

Landsat TM 화상(圖像)자료를 이용한 시계열 식생건조지수 분석 Seasonal Vegetation Drying Index(VDI) Analysis by Using Landsat TM Imagery

김 천·박 승 환*

국민대학교 산림자원학과

1. 연구 목적

본 연구는 두 시기 Landsat TM 화상자료의 정규식생지수(NDVI)와 수분지수(VWI)를 이용하여 산림의 다양한 식생 환경에 따른 시계열 식생건조지수(Vegetation Drying Index:VDI)를 산출하여 정량적으로 분석하는데 목적이 있다.

식생건조지수는 식생지수(Vegetation Index)의 변화에만 국한된 것이 아닌, 동일 식생지수를 지니는 곳에 있어서의 수분지수(Wetness Index)의 변화에 관련된 것이므로 다양한 식생 환경에 따른 수분함량을 상대적으로 잘 나타내고 있다(P.X. Wang, 2001).

본 연구를 통해 산출된 식생건조지수 및 분석 결과는 향후 산림 식생지의 활력도 분석과 산불 예방 및 조기 발견을 위한 기초자료로서 제시될 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

1) 화상자료 및 전처리

본 연구는 경기도 북부지역인 남양주군, 가평군, 광주군, 양평군 일대를 포함하는 국립지리원의 수치지형도(1:25,000) 6개 도엽(양지, 마석, 청평, 덕소, 양수, 국수)을 대상지로 하였으며, 위치좌표는 좌상점 127°07'30"E, 38°45'04"N과 우하점 127°30'00"E, 37°29'56"N이고, 총 면적은

8.31 km × 6.97 km의 57.9 km²이다.

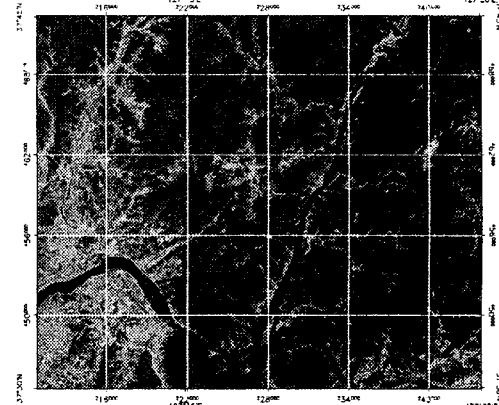


Fig.1. Landsat TM Imagery(R:b4, G:b3, B:b2)

연구자료는 1999년 5월 21일의 초여름과 1996년 9월 1일의 초가을에 각각 획득된 Landsat-5 TM(이하 TM) 화상을 사용하였으며, 수치지형도(1:25,000) 6도엽(양지, 마석, 청평, 덕소, 양수, 국수)에서 각각 지상기준점 21개와 23개를 선정하여 RMSE 0.4855, 0.3286의 정확도로 기하학적 보정을 시행하였고, NASA에서 제공하는 Calibration Data 및 식(1)에 의해 대기 일반화를 시행하였다.

$$\rho_p = \pi \cdot L_\lambda \cdot d^2 / E_{sun\lambda} \cdot \cos\theta_s \dots (1)$$

- L_λ : Spectral radiance at the sensor
- d : Earth-Sun distance
- $E_{sun\lambda}$: Mean solar exoatmospheric irradiances
- θ_s : Solar zenith angle in degrees

또한 Table 1과 같은 각 화상자료의 획득 일시에 따른 태양 위치정보와 연구지역의 수치고도모형(DEM)에서 산출한 지형정보를 이용하여 상대적 입사각(i)을 산출하였고, 20개 이상의 표본점을 선정하여 선형회귀 추정법으로 보정 계수(ϵ)를 Table 2와 같이 파장대별로 추출하였으며, 식(2)의 상대적 사면 분광성 분석(Relief Reflectance Analysis)을 통하여 산림에서 나타나는 지형효과를 보정하였다(ERDAS IMAGINE Field Guide).

Table 1. Sun position information at acquire time

	Sun Elevation Angle (degree)	Sun Azimuth Angle (degree)
99' 5.21	63.512584	127.139191
96' 9.1	54.112584	138.739191

$$\cos \text{osi} = \cos(90 - \theta_s) \cdot \cos \theta_n + \sin(90 - \theta_s) \cdot \sin \theta_n \cdot \cos((180 - \phi_s) - \phi_n)$$

$$L_H = L_T \cdot \cos \text{osi} \cdot (1 - \epsilon_i) + \epsilon_i \dots \dots \dots (2)$$

- osi : Sun incidence angle on the opposite side
- θ_s : terrain slop angle, θ_n : Sun's zenith angle
- ϕ_s : solar azimuth angle, ϕ_n : aspect angle of slop
- L_H : radiance observed for a horizontal surface
- L_T : radiance observed over sloped terrain
- ϵ_i : coefficients in i Band (0~1)

Fig. 2는 식(2)에 의해 지형효과를 보정한 화상(1999.5.21)이며, 지형효과에 의해 생기는 분광성 왜곡영역(그림자 영역)이 대부분 제거된 것을 확인할 수 있다.



Fig. 2. Lnadsat-5 TM imagery after Topographic Effect Normalization

Table 2. correction constants(ϵ) in each band

	99' 5.21	96' 9.1
Band 1	0.887	0.988
Band 2	0.845	0.978
Band 3	0.850	0.953
Band 4	0.355	0.297
Band 5	0.346	0.341
Band 7	0.550	0.619

2) 식생건조지수(VDI) 산출

식생건조지수(Vegetation Drying Index : VDI)는 식생의 엽록소(Chlorophyll) 함유율을 나타내는 정규식생지수(Normalization Difference Vegetation Index)와 Kauth-Thomas의 tasseles cap transformation 중 수분함유율을 나타내는 3번째 공간요소, 즉 수분지수(wetness)를 이용하여 식생지에 있어서 엽록소 함유율의 변화에 따른 수분함유율의 변화량을 상대비율로서 나타낸 것이다. 그러므로 식생건조지수(VDI)는 식생의 엽록소 함유율 변화에만 관계된 것이 아닌, 동일한 엽록소 함유율을 지닌 식생지 내에서의 수분 함유율의 분포를 나타내는 것이며, 다음과 같이 산출할 수 있다.

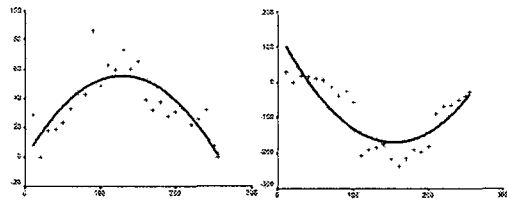
$$VDI_i = \frac{WI_{NDVI, \max} - WI_{NDVI}}{WI_{NDVI, \max} - WI_{NDVI, \min}} \dots \dots \dots (3)$$

$$W_{NDVI, \max} = a \cdot NDVI_i^2 + b \cdot NDVI_i + c$$

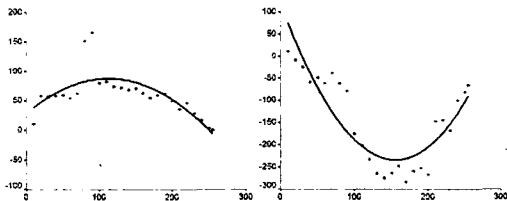
$$W_{NDVI, \min} = a' \cdot NDVI_i^2 + b' \cdot NDVI_i + c'$$

- ①. W_{NDVI} : $NDVI_i$ 값을 갖는 화소들의 수분지수
 ②. $W_{NDVI, \max}$, $W_{NDVI, \min}$: ①의 최대치, 최소치

1) 99'5.21



2) 96'9.1



(F.N. Kogan, 1995)

Fig. 3. $W_{NDVI, \max}$ 와 $W_{NDVI, \min}$ 의 선형회귀식

$W_{NDVI, \max}$ 와 $W_{NDVI, \min}$ 는 화상에서 나타나는 전체 NDVI 중 등간추출로 10개의 표본치(sample value)를 선정하고, 각 표본 NDVI 값을 지닌 화소들의 Wetness 최대치와 최소치와의 관계를 Fig. 3의 선형회귀식으로 추정하여 산출하였다. 각 상관계수 및 관계성을 나타내는 R^2 는 Table 3과 같다.

산출된 두 시기의 $W_{NDVI, \max}$ 과 $W_{NDVI, \min}$ 에 의하여 각각의 식생건조지수(VDI)를 구하고, 화상자료에 적용하여 최종적으로 Fig. 4와 같이 식생건조지수(VDI) 화상을 도출하였다. 전체적으로 볼 때 수분이나 클로로필이 상대적으로 적은 도심지가 가장 건조한 것으로 나타나고 있으며, 산림지에 비해 건조지수 값의 대비가 매우 강

Table 3. Coefficients of $W_{NDVI, \max}$, $W_{NDVI, \min}$

	99'5.21	
	$W_{NDVI, \max}$	$W_{NDVI, \min}$
a(a')	0.8946	-4.0778
b(b')	-0.0034	0.0133
c(c')	-0.5169	142.7952
R^2	0.6492	0.7104
	96'9.1	
	$W_{NDVI, \max}$	$W_{NDVI, \min}$
a(a')	1.0514	-3.6479
b(b')	-0.0047	0.0118
c(c')	27.9967	118.318
R^2	0.6931	0.7852

하게 나타나기 때문에 산림에 있어서는 내부적으로 상세한 차이성을 인지하기 쉽지 않다. 그러므로 원 화상을 이용하여 감독분류의 최대우도분류법(MLC)으로 산림 및 활엽수림, 침엽수림을 각각 분류하고, 추출하여 산림의 식생건조지수도를 작성하였다.

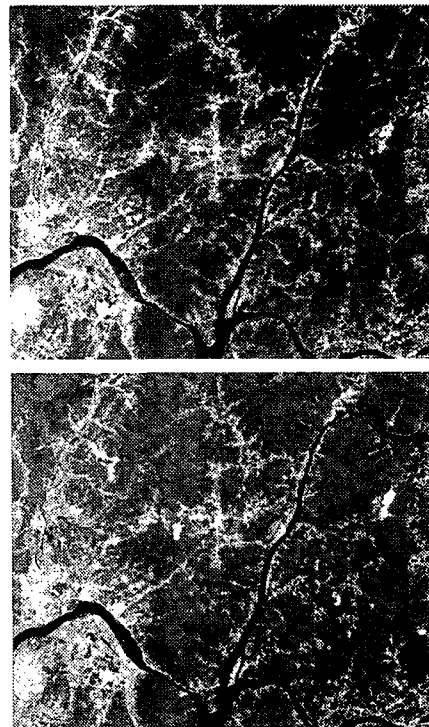


Fig. 4. 식생건조지수(Vegetation Drying Index) 99'5.21(상) & 96'9.1(하)

3. 연구 결과

Fig. 5의 산림 식생건조지수 화상은 식생환경에서 건조지수의 공간적 분포를 잘 나타내고 있다. 실선으로 표시된 부분은 대체적으로 하얗게 나타나고 있어 상대적으로 건조한 지역임을 보여주고 있으며, 점선으로 표시된 부분은 대체적으로 검게 나타나고 있어 상대적으로 습한 지역임을 보여주고 있다.

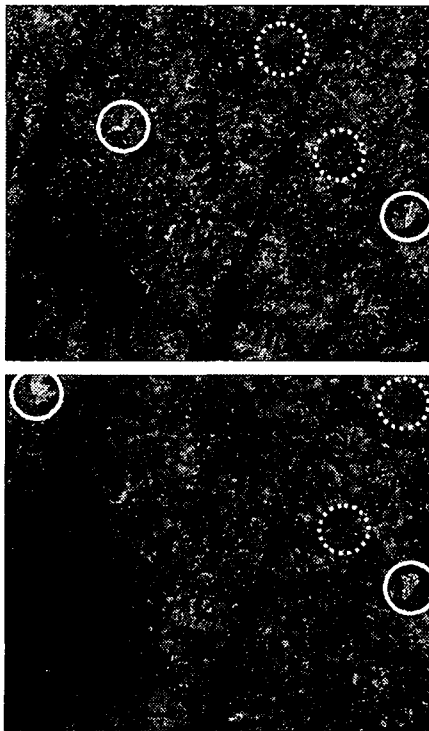


Fig. 5. 산림지의 식생건조지수(VDI) 99'5.21(상) & 96'9.1(하)

산림에서는 대부분 식생건조지수 0.2~0.3을 갖는 것으로 나타났으며, 이는 0.35~0.45를 나타내는 도심지에 비해 상대적으로 덜 건조함을 나타내고 있다.

시계열적으로는 5월 말의 초여름에는 거의 대부분의 식생이 식생건조지수 0.2~0.26에 집중되어 있는데 반해, 9월초의 초가을에는 0.22~0.28에 집중되어 있는

것으로 나타나고 있어, 초가을에서의 증산 작용에 의한 수분배출량의 감소와 광합성에 의한 활력도 저하를 확인할 수 있다.

Table 4. 산림 식생건조지수(VDI) 등급별 면적(비)

VDI	'99.5.21		'96.9.1	
	m ²	%	m ²	%
~0.20	240,688	0.04	11,760	0.00
0.201~0.22	38,530,464	6.83	4,799,648	0.84
0.221~0.24	460,158,608	81.61	128,138,528	22.55
0.241~0.26	63,926,576	11.34	377,706,896	66.47
0.261~0.28	952,560	0.17	55,081,488	9.69
0.281~0.30	8,624	0.00	2,352,784	0.41
0.301~0.40	1,568	0.00	156,016	0.03
0.401~0.50	0	0.00	784	0.00
0.501~	0	0.00	784	0.00
Total	563,819,088	100.00	568,248,688	100.00

Table 5. 침엽수림 식생건조지수(VDI) 등급별 면적(비)

VDI	'99.5.21		'96.9.1	
	m ²	%	m ²	%
~0.20	171,696	0.11	366,128	0.24
0.201~0.22	20,338,528	12.52	4,730,656	3.14
0.221~0.24	124,174,624	76.42	73,500,784	48.81
0.241~0.26	17,514,560	10.78	64,910,496	43.11
0.261~0.28	275,968	0.17	6,552,672	4.35
0.281~0.30	8,624	0.01	384,160	0.26
0.301~0.40	1,568	0.00	140,336	0.09
0.401~0.50	0	0.00	784	0.00
0.501~	0	0.00	784	0.00
Total	162,485,568	100.00	150,586,800	100.00

Table 6. 활엽수림 식생건조지수(VDI) 등급별 면적(비)

VDI	'99.5.21		'96.9.1	
	m ²	%	m ²	%
~0.20	68,992	0.02	0	0.00
0.201~0.22	18,191,936	4.53	68,992	0.02
0.221~0.24	335,983,984	83.72	54,637,744	13.07
0.241~0.26	46,412,016	11.57	312,796,400	74.83
0.261~0.28	676,592	0.17	48,528,816	11.61
0.281~0.30	0	0.00	1,968,624	0.47
0.301~0.40	0	0.00	15,680	0.00
0.401~0.50	0	0.00	0	0.00
0.501~	0	0.00	0	0.00
Total	401,333,520	100.00	418,016,256	100.00

수종별로 살펴보면 초여름 침엽수림에서는 약 76%가 식생건조지수 0.22~0.24를 보이면서 침엽한 정규분포 형태를 이루고 있는데 반해, 초가을에는 약 50%가 0.22~0.24, 약 45%가 0.24~0.26의 식생건조지수를 보이고 있어 초여름에 비해 상대적으로 건조한 상태로서 완만한 정규분포 형태를 보이고 있다.

활엽수림에서도 침엽수림과 비슷한 경향을 보이고 있으나, 초가을에 있어서 약 75%가 0.24~0.26의 식생건조지수를 보이고 있어 침엽수림에 비해 좀더 건조한 상태임을 알 수 있다.

에 있어 대부분 0.2~0.26을 나타내고 있으며, 특히 0.22~0.24의 낮은 식생건조지수를 갖는 식생지가 많이 분포하고 있어 비교적 건조하지 않은 것으로 나타났다. 또한 300 m 이하의 낮은 식생지에서 2.8 이상의 식생건조지수를 나타내고 있어 높은 고도의 능선부나 산록부보다는 낮은 고도의 산저부가 상대적으로 건조한 것으로 나타났다.

초가을의 경우에는 대부분의 식생지가 전체 고도구간에 있어 0.22~0.28의 식생건조지수를 나타내고 있으며, 특히 0.24~0.26의 값을 나타내고 있어 초여름에 비

Table 7. 고도에 따른 식생건조지수(VDI)의 등급별 면적(비) - 1999. 5. 21

(a : 고도에 따른 면적비(%), b : 식생건조지수에 따른 면적비(%))

< 단위 : m² >

VDI	Elevation	0 - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 600	600 - 800	800 -	Total
		0.0 - 0.20	120,736	51,744	31,360	18,816	7,056	5,488	5,488
	a	50.16	21.50	13.03	7.82	2.93	2.28	2.28	100.00
	b	0.16	0.03	0.02	0.02	0.01	0.05	1.08	0.04
0.201 - 0.220		3,279,472	10,905,440	11,262,944	7,392,336	5,187,728	410,032	92,512	38,530,464
		8.51	28.30	29.23	19.19	13.46	1.06	0.24	100
		4.31	6.39	8.04	8.19	6.92	3.65	18.27	6.83
0.221 - 0.240		57,469,552	134,938,944	115,856,384	75,816,720	65,990,848	9,772,560	313,600	460,158,608
		12.49	29.32	25.18	16.48	14.34	2.12	0.07	100
		75.62	79.03	82.67	84.02	88.03	86.95	61.92	81.61
0.241 - 0.260		14,949,312	24,500,784	12,743,136	6,896,064	3,730,272	1,012,928	94,080	63,926,576
		23.39	38.33	19.93	10.79	5.84	1.58	0.15	100
		19.67	14.35	9.09	7.64	4.98	9.01	18.58	11.34
0.261 - 0.280		177,968	333,984	244,608	109,760	47,040	38,416	784	952,560
		18.68	35.06	25.68	11.52	4.94	4.03	0.08	100
		0.23	0.20	0.17	0.12	0.06	0.34	0.15	0.17
0.281 - 0.30		3,920	3,920	784	0	0	0	0	8,624
		45.45	45.45	9.09	0.00	0.00	0.00	0.00	100
		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.30 - 0.40		784	784	0	0	0	0	0	1,568
		50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		76,001,744	170,735,600	140,139,216	90,233,696	74,962,944	11,239,424	506,464	563,819,088
		13.48	30.28	24.86	16.00	13.30	1.99	0.09	100.00
		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

고도에 따른 식생건조지수 분포를 살펴보면, 먼저 초여름의 경우 전체 고도구간

해 상대적으로 건조한 것으로 나타났다. 고도별로는 400~600 m의 고도에서도

0.3~0.4의 높은 식생건조지수를 나타내고 있어 초여름보다 상대적으로 높은 고도까지 건조한 상태를 보이고 있다. 이로써 식생활동이 왕성한 여름에는 상대적으로 산저부가 건조하다가 식생활동이 서서히 줄어드는 가을에 접어들면서 산저부의 식생들과 함께 산록부나 산정부 식생들도 점차 건조해지는 것을 알 수 있다.

은 식생건조지수를 나타내고 있어 상대적으로 매우 건조해진 것을 알 수 있다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 경기도 북부지역을 대상으로 Ladsat-5 TM 화상자료의 정규식생지수(NDVI)와 수분지수(WI)를 이용하여 초여름과 초가을의 식생건조지수(VDI)를

Table 8. 고도에 따른 식생건조지수(VDI)의 등급별 면적(비) - 1996. 9. 1

(a : 고도에 따른 면적비(%), b : 식생건조지수에 따른 면적비(%))

< 단위 : m² >

VDI	Elevation	0 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	400 ~ 600	600 ~ 800	800 ~	Total
		a	7,056	3,136	784	0	784	0	0
	b	60.00	26.67	6.67	0.00	6.67	0.00	0.00	100.00
0.00 ~ 0.20	a	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	b	1,520,960	1,553,104	1,159,536	447,664	117,600	784	0	4,799,648
0.201 ~ 0.220	a	31.69	32.36	24.16	9.33	2.45	0.02	0.00	100.00
	b	1.98	0.89	0.83	0.50	0.16	0.01	0.00	0.84
0.221 ~ 0.240	a	17,737,216	45,663,296	33,069,904	17,983,392	12,472,656	1,045,072	166,992	128,138,528
	b	13.84	35.64	25.81	14.03	9.73	0.82	0.13	100.00
	c	23.08	26.15	23.70	19.95	16.63	9.12	25.76	22.55
0.241 ~ 0.260	a	47,041,568	108,517,360	93,179,968	63,236,656	56,048,944	9,291,968	390,432	377,706,896
	b	12.45	28.73	24.67	16.74	14.84	2.46	0.10	100.00
	c	61.21	62.15	66.78	70.15	74.73	81.06	60.22	66.47
0.261 ~ 0.280	a	9,887,808	17,828,160	11,619,664	8,272,768	6,276,704	1,106,224	90,160	55,081,488
	b	17.95	32.37	21.10	15.02	11.40	2.01	0.16	100.00
	c	12.86	10.21	8.33	9.18	8.37	9.65	13.91	9.69
0.281 ~ 0.30	a	633,472	991,760	446,096	190,512	70,560	19,600	784	2,352,784
	b	26.92	42.15	18.96	8.10	3.00	0.83	0.03	100.00
	c	0.82	0.57	0.32	0.21	0.09	0.17	0.12	0.41
0.30 ~ 0.40	a	29,008	50,176	51,744	12,544	12,544	0	0	156,016
	b	18.59	32.16	33.17	8.04	8.04	0.00	0.00	100.00
	c	0.04	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03
0.40 ~ 0.50	a	784	0	0	0	0	0	0	784
	b	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	c	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50 ~ 0.60	a	784	0	0	0	0	0	0	784
	b	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	c	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	a	76,858,656	174,606,992	139,527,696	90,143,536	74,999,792	11,463,648	648,368	568,248,688
	b	13.53	30.73	24.55	15.86	13.20	2.02	0.11	100.00
	c	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

또한 초여름의 최대 식생건조지수가 0.3~0.4으로 나타났던 것과는 달리 100 m 이하의 식생지에서 최대 0.4~0.6의 높

산출하고 산림의 시계열 식생건조지수 변화분석을 시행하였다.

본 연구에서는 시계열 식생건조지수 변

화분석을 위해 먼저 단일 시기에 있어서 식생건조지수의 공간적 분포를 분석하고, 이를 바탕으로 다중시기의 시간적 변화 분석을 시행하였다.

시계열 식생건조지수 변화는 식생의 활력도 변화와 깊은 관련이 있기 때문에 그 분석결과는 산림 병충해나 지력저하 등에 의한 피해정도를 탐지할 수 있는 기초자료로서 제공될 수 있으며, 식생의 건조지수 분포도를 분석함으로써 산불피해를 미연에 방지할 수 있는 기초자료로서 제시될 수 있다.

시계열 식생건조지수 변화분석을 통해 본 연구에서 도출한 결과는 다음과 같이 세가지로 요약할 수 있다.

첫째, 단일시기 산림의 식생건조지수 공간적 분포도는 산림관리 및 재해예방을 위한 기초 정보를 제공한다.

둘째, 초여름의 최대 식생건조지수가 0.3~0.4인데 비해 초가을에는 0.4~0.6으로 나타나고 있어 활엽수림 및 침엽수림 모두 초여름보다 초가을에 있어서 더욱 건조한 것을 확인할 수 있으며, 초가을에 있어서는 활엽수림이 침엽수림보다 상대적으로 건조하다.

셋째, 고도별로는 높은 고도의 능선부나 산록부보다는 낮은 고도의 산저부가 상대적으로 건조하며, 초가을에는 400~600 m의 고도에서도 0.3~0.4의 높은 식생건조지수를 나타내고 있어 상대적으로 높은 고도의 산록부까지 건조한 상태를 보인다.

본 연구를 통해 제시된 시계열 식생건조지수 변화분석의 결과는 토양도 및 임상도와 같은 자료와 함께 향후 산림경영

을 위한 기초자료로서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

[인용문헌]

- 1) John R. Jensen, 1996, Introductory Digital Image Processing, second edition, pp.122~124.
- 2) John R. Jensen, 2000, Remote Sensing on The Environment, pp.361~365.
- 3) ERDAS LCC, 2002, ERDAS Field Guide-Sixth Edition, pp.363~366.
- 4) Kyu-Sung Lee and Jung-Sook Yoon, 1997, Journal of the Korean Society of Remote Sensing, 13(3):277~292.
- 5) Peng-xin Wang, 2001, Vegetation Temperature Condition Index and Its Application for Drought Monitoring, IEEE.