

## 강원도 강릉시 일대 산불지역 분류를 위한 Landsat ETM 영상 분류지수의 활용

이진영<sup>1,\*</sup> · 양동윤<sup>1</sup> · 김주용<sup>1</sup> · 정공수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원, 305-350 대전광역시 유성구 가정동 30  
<sup>2</sup>충남대학교 지구환경과학부, 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220

### Application of Landsat ETM Image Indices to Classify the Wildfire Area of Gangneung, Gangweon Province, Korea

Jin Young Lee<sup>1,\*</sup>, Dong Yoon Yang<sup>1</sup>, Ju Yong Kim<sup>1</sup>, and Gong Soo Chung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

<sup>2</sup>Department of Geology and Earth Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 705-764, Korea

**Abstract:** This study was aimed to examine the Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) index, which matches well with the field survey data in the wildfire area of Gangneung, Gangweon Province, Korea. In the wildfire area NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), and Tasseled Cap Transformation Index (Brightness, Wetness, Greenness) were compared with field survey data. NDVI and SAVI were very useful in detecting the difference between the wildfire and non-wildfire area, but not so in classify the soil types in the wildfire area. The soil plane based on the Tasseled Cap Transformation showed a better result in classifying the soil types in the wildfire areas than NDVI and SAVI, and corresponded well with field survey data. Using a linear function based on greenness and wetness in the Tasseled Cap Transformation is expected to provide a more efficient and quicker method to classify wildfire areas.

**Keywords:** wildfire area, Landsat ETM+ indices, image classification, Vegetation Index (VI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Tasseled Cap Transformation

**요약:** 본 연구는 강원도 강릉지역 산불지역의 피해분석을 위한 피해지 지표분류를 목적으로 Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus(ETM+) 영상에서 활용할 수 있는 분류지수의 적용을 검토하였다. 연구지역 산불지역을 대상으로 Landsat TM 영상을 활용하기 위해 개발된 식생지수(NDVI)와 토양을 고려한 식생지수(SAVI), Tasseled Cap 변환으로 얻을 수 있는 밝기지수(brightness), 습윤지수(wetness), 녹색지수(greenness)를 야외조사 결과와 비교하였다. 분석 결과 식생지수와 토양을 고려한 식생지수는 산불발생지역과 산불이 발생하지 않은 지역에 대한 구분이 뚜렷하였으나, 산불발생지역내에서 피해지역 구분에는 적절하지 않은 것으로 파악되었다. 산불발생지역내에서는 Tasseled Cap 변환에서 나타나는 토양평면을 활용할 때 침식피해와 관련한 야외조사 결과와 가장 근접한 분류 결과를 얻을 수 있었다. Tasseled Cap 변환에서 건조지수와 녹색지수를 더하여 선형함수로 활용하면 신속하고 효율적으로 산불지역을 분류가 가능 할 것으로 기대된다.

**주요어:** 산불지역, 인공위성영상지수, 영상분류, 식생지수, 토양식생지수, Tasseled Cap 변환

\*Corresponding author: jylee@rock25t.kigam.re.kr

Tel: 82-42-868-3066

Fax: 82-42-868-3037

## 서론

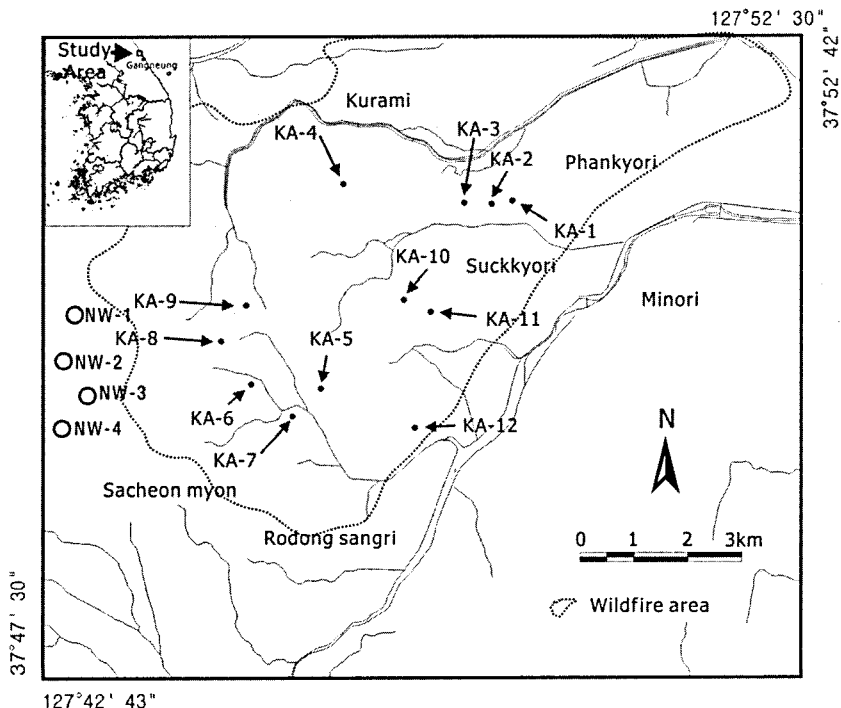
인공위성 영상을 활용하면 광범위한 지역을 대상으로 신속하게 분석할 수 있어 산불지역의 파악은 물론 산불지역에서 2차적으로 발생할 수 있는 침식피해를 파악하는데 유용하게 사용되고 있다. 과거 산불 발생지역에 대한 Landsat TM 위성영상을 이용하여 산불발생지역 탐지와 산불발생지역의 피해정도를 파악하기 위해 다양하게 연구가 진행되었다(Huete and Escadafal, 1991; Nagler et al., 2000; Koutsias and Karteris, 1999). 산불발생 탐지와 관련된 연구는 식생지수(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index)를 이용한 비교적 간단한 방법이 주로 연구되었고(Rondeaux, 1996; Nagler et al, 2000; Cloutis, 1996), 산불 발생지역의 피해정도를 파악하기 위해서 식생보다 토양 및 유기물에 대한 연구가 주를 이루고 있다(Gitelson et al, 2002; Wikars and Schimmel, 2001; Gao et al, 2000; Ternan and Neller, 1999; Rondeaux et al., 1996; Huete and Escadafal, 1991). 국내에서는 산불지역에서 Landsat ETM 영상을 이용하여 단일시기의 산불피해지도 작성을 위하여 KT(Kauth-Thomas)

변환 결과와 IHS(Intensity-Hue-Saturation)변환결과가 비교된 바 있다(원강영과 임정호, 2001).

산불발생지역은 산불피해정도에 따라 식생과 재가 토양을 덮고 있다. 또한 산불의 피해가 큰 지역은 식생이 거의 남아있지 않아 나대지(bare soil)와 같은 지역이 대부분이다. 이러한 지역에서는 재 또는 유기물을 포함하는 토양 분류가 시도되었다(Rondeaux et al., 1996; Nagler et al, 2001; Cloutis, 1996). 식생지수(NDVI)는 영상에서 식생의 상태를 파악하는데 유용하게 활용되고 있다(Eastman and Fulk, 1993). 본 연구의 목적은 Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) 영상에서 산불발생지역을 탐지하는데 활용되는 Tasseled Cap변환, NDVI, SAVI를 야외조사 결과와 비교하여 야외조사 결과에 적합한 분류지수가 어떤 것인가를 파악하는데 있다.

## 연구지역의 개요

연구지역은 행정구역상 강원도 강릉시 사천면 사천진리, 판교리, 석교리, 노동리 등에 속하며, 현재 강릉시 시립공원묘원을 중심으로 경도 128° 47' 42"~



**Fig. 1.** Map showing the study area and sampling sites. Solid dots represent sampling sites in wildfire area. Open circles represent sampling sites in non-wildfire area.

128° 52' 30", 위도 37° 47' 30"~37° 50' 42"의 지점에 속한다(Fig. 1). 산불은 2001년 4월에 발생하였다. 이 지역의 기반암은 주라기화강암이며, 토양은 갈색산림 토양으로 분류된다. 토양 특성은 대부분 지역이 양질 사토 및 사양토로 모래함량이 높고, 토양의 두께가 얇은 건조한 토양이며, 유기물 및 양분함량이 낮은 척박한 토양이 분포한다(동해안 산불피해지 공동조사단, 2000). 이 지역의 식생은 대부분의 지역이 소나무 군락으로 구성되어 있었고, 고도가 높은 지역은 소나무-활엽수 혼합군락의 일부와 조림지가 일부 분포하고 있었다(동해안 산불피해지 공동조사단, 2000).

## 연구 방법

산불 발생지역에서 피해정도를 구분하기 위하여 산불지역인 강원도 강릉시 사천면 일대에서 지표조사를 수행하였다. 각각의 조사지점에 대한 위치확인을 위하여 GPS(Global Pointing System; Garmin corp.) 기기를 활용하고, 1:5,000 지형도를 참조하여 정확한 위치를 산정하였다. 야외조사는 2000년 8월에 지점별로 반경 30m의 지면을 덮고 있는 유기물 및 토양의 특성을 조사하였다. 연구에 활용된 영상은 산불 발생 전후의 Landsat 7호 ETM+ 영상으로, 연구지역 일대가 나타나는 2000년 6월 8일의 단일시기 영상이다. 영상의 처리 및 분석을 위하여 Intersys 사의 ENVI 3.4 프로그램을 이용하였다. 산불발생지역의 좌표보정 및 지형분석을 위하여 1:25,000 지형도와 1:5,000 지형도를 활용하였다. 야외조사가 수행된 지역의 Landsat ETM+ 영상은 야외 시료채취 지점을 선택하여 화소값(DN: Digital Number)을 직접 취득하였다. 자료의 신뢰도를 높이기 위하여 대표지역을 포함하여 각 토양별 30 지점 이상의 화소값을 획득하여 평균 값을 사용하였다.

식생지수(NDVI)는 단순히  $SR = NIR/R$ 로 사용되기도 하며,  $NDVI = (NIR-R)/(NIR+R)$ 로 적외(R) 영역과 근적외(NIR)영역을 사용하여 구한다. 본 연구에서는 NDVI를 Landsat ETM+ 영상의 밴드 4번과 3번을 사용하여,  $NDVI = (band\ 4 - band\ 3)/(band\ 4 + band\ 3)$  식에 적용하여 구하였다.

SAVI는 식생지수 상에 토양의 특성을 고려하여 작성된 지수로서 식생지수(VI)에 토양의 영향을 최소화하기 위하여 토양의 보정계수(L)를 사용한다. 일반적인 SAVI의 형태는 식(1)과 같다.

$$SAVI = (1+L) * (NIR - R) / (NIR + R + L),$$

$$L = 0.5(\text{Huete, 1988}) \quad (1)$$

식(1)에서 중요한 인자는 L로서 L은 토양의 특성을 감쇠시키는 역할을 하는데, 보정계수(L)가 1에 가까울수록 토양이 차지하는 면적이 넓어지고, 0에 가까울수록 식생이 차지하는 면적이 넓어진다(Bausch, 1993). Huete(1988)은 그의 실험 결과에서  $L = 0.5$ 라는 경험치를 얻었으며, 이를 보편적으로 적용하고 있다. 그러나 산불이 발생한 지역은 식생의 밀도가 거의 없는 지역이기 때문에, 본 연구에서는 L의 값을 1로 적용하였다.

Tasseled Cap 변환은 Landsat TM영상에서 밝기지수(brightness; 식(2)), 녹색지수(greenness; 식(3)), 습윤지수(wetness; 식(4))등으로 변환하는 방법으로서 식생과 토양간의 관계를 선형변환 한다(Crist and Cicone, 1984).

$$\begin{aligned} \text{Brightness} = & 0.3037(TM1) + 0.2793(TM2) + \\ & 0.4743(TM3) + 0.5585(TM4) + 0.5082(TM5) + \\ & 0.1863(TM7) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Greenness} = & (-0.2848(TM1)) + (-0.2435(TM2)) + \\ & (-0.5436(TM3)) + 0.7243(TM4) + 0.0840(TM5) + \\ & (-0.1800(TM7)) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Wetness} = & 0.1509(TM1) + 0.1973(TM2) + \\ & 0.3279(TM3) + 0.3406(TM4) + (-0.7112(TM5)) + \\ & (-0.4572(TM7)) \end{aligned} \quad (4)$$

이들 지수는 두개의 X-Y평면에서 해석되는데, 밝기지수와 녹색지수를 한 개의 평면에 나타낸 식생평면과 밝기지수와 건조지수를 한 개의 평면에 나타낸 토양평면이 본 연구에서 사용되었다.

## 결 과

### 지표조사결과

연구지역의 지표조사를 통해 토양유기물, 잔류식생, 토양 및 암반 노출 상태를 중심으로 지표환경을 조사하였다. 위성영상의 해상도를 고려해 30m 반경이 동일 환경으로 나타나는 12개 조사지역(KA-1~KA-12)에서 토양시료 채취와 야외기재를 통해 5개 유형으로 지표환경을 분류하고 각 지점에 속하는 지역의 밴드별 화소값을 추출하였다(Fig. 2).

Type I은 산불로 인한 피해가 비교적 적어 식생이

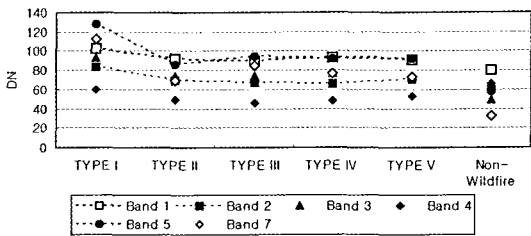


Fig. 2. Comparison of mean DN values of Landsat ETM images of each soil type.

비교적 양호하게 발달하는 유형이며, 불에 타지 않은 20~30 cm 두께의 낙엽과 유기물이 지면을 피복한다. Type II는 산불로 인해 식생의 피해가 있어 겹겹 타 버린 나무와 표층의 유기물까지 산불에 의해 겹겹 타버린 지역, 검은 색을 나타내는 유기토양이 주로 나타난다. Type III 유형은 유기물이 거의 없는 무기 토양으로 구성되었으며 토양층의 두께가 40~50 cm 정도이다. Type IV 유형은 산불로 인해 발생한 재와 토양유기물이 수 cm 정도 덮여 있으나 유기토양이 거의 없고 무기토양이 주를 이룬다. Type V 유형은 무기토양과 자갈 또는 암반이 노출되고, 토양층이 거의 없다.

**산불지역의 지표 피해 조사 및 분류 결과**

산불지역의 지표피복 물질의 종류와 토양의 특성에 따라 산불지역은 5개 유형으로 분류되었으며, 각 유형에 따른 침식피해형태가 조사되었다. 분류 기준으로 사용된 지표피복 물질의 종류와 토양은 Landsat ETM+ 영상에서도 동일한 기준으로 사용될 수 있었다.

산불 발생 지역은 산불발생 후 잔존하는 식생과 타고남은 식생 그리고 토양이 지표층을 덮고 있으며, 지역에 따라 분포하는 면적과 종류를 달리하며 다양한 침식 현상을 나타냈다. Type I 유형은 지표층을 피복하는 잔류 식생과 두꺼운 유기물 층의 영향으로 침식이 활발히 일어나지 않았다. Type II 유형에서는 유기물 층의 하부에서 파이프상이나 판상의 침식 형태의 침식이 나타난다. 지표면에 유기물이 존재하지 않지만, 상부에 타고 남은 재 등에 의해 강우의 직접적인 영향을 받지 않는다. 이 유형의 침식은 규모는 Type I 유형에 비하여 크지만, 침식현상은 유기물 층 하부에서 나타난다. Type III 유형에서 대표적인 침식 형태는 세류침식(rill erosion)과 구극침식(gully erosion)으로 유기물 층이 존재하지 않는다. 산불 발생을 전후하여 식생의 발달이 미약하였거나, 산불 발생 후 이미 침식으로 인해 상부의 유기물 또는 재의 층이 없어졌다. Type IV 유형에서는 판상침식과 파이프상 침식이 나타난다. Type IV 유형은 침식이 발생한다고 하더라도, 식물의 영향으로 생성된 잔뿌리들이 침식을 방해하기 때문에 오히려 침식의 규모는 작게 나타난다. 그러나, 잔뿌리층의 하부로 파이프상이나 판상의 침식이 유발될 가능성이 있고, 잔뿌리층을 포함한 상부토양이 토양덩어리(soil mass)형태로 이동할 가능성이 있는 것으로 해석된다. Type V 유형은 침식형태를 설정하기 어렵다. 이는 침식이 거의 완료된 상태로 노출되는 암반 등이 관찰되거나, 크기가 큰 암편 등이 노출되어 나타나기 때문에 토양 침식의 측면 보다 사면의 붕괴와 산사태 등의 대규모적인 측면에서 고려해야 할 것이다.

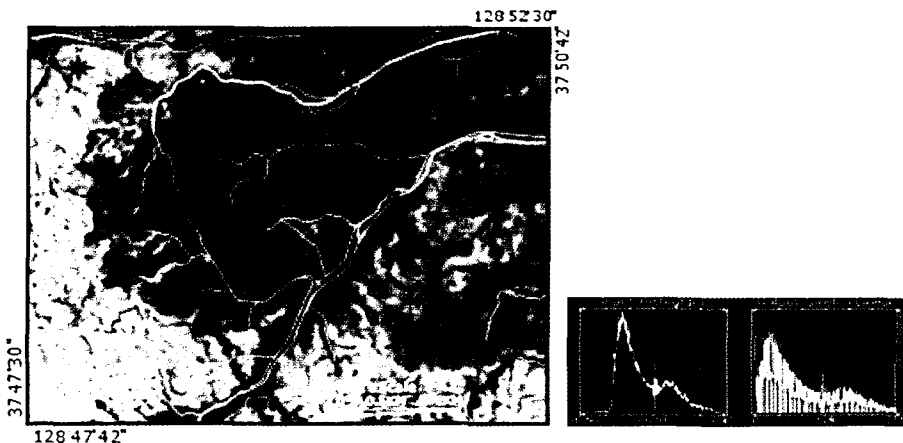


Fig. 3. Histogram-equalized image of computed NDVI from Landsat 7 ETM+.

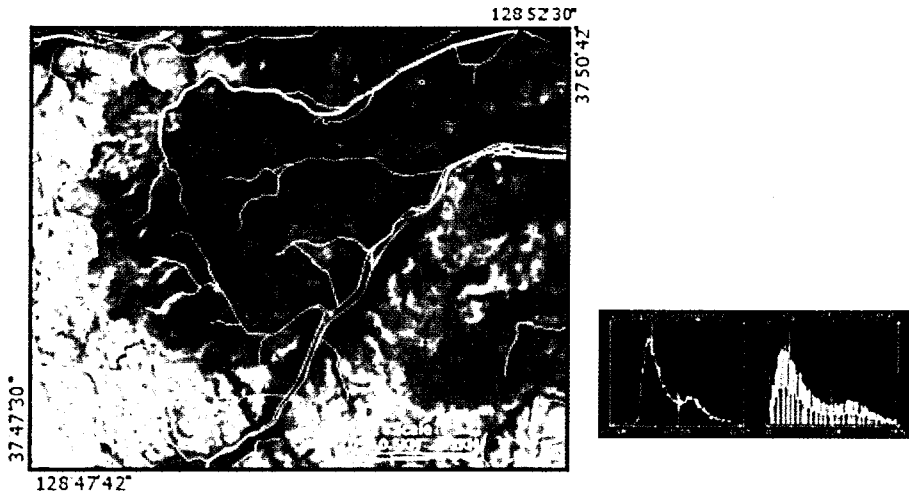


Fig. 4. Histogram-equalized image of computed SAVI from Landsat 7 ETM+.

**NDVI, SAVI 및 Tasseled Cap 변환 결과**

영상처리결과 얻어진 NDVI와 SAVI는 Fig. 3과 Fig. 4에 제시하였다. Fig. 3과 Fig. 4에서 제시된 결과는 +1에서 -1 사이의 값의 변화를 나타내며, 흰색(+1)에서 녹색(-1)까지 점진적인 색으로 표현되었다. 일반적으로 NDVI와 SAVI에서 식생의 활력도가 높은 지역은 양(+의 값)의 분포를 갖게 되며, 식생의 활력도가 낮은 지역은 음(-의 값)의 값을 갖게 된다. 분류된 각 유형의 NDVI 값은 +1에서 -1의 범위에 나타나는데(Fig. 3), 양(+의 부호)를 갖는 지역은 Type I, Type II로 나타내고, Type III, IV, V는 음(-의 부호)를 갖는 지역에서 나타난다. 또한 분류된 각 유형의 SAVI 지수를 나타낸 결과(Fig. 4)는 Type I 유형과 Type II, III, IV, V 유형과 명확하게 구분되나, Type II, III, IV, V 유형은 구분이 명확하지 못하다.

영상처리를 통해 얻어진 Tasseled Cap 변환 영상은 Fig. 5에 제시하였다. 또한 밝기지수와 녹색지수를 축으로 나타낸 식생평면(Fig. 6)과 밝기지수와 건조지수를 축으로 나타낸 토양평면(Fig. 7)을 제시하였으며, 야외조사에서 분류된 각 Type을 표시하였다. 식생평면에서 각 Type이 나타내는 위치는 산불 발생지역과 비산불지역이 명확하게 구분되었으며, Type II, Type III, Type IV는 선형관계로 위치하였다(Fig. 6).

토양평면으로 제시되는 영상처리 결과는 산불지역과 비산불지역이 크게 구분되고, 각 토양 Type은 정비례관계를 보인다(Fig. 7). 식생지수와 건조지수를 합한(덧셈) 영상을 Fig. 8에 제시하였다. 식생지수와

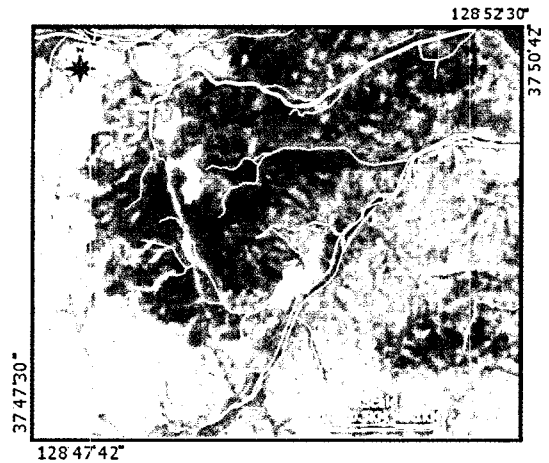


Fig. 5. R-G-B color composed Tasseled Cap image in study area (R: brightness, G: greenness, B: wetness).

건조지수의 합 영상은 음(-)의 영역을 선형신장(stretch)하고, 색상을 적용할 때 산불발생지역의 구분되어 나타났다. 수치가 적은 지역은 산불의 발생 피해가 높은 지역과 일치하였고, 수치가 높은 지역은 산불의 발생 피해가 적은 지역과 일치하는 결과를 보였다.

**토 의**

연구지역 토양분류에 사용된 지표를 구성하는 피복 물질은 지표피복 물질인 재와 타고남은 나뭇가지, 타고남은 식물의 잔재, 그리고 토양의 특성에 따라 반

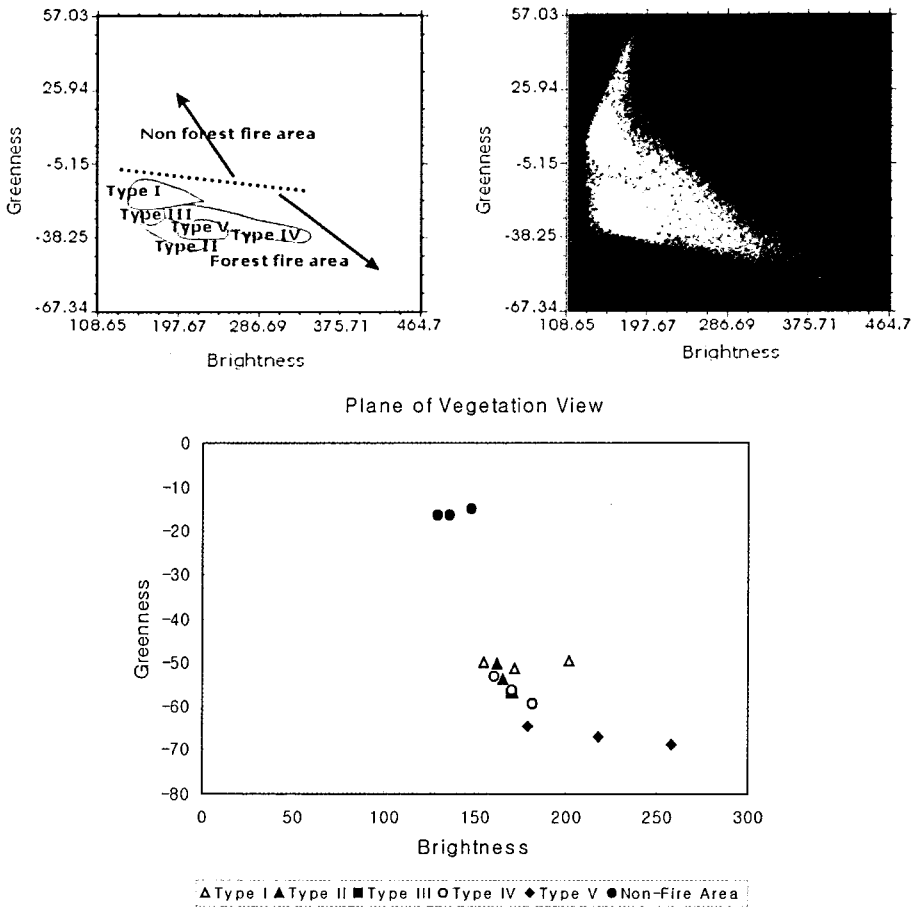
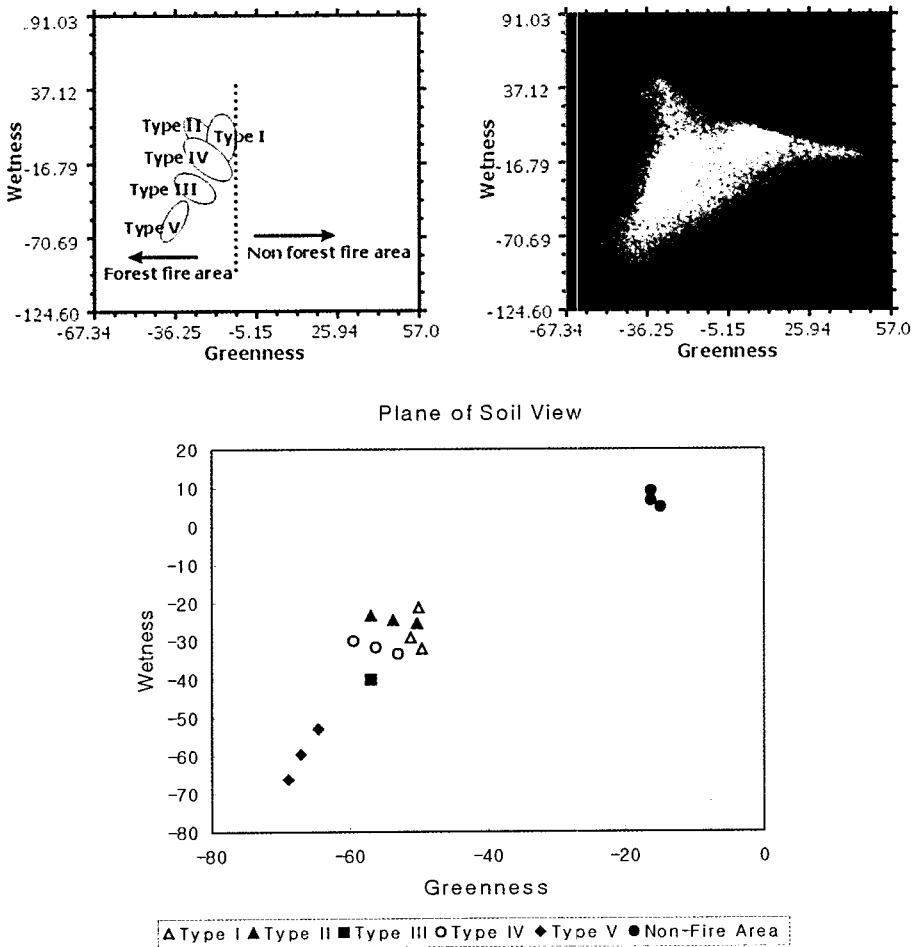


Fig. 6. Five soil types and nonwildfire area on vegetation plane of brightness and greenness indices. It shows conspicuous difference between wildfire area and nonwildfire area and gradual variation in value of two indices in soil types.

사이에 차이가 있음을 나타낸다 (Nyakatawa et al., 2001). 이미 많은 연구에서 식생지수에 나타나는 토양의 특성을 지적하고 있다(Gitelson et al, 2002; Ternan and Neller, 1999; Rondeaux et al., 1996; Huete and Escadafal, 1991). 분류된 5개 유형은 크게 지표면의 구성 물질이 주로 재와 같은 유기물과 토양물질(soil mineral)로 구분된다. Type I, II, IV는 지표면에 타고남은 식생과 재, 식물의 잔뿌리층 등의 유기물이 우세하게 나타나며, Type III과 Type V는 토양물질(soil mineral)이 우세하게 나타난다. Nagler et al.(2001)에 의하면, 토양 유기물의 지표반사 특성은 노출된 토양(bare soil; Type III, V)의 특성과 구별된다. 또한 노출된 토양은 Landsat TM 영상의 밴드 7에 속하는 2.1  $\mu\text{m}$ 의 파장영역에서 특징적인 반사곡선을 보인다 (Rondeaux et al., 1996; Koutsias, and Karteris, 2000). 따라서 식생 및 유기물과 노출

토양의 특성을 나타내는 지역은 그 구분이 비교적 명확하다. 그러나 Type I, II, IV 지역은 토양과 유기물이 섞여 나타나기 때문에 다른 방법이 제시되어야 한다. Type I 유형에는 산불의 피해가 비교적 덜하기 때문에 잔류 식생이 분포한다. 그리고 Type II와 Type IV 유형은 지표 구성물질이 검은 색의 재와 같은 유기물로 구성되어 있다. 산불발생지역에서 식생의 피해정도를 파악하기 위하여 일반적으로 NDVI (Normal Distributed Vegetation Index;정규식생지수)와 같은 지수를 사용해 왔다. Rondeaux et al.(1996)은 여러 가지 식생지수모델과 비교하여 SAVI(Soil Adjust Vegetation Index)와 MSAVI(More Recently Modified SAVI)를 적정한 지수로서 선정하였다. SAVI는 식생의 피복이 25% 미만인 지역에서 NDVI에 비하여 보다 양호한 결과를 나타내고, 지표를 피복하는 식생과 토양의 특성을 고려하여 토양의 효과

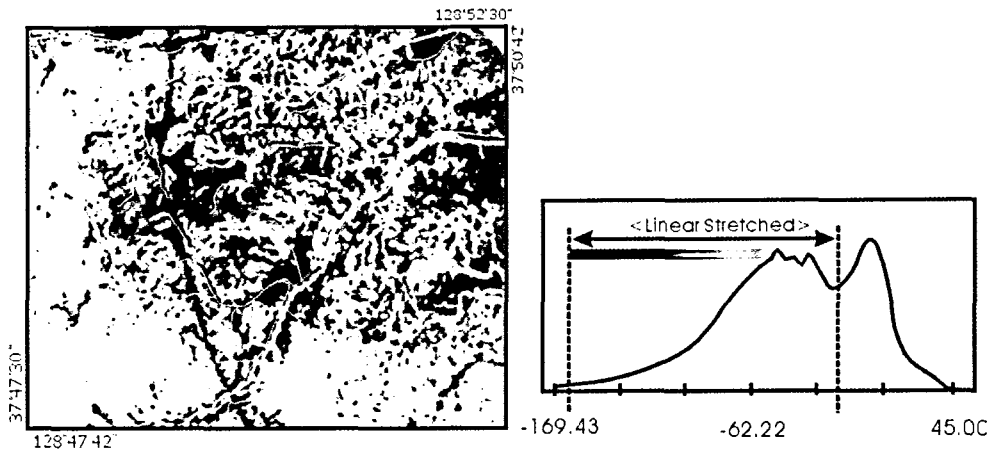


**Fig. 7.** Five soil types and nonwildfire area on soil plane of greenness and wetness indices. It shows wide spread in values of two indices in soil types with showing an overall linear trend.

를 감소시키기 때문에 식생이 적거나 거의 없는 지역에서도 토양을 포함한 식생지수를 구하는데 사용될 수 있다(Gitelson et al, 2002; Wikars et al., 2001). 산불 지역은 토양의 상부 식생과 유기물이 쉽게 제거되고, 지표층을 피복하는 구성물질이 갖는 습도, 색상, 온도 등의 특성에 따라 Landsat ETM+ 영상의 반사값이 다르게 나타난다(Kutiel et al., 1995; Fox and Bryan, 2000; Terman and Neller, 1999). 따라서 Type II, Type IV와 Type III, V을 NDVI와 SAVI등의 식생지수를 통해 분류하기에는 한계가 있다.

Tasseled Cap 변환 영상에서는 Type I과 Type V 뿐만 아니라, Type II, Type III, Type IV의 분류가 가능하였다. 식생평면상에 나타난 밝기지수와 녹색지수를 나타낸 Fig. 6에서 Type I부터 Type V까지의 토양유형의 반사값 분포가 NDVI와 SAVI등과 달리

중복되어 나타나지 않고, 일정 영역에 표시되어 각 토양유형별로 구분이 됨을 알 수 있다. Type I과 Type V 그리고 Type II, Type III, Type IV의 구분은 산불지역에서 Landsat ETM영상을 이용하여 단일시기의 산불피해도 작성을 위하여 KT변환 결과와 IHS(intensity-hue-saturation)변환 결과 비교에서 그 가능성이 검증되었다(원강영과 임정호, 2001). Fig. 7은 습윤지수와 녹색지수를 이용한 토양평면으로 Type II, Type III, Type IV의 위치가 각각 군집화되면서 선형적으로 분포함을 보인다. 이는 Type II, Type III, Type IV에서 차이가 점진적 변화관계에 있음을 의미한다. 따라서 산불지역을 분류하기 위해 Type II, Type III, Type IV 유형은 식생지수와 건조지수의 상관관계를 이용하여 선형적 관계를 이용하는 것이 타당할 것이다. 산불발생지역은 식생지수와 건



**Fig. 8.** Histogram-equalized color image of computed function  $f(a,b) = a + b$ ; a is greenness and b is wetness from Landsat 7 ETM+ Tasseled Cap transformation. Color image map shows linear stretched in wildfire area. The method is based on Crist and Cicone (1984).

**Table 1.** Soil types, their description, erosional features, Landsat ETM DN (digital number) value and in situ investigation sites

Soil Types	Description of soil profiles	Erosional features	DN value	Area (%)	In situ investigation sites
Type I	Very well developed soil profile consisted of $A_{00}$ , $A_0$ , $A_1$ , $A_2$ , B and C layer; soil surface covered by plant litter and plant after wildfire	Rare occurrence of erosional features; very small trace with pipe erosion and sheet erosion, erosion features below branch and tree roots	High DN value in all bands; exceptional high value in band 5 and 7	12%	KA-3 KA-10
Type II	Relatively well developed soil profile consisted of $A_{00}$ , $A_0$ , B and C layer; $A_{00}$ , $A_0$ layer thicker than 2 cm; soil surface covered by ash and plant leaves	Some erosional features of small rill and gully smaller than 2 cm in width and depth; some sheet erosion below the $A_{00}$ , $A_0$ layer	High value in band 1 and 5; high value in band 3 compared to band 7; low value in band 7	33%	KA-1 KA-11
Type III	Poorly developed soil profile consisted of B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> and C layer; no organic matter at soil surface	Common occurrence of rill and gully erosion greater than 2 cm in width and depth; some sliding features in top-soil layer	High value in band 1 and 5; high value in band 7 ompared to band 3	32%	KA-9
Type IV	Poorly developed soil profile consisted of $A_0$ , B and C layer; soil surface consisted of thin ash and burnt plant root	Common occurrence of rill, gully and pipe erosion feature below the burnt plant root; common occurrence of rill and gully greater than 10 cm in width and depth	High value in band 1 and 5; high value in band 1 compared to band 5	18 %	KA-4 KA-12
Type V	Very poorly developed soil profiles consisted of B <sub>2</sub> and C layer; some trees at soil surface; common exposure of bedrock and C layer rock-fragments	Common occurrence of rill and gully greater than 10 cm in width and depth; some exposure of bedrock; some slumped features	High value in band 1 and 5; same value in band 2, 3 and 7	6%	KA-2 KA-5 KA-6 KA-7 KA-8

조지수가 정비례 관계를 나타낸다. 식생지수와 건조지수를 합한 영상은 산불지역의 식생과 토양을 고려하여, 수치가 적은 지역이 산불의 발생 피해가 높은 지역으로 식생도 적고, 토양의 건조도가 높은 지역을 나타낸다. 이와 반대로 식생지수와 건조지수를 합한

영상(Fig. 8)에서 수치가 높은 지역은 산불의 발생 피해가 적거나 토양의 습윤도가 높은 지역을 나타낸다. 따라서 산불피해지역은 정도에 따라 점진적으로 변화하는 선형 관계로 이끌어 낼 수 있다.

이 과정에서, 침식피해 추정식  $f(a,b) = (\text{Greenness}$



**Table 2.** DN values of soil types with Landsat ETM image after geometric correction

Type		Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7	NDVI
Type I	Min	95	70	75	42	102	104	-0.28
	Max	112	98	111	77	155	120	-0.18
	Mean	103	84	93	59	128	112	-0.23
Type II	Min	89	66	71	48	85	68	-0.24
	Max	95	72	78	49	87	71	-0.18
	Mean	92	69	74	48	86	69	-0.21
Type III	Min	90	67	74	45	95	85	-0.24
	Max	90	67	74	45	95	85	-0.24
	Mean	90	67	74	45	95	85	-0.24
Type IV	Min	91	56	72	44	88	75	-0.24
	Max	96	76	82	51	96	78	-0.23
	Mean	93	66	77	47	92	76	-0.23
Type V	Min	88	66	68	45	80	62	-0.24
	Max	97	83	85	69	109	81	-0.10
	Mean	91	71	74	52	92	73	-0.17
Non-wildfire area	Min	77	57	47	63	53	28	0.1
	Max	84	63	51	74	63	38	0.21
	Mean	80	59	48	66	57	32	0.15

+ Wetness)의 형태로 계산과정을 단순하게 하고 편리하게 사용할 수 있도록 식(5)를 유도하였다.

$$\begin{aligned} \text{Greenness} + \text{Wetness} = & (-0.1339(\text{TM1})) + \\ & (-0.0462(\text{TM2})) + (-0.2157(\text{TM3})) + (0.1649(\text{TM4})) + \\ & (-0.6272(\text{TM5})) + (-0.6372(\text{TM6})) \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)를 이용한 결과를 도시한 Fig. 8에서 산불지역과 비산불지역이 구분되고, 각 토양 유형은 음의 값을 갖는 산불지역에서 점진적으로 변화하는 과정에서 구분되었다. 침식피해 추정식을 통해 나타난 결과는 0을 중심으로 0으로부터 음(-)방향으로 갈수록 침식의 위험이 커지게 되고 0에 가까워질수록 침식의 위험이 적다(Fig. 8). 그러나 침식의 유형에 따른 등급은 명확한 경계를 설정하기 어려운 상태로 침식유형을 세분하여 나누기는 어렵다. 때문에 현재는 침식의 위험이 상대적으로 높고 낮음을 평가하는 목적으로 사용 가능하다. 이는 산불 발생 이후 달라진 지표 특성을 구분하기 위해 사용되는 식생과 토양의 습도가 합리적인 분류 근거가 될 수 있음을 의미한다. 특히 토양의 습도는 토양을 덮고 있는 피복물질의 두께와 관련된 것으로 해석된다.

### 결 론

강원도 강릉시 사천면 일대의 산불지역의 지표피복

물질에 따라 산불지역 토양을 5개의 유형으로 구분하였다. 분류된 5개 유형의 산불지역에 대한 효율적 구분을 목적으로 Landsat ETM 단일시기 영상을 이용하여 NDVI와 SAVI 그리고 Tasseled Cap 변환영상을 비교하였으며, 각각의 유형을 구분할 수 있는지 검토하였다.

분류된 5개 유형을 대상으로 산불발생지역의 Landsat ETM+ 영상에서 NDVI와 SAVI는 산불발생지역의 지표분류 목적에 적합하지 않았으며, Tasseled Cap 변환영상의 식생지수와 건조지수를 축으로 하는 토양평면을 이용할 때 비교적 명확한 분류가 가능하였다. 이를 통해 침식피해 추정식  $f(a,b) = (\text{Greenness} + \text{Wetness})$ 의 형태로 계산과정을 단순하게 하고 편리하게 사용할 수 있도록 식(5)를 유도하였다.

$$\begin{aligned} \text{Greenness} + \text{Wetness} = & (-0.1339(\text{TM1})) + \\ & (-0.0462(\text{TM2})) + (-0.2157(\text{TM3})) + (0.1649(\text{TM4})) + \\ & (-0.6272(\text{TM5})) + (-0.6372(\text{TM6})) \end{aligned} \quad (5)$$

Landsat ETM+ 영상은 산불발생지역의 정량적 해석과 광범위한 지역에 대한 효과적인 분류가 가능하기 때문에 영상에서 산불발생지역의 토양 형태와 토양침식 양상을 구분하는데 효율적인 방법이라고 해석된다. 이러한 결과로 침식피해조사에 대한 검증 및 보완에 대한 연구를 통해 산불피해지역을 산정하기

위한 효율적 활용이 기대된다.

## 참고 문헌

- 동해안 산불피해지 공동조사단, 2000, 동해안 산불지역 정밀조사보고서 I, 533 p.
- 원강영, 임정호, 2001, 단일 시기의 Landsat 7 ETM+ 영상을 이용한 산불피해지도 작성, 대한원격탐사학회지, 17 (1), 85-97.
- Cloutis, E.A., 1996. Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2215-2242.
- Crist, E.P. and Cicone, R.C., 1984, Comparisons of the dimensionality and features of simulated Landsat-4 MSS and TM data. *Remote Sensing of Environment*, 14 (1-3), 235-246.
- Eastman, J.R. and Fulk, M., 1993, Long sequence time series evaluation using standardized principal components. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 59 (4), 991-996.
- Fox, D.M., Bryan, R.B., 2000, The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *CATENA*, 38, 211-222.
- Gao, X., Huete, A.R., Ni, W. and Miura, T., 2000, Optical-Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. *Remote Sensing of Environment*, 74 (3), 609-620.
- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R and Rundquist D., 2002, Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80 (1), 76-87.
- Huete, A.R. and Escadafal, R., 1991. Assessment of biophysical soil properties through spectral decomposition techniques. *Remote Sensing of Environment*, 35, 149-159.
- Koutsias, N., Karteris, M., 2000, Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 673-687.
- Kutieli, P., Lavee, H., Segev, M. and Beyamini, Y., 1995, The effect of fire-induced surface heterogeneity on rainfall-runoff-erosion relationships in an eastern Mediterranean ecosystem. *Israel, CATENA*, 25, 77-87.
- Nagler P.L., Daughtry C. S. T., Goward S.N., 2000, Plant litter and soil reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 71, 207-215.
- Nyakatawa, E. Z., Reddy, K.C., Lemunyon, J.L., 2001, Predicting soil erosion in conservation tillage cotton production systems using the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Soil and Tillage Research*, 57, 213-224.
- Rondeaux, G., Steven, M., and Baret, F., 1996, Optimization of soil-adjusted vegetation indices, *Remote Sensing of Environment*, 55, 95-107.
- Ternan, J.L. and Neller, R., 1999, The erodibility of soils beneath wildfire prone grasslands in the humid tropics. *Hong Kong, CATENA*, 36, 49-64.
- Wikars, L-O. and Schimmel, J., 2001, Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. *Forest Ecology and Management*, 141 (3), 189-200.

---

2004년 8월 13일 원고 접수  
2004년 10월 20일 수정원고 접수  
2004년 11월 13일 원고 채택