

산불피해지역에서 정규산화율지수와 정규식생지수의 비교분석

Comparative Analysis between Normalized Burn Ration and Normalized Difference Vegetation Index in Forest Fire Damage Area

최승필¹⁾ · 박종선²⁾

Choi, Seung Pil · Park, Jong Sun

Abstract

Analysis on forest through satellite image data can be obtained from normalized burn ration (NBR) and normalized difference vegetation index (NDVI) from descriptive information of reflection on the earth's surface recorded each waveband. This study focuses on the efficiency of NBR through comparative analysis after obtaining NBR and NDVI of images from 1 year, 2 years and just after the forest fire and the time of forest-preserved of the area before the forest fire in Sacheon myeon, Gangneung City where the forest fire broke out. As a result, it shows dynamic changes with greater range that differences between NBR images rather than differences between NDVI images, which means it would be better to use NBR image for the analysis of the degrees of damages from forest fire or the status of vegetation restoration and also NBR image more distinctly shows both than NDVI image in forest fire damage area.

Keywords : Forest fire damage, Satellite image data, Normalized Burn Ration, Normalized Difference Vegetation Index, Image differencing method

요 지

위성영상자료를 통해 각 파장대별로 기록된 지표면에 대한 반사특성정보로 정규산화율지수(NBR)나 정규식생지수(NDVI)를 구하여 산림에 대한 분석을 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 산불이 발생한 강릉시 사천면 지역을 중심으로 산불 발생이전 산림이 온전하였던 시기의 영상과 산불 발생 직후, 발생 1년 후 그리고 2년 후의 영상으로 정규산화율지수와 정규식생지수를 각각 구하여 이 지수를 비교 분석함으로써 정규산화율지수의 효용성을 강조하였다. 그 결과 NBR 영상간 차이가 NDVI 영상간 차이보다 큰 범위의 동적변화를 보이고 있으므로 산불피해강도나 식생회복상태 분석 시 NBR 영상을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단되며, 산불피해 지역에서도 NBR 영상이 NDVI 영상보다 산림피해강도나 회복상태를 더욱 뚜렷하게 보여주고 있다.

핵심용어 : 산불 피해, 위성영상자료, 정규산화율지수, 정규식생지수, 영상간 차이법

1. 서 론

산림은 지구환경을 구성하는 대표적 육상생태계로서 다양한 경제적, 환경적 가치를 창출하고 있으며 인류의 지속적인 발전을 위해 필수 불가결한 자원이다. 그러나 세계의 산림은 무절제한 개발과 비합리적인 산림 경영, 산불 등에 의해 황폐화 현상이 심화되고 있다. 그 중에서도 산불에

의한 산림피해가 큰 비중을 차지하고 있으며, 우리나라에서도 1996년 봄 고성 대형 산불 이후 만 4년 만에 또다시 2000년 고성, 강릉, 동해, 삼척 등지에서 연이어 대형 산불이 발생하였다(최승필 등, 1998). 이에 따른 산림자원 피해는 물론 수많은 가옥, 축사, 가축들이 불타는 등 재산 피해도 상당히 컸다(강릉시, 2001). 이러한 대형 산불 피해지역은 생태적 및 경제적으로 관리되고 복원되어야 할 필요가

1) 연결저자 · 정희원 · 관동대학교 SOC공학부 교수(E-mail:spchoi@kwandong.ac.kr)

2) 정희원 · 관동대학교 공과대학 토목공학과 박사과정(E-mail:lovepark@samcheok.ac.kr)

있다(원강영 등, 2001). 그러기 위해서는 무엇보다도 대형 산불 발생 후 이를 어떻게 조사, 복원하는가에 따라 생태적 회복정도가 상이해져 이에 대한 연구의 필요성이 높은 실정이다.

따라서 산불에 의한 산림의 피해를 조사하고 산불발생 이후의 산림변화 또는 회복되어 가는 과정을 조사하기 위해서 근래에 산림과 관련해서 수행되는 많은 연구들이 위성영상을 주제로 하는 해석방법을 자주 사용하고 있다. 이것은 원격탐사 기술이 넓은 범위를 동시에 관측할 수 있다는 경제적 및 점을 가지고 있고, 같은 장소에 대하여 반복적인 관측을 실시함으로써 시계열적 분석이 가능한 자료를 수시로 받아볼 수 있으며, 또한 사람이 접근하기 곤란한 산림과 산악지대에 대해 효과적인 조사를 수행할 수 있기 때문이다(양인태 등, 1999). 이들 인공위성 영상자료는 육안으로 관독이 가능할 뿐만 아니라 주로 컴퓨터시스템을 이용해서 분석하기 때문에 보다 과학적이고, 산불피해 지역에 대한 면적 계산이나 도면 작성을 신속하게 처리할 수 있다. 특히 영상분석의 정확도를 높이기 위하여 관측시기가 서로 다른 시계열 위성 영상자료를 이용하여 산림변화를 탐지하기 위해서는 먼저 개별영상에 대해 방사보정을 실시하는데 이를 위해서 Landsat 영상자료의 관측시기 및 센서의 차이에 의해 발생하는 반응특성차이를 제거하기 위하여 각 화소의 픽셀 값을 Reflectance값으로 변환 하였다(Markham, Barker, 1986 ; NASA, 1998). 또한, Landsat TM과 ETM+영상의 밴드4와 밴드7의 반사율이 산불피해 지역에 대하여 가장 민감하게 반응 한다는 사실에 착안하여

새로운 산화율지수를 제시하였다(Key, Benson, 1999). 그러므로 인공위성 센서를 통해 각 파장대별로 기록된 지표면에 대한 반사특성 정보로 정규산화율지수(Normalized Burn Ratio)나 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index)를 구하여 산림에 대한 분석을 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 산불이 발생한 강릉시 사천면 지역을 중심으로 산불 발생이전 산림이 온전하였던 시기의 영상과 산불 발생 직후, 발생 1년 후 그리고 2년 후의 영상으로 정규산화율지수(NBR)와 정규식생지수(NDVI)를 각각 구하여 이 지수를 비교 분석함으로써 정규산화율지수의 효용성을 강조하는데 목적이 있다.

2. 조사 대상지역

본 연구는 그림 1과 같이 2000년 강릉시 사천면 일대에 서 발생한 산불피해 지역을 중심으로 Landsat TM 영상 3개와 ETM+ 영상 1개를 이용하여 조사대상 지역에서 영상자료의 각 밴드별 반사율을 이용하여 정규산화율지수와 정규식생지수를 구하고, 산불피해강도와 산림회복상태를 분석하였다.

3. 인공위성 영상

본 연구에 사용한 영상은 Landsat TM, ETM+ 영상으로 7개의 밴드를 가지고 있는 공간해상도 30m의 다중분광영상이다. 시계열 변화를 측정하기 위해서는 두 시기간의 시

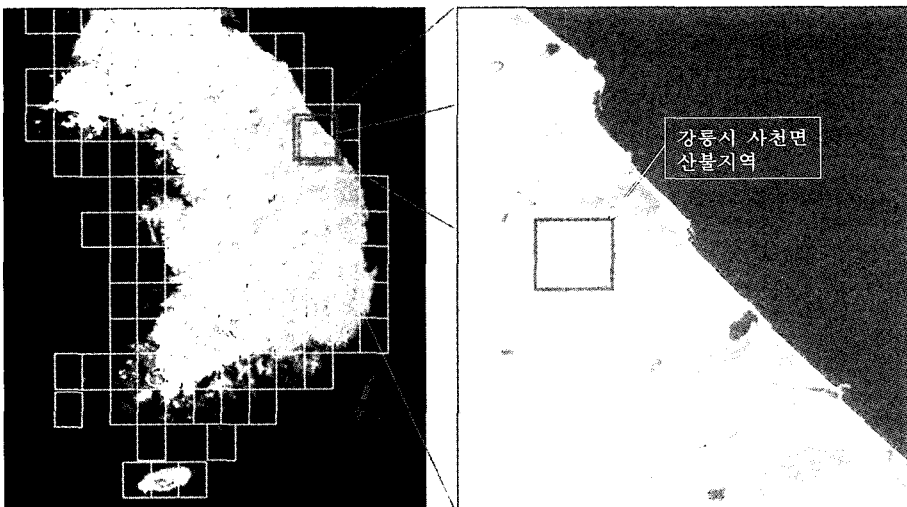


그림 1. 연구대상지역

표 1. 위성영상 자료

위성 명	센서 명	Path/Row	촬영일자	비 고
Landsat	TM	114/34	1992년 5월 19일	산불발생 전
	TM	114/34	2000년 5월 25일	산불발생 직후
	TM	114/34	2001년 5월 28일	산불발생 1년 후
	ETM+	114/34	2002년 5월 23일	산불발생 2년 후

간차가 최소가 되는 것이 이상적이다. 따라서 본 연구에서는 산불이 발생하기 전인 1992년 5월 19일영상과 산불이 발생한 직후, 1년 및 2년이 경과한 시점의 영상인 2000년 5월 25일, 2001년 5월 28일, 2002년 5월 23일의 영상을 각각 분석에 이용하였다.

4. 영상처리

정규산화율지수와 정규식생지수를 각각 구하여 산림피해강도와 산림회복상태를 분석하기 위한 영상처리과정은 그림 2와 같다.

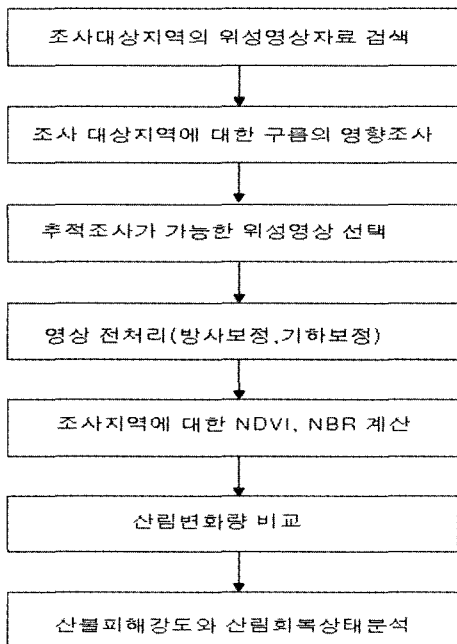


그림 2. 영상처리과정

4.1 방사보정

원격탐사에 있어서 지표물체로부터의 반사 값이 인공위

성에 도달할 때 까지는 흡수 산란으로 인한 영향으로 그 값이 감소하게 된다. 따라서 관측시기가 서로 다른 영상자료를 이용하여 산림변화를 조사하기 위해서는 먼저 방사보정을 하여야만 한다. 즉, 다시기 영상자료의 관측시기 및 센서의 차이에 의한 반응특성 차이를 제거하고 산불발생 전후의 정량적 분석을 위해서 Markham과 Barker(1986), NASA(1998)의 변환 모델 식 (1), 식 (2)를 이용하여 각 화소의 픽셀 값을 Reflectance 값으로 변환하여 사용하였다.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{Lmax_{\lambda} - Lmin_{\lambda}}{QCALmax - QCALmin} \right) \times (QCAL - QCALmin) + Lmin_{\lambda} \quad (1)$$

여기서, 각 매개변수들은

L_{λ} : Spectral Radiance at the sensor's aperture

$QCAL$: the quantized calibrated pixel value in DN

$Lmin_{\lambda}$: the spectral radiance that is scaled to $QCALMIN$

$Lmax_{\lambda}$: the spectral radiance that is scaled to $QCALMAX$

$QCALmin$: the minimum quantized calibrated pixel value in DN=0

$QCALmax$: the maximum quantized calibrated pixel value in DN=255

을 나타낸다.

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (2)$$

여기서, 각 매개변수들은

ρ_p : Unitless planetary reflectance

L_{λ} : Spectral Radiance at the sensor's aperture

d : Earth-Sun distance in astronomical units

$ESUN_{\lambda}$: Mean solar exoatmospheric irradiances

θ_s : Solar zenith angle in degrees

표 2. 1992년 5월 19일 영상의 방사보정 통계자료

구분 통계 값	방사보정 전			방사보정 후		
	BAND3	BAND4	BAND7	BAND3	BAND4	BAND7
최소 값	26.00	41.00	5.00	0.04	0.10	0.01
최대 값	134.00	145.00	135.00	0.23	0.38	0.35
평균 값	45.59	86.14	30.91	0.08	0.22	0.07
표준편차	12.27	15.14	15.09	0.02	0.04	0.04

을 나타낸다.

NBR과 NDVI 값을 구하는데 필요한 밴드3, 밴드4, 밴드7에 대한 방사보정전과 후의 픽셀 값에 대한 통계자료는 표 2와 같다.

4.2 기하보정

위성 영상자료는 실제 지도좌표와 일치시키는 기하보정을 위해서 각 영상자료가 동일한 좌표체계를 지니고 있어야 한다. 이를 위해 지상기준점(Ground Control Points)을 선정하여 영상자료를 지도좌표계에 일치시키는 기하보정을 실시하였다

지상기준점에 대한 정확한 좌표 값을 지도에서 읽어내기 위해서 해당지역의 1:25,000 축척의 수치지도를 사용하여 정확도를 높였다.

위성영상의 좌표변환은 PG Steamer S/W에 내장된 Landsat 위성의 센서모델을 이용하였고 화소의 크기를 30m×30m으로 정하여 최근근내삽법(Nearest Neighbor)을 사용하여 재배열하였다. 일반적으로 변화탐지에서 요구되는 최소 RMSE 오차범위는 0.5 화소 이내인데 표 3에 제시한 GCP보정 자료와 같이 정합 처리한 영상의 전체 RMSE 오차는 0.20~0.37 화소로 만족스럽게 나타났다.

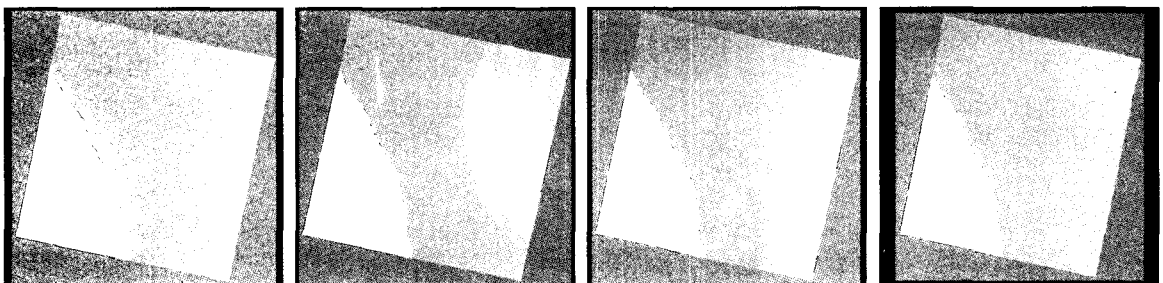
기하보정 후의 위성영상을 RGB합성하여 그림 3에 나타내었다.

4.3 산불피해지역에서 정규산화물지수 및 정규식생지수

Key and Benson(1999)은 Landsat TM, ETM+ 영상의 밴드 7과 밴드 4의 반사율이 산불에 대하여 가장 민감하며, Landsat TM, ETM+ 영상의 밴드 7의 반사 값은 산불발생

표 3. 1992년 5월 19일 영상의 GCP보정 자료

GCP ID	Image X	Image Y	Reference X	Reference Y	Error X	Error Y	Error
9 (On)	1959.44	2744.50	212734.05	443846.73	0.04	-0.24	0.24
2 (On)	2757.47	1817.00	230589.53	413852.03	0.31	-0.07	0.32
6 (On)	2377.43	2339.00	222492.17	430391.45	0.08	0.30	0.31
3 (On)	2786.00	1860.00	231597.26	414909.33	-0.25	-0.05	0.25
11 (On)	1847.95	2904.95	210392.86	448906.78	-0.14	-0.02	0.14
4 (On)	2620.95	2042.57	227865.55	420849.79	-0.00	-0.19	0.19



1992년 5월 19일

2000년 5월 25일

2001년 5월 28일

2002년 5월 23일

그림 3. 기하보정 후의 위성영상

후 증가하며 밴드 4의 반사 값은 오히려 감소하게 된다는 사실에 착안하여, 정규식생지수와 비슷한 정규산화율지수를 제안하였다. 그리고 산화율지수는 식생지수와 같이 산불발생 전후의 식생의 피복정도에 따라 $-1 \leq NBR \leq 1$ 의 값을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 정규식생지수와와의 비교를 용이하게 하기 위하여 0에서 255 사이의 값을 갖는 8bit 정수자료로 변환하여 새로운 산화율지수를 식 (3)으로 나타내었다.

$$NBR = \left(\frac{(T_4 - T_7)}{(T_4 + T_7)} + 1 \right) \times 127.5 \quad (3)$$

여기서, T_4 , T_7 은 각각 Band4와 Band7의 픽셀 값이다.

근적외선파장대에서의 반사율과 적색파장대에서의 반사율과의 차이를 그 합으로 나누어서 산출한 식생지수는 식생의 피복정도에 따라 $-1 \leq NDVI \leq 1$ 의 값을 갖는다. 즉, 식생이 전혀 없는 인공구조물은 -1을 식생이 울창한 지역은 1의 값을 갖는다(後藤惠之輔, 2003).

이때 음수 값을 제거하고 원 영상 자료의 밴드별 화소 값이 8bit 정수 값을 갖고 있으므로 이를 변환시켜 식 (4)에서와 같이 0에서 255 사이의 밝기 값을 갖도록 변환된 새로운 식생지수를 나타내었다(Wulder and Franklin, 2003).

$$NDVI = \left(\frac{(T_4 - T_3)}{(T_4 + T_3)} + 1 \right) \times 127.5 \quad (4)$$

여기서, T_3 , T_4 는 각각 Band3과 Band4의 픽셀 값이다.

4.4 산림 변화량

본 연구는 분류 전 분석법 중 영상간 차이법(image differencing method)을 이용하여 산림변화량을 구하여 비교하였다. 영상간 차이법은 관측시기가 다른 두 시기 즉, t_1 과 t_2 의 위성영상에서 서로 같은 위치에 있는 화소(pixel)들의 반사 값을 다음 식 (5)에서와 같이 그 차이를 구해서 산림변화량을 구하였다(이승호 등, 2001).

$$DP^k_{ij} = P^k_{ij}(t_2) - P^k_{ij}(t_1) \quad (5)$$

여기서, P^k_{ij} : 밴드 k의 화소 값

i, j : 영상에서의 x, y위치

이 때 변화량이 크게 일어난 지역은 양(+)이나 음(-) 값을 가지면서 그 차이가 크게 나타나고, 변화가 거의 없거나 적은 지역에서는 0에 가까운 값을 갖는다.

5. 영상분석

5.1 지수산출

산불이 발생한 강릉시 사천면 지역을 대상으로 정규산화율지수(NBR) 및 정규식생지수(NDVI)를 산불발생 이전(1992년 5월 19일)과 산불발생 직 후(2000년 5월 25일) 그리고 1년 후(2001년 5월 28일), 2년 후(2002년 5월 23일)로 나누어 각각 산출한 영상을 그림 4에 나타내었다.

그리고 이 지역에 대한 정규산화율지수(NBR), 정규식생지수(NDVI)에 대한 통계 값을 구하여 표 4에 나타내었다.

NBR	1992.5.19	2000.5.25	2001.5.28	2002.5.23	76-105
					105-135
NDVI	1992.5.19	2000.5.25	2001.5.28	2002.5.23	135-165
					165-195
					195-225
					225-255
구분	1992.5.19	2000.5.25	2001.5.28	2002.5.23	범례

그림 4. NBR 및 NDVI 영상

표 4. NBR 및 NDVI 통계 값

통계 값	영상	NBR				NDVI			
		1992.5.19	2000.5.25	2001.5.28	2002.5.23	1992.5.19	2000.5.25	2001.5.28	2002.5.23
평균		194.27	148.27	164.52	179.89	189.07	165.89	185.03	189.04
표준편차		17.18	26.73	22.98	19.96	13.16	14.35	18.05	17.03
최소 값		116.89	95.39	107.52	124.14	138.66	123.99	128.05	136.69
최대 값		244.11	243.91	248.21	248.28	219.59	215.98	230.25	230.00

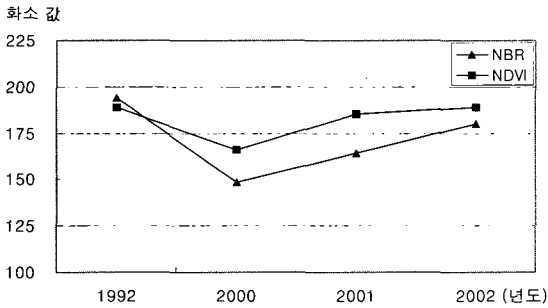


그림 5. NBR 및 NDVI 지수변화

산불발생 직후인 2000.5.25 영상에서 NBR 평균값은 148.27로 산불발생 이전의 194.27보다 상당히 낮게 나타났고, 산불발생 1년 후, 2년 후에는 NBR 값이 높아져 감으로 식생이 많이 회복되어 가고 있음을 보여준다. 마찬가지로 NDVI의 경우, 산불발생 직후 NDVI 평균값은 165.89로 나타나 산불발생 이전의 189.07보다 상당히 낮게 나타났고, 산불

발생 1년 후, 2년 후에는 NDVI 평균값이 각각 185.03, 189.04로 높아져 감으로 산림이 점차 회복되어 가고 있음을 보여 주고 있다. 그림 5는 산불이 발생한 지역을 대상으로 정규산화율지수(NBR)와 정규식생지수(NDVI)의 변화를 각각 그래프로 나타내었다.

산불이 발생한 지역에서 NBR이 NDVI보다 산불 발생 이후 식생회복 상태를 더욱 뚜렷하게 보여주고 있다. 즉, NDVI가 2001년 영상과 2002년 영상 사이에서 회복상태가 크지 않고 1992년 영상과 2002년 영상의 평균값이 거의 유사하게 나타나는데 반하여 NBR은 산림회복 상태를 뚜렷하게 보여주고 있다. 실제 현장의 식생회복상태를 볼 때 NBR이 NDVI보다 산불 발생지역에서 식생회복상태를 잘 반영한다고 볼 수 있다.

5.2 산림변화량

그림 6은 산불이 발생한 강릉시 사천면 지역을 대상으로 NBR지수와 NDVI지수의 영상간 차이에 의한 식생상태를

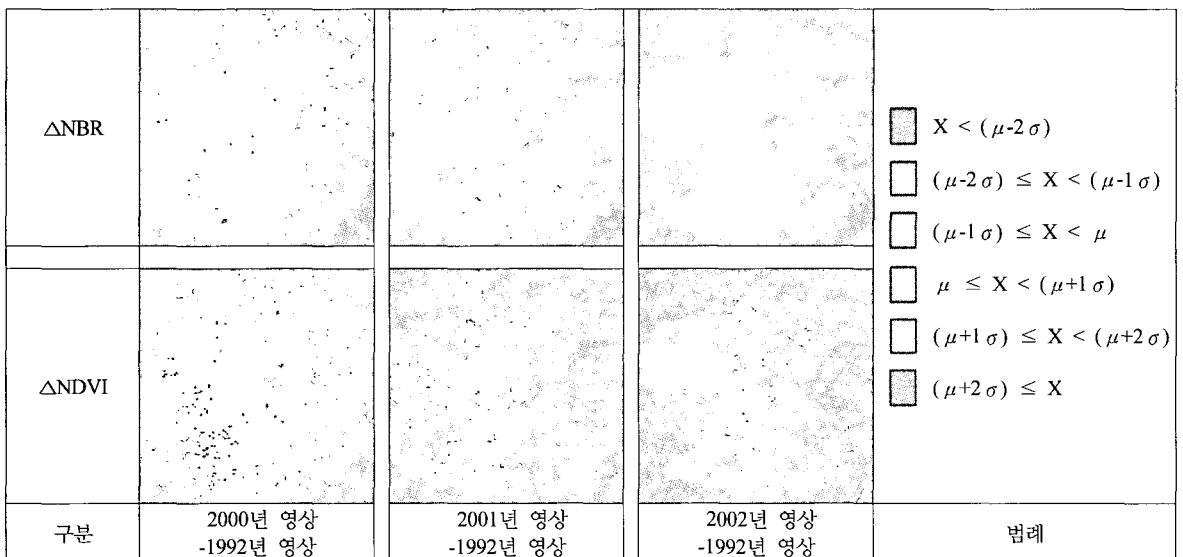


그림 6. 산불발생지역의 영상간 차이

표 5. 산불피해 및 식생회복 등급별 면적비율 통계 값

(단위 %)

피해등급	구 간	ΔNBR			ΔNDVI		
		2000-1992	2001-1992	2002-1992	2000-1992	2001-1992	2002-1992
Extreme	$X < (\mu - 2\sigma)$	0.11	0.00	0.00	0.55	0.11	0.03
High	$(\mu - 2\sigma) \leq X < (\mu - 1\sigma)$	16.51	2.47	0.12	16.03	3.40	2.08
Moderate High	$(\mu - 1\sigma) \leq X < \mu$	38.92	27.90	10.44	37.50	13.49	9.57
Moderate Low	$\mu \leq X < (\mu + 1\sigma)$	29.34	44.17	43.47	29.54	30.68	28.46
Low	$(\mu + 1\sigma) \leq X < (\mu + 2\sigma)$	11.40	21.52	38.37	13.21	37.49	39.43
Unburned	$(\mu + 2\sigma) \leq X$	3.72	3.94	7.60	3.17	14.84	20.43

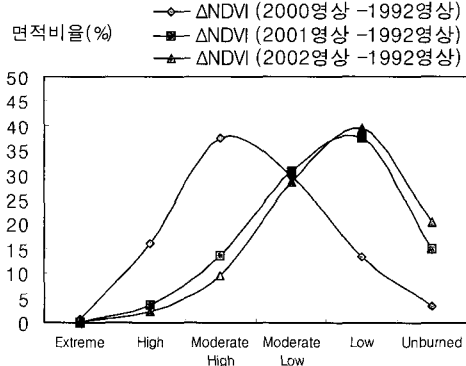
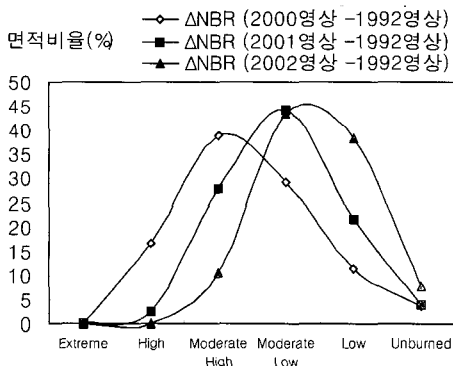


그림 7. 산불피해 및 식생회복 등급별 면적분포도

1992년 영상과 2000년 영상간 차이의 평균값(μ)을 중심으로 표준편차(σ) 단위로 6개 구간으로 나누어 시각적으로 나타낸 것이다.

즉, 산불이 발생하지 않은 1992년 영상을 기준으로 산불 발생 직후인 2000년 영상간의 차이, 산불발생 1년 후인 2001년 영상간의 차이, 산불발생 2년 후인 2002년 영상간의 차이를 시각적으로 보여준다. 그리고 이 산림변화 영상에 대하여 산불피해 및 식생회복정도를 6등급으로 나누어 면적비율로 나타내었다. 즉 산불 발생 직후인 2000년 영상과 1992년 영상간 차이의 평균값(μ), 표준편차(σ)를 적용하여 산정한 구간을 기준으로 산출한 면적비율 통계 값을 표 5에 나타내었으며 이것을 도표로 나타낸 것이 그림 7이다.

표 5 및 그림 7에서 알 수 있듯이 산불발생 1년 및 2년 후의 영상분석 시 ΔNBR 영상의 경우 Moderate High 등급에서 27.90 및 10.44, Low 등급에서 21.52 및 38.37로 경년 변화 추세를 잘 반영하고 있으나 ΔNDVI 영상의 경우는 산불발생 1년 및 2년 후의 영상분석 시 Moderate High 등급에서 13.49 및 9.57, Moderate Low 등급에서 30.68 및 28.46, Low 등급에서 37.49 및 39.43으로 산림변화추세를

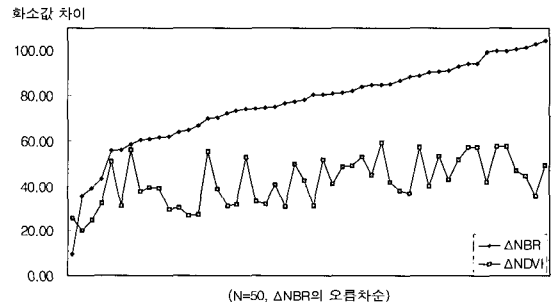


그림 8. 영상간 차이에 의한 ΔNBR과 ΔNDVI의 동적변화

잘 반영하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 또한 ΔNBR 영상이 ΔNDVI 영상보다 산불피해 강도와 산림회복상태를 보다 쉽게 알 수 있으므로 어느 지역의 산림이 더 심하게 산불 피해를 입었는지와 어느 지역의 산림이 더 회복되어 가는지를 쉽게 파악할 수 있다.

그림 8은 산불발생 직후인 2000년 영상에서 산불발생 전인 1992년 영상간 차이인 ΔNBR 영상, ΔNDVI 영상에서 샘플 지점이 산불피해지역에 고루 분포되게 전체 14,400화

소 중에서 무작위로 추출하여 50개 지점을 선정하였고, 이 지점의 화소 값을 각각 추출하여 도시한 것이다.

이 그림에서 NBR영상의 차이가 NDVI의 영상간의 차이보다 큰 범위의 동적변화를 보이고 있으므로 산불발생 지역에서 산불피해강도나 식생회복상태 분석 시 NBR영상을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

6. 결 론

Landsat 위성영상자료를 이용하여 2000년 4월 강릉시 사천면 일대에서 발생한 산불피해지역에서 정규산화율지수와 정규식생지수를 각각 구하여 이 지수를 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 산불피해 지역에서는 NBR영상이 NDVI영상보다 산불피해강도나 회복상태를 더욱 뚜렷하게 보여주고 있으므로 어느 지역이 더 심하게 산불 피해를 입었는지와 어느 지역의 산림이 더 회복되어 가는지를 보다 쉽게 파악할 수 있다.

둘째, Δ NBR 영상의 경우 산림의 경년변화추세를 잘 반영하고 있으나 Δ NDVI 경우는 산불발생 1년 및 2년 후의 영상 분석에서는 잘 반영하지 못하고 있는 것으로 판단된다.

셋째, NBR영상간 차이가 NDVI영상간 차이보다 큰 범위의 동적변화를 보이고 있으므로 NBR영상으로 산불피해강도나 식생회복상태를 보다 더 정확히 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강릉시 (2001), 2000년 강릉산불백서, 강릉시청, pp. 131-171.
- 양인태, 김웅남 (1999), 근적외선 디지털 카메라에 의한 수목의 NDVI추출과 분석, 대한토목학회 논문집, 제19권, 제III-1호, pp. 49-57.
- 원강영, 임정호 (2001), 단일시기의 Landsat 7 ETM+ 영상을 이용한 산불피해지도 작성, 대한원격탐사학회지, 제17권 제1호, pp. 86-97.
- 이승호, 김철민 (2001), Landsat TM영상을 이용한 산불발생지역의 탐지, 대한원격탐사학회 춘계학술대회.
- 최승필, 유영걸, 김웅남, 양인태 (1998), GIS에 의한 산불피해 지점의 공간분포분석, 대한토목학회 학술발표회 논문집(IV), pp. 485-488.
- 後藤惠之輔 (2003), 2002년 韓國豪雨被害의現地調査と衛星リモートセンシング, 2002年朝鮮半島における豪雨洪水土砂災害に関する調査研究 成果 報告書, pp. 53-66.
- NASA(1998), <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook>
- Key, C.H. and Benson, N.C. (1999), The Normalized Burn ratio, a Landsat TM ratio metric index of burn severity incorporating multi-temporal differencing (<http://nrmisc.usgs.gov>).
- Markham, B.L. and L.J. Barker (1986), Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures, *EOSAT Technical Notes*, pp. 3-8.
- Michael A. Wulder and S. E. Franklin (2003), Remote Sensing of Forest Environments, *Kluwer Academic Publishers*, pp. 182-197.
-
- (접수일 2004. 8. 31, 심사일 2004. 9. 10, 심사완료일 2004. 9. 24)