

## 격자기반의 일 증발산량 추정모형 개발

### GRID-based Daily Evapotranspiration Prediction Model (GRIDET)

채 호 석\* / 김 성 준\*\* / 정 관 수\*\*\*

Chae, Hyo Sok / Kim, Seong Joon / Jung, Kwan Sue

#### Abstract

A Grid-based daily evapotranspiration(ET) prediction model which calculates temporal and spatial ET with a complementary relationship of Morton(1983) was developed. The model was programmed by C language and uses ASCII formatted map data of DEM(Digital Elevation Model) and land use. Daily ET within the watershed is calculated and the results of temporal variations and spatial distributions of ET are presented by using GRASS(Geographic Resources Analysis Support System). To verify the applicability of the model, it was applied to the part of Bocheong stream basin (75.6 km<sup>2</sup>) located in the upstream of Dacheong Dam watershed. The result shows that the estimated evapotranspiration in 1995 was 766.1mm and 22% increased after correcting radiation for slope and area.

*Keyword:* evapotranspiration, grid-based, DEM, GIS, GRASS

#### 요 지

본 논문에서는 Morton(1983)의 보완관계식을 이용하여 증발산량의 시·공간적 분포 양상을 계산할 수 있는 격자기반의 일 증발산량 추정 모형을 개발하였다. 본 모형은 C 언어로 개발되었으며, ASCII 형태의 수치표고자료와 토지피복도가 입력자료로 이용되어 유역에 대한 일 증발산량을 계산하게 된다. 또한, 증발산량에 대한 시간적 변화 양상과 공간적 분포 양상을 GRASS에서 나타낼 수 있도록 구성하였다. 모형의 적용성 검증을 위해서 대청댐 상류지역에 위치한 보청천의 일부 지역(75.6km<sup>2</sup>)에 대해서 적용하였다. 적용결과, 보청천 유역의 이평균 지점에서 1995년도 증발산량은 766.1mm로 나타났으며, 경사면과 면적에 대한 일사량 보정 후 약 22%가 증가하는 것으로 나타났다.

**핵심용어 :** 증발산, 격자기반, 수치표고자료, 지리정보시스템, GRASS

\* 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

Researcher, Water Resources Research Institute, KOWACO, Taejon, 305-390, Korea

\*\* 건국대학교 농공학과 조교수

Assistant Prof., Dept. of Agricultural Eng., Konkuk University, Seoul, 143 701, Korea

\*\*\* 충남대학교 공과대학 조교수

Assistant Prof., Dept. of Civil Eng., Chungnam University, Taejon, 305-764, Korea

## 1. 서 론

최근 수문학 분야에서 가장 큰 관심은 수문관련 자료를 정확히 측정하고, 유역에 대한 물리적인 요소를 고려할 수 있는 수문모형을 개발하고, 또한, 원격탐사(remote sensing)나 지리정보시스템(GIS:Geographic Information System) 등과 같은 최신 기법을 적용하여 수문분석 및 정확한 수문인자를 추출하고자 하는 것이다. 원격탐사는 수문학과 같은 광역적인 지역을 대상으로 하는 경우에 효과적으로 활용할 수 있으며, 지리정보시스템과 수문모형을 통합하고자 하는 경우에 많은 자료층(data layer)과 분산형 수문모형을 이용하기 위한 여러 가지 자료를 제공할 수 있다. 특히, 격자기반의 증발산량을 산정할 수 있는 모형의 개발은 수문학 분야에서 원격탐사나 GIS를 이용하고자 하는 데 매우 중요하다.

증발산량(evapotranspiration)은 수증기의 형태로 지구 표면으로부터 대기중으로 되돌아가는 수문학적 순환과정으로, 해수면이나 하천 등 자유수면 및 토양으로부터 기화되는 증발(evaporation)과 식물의 기공으로부터 탄소 동화작용에 의해 대기중으로 방출되는 증산(transpiration)으로 나누어진다. 증발산 작용에 의해서 형성되는 구름은 국지적 규모와 대륙적 규모의 복사 수지나 강우에 크게 영향을 주고 있다. 또한, 해양에서는 년간 발생하는 강수량과 비교하면 연강수량의 120% 정도의 양이 증발되는 것으로 알려지고 있으며, 지표면에서도 74% 정도가 증발되어 대기 중으로 순환된다(Wetherland와 Manabe, 1988; Sato 등, 1989).

따라서, 증발산량은 지하수와 지표수에 대한 불수지 분석에 있어 매우 중요한 인자이며, 국지적 혹은 대륙적 규모의 기후 변화나 환경 변화를 예측하기 위해서도 정확한 측정과 정량적 분석이 필수적이다. 특히, 원격탐사나 GIS 기법을 이용할 경우 유역의 물리적인 요소를 고려할 수 있으며, 넓은 지역에 대한 정보를 공간적으로 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 원격탐사 자료를 이용하여 추출된 토지이용도를 이용하여 각 토지피복별로 알베도 값과 지중열 계수 등을 이용할 수 있는 격자형 증발산량 산정 모형을 개발하고, 아울러 수치지표고자료를 이용하여 일사량에 대한 보정을 실시하였다. 개발된 알고리즘은 Morton법을 이용하는 보완관계식에 의한 실제 증발산량 산정식을 이용하였으며, 알고리즘의 타당성과 적용

성을 검토하기 위하여 1995년도 보청천 유역의 이평교 지점에 대한 일 증발산량을 계산하였다. 또한, 개발된 격자형 증발산량 산정 모형은 향후, 분포형 수문모형과 통합할 수 있는 장점을 가지고 있다.

## 2. 이론적 배경

증발산량을 정확히 산정하기 위해 지금까지 제시된 방법에는 불수지법, 열수지법, 공기역학적방법 및 조합한 방법 등이 제안되었다. 그 가운데 Morton(1978)은 실제 증발산량은 대상지역이 건조해지면 감소하는 반면, Penman의 잠재 증발산량은 증가한다는 보완관계에 있으며, 실제 증발산량과 잠재 증발산량의 합은 Priestly와 Taylor(1972)에 의해 제안된 잠재 증발산량의 2배와 거의 유사하다는 보완관계식을 제안하였다. 보완관계식을 이용하는 경우 토양이나 식물 등에 대한 정확한 측정이 어려운 인자에 대한 정보가 필요하지 않으며, 단지 기상 자료만을 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, Brusaert와 Stricker(1979)는 Penman법과 Priestly와 Taylor법을 직접 이용하여 실제 증발산량을 산정하는 모형을 제안하였지만, 겨울철에 계산되는 월 단위의 증발산량이 과소평가 되어 실제 적용하기가 어렵다(Ben-Ahser, 1981). 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해서 Brusaert와 Stricker(1979) 식에 Morton(1983) 식을 조합하여 이류항(advection term)을 고려하였으며, 토지피복에 따른 지중열 계수를 이용하여 지표면과 토양에서 이루어지는 전도에 대한 열을 고려하였다. 따라서, 실제 증발산량은 다음과 같이 나타낼 수 있다(신사철, 1996; Morton, 1983).

$$E_{AC} = 2E_p - E_{pp} \quad (1)$$

$$E_{pp} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}(R_n + M - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (2)$$

$$E_p = 1.26 \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) \quad (3)$$

$$M = 0.66L_n - 0.44S_n \quad (4)$$

$$G = C_r \cdot R_n \quad (5)$$

여기서  $E_{AC}$ 는 실제 증발산량( $mm/day$ ),  $E_{pp}$ 는 Penman법에 의한 잠재증발산량( $mm/day$ ),  $E_p$ 는 Priestly와 Taylor에 의한 잠재증발산량( $mm/day$ ),  $R_n$ 는 순복사에너지( $mm/day$ ),  $M$ 은 수면으로부터 이루어지는 에너지( $mm/day$ )이다. 또한,  $\Delta$ 는 포화수증기압 곡선의 기울기( $kPa/^\circ C$ ),  $\gamma$ 는 건습구 온도계 정수,  $e_a$ 는 대기의 수증기압( $kPa$ ),  $e_s$ 는 포화수증기압( $kPa$ ),  $f(u)$ 는 풍속함수( $m/sec$ ),  $L_n$ 은 장파복사에너지( $MJ/m^2/day$ ),  $S_n$ 은 단파복사에너지( $MJ/m^2/day$ ),  $G$ 는 지중열 flux( $MJ/m^2/day$ ) 및  $C_r$ 은 지중열 계수를 각각 나타낸다.

위 식들에서 사용된 각 계수에 대한 설명은 다음과 같다.

$$\lambda = 2.501 - 0.002361 T \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(237.3 + T)^2} \quad (7)$$

$$\gamma = 0.0016286 \frac{P_r}{\lambda} \quad (8)$$

$$f(u) = 0.26(1 + 0.54 u_2) \quad (9)$$

$$u_2 = u \times (2/10.4)^{0.17} \quad (10)$$

$$e_s = 0.611 \times \exp[17.27 T / (237.3 + T)] \quad (11)$$

$$P_r = 1013.25 - (0.119861 \times H) + (5.365 \times 10^{-6} \times H^2) \quad (12)$$

여기서  $\lambda$ 는 증발에 대한 잠열( $MJ/kg$ ),  $T$ 는 대기 온도( $^\circ C$ ),  $u_2$ 는 지상 2m에서의 풍속 ( $m/sec$ ),  $u$ 는 풍속( $m/sec$ ),  $P_r$ 는 대기압( $kPa$ ),  $H$ 는 고도( $m$ )이다.

한편, 태양 복사에너지는 맑은 날씨를 가정하고 계산되는 값이므로 실제 구름에 의한 영향을 보정해주어야 한다. 이러한 보정은 일반적으로 기상자료를 이용하여 실시되며, Ångström(1924)에 의해 총 단파 방사 에너지와 일조시간 사이의 관계를 제안된 이후에 일조시간 자료로부터 태양 복사에너지를 계산하기 위한 여

러 가지의 경험식들이 제안되었다. 이러한 식 중에서 가장 일반적인 형태는 Ångström 식으로, 다음과 같다.

$$\frac{I}{I_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (13)$$

여기서  $I$ 는 총 입사하는 태양 복사에너지 ( $MJ/m^2/day$ ),  $I_0$ 는 대기권의 일사량( $MJ/m^2/day$ ),  $n$ 은 하루동안의 일조시간( $h$ ),  $N$ 은 가조시간( $h$ ),  $a$ 와  $b$ 는 위치와 계절에 따른 경험적인 상수이다.

한편,  $a$ ,  $b$ 는 계절과 지역에 따라 달라지는 상수이며, 보온기상관측소에서는 일사량에 대한 측정이 이루어지지 않고 있어 본 연구에서는 1995년도 청주기상관측소에서 관측된 일사량 자료를 이용하여 선형 회귀분석을 실시하였다(Fig. 1). 일반적으로  $a$ ,  $b$  값의 합은 태양 복사에너지의 100%가 지표면에 도달하지 않기 때문에 1 보다 적게 나타나며, Doorenbos와 Pruitt(1977)의 연구결과에 따르면 0.25와 0.5 정도인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 통계분석 결과  $a = 0.15$ 와  $b = 0.54$ 의 값을 얻을 수 있었다.

지표면에 입사하는 태양 복사에너지는 지표면의 알베도에 비례하여 반사되어 대기 중으로 방출되며, 지표면에 흡수된 태양에너지는 온도에 비례하여 장파 복사에너지를 방출하게 된다. 따라서, 지표면상에서 순방사량  $R_n$ 은 태양 복사에너지와 지구 복사에너지의 차로 다음과 같이 나타낼 수 있다(신사철, 1996).

$$R_n = S_n - L_n = (1 - a)I - \sigma(T + 273.4)^4(0.56 - 0.092\sqrt{e_a})(0.1 + 0.9 \frac{n}{N}) \quad (14)$$

여기서  $\sigma$ 는 Stefan Boltzman 상수( $4.903 \times 10^{-9} MJ/m^2/K^4/day$ )이며,  $a$ 는 지표면 알베도이다.

한편, 지표면에 입사하는 일사량과 실제 한 개의 격자가 가지는 면적은 경사도에 따라 달라지게 된다. 이러한 경사와 면적에 대해서 보정하기 위해 Huff 등(1977)의 등가위도(equivalent latitude) 개념을 이용하였으며, 경사에 대한 등가위도방정식( $LA_{eq}$ )은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$LA_{eq} = \arcsin(\cos S \times \sin \phi + \sin S \times \cos \phi \times \cos Z) \quad (15)$$

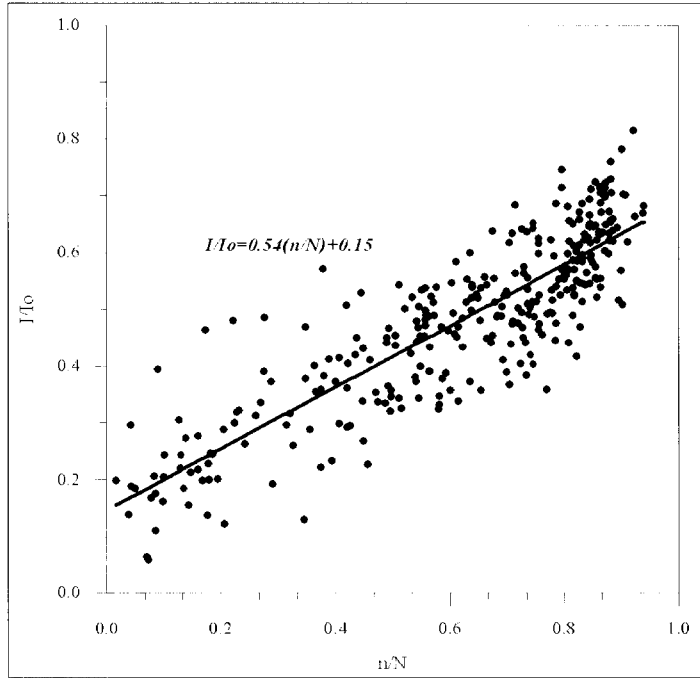


Fig. 1. The Ratio between  $n/N$  and  $I/I_0$  Measured at Cheongju Meteorological Station in 1995

여기서  $S$ 는 경사면과 수평면 사이의 경사(deg),  $\psi$ 는 위도(deg)이며,  $Z$ 는 수평면에 대한 태양방위각(deg)이다.

따라서, 실제 경사면에 입사하는 하루 동안의 잠재일사량( $R_{ps}$ )은 등가위도방정식( $LA_{eq}$ )으로부터 다음과 같이 계산된다(Huff 등, 1977).

$$R_{ps} = RI \times \{ \sin D \times \sin(LA_{eq}) \times (\tau_s^c - \tau_r^c) \times \cos D \times \cos LA_{eq} \times [ \sin(\tau_s^a + \Delta LO) - \sin(\tau_r^c + \Delta LO) ] \times 3.82 \quad (16)$$

여기서  $RI$ 는 편심률에 대해 보정된 한 시간 동안의 태양상수,  $D$ 는 태양편각(degree),  $\tau_s^c$ 는 일출에 대한 시간각 보정,  $\tau_r^c$ 는 일몰에 대한 시간각 보정 상수이며,  $\Delta LO$ 는 등가경사(degree)이다.

경사위도  $\psi$ 를 가진 수평면상에서 하루 동안의 잠재일사량  $R_{ph}$ 는  $LA_{eq}$  대신에  $\psi$ 를 사용하고 일출과 일몰시간에 대한  $\tau_s^a$ 와  $\tau_r^a$ 를 사용함으로써 얻을 수 있다. 수평면과 경사면상에서 잠재일사량의 비는 경

사에 대해 계산된 일사량을 얻기 위해서 관측된 일사량을 수정하는 데 이용된다. 경사면에서 실제 일사량은 다음과 같이 계산된다.

$$R_c = R_{obs} \times \frac{R_{ps}}{R_{ph}} \quad (17)$$

여기서  $R_{obs}$ 는 관측된 태양일사량,  $R_{ps}$ 는 경사면에 대한 잠재일사량이고,  $R_{ph}$ 는 경사를 가진 지점의 수평면상에서 잠재일사량이다.

또한, 경사  $S$ 를 가진 임의의 면적을 고려할 경우, 경사도에 따라 실제 면적은 달라지게 된다. 따라서 면적에 대한 보정이 이루어져야 하며, 일반적으로 경사  $S$ 를 가지고 있는 경우 실제 면적( $R_m$ )은 다음과 같다.

$$R_m = R_c / \cos S \quad (18)$$

### 3. 모형의 개요

본 모형의 구조적 흐름도는 Fig. 2와 같다. 모형의

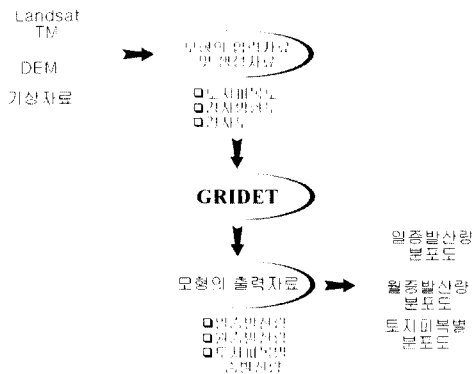


Fig. 2. Schematic Diagram of Grid-Based Daily Evapotranspiration Model

입력자료로는 유역의 Landsat TM 자료로부터 추출된 대상 지역의 토지피복도, 수치표고자료와 이들로부터 추출된 경사도와 경사방향도, 그리고 평균풍속, 평균온도, 일조시간, 평균해면기압 등과 같은 보온기상관측소에서 측정된 자료와 장주기상관측소에서 측정된 일사량 자료이다. 상기의 입력자료들은 영상처리용 소프트웨어(ER-Mapper, Arc/Info)로부터 ASCII 형태의 입력자료로 생성되며, 모형이 수행되면 유역의 일증발산량, 월증발산량 및 토지피복면적 증발산량 등과 같은 자료들이 ASCII 형태로 출력된다. 또한, 대상 지역에 대한 일증발산량의 공간분포도가 격자기반 GIS 소프트웨어인 GRASS 4.2의 형식을 가지게 파일로 생성되어 그래픽 표현이 가능하다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 입력자료

격자형 증발산량 모형을 적용하기 위하여 필요한 자료는 기본도로서 수치표고자료이며, 주제도로서는 Landsat TM 자료로부터 추출되는 토지피복도와 수치표고자료로부터 계산되는 경사도와 경사방향도 등이다. Landsat TM 자료와 수치표고자료에 대한 분석은 호주 ERM의 ER-Mapper 5.5와 ESRI의 Arc/Info 7.1.2를 이용하였다.

본 연구에서 이용된 Landsat TM 자료는 일본 RESTE(Remote Sensing Technology of Japan)에서 구입하였으며, 1995년 4월 1일에 획득된 Path 115 Row 35에 해당하는 Subscene B이다. 또한, 수치표고자료는 국가 GIS 사업으로 구축되는 1:5,000 기본도에서 추출된 것으로 Landsat TM 자료와의 통합을 위해 30m로 재배열(resampling)되었다. Landsat TM 자료와 수치표고자료의 재배열은 최근된 내삽법(nearest neighborhood)을 이용하였다.

Landsat TM 자료로부터 연구대상 지역에 대한 토지피복도를 작성하기 위해서 기하모정을 거친 자료를 이용하여 산림지역, 수역, 논, 밭 및 주거지 등 5개의 교사자료(training data)를 선택하여 최우도법(maximum likelihood)를 적용하여 영상 자료를 분류하였다(Fig. 3).

또한, 증발산량을 계산하고 일사량을 보정하기 위해서 필요한 연구 대상지역에 대한 수치표고자료는 Fig. 4와 같으며, 수치표고자료를 분석하여 얻어진 경사도와 경사방향도는 각각 Fig. 5와 Fig. 6과 같다.

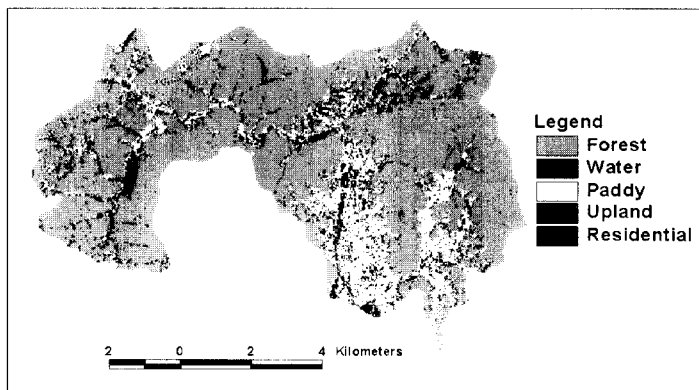


Fig. 3. Land Classification Result in Study Area

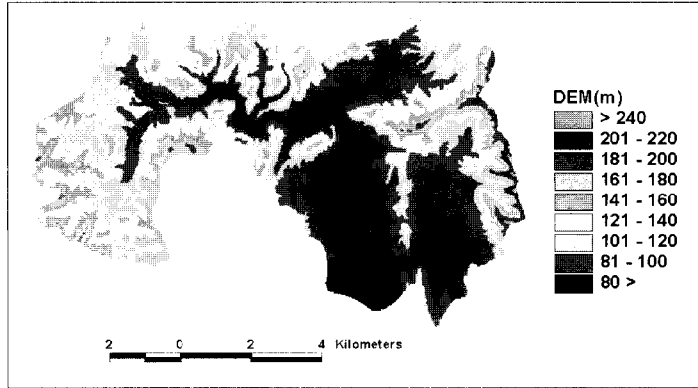


Fig. 4. Digital Elevation Model of Study Area

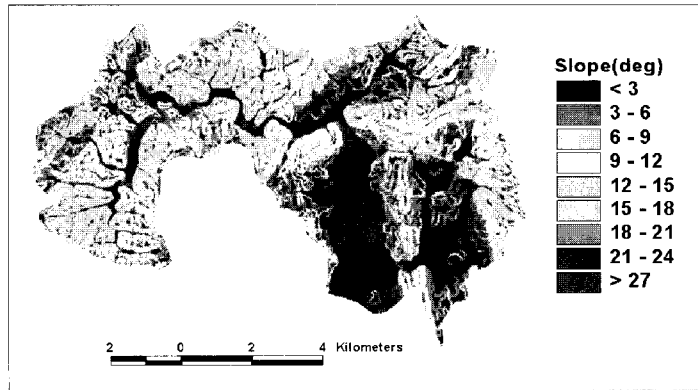


Fig. 5. Slope Map of Study Area

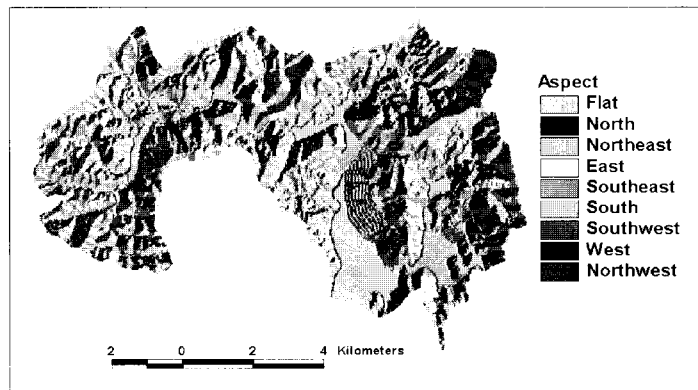


Fig. 6. Aspect Map of Study Area

#### 4.2 계산결과

증반산량에 대한 모델링은 경사와 면적을 고려하여

일사량을 보정한 경우와 보정하지 않은 경우에 대해서 실시하였다. 그 결과, 전반적으로 증반산량의 일별 변화양상은 잘 나타나지 않았으나 양적인 측면에서는 다

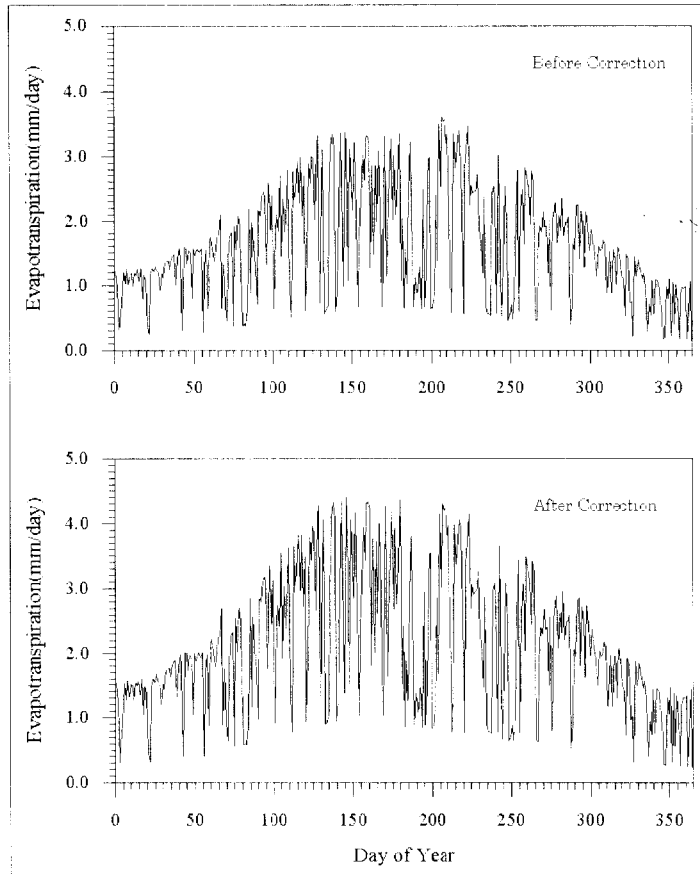


Fig. 7. Variation Curves for Daily Evapotranspiration

소 차이를 보였다. 보정전의 경우 596.5mm의 년 증발산량을 나타냈고, 보정후의 년증발산량은 766.1mm로 나타났다(Fig. 7).

보정후의 증발산량은 청주 기상관측소에서 대형 증발접시에 의해서 측정된 년 평균량 1,055mm의 72.6%에 정도에 해당하곤 낮아(중앙기상대, 1982). 따라서, 년 증발접시 계수 0.7 정도를 고려할 경우에 매우 이상적인 값임을 알 수 있다. 또한, 강사와 면적에 대한 보정 후 약 22% 정도 증발산량이 증가하는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 이 지역의 강사 방향이 주로 남동 내지는 북동 방향으로 형성되어 있어 일사량이 상대적으로 많이 입사하게 되어 증발산량에 영향을 주는 것으로 사료된다(Fig. 8).

각 토지피복별 증발산량의 변화양상을 살펴보기 위하여 일별로 계산된 증발산량을 월별로 누적하여 나타냈다(Fig. 9). 겨울철에는 거의 차이가 나타나지 않

것을 볼 수 있다. 각 토지피복별 증발산량은 산림지역이 786mm, 물의 경우 712mm, 논이 672mm, 밭이 680mm, 그리고 주거지역에서는 593mm 정도로 나타났다. 따라서 토지피복별 증발산량은 산림지역>밭>논>주거지역 순으로 나타나고 있다.

여름철의 경우에는 토지피복별 증발산량의 차이가 크게 나타나고 있다. 특히, 산림지역의 경우 증발산량이 매우 커지는 것을 볼 수 있는데, 이는 겨울철에 비해 봄부터 식생의 생육이 시작되어 증산의 양이 커지기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 일반적으로 7월과 8월의 기온이 6월보다 높지만, 이때는 우리나라의 경우 강우의 발생 빈도가 높아져 상대적으로 월 증발산량이 감소하는 것을 볼 수 있다(Table 1).

### 4.3 증발산량의 공간분포도 작성

각지역 일 증발산량의 계산 결과는 공간분포도로 작

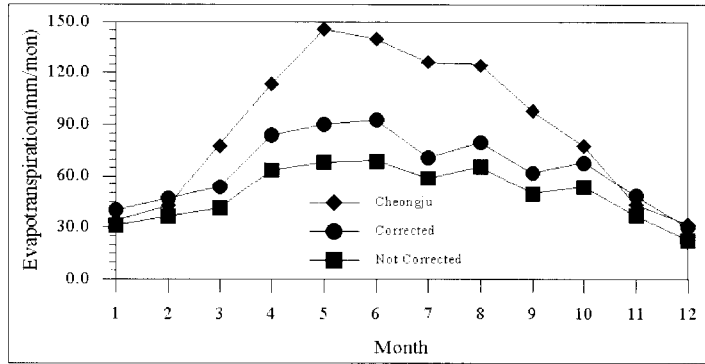


Fig. 8. Variation Curve for Monthly Mean Evapotranspiration

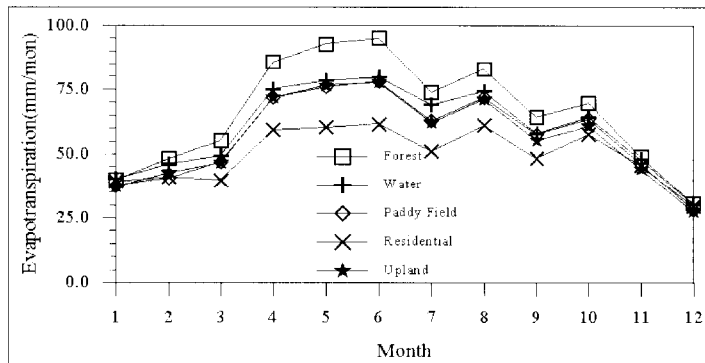


Fig. 9. Variation Curve of Monthly Mean Evapotranspiration for Each Land Class Type

성되며, 계산 결과중에서 몇 가지 대표적인 경우에 대해서 나타냈다(Fig. 10). 공간분포도의 작성은 경사와 면적에 따른 일사량에 대한 보정 전후의 결과를 나타냈으며, 그림에서 볼 수 있는 것처럼 전반적으로 지형에 대한 효과가 잘 나타나고 있다.

2월 28일의 경우, 1995년도 겨울철에서 가장 높은 기온(2.3°C)을 나타냈으며, 강우가 4.5mm 발생한 경

우로, 일조시간은 2.5 시간이었다. 보정전의 경우 전반적으로 하천 주변을 따라서 0.4mm 정도의 양을 보이고 있는 지역과 0.8mm 정도의 값을 보이는 산림지역으로 크게 나누어지고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나, 보정후의 결과에서는 경사방향이 북동이나 남동인 사면에서 값이 증가하고 있으며, 그 이외의 지역에서는 하천을 따라 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다.

Table 1. Calculated Monthly Evapotranspiration of Each Land Class Type

(unit : mm)

Month \ Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Forest	39.9	48.0	55.0	85.8	92.8	94.8	73.9	82.8	64.1	69.7	49.1	30.4	786.3
Water	40.4	46.0	49.3	75.1	78.3	79.7	69.1	74.2	57.9	64.3	47.7	30.3	712.3
Upland	37.0	42.7	46.4	71.7	76.5	77.5	62.0	71.0	55.1	60.7	44.2	27.6	672.4
Paddy Field	37.6	40.7	46.8	71.9	75.9	78.0	62.8	71.7	57.5	63.4	46.1	28.1	680.5
Residential	39.1	40.8	39.7	59.2	60.4	61.5	51.0	61.2	48.2	57.5	45.5	29.4	593.5



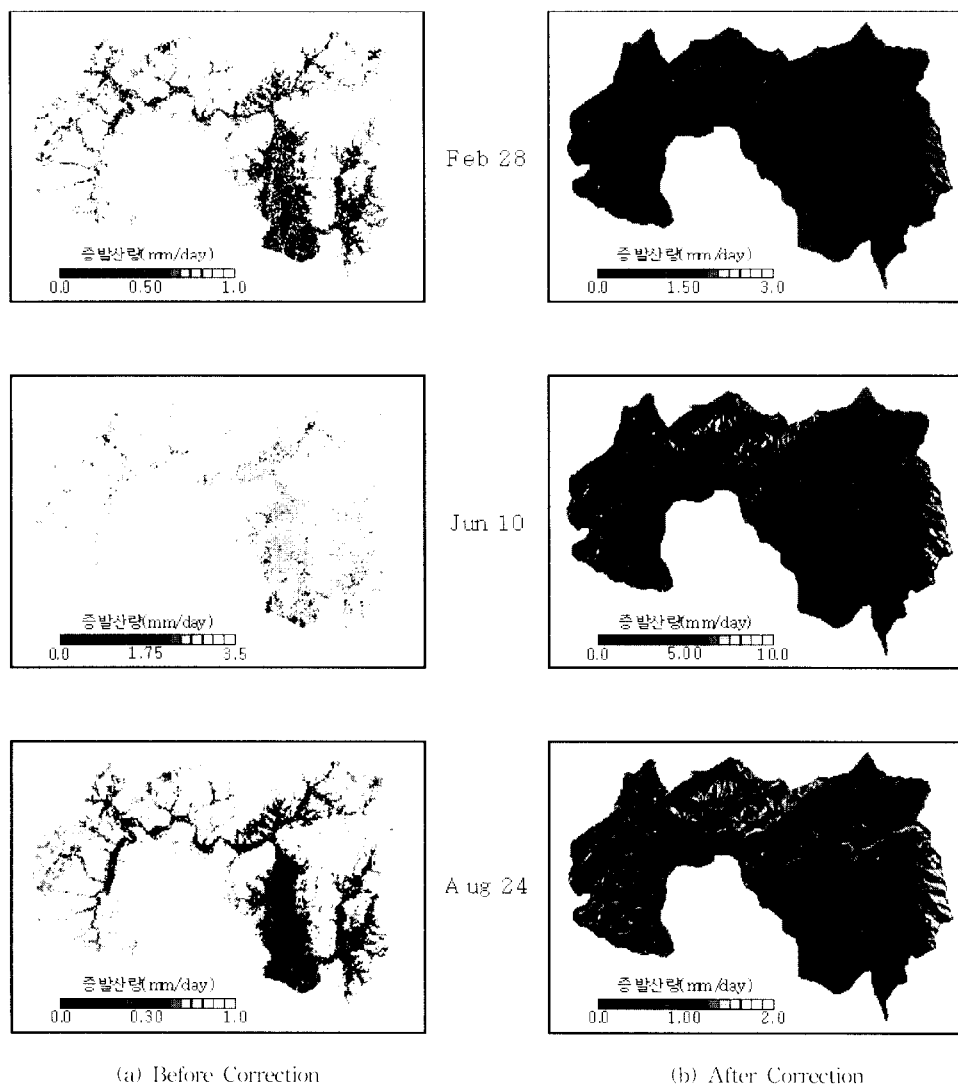


Fig. 10. An Example of Spatial Distribution for Daily Evapotranspiration

6월 10일의 결과를 보면, 기상조건은 인조시간이 11.3시간 기온이 20.3℃였다. 2월 28일의 경우와 비슷한 증발산량의 분포 양상을 보이고 있다. 다만, 증발산량이 하천 주변지역에서는 2.5mm/day, 산림지역의 경우에는 3mm/day 정도의 값을 보이고 있다. 보정후의 결과에서는 지형의 영향으로 2.5mm/day 내지 7mm/day까지 분포되고 있다.

8월 24일의 경우, 100mm 정도의 강우가 발생하였으며, 1995년도에 가장 많은 강우를 기록한 날이다. 따라서 인조시간은 0시간이며, 평균기온은 23.3℃를

기록하였다. 다른 결과와 마찬가지로 증발산량의 분포 양상은 거의 두 가지로 나타나고 있지만, 0.5mm/day 정도의 낮은 값을 보이고 있다. 그러나 보정후에는 1.5mm/day 정도로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 유역의 각자형 실제 증발산량을 산정하기 위해 인공위성 자료와 수치고도자료 등과 같은 공간자료를 이용할 수 있는 기법을 개발하였으며, 산정식은 Morton법과 Brusaert와 Stricker(1972)의 방

법을 조합하여 이용하였다. 증발산량에 크게 영향을 미치는 일사량은 Huff 등(1977)의 등가위도 경사개념을 이용하여 경사면과 실제 면적에 대한 보정을 실시하였다.

계산결과, 보청천 유역의 이평교 상류유역에서 1995년도 증발산량은 약 766.1mm 정도로 계산되었으며, 경사면과 면적에 대한 보정 후 약 22% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 것은 이 지역의 경사방향이 주로 남동과 북동방향으로 형성되어 있기 때문인 것으로 생각된다. 토지피복별 실제 증발산량의 경우, 산림에서는 약 786mm 정도로 평균 증발산량보다 다소 높은 양상을 보였으며, 겨울철의 경우에는 거의 변화 양상이 나타나지 않았다. 식생의 성장이 시작되는 4월에서 부터는 토지피복별 증발산량의 차이가 크게 나타나고 있는 데, 특히 식생지역에서의 증발산량 값이 크게 증가하였다. 그러나, 일사량이 크고 일조시간이 상대적으로 긴 여름철(7월~8월)의 경우에는 우리나라의 기후 특성상 강우 빈도가 높아지기 때문에 증발산량 값은 작아지는 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

신사철 (1996). 植生觀測による水文量の分布特性の平備および水収支に関する研究, 박사학위논문, 동북대학교.  
 중앙기상대 (1982). 한국 기후표, 1권.  
 Ångström, A. (1924). "Solar and terrestrial radiation." *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, Vol. 50, pp. 121-125.  
 Ben-Asher, J. (1981). "Estimating evapotranspiration from the Sonoita Creek watershed near Patagonia, Arizona." *Water Resour. Res.*, Vol. 17, No. 4, pp. 901-906.  
 Brusaert, W., and Stricker, H. (1979). "An advection aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration." *Water Resources Res.*, Vol. 15, pp. 443-450.

Doorenbos, J., and Pruitt, W. O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirement*, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 2nd Edition, Rome.  
 Huff, D. D., Luxmoore, R. J., Mankin, J. B., and Begovich, C. L. (1977). *TEHM-Terrestrial ecosystem hydrology model*, Environmental Sciences Division Pub. No. 1019, Oak Ridge Nat'l Lab., Oak Ridge, Tennessee, pp. 10-14.  
 Morton, F. I. (1978). "Estimating evapotranspiration from potential evaporation-Practically of an iconoclastic approach." *J. of Hydrology*, Vol. 38, pp. 1-32.  
 Morton, B. L. (1983). "Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology." *J. of Hydrology*, Vol. 66, pp. 1-76.  
 Priestly, C. H. B., and Taylor, R. J. (1972). "On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters." *Mon. Weather Rev.*, Vol. 100, pp. 81-92.  
 Sato, N., Sellers, P. J., Randall, E. K., Schneider, J., Shuka, J., Kinter III, J. L., Jou, Y. T., and Albertazzi, E. (1989). "Effects of implementing the simple biosphere model(Sib) in a general circulation model." *J. Atmos. Sci.*, Vol. 46, pp. 2757-2782.  
 Wetherland, R. T., and Manabe, S. (1988). "Cloud feedback processes in a general circulation model." *J. Atmos. Sci.*, Vol. 45, pp. 1397-1415.

(논문번호:99-032/접수:1999.04.22/심사완료:1999.10.22)