Crisisonomy Vol.16 No.3, 133-144
ISSN 2466-1198 (Print) ISSN 2466-1201 (Online) https://doi.org/10.14251/crisisonomy.2020.16.3.133
© 2020 Crisis and Emergency Management : Theory and Praxis. All rights reserved.

Crisisonomy

Selecting Forest Fire Vulnerable Regions Based on Biophysical and Socioeconomic Factors in Gangwon Province

Mi Na Jang[1#], Young Jin Lee[2+]

[1] Korea Forest Fire Management Service Association, 30 Gyeryong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea
[2] Department of Forest Resources, Kongju National University, 54, Daehak-ro, Daehoe-ri, Yesan-eup, Yesan-gun, Chungcheongnam-do, Korea

Abstract

The purpose of this study was to assess forest fire vulnerability by considering both biophysical and socioeconomic factors. The forest fire vulnerability index was mapped on a census tract level based on population, economy, information and location factors in Gangwon Province. The proxy variables for the index include 'people older than 65 years, people younger than 15 years; rental houses, houses of 60㎡ or less, houses over 20 years old, people with an elementary school education or less, forest-urban interface areas within 30m, and coniferous areas. A statistical analysis was conducted on the amount of forest fire damage and the number of fire occurrences to identify the impact of each factor of forest fire vulnerability. Both the damage amount and the frequency of forest fires were higher in areas adjacent to forests than in urban areas where population and buildings are concentrated. The forest fire vulnerability map developed in this study can be used as the basic data to assign priorities in practices concerning forest fire prevention and response.

Key words: forest fire vulnerability, socioeconomic vulnerability, forest fire map

Ⅰ. 서 론

북미, 유럽, 호주 등 전 세계 각국에서 산불은 계속해서 발생하고 있으며, 최근 들어 기후변화와 연관되어 비정상적으로 증가하고 있는 추세이다. 우리나라는 64%가 산림으로 구성되어 있고, 특히 산불에 취약한 수종인 침엽수림이 차지하는 비율이 43%로 다른 수종에 비해 매우 높으며, 최근 기후변화의 영향으로 평균온도 상승, 건조일수 증가, 장기간 지속된 가뭄, 강한 풍속 등 산불이 점차 대형화됨에 따라 산림뿐만 아니라 인명 및 재산 등에 피해를 주는 재난으로 분류되고 있는 실정이다. 과거 산불로 인한 피해가 산림에 국한되었다면 최근에는 점차 확대되어 산림 외의 농작물, 농업시설물, 축사, 가축, 군사시설, 송전 및 통신시설, 주택 및 문화재와 같은 시설물 등에도 직·간접적으로 막대한 피해를 주고 있다(Yeom, 2019). 2019년

The 1st author: Mi Na Jang, Tel. +82-42-822-9415, Fax. +82-42-882-9419, e-mail. jmn1607@naver.com
+ Corresponding author: Young Jin Lee, Tel. +82-41-330-1313, e-mail. leeyj@kongju.ac.kr

www.kci.go.kr

강원도 고성군 등 5개 시・군(고성군, 속초시, 강릉시, 동해시, 인제군)에서 발생한 산불이 그 대표적인 예로 이재민 및 주택 전소 등 많은 피해를 초래하였으며, 그 결과 특별재난지역으로 선포된 바 있다. 산불로 인한 인명 및 재산 피해를 줄이기 위해 국가적 차원에서의 행정적 또는 정책적인 노력이 필요하며, 보다 효과적인 산불 예방 및 위험을 감소시키기 위해서는 산불에 취약한 장소 또는 계층에 대한 우선순위를 정하여 자원과 전략이 균등하게 분배되도록 하는 것이 매우 중요하다(Collins, 2008; Gaither, *et. al.*, 2011; Ojerio, *et. al.*, 2010; Poudyal, *et. al.*, 2012). 그러나 재해의 특성상 예측과 계량이 어렵기 때문에 피해를 경감할 수 있는 대책이 필요하더라도 그 적절한 규모와 방향을 효과적으로 정하기 어렵다(Hamilton, 2000). 취약성은 한 지역의 피해 규모를 상대적 혹은 절대적으로 평가할 수 있는 하나의 지표이며, 한 체계나 그 구성원들이 자연재해의 외부요인에 노출되어 발생할 수 있는 피해의 정도를 나타낸다(Wilhite, 2000). 보다 효과적인 재해 관리 및 피해 예방을 위해서는 산불에 취약한 장소 또는 계층을 사전에 파악하여 취약요인이 무엇인지를 조사하고 이에 따른 적절한 관리방안을 마련하는 것이 필요하다. 그러나 많은 연구에서 산불의 생물물리적인 특성에만 초점을 맞추고 있으며, 사회, 경제, 정치, 문화 등과 같은 요인들이 어떻게 산불 취약성에 영향을 미치는지에 대해서는 고려하지 않고 있다(Whittaker, *et. al.*, 2012). 생물물리학적 특성은 산불 발생 장소와 시기를 예측하는 데 유용하지만 산불이 사람에게 영향을 주거나 자원 또는 자산에 피해를 주는 관점에서 장소와 시기를 예측하기에는 어려움이 있다(Wigtil, *et. al.*, 2016). 반면 사회적 요인은 사람이 어디에서 어떻게 산불의 영향을 받는지를 결정하는 요인으로 성별, 나이, 인종 및 빈곤 등을 포함하는 사회적 조건은 재난을 대비하고 대응 및 회복하는 데 있어 개인 또는 공동체 능력에 영향을 미칠 수 있다(Cutter, 1996). 일부 연구자들은 사회적 요인을 고려한 산불 취약성을 평가하고 이를 공간화 하는 연구를 수행한 바 있다(Gaither, *et. al.*, 2011; Poudyal, *et. al.*, 2012; Paveglio, *et. al.*, 2016; Oliveira, *et. al.*, 2017). 국내에서도 산불 취약성을 평가하기 위해 사회경제적 요인(인구, 건물), 재해약자시설(양로원, 양육원, 병원, 고등학교 이하 학교, 어린이집 등), 문화재 및 국가기간시설, 생태적 요인(국공립공원, 산림유전자원보호림, 문화재보호구역, 사찰림, 자연휴양림, 상수원보호구역 등)을 지표로 선정하여 공간화 한 바 있다(Ryu, *et. al.*, 2015). 또한 기후변화에 따른 산불 취약성을 평가하기 위해 국립환경과학원에서 개발한 CCGIS(Climate Change adaptation program base on GIS), LCCGIS(Local Climate Change adaptation program base on GIS), 환경정책평가연구원에서 개발한 VESTAP(기후변화 취약성 평가를 위한 웹기반 지원도구)를 이용하여 산불 취약성 지수를 산정한 바 있다(Chae, *et. al.*, 2011; Lim, 2016; Lim & Kim, 2018). 그러나 이러한 산불 취약성 평가 연구는 사회경제적인 요인을 인구밀도, 건물밀도 등과 같이 광범위하게 설정하고 있으며, 시・군 및 읍・면・동 단위의 자료로 구축되었다는 단점이 있다. 우리나라 산불발생 건수를 보면 일부를 제외하고 90%이상이 1ha미만의 소규모 산불로 지역의 한정된 자원 및 인력을 효율적으로 활용하기 위해서는 최소 단위에서의 정보가 필요하며, 사회경제적 취약성은 읍・면・동 단위 내에서도 인구, 가구, 주택 등 특성에 따라 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 산불 피해가 극심한 강원도 지역을 대상으로 생물물리학적 요인과 동시에 산불에 취약한 인구 및 계층을 고려한 사회경제적 요인을 설정하고 현재 제공되고 있는 가장 소지역 단위(집계구)의 분석을 통해 시・군 및 읍・면・동에 대한 산불 예방 및 대응전략 마련 시 의사결정에 기초적인 정보를 제공하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 대상지 선정

본 연구는 산불 취약성 평가 기법의 적용을 위해

www.kci.go.kr

강원도를 대상지로 선정하였다. 전국 17개 권역의 연간('18년) 산불통계를 보면 총 496건의 산불이 발생하였으며, 피해면적은 894.07ha, 피해액은 48,583,214천원으로 나타났다(Korea Forest Service, 2018). 이 중 강원도 지역에서 발생한 산불건수는 47건으로 피해면적은 674.18ha, 피해액은 36,601,796천원으로 전국의 산불 피해면적 및 피해액의 75%를 차지하는 것으로 나타났다. 전국 시・군 중 강원도에서 발생한 산불의 피해면적 및 피해액이 높은 이유는 대형산불이 강원도에서 집중적으로 발생하기 때문이다. 이는 강원도 지역 산림의 대다수가 침엽수림으로 구성되어 있고 특히 이중에서도 산불에 취약하다고 알려진 소나무가 넓게 분포하고 있으며, 지리적 특성상 봄철에 서쪽에서 부는 바람이 태백산맥을 넘으면서 역전층과 백두대간 사이로 지나가며 고온・건조한 강풍으로 변하는 양간지풍이 주원인이라고 할 수 있다. 대상지역의 지리적 위치와 경계는 <Figure 1>과 같으며, 강원도는 강릉(GN), 고성(GS), 동해(DH), 삼척(SCH), 속초(SC), 양구(YG), 양양(YY), 영월(YW), 원주(WJ), 인제(IJ), 정선(JS), 철원(CW), 춘천(CC), 태백(TB), 평창(PC), 홍천(HCH), 화천(HC), 횡성(HS) 총 18개의 시・군으로 나눠져 있다.

2. 자료수집 및 분석방법

1) 산불 취약성 요인 선정

산불 취약성은 지역의 물리, 사회, 경제 등과 같은 다양한 요인의 취약적 특성이 복합적으로 결합하여 결정되는 것으로 산불 취약성에 영향을 미치는 사회경제적 특성에는 소득, 성별, 인종/민족, 연령, 교육수준 등이 있으며, 일부 연구에서는 건축 밀도, 건축 연령 등과 같은 특성도 있다(Cutter, *et. al.*, 2003; de Oliveira Mendes, 2009; Rygel, *et. al.*, 2006). 본 연구에서는 산불 취약성을 크게 인구, 경제, 정보, 입지 취약요인으로 구성하였으며, 이를 설명하기 위한 대리변수를 사용하였다.

인구 취약성 요인은 산불 발생의 주원인임과 동시에 피해 대상으로 취약성을 결정하는 매우 중요한 사회적 요인으로 많은 연구에서 인구밀도를 대리변수로 사용하고 있다(Cardille, *et. al.*, 2001; Charnley, *et. al.*, 2015; Galiana-Martin & Karlsson, 2012). 실질적으로 인

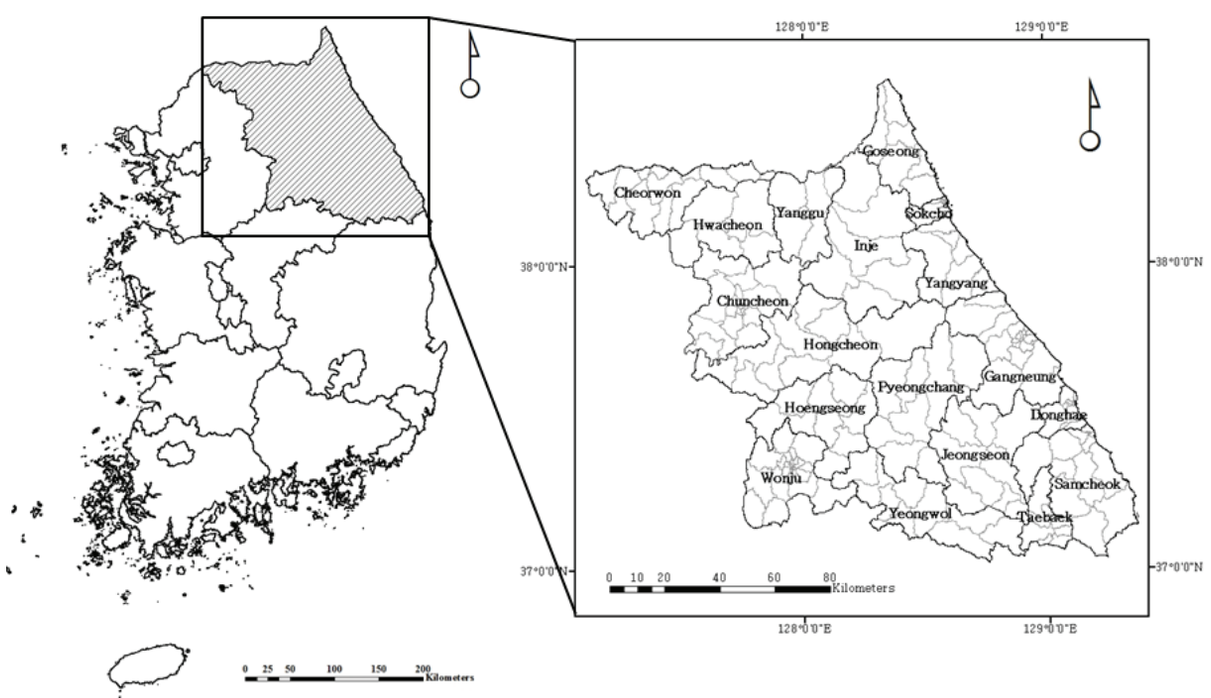

Figure 1. The Location of study sites in Gangwon province.

www.kci.go.kr

구밀도가 동일하다고 하여도 인구를 구성하는 특성에 따라 재난에 대응하는 능력 또한 차이가 있으므로 기존 연구에서는 연령에 따라 인구를 구분하여 사용하고 있다(Cutter, *et. al.*, 2000; Fekete, 2009; Flanagan, *et. al.*, 2011; Oliveira, *et. al.*, 2017; Rygel, *et. al.*, 2006; Solangaarachchi, *et. al.*, 2012; Wu, *et. al.*, 2002).

경제 취약성 요인은 산불에 대비하고 산불 피해로부터 회복하는 데 중요한 요인으로 경제적 취약계층은 제한된 재정 자원으로 인해 재난에 대비하는 능력이 낮거나 예방, 대응 및 복구를 위한 공급에 물리적인 제약이 있을 수 있으므로 위험에 매우 취약하다(Tapsell, *et. al.*, 2002). 경제 취약성을 대변하는 대리변수로는 소득, 주택 대출 상환금, 주택 임대료, 실업률, 주택가격, 세입자, 사회보장 지원 가구, 주택 및 토지 가격, 건축년도 등이 다양하게 사용되고 있다(Paveglio, *et. al.*, 2016; Solangaarachchi, *et. al.*, 2012; Wigtil, *et. al.*, 2016).

정보 취약성 요인은 재난에 대하여 개인 스스로가 방어할 수 있는 수단 중 하나로 산불 예방 및 대응 관련 정보를 개인이 어떻게 인지하는 지에 따라 큰 차이를 보일 수 있다. 정보 취약성 대리변수는 학력에 따라 구분하고 있으며, 일반적으로 고등학교 졸업장 유무, 초등학교(기본) 교육만 받은 가족 구성원 수, 모국어 수준 등으로 구분하여 사용하고 있다(Gaither, *et. al.*, 2011; Ojerio, *et. al.*, 2010; Oliveira, *et. al.*, 2017).

입지 취약성 요인은 생물물리학적 관점에서 산불 발생과 피해에 많은 영향을 주는 요인으로 침엽수림 면적 또는 산립 인접지에 대한 기준으로 구분할 수 있다. 일반적으로 침엽수림이 넓게 분포하는 입지일수록 대형산불 발생 위험이 높아 상대적으로 더 많은 피해를 초래할 가능성이 높으며, 산림 인접지에 대한 정의는 미국 산림청(US Forest Service)에서 “인간과 그들의 개발이 산림 연료와 만나거나 혼합되는 곳”으로 산림-도서간의 접점으로 정의하고 있으며, 그 구역에서 0.5마일(0.8km)이내에 있는 지역사회도 포함하고 있다(Stein, *et. al.*, 2013). 산림 인접지에 대한 기준은 매우 다양하나 산림 주변으로 일정한 면적 내 주택 수를 중심으로 정량적인 기준(산림 비율 및 연료 등)과 결합하여 구분하기도 하며(Stewart, *et. al.*, 2009), 주택 주변 반경 80m, 산림과 40m 거리, 비화까지 고려하여 2.4km 등을 산불로 인해 피해 입을 가능성이 있는 거리로 제시한 바 있다(Cohen, 2000; Stewart, *et. al.*, 2007; Theobald & Romme, 2007).

본 연구에서는 이러한 요인을 종합적으로 고찰하여 주로 사용되고 있는 취약성 요인 중 국내에서 수집이 가능한 자료를 기반으로 취약성 대리변수로 구성하였으며, 최종 선정된 대리변수는 인구 취약성에 15세 미만 인구밀도, 65세 이상 인구밀도, 경제 취약성에 전세, 월세 등 임대가구 밀도, 연건평 60㎡이하 주택 밀도, 건축연수 20년 이상인 주택 밀도, 정보 취약성에 초등학교 졸업 이하의 인구밀도, 입지 취약성에 임상도 기준 산림으로부터 30m이내 산림 인접지 면적 비율, 침엽수림 분포 면적 비율을 사용하였다(<Table 1>).

Table 1. Vulnerability assessment factors of forest fire in this study

Factors	Proxy variable	Reference
Population	X_1: People under 15 years old	- Statistics Korea(2010) : Population data census (Source: www.kosis.kr)
	X_2: People more than 65 years old	
Economic	X_3: Rental house(Include monthly rent, etc.)	
	X_4: 60㎡ or less house(The total floor space)	
	X_5: House over 20 years old	
Information	X_6: People of elementary school graduation or less	
Location	X_7: Forest-urban interface area within 30m	- Korea Forest Service(2017) : 5th Forest type map (Source: www.forest.go.kr)
	X_8: Coniferous stand area	

www.kci.go.kr

2) 자료수집 및 표준화

산불 취약성의 현실적인 공간 특성을 최대한 반영하기 위해 행정구역 보다 더 세분화된 집계구 단위로 설정하였으며, 집계구는 통계조사를 위해 통계청에서 별도의 지역단위를 구분한 것으로 인구 주택 총조사를 통해 인구, 가구 주택, 사업체별 자료 등을 포함하고 있다. 강원도 내 집계구를 대상으로 본 연구에서 선정한 취약성 대리변수 자료를 추출하였으며, 추출된 자료는 집계구 면적으로 나누어 밀도로 산정하였다. 산정된 값은 서로 다른 단위와 성질을 가지고 있으므로 이를 동일한 공간에 표현하기 위해서는 다양한 변수를 통일하기 위한 표준화 과정이 필요하다. 표준화 방법은 다양하지만 본 연구에서는 Re-scaling 방법을 사용하였으며 식 (1)과 같다.

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

Notes : x is an original value, x' is the normalized value.

이 방법은 Z-score 방법과 같이 일반적으로 많이 사용되고 있는 표준화 방법으로 표준편차보다 지표의 범위에 기반을 두고 있으며, 0～1 사이의 값으로 변환된다. 전체 자료에서 값의 순위에 따라 정렬되므로 상대적인 비교가 가능하다는 장점이 있으며, 음수가 발생하지 않는다(Kim, *et. al.*, 2019; Lee, *et. al.*, 2013).

3) 산불 취약지 선정 기법

산불 취약지를 선정하기 위해 ArcGIS 10.1을 활용하여 표준화 된 각 요인별 취약성 값을 집계구 경계와 결합하여 공간화 하였다. 집계구와 결합된 값은 Jenks의 최적화 알고리즘에 따라 등급을 유형화하는 자연적 구분법(Natural breaks)으로 Ⅰ등급에서 Ⅴ등급까지 구간으로 구분하였으며, 등급별 점수를 부여하여 수치화하였다. 점수를 부여하는 방식은 일반적으로 사용되는 정량화 방법을 적용하였으며, 등급에 따라 Ⅰ등급 1점(매우 낮음)부터 Ⅴ등급 5점(매우 높음)을 순차적으로 부여하였다(Park, *et. al.*, 2014; Cho & Kim, 2015). 시・군 또는 읍・면・동으로 구분 시 구역 내 포함되는 집계구를 산술평균 하였다.

최종 산불 취약성 평가를 위해 위의 대리변수를 산술평균하여 지수를 통합하는 방식으로 각 요인별 취약성을 산출하였으며, 식 (2)와 같이 이를 다시 산술평균하여 최종 산불 취약성 지수를 산출하였다.

$$FV = Average(P,E,I,L) \quad (2)$$

Notes : FV is Forest fire vulnerability, P= Population vulnerability, E= Economic vulnerability, I= Information vulnerability, L= Location vulnerability.

4) 산불 피해요인과의 상관관계

산불 취약산불 취약성 결정인자로 선정된 인구, 경제, 정보, 입지 취약성 대리변수와 산불 피해요인 사이의 유의미한 관계를 파악하기 위하여 피어슨(Pearson's) 상관분석을 실시하고자 하였다. 피어슨 상관 계수(Pearson Correlation Coefficient)는 +1과 -1 사이의 값으로 0일 경우 변수간의 상관관계가 없다는 것을 의미한다. 상관분석을 위한 산불 피해요인으로는 상대적 산불 피해액(Y_1)과 산불발생 건수(Y_2)를 선정하였으며, 산림청에서 제공하는 산불 피해대장의 10년간('09～'18) 자료를 기반으로 제공 가능한 최소단위인 읍・면・동 단위로 추출하였다. 상대적 산불 피해액은 산불이 동일한 면적에 피해를 준다고 가정하였을 때 사회경제적인 여건에 따라 피해에 직면하는데 차이가 있으므로 산불 피해액을 표준지공시지가의 단위면적당 평균지가로 나누어 산출하였다. 분석에는 통계분석 프로그램인 SAS 9.4를 사용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 강원도 산불 취약성 평가 결과

강원도 내 집계구를 대상으로 대리변수를 이용한

www.kci.go.kr

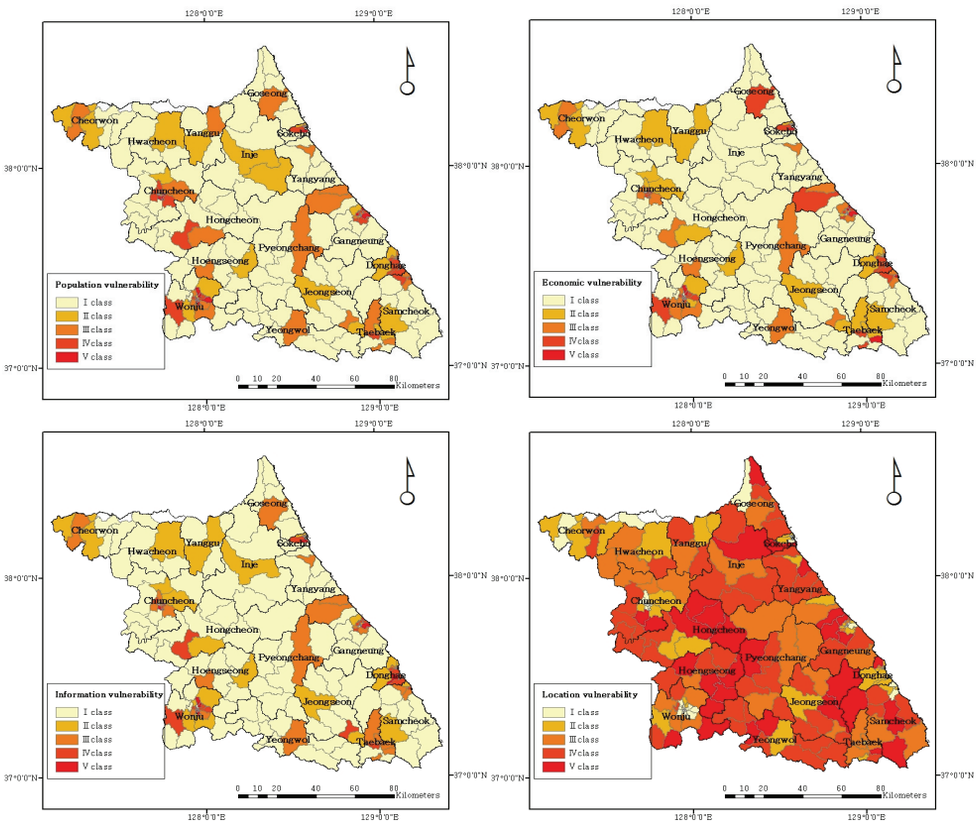

Figure 2. Map of spatial forest fire vulnerability class distribution.

인구, 경제, 정보, 입지 취약성을 산출한 후 공간화 하였다(<Figure 2>).

공간화 작업 전 실증적인 산불 취약지를 선정하기 위하여 입지 취약성이 0인 집계구 제외한 후 등급 및 지수화 하였다. 그 결과 강원도 내 산불 취약성이 매우 높은 Ⅴ등급에 해당하는 집계구는 108개로 전체의 6.3%이었고 Ⅳ등급 집계구는 166개로 9.8%, Ⅲ등급 집계구는 179개로 10.5%, Ⅱ등급 집계구 509개로 30.0%, Ⅰ등급 집계구 735개로 43.3%이었다.

시·군에 따른 산불 취약성은 춘천(2.73), 강릉(2.64), 속초(2.46), 원주(2.42), 동해(2.27), 태백(2.07), 삼척(1.95), 고성(1.89), 횡성(1.83), 양양(1.69), 영월(1.43), 화천(1.32), 양구(1.25), 홍천(1.22), 정선(1.21), 평창(1.18), 철원(1.14), 인제(1.08) 순으로 취약점수가 높은 것으로 나타났으며, 기존 산불의 기후변화 취약성 연구에서 춘천, 홍천, 정선, 삼척, 평창, 영월 순으로 높게 나타난 결과와 비교하여 춘천을 제외하고 다소 차이가 있는 것으로 나타났다(Chae, *et. al.*, 2011).

이는 분석 단위(시·군)와 대리변수(인구밀도, 침엽수 식생면적, 산림면적, 지역평균 경사도, 산불 발생건수)의 차이로 인해 나타난 결과로 사료된다.

지역의 산불 관리자가 실효성 있는 정책을 수립 및 시행하기 위해서는 시·군보다 작은 단위의 행정경계로 산불 취약성을 평가하는 것이 보다 효과적이다. 따라서 산불 취약성을 읍·면·동 단위로 구분한 결과 강원도 내 산불 취약성이 매우 높은 Ⅴ등급에 해당하는 읍·면·동은 22개로 전체의 11.9%를 차지하였으며, Ⅳ등급은 16.8%, Ⅲ등급은 17.3%, Ⅱ등급은 43.2%, Ⅰ등급은 10.8%로 나타났다. Ⅴ등급에 해당하는 읍·면·동 중 가장 높은 점수를 받은 지역은 원주시 태장1동과 2동으로 나타났으며, 시·군에 따른 읍·면·동은 강릉시 초당동, 동해시 북삼동, 삼척시 정라동, 속초시 조양동, 춘천시 후평3동, 태백시 철암동이 산불 취약점수가 높게 나타났다(<Figure 3>).

www.kci.go.kr

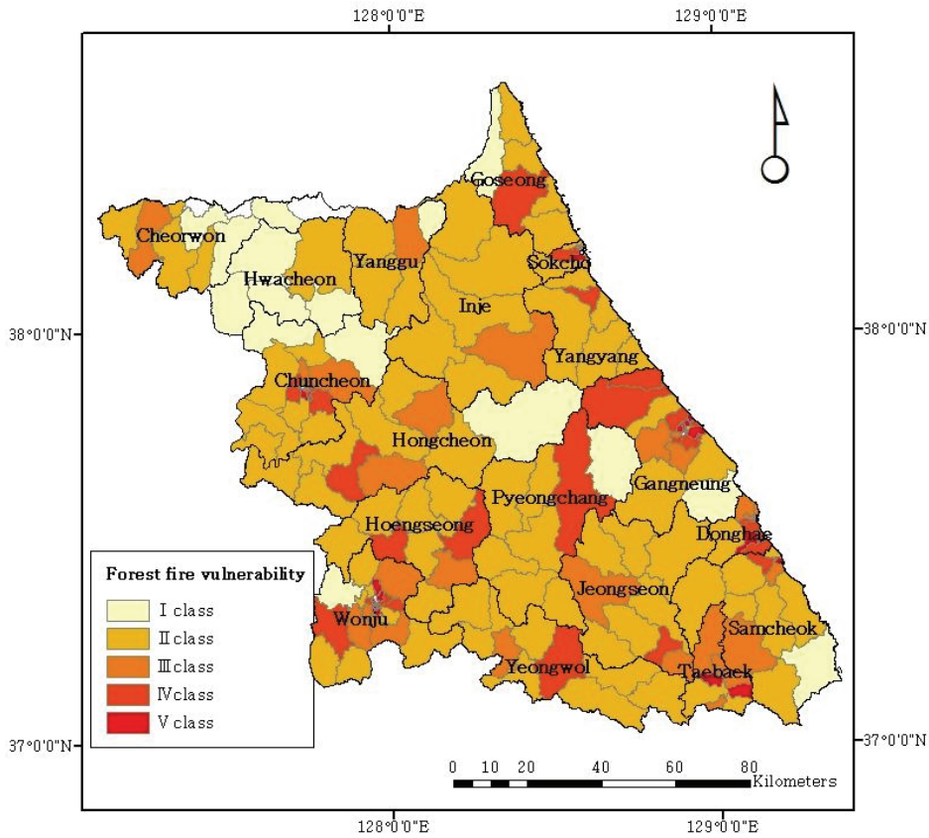

Figure 3. Forest fire vulnerability map in Gangwon province.

2. 강원도 산불 피해에 대한 상관관계

강원도 산불 취약 요인과 실제 산불 피해(상대적 산불 피해액, 산불발생 건수) 사이의 유의미한 관계를 파악하기 위해 상관분석을 실시한 결과 상대적 산불 피해액(Y_1)은 30m이내 산림 인접지 밀도(X_7), 침엽수림 밀도(X_8)와 양(+)의 상관관계, 15세 미만 인구밀도(X_1)와는 음(-)의 상관관계를 보였다(<Table 2>). 이는 현행 산불 피해액이 주로 임목피해액에 해당되기 때문에 나타난 결과로 구역 내 30m이내 산림 인접지와 침엽수림 밀도가 높을수록 산불발생 시 산림 내 임목

Table 2. Correlation matrix between the variables of forest fire vulnerability

Variables	Y_1	Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Y_1	1.000									
Y_2	0.628*	1.000								
X_1	-0.383**	-0.524*	1.000							
X_2	-0.261^{ns}	-0.335^{ns}	0.560*	1.000						
X_3	-0.161^{ns}	-0.389**	0.574*	0.501*	1.000					
X_4	-0.152^{ns}	-0.212^{ns}	0.442**	0.760*	0.562*	1.000				
X_5	-0.205^{ns}	-0.361**	0.751*	0.646*	0.530*	0.788*	1.000			
X_6	-0.341^{ns}	-0.429*	0.747*	0.952*	0.589*	0.779*	0.782*	1.000		
X_7	0.589*	0.500*	-0.142^{ns}	0.082^{ns}	0.086^{ns}	0.332^{ns}	0.222^{ns}	0.014^{ns}	1.000	
X_8	0.771*	0.858*	-0.430**	-0.232^{ns}	-0.282^{ns}	-0.021^{ns}	0.147^{ns}	-0.331^{ns}	0.784*	1.000

Note: **Correlation is significant at 1% significance level, *Correlation is significant at 5% significance level, ns is nonsignificant ($p > 0.05$).

www.kci.go.kr

피해 또한 높게 나타날 수 있으며, 15세 미만 인구밀도는 어린이집 또는 학교가 주로 위치하고 있는 도심지에서 높게 나타나기 때문에 상대적으로 산림분포 면적이 작아 산불발생 시 산림 내 임목피해가 적게 나타날 수 있다.

한편, 산불발생 건수(Y_2)는 15세 미만 인구밀도(X_1), 임대가구 밀도(X_3), 노후 가구밀도(X_5), 초등학교 졸업 이하의 인구밀도(X_6)와 음(-)의 상관관계를 보였으며, 30m이내 산림 인접지 밀도(X_7), 침엽수림 밀도(X_8)와 양(+)의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 인구가 많이 거주하고 있는 도심지에서 발생하는 산불보다 산림과 인접하고 침엽수림 밀도가 높은 시골에서 발생하는 산불이 더 많다는 것으로 설명될 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 산불 발생으로 인한 피해적 관점에 중점을 두고 산불에 대한 생물물리학적 취약성과 사회경제적 취약성을 동시에 고려한 산불 취약성을 평가하여 향후 산불 예방 및 대응전략 마련 시 의사결정에 중요한 정보를 제공할 수 있는 기반을 마련하고자 하였다.

본 연구에서 취약성을 평가하기 위한 요인으로 인구, 경제, 정보, 입지에 대한 대리변수는 15세 미만 인구, 65세 이상 인구, 임대주택, 연건평 60㎡이하 주택, 건축연수 20년 이상인 주택, 초등학교 졸업 이하의 인구, 산림으로부터 30m이내 산림 인접지 면적, 침엽수림 분포 면적을 선정하였으며, 강원도 지역을 대상으로 행정구역 단위보다 더 작은 단위인 집계구에 대한 자료를 구축하고 분석하여 최종 산불 취약성 지수를 산정하였다. 그 결과 강원도 내 산불 취약성이 매우 높은 Ⅴ등급에 해당하는 집계구는 6.3%, Ⅳ등급에 해당하는 집계구는 9.8%로 나타났으며, 읍・면・동 단위로 산불 취약성을 구분한 결과 Ⅴ등급에 해당하는 읍・면・동은 11.9%, Ⅳ등급은 16.8%로 나타났다. Ⅴ등급에 해당하는 읍・면・동은 원주시 태장 1동과 2동, 강릉시 초당동, 동해시 북삼동, 삼척시 정라동, 속초시 조양동, 춘천시 후평3동, 태백시 철암동으로 나타났다. 한편, 산불 취약성 요인과 실제 산불 피해(상대적 산불 피해액, 산불발생 건수) 사이의 유의미한 관계 파악하기 위해 상관분석을 실시한 결과 상대적 피해액 및 산불발생 건수 요인 모두 인구 및 건물이 밀집되어 있는 도심 보다는 산림과 인접한 시골에서 높게 나타나는 것으로 설명되었다. 이는 산불 피해에 대한 정보가 주로 산림 내 피해면적 및 임목피해액 등과 같은 생물물리학적 요인에만 집중되어 있으며, 산불로 인해 발생하는 산림 외 구역의 자산 및 인명 피해, 2차적 피해에 대한 자료 부족과 복구기간 등과 같이 재난으로부터 사회가 회복되는 과정에 대한 인식의 부족으로 인해 나타난 결과로 사료된다. 최근 도심형 산불로 인한 인명 및 재산 피해가 날로 급증함에 따라 과거 발생 관점에서의 인식을 피해관점으로 전환하여 한정된 자원 및 인력을 효율적으로 활용 할 수 있는 예방 및 진화・복구 계획을 수립하는 것이 필요할 것이다.

본 연구는 생물물리학적 요인과 사회경제적인 요인을 동시에 고려한 산불 취약성을 평가하고자 최소 통계구역 단위인 집계구 자료를 기반으로 강원도 지역의 산불 취약지(시・군 및 읍・면・동)를 선정하고 산불 취약성 요인과 실제 산불 피해 사이의 상관관계를 규명하였다. 그러나 산불 취약성 인자 중 일부만 선정하여 분석하였으며, 모든 인자에 동일한 가중치를 적용하였다는 점에서 한계가 있다. 따라서 보다 현실적인 산불 취약성 평가 및 적용을 위해서는 향후 다양한 산불 취약성 요인 선정, 기초자료 구축, 중요도에 따른 가중치 부여 등과 관련된 다양한 연구가 수행되어야 할 것이다.

www.kci.go.kr

References

Ades, A. and R. D. Tella. 1997. National Champions and Corruption: Some Unpleasant Interventionist Arithmetic. *The Economic Journal*. 107(443): 1023-1042.

Cardille, J. A., S. J. Ventura, and M. G. Turner. 2001. Environmental and Social Factors Influencing Wildfires in the Upper Midwest, United States. *Ecological Applications*. 11(1): 111-127.

Chae, Hee Mun, Gi Jeung Um, and Si Young Lee. 2011. The Vulnerability Assessment of Forest Fire in Gangwon Province Using CCGIS. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 11(4): 123-130.

Charnley, S., M. R. Poe, A. A. Ager, T. A. Spies, E. K. Platt, and K. A. Olsen. 2015. A Burning Problem: Social Dynamics of Disaster Risk Reduction Through Wildfire Mitigation. *Human Organization*. 74(4): 329-340.

Cho, Hyung Jin and Kyung Bae Kim. 2015. Assessment of The Social Vulnerability in the Climate Change Induced-flood Risk: Focused on the City of Incheon. *Journal of Climate Research*. 10(4): 341-354.

Cohen, J. D. 2000. Preventing Disaster: Home Ignitability in the Wildland-Urban Interface. *Journal of Forestry*. 98(3): 15-21.

Collins, T. W. 2008. What Influences Hazard Mitigation? Household Decision: Making About Wildfire Risks in Arizona's White Mountains. *The Professional Geographer*. 60(4): 508–526.

Cutter, S. L. 1996. Vulnerability to Environmental Hazards. *Progress in Human Geography*. 20(4): 529-539.

Cutter, S. L., B. J. Boruff, and W. L. Shirley. 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*. 84(2): 242-261.

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.

de Oliveira Mendes, J. M. 2009. Social Vulnerability Indexes as Planning Tools: Beyond the Preparedness Paradigm. *Journal of Risk Research*. 12(1): 43-58.

Fekete, A. 2009. Validation of a Social Vulnerability Index in Context to River-floods in Germany. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 9(2): 393-403.

Flanagan, B. E., E. W. Gregory, E. J. Hallisey, J. L. Heitgerd, and B. Lewis. 2011. A Social Vulnerability Index for Disaster Management. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. 8(1): 1-22.

Gaither, C. J., N. C. Poudyal, S. Goodrick, J. M. Bowker, S. Malone, and J. Gan. 2011. Wildland Fire Risk and Social Vulnerability in the South-eastern United States: An Exploratory Spatial Data Analysis Approach. *Forest Policy and Economics*. 13(1): 24–36.

Galiana-Martin, L. and O. Karlsson. 2012. Development of a Methodology for the Assessment of Vulnerability Related to Wildland Fires Using a Multi-criteria Evaluation. *Geographical Research*. 50(3): 304-319.

Hamilton, Robert M. 2000. Science and Technology for Natural Disaster Reduction. *Natural Hazards Review*. 1(1): 56-60.

Kim, Ji Eun, Ji Yeon Park, Joo Heon Lee, and Tae Woong Kim. 2019. Socioeconomic Vulnerability Assessment of Drought Using Principal Component Analysis and Entropy Method. *Journal of Korea Water Resources Association*. 52(6): 441-449.

Kim, Jin Uk, Chung Gil Jung, Ji Wan Lee, and Seong Joon Kim. 2018. Development of Naive-bayes Classification and Multiple Linear Regression Model to Predict Agricultural Reservoir Storage Rate Based on Weather Forecast Data. *Journal of Korea Water Resources Association*. 51(10): 839-852.

Korea Forest Service. 2018. *Statistical Yearbook of Forest Fire*. http://www.forest.go.kr/.

Lee, Min Woo, Tae Woong Kim, and Geon Woo Moon. 2013. Assessment of Flood Damage Vulnerability Considering Regional Flood Damage Characteristics in South Korea. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*. 13(4): 245-256.

Lim, Chae Hyun and Chang Young Kim. 2018. A Study on Vulnerability Assessment for Forest Fires according to Climate Change in Jeju-si and Seogwipo-si. *Journal of the Korean Society of Urban Environment*. 18(2): 217-223.

Lim, Chae Hyun. 2016. The Vulnerability Assessment Forest Fire in Jeju to Climate Change Using the VESTAP. *Fire Science*

www.kci.go.kr

and Engineering. 30(1): 57-62.

Ojerio, R., C. Moseley, K. Lynn, and N. Bania. 2010. Limited Involvement of Socially Vulnerable Populations in Federal Programs to Mitigate Wildfire Risk in Arizona. *Natural Hazards Review*. 12(1): 28–36.

Oliveira, S., J. L. Zêzere, M. Queirós, and J. M. Pereira. 2017. Assessing the Social Context of Wildfire-affected Areas: The Case of Mainland Portugal. *Applied Geography*. 88: 104-117.

Park, Yoon Kyung, Sang Man Jeong, and Sang Dan Kim. 2014. Natural Disaster Vulnerability Assessment at Boroughs and Census Output Areas in Seoul Focusing on Socio-economic Perspective. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 14(6): 439-449.

Paveglio, T. B., T. Prato, C. Edgeley, and D. Nalle. 2016. Evaluating the Characteristics of Social Vulnerability to Wildfire: Demographics, Perceptions and Parcel Characteristics. *Environmental Management*. 58(3): 534-548.

Poudyal, N. C., C. Johnson-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(3): 623-635.

Rygel, L., D. O'sullivan, and B. Yarnal. 2006. A Method for Constructing a Social Vulnerability Index: An Application to Hurricane Storm Surges in a Developed Country. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 11(3): 741-764.

Ryu, Gye Sun, Byung Doo Lee, and Sung Yong Kim. 2015. Developing Techniques of Mapping and Indicator Selection for Forest Fire Vulnerability. *Crisisonomy*. 11(11): 323-337.

Solangaarachchi, D., A. L. Griffin, and M. D. Doherty. 2012. Social Vulnerability in the Context of Bushfire Risk at the Urban-bush Interface in Sydney: A Case Study of the Blue Mountains and Ku Ring-Gai Local Council Areas. *Natural Hazards*. 64(2): 1873-1898.

Stein, S. M., J. Menakis, M. A. Carr, S. J. Comas, S. I. Stewart, H. Cleveland, L. Bramwell, and V. C. Radeloff. 2013. Wildfire, Wildlands, and People: Understanding and Preparing for Wildfire in the Wildland-urban Interface-A Forests on the Edge Report. RMRS-GTR-299. Fort Collins, CO. US Department of Agriculture, Forest Service. 10.

Stewart, S. I., B. Wilmer, R. B. Hammer, G. H. Aplet, T. J. Hawbaker, C. Miller, and V. C. Radeloff. 2009. Wildland-urban Interface Maps Vary with Purpose and Context. *Journal of Forestry*. 107(2): 78-83.

Stewart, S. I., V. C. Radeloff, R. B. Hammer, and T. J. Hawbaker. 2007. Defining the Wildland-urban Interface. *Journal of Forestry*. 105(4): 201-207.

Tapsell, S. M., E. C. Penning-Rowsell, S. M. Tunstall, and T. L. Wilson. 2002. Vulnerability to Flooding: Health and Social Dimensions. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. *Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 360(1796): 1511-1525.

Theobald, D. M. and W. H. Romme. 2007. Expansion of the US Wildland–urban Interface. *Landscape and Urban Planning*. 83(4): 340-354.

Whittaker, J., J. Handmer, and D. Mercer. 2012. Vulnerability to Bushfires in Rural Australia: A Case Study from East Gippsland, Victoria. *Journal of Rural Studies*. 28(2): 161-173.

Wigtil, G., R. B. Hammer, J. D. Kline, M. H. Mockrin, S. I. Stewart, D. Roper, and V. C. Radeloff. 2016. Places Where Wildfire Potential and Social Vulnerability Coincide in the Coterminous United States. *International Journal of Wildland Fire*. 25(8): 896-908.

Wilhite, D. A. 2000. Drought as Natural Hazard: Concepts and Definitions. *A Global Assessment*. 1(1): 3-18.

Wu, S. Y., B. Yarnal, and A. Fisher. 2002. Vulnerability of Coastal Communities to Sea-level Rise: A Case study of Cape May County, New Jersey, USA. *Climate Research*. 22(3): 255-270.

Yeom, Chan Ho. 2019. A Study on Prevention of Forest Fires of Adjacent Forest Facilities. Ph.D. Dissertation. Kangwon National University.

Korean References Translated from the English

김지은, 박지연, 이주헌, 김태웅. 2019. 주성분 분석 및 엔트로피 기법을 적용한 사회・경제적 가뭄 취약성 평가. 한국수자원학회지. 52(6): 441-449.

김진욱, 정충길, 이지완, 김성준. 2018. 기상예보자료 기반의 농업용저수지 저수율 전망을 위한 나이브 베이즈 분류

www.kci.go.kr

및 다중선형 회귀모형 개발. 한국수자원학회지. 51(10): 839-852.

류계선, 이병두, 김성용. 2015. 산불취약성지도 작성을 위한 지표 선정 및 지도화 기법 개발. Crisisonomy. 11(11): 323-337.

박윤경, 정상만, 김상단. 2014. 사회경제적 관점에서의 서울시 자치구 및 집계구 자연재해취약성 평가. 한국방재학회지. 14(6): 439-449.

산림청. 2018. 산불통계연보. http://www.forest.go.kr/.

염찬호. 2018. 산림인접 시설물들의 산불방지에 관한 연구. 박사학위논문. 강원대학교 방재전문대학원.

이민우, 김태웅, 문건우. 2013. 우리나라의 지역별 홍수피해 특성을 고려한 홍수피해 취약성 평가. 한국수자원학회지. 13(4): 245-256.

임채현, 김창영. 2018. 제주시와 서귀포시에서의 기후변화에 따른 산불 취약성 평가 연구. 한국도시환경학회지. 18(2): 217-223.

임채현. 2016. VESTAP을 활용한 기후변화에 따른 제주도 산불 취약성 평가 연구. 한국화재소방학회지. 30(1): 57-62.

조형진, 김경배. 2015. 기후변화로 인한 홍수위험의 사회적 취약성 평가 연구. 기후연구. 10(4): 341-354.

채희문, 엄기증, 이시영. 2011. CCGIS를 활용한 강원도 산불의 기후변화 취약성 평가. 한국방지학회지. 11(4): 123-130.

Received: Feb. 28, 2020 / Revised: Mar. 24, 2020 / Accepted: Mar. 24, 2020

www.kci.go.kr

강원도 지역의 생물물리학적 및 사회경제적 요인에 따른 산불 취약지 선정

국문초록 본 연구는 산불 발생으로 인한 피해적 관점을 고려하여 산불에 대한 생물물리학적 취약성과 사회경제적 취약성을 동시에 고려한 산불 취약성을 평가하고자 하였다. 연구대상지는 강원도 지역으로 산불 취약성은 인구, 경제, 정보, 입지 요인으로 구성하였으며, 이를 설명하기 위해 각 요인별 대리변수를 사용하였다. 산불 취약성 지도를 작성하기 위해 최소 통계구역 단위인 집계구 단위로 산불 취약성 지수를 산출하였으며, 시・군 및 읍・면・동에 대한 산불취약지 지도를 작성하였다. 산불 취약성에 영향을 미치는 인자를 파악하기 위해 산불 피해에 대한 통계적 분석을 실시한 결과, 상대적 피해액과 산불발생 건수는 인구 및 건물이 밀집되어 있는 도심보다는 산림과 인접한 시골에서 상관성이 더 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발된 산불 취약성 지도는 지역의 산불 예방 및 대응을 위한 계획 수립에 있어 우선순위 선정 시 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

주제어 : 산불 취약성, 사회경제적 취약성, 산불지도

Profiles **Mi Na Jang :** She received her Ph.D. in Agriculture from Kongju National University in Feburary 2020 with her Ph.D. paper titled “Development of Forest Fire Vulnerability Assessment Methodology Using GIS”. She is currently working for Korea Forest Fire Management Service Association as a senior researcher. Her current research interest includes forest fire vulnerability assessment and fuel model techniques(jmn1607@naver.com).

Young Jin Lee : He received his Ph.D. in Forestry and Agriculture from Stephen F. Austin state University, U.S.A in 1998. He is Professor of the Department of Forest Resources, Kongju National University, in which he has taught since 2002(leeyj@kongju.ac.kr).

www.kci.go.kr