

식생의 분광 반사특성을 이용한 산불 피해지 분석

Analysis of Forest Fire Damage Areas Using Spectral Reflectance of the Vegetation

최승필* · 김동희** · 建石陸太郎***

Choi, Seung Pil · Kim, Dong Hee · Tateishi Ryutarō

要 旨

산림피해는 세계적으로 커다란 이슈가 되고 있으며, 그 중에서도 산불에 의한 피해는 그 자체로서의 피해뿐 만이 아니라, 홍수 등으로 이어지는 2차 피해로 연결이 된다. 그러나, 산불 발생 당시 접근의 어려움과 상당기간에 걸친 조사기간으로 인하여 산불 피해에 대하여 명확한 분석이 어려운 실정이다. 이러한 어려움을 극복하고자 최근 들어 인공위성 영상 자료를 이용한 피해 조사가 활발히 진행되고 있지만, 위성 영상 자료 역시 산불 발생 시점에 부합하는 자료를 입수하는 것은 매우 힘들다. 또한 입수된 영상의 정확도를 검증하기 위한 작업도 상당한 부담을 가지고 있는 것도 사실이다. 따라서 본 연구에서는 위성영상 자료를 이용하기 위한 사전작업으로 분광방사계를 사용하여 얻어진 식생의 분광방사특성을 이용하여 산불 피해지를 파악하고자 하였다. 일차적으로 육안관측에 의해 피해 정도를 판단하고 분광방사계를 이용하여 산불 발생 3개월과 6개월 후에 각각 측정된 현지조사 자료를 이용하여 이 두 자료를 분석함으로써 일회성 육안 관측에 의해 발생하기 쉬운 오류에 대하여 알아보하고자 하였다. 또한 산불피해가 경미한 샘플링 포인트에서 수목의 소생가능성과 고사가능성을 보이는 군집을 분류할 수 있었다.

핵심용어 : 군집분석, 분광반사특성, 산불 피해, 정규화 식생지수

Abstract

Forest damage is a worldwide issue and specially, a forest fire involves damage to itself and causes secondary damage such as a flood etc. However, actually, clear analysis on forest fire damage can be hardly conducted due to difficulty in approaching a forest fire and quite a long period of time for analysis. To overcome such difficulty, recently, forest fire damage has been actively investigated with satellite image data, but it is also difficult to obtain satellite image data fitted to the time a forest fire occurred. In addition, it is burdensome to verify accuracy of the obtained image. Therefore, this study was attempted to look into the damaged districts from forest fires by reference to spectroradiometric characteristics of the obtained vegetation with a spectroradiometer as preliminary work to use satellite image data. To begin with, the researcher analyzed the field survey data each measured 3 months and 6 months after occurrence of a forest fire by judging the extent of the damage through visual observation and using a spectroradiometer in order to investigate any potential errors arising out of one-time visual observation. Besides, in this study, groups showing possibilities that trees might be restored to life and wither to death could be classified on the sampling points where forest fire damage is minor.

Keywords : Clustering Analysis, Spectral Reflectance, Forest fire damage, NDVI

1. 서 론

최근 들어 지구 환경 문제에 대한 사회적 공감대가 형성되고 있으며, 환경 문제를 일으키는 주 원인으로는 자연 발생적인 태풍 등에 의한 재해와 산불 등에 의한 인

위적인 재해로 분류 할 수 있다.

특히 인위적인 재해로는 인간 활동이 복잡화, 다양화 되면서 방대하고 광범위한 피해가 발생 한다. 그 중에서도 산불에 의한 피해는 대표적 산림 재해로 산불 발생의 미예측성, 광범위성, 신속성 등으로 인하여 커다란 사회

2006년 5월 4일 접수, 2006년 6월 20일 채택

* 정희원·관동대학교 토목교통공학부 교수 (spchoi@kd.ac.kr)
** 교신저자·강릉영동대학 토목건설과 시간강사 (kdhlsy@hotmail.com)
*** 일본 국립치바대학 자연과학연구과 교수 (tateishi@faculty.chiba-u.jp)

적 문제가 되고 있다(양인태, 김응남, 1991)(최승필, 김동희, 2005).

우리나라도 1996년 강원도 고성군의 산불 발생 이후 강원도 지역에서만도 크고 작은 산불이 연이어 발생하고 있다(강릉시, 2001).

특히 2005년에 발생한 양양군 지역의 산불은 산불 진화 과정에서 잔불에 대한 처리가 부족하여 도로를 건너 인접해있는 낙산사 등지로 번지면서 국보급 문화재가 소실 되는 등 그 피해가 더욱 커졌다.

따라서 이러한 산불은 발생 당시 현장에 접근이 용이하지 않은 비접근성과 일반적으로 광범위한 지역에 걸쳐 확산이 되는 특징을 정확하게 파악하여 산불에 의해 파생된 영향을 조사하여 미연에 이러한 대책을 강구하는 것이 요구된다.

산불 피해는 산불 발생 직후의 피해보다는 발생 직후에 잘 나타나지 않는 수목에 대한 피해 조사가 더욱 절실한 형편이다. 그러나 현실적으로 대부분의 피해조사가 육안 관측에 의해 분류가 되며, 이러한 육안관측에 의한 피해 조사는 지속적으로 관측하기 어려우며 경제적인 측면, 시간과 인력의 부족 등으로 인하여 일회성의 조사로 종결 되는 것이 대부분이다(김동희, 1997).

이러한 경우 산림 자체만의 문제가 아니라 산림 훼손으로 인한 홍수 등의 대규모 피해로 이어질 수 있다는 점에서 매우 큰 문제라고 할 수 있다.

산불에 의한 산림의 피해를 조사하고 산불발생 이후의 산림변화 또는 회복되는 과정을 조사하기 위하여 많은 연구에서 위성 영상을 이용하는 해석방법이 제안되어 있으며, 원격탐사 기술의 발전에 의해 위성영상 자료를 이용한 산불 피해지역의 추출등의 연구가 진행되고 있다.

그러나 이러한 연구는 위성 영상 자료에 많은 부분을 의존하였기 때문에 실제로는 산불 피해 전후 두 개의 위성 영상 자료에 의한 식생지수 값의 차이를 가지고 파악한 것이 대부분이다.

또한 이러한 경우 위성 영상 자료가 원하는 시기에 적절한 자료를 구할 수 있는 경우도 있지만, 산불 발생 당시 구름 등에 의하여 자료의 입수가 어려운 경우도 발생을 한다. 이때 피해조사를 하는데 어려운 실정이며, 경제적인 측면에서도 고비용이 소요된다(Michel A. Wuider, 2003)(L. Samarakun, 1990).

따라서 본 연구에서는 위성 자료 이용시의 정확성과 비교가능성에 관한 전작업으로 식생의 분광반사 특성을 이용하여 산불 피해 지역에서 식생의 활성 상태를 파악하였다. 그리고 산불 발생 3개월과 6개월 후의 식생 분광특성 자료에 의한 피해조사를 하여 육안관측에 의하여 발생하기 쉬운 오분류에 대하여 알아보고자 하였다. 또한

군집분석을 실시하여 육안관측으로 분류하기 힘든 피해가 경미한 지역에서의 수목의 소생 가능성과 고사 가능성에 대하여 알아보고자 하였다.

2. 연구 지역 및 현지조사

2.1 조사 대상 지역

대상지역은 강원도 양양군 현남면과 낙산사를 포함한 강현면 주변의 두곳으로 나누어 선정하였다.

2005년 4월 4일에 발생한 산불은 양양읍 화일리를 중심으로 풍속 25m/sec의 강풍으로 발생하였으며, 두번째 산불은 양양군 현남면 주리를 중심으로 최대풍속 27.3m/sec(습도 20%미만)로 인한 산불로 약 20여억원의 피해가 발생한 것으로 추정되었다.

산불 지역은 약 95%가 소나무 숲으로 산불이 시작되면서 강풍과 조우하여 순식간에 넓은 지역으로 산불이 퍼져나간 것도 이번 양양 산불의 큰 특징이라고 할 수 있다.

또한 산불이 번지는 과정에서 강풍과 소나무의 송진으로 인하여 산불의 확산에 결정적인 역할을 함으로 인하여 넓은 범위로 피해가 번지게 되었다.

그림 1에 산불 발생 지역과 확산도를 표시하였다.

2.2 현지자료

현지조사는 산불 발생 3개월 후인 2005년 7월 14일~

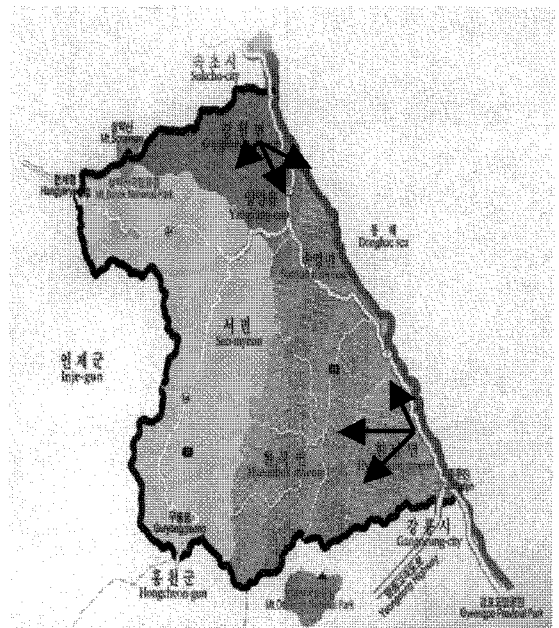


그림 1. 조사대상지역

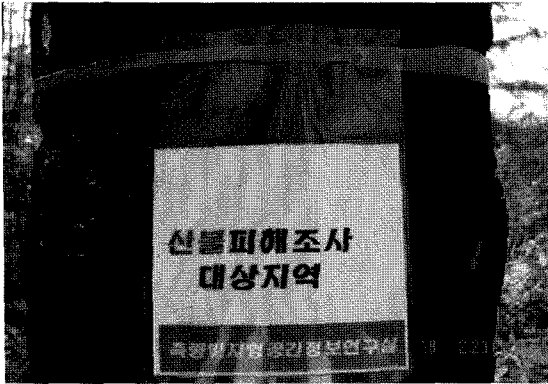


그림 2. 모니터링을 위한 표지

30일과 6개월 후인 10월 1일~10월 10일 사이에 조사가 이루어졌다. 먼저 산불 피해지역을 낙산사 주변을 포함한 양양군 강현면과 현남면 일대의 두 지역으로 분류 하여 각 지역별로 이동을 하면서 분광반사계로 분광반사율을 측정하였다.

측정과 동시에 GPS로 각 샘플링 포인트별로 경위도 좌표를 입력하였으며, 지속적인 측정을 위하여 각 포인트별로 그림 2와 같이 표지를 하여 산불 발생 3개월과 6개월 후의 동일 장소를 반복하여 측정하였다. 그리고 강현면에서 10포인트, 현남면에서 8포인트를 각각 추출하여 이 중에서 유사한 DN값을 나타내는 포인트를 제외하고, 10포인트를 분석에 이용하였다.

3. 사용장비

현지조사에 사용된 분광반사계로 산불 발생 3개월 후는 2703MM 분광반사계를 사용하였으며, 측정 파장대는 400nm~1050nm이며, 가시영역은 25nm 간격으로 근적

외 영역은 50nm의 간격으로 측정을 한다(Abe Sekkei). 또한 6개월 후의 측정에서는 식생지수를 보다 정밀 하게 측정 할 수 있는 FieldSpec@HandHeld 분광반사계로 측정 하였다. 측정에 사용된 분광반사계의 특징은 표 1에 나타내었다.

또한 분광반사계 2703MM에서 얻어진 자료의 분광반사율값을 얻는 식은 다음과 같다.

$$R = [10^{(D_{smp} - D_{ref}) \times 0.001}] \quad (1)$$

여기서, R ; 반사율

Dref ; 표준 백색판의 반사값

Dsmp ; 측정 대상물의 반사값

그러나 FieldSpec@HandHeld 분광반사계의 경우는 자체적으로 백색판을 기준으로 분광반사율을 계산하고 있으므로 따로 분광반사율을 계산할 필요는 없다.

또한 주기적인 모니터링을 위해 정확한 샘플링 자료의 위치를 주기적으로 관측을 할 필요가 있으므로 본 조사에서는 미국 Trimble사의 TRIMBLE NAVIGATION GPS로 위치를 파악하여 자료 분석에 이용하였다.

4. 식생지수

식물의 분광반사는 정상적인 상태의 식물인 경우 가시광 파장대와 근적외 파장대역에서 강한 반사 특성을 보여주며, 이러한 이유로는 식생은 300nm~500nm의 파장대에 있어서 전자파를 흡수하며, 적색 파장대(600nm~700nm)에서 높은 흡광도를 나타내기 때문이다.

또한 식생은 근적외 영역(800nm~1300nm)에서 높은 반사율을 나타낸다. 이 파장대에 있어서 반사율은 잎의 구조에 따라서 변화하며 700nm~800nm 구간에서 급격하게 증가한다.

표 1. 분광반사계 사양

Name	2703MM	FieldSpec@HandHeld
Spectral Range	400-1050nm	325-1075nm
Sampling Interval	Visible ray 25nm Near IR 50nm	1.6nm@325-1075nm
Channel	17 Channel	512 Channel
Sight Angle	10°Drgree 2°Drgree	Fixed 25° field of view. Optional fiber and foreoptics
Calibration	Wavelength, reflectance, radiance, irradiance	Wavelength, reflectance, radiance, irradiance
Notebook Computer	Palmtop PC	IBM Note PC

이처럼 식생은 가시·근적외 영역의 파장대에서 명확한 흡수영역과 반사영역을 가지고 있으며, 이러한 반사율의 차이는 크다.

현재, 식생의 분류를 행함에 있어서 여러가지 많은 연산식이 개발되어 졌고, 일반적으로 많이 이용되고 있는 식생지수는 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 이용한 식생지수가 있다(Los, S. O., 1993).

$$NDVI = \left[\frac{(NIRband - REDband)}{(NIRband + REDband)} \right] \quad (2)$$

여기서, NIRband ; 근적외 영역
 REDband ; 가시광 RED 영역

식 (2)에서 계산된 식생지수는 최대 +1, 최소 -1의 범위 내에 분포를 하며 식생의 활성도가 높은 식생 일수록 +1 에 가까운 값을 갖는다.

5. 분석

5.1 피해 정도별 자료

각 샘플링 포인트 별로 촬영한 피해 정도별 분광반사율

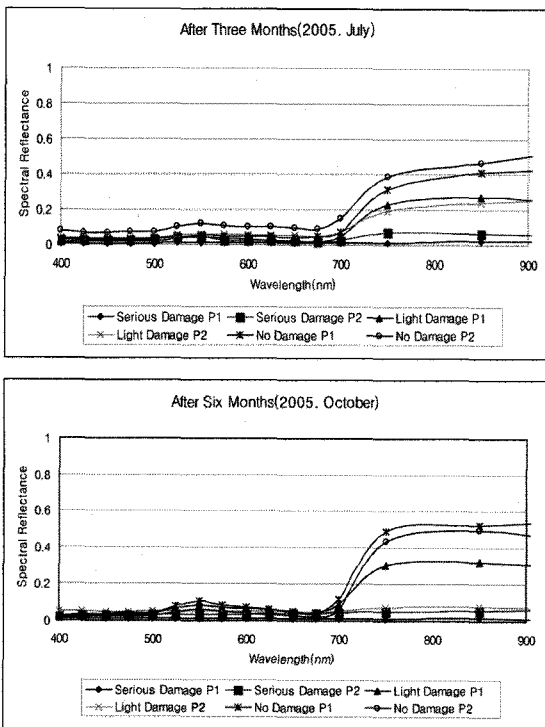


그림 3. 산불 발생 3개월과 6개월 후 분광반사율 곡선

곡선을 그림 3에 표시하였고, 10개의 샘플링 포인트 중에서 피해 정도별 대표적인 값을 나타내는 6개의 샘플링 포인트에 대한 분광 반사율 값을 도시하였다.

그림 3에서 알 수 있듯이 피해가 큰 샘플링 포인트와 전혀 피해가 없는 포인트에서는 피해 정도의 변화가 거의 없지만, 육안으로 피해 정도를 확연히 분별할 수 없었던 피해가 경미한 포인트에서는 소생 가능 수목과 고사될 수목을 판단 할 수 있다.

이것은 산불 발생 당시 강풍에 의해 산불이 번지면서 나무의 뿌리에 영향을 미치지 못하여 식생이 다시 소생을 하는 경우와 산불 발생 당시 존재하던 영양분에 의해 3개월 후의 측정까지는 나무가 소생을 하였지만 서서히 나무가 영양분을 흡수하지 못하여 고사한 경우로 판단할 수 있다.

5.2 두 시기의 식생지수 비교

현지조사에서 얻어진 자료를 바탕으로 식생지수를 구하여, 이를 샘플링 포인트별로 나타낸 것이 그림 4이다. 식생지수를 산출한 과정은 정규화식생지수인 NDVI에 대응하는 파장대인 500nm~600nm와 700nm~800nm의 파장대의 평균값을 취하였다, 이는 분광반사계 별로 습득된 자료의 양이 다르기 때문이다.

샘플링 포인트 1, 2는 피해를 많이 입은 포인트이고, 8, 10의 경우는 피해가 거의 없는 포인트로 산불 발생 3개월과 6개월후의 식생지수 값의 변화가 거의 없었다. 샘플링 포인트 4, 6, 7에서는 3개월 후의 식생지수 값이 낮았지만, 6개월 후에는 식생지수 값이 오히려 증가함으로 식생이 다시 소생하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 샘플링 포인트 3, 5, 9에서는 식생지수값이 크게 감소를 하였으며, 이는 산불발생 3개월 후에 비해 6개월 후의 식

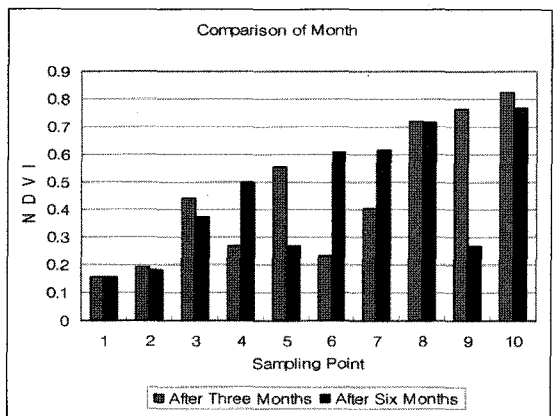


그림 4. 산불 발생 3개월과 6개월 후의 식생지수 비교

생활력이 떨어졌다는 것을 알 수 있다.

따라서 육안으로 피해를 분류할 경우는 피해가 없거나 완전하게 피해를 확인할 수 있는 지역에서는 분광반사 특성에 의한 분류와 별로 차이가 없는 것을 알 수 있었지만, 육안으로 확인하게 분류를 할 수 없는 경미한 피해 지역에서는 육안에 의한 피해도 분류는 매우 큰 오류를 범할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

5.3 군집분석

피해 정도에 따른 정확한 분류를 위해 군집 분석을 실시하였으며, 그 전처리 과정으로 거리행렬을 구하여 표 2에 나타내었다.

거리 행렬을 계산한 후에 군집을 형성하기 위하여 Average Linkage Method로 군집분석을 실시하였으며, 이 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3의 상단에는 10개의 샘플링 포인트가 나타나지만, 전체의 클러스터가 1개의 군집으로 형성되는 과정은 도표상의 최하단부터 시작이 된다. 즉, 전체 10개의 샘플링 포인트 중에서 가장 유사성 거리가 가까운 1번과 2번의 샘플링 포인트가 하나의 군집으로 축소된 결과가 표 3에서 9 cluster 라고 표시된 row에 나타난다. 다음 단계에서는 10번과 8번의 샘플링 포인트가 또 다른 하나의 군집으로 축소되어서 그 결과가 8 cluster이라고 표시된 row에 나타난다. 이러한 방법으로 군집의 형성이 반복되면서 1이라고 표시가 되는 줄에는 1개의 군집만이 존재하게 된다.

따라서 이러한 군집 방법에 의하여 피해 정도 별로 4가지로 분류를 하는 것이 가능하며, 다음 표 4에 피해 정도 별로 분류된 군집을 나타내었다.

표 4에서 알 수 있듯이 4개의 군집으로 분류가 가능하였으며 이것을 분류 별로 산불 발생 3개월과 6개월 후의

표 2. 거리행렬

Sampling Point	Euclidean Distance									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.000	0.182	1.485	1.591	1.683	2.019	2.259	3.369	2.499	3.810
2	0.182	0.000	1.305	1.458	1.508	1.904	2.106	3.194	2.331	3.633
3	1.485	1.305	0.000	0.896	0.645	1.343	1.094	1.909	1.380	2.336
4	1.591	1.458	0.896	0.000	1.541	0.497	0.735	2.053	2.240	2.517
5	1.683	1.508	0.645	1.541	0.000	1.985	1.653	2.099	0.842	2.457
6	2.019	1.904	1.343	0.497	1.985	0.000	0.685	2.025	2.615	2.477
7	2.259	2.106	1.094	0.735	1.653	0.685	0.000	1.360	2.116	1.820
8	3.369	3.194	1.909	2.053	2.099	2.025	1.360	0.000	1.999	0.464
9	2.499	2.331	1.380	2.240	0.842	2.615	2.116	1.999	0.000	2.223
10	3.810	3.633	2.336	2.517	2.457	2.477	1.820	0.464	2.223	0.000

표 3. Average Linkage Method

Number of clusters	Sampling Point																		
	10	8	7	6	4	9	5	3	2	1									
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
4	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X
5	X	X	X		X	X	X	X	X		X		X	X	X		X	X	X
6	X	X	X		X		X	X	X		X		X	X	X		X	X	X
7	X	X	X		X		X	X	X		X		X		X		X	X	X
8	X	X	X		X		X		X		X		X		X		X	X	X
9	X		X		X		X		X		X		X		X		X	X	X

표 4. 군집 분류

Sampling Point	Clusters
1	1
2	1
3	2
4	3
5	2
6	3
7	3
8	4
9	2
10	4

표 5. 클러스터별 유형

Point	Dentrogram	Cluster	Forest fire damage Condition
1 2		1	피해가 심한 포인트
3 5 9		2	경미한 피해중에서 고사 가능성이 높은 포인트
4 6 7		3	경미한 피해중에서 소생 가능성이 높은 포인트
8 10		4	피해가 없는 포인트

유사도 분류에 의하여 1번 클러스터는 피해가 심한 샘플링 포인트, 2번은 산불이 발생하여 시간이 경과하면서 식생의 활성이 점차 감소 하는 고사목의 피해가 발생할 가능성이 높은 샘플링 포인트, 3번은 산불 발생 3개월 후 측정시 경미한 피해를 입었으나 6개월 후 다시 활력을 보여 소생 가능성이 높은 샘플링 포인트, 4번 클러스터는 산불 피해를 전혀 받지 않은 샘플링 포인트로 분류를 할 수 있었다.

이러한 일련의 군집분류 과정의 클러스터별 유형을 나타낸 것이 표 5이다.

두 시기 자료의 식생지수를 이용하여 군집분석을 하면 실제 측정된 값과 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 육안관측에 의해 피해를 확연하게 구분할 수 없었던 경미한 피해인 샘플링 포인트에 대한 수목의 소생가능성과 고사가능성을 알 수 있었다.

6. 결론

식생의 분광 반사특성을 이용하여 산불피해지를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 산불 피해 지역에서 분광반사계를 이용하여 산불 피해지역을 발생 3개월과 6개월 후에 측정을 하면 기존의 일회성 육안조사에 의해서는 판단하기 어려운 피해가 경미한 지역의 수목의 활력상태의 유지 여부를 알 수 있었다.

둘째, 산불 발생 3개월과 6개월 후의 샘플링 포인트에 대한 분광반사율의 파장별 평균값으로 NDVI 값을 구하여, 각각의 샘플링 포인트를 단순 비교하면 산불 피해의 정도에 따른 결과를 얻을 수 있었고, 이를 군집분석에 의하여 각 군집별로 추출할 수 있었다.

셋째, 피해 정도에 따른 정확한 분류를 위해 군집분석을 실시함으로써, 산불 피해가 경미한 샘플링 포인트에서 수목의 소생가능성과 고사가능성을 보이는 군집을 분류할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지정 관동대학교 첨단해양공간개발연구센터의 지원에 의한 것입니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 양인태, 김응남, 1991, 근적외 디지털 카메라에 의한 수목의 NDVI 추출과 분석, *대한토목학회 논문집*, Vol. 22, No. 3, pp. 261-268.
2. 최승필, 김동희, 2005, 근적외 CCD 카메라와 분광반사계의 식생지수를 이용한 산불 발생지역에서의 산림 피해도 평가, *한국측량학회지*, Vol. 23, No. 4, pp. 367-374.
3. 강릉시, 2001, *2000년 강릉산불백서*, 강릉시청, pp. 131-171.
4. 김동희, 1997, *인공위성 LANDSAT TM IMAGE DATA를 이용한 고성산불 피해지역 조사해석*, 석사학위논문, 관동대학교.
5. Michael A. Wulder etc, 2003, *Remote Sensing of Forest Environments*, Kluwer Academic Publishers, pp. 182-197.
6. L. Samarakun, 1990, A Classification Method of Forest Fire Damaged Area by Landsat Data, *JSPRS*, pp. 5-12.
7. (주)AbeSekkei, 2703MM ver2 portable photometer Manual.
8. Los, S. O. (1993), Calibration adjustment of the NOAA AVHRR Normalized Difference Vegetation Index without recourse to component channel 1 and 2 data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14, pp. 1907-1917.