

FAO Penman-Monteith 모형의 증발산량 산정에 이용되는 기상요소의 평가

허승오* · 정강호 · 하상건 · 김정규¹

농촌진흥청 농업과학기술원, ¹서울시립대학교

Evaluation of Meteorological Elements Used for Reference Evapotranspiration Calculation of FAO Penman-Monteith Model

Seung-Oh Hur*, Kang-Ho Jung, Sang-Keun Ha and Jeong-Gyu Kim¹

Soil Management Division, National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

The exact estimation of crop evapotranspiration containing reference or potential evapotranspiration is necessary for decision of crop water requirements. This study was carried out for the evaluation and application of various meteorological elements used for the calculation of reference evapotranspiration (RET) by FAO Penman-Monteith (PM) model. Meteorological elements including temperature, net radiation, soil heat flux, albedo, relative humidity, wind speed measured by meteorological instruments are required for RET calculation by FAO PM model. The average of albedo measured for crop growing period was 0.20, ranging from 0.12 to 0.23, and was slightly lower than 0.23. Determinant coefficients by measured albedo and green grass albedo were 0.97, 0.95 and standard errors were 0.74, 0.80 respectively. Usefulness of deductive regression models was admitted. To assess an influence of soil heat flux (G) on FAO PM, RET with G=0 was compared with RETs using G at 5cm soil depth (G_{5cm}) and G at surface (G_{0cm}). As the results, RET estimated by G=0 was well agreed with RET calculated by measured G. Therefore, estimated net radiation, G=0 and albedo of green grass could be used for RET calculation by FAO PM.

Key words : Evapotranspiration, Reference Evapotranspiration, Albedo, Net Radiation, Soil Heat Flux

서 언

증발산(ET)은 토양과 작물이 소비하는 물을 나타내며 관개에 있어서 결정적인 요소중의 하나이다. 따라서 이에 대한 참값을 얻을 수 있다면 관개 시기나 작물이 필요로 하는 관개량을 쉽게 계산할 수 있다. 그러나 작물의 증산량이나 토양의 증발량을 측정하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 많은 나라에서는 잠재증발산량을 통해 실증발산량을 예측하고자 하였다(Allen, 1986; Allen and Pruitt, 1986; Hanks, 1974; Jensen et al., 1970; Jansen et al., 1990; Ritchie, 1972; Ritchie and Burnett, 1968). 잠재증발산량이란 일정한 지역의 기후조건하에서 표준잔디가 수분의 제한을 받지 않는 상태에서의 증발산 가능량을 말하며(Yoo, 2000) 이는 Penman법, 수정 Penman법, Pan법, Blaney-Criddle법, FAO Penman-Monteith(FAO PM)법 등

다양한 형태의 모형으로 제시가 되어 왔다. 그러나 이런 모형들이 다른 나라의 기상조건과 재배형태를 반영한 것이기 때문에 검증 없이 우리나라 기상조건과 영농조건에 바로 적용하는 것은 실증발산 자료를 얻는데 도움이 되지 않는다. 따라서 우리나라의 많은 연구자들은 Penman법의 검토를 통한 잠재증발산량(PET) 추정(Lee, 1973), 물수지법에 의한 증발산량 산정(Jo, 1974)이나 Pan법의 검증(Lee, 1972), Christiasen식의 적용(Lee, 1973) 등을 통해 적합한 잠재증발산 모형을 찾고자 하는 노력을 다양하게 시도하였다. 특히, 1981년부터 농업기술연구소에서는 증발산 측정용 라이시미터를 설치하고 잠재증발산량 측정값과 추정값 간의 비교를 통해 적절한 모형을 찾고자 노력한 결과(Im et al., 1982; Im and Yoo, 1986; Lee et al., 1988; Oh et al., 1996a; Oh et al., 1996b) 주요 작물의 최대 증발산량과 작물계수를 산정하였고, 이러한 시도를 통해 검증된 증발산량 모형을 관개 시기나 관개량 결정에 이용하였다(Eom et al., 1999). 그러나, 이렇게 검증된 Pan 증발이나 수정 Penmann 등의 모

접수 : 2006. 7. 18 수리 : 2006. 8. 21
*연락처 : Phone: +82312900273,
E-mail: sohur@rda.go.kr

형들은 순별이나 월별, 또는 그 이상의 기상자료를 바탕으로 한 모형들로서(FAO, 1998) 시간 또는 일단위 증발산량을 계산하기에는 적합하지 않다. 따라서, 작물의 정확한 생육평가나 물 소모량 평가 및 그에 따른 생육모형 작성과 SWAT이나 BASIN 등의 수문모형 구동을 위해서는 일단위 이하의 증발산량을 평가하는 모형이 필요하며, FAO PM 모형은 그러한 목적에 부합한 모형으로서 현재 세계 식량기구가 전 세계에 공통으로 적용할 수 있는 증발산량 모형으로 추천하고 있다(FAO, 1998). 따라서, 본 연구에서는 FAO가 각국에 권장하고 있는 Penman-Monteith 모형의 우리나라에 대한 적합성을 검증하고자 FAO PM 모형의 증발산량 계산에 이용되고 있는 다양한 기상요소들을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

잠재 증발산량(PET)과 유사한 개념인 FAO PM의 RET(Reference Evapo-Transpiration)는 작물마다 달리 나타나는 작물계수와 함께 작물이 이용하는 실제 증발산량 계산에 필수적인 요소로서 작물 주변의 환경을 나타내는 여러 가지의 기상인자를 이용해 계산된다. 따라서 본 연구는 온·습도, 풍속, 일사량, 지중열류량 등의 기상요소 측정을 위해 경기도 수원에 위치하고 있는 축산 연구소 구내 옥수수 재배지에서 1m 떨어진 초지에 측정 장비를 설치하였다. 본 옥수수 재배지는 면적이 2ha로서 해발이 약 50 m이고, 경사도가 17%이며 토양은 사양질계 적황색토인 예산통(coarse loamy, mesic family of Typic Dystrudepts)이었다. 또한, 표토의 토성은 미사질양토이며 표토와 심토의 평균 용적밀도는 $1.23 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 이었다. 재배작물은 사료용 옥수수로서 식용 옥수수보다 밀식재배(70~15 cm) 하였으며 기간은 파종일인 2003년 5월 26일부터 옥수수를 사료로서 수확한 시기인 8월 25일까지 기상요소를 측정하였다. 또한 파종 후 수확하기까지의 강우량은 880 mm이었다. 증발산 계산용 기상요소들을 측정하기 위해 3m 높이의 타워를 세우고 복사 가리개 내부에 온도와 습도를 측정하는 센서(HMP 35C, Vaisala Inc., Finland) 및 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 m의 토양 깊이에 서미스터 방식의 토양온도 센서(PT 100)를 설치하였으며 태양에서 토양으로의 지중열류량을 측정하기 위한 지중열류관(Model HFT-3, REBS, USA)도 설치하였다. 또한 태양광의 복사수지를 분석하기 위하여 알베도 미터(Model 240-8101, NovaLynx Corp., USA)와 순복사계(Model 240-100, NovaLynx Corp., USA)를 설치하였다. 이런 장비들로부터 매 1분마다 측정되는 자료는 자료수집장치(Model DT 600, Data Taker, Australia)를 이용하여

수집하고, 그 값을 60분 간격으로 평균하거나 또는 누적하여 저장한 값을 FAO PM 모형의 RET 계산을 위한 기상인자 분석에 이용하였다.

FAO Penman-Monteith Method 증발산량 추정을 위한 FAO PM법은 Blaney-Criddle 모형이나 Penman 모형, Hargreaves 모형 등이 1주일이나 10일 이상의 평균기상 자료를 이용하여 그 기간동안의 평균 증발산량을 예측하는 반면에, 다양한 기상요소들과 식물생육정도를 반영하여 1일 증발산량이나 시간 단위의 증발산량 예측이 가능한 모델이며 다른 모델들이 PET를 기준으로 하여 증발산량을 평가하는데 반해 RET를 증발산량 평가의 기본으로 한다는 점도 차이가 난다(Kashyap et al, 2001).

FAO PM 모델은 잠열을 계산하기 위한 모델(①)에서 λ 를 나누어줌으로서 RET 식으로 만들어 줄 수 있고 이 식은 잔디를 기준식물로 해서 다음의 식(②)으로 표현된다.

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{(e_s - e_a)}{T_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{T_a}\right)} \quad \dots\dots ①$$

$$ET_0 = \frac{0.48[R_n - G] + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 273}\right) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad \dots\dots ②$$

여기서, ET_0 는 $RET \{ \text{mm} \cdot \text{day}^{-1} \}$ 이고 R_n 은 순복사량 $[\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}]$, G 는 지중열류 $[\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}]$ 이다. T 는 일일 평균기온 $[^\circ \text{C}]$, U_2 는 2m 높이에서의 평균풍속 $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ 이며 e_s 는 포화 수증기압 $[\text{kPa}]$ 이고 e_a 는 실제 수증기압 $[\text{kPa}]$ 이다. Δ 는 수증기압 곡선의 온도에 따른 기울기 $[\text{kPa} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}]$ 이고, γ 는 psychrometric 상수 $[\text{kPa} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}]$ 로서 대기압(P)의 함수로 $(0.665 \cdot 10^{-3} \cdot P)$ 표현된다.

식 ①과 ②에서 잠열이나 RET는 순복사량과 지중열류량의 계산을 통해 얻을 수 있는데 그중 순복사량의 계산식은 다음과 같다.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} = (1 - \alpha) \cdot R_s - R_{nl} \quad \dots\dots ③$$

여기서, 순복사량은 먼저 단파에 의한 복사량(R_{ns})과 장파에 의한 복사량(R_{nl})을 구분해야 한다. 이 식은 ③과 같이 지표면 반사율(albedo, α)과 실측한 일사량(R_s)과의 관계로 만들 수 있다. 식 ③에서 장파에 의한 복사량을 구하기 위해서 다음과 같은 식 ④를 적용한다.

$$R_{al} = \sigma \left(\frac{T_{maxK}^4 + T_{minK}^4}{2} \right) (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \dots\dots ④$$

여기서, σ 는 스테판-볼츠만 상수로서 2.043×10^{-10} [$MJ \cdot m^{-2} \cdot hour^{-1} \cdot K^{-4}$]이고 T_{max} 는 최고기온[$^{\circ}K$], T_{min} 는 최저기온[$^{\circ}K$], R_{so} 는 맑은 날의 복사에너지 [$MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$]를 나타내고 그 값은 다음의 식 ⑤에서 얻을 수 있다.

$$R_{so} = [0.75 + (2 \times 10^{-5}) \cdot z] R_a \dots\dots ⑤$$

여기서, R_a 는 지구까지 도달한 태양복사 에너지 [$MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$]를 나타내고 z 는 해수면으로부터의 높이(해발고도)를 나타내며 R_a 를 구하는 공식은 식 ⑥과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot (\omega_s \cdot \sin(\psi) \sin(\delta) + \cos(\psi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)) \dots\dots ⑥$$

여기서, G_{sc} 는 태양상수로서 0.0820 [$MJ \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$]이고, d_r 는 태양과 지구의 역 상관거리, δ 는 태양의 적위 [rad], ψ 는 위도 [rad], ω_s 는 일몰시간 각도 [rad]를 나타내며 d_r 과 및 ω_s 를 구하는 방법은 식 ⑦, ⑧, ⑨와 같다. 여기서 J 는 누적일수이다.

$$d_r = 1 + 0.033 \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right) \dots\dots ⑦$$

$$\delta = 0.409 \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right) \dots\dots ⑧$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\psi) \tan(\delta)) \dots\dots ⑨$$

결과 및 고찰

알베도에 의한 순복사량 지표면 반사율을 의미하는 알베도는 태양으로부터 지표면으로 내리쬐는 일사량과 지표면이나 canopy로부터 대기권으로 복사되는 비율로 표시되며, 이는 순복사 값에 중요한 영향을 미친다(윤, 1999). Fig. 1은 옥수수 재배지에 가까운 초지의 알베도 측정값을 보여주고 있다. 이 값의 측정 시기는 2003년 6월 3일부터 8월 21일까지이며 평균값은 0.20이고 최대는 0.23, 최소는 0.12를 나타냈다. 작물 생육기간의 지표면 반사율은 작물에 따라 0.2~0.25사이로 알려져 있고(FAO, 1998), FAO PM에서 식 ③에 적용하는 값은 잔디의 지표면 반사율인 0.23으로 되어 있다. 토양의 알베도는 토양의 피복도나 수분상태, 작물의 생육정도 및 태양의 입사각에 따라 변이가 다양하므로 식 ③이 어떤 결과를 제공하는지에 대한 검증이 필요하다. Fig. 2는 알베도미터를 이용해 측정된 초지의 반사율(왼쪽)과 잔디의 알베도(오른쪽)를 식 ③에 적용하고 그 값을 다시 식 ④~⑨까지의 과정에 적용해 구한 순복사량 값들을 실제 측정된

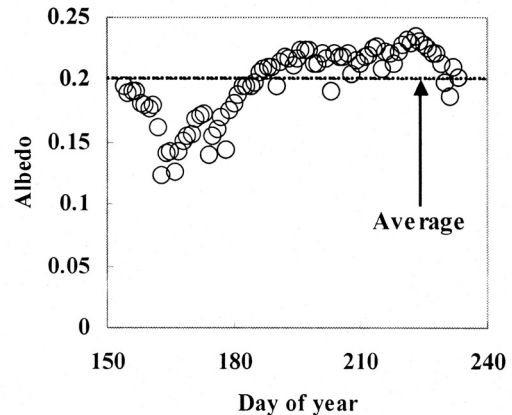


Fig. 1. Daily change of albedo by grass growth (2003. 6. 3-8. 21).

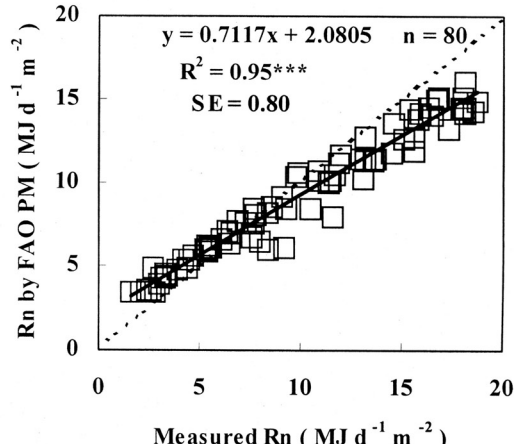
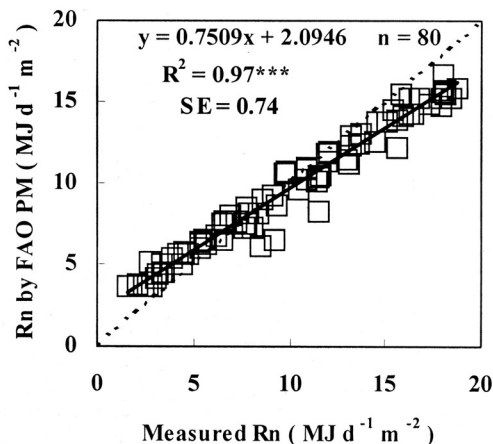


Fig. 2. Comparison of net radiation (Rn) with albedo measured in grass canopy (left) and fixed albedo (right).

순복사량과 비교한 그림이다. 측정 알베도를 이용해 구한 회귀식의 결정계수는 0.97, 표준오차는 0.74이고, 잔디의 알베도인 0.23을 이용해 구한 회귀식의 결정계수는 0.95, 표준오차는 0.80으로 두 식 모두 p값이 0.001보다 작아 예측 값은 실제 값에 직선의 상관관계를 이루며 회귀식의 유의성이 인정된다. 따라서 식물이 성장하는 곳에서는 알베도 측정을 통해 순복사량을 구하는 것이 참 값에 가깝지만 측정 자료를 구할 수 없을 때는 잔디의 지표면 반사율을 적용해도 오차의 정도가 0.06정도로 실측했을 때와 큰 차이가 없으므로 이를 이용해 순복사량을 구한다면 측정된 값에 근접한 값을 얻을 수 있을 것이다. 즉, 이 결과는 순복사량과 알베도를 따로 측정하지 않더라도 식 ③에서 α 값은 0.23으로 고정하고 측정된 일사량과 측정된 최고·최저기온과 실제 수증기압에 따라 계산된 장파복사량을 이용해 순복사량을 구할 수 있음을 의미한다.

지중열류에 의한 RET 에너지 수지에 따른 지중열류는 지표면으로 들어오는 태양 복사에너지와 지표면에서 대기중으로 나가는 복사에너지의 차이에 의한 값이고 FAO PM에서는 순복사와의 에너지 차이로 증발산량에 영향을 미친다. 그러나 지중열류는 다른 기상요소들과는 달리 측정이 쉽지 않아 FAO PM에서의 영향 정도에 대한 판단이 용이하지 않다. Fig. 3은 이에 대한 판단을 하고자 순복사량은 측정값을 이용하고, 지중열류 측정값이 문혀 있는 지중 5cm 깊이에서 측정된 지중열류(G_{5cm})와 지표면 보정식(허 등, 2004)에 의해 보정된 지중열류(G_{0cm})를 식 ②에 적용해 구한 RET를 지중열류가 0일 때의($G=0$) RET 값과 비교 분석한 것이다. 그림에서 보듯이 $G=0$ 일 때의 RET는 G_{5cm} 에서의 RET보다 3-5mm 범위에서 약간 크게 예측하고, 지표면 지중열류(G_{0cm})에서의 RET는 5mm 이상에서 약간 작게 예측하는 경향이나

표준오차가 각각 0.21과 0.1로서 두 경우 모두 거의 일치하는 경향을 보인다. 따라서 FAO PM 모형을 이용해 증발산량을 산정하고자 할 때 지중열류를 측정할 장치나 방법이 없다면 식 ①이나 ②에서 지중열류항을 무시하고 계산해도 RET를 산정할 수 있다고 여겨진다.

순복사량에 따른 RET FAO PM에서 RET 계산을 위한 주요 인자이며 일사량과 지표면 반사율의 함수인 순복사량의 측정치가 있을 경우와 없을 경우를 비교하기 위해 Figure 4에서는 측정 순복사와 보정된 지표면 지중열류 값에 의한 RET를 지중열류량을 모두 0으로 했을 때 측정 순복사에 의해 얻어진 RET(I), 측정 알베도에 의해 얻어진 순복사로 계산한 RET(II), 일정한 알베도(0.23)를 대입해 얻어진 순복사로 계산한 RET(III)와 비교하였다. Table 1은 Fig. 4의 통계분석 값들을 나타낸 것이다. I의 분석 결과는 Fig. 3에 설명되어 있으며, II와 III의 결정계

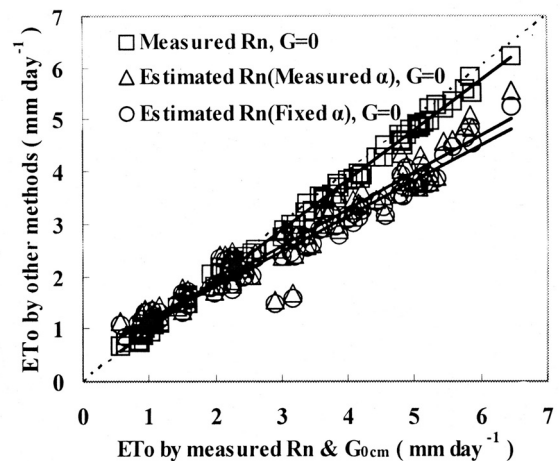


Fig. 4. Comparison of various RET calculated by meteorological data

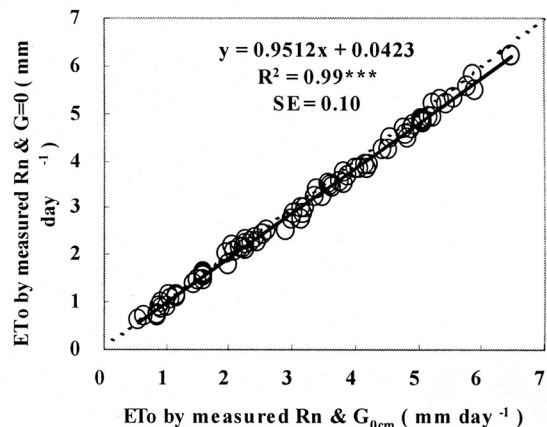
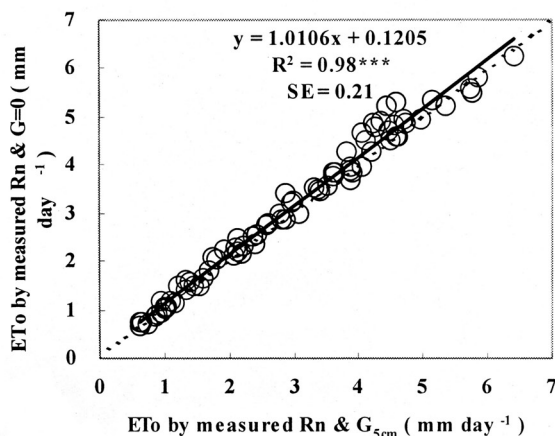


Fig. 3. Comparisons of RET between G_{5cm} , G_{0cm} and $G=0$.

Table 1. Statistical analysis of various RET.

	Regression Equation	R ²	Standard Error	p value
I	y=0.0423+0.9512x	0.99	0.10	<0.001
II	y=0.7432+0.7030x	0.94	0.28	<0.001
III	y=0.4759+0.6709x	0.95	0.25	<0.001

수와 p값은 예측 순복사에 의한 RET가 실측 순복사에 의한 RET를 비교적 잘 설명하고 있음을 보여주고 있으나 RET가 3mm이상일 때는 오차가 커지는 경향이므로 II와 III처럼 알베도 값과 일사량 및 식 ③~⑨를 이용해 얻어진 순복사를 이용해 RET를 계산할 때는 Table 1에 나타나 있는 회귀식을 이용해 이를 보정해 주어야 RET 계산의 오차를 줄일 수 있을 것이다.

요 약

FAO에서는 세계의 증발산량을 동일한 방식으로 산정하기 위해 다양한 형태의 모형들을 소개하고 각국이 적용하도록 권고해왔으며 최근에는 Penman-Monteith(PM) 모형을 증발산 산정에 이용하도록 하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 기상요소와 작물 생장을 고려해 시간별 또는 일별로 증발산량의 정량화가 가능한 FAO PM 모형의 증발산량 계산에 이용되고 있는 다양한 기상요소들을 평가하고자 하였다.

측정 장비를 통해 얻어진 순복사량과 지중열류량, 수증기압, 풍속, 기온 등의 기상요소를 PM 모형계산식 ②부터 ⑨까지의 과정에 적용해 보았다. 초지에서 측정된 알베도의 평균값은 0.20이고 최대는 0.23, 최소는 0.12를 나타내 평균값은 FAO PM에서 잔디의 반사율인 0.23보다 다소 낮은 값을 보였다. 측정 알베도에 의한 순복사량과 잔디의 알베도(0.23)를 이용한 순복사량을 비교해보면 결정계수는 0.97과 0.95, 표준오차는 0.74와 0.80이었으나 예측 값은 실제 값에 직선의 상관을 이루며 회귀식의 유의성이 인정되었다. 지중열류량의 FAO PM에서의 영향정도를 판단하기 위해 지중 5cm 깊이에서 측정된 지중열류(G_{5cm})와 지표면 보정식에 의해 보정된 지중열류량(G_{0cm})을 지중열류량이 0일 때의($G=0$) RET 값과 비교하면 $G=0$ 일 때의 RET는 G_{5cm} 에서의 RET보다 3-5 mm 범위에서 약간 크게 예측하고, G_{0cm} 에서의 RET 보다는 5mm 이상에서 약간 작게 예측하나 두 경우 모두 거의 일치하는 경향이였다. 측정된 순복사와 G_{0cm} 에 의한 RET를 지중열류량을 모두 0으로 했을 때 측정 순복사에 의해 얻어진 RET(I), 측정된 에 의해 예측된 순복사로 계산한 RET(II), $\alpha=0.23$ 을 대입하여 구한 순복사로 계산한 RET(III)와 비교했을 때 I, II, III의 결정계수와 표준오차 및 p값은 측정 순복사량과

G_{0cm} 에 의한 RET를 비교적 잘 설명하고 있으나, II와 III처럼 알베도 값과 일사량 및 식 ③~⑨를 이용해 얻어진 순복사량을 이용해 RET를 계산할 때는 Table 1에 나타나 있는 회귀식을 이용해 이를 보정해 주어야 RET 계산의 오차를 줄일 수 있을 것이다.

이상의 결과를 종합하면 FAO PM 모형에 이용되는 기상요소들을 측정할 수 없을 때는 지표면 복사율을 나타내는 지중열류 값은 0으로 산정하고 순복사량 예측 값과 잔디의 지표면 반사율 또는 알려진 작물의 반사율을 이용해 RET를 계산하는 것이 가능할 것이다.

인 용 문 헌

- Allen, R.G. 1986. A Penman for all seasons. *J. Irrig. and Drain. Engrg.* 112:348-368.
- Allen, R.G., and W.O. Pruitt. 1986. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. *J. Irrig. and Drain. Engrg.* 117:758-773.
- Eom, K.C., D.S. Oh, K.C. Song, I.S. Jo, and D.W. Seo. 1999. A guide book for water management of upland crops. *Natio. Insti. of Agri. Sci. and Tech., RDA, Suwon, Korea*
- FAO. 1998. Crop evapotranspiration. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy.*
- Hanks. 1974. Model for prediction plant yield as influenced by water use. *Agro. J.* 66:660-665.
- Hur, S.O., W.T. Kim, K.H. Jung, and S.K. Ha. 2004. Estimation of soil surface temperature by heat flux in soil. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 37:131-135.
- Im, J.N., and S.H. Yoo. 1986. Modeling of Estimating Soil Moisture, Evapotranspiration and Yield of Chinese Cabbages from Meteorological Data at Different Growth Stages. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 21:386-408.
- Im, J.N., Y.S. Jung, K.S. Ryu, and S.H. Yoo. 1982. Evapotranspiration of Soybean-Barley Cropping as a Function of Evaporation and Available Soil Water in the Root Zone. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 15:213-220.
- Jansen, M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirement. *ASCE manuals and Reports on Engineering Practices No. 70., Am. Soc. Civil Engr., NY, USA.*
- Jensen, M.E., D.C.N. Robb, and C.E. Franzy. 1970. Scheduling irrigation using climate crop soil data. *J. Irrig. Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr.* 96:25-28.
- Jo, H.K. 1974. On Evapotranspiration by Method of Atmospheric Water Balance. *Magazine of Korea Water Resources Association.* 7:23-26.
- Kashyap, P.S., and R.K. Panda. 2001. Evaluation of

- evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. *Agricultural Water Management*. 50:9-25.
- Lee, J.K. 1973. Water Requirement for Crops by using Meteorological data. *Magazine of Korea Water Resources Association*. 6:87-99.
- Lee, K.H. 1972. Analysis of hydraulic meteorological basic data for water balance of watershed. *Magazine of Korea Water Resources Association*. 5:44-48.
- Lee, K.H. 1973. On the Evapotranspiration Model derived from the Meteorological Elements and Penman equation. *Magazine of Korean Water Resources Association*. 6:6-11.
- Lee, Y.S., J.N. Im, and Y.H. Kang. 1988. The Measurement of Seasonal Evapotranspiration above Corn Canopy Based on the Bowen ratio-Energy Balance Method. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 21:15-19.
- Oh, D.S., Y.W. Kwon, J.N. Im, and K.S. Ryu. 1996. Actual evapotranspiration of sesame crop cultured with and without transparent plastic film mulch. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 29:34-43.
- Oh, Y.T., D.S. Oh, K.C. Song, K.C. Um, J.S. Shin, and J.N. Im. 1996. Drought estimation model using a evaporation pan with 50 mm depth. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 29:92-106.
- Ritchie, J.T. 1972. Model for prediction evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resource Research*. 8:1204-1213.
- Ritchie, J.T. and E. Burnett. 1968. A precision weighing lysimeter for row crop water use studies. *Agron. J.* 60:545-549.
- Yoon, J.I. 1999. *Agricultural meteorology*. p. 55. Arche Press, Seoul, Korea
- Yoo, S.H. 2000. *Soil encyclopedia*. p. 296. Seoul National University Press, Seoul, Korea.