름, 겨울 순으로 상관성을 나타내고 있다.

Table 1 Relation between reference crop ET and seasonal environmental elements in a greenhouse (R^2)

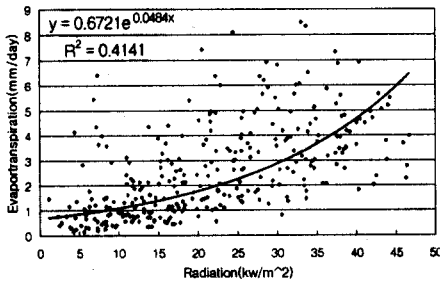
Season	Temperature	Humidity	Radiation	Pan evaporation
Spring	0.489	0.812	0.829	0.923
Summer	0.02	0.683	0.366	0.815
Autumn	0.229	0.711	0.051	0.575
Winter	0.269	0.025	0.297	0.529
A term measurement	0.491	0.714	0.414	0.810



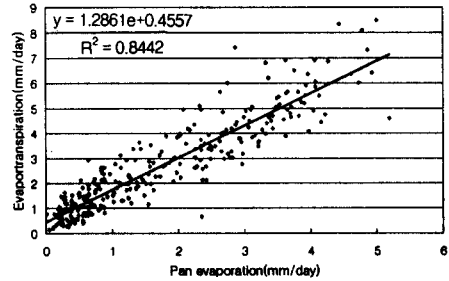
(a) Temperature



(b) Humidity



(c) Radiation



(d) Pan evaporation

Fig. 4 Relation between reference crop ET and environmental elements of a term measurement in a greenhouse

겨울에는 R^2 가 0.03을 나타내고 있는데 측정기간의 습도의 영향은 R^2 0.71로서 매우 높은 상관관계를 보이고 있다. 습도의 증가에 따라서 증발산량의 감소가 나타나고 있다.

3) 일사량

기온과 습도의 경우와 마찬가지로 봄기간에 R^2 가 0.83으로 가장 높은 상관성을 보이고 그 다음으로는 여름, 겨울, 가을 순으로 상관성을 나타내고 있다. 가을에는 R^2 가 0.05로 낮은 상관성을 나타내고 있고 전기간의 일사량의 영향은 R^2 0.41의 상관관계를 보이고 있다.

4) 증발계증발량

Table 1에서 보면 기온, 습도 및 일사량의 경우와 마찬가지로 봄기간에 R^2 가 0.92로 가장 높은 상관성을 보이고 그 다음으로는 여름, 가을, 겨울 순으로 상관성을 나타내고 있다. 계절별로 결정계수가 0.53~0.92로 대체적으로 높은 상관성을 전기간의 영향은 R^2 0.81로 환경인자 중에서 가장 높

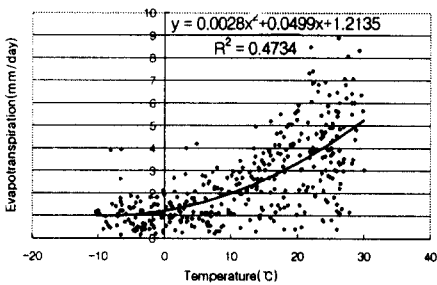
은 값을 보이고 있다. Fig. 4에 분석결과가 도시되어 있다.

나. 외부환경인자

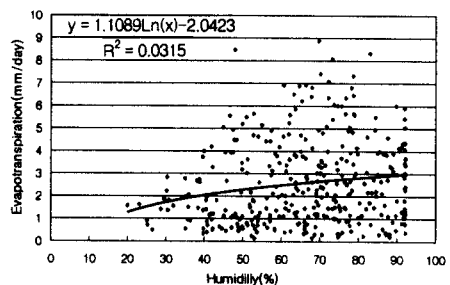
외부의 기온과 온실내에서의 기준작물 증발산량과의 관계를 전기간에 걸쳐 도시한 결과 Fig. 5(a)와 같다. 내부기온의 경우와 같은 경향을 보이고 있으나 R^2 이 0.473으로 나타나고 있다. 외부 습도와 기준작물 증발산량과의 관계는 Fig. 5(b)에 도시되었다. 외부습도는 내부습도의 경우와 다르게 나타났다. 기준작물의 증발산량과 R^2 0.032로 상관성이 전혀 없는 것으로 나타났다. Fig. 5(c)에

Table 2 Relation between reference crop ET and climatic elements (R^2)

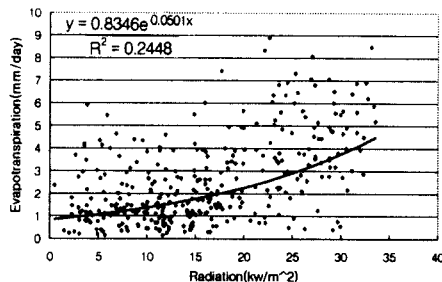
Climatic Elements	Temperature	Humidity	Radiation
Indoor	0.491	0.714	0.414
Outdoor	0.473	0.032	0.245



(a) Temperature



(b) Humidity



(c) Radiation

Fig. 5 Relation between reference crop ET and outdoor environmental elements

서 보는 것과 같이 외부일사량은 내부일사량과 비슷한 경향을 보이고 있으나 온실내부의 기준작물의 증발산량과 상관이 낮아 R^2 0.245로 나타났다.

Table. 2는 외부기상인자와 내부기상인자를 비교한 것으로 온실내의 기준작물의 증발산량은 대체적으로 온도를 제외하고는 외부기상인자와는 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

2. 노지의 기준작물 증발산량 산정공식의 적용성

노지작물의 증발산량 산정에 널리 쓰이고 있는 Penman공식과 Blaney-Criddle 공식이 시설작물의 증발산량 산정에 적용 가능한가를 검토하였다. Penman 공식은 온실내부의 기상인자들 만으로는 적용할 수 없어 외부기상자료들을 사용하였고, Blaney-Criddle 공식의 적용에는 내부기상과 외부기상 자료가 각각 사용되었다.

가. Penman 공식의 적용

본 연구에서는 FAO 수정 Penman 공식이 사용되었고 기상자료는 시험포장에 설치된 종합기상장치에서 측정된 값과 안성시 농업기술관리센터에서 측정된 값을 사용하였다. Penman 공식과 기상자료를 이용하여 증발산량을 추정하고 이를 실측 기준작물 증발산량과 비교한 결과를 Fig. 6에 도시하였다.

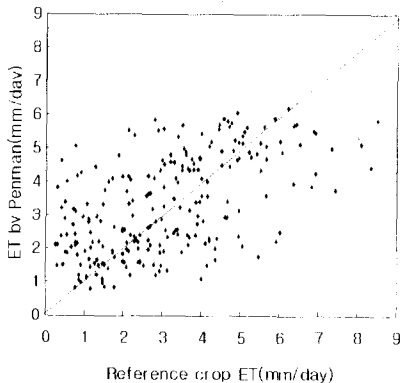


Fig. 6 Relation between reference crop ET and Penman ET

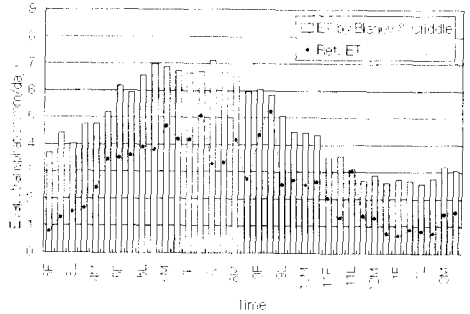


Fig. 7 ET by Blaney & Criddle method using environmental elements in a greenhouse

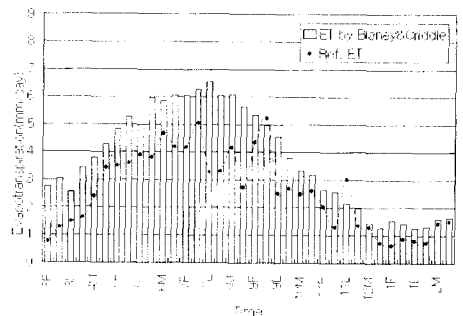


Fig. 8 ET by Blaney & Criddle method using outdoor environmental elements

나. Blaney-Criddle 공식의 적용

실측된 온실내부 및 외부 기상자료자료를 이용하고 SCS수정 Blaney-Criddle 공식을 사용하여 순별 일평균 증발산량을 계산하고 그 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 7은 온실내부의 기상인자를 사용하여 산정한 순별 일평균 증발산량을 실측 기준작물 증발산량과 비교한 것이고, Fig. 8은 외부기상인자를 사용한 결과이다. 외부기상인자를 사용한 결과가 내부인자를 사용한 결과 보다 큰 값을 보이는데 이는 온실 내부의 온도가 외부 온도 보다 일반적으로 높기 때문인 것으로 판단된다.

3. 기준작물 증발산량 산정모형의 개발

실측한 기준작물의 증발산량과 각종 내부기상인자를 이용하여 기준작물 증발산량 산정모형을 개발하기 위해서 다중회귀분석을 실시하였다. 그 결

과는 기상인자로 기온, 습도, 일사량을 고려한 모형이 가장 적합한 것으로 나타났다. 다중회귀분석 결과에 의한 통계모형은 다음 식과 같다.

$$ET_{ref} = 0.069T - 0.162H + 0.015R_a + 11.015 \dots\dots\dots (1)$$

여기서, ET_{ref} = 기준작물 증발산량(mm/d)

T = 일평균 기온(°C)

H = 일평균 상대습도(%)

R_a = 일평균 일사량(kW/m²)

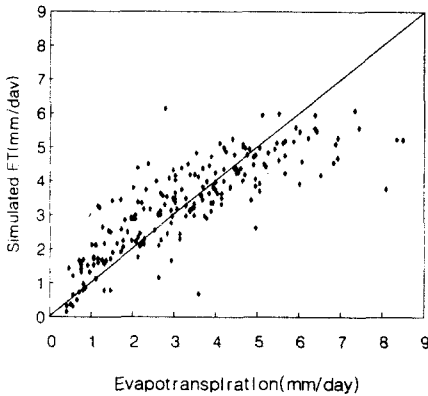


Fig. 9 Comparison between measured ET and simulated ET

(1)식과 기상자료를 이용하여 모의발생한 증발산량을 실측증발산량과 비교한 결과를 도시하면 Fig. 9와 같고 이때 RMS 오차는 0.85mm/d 였다. 그림에서 보면 개발된 기준작물 증발산량 산정모형은 일차적으로 사용가능한 것으로 나타났다. 그러나 지속적인 기준작물 증발산량 측정이 요구된다.

IV. 결 론

본 연구는 시설 내에서의 관개시설의 계획 및 운영에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하기 위해서 온실 내에서 잔디를 이용하여 기준작물 증발산

량을 측정하고, 온실의 환경인자들의 기준작물 증발산량에 대한 영향을 분석하고, 기준작물 증발산량을 추정 할 수 있는 모형을 개발하는 것을 목적으로 실시되었는데 그 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기준작물 증발산량은 기상인자들에 의해 영향을 받는데 그 영향의 정도는 계절별로 변화하는 것으로 나타났다.
2. 온실내부기상인자들 중에서 기준작물 증발산량에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 습도이고 그 다음으로는 기온, 일사량의 순으로 나타났다.
3. 온실내부의 증발계 증발량은 온도, 습도, 일사량 등의 기상인자들 보다 매우 높은 상관성 ($R^2=0.81$)을 갖는 것으로 나타났다.
4. 온실외부의 환경인자는 온도를 제외하고는 온실내의 기준작물 증발산량과는 상관성이 없는 것으로 나타났다.
5. 노지의 기준작물 일증발산량 산정모형인 Penman 공식은 온실내에서는 증발산량의 변화를 잘 나타내지 못하고, 월증발산량 산정모형인 Blaney-Criddle 공식은 실측치 보다 높은 값을 보이나 비슷한 변화 형태를 보이고 있다.
6. 다중회귀분석 결과에 의해 선정된 기준작물 증발산량 산정모형은 사용 가능한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김문기의, 1997, 원예시설의 환경설계기준 작성 연구, 농어촌진흥공사.
2. 남상운, 이남호, 전우정, 황한철, 홍성구, 허연정, 1998, 시설재배 상추 및 오이의 재배방식별 증발산량, 한국생물생산시설환경학회 6(3) : 168-175.
3. 정현교, 이기명, 박규식, 1996, 경북지역 현대화 원예시설의 관리실태 조사분석, 한국생물생산시설환경학회 5(2) : 174-186.
4. 허노열, 1997, 시설내 원예작물의 합리적인 물 관리, 시설원예 관수와 시비기술 심포지엄 :

- 57-103.
5. 鵬田福也, 1997, 원예시설내의 수분순환과 소비특성, 시설원예 관수와 시비기술 심포지엄 : 25-41.
 6. 이근후, 윤용철, 서원명, 1999, 온실재배작물인 봄 배추의 소비수량에 관한 고찰, 농업연구소 보 제33호, 경상대 농업자원이용연구소.
 7. 윤용철, 서원명, 이근후, 2000, 온실재배 파리 고추의 필요수량, 한국농공학회지 42(4) : 59-66.
 8. Aldrich, R.A. and Bartok, J.W., 1992, Greenhouse engineering. NRAES-33. pp.212.
 9. Doorenbos, J., and W. O. Pruitt, 1977, Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage paper 24, FAO, United Nations.
 10. NRAES, 1994, Greenhouse systems : automation, culture, & environment. Proc. greenhouse systems international conference, New Jersey, July 20-22, 1994. pp.301.
 11. Reed, D.W., 1996, Water, media, nutrition for greenhouse crops, Ball Publishing, pp.1-29.
 12. Weiler, T.C., 1996, Water and nutrient management for greenhouse. NRAES-56. pp.102