

## 山林火災豫測 Model의 開發을 爲한 研究<sup>1</sup>

韓祥烈<sup>2</sup> · 崔 寬<sup>2</sup>

### Developing Fire-Danger Rating Model<sup>1</sup>

Sang Yoel Han<sup>2</sup> and Kwan Choi<sup>2</sup>

#### 要 約

우리나라는 1980년대초 山林綠化를 달성하고, 본격적인 山林資源造成時代로 진입하게 되었다. 山地資源化를 달성하기 위해서는 최근 대형화되고 있는 山林火災에 대한 과학적인 관리체계수립이 절실히 요청된다. 본 研究에서는 山林火災의 원인을 氣象要因과 人爲的 要因으로 대별하여 山林火災 發生危險을 예측할 수 있는 Model을 개발함으로써 山林火災의 早期發見 및 鎮火를 가능케 하고 위험도가 높은 지역에 鎮火裝備 및 鎮火人員을 사전에 배치하는 등, 과학적인 山林火災防止의 理論的 基礎를 제공하고자 수행하였다.

- (1) 氣象因子를 이용한 山火危險率推定은 線形確率모델(LPM)을 기초로 하여 여러 시계열 기상인자를 獨立變數로 하고 산화발생의 有無를 從屬變數로 한 WLS分析을 수행하여 확률모델화 하였다.
- (2) 人爲的 要因에 의한 山火危險率推定은 산화발생건수를 이용하여 各市·郡別 潛在危險等級을 산정하고, 산화발생사례를 원인별로 규명하여 각 원인들이 전체 산화에서 차지하는 비율에 각 원인별로 산화전문가의 주관적인 판단에 의해 위험등급을 매겨 當日 山火危險指數를 작성해서, 潛在危險等級과 當日山火指數를 組合하여 人爲的인 要因에 의한 산화위험을 指數化하였다.
- (3) 앞의 氣象要因에 의한 山火危險 Model에 지난 8년간의 기상자료를 대입하여 얻은 확률들을 기준으로 위험수준을 일정구분하여, 이를 人爲的 要因에 의한 山火發生指數와 조합하여 最終 山火發生危險指數를 작성하였다.

#### ABSTRACT

Korea has accomplished the afforestation of its forest land in the early 1980's. To meet the increasing demand for forest products and forest recreation, a development of scientific forest management system is needed as a whole. For this purpose the development of efficient forestfire management system is essential. In this context, the purpose of this study is to develop a theoretical foundation of forestfire danger rating system. In this study, it is hypothesized that the degree of forestfire risk is affected by Weather Factor and Man-Caused Risk Factor.

- (1) To accommodate the Weather Factor, a statistical model was estimated in which weather variables such as humidity, temperature, precipitation, wind velocity, duration of sunshine were included as independent variables and the probability of forestfire occurrence as dependent variable.
- (2) To account man-caused risk, historical data of forestfire occurrence was investigated. The contribution of man's activities make to risk was evaluated from three inputs.

<sup>1</sup> 接受 1991年 4月 15日 Received on April 15, 1991.

<sup>2</sup> 慶北大學校 林學科 Department of Forestry, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea.

The first, potential risk class is a semipermanent number which ranks the man-caused fire potential of the individual protection unit relative to that of the other protection units. The second, the risk sources ratio, is that portion of the potential man-caused fire problem which can be charged to a specific cause. The third, daily activity level is that the fire control officer's estimate of how active each of these sources is.

For each risk sources, evaluate its daily activity level ; the resulting number is the partial risk factor. Sum up the partial risk factors, one for each source, to get the unnormalized Man-Caused Risk.

To make up the Man-Caused Risk, the partial risk factor and the unit's potential risk class were considered together.

(3) At last, Fire occurrence index was formed fire danger rating estimation by the Weather Factors and the Man-Caused Risk Index were integrated to form the final Fire Occurrence Index.

*Key words* : Forestfire, weather factor, man-caused risk factor, fire occurrence index.

緒 論

우리나라는 1980년대 山林綠化를 달성하고 본격적인 山林資源化時代를 맞이하게 되었다. 특히, 1973년부터는 강력한 山林保護政策 및 落葉採取의 전면금지로 인하여 산림내 可燃性物質인 낙엽과 可燃性地被物質이 증가되어 산화의 위험성이 증가하고 있으며, 일단 산불이 발생하면 初期進化가 어렵고 大型化 되어 귀중한 山林資源을 소실하고 있는 실정이다.

산화의 直接의 原因으로는 사람의 사소한 부주의에 의한 실화가 대부분인데 여기에는 登山客失火, 省墓客失火, 畦畔消却, 담배불, 인근 발화지역으로 부터의 飛火, 어린이 불장난, 軍作戰, 高壓線의 漏電을 들 수 있다. 이와같이 山火發生의 直接的인 原因은 人爲의 要因이 대부분을 차지하나 間接的 要因으로는 氣象要因도 주요한 인자로 작용하는 바, 여기에는 相對濕度, 風速, 降雨量, 溫度, 日照時間 등이 있다.

山地資源化를 달성하기 위해서는 산림피해의 주요한 원인이 되는 산화의 發生危險率豫測에 관한 연구가 필수적이다. 山火發生危險率豫測에 관한 System의 개발은 1940년대 부터 美國에서 연구되기 시작하였다. 1972년 美國에서 개발된 National Fire-Danger Rating System<sup>5)</sup> (NFDRS)의 기본개념은 산화위험도를 판단할 때 통계적 수치의 개념이 아니라 산화발생과 진행에 따른 물리적 특성에 근거를 둔 것으로 9개의 fuel model을 구분하였다. 1978년에는 1972년의 NFDRS를 보완하여 1978-NFDRS<sup>6)</sup>를 만들었

다. 이러한 기본적이고 종합적인 山火危險率推定體系를 더욱 응용하고 보완하는 많은 연구들이 수행되었는데, Haines는 NFDRS-1964의 Spread Index를 보완하여 FFIS<sup>8)</sup>을 고안하였으며, Boychuck 등은 山林火災의 鎮火를 위한 Markov Chain Model<sup>2)</sup>을 개발하였다. 이 모델은 模擬實驗을 통하여 山火鎮火要員 및 裝備의 效率의 配置의 30%의 기대비용을 줄일 수 있다고 보고되었다. California지역에서도 山林火災의 初期鎮壓을 목적으로 하는 California Fire Economics Simulator-Initial Attack Module을 開發<sup>7)</sup>하였다. 또한 Canada에서는 The Canadian Forest Fire Weather Index(FWI)를 山林火災豫測에 使用하고 있는데, Van Wager<sup>12)</sup>는 이 豫測이 매우 뛰어난 豫測力을 갖고 있다고 確認한 바 있다.

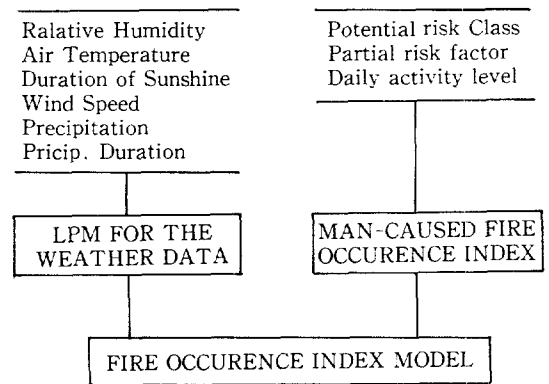


Fig. 1. Structure of the fire-danger rating index model.

본 연구에서는 山火發生危險率豫測 Model을 氣象要因과 人爲的 要因으로 구별하여, 氣象要因에 의한 山火危險率推定은 線形確率모델로 確率化하였고, 人爲的 要因에 의한 山火發生危險率推定은 1972-NFDRS의 Man-Caused Risk<sup>5)</sup>를 응용하여 山火危險指數化 하였다. 이 두가지 要因을 統合하여 最終 山火發生危險指數表를 작성하였다. 그림 1은 山火豫測모델의 構造圖이다.

**研究資料 및 研究方法**

**1. 氣象資料를 利用한 山火危險率 推定**

1) 研究資料

氣象資料를 이용한 山火危險率 推定은 大邱를 중심으로 慶尙北道 남부내륙의 2개시, 8개군의 1982년부터 1989년간의 1월부터 5월까지의 日別 기상자료와 1ha 이상의 산화발생사례를 이용하였다. 조사기간중 발생한 大邱를 중심으로 한 2개시 8개군의 山火發生件數와 月別發生現況, 被害面積은 表 1과 같다.

2) 研究方法

어느 지역의 어떤 날에 산불의 有無를 氣象因子들의 函數라고 가정한다면, 산불의 有無인 從屬變數(Dependent variable)는 두가지 범주, 즉 산불이 “發生했다”와 산불이 “發生하지 않았다”로 구분할 수 있으므로 이변수는 質的從屬變數(Qualitative dependent variable)<sup>13)</sup>가 된다. 從屬變數가 Dummy 變數로 이루어진 경우 간단한 Model을 생각해 보자.

$$y_j = \beta x_j + \epsilon_j \quad j = 0, 1, 2, \dots, n(1)$$

$$y_j = 0 \text{ 또는 } 1$$

여기서  $X_j$ 는 여러 氣象要因들이고,  $y_j=1$  일 때는 “산불이 發生했다”이고  $y_j=0$  일 때는 산불이 “發生하지 않았다”로 생각할 수 있다.

여기서 양분변수  $y_j$ 를 설명변수  $x_j$ 의 線形函數로 기술한 것을 線形確率 모델(LPM: Linear Probability Model)이라 한다.  $x$ 가 주어진 상황에서  $y$ 의 條件附 期待値는  $x_j$ 가 주어진 상황에서 그 事象이 일어날 조건부확률로 해석할 수 있기 때문이다. 즉,  $P_r (1 | x_j)$ 이다. 그러므로 위의 경우는  $E(y_j | x_j)$ 는 氣象要因들이  $x_j$ 로 주어진 산불이 발생할 확률을 나타내는 것이다.

식 (1)에서  $E(\epsilon_j)=0$ 이라 하면 반응함수는 특별한 의미를 갖는다.

$$\text{즉, } y_j = \beta_0 + \beta_1 x_j \quad (2)$$

에서 從屬變數  $y_j$ 는 0 또는 1의 값을 가지므로 다음과 같은 確率分布를 따르는 베르누이(Bernoulli) 확률변수이다.

따라서 반응함수 (2)는

$$E(y_j) = 0 \cdot P(y_j=0) + 1 \cdot P(y_j=1)$$

$$= p_j \quad (3)$$

이며 식 (2)와 (3)에서 반응함수는

$$E(y_j) = \beta_0 + \beta_1 x_j = p_j = P\{y_j=1\}$$

이므로 반응함수  $E(y_j)$ 는 獨立變數가  $x_j$ 의 값을 가질때 從屬變數가  $y_j=1$ 이 되는 確率로 표현된다. 따라서  $E(y_j)$ 는 아무리 커도 1을 넘을 수 없고 0보다 작아질 수 없는 성질을 가진다. 이와 같이 從屬變數를 Dummy 변수로 하여 1982년부터 1989년간의 1월~5월까지의 氣象資料로 산화발생일은 從屬變數를 1로 하고 산불이 발생하지 않은 날은 0으로 하여 一般的인 最小自乘法(OLS: Ordinary Least Squares Method)으로 먼저 분

**Table 1.** Number of fires of districts (1982-1989).

District	Number of fires	Area (ha)	Months							
			Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Nov.	Dec.	Others
Chilgok	9	45.8	2	0	2	4	0	0	0	1
Chungdo	8	56.7	1	2	1	2	1	0	1	0
Dalsung	19	97.9	2	3	4	8	2	0	0	0
Goryung	6	32.7	0	0	2	1	1	1	0	0
Gumi	2	4.5	0	1	0	1	0	0	0	0
Gunwi	4	9.3	2	0	1	0	1	0	0	0
Kyungsan	13	136.0	1	3	3	5	0	0	1	0
Sungju	5	30.1	1	1	1	1	1	0	0	0
Sunsan	4	353.5	0	0	2	2	0	0	0	0
Youngchen	6	118.5	1	0	3	2	0	0	0	0
Total	72	885.0	10	10	19	26	6	1	2	1

석하였다.

그러나, OLS에 의하여 구해진 Model은 오차의 分散이 일정한 값을 가지지 않고 獨立變數의  $X_j$  값이 변함에 따라 誤差分散  $\text{Var}(\epsilon_j)$ 도 따라 변하게 된다. 즉, 오차항  $\epsilon_j$ 의 分散은

$$\begin{aligned}\text{Var}(\epsilon_j) &= \text{Var}(y_j) \\ &= E[y_j - E(y_j)]^2 \\ &= (1-p_j)^2 \cdot p_j + (0-p_j)^2 \cdot (1-p_j) \\ &= p_j(1-p_j) \\ &= (\beta_0 + \beta_1 x_j)(1 - \beta_0 - \beta_1 x_j)\end{aligned}$$

이므로  $\text{Var}(\epsilon_j)$ 는 獨立變數  $x_j$ 의 2次函數(Quadratic Function)이다. 즉, 誤差分散  $\text{Var}(\epsilon_j)$ 는 一定한 값이 아니고  $x_j$ 의 값에 따라 변한다. 따라서 一般的인 最小自乘法(Ordinary Least Squares Method)를 이용하여 분석하는 것은 OLS분석시 가정되는 等分散性에 위배되므로 적절한 방법이 아니다. 그러므로 모든 分散이 일정한 等分散이 되도록, OLS에 의해 구해진 豫測值(Predicted Value)를 각 觀察值마다 加重值를 곱해 주는 加重最小自乘法(Weighted Least Squares Method)<sup>1),3,4,10,13)</sup>을 이용하여 분석하였다. 氣象資料는 전날의 기상상태가 오늘의 기상에 미치는 영향이 클 것으로 판단되고, 각 氣象因子間의 상관관계가 높을 것으로 생각되어, 自己相關檢定은 Durbin-Watson 검정을 통해 살펴보고, 多重共線性(Multicollinearity)은 分散擴大要因인 VIF(Variance Inflation Factor) 檢定<sup>11)</sup>을 통해 그 유무를 살펴 보았다.

氣象要因에 의한 山火危險率推定에 이용한 氣象要因으로는 相對濕度の 加중평균치인 實效濕度(Effective humidity)<sup>9)</sup>와 平均氣溫, 降雨量, 風速 등을 이용하였는데, 實效濕度は 相對濕度로부터 아래와 같은 계산식에 의해 산출하게 된다.

$$\begin{aligned}\text{He} &= \frac{H(O) + r(H1) + r^2(H2) + r^3(H3) + \dots}{1 + r + r^2 + r^3 + \dots} \\ &= (1-r)\{H(O) + rH(1) + r^2(H2) + r^3H(3) + \dots\}\end{aligned}$$

He : 實效濕度

H(O) : 당일의 일평균 相對濕度

H(n) : n일 전의 일평균 相對濕度

r : 實效濕度の 係數

여기서 이용한 實效濕度の 係數는 기상대에서 이용하는  $r=0.7$ 을 이용하였고, 相對濕度の 누적일의 4일간의 相對濕度を 이용하였다. 可燃性物質

의 수분함유상태를 보다 실질적으로 반영하기 위해 1mm 以上 降雨後 經過日을 氣象因子化 하였다. 특히, 공휴일 등산인구가 산화에 미치는 영향을 알아보기 위해 氣象因子는 아니지만, 요일별로 산화에 차이가 있는지를 검정할 수 있도록 요일별 Dummy 변수를 함께 넣어 조사해 보았다.

## 2. 人爲的要因에 의한 山火危險指數

氣象資料를 이용한 山火危險率은 大邱를 중심으로 한 2개시, 8개군의 氣象資料를 이용 하였지만 人爲的 要因에 의한 山火危險指數를 구하기 위해 大邱·慶尙北道の 1982년부터 1989년까지의 산화발생사례를 모두 이용하였다. 이 기간동안 발생한 1ha 以上の 산불은 2개시, 28개군에서 모두 172件에 달하였다. 영일군이 20件으로 가장 많은 산불이 발생했고 달성군이 19件, 안동군이 14件, 경산군이 13件 등으로 나타났다. 月別로는 4월이 67件, 3월이 46件, 2월이 19件, 1월이 17件의 順으로 나타났다.

### 1) 市·郡別 潛在危險等級

潛在危險等級의 기본적인 가정은 각 시·군들이 지닌 山火發生의 潛在危險은 과거 山火發生의 經驗的 事實에 直接的으로 관련되어 있다고 생각할 수 있다. 그러므로 1982년부터 1989년까지 8年間の 각 시·군의 月 山火發生最高件數와 月平均山火發生件數를 이용한다.

각 시·군의 주어진 조건과 환경에서 最高發生件數는 각 시·군에 내재된 산화발생 가능성을 가장 잘 나타내는 척도로 생각할 수 있다.<sup>5)</sup> 그러므로 각 시·군에서 발생한 月 山火發生最高件數를 구한 다음, 月平均件數와 더하여 가장 높은 시·군을 10으로 하는 加重值를 구하여 나머지 시·군들의 潛在危險等級을 구하였다.

### 2) 原因別 危險比率

原因別 危險比率은 慶尙北道 전체의 산화에 대한 原因別 構成比率을 파악하여 이를 이용한다. 조사기간 동안 山火發生事例를 原因別로 조사하여 전체 산화에서 각 원인들이 차지하는 비율을 계산하여 이를 이용한다. 조사기간중 原因別 山火現況은 表 2와 같다.

表 2에서 입산자실화에 의한 산불이 40.1%로 가장 많이 나타났는데 여기에는 登山客失火, 省墓客失火, 入山者의 모닥불 등 入山者의 不注意

**Table 2.** Number of fires about Man-Caused Sources.

Sources	No. of Fires	Percent of Fires
Incendiary	69	40.1
Debris burning	37	21.5
Cigarette	24	13.9
Flying sparks	11	6.4
Others	31	18.1
Total	172	100.0

에 의한 失火이며, 다음은 畦畔燒却으로 논두렁, 밭두렁, 페비닐소각시 발생한 산화로 21.5%를 차지하고 있고 담배불에 의한 산화가 13.9%, 화염이 바람에 의해 飛火되어 일어난 산화가 6.4%를 차지하며, 그 외에도 어린이 불장난, 軍作戰, 電氣漏電, 精神異狀者의 방화 등이 있다.

여기에서 入山者失火와 畦畔燒却, 담배불, 飛火가 차지하는 比率이 전체산화의 81.9%를 차지하므로, 산화원인을 크게 이 4가지와 그외의 산화원인을 기타에 포함시켰다.

3) 當日山火危險指數

當日山火危險指數는 앞에서 구한 原因別 山火危險比率의 각 원인에 따른 당일의 수준을 산화발생 위험이 “전혀없다”, “낮다”, “보통이다”, “높다”, “아주높다”의 5등급으로 나누어 각 등급별 절대치를 1, 2, 3, 5, 10으로 하여 각 원인마다 5가지 등급으로 만든 指數를 작성하여 山火擔當公務員이나 專門家가 각 원인에 따른 위험수준을 판단하여 측정일의 각 原因別 危險指數를 산정하게 된다. 각 원인마다의 山火危險指數를 모두 합하여 推定日의 當日山火危險指數로 한다. 이는 당

日의 山火危險率 뿐만 아니라 시간별로도 山火危險率을 산정할 수도 있다.

이렇게 하여 각 시·군의 潛在危險等級과 當日 山火危險指數를 統合하는 最終 指數를 구하여 추정일의 人爲的 要因에 의한 山火危險率을 판단하게 된다.

**結果 및 考察**

1. 氣象因子에 의한 山火危險 Model 推定

氣象資料를 이용하여 線形確率 Model(PLM)를 근거로 한 OLS 分析에서, 여러 氣象因子를 변수가감법(Step wise)에 의해 分析한 결과, 降雨量과 曜日間 有意性의 여부를 판단하기 위해 이용한 曜日別 Dummy 變數는 有意性이 없었다. 이는 대부분의 산화가 휴식공간을 즐기려는 등산객의 부주의 보다는 지역주민의 入山時, 요일에 상관없이 산화가 발생한다고 생각된다. 그 이외에 다른 氣象因子들은 t-檢定 결과 모두 10% 내에서 有意性이 있었다.

表 3은 OLS 분석 결과 豫測值(Predict Value)를 이용해 加重最小自乘法에 의해 추정되어진 最終 Model이다. Beta 係數(Beta Coefficient)는 風速과 日照時間이 산화에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 氣象資料가 시계열자료이므로 一次自己相關의 유무를 알아보기 위해 Durbin-Watson 檢定 결과, 심각한 自己相關은 없었으며, 獨立變數가 氣象資料이므로 獨立變數間의 심각한 相關이 존재하는지의 여부를 판

**Table 3.** Estimated weather function by GLS.

Variable	Coefficient	Standard error	Beta	t-ratio	VIF
EHUM	-0.001498	0.00060827	-0.001085	-2.462***	1.0895
TEM	0.002176	0.00069780	0.002055	3.119***	1.2006
DUR	0.003962	0.00088327	0.004181	4.486***	1.2174
SUN	0.006645	0.00122191	0.007089	5.438***	1.1423
WIND	0.007212	0.00296373	0.009223	2.433**	1.0369

Intercept=0.027735 R<sup>2</sup>=0.0735 DW=1.663 DF=1,030

\*\*=Different from zero at the 5% significance level

\*\*\*=Different from zero at the 1% significance level

VIF=Variance Inflation factor

Description of Variables

EHUM=Effective humidity

TEM =Temperature

DUR =Duration of Precipitation

SUN =Duration of sunshine

WIND=Wind velocity

단하기 위해 사용한 分散擴大要因檢定 결과, 심각한 多共線性은 발견되지 않았다. 그러나 Model의 說明力을 반영하는 決定係數(R<sup>2</sup>)는 0.0735로 빈약한 說明力을 나타내었는데, 이는 線形確率 Model에서 從屬變數가 山火發生의 有無를 나타내는 0과 1로 주어지는 Dummy변수 이므로 OLS분석에서 처럼 추정식이 높은 설명력을 갖기가 어렵고 산화발생의 이유로 氣象因子의 영향 보다는 人爲的 要因의 영향을 많이 받으므로 나타나는 결과라 할 수 있다. 그러나 Model의 F檢定 결과는 1% 수준에서 유의하였다.

**2. 人爲的 要因에 의한 山火危險指數**

각 지역의 潜在山火危險等級을 산정해 보면 表 4와 같다. 산화예방 지역단위를 각 시·군별로 하여, 각 시·군별로 따른 月別發生現況에서 월별 발생한 山火發生件數中 最高件數를 구한다. 表 4에서 \* 表示는 각 시·군의 最高發生件數를

나타낸 것이다. 그리고 月平均發生件數를 산정하기 위해 각 시·군의 총 山火發生件數를 조사기간인 40개월로 나누어 月平均山火發生件數(Seasonal monthly average)를 산정하였다. 그 다음 最高發生件數와 月平均發生件數를 더하여 그 수치가 가장 높은 군을 10으로 하는 加重值를 구해서 조사 지역의 潜在山火檢定等級(Potential risk class)를 산정하였다. 그 결과는 영일군이 10이고 달성군이 9, 안동군이 8, 경산군과 영양군이 6의 순으로 나타났다.

다음은 人爲的 要因에 의한 原因別 危險比率을 이용하여 當日山火危險指數를 구하는데 이는 조사기간중 각 원인에 따른 구성비율을 山火擔當公務員이나 專門家가 각 원인에 따른 危險水準을 5等級으로 나누어 일정한 指數를 부여하여 測定日의 山火原因別 危險指數를 산정하게 된다. 大邱·慶尙北道の 지난 8년간의 資料를 분석하면 入山者失火가 40.1%, 畦畔消却이 21.5%, 담배

**Table 4.** Evaluation of seasonal risk class.

District	Months					Total	Seasonal Monthly Average	Weighted Monthly Average	Potential Risk Class
	1	2	3	4	5				
Andong	1	0	5	7*	1	14	0.350	7.350	8
Bonghwa	0	0	1	2*	0	3	0.075	2.075	3
Chilgok	2	0	2	4*	0	8	0.200	4.200	5
Chomchon	0	0	0	1*	0	1	0.025	1.025	2
Chungdo	1	2	1	2*	1	7	0.175	2.175	3
Chungsong	1	0	2*	1	0	4	0.100	2.100	3
Dalsung	2	3	4	8*	2	19	0.475	8.475	9
Egsung	0	0	1	2*	0	3	0.075	2.075	3
Goryung	0	0	3*	1	1	5	0.125	3.125	4
Gumi	0	1	0	1*	0	2	0.050	1.050	2
Gunwi	2*	0	1	0	1	4	0.100	2.100	3
Kmrung	0	0	1	3*	1	5	0.125	3.125	4
Kyungju	1	0	0	1*	0	2	0.050	1.050	1
Kyungsan	1	3	3	5*	0	12	0.300	5.300	6
Munhyung	0	0	0	4*	0	0	0.100	4.100	5
Pohang	1	1*	0	0	0	2	0.050	1.050	2
Sangju	0	0	1*	0	0	1	0.025	1.025	2
Sungju	1	1	1	1*	1	5	0.125	1.125	2
Sunsan	0	0	2	2*	0	4	0.100	2.100	3
Uijin	0	1	0	3*	0	4	0.100	3.100	4
Welsung	1	2	1	3*	0	7	0.175	3.175	4
Yechen	0	0	2	2*	0	4	0.100	2.100	3
Youngchen	1	0	3*	2	0	6	0.150	3.150	4
Yongdok	0	0	1	2*	1	4	0.100	2.100	3
Youngil	2	3	9*	4	1	19	0.475	9.475	10
Youngju	0	1	0	1*	0	1	0.025	1.025	2
Youngpung	0	0	2	5*	1	2	0.050	1.050	2
Youngyang	0	0	2	5*	1	8	0.200	5.200	6

Table 5. Partial Risk Factor.

	Risk Source Ratio									
	0	6*	11*	16*	21*	26	31	36*	41	46
Daily Activity Level	5	10*	15*	20*	25*	30	35	40*	45	50
None	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5
Low	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Normal	1	3	4	6	7	9	10	12	13	15
High	2	5	7	10	12	15	17	20	22	25
Extreme	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

불이 13.9%, 飛火가 6.4%, 其他가 18.4%로 나타났다. 그러므로 表 5의 첫째 行의 \* 표시는 각 원인들이 차지하는 비율의 구간을 표시하였다. 그리고 첫째 列은 測定日의 상황에 따라 山火專門家가 主觀적으로 판단하는 각 원인별 위험수준을 5 等級으로 구분하였다.

表 6은 人爲의 要因을 산정하는 最終 指數表로 앞에서 산정한 각 시·군별 潜在山火危險等級과 原因別 山火危險比率를 當일조건에 따라 산정한 指數의 合을 組合하여 最終 人爲의 要因에 의한 山火危險指數를 산정한다. 첫 列은 각 시·군별 潜在山火危險等級이고 첫 行은 原因別危險比率를 當日山火危險水準에 等級으로 주어졌을 때 계산된 指數의 合이다.

이상과 같이 과거경험과 통계를 이용하고 山火擔當公務員의 經驗의인 주관적 판단에 의해 人爲의 要因에 의한 危險指數를 算定할 수 있다.

3. 最終 山火發生危險指數

最終 山火發生危險率은 앞에서 구한 氣象因子에 의한 山火發生危險確率과 人爲의 要因에 의한

危險指數를 組合하여 산정하였다. 氣象要因에 의한 山火發生確率은 表 3에서 추정된 Model을 가지고 8년간의 氣象因子를 대입하여 확률을 산출하였다. 8년간의 氣象資料를 대입하여 얻은 確率의 平均은 0.070 이었으며, 실제로 發生한 山火가 平均 確率值인 0.070 以上일 때 대부분 발생하였다.

氣象要因에 의한 山火危險率을 指數化 하기 위해 일정구간의 確率범위로 구분하기 위해, 確率分布를 正規分布로 假定하여, 平均(Mean)과 標準偏差(Standard Deviation)을 구해 그림 2와 같이 6 等級으로 區分하였다. 여기서 平均이 0.070, 標準偏差가 0.045 이므로 전체면적에서 차지하는 累積面積으로 각 구간을 指數化하였다.

이렇게 구분한 氣象因子에 의한 山火危險率과 人爲의 要因에 의한 山火危險指數를 組合하여 最終 山火發生危險指數를 산정하게 되는데 그 결과는 表 7과 같다. 첫째 列은 表 3에서 推定 Model에 추정고자 하는 날의 氣象資料를 대입하여 얻은 確率구간이며, 첫 行은 表 6에서 산정된 人爲의 要因에 의한 山火發生危險指數區間이다.

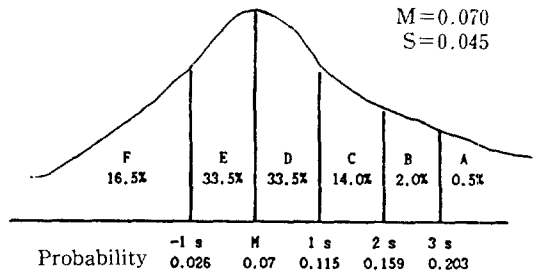


Fig. 2. Computing probability for normal distribution.

Table 6. Man-Caused risk index.

Potential Risk Class	Total Partial Risk Factor																			
	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	1	3	4	6	7	9	10	12	13	15	16	18	19	21	22	24	25	27	28	30
4	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
5	2	5	7	10	12	15	17	20	22	25	27	30	32	35	37	40	42	45	47	50
6	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
7	3	7	10	14	17	21	24	28	31	35	38	42	45	49	52	56	59	63	66	70
8	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
9	4	9	13	18	22	27	31	36	40	45	49	54	58	62	67	72	76	81	85	90
10	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

Table 7. Fire occurrence index.

Probability by the LPM	Man-Caused risk index																			
	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
0.000-0.025	0	0	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8
0.026-0.069	1	3	5	6	8	10	11	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	30	31	33
0.070-0.114	3	6	10	13	17	20	24	27	31	34	38	41	45	48	52	55	59	62	66	69
0.115-0.158	4	9	14	18	23	28	32	37	42	46	51	56	60	65	70	74	79	84	88	93
0.159-0.202	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99
0.203-100.0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

推定하고자 하는 지역의 日氣豫報를 氣象廳에서 얻어 氣象要因에 의한 山火危險確率 Model에 대입하여 추정지역의 山火發生確率을 구하여 종축의 확률구간으로 가지고 간 다음, 산화전문가의 주관적 판단으로 人爲의 要因에 의한 山火危險指數를 산정하여 횡축의 指數區間으로 가지고 와서, 종축과 횡축에서 만나는 곳의 指數가 最終 山火發生危險指數가 된다.

그런데, 여기서 算定된 指數의 의미는 山火危險의 높고 낮음의 相對的인 尺度이지, 山火發生의 比率이나 確率을 나타내는 것은 아니다.

引 用 文 獻

1. Belsley, D.A., E. Duh, and R.E. Welsch. 1980. Regression Diagnostics. John Wiley and Sons. New York.
2. Boychuk, D. and D.L. Martell. 1988. A Markov Chain Model for Evaluating Seasonal Fire Fighter Requirements. For.Sci. 34.
3. Cunningham, A.A. and D.L. Martell. 1973. A Stochastic Model for the Occurrence of Man-Caused Forest Fires. For. Sci. 29(4).
4. Cunningham, A.A. and D.L. Martell. 1976. The Use of Subjective Probability Assessments to Predicted Forest Fire Occurrence. Can.J.For.

Res. 6(3).

5. Deeming, J.E., R.E. Burgan, and J.D. Cohen. 1972. The National Fire Danger Rating System 1972. USDA Forest Serve Gen. Tech. Rep. INT.
6. Deeming, J.E., R.E. Burgan, and J.D. Cohen. 1978. The National Fire-Danger Rating System 1978. USDA Forest Serve Gen. Tech. Rep. INT.
7. Fried, J.S. and J.K. Gilles. 1988. Stochastic Representation of Fire Occurrence in a Wildland Fire Protection Planning Model for California. For.Sci. 34.
8. Haines, D.A. 1983. Fire-Danger Rating and Wildfire Occurrence in the Northeastern United States. For.Sci. 29(4).
9. 洪性吉. 1987. 氣象과 火災. 敎學研究社.
10. Johnston, J. 1984. Econometric Method. McGraw Hill.
11. SAS Institute. 1989. SAS/STAT Guide for Personal Computers. Version 6.01.
12. Van. Wager, C.E. 1974. Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index. Can.For. Serve Pub. I 1333.
13. 廉俊根. 1987. 線形回歸分析. 自由아카데미.