

## IKONOS 화상 기반의 산불피해등급도 작성을 위한 정규산불피해비율(NBR) 평가

김 천<sup>†</sup>

국민대학교 산림자원학과/응용정보기술학과

### Evaluation of the Normalized Burn Ratio (NBR) for Mapping Burn Severity Based on IKONOS-Images

Choen Kim<sup>†</sup>

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

**Abstract :** Burn severity is an important role for rehabilitation of burned forest area. This factor led to the pilot study to determine if high resolution IKONOS images could be used to classify and delineate the burn severity over burned areas of Samchock Fire and Cheongyang-Yesan Fire. The results of this study can be summarized as follows:

1. The modified Normalized Burn Ratio (NBR) for IKONOS imagery can be evaluated using burn severity mapping.
2. IKONOS-derived NBR imagery could provide fire scar and detail mapping of burned areas at Samchock Fire and Cheongyang-Yesan Burns.

**Key Words :** IKONOS satellite imagery, Normalized Burn Ratio(NBR), Tasseled Cap Transformation (TCT).

**요약 :** 본 연구는 KOMPSAT-2호 및 3호의 화상활용의 일환으로 고해상도 위성화상을 이용한 산불피해비율(NBR) 기반의 산불피해등급도 작성 개발이다. 무엇보다 중적외선 밴드가 없는 IKONOS 화상에서 NBR 산법개발과 NBR 기초한 삼척과 청양·예산 산불피해지의 산불피해등급도를 기존의 다른 기법과 평가한 결과 우수성이 입증되었다. 향후 고해상도 KOMPSAT 화상을 이용한 NBR 기반의 산불피해등급도는 산불 후 피해복원에 중요한 정보를 제공할 것이다.

### 1. 서론

산불방지 못지않게 산불피해지 복구도 중요하다. 왜냐하면 삼림의 식생 천이에 산불효과(effects of fire on post-fire vegetation succession)를 무시한 산불

피해복구는 종종 홍수재난을 가중시키기 때문이다. 실제로 고성 및 동해안 산불의 경우, 산불 후 당해년 여름철 집중호우 시기까지 자연방지에 의해 재생피복도(관목층과 초본층 포함)가 높게 나타남에도 불구하고 수관화 피해를 입은 소나무림을 서둘러 베어낸 인공식재 복

2008년 4월 2일 접수 ; 2008년 4월 28일 수리.

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

원이 강수의 지표유출량을 증가시켰다(정연숙 외, 2002; 유재욱, 2004 인용). 따라서 산불피해등급(burn severity) 측정과 그에 따른 지도 작성은 경관상태 복구 뿐 아니라 경제적으로 유용하게 사용된다. 무엇보다 미국 산불피해지의 긴급복원에는 항공사진 및 다중분광 위성화상들을 식생의 변화탐지(vegetation change detection)기법에 의해 산출된 자료를 산불피해등급도로 활용하고 있다(Hardwick et al., 1997).

변화탐지 기법을 근간으로 하는 산불피해등급도 산출 방식에는 크게 다섯 가지 즉, 태슬모자형 변환(tasseled cap transformation: TCT), 주성분 분석(PCA) 변환, 정규식생지수(NDVI), 정규산불피해비율(NBR) 그리고 신경망 및 객체지향분류(object-oriented classification)로 나눌 수 있다. 신경망 및 객체지향분류를 제외한 나머지 4개 방식은 화소기반 분류(pixel-based classification)의 변화탐지 기법에 속한다. 국내의 산불피해등급도 산출에 적용된 태슬모자형 변환 방식(원강영 · 임정호, 2001)과 비객체기반의 신경망 방식(김형호 외, 2002) 모두 화소기반 등급분류이고, 중해상도 화상인 Landsat ETM+ 위성자료를 이용하였다. 미국에 비해 산불규모가 작은 우리나라의 경우 중해상도 위성화상보다 고해상도 위성화상이 산불피해 탐지에 적합하지만, 산불피해등급도에 잘 사용하지 못하는 이유는 첫째, 현재 운용 중인 고해상도 위성의 경우 중적외선(mid-infrared: MIR)밴드가 없는 관계로 산불피해 나지 토양의 높은 MIR 반사율과 산불피해림의 낮은 근적외선(near-infrared: NIR) 반사율에 기초한 NBR 방식을 채택할 수 없기 때문이다. 둘째, 분광 매개변수보다 공간 매개변수를 토대로 분류하는 객체지향의 형태추출(feature extraction)방식도 이방향성 지형효과 외에 하나의 객체 안에 이중성 분광반응(spectral response)으로 인해 산불피해등급에 대한 임관 형상(shape)의 정량화가 선행조건이기 때문이다.

전술한 제약조건이 없고, 고해상도 화상의 이용 장점인 육안판별을 살려 산불피해등급의 육안판독 열쇠는 먼저 개발되었다(김천 외, 2005). 고해상도 KOMPSAT 화상활용의 일환으로 수행된 본 연구는 육안판독 기반의 산불피해등급도 작성을 검정함과 아울러 중해상도 Landsat TM/ETM+화상에서 사용한 산불피해등급 분류도의 NBR 기법을 고해상도 위성화상, 즉 IKONOS

화상에 적용 및 응용하였다.

## 2. 연구지역 및 사용자료

### 1) 연구지역

본 연구의 대상지역은 동해안에 위치한 삼척시 근덕면 산불피해지와 충남 내륙에 위치한 청양·예산 산불피해지를 선정하였다. 전자 연구지역의 결정이유는 단일 규모로는 최대 산불피해(13,033ha)를 입혔고, 5-6등급의 소나무림이 대부분 피해를 보았기 때문이다. 2002년 4월 7일에 산불이 발생하여 4월 15일까지 총 8일간 진행되었고, 당시 초속 20m가 넘는 최악의 기상조건에 의해 빠른 속도로 확산되어 소나무림의 산불진화 복원에 관한 정보를 제공할 수 있다.

무엇보다 IKONOS 화상의 NBR 대입 항(terms)을 구하기 위해서는 IKONOS화상과 동일한 지역의 Landsat ETM+ 화상으로부터 MIR 밴드와 TCT의 수분지수(wetness index) 그리고 NIR 밴드와 TCT의 녹색식생지수(greenness index)간의 상관을 규명해야 한다.

후자 연구지역 선정은 대규모 공동조사단에 의해 현장 정밀조사가 이루어져 NBR에 의해 산출된 산불피해등급도를 현지 실측의 산불피해혼성지수(composite burn index: CBI)대신 국립산림과학원의 산불피해지등급과 기준에 따른 현장조사의 수치 산불피해등급도와 비교 검정할 수 있는 장점에 두고 있다. 2002년 4월 14-15일 양일간 진행된 산불은 짧은 시간 내에 급속히 확산되어 3,095ha의 산불피해를 가져왔고, 피해산림은 소나무와 잣나무 등의 침엽수와 참나무류 등의 활엽수가 혼재하는 임상이었다(공지수 외, 2003).

### 2) 사용자료

삼척 산불피해지의 경우 IKONOS화상(2002년 12월 8일 11시 2분 KST 주사)과 Landsat ETM+ 화상(2001년 7월 7일 7시 7분 KST 주사)이 산불피해등급도에 이용되었다. 지구관찰위성 Landsat 7에 탑재된 감지기(sensor)는 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)로 명명되고, IKONOS 화상의 NBR 산법(algorithm)을 유도하기 위해 IKONOS 위성과 함께 감지기 특성을 Table 1에 요약하였다. 청양·예산 산불피

Table 1. Sensor specifications of Landsat ETM+ and IKONOS

Landsat ETM+					IKONOS				
Band	(Resolution)				Band	(Resolution)			
	Spectral ( $\mu\text{m}$ )	Spatial (m)	Radiometric (bits)	Temporal revisit (days)		Spectral ( $\mu\text{m}$ )	Spatial (m)	Radiometric (bits)	Temporal revisit (days)
1	0.450-0.515	30	8	16	1	0.45-0.52	4	11	11
2	0.525-0.605	30	8	16	2	0.52-0.60	4	11	11
3	0.630-0.690	30	8	16	3	0.63-0.69	4	11	11
4	0.750-0.900	30	8	16	4	0.76-0.90	4	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	1	11	11

해지에서는 NBR 산법에 의해 생성된 IKONOS 화상 (2002년 11월 28일 11시 49분 KST 주사)의 산불피해등급도를 비교 검증하기 위해 현장 표본조사에 의한 수치 입상도(축척비 1: 25,000)기반의 수치 산불피해등급도를 사용하였다.

중해상도 위성화상보다 지형효과에 의한 그림자 영향이 심하게 나타나는 본 연구의 IKONOS 화상의 경우, 임관(canopy)의 이방향성 효과에 의한 그림자 영향을 저감시키는 상대음영지수(relative shadow index: RSI)보정을 실시하지 않았다. 왜냐하면 NBR 기법이 화상 비율화(ratioing)와 같이 그림자 영향을 둔화시키기 때문이다.

### 3. 태슬모자형 변환(TCT)과 정규산불피해비율(NBR)

#### 1) 태슬모자형변환(TCT)

현지 실측의 산불피해 혼성지수(CBI)와 Landsat TM/ETM+를 비롯한 중적외선 밴드 소유의 위성화상들로부터 나오는 정규산불피해비율(NBR)과의 높은 상관성이 계속 밝혀졌다(van Wagendonk *et al.*, 2004; Epting *et al.*, 2005; Hudak *et al.*, 2006). IKONOS 화상이 NBR 산법을 통해 산불피해등급도를 만들기 위해서는 Landsat ETM+ 중적외선 밴드(B7)에 해당하는 반사치를 동일 IKONOS화상에서 추출해야만 한다. 따라서 NBR 산법의 중적외선 밴드 항을 태슬모자형 변환(TCT)의 수분지수에서 유도하려면 태슬모자형 변환식

을 활용할 수밖에 없다. 주성분 분석과 유사한 변환식에 의해 유용정보를 획득하는 태슬모자형 변환은 위성 Landsat MSS·TM·ETM+(다중분광)자료의 태슬모자형 변환계수를 이용하여 각종 지구물리매개변수를 상당히 많이 추출하였지만, Horne(2003)에 의해 무릇 IKONOS 다중분광 화상 195개의 주성분 계산을 통해 개발된 태슬모자형 변환계수가 최근 변화탐지에 적용하고 있는 실정이다.

IKONOS 태슬모자형 변환계수를 이용한 지구물리매개변수, 즉 토양명조지수(brightness index, BI), 녹색식생지수(greenness index, GI), 수분지수(wetness index, WI), 그리고 미지의 제 4지수(fourth index, 4thI)는 다음과 같이

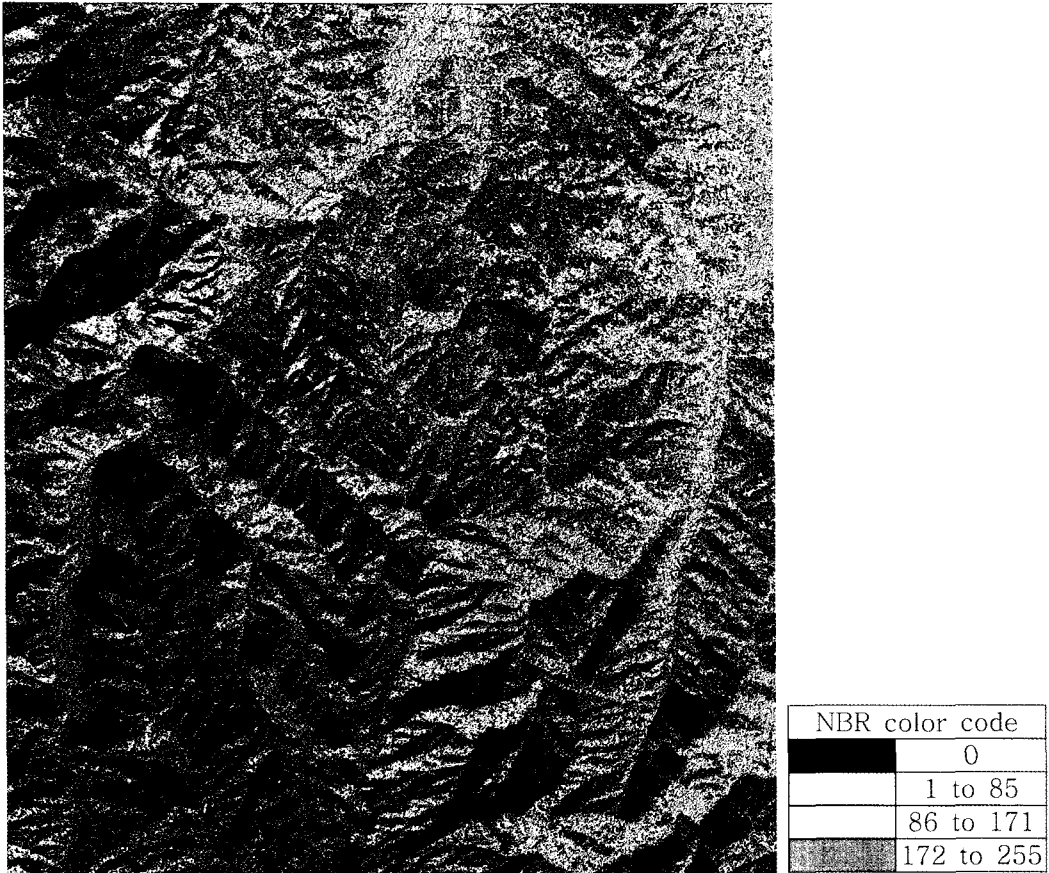
$$\begin{aligned}
 BI &= 0.326(B_b) + 0.509(B_g) + 0.560(B_r) + 0.567(B_{nir}) \\
 GI &= -0.311(B_b) - 0.356(B_g) - 0.325(B_r) + 0.819(B_{nir}) \\
 WI &= -0.612(B_b) - 0.312(B_g) + 0.722(B_r) - 0.081(B_{nir}) \\
 4thI &= -0.650(B_b) + 0.719(B_g) - 0.243(B_r) - 0.031(B_{nir})
 \end{aligned}$$

으로 각각 표현된다.

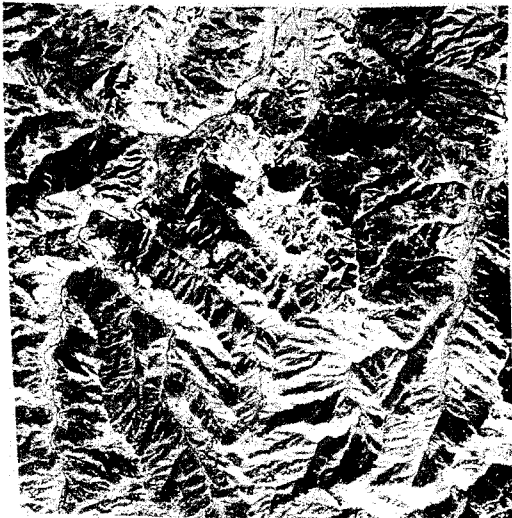
위 식에서  $B_b$ 는 청색밴드에 기록된 수치(digital number, DN)를,  $B_g$ 는 녹색밴드 DN값을,  $B_r$ 은 적색밴드 DN값을 그리고  $B_{nir}$ 은 근적외선 밴드 DN값을 나타낸다.

#### 2) 정규산불피해비율(NBR)

우선 정규식생지수(NDVI)와 NBR에 대해 공식(또는 algorithm)을 비교해보면 대입 항에서 적색밴드가 중적외선 밴드로 치환된 차이 밖에 없다. 부연하면, NBR은 Key *et al.*(2002)에 의해 근적외선과 중적외선의 밴



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. IKONOS-derived burn severity image of Samchock burned area: (a) NBR-derived burn severity map by using color-coded density slice (Red color shows severe burnt forest "high severity", yellow color portrays burn severity moderate, blue color designates low severity burned area, and the location marked black color is the misclassified area due to shadow effect); (b) NDVI image; (c) NBR image.

드 비율(NIR/MIR)을 정규화, 즉 정규차분지수(normalized difference index)로

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

와 같이 수정되었다. 그리고 산불 전후의 변화 탐지에 이용되는 차분정규산불피해비율(Differenced Normalized Burn Ratio:  $\Delta NBR$ ) 즉,  $\Delta NBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire}$ 을 구할 때는 통용적으로 각 NBR에  $10^3$ 을 곱한다.

산불피해등급도 작성에서 NBR이 NDVI와 개량식생지수(enhanced vegetation index: EVI)보다 적합하다는 이론(Fig. 3 참조), 즉 산불피해가 클수록 식생(수목 포함)의 엽록소 양과 수분양(토양함유 수분 포함)은 감소하여 NIR 반사율은 낮게 나타나는 반면 MIR 반사율은 증가한다는 생물리적 관계는 López-García and Caselles (1991)에 의해 처음으로 제안되었다. 앞장에서 언급한 바와 같이 IKONOS 위성은 Landsat TM/ETM+의 band7(파장영역 2.09-2.35  $\mu m$ )과 같은 중적외선 화상을 전혀 제공하지 못하기 때문에, IKONOS 다중분광화상에서 NBR을 산출하기 위해서는 태슬모자형 변환계수에 기초한 수분지수(wetness index)와 Landsat ETM+ band7과의 상관관을 규명해야한다.

삼척 산불피해지역을 주사한 Landsat ETM+ 위성 자료에서 band7화상과 수분지수 화상 간의 높은 부의 관계(negative relation), 즉 -0.979의 상관계수 값을 갖는 반면, band4 화상과 녹색식생지수(greenness index) 화상 간에는 -0.363의 상관계수 값을 갖는다. 거의 완전한 선형관계에 대한 상관계수의 유의성 검정과 사용된 IKONOS 화상과 Landsat ETM+ 화상 간의 견고성(robustness)에 관해서는 논외로 취급하기로 하고, 전술한 band7 화상 대신 IKONOS 수분지수 화상(중적외선 화상에 해당)에 -0.979를 곱한 치환수치(digital number: DN)와 IKONOS band4(근적외선)화상의 고유DN을 위식에 대입하여 회색조(grayscale tone)의 NBR 화상을 산출하였다(Fig. 1(c) 참조).

#### 4. 결과 및 토의

Pereira *et al.*(1997)에 의하면 MIR밴드가 적색밴드보다 대기산란을 적게 영향 받아 지표면에서 산란을 줄

일 수 있어, NBR 화상이 NDVI 화상에 비해 나지 및 지표화 피해를 입은 산화적지 식생을 비교적 정교하게 나타남을 Fig. 1 (b)와 (c)를 통해 알 수 있다. 삼척산불지역의 피해등급분류도 Fig.1(a)은 원래 -1과 1사이에는 NBR 지수를 8bit 회색조 화상으로 전환하여 산불피해등급별, 즉 심·중·경급을 유색밀도편분(적·황·청색)으로 각각 표현한 주제도이다. 무엇보다 정밀임업에 필요할 만큼 세밀한 산불피해등급의 분류결과를 도출한 반면, IKONOS 화상의 주사일시(2000년 12월 8일 11시 2분 KST)가 초겨울인 관계 때문에 그림자 영향이 심하게 나타난 음지산림영역, 즉 NBR 화상의 흑백 밝기 0인 화소부분을 흑색으로 미분류처리 하였다. 미분류의 간략보완에 대해서는 전술한 바와 같이 RSI 보정을 통해 할 수 있지만, 지형효과보정없이 NBR을 평가하는 것이 연구목적이므로 생각한다.

NBR에 기초한 산불피해등급도의 정확도를 평가하기 위해서는 원칙적으로 Key and Benson(2002)이 고안한 지상측정의 CBI에 의해 시행되어야 하지만, 국립산림과학원의 산불피해지 등급 기준에 따라 조사된 지상정성 측정 자료를 토대로 NBR 산불피해등급도를 검정한다. 부연하면, 2002년 4월 14-15일 양일간 충청남도 청양·예산 2개 군에 걸쳐 발생한 산불의 피해조사를 당시 임업연구원 주관 하에 76명 조사단이 계통적(systematic)으로 실시하였기 때문에, 현 국립산림과학원이 작성하고 신뢰성이 가장 있는 vector file 형태의 심·중·경 산불피해등급도와 IKONOS 화상(2002년 11월 28일 11시 49분 KST 주사)에서 유도된 NBR 산불피해등급(분류)도를 중첩 비교하여 산불피해등급에 대한 고해상도 NBR의 적합성(optimality)을 분석하고자 한다. 우선 NBR 산불피해등급도와 수치 산불피해등급도를 중첩한 Fig.2에서 육안 비교를 통해 ‘심’ ‘중’ ‘경’ 모두 두 산불피해등급도 간에 일치함을 볼 수 있다. Table 2는 산림피해등급에 따른 NBR 통계치이다.

Table 2. Average and standard deviation of IKONOS-derived NBR values in three burn severity classes for Cheongyang-Yesan burns

Burn Severity Class	Mean	Std. Dev
High	95.228	45.685
Moderate	106.328	53.197
Low	128.528	56.059

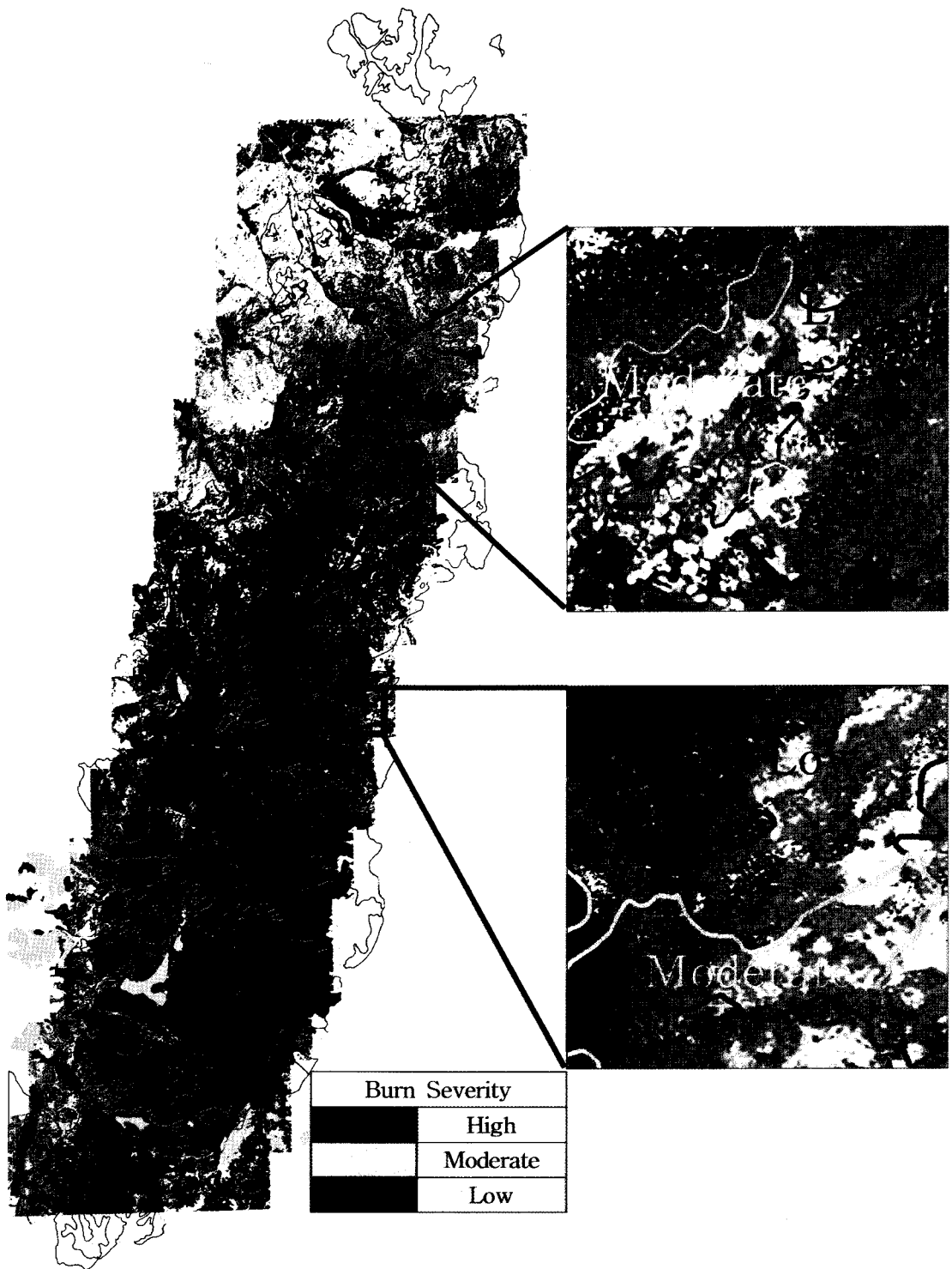


Fig. 2. Comparison of burn severity classes from IKONOS-derived NBR with digital map from plot-based field data throughout overlap at the 2002 Cheongyang-Yesan Fire, Korea. Enlarged polygon boundaries illustrating burn severities determined by the forest type map-based field plot data.

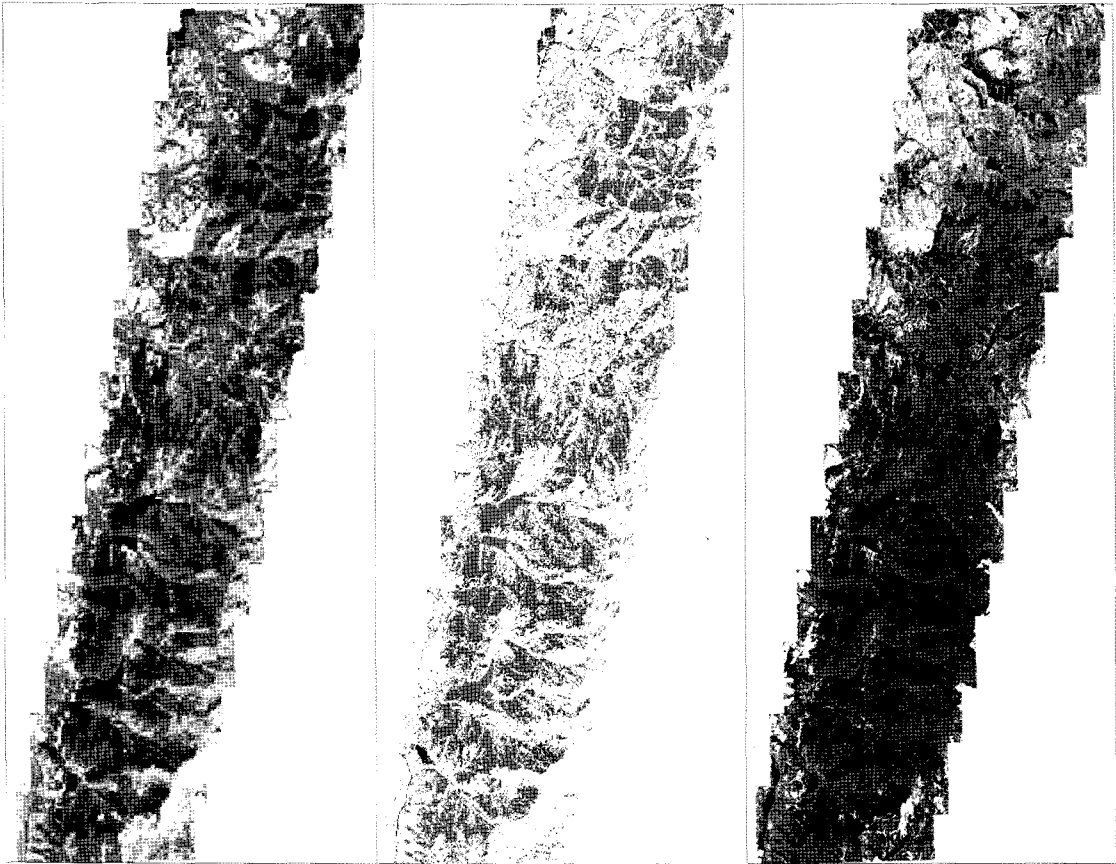


Fig. 3. Illustration of differencing results using IKONOS image for three burn severity mapping techniques at Cheongyang-Yesan burned area (left: NDVI, middle: EVI, right: NBR).

3. 2)에서 언급한 바처럼 IKONOS 화상 기반의 NBR 값이 상대지수이지만, 미국 California 주 Sierra Nevada의 14개 산불지역에 대한 Landsat TM 화상의 NBR값(Miller and Thode, 2007)과 미국 New Mexico 주 Cerro Grand Fire의 피해지역에 대한 AVIRIS 화상의 NBR 값(Kokaly *et al.*, 2007)을 각각 비교해 본 결과 산불피해등급에 적용시킬 수치이다. 그리고 심·중·경급에 대한 NBR 분포에서 평균값 크기의 순이 '경' > '중' > '심'으로 나타나 전술한 NBR 특성이론, 즉 산불 후 피해가 심할수록 낮은 근적외선 반사율과 높은 중적외선 반사율이 발생하는 현상과도 부합된다. 산불피해등급을 임소반 단위로 경계를 짓는 구분도와 화소단위로 표출하는 중해상도 위성화상의 NBR 산불피해등급도 간에는 높은 상관관계를 예측할 수 있지만, IKONOS 위성화상으로부터 산출된 NBR 산불피해등급도의 경우 다소 낮은 상관도 가정할 수 있다.

왜냐하면 상기 현장조사에서 CBI와 다르게 질적 매개변수(qualitative parameter)를 통해 산불피해의 등급 구분이 이루어졌다기 보다, IKONOS 화상의 공간 정밀성(spatial precision) 조사표본점에 의한 공간 불확실성(spatial uncertainty)이 증가되었기 때문이다.

전술한 고해상도 화상 관점에서 낮은 상관의 가정을 동일한 조건으로 할 경우에도 NBR이 NDVI와 EVI보다 산림피해등급도 작성에 우수하다는 평가를 Fig. 3을 통해 알 수 있다. 전 지구 단위의 생물량(biomass) 산출을 위해 개발된 EVI는 최소한 대축척 산림피해등급도에 부적합하다.

## 5. 결론

고해상도 IKONOS 위성화상을 이용한 삼척과 청

양·예산 산불피해지의 산불피해등급도 작성에 NBR 적용시범과 기존 기법과의 비교평가를 수행하였다. 본 연구를 통해 도출된 성과 및 문제점과 기대효과는 다음과 같다.

첫째, 고해상도 위성에 MIR밴드가 없더라도 기존 중·저해상도 위성화상에서 태슬모자형 변환(TCT)을 통해 NBR 산법을 만들어 사용할 수 있다.

둘째, Key and Benson(2002)이 고안한 현장측정의 CBI에 의해 정확도 검정을 하지 않았지만, 기존 현지표본 실측의 수치 산불피해등급도와와의 비교검정에서 IKONOS 화상 기반의 NBR 산불피해등급도는 산불피해 복원에 중요한 재생피복도 정보를 제공할 수 있다.

셋째, 산림피해등급도 작성에 NBR이 EVI와 NDVI보다 우수함에 따라 산불피해가 심할수록 식생의 엽록소 양과 피복체의 수분 양에 기인한 낮은 NIR 반사율과 높은 MIR 반사율의 분광반사특성과 대기산란의 작은 MIR 영향이 입증되었다.

넷째, 산불피해등급의 NBR 자동화 기법은 고해상도 화상의 이용 장점인 육안판독을 보완하여 향후 고해상도 KOMPSAT 화상의 활용을 증진시킬 것이다.

다섯째, 산불피해 현장조사에서 심급의 수관화피해를 입고 재생피복도가 '하'인 나지(bare)와 지표화 피해를 입고 재생피복도가 '상'에 해당되는 산화적지식생(moderate burnt forest)을 보완해야 만이 고해상도 NBR 화상을 산불피해등급별로 정교하게 분류할 수 있다.

여섯째, 향후 연구는 시계열 고해상도 위성화상을 통한 NBR, 나아가 차분정규산불피해(0)의 획득에 산불피해지 감시(monitoring)에 초점을 맞추어 생태적 산불피해 복원 정보를 제공할 것이다.

## 사 사

본 연구는 교육과학기술부 한국항공우주연구원의 "다목적실용위성 3호 시스템종합개발사업(IV)에 관한 연구" 과제지원에 의해 수행되었습니다. 국민대학교에서 본 논문의 게재료를 지원하였습니다.

## 참고문헌

공지수, 이승호, 김선경, 심우범, 김준섭, 장석창, 김성호, 김종찬, 서수안, 서정원, 김철민, 류주형, 2003, 임목피해, "청양·예산 산불피해지 정밀 보고서", 청양·예산 산불피해지 공동조사단, pp.27-84.

김천, 이상훈, 윤보열, 정태웅, 강지윤, 2005, 산불피해 등급을 위한 고해상도 화상 판독열쇠, 과학기술부·국민대학교, 48p.

김형호, 이병두, 정주상, 2002, 신경망기법 적용에 의한 Landsat 7 ETM+ 영상해독과 소나무림의 산불피해등급 판정, 한국임학회지, 91(6): 706-713.

원강영, 임정호, 2001, 단일시기의 Landsat 7 ETM+ 영상을 이용한 산불피해지도 작성, 대한원격탐사학회지, 17(1): 85-97.

유재욱, 2004, 위성 ETM+ 화상을 이용한 산불피해지역의 경관변화 분석, 국민대학교 산림자원학과 석사학위논문, 24p.

Epting, J., D. Verbyla, and B. Sorbel, 2005. Evaluation of remotely sensed indexes for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sens. Environ.* 97(1): 92-115.

Hardwick, P., H. Lachowski, P. Maus, R. Griffith, A. Parsons, and R. Warbington, 1997. Burned Area Emergency Rehabilitation (BAER) Use of Remote Sensing, USDA Forest Service, RSAC-0001-TIP1, Remote Sensing Application Center, Salt lake City, Utah, USA

Horne, J. H., 2003. A Tasseled Cap Transformation for IKONOS Image, ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings, Anchorage, Alaska, 9p.

Hudak, A. T., S.Lewis, P. Robichaud, P. Robichaud, P. Morgan, M. Bobbitt, L. Lentile, A. Smith, Z. Holden, J. Clark, and R. McKinley, 2006. Sensitivity of Landsat image-derived burn severity indices to immediate post-fire effects, 3rd international Fire Ecology and



- Management Congress Proceedings, CD-ROM, 3p.
- Key, C. H. and N. Benson, 2002. Landscape assessment, in fire effects monitoring (FireMan) and inventory protocol: Integration of standardized field data collection techniques and sampling design with remote sensing to assess fire effects. NPS-USGS National Burn severity Mapping Project.
- Key, C. H., Z. Zhu, D. Ohlen, S. Howard, R. McKinley, and N. Benson, 2002. The normalized burn ratio and relationship to burn severity: Ecology, remote sensing and implementation, Rapid Delivery of Remote Sensing Products, Proc. of the Ninth Forest Service Remote Sensing Conference, ASPRS, unpaginated CD-ROM.
- Kokaly, R. F., B. W. Rockwell, S. L. Haire, and T. V. King, 2007. Characterization of post-fire surface cover, soils, and burn severity at the Cerro Grande Fire, New Mexico, using hyperspectral and multispectral remote sensing, *Remote Sens. Environ.* 106(3): 305-325
- López-García, M. J., and V. Caselles, 1991. Mapping Burns and Natural Reforestation Using Thematic Mapper Data, *Geocarto International*, 6: 31-37.
- Miller, J. D. and A. E. Thode, 2007. Quantifying burn severity in heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR), *Remote Sens. Environ.* 109(1): 66-80.
- van Wageningen, J. W., R. R. Root, and C. H. Key, 2005. Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity, *Remote Sens. Environ.* 92(3): 397-408.