

식생 및 기온정보를 조합한 증발산량 산정을 위한 간편법 제안

Suggestion of Simple Method to Estimate Evapotranspiration Using Vegetation and Temperature Information

신 사 철* / 황 만 하** / 고 익 환*** / 이 상 진****

Shin, Sha Chul / Hwang, Man Ha / Ko, Ick Hwan / Lee, Sang Jin

Abstract

Many methods have been used to estimate evapotranspiration. However, there is little information about the evapotranspiration from river basins with complicated topographies and variable land use. Remote sensing technique is a probable means to estimate distribution of the evapotranspiration in connection with regional characteristics of vegetation and landuse. The evapotranspiration not only depends on meteorological circumstances but also on the condition of the vegetation. The latter effect can be expressed in terms of NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) obtained by NOAA/AVHRR datasets. In this paper, a simple method to estimate evapotranspiration of the Keum river basin is proposed based on NDVI and temperature data.

keywords : evapotranspiration, NDVI, temperature, Keum river

요 지

지금까지 증발산량을 산정하기 위한 여러 가지 방법이 개발되어 왔다. 그러나 지표면에서 발생하는 증발산량을 지배하는 복잡한 지형 특성 및 토지 이용 등을 고려하여 정확한 증발산량을 산정한다는 것은 불가능에 가까운 일이다. 원격탐사 기법은 식생과 토지이용과 같은 지형조건과 관련된 증발산량을 산정하기 위한 하나의 수단으로 효과적으로 이용될 수 있다. 증발산량은 기상특성 뿐만 아니라 식생 조건에 의해 지배된다고 볼 수 있다. 그 중 식생조건은 NOAA/AVHRR 자료를 이용하여 얻을 수 있는 정규화 식생지수(NDVI)를 통하여 정량화할 수 있다. 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 증발산량을 산정하기 위하여 NDVI와 기온자료를 조합하는 간편법을 제안하고자 한다.

핵심용어 : 증발산량, 정규화식생지수(NDVI), 기온, 금강유역

-
- * 안동대학교 토목공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Andong National University, Gyeongbuk, 760-749, Korea
(e-mail: scshin@andong.ac.kr)
 - ** 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원
Head Researcher, Hydro-system Engineering Center, Korea Institute of Water and Environment, KOWACO
(e-mail: hwangmh@kowaco.or.kr)
 - *** 한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 소장
Director, Hydro-system Engineering Center, Korea Institute of Water and Environment, KOWACO
(e-mail: ihko@kowaco.or.kr)
 - **** 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원
Senior Researcher, Hydro-system Engineering Center, Korea Institute of Water and Environment, KOWACO
(e-mail: sjlee@kowaco.or.kr)

1. 서론

액체의 물이 기화하는 현상을 증발이라 하며 식물체를 통해서 이루어지는 증산을 합하여 증발산(evapo-transpiration)이라 부르고 있다. 이러한 증발산 현상은 일종의 에너지 교환과정으로 증발산량을 산정하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되어 왔으나 지상의 지형조건 및 토지이용 등의 복잡한 상황을 고려하여 유역차원의 증발산량을 산정한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 우리나라의 기상상황에서 유역단위의 물수지에서 증발산량이 점유하는 비율은 30~40%를 상회한다고 볼 수 있으며, 이 증발산량의 해결 없이는 정량적인 물수지의 규명이 불가능하게 된다.

최근에 미기상 관측과 정밀한 에너지 수지모형에 의한 추정 및 그에 인공위성 자료를 조합하여 보다 광역의 증발산량을 구하기 위한 방법들이 시도되고 있으나, 이들 방법도 많은 관측점과 변수의 동정이 필요하게 되며, 이를 광역면에 확장하기 위해서는 어려운 점이 많다. 증발산 현상은 여러 가지 기상요소에 의해 지배되나, 이러한 대부분의 요소는 그 지점의 식생상황에 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 그 지점의 식생상황은 지점의 여러 기상요소의 이력을 표현하고 있다고 볼 수 있다.

또한 식생의 활성도를 나타내는 식생지표와 증발산량과의 상관관계는 이미 입증된 사실이며, Running and Nemani(1988)는 식생지표 중에서 가장 많이 사용되는 정규화식생지수 NDVI의 적분값인 iNDVI와 연 증발산량과의 비례관계를 보고하기도 하였다. 이와같이 식생지수 NDVI와 증발산량과의 사이에 강한 상관관계가 성립한다는 점에 착안하여 우리나라를 대상으로 NDVI로부터 직접 증발산량을 산정하는 관계식이 개발되기도 하였다(신사철, 1996; Shin and Sawamoto, 1996). 이러한 방법에서는 증발산량을 산정함에 있어 기상자료를 요구하지 않으며 위성자료만으로 산정할 수 있는 관계식을 제안하고 있다. 그러나 이와 같은 방법은 미계측 지역 등 기상자료를 얻을 수 없는 지역에 적용할 수 있으며 기상자료의 질적 불균형에서 오는 오류를 피할 수 있다는 장점이 있는 반면 위성자료에서 획득할 수 없는 지상의 조건을 고려할 수 없는 단점으로 인한 정확도의 저하도 발생한다.

반면에 위성자료와 기상자료를 조합하는 방법은 기상상태를 함께 고려할 수 있다는 장점은 있으나 기상자료의 획득이 불가능한 지역에 대한 적용이 어려우며 분석 시 기상자료를 준비하여야 한다는 단점도 있다. 그러나 현재 우리나라의 경우 기상청으로부터 손쉽게 기상

자료를 수집할 수 있으므로 정확도의 제고에 중점을 두어 기상자료를 조합하여 증발산량을 산정하는 방법을 채택하였다. 입력자료로 이용되는 기상자료가 많을수록 자료의 획득 및 처리에 많은 시간이 요구되므로 본 연구에서는 기상자료 중 비교적 획득이 용이하고 정확함을 얻을 수 있는 기온자료만을 채택하여 분석 시의 번거로움을 최소화하였다. 본 연구에서는 기상자료의 획득이 용이한 금강권역을 대상으로 위성자료와 기상자료를 조합하는 증발산량 산정 방법을 개발하였다.

2. 식생분석

2.1 정규화식생지수(NDVI)의 산정

1960년대 이래 원격탐사 자료로부터 식물의 생·물리학적 특성을 나타내는 다양한 인자들을 밝혀내고자 노력해 왔으며, 이러한 노력의 대부분은 식생지수의 개발로 이어졌다. 현재까지 약 20여 종류의 식생지수가 사용되고 있으나 다음 식과 같은 정규화 식생지수(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index)가 가장 널리 이용되고 있다(Justice et al., 1985; Tucker et al., 1985a, 1985b; Townshend and Justice, 1986; Prince and Astle, 1986; Benedetti et al., 1994).

$$NDVI = \frac{\ominus R - Red}{\ominus R + Red} \quad (1)$$

여기서 *NIR*은 근적외밴드의 분광반사도이며, *Red*는 적밴드의 분광반사도이다.

정규화식생지수 NDVI는 식생분석을 위하여 현재 가장 보편적으로 사용되고 있으며, 최초로 Landsat MSS 영상자료에 적용되었다. 광역면에 대한 개략적인 식생상태를 파악하기 위해서는 NOAA 위성에 탑재되어 있는 AVHRR 센서가 유효하다. NOAA/AVHRR 자료를 이용하면 NDVI는 다음 식에 의해 계산된다.

$$NDVI = \frac{Ch.2 - Ch.1}{Ch.2 + Ch.1} \quad (2)$$

여기서 *Ch1*은 NOAA/AVHRR의 channel 1(가시)의 반사도이며, *Ch 2*는 channel 2(근적외)의 반사도이다.

인공위성 자료를 이용한 식생의 관측은 가시 및 근적외 영역의 자료를 이용하여 파악되며 원격탐사 자료의 활용측면에서 무엇보다도 이용이 가장 활발한 대상이다. 녹색의 잎이 표시하는 분광반사 특징에 착안하면, 잎의 성장기는 클로로필이 형성되는 단계이며, 잎의 성

장단계에서는 적색 파장대의 흡수는 발생되지 않으나, 잎의 성장이 진행되면서 적색 파장대의 흡수가 발생한다. 성장한 잎에서는 약 0.68 μm 에서 최대 흡수가 발생하며, 약 0.55 μm 부근에서 가시광선의 최대반사율을 보인다. 잎이 성장함에 따라 잎은 진한 녹색으로 변화하며 녹색의 반사율이 낮아지고 근적외 파장대의 반사율이 증가한다. 이러한 특성은 광합성에 의한 클로로필 자신이 나타내는 반사특성이라 말할 수 있다. 이러한 특성을 잘 이용하면 식생의 상황을 적절히 파악할 수 있으며, 이러한 특성을 이용한 대표적인 지표가 NDVI인 것이다.

어느 지점의 NDVI가 그 지점의 식생상태를 잘 표현하고 있다는 사실은 일반적으로 입증된 사실이다. 또한 증발산량은 식생의 영향을 받으므로 증발산량과 NDVI의 상관관계가 성립한다고 생각할 수 있다. 따라서, 인공위성 자료를 이용하여 증발산량을 산정하기 위한 첫 번째 단계는 정확한 NDVI 자료를 생성하는 것이다. 본 연구에서는 식생의 상태를 파악하기 위하여 NOAA/AVHRR 자료를 이용하여 NDVI를 산정하였으며, 대상 기간은 1999년부터 2004년까지 6개년 동안이며, 대상 지역은 금강권역이다.

증발산량의 산정은 월별로 이루어지나 적설의 영향으로 인하여 인공위성으로부터 지표면의 정확한 관측이 불가능한 겨울철은 분석에서 제외하고 3월부터 11월까지를 분석기간으로 설정하였다. 연구에 이용된 NOAA 위성 자료는 우리나라 기상청의 협조로 취득하였으며, 취득된 자료를 반사도의 값으로 변환한 후 NDVI를 산정하였다.

AVHRR 센서는 관측센서이며 대상지역이 구름으로 덮여 있는 경우 위성의 센서가 읽는 반사치는 바로 그 지점의 구름에 대한 반사치가 되어 구름으로 덮여있는 지표면의 반사치는 반영되지 못한다. 더욱이 태양 고도 각이 낮은 경우는 구름에 의해 생긴 음영이 인근의 반사치에도 영향을 미친다. 결국, 구름의 존재는 직·간접적으로 NDVI를 실제보다 낮아지게 하여 정확한 관측을 저해한다. 그러나 지표면의 물리적 특성을 파악하고자 하는 경우 어떠한 방법에 의해서든 구름의 영향을 제거한 NDVI를 작성할 필요가 있다. 만약 동일지점의 NDVI가 단기간에 급격하게 저하하는 경우 그 자료는 구름의 영향을 받은 것이라 생각할 수 있다. 반대로 일정기간 동안 NDVI가 가장 크게 나타난 자료는 구름의 영향이 최소된 것으로 간주할 수 있다. 따라서, 시간적 차이가 있는 복수의 NDVI로부터 각 화소별로 최대치를 선택함으로써 구름의 영향을 최소화시킨 NDVI 영상을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 1개월이라는 시간

간격을 취하여 일 NDVI로부터 1개월간의 최대치를 선택하여 월대표 NDVI를 작성하였다. 이와같이 작성된 월대표 NDVI를 지도정보로서의 가치를 부여하기 위하여 기하보정을 실시하였다.

2.2 식생등급 분류

토지피복분류(land cover classification)는 원격탐사 자료의 가장 대표적이고 전형적인 응용방법의 하나로 숲, 초지, 콘크리트 포장과 같은 대지 표면의 물리적 상황을 분류한 것이다. 이것은 원격탐사에서 가장 중요한 분석기법으로 영상을 구성하는 각각의 화소 중 비슷한 분광특성을 갖는 것끼리 집단화시켜주는 방법을 말하는데, 이에 대한 분류방법으로는 일반적으로 영상분석자의 개입정도에 따라 감독분류(supervised classification)와 무감독분류(unsupervised classification)로 나누어지고 있다.

본 연구에서의 목적은 정확한 토지피복상태를 분류하는 것은 아니며 증발산량 산정 시 동일 식을 적용하게 될 지역으로 그룹화하는 것이다. 분류하는 방법은 일반적인 토지피복분류 방법과 동일하며, 넓은 지역을 해상도가 낮은 위성자료를 이용한다는 점에서 정확한 지표면의 정보를 입력 자료로 활용하는 감독분류는 적용상의 문제점이 많으므로 최소의 초기입력 자료만 요구되는 무감독분류를 실시하였다.

무감독분류(unsupervised classification)는 훈련(training)자료를 이용하지 않는 방법으로 영상에서 알려지지 않은 화소들을 조사하고 영상 화소 사이에 존재하는 특성집단에 따라 영상의 모든 화소를 몇 개의 항목으로 병합한다. 이 때 사용되는 기본적인 전제는 특정 피복항목을 구성하는 화소값이 서로 가깝게 위치하며, 이들과 다른 항목들의 DN(Digital Number)값들은 비교적 멀리 떨어져 있어 구분이 잘된다. 무감독분류 후 얻은 결과 항목들을 분광항목(spectral classes)이라 하며, 이는 영상의 자연발생적인 집단화에 근거하기 때문에 처음부터 분광항목에 대하여 분류명칭을 알 수는 없다. 따라서 분류명칭을 결정하기 위해서는 무감독분류의 결과자료와 영상에 대한 실제 지표자료를 비교해야 한다.

무감독분류를 위해 월 NDVI를 이용할 경우 월별 식생상태는 파악할 수 있으나 장기간에 걸친 평균적인 식생의 상태는 파악할 수 없게 된다. 따라서 연구대상 기간의 월대표 NDVI를 평균하여 iNDVI라 명명하고, 이 iNDVI를 이용하여 식생등급을 분류하였다. Fig. 1은 본 연구에서 산정한 iNDVI를 나타내고 있다.

Fig. 2는 iNDVI로부터 우리나라를 추출하여 환경부

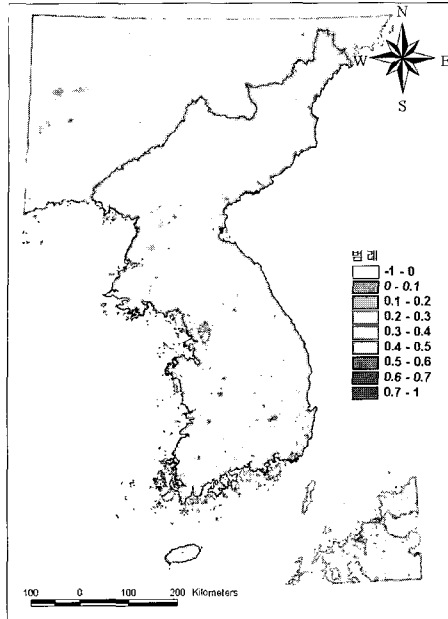


Fig. 1. iNDVI image

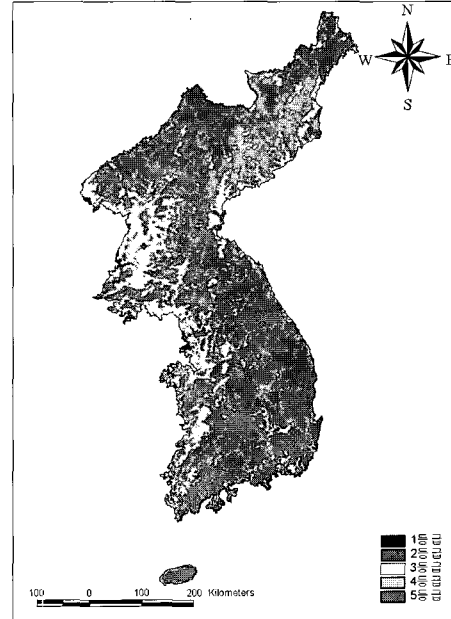


Fig. 2. Classified Vegetation Classes

피복자료와 비교하여 5단계등급으로 식생을 분류한 결과이다. 1등급은 수역에 해당되나 NOAA 위성의 해상도가 1.1km로 비교적 화소의 크기가 크기 때문에 육지면에 대해서 수역에 해당되는 화소는 거의 존재하지 않는다. 2등급은 식생이 그다지 존재하지 않는 지역으로 대부분 도시지역에 상당함을 알 수 있다. 3등급은 대부분 논을 비롯한 농경지에 상당함을 알 수 있으며, 4등급과 5등급은 산림지역으로 그 중 식생 밀도 및 활성도가 높은 지역을 5등급으로 분류하였다. 그러나 이 결과는 본 연구에서의 분석과정에서 적용하여야 할 증발산량의 산정조건을 달리하고자 이용되는 것이며, 더 상세한 토지피복의 정보 추출을 위해서는 고해상도 위성의 활용이 필요하다. 본 연구에서는 금강유역에 대한 정보만 필요하나, 추후의 연구를 위하여 식생등급화는 한반도 전역에 대하여 실시하였다.

3. 증발산량의 산정

3.1 기준 증발산량의 산정

NDVI로부터 증발산량을 산정하는 방법을 개발하기 위해서는 우선 분석에 사용할 기준증발산량이 필요하다. 기준으로 사용되어질 증발산량은 관측에 의한 정확한 값이어야 하나 넓은 지역을 대상으로 증발산량을 직접 구한다는 것은 불가능한 일이므로, 본 연구에서는 보완관계식을 이용하여 기준 증발산량을 산정하였다.

전통적인 증발산추정모형이 잠재증발산이라는 중간 과정을 거쳐 유역의 증발산량을 계산하는데 비하여

Morton(1978)이 제안한 보완관계식은 기상자료로부터 직접 증발산량을 계산한다는 점에서 새로운 접근방법이다. 이 모형이 전통적 개념과 다른 점은 증발산에 영향을 미치는 원인을 밝혀 이들을 계량화함으로써 증발산량을 추정하는 확정론적인 접근인데 반하여, Morton의 유역 증발산량 추정모형은 증발산 현상이 발생했을 때 변화되는 결과, 기온의 하강과 습도의 증가로부터 증발량의 크기를 추정하는 결과론적 접근이다.

Morton의 유역증발산량 모형은 유역의 증발산량과 지점의 잠재증발산량과의 합이 유역의 잠재증발산량의 2배와 같으며, 이는 상호보완적 관계로서 작용한다는 것이다.

$$E_T + E_{TP} = 2E_{TW} \quad (3)$$

여기서, E_T 는 유역의 증발산량이고 E_{TP} 는 지점의 잠재증발산량, E_{TW} 는 유역의 잠재증발산량이다. E_{TP} 는 이송방정식과 에너지수지 방정식의 해로 구할 수 있는 지점잠재증발산량이다. 이 관계에서 중요한 것은 E_T 와 E_{TP} 는 상호보완적 관계로서 그 합은 $2E_{TW}$ 로서 일정하게 된다는 것이다. 이러한 관계로부터 Morton의 방법은 보완관계식으로 불리어지고 있다. 결국 보완관계식에 의하면 유역의 증발산량은 다음과 같이 구해진다.

$$E_T = 2E_{TW} - E_{TP} \quad (4)$$

그러나 Morton에 의한 보완관계식은 산정과정에서 많은 요소를 경험식을 통하여 구해야 하며 산정 방법이 불필요하게 복잡하다는 점이 지적되어 왔다. 따라서, Brutsaert and Stricker(1979)는 Penman의 방법과 Priestly-Taylor 방법을 직접 이용하는 관계식을 제안하였다. 그러나 Ben-Asher(1981)는 유역의 물수지와 Brutsaert와 Stricker의 방법에 의한 증발산량을 비교한 결과, Brutsaert와 Stricker의 방법에 의한 증발산량은 연충량에서는 정확도가 높으나 월단위에서는 겨울철의 증발산량을 과소평가한다는 연구결과를 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 Brutsaert and Stricker식에 Morton에 의해 적용된 이류항을 고려하여 과소평가의 보정을 수행하였다.

$$E_{TW} = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) \quad (5)$$

$$E_{TP} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (6)$$

$$E_T \leq E_{TP} \quad (7)$$

$$M = 0.66L_n - 0.44R_n \quad (8)$$

$$G = C_r \cdot R_n \quad (9)$$

여기서, R_n 은 순방사량($J/m^2/d$), M 은 이류항($J/m^2/d$), G 는 soil heat flux($J/m^2/d$), Δ 는 포화증기압곡선의 경사($hPa/^\circ C$), γ 는 건습계상수($hPa/^\circ C$), $f(u)$ 는 풍속함수($mm/hPa/d$), e_s 는 공기의 포화수증기압(hPa), e_a 는 공기의 실제수증기압(hPa), L_n 은 장파방사수지($J/m^2/d$)이며 C_r 은 soil heat flux계수이다.

관측치를 제외한 각 값은 이하의 근사식을 이용하여 산정하였다(Kotoda, 1986).

$$\Delta = \frac{1779.75 \cdot \ln 10 \cdot e_s}{(237.3 + t)^2} \quad (10)$$

$$\gamma = \frac{1005 \cdot P_r}{0.622 \cdot \lambda} \quad (11)$$

$$f(u) = 0.26(1 + 0.54u) \quad (12)$$

$$e_s = 6.11 \exp\left(\frac{17.27t}{237.3 + t}\right) \quad (13)$$

$$P_r = 1013.25 - 0.119861H + 5.356 \times 10^{-6}H^2 \quad (14)$$

$$\lambda = (2501 - 2.37t) \times 10^3 \quad (15)$$

여기서, t 는 대기온도($^\circ C$), P_r 은 대기압(hPa), λ 는 증발의 잠열(J/kg), u 는 지상 2m에서의 풍속(m/s)이며 H 는 고도(m)이다. 또한 순방사량 추정식으로서 Penman에 의해 제안된 다음 식을 이용하였다.

$$R_n = S_n - L_n = (1 - \alpha)I - 0.95\sigma(t + 273)^4(0.56 - 0.092\sqrt{e_a})(0.1 + 0.9n/N) \quad (16)$$

여기서, S_n 은 단파방사수지($J/m^2/d$), α 는 albedo, σ 는 Stefan-Boltzmann의 상수($4.89 \times 10^{-7} J/cm^2/K^4/d$)이다. 또한 I 는 일사량($J/m^2/d$)이며, n/N 은 일조율(n :일조시간, N :가조시간)이며 기상청의 관측자료를 이용할 수 있다.

이때 사용되는 albedo α 와 soil heat flux 계수 C_r 은 Table 1과 Table 2와 같이 토지이용별로 경험적으로 얻어진 Kotoda(1986)에 의한 값을 이용하였으며, 이상의 방법을 통하여 1999년부터 2004년까지의 금강권역에 대한 증발산량을 산정하였다. Fig. 3은 본 연구에서 대상으로 하고 있는 삼교천과 만경강, 동진강을 포함하는 금강권역을 표시한 것이며, Fig. 4는 6개년 중 2000년과 2002년에 대한 월증발산량을 나타내고 있다. Fig. 4에서의 class는 이미 기술한 식생등급 분류에서 분류된 식생의 등급을 의미한다.

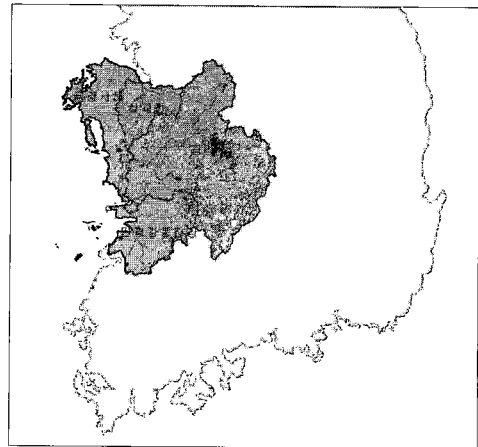


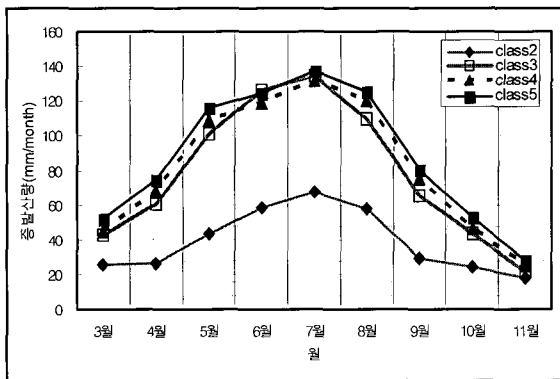
Fig. 3. Study Area(Geum River Area)

Table 1. Mean Values of albedo(Kotoda, 1986)

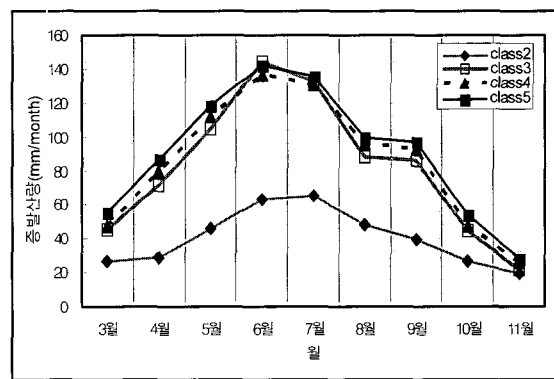
Category	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Water	0.01	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11
Urban area	0.32	0.32	0.30	0.30	0.28	0.27	0.28	0.30	0.30	0.30	0.30	0.32
Settlement	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Evergreen	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10
Deciduous	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.10
Orchard	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15
Mulberry	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16
Grass Land	0.20	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.19	0.20
Paddy	0.16	0.15	0.10	0.08	0.08	0.10	0.13	0.22	0.18	0.15	0.15	0.15

Table 2. Mean Values of Soil Heat Flux Coefficient(Kotoda, 1986)

Category	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Water	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Urban area	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Settlement	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Evergreen	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Deciduous	0.15	0.15	0.15	0.10	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.12	0.15
Orchard	0.18	0.18	0.18	0.15	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.15	0.18
Mulberry	0.18	0.18	0.18	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.18
Grass Land	0.12	0.12	0.18	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12
Paddy	0.15	0.15	0.12	0.15	0.15	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.15	0.15



(a) 2000



(b) 2002

Fig. 4. Evapotranspiration Obtained from Complimentary Relationship

3.2 NDVI로부터 증발산량 산정

어느 지점의 NDVI가 그 지점의 식생상태를 잘 표현하고 있다는 것은 일반적으로 입증된 사실이다 (Running and Nemani, 1988). 또한 증발산량은 식생상태의 영향을 받으므로 증발산량과 NDVI의 상관관계를 생각할 수 있으며 증발산량과 NDVI는 기상조건에 밀접한 관계를 가지므로 증발산량, NDVI, 기상조건의 상관관계를 생각할 수 있다.

여러 기상자료 중에서 기온은 자료의 획득이 용이하며 무엇보다도 증발산량과 대단히 높은 상관성을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 지역적 피복특성이 고려된 공간자료의 형태로 주어지는 NDVI와 기상관측 지점별로 얻어지는 기온을 통계적 방법에 의해 공간분포화한 자료를 변수로 하여 증발산량을 산정하는 관계식을 개발한다. 증발산량을 산정하기 위한 다중회귀분석은 보완관계식에 의한 기준증발산량을 종속변수로 하고 독립변수로서 NDVI(변수명: ndvi)와 기온(변수명: temp)을

사용하여 결과적으로 어느 임의의 지점에서 증발산량을 산정할 수 있는 추정식을 구하였다.

월증발산량을 산정하기 위해 해당월의 NDVI와 기온 자료를 이용하면 되나, 증발산량과 식생의 변화 양상에는 약간의 시간적 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 식물이 성장하는 시기(성수기)에는 기온의 급격한 상승으로 증발산량 또한 급격히 상승하나 식생의 성장은 그에 미치지 못한다. 또한 낙엽이 지는 시기(비성수기)에는 기온의 급격한 하강으로 증발산량은 급격히 저하하나 식생의 변화는 그만큼 빠르게 변화하지 못하는 성수기의 반대 현상이 나타난다.

결과적으로 월증발산량의 정확도를 높이기 위해서는 이와 같은 시간적 차이를 보정해주는 것이 필요하다. 가장 전형적인 방법은 시간적 차이를 고려하여 자료를 입력하는 것이나, 이 경우 과거의 분석에서는 문제가 되지 않으나 현재 월의 증발산량을 얻기 위해서는 아직 오지 않은 다음 월의 NDVI가 필요하게 되는 적용상의 문제가 발생한다.

따라서 본 연구에서는 전체기간을 대상으로 회귀분석을 실시한 것보다 이와같은 식생의 활성화 변화에 따른 기간구분을 통해 회귀분석을 실시하는 것으로 하였다. 이를 위하여 성수기와 비성수기를 구분하여야 하며, 본 연구에서는 기간을 변화시키면서 상관성을 분석한 결과 성수기를 3~8월로 하고 비성수기를 9~11월로 나누어 분석하는 경우에 정확성이 가장 높게 나타났다. 다중회귀분석을 통해 얻어진 회귀방정식을 결정계수 (R^2)로 적합도 검증을 하고 얻어진 식을 Table 3에 표시하였으며, 보완관계식에 의한 증발산량과 본 연구에서 개발한 회귀방정식을 이용한 증발산량을 비교하면 Fig. 5와 같다.

Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 회귀방정식의 결정계수는 0.8~0.9 정도의 값을 보이고 있음을 알 수 있다. class 2의 경우 대부분 도시 지역에 상당하는 지역으로 식생보다는 기상요소에 강하게 영향을 받게 되므로 정확도는 가장 낮게 나타나고 있으나, 대체로 적용 가능한 수치를 보여주고 있다.

Table 3. regression equations for evapotranspiration (Geum River Area)

vegetation classes	Mar. - Aug.		Sep. - Nov.	
	regression equations	R^2	regression equations	R^2
class 2	$E=10.4955-22.5223ndvi+2.2653temp$	0.8579	$E=11.9125+7.8130ndvi+1.1204temp$	0.7275
class 3	$E=26.0997-114.4106ndvi+5.9638temp$	0.8666	$E=-4.4203+11.5860ndvi+3.8070temp$	0.9127
class 4	$E=36.3702-81.9871ndvi+5.3390temp$	0.8370	$E=-3.0171+1.2744ndvi+4.2813temp$	0.9028
class 5	$E=33.5324+18.0843ndvi+3.6974temp$	0.7952	$E=-1.6448+8.2054ndvi+4.3166temp$	0.9038

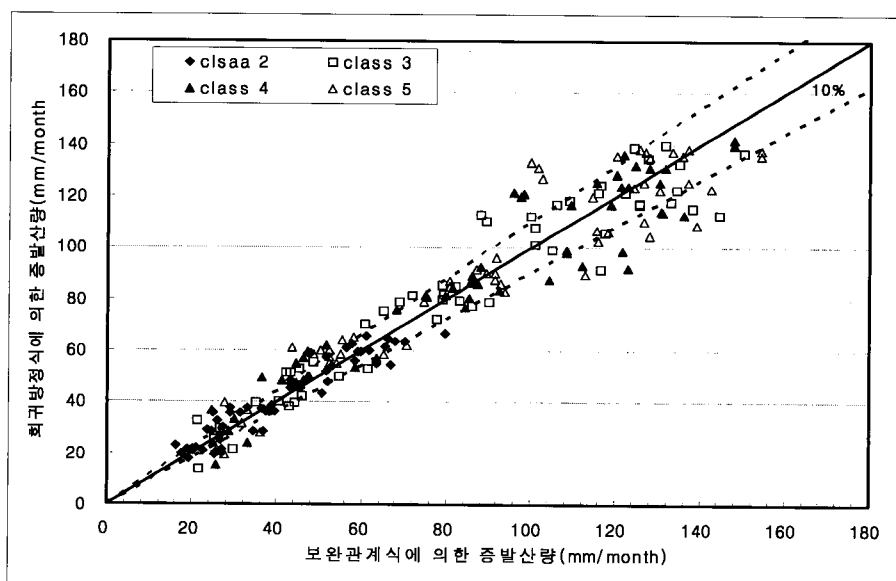


Fig. 5. comparison of evapotranspiration by two methods

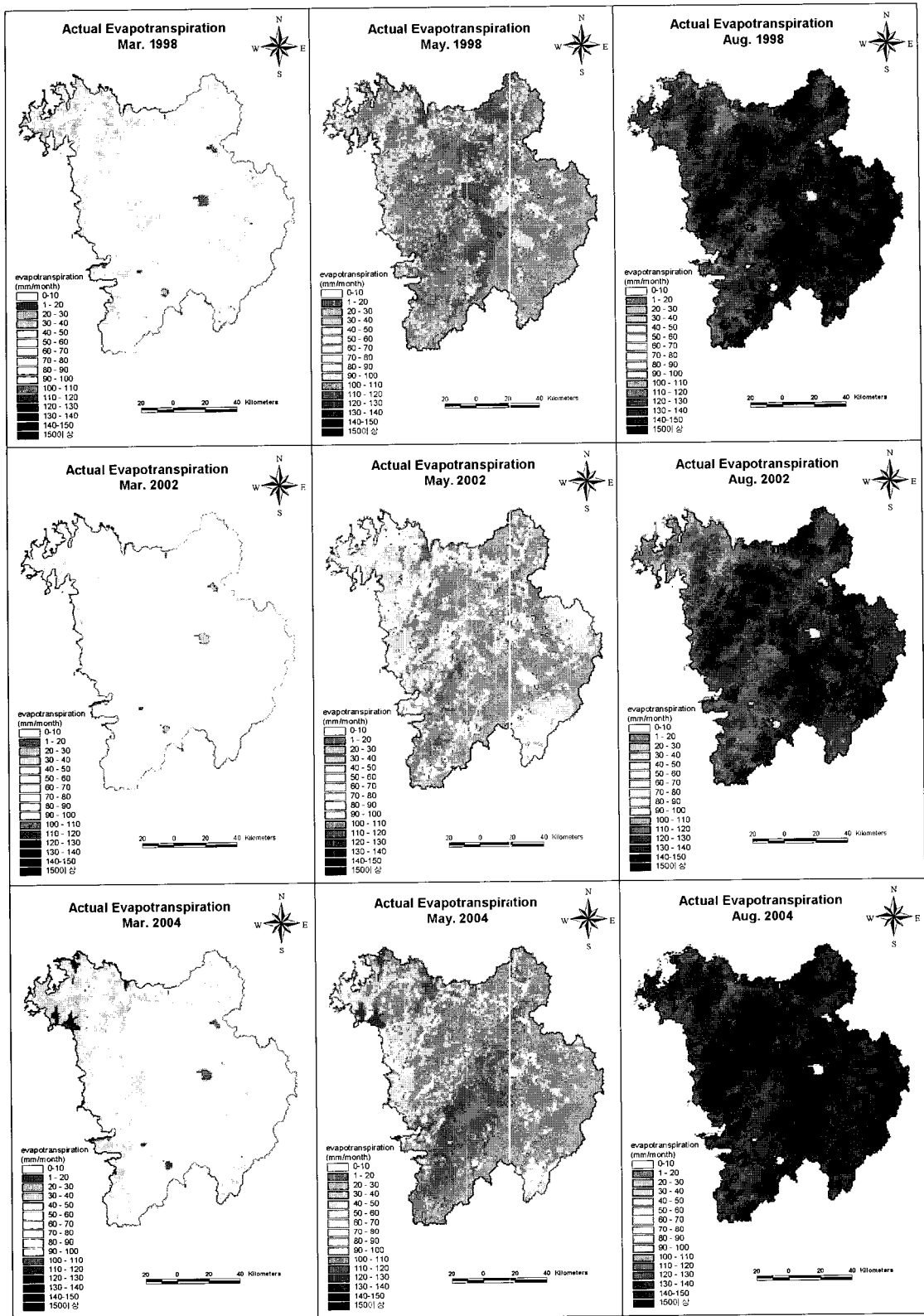


Fig. 6. Distributions of Evapotranspiration for Geum River Area

본 연구에서 개발한 회귀방정식을 이용하여 산정한 증발산량과 보완관계식에 의한 증발산량을 비교한 Fig. 5를 보면 대체로 약 10% 전후의 오차를 보이고 있음을

알 수 있다. 증발산량의 변화와 식생의 변화 양상이 시간적 차이를 가장 크게 보이는 5월 혹은 6월의 증발산량에서 약간의 오차가 증가하고 있다.

이러한 회귀방정식을 적용하여 1998~2004년도의 월별 증발산량 분포를 구하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이 방법은 인공위성 자료로부터 얻어지는 NDVI를 이용함으로써 적설의 영향이 없는 3월부터 11월까지를 대상으로 하고 있다. 7개년에 걸친 월별 증발산량을 산정하였으나 Fig. 6에는 지면관계상 일부 월만 발췌하여 표현하였다. 이와같은 증발산량의 공간적 분포는 증발산량 그 자체에도 의미를 갖지만, 이를 통하여 물 사용 및 물 수요의 지역적 특성을 파악할 수 있다는 점이 장점이다. 특히 가뭄과 같은 물부족이 발생할 경우 증발산량의 영향은 더욱 커지며, 증발산량의 공간적 분포 파악은 이러한 재해의 예방에도 적용될 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 광역면에 대한 증발산량에 대하여 간단하게 적용할 수 있는 관계식을 개발하고자 NOAA/AVHRR 자료로부터 산출되는 식생지수 NDVI와 기온 자료를 이용하였다. 증발산량과 식생지수 및 기온과는 서로 밀접한 상관관계가 있음은 이미 알려진 사실이며, 본 연구에서는 이러한 사실에 근거하여 증발산량을 산정할 수 있는 간편한 방법을 제안하고 있다. 보다 더 정확한 증발산량을 얻기 위해서는 기온자료뿐만 아니라 다양한 기상자료를 이용하는 것이 요구되나 본 연구에서는 넓은 지역의 적용을 목표로 비교적 입력자료를 쉽게 얻을 수 있는 자료만을 이용하는 것으로 하였다.

본 연구 결과의 정확성은 이론적으로 실제 관측된 증발산량과의 비교를 통하여 이루어져야 하나 넓은 지역에 대한 증발산량을 정확히 관측한다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 본 연구에서는 보완관계식에 의한 증발산량을 참값으로 가정하고 본 연구 결과에 대한 정확성을 평가하였다. 그 결과 보완관계식에 의한 증발산량과 회귀방정식에 의한 증발산량 사이에는 약 10% 전후의 오차를 보이고 있어 회귀방정식에 의한 증발산량은 비교적 적정한 것으로 평가할 수 있었다.

본 연구에서는 보다 더 일반적인 관계식을 얻고자 NOAA 위성 자료를 기상청으로부터 쉽게 취득할 수 있는 1998년부터 최근(2004년)까지의 자료를 전부 이용하였으며, 이로부터 얻어진 관계식은 현재 얻을 수 있는 가장 일반화된 관계식으로 생각할 수 있을 것이다. 본 방법에 의한 신뢰도를 향상시키기 위해서는 무엇보다도 기준증발산량으로 사용하고 있는 보완관계식의 재검토가 이루어져야 할 것이며, 혹은 정확한 기준증발산량으로 제시될 수 있는 증발산량이 얻어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비지원(과제번호 1-6-2)에 의해 수행되었습니다. 또한 본 연구에 사용된 위성 자료 및 기상자료는 기상청으로부터 제공받은 것입니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 신사철 (1996). "인공위성 자료에 근거한 한반도 물수지 분포의 추정.", *한국수자원학회지*, 제 29권, 제 4호, pp. 203-214.
- Ben-Asher, J. (1981). "Estimating evapotranspiration from the Sonoita Creek watershed near Patagonia Arizona." *Water Resour. Res.*, Vol. 17, No. 4, pp. 901-906.
- Benedetti, R., P. Rossini and R. Taddei (1994). "Vegetation Classification in the Middle Mediterranean Area by Satellite Data." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 15, pp. 583-596.
- Brutsaert, W. and Stricker, H. (1979). "An advection-aridity approach the estimate actual regional evapotranspiration." *Water Resour. Res.*, Vol. 15, pp. 433-450.
- Justice, C. O., J. R. G. Townshend, B. N. Holben and C. J. Tucker (1985). "Analysis of the Phenology of Global Vegetation Using Meteorological Satellite Data." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 8, pp. 1271-1318.
- Kotoda, K. (1986) "Estimating of river basin evapotranspiration." *Environmental Research Center Papers*, Univ. Tsukuba, Vol. 8, pp. 1-92.
- Lo Seen Shong, D., E. Mougin and J. P. Gastelluetchegorry (1993). "Relating the Global Vegetation Index to Net Primary Productivity and Actual Evapotranspiration over Africa." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 14, pp. 1517-1546.
- Morton, F. I. (1978). "Estimating evapotranspiration from potential evaporation practicality of an iconoclastic approach." *J. Hydro.*, Vol. 38, pp. 1-32.
- Prince, S. D., and W. L. Astle (1986). "Satellite Remote Sensing of Rangelands in Botswana Landsat MSS and Herbaceous Vegetation." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 7, pp. 1533-1553.

- Rasmussen, M. S. (1992). "Assessment of Millet Yields and Production in Northern Burkina Faso Using Integrated NDVI from the AVHRR." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 13, pp. 3431-3442.
- Running, S. W. and R. R. Nemani (1988). "Relating Seasonal Patterns of the AVHRR Vegetation Index to Simulated Photosynthesis and Transpiration of Forests in Different Climates.", *Remote Sens. Environ.*, Vol. 24, pp. 347-367.
- Shahin, M. (1985). *Hydrology of Nile Basin*, Elsevier.
- Shin, S. C., and M. Sawamoto (1996). "Evaluation of the Annual Water Balance through Vegetation Monitoring." *International Conference on Water Resources & Environment Research*, pp. 635-642.
- Townshend, C. R. G. and C. O. Justice (1986). "Analysis of the Dynamic of African Vegetation Using the Normalized Difference Vegetation Index." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 7, pp. 1435-1446.
- Tucker, C. J., C. L. Vanpraet, M. J. Sharman and G. Van Ittersum (1985a). "Satellite Remote Sensing of Total Herbaceous Biomass Production in the Senegalese Sahel : 1980-1984." *Remote Sens. Environ.*, Vol. 17, pp. 233-249.
- Tucker, C. J., J. R. G. Townsend and T. E. Goff (1985b). "African Land-Cover Classification Using Satellite Data." *Science*, Vol. 227, pp. 369-375.

(논문번호:05-132/접수:2005.10.13/심사완료:2006.03.06)