

기준작물(잔디)의 증발산량 실측치와 모형 추정치의 비교

Comparisom of Observed and Estimated Values of Reference Crop Evapotranspiration Rate

정 상 옥 · 박 기 중*(경북대)

Chung, Sang-ok · Park, Ki Jung

Abstract

Evapotranspiration is one of the important water budget components. An experiment was conducted to measure evapotranspiration. Three lysimeters were used to measure daily evapotranspiration. Lysimetrically measured values were compared with estimated values of various methods in REF-ET model, and then crop coefficient was computed.

I. 서 론

자연 상태의 지구 수분 메카니즘은 크게 공급(강수)과 소비(증발산)이다. 최근 수자원 부족문제에 대한 관심의 고조는 유효 적절한 수자원 이용 계획 수립의 필요성을 대두시켰다. 이러한 적정 계획 수립의 기초자료로써 선행하여야 할 과제 중 가장 중요하다 할 수 있는 것은 수분 소비시스템의 이해일 것이다.

물 환경의 수지에 있어 공급량에 대한 측정은 우량계, 인공위성, 레이더 등의 관측기기의 발달로 쉽게 측정이 가능하다. 반면 수분소비의 대부분을 차지하는 증발산량에 대한 정량화는 관측기기 및 추정공식 등의 한계성으로 인하여 어려움이 따른다.

증발산량 측정방법은 크게 직접법과 간접법으로 나눈다.

직접법은 시험포장의 정확한 유출입량의 측정에 의존하는 물수지법과 지표면서 에너지의 유출입량의 측정에 의존하는 에너지수지법으로 분류할 수 있다(USGS, 1999). 간접법은 수분의 증발량에 기초하여 증발산량을 추정하는 증발량계법, 기준작물을 이용하는 기준작물 증발산량법, 그리고 충분한 수분공급과 최적의 성장환경이라는 가정 하에서 잠재증발산량을 구함으로써 증발산량을 추정하는 방법으로 분류할 수 있다.

증발량계법은 비교적 간단한 방법이지만, 토성, 식생특성, 지표-대기간의 경계특성 등은 고려하지 않고, 단지 기상요인만을 고려한다는 단점이 있다. 기준작물 증발산량 산정 후, 여기에 작

물계수를 곱함으로써 실제 포장 내 작물의 증발산량을 구하는 방법은 가장 많이 사용되나 작물계수의 변동성이라는 한계가 있다. 마지막으로 잠재증발산량의 추정 후, 회귀함수를 이용하여 실제 증발산량을 구하는 방법은 충분한 수분상태라는 초기조건외에 에베모호성이라는 한계를 지닌다.

1900년대 초반부터 시작된(Hagan 등, 1967) 증발산량에 대한 연구는 이러한 단점을 극복하기 위하여 지속적으로 수행되고 있으며, 최근 우리나라에서는 위성자료를 이용하여 증발산 측정에 접 측정 개념의 단점을 극복하는 면적 측정의 개념을 도입하기도 하였다(오 동, 1999).

이 논문에서는 REF-ET 모형을 이용하여 소형 유저 라이시미터에 의한 증발산량 실측값과 7가지 추정공식에 의한 추정값과 비교·검토하였으며, 각 공식별 작물계수를 비교하였다.

II. 재료 및 방법

가. 라이시미터에 의한 증발산량 관측

증발산량 관측을 위한 시험포장은 대구시 북구 산격동 소재 경북대학교 농과대학 잔디밭에 위치한다. 관측기구는 지름 20cm, 길이 50cm의 소형 원형 유저 라이시미터를 사용하여 3반복 관측하였다. 연구에 이용한 작물은 증발산량 산정을 위한 기준작물로서 이용하는 잔디와 alfalfa 중에서 주변에서 손쉽게 구할 수 있는 잔디를 사용하였다. 실험 기간은 대표적 작물 생육기인 6월 1일에서 10월 1일까지 1997년과 1998년 2년에 걸쳐 수행하였다.

일 증발산량 관측은 4개월 동안 매일 오전 9시경 라이시미터를 매달림저울을 이용하여 무게를 관측하여 계산하였다.

공급수량의 정확한 측정을 위하여 강우 시 플라스틱 덮개로 차단하였으며, 부득이하게 차단하지 못한 경우에는 강수량을 공급수량에 포함시켰다.

그림 1은 시험에 이용한 라이시미터 관측장비 시스템을 보여주며, 표 1은 시험포장에서 약 700m 떨어진 대구기상대의 1997년과 1998년의 대구지방 순별 기상자료를 보여준다.

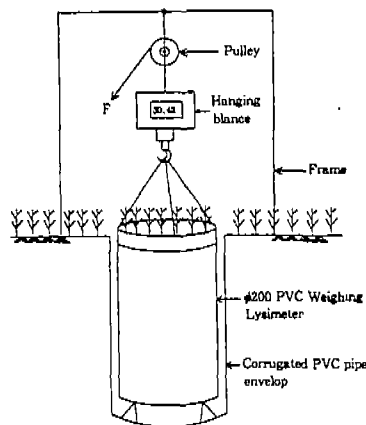


그림 1. 라이시미터 개략도

표 1. 1997, 1998년 대구지방 순별 기상자료

순	별	기 온 (°C)			평균이슬 점온도 (°C)	상대 습도 (%)		풍 속 (m/s)		강수량 (mm)	일조 시간 (hr)	수평면 일사량 (MJ/m ²)	
		mean	max	min		mean	min	mean	max				
1997	6월	상순	21.2	27.1	16.2	13.2	63.4	41.4	1.7	4.9	3.2	6.6	17.30
		중순	25.0	32.7	18.3	14.7	55.4	30.7	1.7	5.2	2.7	8.5	20.40
		하순	25.9	30.9	21.4	18.8	67.6	45.0	1.3	4.3	13.7	5.4	15.20
	7월	상순	24.7	28.3	21.4	19.6	74.4	57.7	1.9	5.0	16.8	3.3	10.80
		중순	24.9	29.5	20.8	19.4	73.5	54.5	1.8	4.6	14.2	4.8	13.40
		하순	28.5	33.9	24.1	20.8	64.8	44.3	2.0	4.7	0.7	7.3	17.90
	8월	상순	27.4	32.5	23.5	21.7	72.6	52.4	1.5	4.8	0.3	4.3	12.80
		중순	24.3	27.7	22.1	19.3	74.1	61.4	2.5	5.7	1.3	2.0	11.20
		하순	27.0	32.5	22.5	19.3	64.2	43.5	2.1	4.6	0.0	7.5	16.80
9월	상순	25.1	31.3	19.9	16.9	62.6	39.8	2.0	4.7	0.6	6.8	15.90	
	중순	21.1	26.0	17.1	13.4	63.6	44.4	2.4	5.6	0.0	4.7	12.70	
	하순	17.9	23.9	12.8	9.5	60.6	36.4	1.4	4.9	0.4	6.4	13.00	
1998	6월	상순	18.4	21.9	15.0	12.0	68.2	49.4	2.8	6.4	3.0	3.2	11.80
		중순	21.4	26.3	17.4	15.6	71.3	49.0	2.9	6.4	3.8	5.7	15.90
		하순	23.1	26.4	20.3	18.0	74.3	59.2	3.1	6.6	13.1	3.3	12.20
	7월	상순	27.7	31.8	24.1	20.7	67.1	49.0	3.2	7.0	4.3	6.0	15.50
		중순	23.5	26.9	20.7	18.0	72.1	57.9	3.3	6.5	5.0	2.7	12.60
		하순	24.4	27.3	22.1	19.3	76.4	61.7	3.0	6.0	6.2	2.3	10.00
	8월	초순	28.0	32.3	24.7	22.7	74.5	54.6	2.2	5.8	10.0	3.2	12.00
		중순	25.6	28.9	23.3	21.5	79.1	61.7	2.0	5.6	23.8	2.6	8.90
		하순	24.8	29.2	21.3	18.2	68.1	45.5	2.4	5.6	0.9	5.6	14.10
	9월	상순	25.3	31.3	20.5	17.4	64.5	36.6	1.8	4.6	1.6	7.2	15.80
		중순	23.8	29.3	19.3	15.7	62.9	40.5	2.7	6.7	0.1	7.6	15.00
		하순	20.4	23.4	17.9	15.9	76.8	61.4	1.8	4.7	28.1	1.4	5.70

나. REF-ET 모형

증발산량 추정공식은 1910년대부터 지속적으로 연구, 발표되고 있다(Hagen 등, 1967). 이 중 기준작물 증발산량 추정공식으로는 original Hargreaves(1948), Kimberly-Penman(1972, 1982), FAO-24 corrected Penman(1975, 1977), CIMIS modified Penman(1985), AZMET modified Penman(1986), ASCE Penman-Monteith(1990), FAO-24 Radiation(1975, 1977), Hargreaves Temperature(1985) 방법 등이 있다.

이 논문에서 이용한 기준작물 증발산량 산정모형은 Utah State University에서 개발한 REF-ET 모형을 1994년 개선한 REF-ET version 2.15이다. REF-ET 모형의 기본 알고리즘은 Jensen 등(1990)에 기초하였으며, 이용한 언어는 MicroSoft QuickBasic 4.5이다(Utah State University, 1994). 모형에 이용된 9가지 기준작물 증발산량 산정방법과 참고문헌은 다음과 같으며, 우측의 ()내에는 각 방법별 증발산량 산정 시간 간격을 나타낸다(Jensen 등, 1990).

- (1) Penman-Monteith with resistance eq. (Allen et al, 1989) (Hourly or Daily)
- (2) 1982 Kimberly-Penman (Wright, 1982, 1987) (Daily)
- (3) FAO-24 Corrected Penman (Doorenbos and Pruitt, 1975, 1977) (Daily)
- (4) 1963 Penman (Penman, 1963) (Daily)
- (5) 1985 Hargreaves Temperature Method (Hargreaves et al, 1985) (10days)
- (6) FAO-24 Radiation Method (Doorenbos and Pruitt, 1975, 1977) (5days)
- (7) FAO-24 Blaney-Crriddle Method (Doorenbos and Pruitt, 1975, 1977) (5days)

- (8) FAO-24 Pan Evaporation Method (Doorenbos and Pruitt, 1975, 1977) (5days)
 (9) 1972 Kimberly-Penman (Wright and Jensen, 1972), only if not lysimeter (Daily)

본 논문에서는 9가지의 추정공식 중 Pan 증발량 관측자료의 결측과 실측한 라이시미터 자료로 인하여 FAO-24 Pan Evaporation method와 1972 Kimberly-Penman method에 대한 결과는 제외시켰으며, 또한 기준작물로 alfalfa를 사용하는 1982 Kimberly-Penman method는 잔디와 alfalfa 사이의 증발산량의 비가 1.15~1.35인 것에 기인하여 그 결과값에 1.25를 나누어 보정하여 주었다.

III. 결과 및 고찰

가. 관측 증발산량

1997, 1998년 2년에 걸쳐 대표적 작물생육기간인 6월 1일부터 10월 1일 까지 약 4개월간 증발산량 관측 실험을 수행하였다. 라이시미터에 의한 순별 증발산량 관측치는 표 2의 Lys항과 같다.

표 2. 라이시미터 실측치와 REF-ET 모형 추정치의 비교

순 별	PMon	KPen	FcPn	63Pn	Harg	FRad	FB-C	Lys	순 별	PMon	KPen	FcPn	63Pn	Harg	FRad	FB-C	Lys		
	mm/d									mm/d									
1997	6월상순	6.0	5.8	6.9	6.2	5.0	4.8	4.6	5.9	1998	6월상순	4.6	4.4	4.9	4.7	3.7	3.4	3.3	3.1
	6월중순	7.3	7.3	8.9	7.4	6.4	6.1	6.2	5.4		6월중순	5.6	5.3	6.6	5.5	4.6	4.4	4.4	3.6
	6월하순	5.2	5.2	6.4	5.5	5.3	4.6	4.7	6.0		6월하순	4.4	4.2	5.2	4.3	4.0	3.6	3.8	4.3
	7월상순	4.0	3.9	4.7	4.1	4.4	3.5	3.8	5.9		7월상순	6.0	5.7	7.4	5.8	4.9	5.2	5.5	5.8
	7월중순	4.9	4.8	5.7	5.1	4.8	4.1	4.2	5.6		7월중순	5.2	4.9	5.4	5.1	4.0	3.4	3.8	4.7
	7월하순	6.7	6.3	8.1	6.8	5.5	5.6	5.8	8.4		7월하순	4.3	4.0	4.5	4.2	3.6	3.2	3.5	3.3
	8월상순	4.7	4.4	5.5	4.9	5.0	3.9	4.3	4.1		8월상순	4.6	4.3	5.3	4.6	4.6	3.5	4.1	5.3
	8월중순	4.7	4.3	4.6	4.7	3.5	2.9	3.2	4.7		8월중순	3.5	3.2	3.8	3.5	3.6	3.0	3.2	5.6
	8월하순	6.6	5.9	7.5	6.7	4.8	5.1	5.3	7.6		8월하순	5.7	5.1	6.2	5.7	4.0	4.2	4.3	4.0
	9월상순	6.6	5.7	7.0	6.4	4.8	4.6	4.9	8.0		9월상순	6.2	5.4	6.9	6.3	4.5	4.7	4.8	3.8
9월중순	5.5	4.7	5.4	5.5	3.4	3.4	3.5	5.3	9월중순	6.4	5.5	6.8	6.3	3.9	4.6	4.7	4.1		
9월하순	5.0	4.3	5.0	5.3	3.3	3.4	3.3	4.1	9월하순	2.7	2.3	2.5	2.8	2.5	1.8	2.1	2.1		
평 균	5.6	5.2	6.3	5.7	4.7	4.3	4.5	5.9	평 균	4.9	4.5	5.5	4.9	4.0	3.8	4.0	4.1		
최 대 값	7.3	7.3	8.9	7.4	6.4	6.1	6.2	8.4	최 대 값	6.4	5.7	7.4	6.3	4.9	5.2	5.5	5.8		
최 소 값	4.0	3.9	4.6	4.1	3.3	2.9	3.2	4.1	최 소 값	2.7	2.3	2.5	2.8	2.5	1.8	2.1	2.1		

관측기간의 일 평균 증발산량은 1997년 5.9mm, 1998년 4.1mm를 나타낸다. 1998년의 평균 증발산량의 값이 낮게 나타나는 이유는 평균기온, 풍속, 강수량, 일조시간, 일사량에 기인한 것으로 판단된다. 일 평균 최대값은 상대적으로 평균 기온, 일사량, 일조시간이 높은 1997년 7월 하순과 1998년 7월 상순에 나타난다. 최소값은 1997, 1998년 모두 9월 하순에 나타나며, 이는 낮은 평균 기온과 높은 강수량이 주된 원인으로 판단된다.

나. 모형 추정 증발산량

실험포장에서 약 700m 떨어진 대구기상대의 기상자료와 실측한 라이시미터 관측치를 REF-ET 모형에 이용하였으며, 추정한 기준작물 증발산량의 값은 표 2와 같다.

전 관측기간에 대하여 기준작물의 일 평균 증발산량값은 추정방법에 따라 1997년에는 4.3~6.3(mm/day)의 범위이며, 1998년에는 3.8~5.5(mm/day)의 범위를 나타내었다. 1997년도의 일 평균 증발산량의 값이 1998년에 비하여 높게 나타나는 이유는 평균 기온, 강수량, 수평면 일사량, 일조시간 등의 기상인자의 차에 기인하는 것으로 판단된다. 특히, 추정공식의 값이 1997년 6월 중순에 모두 최대값을 가지는 것은 최대기온, 상대습도, 평균운량, 일조시간, 일사량에 영향을 받으며, 1998년 9월 하순에 모두 최소값을 가지는 것은 평균기온, 풍속, 강수량, 일조시간, 일사량에 영향을 받았음을 알 수 있다.

추정공식별 증발산량은 1997, 1998년 모두 FAO corrected Penman 방법이 가장 큰 값을 나타내며, FAO-24 Radiation 방법이 가장 낮게 나타났다. 또한 라이시미터 관측치와 가장 잘 일치하는 추정공식은 1997년에는 5.7mm인 1963 Penman 공식이, 그리고 1998년에는 4.0mm를 나타내는 1985 Hargreaves Temperature 공식이다.

그림 2의 (a)와 (b)는 REF-ET 모형이 추정한 기준작물 증발산량과 라이시미터에 의한 실측값의 비교를 나타낸다.

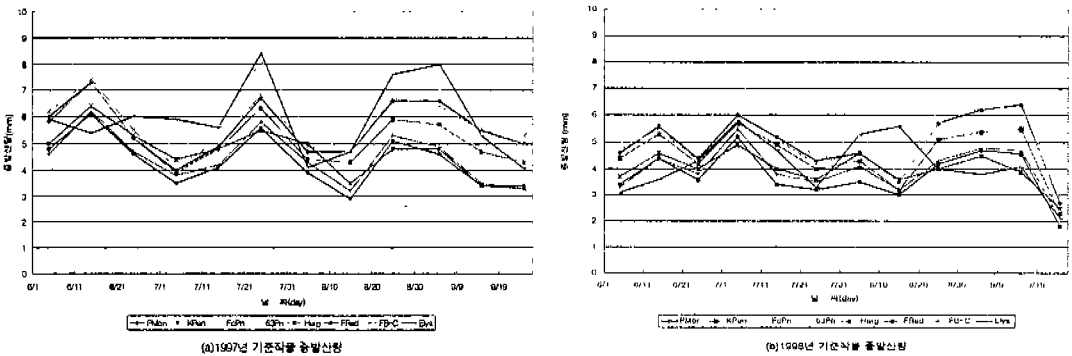


그림 2. 라이시미터 실측값과 REF-ET 모형의 추정값과의 비교

다. 작물계수

작물계수란 작물종별, 작물의 성장상태, 기상상태, 지질상태 등에 따라 다양하게 나타나는 실제 포장에서의 작물에 대한 기준작물 증발산량의 비로써, 식 1로 나타낸다.

$$ET_{crop} = K_c * ET_0 \text{ ----- 식 1}$$

여기서, ET_{crop} ; 실제 포장에서의 작물 증발산량

K_c ; 작물계수

ET_0 ; 기준작물(잔디 혹은 alfalfa) 증발산량

본 실험에서는 실제 포장에서의 작물을 기준작물인 잔디로 선정하였으므로, 이론적으로 작물 계수는 1의 값을 나타내어야 한다.

평균 작물계수는 1997년에는 0.9~1.4의 범위였으며, 1998년에는 0.8~1.1의 범위를 나타냈다. 이론적인 결과치인 1에 가장 가까운 값을 나타내는 공식은 1997년도에는 1963 Penman 공식이며, 1998년에는 1985 Hargreaves 공식이다.

표 3은 REF-ET 모형에 의한 추정값과 실측한 라이시미터의 증발산량으로부터의 작물계수를 나타낸다.

표 3. 1997, 1998년 추정공식별 작물계수

순	별	PMon	KPen	FcPn	63Pn	Harg	FRad	FB-C	순	별	PMon	KPen	FcPn	63Pn	Harg	FRad	FB-C		
1997	6월상순	1.0	1.0	0.9	1.0	1.2	1.2	1.3	1998	6월상순	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9		
	6월중순	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9		6월중순	0.6	0.7	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8		
	6월하순	1.2	1.2	0.9	1.1	1.1	1.3	1.3		6월하순	1.0	1.0	0.8	1.0	1.1	1.2	1.1		
	7월상순	1.5	1.5	1.3	1.4	1.3	1.7	1.6		7월상순	1.0	1.0	0.8	1.0	1.2	1.1	1.1		
	7월중순	1.1	1.2	1.0	1.1	1.2	1.4	1.3		7월중순	0.9	1.0	0.9	0.9	1.2	1.4	1.2		
	7월하순	1.3	1.3	1.0	1.2	1.5	1.5	1.4		7월하순	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	1.0	0.9		
	8월상순	0.9	0.9	0.7	0.8	0.8	1.1	1.0		8월상순	1.2	1.2	1.0	1.2	1.2	1.5	1.3		
	8월중순	1.0	1.1	1.0	1.0	1.3	1.6	1.5		8월중순	1.6	1.8	1.5	1.6	1.6	1.9	1.8		
	8월하순	1.2	1.3	1.0	1.1	1.6	1.5	1.4		8월하순	0.7	0.8	0.6	0.7	1.0	1.0	0.9		
	9월상순	1.2	1.4	1.1	1.3	1.7	1.7	1.6		9월상순	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8		
	9월중순	1.0	1.1	1.0	1.0	1.6	1.6	1.5		9월중순	0.6	0.7	0.6	0.7	1.1	0.9	0.9		
	9월하순	0.8	0.9	0.8	0.8	1.2	1.2	1.2		9월하순	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	1.2	1.0		
평	균	1.1	1.1	0.9	1.0	1.3	1.4	1.3	평	균	0.9	0.9	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1		
최	대	값	1.5	1.5	1.3	1.4	1.7	1.7	1.6	최	대	값	0.9	1.8	1.5	1.6	1.6	1.9	1.8
최	소	값	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	최	소	값	0.8	0.7	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8

IV. 결 론

수분소비시스템의 이해를 위해 선행하여야 할, 그리고 가장 중요한 과정 중의 하나인 증발산량의 정량화의 필요성에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 본 연구에서는 소형 유저 라이시미터를 이용하여 1997, 1998년 2년에 걸쳐 잔디 기준작물에 관하여 증발산량을 관측하였으며, 기상자료를 이용한 REF-ET 모형에 의한 추정값과 라이시미터에 의한 실측값을 비교하였다. 또한 7가지 증발산량 추정공식에 대한 작물계수를 산정하였다.

연구 결과를 간략히 정리하면 아래와 같다.

- ① 라이시미터에 의한 일 평균 증발산량의 값은 1997년 5.9mm, 1998년 4.0mm이다.
- ② REF-ET 모형에 의한 추정값의 범위는 1997년 4.3~6.3mm, 1998년 3.8~5.5mm이다.
- ③ 모형 추정값과 실측값이 가장 잘 일치하는 것은 1997년 1963 Penman 공식과 1998년

1985 Hargreaves 공식이다.

- ④ 연도별 작물계수의 범위는 1997년 0.9~1.4, 1998년 0.8~1.1이다.
- ⑤ 이론적 작물계수 값인 1에 가장 가까운 방법은 1997년 1963 Penman 공식과 1998년 1985 Hargreaves Temperature 방법이다.

연구의 결과, 1963 Penman, FAO-24 Blaney-Criddle, 1985 Hargreaves Temperature 공식이 본 시험포장부근이나 이와 유사한 환경조건 하의 포장에서 증발산량의 정량화에 유용하다 할 수 있겠다.

V. 참고 문헌

- ① 오 재호 등., 1999, 우리나라 증발산량 분포 특성, 기상연구소 연구보고서, pp1~73.
(<http://aginfo.snu.ac.kr/tech/METRI/mr980h25.htm>)
- ② 정 상욱, 1998, 관개계획을 위한 기준작물 증발산량 산정, pp43~48, 한국농공학회지 제 40권 제 1호 별책.
- ③ Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977, Guidelines for Predicting Crop Water Requirement, Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy.
- ④ Hagan, R. M., et. al., 1967, Irrigation of Agricultural Lands, AGRONOMY No. 11, pp483~574, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- ⑤ Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G., 1990, Evapotranspiration and Irrigation water Requirements, ASAE Manual No. 70, 332pp, ASAE.
- ⑥ USGS, Center for Coaster Geology, 1999, Evapotranspiration Measurements and Modeling in the Everglades, South Florida Ecosystem Program-FS-168-96, 7pp.
(<http://sflwww.er.usgs.gov/publications/fs/168-96/print.html>)
- ⑦ Utah State University, 1994, REF-ET Operation Manual ; Reference Evapotranspiration Calculation Software version 2.15a, 40pp.