

# MODIS영상을 이용한 소규모 산불 탐지 기법 개발

## Development of an algorithm for detecting sub-pixel scale forest fires using MODIS data

김선화, 이규성

Sun-Hwa Kim and Kyu-Sung Lee

인하대학교 지리정보공학과 원격탐사연구실

E-mail: rssun@inha.ac.kr, Tel: 032-860-8805

**요약:** 현재 미국 NASA에서는 전 지구에서 일별 발생하는 산불 탐지 영상(MOD14 product)을 제작, 배포하고 있다. 그러나, 이러한 MOD14 영상은 MODIS 자체의 낮은 공간해상도로 인하여 우리나라와 같이 소규모 산불이 발생하는 지역에서는 산불 탐지 정확도가 매우 낮게 나타났다. 본 연구에서는 기존의 MODIS 산불 지도에서 탐지되지 못한 소규모 산불을 대상으로 혼합화소분석기법(spectral mixed analysis)을 적용한 새로운 산불 탐지 알고리즘을 제시하였다. 새로운 산불 탐지 알고리즘은 진행산불 탐지 알고리즘과 연소지 탐지 알고리즘으로 구성된다. 소규모 산불이 170건 이상 발생한 2004년과 2005년 4월 남한지역을 대상으로 적용한 결과 1ha 규모의 연소지 탐지가 가능하게 되었으며, 연구 결과 소규모 진행산불과 연소지에 대해 70%이상의 탐지율을 확보하였으며, 40% 이하의 오탐지율(false alarm ratio)을 산출하였다.

**Key words:** 산불, 연소지, MODIS, 혼합화소분석기법

### 서론

산불은 해마다 전 세계 대규모의 생체량을 파괴시키는 재해로서, 생태학적, 경제학적, 인간 문명에 영향을 주는 치명적이고 해로운 재해이다(Agee, 1993). 한반도의 경우 연도별 평균 429건의 산불이 발생되며, 그 연소면적은 2,908ha에 이른다(김선영, 2005).

접근이 쉽지 않고, 광범위하게 발생하는

산불로 인해, 위성영상을 이용한 진행산불과 연소지 탐지 연구가 시도 되었다. 1980년대 NOAA AVHRR영상자료를 시작으로 최근 Terra/Aqua MODIS 위성자료까지 전지구의 진행산불과 연소지 탐지를 위하여 다양한 위성자료가 사용되고 있다(Giglio et al., 2003). 이러한 위성 영상자료를 이용한 산불 탐지는 크게 열적외선 구간에서 방사된 열에너지를 통해 산불의 위치, 강도 등을 실시간으로 탐지하는 진

행산불(active fire) 탐지사례와 연소지(burned area)의 분광적 특징을 이용하여 산불의 연소지 위치, 규모 등 산불 피해 정도를 분석하는 사례로 나눌 수 있다(Miettinen, 2007). 그러나, 미국 NASA에서 제공하는 일일 MODIS 진행산불 탐지 영상(MOD14)는 고온의 열대우림 대규모 산불탐지를 대상으로 개발된 알고리즘에 의해 산출된 것으로 다른 지역의 소규모 산불 지역에서는 그 정확도가 감소되는 것을 볼 수 있다(Kaufman et al., 1988). 또한 현재 산불 탐지에 사용되는 위성자료는 대부분 1km<sup>2</sup>이상의 공간해상도를 제공하고 있어 1ha~수십ha의 소규모 산불들을 탐지하지 못하고 있다(박우진, 2005; 국립산림과학원, 2006). 이러한 한계는 2005년 4월 MODIS 진행산불 자료(M\*14)의 탐지 정확도를 검증한 결과에서도 나타났다. 탐지 결과 강원도 고성 지역과 양양지역에서 발생한 대규모 산불은 정탐지되었으나, 많은 지점에서 대규모 소각장이나 공장지역이 산불 지역으로 오탐지된 것을 볼 수 있다. 이와 같이 MODIS 진행산불 탐지 알고리즘은 대규모 산불만 탐지가 가능하며, 남한의 소규모 산불 탐지는 불가능하다. MODIS 진행산불 탐지 알고리즘은 검증 결과 17.4%의 낮은 탐지율을 보이며, 오탐지(false alarm)율도 78.1%로 높은 수치를 보이고 있다. 2005년 4월 자료를 이용했을 때 MODIS 진행산불 탐지 알고리즘은 검증 결과 17.4%의 낮은 탐지율을 보이며, 오탐지율도 78.1%로 높은 수치를 보이고 있다.

본 연구의 목적은 소규모 산불 탐지를 위한 혼합화소분석기법(spectral mixture analysis)을 적용한 새로운 산불 탐지 알고리즘을 개발하는 것이다. 또한 영상 촬영당시에 발생한 산불만을 탐지하는 진행산불의 한계를 해결하고자, 일별 연소지 탐지 알고리즘을 추가하여, 남한 일대의 일별 전체 산불 발생 정보를 제공하는 알고리즘을 개발하였다.

#### 연구지역과 사용한 자료

연구 대상지역은 남한 지역 전체로, 남한의 연평균 산불 발생 횟수는 429건으로, 2,908ha의 평균 연소지가 발생한다. 또한 시기적으로 살펴보면 3월과 4월 동안 발생하는 산불이 전체 산불 발생 횟수의 52%, 총 연소지의 90%가 발생된다(김선영, 2005). 따라서 소규모 산불을 대상으로 하고 있는 본 연구에서는 최근 산불 발생 횟수가 많고, 연소지의 면적이 적은 2004년, 2005년 4월 시기를 대상으로 하였다.

남한의 산불은 대부분 인화(引火)로 발생되기 때문에, 산불의 예측이 힘들어 위성영상을 이용한 관측이 필요하다. 남한의 연소지 면적을 살펴보면, 1ha미만의 산불이 전체 산불의 74.6%를 차지한다. 따라서 본 연구에서는 하루에 4번 촬영하는 MODIS 위성영상을 이용하여 진행산불과 연소지의 신속한 탐지를 수행하였다. 이와 함께 기존의 산불 알고리즘에서는 탐지되지 않은 소규모 산불을 대상으로 하였다. 본 연구에서는 2005년 4월 동안 남한

전체에서 발생한 산불 탐지를 목표로, 표 1과 같은 자료를 사용하였다.

표 1. 사용한 자료

용도	종류
진행산불 탐지	MODIS Calibrated Radiances 자료 (MOD/MYD021KM)
	LST(Land Surface Temperature) 자료 (MOD/MYD11_A1)
	MODIS Brightness temperature
산불연소지 탐지	MODIS 반사율 자료 (MOD/MYD09GHK)
	MODIS 토지피복분류 자료 (MOD/MYD12_Q1)
	FRAMES 분광라이브러리 자료
산불공통사용	MODIS의 기하학적 정보 (MOD/MYD03)
	MODIS 구름 마스크 자료 (MOD/MYD35_L2)
	ASTER 분광라이브러리 자료
비교/검증 자료	MODIS 진행산불 탐지 자료 (MOD/MYD14)
	산불정보시스템자료

### 연구 방법

본 연구의 소규모 산불 탐지 알고리즘은 크게 두 가지로 나뉜다. 우선, 산불이 발생하여 연기가 발생하거나, 화염이 발생하는 진행산불의 탐지와 산불 진화 후 산불의 피해 범위인 연소지 탐지가 병행된다. 본 알고리즘은 보다 탐지 정확도를 향상시키기 위해 진행산불과 연소지 모두 후보지(potential pixel)를 산출 후 혼합화소분석기법을 적용하는 방식을 취하고 있다.

우선 진행산불 탐지에 앞서, 제시된 진행산불 알고리즘을 전체 영상에 적용하기 보다는 탐지 정확도와 처리의 효율성을 향상시키는 방안으로 진행산불의 탐지에 진행산불 후보지(potential pixels of active fire)를 정의하는 방법이 제시되었다. 이를 위해 국내의 소규모 산불에 맞게 휘도 온도를 식 1과 2와 같이 낮춰 사용하였다.

$$BT_{4\mu m} > 305 K \dots\dots\dots \text{식 1}$$

$$BT_{4\mu m} - BT_{11\mu m} > 7K \dots\dots\dots \text{식 2}$$

진행산불의 경우 연기가 발생하거나 화염의 형태로, 연소지와는 다르게 매우 작은 공간적 규모로 분포하게 된다. 이와 같은 공간해상도의 제약점을 해결하는 방안으로 혼합화소분석기법이 사용된다. 각 구성요소는 진행산불, 식생, 토양으로 구성되어졌다. 각 구성요소의 radiance값을 추정하기 위해 MODTRAN 복사전달모델을 사용하였으며, 이 추정된 radiance값과 MODIS radiance값을 혼합화소분석모델에 입력하였다. 진행산불 탐지를 위한 혼합화소분석모델은 비선형 모델로, 진행산불의 radiance는 산불 온도의 함수로 표현되어진다. 이 비선형모델을 풀기위해, 열적외선밴드 4개와, 근적외선 1개, 중적외선 1개 밴드를 사용하였다. 이를 통해 진행산불, 식생, 토양의 면적비율과 산불의 온도 값이 산출된다.

위의 혼합화소 분석기법 과정을 통해 토양, 식생, 진행산불에 대한 면적비율 영

상들이 제작된다. 이와 함께 산불 온도에 대한 정보도 제공된다.

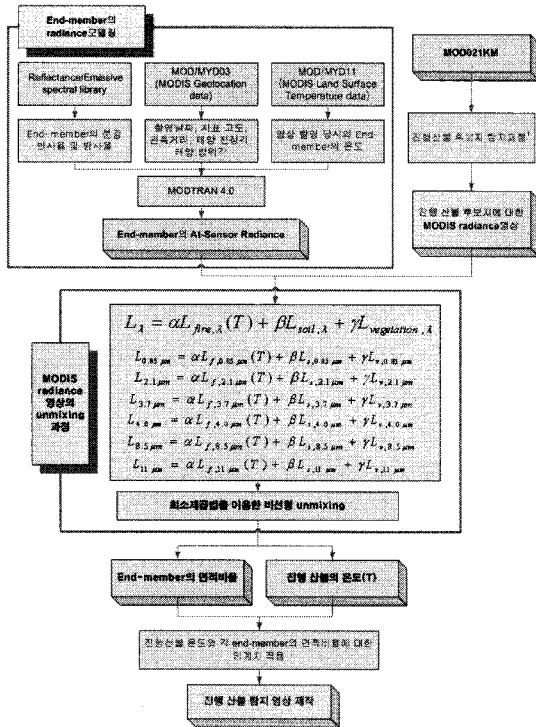


그림 1. 진행산불의 비선형 혼합화소분석 과정

본 연구에서는 진행산불 후보지에 대한 면적비율영상과 온도영상에 식 3, 4와 같은 조건을 두어 진행산불 화소를 정의하였다.

$$640^{\circ} K < T_{fire} < 1800^{\circ} K \dots \text{식 3}$$

$$fraction_{soil} < fraction_{veg} \dots \text{식 4}$$

산불 연소 후보지(potential pixels of burned area)를 정의하기 위해 산불 발생 전후 반사율 차이를 이용하였으며, 기존 연소지역 탐지에 사용하였던 식생지수 중

가장 정확도가 높은 NBR(Normalized Burned Ratio)를 사용하였다.

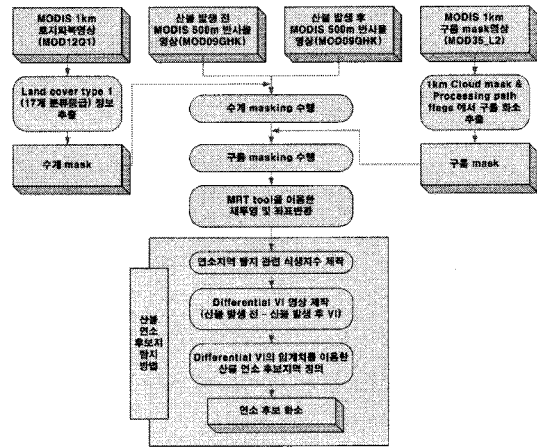


그림 2. 시계열 MODIS 영상을 이용한 산불 연소 후보지 탐지 방법

다음 그림 3은 위의 과정에서 정의된 산불 연소 후보지에 대해 혼합화소분석을 적용한 과정을 보여 주고 있다. 본 연소지의 경우 토양, 식생, 완전 연소지, 불완전 연소지를 순수 구성성분으로 정의하였다. 이 순수 구성성분의 면적비율을 산출하기 위하여, MODIS의 반사율 영상 중 5개의 밴드를 사용하였다. 순수 구성성분의 분광 반사율은 기존의 분광라이브러리 자료에서 획득하여 사용하였으며, 선형 연립방정식의 형태로 혼합화소분석기법을 적용하였다. 위의 과정을 통해 각각의 순수 구성성분인 토양, 식생, 연소지에 대한 면적비율 영상들이 제작된다.

이 때 이 결과물에 식 5와 식 6의 조건식을 주어 최소 1ha이상의 연소지를 최종 정의 및 탐지하였다.

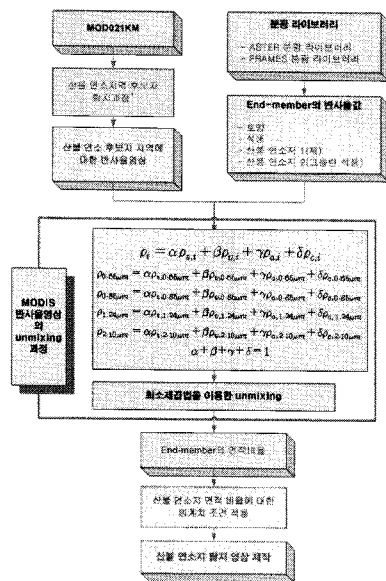


그림 3. 소규모 연소지 탐지를 위한 혼합화소분석과정

$$f_{soil} < f_{veg} + f_{ash} + f_{charred} \dots\dots\text{식 5}$$

$$f_{ash} + f_{charred} > 0.01 \dots\dots\text{식 6}$$

소규모 산불 탐지 결과

표 2에서는 2005년 4월 MODIS 자료에 혼합화소분석기법을 적용한 결과를 보여주고 있다. 혼합화소분석기법을 이용한 산불 탐지 알고리즘은 71.43%의 산불 탐지 정확도를 보였으며, 이와 함께 오탐지율도 33.3%으로 현저하게 낮게 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 낮은 산불 정확도의 M\*D14에 비해 향상된 결과를 보여주고 있다. 따라서 이를 통해 낮은 오탐지율을 유지하면서 상대적으로 높은 산불 탐지 정확도로 소규모 산불 탐지가 가능하게

되었다.

위에서 제시된 산불 연소 후보지에 대해 선형 혼합화소분석기법을 사용하였다. 이를 식생과 연소지의 면적비율이 토양의 면적비율보다 크고, 탐지되는 최소 연소지 면적을 1ha로 두어 연소지 탐지 영상을 제작하였다. 표 3에서와 같이 74.36%의 탐지율을 보이고 40.2%라는 오탐지율을 보이고 있다. 진행산불의 정확도와 비교할 때 연소지 탐지 시 더 높은 오탐지율을 보이는 것을 볼 수 있다. 이는 진행산불이 각 구성물질의 면적비율 정보뿐만 아니라 산불 온도정보도 제공하여 보다 정확한 진행산불 탐지가 가능하기 때문이다. 반면에 연소지의 경우 산불 전과 후, 두 시기 자료를 사용하는데 있어 두 자료의 상대 위치오차나 기상자료의 차이, 자료의 광학적 질 차이와 같은 산불 외 다른 외부 조건차이에 대해 영향을 받기 때문이다.

표 2. 2005년 4월 소규모 산불 탐지 결과

종류	발생 산불 수	혼합화소분석기법		
		총탐지	정탐지	오탐지
산불	14	15	10	5
연소지	156	194	116	78
산불 정확도		탐지율 = 10/14 = 71.43% 오탐지율 = 5/15 = 33.3%		
연소지 정확도		탐지율 = 116/156 = 74.36% 오탐지율 = 78/194 = 40.2%		

2004년 4월 자료는 진행산불의 경우, 68.75%의 탐지율과 31%의 오탐지의 경우

31%값을 나타내었으며, 연소지의 경우 71.84%의 탐지율과 47.1%의 오탐지율을 나타내었다. 적용 결과 2004년, 2005년 4월 자료에서 모두 70% 정도의 탐지율을 보여주고 있다.

#### 결론

본 논문에서는 MODIS 산불 탐지 알고리즘에서 탐지하지 못한 소규모 산불을 대상으로 진행산불과 연소지를 탐지하였다. 이를 위해 기존의 산불 탐지 기법이 아닌 소규모 산불 탐지를 위한 새로운 탐지 기법을 개발하였다. 또한 진행산불과 연소지는 서로 다른 분광 정보를 이용하여 탐지하므로 두 과정을 각각 나눠 진행하였으며, 각 산불 후보지를 정의하고 그 후보지에 대해 혼합화소분석기법을 적용하는 두 단계의 처리 과정을 제시하였다. 이는 보다 정확한 산불 탐지의 혼합화소분석 결과를 산출하였다. 그러나, 본 연구는 산불이 자주 발생하는 4월 시기의 남한지역에만 국한되어 적용되었다. 따라서 향후 연구에서는 여러 시기와 여러 지역에 대한 본 알고리즘의 적용성을 검증할 예정이며, 각 시기 및 지역에 따라 보다 정확하게 소규모 산불을 탐지하기 위해 본 알고리즘을 조정할 예정이다.

#### 사사

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제 (과제번호 : 07국토정보C03)의 연구비지원

에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

김선영, 이병두, 이시영, 정주상, 2005. 산불통계자료를 이용한 산불위험지수 고찰, 한국농림기상학회지, 7권(4호):235-239.

박우진, 허용, 유기윤, 김용일, 2005. Contextual 산불 탐지 기법의 한반도지역 최적화에 대한 연구, 한국 GIS학회 추계 학술대회.

국립산림과학원, 2006. 극다중분광 영상자료의 산림정보해석 및 활용기법 개발

Agee, J. K., 1993. Fire ecology of Pacific Northwest forests. Washington DC, Island Press, pp. 493.

Giglio, L., J. Descloitres, C. O. Justice and Y. J. Kaufman, 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS, Remote Sensing of Environment, Vol.87:273-282.

Miettinen, J. 2007. Variability of fire-induced changes in MODIS surface reflectance by land cover type in Borneo. International Journal of Remote Sensing (In press).

Kaufman, Y. and C. O. Justice, 1998. Algorithm Technical Background Document, MODIS Fire Products (Versions 2.2 Nov 10 1998) EOS ID#2741