

NDVI를 이용한 유역규모의 증발산량 분포 추정

Estimation of Areal Evapotranspiration using NDVI

신사철*, 김만식**, 황만하***, 맹승진****, 고익환*****

Sha Chul Shin, Man Sik Kim, Man Ha Hwang, Sung Jin Maeng, Ick Hwan Ko

요 지

원격탐사 기법은 식생 및 토지 이용과 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 성립할 수 있음을 예상할 수 있다. 비교적 넓은 지점에 대한 식생상태의 파악을 위해서는 NOAA/AVHRR 자료가 효과적으로 이용될 수 있으며, 이로부터 얻어지는 식생지수(NDVI)를 이용함으로써 증발산량과 NDVI 사이의 강한 상관관계를 생각할 수 있다. 입력자료로 이용되는 기상자료가 많을수록 자료의 획득 및 처리에 많은 시간이 요구되므로 본 연구에서는 기상자료 중 비교적 쉽고 정확한 값을 얻을 수 있는 기온자료만을 채택하여 분석 시의 번거로움을 최소화하였다. 본 연구에서는 위성자료와 기상자료 중 가장 획득이 용이한 기온자료를 조합하는 간편한 방법에 의한 실제증발산량 산정방법을 제안한다.

핵심용어 : 증발산량, NDVI, NOAA/AVHRR

1. 서 론

물순환 과정에 있어서 증발산은 강수와 함께 지표면의 건습을 결정하는 중요한 인자이다. 증발산 현상은 대기 중의 수증기 이동현상으로 실제증발산량을 정확히 구한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 그 때문에 현재까지 물수지 및 에너지 수지에 의한 산정 방법이 널리 이용되어 왔으나, 지점증발산량을 구하는 방법으로는 광역면에 대한 증발산량 혹은 공간적인 분포의 추정은 어려운 점이 많다.

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 있을 것으로 생각할 수 있다. 또한 Running과 Nemani(1998)는 NDVI의 적분값인 iNDVI와 연 증발산량과의 사이에 비례관계가 성립함을 보고하고 있다. 이와 같은 식생지수 NDVI와 증발산량과의 강한 상관관계가 성립한다는 점에 착안하여 우리나라를 대상으로 관계식이 개발되기도 하였다(신사철 과 澤本, 1995 ; 신사철, 1996 : Shin and Sawamoto, 1996). 이것은 기상자료를 요구하지 않는다는 장점이 있으나 위성자료만을 이용하여 증발산량을 구함으로써 지상의 조건을 고려하지 못한다는 단점도 가진다. 그리고 위성자료와 기상자료를 조합하는 방법은 지상의 조건으로 고려할 수 있다는 장점을 가지지만 지상 자료의 획득이 불가능한 지역에 있어서의 적용이 어려우며 분석시 마다 기상자료를 입력해야 한다는 단점을 가진다.

본 연구에서는 대상지역을 금강권역으로 한정하여 기상자료의 획득에는 문제가 없으며, 기상자료 중 비교적 쉽고 정확한 값을 얻을 수 있는 기온 자료만을 이용함으로써 분석시의 번거로움을 최소화하여, 위성자

* 정회원-안동대학교 토목공학과 부교수E-mail : scshin@andong.ac.kr

** 정회원-신성대학교 도시건설과 교수E-mail : kmspj@shinsung.ac.kr

*** 정회원-한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원E-mail : hwangmh@kowaco.or.kr

**** 정회원-충북대학교 지역건설공학과 조교수E-mail : maeng@chungbuk.ac.kr

***** 정회원-한국수자원공사 수자원연구원 연구위원E-mail : ihko@kowaco.or.kr

료와 기상자료를 결합하는 실제증발산량 산정 방법을 개발하였다.

2. NDVI를 이용한 식생분석

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 습수 복사량 등과 관련된 자료로 사용된다. 현재 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)로 알려진 정규화 식생지수가 식생분석을 위하여 널리 이용되고 있다(Justice 등, 1985; Tucker 등, 1985a, 1985b; Townshend and Justice, 1986; Prince and Astle, 1986; Benedetti 등, 1994). 본 연구에서는 금강유역의 개략적인 식생상태를 파악하기 위해서 정규화 식생지수 NDVI를 이용하고 있으며, 이러한 경우 NOAA 위성에 탑재되어 있는 AVHRR 센서가 유효하다. NOAA/AVHRR 자료를 이용하면 NDVI는 다음 식에 의해 계산된다.

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

여기서, $Ch.1$ 은 NOAA/AVHRR의 channel 1(가시)의 반사율이며, $Ch.2$ 는 channel 2(근적외)의 반사율이다.

본 연구에서는 1999년을 대상으로 적설의 영향으로 인하여 지표면의 정확한 관측이 불가능한 겨울철의 자료를 제외하고 3월부터 11월까지를 분석기간으로 설정하였다. AVHRR 센서는 광학센서이며, 대상지역이 구름으로 덮여 있는 경우 위성의 센서가 읽는 반사치는 바로 그 구름의 반사치가 되어 구름 아래부분의 지표면의 반사치는 반영되지 못한다. 더욱이 태양의 고도각이 낮은 경우는 구름에 의해 생긴 음영(陰影)이 그 옆지역의 반사치에도 영향을 미치게 된다. 구름의 존재는 NDVI를 낮아지게 하여 정확한 관측을 저해한다. 이러한 구름의 영향을 최소화하기 위하여 복수의 NDVI로부터 각 화소별로 최대치를 선택하여 월대표 NDVI를 작성하였다.

또한 증발산량의 산정을 위하여 식생의 특성이 유사한 지역으로 구분하였다. 이를 위하여 3년에 걸친 NDVI를 적산하여 무감독 분류를 실시함으로써 식생의 등급을 분류하였다. 등급은 총 5단계 등급으로 분류하였으며, 1등급은 수역, 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.

3. NDVI에 의한 증발산량의 추정

3.1. 기준 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 일반의 기상관측자료로부터 실제증발산량을 직접 산정하는 기후학적 추정법으로서 제안된 방법이다.

이 방법의 장점은 토양수분량 및 기공저항 등의 관측이 어려운 인자를 변수로 하지 않고, 일반적인 지상 기상관측 자료만으로 실제 증발산량을 추정 가능하다는 점이다. 또한 현행의 증발산비를 이용하는 증발산량 추정법과 같이 사전에 대상유역 고유의 변수 및 경험계수를 구할 필요가 없다는 이점을 갖고 있다. Morton(1978)은 실제증발산량과 Penman법에 의한 잠재증발산량이 서로 보완관계에 있으며 양자의 합은 Priestly-Taylor법(1972)에 의한 잠재증발산량의 2배에 상당한다는 관계식을 제안하였다. 그러나 Morton에 의한 보완관계식은 산정과정에서 경험식을 이용하여 구하는 요소가 대단히 많으며, 불필요하게 복잡한 산정법을 취하는 경향이 지적되어 왔다. 따라서 Brutsaert and Stricker(1979)는 직접 Penman법 및 Priestly-Taylor법을 이용하는 관계식을 제안하였다. 그러나 Ben-Asher(1981)는 유역의 물수지와 Brutsaert and Stricker법에 의한 추정법을 비교한 결과, Brutsaert and Stricker법은 연총량에서는 적용 가능하나 월단위에서는 겨울철의 증발산량을 과소 평가한다는 연구결과를 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 Brutsaert

and Stricker 식에 Morton에 의해 적용된 이류항을 고려하여 과소평가의 보정을 수행하였다. 이와 같은 보완 관계식을 이용하여 피복 조건별의 증발산량을 계산하여 NDVI를 이용한 증발산량 산정 시 기준이 되는 증발산량으로 사용한다.

3.2. NDVI와 기상자료를 조합한 회귀방정식 유도

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, 기상조건의 상관관계를 생각할 수 있다. 표 1에서 알수 있는 바와 같이 증발산량은 온도와 NDVI에 높은 상관성이 있음을 알 수 있다. 따라서 증발산량, NDVI 및 온도자료만을 이용하여 1999년~2001년을 대상으로 각조건별로 증발산량과 NDVI, 온도의 평균값을 이용하여 증발산량-NDVI, 증발산량-온도, NDVI-온도의 상관관계를 분석하였다.

상관관계 분석을 통해 상관성이 높게 나타난 증발산량, NDVI 및 온도자료를 이용하여 다중회귀분석을 통하여 증발산량식을 개발하였다. 다중회귀분석은 둘이상의 독립변수가 하나의 종속변수에 미치는 영향을 분석하거나 종속변수의 값을 예측하기 위하여 독립변수와 종속변수간의 회귀방정식을 구하는 과정을 말한다. 단순회귀분석이 사실관계를 희생하는 경우가 많으나, 다중회귀분석은 단순회귀분석의 이러한 단점을 극복하고, 현실문제의 해결에 보다 적절성을 갖춘 기법이다. 본 연구에서는 종속변수로 증발산량을, 독립변수로 NDVI, 온도 값을 사용하여 회귀방정식을 구해 NDVI와 온도만으로 증발산량을 구하였다. 분석 결과 2등급의 경우 대부분 도시지역에 상당하는 지역으로 3~11월의 모든 자료를 하나로 분석하는 것이 높은 값을 나타내었고, 3등급, 4등급, 5등급의 경우 식생의 성수기(3~8월)와 비성수기(9월~11월)로 나누어 분석하는 것이 높은 값을 나타내었다. 표 2는 이와같은 중회귀방법에 의해 제시되는 증발산량 산정식을 나타낸 것이다. 다중회귀분석을 통해 얻어진 회귀방정식을 결정계수로 적합도 검증은 하고 얻어진 식을 이용하여 증발산량의 분포를 얻게 된다.

NDVI와 온도를 이용하여 회귀방정식으로 증발산량을 구할 경우 증발산량이 높거나 낮은 값들이 나타나게 되는데 이것은 NDVI의 값이 구름이나 다른 요소에 의해 너무 높은 값이나 낮은값을 나타내는 일종의 잡음으로 인한 것이다. 월 NDVI를 이용하는 이유도 이 같은 NDVI의 값이 잘못 얻어 지는 것을 최소화하기 위해서이다. 본 연구에서는 1999~2001년의 각월 NDVI의 값을 월별로 평균하여 NDVI를 구하고 정규분포를 통해 95.5%의 값을 상한값으로 정하여 NDVI를 보정하였다. 이러한 회귀방정식을 적용하여 1999~2001년도의 월별 실제증발산량 분포를 구하였으며, 그 결과를 그림 1에 나타내었다. 그림 2는 회귀방정식에 의한 증발산량과 보완관계식에 의한 증발산량을 비교한 것이다.

표 1. 증발산량, NDVI 및 온도의 상관관계

상관관계		2등급	3등급		4등급		5등급	
			3월-8월	9월-11월	3월-8월	9월-11월	3월-8월	9월-11월
증발산량	NDVI	0.344	0.566	0.657	0.680	0.636	0.747	0.658
	온도	0.865	0.926	0.958	0.935	0.939	0.928	0.943

표 2. 증발산량 산정을 위한 회귀방정식

Class	Mar. - Aug.		Sep. - Nov.	
	Regression equation	R ²	Regression equation	R ²
Class2	E=7.297-29.36NDVI+2.3602Temp			0.76
Class3	E=25.195-101.85NDVI+5.9726Temp	0.92	E=-0.269-30.3NDVI+4.2379Temp	0.93
Class4	E=34.846-82.84NDVI+5.564Temp	0.90	E=1.603-39.9NDVI+4.797Temp	0.90
Class5	E=36.67-16.46NDVI+4.571Temp	0.86	E=6.57-46.28NDVI+5.142Temp	0.91

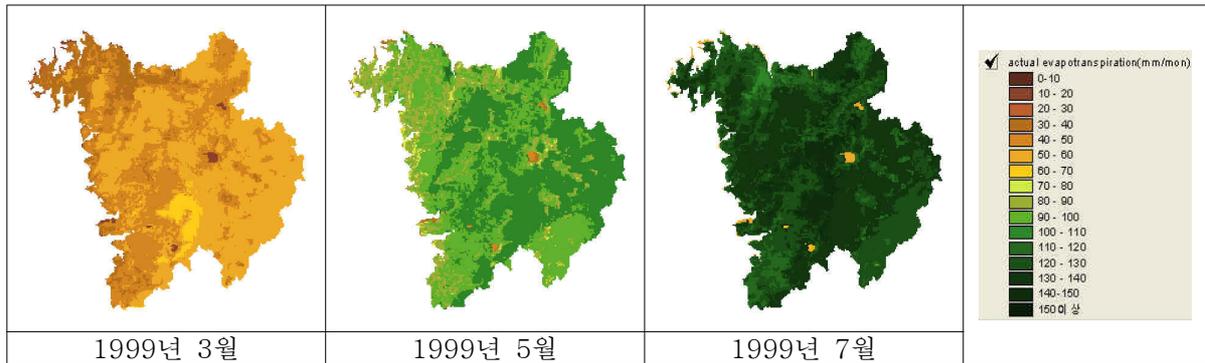


그림 1. 금강유역의 실제증발산량의 분포

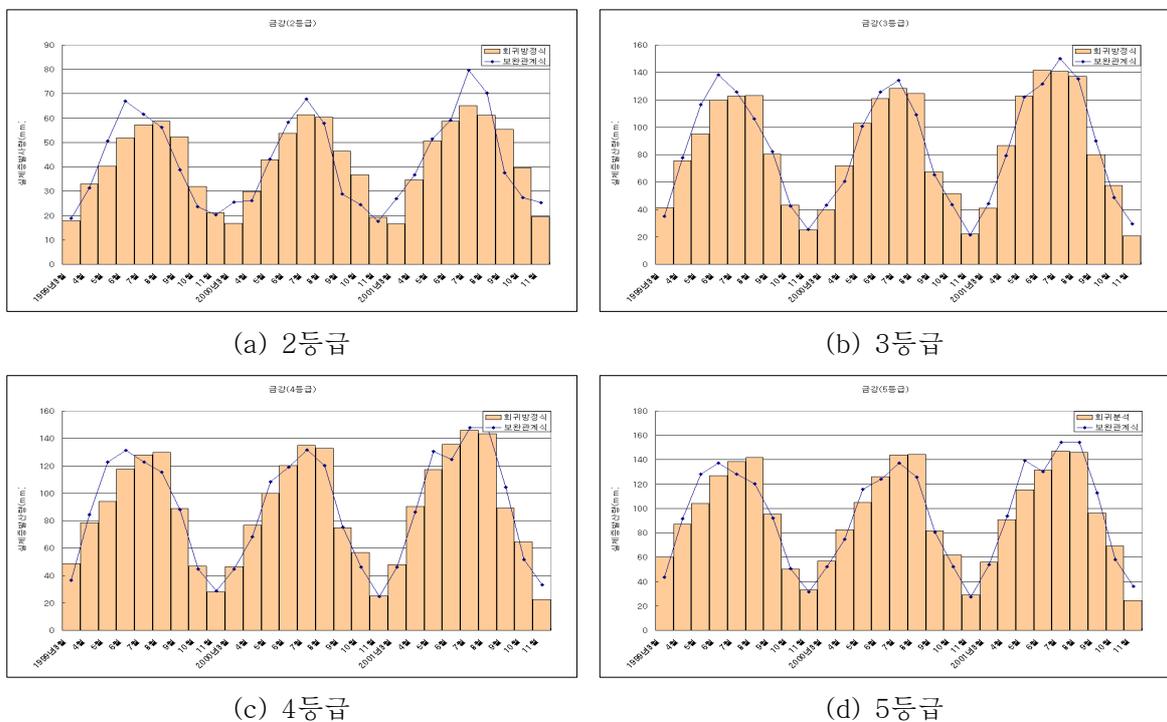


그림 2. 보완관계식과 회귀방정식에 의한 증발산량 비교

4. 결론

본 연구에서는 증발산량과 상관성이 높은 기온과 NDVI를 이용하여 얻어진 실제증발산량 추정식을 개발하여 금강유역에 적용하였다. 본 방법의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 실제증발산량 추정 방법으로 이용되는 보완관계식의 정확도에 대한 재 검토이다. 또한 광역 증발산량의 추정정확도의 검토를 수행하기 위해서는 토지 피복 항목을 다수 포함한 시험 유역을 대상으로 한 이용 가능한 정도 높은 물수지 관측 정보의 축적이 대단히 중요하다.

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. 이러한 어려운 점을 극복하기 위하여 새

로운 형태의 위성자료에 대한 적용도 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 금강 권역에 대한 분석을 실시하였으나, NOAA 위성 자료를 이용할 경우 우리 나라 전역에 대한 분석도 가능하므로 금후의 연구에서는 우리나라 전역을 대상으로 실제증발산량을 산정할 수 있는 분석을 실시하고자 한다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비지원(과제번호 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 신사철(1996). 인공위성 자료에 근거한 한반도 물수지 분포의 추정, 한국수자원학회지, 제29권 제4호, pp. 203-214.
2. 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, 제8권, pp. 560-567.
3. Benedetti, R., P. Rossini and R. Taddei(1994). Vegetation Classification in the Middle Mediterranean Area by Satellite Data, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 15, pp. 583-596.
4. Brutsaert, W. and Stricker, H.(1979). An advection-aridity approach the estimate actual regional evapotranspiration, *Water Resour. Res.*, Vol. 15, pp. 433-450.
5. 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.*, Vol. 8, pp. 1271-1318.
6. Morton, F. I.(1978) Estimating evapotranspiration from potential evaporation—practicality of an iconoclastic approach, *J. Hydro.*, Vol. 38, pp. 1-32.
7. Prince, S. D., and W. L. Astle.(1986) Satellite Remote Sensing of Rangelands in Botswan Landsat MSS and Herbaceous Vegetation, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 7, pp. 1533-1553.
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. 347-367.
9. 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.
10. Tucker, C. J., C. L. Vanpreat, 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.*, Vol. 17, pp. 233-249.
11. Tucker, C. J., J. R. G. Townsend and T. E. Goff.(1985b) African Land-Cover Classification Using Satellite Data, *Science*, Vol. 227, pp. 369-375.