

강원도 강릉시 산불지역에서의 토양유형의 분포와 침식양상파악을 위한 Landsat ETM 영상의 활용

이진영^{1,*} · 양동윤¹ · 김주용¹ · 정공수²

¹한국지질자원연구원, 305-350 대전광역시 유성구 가정동 30

²충남대학교 지구환경과학부, 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220

Application of Landsat ETM Image to Estimate the Distribution of Soil Types and Erosional Pattern in the Wildfire Area of Gangneung, Gangwon Province, Korea

Jin Young Lee^{1,*}, Dong Yoon Yang¹, Ju Yong Kim¹, and Gong Soo Chung²

¹Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

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

Abstract: The soils in wildfire area of Sacheon-myeon, Gangneung, Gangwon Province, Korea, were investigated to clarify the erosion pattern of the soils. The soils were classified into 5 types on the basis of vegetation, types of organic matter, thickness of soil horizons, and completeness of soil profile. Each soil type showed different erosion pattern and Landsat ETM image. Coverage of plant leaves, litter, root, ash and other organic matter was an important component that affected soil color and reflectance of Landsat image (digital number). Although the NDVI (Normalized Distribution Vegetation Index) method in the wildfire area did not show much difference in soil types, the applied supervised classification method showed characteristic pattern of Landsat ETM image of soil types. This study showed that the applied supervised Landsat TM image classification in wildfire area is an effective way to estimate the distribution of erosion pattern of soils in wildfire area.

Keywords: wildfire, soil erosion, Landsat ETM, supervised classification.

요 약: 산불지역 토양의 침식양상을 구분하기위하여 강원도 강릉시 사천면 일대의 산불지역 토양을 조사하였다. 토양은 유기물의 분포양상 및 토양층의 두께, 토양층 발달의 완전성(성숙도)를 근거로 5개 유형으로 구분하였다. 침식 현상은 토양의 유형에 따라 다르게 나타났다. 나뭇잎, 낙엽층, 뿌리, 재 그 밖의 유기물의 피복이 토양의 색과 영상 이미지 반사에 영향을 미치는 중요한 요인이었다. 침식양상의 차이를 보이는 5개 유형의 토양의 Landsat ETM 영상은 토양 유형별로 상이한 반사특성을 보였다. 산불지역 토양의 정규식생지수(NDVI)와 무감독 분류는 토양유형에 따른 Landsat ETM 영상 차이를 잘 반영하기 못하였으나, 최대우도법에 의한 감독분류 기법의 적용시 산불지역에서 침식형태에 따른 토양유형 구분이 가능하였다. 본 연구는 산불지역에서 침식현상을 파악하고 예측하는데 Landsat ETM 영상의 활용이 매우 효과적임을 보여주었다.

주요어: 산불, 토양 침식, Landsat ETM, 감독분류.

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

Tel: 82-42-868-3066

Fax: 82-42-868-3037

서론

Landsat ETM 영상은 넓은 지역의 지표층을 조사하는데 효율적이고 정량적으로 결과를 제시할 수 있다. Landsat ETM영상은 지표의 상태나 특징을 파악하는데 아주 효율적으로 이용되어 왔다(Koutsias and Karteris, 2000; Huete and Escadafal, 1991; Rondeaux, et al., 1996; Cloutis, 1996). 토양 단면상에서 표층이 나타내는 색은 토양의 특성과 높은 상관관계를 보이기 때문에 인공위성영상을 이용하여 효율적으로 토양의 특징을 구분할 수 있다(Huete and Escadafal, 1991; Nagler et al., 2000). 산불지역의 토양과 지표의 특징을 파악하는 연구에도 Landsat ETM 영상이 활용되고 있다(Elmore et al., 2000; Dobos et al., 2000, Escadafal, 1993). 산불지역에서는 산불로 인하여 토양의 상부 식생과 유기물층이 제거되기 때문에 침식량이 증가한다(Kutiell et al., 1995; Inbar et al., 1998; Ternan and Neller, 1999; Fox and Bryan, 2000). 산불지역에서 Landsat ETM의 활용은 토양의 상부 표층을 구성하는 구성물질이 갖는 습도, 색상, 온도 등의 여러 가지 특성에 따라

반사 특성이 달라지는 것을 이용한다.

토양분류를 위한 실험적 연구는 인공위성의 가시영역(0.4-0.7 μm) 밴드에서 토양의 특성에 따른 반사율에 차이가 이용된 바 있으며(Cloutis, 1996), 재 또는 유기물을 포함하는 지역에서의 토양 분류가 시도되었다(Rondeaux, 1996; Nagler et al, 2001; Cloutis, 1996). 식생지수(NDVI; Normalized Distribution Vegetation Index)는 Landsat MSS의 밴드7과 밴드5를 사용하여 식생을 관찰한 후 다중분광자료에서도 이용되었다(Eastman and Fulk, 1993; 송무영과 신광수, 1998; 양소연 외, 1999). 국내에서는 아직까지 영상분류에서의 감독분류가 산불지역에 적용된바 없다. 본 연구의 목적은 산불지역에서 토양을 구분하고 각 유형별 토양의 식생분포, 유기물 피복정도, 토양단면의 특징을 파악하고 이러한 정보를 이용하여, Landsat TM 영상을 이용해서 토양을 감독분류하고 각 토양의 유형에 따른 침식현상을 파악하는데 있다.

연구지역의 개요

연구지역은 행정구역상 강원도 강릉시 사천면 사천

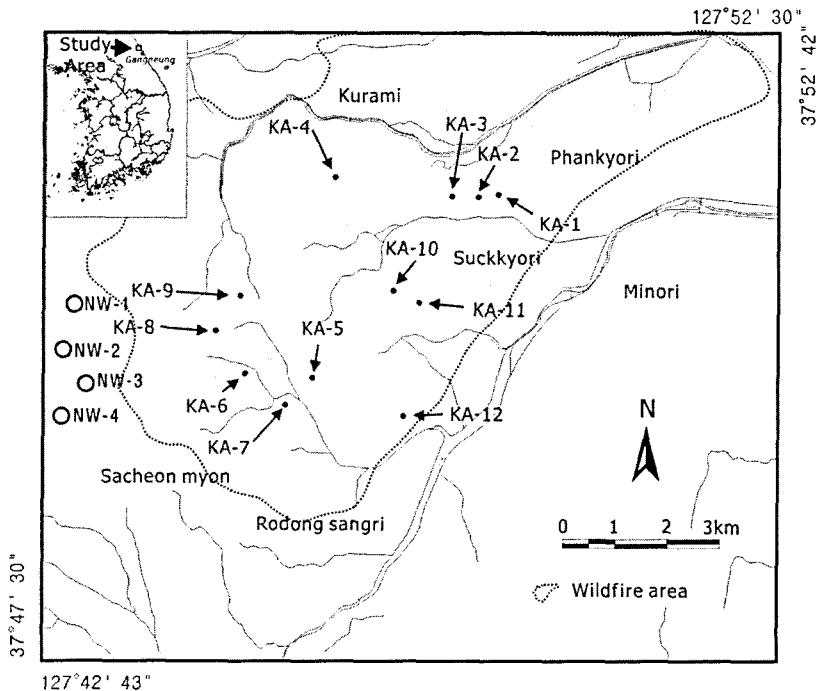


Fig. 1. Map showing the study area and sampling sites. Solid dots represent sampling sites in wildfire area. Open circles represent sampling site in non-wildfire area.

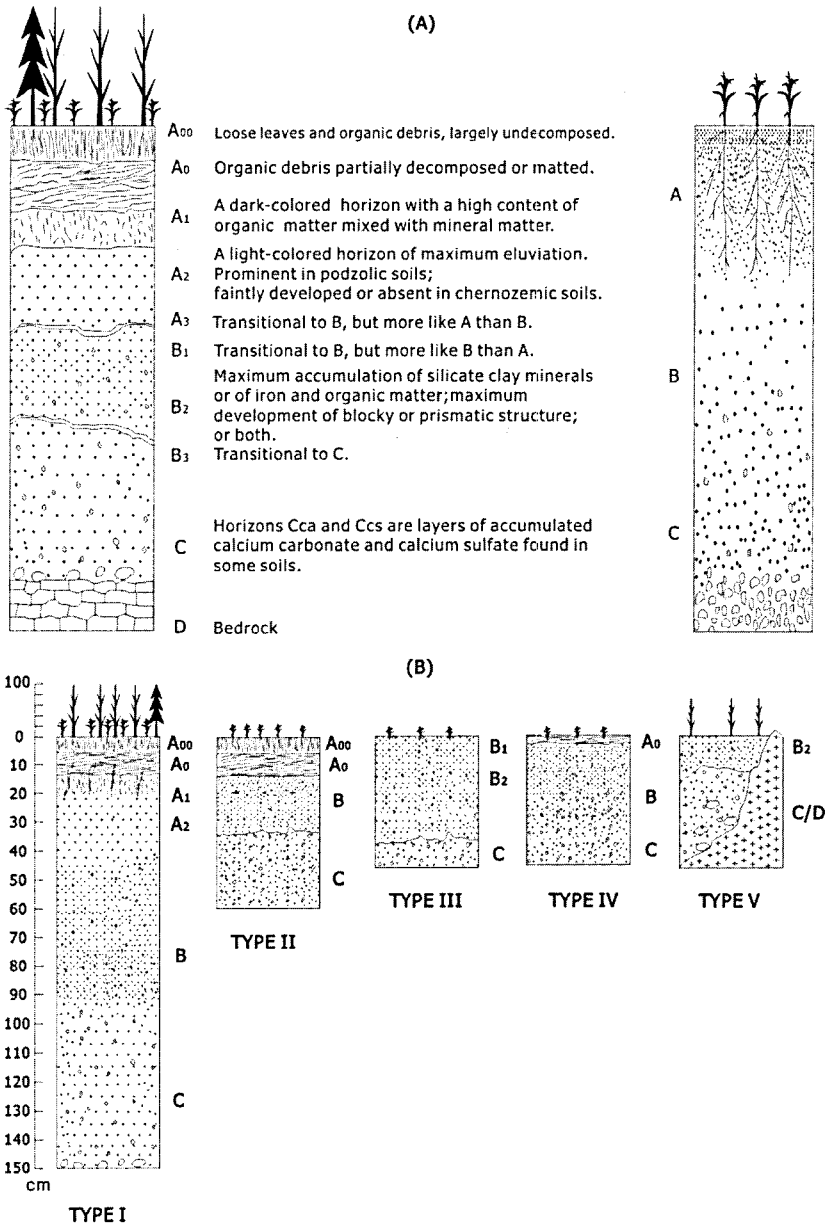


Fig. 2. Computed mean DN (Digital Number) value of each soil type from Landsat ETM images.

진리, 판교리, 석교리, 노동리 등에 속하며, 현재 강릉시 시립공원묘원을 중심으로 경도 128° 47' 42" ~128° 52' 30", 위도 37° 47' 30"~37° 50' 42"의 지점에 속한다(Fig. 1). 산불은 2000년 4월에 발생하였다. 이 지역은 슈라기의 화강암으로 구성된 단일의 지질 조건을 가지며, 동고서저의 형태의 지형을 갖는 갈색 산림토양으로 분류된다. 또한 저구릉성 산지로서 대부분의 지역이 양질 사토(LS) 및 사양토(SL)로서 모

래함량이 높고, 토양의 두께가 얇은 건조한 토양이며 유기물 및 양분함량이 낮은 척박한 토양이 분포한다(동해안산불피해공동조사단, 2000). 이 지역의 식생은 대부분의 지역이 소나무 군락으로 구성되어 있었고, 고도가 높은 지역은 소나무-활엽수 혼합군락의 일부와 조림지가 일부 분포하고 있었다(동해안산불피해공동조사단, 2000). 연평균강수량은 1,375.6 mm이다.

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 _{oo} , A _o , 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-3KA-10
Type II	Relatively well developed soil profile consisted of A _{oo} , A _o , B and C layer; A _{oo} , A _o layer thicker than 2cm; soil surface covered by ash and plant leaves	Some erosional features of small rill and gully smaller than 2cm in width and depth; some sheet erosion below the A _{oo} , A _o layer	High value in band 1 and 5; high value in band 3 compared to band 7; low value in band 7.	33%	KA-1KA-11
Type III	Poorly developed soil profile consisted of B ₁ , B ₂ and C layer; no organic matter at soil surface	Common occurrence of rill and gully erosion greater than 2cm 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 _o , 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 10cm in width and depth	High value in band 1 and 5; high value in band 1 compared to band 5.	18%	KA-4KA-12
Type V	Very poorly developed soil profiles consisted of B ₂ 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-2KA-5KA-6KA-7KA-8

연구 방법

산불지역인 강원도 강릉시 사천면 일대에서 토양유형을 구분하기 위해 지표조사를 하였으며 토양을 절개하여 단면을 조사하였다. 토양유형별로 침식현상을 조사하고, 침식현상을 분류하였다. 각각의 조사지점에 대한 위치확인을 위하여 GPS(Global Pointing System; Garmin corp.) 기기를 활용하고, 1 : 5,000 지형도를 참조하여 정확한 위치를 산정하였다. 야외조사는 2000년 8월에 산불발생지역에서 현장의 토양의 절개 단면에서 토양층의 분포를 조사하였으며, 반경 30 m 단위로 침식형태를 구분하고, 유기물 및 토양 시료를 기재하였으며 필요에 따라 시료를 채취하였다. 침식형태와 토양 단면 조사에서 침식형태에 대한 정확한 분류기준이 미비한 관계로 크게 구별되는 현상을 중심으로 분류하였다. 침식현상에 따른 분류에서 사면의 표층에서만 나타나는 침식현상과 사면의 표층을 침식하고 하부의 층까지 cm 단위로 침식된 소규모 침식자국(rill) 및 고랑(gully)으로 구분하였고, 소규모

침식자국 또는 고랑의 경우는 침식의 폭과 깊이에 따라 정도를 표시하였다. 토양단면을 작성하기 위해 Ritter(1984)의 토양 분류기준을 활용하였다. 영상의 처리는 야외조사가 시행된 지점의 화소값(DN: Digital Number; Lee, et al., 1999)을 얻기 위해, 기하보정을 실시하고 화소값을 영상으로부터 각 30개 이상의 지점으로부터 읽어 채택하였다. 감독분류(Supervised Classification) 방법은 최대우도법(Maximum likelihood classifier)을 사용하였으며, 이는 각 화소에서 가장 큰 우도를 갖는 분류항목을 정해주는 것으로 공분산행렬(covariance matrix)을 이용하였다(Haralick and Fulk, 1993). 영상의 처리를 위하여 Intersys 사의 ENVI 3.4를 이용하였다. 활용된 영상은 산불 발생 전후의 Landsat TM 7영상이며, 강릉시 공원묘원 일대가 나타나는 2000년 5월과 2000년 6월의 영상이다. 산불 발생지역의 좌표보정 및 지형분석을 위하여 1 : 25,000 지형도와 1 : 5,000 지형도를 활용하였으며, 임업연구원의 입엽도(1 : 2,5000), 농업기반공사의 정밀토양도(1 : 50,000)를 참고하였다.

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	0.10
	Max	84	63	51	74	63	38	0.21
	Mean	80	59	48	66	57	32	0.15

토양의 분류

연구지역의 토양은 위치에 따라 토양층의 발달 양상이 다르게 나타난다. 연구지역의 토양을 토양단면 발달 양상(Ritter, 1984)에 따라 분류하였다(Fig. 2A). A층은 상부토양으로서 4개의 층으로 세분된다. A00층은 거의 부식되지 않은 낙엽과 여러 종류의 유기물 부스러기와 유기물이 타고남은 재료 구성되어 있으며 지표에 분포한다. A0층은 부분적으로 부식된 유기물로 구성된 층이며 식물의 잔뿌리층이 분포한다. A1층은 검은색의 유기물과 광물질이 혼합된 부식토로 구성된 층이며, 이층에서는 점토입자 및 가용성 광물의 화학적 용해에 의해 원래 물질의 일부가 아래로 이동된다. A2층은 밝은 색의 토양층이다. B층은 집적토양층으로서 A층 아래에 분포하며, 점토로 구성되어 있고 철과 알루미늄 산화물이 풍부하다. 때로는 덩어리 또는 기둥모양의 구조를 보인다. 식물의 뿌리에 의해 침투되기는 하나 A층보다 유기물이 훨씬 적다. C층은 흔히 밝은 황갈색을 띠는 모질물로 구성되어 있다.

본 연구에서는 산불 발생지역에서 타고 남은 유기물과 식생, 토양, 암석 등 지표를 피복하는 물질들을 구분하였다. 지표 피복물질과 토양층 발달의 안정성 및 각 토양유형에 따른 영상의 특성을 고려하여 연

구지역의 토양을 Type I에서 Type V까지 5가지 유형으로 구분하였다. 토양층의 배열 양상에 따라 연구지역을 모두 5개의 토양으로 구분하였다(Fig. 2B). Type I 토양은 A, B, C층의 모든 토양층이 다 발달되어 있고, 토양층의 두께가 1.5 m 정도이다. 토양의 상부는 20 내지 30 cm 두께의 낙엽과 유기물로 덮여 있다. Type II 토양은 상부는 Type I의 토양과 비슷하나 A1층과 A2층이 발달이 없고 토양층의 두께가 50내지 60 cm 정도이다. Type III 토양은 상부 표면에 유기물이 없고 B층과 C층으로 구성되었으며 두께가 40내지 50 cm 정도이다. Type IV 토양은 토양 표면이 수 cm 정도의 얇은 유기물이 덮여 있고 B층과 C층으로 구성되었으며 토양층의 두께는 40내지 50 cm 정도이다. Type V 토양은 토양 표면에 나무가 산발적으로 자라는 토양으로서 무기토양과 자갈 또는 암반이 노출되고, B2층과 C층으로 구성되었으며 토양층의 두께는 40내지 50 cm 정도이다.

토양유형별 침식양상 및 영상화소 값

토양 유형에 따른 침식유형은 Table 1과 같고, 토양 유형에 따른 화소값(DN; Digital Number)은 Table 2와 같다. Table 2에서 산불발생지역과 그렇지 않은 지역의 NDVI 값은 산불지역에서 (-)값을 보이

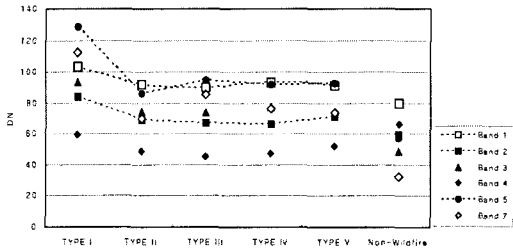


Fig. 3. (A) Soil profile described by Ritter (1984). Left is the profile divided in detail compared to right profile which shows relatively simplified layers. (B) Soil types and their profiles in the study area characterized by incomplete development of soil layers compared to Ritter's profile. Type I profile shows completely developed soil profile with A, B and C layer. Soil surface is covered by plant litter and loose organic debris at soil surface. Type II profile shows no A1 and A2 layers. Type III profile is composed of B1, B2, and C layers with little plant cover. Type IV profiles shows ash and burnt plant root(Ao layer) at the surface with poorly developed soil profile composed of Ao, B and C layers. Type V profiles shows exposed bedrock and very poorly developed soil profile composed of B2, C and D layers with rock-fragments.

고, 비산불지역에서는 (+)값을 나타낸다(Table 2). Type V유형의 지역은 야외조사시 침식현상이 두드러진 지역으로 Type I의 침식현상이 적게 관찰된 지역과 명확한 차이를 보이고 있다(Fig. 3). 각 유형별로 특징적인 침식양상 및 영상화소값을 보여준다.

Type I 토양은 토양표면에 재 또는 유기물층이 잘 발달되어 있고, 식생복원이 빠르게 진행중인 지역으로서 침식현상이 거의 나타나지 않는 지역이다(Fig. 2B; Fig. 4A & 4B). 연구지역의 12%의 면적이 Type I 토양이다. DN값의 분포는 건강한 식생과는 많은 차이가 있지만, 각 밴드별 DN 값은 매우 높은 수치를 보이고 있다. NDVI 값도 상대적인 수치로서, KA-3번 지역이 대표적으로 높은 식생활력도를 나타낸다. DN값의 분포에서 전반적으로 밴드의 값들이 높게 분포하고 있다. 특히 5번 밴드의 값이 매우 높게 나타나며, 다음으로 7번 밴드의 값이 높게 나타나고 있고, 1번 밴드의 값은 산불지역이나 비산불지역이나 유사한 값의 변화를 나타낸다. Type I 토양은 비산불지역과 비교해 볼 때 5번과 7번 밴드의 값이 가장 큰 차이를 나타낸다.

TYPE II 토양은 두께가 얇은 유기물층이 토양상부층을 형성할 경우 침식현상이 관찰되지 않으며 산불

지역 면적의 33% 정도이다(Fig. 2B; Fig. 4C & 4D). 그러나, 자연적이고 인위적 조건에 의해 상부의 표층을 형성하는 유기물층이 훼손된 지역은 판상의 침식, 세류 또는 구곡 형태의 침식이 나타나며, 덩어리 형태로 침식되기도 한다. 비산불지역에 비해 5번 밴드의 수치가 가장 낮게 나타나며, 1번 밴드의 값이 높게 나타나고, 7번 밴드의 값이 비 산불지역의 7번 밴드 값보다는 높으나 다른 Type과 비교할 때 낮은 수치를 보인다.

Type III 토양은 광범위한 침식현상을 보이며, 침식 자국과 고랑이 10 cm 이상의 크기를 보인다(Fig. 2B; Fig. 4E & 4F). 본 유형의 토양이 산불지역 면적의 32%를 차지하고 있다. 2 cm 이상 크기의 침식자국과 고랑이 나타나며 상부 토양층에서 토양이 미끄러져 붕괴된 양상으로 나타난다. DN값은 여러 지역에서 동일하게 나타나 편차가 거의 없었다. 또한 상부는 벌목으로 잘려진 나무가 남아 있으며, 응급복구가 시행된 지역이 해당된다. 5번 밴드의 값이 가장 높은 것으로 나타나며, 1번 밴드와 7번 밴드의 값이 높게 나타난다. Type II와 달리 3번과 7번 밴드의 값이 역전되어 분포한다.

Type IV 토양은 육안으로 쉽게 침식현상이 관찰된다(Fig. 2B; Fig. 4G & 4H). 또한 지표에서의 고랑과 구곡의 크기가 대부분 10 cm 이상이다. 본 유형의 토양은 산불지역 면적의 18%를 차지한다. 지표에 토양유기물이 거의 없고, 타고남은 식생의 뿌리가 노출된 형태이다. 벌목 후 남은 나무목재와 일부지역은 사방댐이 분포한다. 또한 지형적으로 높은 경사도를 보인다. 1번 밴드 값이 매우 높게 나타난다.

Type V 토양은 토양층의 두께가 매우 얇으며, 1 cm~2 cm의 상부표층과 기반암이 분포하는 지역으로 급경사를 이룬다. 본 토양은 산불지역 면적의 6%를 차지한다. 토양의 피복상태 또한 재와 유기물층이 없는 상태로 토양층이 직접 노출되어 활발한 침식상태를 보인다(Fig. 2B; Fig. 4I & 4J). 토양의 두께는 1 m 미만이며, 사방작업이 있었다. 토양층이 발달되지 않았거나, 발달된 토양층에 침식현상이 활발하여, 이미 침식에 의한 토사유출이 심각하게 나타난 지역이다. 상부 유기물층과 토양층이 약하게 발달한다. DN 값의 분포는 Type IV와 유사한 경향을 보이나 1번 밴드와 2번 밴드의 차이가 미세하게 나타나며 1번 밴드와 5번 밴드의 위치 또한 다르게 나타난다.

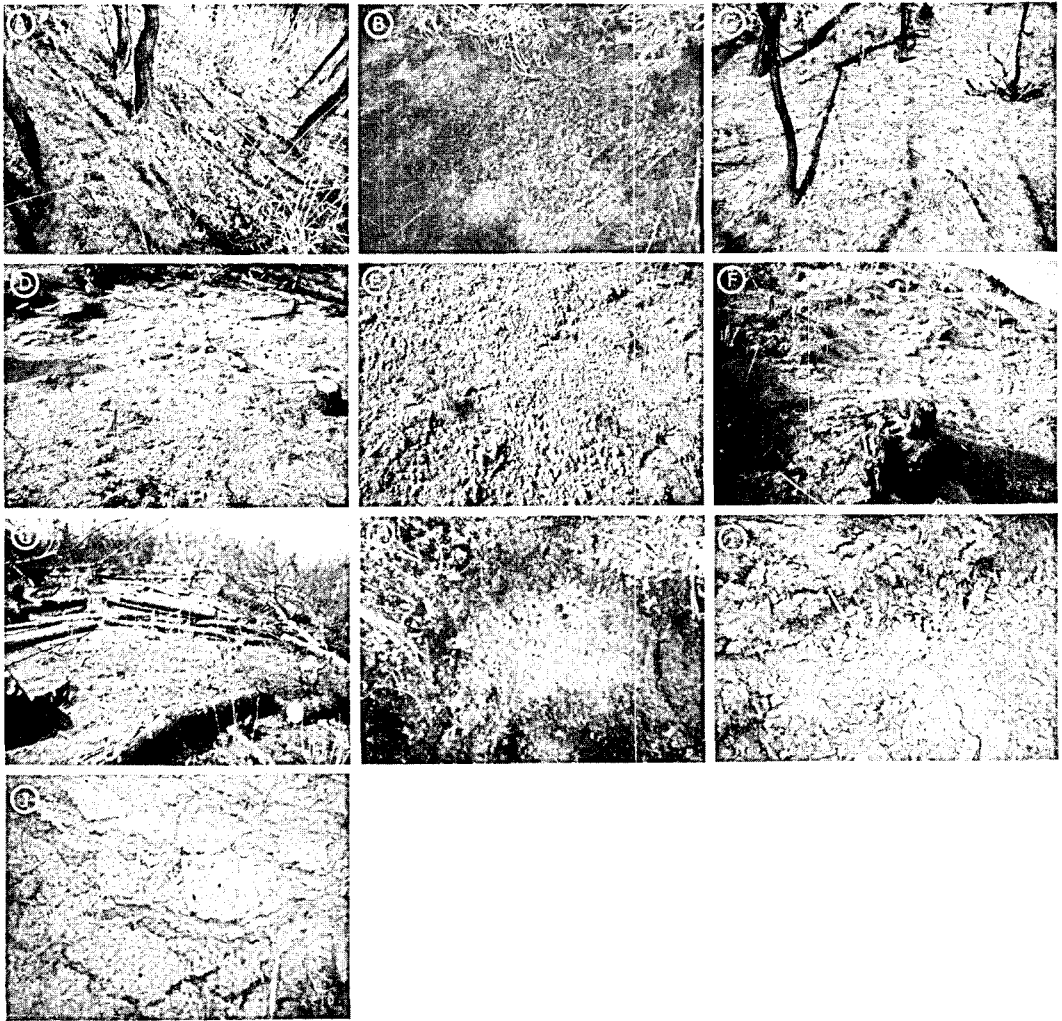


Fig. 4. Field photographs of 5 soil types. A, B) Type I soil characterized by coverage of tree, plant, leaves and ash(left), and burnt plants and plant roots on burnt area (right). C, D) Type II soil. Some area is covered by ash and plant roots layer (left); rill, gully and flow feature and coarse grains are covered on the ground (right). E, F) Type III soil. Both pictures show soil erosion feature and some plants. Rill and gully erosion features are commonly found. G, H) Type IV soil. Plant roots and ashes are distributed at the surface (left) and close view photograph shows top layer composed of ash and burnt plant root and exposed B layer at the center (right). I, J) Type V soil. Characterized by presence of erosion feature with soil mass movements, exposed rock fragments and bedrock.

토 의

산불지역의 Landsat ETM 영상은 불에 타고 남은 토양유기물과 식생, 토양, 암석과 같은 지표물 덮고 있는 물질의 유형과 특징에 의해서 구분이 가능하다. 유기물의 유무는 식생, 불에 타고 남은 나무와 재, 그 밖의 지표에 분포하는 나뭇잎과 같은 유기물의 분포 유무가 영상분류에 활용된다. 유기물이 덮여있지 않고 드러난 토양(bare soil)은 지표물 유기물로

덮인 지역과는 Landsat ETM 영상에서 상이한 분광 특성을 나타낸다. 본 연구에서는 유기물의 유무와 맨 땅으로 드러난 토양의 존재 여부에 따라 산불지역 토양을 5가지 유형으로 구분하였다.

연구지역 토양은 우선 크게 두 그룹으로 구분된다. 지표가 유기물로 덮여 있는 그룹인 Type I과 Type II 그리고 또 하나의 그룹인 유기물이 거의 덮여 있지 않거나 전혀 없는 Type III, Type IV와 Type V 유형의 토양으로 구분된다. 이 두 그룹간의 구별은 NDVI

에 의해 가능하였다. NDVI는 산불지역과 비산불지역을 구분하는데 유용한 방법으로 Landsat 영상에서 식생의 활력도를 조사하기 위해 만들어진 정규화된 식생 분포지수이다(Normalized Distribution Vegetation Index). Nagler et al.(2001)에 의하면, 토양 유기물의 지표반사 특성은 노출된 토양의 특성과 구별되고, 밴드 7에 속하는 2.1 μm 의 파장영역에서 특징적인 반사곡선을 나타낸다고 하였다. 또한 토양층에 분포하는 유기물을 대상으로 할 때 토양 반사 스펙트럼에서 일반적으로 유기물이 풍부한 토양이 0.5-1.3 μm 사이의 파장대에서 오목한 형태의 반사곡선을 나타내며, 유기물이 적은 토양은 볼록한 형태의 반사곡선을 나타낸다(Rondeaux et al., 1996; Koutsias, and Karteris, 2000). 일반적으로 산불지역은 지표피복 구성물질이 타고 남은 나무, 재 등이 우세하게 나타나는 지표반사특성을 나타내므로, 이들의 특성을 기준으로 유기물로 덮여있는 지역과 맨땅으로 드러난 유기물이 없는 지역과 영상에서 구분이 가능하다. 본 연구에서 유기물로 덮인 지역의 식별을 위해 Landsat ETM 영상 밴드 3(0.63~0.69 μm)과 밴드 4(0.76~0.90 μm)의 영역을 활용하였다.

유기물로 덮여 있는 토양에서 유기물층의 두께에 따라 이들 토양을 다시 Type I과 Type II로 구분하였다. Type I과 Type II 사이의 구분을 위해 우선 NDVI를 적용하였다. NDVI 기법의 적용결과 KA-10번 지역 부근의 식생이 매우 불량하게 나타났으며 (Fig. 5A), 지형적으로 낮은 지역 계곡에 위치한 KA-6과 KA-9지역은 식생이 비교적 양호한 상태로 나타났다(Fig. 5A) 그러나, 이들 지역은 야외 현장에서 확인한 결과 KA-10은 식생분포가 많은 지역이었고, KA-6과 KA-9는 식생분포가 없는 지역이었다. NDVI는 식생활력도를 이용하기 때문에 토양과 토양을 덮고 있는 유기물층의 반사조건을 구별하지 못하는 것으로 나타났다. NDVI에서 나타나는 이러한 모순을 개선하기 위해 본 연구에서는 감독분류를 시도하였다. 감독분류는 야외현장조사 결과를 Landsat ETM 영상 자료 해석에 활용하는 기법으로서 야외 현장조사를 위해 시간과 비용이 수반되는 단점이 있기는 하나 현장조사 없이 Landsat ETM 영상만을 이용해 해석을 시도하는 NDVI 방법에 비해 훨씬 정확도를 높일 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서 시도한 감독분류에서는 KA-10을 Type I 토양으로 그리고 KA-9는 Type III구분 하였고, KA-6는 Type V 토양으로 구분

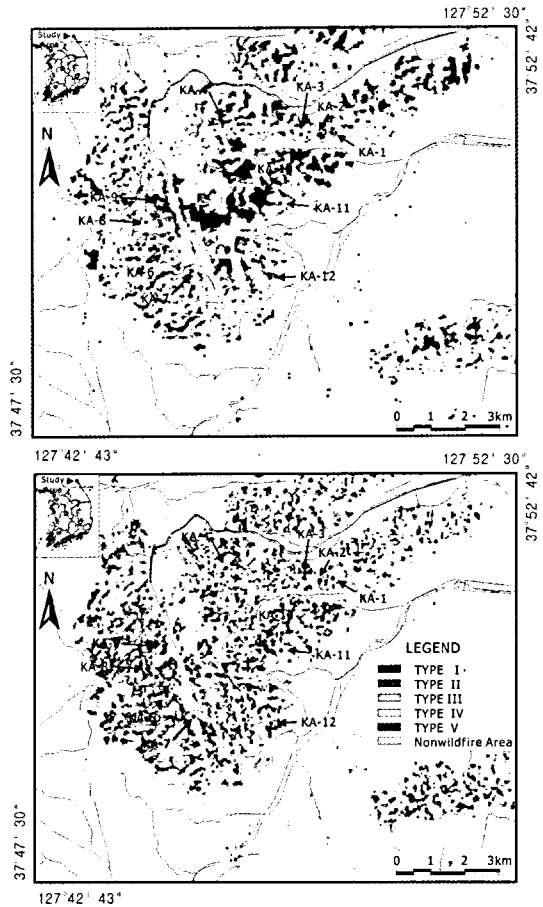


Fig. 5. (A) Areal distribution of NDVI in wildfire area. Red represents poor vegetation coverage whereas blue represents good coverage. (B) Areal distribution of 5 soil types based on supervised classification. KA-1 to KA-12 represent soil sampling sites.

하였다(Fig. 5B).

유기물이 거의 없거나 전혀 덮여 있지 않은 토양인 Type III, Type IV 그리고 Type V의 식별은 Landsat ETM영상에서 반사율로써 가능하다. Landsat ETM영상에서 토양의 반사특성이 밝은 색을 갖는 토양이나 암반의 경우 상대적으로 높은 반사율을 나타내고, 어두운 색을 갖는 토양이나 암반의 경우는 낮은 반사율을 보인다(Huete and Escadafal 1991). 따라서 Type III, Type IV와 같이 토양으로 지표가 피복된 지역과 Type V와 같이 암반이 노출된 지역은 Type I, Type II와 같이 식생이 피복하고 있는 지역과 명확히 구분될 수 있다. NDVI 분류가 비산불지역과 산불지역을 구분하는데 아주 유용하지만, 식생활

력도를 이용한 분류는 토양과 토양을 덮고 있는 유기물층의 반사조건을 구별하지 못하기 때문에, 산불 지역의 침식지역분류에는 적합하지 못하였다. 연구지역에서 산불발생시 산불이 진행되는 경로가 주로 능선을 따라 발달하였기 때문에(동해안산불피해공동조사단, 2000), 식생복원이 계곡을 따라 먼저 나타났다. Fig. 5A는 전체 지역에서 산불 발생지역을 분리하고, 산불 발생지역 내의 NDVI 값을 연두색에서 붉은 색 계열로 나타낸 것으로, 식생의 활력도가 높은 지역을 파란색에서 녹색, 그리고 붉은색 계열이 식생의 활력도가 낮은 지역을 나타낸다. NDVI 자료상에서는 5번 밴드, 7번 밴드의 경향이 3번 밴드와 4번 밴드와 상이한 경향을 보이고 있다. 이것은 Nagler et al. (2001)이 지적한 것처럼 본 연구지역의 NDVI자료가 식물과 유기물층에 의한 영향을 반영하기 때문인 것으로 해석된다. 이러한 현상은 비산불지역과 비교할 때 산불지역의 NDVI와 관련된 3번과 4번 밴드의 변화와 5번과 7번 밴드의 변화와는 상이한 차이를 보이는 것으로 나타난다. 유기물 잔존 여부를 해석하는 과정에서 5번 밴드의 특성과 7번 밴드의 특성을 고려해야 한다. NDVI 분류상에서 지역별로는 Type IV와 V(KA-5, 6, 7, 8, 10지역)의 식생활력도가 매우 불량한 것으로 나타났고, 동일한 지역 중 Type I(KA-3, 10)은 상대적으로 식생활력도가 양호한 것으로 나타났다.

산불지역 토양의 유형에 따라 침식의 양상이 다르게 나타났다. 토양유형별 침식은 산불 발생시 타고 남은 유기물과 식생의 많고 적음, 토양의 두께, 암석의 분포 여부에 따라 다르게 나타났다. 일반적으로 토양침식을 가정하는 Wischmeier and Smith(1965, 1978)의 범양토양유실공(USLE; Universal Soil Loss Equation)에 의하면, 토양침식을 좌우하는 요인은 크게 강우, 지형, 토양특성, 지표피복 등으로 요약된다. 대개의 경우 일정 지역의 강우는 크게 차이를 보이지 않는 것으로 간주한다. 따라서 지형, 토양특성, 지표피복상태와 같은 환경에 의해 침식의 형태가 달라진다. Type I, Type II 그리고 Type IV 토양은 지표면을 덮고 있는 재, 또는 유기물 등의 지표피복 상태에 따라 침식의 양상이 달라지는 것을 야외에서 확인 할 수 있었다. 지표에 피복 물질이 있는 경우 피복물질 하부에 파이프 침식이 나타나며, 피복물질이 없는 경우 소규모 침식자극이나 고랑에 의한 침식이 나타난다. 영상 분류에서 Type III와 Type V의 분류

기준으로 사용된 토양과 암반의 경우 침식형태는 뚜렷이 구분된다. 이는 암반인 경우 침식 형태가 없고 노출토양인 경우 토양침식이 활발하게 나타난다. 노출토양에서 나타나는 침식의 형태는 세류침식, 구곡침식, 판상침식 등으로 다양하다. 영상에서 Type I과 Type II를 구분하는 기준인 식생의 정도는 침식에 영향을 주는 지표피복인자와 동일하다. 따라서 Type I과 Type II의 침식형태 차이는 명확하지 않지만 침식의 규모와 빈도는 Type I이 월등하게 적다.

대부분의 식생지수는 토양의 영향이 매우 높기 때문에, 토양의 영향을 제거하는 방향으로 개선되어왔다. 연구지역의 식생은 KA-10번지역에서 식생복원이 매우 불량하게 나타났다. NDVI 방법으로 일정영역을 구분한 Fig. 5A에서 KA-5, KA-6, KA-7번 지역을 제외한 나머지 지역은 식생지수에 의한 분류 결과와 감독분류에 의한 결과와 다르게 분류된다. 야외에서 조사된 모든 지역은 비산불지역과 비교하면 식생활력도(NDVI)가 매우 낮게 나타난다.

감독분류 기법은 분류대상에 대한 정확한 자료를 가지고 분석을 하기 때문에 분석대상에 대한 사전조사의 어려움이 있기는 하나, 무감독 분류기법보다 대상을 정확하게 분류 할 수 있는 장점을 가지고 있다(이상훈 2001; 양소연 외, 1999). Fig. 5B는 전체 산불지역을 분리하고, 산불지역에서 감독분류기법에 의하여 분류된 결과를 나타내는 것으로서 토양 유형별로 구분이 확실하며 용이함을 보여주었다. 감독분류에서는 각 토양유형 분포지역의 위치를 파악하게 함은 물론 정량적으로 그 면적을 쉽게 산출할 수 있도록 해 주었다. 본 연구에서 시도한 감독분류는 산불지역 토양의 유형 및 침식양상을 파악하는데 아주 효율적임을 보여주었다.

결론

산불지역 토양의 특징과 침식양상을 효율적으로 구분하기 위해 Landsat ETM 영상의 활용을 검토하고자 강원도 강릉시 사천면 일대 산불발생지역에서 야외조사를 통해, 지표분포물질 및 토양단면 구조에 따라 침식지역을 5가지 유형으로 분류하였다. 이들 5가지 유형의 토양은 현장에서 조사한 결과 침식양상에서 차이를 보였으며, Landsat ETM 영상에서 각 밴드의 화소값 차이를 이용하여 각 토양유형별로 구분이 가능하였다.

토양유형별로 토양층의 발달과 침식양상이 구분되었으며 각 토양유형별로 Landsat ETM 영상의 차이를 비교분석하였다. 침식 현상은 토양 단면의 발달과 밀접하게 관련되며, 표층의 침식형태 및 유기물 구성이 토양단면의 구성을 판단하는데 매우 유용하였다. 또한 식물, 유기물(재) 등의 지표 피복 물질이 토양의 침식에 영향을 주는 중요한 요인이 되었다.

산불발생지역의 정규식생지수(NDVI)와 무감독분류는 토양유형에 따른 Landsat ETM영상 차이를 잘 반영하지 못한 반면, 야의 현장에서 토양층의 조건에 따른 침식형태의 차이를 반영한 감독분류는 Landsat ETM영상 차이를 잘 반영하였다. 본 연구결과 감독분류는 산불지역에서 토양의 특징을 파악하고 침식의 유형을 이해하게 함을 물론, 침식유형에 따른 면적을 정량적으로 파악하게 하며, 광범위한 지역에 대한 분류가 가능하기 때문에 효율적이었음을 확인할 수 있게 하였다. 또한 향후 분류된 각 토양 유형에 따라 산불지역의 토양침식의 저감방안을 적용하면 산불지역의 토양침식재해에 대해 보다 효율적 대처가 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

동해안산불피해지공동조사단, 2000, 동해안산불지역정밀조사보고서I, 85-209.
 송무영, 신광수, 1998, 철원 부근 추가령 지구대의 지질구조 및 지표환경해석을 위한 인공위성 영상자료의 분석, 한국지구과학회지, 19(6), 675-683.
 이상훈, 2001, 공간지역확장과 계층집단연결 기법을 이용한 무감독 영상분류, 대한원격탐사학회지, 17(1), 57-69.
 양소연, 송무영, 황정, 1999, 원격탐사와 지리정보시스템을 이용한 시화지구 일대의 지표환경변화와 토공량 예측연구, 대한원격탐사학회지, 9(2), 161-176.
 Cloutis, E.A., 1996. Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques, International Journal of RemoteSensing, 17, 2215-2242.
 Dobos, E., Micheli, E. Baumgardner, M.F., Biehl, L. and Helt, T., 2000, Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping, Geoderma, 97, 367-391.
 Elmore, A.J., Mustard, J.F. Manning, S.J., Lobell, D.B., 2000, Quantifying Vegetation Change in Semiarid Environments Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index, Remote Sensing of Environment, 73, 87-102.
 Escadafal, R., 1993, Remote sensing of soil colour : Princi-

ples and applications, Remote Sensing of Environment, Rev. 7, 261-279.
 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. and Bryan, R.B., 2000, The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient, CATENA, 38, 211-222.
 Haralick, J.R. and Fulk M., 1993, Long sequence time series evaluation using standardized principal components, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 59, 991-996.
 Huete, A. R. and Escadafal, R., 1991. Assessment of biophysical soil properties through spectral decomposition techniques, Remote Sensing of Environment, 35, 149-159.
 Inbar, M., Tamir, M., Wittenberg, L., 1998, Runoff and erosion processes after a forest fire in mount Carmel, a mediterranean area, Geomorphology, 24, 17-23.
 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.
 Kutiel, 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.
 Lee, B.I., Kim, Y.L., Yua, Y.D., 1999, Effect of Distribution of Pixel Values on the Training Statistics, KSRS, Proceedings of the Spring Meeting, 4, 14-19.
 Nagler P. L., Daughtry C. S. T., Goward S.N., 2000, Plant litter and soil reflectance, Remote Sensing of Environment, 71, 207-215.
 Ritter, D.F., 1984, Process of geomorphology, WM. C. Brown Company, Iwoa, 100-110.
 Rondeaux, G., Steven, M., and Baret, F., 1996, Optimization of soil-adjusted vegetation indices, Remote Sensing of Environment, 55, 95-107.
 Terman, J. L. and Neller, R., 1999, The erodibility of soils beneath wildfire prone grasslands in the humid tropics, Hong Kong, CATENA, 36, 49-64.
 Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains, Agricultural Handbook 282.
 Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses, A guide to conservation planning. Agricultural Handbook 537.