

Landsat NBR지수를 이용한 대형산불 피해지 구분 및 피해강도의 정량적 분석

An Quantitative Analysis of Severity Classification and Burn Severity At the Large-fire Areas Using NBR Index of Landsat Imagery

원명수*, 구교상*, 이명보*

Myoung Soo Won · Kyo Sang Koo · Myung Bo Lee

Abstract

To monitor process of vegetation rehabilitation at the damaged area after large-fire is required a lot of manpowers and budgets. However the analysis of vegetation recovery using satellite imagery can be obtaining rapid and objective result remotely in the large damaged area. Space and airborne sensors have been used to map area burned, assess characteristics of active fires, and characterize post-fire ecological effects. Burn severity incorporates both short- and long-term post-fire effects on the local and regional environment. Burn severity is defined by the degree to which an ecosystem has changed owing to the fire. To classify fire damaged area and analyze burn severity of Samcheok fire area occurred in 2000, Cheongyang fire 2002, and Yangyang fire 2005 was utilized Landsat TM and ETM+ imagery. Therefore the objective of the present paper is to quantitatively classify fire damaged area and analyze burn severity using normalized burn index(NBR) of pre- and post-fire's Landsat satellite imagery.

Key words : burn severity, normalized burn ratio, satellite imagery, large-fire areas, remote sensing and geographical information systems

1. 서 론

최근 5년간(2001-2005) 발생한 산불 2,715건 중 건조한 봄철(3월-5월)에 발생한 산불이 1,824건으로 전체의 67%를 차지하고 있다(Won *et al.*, 2006). 이는 봄철이 다른 계절보다 강우량이 적고 맑은 날이 많아 상대습도가 가장 낮은 시기이면서 산림내 건조한 낙엽이 많이 쌓여 어느 시기보다도 위험한 상태이기 때문이다(Lee *et al.*, 2004). 이와 같은 원인으로 1996년 고성산불(3,762ha)과 2000년 4월 동시다발적으로 발생한 동해안 산불(23,794ha), 2002년 서해안과 인접한 청양·예산산불(3,095ha)로 인해 산림피해는 물론 심각한 재산피해를 입었다. 특히, 2005년 낙산사를 폐허로 만든 양양산불(973ha)은 면적상으로는 상대적으로 크지는 않았으나 각종 문화재가 불에 타는 등 최근 들어 산불이 점차 대형화될 뿐만 아니라 숲이 울창해 지면서 그 피해도 점차 커지고 있는 추세에 있다(이, 2006).

산불은 조사자의 접근이 어려운 험한 산지로 확산되는 경우가 많으므로 산불에 의한 산림식생의 피해를 조사하고 회복되는 과정을 모니터링하여 산불피해지의 복구계획 수립에 반영하기 위해서는 인공위성 영상자료를 이용하는 것이 효과적이다. 인공위성 센서를 통해 각 밴드별로 획득한 지표면에 대한 반사특성값이 산불발생 전과 이후의 현상을 특징적으로 나타내어 주기 때문이다.

대형산불 발생 후 이를 어떻게 복원하는가에 따라 생태적 회복속도가 상이해져 이에 대한 연구의 필요성이 높은 실정이다. 원격탐사를 이용한 식생분석은 대규모 지역에서 신속하고 객관적인 분석결과를 얻을 수

* 정희원 · 국립산림과학원 산불연구과 · E-mail: mswon@foa.go.kr

있다는 점에서 효용성이 있어 이러한 결과를 다른 분야에 제공함으로써 연구과제의 연결성과 분석의 효용성을 최대화할 수 있다(환경부, 2002).

따라서 본 연구에서는 2000년, 2002년, 2005년 4월에 대형산불이 발생한 삼척, 청양·예산 그리고 양양지역을 대상으로 Landsat 위성영상 자료를 분석하여 산불발생 피해지역을 탐지하여 피해지를 구분하고, 산불피해 전후 동일시기에 관측된 위성영상자료를 이용하여 정규탄화지수를 유도 평가하여 산불피해지역의 피해강도를 정량적으로 분석하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 사용자료

본 연구는 2000년 이후 발생한 삼척(2000.4.7), 청양·예산(2002.4.14), 양양(2005.4.4) 대형산불 피해지역을 대상으로 하였다. 산불피해지역의 피해강도 분석을 위해 Landsat TM과 ETM+ 영상을 사용하였다. Landsat TM, ETM+는 가시광선, 근적외선, 중적외선 대역의 7개 밴드를 가지고 있는 30m 공간해상도의 다중분광영상이다.

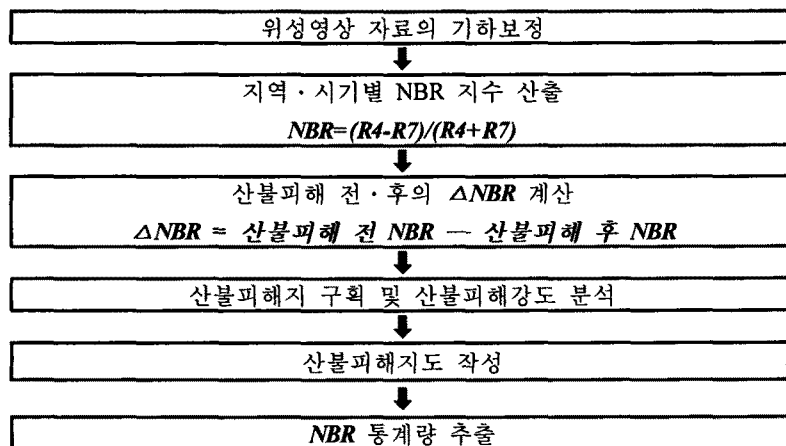
산불피해 전후의 시계열 변화를 측정하기 위해서는 다중시기, 동일시기 등 시간의 차이를 최소화해야 한다. 따라서 본 연구에서는 산불이 발생 전과 직후 그리고 연차별 구입가능한 동일시기의 영상자료를 활용하였다. 그룹이 많거나 촬영시기가 비교적 일치하지 않은 영상은 분석에서 제외하였다. 분석에 사용한 위성영상 자료의 목록은 <표 1>과 같다.

<표 1> 분석에 사용한 위성영상자료 목록

구분	삼척	청양·예산	양양
산불발생일시	2000.4.7-4.15	2002.4.14-4.15	2005.4.4-4.6
Path/Low	114/34	116/35	115/34
취득영상	1999.5. 7(TM) 2000.5.25(TM)	2000.5.31(ETM) 2002.5.13(TM)	2004.7.30(TM) 2005.8.18(TM)

2.2. 분석방법

본 연구에서는 위성영상자료를 이용하여 산불피해지 구획과 피해강도 분석을 위해 정규탄화지수(normalized burn ratio)를 고찰하였다. Landsat 위성자료의 정규탄화지수 분석은 산불피해지의 면적 구획은 물론 피해강도를 분석하는데 적합한 것으로 알려져 있다. 자료처리를 위해서 Image Analyst 원격탐사 이미지 처리 프로그램과 ArcGIS 9.1 GIS 프로그램을 이용하였으며, 위성영상 처리에서부터 산불피해지 구분 및 피해강도 분석 과정은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 위성영상자료를 이용한 산불피해지 분석 과정

정규탄화지수(NBR)는 산불피해 평가와 이를 응용하여 산불피해 지역의 피해강도를 등급화하고 식생의 회복속도를 정량적으로 측정할 수 있게 한다. 이 알고리즘은 Landsat 자료를 이용하여 밴드별 분광패턴 비율 (band ratio)과 영상의 다주기 변이를 이용하여 지수를 산출한다.

산불피해지내 화소들을 무작위 추출하여 TM 4번 밴드와 7번 밴드에서 산불에 반응한 가장 큰 반사율 변화를 추출해 낸다. 이 반사율을 이용하여 정규탄화지수 식을 유도할 수 있다.

$$NBR=(R4-R7)/(R4+R7) \quad (1)$$

여기서 R4는 TM 4번 밴드의 반사율이며, R7은 TM 7번 밴드의 반사율이다.

R7은 산불피해지역에서 증가하는 반면 R4는 감소하며 이러한 경향은 정규화 비율을 강조한다. 4개의 TM 영상에서 각각 NBR을 계산한 다음 산불전 NBR에서 산불후 NBR을 감한다. 산불피해로 인한 강도가 증가할 수록 값이 증가하는 두시기의 NBR 변화모델을 만들 수 있다.

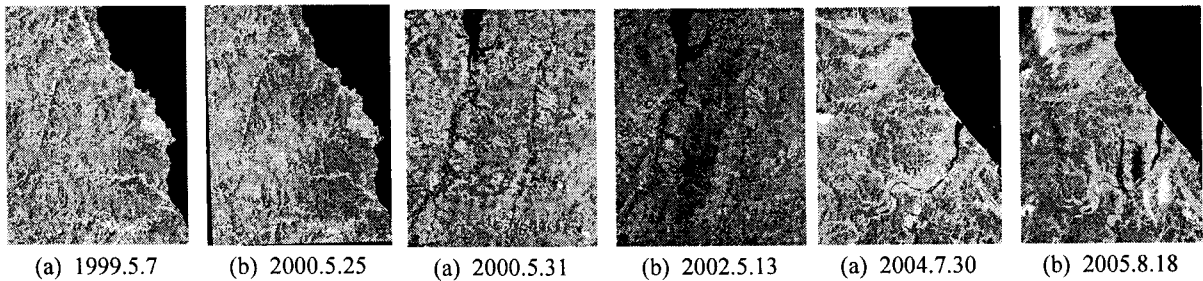
$$\Delta NBR = \text{산불피해 전 } NBR - \text{산불피해 후 } NBR \quad (2)$$

(식2)를 이용하여 산불피해 직후의 NBR 추출값을 활용하여 산불피해지를 구획(mapping)하고 산불피해전과 후의 ΔNBR 값으로 산불피해정도를 파악할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 위성영상자료를 이용한 산불피해지역 구분

분석에 사용된 Landsat TM, ETM+ 위성자료의 연구대상지인 강원도 삼척, 충남 청양·예산, 강원도 양양 일대의 영상은 <그림 2>, <그림 3>, <그림 4>과 같다. <그림 2>는 강원도 삼척일대의 영상자료로 2000년 4월 7일 대형산불이 발생하였다. (a)는 산불이 발생하기 전 1999년 5월 7일 영상, (b)는 산불피해 직후인 2000년 5월 25일 촬영 영상이다. <그림 3>은 충남 청양·예산 일대의 영상자료로 이 지역은 2002년 4월 14일에 대형산불이 발생한 지역이다. 청양·예산 산불피해지 분석을 위해 산불피해 전인 (a)영상과 산불피해 직후인 (b)영상을 이용하였다. <그림 4>는 2005년 4월 4일 발생한 대형산불 피해지인 강원 양양일대의 영상자료이다. (a)는 산불피해 전영상이고 (b)는 산불피해 직후 영상으로 자료의 시간적 오차를 줄이기 위해 8월초순경 영상을 분석에 이용하였다.



<그림 2> 산불발생 전후의 Landsat 위성영상(강원 삼척) <그림 3> 산불발생 전후의 Landsat 위성영상(충남 청양·예산) <그림 4> 산불발생 전후의 Landsat 위성영상(강원 양양)

3.2. 정규탄화지수(NBR) 차이를 이용한 산불피해지역 구분

Carl and Benton(1999)은 봄철의 NBR값의 차이가 산불지역 내에서 가장 큰 범위의 동적변화를 보였으며 산불피해지와 미피해 지역의 식별을 최대화할 수 있을 뿐 아니라 피해강도(burn severity) 범위간 최고의 대비를 밝힌바 있다. 이렇게 NBR을 이용하여 추출한 결과를 시각적으로 판독하여 연구지역의 산불에 의한 영향을

정량화할 수 있다. 즉, NBR 차는 산불피해강도를 최대화할 수 있는 지표이며, 산불피해 지역의 통계분석을 통해 피해정도와 강도 등급을 세분화할 수 있다. 본 연구에서는 3개의 연구대상지에 대한 연도별 NBR값을 계산한 다음 시기별 NBR 변화 모델을 분석하였다. 이렇게 시기별 ΔNBR 통계량(평균, 표준편차 등)을 산출한 후 산불강도별 피해등급을 구분하였다. ΔNBR 변화량에 대한 구간별 피해등급은 아래와 같다.

<표 2> 삼척지역 ΔNBR 통계량 및 피해등급

구분	ΔNBR	등급	구간	입계치	누적%
삼척산불 (114/34)	$\Delta NBR_{1999-2000}$	1	$x < \mu - 2\delta$	76	29.86
		2	$\mu - 2\delta \leq x < \mu - 1\delta$	114	44.76
		3	$\mu - 1\delta \leq x < \mu$	152	59.66
		4	μ	190	74.56
		5	$\mu \leq x < \mu + 1\delta$	228	89.46
		6	$\mu + 1\delta \leq x < \mu + 2\delta$	255	100.00

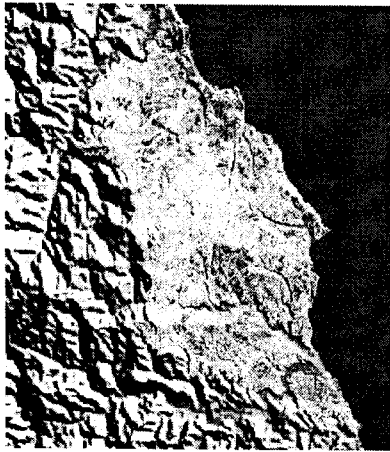
<표 3> 청양지역 ΔNBR 통계량 및 피해등급

구분	ΔNBR	등급	구간	입계치	누적%
청양산불 (116/35)	$\Delta NBR_{2000-2002}$	1	$x < \mu - 2\delta$	0	0
		2	$\mu - 2\delta \leq x < \mu - 1\delta$	92	36.20
		3	$\mu - 1\delta \leq x < \mu$	142	55.79
		4	μ	192	75.40
		5	$\mu \leq x < \mu + 1\delta$	242	95.00
		6	$\mu + 1\delta \leq x < \mu + 2\delta$	255	100.00

<표 4> 양양지역 ΔNBR 통계량 및 피해등급

구분	ΔNBR	등급	구간	입계치	누적%
양양산불 (115/34)	$\Delta NBR_{2004-2005}$	1	$x < \mu - 2\delta$	38	15.06
		2	$\mu - 2\delta \leq x < \mu - 1\delta$	83	32.63
		3	$\mu - 1\delta \leq x < \mu$	128	50.21
		4	μ	173	67.78
		5	$\mu \leq x < \mu + 1\delta$	218	85.36
		6	$\mu + 1\delta \leq x < \mu + 2\delta$	255	100.00

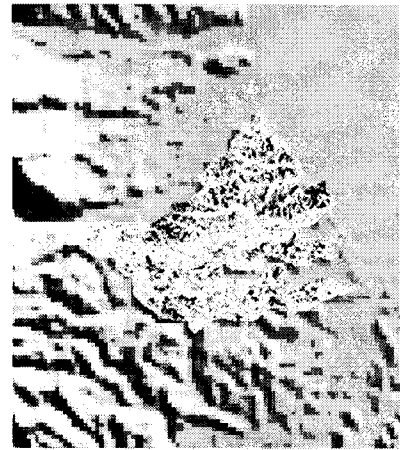
주) μ (평균), δ (표준편차)



<그림 5> 삼척지역 $\Delta NBR_{1999-2000}$ 변화량에 따른 산불피해강도 변화



<그림 6> 청양지역 $\Delta NBR_{2000-2002}$ 변화량에 따른 산불피해강도 변화

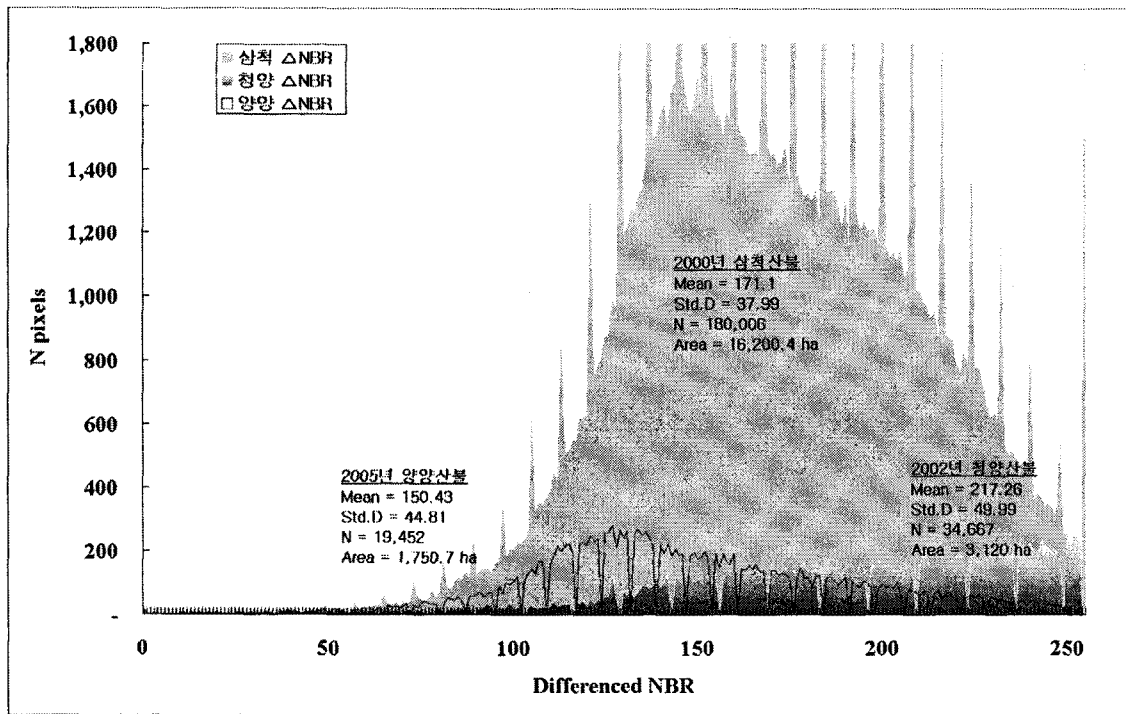


<그림 7> 청양지역 $\Delta NBR_{2004-2005}$ 변화량에 따른 산불피해강도 변화

3.3. ΔNBR 변화량에 의한 대형산불 피해강도 평가

산불피해 전과 후의 ΔNBR 값을 계산하여 산불피해 정도를 파악할 수 있는데 이것은 밴드7은 토양에 민감하게 반응하여 산불피해지역에서 반사값이 증가하는 반면 식생의 활력도를 평가할 수 있는 밴드4는 산불피해로 인해 분광값이 감소하는 특성을 이용하는 것이다. 따라서 ΔNBR 값을 이용하여 산불피해로 인한 강도가 증가할수록 정규탄화수소 값이 증가하는 두 시기의 NBR 변화모델을 작성하였다. <그림 8>에서처럼 피해강도 ‘중’에 해당하는 ΔNBR 구간 114-190에서 62.8%를 차지하여 가장 많은 분포를 보였다. 그리고 피해강도 ‘심’에 해당하는 ΔNBR 구간 190-255에서 31.0%의 면적분포를 보였다. 삼척 산불피해지 ΔNBR 분석 결과, 산불로 인한 피해면적은 총 16,200ha로 나타났다. 청양산불 피해지의 경우 피해강도가 ‘심’인 ΔNBR 구간 192-255에서 73.1%의 분포를 보여 거의 대부분 지역에서 전소한 것으로 추정해 볼 수 있으며, 피해가 경미한 지역은 2.7%에 불과하였다. ΔNBR 분석 결과 청양산불 피해면적은 약 3,120ha로 나타났다. 2005년 4월에 발생한 양양산불은 피해면적이 1,751ha로 분석되었으며 ΔNBR 분석 결과 피해강도 ‘중’(ΔNBR 구간 83-173) 지역이 전체의 66.9%, ‘심’(ΔNBR 구간 173-255)인 지역이 28.4%, 피해가 경미하거나 피해를 입지 않은 지역이 4.7%로 나타났다<표 5>.

이상에서 설명된 결과를 근거로 하여 3지역의 대형산불로 인한 산불강도별 피해면적과 산불피해등급별 분포를 개략적으로 파악할 수 있다. 2000년 삼척산불은 피해면적이 매우 넓으면서 피해강도 또한 ‘중’ 이상 지역이 대부분이었으며, 2002년 청양산불은 삼척산불 피해지에 비해 면적은 적지만 피해강도 ‘심’지역이 대부분을 차지하여 전 지역이 산불로 인해 전소한 것으로 추정해 볼 수 있다. 반면에 2005년 양양산불은 피해면적은 상대적으로 작으면서 산불피해강도가 ‘중’이하에서 과반수 이상의 면적을 차지하였다. 하지만 2차 재발 화후 확산된 해안가 및 낙산사 주변의 산불피해강도는 매우 심각한 ‘심’지역으로 분류되었다.



<그림 8> 산불피해전과 직후의 ΔNBR 을 이용한 산불피해지 비교

<표 5> ΔNBR 변화량에 의한 대형산불 피해강도 평가

지역	Class	Severity	설명	ΔNBR 구간	픽셀수	피해면적 (ha)	비율
삼척	1	Unburned	미피해지	0-76	1,036	93	0.6%
	2	Low	경	76-114	9,011	811	5.0%
	3	Mjoderate Low	중약	114-152	52,701	4,743	29.3%
	4	Moderate High	중	152-190	60,236	5,421	33.5%
	5	High	심	190-228	43,270	3,894	24.0%
	6	Extreme	강심	228-255	13,752	1,238	7.6%
	합계				180,006	16,201	100.0%
청양	Class	Severity	설명	ΔNBR 구간	픽셀수	피해면적 (ha)	비율
	1	Unburned	미피해지				
	2	Low	경	0-92	925	83	2.7%
	3	Mjoderate Low	중약	92-142	2,314	208	6.7%
	4	Moderate High	중	142-192	6,101	549	17.6%
	5	High	심	192-242	7,837	705	22.6%
	6	Extreme	강심	242-255	17,490	1,574	50.5%
합계				34,667	3,120	100.0%	
양양	Class	Severity	설명	ΔNBR 구간	픽셀수	피해면적 (ha)	비율
	1	Unburned	미피해지	0-38	78	7	0.4%
	2	Low	경	38-83	828	75	4.3%
	3	Mjoderate Low	중약	83-128	5,774	520	29.7%
	4	Moderate High	중	128-173	7,239	652	37.2%
	5	High	심	173-218	3,720	335	19.1%
	6	Extreme	강심	218-255	1,813	163	9.3%
합계				19,452	1,751	100.0%	

참고문헌

1. 원명수, 구교상, 이명보 (2006), 우리나라의 봄철 순평년 온습도 변화에 따른 산불발생위험성 분석, 한국농림기상학회지, 제8권 제4호, 250-259.
2. 이명보 (2006), 우리나라 산불발생 특성. 한국방재학회지, 제6권 제1권, 29-39.
3. 이시영, 한상열, 원명수, 안상현, 이명보 (2004), 기상특성을 이용한 전국 산불발생확률모형 개발, 한국농림기상학회지, 제6권 제4호, 242-249.
4. 과학기술부 (2003), 산불예측 및 감시기술 개발, 자연재해방재기술개발사업 보고서.
5. 환경부 (2002), 동해안 산불지역 생태계 변화 및 복원기법 연구.
6. Leigh B. Lentile, Zachary A. Holden, Alistair M. S. Smith, Michael J. Falkowski, Andrew T. Hudak, Penelope Morgan, Sarah A. Lewis, Paul E. Gessler and Nate C. Benson (2006), Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects, *International Journal of Wildland Fire* 15, 319-345.
7. Key C. H., Benson N. C. (2006) Landscape assessment: sampling and analysis methods, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-164-CD. (Ogden, UT)
8. Key C. H., Benson N. C. (2002) Measuring and remote sensing of burn severity, US Geological Survey Wildland Fire Workshop, 31 October to 3 November 2000, Los Alamos, NM. USGS Open-File Report 02-11.
9. Key. Carl H. and Nate C. Benson (1999), The Normalized Burn ratio(NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity, USGS.