

## 일단위 온도에 기초한 증발산량의 산정

## Calculation of Evapotranspiration Based on Daily Temperature

오 남 선\* / 이 길 하\*\*

Oh, Nam Sun / Lee, Khil-Ha

## Abstract

This study presents the calculation of evapotranspiration using estimated daily incoming solar radiation based on maximum daily temperature and minimum daily temperature. The Thornton and Running method(1999) was used to estimate daily incoming solar radiation and then the resulting solar radiation was compared with the measurements. It showed that the estimated daily solar radiation was within reasonable accuracy. In turn, the estimated daily solar radiation was applied to calculate the daily evapotranspiration using the Priestly-Taylor equation and Penman equation and the general results were that evapotranspiration was overestimated in the Priestly-Taylor equation but that Penman was a good estimator with this approach. It is encouraging that it is possible to use this approach, because the required historical data for its estimation are not extensively available and it is not easy to access the meteorological stations in most areas. The calculated evapotranspiration was compared with that of Hargreaves which was based on daily temperature, and gives us some intuition in terms of engineering.

**Keywords** : evapotranspiration, solar radiation, Penman equation, Priestly-Taylor equation, Hargreaves equation

## 요 지

이 연구에서는 일교차를 이용하여 일평균 증발산량을 산정한다. 이를 위하여 Thornton 과 Running(1999)의 일평균 태양 복사열 산정을 위한 경험식을 이용하여 태양복사열을 계산하여 이를 현장 자료와 비교한 결과 비교적 정확한 범위 내에 있다는 것을 확인하였다. 이렇게 산정된 일평균 태양 복사열을 증발산량의 계산을 위해 Priestly-Taylor 공식과 Penman 공식에 적용함으로써 현장에서의 정확성과 사용가능성을 확인해 보고자 하였다. 그 결과로 태양 복사열에 중점을 둔 Priestly-Taylor 공식은 과다추정하는 경향을 보이나, Penman 공식은 비교적 정확한 증발산량의 산정을 보여 줌으로써 기상 관측 자료가 풍부하지 않은 지역에서의 사용가능성을 보여주었다. 또 계산된 증발산량을 일단위 온도만을 이용하여 증발산량을 산정하는 Hargreaves 공식과 비교하여 각 공식의 장단점을 공학적 측면에서 알아보고자 하였다.

**핵심용어** : 증발산량, 태양복사열, Penman 공식, Priestly-Taylor 공식, Hargreaves 공식

\* 목포해양대학교 해양토목공학과 부교수

Associate Professor, Department of Ocean Civil Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

(E-mail : sun@mmu.ac.kr)

\*\* Research Associate, Environmental Research Institute, University of Connecticut, Storrs Connecticut, USA

(E-mail : khlee@enr.uconn.edu)

## 1. 서론

최근 들어 강우량을 이용하여 지표수 유출을 예측하는 수문학적 수치모형이 많은 연구자에 의해 연구, 개발되어 오고 있다. 이는 기상예측모형(Weather Forecasting Model)과 기후예측모형(Climate Prediction Model)에 적절한 매개 변수를 제공하고자 하는 목적과 더불어 하천유량을 정확하게 산정함으로써 수자원의 효과적인 관리와 운영에 이용하고자 함이다.

수문학적 순환에서 강우량이 발생하면 강우의 일부 분은 침투되어 토양을 통하여 유출되거나 증발된다. 또 다른 일부는 얇은 토양층에서의 증발과 식물의 토양수분흡착구역(Plants' Rooting Zone)에서 식물에 의해 흡착된 토양 수분이 대기중으로 발산된다. 이렇게 소실된 일정 양의 강우량을 제외한 나머지가 지표수 흐름으로 나타나게 되고, 이 지표수 흐름에 대한 적절한 지식은 수자원 계획과 운영에 연계된다.

지금까지 수치모형을 이용하여 정확한 지표수 유출을 예측해내기 위한 노력이 전세계적으로 꾸준히 전개되어 왔음에도 불구하고, 이에 필요한 증발산량의 산정에 관한 연구는 불충분하며 특히 자료가 부족한 지역에 대한 정확한 적용은 어려움이 많다. 본 연구에서는 보다 정확한 수문학적 모델링에 필요한 증발산량의 산정 방법에 대해 간단한 검증을 거쳐 그 사용 가능성을 검토하고자 하였다. 이론적으로는 Penman-Monteith 공식(Monteith, 1981)이 증발산량의 산정에 있어 가장 견고한 물리적 이론을 바탕으로 하나, 실제에 있어서는 너무 많은 입력자료를 필요로 하기 때문에 그 사용이 쉽지가 않다. 또한 오랜 기간동안의 기상자료를 필요로 하기 때문에 하천유량의 예측을 필요로 하는 지역에서 Penman-Monteith 공식의 적용에 필요한 자료를 취득하기는 쉽지 않다. 그래서 대부분의 수문학적 모형에서는 간단하고 구하기 쉬운 입력자료를 이용한 반경험식을 사용한다. 특히 하천유량의 예측은 실시간에 따라 필요로 하는 것이 아니라 일정한 기간(예를 들면 일단위, 주간위, 월단위 등) 동안의 수문량을 필요로 하므로 반경험식을 통한 증발산량의 산정이 합리적인 경우가 많다.

증발산량의 산정과 관련하여 지금까지 여러 형태의 반경험식들이 외국에서 제안되어 왔다. 국내에서는 이러한 반경험식을 이용하거나 독자적인 방법으로 증발산량을 측정할 수 있는 연구가 다음과 같이 진행되어 왔다. 임창수(1996)는 실제증발산량, 잠재증발산량 그리고 토양수분조건 사이의 상관관계에 대하여 연구하였다. 채효석 등(1999)은 수치표고자료와 토지피복도를 입력

자료로하여 증발산량의 시·공간적 분포양상을 계산할 수 있는 격자기반의 일 증발산량 추정 모형을 개발하였다. 또 채효석 등(2000)은 Landsat TM 자료와 GIS 기법을 이용하여 지표면 에너지수지를 분석하고 이로부터 광역증발산량을 추정하였다. Rim(2000)은 Penman 공식, Priestly-Taylor 공식, 수정 Dalton 모형, 수정 Penman-Monteith 모형 그리고 Thornthwaite 모형을 미국의 관측자료에 적용한 후 각 모형의 장단점을 비교하였다. 그 결과 수정 Penman-Monteith 모형과 수정 Dalton 모형이 검토된 모형중 비교적 정확한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 오남선 등(2002)은 물리적 모형(SVATS), Penman 공식, Priestley-Taylor 공식 그리고 Hargreaves 공식을 이용하여 증발산량을 산정한 후 각 모형의 장단점을 비교하였다.

그러나 지금까지 제시된 대부분의 반경험식들도 그 적용을 위하여 태양복사열(Incoming Solar Radiation) 자료를 입력자료로하고 있어 충분한 자료가 갖추어지지 않은 지역에서는 사용이 불가능하다. 따라서 이 연구에서는 온도의 일교차에서 태양복사열을 산정한 후 이를 이용하여 일평균 증발산량을 산정할 수 있는 방법에 대하여 연구함으로써 자료가 부족한 지역에서의 증발산량 산정방법을 검토하고자 한다. 이를 위하여 먼저 Thornthwaite 과 Running(1999)의 일평균 태양 복사열 산정을 위한 경험식을 이용하여 태양복사열을 계산한다. 이렇게 산정된 일평균 태양 복사열을 Priestly-Taylor 공식과 Penman 공식에 적용한 후 이로부터 실제 증발산량을 계산하게 된다. 이와 같이 계산된 결과는 현장자료와 비교하여 그 적용가능성을 검토하였다. 계산된 결과는 Hargreaves 공식(1994)을 이용한 결과와도 비교하여 각 방법의 장단점을 검토하고자 한다.

## 2. 연구의 방법

### 2.1 현장자료

이 연구에서 사용된 현장자료는 미국 일리노이주 Champaign의 남부(위도 40.01N, 경도 88.37W)에서 측정된 자료로 우리나라와 비슷한 위도상에 위치한다. 따라서 이 자료를 이용하여 일단위 온도에 의한 증발산량을 산정, 분석함으로써 같은 방법의 우리나라에 대한 적용가능성을 검토할 수 있으리라 판단된다. 이 자료는 한 지점에서 측정된 것으로 Sensible Heat Flux, Latent Heat Flux는 물론 대기의 온도와 습도, 표면 압력, 풍속, 장파복사, 단파복사, 강우량 등 많은 기상자료가 관측되었다. 전체 자료는 30분 간격으로 측정하였기 때문에 여러 종류의 반경험식들을 이용하여 구체적인 증발

산량을 계산하기에도 적합하다.

## 2.2 일교차를 이용한 일평균 복사열의 산정

수문학적 연구에 있어 부족한 자료로 인해 발생하는 어려움은 일반적으로 일어나는 현상이다. 증발산량의 산정을 위한 반경험식들은 대부분 일평균 복사열을 입력자료로 필요로 하나 자료가 불충분한 경우가 많다. 따라서 많은 연구자들이 이러한 문제를 해결하려고 노력해왔다. Bristow와 Campbell(1984)은 지표부근의 온도가 일단위 태양복사열과 상관관계가 있다는 것에 착안하여 일교차를 이용하여 태양복사열을 계산하는 경험식을 제시하였다. 이 경험식을 바탕으로 Thorton과 Running(1999)은 최고온도와 최저온도, 습도 그리고 강우량을 이용하여 보완된 일단위 태양복사열 산정공식을 다음과 같이 제시하였다.

$$R_{gh} = T_t \cdot R_{pot} \quad (1)$$

여기서  $R_{gh}$ 는 태양복사열(mm/day),  $T_t$ 는 일교차의 함수이고,  $R_{pot}$ 는 대기권 밖에서의 복사에너지(Extra-terrestrial Radiation, mm/day)이다.  $T_t$ 는 Thorton과 Running(1999)에 의하면 다음과 같다.

$$T_t = T_{t,max} (1 - \exp(-B \cdot \Delta T^c)) \quad (2)$$

여기서  $\Delta T$ 는 일교차이고,  $T_{t,max}$ ,  $B$ ,  $C$ 는 경험계수로 자세한 값은 Thorton과 Running(1999)에 기술되어 있다.

$R_{pot}$ 는 위도와 날짜에 따라 변하는데 이를 위한 산정은 Maidment(1993)의 식이 이용되었다.

$$R_{pot} = 15.392d_r(w_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin w_s) \quad (3)$$

여기서  $\phi$ 는 위도,  $d_r$ 는 지구와 태양간의 상대거리,  $w_s$ 는 일몰 시간각(Sunset Hour Angle) 그리고  $\delta$ 는 태양경사(Solar Declination)이다.

## 2.3 증발산량 산정공식

식(1)에서 기술한 태양복사열은 단파복사열이며, 증발산량 산정공식의 적용을 위하여 지표면에 따른 반사율(Albedo)과 장파복사열을 고려하여 순복사열(Net Radiation,  $R_n$ )을 계산할 필요가 있다. 여기에서는 지표면 반사율로 일반적인 값인 25%를 사용하였으며 장파복사열  $L_n$ 은 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$L_n = -f\epsilon\sigma T^4/\lambda \quad (4)$$

여기서  $f$ 는 구름의 영향을 고려한 인자로 여기서는 태

양복사열의 투과율이 사용되었으며  $\epsilon$ 는 복사율(Emissivity),  $\sigma$ 는 스테판-볼츠만 상수,  $T$ 는 표면온도(K) 그리고  $\lambda$ 는 증발잠재열(Latent Heat of Vaporization)로 단위질량의 물이 증발하는데 필요한 에너지이다.

증발산량의 단위는 증발산량 산정공식에 따라 mm/day 또는  $W/m^2$ 이 이용된다. 즉, 증발산량( $E_p$ , mm/day)은 증발잠재열( $\lambda$ , Latent Heat of Vaporization)을 곱하여 잠재열플럭스( $\lambda E_p$ , Latent Heat Flux)로 변환될 수 있다. 일반적으로 1mm/day는  $28.6 W/m^2$ 과 동일하며  $100 W/m^2$ 은 3.5mm/day에 해당한다.

이상과 같이 식(1)과 식(4) 등에 의하여 복사열이 구해지면 이로부터 순복사열,  $R_n$ 을 계산할 수 있다. 순복사열이 계산되면 이로부터 기존의 증발산량 산정공식을 이용하여 증발산량을 산정할 수 있는데, 본 논문에서 이용하고자 하는 증발산량 산정공식은 각각 Penman 공식, Priestly-Taylor 공식, Hargreaves 공식으로 각각에 대한 설명은 다음과 같다.

### 2.3.1 Penman 공식

Penman(1948)은 자유수면에서의 증발산량을 계산할 수 있는 식을 제안하였다. 이 식은 수분을 포함한 토양에서의 증발산량을 계산할 수도 있으며 향후 여러 연구에서 수정된 식들이 제안되었다.

$$\lambda E_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 6.43(1 + 0.536 U_2)D \quad (5)$$

여기서,  $\lambda E_p$  ( $W/m^2$ )는 잠재열 플럭스로서 증발에 소요된 단위면적당 에너지,  $\Delta$ 는 포화증기압곡선의 경사,  $\gamma$ 는 Psychrometer 상수,  $R_n$  ( $W/m^2$ )은 태양의 잔류복사열(Net Radiation),  $G$  ( $W/m^2$ )는 토양으로의 열 전달,  $U_2$  (m/sec)는 지상 2m에서의 풍속 그리고  $D$ 는 포화 결손량(Saturation Deficit)으로 현재온도에서의 포화증기압에서 현재의 증기압을 뺀 값이다.

식(4)에서 첫째 항은 태양에너지에 의한 증발산량을 의미하며 둘째 항은 공기동역학적(Aerodynamic) 증발산량을 의미한다. 이 두 항의 조합으로 이루어진 Penman의 접근방법은 잠재증발산량을 계산하게 되는데, 잠재증발산량은 수분의 공급이 충분한 상태인 이상적인 자유수면하에서 단위면적당 단위시간당 증발가능한 최대가능증발산량을 의미한다. 이 공식은 단지 한 지점의 입력자료만 있으면 잠재증발산량을 계산할 수

있다는 장점이 있으며 태양의 잔류복사열, 온도, 습도 그리고 풍속 자료가 필요하다.

### 2.3.2 Priestly-Taylor 공식

Priestly-Taylor(1972) 공식은 Penman-Monteith (Monteith, 1981) 공식의 간단한 형태로서 복사에너지에 근거한 방법이다. 이 공식에서는 토양-식생-대기에 일어나는 물의 이동에서 식물의 기공저항(Stomatal Resistance), 토양저항(Soil Resistance), 공기동역학적 저항(Aerodynamic Resistance)을 간단화한 상수  $\alpha$ 로 처리하였다.

$$\lambda E_p = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n - G) \quad (\text{W/m}^2) \quad (6)$$

여기에서 Priestly-Taylor(1972)는 약 80%의 증발산량이 이용가능한 태양의 복사열에 의해 좌우되며 약 21-22%의 증발산량이 공기동역학적 작용에 의해 일어나는 것으로 보고 충분한 물 공급이 있는 표면에서는  $\alpha$ 를 1.26으로 처리하였다(Kimball 등, 1997). 이 식은 또한 다른 식과 마찬가지로 수평방향의 에너지 이동에 의한 증발산량의 영향을 무시하였다.

### 2.3.3 Hargreaves 공식

Hargreaves 공식(1985)에 의한 기준곡물증발산(Reference Crop Evapotranspiration,  $E_{RC}$ )의 추정은 식물의 소비수량과 물수요를 산정하기 위하여 널리 사용되는 방법이다. 기준곡물증발산은 높이 0.12 m, 반사율(Albedo) 0.23 그리고 표면저항(Surface Resistance) 69 s/m인 이상적인 초지에서의 증발율(rate of evaporation)을 의미한다. 기준곡물증발산을 추정하기 위하여 많은 방법들이 제안되었는데 그 가운데 Hargreaves 등(1985)이 제안한 방법은 온도의 측정만으로 기준곡물증발산을 추정할 수 있어 간편하게 이용할 수 있으며 다음 식과 같이 표현된다.

$$E_{RC} = 0.0023 \bar{\delta}_T^{0.5} S_0 (T + 17.8) \quad (\text{mm/day}) \quad (7)$$

여기서,  $\bar{\delta}_T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )는 최고기온의 평균값과 최저기온의 평균값의 차이이고,  $S_0$ (mm/day)는 대기권 밖에서의 복사에너지(Extraterrestrial Radiation)를 증발율로 환산한 값이며,  $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )는 섭씨온도이다.  $S_0$ 의 값은 위도와 계절에 따라 변하며 그 값은 Hargreaves(1994)에 제시되어 있다. 위 식은 Hargreaves(1985)에 의하면 전 세계적으로 큰 수정 없이 이용할 수 있다.

식(6)에서  $S_0 \bar{\delta}_T^{0.5}$ 는 Priestly-Taylor 공식의 순복사열( $R_n - G$ )을 근사하며,  $T + 17.8$ 은  $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ 를 근

사하게 된다.

## 2.4 실제 증발산량의 계산

일반적으로 실제 증발산량을 계산하는 방법은 Two-Step 방법으로 잠재증발산 또는 기준곡물증발산을 계산한 후 증발가능한 수분의 양과 식생군의 종류에 따른 계수를 고려하게 되며 식의 형태는 다음과 같다.

$$E_{actual} = K_s(\theta) \cdot K_{co} \cdot E_{RC} \quad (8)$$

여기서,  $K_s(\theta)$ 는 토양수분( $\theta$ )에 관한 함수로써,  $\theta$ 는 토양수분흡착구역(Plants' Rooting Zone)에서의 수분이고,  $K_{co}$ 는 작물계수(Crop Coefficient) 그리고  $E_{RC}$ 는 반경험식들에 의하여 계산된 잠재증발산 또는 기준곡물증발산량을 의미한다. Rijtema(1965)은 Penman식에 의해 계산된 잠재증발산량이 짧은 초지에서의 기준곡물증발산량과 크게 차이가 없음을 제시하였다. 따라서 이 연구에서는 Penman 또는 Priestly-Taylor 공식에 의하여 계산되는 잠재증발산량이 Hargreaves 공식에 의하여 계산되는 기준곡물증발산량과 같은 것으로 가정한다.

작물계수  $K_{co}$ 는 Penman-Monteith 공식으로부터 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$K_{co} = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta + \gamma(1 + \gamma_s^s/\gamma_A^c)} \quad (9)$$

여기에서  $\gamma_s^s$ 와  $\gamma_A^c$ 는 각각 곡물의 표면 저항(Surface Resistance)과 유효 공기동역학적 저항(Effective Aerodynamic Resistance)을 나타낸다. 비록 작물계수의 개념은 물리적 이론을 바탕으로 유도되었으나 그 복잡성 때문에 실제 적용에 있어서는 경험값이나 표로 제시된 값들이 이용됨이 바람직하다. 식(8)에 필요한 작물계수로 Hargreaves 등(1985)은 Doorenbos와 Pruitt(1977) 또는 Doorenbos와 Kassam(1979)을 추천하였다.

## 3. 결과와 분석

온도의 일교차를 이용하여 주어진 지역의 6월과 7월의 일주기 태양복사열을 산정하였다. 현장자료는 30분 간격으로 주어져서 온도와 태양복사열을 일단위로 평균하여 계산하였다. 식(1)의 태양복사열을 계산하기 위하여 필요한 모든 매개변수는 Thornton과 Running(1999)에서 주어진 값을 수정없이 사용하였다.

현장에서 관측된 강우량 자료를 일단위로 그림 1에 나타내었다. 그리고 산정된 태양복사열의 결과를 그림 2와 그림 3에 제시하였다. 그림 2에서 태양복사열의 값이 낮은 부분에 대해서는 과다추정하며 높은 태양복사

열 값에 대해서는 과소추정하는 경향을 보였다. 그러나 2개월간의 제곱평균오차(RMSE)는 약  $7W/m^2$ 로 크게 나타나지는 않았다. 그림 3의 산포도를 보면 어느 정도의 오차를 가지는 것으로 판단되는데, 향후 대상 지역과 강우량 등을 고려한 추정방법의 개선 등이 필요할 것으로 판단된다. 이상과 같은 결과는 태양복사열 산정의 복잡성을 감안할 때 어느 정도 정확한 결과를 산정한 것으로 판단된다.

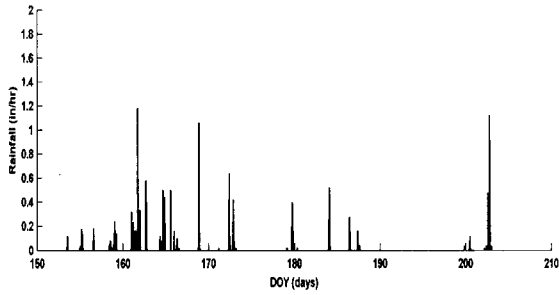


그림 1. 강우량

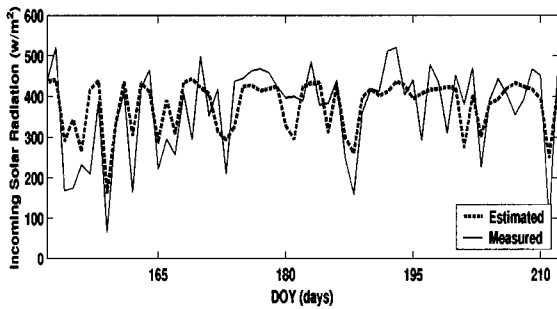


그림 2. 태양복사열의 산정

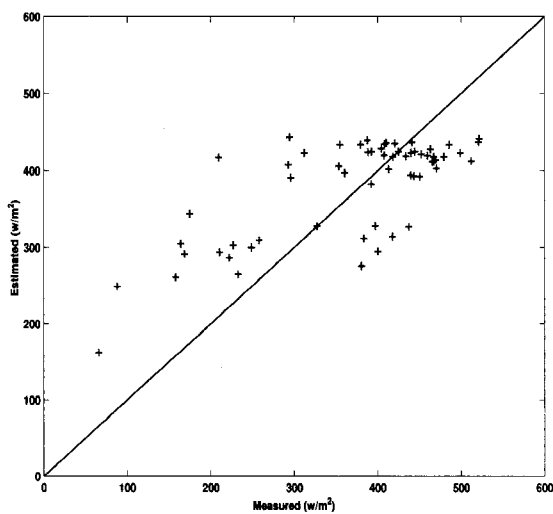


그림 3. 태양복사열 계산결과의 산포도

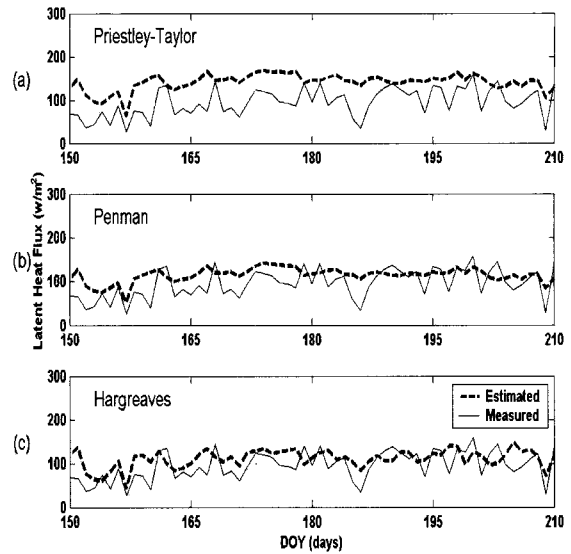


그림 4. 증발산량의 계산결과

이렇게 산정된 일주기 태양복사열 자료를 이용하여 세 가지의 반경험식으로부터 증발산량을 산정하였으며 그 결과를 그림4에 제시하였다. 증발산량의 산정을 위해 필요한 입력자료는 온도나 태양복사열과 같이 일평균값을 계산하여 사용하였다. 그림 4(a)는 Priestley-Taylor공식을 이용하여 계산한 값으로 전반적으로 과다추정하는 결과를 보였다. 이는 Priestley-Taylor공식이 전적으로 복사에너지에 기초한 공식이기때문에 복사에너지 산정시 발생한 오차가 증발산량의 계산결과에 그대로 반영된 것으로 판단된다.

그림 4(b)는 Penman 공식에 의한 증발산량의 계산 결과이다. 그림에서 산정결과는 비교적 정확한 결과를 보여주는 것으로 나타났다. 또한 Penman공식은 쉽게 측정이 가능한 입력자료를 이용하므로 공학적인 측면에서 보면 상당히 유리하다. 그림 4(c)는 Hargreaves공식에 의한 계산 결과이다. 그림에서 볼 때 Hargreaves공식에 의한 증발산량의 계산결과는 다른 방법에 비하여 제일 정확한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 특히 Hargreaves공식에 의한 결과는 앞서 산정된 태양복사열의 이용을 통한 중간과정을 생략하고 최고온도와 최저온도를 이용하여 직접 산정하므로 자료가 빈약한 지역에서 이용하기에 적합한 공식으로 생각된다.

각 계산 결과에 의한 월평균 증발산량을 표 1에 제시하였다. Penman공식과 Hargreaves공식은 비교적 월평균 증발산량을 적절하게 모의하는 것으로 나타났으나 Priestley-Taylor공식은 상당히 과다추정하는 경향을 보였다. 이는 전술한 바와 같이 Priestley-Taylor공식이 전적으로 태양복사열에 기초하기 때문에, 일단위 온도에

의한 태양복사열의 산정과정에서 발생한 오차가 증발산량의 산정결과에 반영된 것으로 판단된다. 각 방법에 의한 오차를 비교하기 위하여 제곱평균제곱근오차(RMSE)를 계산하였다. Priestly-Taylor 방법에 의한 계산결과의 제곱평균제곱근오차는 98.62로 가장 큰 값을 보였으며, Penman 방법과 Hargreaves 방법은 각각 30.94와 28.93으로 Priestly-Taylor보다 작은 값을 나타내었다.

표 1. 월평균 증발산량 계산결과와의 비교

관측치	83.28	105.70
Penman	112.60	115.24
Priestly-Taylor	138.41	142.87
Hargreaves	106.45	114.43

#### 4. 결 론

지금까지 여러 가지의 증발산량 산정방법이 제시되었으나 일반적으로 많은 자료를 필요로 하여 적절한 자료가 갖추어지지 않은 지역에는 적용하기가 힘들다. 이 연구에서는 입력자료의 취득이 어려운 지역에서의 증발산량 산정방법에 대하여 연구하였다. 온도의 일교차를 이용하여 일평균 태양복사열을 산정하고, 산정된 태양복사열을 입력자료로 하여 세 가지의 증발산량 공식으로부터 증발산량을 산정한 후 현장자료와 비교분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

일교차를 이용한 태양복사열의 산정방법(Thornton과 Running, 1999)은 비교적 근사하게 일평균 태양복사열을 산정하는 것으로 나타났다. 태양복사열의 산정결과 낮은 값의 태양복사열에 대해서는 과다추정하며 높은 값의 태양복사열에 대해서는 과소추정하는 경향을 보인다. 이는 지역과 강우량 등에 따른 매개변수의 수정이 필요할 수 있음을 의미한다.

산정된 태양복사열을 이용하여 계산한 결과를 분석하면 Priestly-Taylor 공식은 증발산량을 과다추정하는 것으로 나타났다. 이는 태양복사열의 산정에서 발생한 오차가 그대로 반영된 것으로 판단된다. Penman 공식은 비교적 정확한 결과를 보임으로써 적절한 검정과정을 통하여 실무에 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 일단 위 온도에서 직접 증발산량을 계산해내는 Hargreaves 공식은 앞의 두 공식에 비하여 약간 과다추정하는 경향을 보였으나 실제 증발산량을 근사하게 모의하였다. 특히 Hargreaves 공식은 입력자료의 취득이 쉽고 계산과

정의 간편함을 고려할 때 수문자료가 빈약한 지역에 대하여 적용가능성이 있는 것으로 나타났다. 지금까지 검토한 증발산량의 산정과정은 추후 우리나라에 적용됨으로써 더욱 정확한 평가가 가능할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- 오남선, 이길하, 고영찬(2002). "자료가 빈약한 지역에서의 증발산량 산정 가능성." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제22권, 제6-B호, pp. 795-801.
- 임창수(1996). "제한된 토양함수 조건에 대한 증발산 모형들의 평가." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제16권, 제II-2호, pp. 159-171.
- 채효석, 김성준, 정관수(1999). "격자기반의 일 증발산량 추정모형 개발." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제6호, pp.721-730.
- 채효석, 송영수, 박재영(2000). "Landsat TM 자료를 이용한 광역증발산량 추정." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제4호, pp.471-482.
- Bristow, K.L. and Campbell, G.S.(1984). "On the Relationship Between Incoming Solar Radiation and Daily Maximum and Minimum Temperature." *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 31, pp. 159-166.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H.(1979). "Yield Responses to Water." *Irrigation and Drainage Paper 33*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O.(1977). "Crop Water Requirements." *Irrigation and Drainage Paper 24*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Hargreaves, G.L.(1994). "Defining and Using References Evaporation.", *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 120, No. 6, pp. 1132-1139.
- Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H. and Riley, J.P.(1985). "Irrigation water requirements for Senegal River Basin.", *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. III, No. 3, pp. 265-275.
- Kimball, J.S., Running, S.W. and Nemani, R.(1997). "An Improved Method for Estimating Surface Humidity from Daily Minimum Temperature."

- Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 85, pp. 87-98.
- Maidment, D.R.(1993). *Handbook of Hydrology*. Chapter 4, McGraw-Hill, New York.
- Monteith, J.L.(1981). "Evaporation and Surface-Temperature." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 107, No. 451, pp. 1-27.
- Penman, H.L.(1948). "Natural Evaporation from Open Water." Bare Soil and Grass, *Proceedings of the royal society of London Series A-Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 193, pp.120-145.
- Priestly, C.H.B. and Taylor, R.J.(1972). "On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large Scale Parameters." *Monthly Weather Review*, Vol. 100, pp. 81-92.
- Rijtema, P.E.(1965). "An Analysis of Actual Evaporation." *Agric. Res. Reports*, Vol. 659, p. 107.
- Rim, C.S.(2000). "A Comparison of Approaches for Evapotranspiration Estimation." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol, No.1, pp. 47-52.
- Thornton, P.E. and Running, S.W.(1999). "An Improved Algorithm for Estimating Incident Daily Solar Radiation from Measurement of Temperature." Humidity, and Precipitation, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 93, pp. 211-218.
- (논문번호:03-101/접수:2003.11.03/심사완료:2004.05.19)