한국측지학회지, 제 14 권, 제 1 호, pp.81~88(1996년 6월 30일)

植生解析을 통한 廣域蒸發散量 推定 方法의 開發
Estimation Method of Evapotranspiration through Vegetation Monitoring over Wide Area

신 사 철
Shin, Sha-Chul

要 旨

원격탐사 기법은 식생 및 토지이용과 같은 지형 조건과 관련된 광역 증발산량을 산정하기 위한 하나의 수단으로 이용될 수 있다. 지면으로부터의 증발산량을 지배하는 인자로는 기온, 습도, 바람, 일사량, 토양조건 등 매우 복잡하게 구성된다. 식생은 그 지점의 증발산량에 영향을 주고 있으며, 증발산량을 지배하는 인자는 식생에 강한 영향을 받고 있다. 따라서 증발산량과 식생조건 사이에는 강한 상관관계가 성립함을 예상할 수 있다. 어느 임의의 지점에서의 식생조건을 파악하기 위하여 NOAA/AVHRR data로부터 얻을 수 있는 NDVI를 이용함으로서 증발산량과 NDVI사이의 강한 상관관계를 생각할 수 있다. 여기서, 증발산량과 NDVI의 관계를 이용하여 직접 실제증발산량을 산정할 수 있는 방법을 개발한다. 이 방법을 이용하여 지상의 자료가 충분하게 얻어지지 않는 북한 지역을 포함한 한반도 전역에 대한 증발산량의 분포를 파악할 수 있다.

ABSTRACT

Remote sensing technique is a probable means to estimate distribution of actual evapotranspiration over wide area in connection with regional characteristics of vegetation and landuse. Factors controlling evapotranspiration from ground are air temperature, humidity, wind, radiation, soil moisture and so on. Not only the vegetation influences directly the evapotranspiration, but also these factors strongly influnce the vegetation at the area. Therefore we can expect high correlation between the evapotranspiration and the vegetation. To grasp the state of vegetation at any point, NDVI calculated from NOAA/AVHRR data is utilized. It can be considered that evapotranspiration at a forest region is linearly proportional to the NDVI. Here, a model which adopts a direct method to estimate actual evapotranspiration is developed by using the relationship between NDVI and evapotranspiration. This method makes possible to estimate evapotranspiration of Korean Peninsula including North Korea where enough meteorological and hydrological data are unavailable.

1. 서 론

여러 종류의 水文量중 증발산은 지표로부터 수분이 氣化되어 대기 중으로 放出되는 현상으로서 特定地域의 물수지와 물순환기구를 규명하기 위한 중요한 量임에도 불구하고, 그 廣域의 分布量을 지표면의 상황을 직접 고려하여 산정 하는 방법은 확립되어 있지 않다. 그 때문에 현재까지는 물수지 및 에너지수지에 의한 산정이 폭넓게 이용되어 왔다. 그러나, 地點증발산량을 구하는 방법으로는 광역면에서의 증발산량이나 그의 공간적인 분포 등의 추정은 곤란하게 된다. 최근에는 微氣象觀測과 정밀한 熱收支모형에 의한 추정 및 그에 인공위성 자료를 組合하여 보다 광역의 증발산량을 구하기 위한 방법들이 시도되고 있으나, 이들 방법도 많은 관측점과 많은 변수의 동정이 필요하게 되며, 보다 광역에 확장하기 위해서는 어려운 점이 많다. 더욱이

한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

지상의 기상정보가 획득 불가능한 북한 지역이 포함되어 있는 한반도의 경우, 많은 기상정보를 필요로 하는 방법은 적절하지 않다.

다양한 지표면 과정이 관계하는 증발산량을 추정하기 위해서는 광역에서의 토지이용 상황,수문 조건을 고려하여 얻을 수 있는 인공위성 자료의 이용이 특히 유효하다. 한반도는 그 대부분이 삼림으로 구성되어 있으며 식생을 변수로 하는 광역증발산분포의 추정법은 대단히 유효하게 이용될 수 있다. 증발산은 기온, 일조, 식생 등에 지배된다. 또한, 기온, 일조 등의 기상 조건은 식생에 지배적인 영향을 주고 있다. 따라서, 식생을 정량화 한다면 그것은 증발산과 강한 상관관계가 있을 것으로 생각된다. 또한, 본 연구에서는 식생을 정량화 하기위하여 인공위성 자료로부터 비교적 용이하게 얻을 수 있는 식생지표NDVI를 이용한다.

이와 같이, 본 연구에서는 식생지표NDVI와 증발산량과의 상관에 착안하여 위성 자료만으로 광역의 증발산량과 그의 분포를 추정하는 방법을 개발하고자 한다.

2. NDVI와 피복 분류

Remote sensing의 가장 보편적인 응용의 하나는 식생의 평가 및 그의 변화량의 추출이다. 여기서, 식생상황을 평가하기 위한 지표로서 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)가 폭넓게 이용되고 있다.[1)-5)]

광역면에 있어서 개략적인 식생상태를 파악하기 위해서는 NOAA위성에 탑재되어 있는 AVHRR센서가 유효하다. NOAA/AVHRR data를 이용하면 NDVI는 다음 식으로 정의된다.

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

여기서, Ch.1 : Channel 1(가시)의 반사율
Ch.2 : Channel 2(근적외)의 반사율

식물의 잎에 포함되어 있는 클로로필은 가시역의 파장대를 잘 흡수한다. 그 결과 가시역의 적 band의 반사율은 낮아지게 된다. 또한, 근적외역에서는 반사율이 대단히 높아진다. 이와같은 적band에서의 강한 흡수와 근적외band에서의 강한 반사를 갖는 특수성에 의해 가시,근적외 영역이 식생조사에 이용되고 있다.

또한, 어느 기간중의 NDVI의 총량을 정량적으로 표현하기 위하여 iNDVI(integrated NDVI)가 이용되고 있다.

$$iNDVI = \frac{\sum(NDVI_j \times d_j)}{\sum d_j} \quad (2)$$

여기서, $NDVI_j$: j번째의 NDVI
d_j : $NDVI_j$에 대응하는 관측 일수

본 연구에서 이용된 위성자료는 1989년 4월부터 11월까지로 積雪의 영향으로 지표면의 정확한 관측이 불가능한 겨울철의 자료는 대상에서 제외하였다. 본 연구에서 사용된 위성자료는 수신 직후 기하보정이 이루어진 자료를 이용하였다. 또한 지상의 관측을 저해하는 요소가 되는 구름이 존재하는 경우 NDVI는 실제보다 대단히 낮아지게 된다. 따라서, 1개월에 3-4개의 맑은 날의 위성자료를 선정하여 각 畵素별로 NDVI가 최대치를 나타내는 자료를 선택하여 구름의 영향이 최소화된 NDVI화상을 작성하였다.

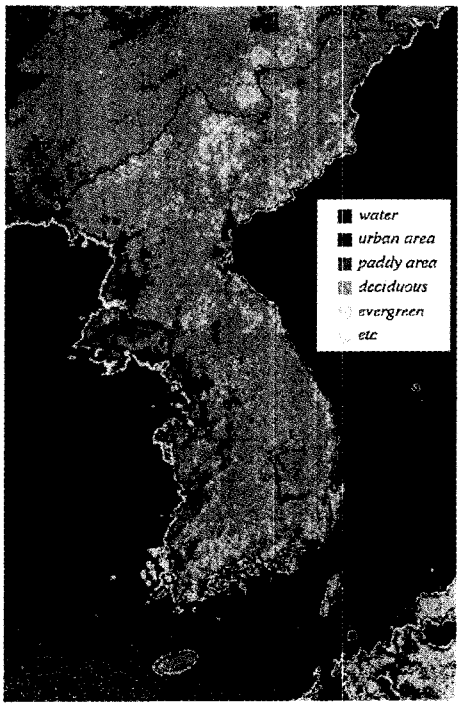


그림 1. 한반도의 피복상황

또한 각 피복 조건별로 고유의 특징적인 식생분포를 형성한다는 점으로부터 NDVI를 이용하여 한반도의 개략적인 피복 분류를 수행하였다. 이것은 NDVI의 계절변화로부터 공통의 식생환경을 하나의 항목으로 분류하는 것으로, 각 항목별의 증발산량을 산정 하기 위한 것이다. 그 분류 방법에 대해서는 신사철 등[6]에 자세히 기술하고 있으므로 여기서는 생략하기로 하고, 결과만을 그림1에 표시하였다.

3. 補完關係式에 의한 증발산량의 추정

보완관계식은 일반의 기상관측자료로부터 실제증발산량을 직접산정하는 기후학적 추정법으로서 제안된 방법이다. 이 방법은 Penman의 가능증발산량이 실제증발산량에 대하여 보완적으로 변화한다는 사실을 이용한 방법이며 보완관계식의 명칭은 여기서 유래한다. 이방법의 利點은 토양수분량 및 氣孔抵抗 등의 관측이 어려운 인자를 변수로 하지 않고, 일반의 지상 기상관측 자료만으로 실제 증발산량을 추정 가능하다는 점이다. 또한, 現行의 蒸發散比를 이용하는 증발산량추정법과 같이 事前에 대상유역 고유의 변수 및 경험계수를 구할 필요가 없다는 이점을 갖고 있다. Morton[7]은 실제증발산량과 Penman법에 의한 가능증발산량이 서로 보완관계에 있으며 양자의 합은 Priestly-Taylor법[8]에 의한 가능증발량의 2배에 상당한다는 관계식을 제안하였다. 그러나 Morton에 의한 보완관계식은 산정 과정에서 경험식을 이용하여 구하는 요소가 대단히 많으며, 불필요하게 복잡한 산정법을 취하는 경향이 지적되어 왔다. 따라서, Brutsaert and Stricker[9]는 직접 Penman법 및 Priestly-Taylor법을 이용하는 관계식을 제안하였다. 그러나, Ben-Asher[10]는 유역의 물수지와 Brutsaert and Stricker법에 의한 추정법을 비교한 결과, Brutsaert and Stricker법은 年총량에서는 적용 가능하나, 월단위에서는 겨울철의 증발산량을 과소 평가한다는 연구 결과를 보고하였다. 또한, 실제 우리 나라의 유역에 적용한 결과 冬季의 과소평가 현상이 나타남을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 Brutsaert and Stricker식에 Morton에 의해 적용된 이류항을 고려하여 과소평가의 보정을 수행하였다.

$$E_a = 2E_p - E_{pp} \tag{3}$$

$$E_{pp} = 1.26\,\frac{\Delta}{\Delta + r}(R_n + M - G) \tag{4}$$

$$E_{pp} = \frac{\Delta}{\Delta + r}(R_n + M - G) + \frac{r}{\Delta + r}\,f(u)\,(e_s - e_a) \tag{5}$$

$$E_a = \leqq E_{pp} \tag{6}$$

$$M = 0.66L_n - 0.44R_n \tag{7}$$

$$G = C_r \cdot R_n \tag{8}$$

여기서, E_a : 실제증발산량(mm/d)

E_p : Priestly-Taylor식에 의한 가능증발량 (mm/d)

E_{pp} : Penman식에 의한 가능증발산량(mm/d)

R_n : 순방사량 ($J/m^2/d$)

M : 이류항 ($J/m^2/d$)

G : Soil heat flux ($J/m^2/d$)

Δ : 포화수증기압곡선의 경사(hPa/°C)

r : 건습계정수(hPa/°C)

f(u) : 풍속함수(mm/hPa/d)

e_s : 공기의 포화수증기압(hPa)

e_a : 공기의 실제수증기압(hPa)

L_n : 장파방사수지 ($J/m^2/d$)

C_r : Soil heat flux 계수

관측치를 제외한 각 값은 이하의 근사식을 이용하였다.[11]

$$\Delta = \frac{1779.75 \cdot \ln 10 \cdot e_s}{(237.3 + t)^2} \tag{9}$$

$$r = \frac{1005 \cdot P_r}{0.622 \cdot \text{lambda}} \tag{10}$$

$$f(u) = 0.26(1+0.54u) \tag{11}$$

$$e_s = 6.11 \times 10^{7.5t/(237.3+t)} \tag{12}$$

$$P_r = 1013.25 - 0.119861H + 5.356 \times 10^{-6} H^2 \tag{13}$$

$$\lambda = (2501 - 2.37t) \times 10^3 \tag{14}$$

여기서, t : 대기온도(°C) P_r : 대기압(hPa)

λ : 증발의 잠열(J/kg)

u : 지상2m에서의 풍속(m/s) H : 고도(m)

일조시간으로부터 한지점에서 실제로 받는 일사량을 추정하는 많은 경험식은 월평균 日照時間과 可照時間의 比를 변수로 하는 일차식으로 표시된다.

$$\frac{I}{I_0} = (a+b)\frac{n}{N} \quad (15)$$

여기서, I_0 : 대기 상단에서의 일사량($J/m^2/d$)
N : 가조시간
n : 일조시간
a ,b : 상수

각 유역에서 관측된 1989년의 월평균 일사량과 일조시간을 이용하여, 각 유역의 상수 a,b를 구한 결과

표 1. 일사량 산정을 위한 지역 상수 a,b

유역명	a	b
한강	0.316	0.570
낙동강	0.216	0.425
금강	0.144	0.568
영산강	0.165	0.596
섬진강	0.189	0.572

를 표1에 표시하였다. 또한, 純放射量 추정식으로서 다음의 Penman식을 이용하였다.

$$R_n = S_n - L_n$$
$$= (1-\alpha)I - 0.0864\sigma(t+273)^4$$
$$(0.56 - 0.092\sqrt{e_a})\,(0.1 + 0.9\frac{n}{N}) \quad (16)$$

여기서, Sn : 단파 방사수지($J/m^2/d$) α : albedo
σ : Stefan-Boltzmann의 상수(0.57×10^{-8} $W/m^2/K^4$)

albedo α와 Soil heat flux계수 C_r은 각 토지이용별로 경험적으로 얻어진 표2와 표3의 값을 이용하였다.[11]

이와 같은 보완관계식을 이용하여 피복 조건별의 증발산량을 계산한다. 계산 시에 필요로 하는 기상 관측치는 몇 지점에 불과하므로 가능한 한, 기상 요소를

표 2. 피복별, 월별 지표면 albedo

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
Mulbery	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

표 3. 피복별, 월별 Soil heat flux 계수

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
Mulbery	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

표고의 함수로 표시하여 화소별의 기상 요소를 계산하였다. 기온의 경우, -0.5°C/100 m의 고도에 의한 기온감율을 고려하였으며, 상대습도는 수증기압으로 환산하여 고도에 반비례하는 성질을 이용하여 고도에 의한 상대습도를 구하였다. 그 이외의 요소, 풍속과 일조시간은 가장 가까운 관측소의 자료를 이용하였다. 이와 같이 각 화소의 기상요소와 피복 조건에 대한 albedo, soil heat flux계수를 이용하여 피복 조건별의 증발산량을 산정하게 된다. 그 결과를 그림2에 표시하였다.

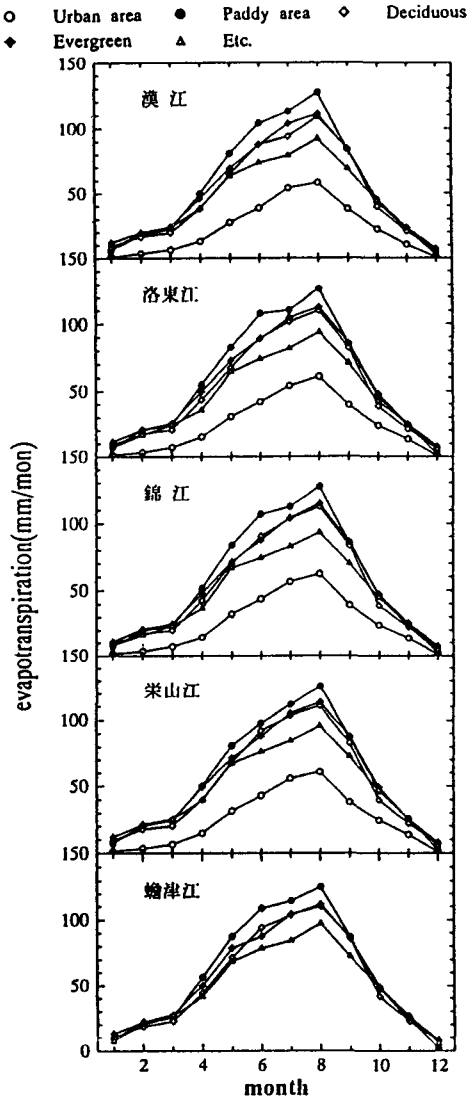


그림 2. 보완관계식에 의한 증발산량

4. NDVI에 의한 광역증발산량의 추정

4.1 NDVI와 증발산량과의 관계

어느 지점의 NDVI가 그 지점의 식생상태를 잘 표현하고 있다는 것은 이미 언급하였다. 따라서, NDVI와 증발산량과는 기후 조건 등의 밀접한 관계가 있다는 점에 착안하여 인공위성data를 이용하여 광역 면에서의 증발산량을 추정한다. 申士澈과 澤本12)에 의해 한강 유역과 같이 삼림이 많은 지역에 있어서는 NDVI와 증발산량과의 높은 상관관계가 확인되었다. 따라서 다음과 같은 NDVI와 증발산량과의 관계 추정법을 개발한다.

각화소에서의 증발산량이 주어진다고 할 때, 이들의 평균이 유역 전체의 평균증발산량이 된다. 따라서, 다음의 등식이 성립한다.

$$E = \frac{1}{P}\sum_{i=1}^{P} e_i \qquad (17)$$

여기서, E : 유역의 평균증발산량(mm/mon)
P : 총화소수
e_i : 각 화소에서의 증발산량(mm/mon)

그러나, 이식으로는 유역평균증발산량(E)으로부터 逆算하여 화소단위의 증발산량을 구하는 것은 불가능하다. 여기서, NDVI의 정보를 이용하여 e_i를 추정한다. NDVI의 히스토그램(histogram)이 식생의 계절 변화를 잘 반영하고 있는 점으로부터 NDVI를 어느 일정한 값으로 분할하고, 각각의 화소수를 변수로 하는 다음의 중회귀분석을 피복 조건별로 년간을 통하여 실시함으로서 어느 지점의 NDVI에 대응하는 그 지점의 증발산량이 구해진다.

$$E = \frac{1}{P}\sum_{i=1}^{n} e_i p_i \qquad (18)$$

여기서, p_i : 분할된 각 단계에서의 화소수
n : NDVI의 분할수

보완관계식으로부터 구한 증발산량(E_a)을 목적변수, NDVI로부터 구해지는 분할된 각 단계에서의 화소수

p_i를 설명변수로 하면, 회귀분석에 의해 n개의 회귀계수 e_i가 구해진다. 즉, 어느 화소에서의 NDVI를 위성 data로부터 구해 놓으면, 그 NDVI에 대응하는 e_i의 값이 그 지점에서의 증발산량이 된다. NDVI의 히스토그램 분할수n은 결과의 정확도를 좌우하는 중요한 변수이며, NDVI에 의한 증발산량과 보완관계식에 의한 값을 일치시키기 위해서는 n을 가능한 한 목적변수의 수만큼 크게 할 필요가 있을 것이다. 그러나, n의 값이 커질수록 변수가 많아지게 되며 그에 대응하는 많은 위성자료를 준비하지 않는 한 전체의 경향은 얻어지지 않는다. 따라서, 현재의 data set로부터 최적의 n의 값을 구할 필요가 있다.

4.2 한반도의 증발산 분포

우선 우리 나라 5대유역에 대하여 1989년 4월부터 11월까지의 대표NDVI를 이용하여 식(18)으로부터 e_i를 계산하였다. 본 연구에서는 월 단위의 증발산량으로서 목적변수가 8개(4월-11월)이며, 논 이외에는 n=4의 경우에 가장 좋은 相關關係가 얻어졌다. 논의 경우, 4월-6월의NDVI는 낮은 값을 나타내지만, 水面으로부터의 증발에 의해 증발산량은 비교적 많아지게 된다. 따라서, 수면으로부터의 증발에 의해 증발산량이 지배되는 시기와 벼의 성장과 함께 증산에 의해 지배되는 시기로 2개의 경우로 분리하여 적용하는 것으로 하였다. 이 경우, 목적변수의 감소에 의해 4월-6월에는 n=2, 7월-11월은 n=3으로 정하여 각각의 상관을 구하였다. 지면관계상 한강유역만의 피복조건별에대한 NDVI와 증발산량(e_i)의 관계를 그림3에 표시하였다. 이 그림으로부터 NDVI와 증발산량과의 사이에는 상관이 높은 비례 관계가 성립한다는 것을 알 수 있다. 또한, 한강유역이외의 유역에 관해서도 同程度의 비례관계가 성립함을 알 수 있었다. 이 관계를 이용하여 각 유역의 1989년 4월부터 11월까지의 증발산량의 분포를 구할 수 있으며, 그 중 한강 유역의 결과를 그림4에 표시하였다. 또한, 식(18)에 의해 NDVI로부터 구해진 평균증발산량(E)과 보완관계식으로부터의 증발산량(E_a)과의 비교 결과를 그림5에 표시하였다. 그 결과 약 ±10%이

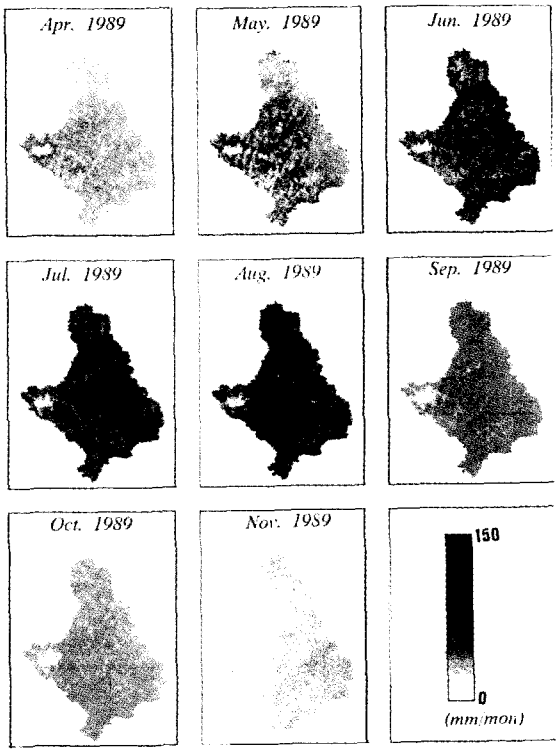


그림 4. 한강유역의 증발산분포

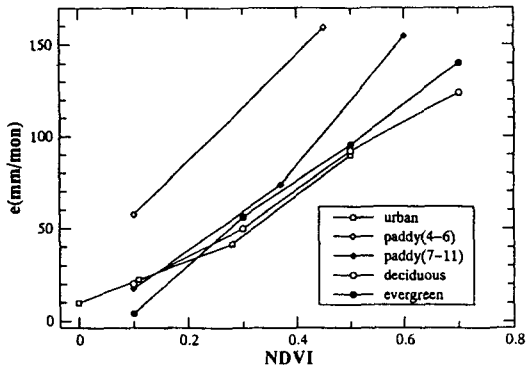


그림 3. 한강유역의 NDVI-e의 관계

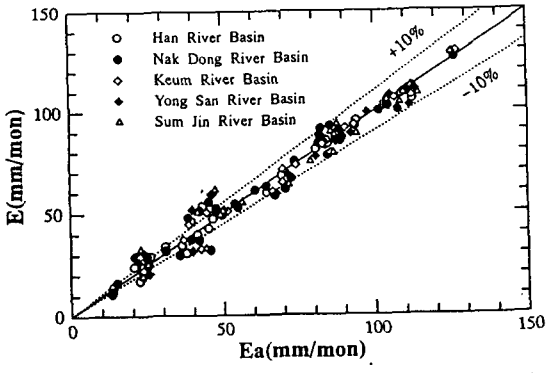


그림 5. 증발산량의 비교 (Ea : 보완관계식, E : NDVI)

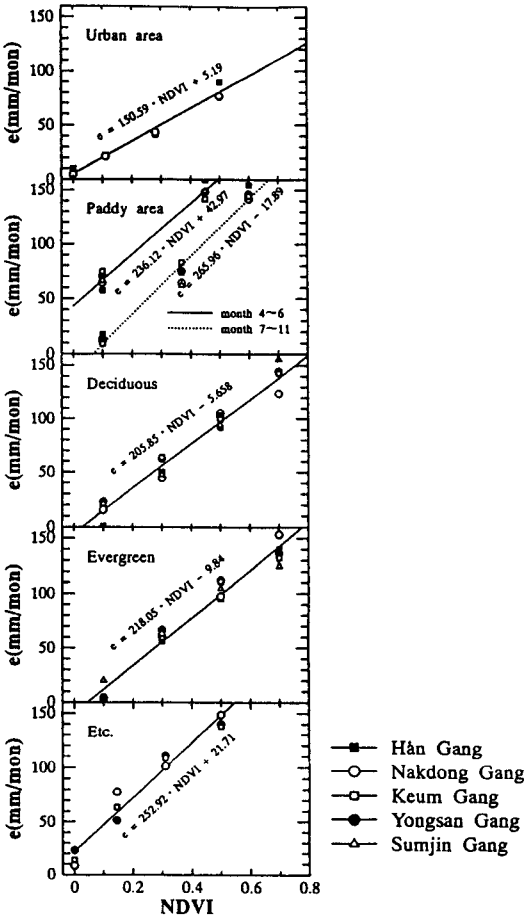


그림 6. 각 피복조건에 대한 NDVI와 증발산량의 관계

내의 오차로 NDVI로부터 증발산량을 구할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 이 그림에서 알 수 있듯이 증발산량이 40-50(mm/mon)부근에서는 오차가 약간 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 기후 조건에 의한 증발산량과 식물의 잎의 민감도의 차로부터 기인한다고 생각할 수 있다. 즉, 4, 5월에는 기온이 급격히 높아지며, 그에 따라 증발산량은 급격히 많아지게 되나, 식물의 잎은 그와 같이 민감하게 반응하지 않는다. 또한, 9, 10월에는 그와 반대의 현상이 나타나고 있다. 결국, 증발산이 식물의 잎보다 기후조건에 민감하게 반응하는 계절 변화의 위상차에 의한 오차가 발생하고 있다. 이에 관해서는 다년도의 data를 이용하여 계절별로 NDVI와 증발산량과의 관계를 구해 보정 할 필요가 있다. 그러나 증발산현상이 가장 활발한 여름철에는 대단히 정확도가 높다고 말할 수 있다.

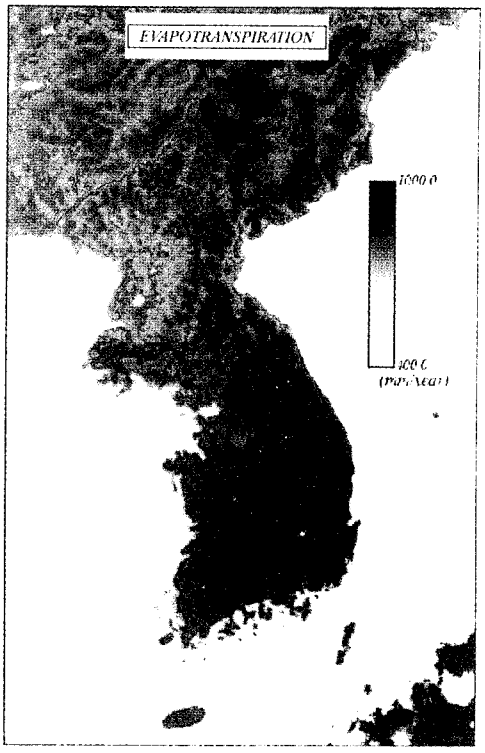
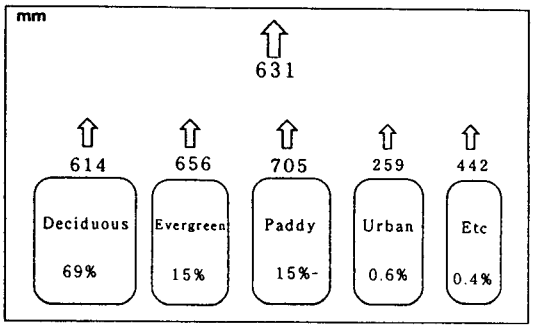
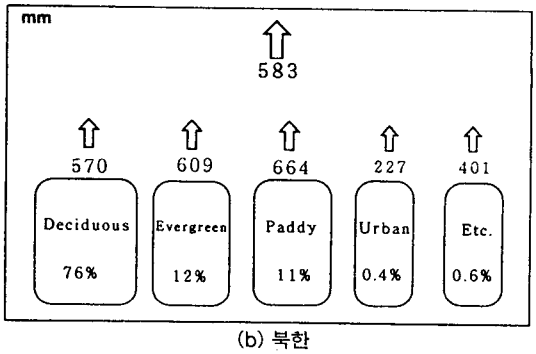


그림 7. 한반도의 증발산 분포(1989년)



(a) 한국



(b) 북한

그림 8. 남북한의 피복조건당 증발산량(1989년)

이상으로 우리 나라의 5대유역에 있어서 NDVI와 증발산량과의 사이에는 거의 비례 관계가 성립한다는 사실을 알 수 있다. 따라서, 이 관계를 한반도 전역으로 확장하여 피복 조건별의 NDVI와 증발산량과의 관계를 구할 수 있다. 각 유역에서 얻어진 NDVI와 증발산량과의 관계를 피복 조건별로 직선으로 근사시키면, 그림6과 같이 각각의 피복에 대하여 NDVI를 변수로 하는 일차회귀식을 구할 수 있다. 이식을 한반도 전역에 적용하면, 1989년 4월부터 11월까지의 증발산 분포가 얻어진다. 그림7은 1989년의 증발산량의 분포를 표시한 것이다. 또한 한반도에 있어서 피복별 증발산량의 총량을 그림8에 표시하였다.

5. 결 론

우리 나라의 5대유역에서 얻어진 NDVI와 증발산량과의 관계를 이용하여 한반도 전역에 대한 1989년 월별의 증발산분포를 구하였다. 그 결과로서 NDVI와 증발산량과의 관계를 定式化할 수 있으며, 이 관계를 擴張 利用하여 氣象情報나 水文情報가 전혀 얻어지지 않는 지역에 있어서도 인공위성data만으로 증발산분포를 容易하게 파악 가능하다.

본 방법의 신뢰도를 보다 향상시키기 위해서는 실제 증발산량의 추정 방법으로 이용된 補完關係式의 정확도에 대한 再 檢討이다. 이것은 今後 多年間에 걸친 해석과 다양한 기상 조건에서의 검토가 필요할 것이다. 광역증발산량의 推定精度의 검토를 수행하기 위해서는 토지 피복 항목을 多數 포함한 시험 유역을 대상으로 한 이용 가능한 精度 높은 물수지관측data의 축척이 대단히 중요하다. 또한, 피복 조건의 판별 精度의 향상과 다양한 피복조건에대한 NDVI와 증발산량과의 관계를 조사하는 것도 今後의 課題이다. 본 연구에서는 1989년의 위성data만을 이용하여 相關關係를 구하였으나, 보다 多年間에 걸친 많은 data를 이용함으로서 더욱 精度의 向上을 기대할 수 있을 것이다. 또한, 유역증발산량을 이용한 유역 단위의 물순환 해석을 수행함에 있어서 증발산의 물순환과정에 있어서의 役割을 定量的으로 평가할 수 있으며 본 증발산량추정방법을 이용함으로서 수자원, 물관리의 문제에 있어서 必要 不可缺한 data를 제공하고자 한다.

참고문헌

1. Justice,C.O., Townshend,J.R.G.,Holben,B.N. and Tucker, C.J., Analysis of the phonology of global vegetationusing meteorological satellite data, Int. J. Remote Sens., 8, 1985, pp.1271-1318.
2. Tucker,C.J., Vanpraet,C.L., Sharman,M.J. and Van Ittersum,G., Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel : 1980-1984, Remote Sens. Environ.,17, 1985, pp.233-249.
3. Tucker,C.J., Townshend,J.R.G. and Goff,T.E., African land-cover classification using satellite data, Science,227, 1985(b), pp.369-375.
4. Townshend,J.R.G. and Justice,C.O., Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index, Int. J. Remote Sens., 7, 1986, pp.1435-1446.
5. Benedetti,R., Rossini,P. and Taddei, R., Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by satellite data, Int. J. Remote Sens.,15, 1994, pp.583-596.
6. 신사철,최윤수,안기원, NDVI를 이용한 한반도의 피복분류, 대한토목학회 논문집,16,III -2, 1996, pp.139-146.
7. Morton, F.I., Estimating evapotranspiration from potential evaporation - praticality of an iconoclastic approach, J. Hydrol., 38, 1978, pp.1-32.
8. Priestly,C.H.B. and Taylor,R.J., On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters, Mon.Weather Rev., 100, 1972, pp.81-92.
9. Brutsaert,W. and Stricker,H., An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration, Water Resour. Res., 15, 1979, pp.443-450.
10. Ben-Asher,J., Estimating evapotranspiration from the Sonoita Creek watershed near Patagonia, Arizona, Water Resour. Res., 17(4), 1981, pp.901-906.
11. Kotoda,K., Estimating of river basin evapotranspiration, Environmental Research Center Papers, Univ. Tsukuba,8, 1986, pp.1-92.
12. 申士澈,澤本正樹, 漢江流域における水文量の廣域空間特性の解析, 日本 水文,水資源學會 誌,8(6), 1995, pp.560-567.