

MODIS 위성자료를 이용한 한반도 산불발생 GIS 데이터베이스 구축*

이수진** · 원명수*** · 장근창**** · 이병두***** · 변상우***** · 김광진***** · 이양원*****

Construction of GIS Database for Wildfire in the Korean Peninsula Using MODIS Data*

Soo-Jin Lee** · Myoungsoo Won*** · Keunchang Jang**** · Byungdo Lee***** · Sangwoo Byun***** · Kwangjin Kim***** · Yang-Won Lee*****

요약 : 최근 기후변화에 따라 전 세계적으로 큰 규모의 산불 발생이 증가하고 있으며, 우리나라도 산불발생이 전반적으로 증가하는 경향을 보인다. 최근 우리나라와 인접한 북한에서 발생한 산불이 비무장 지대 등의 국내 영토로 번지는 사건이 많이 발생하고 있다. 우리나라에서는 오픈 API(application programming interface)를 통하여 과거 산불발생 기록을 검색할 수 있으나 행정기관에서 수집한 자료여서 국내 지역으로 정보가 국한되어 있다. 이에 본 연구에서는 접근불능지역인 북한을 포함한 한반도의 산불발생에 대한 장기 시계열 정보를 생산하기 위하여 2000년부터 2015년까지의 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 위성자료를 수집 및 재가공하여 일자별 산불발생 현황의 GIS 데이터베이스를 구축하고자 한다. 데이터베이스 구축을 위한 입력자료로서 Terra 위성의 MOD14A1 산출물과 Aqua 위성의 MYD14A1 산출물을 사용하였으며, 16년간의 일자별 영상을 일괄작업으로 재처리하여 산불의 발생일자, 발생 위치, 탐지 신뢰도, 방사열 에너지(fire radiative power: FRP) 등의 정보를 추출하고 이들을 결합하여 Shapefile 형태로 생성하였다. 본 연구에서 구축한 장기시계열 GIS 데이터베이스는 다른 연구자들에 의해 한반도 산불정보의 시공간 특성 분석에 활용될 수 있으며, 이를 위하여 인터넷에 결과 파일을 탑재하여 자유롭게 다운로드 가능하도록 하였다.

주요어 : 위성원격탐사, MODIS, 산불탐지, 북한, GIS 데이터베이스

Abstract : In response to recent climate change, the occurrences of large-scale wildfire are increasing around the world, and the wildfires in South Korea also tends to increase as well. Recently, many wildfires which occurred in North Korea have spread to the territory of South Korea including the demilitarized zone. The records of past wildfire occurrences can be retrieved by using an open API (application programming interface), but only domestic wildfire cases are provided because they are collected by administrative agencies. For this reason, we built a GIS database of daily wildfire occurrences by reprocessing MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for the period of 2000-2015 in order to create long-term time-series wildfire dataset of the Korean Peninsula including North Korea. We used MOD14A1/MYD14A1 products of Terra/Aqua satellites for extracting wildfire information such as occurrence location, reliability of detection, and fire radiative power, which were written in the Shapefile format. Our GIS database can be utilized by other researchers to analyze the spatio-temporal characteristics of wildfire in the Korean Peninsula, so the data files are provided on the web for free download.

Key Words : Satellite remote sensing, MODIS, Wildfire detection, North Korea, GIS database

*이 논문은 한국연구재단의 글로벌연구실사업(NRF-2011-0021927)의 지원을 받아 수행된 연구임.

**부경대학교 지구환경시스템과학부 박사과정(Ph. D. Student, Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University, love2002911@gmail.com)

***국립산림과학원 기후변화연구센터 연구관(Senior Researcher, Center for Forest and Climate Change, National Institute of Forest Science, forestfire@korea.kr)

****국립산림과학원 기후변화연구센터 연구사(Researcher, Center for Forest and Climate Change, National Institute of Forest Science, kcjang@korea.kr)

*****국립산림과학원 산림방재연구과 연구관(Senior Researcher, Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, byungdoo@korea.kr)

*****산림청 정보통계담당관실 주무관(Assistant Director, ICT Management and Statistics Division, Korea Forest Service, sangwoo@korea.kr)

*****부경대학교 지구환경시스템과학부 박사과정(Ph. D. Student, Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University, somakkj@gmail.com)

*****부경대학교 공간정보시스템공학과 부교수(Associate Professor, Department of Spatial Information Engineering, modconfi@pknu.ac.kr)

I. 서론

최근 기후변화에 따라 전 세계적으로 큰 규모의 산불 발생이 증가하고 있으며(산림청, 2009; Westerling *et al.*, 2006) 우리나라에서도 산불발생이 전반적으로 증가하는 추세이다(성미경 등, 2010; 조명희, 2015; 산림청, 2016). 우리나라의 산불은 기온이나 강수량과 같은 기상 요인의 영향을 크게 받아, 건조한 봄(3월~5월)에 가장 많이 발생하고 겨울(12월~2월), 가을(9월~11월), 여름(6월~8월) 순으로 산불 발생이 감소하는 특징이 있다(산림청, 2016). 국내 산불의 원인은 계절적인 영향뿐만 아니라 입산자에 의한 실화, 논 및 밭 소각, 쓰레기 소각 등 다양하며(산림청, 2016), 최근에는 우리나라와 인접한 북한에서 발생한 산불이 비무장지대 등의 국내 영토로 번지는 사건이 많이 발생하고 있다(원명수 등, 2012; 연합뉴스, 2013; MBC, 2015).

국내 산불은 주민 신고 이외에도 산불감시탑, 무인감시카메라, 항공기 등 지상 및 공중의 다양한 수단으로 탐지되고 있으며, 산림청의 산불정보 오픈 API (application programming interface) 서비스는 인터넷 URL (uniform resource locator)에 입력한 인증기를 통하여 산불 발생 일시, 발생 장소, 피해 면적 등의 정보를 제공하고 있다. 그러나 제공되는 정보의 범위가 국내에 국한되어 있어 직·간접적으로 영향을 줄 수 있는 북한 등의 산불 정보는 포함되지 않는다. 북한과 같은 접근불능지역은 관측자료 획득이 어렵기 때문에(사공호상·박진형, 2005; 박흥기, 2009), 산불위험도 계산이나 실시간 산불 모니터링이 쉽지 않다. 따라서 위성원격탐사를 활용한 산불탐지의 필요성이 대두되고 있으며, 이와 관련한 데이터 생산 및 제공의 중요성이 강조되고 있다(김구 등, 2014).

위성을 이용한 산불 관측은 광역적인 범위에 걸쳐 준 실시간 모니터링이 가능하다는 장점을 가지며, 북한과 같이 접근이 불가능한 지역의 산불탐지도 가능하게 한다. 국외에서는 미 NASA (National Aeronautics and Space Administration)의 Terra/Aqua 위성, NPP (National Polar-orbiting Partnership) 위성, 미 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)의 GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites)의 MSG (Meteosat Second Generation) 위성을 이용하여 산불탐지 산출물을 제공하고 있다.

또한 국외에서는 위성의 산불탐지 자료를 이용하여 산불 지리정보시스템을 구축 및 운영 중에 있다. 산불이 매우 빈번히 발생하는 아프리카의 경우, CSIR (Council for Scientific and Industrial Research)에서는 AFIS (Advanced Fire Monitoring

System)를 통하여 극궤도 및 정지궤도 위성들을 이용하여 전 지구의 산불발생 상황을 준실시간으로 제공하고 있다 (<http://southernafrica.afis.co.za>). 미국 IIS (Incident Information System) 사이트(<http://inciweb.nwgc.gov>)는 자국내 산불발생 정보를 웹 서비스하고 있으며, 미국 GFW (Global Forest Watch)는 위성자료 기반의 전지구 산불 정보시스템을 구축하여 베타버전을 운영하고 있다(<http://fires.globalforestwatch.org/map>). NASA에서는 NPP 위성의 VIIRS (Visible Infrared Imager Radiometer Suite) 센서를 이용하여 탐지한 전지구 산불자료를 웹지도에 표출하고 있으며, 발생일자과 위치정보가 기록된 자료를 일자별로 제공하고 있다(<http://viirsfire.geog.umcd.edu>). 캐나다에서는 CWFIS (Canadian Wildland Fire Information System)를 구축하여 다중위성 기반의 산불 M3 (monitoring, mapping, and modeling) 정보를 제공하고 있다(<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca>).

우리나라의 경우 오픈 API를 통하여 과거 산불발생 기록을 검색할 수 있으나, 행정기관에서 수집한 자료여서 국내 지역으로 정보가 국한되어 있다. 이에 본 연구에서는 접근불능지역인 북한을 포함한 한반도 산불발생의 장기 시계열 정보를 생산하기 위하여 2000년부터 2015년까지의 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 위성자료를 수집 및 재가공하여 일자별 산불발생 현황의 GIS 데이터베이스를 구축하고자 한다. 본 연구에서 구축한 장기 시계열 데이터는 다른 연구자들에 의해 한반도 산불발생의 시공간 특성 분석에 활용될 수 있다. 데이터베이스 구축을 위한 입력자료로서 Terra 위성의 MOD14A1 산출물(https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod14a1)과 Aqua 위성의 MYD14A1 산출물(https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/myd14a1)을 사용하였으며, 16년 간의 일자별 영상을 일괄작업으로 재처리하여 산불의 발생일자, 발생 위치, 탐지 신뢰도, 방사열 에너지 (fire radiative power: FRP) 등의 정보를 추출하고 이들을 결합하여 Shapefile 형태로 생성하였다. 한반도 산불발생의 시공간 분석에 이 데이터가 활용될 수 있도록 결과물 Shapefile을 인터넷에 탑재하여(<http://gis618.cafe24.com/wildfire.html>) 자유롭게 다운로드 가능하도록 하였다.

II. 자료와 방법

1. 연구지역 및 위성자료

연구지역은 북한을 포함한 한반도이며, 2000년 2월부터

2015 12월까지 16년간의 MODIS 산불 산출물인 MOD14A1 와MYD14A1 자료를 이용하였다(표 1). 일반적으로 산불은 4 마이크로 중적외 파장대에서는 매우 높은 휘도온도를 나타내지만, 11마이크로 열적외 파장대에서는 약간 높은 정도의 휘도온도를 보이는데, MODIS 산불탐지는 이러한 분광특성에 기초하여 이루어진다(Giglio *et al.*, 2003). 산불탐지 산출물은 1일 간격의 자료이며 공간해상도는 1 km인데, 1 km 픽셀에서는 피해면적 1 ha 이상의 산불이 탐지 가능한 것으로 알

표 1. MODIS의 산불 산출물

산출물	플랫폼	공간해상도	시간해상도
MOD14A1	Terra	1 km	1일(자료산출은 8일마다)
MYD14A1	Aqua	1 km	1일(자료산출은 8일마다)

표 2. MOD14A1/MYD14A1의 자료항목(Giglio, 2013)

자료명	설명		
FireMask	0	입력자료 부재	
	1	미처리	
	2	미처리	
	3	물	
	4	구름	
	5	산불 아님	
	6	알 수 없음	
	7	산불(신뢰도 낮음)	
	8	산불(신뢰도 보통)	
9	산불(신뢰도 높음)		
QA	지면상태	00	물
		01	해안
		10	육지
		11	알 수 없음
	주야구분	0	야간
		1	주간
MaxFRP	산불 방사열에너지 최대치(MW/km ²)		

려져 있다(김선화, 2009). 자료는 MODIS 타일마다 HDF (Hierarchical Data Format) 파일로 구성되어 있으며, 하나의 파일에는 8일치의 정보가 포함되어 있다. 한반도를 포함하는 타일인 h26v04, h27v04, h27v05, h28v04, h28v05, h29v05 를 수집하였으며, 이 자료는 구분코드(FireMask), 자료 품질 (quality assurance: QA), 최대 방사열에너지(maximum fire radiative power: MaxFRP) 등의 항목으로 이루어져 있다(표 2). FireMask 필드에는 해당 픽셀이 산불인지 아닌지, 아니라면 물인지 구름인지 등의 구분 정보가 들어있고, 산불픽셀의 경우 탐지신뢰도가 7, 8, 9로 표시된다. QA 필드에는 해당 픽셀의 지면상태 및 주야구분코드가 기록되어 있다. FRP는 산불에서 방사되는 열에너지를 평방킬로미터당 메가와트(MW/km²)로 계산한 값으로서(Giglio, 2013; Kim *et al.*, 2016), MaxFRP 필드는 산불 픽셀의 FRP 최대치를 나타낸다.

2. 벡터지도

남한과 북한을 포함한 한반도 전체에 대한 산불 데이터베이스를 구축하기 위하여 국가경계선 벡터지도를 사용하였으며, 또한 구축된 데이터베이스로부터 산불발생의 지역적 분포특성 및 임상에 따른 분포특성을 탐색하기 위하여 행정구역지도와 수치임상도를 활용하였다.

3. DB 테이블 구성

데이터베이스 테이블은 표 3과 같이 8가지 필드로 구성하였다. ModisInfo 필드는 산불 픽셀이 발견된 MODIS 파일에 대한 정보를 담고 있고, YYYYMMDD 필드는 불이 난 날짜이다. 일반적으로 MODIS 위성자료에는 1월 1일부터 12월 31일까지를 일련번호로 표현하는 줄리언 데이(Julian day) 형식으

표 3. DB 테이블의 필드 구성

필드명	예시	필드 정보	
ModisInfo	MOD14A1.A2000049.Days_02	산출물번호.연도+줄리언데이(시작날짜).Days_N(시작날짜로부터 N일후)	
YYYYMMDD	20000219	년월일	
Lat	37.517166	위도	
Lon	127.49917	경도	
FireMask	9	7	산불(신뢰도 낮음)
		8	산불(신뢰도 보통)
		9	산불(신뢰도 높음)
MaxFRP	300.5	산불 방사열에너지 최대치(MW/km ²)	
SurfaceState	coast	관측 지면상태 (water/coast/land)	
DayNight	clay	주야 구분(day/night)	

로 날짜가 기록되기 때문에, 줄리언 데이로부터 날짜를 계산하여 년월일 형식으로 변환하였다. 필드 Lat과 Lon는 각각 산불 지점의 위도와 경도를 말하며, MaxFRP 필드는 산불 방사열에너지의 최대치를 나타낸다. 또한 SurfaceState 필드는 지면상태, 그리고 DayNight 필드는 주야구분 정보를 담고 있다.

4. DB 구축을 위한 자료처리

데이터베이스 구축을 위한 처리 과정은 그림 1과 같다. 16년간 일자별로 수집된 타일별 HDF 파일들은 MRT (MODIS Reprojection Tool)를 이용하여 가공 처리하였다. 한반도 영역을 포함하는 위도(33-43 °N) 및 경도(124-132 °E)와 투영법, 픽셀 크기 등을 설정하여 WGS84 (World Geodetic System 1984) 좌표계의 공간해상도 1 km인 한반도 영역의 FireMask, MaxFRP, QA 자료와 위도, 경도를 추출하였다.

산불발생 일자는 줄리언 데이로부터 변환하여 기록하였으며, FireMask 값이 7, 8, 9에 해당하는 산불픽셀만 취합하여 표 3에 해당하는 DB 항목들을 CSV (comma separated value) 형태로 저장하였다. 이 중에서 한반도 영역에 포함되는 케이스만 필터링하기 위하여 GIS 공간연산(point-in-polygon operation)을 수행하였으며 최종적으로 연도별 분류를 통해서 각 연도별 한반도, 남한, 북한의 산불발생 정보를 포인트 Shapefile로 생성하였다.

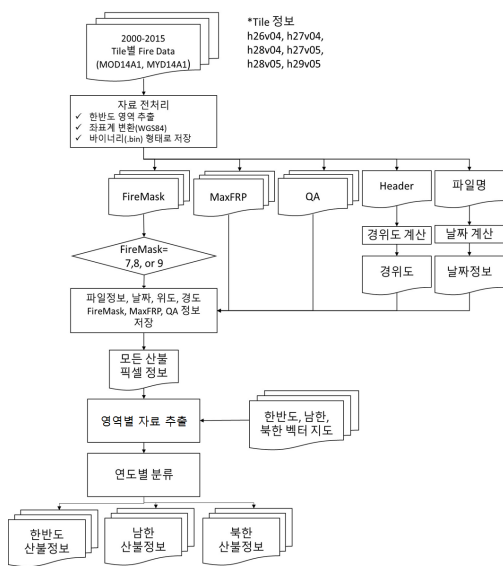


그림 1. DB 구축을 위한 자료처리 과정

5. DB 탐색

구축된 GIS 데이터베이스는 한반도의 2000-2015년 산불 발생 자료를 포함하므로, 시공간에 따른 산불정보 분석에 활용될 수 있다. 본 연구에서는 그 일례로서 한반도, 남한, 북한 지역에 대한 시공간적 산불 발생의 특성을 살펴보고자 한다. 시간에 따른 자료 탐색에서는 년, 월, 주야로 구분하여 16년간 발생한 산불 픽셀 수를 집계 및 비교하였다. 공간에 따른 자료 탐색에서는 행정구역별 남북한 산불발생 경향을 살펴보고 남한의 경우 1/25,000 수치입상도와와의 중첩분석을 수행하였다.

III. 연구 결과

1. 산불 DB 구축

MODIS 위성자료를 이용하여 포인트 Shapefile로 구축된 한반도의 산불정보는 산불이 발생한 지점에 대한 일자, 위치, 탐지신뢰도, 지면상태, 주야구분, 방사열에너지 등을 포함하



그림 2. 연도별 한반도 산불발생 지점(2000-2015)

고 있다. 그림 2는 2000년부터 2015년까지 한반도 산불발생 지점을 한반도 지도 위에 중첩하여 표출한 것이다.

2. 시간에 따른 DB 탐색

2.1 연도별 특성

2000-2015년에 남한 및 북한에서 발견된 산불픽셀 수는 20.7%, 79.3%로서(픽셀 개수로는 각각 1,349개, 6,516개) 남한보다 북한에서 산불이 더 자주 발생하는 것으로 나타났다(그림 3). 16년 간 남한과 북한의 산불픽셀 수의 표준편차는 385.18개, 3,776.44개로서, 북한의 경우 연도에 따라 산불발생 정도의 차이가 상당히 컸으나, 남한은 연간 산불발생 정도의 편차가 그다지 크지 않은 것으로 보인다. 이러한 차이는 가뭄과 일정정도 연관성이 있을 것으로 사료되며, 북한의 산불이 2014년에 가장 많이 발생한 것은 그해의 극심한 가뭄(기상청, 2015) 현상에 의한 것으로 해석할 수도 있다.

2.2 월별 특성

그림 4는 16년 간 월별로 집계한 산불픽셀 수를 보여준다. 특징적으로 12개월 중 3월부터 5월까지의 산불이 남한은 49%, 북한은 86%를 차지하여, 남북한 모두 건조한 봄에 산불이 많은 발생하는 것으로 집계되었다. 특히 4월에 가장 많은

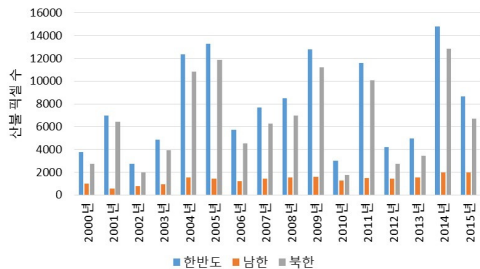


그림 3. 연도별 산불픽셀 수(2000-2015)

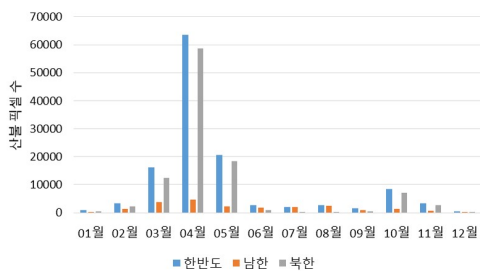


그림 4. 월별 산불픽셀 수(2000-2015)

산불픽셀이 발견되었으며, 이러한 경향은 남한보다 북한에서 더 뚜렷하게 나타났다.

남한은 봄(10,548개), 여름(6,256개), 가을(2,986개), 겨울(1,789개) 순으로 산불 픽셀수가 분포하였으며, 이것은 우리나라에서 일반적으로 봄, 가을, 겨울, 여름 순으로 산불 발생 비율이 감소한다는 분석 결과(산림청, 2016)와는 다소 차이가 있다. 탐지 신뢰도가 가장 높은(9) 경우만 집계하였을 때에는 봄(1,465개), 겨울(131개), 여름(56개), 가을(47개)의 순으로 나타났다. 본 연구에서는 픽셀 단위로 집계하는 방식을 취하였고, 또한 구름이 많은 여름철에는 오탐지의 영향이 일부 있었을 것으로 사료된다. 북한은 봄(89,652개), 가을(10,461개), 겨울(3,023개), 여름(1,121개) 순으로 산불 픽셀 수가 감소하였다.

2.3. 주야간별 특성

남한과 북한의 산불픽셀 수의 비율은 각각 주간 90.4%(19,502개), 89.5%(93,270개), 야간 9.63%(2,077개), 10.54%(2,077개)로서, 공통적으로 주간의 산불픽셀이 많은 것으로 나타났다(그림 5). 남한에서 최근 10년 간(2006-2015년) 시간대별 산불발생 비율이 오전(6-10시) 7%, 정오(11-13시) 33%, 오후(14-18시) 48%, 야간(19-05시) 12%로서(산림청, 2016) 주간에 88%의 산불이 발생하였다는 분석결과와 거의 일치한다.

3. 공간에 따른 DB 탐색

3.1. 행정구역별 특성

남한에서 16년간 시도별 산불픽셀 수는 강원도가 4,450개(20.7%)로 가장 많았으며(그림 6), 특히 동해시의 산불픽셀 수가 2,396개로서 강원도 내에서도 가장 많은 것으로 나타났다(그림 7). 16년 간 시군구별 산불픽셀 수는 동해시에 이어 충남 당진

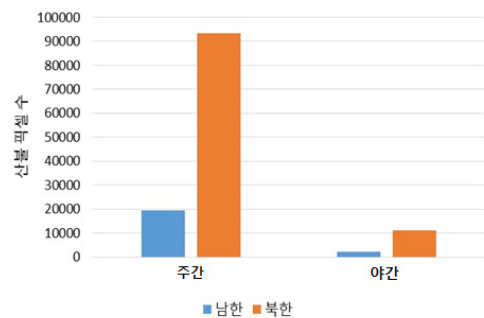


그림 5. 주간/야간에 따른 산불픽셀 수(2000-2015)

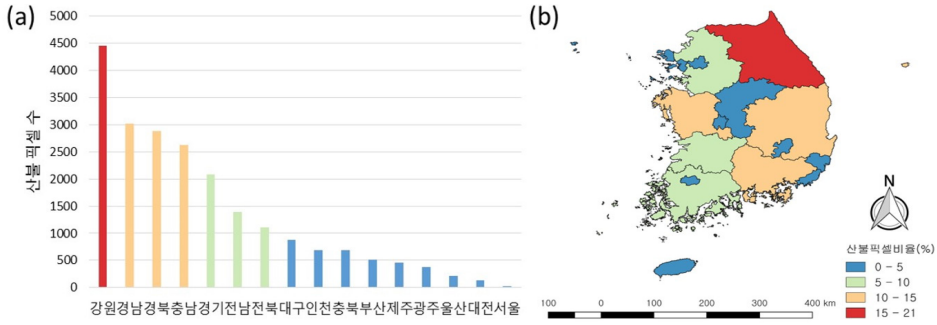


그림 6. 남한 시도별 산불 분포(2000-2015): (a) 픽셀 수, (b) 픽셀 비율

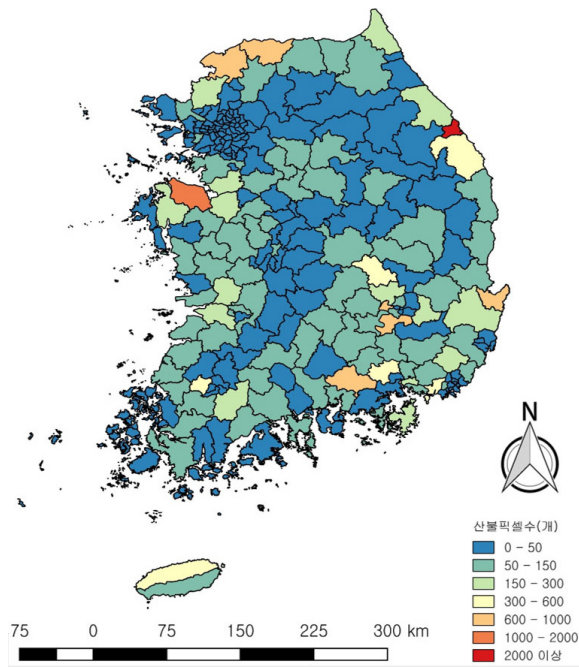


그림 7. 남한 시군구별 산불픽셀 수(2000-2015)

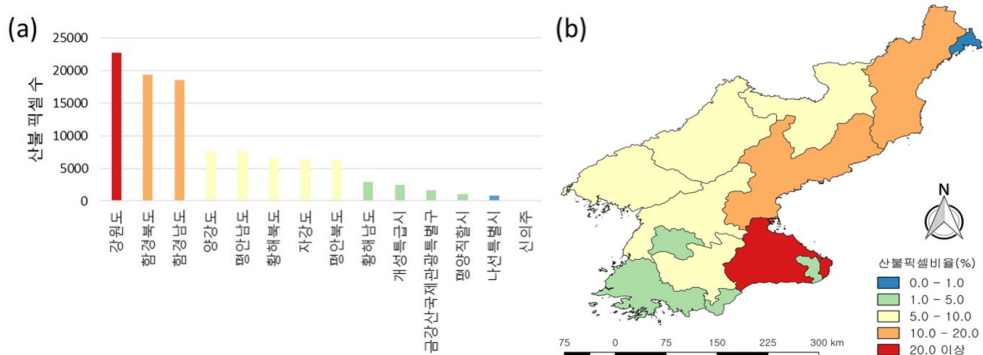


그림 8. 북한 시도별 산불 분포(2000-2015): (a) 픽셀 수, (b) 픽셀 비율

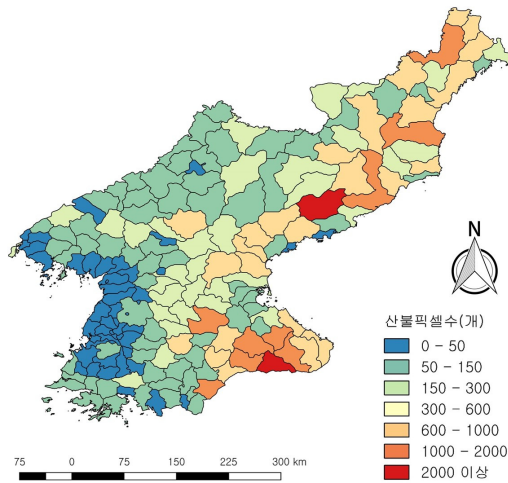


그림 9. 북한 시군구별 산불픽셀 수(2000-2015)

표 4. 임상분류에 따른 산불 픽셀 수(2000-2015)

임상 종류		16년간 산불 픽셀 수	16년간 산불 픽셀 비율	
비산림		14,575	-	
산림		5,617	-	
산림 종류	소나무림	22.5%	1,655	29.5%
	침활혼효림	28.8%	1,547	27.5%
	활엽수림	26.7%	890	15.8%
	제지	1.2%	576	10.3%
	리기다소나무림	6.1%	408	7.3%
	낙엽송림	7.1%	156	2.8%
	잣나무림	3.5%	139	2.5%
	밤나무인공림	1.1%	63	1.1%
	침엽수 인공림	1.3%	61	1.1%
	활엽수 인공림	0.5%	48	0.9%
	소나무 인공림	0.3%	38	0.7%
	미립목지	0.3%	28	0.5%
	삼나무림	0.0%	3	0.1%
	포플러림	0.0%	2	0.0%
죽림	0.1%	2	0.0%	
참나무림	0.2%	1	0.0%	

시가 1431개로 두 번째로 높게 나타났다. 당진시에서는 2016년 11월 현재 산불감시요원을 동원하여 산불취약지역에 대한 순찰을 강화하고 있다(충청투데이, 2016).

북한의 경우에는 주로 동해안의 산불픽셀이 많이 발견되었으며 그중에서도 특히, 남한과 마찬가지로 강원도에서 21.9%의 높은 산불발생률을 보였다(그림 8). 북한의 강원도에서 집계된 16년간 산불픽셀 수는 22,793개로 우리나라 강원도의 약 5배에 해당하는 큰 수치이다. 또한 시군구별로 볼 때에도 산불픽셀 수가 1,000개 이상인 도시가 강원도에 많이 분포하는 것으로 나타났

(그림 9). 강원도는 남북한 영역 모두 높은 산림의 비율로 인해 산불 픽셀 수가 그만큼 많이 집계된 것으로 보인다. 시군구별 산불픽셀 수는 강원도 김화군이 3,290개로 가장 많았으며, 함경남도 덕성군이 3,078개로 두 번째로 높게 나타났다.

3.2 임상별 특성

분석에 사용된 수치임상도는 산림청에서 제공하는 1/25,000 축척의 자료로서, GIS 공간연산(point-in-polygon)을 활용하여 임상별 산불픽셀 수를 집계하였다. 남한에서는 소나무림과 침

활혼효림에서 가장 많은 산불픽셀이 집계되었다(표 4). 침엽수 계열의 소나무림은 수분함량이 적어 산불에 취약한 수종이며, 임상의 면적에 비해(22.5%) 산불발생이 많은 것으로(29.5%) 나타났다. 침활혼효림은 소나무림과 같은 침엽수림에 비해 산불 픽셀 수가 적게 집계되었지만, 활엽수림에 비해서 산불에 취약한 수종이다(안상현 등, 2005; 충북발전연구원, 2013). 또한 활엽수림은 임상의 면적에 비해(26.7%) 산불발생이 적은 것으로(15.8%) 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 접근불능지역인 북한을 포함한 한반도 산불 발생의 장기 시계열 GIS 데이터베이스를 구축하기 위하여, 2000-2015년의 일자별 MODIS 위성자료를 일괄적으로 재가공 처리하여 산불의 발생일자, 발생위치, 탐지신뢰도, 방사열 에너지 등의 정보로 구성된 포인트 Shapefile을 생성하였다. 이 데이터는 다른 연구자들이 한반도 산불정보의 시공간특성을 분석하는 데 활용할 수 있도록 인터넷을 통하여(<http://gis618.cafe24.com/wildfire.html>) 다운로드 가능하도록 하였다. 16년간 자료의 분석을 통해 산불취약지점이 발견된다면 향후 산불관리에 유용한 정보로 활용될 수 있을 것이며, 이러한 분석은 다양한 지형 및 기후 자료와 결합함으로써 그 부가가치가 향상될 수 있을 것이다.

데이터베이스 구축에 사용된 MODIS 자료는 극궤도위성인 Terra와 Aqua에서 산출된 것으로서, 이 두 위성이 동일지점을 재방문하는 것은 하루 4회(Terra 2회, Aqua 2회)이기 때문에 24시간 산불감시가 되지 않는 한계가 존재한다. 우리나라의 정지궤도 위성인 COMS (Communication, Ocean and Meteorological Satellite)나 일본의 정지궤도 위성인 히마와리(Himawari-8)는 한반도 영역을 10-15분 간격으로 상시 관측하고 있지만, 공식적인 산불탐지 산출물을 제공하지 않는다. 따라서 현재로서는 MODIS 자료를 활용하는 것이, 접근불능지역인 북한을 포함하여 한반도 전체의 2000년 이후 산불발생 정보를 연속 시계열로 취득할 수 있는 유일한 방법이라고 하겠다. 그러나 MODIS는 광학센서로서 구름을 투과하여 지면을 감지하지는 못하기 때문에 구름으로 인한 미탐지와 오탐지가 종종 발생한다. 따라서 실제 산불발생 자료와 MODIS 산출물 간의 면밀한 비교검증이 필요하며, 이때 산출물 내의 산불탐지 신뢰도에 따른 민감도 분석이 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

북한에서는 산림황폐지가 1999년 163만 ha에서 2008년 284만 ha로 증가하였으며(배재수, 2013) 빈번한 산불발생은 산림황폐화를 더욱 가속화시킬 것으로 보인다. 남한에서는 통신기반시설이 잘 갖추어져 있어서 산불 감시 및 신고가 체계적으로 이루어지고 있지만, 통신기반시설이 빈약한 민간인 통제보호구역이나 북한의 경우에는 향후 위성기반 산불탐지가 산림피해 경감에 기여할 수 있을 것이다.

이를 위해서는 산불탐지 알고리즘의 정확도 향상이 선행되어야 한다. 중적외선을 사용하는 위성기반 알고리즘에서는 예를 들어 바위 등에 의해 태양광반사가 심한 곳이나 공장 등에 의해 열이 많이 발생하는 곳에서 산불로 오인되는 경우가 종종 발생하는데, 이러한 오탐지 빈발지점을 DB화하여 레퍼런스로 활용할 필요가 있다. 또한 고해상도 SAR (synthetic aperture radar) 등 다른 위성 센서를 이용하여 광학센서의 단점을 보완하는 것이 위성기반 산불탐지에 있어 중요한 향후 과제가 될 것이다.

우리나라는 2004년부터 현재까지 동북아시아 산불네트워크 의장국으로서, 동북아 여러 국가에 위성기반 산불정보를 제공하기 위하여 노력하고 있다(산림청, 2013). 이를 위하여 MODIS뿐 아니라 새로운 극궤도 위성인 NPP, 그리고 정지궤도 위성인 COMS와 히마와리 등 가용한 모든 위성을 공동 활용하여 산불정보 DB 구축 및 산불 지리정보시스템을 개발함으로써 동북아 산림재해에 대한 공동 대응체계가 마련되기를 기대한다.

참고문헌

- 기상청, 2015, 「2014 이상기후 보고서」, 서울: 닥터페이지퍼.
- 김구·김형우·이수진·이호상·이양원, 2014, “위성자료를 이용한 한반도 산불정보 하이브리드 앱의 구현 및 활용,” 한국지도학회지, 14(3), 29-39.
- 김선화, 2009, “MODIS 영상을 이용한 소규모 산불 탐지 기법 개발,” 인하대학교 박사학위 논문.
- 박흥기, 2009, “접근불능지역 공간정보 구축방안에 관한 연구,” 한국측량학회지, 27(6), 749-760.
- 배재수, 2013, “북한 산림황폐지 복구를 위한 REDD 메커니즘 사전 검토,” 한국임학회지, 102(4), 491-498.
- 사공호상·박진형, 2005, “SPOT-5 위성영상을 이용한 북한지역 지리정보 구축에 관한 연구,” 한국지리정보학회지, 8(4), 134-142.

- 산림청, 2009, 「기후변화와 산림」, 대전: 산림청.
- 산림청, 2013년 10월 24일, “아시아 21개국 산불네트워크, 지
구촌 지키는 힘”.
- 산림청, 2016, 「2015년 산불통계 연보」, 대전: 샘문화.
- 성미경·임규호·최은호·이운영·원명수·구교상, 2010, “기후
변화에 따른 한반도 산불 발생의 시공간적 변화 경향,” 대
기, 20(1), 27-35.
- 안상현·원명수·김동현·강영호·이명보·이시영, 2005, “의성
군지역 산불발생 및 대형화 위험지역 구분,” 한국지리정
보학회지, 8(2), 117-124.
- 연합뉴스, 2013년 4월 14일, “DMZ 산불 재발화...헬기·인력
투입 남하 저지”.
- 원명수·이명보·이우균·윤석희, 2012, “디지털예보자료와
Daily Weather Index (DWI) 모델을 적용한 한반도의
산불발생위험 예측,” 한국농림기상학회지, 14(1), 1-10.
- 조명희, 2015, “공간영상 GIS 기술을 이용한 산불정보 관리,”
한국방재학회지, 15(5), 28-34.
- 충북발전연구원, 2013, “충청북도 산불발생 특성 및 대응정책
수립방향,” 정책이슈분석, 1-46.
- 충청투데이, 2016년 11월 15일, “당진시산불 특별대책기간운영”.
- MBC, 2015년 3월 24일, “북한 측 비무장지대 산불 밤새 확산...
진화 어려움”.
- Giglio, L., 2013, *MODIS Collection 5 Active Fire Product User's
Guide Version 2.5*, [http://modis-fire.umd.edu/files/MODIS
_Fire_Users_Guide_2.5.pdf](http://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_Fire_Users_Guide_2.5.pdf).
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O., and Kaufman,
Y.J., 2003, An enhanced contextual fire detection
algorithm for MODIS, *Remote Sensing of
Environment*, 87(2-3), 273-282.
- Kim, D., Cho, J., Hong, S., Lee, H., Won, M., Byun, S.,
Park, K., and Lee, Y.W., 2016, First retrieval of fire
radiative power from COMS data using the
mid-infrared radiance method, *Remote Sensing
Letters*, 8(2), 116-125.
- Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R., and
Swetnam, T.W., 2006, Warming and earlier spring
increase western US forest wildfire activity, *Science*,
313(5789), 940-943.
- Advanced Fire Information System, [http://southernafrica.
afis.co.za](http://southernafrica.afis.co.za).
- Canadian Wildland Fire Information System, [http://cwfis.
cfs.nrcan.gc.ca](http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca).
- Global Forest Watch [http://fires.globalforestwatch.
org/map](http://fires.globalforestwatch.org/map).
- Incident Information System, <http://inciweb.nwgc.gov>.
- The VIIRS Active Fire, <http://viirsfire.geog.umd.edu>.
- 교산: 이양원, 48513, 부산광역시 남구 용소로 45 부경대학교 공
간정보시스템공학과(이메일: modconfi@pknu.ac.kr)
- Correspondence: Yang-Won Lee, Department of Spatial
Information Engineering, Pukyong National University,
45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Republic of Korea
(Email: modconfi@pknu.ac.kr)

투 고 일: 2016년 12월 8일
심사완료일: 2016년 12월 12일
투고확정일: 2016년 12월 13일

