

Landsat 영상으로부터 정규탄화지수 추출과 산불피해지역 및 피해강도의 정량적 분석

원명수^{1*} · 구교상¹ · 이명보¹

An Quantitative Analysis of Severity Classification and Burn Severity for the Large Forest Fire Areas using Normalized Burn Ratio of Landsat Imagery

Myoung-Soo WON^{1*} · Kyo-Sang KOO¹ · Myung-Bo LEE¹

요 약

산불은 우리나라 산림의 주요 교란요소중의 하나로써 산림 구조와 기능에 매우 큰 영향을 미치며, 산불피해강도에 따라 피해 후 식생회복 과정이 달라질 수 있다. 대형산불 피해지의 피해강도와 식생회복 과정을 파악하기 위해서는 많은 인력과 예산이 필요하지만 위성영상자료를 이용한 산불 피해지의 피해강도 분석은 신속한 정보는 물론 대규모 피해지의 객관적인 결과를 원격적으로 취득할 수 있다. 위성과 항공기 탑재 센서들은 피해규모를 맵핑하고 진행산불 특성을 평가하며 산불피해후의 생태적 영향 특성을 규명하는데 활용되고 있다. 본 연구에서는 2000년 삼척산불, 2002년 청양산불 그리고 2005년 양양 대형산불 피해지를 구분하고 피해강도를 정량적으로 분석하기 위해 정규탄화지수(Normalized Burn Ratio: NBR)를 활용하였다.

본 연구를 위해 산불피해 전후 동일시기의 Landsat 위성영상 자료를 활용하여 정규탄화지수(NBR)를 산출하고 30m 해상도의 피해강도 패턴을 평가하였다. 산불피해강도 평가결과, 삼척산불 피해지는 피해강도 '중' 이상(Δ NBR 152 이상) 지역이 전체의 65%를 차지하였으며 청양·예산산불피해지는 91%, 양양산불피해지는 65%로 나타나 3지역 중 청양·예산지역이 피해강도 측면에서만 보면 가장 큰 피해를 입은 것으로 분석되었다. 따라서 RS와 GIS를 이용하여 원격 탐지된 Δ NBR은 대규모 산불피해지의 구분은 물론 산불피해강도를 공간적으로 정량화할 수 있다.

주요어 : 피해강도, 정규탄화지수, Landsat 위성영상, 대형산불, RS & GIS

ABSTRACT

Forest fire is the dominant large-scale disturbance mechanism in the Korean temperate forest, and it strongly influences forest structure and function. Moreover burn severity incorporates

2007년 8월 13일 접수 Received on August 13, 2007 / 2007년 9월 6일 심사완료 Accepted on September 6, 2007

1 국립산림과학원 산불연구과 Division of Forest Fire, Korea Forest Research Institute

* 연락처 E-mail : mswon@foa.go.kr

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. Vegetation rehabilitation may specifically vary according to burn severity after fire. To understand burn severity and process of vegetation rehabilitation at the damaged area after large-fire is required a lot of man powers and budgets. However the analysis of burn severity in the forest area using satellite imagery can acquire rapidly information and more objective results remotely in the large-fire area. Space and airborne sensors have been used to map area burned, assess characteristics of active fires, and characterize post-fire ecological effects. For classifying fire damaged area and analyzing burn severity of Samcheok fire area occurred in 2000, Cheongyang fire in 2002, and Yangyang fire in 2005 we utilized Normalized Burn Ratio(NBR) technique. The NBR is temporally differenced between pre- and post-fire datasets to determine the extent and degree of change detected from burning.

In this paper we use pre- and post-fire imagery from the Landsat TM and ETM+ imagery to compute the NBR and evaluate large-scale patterns of burn severity at 30m spatial resolution. 65% in the Samcheok fire area, 91% in the Cheongyang fire area and 65% in the Yangyang fire area were corresponded to burn severity class above 'High'. Therefore the use of a remotely sensed Differenced Normalized Burn Ratio(Δ NBR) by RS and GIS allows for the burn severity to be quantified spatially by mapping damaged domain and burn severity across large-fire area.

KEYWORDS : *Burn Severity, Normalized Burn Ratio, Landsat TM/ETM+, Large-Fire Areas, RS & GIS*

서론

산불은 전세계적으로 육상, 수생, 대기 생태계에 중대한 영향을 미치는 생태계 일련의 과정으로(Lentile 등, 2006), 매우 광범위한 교란 메커니즘을 가지고 있어 산림의 구조와 기능에 영향을 미친다(Paul 등, 2007). 지역규모의 산불은 토양 미생물의 변화(Wan 등, 2001; Choromanska 등, 2002), 종자발아와 생장을 촉진(Perez 등, 1998)할 수 있으며, 궁극적으로는 토양과 식생의 구조와 조성을 변화시킬 수도 있다(McHugh 등, 2003). 국지규모의 산불은 수자원의 질과 양, 토사유출 그리고 수생태계에 많은 혜택과 손실을 야기할 수 있다(Spencer 등, 2003; Ice 등, 2004; Vieira 등, 2004). 이렇듯 산불은 경관구조, 조성, 기능 그

리고 생태적 보전을 창출하고 유지하는데 중요하다(Morgan 등 2001).

위성과 항공기 센서들은 산불피해 전후의 분광반응 변화를 탐지하고 산불전후의 환경조건들을 평가하는데 활용되어 왔다. 특히 다중분광영상을 이용한 원격탐사 기법은 신속하고 비용효과가 큰 측면에서 경관변화를 모니터링하고 평가하는데 효과적으로 적용되고 있다(Lentile 등, 2006).

산불피해로 인한 분광 패턴의 변화 분석은 산불피해 전후 영상의 정규탄화지수(Normalized Burn Ratio: NBR)와 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)를 포함한 다양한 분광밴드들의 조합에 의한 지수의 형태로 활용할 수 있다. 특히, NBR과 Δ NBR은 원격탐사 자료에서 산불 피해강도를 추정하는

데 폭넓게 활용된다(Key 등, 2002, 2006; van Wagtenonk 등, 2004; Cocke 등, 2005; Roy 등, 2006).

피해강도(Burn severity)란 지역적이고 국지적인 환경에서의 산불피해 후 장·단기적으로 산불에 의한 영향을 통합한 의미로 생태계가 산불로 인해 변화된 정도로 정의할 수 있다(Morgan 등, 2001; Key 등, 2002; National Wildfire Coordinating Group, 2005).

산불 피해강도의 맵핑은 산불피해 후 조사 계획 수립과 모니터링은 물론 산불 전후의 피해특성 및 양상 그리고 복구계획 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다(Lentile 등, 2006).

Chafer 등(2004)은 2001년 호주 시드니에서 발생한 Christmas 산불을 SPOT2 영상을 이용하여 $NDVI_{difference}(NDVI_{prefire} - NDVI_{postfire})$ 를 산출하여 피해강도(burn severity) 및 산불강도(fire intensity), 바이오매스량과 정규식생지수(NDVI)간의 상관관계를 분석하였으며, Hammill과 Bradstock(2006)은 SPOT2와 Landsat7 영상을 이용하여 산불전후의 NDVI 변화를 계산한 후 산불피해지역의 식생유형과 피해강도와와의 관계를 분석한 바 있다.

NBR과 NDVI 변화에 의한 산불피해강도를 비교한 결과, Key와 Benson(2006)은 피해강도 평가를 위해 ΔNBR 이 $\Delta NDVI$ 보다 산불피해지의 공간적 이질성과 복잡성을 더 효과적으로 표현할 수 있다고 하였으며, 가을철에 촬영된 영상보다는 봄철 성장기에 촬영된 영상이 피해강도를 더 효과적으로 평가할 수 있다고 하였다.

또한 Duffy 등(2007)은 NBR을 이용하여 알래스카 산불피해지의 식생형태와 피해강도의 상관성을 분석하였으며, Miettinen 등(2007)은 MODIS와 Landsat ETM+ 영상자료를 활용하여 2005년 인도네시아 보르네오 산불피해지의 피해강도를 평가한 바 있다.

우리나라는 최근 10년간(1997-2006) 연평균 495건의 산불이 발생하고 있다. 이 중 84%에

해당하는 산불이 건조기인 1월~5월에 발생하고 있다(원명수 등, 2006). 특히 동기간 동안 300ha 이상의 대형산불이 10건이 발생하여 28,377ha의 산림과 재산피해를 가져왔으며, 대부분 4월에 집중되고 있다(산림청, 2006). 이는 10년간 산불로 인한 전체 피해면적의 72%에 해당하는 수치로 봄철 대형산불로 인한 피해는 가히 심각하다고 할 수 있다. 봄철에 대형산불이 다발하는 원인은 다른 계절보다 강우량이 적고 맑은 날이 많아 상대습도가 가장 낮은 시기이면서 산림내 건조한 낙엽이 많이 쌓여 어느 시기보다도 위험한 상태이기 때문이다(이시영 등, 2004).

대형산불 발생 후 원격탐사를 이용한 식생 분석은 대규모 지역에서 신속하고 객관적인 분석결과를 얻을 수 있다는 점에서 효용성이 있어 이러한 결과를 다른 분야에 제공함으로써 연구과제의 연결성과 분석의 효용성을 최대화할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 2000년, 2002년, 2005년 4월에 발생한 삼척, 청양·예산 그리고 양양 대형 산불피해지를 대상으로 피해전후 동일시기의 Landsat 위성영상 자료를 활용하여 산불발생 피해지역을 탐지한 후 피해지역을 구분하고 정규탄화지수(NBR)를 유도 평가하여 산불피해지역의 피해강도를 정량적으로 분석하는데 있다.

정규탄화지수(NBR)와 피해강도(BS)

정규탄화지수(NBR)는 1994년 미국의 Glacier 국립공원에서 발생한 대형산불을 분석하기 위해 USFS RMRS 연구소의 Key와 Benson에 의해 처음 고안되었다. 이 후 원격탐사 기술과 현장조사 자료를 접목하여 ΔNBR (difference normalized burn ratio) 과 종합피해지수(composite burn index, CBI)를 통해 전지역의 산불피해도 제작에 활용되고 있다(Key 등, 2006).

산불피해지의 정량적 평가를 위해 정규탄화지수(NBR)를 이용하여 산불피해 지역의 피해강도(burn severity)를 등급화하고 식생의 회복속도를 정량적으로 측정할 수 있다. 이 알고리즘은 Landsat 자료를 이용하여 밴드별 분광패턴 비율(band ratio)과 영상의 다주기 변화를 이용하여 지수를 산출한다. 정규탄화지수(NBR)는 전자기적 분광대역인 근적외와 중적외대역(Landsat TM과 ETM+ 센서의 4번과 7번 밴드에 해당)을 이용하여 계산한다(식 1).

$$NBR=(R_4-R_7)/(R_4+R_7) \quad (1)$$

여기서 R_4 는 TM 4번 밴드의 반사율이며, R_7 은 TM 7번 밴드의 반사율이다.

특히, NBR은 산불피해강도와 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 식생과 수분 반응 특성은 탄화정도에 따라 달라진다. NBR은 살아있는 식생에 민감한 근적외 대역과 수분에 민감한 중적외 대역의 반응특성을 이용하기 때문에 이들 변화에 따라 민감하게 반응한다. 즉, R7은 산불피해지역에서 증가하는 반면 R4는 감소하기 때문에 정규화 비율을 강조한다(Key 등, 2006). 4개의 TM 영상에서 각각 NBR을 계산한 다음 산불전 NBR에서 산불후 NBR을 감하면 산불로 인해 피해강도가 증가할수록 값이 증가하는 두시기의 NBR 변화에 따른 추제도를 만들 수 있다(식 2).

$$\Delta NBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire} \quad (2)$$

따라서, (식2)를 이용하여 산불피해 직후의 NBR 추출값을 활용하여 산불피해지를 구획

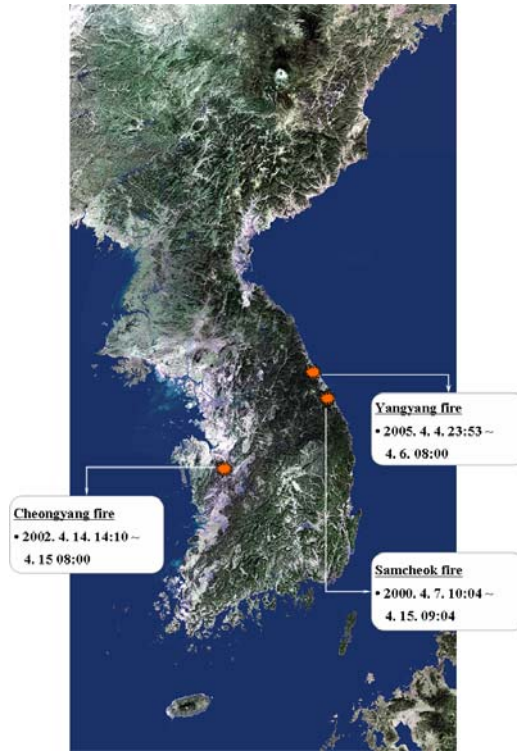


FIGURE 1. 연구대상 대형산불 피해지역

(mapping)하고 산불피해 전후의 ΔNBR 값으로 산불피해정도를 파악할 수 있다.

연구자료 및 방법

1. 연구자료

본 연구는 2000년 들어 발생한 삼척(2000.4.7), 청양·예산(2002.4.14), 양양(2005.4.4) 대형산불 피해지역을 대상으로 하였다(그림 1). 산불피

TABLE 1. A table of contents of satellite imagery used analysis of burn severity

Categories	Samcheok	Cheongyang	Yangyang
Forest fire day	2000.4.7-4.15	2002.4.14-4.15	2005.4.4-4.6
Path/Low	114/34	116/35	115/34
Info. of used imagery	1999.5. 7(TM) 2000.5.25(TM)	2000.5.31(ETM+) 2002.5.13(TM)	2004.7.30(TM) 2005.8.18(TM)

해지역의 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 직후의 연차별 구입가능한 동일시기의 영상자료를 활용하였다. 구름이 많거나 촬영시기가 비교적 일치하지 않은 영상은 분석에서 제외하였다. 분석에 사용한 위성영상 자료의 목록은 표 1과 같다.

2. 분석방법

본 연구에서는 위성영상자료를 이용하여 산불피해지 구획과 피해강도 분석을 위해 정규탄화지수(NBR)를 고찰하였다. Landsat TM/ETM+ 영상자료에 대하여 기 기하보정된 영상을 이용하여 영상대 영상정합(image to image)을 통해 TM(Transverse Mercator) 좌표체계(중부원점)에 따라 투영변환한 다음 공1차 내삽법(bilinear interpolation)에 의해 각 화소값(DN)을 30m×30m 크기로 재배열하였으며, 이때 영상 좌표변환은 X, Y 각 방향에 대해 RMSE 0.5 픽셀 이내의 정확도로 수행하였다.

Landsat 위성자료의 정규탄화지수(NBR) 분석은 산불피해지의 면적 구획은 물론 피해강도를 분석하는데 적합한 것으로 알려져 있다. NBR은 -1에서 +1의 범위를 가지며 ΔNBR 은 -2에서 +2의 범위값을 가지기 때문에 0~255 8bit 정수값을 갖도록 선형변환하였다. 산불피해지역의 구획을 위해 분석된 ΔNBR 주제도를 활용하여 산불피해를 입은 외곽선을 On-screen 디지털라이징을 실시하여 피해경계를 설정하였다. 자료처리를 위해서 Image Analyst 원격탐사 이미지 처리 프로그램과 ArcGIS 9.1 GIS 프로그램을 이용하였으며, 위성영상 처리에서부터 산불피해지 구분 및 피해강도 분석 과정은 그림 2와 같다.

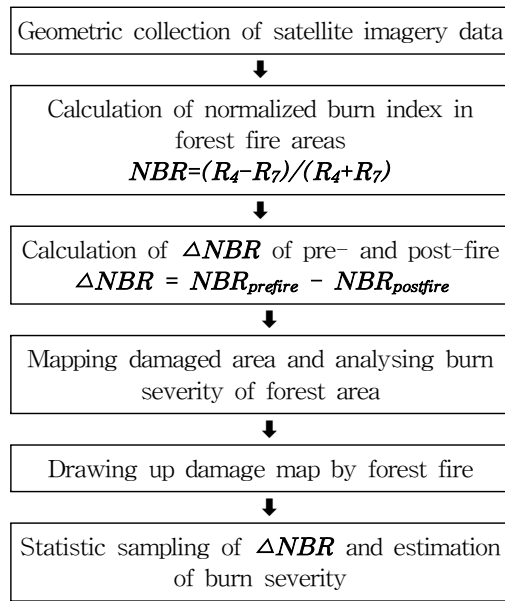


FIGURE 2. Analysing process of forest fire area using satellite imagery

정규탄화지수(NBR) 차이를 이용한 산불피해지역 구분

분석에 사용된 강원도 삼척, 충남 청양·예산, 강원도 양양 일대의 Landsat TM, ETM+ 위성영상은 그림 3, 그림 4, 그림 5와 같다. 그림 3은 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 4는 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 5는 2005년 4월 4일 발생한 대형산불 피해지인 강원 양양 일대의 영상자료이다. (a)는 산불피해 전 영상이고 (b)는 산불피해 직후 영상으로 자료의 시간적 오차를 줄이기 위해 8월초순경 영상을 분석에 이용하였다.

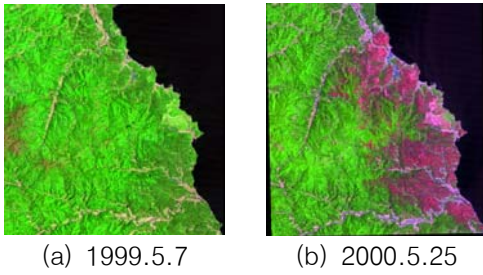


FIGURE 3. Landsat imagery of pre- and post-fire (Samcheok)

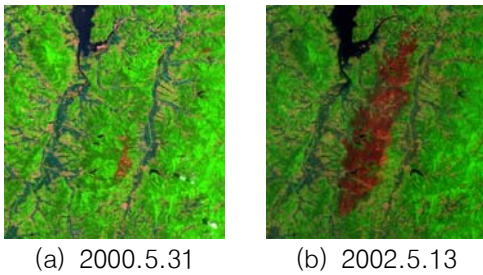


FIGURE 4. Landsat imagery of pre- and post-fire (Cheongyang)

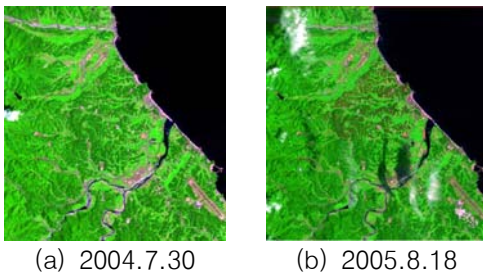


FIGURE 5. Landsat imagery of pre- and post-fire (Yangyang)

봄철 NBR 값의 차이는 산불지역 내에서 가장 큰 범위의 동적변화를 보이며 산불피해지와 미 피해지의 식별을 최대화할 수 있을 뿐 아니라 피해강도(burn severity) 범위간 최고의 대비를 보인다(Carl and Benton, 1999). Landsat의 4번 밴드(근적외대역, 0.76-0.90 μ m)는 물에 의한 반사율은 낮고 식생에 의한 반사율이 매우 높아지는 영역으로 식생과 수역간에 대비가 크게 나타나 이를 이용하여 수역을 분리하거나 식생의 구분, 식생활력도 평가 등에 활용한다. 그리고 7번 밴드(중적외대역, 2.08-2.35 μ m)는 토양의 수분분포 등 토양 반응에 민감하다. 이러한 Landsat 영상의 밴드별 특성을 이용하여 산불피해 전과 후의 4번과 7번 밴드의 조합을 통해 산불피해지 구획은 물론 피해강도를 분석하는데 활용하였다. 즉 산불피해를 받은 식생은 피해정도가 심할수록 식생활력도가 급격히 떨어지는 반면 수관층과 지표층이 완전 연소된 지역은 토양 반사로 인해 분광값이 증가하는 특성을 이용하였다. 따라서 정규탄화지수(NBR)를 이용하여 추출한 결과를 시각적으로 관독하여 대상지역의 산불에 의한 영향을 정량화할 수 있다. NBR 차이는 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

TABLE 2. ΔNBR of Samcheok forest fire area and burn severity classes (Mean=171.1, Std.D=37.99, N=180,006)

Category	ΔNBR	Classes	Intervals	Threshold	% Intervals
Samcheok Fire (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

변화 모델을 분석하였으며 시기별 ΔNBR 통계량(평균, 표준편차 등)을 산출한 후 각 구간별 임계치(threshold)를 추출하여 산불강도별 피해등급을 구분하였다. ΔNBR 변화량에 대한 구간별 피해등급은 표 2, 표 3 그리고 표 4와 같다.

ΔNBR 변화량에 의한 대형산불 피해강도 평가

산불피해 전과 후의 동일시기 Landsat 위성영상을 활용하여 $\Delta NBR(NBR_{prefire} - NBR_{postfire})$ 값을 추출한 후 산불피해지역의 피해강도를 파악할 수 있다. Landsat 영상의 밴드7(파장대: 2.08-2.35 μm)은 토양과 식물의 수분조건에 민감하게 반응하기 때문에 암석 구별이 가능하고 열수변질 작용을 받은 지역을 구분하는데 유용하며, 근적외선 대역인

밴드4(파장대: 0.76-0.90 μm)는 영상내에 나타나는 식생의 생물량에 매우 민감하게 반응한다. 따라서 산불피해지역에서 Landsat 영상의 7번 밴드의 반사값은 증가하는 반면 식생의 활력도를 평가할 수 있는 4번 밴드는 산불피해로 인해 분광값이 감소하는 특성을 가지고 있다. 이와 같은 Landsat 영상의 밴드별 특성을 이용하여 산불피해 전·후의 $\Delta NBR(NBR_{prefire} - NBR_{postfire})$ 값을 추출하였다. ΔNBR 값은 산불로 인한 피해강도가 증가할수록 정규탄화지수(NBR) 값이 증가하는 일반적인 결과를 보였다. ΔNBR 값의 추출을 위해 산불피해 전과 피해 후의 Landsat 영상에서 두 시기의 $NBR(=(R_4-R_7)/(R_4+R_7))$ 주제도를 작성하였으며, 피해강도 분석을 용이하게 하기 위해 0에서 255까지의 8bit 정수값을 갖도록 선형 변환하였다(그림6, 7, 8).

TABLE 3. ΔNBR of Cheongyang forest fire area and burn severity classes (Mean=217.26, Std.D=49.99, N=34,667)

Category	ΔNBR	Classes	Intervals	Threshold	% Intervals
Cheongyang Fire (116/35)	$\Delta NBR_{2000-2002}$	1	$x < \mu - 2\delta$	0	0.00
		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

주) μ (Mean), δ (Standard deviation)

TABLE 4. ΔNBR of Yangyang forest fire area and burn severity classes (Mean=150.43, Std.D=44.81, N=19,452)

Category	ΔNBR	Classes	Intervals	Threshold	% Intervals
Yangyang Fire (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

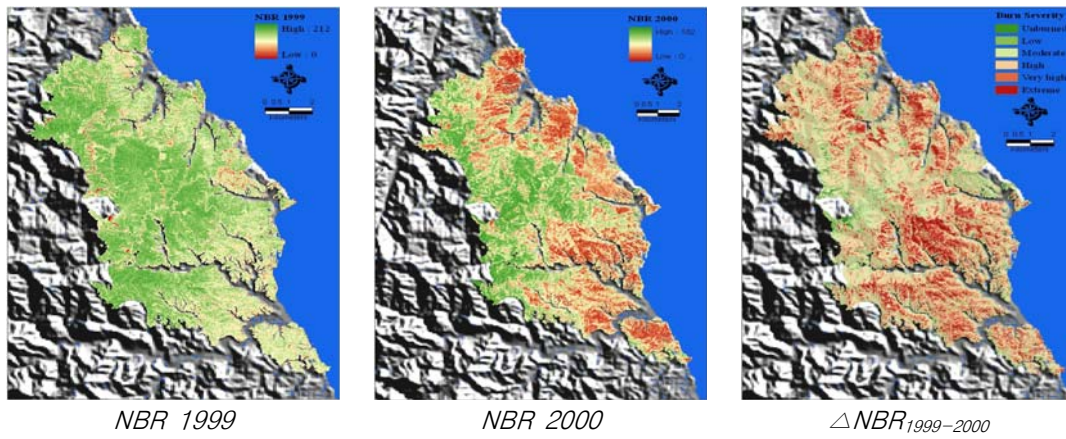


FIGURE 6. Change of burn severity by $\Delta NBR_{1999-2000}$ in Samcheok forest fire area

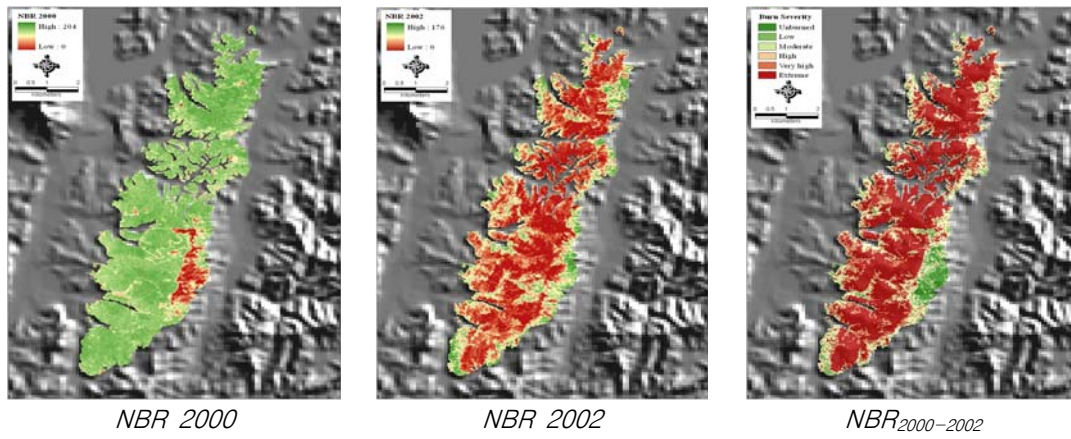


FIGURE 7. Change of burn severity by $\Delta NBR_{1999-2000}$ in Cheongyang forest fire area

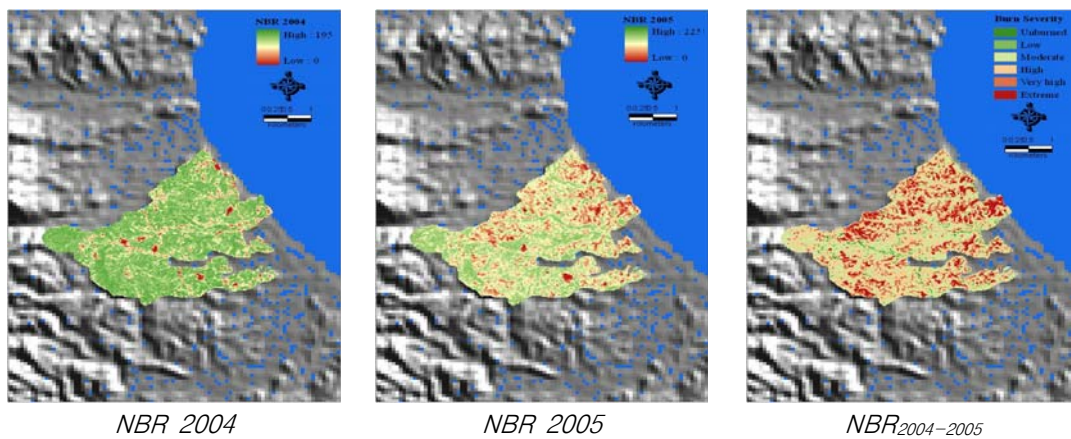


FIGURE 8. Change of burn severity by $\Delta NBR_{1999-2000}$ in Yangyang forest fire area

표 5에서처럼 삼척 산불피해지 ΔNBR 분석 결과, 피해강도 ‘중(High)’에 해당하는 ΔNBR 구간 152-190에서 33.5%를 차지하여 가장 많은 분포를 보였으며, 피해강도 ‘심(Very high~Extreme)’에 해당하는 ΔNBR 구간 190-255에서 약 32%의 면적분포를 보였다. ΔNBR 분석 결과 삼척지역의 산불에 의한 전체 피해면적은 16,200ha로 나타났다. 청양·예산 산불 피해지의 경우 피해강도가 ‘심(Very high~Extreme)’인 ΔNBR 구간 192-255에서 73%의 분포를 보여 거의 대부분 지역이 전소된 것으로 추정해 볼 수 있으며, 피해가 경미한 지역은 2.7%에 불과하였다. 그림 8의 청양·예산지역의 NBR_{2000} 을 보면 산불피해지 우측 하단에 적색계통으로 NBR 값이 낮게 분포하는데, 이는 2000년 4월 24일에 산불피해를 입은 지역이다. ΔNBR 분석 결과 청양·예산산불 피해면적은 약 3,120ha로 나타났다.

2005년 4월에 발생한 양양산불은 피해면적이 1,751ha로 분석되었으며 ΔNBR 분석 결과 피해강도 ‘중’(ΔNBR 구간 128-173) 지역이 전체의 37.2%, ‘심’(ΔNBR 구간 173-255)인 지역이 28.4%, 피해가 경미하거나 피해를 입지 않은 지역이 34%의 피해분포를 보였다.

이상의 분석결과를 근거로 하여 3개 지역의 대형산불로 인한 산불강도별 피해면적과 산불피해등급별 공간적 분포를 정확하게 파악할 수 있다. 2000년 삼척산불은 피해면적이 매우 넓으면서 피해강도 또한 ‘중’ 이상 지역이 대부분이었으며, 2002년 청양·예산산불은 삼척산불 피해지에 비해 면적은 적지만 피해강도가 ‘심’지역이 대부분을 차지하여 전 지역이 산불로 인해 전소된 것으로 추정해 볼 수 있다. 반면에 2005년 양양산불은 피해면적은 상대적으로 적으면서 산불피해강도도 삼척산불과 비교하여 상대적으로 약했다는 것을 표 5

TABLE 5. Estimation of burn severity by ΔNBR in large-fire areas

Sites	Burn Severity	ΔNBR Intervals	Pixel Number	Damage Area (ha)	Percentage (%)
Samcheok	Unburned	0-76	1,036	93	0.6
	Low	76-114	9,011	811	5.0
	Moderate	114-152	52,701	4,743	29.3
	High	152-190	60,236	5,421	33.5
	Very high	190-228	43,270	3,894	24.0
	Extreme	228-255	13,752	1,238	7.6
	Total		180,006	16,201	100.0
Cheongyang	Unburned	-	-	-	-
	Low	0-92	925	83	2.7
	Moderate	92-142	2,314	208	6.7
	High	142-192	6,101	549	17.6
	Very high	192-242	7,837	705	22.6
	Extreme	242-255	17,490	1,574	50.5
Total		34,667	3,120	100.0	
Yangyang	Unburned	0-38	78	7	0.4
	Low	38-83	828	75	4.3
	Moderate	83-128	5,774	520	29.7
	High	128-173	7,239	652	37.2
	Very high	173-218	3,720	335	19.1
	Extreme	218-255	1,813	163	9.3
Total		19,452	1,751	100.0	

를 통해 알 수 있다. 하지만 2차 재발화후 확산된 해안가 및 낙산사 주변의 산불피해강도는 거의 대부분이 '심'지역으로 분류되어 심각한 산림피해를 입었던 것을 알 수 있다(그림 9).

하지만 2000년 동해안 산불피해지 공동조사단(2000)이 흑백항공사진을 이용하여 삼척 산불피해지의 피해강도를 구분한 결과 심이 51%로 가장 많았고 중 20%, 경 29% 순으로 분류하였다. 그리고 2003년 청양·예산 산불피해지 공동조사단(2003)에 의해 1 : 15,000 칼라항공사진을 이용하여 산불피해지를 판독하여 피해강도를 분석한 결과는 피해가 심한 지역이 53%로 가장 많았으며 중 27%, 경 20%의 순으로 나타났다(표 6). 표 6의 결과에 따르면 항공사진 판독 결과와 Landsat 자료의 ΔNBR

분석 결과와는 피해강도별 피해면적이 큰 차이를 보였다. 이러한 강도별 피해면적에 대한 오차는 심·중·경 3단계 피해에 의한 육안적 판단기준과 5단계에 의한 판단기준이 다르기 때문에 판단된다. 따라서 위성영상자료에서 추출한 ΔNBR 을 이용하여 피해강도를 분류할 경우에는 피해강도에 따른 기준을 사전에 수립하여 강도별 GPS 좌표와 종합피해지수(CBI)와 같은 현장조사 결과를 병행하여 검증자료로 활용하여야 할 것으로 판단되며, 향후 산불피해지의 신속하고 정확한 피해지 구획, 임상별 피해강도 평가, 지형환경에 따른 피해강도 평가 등 다양한 경관평가(landscape assessment)를 위해서는 피해강도의 기준은 물론 조사방법 모델을 정립하여 정성·정량화할 필요가 있다.

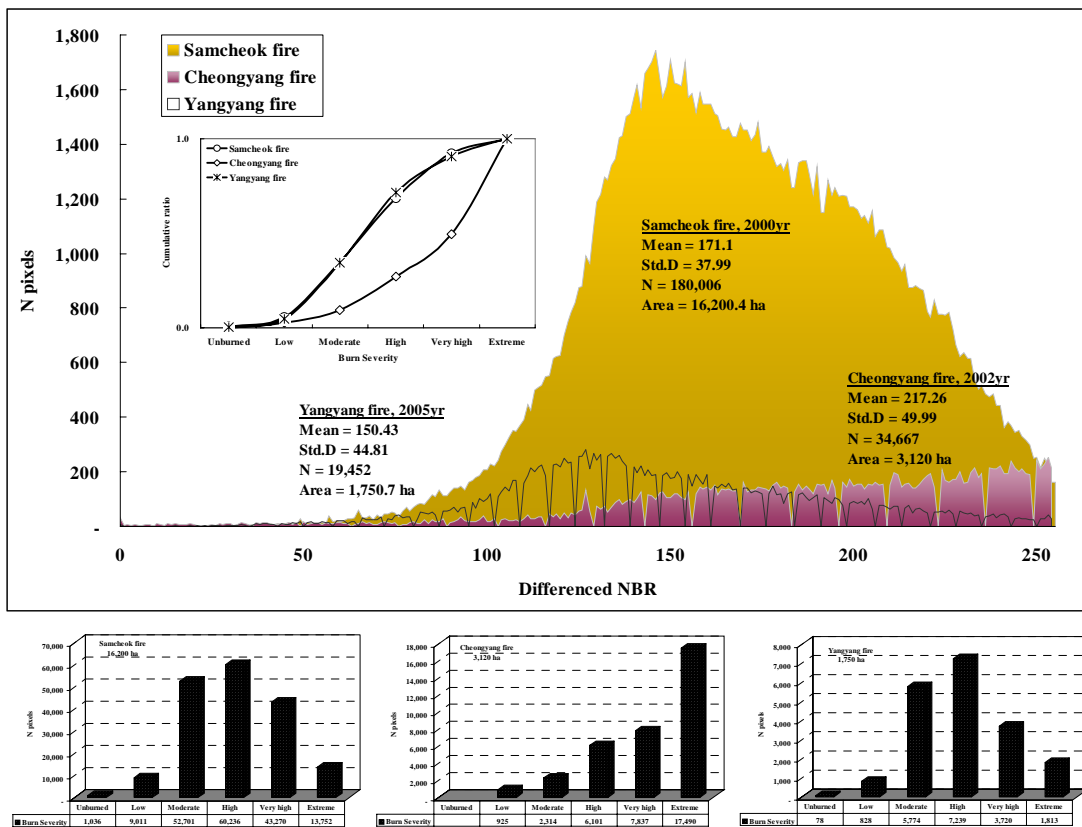


FIGURE 9. Comparison of forest fire areas by differenced Normalized Burn Ratio(ΔNBR)

TABLE 6. Comparison on estimated results of burn severity between Union Survey–Team (UST) and ΔNBR using Landsat imagery in large–fire areas

Category	Samcheok Fire(ha, %)		Cheongyang Fire(ha, %)		Yangyang Fire(ha, %)	
	UST	ΔNBR	UST	ΔNBR	UST	ΔNBR
Burn Severity	High	8,511 (51%)	5,132 (32%)	1,653 (53%)	2,279 (73%)	498 (28%)
	Moderate	3,348 (20%)	5,421 (33%)	832 (27%)	549 (18%)	No Survey data 652 (37%)
	Low	5,238 (29%)	5,467 (35%)	610 (20%)	291 (9%)	602 (34%)
Total	17,097 (100%)	16,201 (100%)	3,095 (100%)	3,119 (100%)	974 (100%)	1,752 (100%)

결론

본 연구에서는 2000년, 2002년, 2005년 4월에 발생한 대형산불 피해지인 삼척, 청양·예산, 양양지역을 대상으로 산불 전후 동일시기에 관측된 Landsat 위성영상자료를 이용하여 산불피해지 구분은 물론 Landsat TM/ETM+ 영상의 근적외선 대역(4번 밴드)과 중적외선 대역(7번 밴드)을 조합하여 정규화 할 수 있는 정규탄화지수(NBR)를 유도하여 산불피해강도를 정량적으로 분석하였다. NBR과 ΔNBR 을 이용하여 산불피해지 구분 및 피해강도를 분석한 결과는 다음과 같다.

산불피해전후의 NBR 값의 차이는 산불지역 내에서 가장 큰 범위의 동적변화를 보였으며 산불피해지와 미 피해지의 식별을 최대화할 수 있을 뿐 아니라 피해강도(burn severity) 범위간 최고의 대비를 보였다. 따라서 Landsat 위성영상에서 추출한 정규탄화지수(NBR)를 활용하여 대형산불로 인한 피해강도를 정량화할 수 있을 것으로 사료된다.

ΔNBR 은 산불피해강도 구분을 극대화 할 수 있는 지표이며, 산불피해지의 통계량을 산출하여 피해강도별 등급을 세분화할 수 있었다. ΔNBR 분석 결과, 삼척산불피해지는 피해강도 ‘중’ 이상(ΔNBR 152 이상) 지역이 전체의 65%를 차지하였으며 청양·예산산불피

해지는 91%, 양양산불피해지는 65%로 나타나 3지역 중 청양·예산지역이 피해강도 측면에서만 보면 가장 큰 피해를 입은 것으로 분석되었다.

그러나 과거 항공사진 판독에 의한 현장조사 결과와 Landsat 자료의 ΔNBR 분석 결과는 피해강도별 분포면적이 큰 차이를 보였다. 이러한 강도별 피해면적에 대한 오차는 심·중·경 피해에 대한 육안적 판단 및 피해 기준에 대한 불확실성이 상존하기 때문에 판단된다. 또한 위성영상자료에서 추출한 ΔNBR 을 이용하여 피해강도를 분류할 경우에는 피해강도에 따른 정의를 사전에 수립하여 강도별 GPS 좌표와 종합피해지수(CBI)와 같은 현장조사 결과를 병행하여 검증자료로 활용하여야 할 것으로 사료된다. 아울러 무엇보다도 중요한 것은 Landsat 위성의 수명으로 인해 대형산불 발생시 이를 대체할 수 있는 위성영상의 선정과 피해강도 분석기법에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

따라서 향후 산불피해지의 신속하고 정확한 피해지 구획, 임상별 피해강도 평가, 지형환경에 따른 피해강도 평가 등 다양한 경관평가(landscape assessment)를 위해서는 피해강도의 기준은 물론 조사방법에 대한 모델을 개발할 필요가 있다. **KAGIS**

참고 문헌

- 산림청. 2006. 2006년 산불통계연보. 26-27쪽.
- 원명수, 구교상, 이명보. 2006. 우리나라의 봄철 순평년 온습도 변화에 따른 산불발생위험성 분석. 한국농림기상학회지 8(4):250-259.
- 이명보. 2006. 우리나라 산불발생 특성. 한국방재학회지 6(1):29-39.
- 이시영, 한상열, 원명수, 안상현, 이명보. 2004. 기상특성을 이용한 전국 산불발생확률모형 개발. 한국농림기상학회지 6(4):242-249.
- 청양·예산 산불피해지 공동조사단. 2003. 산불피해지의 건전한 자연생태계 복원 및 항구적인 산림복구계획 수립을 위한 청양·예산 산불피해지 정밀조사 보고서. 28-30쪽.
- 동해안 산불피해지 공동조사단. 2000. 산불피해지의 건전한 자연생태계 복원 및 항구적인 산림복구계획 수립을 위한 동해안 산불지역 정밀조사 보고서 I. 30-31쪽.
- Chafer, C.J., M. Noonan and E. Macnaught. 2004. The post-fire measurement of fire severity and intensity in the Christmas 2001 Sydney wildfires. *International Journal of Wildland Fire* 13(2):227-240.
- Choromanska, U. and T.H. DeLuca. 2002. Microbial activity and nitrogen mineralization in forest mineral soils following heating: evaluation of post-fire effects. *Soil Biology & Biochemistry* 34:263-271.
- Cocke, A.E., P.Z. Fule and J.E. Crouse. 2005. Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. *International Journal of Wildland Fire* 14(2):189-198.
- Duffy, D.A., J. Epting, J.M. Graham, T.S. Rupp and A.D. McGuire. 2007. Analysis of Alaskan burn severity patterns using remotely sensed data. *International Journal of Wildland Fire* 16(3):277-284.
- Hammill, K.A. and R.A. Bradstock. 2006. Remote sensing of fire severity in the Blue Mountains: influence of vegetation type and inferring fire intensity. *International Journal of Wildland Fire* 15(2):213-226.
- Ice, G.G., D.G. Neary and P.W. Adams. 2004. Effects of wildfire on soils and watershed processes. *Journal of Forestry* 102(6):16-20.
- Key, C.H. and N.C. Benson. 1999. The Normalized Burn ratio(NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity. USGS.
- Key, C.H. and N.C. Benson. 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, pp02-11.
- Key, C.H. and N.C. Benson. 2006. Landscape assessment: sampling and analysis methods. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-164-CD. Ogden, UT.
- Lentile, L.B., Z.A. Holden, A.M.S. Smith, M.J. Falkowski, A.T. Hudak, P. Morgan, S.A. Lewis, P.E. Gessler and N.C. Benson. 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire* 15(3):319-345.
- McHugh, C. and T.E. Kolb. 2003. Ponderosa pine mortality following fire in northern Arizona. *International Journal of Wildland Fire* 12(1):7-22.

- Miettinen, J., L. Andreas and S. Florian. 2007. Burnt area estimation for the year 2005 in Borneo using multi-resolution satellite imagery. *International Journal of Wildland Fire* 16(1): 45-53.
- Morgan, P., C.C. Hardy, T. Swetnam, M.G. Rollins and L.G. Long. 2001. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns. *International Journal of Wildland Fire* 10(3):329-342.
- National Wildfire Coordination Group. 2005. 'Glossary of wildland fire terminology'. US National Wildfire Coordination Group Report. PMS-205. Ogden, UT.
- Perez, B. and J.M. Moreno. 1998. Methods for quantifying fire severity in shrubland-fires. *Plant Ecology* 139(1):91-101.
- Roy, D.P., L. Boschetti and S.N. Trigg. 2006. Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3(1):112-116.
- Spencer, C.N., K.O. Gabel and F.R. Hauer. 2003. Wildfire effects on stream food webs and nutrient dynamics in Glacier National Park, USA. *Forest Ecology and Management* 178(1):141-153.
- Vieira, N.K.M., W.H. Clements, L.S. Guevara and B.F. Jacobs. 2004. Resistance and resilience of stream insect communities to repeated hydrologic disturbances after a wildfire. *Fresh water Biology* 49(5):1243-1259.
- van Wagendonk, J.W., R.R. Root and C.H. Key. 2004. Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity. *Remote Sensing of Environment* 92(3):397-408.
- Wan, S.H. and Y. Luo. 2001. Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: A meta-analysis. *Ecological Applications* 11(5):1349-1365. **KAGIS**