

산불취약성지도 작성을 위한 지표 선정 및 지도화 기법 개발

Developing Techniques of Mapping and Indicator Selection for Forest Fire Vulnerability

Gye Sun Ryu*, Byung Doo Lee**, Sung Yong Kim***

Division of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute,
57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

Abstract

An ex-ante analysis could help in identifying areas which are vulnerable to forest fires and need be intensively managed to reduce damage caused by forest fires. In this study, the forest fire vulnerability indicators selected based on the literature and feasibility consideration were used to create a map of forest fire vulnerability. Selected indicators include population density, building density, locations of cultural properties and infrastructure, locations of facilities for serving people vulnerable to disasters, national and public parks, and forest reserve. Distance to coniferous forests was also taken into account in the mapping process. The resulting map is expected to be helpful in prioritizing areas for preventative projects and suppression activities as it can be used to identify the areas of high risk of forest fire damage in advance.

Key words: forest fire risk, forest fire map, vulnerability, indicator

국문초록

산불로 인한 인적·재산적 피해를 최소한으로 줄이기 위해서는 어느 지점이 산불에 취약한지를 사전에 분석하고, 취약성이 높다고 판단되는 지역에 대한 집중적인 산불 예방 관리가 필요하다. 본 연구에서는 산불 취약성과 관련된 문헌검토와 구현가능성을 살펴 우리나라 실정에 맞는 산불취약성 지표를 선정하고, 이를 지도로 작성하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 선정된 산불 관련 지표는 인구밀도, 건물밀도, 문화재 및 기간시설 분포, 재해약자시설 분포, 국공립공원, 산림보호구역을 지표이며, 침엽수림과의 거리를 가중치로 추가 반영하여 최종적으로

* Tel. +82-2-961-2686. Fax. +82-2-961-2699. E-mail. fofiresu@korea.kr

** Tel. +82-2-961-2687. Fax. +82-2-961-2699. E-mail. byungdoo@korea.kr

***Corresponding author. Tel. +82-2-961-2686. Fax. +82-2-961-2699. E-mail. kitaco1@korea.kr

Submission & Publication Process

Received: Aug. 21, 2015 / Revised: Oct. 22, 2015 / Accepted: Nov. 2, 2015

산불취약성 지도를 작성하였다. 본 연구에서 개발된 지도는 산불피해 위험이 높을 것으로 사료되는 지점을 사전에 파악하여 예방 사업 및 진화활동을 우선적으로 시행할 지역을 결정에 있어 유용한 자료로 활용될 것이다.

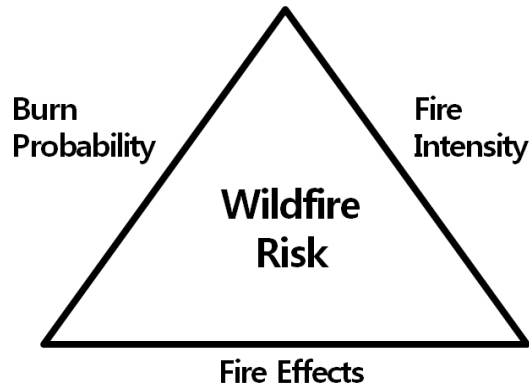
주제어: 산불, 산불지도, 취약성, 지표

1. 서론

2013년 3월 포항에서 발생한 산불은 하루 만에 30명의 인명피해, 건물 111동, 차량 8대, 산림 79ha를 불태워 도시가 산불에 얼마나 취약한지를 드러냈다. 같은 날 울주군에서 발생한 산불 또한 단 몇 시간 만에 55채의 주택을 태웠다(KFRI, 2014). 이를 계기로 산불 취약지역을 어떻게 선정하고, 관리해야 하는지에 대한 필요성이 제기되었다. 즉 산불로 인한 피해가 클 것으로 예상되는 지역을 사전에 선정하고, 이를 정책 우선 대상지로 지정하여 집중 관리하도록 해야 한다는 것이다. 예방단계에서는 감시원을 배치하여 발생 가능성을 사전에 차단하거나, 감시카메라를 설치하여 산불 발생 시 조기에 탐지하고, 이에 따른 신속한 대응이 가능하도록 해야 한다. 또한 탈 수 있는 연료량을 줄일 수 있는 숲가꾸기를 시행하거나, 목조 문화재, 기간시설일 경우에는 산불확산을 저지하는 소화시설을 설치하는 것도 좋은 방법이다. 산불이 발생한 직후 대응 단계에서는 진화자원을 산불위험 지역에 집중 배치하여 진화해야 한다.

산불위험(Risk)은 일반적으로 산불 자체의 위험(Hazard)과 이로 인한 피해가능성 위험으로 구분된다(Chuvieco, *et. al.*, 2010). 전자는 산불이 얼마나 자주 발생할 것인가와 산불 확산 시 얼마나 빠르고 강하게 연소될 것인가로 세분화되며, 후자는 사회경제적·생태적·경관적 가치의 손실을 의미한다. Thompson, *et. al.*(2011a)은 이를 체계화하여 <Figure 1>에서와 같이 산불위험 삼각형으로 도식화하였는데, 이 논문에서는 산불위험을 분석하는 데에 있어 발생, 확산, 영향을 모두 고려해야 하며, 세 요소의 상호 복합적인 관계에 의해 산불위험이 평가됨을 주장하고 있다.

기존의 연구는 지형 및 기상학적 관점에서 산불 발생이 용이하고, 연료의 종류, 양에 따라 대형산불로 번지기 쉬운 물리적 환경을 분석(Hessburg, *et. al.*, 2007; Dillin, *et. al.*, 2011; Lee, *et. al.*, 2012; Ryu, *et. al.*, 2014)하는 데에 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 최근에는 산불로 인한 피해를 예측하는 연구(Chuvieco, *et. al.*, 2010; Hyde, *et. al.*, 2013; Thompson, *et. al.*, 2011b)가 중요시 되고 있다. 이러한 경향은 산불뿐만 아니라 최근 늘어나는 자연재해(해일, 허리케인, 해안침식, 산사태 등)의 피해를 최소화하기 위해, 피해 예상 범위 및 그 정도를 예측하는 알고리즘 개발이 여러 나라 다양한 분야의 학자들에 의해 시도되고 있다. 또한 피해를 예측하기 위한 지표로는 무엇을 선정할 것이며, 어떤 방법으로 정량화 할 것인가 등의 논의가 계속 진행되고 있다(Cutter, *et. al.*, 1996; Cutter, *et. al.*, 2003; Villa, *et. al.*, 2002; Kumpulainen, 2006).



<Figure 1> Three factors of forest fire risk (Thompson, et. al, 2011a)

앞에서 기술한 바와 같이 산불이 어느 지점에서 빈번하게 발생할 것인가와 어느 숲에서 수관화로 확산되어 강한 열에너지를 발생시킬 것인가에 대한 연구는 국내에서 이미 진행되었으므로 본 연구에서는 어느 지역이 산불로 인한 피해가 클 것인지를 예측할 수 있는 산불취약성지도를 작성하고자 하였다. 이를 위해 취약성을 설명할 수 있는 관련 지표를 선정하고, 이를 공간 정보로 구현 및 통합하여 지도를 작성하는 기법을 개발하고자 하였다. 또한 개발된 지도의 현장 적용성을 파악하기 위하여 2013년 발생한 포항산불을 대상으로 평가하였다.

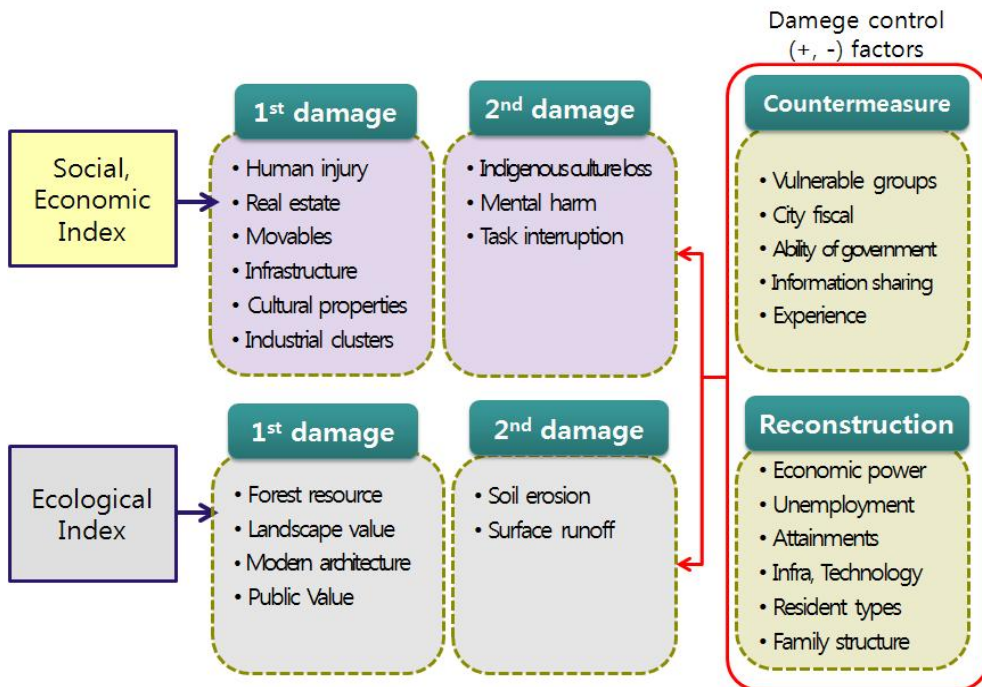
II. 선행연구에 대한 고찰

Chuvieco, et. al.(2010)은 산불의 물리적 위험에 생명과 주택, 산림자원, 산림휴양 등의 요소를 포함하여 산불취약성을 분석하였고, Thompson, et. al.(2011a)은 거주공간과 에너지 생산 시설, 산림휴양시설 등을 포함하였다. 한편 미국에서는 재해에 의한 사회적 취약성을 주로 다루고 있는데(Blaikie, et al., 2004; Neelam, et. al., 2012; Thompson, et. al., 2011b), 재해로 인한 피해와 더불어 해당 사회의 회복탄력성까지를 같이 고려하고 있다. 즉 재해를 입은 지점의 행정 및 재정적, 인구적 특성에 의해서 재해 발생 이후에 빠르게 회복할 수 있는 능력이 얼마나 되는지를 평가하는 것이다. Cutter, et. al.(2003)은 기후변화와 관련된 재해에 영향을 끼치는 사회적 취약성 지표(Social vulnerability index)를 개발한 바 있으며, 고연령, 저소득층, 소수인종, 여자의 비율이 높은 사회 또는 개인일 경우 허리케인, 산불 등의 재해에 대한 노출빈도가 높고, 회복력이 약한 것으로 분석된 바 있다(Cutter, et. al., 2000). Gaither(2011)는 미국남부 6개 주의 산불의 물리적 위험과 산불에 대한 사회적 취약성 분석하여 상대적으로 산불의 물리적 위험이 크면서 동시에 사회적 취약성이 높은 지역을 구분하였다.

생태적 가치 역시 산림이 지니는 경관 및 자원의 가치를 평가하거나(이는 사회 - 경제적 가치에 포

함되기도 함.), 산림생태계가 산불에 견디는 정도와 회복되는 정도를 측정하는 것으로 나뉜다. 다수의 연구에서 이를 혼합하여 사용하고 있는데, Thompson, et. al.(2011a)은 산불에 취약한 식생과 산불에 적응한 식생구조를 분석에 활용하고 있으며, Chuvieco, et. al.(2010)은 산불 후 토양, 기후, 지형, 식생구조에 의한 침식력 강화 정도와 식생의 반응력 등의 회복력에 관한 분석을 시도한 바 있다.

<Figure 2>는 여러 문헌에서 언급된 주요 취약성 지표를 구분하여 정리한 것이다. 위에서 언급한 바와 같이 사회-경제적 가치와 생태적 가치로 분류하였으며, 각각은 다시 1차와 2차 피해로 세분화하여 분류하였다. 사회-경제적 가치의 경우, 1차적으로는 인명피해, 부동산, 동산, 기반시설, 문화재, 산업지구, 산림자원 등의 피해가 있으며, 2차적으로는 고유문화 및 정신적 피해, 업무 중단에 따른 피해가 있다. 생태적 가치의 경우, 산림이 지니는 경관가치, 보전가치, 공익가치로 구분 할 수 있으며, 2차적으로 산불에 의한 토양침식의 우려, 지표 유출, 생물다양성 감소에 따른 피해가 따른다. 또한 사회적 탄력성에 의해서 피해가 가중 또는 경감되며, 이는 사회-경제적 가치와 생태적 가치 모두에 영향을 미치기에 대응력과 재건력으로 구분하여 따로 배치하였다. 재해가 발생했을 때 도시구성원이 반응하는 속도 즉, 대응력에 따라 피해를 크게 줄일 수 있는데, 도시재정, 행정기관의 사전 노력 여부, 민관의 정보 공유 정도, 과거의 경험, 취약계층의 비율 등에 의해 좌우된다. 경제력, 실업률, 학력, 기술, 거주유형, 가족구조 등은 재해 발생 후 얼마나 빨리 그 이전의 상태로 돌아갈 수 있는지 즉, 재건할 수 있는 능력을 보여주는 요소가 된다.



<Figure 2> Classification of vulnerability factors by reviewing related literature

III. 연구방법

1. 산불취약성 지표 선정

<Table 1>에 제시된 산불취약성 인자들은 연구의 나아갈 방향을 이해하는데 도움을 주지만, 모든 인자를 지도로 표현하는데 어려움이 야기된다. 우선 많은 인자가 공간상에서 분석 가능한 데이터로 구축되어 있지 않으며, 또한 이들 데이터를 수치화하여 정량적 분석을 한다는 것 자체에 어려움이 있기 때문이다. 대부분의 사회-경제적 가치는 현실적으로 수치화가 가능하지만, 생태적 가치 중 경관, 보전, 공익 가치에 대한 연구는 정성적인 요소가 많이 개입된다. 현재는 여행비용모형(TCM, Travel cost method), 헤도닉가격모형(Hedonic price analysis) 등 비시장재화의 가치를 여행이나 주택 등 다른 가치로 환산하는 방법들이 주로 이용되고 있다(Shin, 2006; Youn & Kim, 1992; Chuvieco, *et. al.*, 2010). 한편 2차 피해 인자와 사회적 탄력성은 장기간의 영향을 고려하여야 하며, 여러 요소간의 상호작용이 단순하지 않기에 수치화가 어려울 수 있다. 이에 본 논문에서는 1차 피해에 한정하고, 또한 지도화가 가능한 지표만을 사용하여 산불취약성지도를 제작하기로 하였다.

따라서 1차 피해 인자 들 중에서 전국 DB 구축이 현실적으로 가능하며 공간 변이를 잘 나타낼 수 있는가, 그리고 산불 현장에서 필요한 정보는 무엇인가를 기준으로 <Table 1>과 같이 지표를 최종 선정하였다.

<Table 1> Selection of forest fire vulnerability index

Main category	Fire vulnerability index
Social, Economic index (4)	Population density, Building density, Location of facilities for vulnerable people to disasters, Location of cultural properties and infrastructure
Ecological index(3)	National park and Public park, Forest conservancy area
Weight factor	Distance from coniferous forest

사회-경제적 지표는 가장 중요시되는 인구와 건물 분포를 기본으로 하여 추가적으로 재해약자를 보호하는 특정시설물의 분포를 선정하였다. 여기에서 재해약자 시설이란 노인과 장애인, 환자, 어린이 등을 보호하고 있는 시설물로 양로원, 양육원, 입원환자가 있는 병원, 고등학교 이하 학교, 어린이집 등이 해당된다. 또한 과거 2005년 4월 양양에서 일어난 산불로 국가의 중요문화재인 낙산사의 전각과 동종이 불에 타 소실되는 등의 피해 사례를 감안하여 문화재와 국가기간시설의 분포를 선정하였다. 문화재는 국보와 국가지정문화재(보물, 중요무형문화재, 사적, 명승, 천연기념물, 중요민속문화재), 시도지정문화재(유형문화재, 무형문화재, 기념물, 민속자료), 등록문화재로 구분하였다. 국가기간시설에는 에너지 생산시설(원자력발전소, 변전소, 화력발전소, 석유, 가스 등), 철도(역), 항공(공항), 병원(종합병원), 정수장 등이 포함되었다.

생태적 지표는 현재 공간 DB로 구축되어 있어 그 경계 및 속성이 명확한 정보만을 이용하였다. 그 결과 경관과 보전가치를 고려하여 현재 지정되어 있는 국·공립공원, 산림유전자원보호림, 문화재보호구역, 사찰림, 자연휴양림, 상수원보호구역 등을 선정하였다.

마지막으로 Lee, et. al.(2012)의 연구결과에 따라 침엽수림과의 거리가 피해를 유발하는 가장 중요한 요소이므로 가중치로 선정하였다.

2. 산불취약성지도 작성 기법 개발

앞에 선정한 지표들을 활용하여 산불취약성지도를 작성하기 위해서는 공간정보로의 구현 및 통합과정이 필요하다. 각 지표들을 공간정보로 구현하는 방법은 아래와 같다.

인구는 통계청의 인구센서스 자료 중 인구밀도 수치를 이용하였으며, 이를 센서스 공간 단위 중 최소 공개단위인 집계구 경계에 대입하여 래스터로 변환하였다. 또한 자연로그를 취해 수치를 표준화시키고, 이를 0~1의 값을 지니도록 변환하였다. 건물은 국토지리정보원에서 발행한 연속수치지도의 정보를 폴리곤에서 포인트로 변경 후 밀도를 산출하여 래스터를 생성하였다. 역시 자연로그 수치를 취해 표준화시키고, 이를 0~1의 값을 지니도록 변환하였다.

문화재는 문화재청에서 관리하고 있는 공간 및 속성 DB(폴리곤)를 이용하였으며, 국가기간시설은 수치지형도 및 웹 검색을 사용하여 생성하였다. 재해약자시설은 동일한 연속수치지도에서 건축물을 중심으로 그 중심의 수치를 사용하였다. 애초에는 재해약자 시설의 정원까지를 고려하였으나, 전국 규모로 공간 및 속성 정보가 정확하게 구축되어 있지 않아 우선적으로 위치와 그 종류만을 파악할 수 있도록 레이어를 구성하였다. 재해약자시설에 대한 정보는 보건복지부에서 발행하는 일람표를 기본으로 하고 여기에 웹 검색을 통해 빠진 시설을 보충하였다.

생태적 지표로써 국·도·군립공원 경계를 지도화 하였으며, 산림청 산지구분도에서 산림유전자원 등의 보호구역을 추출하였다. 국가보호시설은 중요도에 따라 가중치를 달리 부여하였다. 문화재, 국가기간시설, 산림보호구역을 한데 묶어 국가보호시설 레이어를 작성하였다.

재해약자시설과 국가보호시설 레이어는 피해에 가장 많은 영향을 주는 것으로 알려진 침엽수림과의 거리를 분석에 적용하였다. 재해약자시설은 그 피해의 위험성이 다른 일반 건물에 비해 높기 때문에 침엽수림과의 거리가 무엇보다 중요하며, 이는 국가보호시설도 마찬가지이다. 재해약자시설은 건물 중심부, 즉 포인트를 대상으로 거리분석을 하여 0~300m까지는 1~0 사이의 수치를 갖도록 변환하며, 300m 이상의 수치를 가질 경우에는 산불로 인한 피해가능성이 낮으므로 모두 0으로 변환하여 래스터를 완성하였다. 300m를 기준으로 활용한 이유는 기존의 연구에서 300m까지는 피해 위험이 존재하고, 이 이상 떨어지면 그 가능성이 낮기 때문이다(KFRI, 2015).

국가보호시설의 3개의 하위 레이어는 먼저, 해당 위치 또는 외곽경계로부터 300m 버퍼 분석을 하여 생성된 각 도형에 가중치를 입력하여 래스터로 변환하였고, 재해약자시설과 마찬가지로 중심부를

기준으로 1에서 0까지 거리에 따라 수치가 하락하도록 변환하였다. 이 과정에서 3개의 하위 레이어는 각각 하나의 레이어로 통합되었다.

생성된 4개의 레이어(인구, 건물, 재해약자시설, 국가보호시설)는 값을 통합시키기 위해 생성단계에서 0과 1 사이의 표준화된 값을 갖도록 하였으며, 국가보호시설의 경우 하위 레이어의 중요도에 따라 가중치를 미리 적용하여 최고 0.2의 값을 갖는 래스터를 생성하였다.

<Table 2> Each forest fire vulnerability factor and information on spatial data

Index	Reference	Weight	Data structure, Analysis methods	
Population density	Statistics Korea Population date census	0.36	Polygon, Density analysis	
Building density	National Geographic Information Institute Digital Physical map	0.15	Polygon, Density analysis	
Location of facilities for vulnerable people to disasters	Ministry of Health and Welfare Webb	0.29	Point, Distance analysis	
Location of cultural properties	National Cultural Heritage Administration	National treasure	0.2	Polygon, Distance analysis
		Cultural properties designated by the Nation	0.176	
		Cultural properties designated by the Local station	0.141	
		Registered cultural properties	0.1	
National conserv ancy building	National Geographic Information Institute Digital Physical map	Electric power, Energy, Railroad, Traffic, Hospital, A water purification	0.2	Point, Distance analysis
			0.176	
			0.176	
			0.141	
			0.2	
Forest conservan cy area	Korea National Park, Korea Forest Service Mountain Division map	Park	0.2	Polygon, Distance analysis
		Cultural properties designated forests	0.176	
		Recreational Forests	0.176	
		Investigation forests	0.176	
Distance from coniferous forest	Korea Forest Service Forest Tape map	0.141	Polygon, Distance analysis	

한편, 생성된 4개의 지표를 통합하여 하나의 지도로 표현하기 위해서 각 지표에 어느 정도의 가중치를 적용할 것인가는 중요한 항목이다. 이는 국립산림과학원에서 연구된 자료를 적용하였다. Lee, et

al.(2012)이 AHP기법을 이용하여 시설의 중요도에 따른 가중치를 산출하였는바 그 결과를 활용하였다. 최종적으로 인구(0.36), 건물(0.15), 국가보호시설(0.20) 등은 산출된 가중치를 그대로 적용하였으며, 산림보호구역은 본 연구에서 국가보호시설에 통합하였기에 기타로 분류된 가중치와 산림보호구역으로 분류되었던 가중치를 합산하여 0.29의 가중치를 재해약자시설의 수치로 적용하였다. 이러한 방법으로 산출한 최종가중치는 <Table 2>와 같다.

한편 침엽수림과의 거리가 가까워질수록 취약성 점수가 높아지도록 산림청에서 제작한 임상도에서 침엽수림을 추출, 거리분석을 실시한 후, 0~300m 이내의 값은 2에서 1사이의 값을 갖도록, 300m 이상은 1의 값을 갖도록 변환하였다. 즉, 인구, 건물, 재해약자시설, 국가보호시설 등 4개 레이어의 값이 그대로 적용되거나 침엽수림과 가까워질 경우 그 값이 최대 2배가 되도록 설정하였다. 생성된 침엽수림과의 거리 레이어와 이전에 생성한 4개의 레이어를 <식 1>을 이용하여 산불취약성지도를 작성하였다.

$$((\text{인구밀도} \times 0.36 + \text{건물밀도} \times 0.15 + \text{재해약자시설} \times 0.29 + \text{국가보호시설} \times 0.2) \times \text{침엽수림과의 거리}) / 2$$

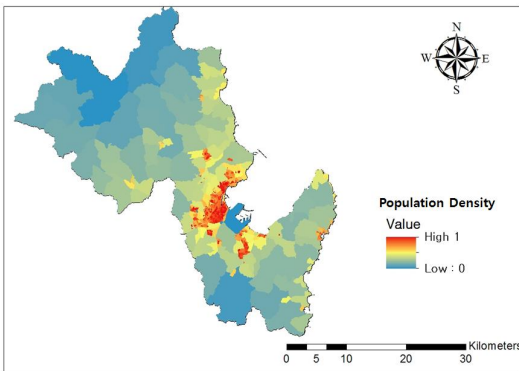
<식 1>

IV. 결과 및 고찰

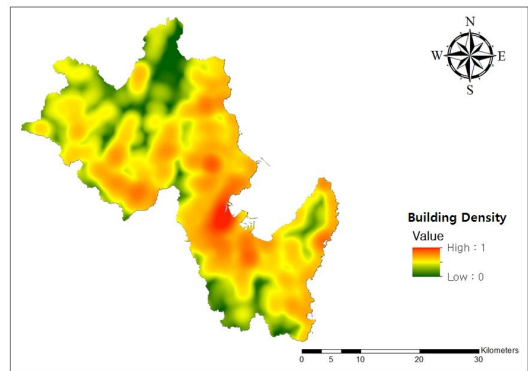
1. 포항시 산불취약성지도 작성 결과

앞의 방법론을 이용하여 경북 포항시를 대상으로 산불취약성지도를 인구밀도 지표, 건물밀도 지표, 재해약자시설 지표, 국가보호시설 지표, 침엽수림과의 거리 지표로 분류하여 작성하였으며, 이는 <Figure 3> ~ <Figure 7>과 같다. 생성된 5개의 레이어와 <식 1>을 활용하여 최종 작성된 지도는 <Figure 8>과 같다.

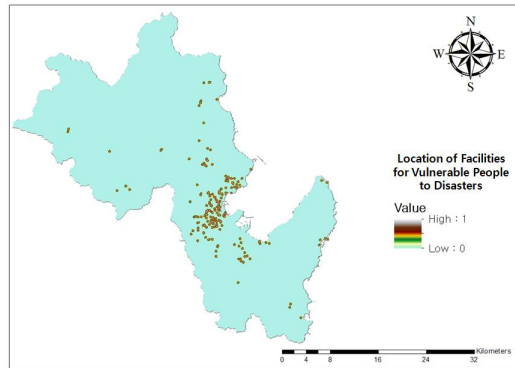
인구밀도와 건물밀도는 포항 도심지역이 높았으며, 포항 도심지역의 평균 건물밀도는 0.72로 전체 평균 0.18에 비해 약 4배 가량 높은 것으로 분석되었다. 포항 재해약자 시설 또한 인구, 건물밀도와 유사하게 도심지역에 집중적으로 분포하고 있었으나, 포항 국가보호시설은 도심지역 보다는 도심 외곽 지역에 많이 분포하는 것으로 분석되었으며, 전체적으로 군사 보호시설이 많아 면적이 큰 지역이 많이 분포하고 있었다. 포항 침엽수림과의 거리를 분석한 결과, 도심 지역임에도 불구하고 포항 도심 북서쪽에 다수에 침엽수림이 분포하는 것으로 분석되었다. 5개의 주제도를 이용하여 포항시의 산불취약성을 분석한 결과, 포항시 평균 산불취약지수는 0.152였으며, 최대 지수는 0.736이었다. 앞서 제시한 5개 주제도에서도 알 수 있듯이 인구밀도, 건물밀도, 재해약자 시설이 밀집되어 있는 도심지역의 산불취약지수가 다른 지역에 비해 높게 분석되었다.



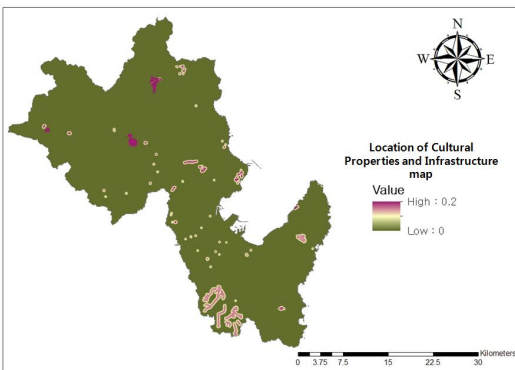
<Figure 3> Population density index in Pohang



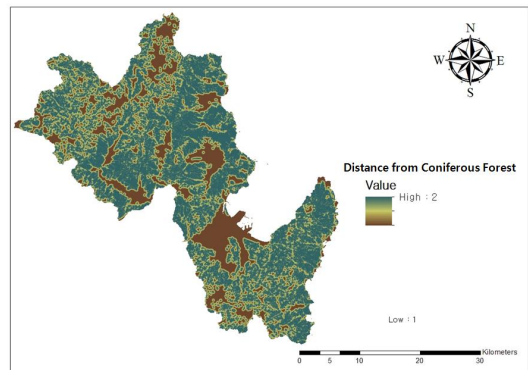
<Figure 4> Building density index in Pohang



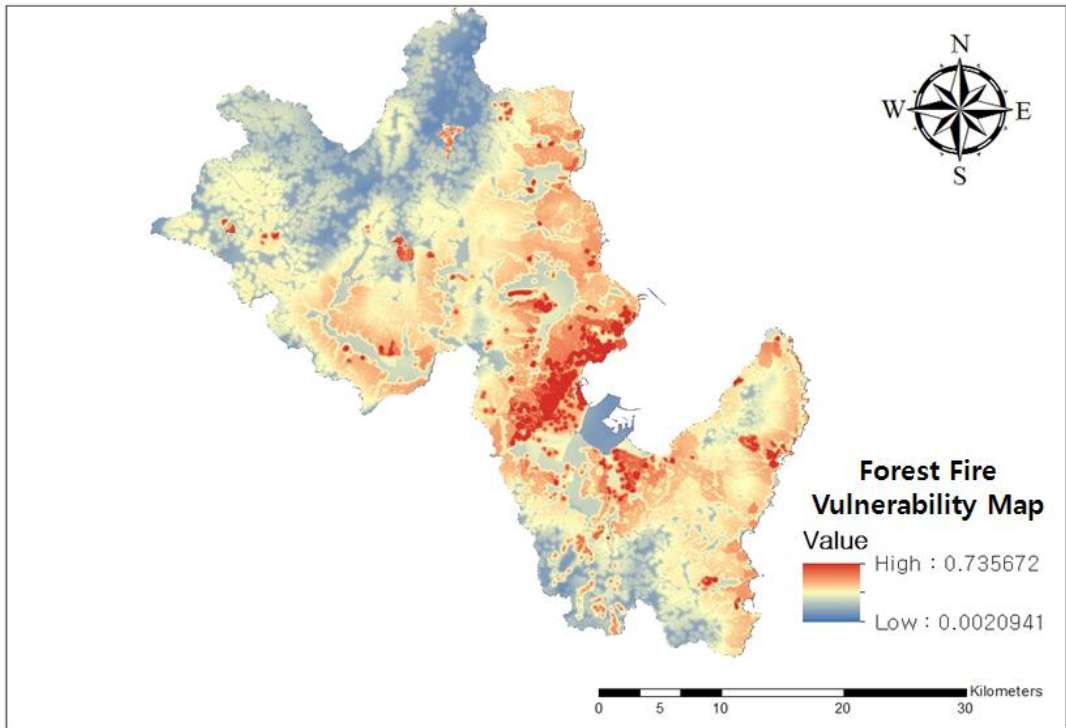
<Figure 5> Location of facilities for vulnerable people to disasters



<Figure 6> Location of cultural properties and infrastructure in Pohang



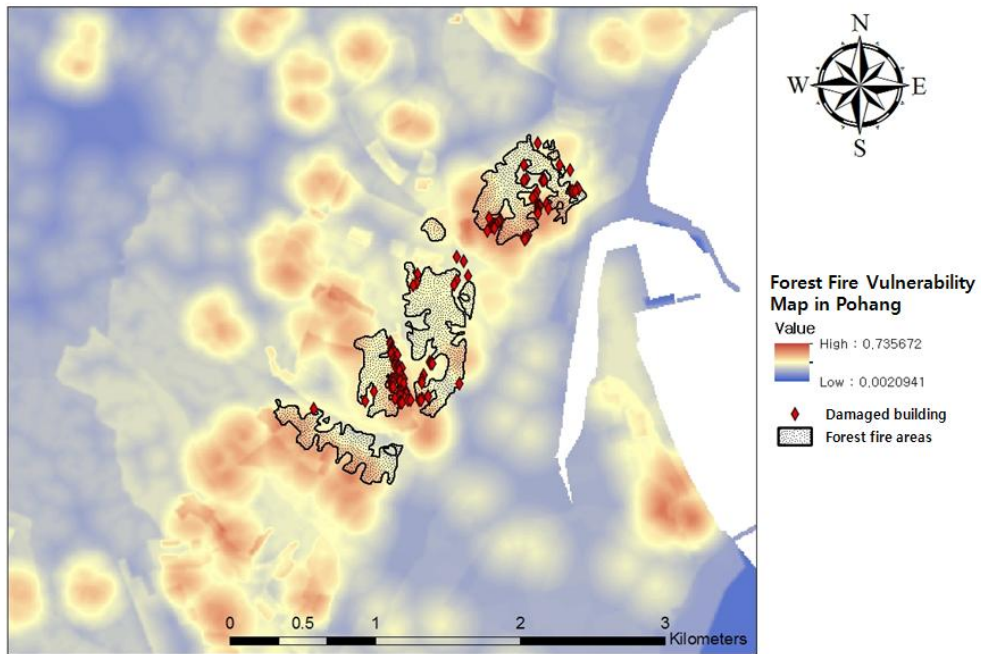
<Figure 7> Distance from coniferous forest in Pohang



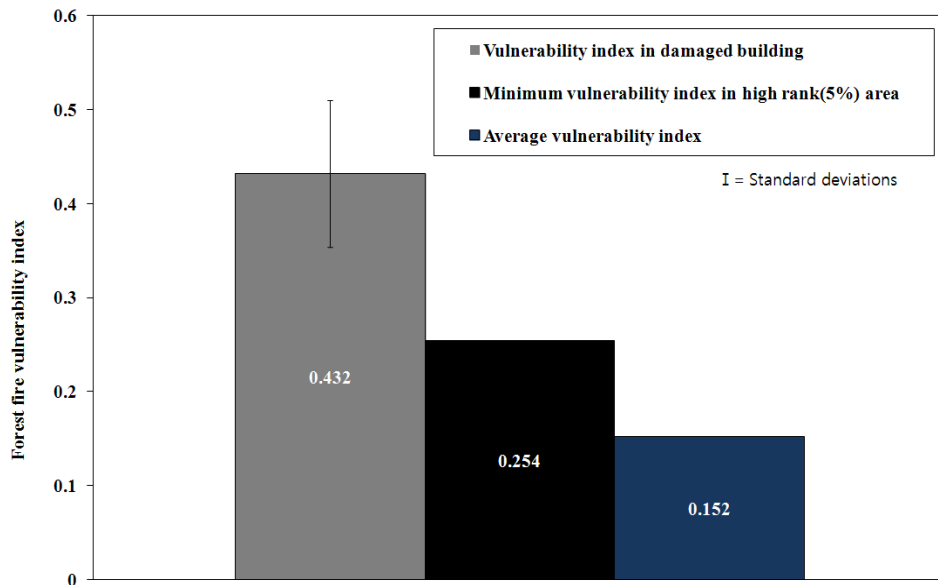
<Figure 8> Forest fire vulnerability index map in Pohang city

2. 산불취약성지도 적용성 검토

산불취약성지도가 현실을 제대로 반영하는지의 여부를 확인하고자 <Figure 9>에서와 같이 2013년 포항산불 당시 피해를 입은 건물의 위치와 지도를 중첩하여 분석하였다. 분석 결과, 2013년 포항산불 피해를 입은 지역은 인구와 건물, 재해약자 시설이 많고, 침엽수림과 인접한 산불 취약 지수가 높은 지역이었다. 이는 <Figure 10>과 같이 수치에서도 증명되는데, 산불로 피해를 입은 건물 주변의 취약 지수는 평균 0.432로써 포항시 전체 평균 0.152에 비해 약 3배 가량 높게 분석되었다. 또한 포항시 전체에서 산불에 취약한 상위 5% 지역의 최소 취약 지수를 분석한 결과, 0.254로 나타나 실제 산불로 피해를 입은 건물 주변의 취약성이 높았다는 것을 알 수 있었다. 즉, 산불 피해가 우려되고, 진화활동에 제약이 있는 지역에 2013년 실제로 산불이 발생하였고, 많은 피해가 있었다.



<Figure 9> Overlapping areas between damaged building locations and forest fire vulnerability map during Pohang forest fire in 2013



<Figure 10> Comparison of forest fire vulnerability index

V. 결론 및 제언

산불로 인한 피해를 줄이기 위해서는 어느 지점이 산불에 취약한지를 사전에 분석하고, 취약성이 높다고 판단되는 지역에 대한 집중적인 관리가 필요하다. 본 연구에서는 문헌검토와 구현가능성을 살펴 산불취약성 지표를 선정하였고, 이를 활용하여 지도로 작성하는 방법을 제시하였다. 아울러 2013년 포항산불을 대상으로 현장 적용성을 검토하였다.

본 연구 결과에서 제시된 지도는 향후 인명과 건물 피해가 높을 것으로 예상되는 지역과 재해약자가 위치한 지점, 국가적으로 보호가 필요한 지점 등의 피해위험을 사전에 파악하여 예방사업의 우선순위 지역을 결정하는데 유용할 것으로 판단된다. 또한 산불 진화 시에도 진행방향 주변에 어떠한 피해위험 요소가 산재해 있는 지 알 수 있기에 즉각적인 대응에 도움을 줄 수 있을 것이다. 아울러 동시에 여러 곳에 산불이 발생한 경우 어느 지역에 먼저 진화자원을 배치해야 하는지의 의사결정 과정에도 이용될 수 있으리라 판단된다.

제작된 산불취약성지도는 산불에 1차적으로 바로 영향을 받을 수 있는 대상만을 지표로 삼았으며, 상대적인 중요도를 가중치로 이용하여 지도를 제작하였기에 추가적인 연구가 필요하다. 앞으로 사회-경제적 지표 및 생태적 지표에 대한 경제적 가치의 산출, 피해의 경감 및 복구에 영향을 미칠 수 있는 인문학적 데이터, 산림생태계가 산불에 견디는 정도와 산불이 생태계에 미치는 영향의 수치화 등에 관련된 데이터가 양산되고, 방법론이 정립된다면 보다 다양한 정보를 제공하는 지도를 제작할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Blaikie, P., T. Cannon., I. Davis. and B. Wisner. 2004. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge.
- Chuvieco, E., I. Aguado., M. Yebra., H. Nieto., J. Salas., M. P. Martín, L. Vilar., J. Martínez., S. Martín., P. Ibarra., J. L. Riva., J. Baeza., F. Rodríguez., R. Juan., M. Miguel. and H. R. Zamora. 2010. Development of a Framework for Fire Risk Assessment Using Remote Sensing and Geographic Information System Technologies. *Ecological Modelling*. 221(1): 46-58.
- Cutter, S. L. 1996. Vulnerability to Environmental Hazards. *Progress in Human Geography*. 20(4): 529-539.
- Cutter, S. L., J. T. Mitchell. and M. S. Scott. 2000. Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of*

- American Geographers*. 90(4): 713-737.
- Cutter, S. L., B. J. Boruff. and W. L. Shirley. 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly* 84(2): 242-261.
- Dillin, G. K., Z. A. Holden., P. M. Michael., C. E. Heyerdahl. and C. H. Luce. 2011. Both Topography and Climate Affected Forest and Woodland Burn Severity in Two Regions of the Western US, 1984 to 2006. *Ecosphere*. 2(12): 1-33
- Gaither, C. J., N. C. Poudyal., G. Scott., J. M. Bowker., S. Malone. and Jianbang Gan. 2011. Wildland fire risk and social vulnerability in the Southeastern United States: An exploratory spatial data analysis approach. *Forest Policy and Economics*. 13: 24-36.
- Hyde, K., M. B. Dickinson., G. Bohrer., D. Calkin., L. Evers., J. W. Gilbertson-Day. and C. Tague. 2013. Research and Development Supporting Risk-based Wildfire Effects Prediction for Fuels and Fire Management: Status and Needs. *International Journal of Wildland Fire*. 22(1): 7-50.
- Hessburg, P. F., K. M. Reynolds., R. E. Keane., K. M. James. and R. B. Salter. 2007. Evaluating Wildland Fire Danger and Prioritizing Vegetation and Fuels Treatments. *Forest Ecology and Management* 247: 1-17.
- Korea Forest Research Institute. 2014. 2013 Forest Disaster White Paper.
- Korea Forest Research Institute. 2015. The Study on the Algorithm Development for Mapping Forest Fire.
- Kumpulainen, S. 2006. Vulnerability Concepts in Hazard and Risk Assessment. *Special Paper-Geological Survey Of Finland*. 42: 65.
- Neelam C. P., C. J. Gaither., S. Goodrick., J. M. Bowker. and J. Gan. 2012. Locating Spatial Variation in the Association Between Wildland Fire Risk and Social Vulnerability Across Six Southern States. *Environmental Management*. 49: 623-635.
- Lee, Byung Doo, Gye Sun Ryu, Seon Young Kim and Kyung Ha Kim. 2012. Development of Forest fire Occurrence Probability Model using Logistic Regression. *Journal of Korean Forest Society*. 101(1): 1-6.
- Lee, Si Young, Heung Suk Park, Byung Doo Lee and Kyo Sang Koo. 2012. A Study on Importance of Factors in Wildland-Urban using the Fuzzy-AHP Method. *Korea Society of Hazard Mitigation Conference*.
- Ryu, Gye Sun, Byung Doo Lee, Myung Soo Won and Kyung Ha Kim. 2014. Development of Crown Fire Propagation Probability Equation Using Logistic Regression Model. *Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies*. 17(1): 1-12.

- Shin, Chul Ho. 2006. An Introduction to the Economic Valuation: a Basic Concept and the Theories. *Monthly Oceans and Fisheries*. 258: 16-24.
- Thompson, M. P. and D. E. Calkin. 2011a. Uncertainty and Risk in Wildland Fire Management: A Review. *Journal of Environmental Management*. 92(2011): 1895-1909.
- Thompson, M. P., D. E. Calkin., M. A. Finney., A. A. Ager. and J. W. Gilbertson-Day. 2011b. Integrated National-scale Assessment of Wildfire Risk to Human and Ecological Values. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 25.6(2011): 761-780.
- Villa, F., H. McLeod. 2002. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-making: Guidelines and Applications. *Environmental Management*. 29(3): 335-348.
- Youn, Yeo Chang and Chang Il Kim. 1992. Comparison of Economic Valuation Method for Estimation the Recreation Value of Forest Resources. *Nature and Environment Economic Studies*. 1(1): 155-184.

Korean References translated from the English

- 국립산림과학원. 2014. 2013 산림재해백서.
- 국립산림과학원. 2015. 산불지도 작성 알고리즘 개발 및 제작기법 연구.
- 신철오. 2006. 경제학적 가치평가에 대한 이론적 고찰. 월간 해양수산 258: 16-24.
- 유계선, 이병두, 원명수, 김경하. 2014. 로지스틱 회귀모형을 이용한 수관화확산확률식의 개발. 한국지리정보학회지. 17(1): 1-12.
- 윤여창, 김창일. 1992. 산림자원의 휴양가치 산출을 위한 경제적 평가방법론 비교연구. 자연·환경경제연구. 1(1): 155-184.
- 이병두, 유계선, 김선영, 김경하. 2012. 로지스틱 회귀모형을 이용한 산불발생확률모형 개발. 한국임학회지. 101(1): 1-6.
- 이시영, 박홍석, 이병두, 구교상. 2012. AHP 기법을 이용한 산림인접지 중요도 결정체계 수립에 관한 연구. 한국방재학회 학술발표논문집.

유계선: 한국교원대에서 “인간 간섭에 의한 아산만의 해안 환경변화 연구”로 교육학 석사학위를 취득 하였으며 (2011. 02), 현재는 산불 예방, 진화, 복구와 관련된 지도를 작성하는 기법을 연구하고 있다. 주 연구 분야는 공간 기술을 활용한 산불위험 정량화이며, 주요 논문으로는 “로지스틱 회귀모형을 이용한 산불발생확률모형 개발 (2012)”, “가시권 분석을 이용한 산불감시 우선지역 선정 방안(2011)” 등이 있다(tosnowman00@gmail.com).

이병두: 서울대학교에서 “GIS와 RS를 이용한 2000년 삼척산불 행동 특성 분석 및 산불확산예측모델 개발”로 농학박사학위를 취득하였으며(2005. 08), 현재는 국립산림과학원 산림방재연구과에서 연구관으로 재직 중이다. 산불과 관련된 다양한 연구 과제를 수행하였고, 이를 통해 다수의 논문을 발표하였다. 주 연구분야는 산불예방 및 진

화기술, 산불위험 평가 분야이다(byungdoo@korea.kr).

김성용: 공주대학교에서 “산불위험지 평가를 위한 주요 침엽수종의 연료특성 분석에 관한 연구”로 농학박사학위를 취득하였으며(2015. 08), 현재는 국립산림과학원 산림방재연구과에서 박사연구원으로 재직 중이다. 주 연구 분야는 산불 연료모델과 관련된 연구를 수행하였고, 이를 통해 “우리나라 주요 침엽수종의 수관연료특성 평가”, “숲가꾸기 사업이 수관층 연료특성에 미치는 영향” 등을 논문을 작성하였다(kitaco1@korea.kr).