

Identification of Fire-prone Areas Using Spatial Analysis of the Forest Fire Location Data

Hee Young Ahn[#], Byung Doo Lee, Chun Guen Kwon, Sung Yong Kim⁺

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

Abstract

This study identified the high-risk areas by analyzing fire occurrence patterns using the forest fires location data released by the Korea Forest Service. The areas where forest fires have occurred frequently were selected using nearest neighbor method and Kernel density method. The administrative areas were classified into five clusters based on the nearest distances between the fire occurrences, where a shorter distance means a more fire occurrence in the given area. The clusters in the first and second classes (having shorter distances) were found to be mostly major cities and areas on the east coast. The high density fire areas accounted for approximately 10% of the entire area of South Korea. In major cities, the numbers of fire occurrences were well over the national average. The results of this study can support the local governments to prioritize areas for forest fire prevention according to the predicted risks.

Key words: forest fire, high fire-density areas, forest fire statistics, Kernel analysis, Nearest Neighbor method

1. 서론

산불은 인명이나 재산피해뿐만 아니라 산림자원과 자연생태계의 급격한 변화를 가져오며, 나아가 해당지역에 삶의 기반을 두고 살아가는 사람들의 인식이나 생활방식에도 상당한 영향을 미친다. 대표적인 예로 2013년 발생한 포항산불은 산림 79ha를 소실시켰으며, 인명피해 30명, 건물 111동 소실 등 산림 자체의 피해는 물론 사회 경제적 피해를 가져와 지역 주민들에게 산불에 대한 경각심을 일깨워준 대표적인 사례로 기억되고 있다(Ryu, *et. al.*, 2015). 위의 사례처럼 산불취약지

역을 사전에 선정하여 효율적인 예방관리를 수행하는 것이 미래의 잠재적인 재산과 인명, 산림자원의 피해를 최소화시키는데 필수적인 과정이다.

산불관리통합규정에 따르면, 산불취약지역이라 함은 산불이 자주 발생하는 지역, 10만 제곱미터 이상의 산불이 발생한 지역, 입산객이 많은 등산로 및 유원지 주변, 암자, 기도원, 무속행위 및 약초채취 등 출입이 빈번한 산림, 유류, 가스 등 화기물 저장시설이 있는 주변의 산림으로 정의하고 있다(Korea Forest Service, 2016). 이 가운데 산불이 자주 발생하는 지역은 지형과 산림의 영향을 받아 공간적 집중현상이 관찰되고, 한번

[#] The 1st author: Hee Young Ahn, Tel. +82-2-961-2960, Fax, +82-2-961-2699, e-mail, ahnhy@korea.kr

⁺ Corresponding author: Sung Yong Kim, Tel. +82-2-961-2686, e-mail, kitacol@korea.kr

피해를 입은 지역에서 재발할 확률이 높다는 연구결과 (Vasquez & Moreno, 2001)는 산불다발지역을 선별하는 체계 및 방법론에 대한 연구가 필요함을 의미한다. 산불이 자주 발생하는 지역을 선별하는 것은 예방과 진화를 위한 시설, 장비, 인력이 한정된 상황에서 자원을 효율적으로 배치하는데 유용한 정보로 활용될 수 있다 (Martel, *et. al.*, 1987).

산불다발지역을 선정하기 위해서는 장기간 수집된 산불 통계를 체계적으로 정리하고 분석하는 것이 필요하다. 이와 관련된 기존 연구를 살펴보면, Chuvieco & Salas(1996)와 Kasischke, *et. al.*(2002)은 산불 발생 빈도와 관련 인자간의 특성을 연구하여 발생 원인별 위험성을 파악하였으며, 다변량 분석을 진행한 바 있다 (Martell, *et. al.*, 1987; Garcia, *et. al.*, 1995). 또한 국내에서도 산불 발생과 인자간의 상관관계 분석을 통해 산불발생의 특성을 파악한 바 있다(Lee, *et. al.*, 2001; Lee, *et. al.*, 2002; Ahn, *et. al.*, 2004; Lee, *et. al.*, 2008; Kwak, *et. al.*, 2008).

그러나 산불은 발생 지점 그 자체가 중요한 의미를 갖고, 공간 상 존재하는 데이터의 관측치가 가까울수록 상관성이 높다는 개념을 근거로 볼 때, 공간분석을 실시하여 산불 위치상의 특성을 명확하게 파악하는 것이 중요하다(Schabenberger & Gotway, 2005). 본 연구에서는 1991년부터 2015년까지 수집된 산불통계대장을 바탕으로 전국 산불의 현황을 파악하고, GIS 프로그램을 이용하여 공간적 산불발생 패턴을 분석하였으며, 최종적으로 산불다발위험지역을 선별하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 산불발생 위치 DB구축

본 연구에서는 1991년부터 2015년까지 발생한 총 10,560건의 산불이 기록된 산림청 산불통계대장을 이용하였다(Korea Forest Service, 2016). 산불통계대장에 기록된 지번과 주소자료는 ArcGIS 프로그램을 활용하여 공간자료로 변환하였다.

2. 분석방법

1) 최근린분석법을 이용한 산불군집분류

산불다발지역을 선정하기에 앞서, 어떤 시군구에 산불 발생 밀집도가 높은지 판단하기 위해 최근린지수를 산출하여 산불의 군집분포 정도를 분석하였다. 최근린 거리는 점에 대한 분포 패턴을 분석하는 기법 중 하나로 공간상 점들의 집중 혹은 분산 경향을 파악하기 위해 주로 사용되고 있는 방식이다(Lee, 1989). 본 연구에서는 최근린거리를 산불 간 기대되는 최소거리로 해석하였다.

최근린거리를 구하는 공식은 식(1)과 같다.

$$Ed = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (1)$$

Ed: 최근린거리(m) n: 점의 수 A: 대상지역의 면적(ha)

기대되는 평균 최근린거리에 대한 관측된 평균 최근린거리의 비율은 최근린지수(Nearest Neighbor Index: NNI)이다. 최근린지수는 산불분포의 균일성을 나타내는 지수로 해석이 가능하다. 최근린지수가 1보다 큰 경우는 분산된 유형, 1보다 작은 경우는 군집된 유형, 최근린지수가 1인 경우는 임의적인 분포유형을 보인다(Lee, 1989). 산불건수에 대한 통계는 2016년 임업 통계연보에 수록된 전국 및 해당지역의 산림면적과 산림청 산불 통계대장 상의 산불건수를 이용하였으며, 산불간의 평균 거리를 측정 후, 그 값을 최근린지수 산출 공식에 대입하여 분석하였다.

2) 밀도분석을 활용한 산불다발지역 선정

각 시군구 내에서 산불이 자주 발생하는 다발지역을 선정하기 위해 공간분포패턴의 규명에 일반적으로 활용되는 밀도분석을 적용하였다. 밀도분석은 연구지역을 동일한 크기의 격자로 나눈 후 각 격자에 집계되는 점 사상의 빈도수를 2차원으로 표현하는 방법이다 (Jeong, *et. al.*, 2009). 본 연구에서 구체적인 방법론으로 사용한 Kernel 분석은 점 객체가 위치한 지점에서

가장 높은 값이 부여되고, 이후 거리가 멀어지게 됨에 따라 그 값이 작아져 설정한 반경의 경계를 벗어나면 값이 부여되지 않는 방식이다(Choi, *et. al.*, 2013).

밀도 분석 시 필요한 반경의 크기는 산불통계대장 상의 산불발생 위치를 추출한 데이터를 바탕으로 유클리디안 척도(Euclidean distance)를 이용하였다(Jie, *et. al.*, 2008). 유클리디안 척도는 N차원에서 두 점간의 거리를 산출하는 알고리즘으로 식(2)와 같다.

$$d(p,q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad (2)$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}$$

위 식을 이용하여 점 p와 q사이의 거리를 산출하여 두 점간의 유사도를 측정할 수 있다.

이를 통해 도출된 반경 값을 평균거리로 적용하여 Kernel 분석을 실시하였으며, 산출된 수치는 1을 최대값으로 두고 등간격으로 분류하였다. 단, 1 이상의 수치는 분포에 미치는 영향력이 미미하다는 판단 하에 1 이상의 값은 최대값 1로 일괄 적용하였다.

1km² 내 산불 발생건수가 0.25건 미만이면 징후없음, 0.25~0.50건은 주의, 0.50~0.75건은 경계, 0.75건 이상은 심각으로 산불다발위험도를 총 4단계로 분류하여 최종적으로 산불 다발지역을 선정하였다.

$$f(y_0) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{y_1 - y_0}{h}\right) \quad (3)$$

$f(y_0)$: Kernel 집중도 추정함수

n : 개체수

h : 평활계수

$y_1 - y_0$: 확률밀도구간

식(3)은 비모수적 추정방법에 의거한 확률밀도 함수를 정의한 것으로서 $Y=y_0$ 에서의 확률밀도함수의 추정치로 $(y_0 - h, y_0 + h)$ 의 구간에서 나타나는 자료 수의 근사치로 나타나며, 이 때문에 편이가 발생한다고 알려져 있다. 또한 h 가 작아지면 편이도 작아지게 된다(Silverman, 1981; Diggle, 1985).

III. 결과 및 고찰

1. 1991~2015년 산불발생 패턴 추이

〈Figure 1〉에서 보는 바와 같이 25년간 전국에서 발생한 산불발생 패턴 추이를 살펴보면, 연평균 422건의 산불이 발생하여 매년 2,102ha의 산림이 연소되었다. 산불이 가장 많이 발생했던 해는 2001년으로 총 778건이었고, 960ha의 산림이 전소되었다. 반면 산불발생이 가장 적은 해는 1991년으로 139건이 발생하여 428ha의 산림이 연소되었다. 연별 산불발생 건수를 비교해 보면, 일정한 증감추이를 보이지 않고 매년 달라지는데, 이는 기상조건이 산불 발생에 유의미한 영향을 미치지

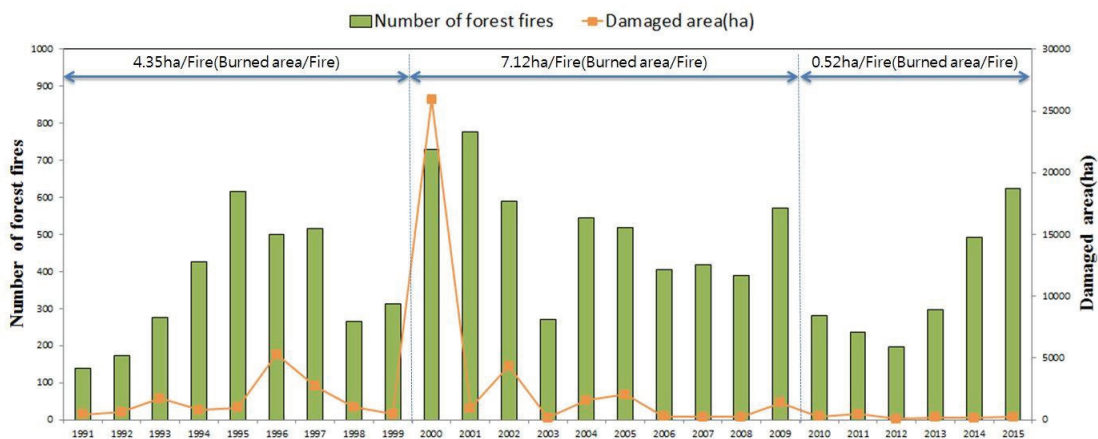


Figure 1. Number of forest fires and burned area from 1991 to 2015

때문이다. 연대별 산불발생 건수 당 피해면적을 비교해 보면, 1990년대는 4.35ha, 2000년대는 7.12ha, 2010년대는 0.52ha로, 2010년대 들어 급격히 감소하는 추세를 보인다. 이는 헬기 공중진화를 비롯한 첨단 IT기술의 도입으로 산불 진화기술이 점차 발전하여 나타난 현상으로 판단된다.

시도별 행정구역에 따라 산불 발생 빈도를 분석한 결과, 건수가 가장 많은 지역은 강원도(1,340건)로 가장 적은 충청남도(582건)지역의 두 배 이상이다. 또한 부산광역시(477건)를 비롯한 7개 특별·광역시에서 총 2,027건의 산불이 발생하여 전체 산불건수의 약 23.0%를 차지하여 산림면적에 비해 산불 발생빈도가 높았다. 우리나라 산불 대부분이 인위적 요인에 의해 발생한다는 측면에서(Kim, 2014), 인구가 많은 대도시 생활권에서 불을 다루는 행위가 많아 산불 발생빈도가 높게 나타난 것으로 판단된다(〈Figure 2〉). 이는 로지스틱 회귀모형을 이용하여 전국의 산불발생 확률을 연구한

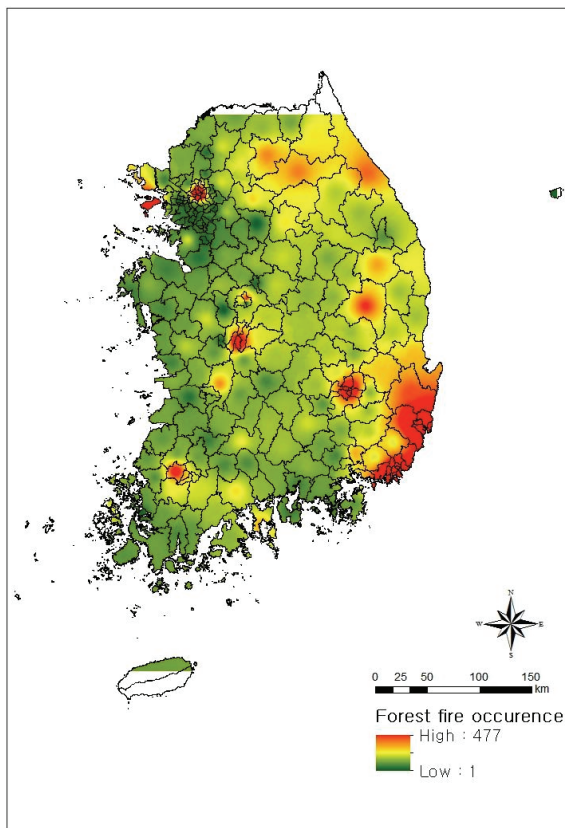


Figure 2. Spatial distribution of the forest fire occurrences from 1991 to 2015

결과와도 유사한 양상이다(Lee, *et. al.*, 2012).

시군구단위로 분석한 결과, 평균 46건의 산불이 발생하였으며, 239ha의 산림이 연소되었다. 전국에서 가장 산불이 많이 발생한 지역은 울주군(189건)이었으며, 뒤를 이어 안동(178건), 경주(164건), 강릉(153건), 홍천(142건), 춘천(138건) 순이었다. 한편 산불발생건수 상위 10개 지역에서 발생한 산불은 총 1,464건으로 전체 산불건수에서 약 13.9%의 비율이었다.

2. 1991~2015년 산불군집분포

1) 시도별 산불 최근린분석 결과

산불간의 최근린거리를 분석한 결과, 평균 1,224m 마다 산불이 발생하였다. 〈Table 1〉에서와 같이 시도별 최근린지수를 분석한 결과, 대도시권역은 0.250~0.572의 범위로 1 이하의 수치를 보임에 따라 산불간의 거리가 가까운 반면, 경기, 전남, 전북을 제외한 도 단위 권역은 대부분은 1이상의 수치로 산불발생지점 간의 거리가 멀게 나타났다. 또한 최근린지수가 1에 가까운 수치를 보이는 경기, 전남, 전북의 경우 우리나라 평균 산불 발생패턴과 비슷한 양상을 보였고, 강원도의 경우 1,163건으로 시도 단위에서 경북 다음으로 산불발생이 많지만, 상대적으로 넓은 산림면적을 갖고 있기에 산불의 군집정도는 우리나라 평균에 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다.

2) 시군구별 산불군집 분류 결과

시군구별 산불 군집분포를 지도화 한 결과는 〈Figure 3〉과 같다. 군집내의 속성수가 동일하게 그룹화 되도록 등도수(Quantile) 방식으로 5개의 군집으로 표현하였다. 1군집은 서울특별시의 마포구와 종로구를 제외한 23개의 자치구와 인천광역시의 일부 자치구를 중심으로 분포하였으며, 이 지역의 최근린지수는 0.01~0.32로 산불간의 거리가 가까운 지역이었다. 2

군집은 최근린지수가 0.32~0.73에 해당하는 지역으로 부산광역시, 울산광역시, 대구광역시, 대전광역시

Table 1. Forest fire clusters in the unit of administrative provinces

| Components | Forest areas (ha) | Number of fires | Nearest Neighbor distance (m) | Nearest Neighbor Index | Ranking |
|------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------|---------|
| Total | 6,334,615 | 10,560 | 1,224 | - | - |
| Seoul | 15,486 | 412 | 306 | 0,250 | 1 |
| Busan | 35,386 | 477 | 430 | 0,352 | 2 |
| Incheon | 39,978 | 391 | 505 | 0,413 | 4 |
| Daegu | 48,705 | 285 | 653 | 0,534 | 6 |
| Gwangju | 19,244 | 203 | 486 | 0,398 | 3 |
| Daejeon | 29,928 | 263 | 533 | 0,436 | 5 |
| Ulsan | 68,671 | 350 | 700 | 0,572 | 7 |
| Sejong | 25,288 | 59 | 1,035 | 0,845 | 8 |
| Gyeonggi | 520,068 | 984 | 1,149 | 0,939 | 9 |
| Gangwon | 1,371,643 | 1,163 | 1,717 | 1,402 | 16 |
| Chungbuk | 491,135 | 661 | 1,362 | 1,113 | 13 |
| Chungnam | 408,040 | 595 | 1,309 | 1,069 | 12 |
| Jeonbuk | 443,140 | 665 | 1,290 | 1,054 | 11 |
| Jeonnam | 690,237 | 1,136 | 1,232 | 1,006 | 10 |
| Gyeongbuk | 1,337,741 | 1,615 | 1,439 | 1,175 | 15 |
| Gyeongnam | 701,903 | 940 | 1,366 | 1,116 | 14 |
| Jeju | 88,022 | 40 | 2,345 | 1,915 | 17 |



Figure 3. Forest fire cluster by nearest neighbor index

시, 광주광역시를 비롯한 대도시 지역과 강릉, 동해, 춘천, 나주, 여수, 익산, 전주, 군산, 창원지역이 해당되었다. 3군집은 0.73~0.93의 최근린지수 값을 가지며, 김포, 고양, 의정부를 비롯한 수도권 일대와 고성, 속초, 해남, 남원 등의 지역이 해당되었다. 산불밀집도가 높은 1, 2군집과 달리 4군집은 0.93~1.12사이의 값으로 균일한 분포패턴을 보이며, 해당지역은 양평, 홍성, 청송, 괴산 등이다. 산불발생지점 간의 거리가 길고 분산된 산불 발생 패턴을 보이는 5군집은 1.12~2.56의 최근린지수 값을 가지며, 내륙지역을 중심으로 주로 분포하고 있었다. 대표적인 해당지역은 인제, 평창, 정선, 문경, 상주, 영동, 무주, 산청 등으로 이들 지역의 특징은 국립공원이나 자연휴양림으로 지정·운영되고 있는 지역이었다.

3. 전국 산불 다발 지역 선정

25년간 산불 발생 위치를 이용하여 Kernel 분석을 실시한 결과, 1km² 내 최소 0건에서 최대 3.75건의 산불이 발생하였다. 1km² 당 산불건수를 징후없음, 주의, 경계, 심각의 4단계로 구분한 결과, ‘징후없음’은 전체 국토대비 89.01%, 산림대비 84.02%가 해당되었으며, 다발위험지로 분류되는 주의, 경계, 심각의 전체 비율은 국토면적의 10.01%, 산림면적의 15.04%가 선정되었다. 그 가운데 ‘주의’는 1km² 내 산불이 0.25건 이상인 경우로 전체 국토의 7.73%를 차지하였으며, ‘경계’는 0.50~0.75건의 산불이 발생한 경우로 1.19%, ‘심각’은 0.75건 이상의 산불이 발생한 경우로 1.12%의 비율을 차지하였다. ‘주의’와 ‘경계’의 비율이 가장 높은 지역은 대전광역시였으며, ‘심각’의 비율이 가장 높은 지역은 서울특별시가 차지하여 대체적으로 대도시 일대 산불 다발위험이 높은 것으로 분석되었다.

또한 특별·광역시 면적의 54.68%가 다발위험지역으로 선정되었으며, 그 중에서 ‘주의’는 25.25%, ‘경계’는 11.53%, ‘심각’은 17.90%를 차지하였다. 반면 전국

8개의 시도는 면적의 7.61%가 다발위험이 높은 지역으로 선정되었으며, 그 중에서 ‘주의’는 6.84%, 경계는 0.61%, 심각은 0.17%를 차지하였다. 따라서 특별·광역시와 같은 대도시권은 ‘주의’ 뿐 아니라, ‘심각’ ‘경계’와 같이 산불다발 위험이 매우 높은 지역도 큰 비중을 차지하고 있으나, 시도단위의 경우는 대도시권에 비해 ‘경계’ ‘심각’의 비율이 현저히 낮게 나타났다(〈Figure 4〉, 〈Table 2〉).

산불은 인위적으로 발생하는 경우가 많다는 측면에서 산불다발지역은 인간의 활동과 밀접하게 연관되어 있으므로, 인구밀도와 상관관계가 있음을 보여주고 있다. 이는 시군구별 산불군집분포에서 나타난 결과와 비슷한 양상이며, 인간의 출현빈도와 활동이 많은 지역에서의 산불발생 확률이 높게 분석된다고 연구한 Catry, *et. al.*(2009)과도 일치하는 결과이다. 또한 우리나라의 산림 단위 면적당 산불건수가 대도시 권역에서 높다는 Lee, *et. al.*(2009)의 연구결과도 이러한 주장을 뒷받침 해준다.

Table 2. The area and ratio of high fire-density areas (classified as caution, alert or danger) in each administrative province of Korea

| Name of province | Land area (ha) | Caution | | Alert | | Danger | | Total | |
|------------------|-------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|------------------|--------------|
| | | Area (ha) | Ratio (%) | Area (ha) | Ratio (%) | Area (ha) | Ratio (%) | Area (ha) | Ratio (%) |
| Total | 10,029,535 | 775,453 | 7.73 | 119,351 | 1.19 | 112,603 | 1.12 | 1,007,407 | 10.04 |
| Seoul | 60,525 | 8,974 | 14.83 | 6,268 | 10.36 | 22,120 | 36.55 | 37,362 | 61.73 |
| Busan | 76,983 | 17,048 | 22.15 | 12,606 | 16.37 | 26,841 | 34.87 | 56,495 | 73.39 |
| Incheon | 104,898 | 16,784 | 16.00 | 3,952 | 3.77 | 14,869 | 14.17 | 35,605 | 33.94 |
| Daegu | 88,356 | 25,171 | 28.49 | 9,733 | 11.02 | 8,873 | 10.04 | 43,777 | 49.55 |
| Gwangju | 50,115 | 14,870 | 29.67 | 6,270 | 12.51 | 7,984 | 15.93 | 29,124 | 58.11 |
| Daejeon | 53,935 | 21,913 | 40.63 | 11,232 | 20.82 | 8,213 | 15.23 | 41,357 | 76.68 |
| Ulsan | 106,096 | 31,837 | 30.01 | 12,323 | 11.61 | 7,918 | 7.46 | 52,078 | 49.09 |
| Sejong | 46,487 | 4,990 | 10.74 | 441 | 0.95 | 389 | 0.84 | 5,821 | 12.52 |
| Gyeonggi | 1,017,534 | 90,725 | 8.92 | 12,479 | 1.23 | 4,250 | 0.42 | 107,454 | 10.56 |
| Gangwon | 1,682,641 | 106,943 | 6.36 | 7,024 | 0.42 | 2,595 | 0.15 | 116,562 | 6.93 |
| Chungbuk | 740,722 | 59,578 | 8.04 | 1,255 | 0.17 | 33 | 0.00 | 60,867 | 8.22 |
| Chungnam | 821,399 | 36,627 | 4.46 | 2,044 | 0.25 | 1,695 | 0.21 | 40,366 | 4.91 |
| Jeonbuk | 806,681 | 59,085 | 7.32 | 5,979 | 0.74 | 2,812 | 0.35 | 67,876 | 8.41 |
| Jeonnam | 1,231,292 | 78,637 | 6.39 | 11,381 | 0.92 | 1,691 | 0.14 | 91,710 | 7.45 |
| Gyeongbuk | 1,903,074 | 133,045 | 6.99 | 8,430 | 0.44 | 893 | 0.05 | 142,369 | 7.48 |
| Gyeongnam | 1,053,884 | 68,256 | 6.48 | 7,720 | 0.73 | 1,319 | 0.13 | 77,296 | 7.33 |
| Jeju | 184,913 | 762 | 0.41 | 185 | 0.10 | 95 | 0.05 | 1,043 | 0.56 |

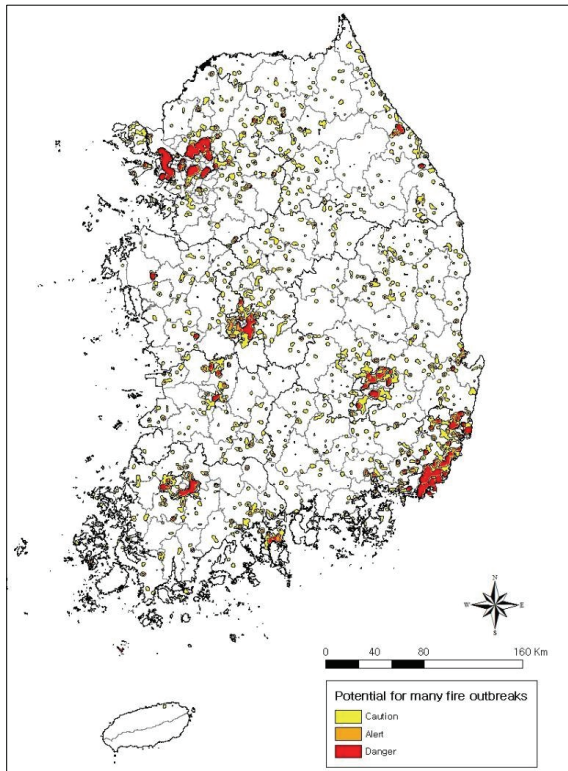


Figure 4. Map of high potential of forest fire

V. 결론

본 연구에서는 산림청 산불통계자료상의 산불발생 위치정보를 이용하여 1991~2015년 사이 발생한 산불의 분포 패턴을 분석하였고, 최근린 분석과 Kernel 분석을 이용하여 시군구별 산불다발지역을 선정하였다. 그 결과 인구 밀집지역인 특별·광역시를 비롯한 대도시권을 중심으로 산불밀도가 높은 군집으로 분류되는 경향이 나타났으며, 동해안지역, 산불발생이 유리한 남부지방 또한 산불발생이 높은 군집으로 분류되었다. 한편, 인구밀도가 낮으며, 국립공원, 자연휴양림이 포함된 시군구는 산불발생이 적은 군집으로 분류되었다. 또한 Kernel 분석을 이용하여 전국 시군구 내 산불다발위험도를 분석한 결과, 대도시지역의 구 단위에서는 다발위험도가 전국평균을 상회하는 것으로 나타났다. 반면, 경기도를 제외한 7개 시도의 시군에서는 산불다발위험이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이는 산불군집현황을 분석한 것과 같은 결과로 산불 다발지역이 인간의 활동과 밀접한 관련이 있음을 의미한다.

기존에는 산불다발지역을 분석한 연구가 없었으므로 효과적인 산불예방 및 정책수립을 펼치는데 한계가 있었다. 따라서 본 연구는 다발위험이 높은 지역을 사전에 파악함으로써, 감시 자원과 예산을 투입할 지역을 선정하는데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다. 나아가 적재적소에 효율적으로 투입된 자원들은 행정력의 낭비를 막는데 일조할 수 있을 것이다.

References

- Ahn, Sang Hyun, Si Young Lee, Myoung Soo Won, Myung Bo Lee, and Young Chul Shin. 2004. Developing the Forest Fire Occurrence Probability Model Using GIS and Mapping Forest Fire Risks. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 7(4): 57-64
- Catry, F. X., F. C. Rego, F. L. Bação, and F. Moreira. 2009. Modeling and Mapping Wildfire Ignition Risk in Portugal. *International Journal of Wildland Fire*. 18(8): 921-931.
- Choi, Jin Ho and Seung Min Joo. 2013. An Analysis on the Characteristics of Obstetrics and Gynecology Distribution in Daegu Metropolitan City Using GIS Spatial Analysis. *Journal of Daegu Gyeongbuk Development Institute*. 12(2): 149-156.
- Chuvieco, E. and J. Salas. 1996. Mapping the Spatial Distribution of Forest Fire Danger Using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 10(3): 333-345.
- Diggle, P. 1985. A Kernel Method for Smoothing Point Process Data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*. 34(2): 138-147.
- Garcia, V., P. Woodard, S. Titus, W. Adamowicz, and B. Lee. 1995. A Logic Model for Predicting the Daily Occurrence of Human Caused Forest Fires. *International Journal of Wildland Fire* 5(2): 101-111.
- Jeong, Kyeong Soek, Tae Heon Moon, Jae Hee Jeong, and Sun Young Heo. 2009. Analysis of Spatio-temporal Pattern of Urban Crime and Its Influencing Factors. *The Korean Association of Geographic Information Studies*. 12(1): 12-25.
- Jie, Y., J. Amorers, N. Sebe, P. Radeva, and T. Qi. 2008. Distance Learning for Similarity Estimation. *Pattern Analysis and*

- Machine Intelligence. IEEE Transaction on.* 30: 451-462.
- Kasischke, E., D. Williams, and D. Barry. 2002. Analysis of the Patterns of Large Fires in the Boreal Forest Region of Alaska. *International Journal of Wildland Fire*. 11(2): 131-144.
- Kim, Dae Young. 2014. Spatial Analysis for Forest Fire Using GIS. *The Geographical Journal of Korea*. 48(3): 325-336.
- Korea Forest Service. 2016. <http://www.forest.go.kr>.
- Kwak, Han Bin, Woo Gyun Lee, Si Young Lee, Myoung Soo Won, Myoung Bo Lee, and Kyo Sang Koo. 2008. The Analysis of Relationship between Forest Fire Distribution and Topographic, Geographic, and Climatic Factors. *The Korean Society for Geospatial Information Science*. 465-470.
- Lee, Byung Doo and Myung Bo Lee. 2009. Spatial Patterns of Forest Fires between 1991 and 2007. *Journal of Fire Science and Engineering*. 23(1): 15-20.
- Lee, Byung Doo, Gye Sun Ryu, Sun Young Kim, and Kyong Ha Kim. 2012. Development of Forest Fire Occurrence Probability Model Using Logistic Regression. *Journal of Korean Forestry Society*. 101(1): 1-6.
- Lee, Byung Doo, Myoung Soo Won, Kwang Min Jang, and Myung Bo Lee. 2008. Analysis of the Relationship between Landform and Forest Fire Severity. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 11(1): 58-67.
- Lee, Hee Yeon. 1989. *Geographic Statistics*. Bobmunsa.
- Lee, Si Young, Sang Yoel Han, Sang Hyun An, Jeong Soo Oh, Myung Hee Jo, and Myung Soo Kim. 2001. Regional Analysis of Forest Fire Occurrence Factors in Kangwon Province. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 3(3): 135-142.
- Lee, Si Young, Yong Seok Kang, Sang Hyun An, and Jeong Soo Oh. 2002. Characteristic Analysis of Forest Fire Burned Area Using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 5(1): 20-26.
- Martell, D. L., S. Otukol, and B. J. Stocks. 1987. A Logistic Model for Predicting Daily People-caused Forest Fire Occurrence in Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*. 17: 394-401.
- Ryu, Gye Sun, Byung Doo Lee, and Sung Yong Kim. 2015. Developing Techniques of Mapping and Indicator Selection for Forest Fire Vulnerability. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 11(11): 323-337.
- Schabenberger, O. and C. Gotway. 2005. *Statistical Methods for Spatial Data Analysis*. CRC Press.
- Silverman, B. 1981. Using Kernel Density Estimates to Investigate Multimodality. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*. 43(1): 97-99.
- Song, Jae Young. 2010. Herpetofauna of the Korea National Parks in Baekdudaegan. *Journal of National Park Research*. 1(3): 216-219.
- Vasquez, A and J. M. Moreno. 2001. Spatial Distribution of Forest Fires in Sierra de Gredos (Central Spain). *Forest Ecology and Management*. 147: 55-65.
- Korean References Translated from the English*
- 곽한빈, 이우균, 이시영, 원명수, 이명보, 구교상. 2008. 산불 발생 분포와 지형, 지리, 기상 인자간의 관계 분석. 한국 지형공간정보학회. 465-470.
- 김대영. 2014. GIS를 이용한 산불발생의 공간적 분석. 국토지리학회지. 48(3): 325-336.
- 산림청. 2016. <http://www.forest.go.kr>.
- 송재영. 2010. 백두대간 내 국립공원의 양서·파충류 상. 국립공원연구지. 1(3): 216-219.
- 안상현, 이시영, 원명수, 이명보, 신영철. 2004. 공간분석에 의한 산불발생확률모형 개발 및 위험지도 작성. 한국지리정보학회지. 7(4): 57-64
- 유계선, 이병두, 김성용. 2015. 산불취약성지도 작성을 위한 지표 선정 및 지도화 기법 개발. 한국위기관리논집. 11(11): 323-337.
- 이병두, 원명수, 장광민, 이명보. 2008. 지형과 산불피해도와의 관계분석. 한국지리정보학회지 11(1): 58-67.
- 이병두. 2009. 1991년부터 2007년까지 산불의 공간적 특성. 한국화재소방학회논문지. 23(1): 15-20.
- 이병두. 2012. 로지스틱 회귀모형을 이용한 산불발생확률모형 개발. 한국임학회지. 101(1): 1-6.
- 이시영, 강용석, 안상현, 오정수. 2002. GIS를 이용한 산불피해 지역 특성분석. 한국지리정보학회지. 5(1): 20-26.
- 이시영, 한상열, 안상현, 오정수, 조명희, 김명수. 2001. 강원도 지역 산불발생인자의 지역별 유형화. 한국농림기상학회지. 3(3): 135-142.

이희연. 1989. 지리통계학. 법문사.

정경석, 문태현, 정재희, 허선영. 2009. GIS와 공간통계기법을
이용한 시·공간적 도시범죄 패턴 및 범죄발생 영향요인
분석. 한국지리정보학회지. 12(1): 12-25.

최진호, 주승민. 2013. GIS 공간분석을 활용한 대구광역시 산부

인과 입지 분포 특성 분석. 대구경북개발연구. 12(2):
149-156.

Received: Feb. 24, 2017 / Revised: Mar. 23, 2017 / Accepted: Apr. 10, 2017

산불발생 위치와 공간분석을 이용한 산불다발지역 선정

국문초록 산불을 효과적으로 예방하기 위해서는 산불 발생위험도가 높은 다발지역을 지정하여 감시자원을 집중배치 하여야 한다. 본 연구에서는 산림청 산불통계자료상의 발생 위치정보를 이용하여 1991~2015년 사이 발생한 산불의 분포 패턴을 분석하였고, 최근린분석과 Kernel 분석을 이용하여 시군구별 산불다발지역을 선정하였다. 그 결과, 산불발생 분포지역은 총 5단계의 군집으로 분류할 수 있었고, 그 중 산불밀도가 높은 1, 2군집은 특별시 및 광역시를 비롯한 대도시권이 형성된 지역과 동해안 지역에 주로 분포하였다. 또한 다발위험지로 분류되는 주의, 경계, 심각의 비율이 전체 국토 면적의 10% 가량이었다. 특히 대도시지역은 국토면적의 25.25%가 ‘주의’, 11.53%가 ‘경계’, 17.90%가 ‘심각’으로 분류되었다. 따라서 전체 국토 면적의 54.68%가 다발 위험지역으로 선정됨에 따라, 대도시지역의 다발위험도는 전국 평균을 상회하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 산불 예방 및 진화자원의 우선 배치지역을 선정하는데 활용될 수 있다.

주제어 : 산불, 산불다발지역, 산불통계, Kernel 분석

Profiles **Hee Young Ahn** : She received her master's degree in Arts from Korea University in February 2016 with her master's paper titled "Location of Royal Tombs of the Joseon Dynasty and its Ecological Interpretation". She is currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a researcher. Her current research interest includes development of forest fire suppression techniques. In particular, she is now focusing on upgrading fire occurrence location map, fire danger map, and fire vulnerability map through GIS analysis on fire data(ahnhy@korea.kr).

Byung Doo Lee : He received his Ph.D. in Agriculture from Seoul National University in August 2005 with his Ph.D. paper titled "Analysis of Behavior Characteristics of the 2000 Samcheok Forest Fire Using GIS/RS and Development of a Forest Fire Growth Prediction Model". He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a senior researcher. He has conducted various research projects on forest fire and building on it, published many academic papers. His current research interest includes forest fire prediction and suppression techniques and forest danger assessment(byungdoo@korea.kr).

Chun Guen Kwon : He received his Ph.D. in Agriculture from Kangwon National University in August 2014 with his Ph.D. paper titled "A Study on Change Estimate of Surface Fuel Moisture Contents Affecting Forest Fire: the Case of Yeongdong, Gangwon Province". He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a junior researcher. He has conducted various research projects on forest fire and building on it, published many academic papers. His current research interest includes forest fire prediction, fuel moisture contents, and suppression techniques(chungeun@korea.kr).

Sung Yong Kim : He received his Ph.D in Agriculture from Kongju National University in August 2015 with his Ph.D. paper titled "A Study on the Analysis of Fuel Characteristics for Forest Fire Hazard Assessment". He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a researcher. His current research interest includes forest fire prediction, forest fire fuel model and fire danger assessment(kitaco1@korea.kr).