한국농공학회논문집
제50권 제3호

JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, MAY. 2008, pp. 115-123

Landsat ETM+영상의 지표면온도와 NDVI 공간을 이용한 광역 증발산량의 도면화

Regional Scale Evapotranspiration Mapping using Landsat 7 ETM+ Land Surface Temperature and NDVI Space

나상일* · 박종화**†

Na, Sang-Il* · Jong-Hwa Park**†

Abstract

Evapotranspiration mapping using both meteorological ground-based measurements and satellite-derived information has been widely studied during the last few decades and various methods have been developed for this purpose. It is significant and necessary to estimate regional evapotranspiration (ET) distribution in the hydrology and water resource research. The study focused on analyzing the surface ET of Chungbuk region using Landsat 7 ETM imagery. For this process, we estimated the regional daily evapotranspiration on May 8, 2000. The estimation of surface evapotranspiration is based on the relationship between Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and Morton's actual ET. TVDI is the relational expression between Normalized Difference of Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST). The distribution of NDVI corresponds well with that of land-use/land cover in Chungbuk. The LST of several part of city in Chungbuk region is higher in comparison with the averaged LST. And TVDI corresponds too well with that of land cover/land use in Chungbuk region. The low evapotranspiration availability is distinguished over the large city like Cheongju-si, Chungju-si and the difference of evapotranspiration availability on forest and paddy is high.

Keywords : Landsat ETM+, Normalized difference vegetation index (NDVI), Land use/land cover, Land surface temperature (LST), Temperature vegetation dryness index (TVDI)

I. 서 론

증발산은 증발과 증산이 함께 이루어지는 작용으로 토양 표면에서의 증발과 식물체 잎 표면에서의 증산을 통해 지표면에서 대기로의 수증기 이동으로 나타나며, 이는 토양에서 손실되는 물의 양을 의미한다. 따라서 증발산은 강수 및 유출과 더불어 대기의 물 순환 및 수분이동 파악에 매우 중요한 지표로 사용되고 있다(Shuttleworth and Maidment, 1993). 증발산량의 산정은 유역의 물 순환 메커니즘을 파악하고 효과적인 이수와 치수 대책마련 및 열의 이동을 평가하는데 중요한 자료이나 관련된 불확정 요소가 많고 정량적 평가가 어려운 문제를 가지고 있다. 특

* (주)선도소프트 U-전략사업단
** 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과
† Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2577
Fax: +82-43-271-5922
E-mail address: jhpak7@cbnu.ac.kr
2008년 1월 25일 투고
2008년 5월 6일 심사완료
2008년 5월 15일 게재확정

히 증발산량은 수자원에 미치는 영향이 매우 중요하나, 광역의 실제 증발산량의 정기적 또는 정량적인 추정은 실측 데이터가 적은 관계로 어려움이 많다. 증발산량 추정법 중에서 가장 일반적으로 이용되는 물수지법도 유역의 지형이나 표고 등에 따라 강수량이 지배되기 때문에 정도 높은 증발산량 추정이 곤란하다. 또한 광역 지역의 경우 기상관측 자료수집에 어려움이 많고 계측 가능한 기상관측소도 적은 점과 산간부의 경우는 관측 자료수도 절대적으로 부족하여 강수량 및 증발산량 추정 정도가 매우 낮다.

한편, IPCC(2007)는 도시화와 무분별한 산림훼손 등으로 전 세계적으로 지구온난화가 진행되어 지역에 따라 국지적인 호우와 한해, 빈발하는 홍수 또는 이상적인 고온과 폭설 등이 발생하고 있다고 경고하고 있다. 이러한 현상과 밀접한 관련을 갖는 것이 토지이용변화에 따른 지표면 피복형태의 변화일 것이다. 피복이용/피복형태 변화는 각 지역의 증발산량 변화를 가져와 강우패턴과 물 수요 및 소비량에 많은 영향을 미치고 있다.

현재 기상청에서는 세계기상기구의 관측 기준에 따라 증발량을 측정하고, 여러 학자들의 연구에 의한 제안식(Penman, 1948; Monteith, 1981) 등을 이용하여 증발산량을 추정하고 있다. 그러나 직접적인 증발산량의 추정은 시·공간적으로 많은 어려움이 따르며, 지금과 같이 국지적으로 서로 다른 기상특성을 보이는 상황에서는 공간적인 해석에 어려움이 있다. 또한 증발산량은 여러 기상요소들과 식물밀도, 엽면적지수(LAI) 등 다양한 요인들과 복합적으로 관련되어 있다(Penman, 1948). 이러한 문제를 해결하기 위한 광역적인 증발산량 추정방법으로 RS 기법을 이용한 방법이 제안되어 사용되고 있다. 그 중에서도 NOAA로부터 얻어진 식생지수(NDVI)로부터 가능증발산량을 구하는 방법이나 Landsat TM영상의 NDVI를 침투면적율에 할당하여 보완법을 적용하여 증발산량을 구하는 방법 등이 있다(김해동, 임진욱, 이순환, 2006). 현재 우리나라의 경우 증발산량을 직접 측정하거나 조사한 연구는 미약하고, 특히 광역적인 측정과 조사는 제약조건이 많아 실측된 증발산량 자료는 많지 않은 실정에 있다. 따라서 이러한 점을 감안하여 많은 가정을 필요로 하는 공기역학적 방법 대신 지형 및 토지이용형태가 복합적으로 구성된 충청북도(이하, 충북) 지역을 대상으로 계절에 따른 토지이용 변화 및 기상조건의 변화를 고려하여 증발산량의 광역분포를 추정하였다.

본 연구에서는 2000년 5월의 Landsat 7 ETM+ 위성영상을 이용하여 충북의 NDVI/지표면온도(Land Surface Temperature, 이후 LST)의 관계식을 유도하고, 이를 이용하여 온도식생건조지수(Temperature Vegetation Dryness Index, 이후 TVDI)를 산출하였다. 또한 기상연보를 토대로 Morton(1978)이 제안한 보완관계식을 사용하여 충북 7개 시, 군의 증발산량을 계산하고, TVDI 분포도와의 관계식을 이용하여 충북 전체의 증발산량을 추정 제시하였다.

II. 연구대상지역과 사용 데이터

1. 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 한반도 중심에 위치한 충북지역으로 청주시를 비롯하여 3개 시와 8개 군으로 구성된 총면적 7,431.60km^{2}의 지역이다. 충북은 경기도와의 경계에 차령산맥이 있고, 강원도·경상북도·전라북도와 접하는 동남부는 소백산맥이 둘러싸고 있으며, 도 중앙부는 구릉성 산지들이 남북방향으로 이어져 도를 동·서로 양분하고 있다. 따라서 소백산맥 일대의 동부와 북부는 산지, 중앙부는 구릉지, 청주를 포함한 서부는 넓은 평야를 이루고, 충주시 일대는 저평지를 형성하고 있다.

대상지역의 지형은 전반적으로 동고서저, 남고북저의 형세를 이룬다. 중앙구릉지대는 도내의 분수령을 이루어, 북쪽 사면은 달천과 남한강이 흘러 충주와 단양·제천·괴산을 포함하는 남한강 수계를 형성하고, 남쪽 사면은 금강의 지류인 미호천·무심천·보청천이 흘러 청주를 비롯하여 진천·보은·영동·옥천 등지를 포함하는 금강 수계를 이룬다. 진천·청주·청원과 조치원에는 미호평야가 위치하고, 달천과 남한강의 합류지점인 충주분지도 비교적 넓은 지형으로 되어 있다.

2. 사용 데이터

본 연구는 Fig. 1과 같은 Landsat 7 ETM+ 영상을 이용하여 충북지역의 증발산량분포를 추정하였다. 위성영상처리에서 결과 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나는 대상지역의 시기별 영상의 일관성이다(윤홍식과 조재명, 2002). 즉, 영상들의 촬영 시간대가 비슷할수록 결과 정확도가 높게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 2000년 5월 8일에 촬영된 Path/Row가 각각 115/34, 115/35인 두 위성영상을 집성(mosaic)한 후 영상처리의 효율성을 위해 연구대상지역 해당 부분만을 잘라내어 처리하였다. Fig. 1의 실선에 포함된 충북지역의 행정구역 구성과 면적은 건설교통부 발행 2003년 건설교통통계연보(건교부, 2003)를 참고하였다(Table 1). 또한 증발산량 추정은 충북내의 청주시, 제천시, 충주시를 비롯한 7개 시, 군 기상대의 2000~2005년까지의 기상일보에서 얻어진 데이터를 이용하여 보완관계식에 적용하였다(기상대, 2000~2005).

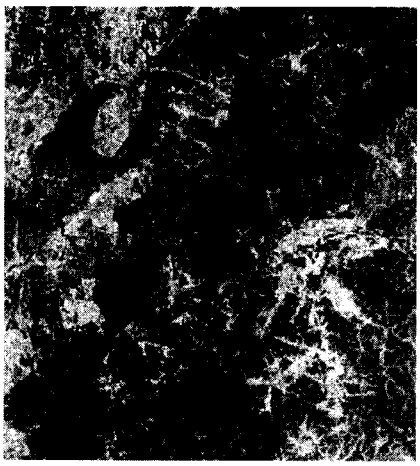

Fig. 1 Landsat 7 ETM+ image of the study area; 8 May 2000.

Table 1 The present condition of the administrative district in Chungbuk region

Province	Town	Myeon	Area(km^2)
Cheongju	-	-	153.33
Chungju	1	12	983.96
Jecheon	1	7	882.45
Cheongwon	1	13	814.26
Boun	1	10	584.48
Okcheon	1	8	537.21
Yeongdong	1	10	844.99
Jincheon	1	6	406.13
Goesan	2	11	923.80
Eumseong	2	7	520.88
Danyang	2	6	780.11
Total	13	90	7,431.60

III. 연구방법

1. NDVI 및 LST의 계산

위성 RS에 의한 식생피복율의 추정방법은 연구 목적과 대상에 따라 다양하게 제시되고 있다. 그 중 정규화 식생지수(이후, NDVI)를 이용하는 추정법이 가장 실용적인 방법 중 하나로 알려져 있다. Landsat ETM+ 영상 데이터를 이용한 식생지수는 Band 3과 Band 4를 조합하여 구하였다.

$$NDVI_{Lansat} = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (1)$$

여기서 *Band* 3은 빨강색(Red : R)파장이며, *Band* 4는 근적외선(Near Infrared Ray : NIR)파장을 나타낸다.

Landsat의 열적외선 밴드인 Band 6을 이용한 지표면의 열복사는 Plank식으로 표현되며, 온도와 복사율의 함수가 된다. Plank 함수는 온도 값으로 표현되는 흑체에서 방출되는 복사휘도 또는 에너지강도를 나타내며, 파장과 주파수 및 파수의 함수로 표현된다.

$$L_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5(\exp(hc/kT\lambda) - 1)} \quad (2)$$

여기서, λ는 파장, T는 흑체의 절대온도(T°), $L_\lambda(T)$는 복사휘도$W/(m^2 \cdot sr \cdot m)$, h는 Plank상수($W \cdot s^2$), c는 빛의 속도(m/sec), k는 Boltzmann 상수(J/K)이다.

Landsat 열적외 영상 데이터를 취득하여 식 (2)와 같은 Plank방정식을 이용하면 다음 식과 같은 지표면온도(LST) 식이 얻어진다(Artis and Carnhan, 1982).

$$LST = \frac{C_2}{\lambda_i ln\left(\frac{C_1}{\pi \lambda_i^5 L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

여기서, $C_1 = 2\pi hc^2$, $C_2 = hc/(m^\circ K)$ 이다.

2. TVDI의 계산

식 (1)로 구한 NDVI와 식 (3)의 LST를 이용하여 Nemani와 Running(1989)이 제안한 NDVI/LST의 관계식인 TVDI를 계산하였다. Fig. 2의 TVDI는 NDVI와 LST의 분포를 이용하여 증발산을 추정하는 대표적인 방법으로 증발산을 하는 식생의 활성상태와 수분의 증발산에 의한 온도 저하를 이용하는 방법이다. 위성영상 데이터를 이용하여 NDVI의 변화에 따른 온도분포를 그림으로 도시하면 대략적으로 삼각형으로 표현된다. 상대적으로 NDVI가 낮은 나지의 경우 지표면온도 변화가 크지만, NDVI가 높은 산림은 식생 밀도가 높아 지표면온도 변화가 작다. 따라서 삼각형의 온도분포에서 밑변과 기울기면은 두 개의 경계를 나타낸다. 삼각형 위쪽 경계(기울기면)는 TVDI

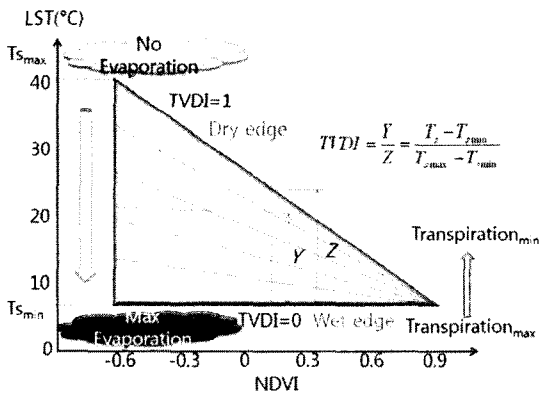

Fig. 2 Definition of the TVDI model. TVDI for a given pixel is estimated as the proportion between lines Y and Z.

가 1로서 최소증발산을 의미하며, 삼각형 아래쪽 경계(밑변)는 TVDI가 0으로 최소값을 가지며 최대증발산을 의미한다. 위성으로 관측한 자료는 두 경계 사이에 위치하므로 각 NDVI의 증발산량을 상대적으로 추정할 수 있다.

TVDI는 Sandholt 등(2002)이 제시한 것처럼 다음 식으로 정의된다.

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{min}}}{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}} \quad (4)$$

여기서 $T_{s_{min}}$, $T_{s_{max}}$는 각각 LST의 최소, 최대값이다.

동일 TVDI값의 직선 기울기와 절편을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{s_{min}} = a_2 + b_2\, NDVI \quad (5)$$

$$T_{s_{max}} = a_1 + b_1\, NDVI \quad (6)$$

따라서, TVDI는 다음 식에 의해 계산된다.

$$TVDI = \frac{T_s - (a_2 + b_2 NDVI)}{(a_1 + b_1 NDVI) - (a_2 + b_2 NDVI)} \quad (7)$$

계산된 TVDI는 $0 \le TVDI \le 1$의 값을 갖으며, 값에 따라 5단계(0~0.2는 매우 습윤, 0.2~0.4는 습윤, 0.4~0.6은 보통, 0.6~0.8은 건조, 0.8~1은 매우 건조)로 구분되어 진다(Wang Xiao 등 2005).

3. 보완관계식에 의한 증발산량 추정

기상관측자료를 이용하여 실제증발산량을 산정하는 방법으로는 Morton(1978)이 제안한 보완관계식을 사용하였다. 이 식은 실제증발산량과 Penman법에 의해 얻어진 잠재증발산량이 서로 보완관계에 있으며, 양자의 합이 Priestly와 Taylor(1972)에 의해 제안한 잠재증발산량의 2배와 거의 유사하다는 관계식이다.

$$E_a = 2E_p - E_{pp} \quad (8)$$

$$E_p = 1.26\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}R_n \quad (9)$$

$$E_{pp} = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}R_n + \frac{\gamma}{\Delta+\gamma}f(u)(e_s - e_a) \quad (10)$$

여기서, E_a는 실제증발산량(mm/d), E_p는 Priestly-Taylor의 잠재증발산량(mm/d), E_{pp}는 Penman의 잠재증발산량(mm/d), Δ는 포화수증기압곡선의 경사(hPa/℃), γ은 건습계상수(hPa/℃), R_n은 순복사량(J/m2/d), $f(u)$는 풍속함수(mm/hPa/d), e_s는 공기의 포화수증기압(hPa), e_a는 공기의 수증기압(hPa)이다.

또한 관측치에서 제외된 각각의 값은 Kotoda(1986)가 제시한 다음의 근사식으로 계산하였다.

$$\Delta = \frac{1779.75\ln 10 \times e_s}{(273.3+t)^2} \quad (11)$$

$$\gamma = \frac{1005 \times P_r}{0.622 \times \lambda} \quad (12)$$

$$f(u) = 0.26(1+0.54u) \quad (13)$$

$$e_s = 6.11 \times 10^{\left(\frac{7.5t}{273+t}\right)} \quad (14)$$

$$P_r = (5.356 \times 10^{-6})z^2 - 0.119861z + 1013.25 \quad (15)$$

$$\lambda_L = (2501 - 2.37t) \times 10^3 \quad (16)$$

여기서, t는 대기온도(℃), P_r은 대기압(hPa), λ_L는 증발잠열(J/kg), u는 지상 2m에서의 풍속(m/s), z는 표면고도(m)이다.

IV. 결과 및 고찰

1. 위성영상에 의한 NDVI 및 LST

Landsat ETM+ 영상의 Band 3과 Band 4를 조합하여 산정한 충북지역의 NDVI는 Fig. 3a와 같다. 산정결과 충북지역의 NDVI는 청주시를 중심으로 동쪽과 남쪽에 위치한 산림지역이 0.5 이상으로 가장 높은 반면, 청주시를 비롯하여 충주시, 제천시와 같은 도심의 경우 0.2 이하로 낮았고, 못자리와 논에

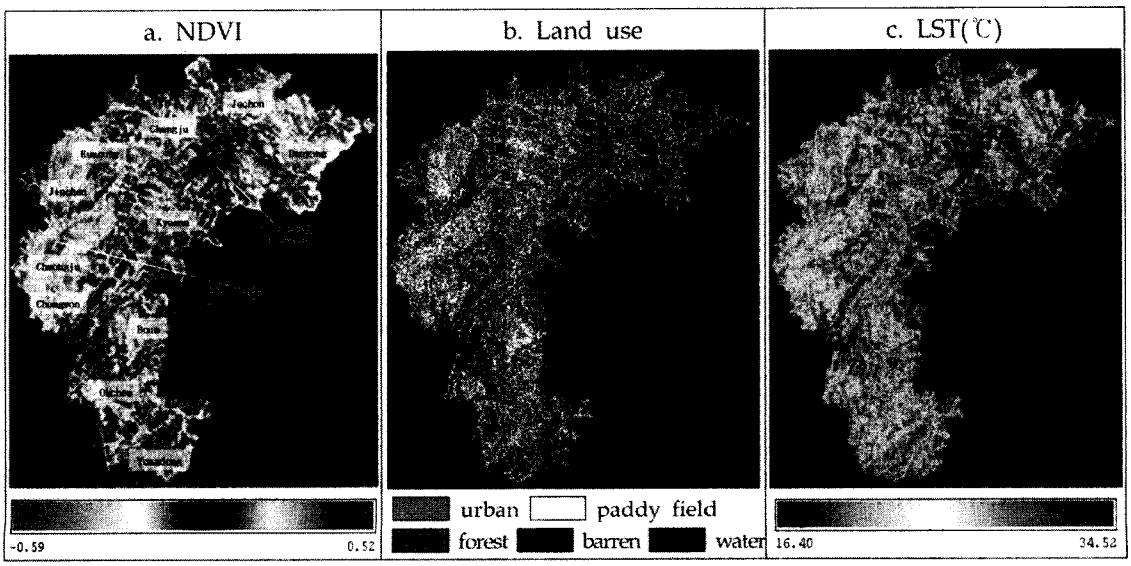

Fig. 3 Spatial representation of the NDVI(a), Land-use(b), and LST(c) distribution of Chungbuk region.

물을 관개하는 5월 논은 0.1～0.25로 낮은 NDVI분포를 보였다. 금강의 지류인 미호천·무심천·보청천 등의 수변지역은 -0.2～-0.4로 가장 낮았으며, 공업단지는 콘크리트와 아스팔트 피복 등 높은 반사로 인해 0～-0.2 범위의 낮은 NDVI를 나타냈다.

Fig. 3b는 위성영상을 감독분류하여 얻은 충북지역의 토지이용 분포를 5가지로 분류하여 나타낸 영상이다. 분류결과 충북지역은 Table 2와 같이 총면적의 2/3 이상이 산림으로 65.01% 분포하고, 다음이 농경지로 20.44%, 나지 9.35%, 도심지 3.29%, 수역 1.91% 순으로 나타났다. 산림지역은 강원도와 경상북도의 경계지점에 많이 분포하고, 도심지역은 큰 하천을 끼고 발달하여 있다. 특히 청주의 경우 다른 지역에 비해 농경지와 나지, 도심지 비율이 높은 것으로 나타났다. 충북지역의 논과 밭은 고르게 분포하는데 논은 집단화되어 분포하고, 밭과 나대지는 대부분 하천과 산림 주변에 분포하는 경향을 보였다. 이와 같이 토지이용도는 NDVI와 비교적 잘 일치하므로 NDVI를 활용한다면 토지이용도를 추정하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

Fig. 3c는 Ladsat의 열적외선 밴드 Band 6을 이용하여 충북의 지표면온도(LST) 분포를 산정한 영상이다. LST분포의 경우 NDVI와 마찬가지로 토지이용도와 매우 잘 일치하였다. 도심지와 나지 등 식생이 없고 반사율이 높은 지역의 온도는 30℃ 이상으로 분포하였고, 반대로 식생이 많고 녹지가 있는 산림과 농경지 등의 온도는 상대적으로 낮은 16～20℃의 분포를 보였다.

Landsat ETM+에 의한 NDVI,-LST 분포를 토지이용 형태별로 구분하여 나타내면 Fig. 4와 같다. NDVI와 LST의 분포경향은 Table 2와 같이 토지이용 특성에 따라 서로 다르게 구분되었으며, 전체적인 분포형태는 삼각형 모양으로 표현되었다. NDVI가 높고 온도가 낮은 산림은 분포도의 오른쪽 아래 부분에 위치하고 NDVI가 가장 낮은 수역은 왼쪽 아래 부분에 분포하였다. 그러나 도심지와 나지는 서로 중첩되는 경향이 있고, 농경지는 상대적으로 넓게 분포하는 양상을 보였다. 이것은 이 시기의 농경지의 경우 분광특성이 상대적으로 다양하고 넓은 범위를 가지는 점과 도심지와 나지의 분광특성이 상대적으로 유사한 경향을 갖는 특성 때문으로 해석된다.

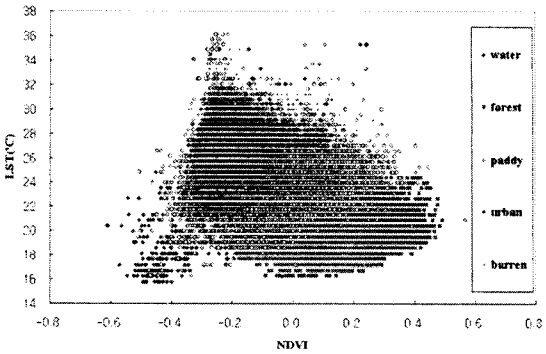

Fig. 4 The NDVI-LST feature space plot over Chungbuk region.

Table 2 Distribution of Land-use/cover percentages

Class	Pixels	Percentage(%)
Forest	5,914,218	65.01
Paddy	1,859,906	20.44
Urban	299,145	3.29
Barren	850,245	9.35
Water	174,022	1.91
TOTAL	9,097,536	100

2. NDVI/LST에 의한 TVDI

Table 3은 Fig. 4에서 나타난 TVDI 분포의 범위별 백분율을 나타낸 것이다. TVDI가 0.4 이하 구간이 전체의 50% 이상을 차지하여 충북의 5월은 대체적으로 습윤 상태인 것으로 나타났다. 이것은 토지이용 분포에서 산림이 65%를 차지하여, NDVI가 높고 상대적으로 낮은 온도를 갖는 산림의 영향이 크게 좌우한 것으로 판단된다. 또한 건조한 상태를 의미하는 0.6 이상 구간이 18.98%인 것은 나지와 도심지의 높은 온도와 낮은 NDVI에 기인한 결과이며, 전체 면적의 20.44%를 차지하는 농경지의 TVDI는 대부분 0.4～0.6을 나타냈다. 이것은 식생이 무성한 밭의 경우 증발산이 활발하게 이루어지지만 5월에 관개를 하는 논의 경우에는 증발산이 활발하게 이루어지지 못하여 상대적으로 낮게 평가 된 것으로 판단된다. Fig. 4의 NDVI와 LST와의 관계를 이용해 얻

Table 3 TVDI ranges as a function of NDVI and LST

TVDI Range	Pixels	Percentage (%)
0~0.2	1,432,688	15.75
0.2~0.4	3,911,360	42.99
0.4~0.6	2,026,176	22.27
0.6~0.8	1,415,008	15.55
0.8~1.0	312,304	3.43
TOTAL	9,097,536	100

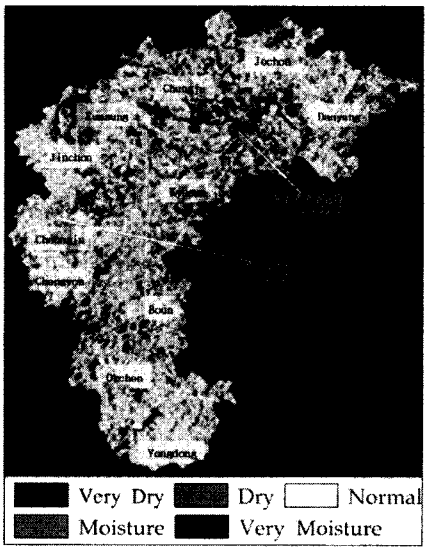

Fig. 5 Spatial representation of the TVDI of Chungbuk region.

은 TVDI 분포를 영상으로 나타내면 Fig. 5와 같다. TVDI 또한 NDVI, LST와 마찬가지로 토지이용분포와 유사한 경향을 나타냈다. 산림지역이 비교적 높은 습윤 상태를 보였고, 도심주변의 식생이 적은 지역이 건조한 상태로 나타났으며, 공단 지역은 0.8 이상으로 매우 건조한 지역으로 분류되었다. 또한 지역별로 볼 때, 청주시, 충주시, 제천시 등 도시규모가 큰 지역의 TVDI가 괴산군, 옥천군, 보은군 등 중소 도시의 TVDI에 비해 높아 보다 건조한 상태로 파악되었다.

3. 보완관계식에 의한 증발산량 추정

NDVI와 LST의 관계식인 TVDI는 증발산량을 추정하는 대표적인 방법 중 하나이다. NDVI와 LST를 이용하여 상대적인 증발산 효율을 구한 후, 실 관측치를 이용하여 산출한 증발산량과 비교하여 증발산량의 공간분포를 추정하는 것이다. 본 연구에서는 증발산량 추정을 위해 충북 내 청주시를 비롯한 7개 시, 군 기상대의 2000~2005년 기상일보를 이용하였다(기상대, 2000~2005). 데이터 선정의 기준일은 영상취득 시기인 2000년 5월 8일로 하였고 누락된 데이터는 2001~2007년 까지 매년 5월 8일 데이터의 평균으로 보정하였다. 지반고의 경우 각 기상대의 지반고를 이용하였고, 기상대의 지반고가 없는 경우 DEM 자료를 이용하였다.

Table 4의 7개 시군의 기상 관측치를 Morton(1978)이 제안한 식(5)~(8)의 보완관계식에 적용하여 실제 증발산량을 추정하였다. 이는 Penman법으로 얻어진 잠재증발산량이 서로 보완관계에 있는 특징을 이용한 것이다. 이 결과와 지역별 TVDI의 히스토그램을 비교하여 추출한 회귀식은 Fig. 6과 같다. 토지이용도가 다양한 지역의 TVDI는 직선기울기가 곡선분포를 나타내는데, 이는 식생에 의한 증산 뿐 아니라 나지 및 기타 지표이용도에 따른 증발이 동시에 작용하여 나타나기 때문이다(김해동, 임진욱, 이순환, 2006). 이 결과 충북의 증발산 추정식은 선형 1차원 방정식이 아닌 비선형 2차식으로 표현됨을 알 수 있다.

Fig. 6의 TVDI와 실제 증발산량과의 회귀식으로 충북지역의 증발산량 분포를 구하면 Fig. 7과 같다. 증발산량과 토지이용도를 비교해보면 식생지수와 지표면온도를 이용하여 나온 결과이지만, 증발산량 역

Table 4 Meteorological ground-based measurements data for estimating evapotranspiration

	Ave. Temp. (℃)	Humidity (%)	Wind Velocity (m/s)	Sunlight (hr)
Cheongju	16.8	37.0	1.1	12.0
Chungju	15.0	50.4	1.7	11.6
Jechon	14.7	49.1	1.8	12.2
Eumsung	12.7	84.0	1.4	11.0
Okchon	11.4	80.0	1.1	8.3
Cheongwon	14.1	73.0	1.8	12.0
Jinchon	15.2	72.0	1.1	9.0

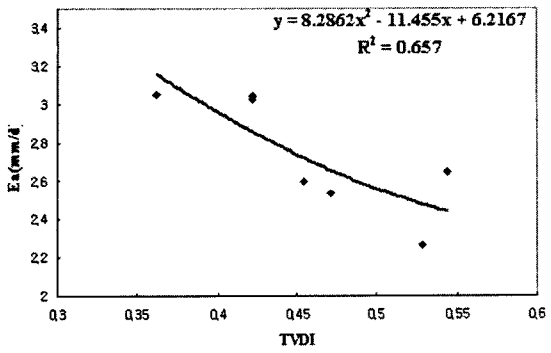

Fig. 6 Relationship between TVDI and actual evapotranspiration.

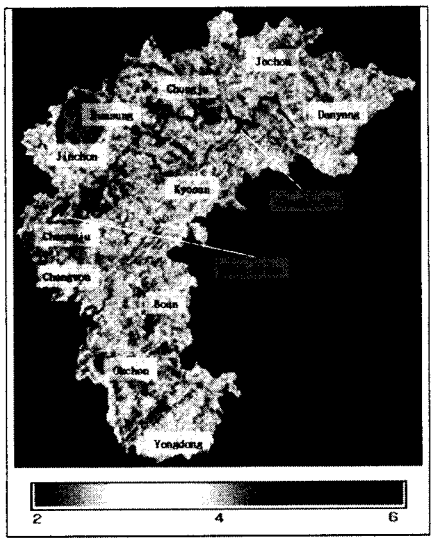

Fig. 7 Evapotranspiration (mm/d) map over Chungbuk region on 8 May 2000.

시 토지이용도와 매우 유사한 분포를 보이는 것을 알 수 있다. 2000년 5월 초순의 충북지역 기상관측 자료를 이용하여 검토하면 청주시, 충주시를 비롯한 도심지역의 증발산량이 2~3㎜/d로 건조지역으로 구분되고, 특히 공단과 나지는 2.5㎜/d 이하로 매우 건조한 것으로 나타났다. 그러나 산림은 4㎜/d 이상으로 높았으며, 농경지는 2.5~4㎜/d로 산림과 도심지의 중간을 보였다. 따라서 토지피복별 증발산량은 산림 > 농경지 > 도심지 > 나지 순으로 나타났다. 수역은 증산이 없이 증발만 일어나므로 비교 항목에서 제외하였다. 산림의 증발산량이 가장 높은 이유는 봄철 식생의 생육이 시작됨에 따라 증산작용이 활발하게 이루어져 증발산량이 높은 것으로 해석된다. 농경지 역시 증발산이 동시에 발생하면서 도심지, 나지와 비교하여 상대적으로 높은 값을 보인 것으로 판단된다. 이와 같이 5월 초순은 일조시간이 길고 풍속이 1.1~1.8m/s범위에 있어 증발산량이 활발하게 이루어지는 것으로 해석된다. 또한 충북의 도심지와 나지는 식생이 없고 높은 온도로 인해 매우 건조하며, 농경지는 도심지의 건조한 공기와 산림의 습윤한 공기가 서로 만나 수분이 이동하는 공간으로 활용되는 것으로 판단된다.

V. 결 론

Landsat ETM+ 데이터를 이용하여 충북의 NDVI와 토지피복변화를 조사하고, 열적외 Band 6을 이용하여 지표면온도 분포를 파악하여 TVDI 분포를 추출하였다. 또한 7개 시, 군의 기상 관측치를 이용하여 Morton의 보완관계식으로 추정된 실제증발산량을 구하고, 회귀식에 의한 충북의 증발산량 분포도를 작성하였다. 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 충북지역의 NDVI는 산림이 높고(0.5 이상), 도심은 낮은 값(-0.2~0)을 보였으며, NDVI와 토지이용도는 서로 상관성이 높은 것으로 나타났다.

2. NDVI와 LST의 분포는 토지이용/피복 형태에 따라 일정하게 분류되는 특징을 보였다. 또한, 5월의 농경지는 분광특성이 상대적으로 넓은 범위를 가지고 있고, 도심지와 나지의 분광특성은 상대적으로 유사한 경향을 보였다.

3. 충북의 TVDI는 0.4 이하가 전체의 50% 이상으로 대체적으로 습윤한 상태로 나타났고, TVDI 또한 NDVI,와 LST와 마찬가지로 토지이용분포와 유사한 경향을 나타냈다.

4. 산림은 높은 습윤 상태를 보였고, 도심지와 나지 등 식생이 적은 지역은 건조 상태로 나타났다. 특히 공단은 0.8 이상으로 매우 건조한 지역으로 분류되었다.

5. Morton의 보완관계식으로 추정된 실제증발산량과 지역별 TVDI를 비교하여 추출한 회귀식으로 증

발산량을 구한 결과, 도심이 2~3㎜/d, 공단과 나지는 2.5㎜/d 이하, 산림 4㎜/d 이상, 농경지 2.5~4㎜/d로 나타났다. 따라서 토지피복별 증발산량은 산림 > 농경지 > 도심지 > 나지 순으로 나타났다.

6. 5월 초순 충북의 도심지와 나지는 식생이 없고 높은 온도로 인해 매우 건조하며, 농경지는 도심지의 건조한 공기와 산림의 습윤한 공기가 서로 만나 수분이 이동하는 공간으로 활용되는 것으로 판단되었다.

이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

References

1. 건교부, 2003, 건설교통 통계연보.
2. 기상대, 2000~2005, 기상일보.
3. 김해동, 임진욱, 이순환, 2006, 위성자료를 이용한 대구광역시의 상대증발산량 추정, 한국지구과학학회 2006년 추계학술발표회 논문집, pp. 193-199
4. 윤홍식, 조재명, 2002, 인공위성 영상을 이용한 남한강 유역의 토지피복 변화량 검출, 한국측량학회지, 20(2), pp. 145-153.
5. Artis, D.A., and W.H. Carnahan, 1982, Survey of emissivity variability in thermography of urban areas, Rem. Sen. of Env., 12, pp. 313-329.
6. IPCC, 2007, Fourth Assessment Report (AR4), Climate Changes 2007.
7. Kotoda K., 1986, Estimation of river basin evapotranspiration, Environ. Res. Centr., The Univ. of Tsukuba, 8, p. 68.
8. Morton, F.I., 1978, Estimating evaportranspiration from potential evaporation-Practically of an iconoclasic approach, J. Hydrol. 38, pp. 1-32.
9. Monteith, J. L, 1981, Evaporation and surface temperature, Qua. J. Royal Met. Soc., 107, pp. 1-27.
10. Nemani, R.R. and S.W. Running, 1989, Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal IR AVHRR data, J. of App. Met., 28, pp. 276-284.
11. Penman, H. C., 1948, Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass, Proc. R. Soc. Lond., A193, pp. 120-146.
12. Priestley, C. H. and R. J. Taylor, 1972, On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters, Mon. Wea. Rev., 100, pp. 81-92.
13. Sandholt, I., K. Rasmussen, and J. Andersen, 2002, A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status, Rem. Sen. of Env., 79, pp. 213-224.
14. Shuttleworth. W. J. and D. R. Maidment, (edit.), 1993, Chapter 4 Evaporation, Handbook of Hydrology, Mc Graw Hill, pp. 4.1-4.47.
15. Wang Xiao, Zhang Zengxiang, and Tan Wenbin, 2005, Using Temperature/Vegetation Index to Assess Surface Soil Moisture Status, Rem. Sen. Symp., IEEE. IGARSS 2005, pp. 4493-4496.