

우도비를 적용한 경상북도 산불 발화지의 공간분포 특성 연구*

윤혜연** · 장동호***

A Study on the Spatial Distribution Characteristics of Forest Fire Ignition Point in Gyeongsangbuk-do Applying the Likelihood Ratio*

Hye-Yeon Yoon** · Dong-Ho Jang***

요약 : 본 연구는 우도비를 적용하여 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석하였다. 우도비 분석결과, 토양 배수등급을 제외한 고도, 경사, 사면향, 지질, 토지피복, 임상, 지형 습윤지수, 유효토심, 평균기온, 평균최고기온 등에서 산불 발화지와 높은 상관관계가 나타났다. 이를 바탕으로 경북 산불 발화지의 공간분포 특성을 도출한 결과, 산불 발화지는 대부분 고도 0~200m (48.4%), 경사 10~20°(42.3%), 사면향은 남사면(22.8%)에 산불 발화지가 다수 분포하는 것으로 확인되었다. 또한, 산불 발화지의 지질은 34.6%가 화강암류에 해당하며, 토지피복은 산림지역(88.4%)에 산불 발화지가 가장 많이 분포하고 있었다. 임상은 30.6%가 침활혼효림에, 지형 습윤지수는 2.3~5.5(58.5%) 구간에 산불 발화지가 다수 분포하는 것으로 나타났다. 또한, 산불 발화지는 유효토심 50~100cm(49.5%)과 평균기온 및 평균최고기온에서는 각각 11.9~12.6°C(24.0%), 24.8~25.5°C(30.1%)에 많이 분포하는 것으로 확인되었다. 본 연구에서 도출된 결과는 산불 관리정책 수립 및 실행을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 산불, 우도비, 경상북도, GIS, 공간분포

Abstract : This study analyzed the spatial distribution characteristics of forest fire ignition point by applying likelihood ratio. Analysis of the obtained results, a high correlation with the forest fire ignition point was found in elevation, slope, aspect, geologic, landcover, forest type, topographic wetness index, effective soil depth, average temperature, and average highest temperature, excluding soil drainage. Moreover, the result that driven in the spatial distribution characteristics of the Gyeongbuk forest fire ignition point, most of the point have distributed an elevation of 0~200 m (48.4%), a slope of 10~20° (42.3%), and the aspect is located at South direction (22.8%). In addition, 34.6% of the geologic area of the forest fire ignition point corresponds to granite, and the land-cover was mostly distributed in the forest area (88.4%). In the case of forest type, maximum 30.6% were found to be in the mixed forest of soft and hardwood, and the topographic wetness index was found to be in the range of 2.3~5.5 (58.5%). In addition, forest fire ignition points were found to be widely distributed at the section of 50~100 cm (49.5%) in the effective soil depth, 11.9~12.6°C (24.0%) and 24.8~25.5°C (30.1%) at the average temperature and average highest temperature respectively. The results derived from this study can be used as basic data for forest fire management policies and practices.

Key Words : Forest fire, Likelihood ratio, Gyeongsangbuk-do, GIS, Spatial distribution

*본 논문은 제1저자의 석사학위논문을 요약하고 일부 수정한 것임.

**공주대학교 지리학과 박사과정(Doctoral Student, Department of Geography, Kongju National University, yhy0802@smail.kongju.ac.kr)

***공주대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Kongju National University, gisrs@kongju.ac.kr)

I. 서론

산림은 세계적인 탄소 흡수원과 수자원공급의 자원으로 그 기능에 대한 가치가 점점 더 높아지고 있다(조장환 등, 2020). 그러나 사람들의 여가활동이 활발해짐에 따라 등산객이 증가하고 산림 주변 거주민들의 생활문화로 인해 산불 발생의 위험성이 높아지고 있다.

한국에서의 산불은 산림이나 산림에 잇닿은 지역의 나무·풀·낙엽 등이 인위적 또는 자연적으로 발생한 불에 타는 것을 의미한다(국가법령정보센터). 이러한 산불이 발생하게 되면 산림생태계를 포함한 주변 환경에 영향을 미치게 되며, 토양 유실 및 산사태 등의 피해를 초래한다. 또한 산불의 규모가 커질 경우에는 국가 차원의 재난으로 확대될 가능성이 높다.

과거에 한국은 산림 남벌로 인한 산림 황폐화를 극복하기 위해 산림보호정책이 실시되어 낙엽을 채취하는 행위가 금지되었다. 이로 인해 지표에 가연성 피복물이 급증하게 되어 산불이 발생하면 초기 진화가 어렵고 대형화되어 산림자원이 소실되고 있다(김윤정, 1996). 한국에서 발생하는 산불은 시기별·지역별로 발생하며, 특히 봄철이나 가을철에 기온이 상승하고 건조한 기간이 지속되어 다발적으로 발생한다. 이처럼 산불의 발생이 계절별로 달라지는 것은 기후 요인이 산불 발생에 영향을 미친다고 할 수 있다.

산불 발생의 원인은 인위적 요인과 자연적 요인으로 구분할 수 있다. 인위적 요인은 인간에 의한 발생인 입산자실화, 담뱃불실화, 논·밭두렁소각, 쓰레기소각과 군사활동 등이 있으며, 자연적 요인은 화산폭발, 낙뢰 등이 있다. 국외에서는 주로 번개나 낙뢰, 화산폭발 등의 자연적 요인으로 인한 산불 발생이 많지만, 한국에서는 대부분 인위적 요인으로 인한 산불 발생이 많다. 한국의 산불은 인위적인 요인에 의해 산불이 시작되지만, 기상요소와 지형, 임상 등이 산불 발생 요건에 충족해야 발생할 수 있다(전보람, 2016).

이처럼 산불의 발생요인과 그 특성으로 미루어 봤을 때, 산불 발생에 영향을 줄 수 있는 요인을 미리 분석하여 초기에 대응할 수 있도록 하는 대안책을 수립해야 할 것이다. 따라서 과거의 산불 자료를 활용하여 산불 발화지와 주요 자연·환경요인 간의 상관관계를 파악하고, 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석한 연구가 필요하다.

산불과 관련된 국내·외 선행연구는 크게 산불 발생 인자에 관한 연구, 산불 발생 위험성을 예측한 연구, GIS 기법을 활용한 연구 등이 이루어졌다. 먼저, 산불 발생 인자에 관한 연구는 주로 산불 발생과 관련한 영향 요인을 분석한 연구가 진행되었다(이시영 등, 2001; 이장렬, 2002; 김유리, 2014). 이시영 등(2001)은 강원도의 지역별 산불 발생 원인과 기상조건 사이의 관계 규명을 위해 통계분석을 실시하여 산불 발생의 여러 특성을 유형화하였다. 또한, 이장렬(2002)은 1995~2001년에 고성군에서 발생한 산불 다발지역을 대상으로 산불 발생에 있어 영향을 주는 인위적 요인과 기상요인을 분석하였다. 이밖에 김유리(2014)는 충북지역 산불의 공간분포 패턴을 분석하고, 산불 발생과 토지이용 간의 상관관계를 도출하였다.

다음으로 산불 발생 위험성을 예측한 연구는 산불 발생 예측모형을 수립하여 위험성을 예측한 연구들이 진행되었다(Stephen and Judith, 1991; 박홍석 등, 2009; 정광우, 2011). Stephen and Judith(1991)는 과거 산불 발생 자료를 바탕으로 700만km² 면적의 산불 취약지의 예측모형을 구성하였다. 구축한 모형을 기반으로 산불 발생을 예측하거나 산불 확산 행태를 분석하는 등의 정보를 제공하였다. 또한, 박홍석 등(2009)은 2002~2006년 강원도의 기상자료와 산불 발생자료를 기반으로 캐나다의 산불 지상연료 위험지수를 적용하여 산불 발생 예측 적용성을 검토하였다. 이밖에 정광우(2011)는 한국의 고층 기상자료를 이용하여 산불 잠재 위험지수를 산출한 후, 산불 발생과의 상호 관련성을 검토하였다. 또한, 지역에 보모델과 예상 자료를 이용하여 산불 잠재 위험지수의 분포와 산불과의 연관성을 분석하였다.

산불 연구에 GIS 기법을 적용하면 산불 발생지에 대한 공간분석을 실시할 수 있으며, 다각적인 방법을 통해 산불 위험지역을 예측하거나 방재대책 등을 수립하기 위한 공간적 접근이 용이해진다. 따라서 기존 산불 연구에서 GIS 기법을 적용한 연구가 다양하게 진행되었다(James and Franklin, 1992; 김대영, 2014; 장미나, 2020). James and Franklin(1992)은 미국 캘리포니아주 산타모니카의 산림지역에 GIS 기법을 적용한 산불 관리방안을 제시하였으며, 산불 발생과 지형·기후·교통망 등의 인간 활동 간의 관계를 규명하였다. 또한, 김대영(2014)은 산불 발생현황 및 원인을 분석하기 위해 1991~2010년 전국 산불자료에 GIS 기법을 적용하여 지도화하였으며, 공간

적 자기상관 분석(Spatial Autocorrelation)을 활용하여 산불과 위험지역 간의 지리적 연관성을 분석하였다. 이 밖에 장미나(2020)는 산불 취약성 분석을 위해 강원도를 대상으로 평가 모델을 적용하고 통계분석을 통해 검증하였다. 이를 GIS 분석에 적용하여 산불 취약성의 공간 분포를 비교하고 산불 취약지역을 추출하였다.

이와 같이 산불 발생인자와 위험성 예측, GIS 공간분석 등을 실시한 기존의 국내·외 산불 연구들은 주로 산불 예측 및 모델링과 산불 발생요인 분석에 초점을 맞춘 연구가 대부분이었으며, 통계분석과 산불 위험지수를 활용한 연구들이 다수 진행되었다(Yue, 1992; 신영철·안상현, 2000; Fortin and Payette, 2002; Xiao and Zhuang, 2007; 이병두 등, 2008; 채경재 등, 2018). 그러나 GIS 기법을 사용한 기존의 산불 연구 중, 격자형태(Raster) 공간 자료에 우도비(Likelihood ratio)를 적용하여 산불 발화지와 지형 및 기상요인 간의 상관관계를 분석한 연구는 미비하였다. 따라서 본 연구에서는 2010~2019년 산림청 산불 피해대상 자료를 바탕으로 우도비를 적용하여 경상북도 산불 발화지와 주요 자연·환경요인 간의 상관관계를 분석하고, 산불 발화지의 공간분포 특성을 도출하고자 하였다. 이 연구를 통해 도출된 결과는 산불 관리정책 수립 및 실행을 위한 기초자료가 될 수 있을 것이며, 국가적 차원뿐만 아니라 지자체 차원에서도 산불 발생에 대한 초기대응 방안을 구상하기 위한 뒷받침 역할을 할 수 있을 것이다.

II. 연구지역 및 연구방법

1. 연구지역

연구지역은 경상북도(울릉군 제외)로 선정하였으며, 그중 울릉군을 제외한 이유는 분석에 사용된 산불 피해대상 자료(2010~2019년)에서 산불 발생건수가 2건 밖에 되지 않아, 해당 지역의 산불 표본으로 분석을 실행하기에는 적절하지 않다고 판단되었기 때문이다.

경북은 서쪽은 충북과 전북, 동쪽은 동해바다, 북쪽은 강원, 남쪽은 대구·울산광역시와 경남과 면해있다. 연구지역의 수리적 위치는 127° 48'E~129° 35'E, 35° 34'N~37° 33'N로, 남한에서 가장 넓은 광역시도(1,895,800ha)에 해당한다(그림 1).

경북의 지질은 크게 소백산지괴, 경상분지, 포항분지로 구분된다. 소백산지괴는 울진군·봉화군·영주시·문경시·상주시·김천시·구미시 서부·성주군 등에 분포하며, 선캄브리아기 화강편마암 및 결정편마암으로 구성되어 있다. 또한, 경상분지는 소백산지괴와 포항분지를 제외한 대부분의 지역에 해당하며, 중생대 백악기의 퇴적암과 화산암, 심성암으로 이루어져 있다. 이밖에 포항분지는 신생대 중신세~선신세에 형성되었으며, 울산만~영덕군 영해면의 해안지역은 제3기층으로 구성되어 있다(한국민족문화대백과사전). 경북은 태백산맥 및 소백산맥에 둘러싸여 있고, 남쪽에 해발고도가 높은 산

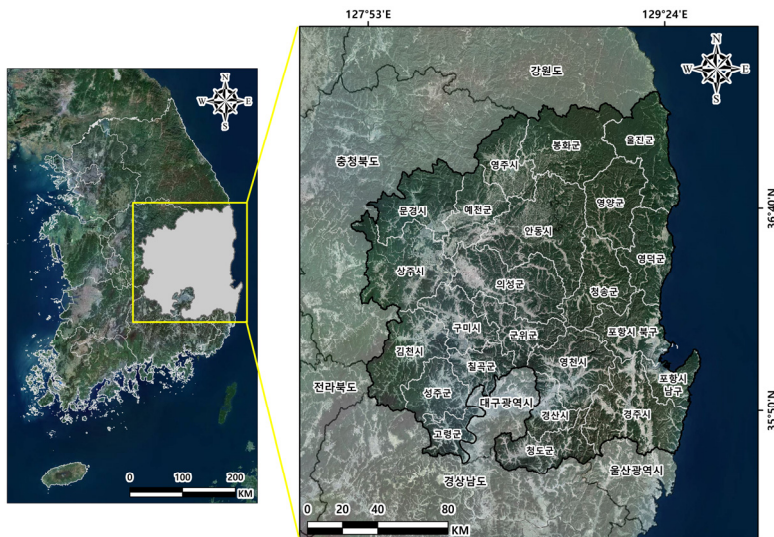


그림 1. 연구지역도

표 1. 경북의 30년 기후 평년값(1991~2020년)

기후요소	평년값
연평균기온	12.4°C
평균최고기온	18.1°C
평균최저기온	7.4°C
평균습도	66.6%
평균풍속	2.1m/s
연강수량	1,134mm

* 출처 : 기상청 기상자료개방포털.

들이 위치하여 분지 형태의 지형을 이룬다.

연구지역은 산맥과 바다의 영향으로 대륙성기후와 해양성기후의 특성이 같이 나타난다. 경북의 30년 기후 평년값(1991~2020년)을 살펴보면, 연평균기온 12.4°C, 평균최고기온 18.1°C, 평균최저기온 7.4°C, 평균습도 66.6%, 평균풍속 2.1m/s, 연강수량은 1,134mm으로 나타났다(표 1).

경북은 이러한 자연·환경적 특성과 더불어 2010~2019년 동안의 산불 발생건수가 총 731건이며, 전국 광역시도에서 2번째로 많았다. 또한, 경북 내에서는 경주시(65건)와 안동시(65건), 상주시(50건) 등이 산불 발생건수가 가장 많은 것으로 나타났다(산림청). 연구지역은 산맥으로 둘러싸여 있고 산불 발생이 빈번하지만, 경북의 산불 연구와 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석한 연구가 미흡하여 추가적인 연구가 필요하다. 이에 대한 사례로서 경북 산불 발화지의 자연·환경적 공간분포 특성에 관하여 분석하고자 하였다.

2. 사용자료 및 분석방법

본 연구에서는 산불 관리정책 수립 및 실행과 동시에 지자체 차원의 산불 초기대응 방안을 구상하기 위한 뒷받침 역할을 위하여 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석하고자 하였다. 이에 따라 장기간의 산불 발생자료를 바탕으로 경북의 산불 발화지와 주요 자연·환경요인 간의 상관관계를 도출하기 위한 연구를 수행하였다.

분석에 사용된 자료들은 모두 2010~2019년을 기준으로 구축하였다. 본 연구의 기초 자료인 장기간 산불 발생자료는 산림청에서 구축한 '산불 피해대장'에서 경상북도 시군구(울릉군 제외) 자료만을 이용하였다. 여기에서 경북 내 731개 지점의 산불 발생자료를 획득하였으나, 산불 발생주소가 명확하지 않고 경북이 아닌 타 지

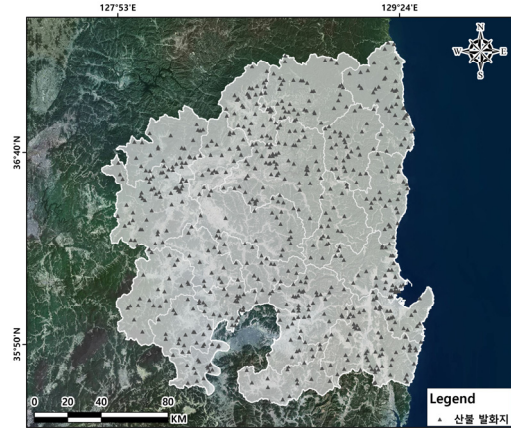


그림 2. 2010~2019년 산불 발화지 분포도

역의 오기입된 건을 제외한 총 725개 지점의 자료를 활용하였다. 725개의 산불 발화지에 대한 위치정보는 주소를 지리적 좌표로 변환하는 오픈소스 프로그램인 지오코더(Geocorder-Xr)를 사용하여 변환하였다(그림 2). 재구축한 산불 발생자료를 바탕으로 주요 자연·환경요인과의 상관관계를 분석하였다.

산불 발화지와 주요 자연·환경요인 간의 상관관계 분석을 위해 우도비를 적용하였다. 우도비는 산불의 최초 발화위치와 공간정보 간의 관계를 확률로 나타내며, 베이지안 확률을 기초로 한다. 또한, 우도비는 적용 대상을 확률론적으로 표현하고, 단일 자료뿐만 아니라 여러 자료를 함께 분석에 사용이 가능하다(Duda *et al.*, 1976). 베이지안 확률은 일반적으로 초기 확률(a priori probability), 조건부 확률(conditional probability), 사후 확률(a posteriori probability) 등으로 표현된다(Bonham-Carter, 1994). 본 연구에서는 조건부 확률의 비로 표현되는 우도비를 사용하였다. 이러한 우도비는 어떤 사건이 특정 속성에서 일어나지 않을 확률에 대한 일어날 확률의 비로, 정량적으로 그 차이를 부각시킨다는 장점이 있다(Chung and Fabbri, 1998).

우도비는 $[0, \infty]$ 의 값을 가지며, 1보다 클 경우에는 산불 발화지와 자연·환경요인 간의 상관성이 높으며, 1보다 작을 경우에는 산불 발화지와 자연·환경요인 간의 상관성이 적은 것이다. 산불이 발생한 지점(M)과 발생하지 않은 지점(\bar{M})으로 구성된 전체 연구지역(A)에서 m 개의 픽셀 값(c_1, \dots, c_m)을 가진 지점(c)를 검토할 수 있다. 픽셀이 각각 M 과 \bar{M} 에 속하는 $f\{c_1,$

$\dots, c_m | M$ 과 $f\{c_1, \dots, c_m | \bar{M}\}$ 을 다변량 도수분포 함수로 가정할 경우에 우도비는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(Press, 1972).

$$\lambda(c_1, \dots, c_m) = \frac{f\{c_1, \dots, c_m | M\}}{f\{c_1, \dots, c_m | \bar{M}\}} \quad (1)$$

III. 자연·환경요인의 GIS 공간자료 구축

경북 산불 발화지점의 공간분포 특성을 분석하기 전에, 자연·환경요인들을 GIS 공간자료로 제작하였다. 먼저, 자연·환경요인들은 산불 발생과 관련이 있을 것으로 판단되는 지형 및 기상요소들로 선정하였다. 산불은 연료와 산소, 열 등의 세 가지 요소가 모두 부합해야 발생하지만, 산불의 확산이나 행동은 임상, 연료의 종류, 배열 및 밀도와 같은 연료의 조건과 기온, 습도, 풍속과 같은 기상요인, 방위 또는 경사와 같은 지형적 영향에 의해 복합적으로 발생한다(Davis and Brown, 1959). 따라서 산불이 발생하고 확산하는 과정에서는 기상요인과 지형요인 등의 영향이 중요하다. 본 연구에서 선정한 요인은 지형요인인 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM), 경사, 사면향, 지질, 토지피복, 임상, 지형 습윤지수(Topographic Wetness Index, TWI), 토양 배수등급, 유효토심 등이며, 기상요인인 평균기온, 평균최고기온, 평균최저기온, 연강수량 등이 있다.

특히, 기상요인은 일반최소자승법(Ordinary Least Squares)을 사용하여 선형회귀분석(Linear Regression Analysis)을 실시하고, 결정계수(R^2)가 0.60 이상으로 나타난 요인들만 분석에 이용하였다. R^2 은 통상적으로 0.60 이상으로 도출될 때, 상관관계 정도가 높다는 의미를 갖는다. 기상요인에 대하여 선형회귀분석을 실시한 결과, 평균기온과 평균최고기온에서만 R^2 이 각각 0.68, 0.70으로 산출되어 산불 발화와의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 기상요인 중에서 상대습도는 R^2 이 0.60 미만으로 나타나 분석에 사용하지 않았으며, 풍속은 산불 발화의 직접적인 영향보다는 산불이 확산하는 데 영향을 주기 때문에 분석에서 제외하였다. 따라서 우도비를 활용한 상관관계 분석에서는 기상요인으로 평균기온과 평균최고기온을 사용하였다.

국지기후 특성을 분석하기 위해, 기상요인들은 고해상

도의 격자형 기후자료로 제작하였으며, 30m의 공간해상도를 갖는 DEM을 활용하여 다운스케일링(Down Scaling)을 실시하였다. 따라서 모든 자연·환경요인들은 기상요인의 자료 축척을 고려하여 공간해상도 30m×30m 크기로 구축하였다. 제작한 GIS 공간자료의 격자수는 행과 열이 5,390 pixel × 5,881 pixel이며, 총 화소 수는 31,698,590개이다.

지형요인에서 수치표고모델은 지형이 갖는 고도값을 수치화하여 지형 형상을 표현한다(문상균, 2007). 본 연구에서는 국토지리정보원에서 제공하는 1:25,000 수치지형도를 활용하여 30m의 공간해상도를 갖는 DEM을 제작하였다(그림 3(a)). 연구지역의 고도는 0~1,545m로 나타나며, 면적의 97% 이상이 800m 이하에 분포한다.

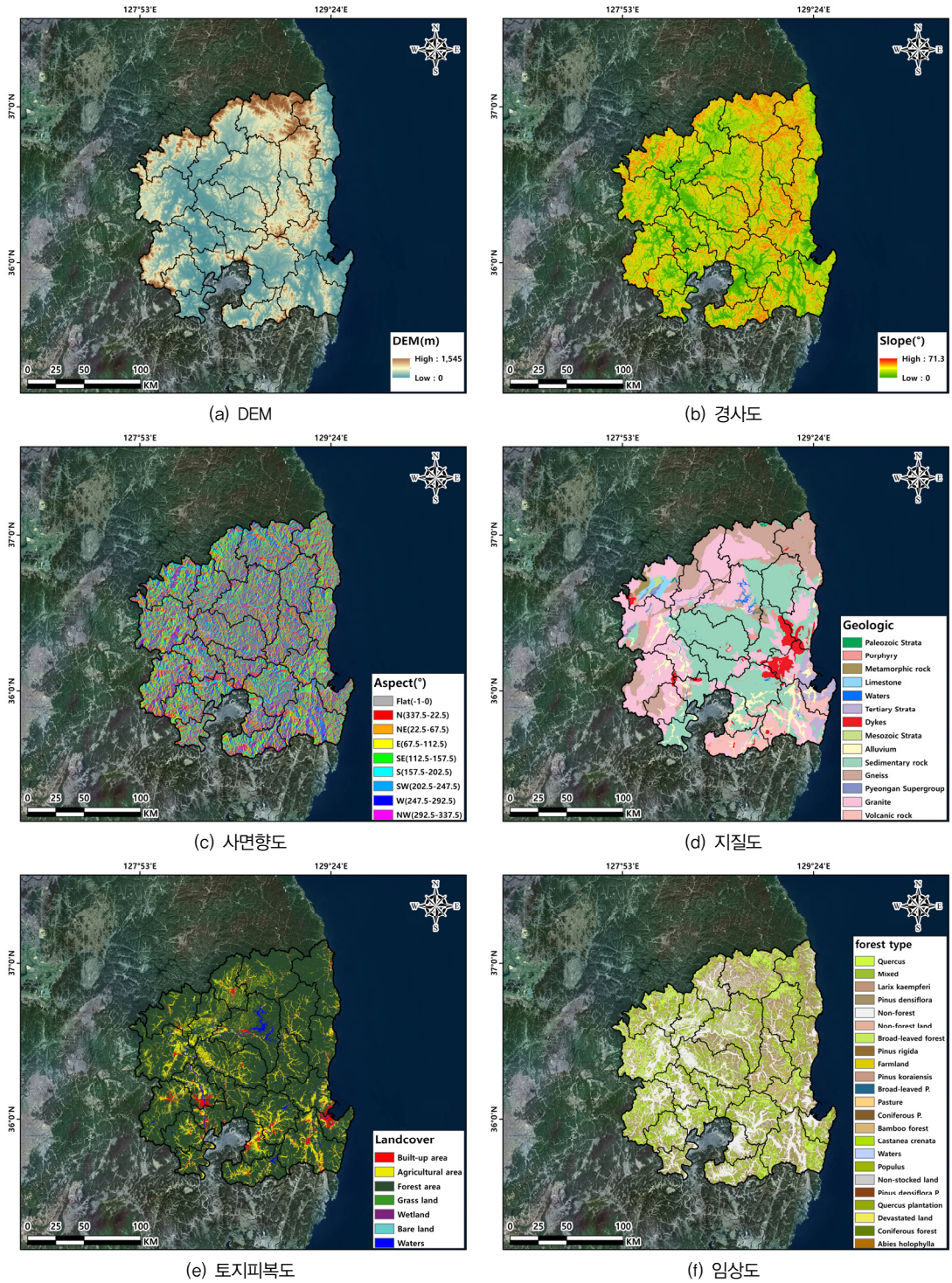
경사도는 수평면을 기준으로 하여 지형면의 기울어진 정도를 각도(°)로 표현한 것으로, 기 구축한 DEM으로 경사도를 제작하였다(그림 3(b)). 연구지역의 경사는 0~71°이며, 면적의 86% 이상이 0~30°의 경사에 해당한다. 사면향도는 경사면이 향하는 수평방향을 표현한 것으로, 경사도와 마찬가지로 기 구축된 DEM을 사용하여 사면향도를 제작하였다(그림 3(c)).

지질도는 지표의 암상 및 구조 등의 지질정보를 표현한 지도이며, 한국지질자원연구원서 발행한 1:250,000 수치지질도를 활용하여 제작하였다(그림 3(d)). 연구지역에서는 다수의 암상이 나타나기 때문에 유사성이 높은 암석들을 재분류하였다. 그 결과, 연구지역의 지질은 퇴적암(31.9%), 화강암류(31.3%), 편마암류(15.5%) 등 총 14개 지질이 나타났다.

토지피복도는 지표의 피복상태를 표현한 지도로, 환경부에서 제작한 대분류 토지피복도를 활용하여 제작하였다(그림 3(e)). 대분류 토지피복도는 시가화·건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등의 7개 항목으로 구성되어 있으며, 연구지역의 토지피복은 산림지역(79.3%), 농업지역(12.9%) 등의 순으로 나타났다.

임상도는 국토의 산림 분포를 보여주는 대표적인 산림지도이며, 본 연구에서는 국립산림과학원에서 구축한 1:25,000 수치임상도를 활용하여 임상도를 제작하였다(그림 3(f)). 연구지역에서는 비산림(28.5%), 침활혼효림(27.6%), 소나무림(21.7%) 등의 23개 임상이 나타났다.

지형 습윤지수는 단위 강수가 지속된다는 가정하에, 상부사면으로부터 공급받을 수 있는 흐름의 양을 나타낸다(김승현 등, 2010). 본 연구에서는 Beven and Kirkby (1979)의 계산법을 사용하였으며, 기 구축한 DEM과 경



(a) DEM

(b) 경사도

(c) 사면향도

(d) 지질도

(e) 토지피복도

(f) 임상도

그림 3. 지형·기상요인별 GIS 공간자료

* (a) 국토지리정보원; (d) 한국지질자원연구원; (e) 환경부; (f) 국립산림과학원의 자료를 바탕으로 제작.

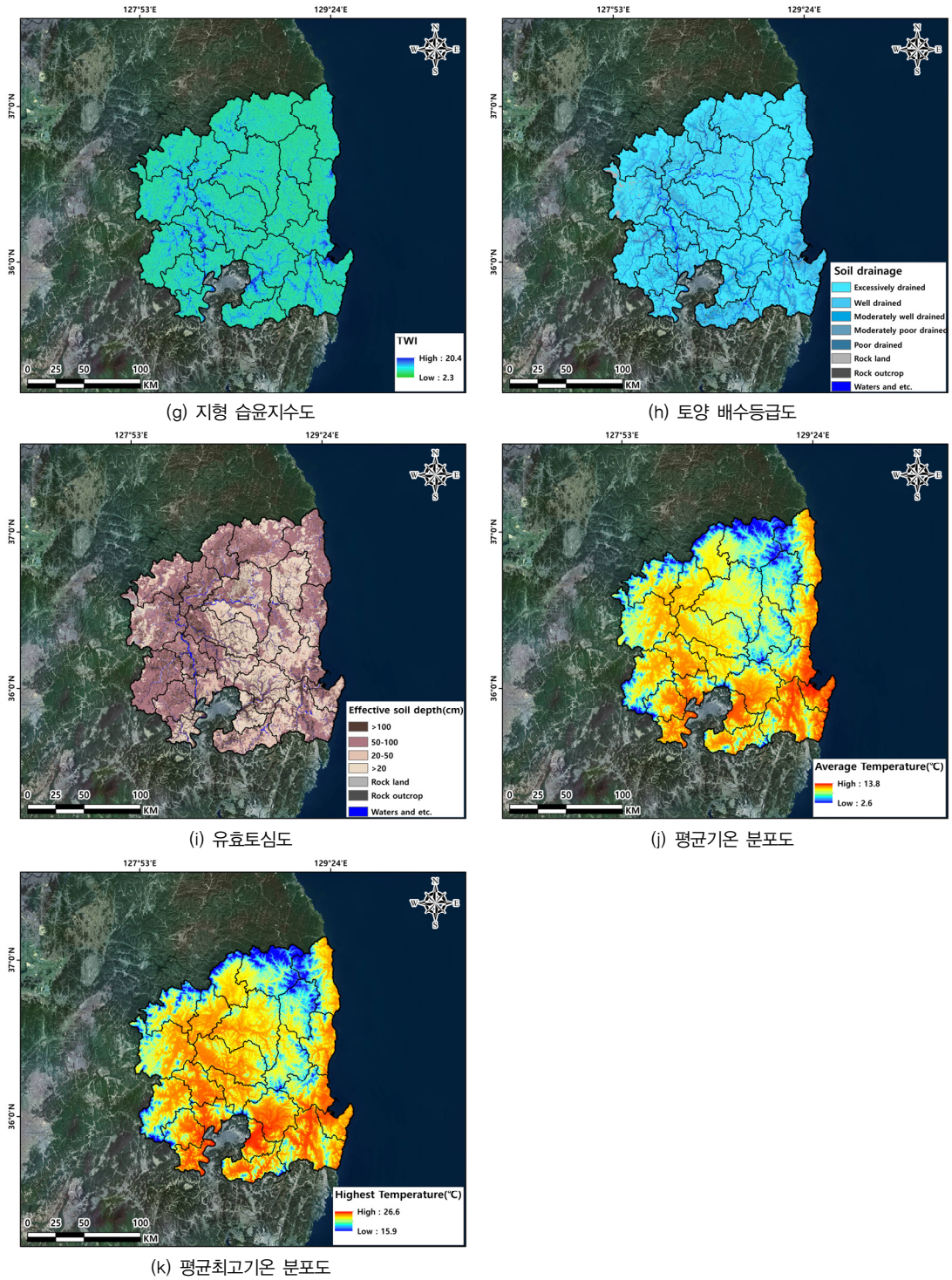


그림 3. 지형·기상요인별 GIS 공간자료(계속)

* (h) 국립농업과학원; (i) 국립농업과학원; (j) 기상청; (k) 기상청의 자료를 바탕으로 제작.

사도를 사용하여 지형 습윤지수도를 제작하였다(그림 3(g)). 지형 습윤지수는 면적의 80% 이상이 7.5 이하 구간에 해당하는 것으로 확인되었다.

토양 배수등급도는 토양내의 물이 빠져나가는 정도를 나타낸 것으로, 국립농업과학원(<http://www.naas.go.kr>)에서 구축한 1:25,000 수치토양도를 활용하여 토양 배수등급도를 제작하였다(그림 3(h)). 토양 배수등급은 6개 항목(매우양호, 양호, 약간양호, 약간불량, 불량, 매우불량)으로 구분되지만 연구지역에서는 매우불량 항목이 나타나지 않아 제외하였다. 또한, 연구지역에서 나타나는 암석지, 암석노출지, 수역 및 기타(소택지, 저수지, 범람지를 포함)를 추가하여 총 8개 항목으로 재분류하였다. 연구지역의 80% 이상이 대부분 배수가 양호한 것으로 나타났다.

유효토심도는 식물성장을 위한 필요조건을 갖추고 있는 토층의 깊이를 나타낸 것으로, 토양 배수등급도와 동일하게 국립농업과학원에서 구축한 1:25,000 수치토양도를 활용하여 유효토심도를 제작하였다(그림 3(i)). 유효토심은 100cm 이상(깊음), 50~100cm(보통), 20~50cm(얕음), 20cm 이하(매우얕음)의 4개 항목으로 구분된다. 그러나 암석지와 암석노출지, 수역 및 기타가 위치한 곳은 항목에 포함되어 있지 않아 따로 추출하였으며, 총 7개 항목으로 재분류하였다. 연구지역의 유효토심은 100cm 이상(36.7%), 20cm 이하(24.6%), 20~50cm(17.4%) 순으로 나타났다.

기상요인의 GIS 공간자료를 제작하기 위해 기상자료 개방포털에서 2010~2019년 자동기상관측소(Automatic Weather System, AWS)의 자료를 획득하였으며, 이후 재가공하여 각각의 GIS 공간자료를 구축하였다(그림 3(j)~(k)). 평균기온과 평균최고기온의 분포도 작성에는 지형효과를 고려하여 고도자료와의 통합을 위해 가변적 지역평균 단순 크리깅(Simple Kriging with Local Means, SKLM) 기법을 사용하였다. SKLM 기법은 단순 크리깅에서 일정하다고 간주하는 평균을 부가자료로부터 계산된 예측 위치마다 변하는 지역평균으로 대체하는 방식을 이용하기 때문에, 부가자료가 지역 평균 계산 과정에 반영된다(장동호 등, 2015). 이러한 SKLM 기법을 사용하여 연구지역의 평균기온과 평균최고기온을 분석한 결과, 각각 10.5~13.8°C(72.2%), 23.5~26.6°C(77.8%)으로 나타났다.

IV. 산불 발화지의 공간분포 특성 분석

1. 산불 발화지와 자연·환경요인 간의 상관관계 분석

본 연구에서는 경북 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석하기 위해 우도비를 사용하여 산불 발화지와 자연·환경요인 사이의 상관관계 분석을 실시하였다. 상관관계 분석을 위해, 구간이 정해지지 않은 연속형 자료(고도, 경사도, 지형 습윤지수도, 평균기온 분포도, 평균최고기온 분포도)의 항목을 구분하였다. 그 다음에는 자연·환경요인별 주제도에서 각 구간에 해당하는 산불 발화지의 픽셀 수와 우도비값을 산출한 후, 정량적인 상관관계 분석을 진행하였다(표 2).

연속형 자료 중에서도 고도와 경사도는 사람의 접근성과 그 영향을 고려하여 각각 200m와 10° 간격으로 급간을 구분하였으며, 1,400m 이상과 70° 이상의 구간은 하나의 구간으로 표현하였다. 나머지 연속형 자료는 Beven and Kirkby(1979)가 제안한 Jenk Natural Breaks algorithm을 이용하여 급간을 나누었다.

먼저, 산불 발화지와 고도 간의 상관관계를 분석한 결과, 산불 발화지는 0~200m(48.4%)와 200~400m(38.1%) 구간이 가장 많은 분포를 보였다. 우도비 결과 또한 0~200m(1.12)와 200~400m(1.17) 구간이 해당 구간에서 면적 대비 높은 분포비율을 보였다(표 2(a)). 이를 종합해 보면, 경북의 산불 발화지는 고도 0~400m에서 전체 산불 발화지의 약 87%가 분포하며, 우도비 또한 0~200m과 200~400m 구간이 면적 대비 산불 발생빈도가 가장 높은 것으로 나타났다.

그 다음, 산불 발화지와 경사도 간의 상관관계를 분석한 결과, 산불 발화지는 10~20°(42.3%), 20~30°(30.3%), 0~10°(18.5%) 구간이 가장 많은 분포를 보였다. 우도비 결과 또한 10~20°(1.41)와 20~30°(1.11) 구간이 면적 대비 높은 분포비율을 보였다(표 2(b)). 이상의 결과를 종합해보면, 경북의 산불 발화지는 0~30° 구간에서 전체 산불 발화지의 91% 이상이 분포하고 있었으며, 우도비 또한 10~20°와 20~30° 구간에서 가장 높게 산출되었다.

산불 발화지와 사면향도의 상관관계를 분석한 결과, 산불 발화지는 남사면(22.8%), 남서사면(18.3%), 남동사면(13.5%)이 가장 많은 분포를 보였다. 우도비 결과 또한 남사면(1.88), 남서사면(1.54), 남동사면(1.10)이 해당

표 2. 산불 발화지와 자연·환경요인 간의 우도비 분석 결과

Factor	Class	No. of Pixel in Study Area (%)	No. of Pixel in Point of Forest Fire (%)	Likelihood ratio
(a) Elevation (m)	0~200	9,092,354(43.2)	351(48.4)	1.12
	200~400	6,867,704(32.6)	276(38.1)	1.17
	400~600	3,333,699(15.8)	78(10.8)	0.68
	600~800	1,259,957(6.0)	16(2.2)	0.37
	800~1,000	419,040(2.0)	4(0.6)	0.28
	1,000~1,200	87,438(0.4)	0(0.0)	0.00
	1,200~1,400	10,711(0.1)	0(0.0)	0.00
	1,400~	403(0.0)	0(0.0)	0.00
(b) Slope(°)	0~10	6,263,205(29.7)	134(18.5)	0.62
	10~20	6,309,820(29.9)	307(42.3)	1.41
	20~30	5,748,980(27.3)	220(30.3)	1.11
	30~40	2,398,356(11.4)	60(8.3)	0.73
	40~50	343,888(1.6)	4(0.6)	0.34
	50~60	7,010(0.0)	0(0.0)	0.00
	60~70	42(0.0)	0(0.0)	0.00
	70~	5(0.0)	0(0.0)	0.00
(c) Aspect(°)	Flat	464,179(2.2)	2(0.3)	0.13
	N	2,327,701(11.0)	39(5.4)	0.49
	NE	2,644,473(12.6)	50(6.9)	0.55
	E	2,917,543(13.8)	93(12.8)	0.93
	SE	2,593,084(12.3)	98(13.5)	1.10
	S	2,556,745(12.1)	165(22.8)	1.88
	SW	2,506,082(11.9)	133(18.3)	1.54
	W	2,678,044(12.7)	85(11.7)	0.92
	NW	2,383,455(11.3)	60(8.3)	0.73
(d) Geologic	Alluvium	992,287(4.7)	10(1.4)	0.29
	Tertiary Strata	528,467(2.5)	45(6.2)	2.47
	Dykes	744,157(3.5)	10(1.4)	0.39
	Porphyry	181,159(0.9)	6(0.8)	0.96
	Volcanic rock	1,371,462(6.5)	36(5.0)	0.76
	Granite	6,598,387(31.3)	251(34.6)	1.11
	Sedimentary rock	6,722,781(31.9)	247(34.1)	1.07
	Mesozoic Strata	48,809(0.2)	2(0.3)	1.19
	Pyeongan Supergroup	91,891(0.4)	3(0.4)	0.95
	Limestone	159,754(0.8)	7(1.0)	1.27
	Paleozoic Strata	23,883(0.1)	2(0.3)	2.43
	Gneiss	3,270,911(15.5)	101(13.9)	0.90
	Metamorphic rock	164,778(0.8)	5(0.7)	0.88
	Waters	172,580(0.8)	0(0.0)	0.00
(e) Landcover	Built-up area	577,780(2.7)	5(0.7)	0.25
	Agricultural area	2,712,810(12.9)	56(7.7)	0.60
	Forest area	16,702,059(79.3)	641(88.4)	1.12
	Grass land	490,232(2.3)	19(2.6)	1.13
	Wetland	103,553(0.5)	0(0.0)	0.00
	Bare land	187,860(0.9)	4(0.6)	0.62
		Waters	297,012(1.4)	0(0.0)
(f) Forest type	Quercus	49,795(0.2)	2(0.3)	1.17
	Mixed forest of soft and hardwood	5,817,959(27.6)	222(30.6)	1.11
	Larix kaempferi	1,062,068(5.0)	23(3.2)	0.63
	Pinus densiflora	4,581,136(21.7)	176(24.3)	1.12
	Non-forest	6,012,281(28.5)	205(28.3)	0.99
	Non-forest land	55,039(0.3)	2(0.3)	1.06
	Broad-leaved forest	2,590,132(12.3)	54(7.4)	0.61
	Pinus rigida	249,900(1.2)	11(1.5)	1.28

표 2. 산불 발화지와 자연·환경요인 간의 우도비 분석 결과(계속)

Factor	Class	No. of Pixel in Study Area (%)	No. of Pixel in Point of Forest Fire (%)	Likelihood ratio
(f) Forest type	Farmland	225,663(1.1)	11(1.5)	1.42
	Pinus koraiensis	307,421(1.5)	16(2.2)	1.51
	Broad-leaved plantation	26,928(0.1)	0(0.0)	0.00
	Pasture	22,146(0.1)	1(0.1)	1.31
	Coniferous plantation	49(0.0)	0(0.0)	0.00
	Bamboo forest	367(0.0)	0(0.0)	0.00
	Castanea crenata	2,932(0.0)	0(0.0)	0.00
	Waters	997(0.0)	0(0.0)	0.00
	Populus	3,509(0.0)	0(0.0)	0.00
	Non-stocked forest land	18,836(0.1)	1(0.1)	1.54
	Pinus densiflora plantation	42,306(0.2)	1(0.1)	0.69
	Quercus plantation	127(0.0)	0(0.0)	0.00
	Devastated landwaste land	359(0.0)	0(0.0)	0.00
	Coniferous forest	627(0.0)	0(0.0)	0.00
Abies holophylla MAX.	729(0.0)	0(0.0)	0.00	
(g) TWI	2.3~5.5	10,291,882(48.8)	424(58.5)	1.20
	5.5~7.5	6,728,001(31.9)	232(32.0)	1.00
	7.5~10.4	2,903,949(13.8)	59(8.1)	0.59
	10.4~20.4	1,147,474(5.4)	10(1.4)	0.25
(h) Soil drainage	Excessively drained	12,542,716(59.5)	522(72.0)	1.21
	Well drained	4,477,070(21.2)	163(22.5)	1.06
	Moderately well drained	1,965,798(9.3)	19(2.6)	0.28
	Moderately poor drained	1,038,673(4.9)	15(2.1)	0.42
	Poor drained	273,747(1.3)	1(0.1)	0.11
	Rock land	149,046(0.7)	3(0.4)	0.58
	Rock outcrop	45,362(0.2)	2(0.3)	1.28
Waters and etc.	578,894(2.7)	0(0.0)	0.00	
(i) Effective soil depth (cm)	>100	7,739,337(36.7)	41(5.7)	0.15
	50~100	3,305,833(15.7)	359(49.5)	3.16
	20~50	3,663,065(17.4)	97(13.4)	0.77
	<20	5,176,769(24.6)	223(30.8)	1.25
	Rock land	149,046(0.7)	3(0.4)	0.58
	Rock outcrop	458,362(2.2)	2(0.3)	0.13
	Waters and etc.	578,894(2.7)	0(0.0)	0.00
(j) Average temperature (°C)	2.6~6.8	181,308(0.9)	0(0.0)	0.00
	6.8~8.0	544,813(2.6)	7(1.0)	0.37
	8.0~8.9	975,711(4.6)	11(1.5)	0.33
	8.9~9.8	1,660,596(7.9)	35(4.8)	0.61
	9.8~10.5	2,499,580(11.9)	67(9.2)	0.78
	10.5~11.2	3,419,984(16.2)	120(16.6)	1.02
	11.2~11.9	4,103,455(19.5)	158(21.8)	1.12
	11.9~12.6	4,448,341(21.1)	174(24.0)	1.14
(k) Highest temperature (°C)	12.6~13.8	3,237,518(15.4)	153(21.1)	1.37
	15.9~19.9	166,323(0.8)	0(0.0)	0.00
	19.9~21.0	491,013(2.3)	6(0.8)	0.36
	21.0~22.0	820,862(3.9)	10(1.4)	0.35
	22.0~22.8	1,278,463(6.1)	22(3.0)	0.50
	22.8~23.5	1,910,246(9.1)	42(5.8)	0.64
	23.5~24.1	2,705,007(12.8)	93(12.8)	1.00
	24.1~24.8	3,663,420(17.4)	145(20.0)	1.15
	24.8~25.5	4,907,887(23.3)	218(30.1)	1.29
25.5~26.6	5,128,085(24.3)	189(26.1)	1.07	

사면향에서 면적 대비 높은 분포비율을 보였다(표 2(c)). 이를 종합해보면, 경북 산불 발화지는 남사면, 남서사면, 남동사면에 전체 산불 발화지의 54% 이상이 분포하고 있었으며, 우도비 또한 남사면, 남서사면, 남동사면에서 높게 나타났다.

또한, 산불 발화지와 지질도 간의 상관관계 분석 결과, 산불 발화지는 화강암류(34.6%)와 퇴적암(34.1%), 편마암류(13.9%)에서 가장 많은 분포를 보였다. 우도비 결과에서는 신생대 제3기층(2.47)과 고생대 퇴적층(2.43), 석회암층(1.27)이 해당 지질에서 면적 대비 높은 분포비율을 보였다(표 2(d)). 이상의 결과를 종합해보면, 경북의 산불 발화지는 화강암류, 퇴적암, 편마암류에서 전체 산불 발화지의 82% 이상이 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 우도비는 신생대 제3기층, 고생대 퇴적층이 다른 지질에 비해 높게 나타났다.

토지피복도와의 상관관계 분석 결과, 산불 발화지는 산림지역(88.4%)과 농업지역(7.7%)에서 가장 많은 분포를 보였다. 우도비 결과는 초지(1.13)와 산림지역(1.12)이 해당 토지피복에서 면적 대비 높은 분포율을 보였다(표 2(e)). 종합해보면, 경북의 산불 발화지는 산림지역과 농업지역에서 전체 산불 발화지의 96% 이상이 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 우도비는 초지와 산림지역이 다른 토지피복에 비해 높았다.

산불 발화지와 임상도 간의 상관관계를 분석한 결과, 침활혼효림(30.6%), 비산림(28.3%), 소나무림(24.3%)에서 가장 많은 산불 발화지가 분포한 것으로 나타났다. 우도비 결과는 미립목지(1.54)와 잣나무림(1.51), 경작지(1.42)가 해당 임상에서 면적 대비 높은 분포율이 나타났다(표 2(f)). 이를 종합해보면, 경북 산불 발화지는 침활혼효림과 비산림, 소나무림에서 전체 산불 발화지의 83% 이상이 분포하고 있었으며, 우도비는 미립목지와 잣나무림, 경작지가 다른 임상에 비해 높게 나타났다.

지형 습윤지수도와의 상관관계 분석 결과, 산불 발화지는 2.3~5.5(58.5%), 5.5~7.5(32.0%) 구간에서 가장 많은 분포가 나타났다. 우도비 결과 또한 2.3~5.5(1.20), 5.5~7.5(1.00) 구간이 해당 TWI 구간에서 면적 대비 높은 분포율을 보였다(표 2(g)). 이를 종합해보면, 경북 산불 발화지는 2.3~5.5, 5.5~7.5 구간에서 전체 산불 발화지의 90% 이상이 해당하며, 우도비 또한 두 구간이 다른 구간에 비해 높게 나타났다.

토양 배수등급도와의 상관관계를 분석한 결과, 산불

발화지는 매우 양호(72.0%)와 양호(22.5%)에서 가장 많은 분포가 나타났다. 우도비 결과는 암석노출지(1.28)와 매우 양호(1.21)의 배수등급에서 면적 대비 높은 분포율을 보였다(표 2(h)). 종합해보면, 경북 산불 발화지는 매우 양호와 양호의 배수등급에서 전체 산불 발화지의 94% 이상이 분포하는 것으로 확인되었으며, 우도비에서는 암석노출지와 매우 양호가 타 배수등급에 비해 높게 나타났다.

또한, 유효토심도와의 상관관계를 분석한 결과, 산불 발화지는 50~100cm(49.5%)와 20cm 미만(30.8%)에서 가장 많은 분포가 나타났다. 우도비 결과 또한 50~100cm(3.16)와 20cm 미만(1.25)이 해당 유효토심에서 면적 대비 높은 분포율을 나타냈다(표 2(i)). 이를 종합해보면, 경북 산불 발화지는 유효토심 50~100cm와 20cm 미만의 구간에서 전체 산불 발화지의 80% 이상이 분포하고 있었으며, 우도비 또한 해당 유효토심이 타 유효토심에 비해 높게 나타났다.

평균기온 분포도와의 상관관계 분석 결과, 산불 발화지는 11.9~12.6°C(24.0%)와 11.2~11.9°C(21.8%) 구간에 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다. 우도비 결과는 12.6~13.8°C(1.37)와 11.9~12.6°C(1.14), 11.2~11.9°C(1.12) 구간이 해당 구간에서 면적 대비 높은 분포율을 보였다(표 2(j)). 종합해보면, 10.5~13.8°C 구간에서 전체 산불 발화지의 83% 이상이 분포하는 것으로 나타났으며, 우도비는 12.6~13.8°C 구간이 타 구간에 비해 높게 나타났다.

이밖에 산불 발화지와 평균최고기온 분포도 간의 상관관계 분석 결과, 산불 발화지는 24.8~25.5°C(30.1%)와 25.5~26.6°C(26.1%) 구간이 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다. 우도비 결과는 24.8~25.5°C(1.29)와 24.1~24.8°C(1.15) 구간이 해당 구간에서 면적 대비 높은 분포율을 보였다(표 2(k)). 이들 결과들을 종합해보면, 24.1~26.6°C 구간에서 전체 산불 발화지의 76% 이상이 분포하였으며, 우도비는 24.8~25.5°C 구간이 타 구간에 비해 높게 나타났음을 확인하였다.

2. 산불 발화지의 공간분포 특성

경북의 산불 발화지와 자연·환경요인 간의 상관관계를 분석한 결과, 자연·환경요인 중에서 고도와 경사, 사면향, 지질, 토지피복, 임상, 지형 습윤지수, 유효토심, 평균기온, 평균최고기온 등 10개 요인들은 각 구간 및

항목의 차이가 뚜렷하여 산불 발화지와와의 상관관계 정도가 높게 나타났다. 이를 바탕으로 다음과 같이 경북 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석하였다.

첫 번째로 산불 발화지의 고도별 분포 특성은 사람들의 접근이 상대적으로 용이한 고도가 낮은 곳에 분포하는 것으로 나타났다. 2010~2019년 산불 피해대상 자료를 확인한 결과, 경북은 입산자실화에 의한 산불 발생이 가장 많았으며, 기존 선행연구(박연희, 2011)에서 경북이 고도 300m 내외에서의 산불 발생이 많다는 결과와 비슷한 특성이 나타남을 확인하였다.

두 번째, 경사별 분포 특성 또한 고도별 분포 특성과 마찬가지로 급경사지일수록 사람들의 접근이 상대적으로 어려워지기 때문에 산불 발생이 적어지는 특성이 나타난다. 산림청(2004)에 의하면 한국의 산지는 70% 이상이 30° 미만의 경사에 해당하여 경북과 같이 산림이 대부분인 지역의 경사별 분포에 영향을 준 것으로 판단된다.

세 번째, 사면향별 분포 특성은 타 사면향에 비해 일사량이 많은 남사면에 산불 발화지가 많은 것으로 확인되었다. 일사량이 많은 남사면은 토양 및 산림 내 습도가 낮기 때문에, 타 사면향에 비해 수분이 빨리 건조되어 산불이 발생하기 쉬운 환경을 갖고 있기 때문에 이러한 분포 특성이 나타난 것이다.

네 번째, 지질별 분포 특성의 경우에는 산불 발화지가 퇴적암류와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 경북의 지질은 대부분 퇴적암류로 구성되어 있으며 퇴적암 산지가 화강암 산지에 비해 고도가 낮기 때문인 것으로 판단된다. 이는 전술한 바와 같이 고도가 낮은 곳의 사람들의 접근성이 높기 때문에 산불 발생에 더욱 취약한 것과 관련이 있기 때문에 이러한 특성이 나타난 것으로 판단된다.

다섯 번째, 토지피복별 분포 특성은 초지와 산림지역이 산불 발화지와 관련이 있는 것으로 확인되었다. 이는 경북의 산불 발생원인이 대부분 입산자실화와 성묘객실화 등으로 나타나 타 원인에 비해 비교적 많은 산불이 발생하여 해당 특성이 도출된 것으로 확인되었다.

여섯 번째, 임상별 분포 특성은 소나무과에 속하는 임상이 산불 발화지와 관련이 있는 것으로 나타났다. 이는 전술한 사면향별 분포 특성과 관련되어 있는데, 주로 남사면은 극양수인 소나무림이 생장하는 조건에 부합하기 때문이다. 침엽수림인 소나무림은 활엽수림에 비해 나

뭇잎의 휘발성이 높으며 수관부에 유지성분이 많기 때문에 산불 발생의 위험성이 높다. 이와 같은 침엽수림의 특성으로 인해 산불 발생에 상대적으로 취약한 것으로 판단된다.

일곱 번째, 지형 습윤지수별 분포 특성은 대개 2.3~5.5 구간이 산불 발화지와 관련이 있는 것으로 확인되었다. 경북은 지형 습윤지수가 낮게 나타났기 때문에 지면이 불룩한 형태이거나 가파른 경사로 인하여 수분이 모이지 못해 건조한 특성을 가지기 때문에 해당 분포 특성이 도출된 것으로 분석된다.

여덟 번째, 유효토심별 분포 특성은 50~100cm(보통)이 산불 발화지와 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 이는 경북에 분포하는 임상과 관련이 있는데, 유효토심 50~100cm에서 나타나는 임상이 대부분 침활혼효림 및 소나무림 등이기 때문이다. 전술한 임상별 분포 특성과 같이 소나무과의 임상이 산불에 취약하기 때문에, 이와 같은 특성이 나타나는 것으로 판단된다.

마지막으로 평균기온 및 평균최고기온별 분포 특성은 기온이 높아질수록 산불 발화지와 상관성이 높은 것으로 나타났다. 기온이 점점 높아지게 되면 대류현상(Convection phenomenon)에 의해 상승기류가 발생하게 되어, 비화(Spot fire)를 유발하고 산불을 확산시킨다(구길본, 2001; 산림청). 이러한 이유로 미루어 볼 때, 평균기온 및 평균최고기온의 상승은 산불 발생과 연관성이 있는 것으로 분석되었다.

V. 요약 및 결론

한국은 인위적 요인에 의해 산불이 발생하지만, 기상 요인과 지형조건, 임상 등이 산불이 발생할 수 있는 조건에 충족해야 발생한다. 이처럼 산불 발생에 영향을 줄 수 있는 요인을 미리 파악하여 초기에 대응할 수 있는 대책을 수립하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 과거 장기간의 산불 자료를 활용하여 산불 발화지와 자연·환경요인 간의 상관관계를 분석하는 것이 중요하다. 이를 기반으로 본 연구에서는 장기간 산불자료에 우도비를 적용하여 경북 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석하고자 하였다.

우도비를 사용하여 산불 발화지와 자연·환경요인 간의 상관관계를 분석한 결과, 토양 배수등급을 제외하고

참고문헌

도, 경사, 사면향, 지질, 토지피복, 임상, TWI, 유효토심, 평균기온, 평균최고기온 등 10개 요인이 산불 발화지의 상관관계 정도가 높게 나타났다. 이를 바탕으로 분석한 경북 산불 발화지의 공간분포 특성은 다음과 같다.

경북의 산불 발화지는 고도가 낮고 경사가 완만할수록 사람들의 접근이 용이하여 고도 및 경사별 분포에 영향을 받은 것 나타났다. 또한, 남사면이 토양 및 산림 내 습도가 낮아 건조가 빠르기 때문에 사면향별 분포에 영향을 주었다. 지질별 분포는 경북의 지질 대부분이 퇴적암 계열이며, 화강암 산지에 비해 비교적 고도가 낮아 사람들의 접근이 쉽기 때문에 해당 분포 특성이 나타났다. 또한, 토지피복별 분포는 경북의 산불 발생원인이 입산자실화 및 성묘객실화 등으로 인한 산불 발생이 많았기 때문이며, 임상별 분포는 남사면이 소나무림의 생장조건에 부합하며, 나뭇잎의 휘발성이 높고 유지성분이 많아 산불에 취약하여 이러한 분포 특성이 나타났다.

지형 습윤지수별 분포는 지면이 볼록한 형태거나 경사가 가팔라 수분이 모이지 못해 건조한 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다. 유효토심별 분포는 50~100cm에서 대개 침활혼효림 및 소나무림 등의 임상이 나타나며, 소나무는 전술한 바와 같이 산불에 취약하여 이러한 분포 특성이 나타났다. 이밖에 평균기온 및 평균최고기온별 분포는 기온이 높아지면 대류현상에 의해 상승기류가 발생하여 비화를 유발한 후, 산불을 확산시키기 때문에 산불 발화지와 상관관계가 높은 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과는 국가적 차원뿐만 아니라 지자체 차원의 산불 대응을 위한 관리방안 수립에 영향을 줄 수 있는 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석하는데 있어 인문요인 배제, 기상요인 주제도 작성에 있어 지형효과만을 고려한 단순회귀분석을 사용한 것, 계절별로 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석하지 못한 점에 있어 한계가 있었다. 따라서 향후 연구에서는 연구지역을 확장하여 등산로나 주택, 도로 등의 인문요인과 지형요인, 기상요인 등을 함께 고려하여 다중회귀분석을 사용하고, 계절별 산불 발화지의 공간분포 특성을 분석한다면 보다 구체적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

- 구길본, 2001, “산불의 일반적 특징과 방재대책”, 방재와 보험, 89, 44-49.
- 김대영, 2014, “GIS를 이용한 산불발생의 공간적 분석” 국토지리학회지, 48(3), 325-336.
- 김승현·구호본·이종현·김성욱·최은경, 2010, “강원도 정선 지역 테일러스 사면의 습윤지수 및 현장 특성” 지질공학, 20(4), 391-399.
- 김유리, 2014, “토지이용에 따른 산불발생의 영향 분석 -충청북도 사례를 중심으로-” 충북대학교 석사학위논문.
- 김윤정, 1996, “산불 예측 모델에 관한 연구: 북한산 국립공원을 중심으로” 이화여자대학교 석사학위논문.
- 문상균, 2007, “GIS를 이용한 산지습지 분포 가능지역 추출 방안”에 관한 연구” 인천대학교 석사학위논문.
- 박연희, 2011, “GIS를 이용한 산불발생의 공간 패턴에 관한 연구” 한국교원대학교 석사학위논문.
- 박홍석·이시영·채희문·이우균, 2009, “캐나다 산불 기상지수를 이용한 산불발생확률모형 개발 -강원도 지역 산불발생을 중심으로,” 한국방재학회논문집 9(3), 95-100.
- 산림청, 2004, 「한국의 산림입지」.
- 신영철·안상현, 2000, “지리정보시스템(GIS)을 이용한 산불 방재방안 -청주시 우암산 지역을 중심으로,” 한국지리정보학회지, 3(1), 57-64.
- 이병두·원명수·장광민·이명보, 2008, “지형과 산불피해도와의 관계 분석” 한국지리정보학회지, 11(1), 58-67.
- 이시영·한상열·안상현·오정수·조명희·김명수, 2001, “강원도 지역 산불발생인자의 지역별 유형화” 한국농림기상학회지, 3(3), 135-142.
- 이장렬, 2002, “고성지방의 산불발생” 제4기학회지, 16(2), 1-8.
- 장동호·위논술·박노옥, 2015, “가변적 지역평균 단순 크리깅을 이용한 남한 지역 고해상도 기온 및 강수 분포도 작성 및 평가” 기후연구, 10(2), 165-182.
- 장미나, 2020, “지리정보시스템(GIS)을 활용한 산불 취약성 평가 기법 개발” 공주대학교 석사학위논문.
- 전보람, 2016, “기후시나리오를 활용한 한국의 산불 발생 예측에 관한 연구” 강원대학교 석사학위논문.
- 정광우, 2011, “Haines Index에 의한 산불 위험성 예측에 관한 연구” 강원대학교 석사학위논문.

- 조장환·최문기·김오석·이경하·이창배, 2020, “전문가 델파이 및 토지이용점수화 접근법을 활용한 지역 산림생태계서비스 공급량 지도화 연구” 한국지리학회지, 9(2), 295-312.
- 채경재·이유리·조용주·박지현, 2018, “머신러닝과 샘플링을 이용한 강원도 지역 산불발생예측모형 개발” 한국빅데이터학회지, 3(2), 71-78.
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J., 1979, A Physical-Based Data, *Quaternary Research*, 6, 77-97.
- Bonham-Carter, G.F., 1994, *Geographic Information Systems for Geoscientists, Modeling with GIS*, Oxford: Pergamon Press.
- Chung, F.C. and Fabbri, A.G., 1998, Three Bayesian Prediction Models for Landslide Hazard, *Proceeding of International Association for Mathematical Geology (IAMG '98)*, 204-211.
- Davis, K.P. and Brown, A.A., 1959, *Fire in the Forests. In: Forest Fire Control and Use*, 2nd ed., McGraw-Hill.
- Duda, R.O., Hart, P., and Nilsson, N., 1976, Subjective Bayesian methods for rule-based inference systems, *Proceedings of the 1976 national Computer Conference*, 1075-1082.
- Fortin, M.J. and Payette, S., 2002, How to Test the Significance of the Relation between Spatially Autocorrelated Data at the Landscape Scale: A Case Study Using Fire and Forest Maps, *Ecoscience*, 9(2), 213-218.
- James, A.W. and Franklin, G., 1992, A Geographic Information System for Fire Hazard Management, *ASPRS/ASCMS/RT*, 3, 56-65.
- Press, S.J., 1972, *Applied Multivariate Analysis*, New York: Holt, Rinehart and Winston, INC.
- Stephen, R.K. and Judith, A.B., 1991, Development and Implementation of Forest Fire Modeling and Decision Support Systems in Australia, *GIS/LIS '91 Proceeding*.
- Xiao, J. and Zhuang, Q., 2007, Drought Effects on Large Fire Activity in Canadian and Alaskan Forests, *Environmental Research Letters*, 2(4), 1-6.
- Yue, H.C., 1992, Management of Wildfires with a Geographical Information System, *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(2), 123-140.
- 국가법령정보센터, <http://www.law.go.kr>
- 국립농업과학원, <http://www.naas.go.kr>
- 국립산림과학원, <https://nifos.forest.go.kr>
- 국토지리정보원, <http://map.ngii.go.kr>
- 기상청 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr>
- 산림청, <http://www.forest.go.kr>
- 한국민족문화대백과사전, <https://encykorea.aks.ac.kr>
- 한국지질자원연구원, <https://www.kigam.re.kr>
- 환경부, <http://www.me.go.kr>
- 교신 : 장동호, 32588, 충청남도 공주시 공주대학로 56, 공주대학교 인문사회과학대학 지리학과(이메일: girs@kongju.ac.kr)
- Correspondence : Dong-Ho Jang, 32588, 56 Gongju-daehak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, Korea, Department of Geography, College of Humanities and Social Sciences, Kongju National University (Email: girs@kongju.ac.kr)
- 투고접수일: 2021년 3월 31일
심사완료일: 2021년 4월 16일
게재확정일: 2021년 4월 19일