

## QuickBird 화상을 이용한 산불 삼림교란도 작성

김 천<sup>†</sup>

국민대학교 산림자원학과/응용정보기술학과

### Fire-Induced Forest Disturbance Mapping by Using QuickBird Imagery

Choen Kim<sup>†</sup>

Department of Forest Resources/Department of Applied Information Technology, Kookmin University

**Abstract :** This paper presents the capability to use QuickBird imagery for effects of forest disturbance in Okgye burned area. Particular attention of this paper deals with the NBR-derived mapping burn severity on QuickBird imagery to locate reliable rehabilitation(namely, secondary succession) over postfire surface. Comparisons of the mapping forest disturbance derived from QuickBird NBR data and the mapping burn severity derived from Landsat  $\Delta$ NBR data show substantial agreement (KHAT value =0.7886). The method calculated from the correlation between QuickBird wetness and Landsat ETM+ band7 may have application to forest harvest disturbance.

**Key Words :** Forest disturbance map, Burn severity, QuickBird NBR, Landsat ETM+  $\Delta$ NBR, Normalized burn ratio.

**요약 :** 본 논문은 중적외선 밴드가 없는 고해상도 QuickBird 화상을 이용하여 옥계 산불피해지의 삼림 교란 지도화에 관한 연구이다. Landsat ETM+  $\Delta$ NBR에 기초한 QuickBird NBR을 통해 산불피해등급도 보다 발전된 산불후 삼림교란도를 작성하였다. 무엇보다 QuickBird 수분지수와 Landsat ETM+ 7(중적외선)밴드 간의 상관계수에 QuickBird 수분지수를 곱한 치환수치로 생성되는 MIR모의밴드를 통해 산불피해 등급도와 산불후 삼림교란도가 제작된다. QuickBird NBR기반의 산불후 삼림교란도는 Landsat ETM+  $\Delta$ NBR기반의 산불피해등급도와의 비교 정확도 평가에서 본질적 확실의 높은 일치성(KHAT값=0.7886)을 갖고 있어, 산불피해지의 자연복원 나아가 삼림별채로 야기된 삼림교란에 유용하게 사용될 것이다.

### I. 서 론

생태(학)적 교란(ecological disturbances)에는 논쟁 되는 외래종 침입(introduction of exotic species)과 산림에 생산성을 높이는 작업(개벌포함)외에 산불, 병충 해, 홍수 및 풍해(기상에 의한 피해)와 같은 자연재해도

포함된다. 무엇보다 교란은 생태계에 심오한 효과를 갖고 있어 자연생물군집(natural community)을 변화시킨다. 본 논문에서는 산불교란에 의한 2차 천이 (secondary succession)의 삼림공간을 중·고해상도 위성화상을 이용하여 지도화하고자 한다. 산불로 야기된 삼림교란의 지도 작성에 관한 목적은 산불피해지 가

접수일(2009년 2월 6일), 수정일(1차 : 2009년 2월 12일, 2차 : 2009년 2월 19일), 게재확정일(2009년 2월 25일).

<sup>†</sup>교신저자: 김천(choenkim@kookmin.ac.kr)

운데 피해등급 ‘경’과 ‘중’에 해당되는 산화지(山火地)를 자연회복력, 즉 2차 천이로 복원하기 위함에 있다. 자연적 삼림복원은 산불에 내성강한 수종(樹種)이 선택될 수 있도록 긍정적 역할을 한다. 특히 종종 일어나는 경급의 산불(low-intensity fires)은 건강한 식생상태(healthy vegetation condition)를 유지시키기 때문에 인위적 발화의 경급산불 피해지 경우 더욱 자연 복원되어야 한다(Pyne, 1991 참조).

심급 산불(severe fires)을 제외하면, 수목피복이 드문 급경사의 산화지 경우에도 신속하게 자라는 관목초본(shrubs and grasses)이 토양유실을 방지하는 덕택으로, 자연적 발생산불을 자주 접한 삼림에 인위주기적 불놓기(prescribed burning)를 위해서라도 산불후(postfire) 삼림교란도의 작성이 필요하다. 왜냐하면 산불피해등급도를 식재복원에 이용하는 각국의 삼림경영자들 조차 산불이 생태계의 중요 부분임을 모르는 관계로 인위적 불놓기를 아직 인식 못하기 때문이다.

무엇보다 불놓기, 나아가 자연복원지의 범위를 결정하는 산불후 삼림교란도의 연구필요성을 산불의 자연교란 효과(effect of natural disturbances)에서 찾을 수 있다. 지중해 연안에서는 오랫동안(1989년 까지) 자연 산불을 억제한 결과로 더 잦은 산불발생과 그로인한 더 큰 황폐가 초래되었다(Stocks and Trollope, 1992). 이와 반대현상으로, 서유럽인의 이민 전(前) 북미대륙에서는 반복되는 자연적 산불 덕택에 숲틈(forest gaps)의 형성과 아울러 밀집하층(dense undersotry)의 잡초목제거를 통해 자연 성숙림이 유도되었다. 우리나라의 동해안 산불지역에서도 산불(20년)이 주기적으로 발생하여 산불적응 환경(fire-adapted environment)의 소나무 천연림을 구성하였다(경북 울진군 소광리 경우, 조재창, 1994; 이경준, 1996 참조).

전술한 이용적 측면의 목적 외에 본 논문이 갖는 기술적 측면의 목적은 IKONOS화상을 보다 공간해상도가 높은 QuickBird 화상을 이용한 정규산불피해비율(normalized burn ratio: NBR)기반의 삼림교란도 제작 개발에 두고 있다. 산불의 감시(monitoring)와 산불 피해지의 지도 작성에 이용되는 NBR기법은 Carl H. Key와 Nathan C. Benson에 의해 1994년 미국 Glacier국립공원의 산불 분석을 위한 산불효과의 경관관점에서 중해상도 위성화상 ETM+ 기반의 차분정규산

불피해비율(differenced normalized burn ratio: ΔNBR)과 현지실측의 산불피해흔성지수(composite burn index: CBI)간의 관계, 즉 변화탐지에 기초하는 셈법(algorithm)으로 1996년 적용되었다.

현재까지 NBR에 주류적으로 사용된 Landsat ETM+ 화상 외에 위성 자료의 종류를 열거하면, SPOT4 HRVIR & 5 HRG, MODIS ASTER, 그리고 ALI가 있다. 외국의 경우 고해상도<sup>1)</sup> 위성화상을 NBR에 적용 못한 원인은 현재 운용 중인 고해상도 위성의 감지기(sensor)에 중적외선(midinfrared: MIR 또는 shortwave infrared: SWIR)밴드가 없는 까닭이다. 국내의 김천(2008)은 중적외선 밴드가 없는 IKONOS 다중분광자료에서 태슬모자형 변환(tasseled cap transformation: TCT)계수에 기초한 IKONOS(토양) 수분지수(wetness index)와 Landsat ETM+ 7(중적외선)밴드와의 상관을 통해 구해진 IKONOS 중적외선 모의밴드에 의해 NBR 화상을 생성하였다.

따라서 QuickBird 다중분광자료에 전술한 방법을 접목시켜 QuickBird NBR 화상을 생성한 다음, 생태적 산불피해복구를 위해 교란의 정도와 범위를 평가할 수 있는 최종목표의 삼림교란도를 완성하는 것이다. 추가적으로 산불피해 현장의 식재·자연 복원지를 용이하게 식별할 수 있는 3차원 유색밀도편분(color-coded density slice)의 삼림교란도를 본 논문에서 전시한다.

## 2. 연구방법

### 1) 연구지역 및 사용자료

본 연구의 대상지역은 2004년 3월 16일 산불이 발생한 강원도 강릉시 옥계면의 산불피해지(총면적: 430ha)

1) 산업체에서는 공간해상도(spatial resolution) 대신 해상력(또는 분해능, resolving power) 용어를 사용하고, 화소의 해상력을 IFOV(instantaneous field of view)로 표현하는 반면, 원격탐사학에서는 화소의 공간해상도를 지상표집거리(ground sampling distance: GCP)로 나타낸다. 저해상도(low resolution)는 화소크기(pixel size)가 30m 이상의 GSD를, 중(medium)해상도는 2.0~30m 범위의 GSD를, 고(high)해상도는 0.5~2.0m 범위의 GSD를, 그리고 초고(very high)해상도는 0.5m 이하의 GSD를 각각 갖는다(Glackin and Peltzer, 1999 참조).

로 선정하였다. 옥계 산불피해지 가운데 심급의 산불피해가 많은 ‘산계리’와 ‘현내리’에 한정하여 지상용 위색적외선(CIR)수차 사진기로 피해삼림을 검정(촬영)하였다(Fig. 3).

QuickBird 화상(주사일: 2004년 7월 9일 오전 11시 28분 경)과 Landsat ETM+ 화상(주사일: 2002년 4월 5일 및 2004년 4월 17일)이 삼림교란도 작성에 사용되었다. Landsat7의 감지기(sensor)는 Enhanced Thematic Mapper Plus (즉, ETM+)로 명명되고, 그 특성을 QuickBird(2) 위성의 감지기특성과 함께 Table 1에 수록하였다.

본 연구에서 실제 사용된 QuickBird 화상은 Table1의 다중분광(MS)자료가 아니고, MS자료와 범색성(panchromatic)자료를 융합(fusion)시킨 자료이다. QuickBird 융합화상의 재표집(resampling)화소크기는 0.594m이고, 보정된 GSD의 평균은 0.714m에 달한다. 그리고 QuickBird 화상의 여름철 주사조건, 즉 입사광의 높은 고도각  $h_s=72.7^\circ$  (즉, 천정각  $\theta_i=17.3^\circ$ ) 와 방위각  $\phi_i=149.7^\circ$  덕택에, 임관(canopy)의 이방향성 효과에 의한 그림자 영향을 저감시키는 상대음영지수(relative shadow index: RSI)보정을 실시하지 않았다. 3차원(3D) 삼림교란도를 제작하기 위해 수치지형도(축적비 1:25,000) 기반의 수치표고모형(DEM)을 추출하였다.

## 2) QuickBird 정규산불피해비율(NBR) 생성

NDVI와 NBR은 유사한 영상강조의 셈법이다. NDVI공식의 대입항에서 적색밴드가 NBR공식에서는 중적외선 밴드로 바뀐 것 밖에 없다. 부언하면, NBR은

근적외선과 중적외선의 밴드비율(NIR/MIR)을 정규화, 즉 정규차분지수(normalized difference index)로

$$NBR = (NIR - MIR)/(NIR + MIR)$$

와 같이 정의된다. 그리고 산불 전후의 변화 탐지에 이용되는 차분 정규 산불 피해 비율(Differenced Normalized Burn Ratio: ΔNBR) 즉,  $\Delta NBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire}$ 을 구할 때는 통용적으로 각 NBR에  $10^3$ 을 곱한다. 무엇보다 산불피해등급도 작성에 NDVI보다 NBR을 선호하는 이유는 2가지로 요약된다. 첫째, 엽록소 양과 관계있는 NIR은 식생이 소(疏, 성김) 할수록 적게 반응하는 반면, 수분 양과 관계있는 MIR은 나지와 암석에서 크게 반사하기 때문이다(López-Garcia and Caselles, 1991 참조). 둘째, MIR밴드는 대기산란에 적게 영향을 받음으로 인해 지표면에서 산란을 줄이기 때문이다(Pereira et al., 1997).

서론에서 밝힌 바와 같이 QuickBird 위성은 MIR밴드를 제공하지 못하기 때문에, QuickBird NBR을 생성하기 위해서는 QuickBird 다중분광 자료의 TCT계수에 기초한 수분지수와 Landsat ETM+ 7(중적외선)밴드와의 상관에서 유도해야 한다. 이용된 TCT 수분지수의 계수에 대한 견고성(robustness)은 검정 대신 IKONOS·QuickBird의 각 TCT 제 4 지수(일명 연무지수, 정강호, 1999 참조)가 갖는 정보량에서 알 수 있다. 다시 말하면, 4개 밴드의 화소가 4차원 공간으로 분산되었을 때, 제 4 지수의 좌표축(coordinate axis)에 포함되는 화소의 분산분율(즉,  $P_4 = \delta_4^2 / \sum_{i=1}^4 \delta_i^2$ )을 비교하여 결정하였다. 전술한 TCT 제 4 지수의 계수와 TCT 제 4 지수가 갖는 분산

Table 1. Sensor specifications of Landsat ETM+ and QuickBird(2)

Band	Landsat ETM+				Band	QuickBird(2)			
	(Resolution) (μm)	Spectral (m)	Spatial (bits)	Radiometric Temporal revisit (days)		(Resolution) (μm)	Spectral (m)	Spatial (bits)	Radiometric Temporal revisit (days)
1	0.450-0.515	30	8	16	1	0.45-0.52	2.44	11	11
2	0.525-0.605	30	8	16	2	0.52-0.60	2.44	11	11
3	0.630-0.690	30	8	16	3	0.63-0.69	2.44	11	11
4	0.750-0.900	30	8	16	4	0.76-0.90	2.44	11	11
5	1.55-1.75	30	8	16					
6	10.40-12.50	60	8	16					
7	2.08-2.35	30	8	16					
pan	0.52-0.90	15	8	16	pan	0.45-0.90	0.61	11	11
Footprint	185(Km <sup>2</sup> )				Footprint	16.5(Km <sup>2</sup> )			

Table 2. The 4th TCT coefficients and the variance percentage of 4th tasseled cap(TC) coordinate axis for IKONOS · QuickBird multispectral (MS) data, respectively

	4th TCT coefficients	Explained variance(%)
QuickBird	0.677, -0.677, 0.292, 0.011	0.21%
IKONOS	-0.650, 0.719, -0.243, -0.031	0.20%

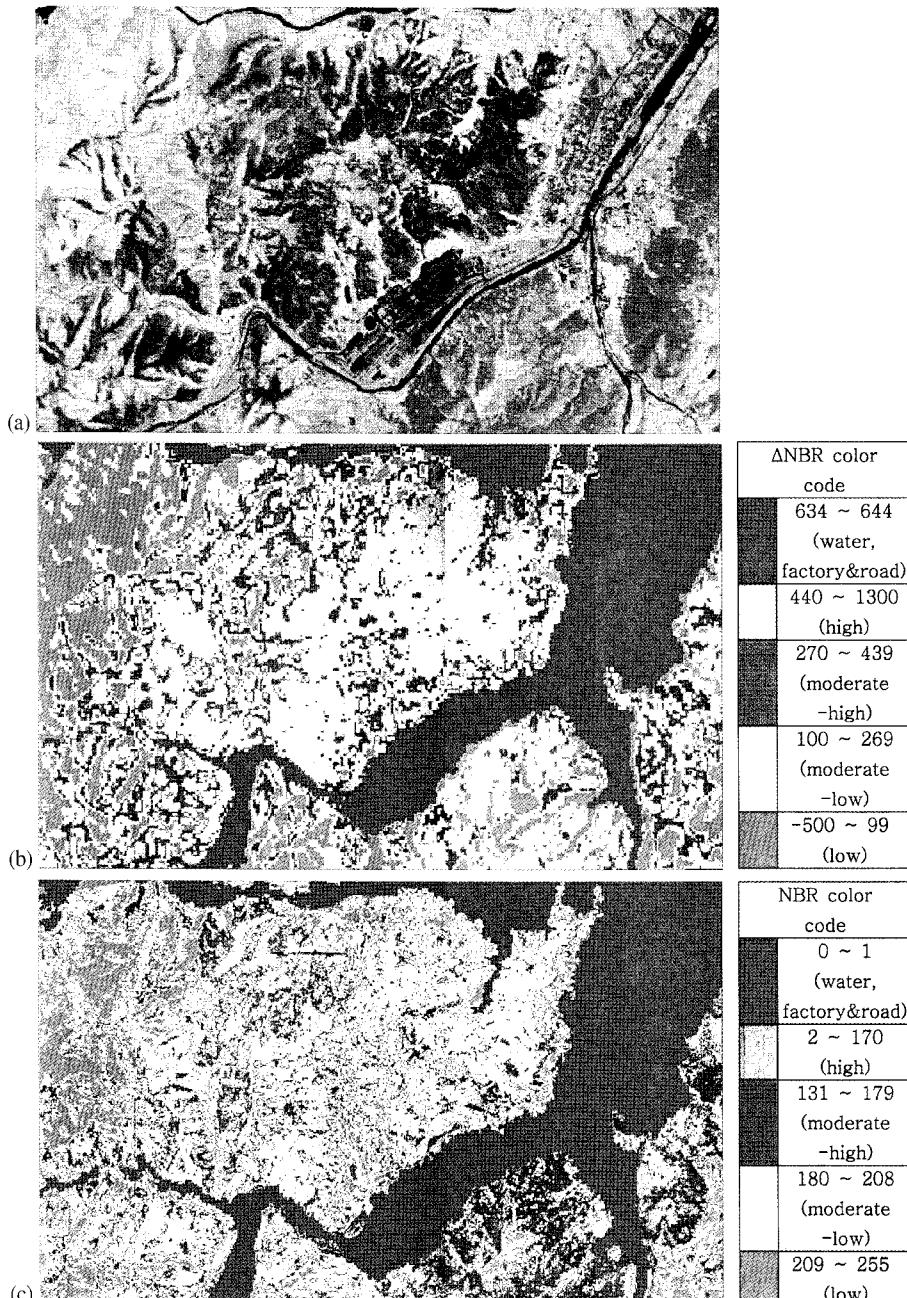


Fig. 1. (a) QuickBird-derived NBR image of Okgye burned area. (b) Color-coded density slice image of Landsat ETM+  $\Delta$ NBR stratified by ordinal severity levels in Table 3, for Okgye burned area. (c) Forest disturbance map based on QuickBird-derived NBR image of Okgye burned area, showing blue, red, brown, yellow and green as water & impervious surface(masked), high · moderate high · moderate-low · low severity, respectively.

백분율(variance percent)을 Table 2에 수록하였다.

옥계 산불피해지역, 즉 연구지역을 시기만 다르게 동일 주사한 Landsat ETM+ 7밴드(2004년 4월 17일)와 QuickBird 수분지수(2004년 7월 18일)간의 상관계수가 0.718로 높게 나타나고, 산점도의 수, 즉 화소 수가 10,527인 보집단 상관계수의 경향으로 인해 두 자료 간에 선형관계가 있다고 볼 수 있다. 따라서 산출된 QuickBird 수분지수에 0.718을 곱해 구한 치환 수치(digital number: DN), 즉 QuickBird MIR모의밴드의 DN과 QuickBird 4밴드의 고유 DN을 NBR식에 각각 대입하여 회색조(grayscale tone)의 NBR 화상을 생성하였다(Fig. 1(a)). QuickBird NBR 화상에서 수체피복이 산불피해등급 '심'으로 나타난 문제와 수체피복의 가림처리, 나아가 산불피해등급 '중'을 '중저(moderate-low)'와 '중고(moderate-high)'의 세(細)등급에 대해서는 결과 및 고찰에서 기법과 함께 다루기로 한다.

### 3. 결과 및 고찰

Landsat ETM+ 5밴드를 이용한 NDVI 보정과 CBI 예측에 대한 NDVI와 NBR간에 우수비교는 본 논문에서 논외로 취급한다. Fig. 1(a)의 QuickBird NBR 화상과 Fig. 2(e)의 Landsat ETM+ ΔNBR 화상에서 산림과 다른 피복(특히 수체)에 대한 구분문제가 우선 부각된다. 수체피복이 산불피해 등급 '심'에 속하는 원인은 원래 TCT계수가 안고 있는 토양 및 식생지수의 정보보량, 즉 그들의 분산백분율이 95~98%를 차지하기 때문이다. 다음으로 불투수표면(impermeable surface)에 대해 살펴보면, 시멘트 공장과 포장도로의 경우 암석과 나지에서 높게 반사하는 MIR 분광특성 때문에 산불심급피해의 나지와 구별되지 않는 현상이 발생한다. 전술한 현상을 근거로 미국의 산불피해지 응급복구(Burned Area Emergency Rehabilitation: BAER)팀이 토양나지에 민감한 반응을 나타내는 MIR밴드에 의해 NDVI보다 NBR를 선호하는 토양효과(soil effects)가 증명된다(Parsons, 2003 참조).

#### 1) 산불후 NBR기반의 산림교란도 제작

미국과 달리 우리나라의 산불피해지역은 노년기 지

령인 관계로 중·고해상도 화상을 사용할 경우 수계의 작은 하천, 호수, 보 등이 필연적으로 포함되기 때문에 임계치에 의한 구간 분류보다 전형적 화상분류를 통해 수체를 분리하는 방법이 NBR 이용에 효과적이다.

Fig. 2(f)와 Fig. 2(g)는 Landsat ETM+의 2·3·4밴드를 사용하여 감독 최대우도분류한 산불 전후의 화상을 나타낸다. 전술한 분류화상 모두 수체(정색 표시)가 뚜렷이 판별되어 있고, 황색 표시의 하천주변나지와 논(나지형태, 2.1절에서 Landsat ETM+의 주사일 참조)도 변화 없는 괴복상태로 남아있다. 산림의 경우 산불전 분류화상 Fig. 2(f)에서는 적색의 산화(山火)산림과 녹색의 비산화(非山火)산림으로 나누어져 있다.

감독 최대우도분류를 통해 산화 및 비산화만 구별하고, 산불피해의 심·중·경급으로 나누지 않을 경우에는 분류계급의 수가 작아 쉽게 판별되어 변화탐지에 장점으로 작용하지만, 분류계급 수의 증가와 고해상도 화상으로 갈수록 신경망 및 객체지향분류(object-oriented classification)의 다단계분석이 추가적으로 요구되는 단점이 있다. 무엇보다 전술한 기법 모두 생체량(biomass)을 추정할 수 없는 결정적 취약점이 존재한다.

Fig. 2에 사용된 두 Landsat ETM+ 화상의 주사일에 대한 계절적 차이가 12일 밖에 되지 않아 연도적 변화탐지의 전제조건인 화상 자료의 정규화(normalization)를 만족할 수 있다. 계절적 요인이 제외된 관계로 연도가 다른 Landsat ETM+ 화상에 의해 산출된 ΔNBR은 산불 전후시점 비교의 감소 생체량(biomass)을 나타낸다. Fig. 2(e)의 ΔNBR 화상에서 알고 있는 산불피해지는 육안으로 인식되지만, 전술한 바와 같이 담수체뿐 아니라 해수체(바다)도 산불피해지와 동일하게 출현되어 Fig. 2(a)와 Fig. 2(c)의 위색흔성영상(pseudo-color composite image)과 대조를 통해서만 식별이 가능하다. 따라서 Fig. 1(a)의 QuickBird NBR 화상에 나타난 비산림피복체의 오(誤)구분은 QuickBird TCT계수에만 발생하는 원인아 아님을 가늠할 수 있다.

본 연구에서는 비산림지의 대부분, 즉 수체(전술한 수계), 불투수표면의 인공건조체(포장도로 및 시멘트 공장), 수평적 형태의 나지(수계나지 및 비경작의 논 또는 밭, 그리고 난개발 산지)를 가림기법에 의해 분리처리한 다음, 산불피해지(비산화지 포함가능)에 대해서만 미국 농림부 산림청(USDA Forest Service)의 통상(산불)피

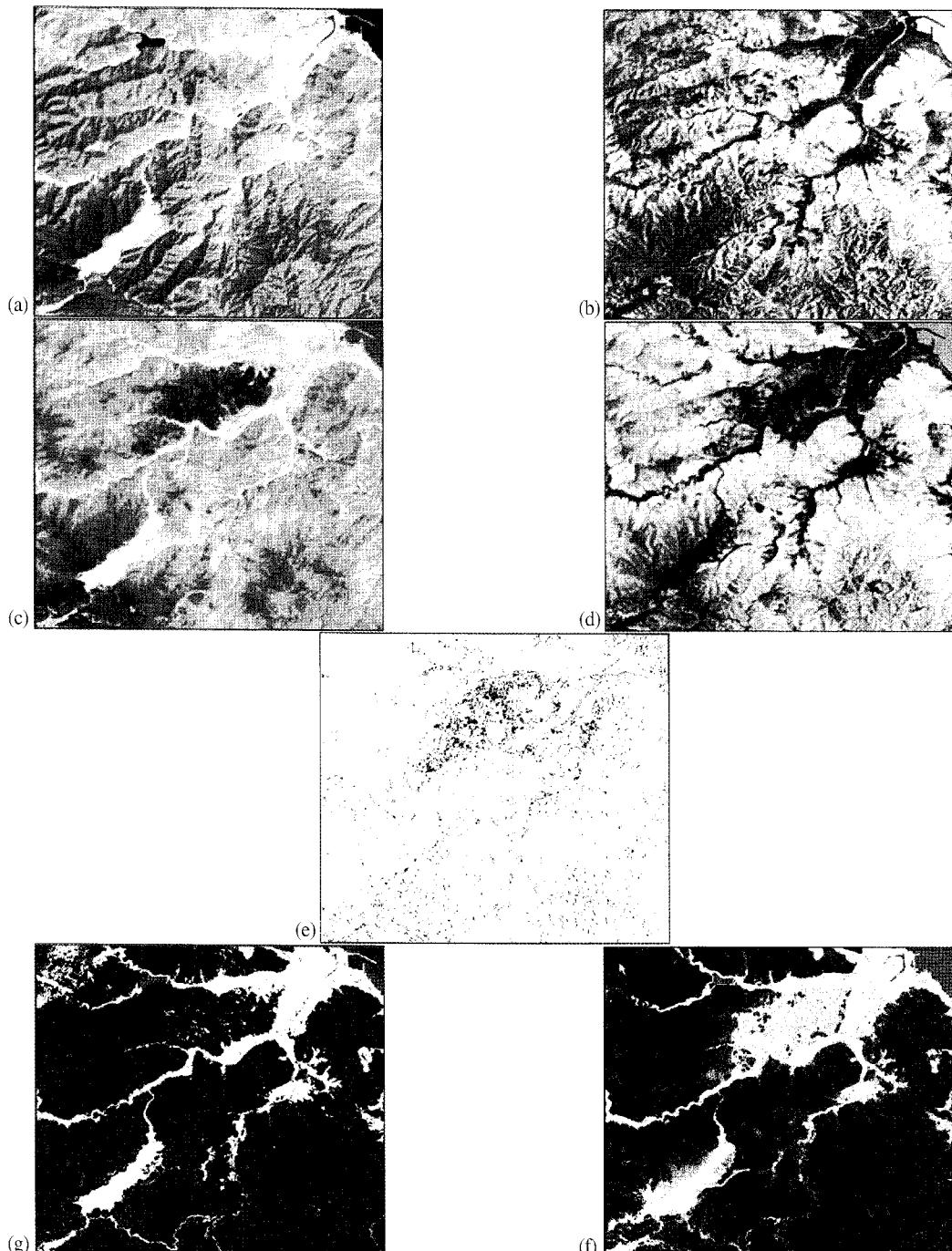


Fig. 2. (a) False color composite Landsat ETM+ image of Okgye burned area collected on 5 April 2002(bands 4, 3, and2). (b) NBR image derived from (a) image data for prefire. (c) False color composite Landsat ETM+ image collected on 17 April 2004(bands, 4, 3, and 2). (d) NBR image derived from (c) image data for postfire. (e)  $\Delta$ NBR image 4/5/2002-4/17/2004 derived from the data (b) & (d). (f) Supervised classification image using Landsat ETM+ bands 4, 3, & 2 obtained on April 5, 2002(blue, green, and yellow shown as water body, unburned, and bare ground, respectively). (g) Supervised classification image using Landsat ETM+ bands 4, 3, and 2 obtained on April 17, 2004(blue, green, yellow, and red shown as water body, unburned, bare ground, and burned, respectively).

해기준(Table 3)에 따라 생성한 Landsat ETM+  $\Delta$ NBR을 층화 구분하였다.

Landsat ETM+  $\Delta$ NBR 화상의 4개 분류계급, 즉 4개 산불피해등급(비산림 항목 제외)에서 각 피해등급의 최대값과 최소값에 대응하는 각 피해등급별 QuickBird NBR 화상의 최대값과 최소값을 구하여 공간을 분할하였다. Fig. 1(b)와 Fig. 1(c)의 색상범례에서 주목할 점은  $\Delta$ NBR의 값이 커질수록 산불피해등급이 ‘경’에서 ‘심’으로 진행하는 반면, NBR의 경우 그 값이 커질수록 ‘심’에서 ‘경’으로 이동한다. 그 이유는 2.2)절에서 설명한 바와 같이  $\Delta$ NBR을 구할 때 NBR에  $10^3$ 을 곱하고,  $10^3$ 을 곱하기 전의 값이  $-1$ 과  $1$ 사이에 있기 때문이다. QuickBird NBR값과 Landsat ETM+  $\Delta$ NBR값 간의 역관계 증명은 등급분류의 정확도 비교를 통해 3.2)절에서 알아본다.

비산림지를 제외한 Fig. 1(b)는 Landsat ETM+  $\Delta$ NBR에 기초한(유색밀도편분) 산불피해등급도이다. Fig. 1(b)와 같이 비산림지가 제외된 Fig. 1(c)는 QuickBird NBR 기반의 산불피해등급도를 나타낼 뿐 아니라, 산불발생의 삼림교란을 파악할 수 있는 산불후 삼림교란도이다. 부언하면, 삼림교란도 Fig. 1(c)의 경급과 중저급에 해당되는 영역은 산불의 생태적 기능, 즉 산불이 파종(seeding)과 종자 추가확산(further distribution)에 없어서는 안 될 자연복원지를 표시한다.

## 2) 산불후 NBR기반의 삼림교란도 평가

지중해 연안 국가처럼 우리나라로 산불이 삼림근처의 인간생명과 재산을 빼앗아 가기 때문에 생태계순환에서 산불 제거와 억제의 관리 변경을 시도하지 않으려고 한다. 서론에서 언급한 바와 같이 본 연구는 산불피해(액)의 정량화에 대한 기술 개발만큼 생태계의 정상적·건강적 부분(normal and healthy part of the ecosystem)을 차지하는 산불 고유기능을 강조하는 계몽적 역할에도 중점을 둔다. 위성화상의 반복적 감시를 통해 최소한 경급의 산불피해지를 방지하여 자연복원력에 의해 장령됨으로 변성할 수 있게 하기 위해서는 산불피해등급도로부터 유도된 산불후 삼림교란도에 대한 정확도 평가를 하지 않을 수 없다.

Table 3의  $\Delta$ NBR 산불피해기준(severity levels)과 NBR기반의 산불피해등급 구분은 현장실측의 CBI에 바

탕을 두고 있다. 산불후 삼림교란도(postfire forest disturbance map)의 4개 산불피해등급에 대한 정확도는 우선 CBI의 표집방법대신 지상용 위색적외선(CIR)화상에 의한 육안판독으로 피해등급검정을 대체하고, 층화분류된 NBR기반의 삼림교란도와 참조자료인  $\Delta$ NBR기반의 산불피해등급도 간에 오차행렬을 통해 평가한다.

90개의 계통표집에 의해 QuickBird NBR기반의 삼림교란도와 Landsat ETM+  $\Delta$ NBR기반의 산불피해등급도를 중첩비교한 검증결과는 Table 4와 같다. 오차행

Table 3. Ordinal severity levels and example range of  $\Delta$ NBR (scaled by 103), to the right(Courtesy USDA FS FIREMON)

Severity level	$\Delta$ NBR range
Enhanced regrowth, high	-500 to -251
Enhanced regrowth, lo	-250 to -101
Unburned	-100 to +99
Low severity	+100 to +269
Moderate-low severity	+270 to +439
Moderate-high severity	+440 to +659
High severity	+660 to +1300

$\Delta$ NBR value ranges are flexible; scene-pair dependent; shifts in thresholds  $\pm 100$  points are possible.  $\Delta$ NBR less than about -550, or greater than about +1,350 may also occur, but are not considered burned. Rather, they likely are anomalies caused by misregistration, clouds, or other factors not related to real land cover differences.)

Table 4. Error matrix showing the  $\Delta$ NBR-derived burn severity map based on Landsat ETM+ image versus the postfire forest disturbance map derived from QuickBird NBR image

	Masked	High	Moderate -high	Moderate -low	Low	Row Total
Masked	13			1		14
High		22	1		1	24
Moderate -high		4	12		2	18
Moderate -low		1		12	1	14
Low			3	1	16	20
Colum Total	13	27	16	14	20	90

Overall Accuracy =83.33%	Producer's Accuracy Masked=100% High=81.48% Moderate-high=75% Moderate-low=85.71% Low=80%	User's Accuracy Masked=100% High=81.48% Moderate-high=75% Moderate-low=85.71% Low=80%
KHAT = 0.7886		

Table 5. Interpretation of KHAT Values

KHAT Value	Interpretation
Below 0.00	Poor
0.00-0.20	Slight
0.21-0.40	Fair
0.41-0.60	Moderate
0.61-0.80	Substantial
0.81-1.00	Almost perfect

렬(error matrix) 평가를 통한 산불후 삼림교란도의 전체 정확도는 83.33%인 반면, KHAT값(또는 kappa 계수)은 78.86%를 나타내어 피해등급 ‘중’을 이분화하는 세(細)등급 과정에서 두 지도 간의 중급 피해영역에 대한 일치성이 다른 피해영역보다 다소 결여되어 있다. 왜냐하면 중고(Moderate-high)급의 산불피해에서 생산

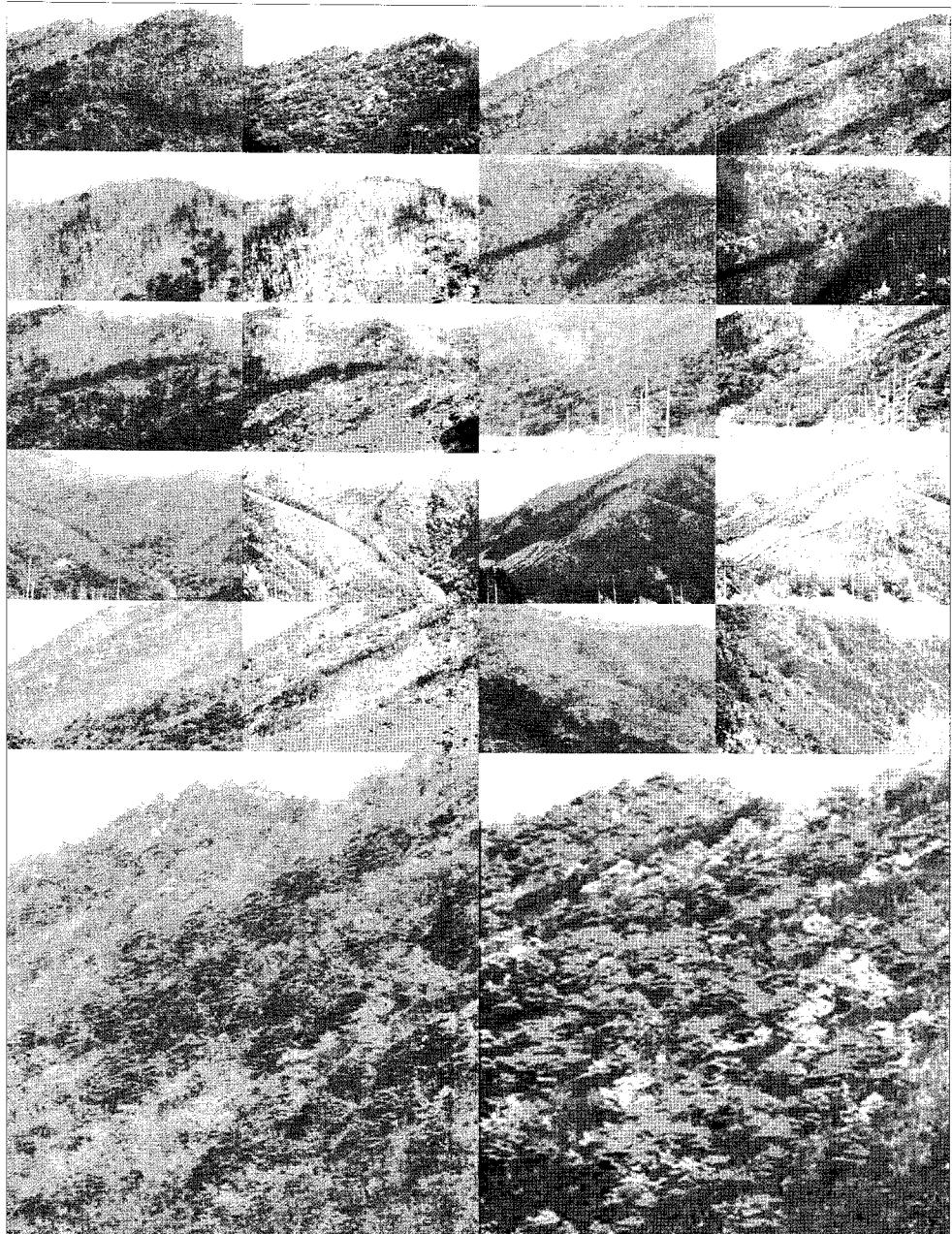


Fig. 3. Terrestrial natural color image (left) and false color infrared image (right) of Okgye burned area acquired on April 16, 2005.

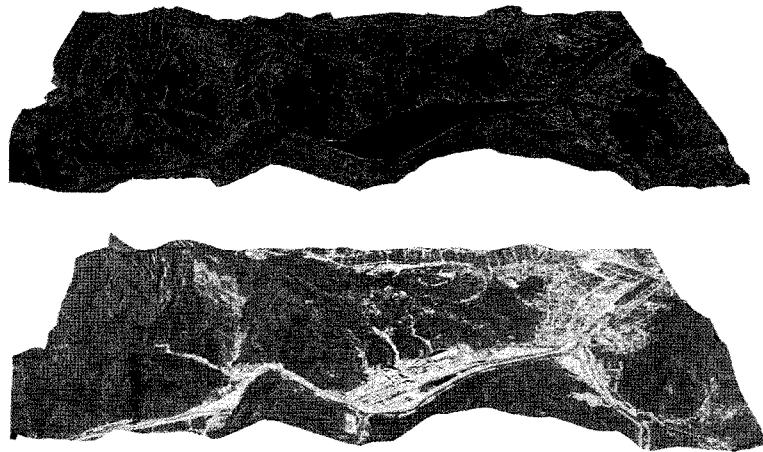


Fig. 4. 3D Forest disturbance map derived from QuickBird NBR image of Okgye burned area (top) and 3D False color composite QuickBird image (bands 4, 3, & 2).

자 정확도와 사용자 정확도를 분석해보면 25% 누락오차(omission error)와 33.33% 수행오차(commission error)가 발생할 뿐 아니라, KHAT값( $\hat{k}$ )이 다른 분류항목, 즉 가림영역(Masked)  $\hat{k}=91.65\%$ , 심급(High)  $\hat{k}=88.10\%$ , 중저급(Moderate-low)  $\hat{k}=8.0.8\%$ , 그리고 경급(Low)  $\hat{k}=74.29\%$ 에 비해 훨씬 떨어진 59.46% 밖에 되지 않기 때문이다(Table5 참조).

kappa분석의 장점은 두 통계검정 간의 유의성 제공에 있다. 정확도를 검정으로 간주하면 삼림교란도와 참조자료인 산불피해등급도 간에 일치성(agreement)과 정확성(accuracy)을 나타낸다. Landis and Koch (1997)가 특징지운 KHAT값의 3가지 범위(즉, 80%이상, 40-80%, 그리고 40%이하)에 대한 해석을 발전시켜 5가지 범위에 대한 해석을 Table 5에 정리하였다.

QuickBird NBR기반의 산불후 삼림교란도와 Landsat ETM+ ΔNBR기반의 산불피해등급도 간에 정확도와 일치성은 Table 5의 해석에 의해 실질적 일치와 본질적 확실의 결론을 내릴 수 있다. 또한 3.1)절에서 언급한 QuickBird NBR값과 Landsat ETM+ ΔNBR값 간에 성립하는 역관계도 전수한 수준의 신뢰를 갖는다.

Landsat ETM+ ΔNBR기반의 미국 통상(산불)피해 기준에 관한 신뢰성을 떠나, QuickBird NBR기반의 삼림교란도의 정확도를 간접검정이 아닌 직접검정에 의한 평가뿐 아니라, 주사계절시기의 차이에서 오는 오차(원인)를 없애기 위해서라도 2005년 4월 16일 획득한 지상 CIR수치화상을 피해등급별 대조분석하였다(Fig. 3 참

조). 비록 산불후 Landsat ETM+의 주사일보다 1년 늦게 획득하였지만, 전술한 두 지도의 피해등급 판별에는 변함이 없었다. 그러나 피해등급별 영역의 경계정확도, 즉 위치정확도는 수행할 수 없음을 밝혀둔다.

위성자료 공공활용연구의 목적에 따라 제작된 3차원 산불후 삼림교란도 Fig. 4는 경급 및 중저급의 산불피해지를 식재복원이 아닌 생태복원의 결정에 현장에서 용이하게 사용될 것이다. Fig. 4의 활용평가는 조림전문가 및 생태복원 종사자의 뜻으로 남겨둔다.

#### 4. 결 론

고해상도 QuickBird 화상을 이용하여 옥계 산불피해지의 산불피해등급도보다 발전된 산불후 삼림교란도를 작성하였다. 본 연구를 통해 획득된 삼림교란도의 작성기법과 파급된 기대효과 그리고 개발의 보완점은 다음과 같다.

첫째, 산불피해지의 지도화에 이용되는 NBR은 NIR과 MIR의 정규차분지수로 구해진다. 고해상도 위성화상(QuickBird 포함)에 MIR밴드가 없는 관계로 QuickBird 다중분광자료의 TCT계수에 기초한 수분지수와 Landsat ETM+ 7(중적외선)밴드 간의 상관계수에 QuickBird 수분지수를 곱한 치환수치로 MIR모의밴드를 생성할 수 있다.

둘째, QuickBird 모의 MIR밴드에 의해 산출된 NBR

기반의 산불피해등급을 구분할 경우, 미국 통상산불피해기준의  $\Delta$ NBR 범위를 토대로 이용할 수 있지만, CBI 같은 현지표본실측의 피해등급에 따라 NBR 범위(Range)를 만들 필요가 있다.

셋째, 산불후 삼림교란도는 작성 방법면에서 산불피해등급도와 차이가 없지만, 지도 이용면에서 산불피해등급도는 식재복원에 사용되는 반면, 삼림교란도는 자연복원에 사용될 것이다.

넷째, 산불후 삼림교란도에 나타난 '경'·'중저'급의 산불피해지를 2차 천이의 자연복원으로 유도하기 위해 위성화상의 반복적 감시(monitoring)가 필요하다.

다섯째, 산불후 삼림교란도 작성을 통해 생태계 순환에서 산불제거와 억제에 관한 지침이 변경되어야 하고, 급경사의 산불피해지에도 잡초목이 신속하게 자라기 때문에 홍수를 유발시키는 식재복구보다 자연방치 되어야 한다.

여섯째, 건강한 녹색식생에서 낮게 그리고 식생이 드문 나자에서 높게 반사하는 MIR 분광특성으로 인해 NBR화상에서 인공건조물과 산불피해지의 나자가 분리되지 않을 뿐 아니라, 수체의 경우 임계치를 초과하여 나자와 구분이 되지 않는다.

전술한 결론을 토대로 고해상도 위성화상의 NBR은 벌채지의 삼림교란을 지도화 할 수 있을 것이다.

## 사사

본 연구는 기초기술연구회 한국항공우주연구원의 "위성자료 공공활용 연구" 과제지원에 의해 수행되었습니다. 국민대학교에서 본 논문의 재자료를 지원하였습니다.

## 참고문헌

김 천, 2008. IKONOS 화상 기반의 산불피해등급도 작성을 위한 정규산불피해비율(NBR) 평가, 대한 원격탐사학회지, 24(2): 195-203.

이경준, 1996. 산림의 교란, 산림생태학(이경준·한상섭·김자홍·김은식 공저), 향문사, pp. 141-162.

정강호, 1999. 위성 TM자료와 GIS 기법을 이용한 서울시 연무추출 연구, 국민대학원, 석사학위논문, 56p.

조재창, 1994. 울진군 소팡리 지역 소나무의 임분구조 및 생장양상과 산불과의 관계, 서울대학교 산림자원학과, 박사학위논문, 101p.

Glackin, S. L. and G. R. Peltzer, 1999. *Civil, Commercial, and International Remote Sensing Systems and Geoprocessing*, The Aerospace Press, El Segundo, CA, 89p.

Landis, J. and G. Koch, 1977. The measurement of observer agreement for categorial data, *Biometrics*, 33: 159-174.

López-Garcia, M. J. and V. Caselles, 1991. Mapping Burns and Natural Reforestation Using Thematic Mapper Data, *Geocarto International*, 6: 31-37.

Parsons, A., 2003. *Burned Area Emergency Rehabilitation (BAER) Soil Burn Severity Definitions and Mapping Guidelines*, Burn Severity Definitions/Guidelines Draft, USDA Forest Services, Remote Sensing Application Center, Salt Lake City, UT, 12p.

Pereira, J. M., C. Chuvieco, E. Beaudoin, A., and N. Desbois, 1997. Remote sensing of burned areas: a review. In *A Review of Remote Sensing Methods for the Study of Large Wildland Fires*, edited by E. Chuvieco (Alcara de Hanares: Universidad de Alcala), pp. 127-183.

Pyne, S. T., 1991. *Burning Bush: A Fire History of Australia*. Henry Holt and Company, New York, 522p.

Stocks, B. J. and W. S. W. Trollope, 1992. Fire management: principle and options in the forested and savanna regions of the world. In P. J. Crutzen and J. G. Goldammer (Eds.), *Fire in the Environment : The Ecological, Atmospheric, and climatic Importance of Vegetation Fires*, John Wiley and Sons, New York, pp. 315-326.