

담수직파재배 논벼의 기준작물 잠재증발산량 산정방법별 작물계수의 변화

Variation of Crop Coefficient With Respect to the Reference Crop Evapotranspiration Estimation Methods in Poned Direct Seeding Paddy Rice

정 상 옥
Chung, Sang Ok

Summary

In order to provide basic information for the estimation of evapotranspiration in the ponded direct seeding paddy field, both field lysimeter experiment and model prediction were performed to estimate daily ET. Various methods were used to predict daily reference crop ET and crop coefficients. Measured mean daily ET during the 1995 growing season varied from 5.9 to 6.1 mm depending on the species, while it varied from 5.1 to 5.5 mm in 1996. Model predicted mean daily ET during the 1995 growing season varied from 3.9 to 4.9 mm depending on the prediction model, while it varied from 3.5 to 4.7 mm in 1996. The smaller ET values both measured and predicted in 1996 were caused by the low values of temperature, sunshine hours, and solar radiation. Crop coefficients varied from 1.20 to 1.50 in 1995 depending on the prediction model, while it varied from 1.10 to 1.47 in 1996. Comparison of the seven reference crop ET prediction methods used in this study shows that the Penman-Monteith method and the FAO-Radiation method gave the lowest ET while the corrected Penman method and the Hargreaves method gave the largest ET. Since crop coefficients vary to a large extent based on the prediction methods, reference crop ET prediction method should be carefully selected in irrigation planning.

I. 서 론

관개용수원 개발과 관개수로 및 구조물 설계를 위하여는 먼저 작물 소비수량을 산정하

여야 한다. 작물 소비수량은 증발산량과 침투량으로부터 구할 수 있다. 증발산량은 실측에 의한 방법과 여러가지 방법에 의하여 기준작물 잠재증발산량을 추정하고 여기에 작물계수

를 곱하여 구하는 방법이 있다. 후자가 매우 편리한 방법이기 때문에 실제 관계계획 수립 시 일반적으로 사용되는 방법이다.

증발산량에 대한 연구는 국내외에서 오래 전부터 수행되어 오고있다. 우리나라에서는 60-70년대에 농업차관 도입을 위하여 Blaney-Criddle 식을 주로 사용하였으며, 근래에와서 기상자료의 획득이 용이해지므로 Penman식을 많이 사용하고 있는 실정이다.

한편, 우리나라에서는 노동력 절감과 생산비 절감을 위하여 벼 직파재배 면적이 점차 확대되고 있으며 1996년에는 벼 총 재배면적 1,091천ha의 10%에 해당하는 110천ha가 직파재배 한 것으로 조사되었다. 이러한 직파재배시에는 이앙재배에 비해 전체 관개기간 동안의 관개용수가 더 많이 필요한 것으로 보고되었다(농림부, 1996). 강(1995)은 직파재배면적의 증대계획에 대비하여 추가로 소요되는 관개용수원 수원공 개발에 최대한의 노력이 필요하다고 주장하였다. Murugaboopathi 등(1991)은 일본에서 지하관개시설이 되어있는 대구직 직파재배 논에서의 노동생산성 향상을 연구한 결과 1ha당 300시간의 노동시간 절감 효과를 얻을 수 있었다고 보고하였다. Allen(1986) 및 Allen 등(1989, 1992, 1994a,b)은 증발산량 분야에 많은 연구를 해오고 있으며, 특히 Allen 등(1994a,b)은 기준작물 잠재증발산량에 대한 새로운 정의와 계산방법을 보고하였다.

본 연구에서는 기준작물 잠재증발산량의 추정방법별 작물계수를 구하고 서로 비교함으로써 앞으로 직파재배 논에서의 증발산량 산정 기초자료를 제공하는 것이 기본 목적이다. 본 연구의 내용은 실험포장에서 직파재배 벼의 일별 증발산량 관측, 여러 가지 기준작물 잠재증발산량 추정방법에 의한 기준작물 잠재증발산량 추정 및 이들로부터 작물계수의 산정으로 이루어진다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 관측

벼 생육재배 시험은 대구시 북구 산격동 소재 경북대학교 농과대학 부속농장 답작시험포에서 수행하였다. 시험구역의 크기는 9m×12m이며, 공시품종은 경북지방에서 많이 재배되는 조생종, 중생종, 중만생종 품종인 상주, 일품, 영남벼를 선정하여 담수직파 방법에 의해 재배하였다. Fig. 1은 시험포장 배치도를 보여주고 있으며, Table-1은 시험포장 토양에 대한 이화학적 특성을 보여주고 있다.

증발산량은 marriotte tube가 부착된 직경 20cm의 유저형 라이시미터를 이용하여 3회반복하여 관측하였다. 관측시설은 참고문헌 3에 상세히 설명되어 있다. 일별 증발산량 관측은 매일 오전 9시경에 실시하였으며 marriotte tube내의 물감소량을 측정하여 증발산량을 계산하였다.

잠재증발산량 산정에 필요한 기상자료는 시험포장에서 약 700m 떨어진 대구기상대 자료를 이용하였다. Table-2는 1995, 1996 2년간의 대구지방 순별 기상자료를 보여주고 있다.

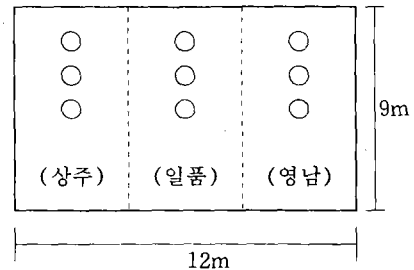


Fig. 1. Layout of the experimental plot with lysimeters

Table-1. Physical and chemical properties of the soil

pH	OM	Sieve analysis			Texture
		sand	silt	clay	
6.2	1.43%	29%	34%	37%	silty loam

Table-2. Climatologic data at the Taegu weather station

Year	10-day	T _{ave}	T _{max} °C	T _{min} °C	T _{dew} °C	RH _{mean} %	RH _{min} %	WS m/s	P _{preci} mm	SH hr	Rad MJ/m ²
1995	June F	19.7	25.9	14.8	11.1	60.3	39.9	3.4	3.4	7.8	18.8
	M	20.7	26.6	16.2	12.7	62.2	42.0	3.3	0.6	6.3	16.5
	L	23.2	29.1	18.4	14.7	60.8	37.7	2.9	2.8	6.5	16.6
	July F	24.8	28.5	21.7	18.0	67.2	50.6	2.0	4.0	3.3	10.8
	M	27.1	31.5	23.5	21.2	71.3	54.3	3.5	1.3	4.9	14.8
	L	28.1	33.5	23.8	22.5	72.9	51.2	2.9	6.4	7.5	17.1
	Aug F	30.4	36.2	25.6	23.4	68.2	45.5	3.3	2.1	9.3	20.8
	M	29.4	35.5	24.7	23.7	73.5	48.7	2.4	4.1	7.4	15.6
	L	26.2	30.7	22.9	22.7	82.2	61.0	2.3	18.1	4.1	11.1
	Mean	25.3	30.5	21.1	18.9	69.6	48.9	2.8	4.4	6.1	15.2
1996	May L	21.7	28.4	15.3	12.5	58.5	37.3	2.2	1.1	8.3	16.1
	June F	21.9	27.8	17.4	14.5	66.8	46.6	2.8	5.8	5.7	13.3
	M	23.4	28.1	19.4	17.4	70.7	50.9	2.5	11.4	4.5	11.5
	L	21.7	25.1	18.8	17.1	76.2	62.6	3.0	14.1	2.0	9.3
	July F	20.9	25.5	17.9	15.5	72.7	55.9	3.7	4.9	4.7	13.2
	M	25.1	29.9	21.2	19.0	70.5	52.6	2.7	6.0	4.6	12.5
	L	29.6	34.9	25.3	22.3	66.6	44.3	2.7	1.0	7.7	16.9
	Aug F	29.1	35.5	24.4	21.2	64.5	41.6	3.3	0.5	8.1	18.5
	M	28.8	35.2	23.6	20.2	61.9	36.8	2.7	1.3	8.7	18.1
	L	23.1	26.7	20.8	18.2	74.9	58.5	3.1	5.9	2.8	9.5
	Sept F	22.0	27.5	17.5	16.1	71.8	46.3	2.2	3.0	5.8	13.0
	M	22.7	29.1	17.9	15.9	67.9	40.9	2.1	0.8	6.2	12.3
	Mean	24.2	29.5	20.0	17.5	68.6	47.9	2.8	4.7	5.8	13.7

Note : RH_{mean} : Mean relative humidity

WS : Mean wind speed

SH : Duration of sunshine

RH_{min} : Minimum relative humidity

P_{preci} : Precipitation

Rad : Radiation on a horizontal surface

2. 기준작물 잠재증발산량 산정모형

기준작물 잠재증발산량 산정모형에는 여러 가지가 있다. 그 중에서도 FAO 모형들 (Doorenbos and Pruitt, 1977)이 가장 많이 이용된다고 하겠다. 또, Jensen 등(1990)에 여러 가지 증발산량 추정모형들에 대한 자세한 설명이 있으며, Utah State University (1991)에서는 이러한 여러 가지 방법을 사용하여 기준작물 잠재증발산량을 산정할 수 있는 컴퓨터 소프트웨어를 개발하였다. 이는

REF-ET로 불리며 FAO의 4가지 방법과 Hargreaves Temperature method, Penman-Monteith method 및 몇가지의 수정 Penman 식들을 포함하여 모두 9가지 방법으로 기준작물 잠재증발산량을 산정할 수 있다. 9가지 방법과 참고문헌은 다음과 같다. 각 방법들에 대하여는 Jensen 등(1990)에 상세하게 설명되어 있다.

(1) Penman-Monteith with resistance equation by Allen et al., 1989

(2) 1982 Kimberly Penman (Wright, 1982)

- (3) FAO-24 corrected Penman (Doorenbos and Pruitt, 1977)
- (4) FAO-24 Radiation method (Doorenbos and Pruitt, 1977)
- (5) FAO-24 Blaney-Criddle method (Doorenbos and Pruitt, 1977)
- (6) FAO-24 Pan evaporation method (Doorenbos and Pruitt, 1977)
- (7) 1963 Penman (Penman, 1963)
- (8) 1985 Hargreaves Temperature method
- (9) 1972-Kimberly Penman (Wright and Jensen, 1972)

본 소프트웨어는 기상자료 파일을 읽어서 그로부터 월별 또는 일별 기준작물 잠재증발산량을 산정한다. REF-ET는 작물계수 계산에 있어서 기준작물로는 목초(grass)와 알팔파 중에서 한 개를 선택하도록 되어 있다. 이는 알팔파의 증발산량이 목초에 비해 평균 1.15배 더 크기 때문에 선정된 기준작물에 따라서 필요한 보정을 해 주기 위해서이다. 본 연구에서는 목초를 선택하였다. 증발산량 관측치와 모형이 추정한 기준작물 잠재증발산량으로부터 순별 작물계수를 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

직파재배와 이앙재배의 소비수량은 정지용수, 이앙용수, 본답기간 등에 따라서 크게 달라지게 되며, 증발산량은 생육초기인 파종기, 이앙기, 활착기에는 재배방식과 물관리 방식이 다르기 때문에 마땅히 서로 다르겠으나, 생육중기나 말기에 있어서는 근본적인 물관리 방식이 같다면 거의 같을 것이다. 본 연구는 소비수량에 대한 것이 아니고 증발산량에 대하여만 조사하였으며 담수직파재배인 경우, 생육초기의 증발산량 산정은 기존의 이앙재배에 대한 작물계수보다는 본 연구에서 제시하

는 작물계수를 사용하는 것이 나을 것으로 생각된다.

1. 관측 증발산량

1995년과 1996년에 증발산량 포장관측을 수행하였다. 작물생육기간 동안의 순별 증발산량 관측치는 Table-3과 같다. 1995년도에는 6월 상순부터 9월 상순까지 관측하였고, 1996년에는 5월 하순부터 9월 중순까지 관측하였다. 1995년에는 8월 4일에서 8일까지 5일간 중간낙수를 하였고, 1996년에는 8월 1일에서 10일까지 중간낙수를 실시하였다. 따라서 1995년 8월 상순의 증발산량 값은 5일간의 관측치를 10일간의 값으로 환산한 것이며, 1996년 8월 상순에는 실측치가 없다.

따라서 Table-3에서 1996년 8월 상순 관측 값은 농업진흥공사(1989)에서 조사한 기왕의 관측자료인 대구지방의 1982-1986년 5년간의 평균 값을 인용하였다.

일 평균 증발산량은 1995년에는 조생종, 중생종, 중만생종 각각 5.9mm, 6.1mm, 6.0mm 이었으며 1996년에는 각각 5.2mm, 5.5mm, 5.1mm로 나타났다. 1996년에는 1995년에 비해 평균 증발산량 값이 낮아진 이유는 관측기간이 증발산량 값이 낮은 5월 하순과 9월 중순이 포함되었는데 기인한 것으로 판단된다. 생육기간중 최대 증발산량은 1995년에는 8월 초순에 8.3mm 내지 8.7mm로 나타났으며, 1996년에는 8월 초순에는(1982-1986년 관측 값) 9.4내지 11.3mm로 나타났다. 최대 값의 차이는 일조시간과 일사량등의 기후조건의 차이가 주된 원인이라고 판단된다.

2. 모형추정 기준작물 잠재증발산량

REF-ET 모형과 대구지방의 기상자료를 이용하여 추정한 기준작물 잠재증발산량은 Table-4와 같다. 여기에는 앞에 소개한 9가지 방법중 FAO-24 Pan evaporation법과 1972

Table-5. Crop coefficients by various estimation methods

Year	10-day	Pen-Mon	82 K-P	FAO-Pen	63 Pen	Harg	FAO-Rad	FAO-BC
1995	June F	1.18	0.98	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10
	M	1.20	0.96	0.98	1.14	1.00	1.17	1.11
	L	1.24	1.00	0.98	1.21	0.96	1.19	1.06
	July F	1.84	1.39	1.35	1.64	1.07	1.76	1.39
	M	2.00	1.64	1.51	1.90	1.51	1.95	1.64
	L	1.55	1.35	1.20	1.51	1.20	1.48	1.30
	Aug. F	1.57	1.38	1.17	1.51	1.43	1.41	1.30
	M	1.86	1.70	1.56	1.77	1.42	1.95	1.63
	L	1.55	1.45	1.55	1.45	1.14	1.92	1.55
	Sept. F	1.42	1.38	1.47	1.29	1.22	2.00	1.63
Mean	1.50	1.28	1.22	1.42	1.20	1.49	1.32	
1996	May L	1.00	0.85	0.80	0.91	0.71	0.98	0.89
	June F	1.03	0.84	0.88	1.00	0.74	1.12	0.95
	M	1.17	0.94	0.94	1.10	0.71	1.26	1.00
	L	1.32	1.06	1.18	1.22	0.85	1.65	1.14
	July F	1.26	1.00	1.13	1.19	1.07	1.42	1.26
	M	1.48	1.18	1.15	1.39	0.94	1.48	1.21
	L	1.83	1.52	1.28	1.78	1.30	1.55	1.35
	Aug. F*	1.90*	1.67*	1.52*	1.90*	1.70*	1.83*	1.62*
	M	1.41	1.29	1.18	1.38	1.29	1.41	1.26
	L	1.42	1.31	1.57	1.34	1.42	2.14	1.74
	Sept. F	1.50	1.42	1.46	1.38	1.35	1.80	1.64
	M	1.26	1.23	1.16	1.23	1.08	1.48	1.26
	Mean	1.39	1.20	1.20	1.36	1.10	1.47	1.29

Note : " * " represents observed data during 1982-1986.

료를 제공하기 위하여 라이시미터를 이용하여 증발산량을 실측하고, 여러 가지 기준작물 잠재증발산량 추정방법에 의하여 기준작물 잠재증발산량을 추정하여 이들로부터 작물계수를 계산하여 서로 비교하였다. 담수직파재배 논에서 관측된 생육기간의 일 평균 증발산량은 품종별로 1995년에는 5.9내지 6.1mm이었으며, 1996년에는 5.1내지 5.5mm이었다. 한편, 모형이 추정한 기준작물 잠재 증발산량은 추정방법에 따라 1995년에는 3.9내지 4.9mm/day, 1996년에는 3.5내지 4.7mm/day를 나타내었다. 실측치와 모형 추정치 모두 1995년보다 1996년에 낮은 것은 기온, 일조시간, 일사량 등의 기후조건의 차이에 기인한 것으로 판

단된다. 작물계수는 추정방법에 따라 1995년에는 1.20내지 1.50의 범위를 나타내었고, 1996년에는 1.10내지 1.47의 범위를 나타냈다.

또, 측정 방법별로 기준작물 잠재증발산량 값을 비교해 보면 2년 모두 FAO-radiation 방법과 Penman-Monteith 방법이 가장 작은 값을 나타냈고, Hargreaves법과 FAO 수정 Penman법이 가장 큰 값을 나타냈다. 기준작물 잠재증발산량은 추정방법에 따라 많이 변화하므로 관계계획시 증발산량 추정방법의 선정에 세심한 주의가 필요하다고 하겠으나, 현재 단계에서 증발산량 산정에 어느 방법이 좋다고 평가하기는 어렵다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. 강인식. 1995. 벼의 직파재배와 물관리대책. 농지개량 통권 제134호 pp.40-43. 농지개량조합연합회
2. 농림부, 농어촌진흥공사. 1996. 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화연구(II). 288pp.
3. 농림수산부, 농어촌진흥공사. 1995. 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화연구(I). 214p.
4. 농업진흥공사. 1989. 소비수량산정방법 실용화 연구. 184pp.
5. Allen, R. G. 1986. A Penman for all seasons. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 112(4)348-368. ASCE.
6. Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L., and Burman, R. D. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. Agronomy Journal 81 : 650-662.
7. Allen, R. G. and Pruitt, W. O. 1992. FAO-24 reference evapotranspiration factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 117(5)758-773. ASCE.
8. Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., and Pereira, L. S. 1994a. An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID Bulletin 4(2) : 1-34. ICID.
9. Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S., and Perrier, A. 1994b. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bulletin 4(2) : 35-92. ICID.
10. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome. 156pp.
11. Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G. 1990. Evapotranspiration and Irrigation water requirements. ASCE Manual No. 70. 332pp. ASCE.
12. Murugaboopathi, C., Tomita, M., Yamaji, E., and Koide, S. 1991. Prospect of large-sized paddy field using direct seeding supported by subsurface irrigation system. Transactions of the ASAE 34(5) : 2040-2046.
13. Utah State University. 1991. REF-ET : Reference evapotranspiration calculation software. 40pp.
14. Wright, J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 108 : 57-74.
15. Hargreaves, G. L., Hargreaves, G. H., and Riley, J. P. 1985. Agricultural benefits for Senegal river basin. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 111 : 113-124.
16. Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture 1(2) : 96-99.
17. Penman, H. L. 1963. Vegetation and hydrology. Tech. Comm. No. 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England. 125pp.
18. Wright, J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 108 (IR2) : 57-74.
19. Wright, J. L. and Jensen, M. E. 1972. Peak water requirements of crops in Southern Idaho. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 96(1) : 193-201.

(접수일자 : 1997년 6월 2일)