

## 수치산림입지도를 이용한 산불발생위험지역 구분 Classification of Forest Fire Occurrence Risk Regions Using Forest Site Digital Map

안상현<sup>†</sup> · 원명수 · 강영호 · 이명보

Sang-Hyun An<sup>†</sup> · Myoung-Soo Won · Young-Ho Kang · Myung-Bo Lee

국립산림과학원 산불연구과  
(2005. 7. 21. 접수/2005. 9. 5. 채택)

### 요 약

산불은 경제적 손실뿐만 아니라 인명을 위협할 수 있는 국가적 재해다. 이러한 산불을 미연에 방지하고 피해를 저감하기 위해서는 산불발생위험지역을 사전에 판단하여 효율적으로 관리하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 입지환경에서 중요한 부분을 차지하는 산림토양특성 중 토양형, 지형, 토성, 경사, 배수 등과 산불발생지점을 가지고 각 지점별 산불발생위험을 예측할 수 있는 산불발생확률 모형 개발하였다. 개발 시 조건부확률과 GIS를 이용하였다. 개발된 산불발생확률 모형의 적합성 검정을 위하여 추정모형의 예측력 비율을 검토할 수 있는 예측비곡선에 적용한 결과 실효성이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 적용하여 산불관리자가 손쉽게 산불발생위험지역을 파악할 수 있도록 위험지역을 구분하였다.

### ABSTRACT

In order to decrease the area damaged by forest fires and to prevent the occurrence of forest fires, we are making an effort to improve prevention measures for forest fires. The objective of this study is developing the forest fire occurrence probability model by means of forest site characteristics such as soil type, topography, soil texture, slope, and drainage and forest fire sites. Conditional probability analysis and GIS were used in developing the forest fire occurrence probability model that was used in the classification of forest fire occurrence risk regions.

**Keywords :** Forest fire, Forest fire occurrence risk regions, GIS

### 1. 서 론

산불은 경제적 손실뿐만 아니라 인명을 위협할 수 있는 국가적 재해다. 최근 5년간('99-'04) 우리나라의 산불피해 상황을 보면 연평균 586건, 피해면적 6,621 ha의 산불이 발생하여 160억원의 피해액이 발생되었으며, 산림녹화, 가뭄, 지역적인 기상이변 등으로 산불이 대형화되고 있다. 우리나라의 산불은 입산자실화 245건(42%), 논·밭두렁소각 105건(18%), 담뱃불실화 61건(10%) 등 대부분 인위적 요인에 의하여 발생하고 있다. 이러한 산불을 미연에 방지하고 피해를 저감하기 위해서는 산불발생위험지역을 사전에 판단하여 효율적으로 관리하는 것이 필요하다.

입업선진국인 미국, 캐나다, 호주 등에서는 산불재해에 적극 대처하기 위한 노력으로 지형, 기상, 임상 등 제반 산불관련 인자들과 연계하여 유기적인 해석을 하기 위한 노력으로 종합적인 산불관리시스템이 개발되고 있다<sup>10-14)</sup>. 이들 국가에서 이루어지는 연구는 대부분 인위적 요인에 의한 것보다 자연적 요인에 의해 발생하는 산불에 초점을 맞추고 있으며, 발생지점보다는 피해지역을 대상으로 많은 연구가 이루어지고 있다.

우리나라는 1986년 산불연구를 시작으로 산불위험 예측<sup>5,8)</sup>에 대한 많은 연구를 수행하였으며, 또한 GIS를 이용하여 산불을 효율적으로 관리하려는 연구가 다양하게 시도되었다<sup>4,7,9)</sup>. 현재는 산불발생을 기상, 지형, 임상 등의 요인으로 분석하여 개발된 웹기반 산불위험예보시스템을 실용화하고 있다<sup>1)</sup>.

본 연구에서는 지금까지 산불발생에 있어서 전혀 고

<sup>†</sup>E-mail: shan508@hanmail.net

러되지 않았던 입지환경에서 중요한 부분을 차지하는 토양특성을 가지고 산불발생과의 관련성을 분석함으로써 산불발생위험지역을 구분하고자 하였다.

## 2. 연구자료 및 방법

### 2.1 연구대상지 및 자료

본 연구에서는 기존에 지형 및 임상요인으로 조건부 확률을 이용한 산불발생위험 분석을 실시한 경상북도 의성군지역을 대상으로 하였다. 산불발생인자에 따른 산불발생위험도를 분석하기 위하여 최근 12년간(1993~2004) 발생한 산불발생지점과 산림토양자료를 구축하였다. Fig. 1은 산불이 발생한 지점을 나타낸 것이다. 산림토양자료는 국립산림과학원에서 제작한 수치산림입지도(1/25,000)를 사용하였다. 산림입지도는 최소 구획을 3 ha까지 설정하여 조사<sup>2)</sup>되었기 때문에 산불발생지점은 산림입지도가 조사된 지역만을 대상으로 하였으며, 아주 작은 산불일지라도 일단 불이 붙은 지역을 포함하였다.

산림입지도에는 지형, 토양배수, 기후대, 경사, 토적양식, 침식상태 등 많은 인자가 있지만 우리나라의 산불발생원인이 대부분 인위적 원인에 의한 것으로 사람의 접근성과 이용적 측면에서 산불발생과 비교적 높은 상관이 있는 경사, 토성, 지형, 배수, 토양형 등 5개 인자에 대해서 분석을 실시하였다.

### 2.2 연구방법

토양특성에 따른 산불발생위험을 GIS 분석하기 위하여 우선 최근 12년간(1993~2004) 발생한 산불발생지점에 대한 주제도를 구축하고, 수치산림입지도에서 경사구분, 표토토성, 지형구분, 배수등급에 따른 주제도

를 추출하였다. 구축된 주제도를 10×10 m 크기를 가지는 그리드로 변환하여 분석하였으며, 이러한 결과를 조건부확률을 이용하여 산불발생확률을 구하였다.

조건부확률은 한 가지 사상이 이미 일어났을 때 다른 사상이 발생할 확률이다(김, 2003). 각 주제도에서 A를 각 주제도 속성, B를 산불이 발생한 지점이라 가정했을 때 산불이 발생할 조건부확률 P(B|A)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{속성별 산불발생확률 } P(B|A) = \frac{(A \cap B) \text{ 면적}}{A \text{ 면적}}$$

또한 각 주제도를 C, D, E, F라 가정했을 때 각 주제도별 산불발생확률은 상호 독립이므로 최종 산불발생확률은 다음과 같이 확률의 곱법칙(multiplication rule)에 따라 계산하여 각 지점별 산불발생확률을 구하였다.

$$P(CDEF) = P(C) \cdot P(D) \cdot P(E) \cdot P(F)$$

이러한 산불발생확률모형의 적합성 검정을 위하여 예측비곡선(prediction-rate curve)을 이용하였다. 이러한 결과를 바탕으로 산불발생위험지역을 구분하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 산불발생 및 수치산림입지도 자료 구축

의성군지역의 최근 11년간(1993~2003년) 산불발생 현황을 살펴보면 연평균 산불발생은 19건, 피해면적은 12.3 ha로 나타났다. 산불발생원인을 살펴보면 Fig. 2와 같이 나타났으며, 논밭두렁소각(35%), 쓰레기소각(26%), 입산자실화(20%) 등 대부분 인위적 실화로 발생하였다.



Fig. 1. Forest Fire Occurrence sites in Uiseong-gun (1993~2004 data).

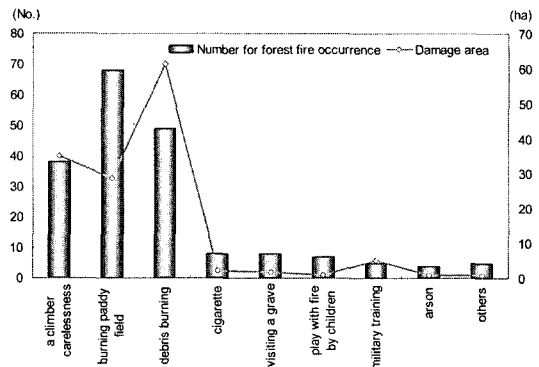


Fig. 2. Frequency of forest fire occurrence by causes and damage area in Uiseong-gun (1993~2004 data).

**Table 1.** Forest site Characteristics in Uiseong-gun

| Soil Type |       | Topography         |       | Soil Texture    |            | Slope         |       | Soil Drainage |       |
|-----------|-------|--------------------|-------|-----------------|------------|---------------|-------|---------------|-------|
| Class     | Ratio | Class              | Ratio | Class           | Ratio      | Class         | Ratio | Class         | Ratio |
| A         | 35.56 | gentle hill        | 1.51  | -               | 6.93       | -             | 0.35  | -             | 1.99  |
| B         | 31.18 |                    |       | sandy loam      | 76.57      |               |       |               |       |
| C         | 15.91 |                    |       |                 |            |               |       |               |       |
| D         | 0.34  | foot of mountain   | 23.28 | loam            | 0.76       | less than 15° | 0.03  | poor          | 0.05  |
| E         | 4.36  |                    |       |                 |            | 15-20°        | 0.15  |               |       |
| F         | 5.30  |                    |       |                 |            | silty loam    | 15.36 | 20-25°        | 22.57 |
| G         | 3.22  | middle of mountain | 33.02 | silty clay loam | 0.01       | 25-30°        | 40.29 | good          | 30.76 |
| H         | 0.02  |                    |       |                 |            |               |       |               |       |
| I         | 2.27  |                    |       |                 |            |               |       |               |       |
| J         | 1.64  | top of mountain    | 42.19 | sandy clay loam | 0.37       | more than 30° | 36.61 | very good     | 7.78  |
| K         | 0.02  |                    |       |                 |            |               |       |               |       |
| L         | 0.19  |                    |       |                 | loamy sand |               |       |               |       |
| Total     | 100   | Total              | 100   | Total           | 100        | Total         | 100   | Total         | 100   |

## Description of soil type

A: Brown Dry Forest Soil

C: Brown Moderate Forest Soil

E: Dark Red Brown Dry Forest Soil

G: Slightly Eroded Soil

I: Lithosols

K: Red Brown Dry Forest Soil

B: Brown Slightly Dry Forest Soil

D: Brown Wet Forest Soil

F: Dark Red Brown Slightly Dry Forest Soil

H: Severe Eroded Soil

J: Red Forest Soil

L: Red Brown Slightly Dry Forest Soil

산림입지도에서 조사된 의성군 산림토양 면적은 약 76만ha로 전체 면적의 65%를 차지하였다. 토양속성별 면적을 살펴보면 Table 1과 같이 토양형은 갈색건조산림토양(35.6%), 갈색약건산림토양(31.2%), 갈색적윤산림토양(15.9%) 등으로 대부분 갈색산림토양이 분포하였다. 갈색산림토양은 적윤한 온대 및 난대기후하에 분포하는 토양으로 전국 산지에도 대부분 출현하는 토양이다. 지형은 산정(42.2%), 산복(33.0%), 산록(23.3%) 등이며, 토성은 대부분 사양토(76.6%)와 미사질양토(15.4%)이다. 경사는 20° 이상(99.5%)이 대부분을 차지하고, 배수는 보통(59.4%), 양호(30.8%) 등으로 나타났다.

**3.2 토양특성별 산불발생확률 및 위험지역 구분**

토양특성별 산불발생위험도를 분석하기 위하여 각 주제도 속성별 산불발생건수를 분석하였다. 분석결과 Table 2와 같이 토양형에서는 갈색약건산림토양(115건) > 갈색건조산림토양(37건) > 갈색적윤산림토양(24건), 지형은 산복부(85건) > 산록(73건) > 산정(34건), 토성은 사양토(171건) > 미사질양토(23건), 경사는 25-30°(94건) > 20-25°(81건) > 30° 이상(25건), 배수는 보통(158건) > 양호(37건) 순으로 발생하였다.

그러나, 속성별 산불발생건수 분포만 가지고 산불발생확률이 높다고 할 수 없다. 만약 A라는 속성을 가진 지역이 100 ha이고 B라는 속성을 가진 지역이 10 ha라고 가정하자. A지역에서 산불이 10건, B지역에서 5건이 발생하였다고 하면 A지역이 B지역보다 2배 산불이 많이 발생하였다. 그러나 산불이 발생하는 확률을 1 ha 기준으로 보면 A는 10%, B는 50%로 B가 높게 나온다. 따라서 어느 지역에서 산불발생위험이 높은지를 파악하기 위하여 조건부확률을 이용하여 각 주제도 속성별 산불발생확률을 구하였다(Table 3). 이때 확률값은 100 ha를 기준으로 적용하였다. 분석 시 산불발생이 매우 적게 발생한 토양속성은 분석의 실효성을 높이기 위하여 그룹화 하였다.

토양특성에 따른 산불발생확률을 분석한 결과 산불발생확률은 토양형에서 갈색약건산림토양 > 암적갈색약건산림토양 > 암적갈색약건산림토양, 지형에서 완구릉지 > 산록 > 산복 > 산정, 토성에서 사양토 > 미사질양토, 경사에서 20° 미만 > 20-25° > 25-30° > 30° 이상, 배수에서 보통 > 양호 순으로 나타났다. 토양형에서 산불발생확률이 가장 높은 갈색약건산림토양은 완만한 산정 및 산복에 분포하는 약간 건조한 토양으

**Table 2.** Number for forest fire occurrence by forest soil characteristics

| Soil Type |       | Topography         |       | Soil Texture    |       | Slope         |       | Soil Drainage |       |
|-----------|-------|--------------------|-------|-----------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| Class     | Ratio | Class              | Ratio | Class           | Ratio | Class         | Ratio | Class         | Ratio |
| A         | 37    | gentle hill        | 13    | -               | 9     | less than 15° | 1     | poor          | 0     |
| B         | 115   |                    |       | sandy loam      | 171   |               |       |               |       |
| C         | 24    |                    |       | loam            | 1     |               |       |               |       |
| D         | 0     | middle of mountain | 73    |                 |       | 15-20°        | 2     | common        | 158   |
| E         | 7     |                    |       | silty loam      | 23    | 20-25°        | 81    |               |       |
| F         | 12    | silty clay loam    | 0     |                 |       |               |       | 25-30°        | 94    |
| G         | 5     |                    |       | sandy clay loam | 1     | more than 30° | 25    |               |       |
| H         | 0     | loamy sand         | 0     |                 |       |               |       | Total         | 205   |
| I         | 3     |                    |       | top of mountain | 34    | Total         | 205   |               |       |
| J         | 2     | Total              | 205   |                 |       |               |       | Total         | 205   |
| K         | 0     |                    |       | Total           | 205   | Total         | 205   |               |       |
| L         | 0     | Total              | 205   |                 |       |               |       | Total         | 205   |
| Total     | 205   |                    |       | Total           | 205   | Total         | 205   |               |       |

Description of soil type

- A: Brown Dry Forest Soil
- B: Brown Slightly Dry Forest Soil
- C: Brown Moderate Forest Soil
- D: Brown Wet Forest Soil
- E: Dark Red Brown Dry Forest Soil
- F: Dark Red Brown Slightly Dry Forest Soil
- G: Slightly Eroded Soil
- H: Severe Eroded Soil
- I: Lithosols
- J: Red Forest Soil
- K: Red Brown Dry Forest Soil
- L: Red Brown Slightly Dry Forest Soil

**Table 3.** Forest fire occurrence probability by forest soil characteristics

| Soil Type |             | Topography         |             | Soil texture |             | Slope         |             | Soil Drainage |             |
|-----------|-------------|--------------------|-------------|--------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| Class     | Probability | Class              | Probability | Class        | Probability | Class         | Probability | Class         | Probability |
| A         | 0.1362      | gentle hill        | 1.1289      | sandy loam   | 0.2922      | less than 20° | 1.2271      | common        | 0.3480      |
| B         | 0.4825      |                    |             |              |             |               |             |               |             |
| C         | 0.1974      | middle of mountain | 0.3368      | others       | 0.1784      | 25-30°        | 0.3053      | others        | 0.1331      |
| D         | 0.2102      |                    |             |              |             |               |             |               |             |
| E         | 0.2963      | Total              | 0.1054      | Total        | 0.1784      | Total         | 0.3053      | Total         | 0.1331      |
| F         | 0.1701      |                    |             |              |             |               |             |               |             |
| Total     | 0.1701      | Total              | 0.1054      | Total        | 0.1784      | Total         | 0.3053      | Total         | 0.1331      |

Description of soil type

- A: Brown Dry Forest Soil
- B: Brown Slightly Dry Forest Soil
- C: Brown Moderate Forest Soil
- D: Dark Red Brown Dry Forest Soil
- E: Dark Red Brown Slightly Dry Forest Soil
- F: others

로 임상내 연료물질이 건조되는 것과 일치하며, 토성, 배수에서도 비슷한 양상을 보였다. 산불의 원인이 논밭두렁소각, 쓰레기소각, 입산자실화 등 대부분 인위적인 원인에 의한 인가주변 또는 경작지 주변에서 발생하는 경우가 많으므로 완구릉지나 산록, 경사가 낮은 곳에서 산불발생확률이 높게 나타난 것으로 생각된다.

이러한 결과를 바탕으로 각 주제도 속성별로 구하여진 산불발생확률을 통합하기 위하여 다음과 같이 확률의 곱법칙(multiplication rule)에 따라 계산하여 각 지점별 산불발생확률을 구하였다.

$$P(\text{최종 산불발생확률}) = \text{토양형} \times \text{지형} \times \text{토성} \times \text{경사} \times \text{배수}$$

최종적으로 산출된 산불발생확률 값의 적합성 검정을 위하여 각 지점별 산불발생확률 값이 높은 지역순으로 면적비율에 따라 예측비곡선에 적용하였다. 그 결과 Fig. 3과 같이 좌상곡선을 나타내었다. 또한 상위 산불발생위험이 높은 8%지역에서 산불의 23%가 발생하였으며, 상위 산불발생위험이 높은 30% 지역에서 산불의 60%가 발생하여 실효성이 있는 것으로 나타났다.

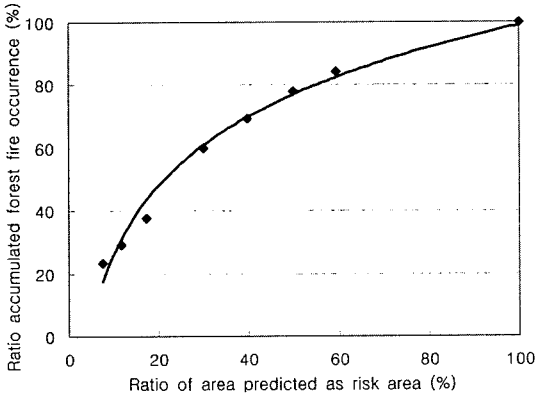


Fig. 3. Prediction ratio curve for goodness-of-fit-test on forest fire occurrence probability (1993-2004 data).

Table 4. Classification of forest fire occurrence probability for risk map

| Classification                                     | High             | Moderate      | Low              |
|--|------------------|---------------|------------------|
| Probability of Forest Fire Occurrence (No./100 ha) | more than 1.7402 | 1.3119-1.7402 | less than 1.3119 |
| Area Percent(%)                                    | 20               | 30            | 50               |
| Ratio occurred Forest Fire(%)                      | 53.7             | 27.3          | 20               |

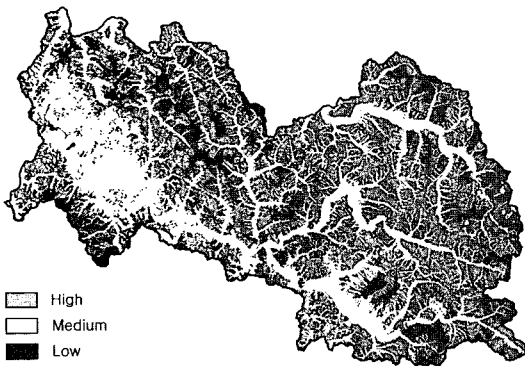


Fig. 4. Classification of forest fire occurrence risk region according to forest site characteristics in Uiseong-gun.

각 지점별 산불발생확률 값이 높은 지역은 이웃하는 지점의 산불발생확률에도 영향을 주기 때문에 Grid Neighborhood 5×5셀 평균값으로 확률 값을 재분류하였다. 얻어진 산불발생확률 값으로 산불관리자가 손쉽게 산불발생위험지역을 파악할 수 있도록 Table 4와 같이 높음, 보통, 낮음과 같이 3등급으로 산불발생위험 등급을 구분하였다.

구분된 위험등급을 각 지점별 산불발생확률 값에 적용하여 Fig. 4와 같이 산불발생위험지역을 구분하였다.

#### 4. 결 론

산불관리에 있어서 산불발생위험지역을 구분하여 효율적인 예방대책을 수립한다면 산불로 인한 재해를 미연에 방지하고 피해를 저감할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 산불발생에 있어서 전혀 고려되지 않았던 토양특성을 가지고 산불발생과의 관련성을 분석함으로써 산불발생위험지역을 구분하고자 하였다. 우선 산불발생위험지역을 추출할 수 있도록 산불발생지점과 토양형, 지형, 토성, 경사, 배수 인자의 특성을 이용하여 각 지점별 산불발생확률 값을 계산하였다. 얻어진 산불발생확률 값의 적합성 검정을 위하여 예측비곡선에 적용한 결과 좌상곡선을 나타내었으며, 상위위험지역 8%에서 산불발생의 23%, 상위 위험 지역 30%에서 산불발생의 60%가 발생하여 실효성이 있는 것으로 나타났다. 따라서, 토양특성에 따른 산불발생위험 분석은 현재 실용화하고 있는 산불위험예보시스템의 알고리즘 개선과 산불위험지역관리방안에 대한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서 산불발생위험확률 모형은 산림입지 측면만을 고려한 것으로 지형, 임상, 기상 등을 고려한 모델에 비해 예측능력이 떨어진다. 그러므로 향후 연구에서는 기상, 지형, 임상 등 다양한 산불발생 관련인자를 종합적으로 고려한 산불발생위험예측이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. 과기부, 산불예측 및 감시기술 개발, 368pp, 과학기술부 연구보고서(2003).
2. 국립산림과학원, 한국의 산림입지: 산림토양. 연구보고, 621pp, 국립산림과학원(2004).
3. 김동욱, 남궁평, 박중선, 허문열, 홍종선, 통계학개론, pp50-71, 박영사(2003).
4. 신영철, 안상현, 지리정보시스템을 이용한 산불방제 방안: 청주시 우암산 지역을 중심으로, 한국지리정보

- 학회지, Vol. 3, No. 1, pp23-34(2000).
5. 이시영, 산불발생 위험도 및 연소확대요인 분석에 관한 연구, 104pp, 동국대학교 박사학위논문(1995).
  6. 이시영, 강용석, 안상현, 오정수, GIS를 이용한 산불 피해지역 특성분석, 한국지리 정보학회지, Vol. 5, No. 1, pp20-26(2002).
  7. 이시영, 안상현, 원명수, 이명보, 임태규, 신영철, GIS를 이용한 산불발생위험지역 구분, 한국지리정보학회지, Vol. 7, No. 2, pp37-46(2004).
  8. 정연하, 이시영, 염육철, 여운홍, 산화위험을 예측에 관한 연구, 임업연구원 연구보고, Vol. 38, pp117-123(1989).
  9. 조명희, 오정수, 이시영, 조윤원, 백승렬, GIS를 이용한 산불정보관리시스템 개발, 한국지리정보학회지, Vol. 4, No. 3, pp51-50(2001).
  10. P. L. Andrews and L. P. Queen, Fire Modeling and Information System Technology, International Journal of Wildland Fire, Vol. 10, pp343-352(2001).
  11. L. S. Bradshaw, J. E. Deeming, R. E. Burgan, and J. D. Cohen, The 1978 National Fire-danger Rating System : Technical Documentation, 44pp, USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-169(1983).
  12. K. G. Hirsch, 1996. Canadian Forest Fire Behavior Prediction(FBP) System: User's Guide. Canadian Forest Service. 121pp.
  13. J. M. C. Pereira and M. T. N. dos Santos, Fire Risk and Burned Area Mapping in Portugal, 64pp, Direção-Geral das Florestas(2003).
  14. S. J. Pyne, P. L. Andrews, and R. D. Laven, Introduction to Wildland Fire, 769pp, John Wiley & Sons(1996).