

## 단일 시기의 Landsat 7 ETM+ 영상을 이용한 산불피해지도 작성

원강영\* · 임정호\*\*

서울대학교 환경대학원\*, 국토연구원\*\*

### Fire Severity Mapping Using a Single Post-Fire Landsat 7 ETM+ Imagery

Kang-Yung Won\* and Jung-Ho Im\*\*

Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University\*,

Korea Research Institute for Human Settlements\*\*

**Abstract :** The KT(Kauth-Thomas) and IHS(Intensity-Hue-Saturation) transformation techniques were introduced and compared to investigate fire-scarred areas with a single post-fire Landsat 7 ETM+ image. This study consists of two parts. First, using only geometrically corrected imagery, it was examined whether or not the different level of fire-damaged areas could be detected by simple slicing method within the image enhanced by the IHS transform. As a result, since the spectral distribution of each class on each IHS component was overlaid, the simple slicing method did not seem appropriate for the delineation of the areas of the different level of fire severity. Second, the image rectified by both radiometrically and topographically was enhanced by the KT transformation and the IHS transformation, respectively. Then, the images were classified by the maximum likelihood method. The cross-validation was performed for the compensation of relatively small set of ground truth data. The results showed that KT transformation produced better accuracy than IHS transformation. In addition, the KT feature spaces and the spectral distribution of IHS components were analyzed on the graph. This study has shown that, as for the detection of the different level of fire severity, the KT transformation reflects the ground physical conditions better than the IHS transformation.

**Key Words :** forest fire, fire severity map, remote sensing, Landsat 7 ETM+ imagery, KT(Kauth-Thomas) transformation, IHS(Intensity-Hue-Saturation) transformation

**요약 :** 인공위성영상(ETM+)을 이용하여 산불피해지역을 분석하기 위해 KT(Kauth-Thomas)변환 기법과 IHS(Intensity-Hue-Saturation)변환기법을 적용하여 비교해 보고 산불피해등급지도를 작성하였다. 이 연구는 두 부분으로 나누어 수행되었는데, 그 첫 번째는 기하보정만 수행한 영상의 7, 4, 1밴드를 이용하여 IHS변환을 적용하여 단순 슬라이싱 기법으로 산불피해지역을 피해 정도별로 등급화 하는 것이 가능한가를 분석하였다. 그 결과 각 컴포넌트에서 클래스의 분광 특성이 서로 겹쳐서 단순 슬라이싱 기법으로는 적절한 분류가 이루어지지 않았다. 두 번째는 방사 및 지형보정을 한 영상을 각각 IHS와 KT변환기법으로 변환시킨 후 최대우도법을 이용해 분류하였다. 현장데이터가 부족하여

cross-validation을 수행하였으며, 일관되게 KT변환기법에 의한 분류가 IHS기법에 의한 분류보다 더 좋은 결과를 보여주었다. 또한 KT feature space와 IHS 컴포넌트의 분광분포를 그래프 상에서 분석해 보았다. 이 연구에서는 KT변환기법이 IHS변환기법보다 산불피해지역을 추출함에 있어 더 높은 정확도를 나타내고, 산불과 관련된 지표의 물리적 특성을 더 잘 반영함을 볼 수 있었다.

## 1. 서론

2000년 4월에 대형 산불이 강원도 영동 지방에서 발생하여 약 9일정도 지속하였다. 산불은 동해안을 따라 퍼져서 대략 23,448 ha의 산림을 황폐화시켰다. 이러한 큰 규모와 정도가 심한 종류의 산불 피해지역은 생태적 및 경제적으로 관리되고 복구되어야 할 필요가 있다. 그러기 위해서는 무엇보다도 산불피해지역의 정확한 경계와 산불정도에 따른 피해등급지도가 제공되어야 한다. 산불피해 등급지도는 산불발생 후 산불피해정도와 범위를 제공함으로써 산불피해지역을 관리하는데 유용한 도구가 될 수 있다. 이러한 산불피해등급지도로부터 얻은 자료는 산림 복구를 위한 자원분배를 하는데 많은 도움이 된다(Patterson and Yool, 1998).

그러한 산불피해등급지도를 작성하는데 있어서 경제적 비용과 접근성을 고려하여 볼 때, 원격탐사기법은 예비피해도 작성에 매우 적합하다. 현재까지, 산불발생지역의 추출과 경계를 설정하기 위하여 단일시기의 영상 혹은 다시기의 영상들을 이용한 여러 방법들이 개발되어 왔다. 다시기의 영상이 지금까지 종종 사용되어왔으나, 영상 취득에 따른 비용, 영상의 등록 및 처리 면에서 단일시기의 영상이 더 유리하다.

산불발생 이후의 단일 Landsat-5 TM 영상으로 밴드4, 7, 1과 밴드4, 7, 2를 가지고 만든 logistic regression model이 높은 정확도를 나타내었다(Koutsias and Karteris 2000). 위의 결과를 바탕으로, 산불 발생 이후의 단일 Landsat-5 TM 영상을 IHS(Intensity-Hue-Saturation) 변환을 사용하여 산불 지역의 지도를 작성하려는 시도가 있었다. 그 중에서도 밴드7-4-1과 밴드4-7-1로 전환된 IHS 컴포넌트 중에 Hue 컴포넌트는 단순한 슬라이싱

기법으로 산불피해 지도를 그리는데 매우 유용함이 밝혀졌다(Koutsias *et al.*, 2000).

또한 Collins와 Woodcock에 따르면, 여러 시기의 영상을 이용하여 forest mortality 지도를 만드는 데 Gramm-Schmidt orthogonalization process 방법보다는 Principal Component(PC) 변환기법과 KT변환기법을 이용한 방법이 더 나은 결과를 나타내었고 그 중에서도 KT변환기법이 보다 일관적인 방식으로 변화를 인식하였다. Patterson과 Yool(1998)은 KT변환기법과 PC변환기법을 사용하여 산불피해 지역을 분류하였다. 여기에서 KT변환기법을 사용한 것이 PC변환기법을 사용한 것보다 더 높은 분류 정확도를 내었다.

이 연구에서는 산불발생 이후에 취득한 Landsat 7 ETM+ 영상을 가지고 산불피해등급지도를 만들기 위하여 KT기법과 IHS기법을 응용하고자 한다. 이 연구는 크게 두 가지로 나누어지는데 그 첫 번째는 기하보정만을 수행한 영상에 대해 IHS변환기법을 적용해 단순 슬라이싱 기법으로 산불피해지역을 등급별로 분류하는 것이 가능한가를 분석하는 것이고, 두 번째는 최대우도법을 사용하여 분류를 함에 있어 IHS 및 KT변환기법을 비교분석하는 것이다. 사용한 영상은 산불 발생 후 약 한달 정도 지난 2000년 5월 8일에 취득한 것으로서, 일반적으로 산불피해지역 분석시 식생이 생사와 나뭇잎의 고사를 고려할 때 산불 발생 직후에 얻은 영상보다는 산불 발생 후 몇 주간의 시간이 지난 후 취득한 영상이 더 적합하다(Jacubauskas *et al.*, 1990).

## 2. 대상지역

이번 연구 지역인 삼척시 미로면은 Fig. 1과 같

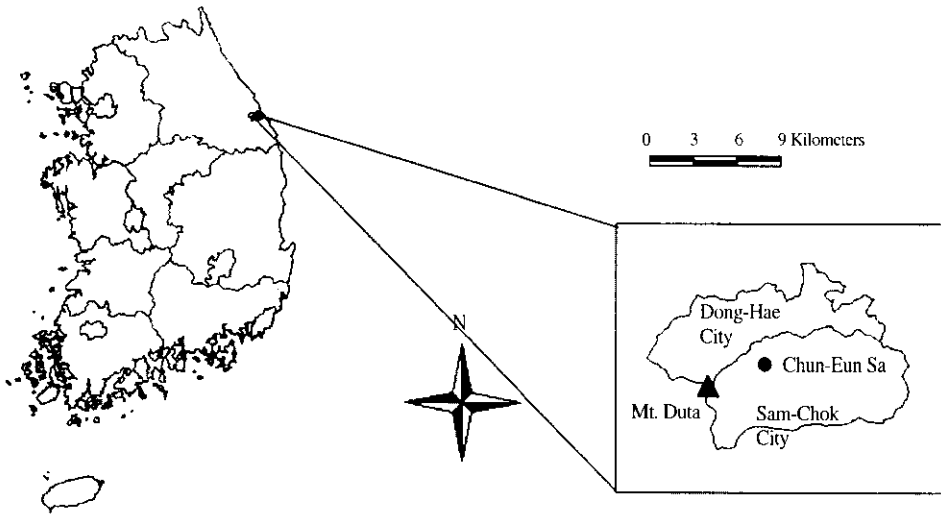


Fig. 1. Study Area : Mi-Ro Myun, Sam-Chok City.

다. 이 지역은 강원 해안 생태지역으로 봄에는 건조하기 때문에 종종 커다란 규모의 산불이 발생해 왔다. 2000년 4월에 산불이 발생한 지역 중 규모가 큰 곳은 강원도 고성군 죽왕면, 강릉시 사천, 동해시, 삼척시 미로면, 근덕면 궁촌리 지역이다. 그 중에서도 Landsat 7 영상과 산불 피해 지역의 범위, 피해 정도의 다양성 측면에서 삼척시 미로면 일대가 가장 적합하였다. 미로면 일대는 2000년 4월 12일 경에 산불이 발생하여 약 4일간 지속되었고 그 피해 면적은 약 4,045ha에 달하였다. 이 지역의 식생은 주로 침엽수인 소나무군락과 일부 참나무류의 낙엽활엽수로 구성되어 있다(동해안산불피해지 공동조사단, 2000). 또한, 이 지역은 산악 지역으로 둘러싸여 있어서 다양한 공간적 변이성을 보여주기 때문에 산불의 경향도 지형에 따라 다양한 양상을 보여준다.

### 3. 변환기법

#### 1) IHS(Intensity-Hue-Saturation) 변환

색을 표현하는데 있어서 빨강, 녹색, 파랑의 세 가지 삼원색의 DN값으로 표시하는 방법이 있고

또한 다른 하나는 실린더 혹은 구좌표계에서 수학적으로 색을 정의하기 위하여 사용되는 명암(Intensity), 색상(Hue), 채도(Saturation)로 표현하는 방법이 있다(Kathleen Edwards and Davis, 1994). 일반적으로 명암-색상-채도 변환은 RGB 칼라 영상으로부터 공간 정보를 명암 컴포넌트에 분광정보는 색상과 채도 컴포넌트로 할당한다고 알려져 왔다(Koutsias *et al.*, 2000; Carper *et al.*, 1990)

명암-색상-채도 변환은 비선형변환으로 TM영상의 경우, 모든 밴드를 변환하는 것이 아니라 관심있는 지형의 분광적 특성을 잘 반영할 수 있는 몇 개의 밴드를 선택하여 명암, 색상, 채도로 변환시킨다. 산불의 경우에 있어서는 밴드 7, 4 그리고 가시광선 영역 중에서는 밴드 1과 2와 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다. 산불은 지형의 물리적 성질을 변형시키는데 식생의 소멸과 지표의 산화 흔적이다. 식생이 사라짐으로써 수관 구조에 의해서 많은 영향을 받던 밴드4의 반사도가 떨어지고, 높은 수준의 수분 상태에서 반사도가 낮았던 밴드 7 같은 경우에는 산불 이후 지표의 수분 보유력이 떨어지기 때문에 반사도가 산불 이전에 비해 높아진다. 또한, 가시 광선의 영역에서는 산화 이후 남은 재의 영향으로 밴드 1과 2의 가시광선대에서 반사도의 변화가 나타난다.

## 2) Kauth-Thomas 변환

영상 자료를 분석하기 위해서는 몇 개의 불연속적 분광 밴드들의 정보를 개개 클래스의 물리적인 특성을 반영하도록 변형시킬 필요가 있다. 이런 과정은 세 개의 부분으로 나누어져 있다. 첫 번째 부분은 관심있는 클래스와 분광밴드사이의 연관성을 이해하는 것이다. 두 번째는 분광 밴드들을 다루기 편리한 피쳐의 개수로 압축하는 것이다. 세 번째는 그 피쳐 스페이스에서 원하고자 하는 클래스의 물리적인 특성을 뽑아내는 것이다. Kauth와 Thomas는 MSS 영상을 이용하여 KT변환기법을 발전시켰는데, 이 KT변환기법은 위에서 언급한 세 가지 부분들을 잘 수행한다(Crist and Cicone, 1984).

KT 계수는 영상의 다른 요소에 영향받지 않으면서 영상 내부 각 클래스들의 생물 물리학적 차이점들을 잘 반영할 수 있도록 정해졌다. Crist *et al.*(1986)은 Landsat-5 TM영상에 대해 열밴드를 제외한 6개의 밴드들을 선형변환하여 6개의 피쳐들(brightness, greenness, wetness, haze, KT5, KT6)을 만들어내었다. 그 중에서도 brightness, greenness, wetness, 이 세 개의 피쳐가 중요한데 그 이유는 산불에 의해서 나타난 식생과 토양의 특성과 가장 직접적으로 관계되어 있기 때문이다(Patterson and Yool, 1997).

Brightness는 토양의 반사 특성과 밀접한 연관이 있다. Brightness의 계수는 TM 밴드 3과 4에 가중치를 높게 주었는데 그 이유는 그 두 밴드들이 토양 밝기의 차이에 반응하기 때문이다. Greenness는 식생의 분포 상태를 나타낸다. 왜냐하면 잎이 가지고 있는 엽록소에 의해 가시광선대의 밴드들(밴드 1, 2, 3)의 반사도가 낮아지는 반면 잎들에 의해서 근적외선대의 밴드(밴드 4)는 반사도가 증가하기 때문이다. 따라서, 가시광선대에서는 음의 가중치를 부여했고, 근적외선대에서는 양의 가중치를 부여하여 식생의 밀집과 활력에 대한 정보를 얻을 수 있다. Wetness는 가시광선과 근적외선대(밴드 1-4)에는 음의 가중치를 부여하고 중적외

선대(밴드 5, 7)에는 양의 가중치를 부여하여 토양과 식생의 수분의 상태를 나타내었다. 중적외선 파장대에서의 반사도는 수분의 양과 반비례하므로 식생과 토양에 수분이 많은 지역은 중적외선 파장대에서 낮은 반사도를 나타낸다. 따라서, 수분이 많은 지역은 높은 wetness 값을 나타낸다.

KT 계수는 센서에 따라 다른 계수값을 가지지만, Landsat-7 ETM+는 Landsat-5 TM과 분광대역이 일치하므로 이번 연구에서는 Landsat-5 TM의 KT 계수를 사용하였다.

## 4. 자 료

### 1) 영상 및 전처리

산불 피해 등급 지역을 구분하기 위하여 2000년 5월 8일에 취득한 Landsat-7 ETM+ 영상(115/34)을 사용하였다. 영상의 전처리는 이 연구의 목적에 맞게 두 가지로 나누어 실시했다. 첫 번째는 IHS변환의 단순 슬라이싱 기법을 위해 기하보정만을 실시한 영상이고, 두 번째는 분류를 위해 방사 및 지형보정을 거친 영상이다. 방사보정은 iterative band ratio 방법을 사용하여 실시하였다. Iterative band ratio 방법은 기상 데이터를 비롯한 추가 데이터가 없이도 대기 보정을 할 수 있는 방법이다. 이 방법은 두 개의 보정되지 않은 분광 밴드들은 기복이 심한 지형에서는 잔여 그림자를 남겨 놓는다는 현상에 바탕을 두었다. 적외선 파장들은 가시광선 파장에 비해서 비교적 분산(scattering)에 영향을 덜 받는다는 것을 가정하면, 그림자를 내는 물체들이 있는 영상은 가시광선과 근적외선 혹은 중적외선의 비를 이용하여 path radiance를 보정할 수 있다(Patterson and Yool, 1998). 기하보정은 1:25000 지형도를 이용하였으며, nearest neighbor 방법으로 재배열하였다.

이번 연구 지역은 많은 산악 지역을 포함하고 있다. 따라서, 경사와 사면에 의한 지형 효과가 발생하여 화소값에 영향을 주기 때문에 이 지형효과

Table 1. Minnaert Constant on Each Band of Landsat 7 ETM+.

band	$\lambda(\mu\text{m})$	k(conifers)
band 1	0.45-0.52	0.2125
band 2	0.52-0.60	0.2572
band 3	0.63-0.69	0.3971
band 4	0.76-0.90	0.4107
band 5	1.55-1.75	0.5955
band 7	2.08-2.35	0.5494

를 보정해 주었다. 이번 연구에서는 한국 산악 지형에서 지형효과를 가장 효과적으로 저감하는 것으로 밝혀진 Minnaert 기법을 적용하였다(이규성, 1997). 각 파장대 별로 지형 효과는 서로 다르게 나타난다. 다시 말하면, 파장이 짧은 가시광선보다는 파장이 긴 근적외선이나 중적외선이 지형 효과에 더 민감하게 반응한다. 따라서, Minnaert 기법에서는 각 파장대별로 보정에 필요한 계수를 구하였다. 동일한 식생, 소밀도, 영급이 같은 산림은 같은 분광특성을 갖기 때문에, 그러한 동일한 특성을 가지고 있는 산림 내에서 DN 값의 차이가 나타나는 것은 경사와 사면에 의한 지형효과라고 볼 수 있다. 이번 연구에서는 1:25000 수치 임상지도에서 소밀도가 중이고, II 영급 정도의 동일 소나무 지역을 대상으로 각 파장마다 Minnaert 계수를 구하였다(Table 1).

## 2) 분류 체계

현재까지 산불피해등급에 대한 일반적인 법칙은 확립되지 않았다. 그러므로, 산불피해등급지도를 작성함에 있어서 명확한 법칙을 설정하는 것이 반드시 필요하다. 이번 연구에서 적용된 산불피해등급법칙은 동해안 산불지역 정밀 조사보고서에

서 설정한 법칙에 따랐다(동해안산불피해지 공동조사단, 2000). 이 보고서에서는 산불피해지역을 Class I, Class II, Class III, 세 지역으로 나누었다. 그리고, Class I과 유사한 특징을 보이는 비산화지(No burn), Class III와 비슷한 특성을 보이는 나대지(Bare soil) 및 도시지역이 이번 연구에서 포함되었다. 각 등급에 대한 자세한 설명은 Table 2와 같다.

## 3) 현장데이터 수집

일반적으로, 기준자료를 얻을 때 분류 계획, 데이터 수집 시기, 샘플 사이즈, 샘플링 계획, 그리고 공간 오토코릴레이션의 5가지 사항을 고려한다. 이번 연구에서는 공간적 변이성도 고려되어야 하는데, 산불의 유형이 사면, 경사, 고도에 따라서 많은 영향을 받기 때문이다(Congalton, 1991; Congalton and Green, 1999).

현장데이터는 GPS 수신기인 Geoplotter II와 Garmin XL을 이용하여 비교적 작은 면적을 차지하고 있는 등급의 샘플을 적게 구하는 것을 방지하기 위해 층화 무작위 추출법으로 전체적으로 약 200개의 레퍼런스 자료를 얻었다. 하지만, Class II의 경우에는 면적이 좁고 연구지역 전체적으로 산재해 있었기 때문에 다른 등급에 비해 많은 자료를 획득하지는 못했다. 각 조사 지점은 공간 오토코릴레이션을 피하고 지형 변이성을 나타내기 위해서 약 100m 정도의 거리를 두었다. 이번 조사는 2000년 11월에 시행하였다. 비록 산불이 일어난 지 7개월이 지났지만, 시각적으로 피해 등급을 식별할 수 있었다.

Table 2. Fire Severity Classes by the KFRI.

Fire Severity Class	Description
Class I	Surface fire, no or little canopy destruction
Class II	Partial canopy destruction
Class III	Major or complete canopy destruction
No burn	Unburned forest area
Others	Bare soil and Urban

## 5. 결과 및 토의

### 1) 산불 발생후의 분광특성

이번 연구에서는 산불 발생 후의 단일 영상에서 각 등급별 분광 특성을 조사하여 보았다(Fig. 2). 방사보정과 지형보정에 의한 결과로 원영상의

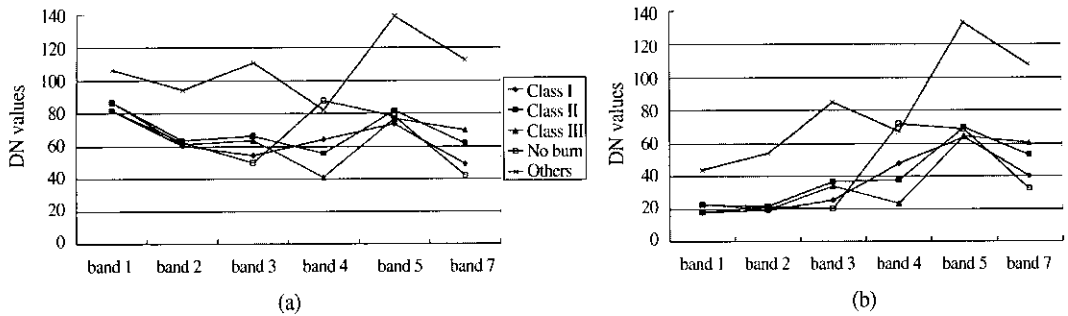


Fig. 2. Mean DN values on each band of raw image(a) and radiometrically, topographically corrected image(b).

평균 DN 값이 줄어드는 것을 볼 수 있다. Others의 분광 특성은 밴드 4에서만 제외하고는 다른 것과 뚜렷이 분리되어 있다. 반면, 다른 등급들의 경우에는 그 경향이 서로 비슷함을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고, 산불과 관계된 지표의 물리학적 특성이 밴드 4와 7에서 잘 반영되었다. 앞서 언급했듯이 밴드 4는 잎의 구조와 밀접한 관계가 있는데, 밴드 4에서는 그러한 특징을 대략 반영한다. 즉, 식생의 잎의 구조가 가장 온전히 보전되어있는 산불이 발생하지 않은 No burn 지역은 가장 위쪽에 위치하고 식생이 거의 소멸된 Class III 지역은 가장 아래 위치를 차지하고 있다. 또한 밴드 7은 잎의 수분 정도에 따라 수분이 많으면 반사도

가 줄어드는데, Class III와 Others같은 경우 식생이 없으므로 위쪽에 위치하고 No burn지역은 가장 반사도가 낮았다.

결과적으로, 원래 영상과 대기, 지형 보정을 한 영상 모두 DN 값에 있어서 분리성을 발견하지 못했다. Others의 경우를 제외하고는 다른 등급들은 6개 밴드 모두에서 분광 특성이 서로 혼동됨을 볼 수 있었다. 따라서, 영상의 분류 정확도를 높이기 위해 영상을 변환시킬 필요성이 있다.

## 2) IHS(Intensity-Hue-Saturation)변환

### (1) 단순 슬라이싱 기법

명도-색상-채도 컴포넌트는 RGB 칼라 조합으

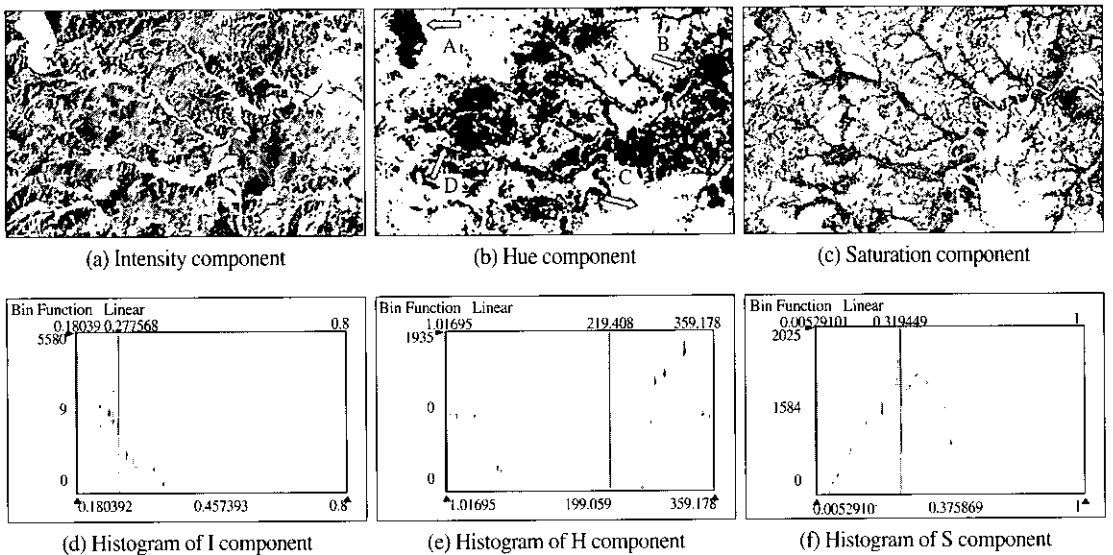


Fig. 3. IHS components and corresponding histograms without radiometric correction.

Table 3. Average Values of Intensity, Hue, and Saturation Components without Radiometric Correction.

	Intensity		Hue		Saturation	
	AVG.	STDEV.	AVG.	STDEV.	AVG.	STDEV.
Class I	0.253	0.03	233.83	137.62	0.299	0.09
Class II	0.266	0.02	145.77	149.17	0.301	0.05
Class III	0.252	0.02	52.01	65.62	0.367	0.05
No burn	0.258	0.03	292.98	11.23	0.366	0.09
Others	0.379	0.05	96.75	73.66	0.182	0.07

로부터 만들어진다. 밴드 7, 4, 1은 산불 지역의 분광 특성과 밀접한 관계가 있으므로 명도-채도-색상 컴포넌트를 만들기 위해 이 밴드들이 선택되었다. Koutsias *et al.*(2000)에 의하면, 대기보정을 하지 않은 채, 밴드 7, 4, 1 칼라 RGB 컴포넌트를 명암-색상-채도 컴포넌트로 전환시킨 후 색상 컴포넌트에서 산불 난 지역과 그렇지 않은 지역을 구별할 수 있었다.

Fig. 3은 기하보정만을 수행한 영상의 밴드 7, 4, 1을 이용한 IHS변환에 의한 명암, 색상, 채도 컴포넌트 이미지와 각각의 히스토그램을 보여준다. 이미지 상에서 명암과 채도 컴포넌트와는 다르게 색상 컴포넌트는 분리성이 가장 뛰어나다. Bare soil(A), 도시지역(B)과 산불 지역(Class III, D)은 어둡게 보여지고, 산불이 발생하지 않은 식생지역은 (C)은 밝게 보여진다. 이것은 히스토그램에서도 뚜렷이 확인된다. 색상 컴포넌트에 대한 히스토그램에는 커다란 갭이 있음을 알 수 있다. 하지만, 색상 컴포넌트에서 산불발생지역(D)뿐만 아니라 Bare soil(A)과 도시지역(B)에서 어둡게 보여주의를 할 필요가 있다. Bare soil(A)과 도시 지역(B)은 히스토그램에서 왼쪽 부분에 위치한다. 또한, Class I, II, 그리고 No burn도 히스토그램에서 오른쪽 부분에 서로 섞여 있다. 각 등급들의 분리성을 조금 더 자세하게 알아보기 위해서 각 컴포넌트에 대하여 클래스마다 평균과 표준편차를 구해보고 현장데이터를 바탕으로 분포 양상을 그려보았다.

Table 3은 각 등급에 대한 명암-색상-채도 컴포넌트의 평균값을 보여준다. 명암 컴포넌트에 대해서 Others는 다른 등급과 잘 분리되지만 나머지

등급들은 서로 겹치는 것을 볼 수 있다. 채도 컴포넌트에서 평균을 살펴보면, Class I과 II가 비슷한 양상을 나타내고, Class III와 No burn도 비슷한 경향을 나타낸다. 표준편차를 고려한다면 Others를

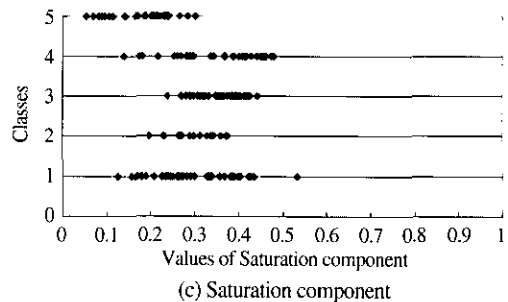
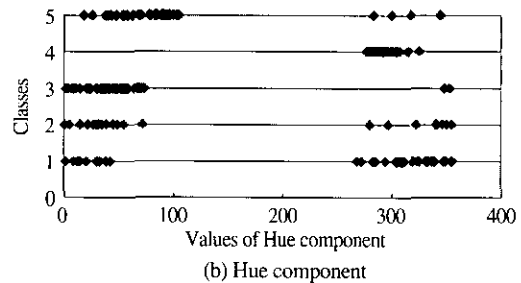
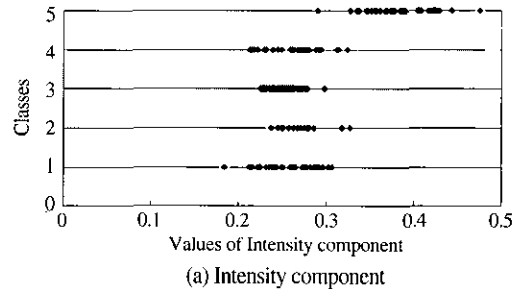


Fig. 4. Distribution of IHS components without radiometric correction (1:Class I, 2:Class II, 3:Class III, 4:No burn, 5:Others).

제외하고는 모두가 비슷한 양상을 나타냄을 알 수 있다. 색상 컴포넌트에서 평균과 표준편차를 고려했을 때 뚜렷한 분리성을 발견할 수 없었다.

Fig. 4는 각 클래스의 현장데이터의 분포 모양을 그래프로 나타낸 것이다. 명암 컴포넌트와 채도 컴포넌트는 Table 3에서처럼 Others의 경우에만 분리성이 보여질 뿐 나머지 클래스의 대해서는 서로 겹치는 것을 볼 수 있다. 색상 컴포넌트에서는 Class III와 Others의 경우는 좌측 부분으로, No burn은 우측 부분으로 집중되는 양상을 보여주고, Class I과 II는 양쪽으로 분리되었다. 이렇게 분리된 이유는 Class II는 주로 Class I과 III사이에 위치하며 공간적으로 작은 부분을 차지하고 있기 때문인 것으로 설명되고, Class I는 산악 지대의 공간적 다양성으로 인한 영향 때문이다. 따라서, 기존 연구에서 행했던 대로 색상 컴포넌트 부분에서 단순한 슬라이싱 기법으로 산불피해지역을 구분하는 것은 이 연구에서는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

(2) 분류를 위한 IHS변환

Fig. 5는 방사 및 지형보정을 수행한 영상의 7, 4, 1밴드를 이용하여 IHS변환한 명암-색상-채도

조합의 이미지와 히스토그램을 나타낸 것이다. 명암과 채도 컴포넌트는 방사보정을 실행하지 않은 영상과 별다른 차이는 나타내지 않는다. 색상 컴포넌트의 이미지는 방사보정을 하지 않은 영상보다 다소 어둡게 보여진다. 그 이유는 색상 컴포넌트의 히스토그램에서 보듯이 갭이 사라지면서 양쪽으로 분포하고 있던 부분들이 가운데로 몰려든 결과이기 때문이다.

3) Kauth-Thomas변환

원래 TM 6개의 채널은 KT변환 후 또 다른 6개의 피쳐로 변환된다. 그 중에서도 brightness, greenness, wetness는 산불에 의해 야기되어지는 식생과 토양의 특성과 밀접하게 연관이 있다 (Patterson and Yool, 1997). Fig. 6은 KT변환에 의한 brightness, greenness, wetness를 보여주고 있다. Brightness는 토양의 물리적 특성을 잘 설명해 준다. Fig. 6(a)에서 화살표 'A'는 식생이 없는 석회석 광산을 나타내고, 'B'는 도시 지역을 나타낸다. A와 B 지역은 산불이 난 후 재로 인해 어둡게 보이는 C에 비해 밝다는 것은 이를 잘 반영한다. Greenness는 지표에서 식생의 활력도를 나타낸다. Fig. 6(b)에서 식생의 활력도가 낮은 A(석회광

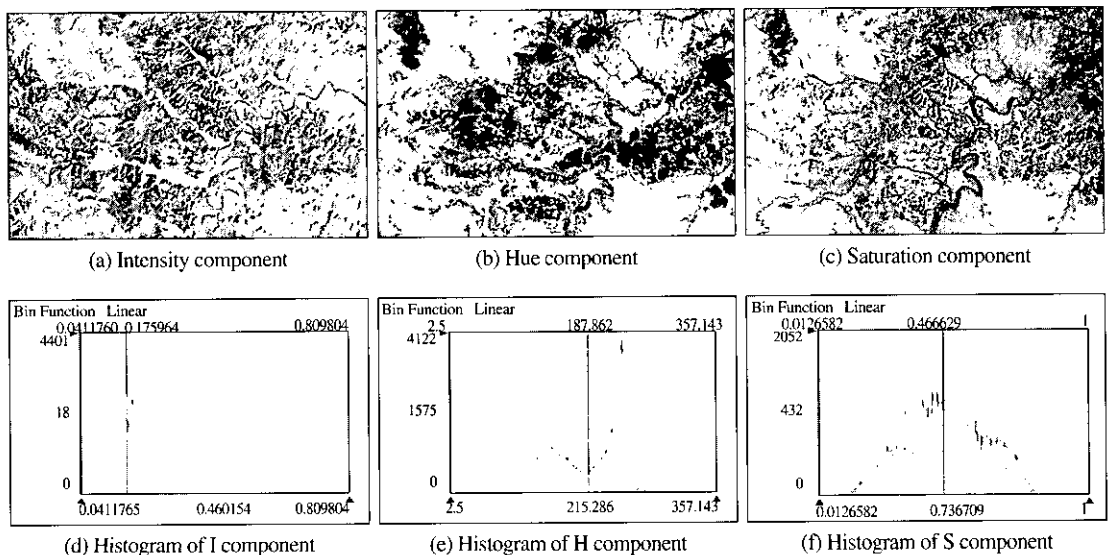


Fig. 5. IHS components and histograms after radiometric and topographic corrections.



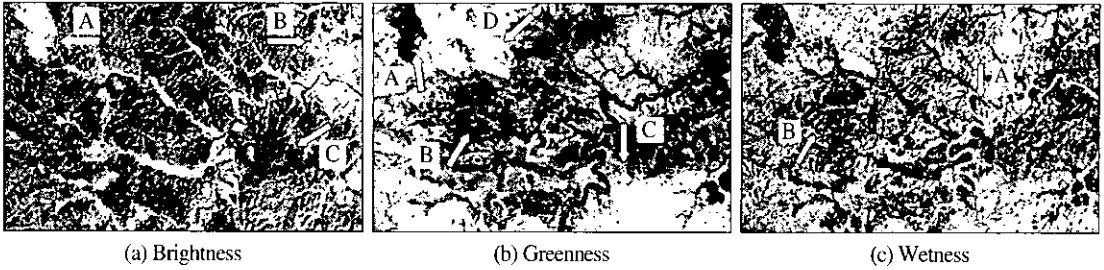


Fig. 6. Feature space of KT transformation.

산)와 B(산화지)는 어둡게 나타나고 활력도가 높은 C와 D는 밝은 색을 보인다. Wetness는 대상 지역의 수분의 정도를 보여준다. Wetness에서 많은 양의 수분을 보유하고 있다면 밝게 보이고, 적은 양의 수분을 보유하고 있으면 어두운 색을 나타낸다. Fig. 6(c)에서 밝게 보이는 부분은 강이고 (A), 어둡게 보이는 부분은 산화지(B)를 나타낸다. KT변환기법을 통한 위의 세 기본 피쳐(brightness, greenness, wetness)를 사용하여 최대우도법으로 분류를 하였다.

#### 4) IHS변환과 KT변환을 이용한 분류결과

이번 연구에서는 총 200여 개의 현장데이터를 수집했고, 그 중에 약 50개를 트레이닝 샘플로 사용하였다. 분류 방법은 최대우도법을 사용하였다.

이번 연구에서는 비교적 샘플 수가 적었기 때문에 cross-validation을 이용해 여러 번 분류를 수행하였다. 비록 높은 정확도를 얻지 못했으나 일관된 결과를 얻을 수 있었다. 여기에는 그 중에 하나의 예를 제시하였다.

Fig. 7은 각 변환기법을 이용한 분류결과이다. 그림에서 보면 IHS변환에 의한 분류와 KT변환에 의한 분류결과는 대체적으로 비슷한 양상을 보이고 있으나 IHS가 Others, 특히 도시 부분(그림의 우상단)에 대해 오분류가 나타났다. 또한 KT변환 결과가 IHS변환보다 Class III가 더 넓게 분포하고 있는데 이는 정확도평가에서도 알 수 있듯이 IHS 변환이 KT변환보다 산불발생지역내의 피해정도 구분에서는 덜 정확함을 보여준다. Table 4와 5는 각각 IHS변환기법과 KT변환기법을 이용한 분류

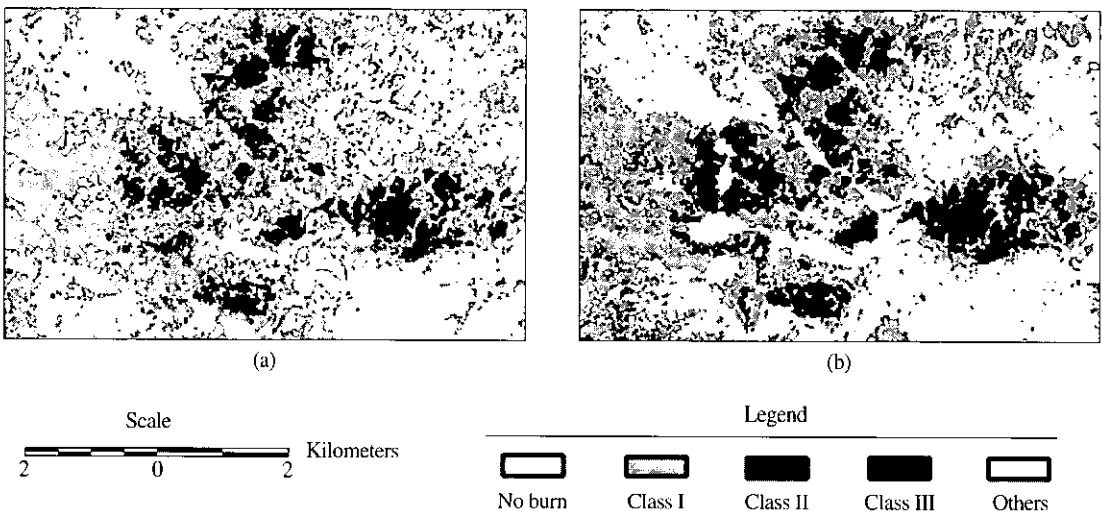


Fig. 7. Classification results using IHS(a) and KT(b) transformations.

Table 4. Error Matrix from IHS Transformation.

Reference Data						
Classification	Class I	Class II	Class III	No Burn	Others	Total
Class I	19	8	9	0	4	40
Class II	1	3	0	0	0	4
Class III	3	4	25	0	0	32
No burn	6	1	0	29	0	36
Bare soil	0	0	1	0	29	30
Total	29	16	35	29	33	142

Overall Accuracy : 0.74      KHAT statistic : 0.67

Table 5. Error Matrix from KT Transformation.

Reference Data						
Classification	Class I	Class II	Class III	No Burn	Others	Total
Class I	19	3	2	0	0	24
Class II	4	4	1	0	0	9
Class III	2	6	31	0	0	39
No burn	4	2	0	29	1	36
Bare soil	0	1	1	0	32	34
Total	29	16	35	29	33	142

Overall Accuracy : 0.81      KHAT statistic : 0.76

결과에 대한 정확도 평가이다. KHAT statistic은 각각 0.67과 0.76이었으며 전반적인 경향은 서로 비슷하다. 둘 다 모두 Class II의 분류에 오차가 컸으며 이는 Class II가 차지하는 규모가 작았고, 주로 Class I과 III사이의 경계에서 나타나기 때문이다. 또한 산불시기와 현장데이터 수집시기 및 영상관측 시기사이의 차이에 의한 오차도 존재했다.

**5) IHS 컴포넌트상의 분광특성 분석**

IHS 변환 기법으로부터 얻은 각 클래스 별 분광 특성을 명암-색상, 명암-채도, 색상-채도 공간에서 분석하였다(Fig. 8). 기존연구에서 알려진 대로 색상 컴포넌트에서 어느 정도 구분이 되고는 있으나, 전반적으로 각 클래스 별 뚜렷한 분리성은 나타나지 않았다. 명암-색상 공간에서 가장 분리성이 뛰어났으나, 튀는 점들이 많이 존재함으로써 신뢰성을 떨어뜨렸다. 그리고 다른 공간 (b), (c)에서는 Class I, II, III가 분리되지 않고 혼재해 있었다. Carper *et al.*(1990)에 따르면, 분광 정보는

색상과 채도 컴포넌트에서 분리된다고 하였는데, 이번 연구에서는 그러한 특징을 발견할 수 없었다. Others와 No burn은 분광학적으로 뚜렷이 분리되었는데 이것은 정확도 평가에서와 일관된 결과를 나타낸다.

**6) KT Feature Space 분석**

세 개의 KT 피쳐 즉, brightness, greenness, wetness, 는 두 개의 수직 평면(식생 평면, 토양 평면)과 전이 지역을 정의한다. 수분 상태에 따른 토양 정보뿐만 아니라 곡물의 성장 궤적들이 이 세 평면 안에서 적절히 그려질 수 있다. 또한, 피해 정도가 다른 산불 지역도 새로운 KT 피쳐 공간 내에서 어느 정도의 분리성을 나타낸다.

Fig. 9(a)는 brightness와 greenness를 축으로 하는 식생 평면이다. 식생이 없는 토양은 평면의 가장 밑에 위치한다. Bare soil은 산불 흔적도 없고 식생도 없기 때문에 높은 밝기 값을 가지므로 Class III 오른쪽에 있음을 알 수 있다. greenness 값

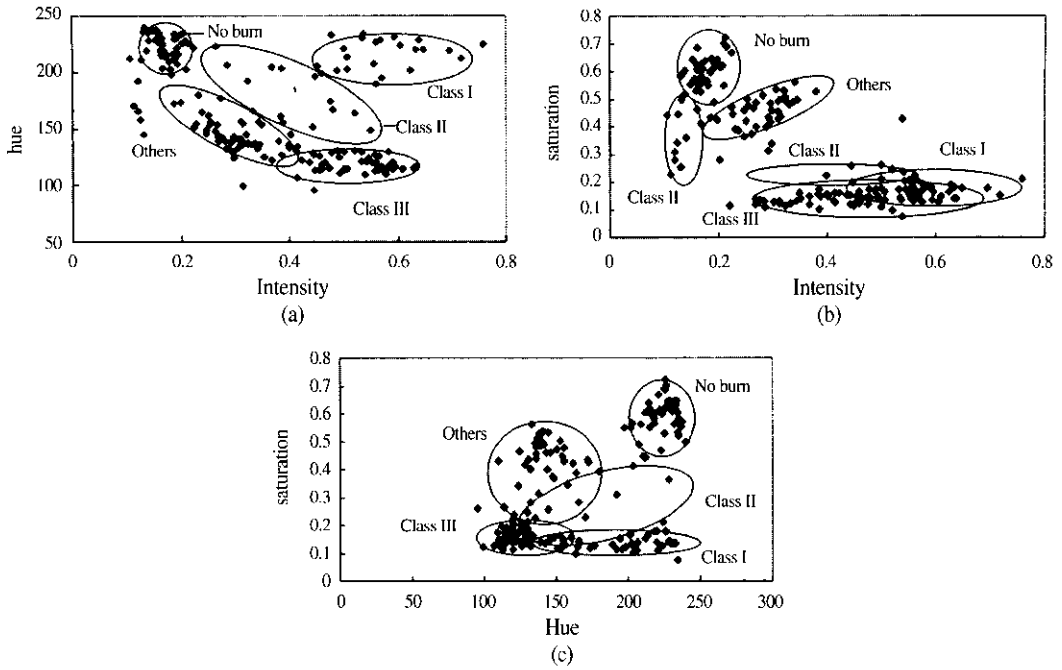


Fig. 8. Distribution of Intensity-Hue-Saturation components after radiometric and topographic correction((a) I and H, (b) I and S, and (c) H and S).

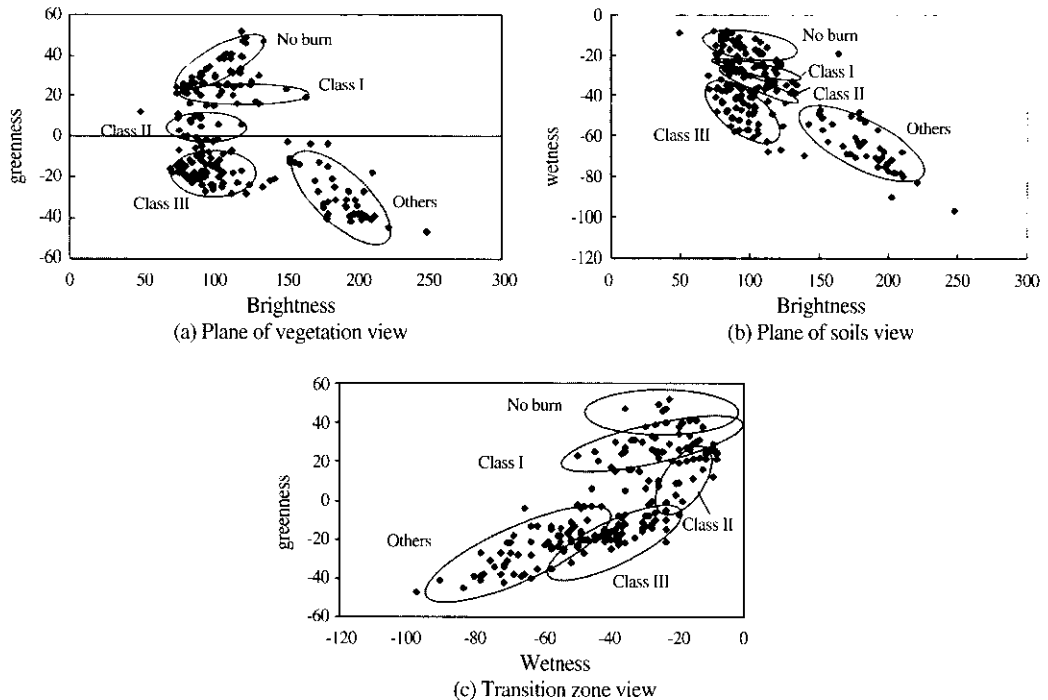


Fig. 9. Distribution in KT feature spaces

이 높다는 것은 식생이 밀집되어 있고, 낮은 greenness 값은 식생이 적다는 것을 의미한다. No burn은 greenness의 제일 위에 위치하는데, 그 지역은 산불에 의해 산림에 훼손되지 않았기 때문이다. Greenness 축을 따라 Class I, Class II, Class III가 어느 정도의 분리성을 가지고 배열되어 있다. 토양 평면은 brightness와 wetness로 구성되어 있다(Fig. 9(b)). 산불에 영향을 받지 않은 Others는 그래프에서 어느 곳에나 존재할 수 있다(Patterson and Yool, 1998). 식생이 잘 자라지 못하는 Class III 지역과 식생이 없는 Others는 wetness 축 상에서 다른 클래스의 밑에 위치해 있다. 반면, No burn은 wetness 축 상에서 가장 위에 있는데 산불 피해를 입지 않은 식생들이 수분을 보유하고 있기 때문이다. 하지만, Brightness 축을 따라서는 Others를 제외하고는 모두 비슷한 범위에 분포하고 있기 때문에 각 클래스간의 분리성을 잘 나타내지 못한다. 전이 지역은 세로축에 greenness와 가로축에 wetness로 구성되어 있다(Fig. 9(c)). 각 클래스들은 전이 지역 평면에서 이상적으로 분포되어 있다. Others는 왼쪽 아래를 차지하고 있고, No burn은 오른쪽 위에 자리잡고 있다. 그 사이에 Class I, II, III가 수분과 식생의 상태에 따라서 각자 자리잡고 있다. 따라서, 새로운 세 개의 피쳐 스페이스는 지표의 물리적 특성을 비교적 정확히 반영한다고 할 수 있다.

## 6. 결론 및 향후 과제

이번 연구에서는 크게 두 부분으로 나누어서 분석을 수행하였다. 첫 번째는 기존 연구에서처럼 전처리 없이 기하보정만을 수행한 영상을 이용하여 간단히 IHS변환을 통한 단순 슬라이싱 기법으로 산불피해정도를 등급화할 수 있느냐 하는 것이고, 두 번째는 방사 및 지형보정을 수행한 영상으로 KT변환기법과 IHS변환기법을 적용하여 산불피해지역을 분류하는 것이다. 우선 첫 번째의 경우 밴드 7, 4, 1의 IHS변환을 통해 Hue 컴포넌트

에서 어느 정도 분리성을 파악할 수는 있었으나 뚜렷이 구분되지는 않았으며 각 클래스가 혼재해 있었다. 따라서, 산불피해지역을 그 정도에 따라 등급별로 분류하는데 IHS변환을 이용한 단순 슬라이싱 기법을 적용하는 것은 적합하지 않음을 알 수 있었다.

두 번째는 대기보정과 지형보정을 한 영상을 KT와 IHS기법으로 변환한 다음 최대우도법으로 분류해 보았다. 비록 현장데이터가 부족했지만, cross-validation기법을 이용하여 여러 번의 분류를 통해 일관된 결과를 얻을 수가 있었다. 분류결과 IHS와 KT에 의한 KHAT statistic은 각각 0.67와 0.76이었으며, KT변환이 IHS변환보다 산불피해지역을 분류하는데 탁월함을 알 수 있었다. 이러한 결과를 나타내는 원인을 알아보기 위해 KT feature space와 IHS 컴포넌트의 분광 분포를 비교해 보았다. KT feature space는 brightness, greenness, wetness로 구성되어 있다. 이 중에서 greenness와 wetness가 brightness보다 지표의 물리적 특성을 잘 반영하였다. IHS 컴포넌트의 경우는 어느 컴포넌트 사이에서도 뚜렷한 분리성을 발견할 수 없었다. 따라서, KT가 IHS보다 지표의 특성을 잘 반영한다고 할 수 있다.

이번 연구의 한계로는 샘플의 수가 비교적 적었고, 연구 지역의 공간적 변이성(사면, 경사, 암석, 등)이 컸다는 것이다. 그런 공간적 변이성에 의해 분광특성이 비선형적으로 나타난다. 따라서, 비교적 정확도가 낮았다고 볼 수 있다. 산불피해지역의 각 등급별 분광 특성을 정확히 분석하기 위해서는 무엇보다도 많은 현장자료를 획득하는 것과 비선형적인 분광특성을 잘 반영할 수 있는 기법의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 동해안산불피해지 공동조사단. 2000. 동해안 산불 지역 정밀조사 보고서 I, II  
Carper, W. J., T. M. Lillesand, and R. W. Kiefer,

1990. The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformations for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(4): 459-467.
- Collins, J. B. and C. E. Woodcock, 1996. An Assessment of Several Linear Change Detection Techniques for Mapping Forest Mortality Using Multitemporal Landsat TM Data, *Remote Sensing of Environment*, 56: 66-77.
- Congalton, R. G., 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- Congalton, R. G. and K. Green, 1999. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, LEWIC PUBLISHERS.
- Crist, E. P. and R. C. Cicone, 1984. A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data-The TM Tasseled Cap, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 22(3): 256-263.
- Edwards K. and P. A. Davis, 1994. The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformation for Producing Color Shaded-Relief Images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(11): 1369-1374.
- Jakubaukas, M.E., K.P. Lulla and P.W. Mausef, 1990. Assessment of Vegetation Change in a Fire-Altered Forest Landscape, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56(3): 371-377.
- Jensen, J. R., 1996. *Introductory Digital Image Processing* (second edition), Prentice Hall.
- Kim, Cheol-Min and Seung-Ho Lee, 2000. *Detecting and Monitoring Forest Fires Using Satellite Images*, The report of Korea Forest Research Institute.
- Koutsias, N. and M. Karteris, 1998. Logistic regression modeling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping, *International Journal of Remote Sensing*, 19(18): 3499-3514.
- Koutsias, N. and M. Karteris, 2000. Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image, *International Journal of Remote Sensing*, 21(4): 673-687.
- Koutsias, N., M. Karteris, and E. Chuvieco, 2000. The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformation of Landsat-5 Thematic Mapper Data for Burned Land Mapping, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(7): 829-839.
- Lee, Kyu-Sung and Jung-Sook Yoon, 1997. Radiometric Correction of Terrain Effects for SPOT and Landsat Thematic Mapper Imagery in Mountainous Forest Area, *Journal of Korean Society of Remote Sensing*, 13(3): 277-292.
- Mladenoff, D. J. and W. L. Baker, 1999. *Spatial Modeling of Forest Landscape Change: Approaches and Applications*, Cambridge University Press.
- Patterson, M. W. and Stephan R. Yool, 1998. Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques, *Remote Sensing of Environment*, 65: 132-142.
- Schowengerdt, R. A, 1997. *Remote Sensing : Models and Methods for Image Processing*(second edition), Academic Press.