

NOAA/AVHRR 위성영상을 이용한 기후학적 물수지 분석

Meteorological Water Balance Analysis using NOAA/AVHRR Satellite Images

권형중*, 신사철**, 김성준***

Hyung Joong Kwon, Sha Chul Shin, Seong Joon Kim

요지

본 논문의 목적은 NOAA/AVHRR 위성영상으로부터 추출한 식생정보를 이용하여 실제증발산량을 산정하고, 이와 함께 강우 분포도 및 잠재증발산량을 이용하여 광역적인 물수지 분석을 수행하는 것이다. NOAA/AVHRR 위성영상으로부터 실제증발산량 산정을 위하여 식생정보와 Morton의 실제증발산량과의 회귀분석을 통한 선형 회귀식을 도출하였으며, Hamon 방법에 의하여 잠재증발산량을 산정하였다. 기후학적 물수지 분석을 통하여 광역적 과잉수분량 및 부족수분량 분포도를 작성하였으며, 이를 이용하여 가뭄과약을 위한 지표인 습윤지표 분포도를 작성하였다.

핵심용어: NOAA/AVHRR, 식생정보, 기후학적 물수지

1. 서론

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, 토양면으로부터의 증발 및 식물체로부터의 증산을 통해서 지구 표면으로부터 대기 중으로의 수증기의 이동을 말한다 (김, 1992). 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 계산하고, 태양복사에너지, 대기온도, 풍속 및 수증기압 등과 같은 기상자료를 결합하여 증발산량을 추정하는 기법을 제안한 바 있다.

기후학적 물수지는 기후구분을 위하여 Thornthwaite(1984)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 가뭄과약을 위한 습윤지표 분포도를 작성하고자 한다.

2. 식생정보 추출 및 피복분류

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

1) 정회원 · 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과 박사과정 · E-mail: kwonhj@konkuk.ac.kr

** 정회원 · 안동대학교 토목공학과 조교수 · E-mail: scshin@andong.ac.kr

*** 정회원 · 건국대학교 지역건설환경공학과 부교수 · E-mail: kimsi@konkuk.ac.kr

수 있다.

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

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.

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

여기서, $NDVI_j$ 는 j번째의 NDVI이며 d_j 는 $NDVI_j$ 에 대응하는 관측일수 이다. 본 연구에서 사용된 위성자료는 2001년 4월부터 11월까지로 적설의 영향으로 지표면의 정보획득이 불가능한 겨울철의 영상은 제외하였다. 1개월당 5-15개의 맑은 날의 영상자료를 선정하여 2001년도의 식생정보를 대표하는 iNDVI를 작성하였다 (그림 1). 또한, iNDVI의 히스토그램으로부터 피복 조건별로 고유의 특징적인 식생분포를 형성한다는 점을 이용하여, 히스토그램 분류방법으로서 한반도의 개략적인 피복분류를 수행하였다 (그림 2). 이것은 NDVI의 계절적인 변화화로부터 공통의 식생환경을 하나의 피복 항목으로 분류하는 것으로, 각 항목별 증발산량을 산정하기 위하여 수행된다.

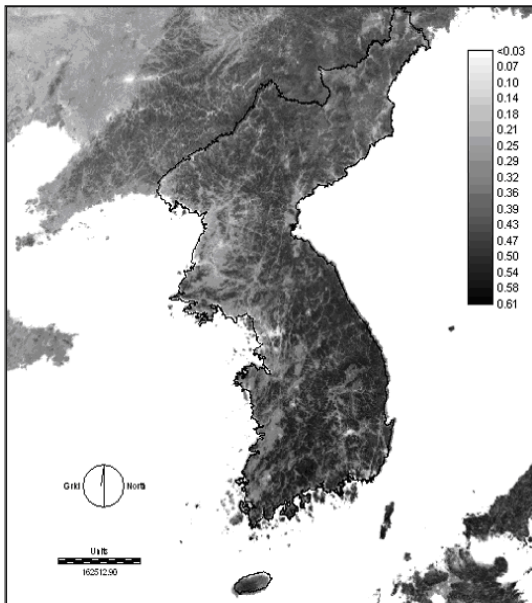


그림 1 iNDVI (2001)

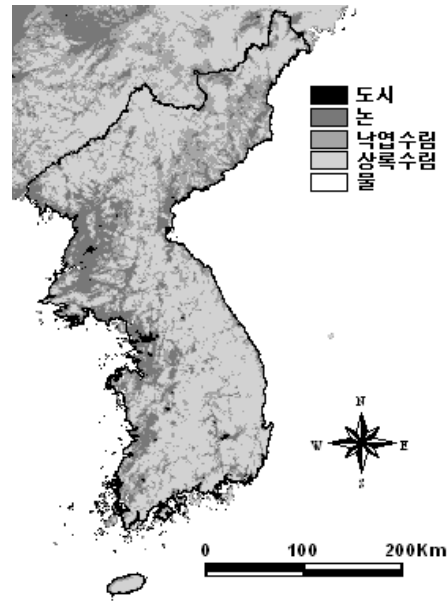


그림 2 한반도 토지피복도

3. NDVI에 의한 광역증발산량 추정

기상관측 자료로부터 실제증발산량을 산정하는 기후학적 추정방법으로 제안된 보완관계식으로

서 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. 어느 지점의 NDVI는 그 지점의 식생상태를 잘 표현하는 지표이고, NDVI와 증발산량과는 기후조건과 밀접한 관계가 있다는 점에 착안하여, NOAA/AVHRR 위성영상을 이용하여 광역 증발산량을 추정하였다. 신 등(1996)에 의하면 한반도와 같이 산림이 많은 지역에서는 NDVI와 증발산량과의 높은 상관관계가 있음이 확인된 바 있다. 남한 전체를 대상으로 5개의 대권역을부터 토지피복 항목별 실제증발산량과 NDVI의 히스토그램을 비교하여 표 1과 같은 선형회귀식을 추출하였으며, 이를 이용하여 NOAA/AVHRR 위성영상으로부터 실제증발산량을 계산하였다 (그림 3).

표1 실제증발산량 산정을 위한 토지피복별 선형회귀식

| Land cover class | Regression equation | R ² |
|------------------|-------------------------------------|----------------|
| 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 |
| Etc | $E_{aw} = 229.8 \cdot NDVI + 19.6$ | 0.54 |

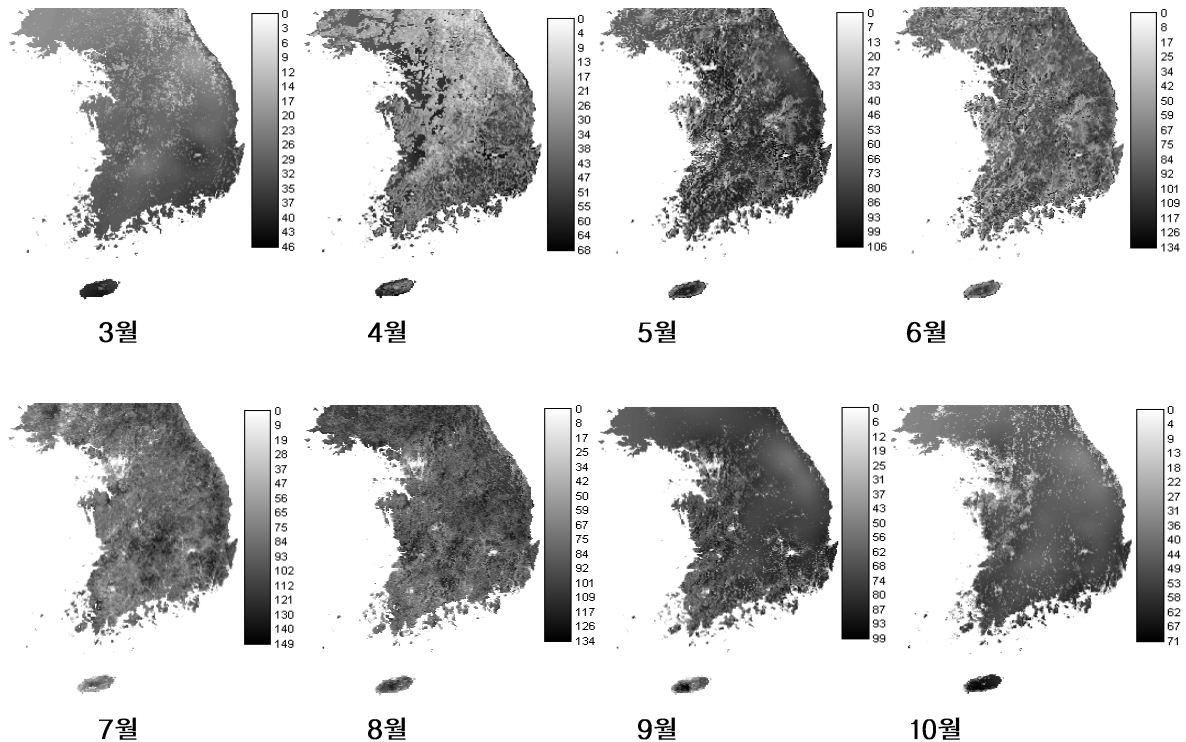


그림 3 2001년도 월증발산량 (단위: mm/mon)

4. 기후학적 물수지 분석

기후학적 물수지는 다양한 수문기상학적 문제의 정량적 정보를 획득하기 위하여 다양하게 응용되어 왔다. 물의 공급 즉, 강수량과 기후학적 물수요 즉, 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 관개 등에 의해서 공급되어야 할 양이며, 과잉수분량은 지하에 침투하는 양과 하천수에 의해 손실되는 수분으로 표면류와 지표하유출에 의한 유출량을 포함하고 있다. 각 격자에 있어서 과잉수분량과 부족수분량은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 P < E_a \quad & AWL = P - E_p \\
 & Sm_i = Sm_{i-1} \times \exp(AWL / Sm_{i-1}) \\
 & D = (E_a + Wc - Sm_i) - P \\
 \\
 P > E_a \quad & AWL = 0 \\
 & Sm_i = Sm_{i-1} + (P - E_p) \\
 & S = P - (E_a + Wc - Sm_i)
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, S는 과잉수분량(mm/month), D는 부족수분량(mm/month), P는 강수량(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), AWL은 토양수분보유능이다.

기후학적 물수지를 적용하기 위해서는 적용 시점의 월 토양수분은 충분히 포화된 것으로 가정하였으며, 토양수분보유능은 200mm로 가정하였다. 연구대상 기간인 2001년 2월부터 점차적으로 누적하여 2001년 11월까지의 토양수분량 및 과잉수분량, 부족수분량을 추정하였다. 또한, Shahin(1985)이 수문기상학적 조사를 위하여 사용한 습윤지표를 이용하여 가뭄과악을 위한 습윤지표분포도를 작성하였다 (그림 4).

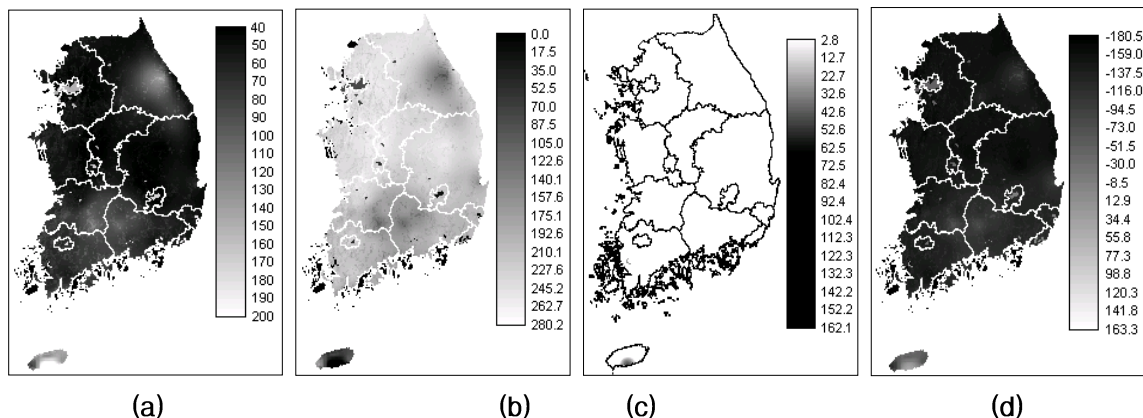


그림 4 2001년도 5월의 (a) 토양수분분포도, (b) 부족수분량분포도, (c) 과잉수분량분포도, (d) 습윤지표분포도 (단위: mm/month)

5. 요약 및 결론

5대강 유역에서 NOAA/AVHRR 위성자료로부터 추출한 식생정보와 기상자료로부터 산정한 증발산량과의 높은 상관성을 이용하여 NOAA/AVHRR 위성자료로부터 직접 월별 실제증발산량을 추정하였다. 그 결과로서 NDVI와 증발산량과의 관계를 수식화 할 수 있으며, 관계식으로서 증발산량을 추정한 결과 0에서 150mm/mon의 증발산량을 보였다. 계산된 실제증발산량과 잠재증발산량, 강우량을 이용하여 기후학적 물수지 분석을 수행한 결과 2001년도 5월에는 수문기상학적으로 수분이 부족한 것으로 분석되었으며, 특히 경상남도 및 전라남도, 서울, 강원도 일부를 제외하고 대부분이 건조지역으로 분류되었으며, 이는 수문기상학적 가뭄현상이 나타난 것으로 판단할 수 있다.

식생정보와 실제증발산량과의 관계식을 이용함으로써 기상자료 및 수문정보를 획득할 수 없는 지역에 있어서도 NOAA/AVHRR 위성영상을 이용하여 실제증발산량의 정량화가 가능하며, 기후학적 물수지 분석을 통하여 수문기상학적인 광역가뭄현황 파악이 가능하다.

사 사

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

참고문헌

- 김광식, 1992, 기상학사전, 향문사.
- 신사철, 1996, 식생정보를 통한 광역증발산량 추정 방법의 개발, 한국측지학회지, 14(1), pp. 81-88.
- 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.
- Morton, F. I., 1978, Estimating evapotranspiration from potential evaporation - practicality of an iconoclastic approach, *J. of Hydrol.*, 38, pp. 1-32.
- 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
- Thornthwaite, C. W., 1948, Approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, Vol. 38, pp. 55-94.
- Shahin, M., 1985, *Hydrology of Nile Basin*, Elsevier.