

# NOAA/AVHRR 위성영상을 이용한 기후학적 물수지 분석

## Climatic Water Balance Analysis Using NOAA/AVHRR Satellite Images

권 형 중\* · 신 사 철\*\* · 김 성 준\*\*\*

Kwon, Hyung Joong · Shin, Sha Chul · Kim, Seong Joon

### Abstract

The purpose of this study was to analyze the climatic water balance of the Korean peninsula using meteorological data and the evapotranspiration (ET) derived from NOAA/AVHRR. Quantifying water balance components is important to understand the basic hydrology. In this study, a simple method to estimate actual ET was proposed based on a regression approach between NDVI and Morton's actual ET using NOAA/AVHRR data. The Morton's actual ET for land surface conditions was evaluated using a daily meteorological data from 77 weather stations, and the monthly averaged Morton's ETs for each land cover was compared with the monthly NDVIs during the year 2001. According to the climatic water balance analysis, water deficit and surplus distributed maps were created from spatial rainfall, soil moisture, and actual and potential ETs map. The results clearly showed that the temporal and spatial characteristics of dryness and wetness may be detected and mapped based on the wetness index.

*Keywords : Climatic water balance, Evapotranspiration, NDVI, NOAA/AVHRR*

### I. 서 론

기후학적인 물수지 분석을 위해서는 다양한 수문량을 정량화 할 필요가 있다. 그 중에서 증발산량은 여러 종류의 수문량중 특정지역의 물수지 및 물순환 체계를 규명하기 위한 중요한 지표이며, 토양

면으로부터의 증발 및 식물체로부터의 증산을 통해서 지구 표면으로부터 대기 중으로의 수증기의 이동을 말한다. 증발산량의 정량화를 위하여 인공위성영상으로부터 획득할 수 있는 지표 및 대기 정보로부터 증발산량을 계산하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

Gurney와 Hall (1983)은 원격탐사 자료로부터 계산된 지표면 알베도 및 온도와 기상자료를 이용하여 열수지 성분을 보정하여 일별 증발산량을 계산한 바 있으며, Jackson 등(1985)은 원격탐사 자료를 이용하여 지표의 조건에 따라 변화하는 방사량 및 지표면 온도 등과 같은 열수지 요소를 계산

\* 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과  
\*\* 안동대학교 토목공학과  
\*\*\* 건국대학교 사회환경시스템공학과  
\*\*\* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3749  
Fax: +82-2-444-0186  
E-mail address: kimsj@konkuk.ac.kr

하고, 태양복사에너지, 대기온도, 풍속 및 수증기압 등과 같은 기상자료를 결합하여 증발산량을 추정하는 기법을 제안한 바 있다.

NOAA 위성은 미국 해양대기청 (National Oceanic and Atmospheric Administration)에 의해 운영되고 있는 제 3세대 기상관측위성이다. 이 위성의 이용목적은 정상적인 기상업무이며, 동일지점을 하루에 최소 2회 관측이 가능하므로 시계열적인 자료의 확보가 가능한 위성이다.

기후학적 물수지는 기후구분을 위하여 Thornthwaite (1948)에 의해 개발된 이래, 다양한 수문기상학적 문제의 정량적인 정보를 획득하기 위한 하나의 방법으로 응용되어 왔다. 본 연구는 NOAA/AVHRR 위성영상으로부터 산정된 실제증발산량과 강우량, 잠재증발산량을 이용하여 기후학적 물수지 분석을 수행하였으며, 이를 이용하여 가뭄과악을 위한 습윤지표 분포도를 작성하여 2001년도에 대한 월별 가뭄분포도를 작성하고자 한다.

**II. 식생정보 추출 및 피복분류**

식생의 활력도를 평가하는 가장 보편적인 지표로서 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)를 이용하였다. NDVI는 식물의 잎이 가시영역대와 근적외 영역대에서의 반사율의 차이로서 식물의 활력도를 나타내며, NOAA/AVHRR 위성영상을 이용하면 다음과 같은 식으로 정의될 수 있다.

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

여기서, Ch.1과 Ch.2는 각각 NOAA/AVHRR 영상의 Channel 1(가시)과 2(근적외)의 반사율을 의미한다. 구름의 영향을 받는 지역은 정확한 지표면의 정보를 획득할 수 없으며, 이러한 지역의 NDVI 값은 과소 산정되는 경향이 있다. 따라서, 어느 기간중의 NDVI의 총량을 정량적으로 표현을 하기 위하여 iNDVI (integrated NDVI)가 이용되고 있다.

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

여기서, NDVI<sub>j</sub>는 j번째의 NDVI이며 d<sub>j</sub>는 NDVI<sub>j</sub>에 대응하는 관측일수이다. 본 연구에서 사용된 위성자료는 2001년 4월부터 11월까지로 적설의 영향으로 지표면의 식생정보 획득이 불가능한 겨울철의 영상은 제외하였다. 또한, 구름에 영향으로 지표면의 식생정보 획득이 어려운 영상을 제외하여 1개월당 약 5-15개의 맑은 날의 영상자료를 선정하여 2001년도의 식생정보를 대표하는 iNDVI를 작성하였다 (Fig. 1). 또한, iNDVI의 히스토그램으로부터 피복 조건별로 고유의 특징적인 식생분포를 형성한다는 점을 이용하여, 히스토그램 분류방법으로서 한반도의 개략적인 피복분류를 수행하였다 (Fig. 2). 이것은 NDVI의 계절적인 변화로부터 공통의 식생환경을 하나의 피복 항목으로 분류하는 것으로, 각 항목별 증발산량을 산정하기 위하여 수행된다.

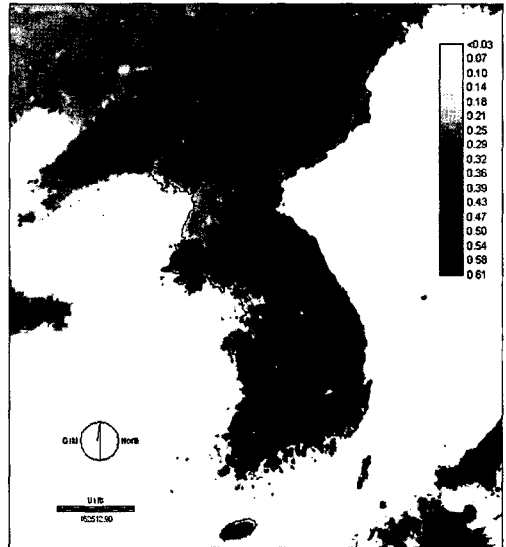


Fig. 1 iNDVI (2001)

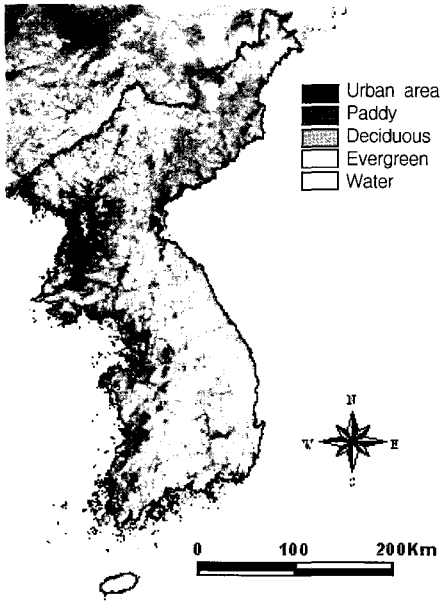


Fig. 2 Land cover map

### III. NDVI에 의한 광역증발산량 추정

기상관측 자료로부터 실제증발산량을 산정하는 기후학적 추정방법으로 제안된 보완관계식으로서 실제증발산량을 추정하였다. 이 방법은 Penman의 잠재증발산량에 대하여 보완적으로 변화한다는 사실을 이용한 방법으로서, Morton (1978)은 실제증발산량과 Penman 잠재증발산량은 서로 보완관계에 있으며 양자의 합은 Priestly-Taylor 잠재증발산량의 2배에 상당한다는 관계식을 제안하였다.

$$Ea = 2Ep - Epp \dots \dots \dots (3)$$

여기서, Ea는 실제증발산량 (mm/day), Ep는 Priestly-Taylor의 잠재증발산량 (mm/day), Epp는 Penman의 잠재증발산량 (mm/day)이다.

어느 지점의 NDVI는 그 지점의 식생상태를 잘 표현하는 지표이고, NDVI와 증발산량과는 기후조건과 밀접한 관계가 있다는 점에 착안하여, NOAA/AVHRR 위성영상을 이용하여 광역 증발산량을 추

Table 1 Regression equations of each land cover class

Land cover class	Regression equation	R <sup>2</sup>
Urban area	$E_{au} = 441.86 \cdot NDVI + 4.82$	0.46
Paddy	$E_{ap} = 294.39 \cdot NDVI + 24.2$	0.41
Deciduous	$E_{ad} = 413.42 \cdot NDVI - 13.2$	0.65
Evergreen	$E_{ae} = 381.69 \cdot NDVI - 39.8$	0.62
Water	$E_{aw} = 229.8 \cdot NDVI + 19.6$	0.54

정하였다. 신 등(1996)에 의하면 한반도와 같이 산림이 많은 지역에서는 NDVI와 증발산량과의 높은 상관관계가 있음이 확인된 바 있다. 남한 전체를 대상으로 5개의 대권역으로부터 토지피복 항목별 실제증발산량과 NDVI의 히스토그램을 비교하여 선형회귀식을 추출하였다 (Table 1). R<sup>2</sup>는 0.41에서 0.65의 범위를 나타내어 높은 신뢰성은 얻지 못하였지만 본 연구에서는 위성영상을 이용한 실제증발산량의 산정 방법론을 제시하는데 그 의미를 두고자 하며, 시계열 영상의 확보를 통하여 높은 신뢰도를 획득할 수 있을 것이다. 추출된 선형회귀식을 이용하여 NOAA/AVHRR 위성영상으로부터 실제증발산량을 계산하였다 (Fig. 3).

### IV. 기후학적 물수지 분석

기후학적 물수지는 다양한 수문기상학적 문제의 정량적 정보를 획득하기 위하여 다양하게 응용되어 왔다. 물의 공급인 강수량과 기후학적 물 수요인 증발산량과의 비교에 의해 복잡한 지형 조건하에서의 물 보유량 등의 정보가 파악된다. 부족수분량 (water deficit)은 기후학적 수요량과 실제 공급량과의 차로 정의되며, 과잉수분량(water surplus)은 식물에 의한 수요량 이상의 수분량으로 정의된다. 부족수분량은 식생의 성장을 유지하기 위하여 관계 등에 의해서 공급되어야 할 양이며, 과잉수분량은 지하에 침투하는 양과 하천수에 의해 손실되는 수분으로 표면류와 지표하유출에 의한 유출량을 포함

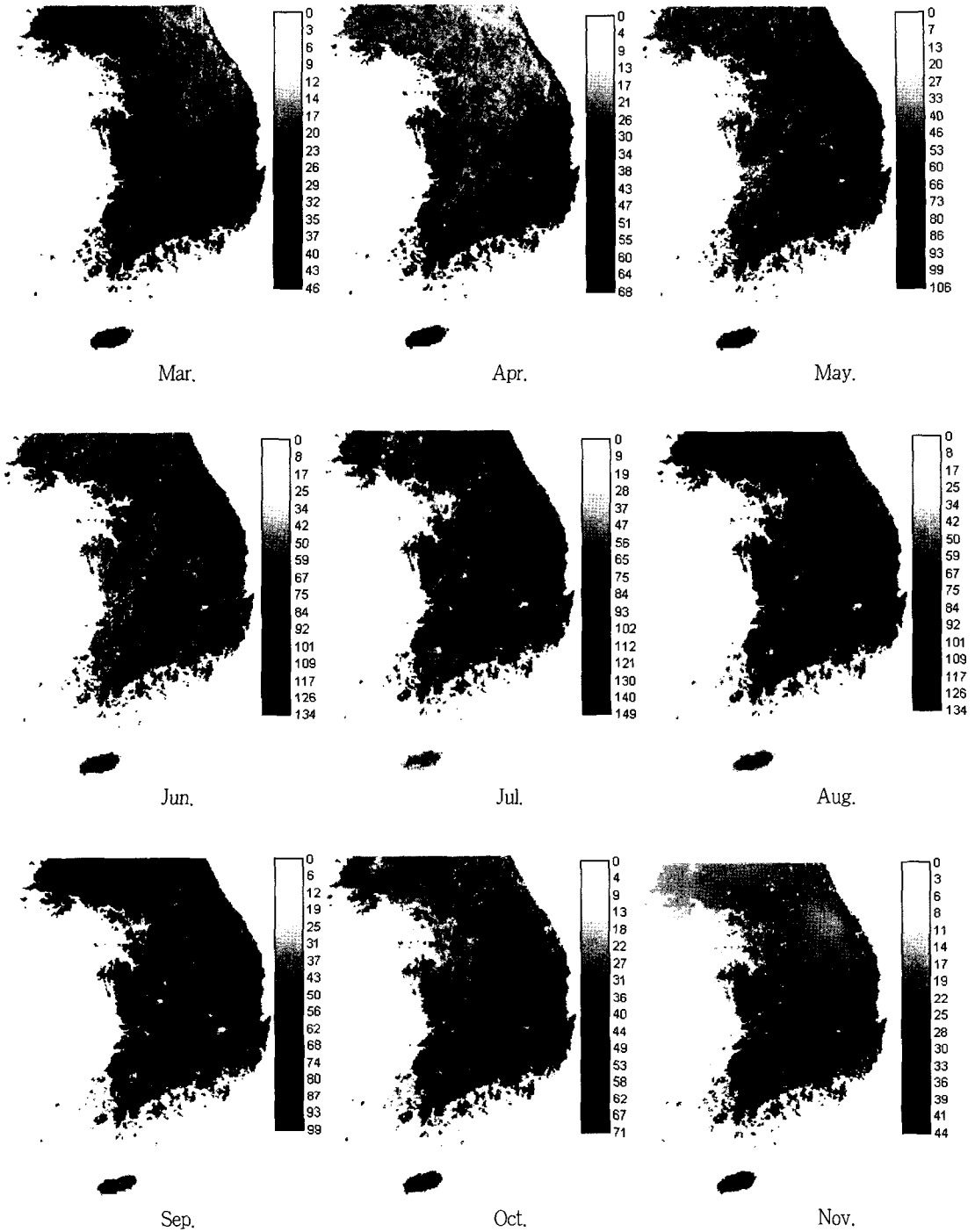


Fig. 3 Monthly Actual ET. (2001) (unit: mm/month)

하고 있다. 각 격자에 있어서 과잉수분량과 부족수분량은 식 (4)와 같이 표현된다. 임의 월의 증발산량이 강우량을 초과할 경우 과잉수분량은 존재하지 않으며, 수분의 부족을 초래한다. 이와 마찬가지로 임의 월의 토양수분이 토양수분 보유능보다 작을 경우 과잉수분량은 존재하지 않으며, 그 차이만큼의 부족 수분량이 발생한다. 강우량이 증발산량을 초과할 경우 증발산량과 강우량의 차에 의한 과잉수분량이 발생하게 되며, 기후학적인 물부족은 발생하지 않는다. 또한 임의 월 토양수분이 보유능보다 크거나 같을 경우 그 잉여수분은 과잉수분량으로 나타나고 부족수분량은 발생하지 않는다.

$$\begin{aligned}
 P < E_a \quad & AWL = P - E_p \\
 & Sm_i = Sm_{i-1} \times \exp(AWL / Sm_{i-1}) \\
 & D = (E_a + Wc - Sm_i) - P \\
 \\
 P > E_a \quad & AWL = 0 \\
 & Sm_i = Sm_{i-1} + (P - E_p) \\
 & S = P - (E_a + Wc - Sm_i)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

여기서,  $S_i$ 는 과잉수분량 (mm/month),  $D$ 는 부족수분량 (mm/month),  $P$ 는 강우량 (mm),  $E_a$ 는 실제증발산량 (mm/month),  $E_p$ 는 잠재증발산량 (mm/month),  $Sm_i$ 는 임의 월의 토양수분량 (mm/month),  $Sm_{i-1}$ 은 이전 월의 토양수분량 (mm/month),  $AWL$ 은 토양수분보유능이다.

기후학적 물수지를 적용하기 위해서는 적용 시점의 월 토양수분은 충분히 포화된 것으로 가정하였으며, 토양수분보유능은 200 mm로 가정하였다. 연구대상 기간인 2001년 2월부터 점차적으로 누적하여 2001년 11월까지의 토양수분량 및 과잉수분량, 부족수분량을 추정하였다.

Shahin (1985)은 미국의 빅토리아호 유역의 수문기상학적 가뭄과약을 위하여 과잉수분량 및 부족수분량에 의한 습윤지표를 이용하였다.

$$Im_i = \frac{100(S_i - 0.6D_i)}{PE_i} \tag{5}$$

여기서,  $Im_i$ 는  $i$ 월의 습윤지표이며,  $S_i$ 는  $i$ 월의 과잉수분량,  $D_i$ 는  $i$ 월의 부족수분량,  $PE_i$ 는  $i$ 월의 잠재증발산량이다. 식 (5)에 의하여 습윤지표는 부족수분량이 발생하게 되면 음(-)의 값을 나타내게 되며 그에 따른 기후상태는 건조상태를 표시하게 되며 가뭄과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단할 수 있다 (Fig. 4).

습윤지수분포도로서 가뭄에 대한 정확한 지표 및 기준을 설정하기는 어렵지만 Shahin에 의하면 습윤지표가 -40 이하인 경우 건조지역으로 분류하고 있으며, 이를 수문기상학적 가뭄이라고 판단할 수 있다. 2001년 3월부터 11월까지의 습윤지수분포도에 도별 행정구역을 중첩하여 살펴보면, 3월부터 5월까지의 전국적으로 습윤지표가 -40 이하를 나타내고 있으며 6월부터 가뭄이 해소되는 것을 볼 수 있다. 강원도 및 전라도 일부 지역을 제외하고 5월까지 가뭄이 심화되고 있는데 특히, 경기도의 경우 3월부터 약 -150에서 -200의 습윤지수로서 지속적인 가뭄이 진행되면서 5월에는 약 -400에서 -500으로 큰 폭으로 저하하여 가뭄이 심화된 것으로 나타나고 있다. 2001년 봄 가뭄에 크게 영향을 받지 않은 지역은 경상남도와 전라도 일부 지역이며 또한 전국의 광역시 지역은 가뭄에 영향을 받지 않는 것으로 나타나고 있다. 한국수자원공사(2001)의 2001 전국 가뭄조사 보고서에 의하면 2001년 가뭄의 경우는 중부지방의 경우 생활용수가 부족하여 제한급수를 시행했던 것으로 조사되었으며, 전국적으로 가뭄피해 지역을 조사한 결과 가뭄피해 지역은 경기, 강원, 충청, 경북 지역에 극심한 가뭄이 발생하였고, 그 이외의 지역에서 약한 가뭄이 발생한 것으로 조사되었다. 특히, 경기도 지역의 경우 실제 가뭄상황과 위성영상에서 추출한 가뭄분포도 현황이 일치하여 수문 기상학적 가뭄평가에 위성영상의 활용성을 검증하는 것으로 판단된다.

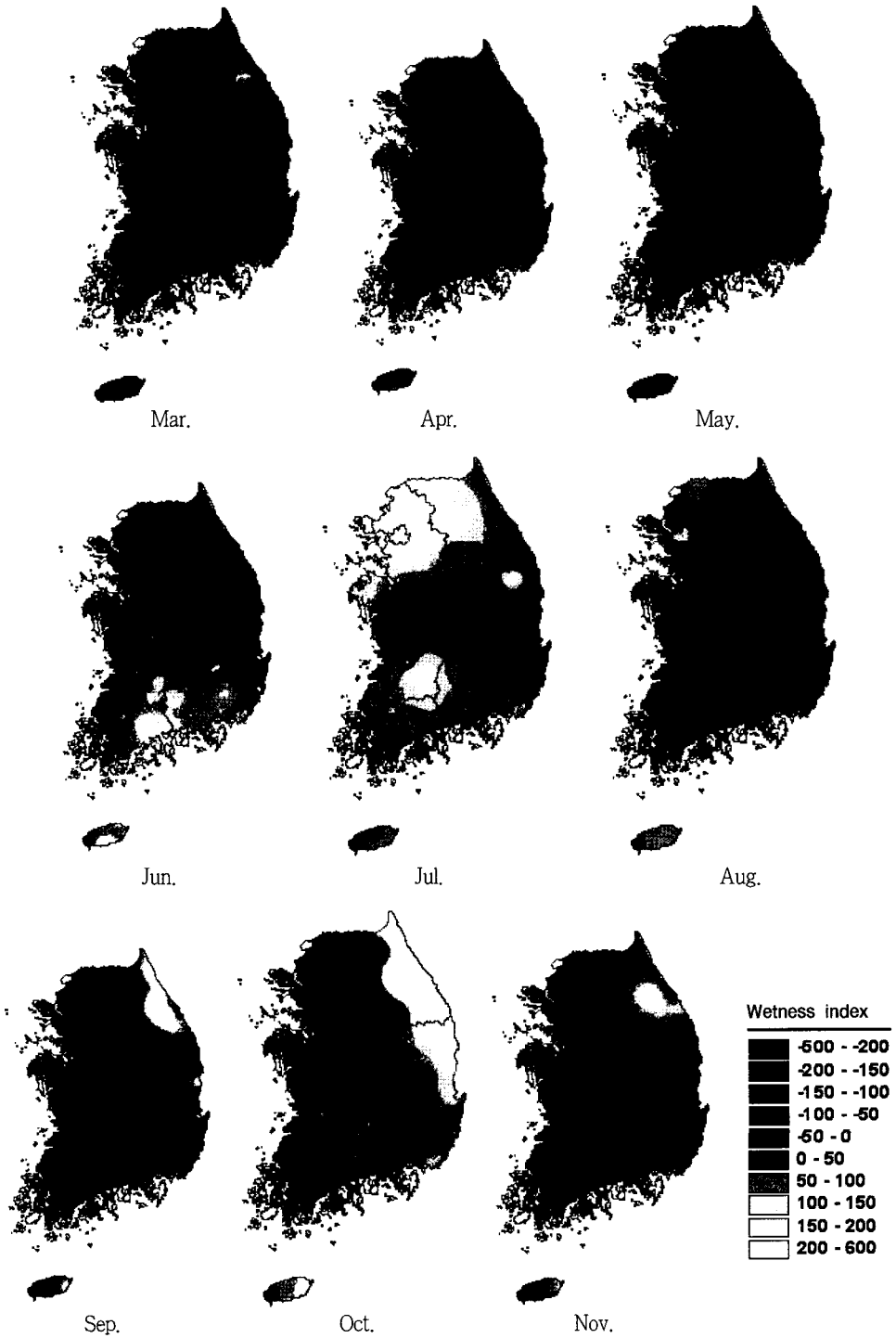


Fig. 4 Monthly wetness index (2001)

## V. 요약 및 결론

5대강 유역에서 NOAA/AVHRR 위성자료로부터 추출한 식생정보와 기상자료로부터 산정한 증발산량의 높은 상관성을 이용하여 NOAA/AVHRR 위성자료로부터 직접 월별 실제증발산량을 추정하고, 기후학적 물수지 분석을 통하여 습윤지수분포도를 작성하였다. 본 연구의 내용을 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 2001년 일자료 NOAA/AVHRR 위성영상으로부터 일단위 식생정보를 추출하였으며, 이를 이용하여 2001년도의 iNDVI를 작성하였다. iNDVI를 이용하여 히스토그램 분류법으로서 5개의 분류항목을 가지는 2001년도의 개략토지피복도를 작성하였다.

2. 식생정보와 증발산량 사이의 높은 상관관계에 근거하여, 기상청의 기상관측소 자료를 이용하여 유역별(한강, 금강, 낙동강, 영산강, 섬진강 유역)로 산정한 Morton의 실제증발산량과 NOAA/AVHRR 위성영상으로부터 추출한 식생정보와의 상관분석을 통하여 토지피복별 선형1차식을 추출하고, 이를 이용하여 월실제증발산량 분포도를 작성하였다.

3. 기후학적 물수지 분석을 통하여 2001년도의 월별 과잉수분량 및 부족수분량 분포도를 작성하였으며, 가뭄과약을 위한 습윤지수분포도를 작성하였다. 그 결과, 2001년도 5월에는 수문기상학적으로 가장 수분이 부족한 것으로 분석되었으며, 특히 경상남도 및 전라남도, 서울, 강원도 일부를 제외하고 대부분이 건조지역으로 분류되었으며, 이는 수문기상학적 가뭄현상이 나타난 것으로 판단할 수 있다.

4. 식생정보와 실제증발산량과의 관계식을 이용함으로써 기상자료 및 수문정보를 획득할 수 없는 지역에 있어서도 NOAA/AVHRR 위성영상을 이용

하여 실제증발산량의 정량화가 가능하며, 기후학적 물수지 분석을 통하여 수문기상학적인 광역가뭄현황 파악이 가능할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구에 사용된 NOAA/AVHRR 인공위성 자료 및 기상자료는 기상청으로부터 제공받았음.

## References

1. 한국수자원공사, 2001, 2001 전국 가뭄조사 보고서.
2. Gurney, R. J., and Hall, D. K., 1983, Satellite-derived surface energy balance estimates in the Alaskan sub-arctic, *J. Climate Meteorol.*, 22, pp.115-125.
3. Morton, F. I., 1978, Estimating evapotranspiration from potential evaporation— practicality of an iconoclastic approach, *J. of Hydrol.*, 38, pp.1-32.
4. Jackson, R. D., Hatfield, J. L., Reginato, K. J., Idso, S. B. and Pinter, J. R., 1983, Estimates of daily evapotranspiration from one time of day measurements, *Agri. Water Mang.*, 7, pp.351-362
5. Thornthwaite, C. W., 1948, Approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, Vol. 38, pp.55-94.
6. Shahin, M., 1985, Hydrology of Nile Basin, Elsevier.
7. Shin, S. C., 1996, Estimation method of Evapotranspiration through vegetation monitoring over wide area, *Korean Journal of Geomatics*, 14(1), pp.81-88. (in Korean)