

단일 시기의 Landsat 7 ETM+ 영상을 이용한 산불피해지도 작성

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

원강영* · 임정호

Kang-Yung Won* · Jungho Im

서울대학교 환경대학원* · 국토연구원

E-mail : tonywon@hanmail.net, ihm@krihs.re.kr

요 약

인공위성을 이용하여 산불피해지역을 분석하기 위해 KT(Kauth-Thomas)변환기법과 IHS(Intensity-Hue-Saturation)변환기법을 적용하여 비교해 보고 산불피해등급지도를 작성하였다.

방사보정과 지형보정을 수행한 영상을 각각 IHS와 KT로 변환시킨 후 최대우도법에 의하여 분류하였다. 정확도 평가에서 KHAT statistic은 각각 0.67와 0.76을 나타내었다. 현장데이터가 부족하여 cross-validation을 수행하였으며, 일관되게 KT변환기법에 의한 분류결과가 IHS기법에 의한 분류결과보다 더 높은 정확도를 보여주었다.

또한 KT feature space와 IHS 컴포넌트의 분광 분포를 그래프 상에서 분석해 보았다. 3개의 KT feature 중, greenness와 wetness가 brightness보다 각 클래스에 대해서 보다 높은 분리성을 제공하였다. 하지만 IHS 컴포넌트의 분광분포는 뚜렷한 분리성이 나타나지 않고 서로 섞여 있는 것을 볼 수 있었다. 따라서, KT변환기법이 IHS변환기법보다 산불피해지역을 추출함에 있어 더 높은 정확도를 나타내고, 산불과 관련된 지표의 물리적 특성을 더 잘 반영한다고 할 수 있다.

1. 서론

2000년 4월에 대형 산불이 강원도 영동 지방에서 발생하여 약 9일정도 지속하였다. 산불은 동해안을 따라 퍼져서 대략 23,448 ha의 삼림을 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. 산불피해등급지도는 산불발생 후 산불피해 정도와 범위를 제공함으로써 산불피해지역을 관리하는데 유용한 도구가 될 수 있다(Patterson and Yool, 1998). 그러한 산불피해등급지도를 작성하는데 있어서 경제적 비용과 접근성을 고려하여 볼 때, 원격탐사기법은 예비피해도 작성에 매우 적합하다.

이 연구에서는 산불발생 이후 2000년 5월 8일에 취득한 단일 시기의 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 산불피해지역 추출이 가능한가를 분석하는 것이고, 두 번째는 최대우도법을 사용하여 분류를 함에 있어

IHS 및 KT변환기법을 비교분석하는 것이다.

2. 대상지역

이번 연구 지역인 삼척시 미로면은 Fig. 1과 같다. 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. 또한, 이 지역은 산악 지역으로 둘러싸여 있어서 다양한 공간적 변이성을 보여주기 때문에 산불의 경향도 지형에 따라 다양한 양상을 보여준다.

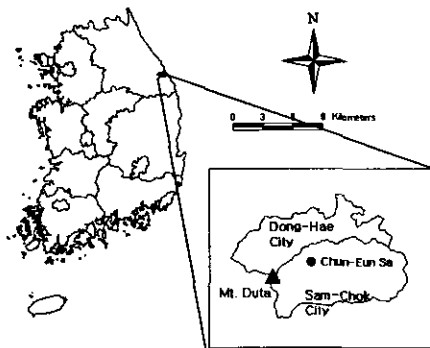


Fig. 1. Study area

3. 변환기법

3.1 IHS(Intensity-Hue-Saturation) 변환

명암-색상-채도 변환은 비선형변환으로 TM 영상의 모든 밴드를 변환하는 것이 아니라 관심 있는 지형의 분광적 특성을 잘 반영할 수 있는 몇 개의 밴드를 선택하여 명암, 색상, 채도로 변환시킨다(Schowengerdt, 1997). Koutsias et al.(2000)에 따르면, 밴드7,4,1로 구성된 RGB 칼라 조합을 명암-색상-채도 칼라 공간으로 바꾸었을 때, 색상 부분에서 산불 지역과 그렇지 않은 지역간에 높은 분리성을 확인하였다.

3.2 Kauth-Thomas 변환

KT 계수는 영상의 다른 요소에 영향받지 않

으면서 영상 내부 각 클래스들의 생물 물리학적 차이점들을 잘 반영할 수 있도록 정해졌다. TM 열밴드를 제외한 6개의 밴드들을 선형변환하여 6개의 피쳐(brightness, greenness, wetness, haze, KT5, KT6)를 만들었다(Crist and Cicone, 1984). 그 중에서도 brightness, greenness, wetness 피쳐가 중요한데 그 이유는 산불에 의해서 나타난 식생과 토양의 특성과 가장 직접적으로 관계되어 있기 때문이다(Patterson and Yool, 1997).

4. 자료

4.1 영상 및 전처리

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.

기하보정은 1:25000 지형도를 이용하였으며, nearest neighbor 방법으로 재배열하였다. 방사보정은 iterative band ratio 방법을 사용하여 실시하였다.

이번 연구 지역은 많은 산악 지역을 포함하고 있다. 따라서, 경사와 사면에 의한 지형 효과가 발생하여 화소값에 영향을 주기 때문에 이 지형 효과를 보정해 주었다. 이번 연구에서는 한국 산악 지형에서 지형효과를 가장 효과적으로 저감하는 것으로 밝혀진 Minnaert 기법을 적용하였다(이규성, 1997).

4.2 분류 체계

이번 연구에서 적용된 산불피해등급법칙은 임업연구원에서 설정한 법칙에 따랐다. 임업연구원에서는 산불피해지역을 Class I, Class II, Class III, 세 지역으로 나누었다(동해안 산불지역 정밀조사 보고서, 2000). 그리고, Class I 과 유사한 특징을 보이는 비산화지 산림(No burn), Class III와 비슷한 특징을 보이는 Others(나대

지 및 도시지역)가 포함되었다. 각 등급에 대한 자세한 설명은 Table 1과 같다.

Table 1. Fire Severity Classes by the KFRJ

Fire Severity Class	Description
Class I	Surface fire, no or little canopy destruction
Class II	Partial canopy destruction
Class III	Complete(or most) canopy destruction
No burn	No burned forest area
Others	Bare soil and Urban

4.3 현장데이터 수집

현장데이터는 GPS 수신기인 Geoxplorer II 와 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 못 했다. 각 조사 지점은 공간 오토코릴레이션을 피하고 지형 변이성을 나타내기 위해서 약 100m 정도의 거리를 두었다(Congalton, 1991). 이번 조사는 2000년 11월에 시행하였다. 비록 산불이 일어난 지 7개월이 지났지만, 시각적으로 피해 등급을 식별할 수 있었다.

5. 결과 및 토의

5.1 산불 발생후의 분광특성

산불 발생 후의 각 등급별 분광 특성을 조사하여 보았다(Fig. 2). 방사보정과 지형보정에 의한 결과로 원영상의 평균 DN 값이 줄어든 것을 볼 수 있다. 그러나, 원래 영상과 대기, 지형 보정한 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.

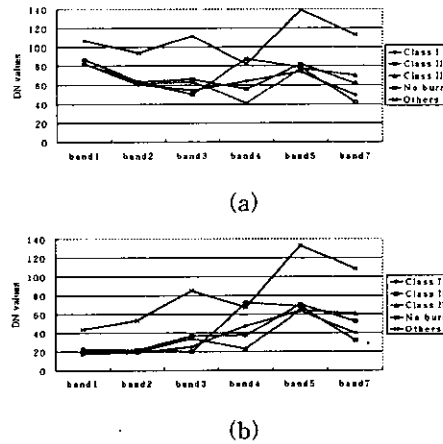


Fig. 2. The mean DN values on each band of the raw image(a) and the radiometrically, topographically corrected image(b).

5.2 IHS변환을 이용한 단순 슬라이싱 기법

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. 이미지에서 명암과 채도 컴포넌트와는 다르게 색상 컴포넌트는 뚜렷이 구분된다.

Fig. 4는 각 클래스의 현장데이터의 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 명암 컴포넌트와 채도 컴포넌트는 Others의 경우에만 분리성이 보여질 뿐 나머지 클래스에 대해서는 서로 겹치는 것을 볼 수 있다. 색상 컴포넌트에서는 Class III와 Others의 경우는 좌측 부분으로, No burn은 우측 부분으로 집중되는 양상을 보여주고, Class I 과 Class II는 양쪽으로 분리되었다.

따라서, 기존 연구에서 행했던 대로 색상 컴포넌트 부분에서 단순한 슬라이싱 기법으로 산불 피해지역을 구분하는 것은 이 연구에서는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

5.3 IHS변환과 KT변환을 이용한 분류

원시 TM 영상을 기하보정을 하고, 방사 및 지형보정을 수행한 후, 7,4,1밴드를 이용하여 IHS 컴포넌트로 변환한 영상과 KT변환 (brightness, greenness, wetness)한 영상에 대해 최대우도법으로 분류하였다.

이번 연구에서는 총 200여 개의 현장데이터를 수집했고, 그 중에 약 50개를 트레이닝 샘플로 사용하였다. 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. Table 2와 3은 각각 IHS 변환기법과 KT변환기법을 이용한 분류결과에 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 Class III사이의 경계에서 나타나기 때문이다. 또한 산불시기와 현장데이터 수집시기 및 영상관측 시기사이의 차이에 의한 오차도 존재했다.

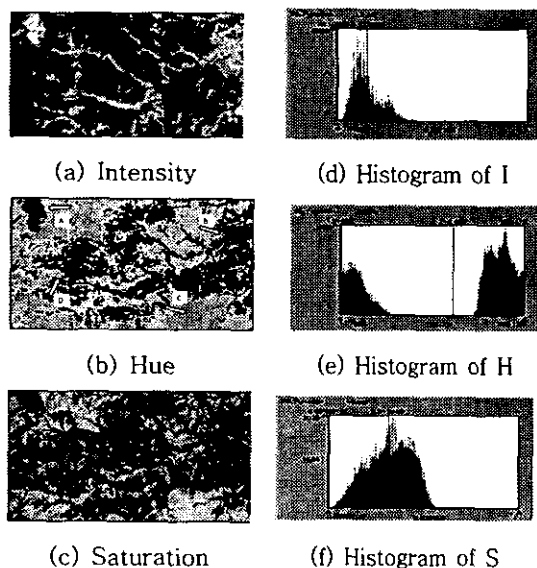


Fig. 3. IHS components and corresponding histograms without radiometric correction.

5.4 IHS 컴포넌트상의 분광특성 분석

IHS 변환 기법으로부터 얻은 각 클래스 별 분광 특성을 명암-색상, 명암-채도, 색상-채도 공간에서 분석하였다(Fig. 5). 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, Class II, 그리고 Class 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.

5.5 KT Feature Space 분석

세 개의 KT 피쳐(brightness, greenness, wetness)는 두 개의 수직 평면(식생 평면, 토양 평면)과 전이 지역을 정의한다.

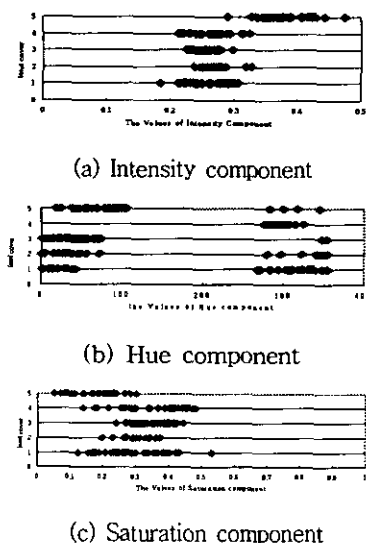


Fig. 4. The distribution of IHS components without radiometric correction (1:Class I, 2:Class II, 3:Class III, 4:No burn, 5:Others).

Fig. 6(a)는 brightness와 greenness를 축으로 하는 식생 평면이다. 식생이 없는 토양은 평면의 가장 밑에 위치한다. 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. 6(b)). 산불에 영향을 받지 않은 Others는 그래프에서 어느 곳이나 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.

전이 지역은 세로축에 greenness와 가로축에 wetness로 구성되어 있다(Fig. 6(c)). 각 클래스들은 전이 지역 평면에서 이상적으로 분포되어 있다. Others는 왼쪽 아래를 차지하고 있고, No burn은 오른쪽 위에 자리잡고 있다. 그 사이에 Class I, Class II와 Class III가 수분과 식생의 상태에 따라서 각자 자리잡고 있다.

Table 2. Error matrix from IHS transformation.

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

KHAT statistic : 0.67 Overall Accuracy : 0.74

Table 3. Error matrix from KT transformation.

Classification	Class I	Class II	Class III	NoBurn	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

KHAT statistic : 0.76 Overall Accuracy : 0.81

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 있는냐 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 컴포넌트에서 어느 정도 분리성을 파악할 수는 있었으나 뚜렷이 구분되지는 않았으며 각 클래스가 혼재해 있었다. 따라서, 산불피해지역을 분류하는데 IHS변환을 이용한 단순 슬라이싱 기법을 하는 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.

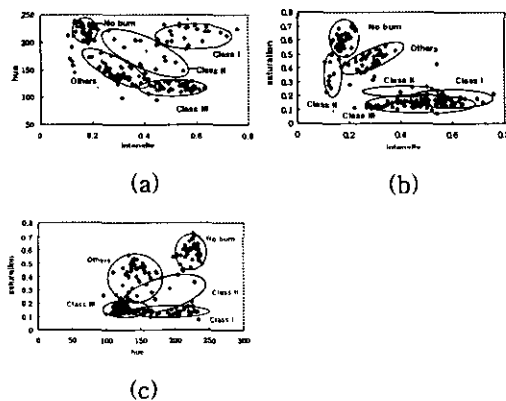


Fig. 5. The distribution of Intensity-Hue-Saturation components after radiometric and topographic correction((a) I and H, (b) I and S, and (c) H and S).

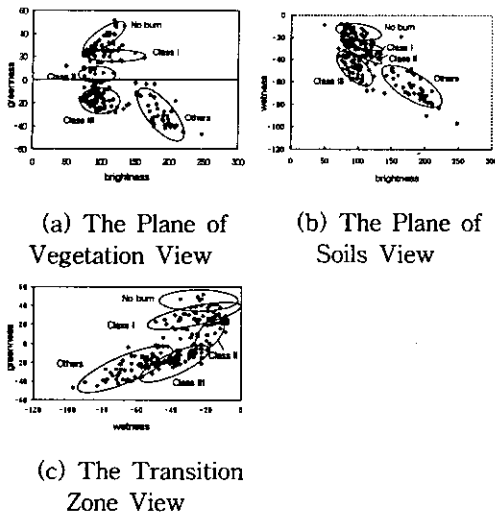


Fig. 6. The distribution in KT feature spaces

이러한 결과를 나타내는 원인을 알아보기 위해 KT feature space와 IHS 컴포넌트의 분광 분포를 비교해 보았다. KT feature space 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 한계점으로 다음 네 가지를 들 수 있다. 첫 번째는 산불 발생 시기와 영상 취득 시기 및 현장데이터 수집시기 사이의 시간의 격차가 있었다. 따라서, 그 지역의 분광특성이 강우나 식생으로 인해 변화된 것을 적절히 반영하지 못했다. 두 번째는 공간적 변이성(사면, 경사, 암석, 등)이다. 이번 연구 대상 지역은 산악 지역으로 곳곳에 산재한 암석과 나대지로 인해 산불 지역의 분광 특성에 상당한 영향을 주었다. 세 번째는 샘플의 수가 비교적 적었다는 것이다. 따라서, 공간에 따른 다양한 분광특성을 연구하는 것에 한계가 있었고, 정확도도 비교적 낮았다. 마지막으로 이전에 발생한 산화지에 대한 고려가 부족하였다. 이번 연구지역은 과거에 빈번히 산불이 발생하였다. 하지만, 단일 시기의 영상으로는 그러한 현상을 고려할 수 없었다.

이러한 한계를 극복하기 위해서는 보다 많은 현장자료 수집과 더불어 단순한 통계적 분석에

의한 분류보다는 비선형성을 잘 모델링하는 신경망 등의 기법 또는 다시기 분석을 시도해 볼 수 있을 것이다.

참고문헌

- 동해안산불피해지 공동조사단. 2000. 동해안 산 불지역 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.
- Congalton, R. G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 37:35-46.
- 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* GE 22(3):256-263.
- 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
- 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