

## 통계적 고찰과 수목분포에 따른 열량분석을 통한 산림화재 위험성 평가에 관한 연구

### A study on the assessment of wildland fire hazard through historical statistic examination and calorie analysis according to the geographical distribution of vegetation

김광일 · 김동현

Kim Kwang-II · Kim Dong-Hyun

인제대학교 산업안전시스템공학부

#### 요 약

산림에 대한 화재 위험성 평가는 산불의 예방, 진화 및 관리에 있어서 우선적으로 고려되어야 할 부분이다. 단일 화재로서는 국내 최대 규모인 1996년 4월에 발생한 강원도 고성산불과 2000년 4월에 발생한 강원도 영동지방 산불은 이러한 화재위험성 평가의 필요성을 절실히 요구하고 있다. 현재 국내에서의 사용하고 있는 위험도의 표현은 기상인자에 의해 연료가 화재에 노출될 수 있는 위험을 나타낸 것으로 습도측정봉 무게 환산식을 통해 산불 발생 위험지수 산정하여 산불경보시스템을 사용하여 나타내고 있다. 앞으로 지역별 종합적인 산림화재 위험성 평가를 위해서는 주요 인자들의 위험성을 측정하고 통계적 고찰을 통한 위험성 평가를 표현할 필요성이 있다. 이에 본 연구에서는 먼저 통계적 고찰을 통해 발생 빈도와 피해의 심각성을 분석하여 위험성을 평가하였고 수목의 열량적 가치를 시차주사열량계 실험을 통해 분석하여 수목분포도에 따른 열적 상대 위험성을 평가하였다.

#### ABSTRACT

The assessment of wildland fire hazard is the first priority to be considered in the prevention, extinction and control of wildland fire. For the standard to measure wildland fire hazard, the wildland fire Warning System is currently being used in Korea which computes the wildland fire occurrence hazard index through a stick weight to moisture conversion formula. It shows the risk of fuel substance being exposed to fire by meteorological factors. For a comprehensive assessment of wildland fire hazards by area, the major factors' hazards need to be measured and the assessment of wildland fire needs to be conducted through historical statistic examination. Therefore, the wildland fire outbreak frequency and its seriousness of damage are analyzed through historical statistic examination to conduct the assessment of a wildland fire hazard, and then the calorific value of a forest is analyzed through differential scanning calorimeter measurement which assesses the comparative calorific hazard according to the geographical distribution of vegetation.

**Keywords :** Wildland Fire, Hazard Assessment, Calorie Analysis, Statistic Examination, Wildland Fire Warning System

#### 1. 서 론

산불은 인류가 불을 사용하기 훨씬 이전부터 지구상에서 끊임없이 발생한 자연현상중의 하나라 할 수 있다. 하지만, 최근 전 세계적으로 산림의 개발과 기상이

변에 의한 산불이 급증하고 피해규모가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 우리 나라의 경우, 최근 5년 간 (1995년~1999년) 산림화재의 특징은 평균 475건을 나타내고 있으며 산불위험관리체제의 확립으로 1998년에는 전년도 대비 50%나 감소된 262건을 나타내고 있다. 하지만 1996년 4월 23일 발생한 강원도 고성산불과 2000년 4월 7일 발생한 강원도 동해안 산불은 전

† E-mail: jsh1052@chollian.net

체 화재건수보다 위험지역에서의 단일 건수에 대한 그 피해의 심각성에 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있다. 강원도에서의 두 차례에 걸쳐 일어난 대형 산불로 미루어 볼 때 강원도 지역의 산림화재 위험도의 수준은 상당히 높다고 볼 수 있다.

산림화재에 대한 위험성 평가는 첫째로 산림화재의 통계 분석을 통한 방법과 둘째로 산불확산 메커니즘에 영향을 주는 지형, 기상 그리고 연료 인자들에 의한 개별적 위험성 또는 종합적 위험성의 표현을 통해 나타낼 수 있다. 이 중 현재 우리나라에서의 산림화재 위험성 평가는 연료습도측정봉 무게 환산식을 이용한 산불발생 위험지수를 나타내고 있다. 산림화재에 대한 예방과 진화를 위해서는 통계적 분석을 통한 위험성 평가와 산림화재 주요 3가지 요인의 종합적인 위험성 평가가 필요하다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 위험지역의 표현을 위해 통계적 분석을 통한 위험성을 평가하였고 산림화재에 영향을 미치는 인자들의 종합적인 위험성 평가기법의 일환으로 지리산 국립공원을 모델로 하여 수목분포에 따른 연료의 열량적 가치를 시차주사열량계(DSC: Differential Scanning Calorimeter)를 이용한 실험값을 통해 정량화·등급화하여 수목분포에 따른 산림화재 상대 위험성을 평가하였다.

## 2. 산림화재의 위험성 평가

### 2.1. 통계적 고찰에 따른 위험성 평가

통계적 분석을 통한 산림화재 위험성 평가는 최근 10년 간(1991년 6월 20일~2000년 06월 20일)의 국내 산림화재 통계를 분석하여 연간 평균 발생빈도와 피해 면적에 따른 심각성을 등급화하여 Matrix 기법을 통해 위험성을 평가하였다.

국내 산림화재의 최근 10년 동안 연간 평균을 살펴 보면, Table 1에 나타난 바와 같이 발생건수는 542건으로 경상북도가 가장 많이 나타났으며, 피해면적은 강원도가 26807.37 ha로서 가장 많은 피해면적을 나타내고 있다.

여기서 산림화재 위험성은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Wildland fire Risk} = \text{Frequency} \times \text{Severity}$$

Frequency의 등급구분은 Absolute Scale Division으로 3등급으로 분할 적용하였으며, Severity의 등급구분은 국내 건수당 피해면적의 정도분류 기준을 적용하였다. 등급적용 범위는 Table 2에 나타난 바와 같다.

위험성의 판정은 Fig. 1의 Matrix 방법에 의해 위험

**Table 1.** The yearly mean of Wildland fire in recent 10 years of domestic and the total risk classification

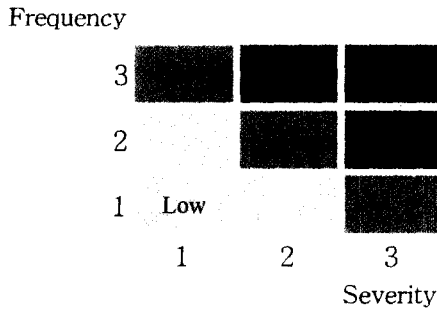
(최근 10년간 : 1991. 06. 20~2000. 06. 20)

| 지역    | 내용 | 발생건수 | 피해면적 (ha) | 건당피해면적 (ha/건수) | Frequency | Severity | Risk   |
|-------|----|------|-----------|----------------|-----------|----------|--------|
| 서울특별시 |    | 106  | 21.2      | 0.2            | 1         | 1        | Low    |
| 부산광역시 |    | 156  | 233.7     | 1.5            | 1         | 1        | Low    |
| 대구광역시 |    | 117  | 182.5     | 1.6            | 1         | 1        | Low    |
| 인천광역시 |    | 93   | 98.9      | 1.1            | 1         | 1        | Low    |
| 광주광역시 |    | 62   | 128.3     | 2.1            | 1         | 1        | Low    |
| 대전광역시 |    | 49   | 55.8      | 1.1            | 1         | 1        | Low    |
| 경기도   |    | 385  | 801.8     | 2.1            | 2         | 1        | Low    |
| 강원도   |    | 432  | 26807.4   | 62.1           | 3         | 3        | High   |
| 충청북도  |    | 230  | 403.0     | 1.8            | 2         | 1        | Low    |
| 충청남도  |    | 287  | 668.4     | 2.3            | 2         | 1        | Low    |
| 전라북도  |    | 290  | 613.4     | 2.1            | 2         | 1        | Low    |
| 전라남도  |    | 342  | 1038.5    | 3.0            | 2         | 1        | Low    |
| 경상북도  |    | 542  | 1831.2    | 3.4            | 3         | 1        | Medium |
| 경상남도  |    | 382  | 1426.0    | 3.7            | 2         | 1        | Low    |
| 제주도   |    | 32   | 75.6      | 2.4            | 1         | 1        | Low    |
| 계     |    | 3505 | 34385.6   | 9.8            | -         | -        | -      |

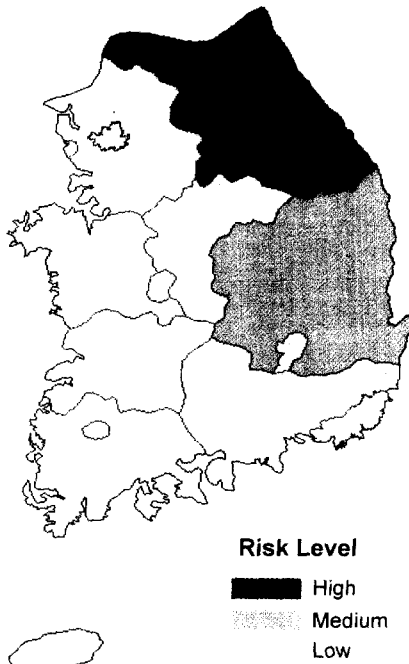
\*울산광역시는 경상북도에 포함되었음.

**Table 2.** Classification of Frequency and Severity in Wildland fire

| 등급 | 내용 | Frequency(건수) | Severity(ha/건) |
|----|----|---------------|----------------|
| 1  |    | 200 이하        | 5 이하           |
| 2  |    | 201~399       | 6~30           |
| 3  |    | 400 이상        | 31 이상          |



**Fig. 1.** Risk classification with matrix.



**Fig. 2.** Risk expression for the region.

성을 Low, Medium, High의 세 단계로 구분하였다. 통계적 고찰에 따른 지역별 위험성을 Fig. 2와 같이 표

현한 결과 강원도가 위험성이 High로 나타났으며 다음으로 경상북도가 Medium으로 나타났으며 다른 지역의 경우에는 Low로 위험성이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 발생건수에 비해 피해면적이 있어 큰 차이를 보이고 있기 때문이다. 이는 특히 강원도 지역이 산불 발생시 피해면적이 확대될 수 있는 위험한 환경에 놓여져 있다는 것을 통계적 고찰을 통해 알 수 있다. 경상북도의 경우에 있어서는 연평균 발생건수가 전국적으로 가장 많은 수치를 보였으나 산불 발생시 피해면적이 작은 것으로 미루어 강원도 지역에 비해 위험한 환경에 놓여 있지 않다는 것을 알 수 있다. 여기서 위험한 환경이란 산림화재 확산에 영향을 미치는 인자를 말하는 것으로 크게 기상, 연료, 지형인자를 말한다.

**2.2. 수목분포에 따른 위험성 평가**

산불확산 메커니즘의 주요 인자에 대한 우리나라의 특징을 살펴보면 대륙성 기후의 영향으로 봄과 가을철에 자주 이상건조 현상이 발생되고 바람도 강하게 불며, 적은 강우로 연중 산불발생건수의 64%가 봄철(3월~5월)에 발생되리만큼 기후의 영향을 많이 받는다. 또 발생한 산불은 지표면에 쌓인 낙엽 등과 같은 퇴적물을 연료로 적당한 경사를 따라 지중화, 지표화, 수관화, 비산화되어 확산되며 산림의 형태(해발고의 차이)에 따라 평지의 최고 16배의 속도로 확산된다. 산림내의 가연물의 종류로는 낙엽 및 지표층 퇴적물, 초본류, 침엽수, 활엽수로 나눌 수 있으며 배열상태에 따라 화재의 전파 형태가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 지리산의 수목분포에 따른 산림화재 위험성 평가를 위해 각 수목을 채취하여 DSC기기 분석을 통해 열량적 가치를 정량화·등급화하여 상대위험성을 평가하였다.

**3. 지리산의 자연환경**

지리산은 만·장년기(晩・壯年期)의 산으로 평균 경사도는 26°로 노고단에서 반야봉과 천왕봉을 잇는 능선으로부터 남북방향으로 뻗는 수많은 지능선이 있고 그 사이에 크고 작은 계곡들을 형성하고 있다. 지형의 형태는 골짜기막장형과 능선사면형의 복합 지형이다. 연평균 기온은 13°C이며 연중 강수량의 50%는 여름철에 집중되며 연중 지역별 바람장미(Wind Rose)<sup>1)</sup>는 겨울철에는 주로 북서풍이 불고 여름철에는 남동풍이 불고 있다. 서쪽이 개방된 지방은 북서풍의 빈도가

1) 한 지점에 있어서 1개월 또는 1년과 같은 장기간의 바람의 평균 상태를 표시한 것을 바람 장미라고 한다.

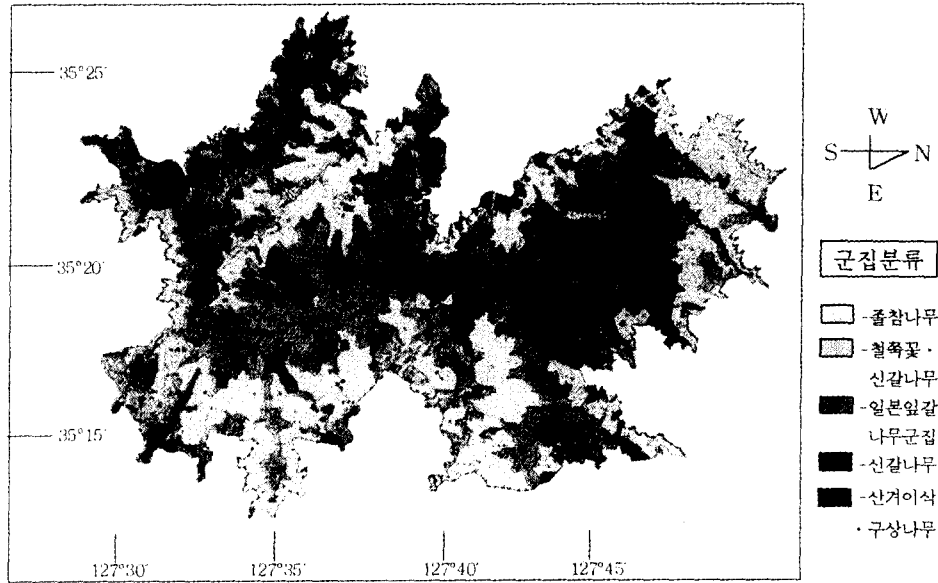


Fig. 3. The vegetation distribution map of the Chirisan national park according to the Z-M method.

Table 3. Experiment environment of DSC

| 항 목 | 분위기기체          | Temp Rate (°C/min) | Hold Temp (°C) | 시료 함수율 (%) | 실험실 내부 온도 (°C) | 실험실 내부 상대습도(%) |
|-----|----------------|--------------------|----------------|------------|----------------|----------------|
| 특성값 | N <sub>2</sub> | 15                 | 500            | 10 以內      | 21~24          | 24~72          |

Table 4. Caloric values of the major fuels by the DSC-50 Analyzer

| 대표수목내용     | 참억새  | 사스레나무 | 신갈나무 | 철쭉-소나무 | 진달래-소나무 | 이대-스티나무 | 왕대   | 졸참나무 |
|------------|------|-------|------|--------|---------|---------|------|------|
| 열량(kcal/g) | 2.05 | 2.63  | 3.53 | 3.11   | 3.14    | 2.42    | 2.52 | 2.93 |

높고 남쪽으로 개방된 지방은 남풍이나 남동풍의 빈도가 높다.

지리산의 식생은 군락의 특징적인 종의 조성을 중시하는 Z-M법에 따라 분류된 20개의 식물군집들의 분포 유형과 지리산 국립공원의 전체면적 485.0 km<sup>2</sup>에 대한 분포형태는 Fig. 3에 나타난 바와 같다(Table 4).

#### 4. 실험장치 및 방법

수목의 열에 대한 성상을 알아보기 위해 시차주사 열량계(Model : SHIMADZU DSC-50)를 사용하였고 실험장치환경은 Table 3에 나타난 바와 같다. 실험대상 시료는 지리산 주요 분포 수목 29종을 채취하여 나뭇잎, 가지, 수피, 형성층 등의 각 부위별로 분쇄과정을 행하지 않고 Desiccator에 24시간 이상 보관하여 실

험에 사용하였다.

#### 5. 실험결과 및 고찰

##### 5.1. 시차주사열량계(DSC)에 의한 열 반응값

지리산 국립공원의 식물군집별 점유면적이 32.04%를 차지하는 졸참나무에 대한 DSC의 반응곡선은 Fig. 4에 표시하였다.

##### 5.2. 열량분석에 따른 등급 분류

열량분석에 따른 등급분류와 수목분포도에 대한 열량 등급의 적용 결과는 각각 Table 5, Fig. 5와 같다.

##### 5.3. 지리산 수목분포에 따른 산불위험도평가

전항에서 등급 분류한 DATA를 Fig. 3에 적용한 결

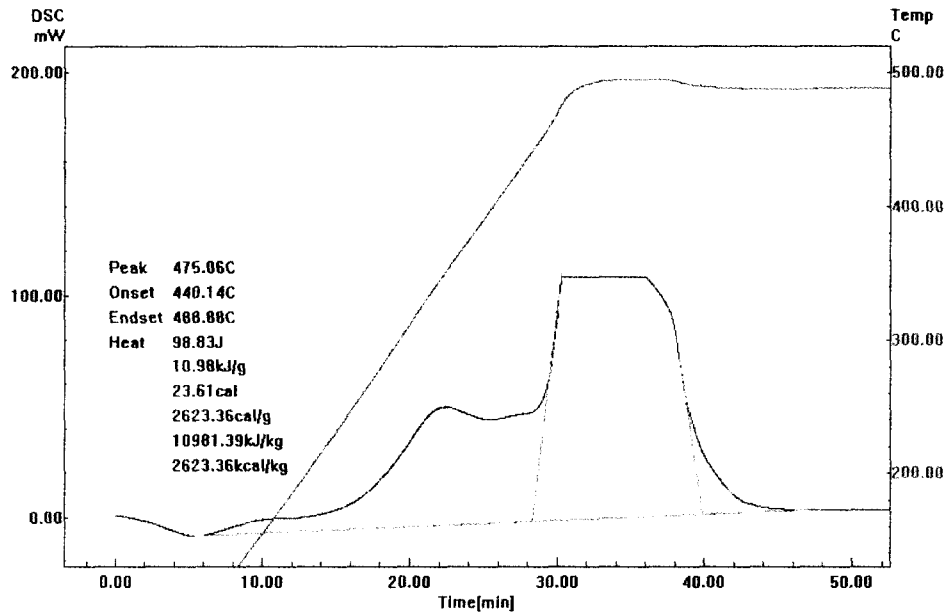


Fig. 4. DSC response curve of the bristletooth oak.

Table 5. Classification of trees according to Caloric values by DSC

| 구분         | 1등급   | 2등급       | 3등급       | 4등급       | 5등급       | 6등급       | 7등급       | 8등급   |
|------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 열량(kcal/g) | ≤1.00 | 1.01~1.50 | 1.51~2.00 | 2.01~2.50 | 2.51~3.00 | 3.01~3.50 | 3.51~4.00 | 4.00< |
| 색 구분       | 흰색    | 하늘        | 연두        | 노랑        | 주황        | 보라        | 빨강        | 검정    |

| 번호 | Z-M법 분류   | 등급(8등급) | 색깔 | 번호 | Z-M법분류   | 등급(8등급) | 색깔 |
|----|-----------|---------|----|----|----------|---------|----|
| 1  | 호오리새      | 3등급     | 연두 | 16 | 서어나무     | 3등급     | 연두 |
| 2  | 새         | 3등급     | 연두 | 17 | 개서어나무    | 3등급     | 연두 |
| 3  | 참억새       | 4등급     | 노랑 | 18 | 이대-노티나무  | 4등급     | 노랑 |
| 4  | 철쭉꽃       | 5등급     | 주황 | 19 | 철쭉꽃-소나무  | 6등급     | 보라 |
| 5  | 사스래나무     | 5등급     | 주황 | 20 | 산철쭉-소나무  | 6등급     | 보라 |
| 6  | 산겨이삭-구상나무 | 4등급     | 노랑 | 21 | 싸리나무-소나무 | 6등급     | 보라 |
| 7  | 신갈나무-구상나무 | 6등급     | 보라 | 22 | 진달래-소나무  | 6등급     | 보라 |
| 8  | 철쭉꽃-신갈나무  | 6등급     | 보라 | 23 | 잣나무림     | 6등급     | 보라 |
| 9  | 신갈나무      | 7등급     | 빨강 | 24 | 리기다소나무림  | 6등급     | 보라 |
| 10 | 소나무-신갈나무  | 7등급     | 빨강 | 25 | 일본잎갈나무림  | 5등급     | 주황 |
| 11 | 산수국-물오리나무 | 5등급     | 주황 | 26 | 밤나무      | 3등급     | 연두 |
| 12 | 졸참나무      | 5등급     | 주황 | 27 | 왕대림      | 5등급     | 주황 |
| 13 | 소나무-졸참나무  | 6등급     | 보라 | 28 | 목초지      | 5등급     | 주황 |
| 14 | 굴참나무      | 5등급     | 주황 | 29 | 암석지      | 3등급     | 연두 |
| 15 | 갈참나무      | 4등급     | 노랑 | 30 | 차나무-동백나무 | 4등급     | 노랑 |

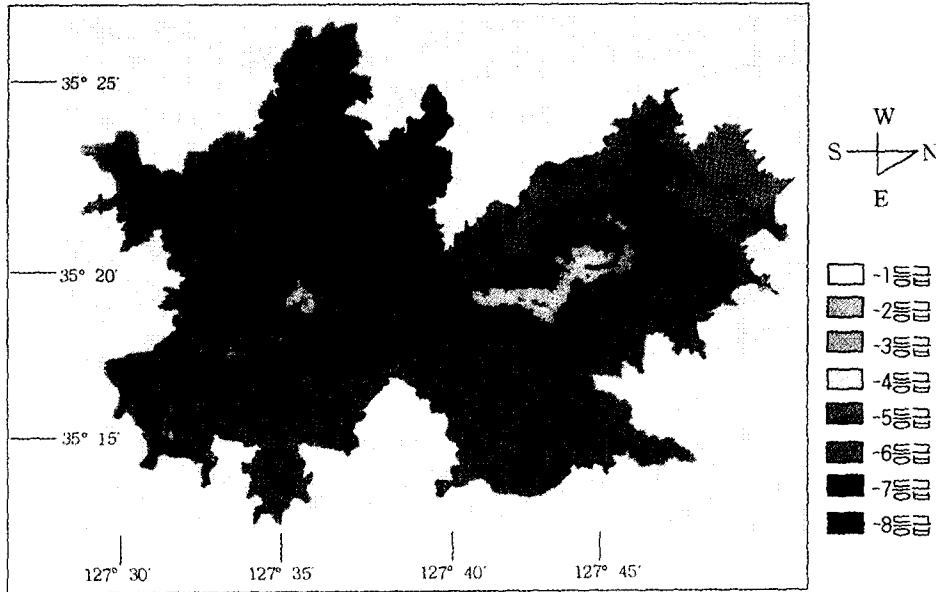


Fig. 5. Wildfire relative hazard assessment according to the vegetation distribution map of the Chirisan national park.

과 Fig. 5와 같이 나타내었다. 일반적으로 6등급 47.38%, 5등급 40.12%, 7등급 6.69%의 순으로 면적비율을 대별할 수 있다.

## 6. 결 론

산림화재에 대한 상대 위험성 평가에 있어 대표적인 방법으로 통계적 고찰 방법, 기상인자 및 연료인자 지형인자에 따른 위험수준을 등급화하여 지역별 위험성을 표현함으로써 산림화재 예방관리 및 진화에 많은 도움을 줄 수 있다. 여기서는 통계적 고찰에 의한 산림화재 위험성을 도 단위로 표현하였으며, 수목분포에 따른 위험성의 표현은 각 수목의 열량적 가치를 실험을 통해 측정하여 수목 분포에 따른 상대 위험성을 지리산을 모델로 평가하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 통계적 고찰을 통한 산림화재 위험성 평가의 적용 결과 강원도 지역의 위험성이 가장 높았으며 발생 빈도가 가장 많은 경북의 경우 피해면적이 상대적으로 작아 Medium의 위험수준을 보였다.
2. 지리산을 모델로 한 열량분석에 의한 화재 위험성은 6등급 47.38%, 5등급 40.12%, 7등급 6.69%의

순으로 면적비율을 대별할 수 있다.

3. 지리산의 수목 분포에 따른 위험성은 5등급과 6등급의 면적 비율이 약 87%를 차지하고 있어 산림화재 발생시 상당히 위험하다는 것을 나타내었다.

## 참고문헌

1. 任良宰 외 1명, "지리산의 식생", pp. 262-314, 중앙대학교 출판부 (1992)
2. 정현하 외 2명, "산불 발생시기 분석 및 위험지수 산정", 임업연구원연구보고 49권 (1994)
3. 이시영 외 2명, "습도측정봉을 이용한 산불 발생위험도 예측", 산림과학논문집, 55권(1997)
4. 金東賢 외 3명, "고성산불지역에서의 화재조사와 주요수목의 열량분석에 관한 연구", 한국화재·소방학회지 제 13권 제 1호(통권33호) (1999)
5. William C. Teie, "Fire Officer's Hand Book on Wildland Firefighting", Neotec (1995)
6. NFPA, "Standard for Protection of life and Property from Wildfire", NFC299(1991)
7. 산림청, "산불예방과 진화", 산림청 (1996)
8. 산림화재통계, [http://www.foa.go.kr/ext/index\\_ie.htm](http://www.foa.go.kr/ext/index_ie.htm)