

관개계획을 위한 기준작물 증발산량 산정

Computation of Reference Crop Evapotranspiration for Irrigation Scheduling

정 상 옥*
Chung, Sang Ok

Summary

In order to provide basic information for the estimation of evapotranspiration for grass (*Joycia Japonica*), 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 1997 growing season was 4.5mm. Model predicted mean daily ET during the 1997 growing season varied from 3.6 to 4.7mm depending on the prediction model. Crop coefficients varied from 0.96 to 1.27 depending on the prediction model. Comparison of the seven reference crop ET prediction methods used in this study shows that the Penman-Monteith method gave the smallest ET while the Hargreaves method gave the largest ET. The crop coefficient by the corrected Penman method was 1.03, which is closest to 1.0, suggesting that this method may be the best prediction method.

I. 서 론

관개용수원 개발과 관개수로 및 구조물 설계를 위하여는 먼저 작물 소비수량을 산정하여야 한다. 작물 소비수량은 증발산량과 삼투량으로부터 구할 수 있다. 증발산량은 실측에 의한 방법과 여러가지 방법에 의하여 기준작물 증발산량을 추정하고 여기에 작물계수를 곱하여 구하는 방법이 있다. 후자가 매우 편리한 방법이기 때문에 실제 관개계획 수립시

일반적으로 사용되는 방법이다.

따라서 본 연구에서는 잔디(*Joycia Japonica*) 기준작물로 선정하여 추정방법별 증발산량과 작물계수를 구하여 서로 비교하여 보고, 앞으로 증발산량 산정의 기초자료를 제공하는 것이 기본 목적이다. 본 연구의 내용은 실험포장에서 원통형 PVC 라이시미터를 사용하여 기준작물인 목초의 일별 증발산량 관측, 여러 가지 기준작물 증발산량 추정방법에 의한 기준작물 증발산량 추정 및 이들로 부터

* 경북대학교 농과대학

키워드 : 기준작물, 증발산량, 작물계수, REF-ET, 수정 Penman법, FAO-24

작물계수의 산정으로 이루어진다.

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

Allen(1986) 및 Allen 등(1989, 1992, 1994a,b)은 증발산량 분야에 대한 연구를 많이 해오고 있으며, 특히 Allen 등(1994a,b)은 기준작물 잠재증발산량에 대한 새로운 정의와 계산방법을 보고하였다. 정(1997)은 본 연구에서 사용된 REF-ET 프로그램을 이용하여 담수작과재배 비의 기준작물 잠재증발산량과 작물계수를 산정방법별로 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 증발산량 관측

기준작물 증발산량 관측은 대구시 북구 산격동 소재 경북대학교 농과대학 잔디밭에서 수행하였다. 시험방법은 직경이 20cm이고 깊이가 50cm인 유저 라이시미터에 잔디를 심어 3반복으로 관측하였다. 일 증발산량은 매일 오전 9시경 매달림 저울을 이용하여 라이시미터를 들어올려 무게를 측정하여 관측하였다. 강우시에는 라이시미터를 플라스틱 판으로 덮어서 강우를 차단하였다. Fig. 1은 라이시미터 관측장치를 보여주고 있다.

잠재증발산량 산정에 필요한 기상자료는 시험포장에서 약 700m 떨어진 대구기상대 자료를 이용하였다. Table 1은 1997년의 대구지방 순별 기상자료를 보여주고 있다.

2. 기준작물 잠재증발산량 산정모형

기준작물 잠재증발산량 산정모형에는 여러 가지가 있다. 그 중에서도 FAO 모형들(Doorenbos and Pruitt, 1977)이 가장 많이

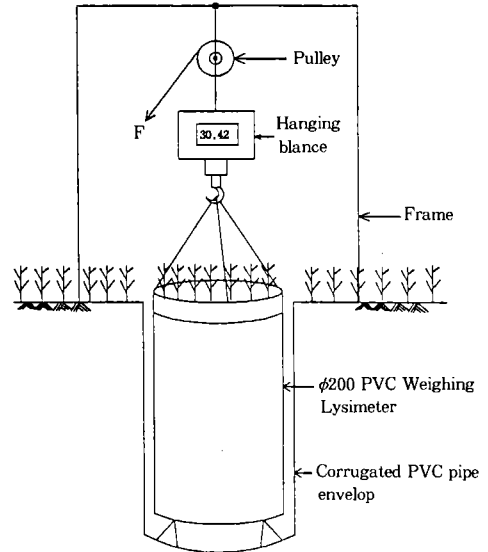


Fig. 1. Layout of the lysimeter system

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

Table 1. Climatologic data at the Taegu weather station in 1997

10-day	T _{ave} ℃	T _{max} ℃	T _{min} ℃	T _{dew} ℃	RH _{mean} %	RH _{min} %	WS m/s	P _{rect} mm	SH hr	Rad MJ/m ²	
May	F	20.8	28.1	13.9	11.2	57.9	35.1	2.0	4.4	7.4	16.8
	M	20.2	25.4	15.4	11.5	61.2	43.9	2.0	3.6	7.4	14.9
	L	18.0	24.4	12.6	10.2	63.0	40.0	2.3	1.6	6.6	18.2
June	F	20.9	26.9	15.9	12.9	63.4	41.3	1.7	3.0	6.6	17.3
	M	24.6	32.1	18.1	14.6	56.2	31.7	1.7	2.7	8.3	20.1
	L	25.8	31.0	21.1	18.4	66.6	43.8	1.3	12.7	5.7	15.6
July	F	24.7	28.7	21.4	19.6	74.4	57.7	1.9	16.8	3.3	10.8
	M	24.9	29.5	20.8	19.4	73.5	54.5	1.8	14.2	4.8	13.4
	L	28.5	33.9	24.1	20.8	64.8	44.3	2.0	0.7	7.3	17.9
Aug	F	27.4	32.5	23.5	21.7	72.6	52.4	1.5	8.2	7.5	12.8
	M	24.3	27.7	22.1	19.3	74.1	61.4	2.5	4.0	2.0	11.2
	L	27.1	32.5	22.5	19.3	64.2	43.5	2.1	0.1	7.5	16.8
Sept	F	25.1	31.3	19.9	16.9	62.6	39.8	2.0	0.7	6.8	15.9
	M	21.1	26.0	17.1	13.4	63.6	44.4	2.4	0.6	4.7	12.7
	L	17.9	24.1	12.9	9.6	60.6	36.4	1.4	0.4	6.4	13.0
Mean	23.4	28.9	18.8	15.9	65.3	44.7	1.9	4.9	6.2	15.2	

Note : RH_{mean} : Mean relative humidity
 RH_{min} : Minimum relative humidity
 WS : Mean wind speed
 P_{rect} : Precipitation
 SH : Duration of sunshine
 Rad : Radiation on a horizontal surface

(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 월별 또는 일별 기상자료 파일을 읽어서 그로부터 기준작물 잠재증발산량을 산정한다. REF-ET는 작물계수 계산에 있어서 기준작물로는 잔디와 알팔파 중에서 한 개를 선택하도록 되어 있다. 이는 알팔파의 증발산량이 잔디에 비해 평균 1.15배 더 크기 때문에 선정된 기준작물에 따라서 필요한 보정을 해 주기 위해서이다. 본 연구에서는 실험작물로 잔디를 선택하였다. 증발산량 관측치와

모형이 추정 한 기준작물 잠재증발산량으로부터 순별 작물계수를 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 관측 증발산량

1997년의 작물생육기간인 5월부터 9월까지의 라이시미터로 관측한 순별 증발산량은 Table 2에서 보인 바와 같다. 관측기간 동안의 일 평균 증발산량은 4.5mm로 나타났다. 1997년 관측기간중 최대 증발산량은 8월 하순에 5.9mm로 나타났고, 최소 증발산량은 5월 하순과 7월 초순에 각각 3.5mm로 나타났다. 5월 하순에는 평균기온이 가장 낮았고, 7월 초순에는 태양 복사열이 가장 작았다.

Table 2. Observed and model estimated reference crop ET rate

(unit: mm/d)

10-day	Pen-Mon	82 K-P	FAO-Pen	63 Pen	Harg	FAO-Rad	FAO-BC	Lys
May F	4.0	4.3	4.9	4.3	5.3	4.1	4.3	4.5
M	3.5	3.9	4.3	3.9	4.5	3.6	3.7	3.9
L	4.0	4.6	4.8	4.4	4.7	4.2	4.0	3.5
June F	3.6	4.4	4.6	4.0	5.0	4.2	4.2	3.7
M	4.1	5.3	5.8	4.5	6.2	5.3	5.6	5.5
L	3.0	4.0	4.4	3.5	5.4	3.9	4.3	4.2
July F	2.6	3.2	3.2	2.9	4.5	2.5	3.1	3.5
M	3.1	3.8	3.8	3.5	4.8	3.1	3.6	4.0
L	4.2	4.9	5.5	4.5	5.5	4.8	5.3	5.2
Aug. F	3.0	3.5	3.8	3.3	5.0	3.1	3.7	4.9
M	3.2	3.5	3.3	3.4	3.5	2.6	3.0	4.1
L	4.2	4.6	5.2	4.6	4.8	4.5	4.8	5.9
Sept. F	4.1	4.3	4.8	4.4	4.6	4.1	4.5	5.8
M	3.6	3.8	3.8	3.9	3.4	3.0	3.3	4.5
L	3.2	3.2	3.3	3.6	3.3	2.9	2.9	4.6
Mean	3.6	4.1	4.4	3.9	4.7	3.7	4.0	4.5

2. 모형추정 기준작물 잠재증발산량

REF-ET 모형과 대구지방의 기상자료를 이용하여 추정된 기준작물 순별 잠재증발산량은 Table 2와 같다. 여기에는 앞에 소개한 9가지 방법중 FAO-24 Pan evaporation법과 1972 Kimberly Penman법을 제외한 나머지 7가지 방법에 의하여 추정된 증발산량과 라이시미터 실측 값이 소개되어 있다.

모형이 추정한 관측기간중의 기준작물의 평균 증발산량 값은 추정방법에 따라 일 평균 3.6~4.7mm/day의 범위를 나타내었다. 추정 방법별로 비교해 보면 Penman-Monteith 방법이 가장 작은 잠재 증발산량 값을 나타내었고, Hargreaves법이 가장 큰 값을 나타내었다.

모형이 추정한 기준작물 잠재증발산량 값을 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다. 7월 초순에 증발산량 값이 낮은 것은 일조시간 및 일사량이 작았으며 강우량이 많았는데 기인한

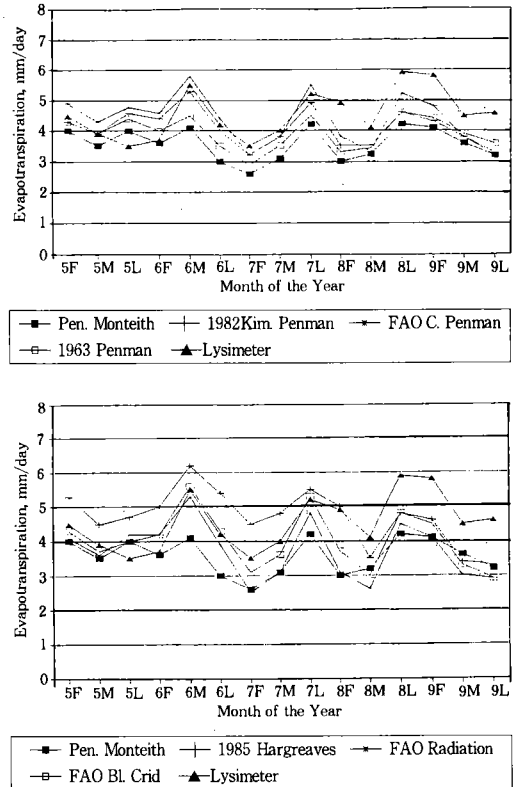


Fig. 2. Comparison of reference crop ET predicted by various methods

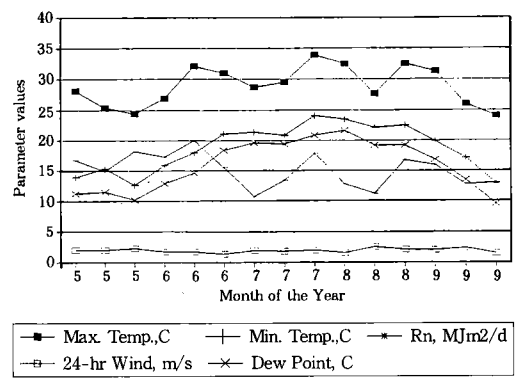


Fig. 3. Weather data at Taegu station in 1997

것으로 판단된다. 앞에서 설명한대로 추정방법별 증발산량의 변화를 잘 보여주고 있다. Fig. 3은 1997년도의 주요 기상자료를 보여주고 있다. 7월 초순과 8월 중순에 태양 복사열

이 작은 것을 볼 수 있으며, 5월 하순과 8월 중순에 기온이 낮은 것을 알 수 있다.

3. 작물계수

REF-ET 소프트웨어를 이용하여 대구지방의 1997년의 생육기간의 기준작물 잠재증발산량 추정치와 실험포장의 증발산량 실측치로부터 순별 작물계수를 계산하였다. 이론적으로는 계산된 잠재증발산량은 관측된 값과 같아야 하므로 작물계수는 1이 되어야 한다. 그러나 실제로는 같지 않았으며, 7가지의 기준작물 잠재증발산량 추정식들에 의한 순별 작물계수는 Table 3과 같다.

1997년 관측기간 평균 작물계수는 0.96~1.27의 범위를 나타냈다. 추정 방법별로 작물계수의 크기를 비교해 보면 잠재 증발산량의 크기와는 반대로 Penman-Monteith 방법이 가장 큰 값을 나타냈고, Hargreaves법이 가장 작은 값을 나타냈다. Penman-Monteith 방법

과 FAO-Radiation 방법은 비교적 큰 작물계수 값을 나타내는 것으로 판단된다. 수정 Penman(FAO-Pen)법의 작물계수가 1.03으로 1.0에 가장 가까운 값을 보여주었으며 가장 좋은 추정방법의 하나라고 판단되었다.

IV. 결 론

관개계획에 필요한 기준작물의 증발산량 산정의 기초자료를 제공하기 위하여 라이시미터를 이용하여 증발산량을 실측하고, 여러 가지 기준작물 잠재증발산량 추정방법에 의하여 기준작물 잠재증발산량을 추정하여 이들로부터 작물계수를 계산하여 서로 비교하였다. 잔디를 기준작물로 선정하여 1997년 5월초부터 9월말까지 관측한 생육기간의 일 평균 증발산량은 4.5mm이었다. 한편, 모형이 추정한 기준작물 잠재 증발산량은 추정방법에 따라 3.6~4.7mm/day를 나타내었으며 Penman-Monteith 방법이 가장 작은 값을 나타냈고, Hargreaves법이 가장 큰 값을 나타냈다.

작물계수는 추정방법에 따라 0.96 내지 1.27의 범위를 나타냈으며, 수정 Penman법이 1.03으로 1.0에 가장 가까운 값을 보여주었으며 가장 좋은 추정방법의 하나라고 판단되었다.

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단 자유공모과제 연구비 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 정상옥. 1997. 담수직파재배 논벼의 기준작물 잠재증발산량 산정방법별 작물계수의 변화. 한국농공학회지, 39(4) : 114-121.
2. Allen, R. G. 1986. A Penman for all seasons. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 112(4) : 348-368. ASCE.

Table 3. Crop coefficients by various estimation methods

10-day	Pen-Mon	82 K-P	FAO-63 Pen	63 Pen	Harg	FAO-Rad	FAO-BC	
May	F	1.13	1.05	0.92	1.05	0.85	1.10	1.05
	M	1.11	1.00	0.81	1.00	0.87	1.08	1.05
	L	0.88	0.76	0.73	0.80	0.74	0.83	0.88
June	F	1.03	0.84	0.80	0.93	0.74	0.88	0.88
	M	1.04	0.66	0.95	1.22	0.89	1.04	0.98
	L	1.40	1.05	0.95	1.20	0.78	1.08	0.98
July	F	1.35	1.09	1.09	1.21	0.78	1.40	1.13
	M	1.29	1.05	1.05	1.14	0.83	1.29	1.11
	L	1.24	1.06	0.95	1.16	0.95	1.08	0.98
Aug.	F	1.63	1.40	1.29	1.48	0.98	1.58	1.32
	M	1.28	1.17	1.24	1.21	1.17	1.58	1.37
	L	1.40	1.28	1.13	1.28	1.23	1.31	1.23
Sept.	F	1.41	1.35	1.21	1.32	1.26	1.41	1.29
	M	1.25	1.18	1.18	1.15	1.32	1.50	1.36
	L	1.44	1.44	1.39	1.28	1.39	1.59	1.59
Mean	1.27	1.11	1.03	1.16	0.96	1.21	1.12	

3. Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L., and Burman, R. D. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal* 81 : 650-662.
4. Allen, R. G. and Pruitt, W. O. 1992. FAO-24 reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 117(5) : 758-773. ASCE.
5. 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.
6. 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.
7. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. *Irrigation and Drainage Paper No. 24*, FAO, Rome. 156pp.
8. Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G. 1990. Evapotranspiration and Irrigation water requirements. *ASCE Manual No. 70*. 332pp. ASCE.
9. 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.
10. Utah State University. 1991. REF-ET : Reference evapotranspiration calculation software. 40pp.
11. Wright, J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 108 : 57-74.
12. 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.
13. Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture* 1(2) : 96-99.
14. Penman, H. L. 1963. Vegetation and hydrology. *Tech. Comm. No. 53*, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England. 125pp.
15. Wright, J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 108 (IR2) : 57-74.
16. 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.