

## 광역의 가뭄 분석을 위한 위성영상의 활용

# The Application of Satellite Imagery in Droughts Analysis of Large Area

정 수\* · 신사철\*\*

Jeong, Soo · Shin, Sha Chul

### 要 旨

현재 물부족 국가로 분류되고 있는 우리나라 현실에서 가뭄은 재해 관리에 있어서 중요한 요소가 되고 있다. 위성영상은 광역의 지표면에 대해 오랜 시간 동안 주기적으로 자료를 취득할 수 있게 해주므로 이를 가뭄의 관측에 활용하면 유용한 결과를 얻을 가능성이 크다. 본 연구에서는 광역의 가뭄현상을 해석하는 데 있어서 위성영상을 활용하는 방안을 제시하고자 하였다. 따라서, 미국 NASA에서 제공하는 MODIS 자료의 식생지수(NDVI) 자료를 이용하여 광역의 증발산량을 산정하는 방법을 개발하였다. 위성영상을 이용하여 산정된 증발산량 분포를 강우 분포자료 및 잠재증발산량 분포자료와 결합하여 기후학적 물수지를 산정하였으며, 이를 기반으로 대상지역의 가뭄을 효과적으로 분석할 수 있었다. 본 연구의 결과는 가뭄 해석에 있어서의 위성영상의 활용도를 높이는 데 기여를 할 것이다.

**핵심용어** : 가뭄, 식생지수, 증발산, 물수지, MODIS

### Abstract

Droughts have been an important factor in disaster management in Korea because she has been grouped into nations of lack of water. Satellite imagery can be applied to droughts monitoring because it can provide periodic data for large area for long time. This study aims to present a process to analyze droughts in large area using satellite imagery. We estimated evapotranspiration in large area using NDVI data acquired from satellite imagery. For satellite imagery, we dealt with MODIS data operated by NASA. The evapotranspiration estimated from satellite imagery was combined with precipitation data and potential evapotranspiration data to estimate water balances. Using water balances we could analyze droughts effectively in our object area. As the result of this study, we could increase the usability of satellite imagery, especially in droughts analysis.

**Keywords** : droughts, NDVI, evapotranspiration, water balances, MODIS

## 1. 서 론

지난 20년간 세계 각국에서는 극심한 가뭄을 겪어 왔다. 우리나라의 경우 1994년부터 1995년까지 지역별로 100년 빈도에 가까운 기록적인 가뭄을 겪었으며 2001년에는 지역에 따라 극심한 가뭄을 경험하였다. 우리나라는 수자원의 약 98%를 하천 취수나 댐 공급에 의존하고 있으므로 가뭄이 발생할 경우에 그 파급효과가 매우 크다.

물순환 과정에서 증발산은 강수와 함께 지표의 진습을 결정하는 중요한 인자이므로 가뭄과 밀접하게 관련이 된다. 증발산 현상은 대기 중의 수증기 이동 현상으로서 실

제증발산량을 정확히 구한다는 것은 매우 어렵다. 그 때문에 현재까지 물수지 및 에너지수지에 의한 산정 방법이 널리 이용되어 왔으나, 이러한 지점증발산량을 구하는 방법을 이용해서는 광역면에 대한 증발산량을 구하거나 공간적인 분포를 추정하는 것이 어렵다. 그러나, 우리나라의 기상상황에서 유역단위의 물수지에 있어서 증발산량이 점유하는 비율은 전체 강수량의 40%를 상회하므로, 증발산량을 산정하지 않고서는 정량적으로 물수지를 규명하는 것이 곤란하다.

최근에 미기상관측과 정밀한 에너지수지모형을 이용하여 증발산량을 추정하거나, 인공위성 자료를 덧붙여

2006년 3월 28일 접수, 2006년 5월 25일 채택

\* 정희원·안동대학교 공과대학 토목공학과 조교수 (soo@andong.ac.kr)

\*\* 안동대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (scshin@andong.ac.kr)

보다 광역의 증발산량을 구하기 위한 방법들이 시도되고 있으나, 이들 방법도 많은 관측점과 변수가 포함되므로, 광역에 적용하기가 쉽지 않다.

다양한 지표면 상태가 연관되는 증발산량을 추정하기 위해서는 광역에 대한 토지이용상황 및 수문조건을 판독할 수 있는 인공위성 자료를 활용하는 것이 유용하다.

증발산 현상은 여러 가지 기상요소 등에 의해 영향을 받으며, 식생 또한 기온, 일사 등의 기상조건에 크게 영향을 받는다. 따라서 식생과 증발산량은 강한 상관관계가 성립하는 것으로 가정할 수 있다. Running과 Nemani(1988)는 NDVI의 적분값인 iNDVI가 연 증발산량과의 사이에 비례관계가 성립함을 보고하였다. 이와 같이 식생지수 NDVI와 증발산량과의 사이에 강한 상관관계가 성립한다는 점에 착안하여 우리나라를 대상으로 NDVI로부터 직접 실제 증발산량을 산정하는 관계식이 개발되기도 하였다(신사철, 2004). 그러나 이러한 방법은 기상자료를 요구하지 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 단점이 있다.

본 연구에서는 미국 NASA가 운용하고 있는 저해상도 지구관측위성영상인 MODIS 자료를 활용하여 우리나라 낙동강 권역을 대상으로 위성자료와 기상자료를 결합하는 실제 증발산량 산정 방법을 제시하였다. 기상자료의 경우 비교적 쉽고 정확한 값을 얻을 수 있는 기온 자료만을 이용함으로써 실제의 활용이 용이하도록 하였다.

MODIS 자료를 이용해 산정한 실제 증발산량 분포 자료를 강우분포 자료와 잠재증발산량 분포 자료와 결합하여 기후학적 물수지를 산정하였다. 기후학적 물수지를 기반으로 낙동강 권역에서의 강우량과 증발산량의 대소 관계에 의해 토양수분 및 부족수분량을 결정함으로써, 해당 자료의 시기(월)에 대한 필요강우량을 산정하였다.

## 2. 위성영상과 강우량 자료

### 2.1 MODIS 영상과 NDVI 자료

MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)는 미국 NASA에서 발사한 Terra위성(1999년 10월 발사)과 Aqua 위성(2002년 5월 발사)에 탑재된 지구관측센서이다. MODIS는 36개의 광학 채널을 통해 지구를 관측하고 있으며, 이중 1번 채널과 2번 채널은 공간해상도가 250m이며 1번 채널이 적색 파장대, 2번 영역이 적외선 파장대이므로 두 채널을 이용하여 NDVI 영상을 얻을 수

있다.

NASA는 MODIS영상의 대기보정된 식생지수(vegetation indices) 제품(Product ID : MOD13)을 <http://edcimswww.cr/pub/imswel-come/index.html>를 통해 무료로 배포하고 있으며, 본 연구에서도 이 제품을 이용하였다.

NASA에서 제공하는 식생지수 제품으로부터 NDVI(normalized difference vegetation index)와 EVI(enhanced vegetation index)를 추출할 수 있다. 본 연구에서는 NDVI 자료를 추출한 후에 NASA에서 제공하는 MODIS reprojection tool을 이용하여 우리나라에서 사용 중인 Tokyo datum기준의 TM좌표계로 좌표변환을 하였다. 또한, 1byte 크기의 NDVI수치값(DN;digital number)을 헤더파일에서 제공하는 gain과 offset을 이용하여 8byte의 실수형의 NDVI 값으로 변환하였다.

MODIS NDVI자료의 크기는 1200km × 1200km이며 남한지역은 MODIS 좌표 구역 중 h27과 h28에 포함된다. 따라서 두 구역에 대해 AOI를 설정하여 남한지역을 추출하고, 모자이크 영상을 생성하였다. 이러한 처리는 ERDAS Imagine 소프트웨어를 활용하였다.

### 2.2 강우량의 공간분포 자료

본 연구에서는 낙동강 권역에 위치한 22개 기상관측소(울진, 안동, 포항, 대구, 울산, 마산, 부산, 통영, 진주, 태백, 춘양, 영주, 문경, 영덕, 의성, 구미, 영천, 거창, 함천, 밀양, 산청, 거제)에서 획득된 지점별 강우량을 이용하여 역거리 가중법(inverse distance method)에 의해 낙동강 권역의 강우량 공간분포 자료를 생성하였다. 강우량 공간분포자료는 3월부터 11월까지의 월별 자료를 2001년과 2002년에 대해 작성하였다. 그림 1에는 본 연구에서

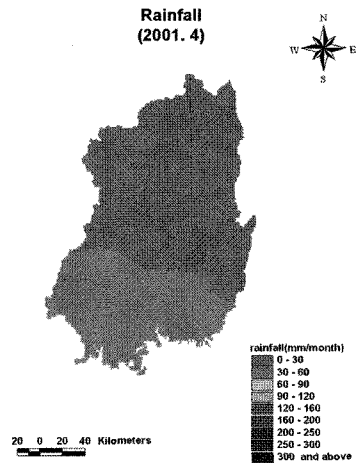


그림 1. 강우량 공간분포 자료의 예(2001년 4월 자료)

생성한 낙동간 권역의 강우량 공간분포 자료의 예가 나타나 있다.

### 3. 증발산량의 공간분포

#### 3.1 잠재증발산량 분포도 작성

잠재증발산량은 기후학적 물수지의 규명과 실제증발산량의 상한치를 규정하는데 사용된다.

본 연구에서는 기온만을 변수로 하여 간단히 잠재증발산량을 산정할 수 있는 Hamon 방법을 적용하여 우리나라 전역에 대한 잠재증발산량을 산정하였다

$$PE = 0.14D_0^2 p_t \quad (1)$$

여기서,  $PE$ 는 잠재증발산량(mm/d)이며  $D_0$ 는 가조시간(12시간=1),  $p_t$ 는 평균기온에 대한 포화절대습도( $g/m^3$ )이다. 잠재증발산량 분포도는 3월부터 11월까지의 월별 자료를 2001년과 2002년에 대해 작성하였다. 그림 2에는 본 연구에서 생성한 낙동간 권역의 증발산량 분포도의 예가 나타나 있다.

#### 3.2 기준 증발산량의 산정

NDVI로부터 실제증발산량을 산정하는 방법을 개발하기 위해서는 우선 분석에 사용할 실제증발산량이 필요하다. 기준이 되는 실제증발산량은 실관측에 의한 정확한 값이어야 하나 광역에 대해 실제증발산량을 직접 관측하는 것은 현재로서는 매우 어려운 일이므로, 본 연구에서는 보완관계식에 의해 실제증발산량을 추정하였다.

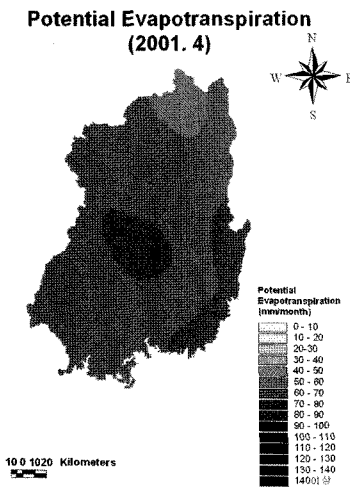


그림 2. 증발산량 공간분포 자료의 예(2001년 4월 자료)

전통적인 증발산추정모형이 잠재증발산이라는 중간과정을 거쳐 유역의 실제증발산량을 계산하는데 반하여 Morton(1978)은 기상자료로부터 직접적으로 실제증발산량을 계산하는 새로운 접근 방법을 적용하였다.

Morton 모형은 모형 매개변수 중 온도, 습도, 복사에 관한 매개변수를 포함하고 있어 기존의 증발산량 산정모형보다는 산정결과에 대한 신뢰도가 높은 모형이다.

Morton의 유역증발산량 모형은 유역의 실제증발산량과 지점의 잠재증발산량과의 합이 유역의 잠재증발산량의 2배와 같으며, 이는 상호보완적 관계로서 작용한다는 것을 가정으로 한다.

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

여기서,  $E_T$ 는 유역의 실제증발산량이고  $E_{TP}$ 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 실제증발산량은 다음과 같이 구해진다.

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

그러나 Morton에 의한 보완관계식은 산정과정에서 많은 요소를 경험식을 통하여 구해야 하며 산정 방법이 불필요하게 복잡하다는 점이 지적되어 왔다. 따라서, Brutsaert와 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 연총량에서는 정확도가 높으나 월단위에서는 겨울철의 증발산량을 과소평가한다는 연구결과를 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 Brutsaert와 Stricker식에 Morton에 의해 적용된 이류항을 고려하여 과소평가의 보정을 수행하였다.

$$E_{TW} = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) \quad (4)$$

$$E_{TP} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (5)$$

$$E_T \leq E_{TP} \tag{6}$$

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

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

여기서,  $R_n$ 은 순방사량( $J/m^2/d$ ),  $M$ 은 이류항( $J/m^2/d$ ),  $G$ 는 soil heat flux( $J/m^2/d$ ),  $\Delta$ 는 포화증기압공선의 경사( $hPa/^\circ C$ ),  $\gamma$ 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.

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

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

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

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

$$e_s = 6.11 \exp\left(\frac{17.27t}{237.3 + t}\right) \tag{12}$$

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

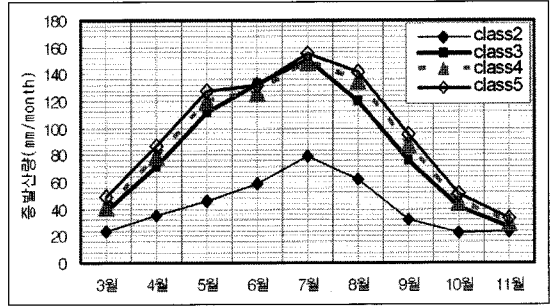
$$\lambda = (2501 - 2.37t) \times 10^3 \tag{14}$$

여기서,  $t$ 는 대기온도( $^\circ C$ ),  $P_r$ 은 대기압(hPa),  $\lambda$ 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.

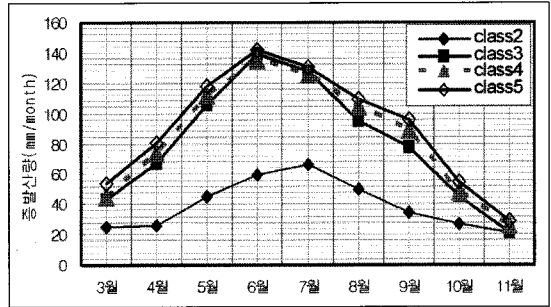
$$R_n = S_n - L_n = (1 - \alpha)I - 0.95\sigma(t + 273)^4(0.56 - 0.092\sqrt{e_a}) \times (0.1 + 0.9n/N) \tag{15}$$

여기서,  $S_n$ 은 단파방사수지( $J/m^2/d$ ),  $\alpha$ 는 albedo,  $\sigma$ 는 Stefan-Boltzmann의 상수( $4.89 \times 10^{-7} J/cm^2/K^4/d$ )이다. 이때 사용되는 albedo  $\alpha$ 와 soil heat flux 계수  $C_r$ 은 각 토지 이용별로 경험적으로 얻어진 Kotoda(1986)에 의한 값을 이용하였다.

위의 방법을 통하여 2001년과 2002년의 낙동강 권역에 대한 증발산량을 산정하였다. 그림 3은 2001과 2002년에 대한 월증발산량을 나타내고 있다.



(a) 2001



(b) 2002

그림 3. 보완관계식에 의한 실제 증발산량 추정

### 4. MODIS 영상에 의한 증발산량 산정

#### 4.1 월별 NDVI 산정

MODIS 식생지수(vegetation indices) 제품은 매년 1월 1일을 기준으로 하여 16일 간격으로 제공된다. 이를 이용하여 각 월별 NDVI를 산정하기 위해서는 각 달에 해당하는 NDVI 영상 중에서 동일 위치의 영상소의 최대값을 취함으로써 월별 NDVI를 결정하였다. 이는 구름 등의 기상상황 등에 의해 NDVI값이 실제보다 낮게 산정된 것을 배제시키기 위함이다.

본 연구의 대상기간은 2001년과 2002년이다. 겨울철의 경우에는 적설의 영향을 받아 의해 NDVI의 산정이 용이하지 않으므로 12월, 1월, 2월은 월별 NDVI 산정에서 제외하였다.

#### 4.2 식생등급 분류

NDVI를 기반으로 증발산량의 산정하기 위해서는 식생의 특성이 유사한 지역을 그룹화하여 적용을 하여야만 NDVI의 특성에 따른 증발산량이 산정된다.

본 연구에서는 식생 등급을 수체, 도시, 농경지, 낙엽수, 상록수 지역으로 식생 등급을 분류하고자 하였다. 각 월

별 NDVI 자료를 이용하면 월별 식생 상태는 파악할 수 있지만, 장기간에 걸친 식생 상태를 파악하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 2001년 3월부터 11월까지, 그리고 2002년 3월부터 11월까지의 총 18개의 월별 NDVI를 적분한 iNDVI(intergrated NDVI)를 작성하여 식생 등급 분류에 이용하였다. 그림 4에는 본 연구에서 제작한 iNDVI 자료가 나타나 있다.

iNDVI 자료를 이용하여 식생등급을 분류하는 데에는 감독분류 방법을 적용하였고, 감독분류를 위한 기준 자료는 한국 환경부에서 제작한 토지피복 분류자료를 이용하였다.

환경부의 토지피복 분류자료는 수역, 도시, 농경지 등을 분류하고 있지만, 낙엽수와 상록수 지역에 대한 분류는 포함하고 있지 않다. 따라서, 환경부 토지피복 분류자료를 기준으로 수역, 도시, 농경지, 산림 등 4개의 클래스를 분류하였다.

산림지역을 낙엽수 지역과 상록수 지역으로 분류하기 위해서 2001년과 2002년의 1월, 2월, 12월 등 총 6개의 월별 NDVI 자료의 최대값을 구한 동계 NDVI 자료를 제

작하였다. 동계 NDVI 자료에 대해 NDVI가 가장 높게 분포된 지역을 화면 상에서 판독하여 6개의 지역에 대해 AOI를 설정한 후 이를 기준으로 식생지역과 비식생 지역을 구분하였다. 이렇게 제작된 동계 식생지역을 상록수 지역으로 설정하고, 앞서 4개의 클래스로 분류한 영상에 중첩함으로써, 수역, 도시, 농경지, 낙엽수, 상록수 등 5개의 클래스로 분류된 식생등급 분류 자료를 제작하였다. 그림 5에는 본 연구에서 분류한 식생등급 자료가 나타나 있다.

본 연구에서 제작한 식생등급 분류 자료는 증발산량 산정을 위해 식생 밀도 및 활성도를 분류한 것이므로 일반적인 토지피복 분류 결과와는 일치하지 않을 수 있다.

### 4.3 NDVI와 온도에 의한 증발산량 산정

NDVI는 그 지점의 식생 상태를 나타내며, 증발산량은 식생상태의 영향을 받는다. 또한, 증발산량과 NDVI는 기상조건과 밀접한 관계를 가진다. 따라서, 증발산량과 NDVI와 기상조건은 밀접한 상관관계를 갖는 것으로 가정할 수 있다. 기상조건에는 다양한 요소들이 포함될 수 있으나 본 연구에서는 쉽게 구할 수 있는 기온만을 이용하고자 하였다. 따라서, 회귀분석을 통해 NDVI와 기온자료로부터 증발산량을 추정하기 위한 식을 본 연구의 대상 지역인 낙동강 유역을 대상으로 개발하였다.

식생의 변화와 증발산량의 변화에는 상관성이 존재하나, 식물이 성장하는 시기와 낙엽이 지는 저장단계에서는 식생의 변화 양상과 증발산량의 변화양상이 약간의 차이를 갖는다. 따라서, 전체기간을 대상으로 회귀분석을 실시하는 것보다 식생의 활성도 변화에 따른 기간 구분을 통해 회귀분석을 실시하는 것이 보다 정확도를 높이는 방법이다(신사철, 2004). 따라서 본 연구에서는 식물이 성장하는 단계인 3월부터 8월까지의 기간과 저장하는 단계인 9월부터 11월까지의 기간으로 구분하여 회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 표 1과 같다.

표 1을 살펴보면 회귀방정식의 결정계수( $R^2$ )가 상당히 높게 나타나 있어서 회귀방정식이 어느 정도 적합함을 할 수 있다. 그러나 도시의 전기간과 농경지의 3월부터 8월까지의 기간에서는 다른 결과에 비해 적합도가 상대적으로 낮게 나타나 있다. 이것은 도심지의 경우 식생의 특성에 일관성이 없기 때문일 것으로 추측된다.

농경지의 경우도 봄에 작물을 심는 시기가 제각각 다르고, 식물들의 성장속도가 다르므로 성장단계에서 식생의 특성에 일관성이 없었을 것으로 판단된다. 반면 성장에 완료된 이후 수확기에서는 비교적 일관적인 식생 특성을 보였을 것이므로  $R^2$ 가 비교적 높게 나타났다.

낙엽수와 상록수의 경우 전반적으로  $R^2$ 가 높게 나와 회

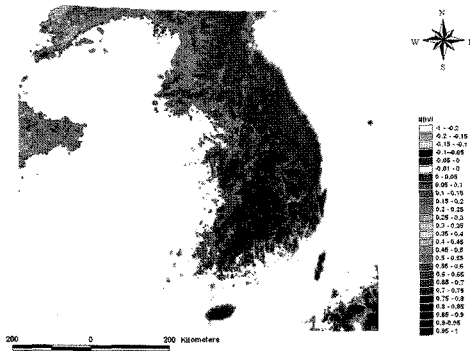


그림 4. iNDVI 자료(2001~2002)

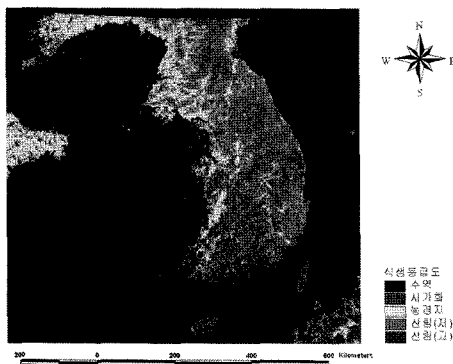


그림 5. 식생 등급(2001~2002)

표 1. 회귀분석

식생	기간(월)	회귀식	R <sup>2</sup>
클래스2 (도시)	3-8	$E=4.658+51.196NDVI$ $+2.028Temp$	0.863
	9-11	$E=12.007+24.671NDVI$ $+0.587Temp$	0.718
클래스3 (농경지)	3-8	$E=12.702-129.435NDVI$ $+8.647Temp$	0.846
	9-11	$E=-10.413+37.916NDVI$ $+2.942Temp$	0.924
클래스4 (낙엽수)	3-8	$E=-28.797+149.244NDVI$ $+1.443Temp$	0.903
	9-11	$E=-67.947+144.869NDVI$ $+1.799Temp$	0.907
클래스5 (상록수)	3-8	$E=-63.328+179.730NDVI$ $+1.854Temp$	0.894
	9-11	$E=-94.466+148.767NDVI$ $+2.979Temp$	0.922

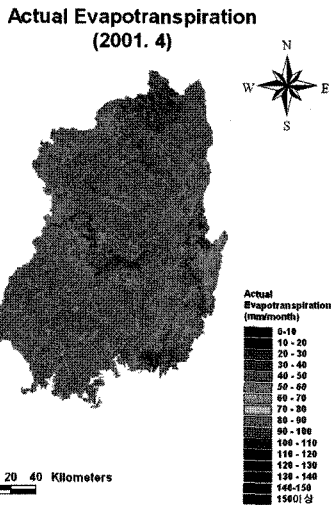


그림 6. 낙동강 유역의 월별 증발산량 분포도의 예(2001년 4월 자료)

귀식이 적합함을 알 수 있다.

표 1의 회귀식을 이용하여 2001년도와 2002년도의 3월부터 11월까지의 낙동강 권역에 대한 월별 증발산량 분포도를 작성하였으며, 그림 6에는 본 연구에서 작성한 월별 증발산량 분포도의 예가 나타나 있다.

## 5. 기후학적 물수지의 평가

### 5.1 기후학적 물수지 모형과 가뭄분포도

기후학적 물수지는 기후구분을 위하여 Thornthwaite (1948)에 의해 개발된 이래, 다양한 수문기상학적 문제의 정량적 정보를 획득하기 위한 하나의 방법으로 응용되어 왔다(Legates and Mather, 1992; Tateishi and Ahn, 1996). 물의 공급(강수)과 기후학적 물수요(증발산량)와의 비교에 의해 복잡한 지형 조건하에서의 물 보유량 등의 정보가 파악된다. 여기서 부족수분량(water deficit: D)은 기후학적 수요량과 실제 공급량과의 차로 정의되며 식생의 성장을 유지하기 위하여 관개 등에 의해 공급되어야 할 양이다.

각 화소에서의 부족수분량(D)은 임의 월의 증발산량이 강우량을 초과할 경우 발생한다. 또한 임의 월의 토양수분이 토양수분 보유능보다 작을 경우 과잉수분은 존재하지 않으며, 수요량과의 차이만큼 부족 수분량이 발생한다. 반면에 강우량이 증발산량을 초과할 경우 증발산량과 강우량의 차에 상당하는 과잉수분량이 존재하게 되며, 기후학적인 물부족은 발생되지 않는다.

월단위의 기후학적 물수지를 산정하기 위해서는 각 월의 토양수분을 추정하여야 한다. Donker(1987)는 월 잠재증발산량, 강우량 및 토양수분보유능(Soil Water Holding Capacity ; WC)을 이용하여 토양수분을 산정하는 방법을 개발하였다. 임의의 월 i 에서 토양수분은 누가 잠재 수분 손실(Accumulated Potential Water Loss : AWL)과 토양수분 보유능(WC)으로부터 계산된다.

임의 월의 강우량이 증발산량보다 작을 경우 토양수분의 손실이 발생되며 그 월까지의 누적 손실량은 AWL로서 계산된다. 반면에 강우량이 증발산량을 초과하는 경우 토양수분의 손실은 발생하지 않으며, 그 차이만큼의 수분이 더해지게 된다.

이 방법을 적용하기 위한 시작 월은 충분히 토양의 수분 조건이 포화된 것으로 판단할 수 있는 월을 선정하게 되며 토양수분 보유능 WC는 200mm를 가정하였다. 이러한 기후학적 물수지를 위한 개략적인 흐름도를 그림 7에 나타내었다. 기후학적 물수지를 산정하기 위한 입력 자료로는 강우분포, 실제증발산량 분포 및 잠재증발산량 분포가 필요하며, 임의 지점에서의 강우량과 증발산량의 대소관계에 의해 토양수분 및 부족수분량을 결정하게 된다.

기후학적 물수지 모형에 의해 2001년도와 2002년도의 3월부터 11월까지의 낙동강 권역에 대한 월별 부족수분량 분포도를 작성하였으며, 그림 8에는 본 연구에서 작성한 월별 부족수분량 분포도의 예가 나타나 있다.

5.2 가뭄해소를 위한 필요강우량 산정

이미 가뭄이 발생하였을 때 가뭄에 대한 대비책을 강구하기 위하여 가뭄 해소를 위한 필요강우량을 산정할 필요가 있다. 본 연구에서는 인공위성 자료의 특성상 1개월 간격으로 분석이 실시되므로 발생한 가뭄이 해소되기 위해 필요한 강우량은 1개월 동안에 필요한 강우량으로서 다음 월의 토양수분이 포화상태(Wc=200mm)에 이르게 될 수 있는 필요강우량을 산정하였다.

그림 9는 2001년 4월을 기점으로 가뭄이 해소되기 위하여 1개월간 필요로 하는 강우량의 분포도를 나타낸 것이다.

그림 9에 나타난 바와 같이 2001년 4월의 낙동강 권역은 전반적으로 필요강우량이 높으므로 가뭄상태로 판정할 수 있으며, 이를 해소하기 위해서는 5월 중에 필요강우량 만큼의 강우가 발생하여야 한다. 그림에도 불구하고 표 2에 나타난 바와 같이 실제로 있어서는 2001년 5월 한 달 동안 발생한 강우는 평년강우에도 훨씬 못 미치는

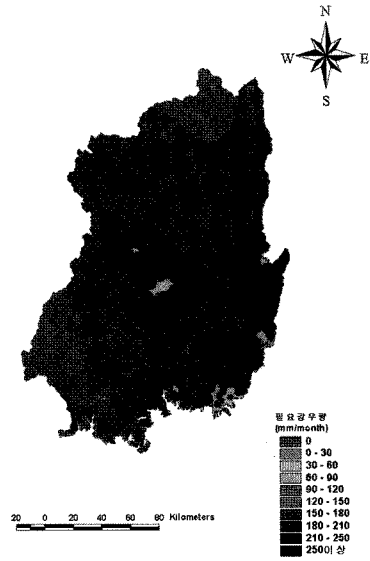


그림 9. 필요강우량 분포도(2001년 4월)

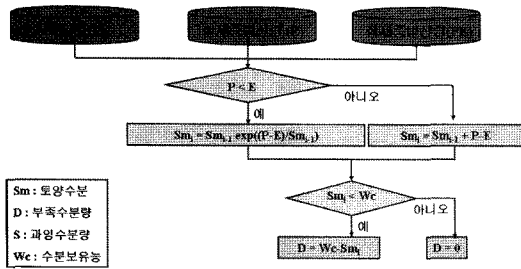


그림 7. 기후학적 물수지의 흐름도

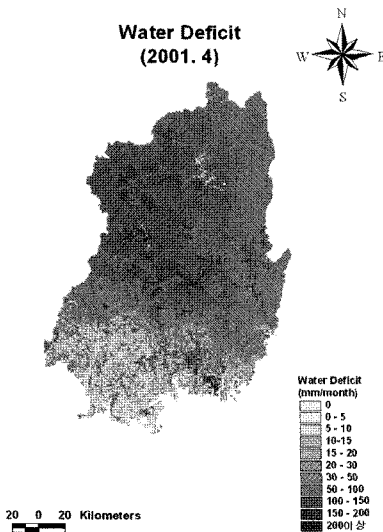


그림 8. 부족수분량 분포도의 예(2001년 4월 자료)

표 2. 2001년도 낙동강 유역 강우량 분포

월	행정 구역	최소 강우량 (mm)	최대 강우량 (mm)	평균 강우량 (mm)	표준 편차 (mm)
3월	부산	6.1	8.1	6.9	0.5
	대구	5.4	9.4	6.5	0.9
	울산	7.2	9.4	8.6	0.6
	경남	5.7	25.9	12.2	4.4
	경북	2.5	24.3	9.3	4.1
4월	부산	32.9	43.6	40.3	2.6
	대구	19.5	35.3	23.9	4.3
	울산	26.2	33.7	29.4	1.6
	경남	28.9	53.1	41.9	5.2
	경북	8.6	38.2	17.9	5.2
5월	부산	55.6	58.4	57.3	0.5
	대구	51.3	61.1	56.6	2.0
	울산	52.7	56.3	55.5	0.7
	경남	41.9	81.5	56.3	6.6
	경북	12.1	85.3	35.4	15.8
6월	부산	258.8	313.9	285.2	8.9
	대구	273.7	323.1	290.9	11.9
	울산	203.5	312.6	239.9	24.9
	경남	259.0	454.3	341.1	25.4
	경북	157.4	373.5	247.4	35.1

강우가 발생하였으므로 5월의 가뭄이 더욱 심화되었음을 알 수 있었다.

이와 같은 방법으로 가뭄 발생시 해당 가뭄이 해소되기 위한 필요강우량을 역산하여 추정함으로써 수자원 시설물의 효율적 관리 방안 및 미래에 대한 대비책을 강구하는데 활용할 수 있을 것이다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 낙동강 권역에 대한 가뭄 상황을 감시하고 그 상황을 해소하기 위한 필요강우량을 산정하는 데 있어서 위성영상을 활용하여 분석을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 인공위성에 의해 획득되는 식생정보를 이용하여 간접적으로 가뭄을 평가하는 기법을 이용함으로써, 지표면의 특성을 공간적으로 반영하는 광역의 가뭄평가 방법을 제시할 수 있었다.

둘째, NDVI가 지표면의 건습을 평가하는 기본 자료로 활용될 수 있다는 것을 입증함으로써, 위성영상자료를 이용한 가뭄의 감시가 효과적임을 알 수 있었다.

셋째, 본 연구에서 사용한 MODIS 자료는 현재 시계열 자료의 취급이 가능하면서 양호한 공간해상도를 제공하므로 가뭄 분석에 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있었고, 향후에도 위성영상을 이용한 가뭄 분석을 위해서는 NDVI 시계열 자료를 제공할 수 있는 위성영상이 계속적으로 운용될 필요가 있음을 알 수 있었다.

## 감사의 글

이 논문은 2005학년도 안동대학교 학술연구 조성비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

## 참고문헌

1. 신사철, 안태용, 2004, "NDVI와 기온자료를 이용한 광역증발산량의 추정", *한국지리정보학회지*, 7권 3호, pp. 79-89.
2. Ben-Asher, J., 1981, "Estimating evapotranspiration from the Sonoita Creek watershed near Patagonia, Arizona", *Water Resour. Res.*, Vol. 17, No. 4, pp. 901-906.
3. Brutsaert, W. and H. Stricker, 1979, "An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration", *Water Resour. Res.*, Vol. 15, pp. 433-450.
4. Donker, N. H. W., 1987, "WTRBLN : A Computer Program to Calculate Water Balance", *Computer & Geoscience*, Vol. 13, pp. 95-122.
5. Kotoda, K., 1986, "Estimating of river basin evapotranspiration", *Environmental Research Center Papers*, Univ. Tsukuba, Vol. 8, pp. 1-92.
6. Legates, D. R. and J. R. Mather, 1992, "An Evaluating of the Average Annual Global Water Balance", *Geographical Review*, Vol. 82, pp. 253-267.
7. Morton, F. I., 1978, "Estimating evapotranspiration from potential evaporation practicality of an iconoclastic approach", *J. Hydro*, Vol. 38, pp. 1-32.
8. 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. 247-267.
9. Tateishi, R. and C. H. Ahn, 1996, "Mapping Evapotranspiration and Water Balance for Global Land Surfaces", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 51, pp. 209-215.
10. Thornthwaite, C. W., 1948, "Approach Toward a Rational Classification of Climate", *Geographical Review*, Vol. 38, pp. 55-94. (Legates and Mather(1992)에서 인용)