

# NDVI와 기온자료를 이용한 광역증발산량의 추정\*

신사철<sup>1\*</sup> · 안태용<sup>2</sup>

## Estimation of Areal Evapotranspiration Using NDVI and Temperature Data

Sha-Chul SHIN<sup>1\*</sup> · Tae-Young AN<sup>2</sup>

### 요 약

원격탐사 기법은 식생 및 토지이용과 같은 지형조건과 관련된 증발산량을 산정하기 위한 하나의 수단으로 효과적으로 이용될 수 있다. 지표면에서 발생하는 증발산량을 지배하는 인자는 기온, 습도, 바람, 일사량 및 토양조건 등 매우 복잡하게 구성된다. 식생은 그 지점의 증발산량에 영향을 주고 있으며, 증발산량을 지배하는 복잡한 인자는 식생의 성장조건에 직접적으로 영향을 미친다. 결국 증발산량과 식생조건 사이에는 강한 상관관계가 성립될 수 있음을 예상할 수 있다. 비교적 넓은 지점에 대한 식생상태를 파악을 위해서는 NOAA/AVHRR 자료가 효과적으로 이용될 수 있으며, 이로부터 얻어지는 식생지수(NDVI)를 이용함으로써 증발산량과 NDVI 사이의 강한 상관관계를 생각할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 점을 근거로 하여 NDVI와 기상자료를 조합하는 간편한 방법에 의한 실제증발산량 산정방법을 제안한다.

**주요어 :** 원격탐사, 증발산량, NDVI, NOAA/AVHRR

### ABSTRACT

Remote sensing technique is a probable means to estimate distribution of actual evapotranspiration in connection with regional characteristics of vegetation and landuse. The factors controlling evapotranspiration from ground surface are air temperature, humidity, wind, radiation, soil moisture and so on. Not only the vegetation influences directly the evapotranspiration, but also these factors strongly influences the vegetation growth at the area.

Therefore, it can be expected that evapotranspiration is highly correlated to vegetation condition. The normalized difference vegetation index (NDVI) showed excellent ability to get the vegetation information. The NDVI is obtained using NOAA/AVHRR have been studied as a tool for vegetation monitoring. In this paper, a simple method to estimate actual avapotranspiration is proposed based on vegetation and meteorological data.

**KEYWORDS :** *Remote Sensing, Evapotranspiration, NDVI, NOAA/AVHRR*

2004년 7월 23일 접수 Recieved on July 23, 2004 / 2004년 9월 22일 심사완료 Accepted on September 22, 2004

\* 이 연구는 2004년 안동대학교 특별학술연구사업의 지원으로 수행되었음

1 안동대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Andong Nat'l University

2 율촌코퍼레이션 수자원부 YulChon Corporation

\* 연락처 E-mail: scshin@andong.ac.kr

## 서 론

물순환 과정에 있어서 증발산은 강수와 함께 지표면의 건습을 결정하는 중요한 인자이다. 증발산 현상은 대기 중의 수증기 이동현상이므로 실제증발산량을 정확히 구한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 그 때문에 현재까지 물수지 및 에너지수지에 의한 산정 방법이 널리 이용되어 왔으나, 지점증발산량을 구하는 방법으로는 광역면에 대한 증발산량 혹은 공간적인 분포의 추정은 어려운 점이 많다. 그러나 우리나라의 기상상황에서 유역단위의 물수지를 생각할 때 증발산량이 점유하는 비율은 전체 강수량의 40%를 상회하며, 이 증발산량의 해결 없이는 정량적인 물수지의 규명이 불가능하게 된다.

최근에 미기상관측과 정밀한 에너지수지모형에 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. 다양한 지표면 과정이 관계되는 증발산량을 추정하기 위해서는 광역면에 대한 토지이용상황 및 수문조건을 고려하여 얻을 수 있는 인공위성 자료의 이용이 특히 유효하다.

증발산 현상은 여러 가지 기상요소 등에 의해 지배되며, 기온, 일사 등의 기상조건은 식생에 지배적인 영향을 주고 있다. 따라서 식생을 정량화 한다면 그것은 증발산량과 강한 상관관계가 성립할 것을 예상할 수 있다. 또한 Running과 Nemani(1998)는 NDVI의 적분값인 iNDVI와 연 증발산량과의 사이에 비례관계가 성립함을 보고하였다. 이와 같이 식생지수 NDVI와 증발산량과의 사이에 강한 상관관계가 성립한다는 점에 착안하여 우리나라를 대상으로 NDVI로부터 직접 실제증발산량을 산정하는 관계식이 개발되기도 하였다(신사철 과 澤本, 1995 ; 신사철, 1996 : Shin and Sawamoto, 1996). 그러나 이러한 방법은 기상자료를 요구

하지 않는다는 장점은 있으나 위성자료만을 이용하여 증발산량을 구함으로써 지상의 조건을 고려할 수 없다는 단점도 있다. 반면에 위성자료와 기상자료를 조합하는 방법은 지상의 조건으로 고려할 수 있다는 장점은 있으나 지상 자료의 획득이 불가능한 지역에 대한 적용이 어려우며 분석 시 기상자료를 입력해야 한다는 단점도 있다.

입력자료로 이용되는 기상자료가 많을수록 자료의 획득 및 처리에 많은 시간이 요구되므로 본 연구에서는 기상자료 중 비교적 쉽고 정확한 값을 얻을 수 있는 기온 자료만을 채택하여 분석시의 번거로움을 최소화하였다. 본 연구에서는 기상자료의 획득이 용이한 한강권역을 대상 지역으로 위성자료와 기상자료를 결합하는 실제 증발산량 산정 방법을 개발하였다.

## 보완관계식에 의한 증발산량의 추정

NDVI로부터 실제증발산량을 구하기 위해서는 우선 분석에 이용되는 실제증발산량이 있어야 한다. 그러나 실제증발산량을 직접 구한다는 것은 불가능한 일이므로, 본 연구에서는 보완관계식에 의해 실제증발산량을 산정하였다.

보완관계식은 지상의 기상관측자료로부터 실제증발산량을 직접 산정하는 기후학적 추정법으로 제안된 방법이다. 이 방법은 Penman의 잠재증발산량이 실제증발산량에 대하여 보완적으로 변화한다는 사실에 근거하며 보완관계식의 명칭은 여기서 유래되었다. 이 방법의 장점은 토양 수분량 및 기공저항 등 관측이 어려운 인자를 변수로 하지 않고, 일반적인 지상 기상관측 자료만으로 실제 증발산량을 추정 가능하다는 점이다. 또한 증발산비를 이용하는 증발산량 추정법과 같이 사전에 대상유역 고유의 변수 및 경험계수를 구할 필요가 없다는 장점을 갖고 있다. Morton(1978)은 실제증발산량과 Penman법에 의한 잠재증발산량이 서로 보완관계에 있으며, 양자의 합은 Priestly-Taylor법에 의한 잠재

증발산량의 2배에 상당한다는 관계식을 제안하였다. 그러나 Morton에 의한 보완관계식은 산정과정에서 경험식을 이용하여 구하는 요소가 대단히 많으며, 불필요하게 복잡한 과정을 취한다는 점이 지적되어 왔다. 따라서 Brutsaert와 Stricker(1979)는 직접 Penman법 및 Priestly-Taylor법을 이용하는 관계식을 제안하였다. 그러나, Ben-Asher(1981)는 유역의 물수지와 Brutsaert와 Stricker법에 의한 추정법을 비교한 결과, Brutsaert와 Stricker법은 연 총량에서는 적용 가능하나 월 단위에서는 겨울철의 증발산량을 과소 평가한다는 연구결과를 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 Brutsaert와 Stricker가 제안한 식에 Morton에 의해 적용된 이류항을 고려하여 과소평가의 보정을 실시하였다.

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

여기서,  $E_a$ 는 실제증발산량(mm/day),  $E_p$ 는 Priestly-Taylor에 의한 잠재증발산량(mm/day)  $E_{pp}$ 는 Penman에 의한 잠재증발산량(mm/day)이다.

$$E_p = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) \quad (2)$$

$$E_{pp} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (3)$$

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

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

여기서,  $R_n$ 은 순방사량(J/m<sup>2</sup>/d),  $M$ 은 이류항(J/m<sup>2</sup>/d),  $G$ 는 soil heat flux(J/m<sup>2</sup>/d),  $\Delta$ 는 포화수증기압곡선의 경사(hPa/°C),  $\gamma$ 는 건습계상수(hPa/°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<sup>2</sup>/d),  $C_r$ 은 soil heat flux 계수이다.

일사량의 산정을 위해 한강권역에 위치한 기상관측소 중 일사량 관측지점 7지점(강릉, 대관령, 춘천, 원주, 서울, 인천, 수원)에서 1999~2001년 사이에 관측된 총 224개의 일사량 관측치를 선정하였다. 이러한 일사량 관측치를 이용하여 월평균 일조율을 변수로 하는 1차식을 구하여 일조율로부터 일사량을 산정할 수 있도록 하였으며, 이를 그림 1에 나타내었다. 또한 albedo와 soil heat flux 계수는 각 토지이용 별로 Kotoda(1986)에 의해 경험적으로 얻어진 표 1과 2를 이용하였다.

보완관계식을 이용하여 한강권역에 대한 증발산량을 산정하기 위해 필요한 기상자료는 대기온도, 일조시간, 상대습도, 풍속, 일사량이며 이들 자료는 권역 내 위치한 기상관측소(17개소)자료를 이용하였다. 이러한 과정을 거쳐 피복조건별로 한강권역에 대한 월평균 실제증발산량을 구하였으며, 그 결과를 그림 2에 표시하였다.

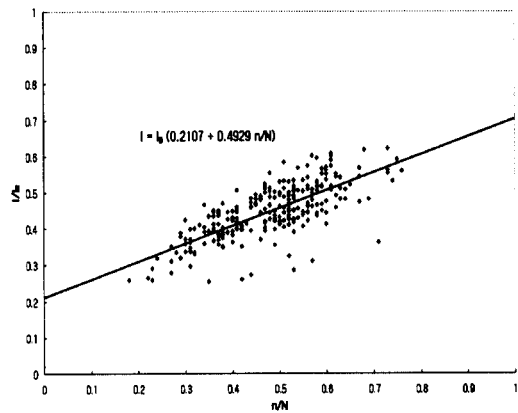


FIGURE 1. Equation for actual solar radiation received at Han river basin

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	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
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	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
grass land	0.12	0.12	0.18	0.10	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

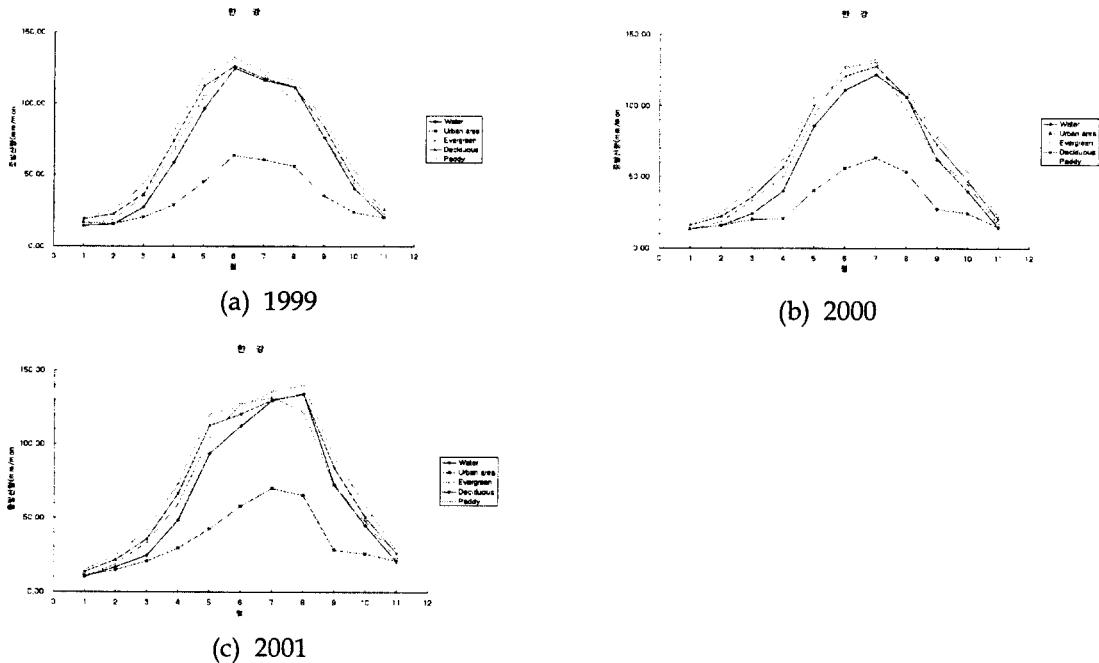


FIGURE 2. Evapotranspiration estimated from Complementary relationship equation

## NDVI와 식생등급 분류

### 1. 월대표 NDVI의 산정

1960년대 이래 원격탐사 자료로부터 식물의 생물리학적 특성을 나타내는 다양한 인자들을 밝혀내고자 노력해 왔으며, 이러한 노력의 대부분은 식생지수의 개발로 이어져왔다. 식생지수는 단위가 없는 복사값으로서 녹색식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽록소함량, 엽량 및 광합성 흡수 복사량 등과 관련된 자료로 사용된다. 현재까지 약 20여 종류의 식생지수가 사용되고 있으며 대부분의 식생지수는 정보량 측면에서 기능적으로 거의 같지만 몇몇 식생지수들은 나름대로 독특한 생물리학적 정보를 제공한다. 최초의 식생지수는 다음과 같은 적색과 근적외선 영역에서의 반사값을 나눈 단순 식생지수로 알려져 있다.

$$SR = \frac{NIR}{Red} \quad (6)$$

여기서, NIR은 근적외밴드의 분광반사도이며, Red는 적밴드의 분광반사도이다.

그 후 현재 NDVI(normalized difference vegetation index)로 알려진 정규화 식생지수가 개발되었으며 식생분석을 위하여 널리 이용되고 있다(Justice 등, 1985; Tucker 등, 1985a, 1985b; Townshend and Justice, 1986; Prince and Astle, 1986; Benedetti 등, 1994).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (7)$$

정규화 식생지수 NDVI는 현재 식생 분석을 위해 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.

$$NDVI = \frac{Ch.2 - Ch.1}{Ch.2 + Ch.1} \quad (8)$$

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

식생지수 NDVI를 이용하는 연구는 여러 분야에서 이루어지고 있으며, 성춘자와 정종철(2003)은 지형요소에 따른 NDVI의 변화를 조사하여 고도와 사면경사의 증가에 따라 NDVI의 분산범위가 불연속적 변화양상을 보이며, 사면 방향에 따른 NDVI의 차는 거의 나타나지 않음을 보고하였다. 또한 정종철과 김상욱(2002)은 식생지수를 이용하여 DMZ의 생태적 분석을 실시하기도 하였다.

어느 기간 동안 NDVI의 총량을 정량적으로 표시하기 위해 대응하는 관측일수로 NDVI를 적분한 iNDVI(integrated NDVI)가 이용된다. Rasmussen(1992)은 iNDVI와 농작물 수확량과의 비례관계를 보고하였으며, iNDVI를 이용한 순일차 생산량(Net Primary Production, NPP)의 평가에 대한 연구도 발표되었다(Lo Seen Chong 등, 1993).

인공위성 자료를 이용하여 증발산량을 산정하기 위한 첫 번째 단계는 정확한 NDVI 자료를 생성하는 것이다. 본 연구의 대상기간은 1999~2001년이며, 사용된 위성자료는 NOAA/AVHRR자료이다. 분석은 월별로 분석되나 적설의 영향으로 인하여 위성자료로부터 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 광학센서이며, 대상지역이 구름으로 덮여 있는 경우 위성의 센서가 읽는 반사치는 바로 그 구름의 반사치가 되어 구름으로 덮여있는 지표면의 반사치는 반영되지 못한다. 더욱이 태양 고도각이 낮은 경우는 구름에 의해 생긴 음영(陰影)이 인근의 반사치에도 영향을 미친다. 결국, 구름의 존재는 직·간접적으

로 NDVI를 실제보다 낮아지게 하여 정확한 관측을 저해한다. 그러나 지표면의 물리적 특성을 파악하고자하는 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 최소화된 것으로 간주할 수 있다. 따라서 복수의 NDVI로부터 각 화소별로 최대치를 선택함으로써 구름의 영향을 최소화된 NDVI 자료를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 1개월이라는 시간 간격을 취하여 일 NDVI로부터 1개월간의 최대치를 선택하여 월대표 NDVI를 작성하였다. 이와같이 작성된 월대표 NDVI를 지도 정보로서의 가치를 부여하기 위하여 기하보정을 실시하였다.

그러나, 연차별로 월대표 NDVI 영상의 질적인 차이가 발생할 수 있으며, 특히 구름의 양이 많은 장마철에 대한 월대표 NDVI는 연차별 질적 차이를 보일 수 있다. 이와 같은 시간에 따른 정확도 차이를 해소하기 위해 3개년간의 각 월별 평균 NDVI를 구하고 정규분포를 통해 신뢰구간 95.5%의 값을 초과하는 화소에 대해서는 전월과 다음월의 NDVI를 이용하여 보간하는 방법을 취하여 질적 차이의 발생을 최소화하고자 노력하였다.

## 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 집단화시키는 것으로, 이에 대한 분류방법으로 일반적으로 영상분석자의 개입정도에 따라 감독분류(supervised classification)와 무감독분류(unsupervised classification)로 나누

어진다.

NOAA 위성자료를 이용할 경우 위성자료의 특성 상 충분한 해상도가 확보될 수 없으므로 정확한 토지피복의 분류는 보다 높은 공간 해상도를 갖는 위성자료를 이용하는 것이 바람직하다. 또한, 본 연구의 목적도 정확한 토지피복상황을 분류하는 것은 아니라 식생정보를 이용하여 그 식생의 성질이 유사한 지역으로 그룹화하여 그룹별로 증발산량을 산정하기 위함이다. 결국, 본 연구에서 실시하는 식생등급 분류는 피복상황을 간략화하기 위해 몇 개의 등급으로 그룹화하는 것으로 엄밀한 의미의 토지피복분류와는 다르다.

분류하는 방법은 일반적인 토지피복분류를 하는 방법과 동일하며, 광범위한 지역을 해상도가 낮은 위성자료를 이용한다는 점에서 정확한 지표면의 정보를 입력 자료로 활용하는 감독분류보다는 최소의 초기입력 자료만을 요구하는 무감독분류를 이용하였다. 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. 본 연구에서는 환경부에서 제공하는 1990년대의 피복분류도와 비교하여 분류항목에 대한 분류명칭을 결정하였다.

무감독분류를 위해 월 NDVI를 이용할 경우 월별 식생상태는 파악할 수 있으나 장기간에 걸친 평균적인 식생의 상태는 파악할 수 없게 된다. 따라서 연구대상 기간인 3년에 걸친 iNDVI를 작성하여 3년간의 적분치를 표현하도록 하였다. 그림 3은 3개년간(1999~2001)에 걸친 한반도 전역에 대한 iNDVI를 나타내고 있다. 그림 4는 iNDVI로부터 우리나라를 적출하여 환경부피복자료와 비교하여 5단계 등급으로 식생을 분류한 결과이다. 1등급은 수역에 해당되나 NOAA 위성의 해상도가 1.1km로 비교적 화소의 크기

FIGURE 3. iNDVI image(1999-2001)

가 크기 때문에 이에 해당되는 화소는 그다지 존재하지 않는다. 2등급은 식생이 그다지 존재하지 않는 지역으로 대부분 도시지역에 해당됨을 알 수 있다. 3등급은 대부분 논을 비롯한 농경지에 해당됨을 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 달리 하고자 이용되는 것으로 통상적인 토지피복 결과와는 반드시 일치하지는 않는다. 추후의 연구를 위하여 식생등급화는 한강권역만이 아닌 우리나라 전역에 대하여 실시하였다.

### NDVI에 의한 증발산량의 추정

어느 지점의 NDVI가 그 지점의 식생상태를 잘 표현하고 있다는 것은 일반적으로 입증된 사실이다. 또한 증발산량은 식생상태의 영향을 받으므로 증발산량과 NDVI의 상관관계를 생각할 수 있으며 증발산량과 NDVI는 기상조건에 밀접한 관계를 가지므로 증발산량, NDVI 및 기상조건 상관을 생각할 수 있다. 따라서, 상관성이 높은 증발산량, NDVI 및 온도자료를 이

FIGURE 4. vegetation classes

용하여 다중회귀분석을 통하여 한강권역에 대한 증발산량 추정식을 개발하였다. 다중회귀분석(multiple regression analysis)은 둘 이상의 독립변수가 하나의 종속변수에 미치는 영향을 분석하거나 종속변수의 값을 예측하기 위하여 독립변수와 종속변수간의 회귀방정식을 구하는 과정을 말한다. 단순회귀분석이 사실관계를 회생하는 경우가 많으나, 다중회귀분석은 단순회귀분석의 이러한 단점을 극복하고, 현실문제의 해결에 보다 적절성을 갖춘 기법이다. 본 연구에서는 종속변수로 증발산량을, 독립변수로 NDVI와 온도(Temp)를 사용하여 회귀분석을 실시함으로써 결과적으로 어느 임의의 지점에서 NDVI와 온도 자료만으로 실제증발산량을 산정할 수 있는 추정식을 구하였다.

식생의 변화와 증발산량의 변화에는 상관성이 존재하나, 식물이 성장하는 시기와 낙엽이 지는 저장단계에서는 식생의 변화 양상과 증발산량의 변화 양상이 약간의 차이를 갖는다. 따라서, 전체기간을 대상으로 회귀분석을 실시하는 것보다 이와같은 식생의 활성화 변화에 따른 기간 구분을 통해 회귀분석을 실시하는 것이 보다 정확성을 높이는 방안이다. 본 연구에서는 기간을 변화시키면서 상관성을 분석한 결과 3,

4, 5등급의 경우 식물이 성장하는 단계(3-8월)와 저장하는 단계(9-11월)로 분류하여 분석하는 것이 가장 정확도가 높은 것으로 나타났다. 반면에 2등급(도시)의 경우 식생보다는 기상요소에 의해 직접 영향을 받게 되므로 기간을 분류하여 분석한다 하더라도 더 좋은 결과를 얻을 수 없었다.

또한 각 지점별 온도는 권역 내 위치하고 있는 17개 기상관측소 자료를 보간하여 사용하였다. 보간을 위한 방법으로 Spline법, Kriging법, IDW법(역거리 가중법) 및 Isohyetal법 등을 이용하여 분석을 실시하였으며, 그 중 본 연구에서는 Spline 법을 채택하였다. Spline 법은 2차원(혹은 3차원) 공간에서 곡선을 그리는데 편리한 방법으로 이 방법을 이용하여 분포시킨 결과

가 기상청에서 인터넷을 통해 제공하는 온도분포도와 가장 유사한 결과를 나타내었다.

다중회귀분석을 통해 얻어진 회귀방정식을 결정계수( $R^2$ )로 적합도 검증을 하고 얻어진 식을 표 3에 나타내었으며, 보완관계식에 의한 증발산량과 회귀방정식에 의해 계산된 증발산량을 그림 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 두 증발산량 사이에 약 10% 전후의 오차를 보이고 있어 회귀방정식에 의한 증발산량은 비교적 적정한 것으로 평가할 수 있다. 또한 표 3에서 알 수 있는바와 같이 식생이 성장하는 시기보다는 저장하는 단계에서의 정확성이 더 높은 것을 알 수 있다. 이것은 9월부터 기온의 하강으로 증발산량이 갑자기 저하하고, 동시에 식생의 활성도가 급격하게 저하되는 시기가 어느 정

TABLE 3. Results of regression analysis

vegetation	Mar.- Aug.		Sep.- Nov.	
	regression equation	$R^2$	regression equation	$R^2$
class 2(urban)	$E=6.04+0.4ndvi+2.11temp$	0.78	$E=6.04+0.4ndvi+2.11temp$	0.78
class 3(paddy)	$E=19.3-41.6ndvi+5.1temp$	0.89	$E=3.97+0.4ndvi+3.39temp$	0.99
class 4(deciduous)	$E=21.6+1.6ndvi+4.38temp$	0.91	$E=4.28+0.5ndvi+3.77temp$	0.97
class 5(evergreen)	$E=26.1+25.3ndvi+3.86Temp$	0.90	$E=6.72-1.3ndvi+4.03Temp$	0.98

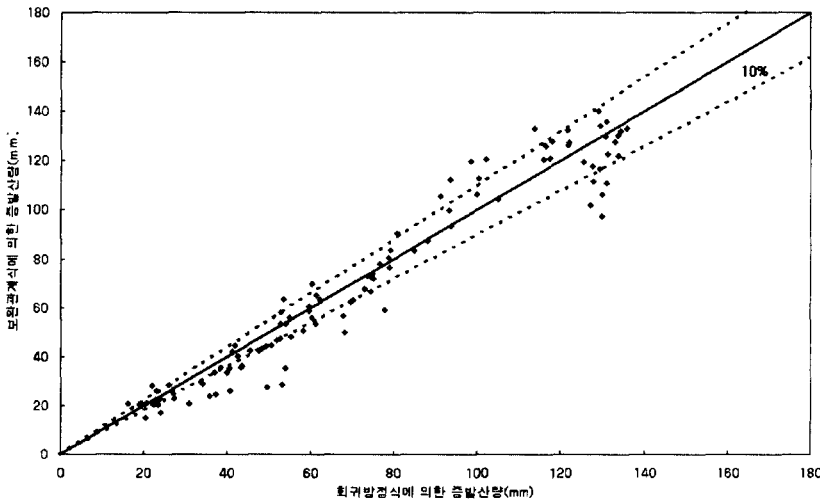


FIGURE 5. Comparison of evapotranspiration by two methods



도 일치하기 때문이다. 반면에 5월이 되면 기온이 급격히 상승하면서 증발산량도 급격히 증가하지만, 식생의 활성은 증발산량의 증가보다는 약간 늦게 반응한다. 이와같은 이유로 식생이 성장하는 단계에서의 정확성이 저장하는 단계보다 약간 저하하는 것으로 평가된다. 또한 도시를 제외한 피복에서는 피복별 정확도는 거의 동일한 수준을 나타내고 있다.

이러한 회귀방정식을 적용하여 1999~2001년도의 월별 실제증발산량 분포를 구하였으며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다.

## 결 론

본 연구에서는 광역면에 대한 실제증발산량

의 분포자료를 얻기 위하여 NOAA/AVHRR자료로부터 산출된 식생지수와 온도자료를 이용하는 간편한 방법을 제안하였다. 증발산량과 식생지수 및 기온과는 서로 밀접한 상관관계가 있음은 이미 알려진 사실이며, 이러한 상관관계를 이용하여 광역면에서의 실제증발산량을 추정할 수 있는 회귀방정식을 유도하였다.

본 연구에서는 비교적 입력 자료를 쉽게 얻을 수 있는 자료만을 이용하는 것으로 하였으며, 이를 위하여 NOAA/AVHRR 자료로부터 얻어지는 NDVI와 기상자료 중 자료획득이 가장 용이한 기온자료만을 이용하는 것으로 하였다. 이 중 증발산량을 산정하기 위하여 NDVI를 이용하는 가장 큰 이유는 위성자료 자체가 공간자료이므로 이에 따른 증발산량도 공간적 자료

FIGURE 6. Distribution of evapotranspiration for Han river area

의 형태로 얻어질 수 있다는 것이다. 그러나 식생을 변수로 하는 경우 식생의 변화와 증발산량의 변화에는 상관성이 존재하나, 식물이 성장하는 시기와 낙엽이 지는 저장단계에서는 식생의 변화 양상과 증발산량의 변화 양상이 약간의 차이를 보인다는 점에 유의하여야 한다. 따라서, 전체기간을 대상으로 회귀분석을 실시하는 것이 활용성 측면에서는 더 좋을 수 있으나, 이와같은 식생의 활성화 변화에 따른 기간 구분을 통해 회귀분석을 실시하는 것이 보다 정확성을 높이는 하나의 방안이 된다.

따라서, 본 연구에서는 식생보다는 기상요소에 의해 직접 영향을 받는 도시지역(2등급)을 제외한 3, 4, 5등급의 경우 식물이 성장하는 단계(3~8월)와 저장하는 단계(9~11월)로 분류하여 분석하여 정확도를 높이고자 시도하였다.

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

본 연구에서는 1999~2001년 자료를 이용하였으나 연구기간을 늘린다면 더 일반적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 정확한 NDVI가 얻어진다면 1개월이 아닌 주별 또는 순별 분석도 가능할 것이다. 그러나 본 연구에서 사용하고 있는 NOAA/AVHRR자료는 자료의 취득이 쉽고 넓은 지역의 분석 및 시계열적인 자료의 취득이 가능하다는 장점이 있는 반면 우리나라의 촬영시간이 저녁시간과 아침시간이라는 점에서 구름과 안개의 영향을 많이 받으므로 정확한 데이터를 얻기가 어렵다. 따라서 아직은 활용도가 낮지만 자료의 축적이 이루어질 경우 MODIS 영상을 이용한다면 시계열 자

료의 취득이 가능하고 공간해상도를 높일 수 있는 방안이 될 것이다. 본 방법에 대한 신뢰도를 향상시키기 위해서는 실제증발산량의 추정방법으로 이용된 보완관계식의 정확도에 대한 재검토가 필요하다. 이것은 금후 다년간에 걸친 해석과 다양한 기상조건에서의 검토가 필요할 것이다. 또한 본 연구에서는 한강 권역에 대한 분석을 실시하였으나, NOAA 위성 자료를 이용할 경우 우리나라 전역에 대한 분석도 가능하므로 금후의 연구에서는 우리나라 전역을 대상으로 실제증발산량을 산정할 수 있는 분석을 실시하고자 한다.

## 감사의글

본 연구는 “2004년 안동대학교 특별학술연구사업”의 지원에 의해 수행되었으며, 연구에 사용된 위성자료는 기상청으로부터 제공받은 것입니다. 이에 감사드립니다. **KAGIS**

## 참고문헌

- 성춘자, 정종철. 2003. 지형요소에 따른 NDVI의 변화에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(2): 92-100.
- 신사철. 1996. 인공위성 자료에 근거한 한반도 물수지 분포의 추정. 한국수자원학회지 29(4): 203-214.
- 정종철, 김상욱. 2002. 식생지수를 이용한 DMZ의 생태적 영향권분석. 한국지리정보학회지 5(4):24-34.
- 申士澈, 澤本正樹. 1995. 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 8:560-567.
- Ben-Asher, J. 1981. Estimating evapotranspiration from the Sonoita Creek watershed near Patagonia, Arizona. Water Resour. Res. 17(4):901-906.

- Benedetti, R., P. Rossini and R. Taddei. 1994. Vegetation Classification in the Middle Mediterranean Area by Satellite Data. *Int. J. Remote Sens.* 15:583-596.
- Brutsaert, W. and Stricker, H. 1979. An advection-aridity approach the estimate actual regional evapotranspiration. *Water Resour. Res.* 15:433-450.
- 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.* 8:1271-1318.
- 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.* 14:1517-1546.
- Morton, F. I. 1978. Estimating evapotranspiration. from potential evaporation-practicality of an iconoclastic approach. *J. Hydro.* 38:1-32.
- Prince, S. D., and W. L. Astle. 1986. Satellite Remote Sensing of Rangelands in Botswana Landsat MSS and Herbaceous Vegetation. *Int. J. Remote Sens.* 7:1533-1553.
- Rasmussen, M. S. 1992. Assessment of Millet Yields and Production in Northern Burkina Faso Using Integrated NDVI from the AVHRR. *Int. J. Remote Sens.* 13:3431-3442.
- 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.* 24:347-367.
- 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.*
- 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.* 17:233-249.
- Tucker, C. J., J. R. G. Townsend and T. E. Goff. 1985b. African Land-Cover Classification Using Satellite Data. *Science.* 227:369-375. ~~227:369-375.~~