

기상특성을 이용한 전국 산불발생확률모형 개발

이시영¹ · 한상열² · 원명수¹ · 안상현¹ · 이명보¹

¹국립산림과학원, ²경북대학교 임학과

(2004년 11월 14일 접수 ; 2004년 12월 2일 수락)

Developing of Forest Fire Occurrence Probability Model by Using the Meteorological Characteristics in Korea

Si Young Lee¹, Sang Yoel Han², Myoung Soo Won¹, Sang-Hyun An¹ and Myung Bo Lee¹

¹Division of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea

²Department of Forestry, Kyungpook National University, Taegu, Korea

(Received November 14, 2004; Accepted December 2, 2004)

ABSTRACT

This study was conducted to develop a forest fire occurrence model using meteorological characteristics for the practical purpose of forecasting forest fire danger. Forest fire in South Korea is highly influenced by humidity, wind speed, and temperature. To effectively forecast forest fire occurrence, we need to develop a forest fire danger rating model using weather factors associated with forest fire. Forest fire occurrence patterns were investigated statistically to develop a forest fire danger rating index using time series weather data sets collected from 8 meteorological observation centers. The data sets were for 5 years from 1997 through 2001. Development of the forest fire occurrence probability model used a logistic regression function with forest fire occurrence data and meteorological variables. An eight-province probability model by was developed. The meteorological variables that emerged as affective to forest fire occurrence are effective humidity, wind speed, and temperature. A forest fire occurrence danger rating index of 1 through 10 was developed as a function of daily weather index (DWI).

Key words : Forest fire occurrence, Meteorological characteristics, Forest fire probability model, Logistic model, Dailly Weather Index(DWI)

I. 서 론

우리나라의 산불은 대부분 사람의 사소한 부주의에 의하여 발생한다. 산불발생의 원인은 등산객, 성묘객, 무속행위자, 산림약초채취자 등 입산자의 부주의에 의한 실화가 가장 많으며 그 밖에 논·밭두렁 소각, 담뱃불, 군사훈련, 어린이 불장난 등에 의해 발생하고 있다. 한편, 산불은 일차적인 원인으로 다양한 인위적 요인에 의하여 시작되지만 이와 같은 실화가 산림에 피해를 줄 정도로 발화·연소·확산되기 위해서는 습

도, 풍속, 기온 및 林內 가연성물질의 습도 등 연소 환경을 구성하는 기상적요인과 깊은 상관관계를 가지고 있다. 최근 5년간(1997-2001) 발생한 산불 2,618건 중 건조한 봄철(2월-5월)에 발생한 산불이 2,131건으로 전체의 81.4%를 차지하고 있다. 이는 봄철이 다른 계절보다 강우량이 적고 맑은 날이 많아 상대습도가 가장 낮은 시기이면서 산림에서는 새잎이 돋아나지 않고 건조한 낙엽이 많이 쌓여 산림내 가연성물질이 매우 건조하기 때문이다. 따라서 정확한 산불위험을 예측을 위해서는 인위적 요인과 기상적 요인을 함께

고려하는 것이 이상적이라 하겠다. 그러나 산불위험을 예측 모델을 설정함에 있어 인위적 요인을 대표할 수 있는 변수의 선정이 어려울 뿐 아니라, 이들 변수들의 크기를 매일 예측한다는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 기상적 요인과 산불과의 관계규명을 통하여 지역별 산불 위험을 예측하는 실용적인 모델개발에 주력하여 체계적이고 합리적인 산불관리체계를 구축할 필요성이 있다.

미국에서는 1940년대부터 산림내 可燃性物質의 함수율을 중심으로 하는 모델이 개발되었다. Deeming *et al.*(1972)에 의하여 개발된 National Fire-Danger Rating System은 산불진행에 따른 물리적 습성을 근거로 9개의 Fuel Model을 구분하고, 기본적인 몇 가지 구조를 중심으로 指數化하여 완성되었다. 1978년에는 NFDRS(National Fire-Danger Rating System)에 건조상태를 나타내는 여러 지수를 개선하고 11개 이상의 Fuel Model을 추가하여 더욱 세분화하였고 인위적 요인과 자연적 요인에 의한 산불발생의 指數를 분리하여 현존하는 식생들의 수분함유상태에 대한 예측모형을 추가·개발하였다. 그 후 산불위험을 추정체계를 보완하는 많은 연구들이 수행되었는데, Haines *et al.*(1983)은 NFDRS의 Spread Index를 보완하여 NFDRS의 유효성을 확인하였다. Boychuck(1988)은 산불의 鎮火를 위한 효율적인 인원 및 장비의 배치를 위해 Markov Chain Model을 개발하여, 모의시험을 통해 산불진화대원 및 장비의 기회비용을 30%까지 절감할 수 있다고 보고하였다. 일본에서는 松本由友(1951)가 기상과 산불발생과의 관계를 분석하였으며, 林野廳(1978)에서는 산불과 기상관계를 분석하여 지역별 발생상황도를 작성하였다.

우리나라에서는 Cheong *et al.*(1989)이 수종별, 영급별, 지피물량과 임내외 기상 및 연료습도변화를 조사하여 산불위험도를 분석하였으며, Cheong *et al.*(1994)은 지역별, 시기별 산불발생위험도를 전산분석 및 도면화하였다. 또한 Choi and Han(1996)은 기상자료와 산불발생과의 관계를 로짓과 프로빗 확률모형을 적용하여 산불발생확률식을 개발하였으며, Lee *et al.*(1997)은 습도측정봉 자료와 기상자료를 이용하여 산불위험예측식을 개발한바 있다. 또한 Lee *et al.*(2001)은 강원도를 대상으로 지역별 산불발생원인과 기상조건의 관계를 규명하기 위해 통계적 분석을 적용하여 산불발생의 여러 특성을 유형화 하였다. 따라서

본 연구는 과거 산불발생 시계열자료와 전국 기상자료를 이용하여 광역지역(도별) 산불발생확률모형을 개발하였다.

II. 자료 및 방법

2.1. 연구자료

산불발생추정모형의 종속변수인 산불발생유무의 현황자료는 1997년에서 2001년까지의 5년간 지역별 산불발생현황자료를 이용하였다. 5년간 발생현황을 살펴보면 경기도(서울, 인천 포함) 지역의 발생건수가 389건(14.9%)으로 가장 높았으며, 다음으로 경상북도 382건(14.6%), 강원도 347건(13.3%) 순으로 나타났다.

한편 산불발생자료의 경우에는 산불이 가장 많이 발생하는 봄철을 포함하여 연간 발생현황을 정리한 것으로, 산불발생확률모형을 구축하기 위해서는 산불발생 위험기간인 봄철을 중심으로 보다 정확하고 정교한 모형이 추정되어야 하기 때문에 산불위험기간인 2·3·4·5월만의 발생현황자료를 적용하여 최종 산불발생확률모형을 구축하였다. 또한 국유림과 제주도에서 발생한 산불발생의 경우는 발생빈도가 적을 뿐 아니라 정확한 위치에 대한 지역구분이 어려운 이유로 최종모형에서는 제외하였다. 따라서 최종모형에 포함된 산불발생현황자료는 Table 1과 같다.

다음으로 독립변수(설명변수)인 해당지역의 일별기상변수는 크게 기온(일최고기온, 평균기온), 풍속(최고풍속, 평균풍속), 상대습도(최저상대습도, 평균상대습도, 실효습도), 운량, 초상최저온도 등을 이용하였으며, 상대습도 가운데 실효습도(實效濕度)는 당일과 전일들의 상대습도에 가중치를 붙여 얻어지는 평균습도로, 본 연구에서는 적용한 실효습도는 식(1)과 같이 당일의 상대습도를 포함하여 3일간의 상대습도의 누적치를 이용하였으며, 실효습도계수는 0.7을 사용하였다.

$$He = \frac{H_0 + r(H_1) + r^2(H_2)}{1 + r + r^2} \quad (1)$$

여기서, He : 실효습도, H_0 : 당일의 상대습도, H_n : n 일 전의 상대습도, r : 실효습도 계수

광역지역별 기상자료는 각 시·도를 기준으로 특별시 및 광역시의 경우에는 해당도로 포함하여 각각의 산불발생추정모형을 구축하였다. 이렇게 구분한 이유는 추정모형의 검정력이 확인되었을 경우 예보 및 예

Table 1. Regional status of fire occurrence using forest fire occurrence probability model.(1997-2001yr, Feb. · Mar. · Apr. · May)

Class	Year					Total
	1997	1998	1999	2000	2001	
Gyeonggi	73 (19.8%)	33 (17.1%)	30 (14.8%)	77 (13.2%)	119 (20.0%)	332 (17.1%)
Gyeonbuk	73 (19.8%)	19 (9.8%)	9 (4.4%)	94 (16.2%)	103 (17.3%)	298 (15.4%)
Gangwon	44 (12.0%)	22 (11.4%)	48 (23.6%)	112 (19.2%)	45 (7.6%)	271 (14.0%)
Chungnam	41 (11.1%)	42 (21.8%)	23 (11.3%)	87 (14.9%)	77 (12.9%)	270 (13.9%)
Gyeongnam	25 (6.8%)	19 (9.8%)	16 (7.9%)	43 (7.4%)	88 (14.8%)	191 (9.8%)
Jeonnam	46 (12.5%)	26 (13.5%)	27 (13.3%)	60 (10.3%)	63 (10.6%)	222 (11.4%)
Chungbuk	32 (8.7%)	16 (8.3%)	22 (10.8%)	55 (9.5%)	48 (8.1%)	173 (8.9%)
Jeonbuk	32 (8.7%)	13 (6.7%)	25 (12.3%)	94 (16.2%)	51 (8.6%)	171 (8.8%)
Jeju	2 (0.5%)	3 (1.6%)	3 (1.5%)	4 (0.7%)	1 (0.2%)	13 (0.7%)
Total	368 (100%)	193 (100%)	203 (100%)	582 (100%)	595 (100%)	1941 (100%)

측 시스템을 현재의 지역 기상대 예측 정보와 결합하여 운영하기 위해서이다. 해당 광역지역별 산불발생확률모형에 이용한 기상자료는 Table 2와 같이 해당 광역지역별로 대표적인 지역의 기상대 자료를 이용하였다. 여기서 강원도지역의 경우 2000년 동해안 산불과 같이 강원도 영동지역의 산불의 경우 산불규모가 대형화되는 경향이 있으므로 영동지역과 영서지역으로 구분하여 확률모형을 추정하였다. 한편 충청남도 지역의 기상자료는 해당 지역의 기상대가 광역시 단위 혹은 해안 인근에 위치한 이유로 지정학적으로 충청남도에 인접한 청주 기상대 자료를 이용하였다. 또한 전라남도 지역은 기상대(목포, 완도, 여수)가 모두 해안에 위치하고 있으므로 부득이하게 광주광역시 기상자료를

적용하였다.

2.2. 연구방법

특정일의 산불발생확률모형은 시계열 기상자료(산불 발생과 연관성이 규명된 기상요인)와 산불발생의 유무를 나타내는 dummy-변수를 이용하여 산불발생확률모형을 개발하였다. 즉 산불발생의 유무인 더미변수를 종속변수로 놓고, 산불발생과 영향이 있는 기상요인들을 독립변수로 주었을 때의 회귀모형(regression model)은 식(2)와 같다.

$$Pr_j = \beta_0 + \beta_j X_j + \varepsilon_j \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Table 2. Meteorological observatories in natation using forest fire occurrence probability model.

Regions(including provinces)	Stations	ID of stations	Periods
Gyeonggi(including Seoul, Incheon)	Suwon	119	1997yr - 2001yr
Gangwon	Gangneung	105	(daily weather data on Feb.,
Chungbuk	Chungju	127	Mar., Apr., May)
Chungnam(including Daejeon)	Cheongju	131	
Gyeongbuk(including Daegu)	Andong	136	
Gyeongnam(including Busan, Ulsan)	Masan	152	
Jeonnam(including Gwangju)	Gwangju	156	
Jeonbuk	Jeonju	146	

$Pr_j = 0$ (산불발생이 발생하지 않은 경우) 또는 1 (산불이 발생한 경우)

X_j = 산불발생과 관련 있는 기상요인(예, 기온, 습도, 풍속 등등)

식 (2)에서 모형의 오차 기대값 $E(\epsilon_j)$ 를 0이라고 가정하면 반응함수는 특별한 의미를 갖는다. 즉 종속변수 Pr_j 는 0 또는 1의 값을 가지므로 Bernoulli 확률변수가 된다. 따라서 식 (2)는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$E(Pr_j) = 0 \cdot P[Pr_j = 0] + 1 \cdot P[Pr_j = 1] = Pr_j \quad (3)$$

반응함수 $E(Pr_j)$ 는 독립변수가 X_j 의 값을 가질 때, 종속변수가 $Pr_j = 1$ 이 되는 확률로 표현된다. 이처럼 종속변수가 지시변수로 나타나는 경우는 종속변수와 독립변수와의 관계를 확률적 모형으로 나타낼 수 있는 모형으로는 로짓이나 프로빗 모형이 널리 이용되는데, 로짓모형은 프로빗 모형보다도 간결하며 적합도가 높다. 따라서 본 연구에서는 로짓모형을 이용하여 산불 발생확률모형을 개발하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 기상에 의한 산불발생확률모형의 개발

기상에 의한 일일 산불발생확률은 전국 8개 광역지

역별로 산불발생에 영향을 주는 기상요인을 규명하여 지역별로 각각 산불발생의 유무를 종속변수로 기상요인들을 독립변수로 하여 로지스틱 회귀모형을 적용하였다. 이때 각 지역별로 어떤 특정 산불발생일의 경우에는 단지 1건이 발생한 경우가 아니라 2건 이상 다수가 발생한 경우에는 특정일은 산불발생확률이 매우 높다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 특정일의 경우에는 기상요인(독립변수)은 동일하게 두고 발생건수만큼 표본수를 늘여 분석하였다. 전국단위의 8개 광역지역의 1997년에서 2001년까지의 2·3·4·5월 시계열 기상자료와 산불발생의 유무를 로지스틱 회귀분석 이용하여 산화발생확률모형을 추정한 결과는 Table 3과 같다.

강원도 지역에서는 산불발생에 영향을 주는 기상변수로는 실효습도와 일최고기온으로 나타났으며, 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 실효습도의 부호가 음(-)으로 나타나 실효습도가 낮으면 낮을수록 산불발생위험이 증가하는 것으로 나타났으며, 최고기온의 경우에는 부호가 정(+)으로 기온이 증가하면 산불발생확률이 증가하는 것으로 나타나 일반 기대 이론과 부합하는 것으로 나타났다. 추정모형의 적합도는 X²-값과 표본내 예측력 비율(percent of right prediction)로 검토할 수 있는데, 이는 실제 관측된 산불발생과 추정된 산불발생의 확률이 서로 일치하는 비율을 계산한 것으로서 모형 적합도에 대한 일종의 측정지표로서 의미를 갖는다. 추정결과 X²-값은 214.9로

Table 3. Estimated results of forest fire occurrence probability model using logistic regression analysis.

Variables	Gangwon	Gyeonggi	Chungnam	Chungbuk	Jeonnam	Jeonbuk	Gyeongnam	Gyeongbuk
Maximum Temperature	.004**	.007**	-	-	-	.005**	-	.004**
Effective Humidity	-.008**	-.014**	-.015**	-.015**	-.014**	-.013	-.006**	-.014**
Minimum Humidity	-	-	-	-	-	-	-	-
Maximum Wind speed	-	-	-	-	-	-	-	-
Mean Wind speed	-	-	-	-	-	-	-	.027*
Constant	2.494	6.732	7.405	7.256	7.384	5.556	2.216	5.396
N ^{a)}	715	766	729	666	689	665	662	755
-2 Log likelihood	733.029	755.234	688.127	588.247	653.099	566.507	696.199	707.437
X ² -Value	214.901**	292.504**	273.973**	174.730**	210.002**	190.464**	84.371**	304.618**
%predict value	74.0	74.7	77.5	79.6	75.9	82.2	74.3	75.9

The unit of weather variables applied to effective humidity(% × 10), minimum humidity(%), maximum temperature(°C × 10).

a) In case of occurring forest fire above two in particular day, it made an analysis after increasing sample size like the number of case occurred.

**significant at 1% level *significant at 5% level

1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 74.0%로 나타나 모형의 적합도는 매우 높은 것으로 나타났다.

경기도 지역에서는 유의성 있는 독립변수로는 실효습도, 최고기온으로 나타났으며, 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 또한 이론적인 기대치와 부합하는 부호를 보이고 있으며, 추정모형의 적합도는 X2-값이 292.5로 1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 74.7%로 나타났다.

충청남도 지역에서는 유의성 있는 독립변수로는 실효습도로 나타났으며, 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 추정모형의 적합도는 X2-값이 273.9로 1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 77.5%로 나타났다.

충청북도 지역에서는 유의성 있는 독립변수로는 실효습도만이 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 추정모형의 적합도는 X2-값이 174.7로 1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 79.6%로 높게 나타났다.

전라남도도 지역에서도 유의성 있는 독립변수로는 실효습도만이 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 추정모형의 적합도는 X2-값이 210.0으로 1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 75.9%로 나타났다.

전라북도 지역에서는 유의성 있는 독립변수로는 실효습도와 최고기온으로 나타났으며, 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 또한 이론적인 기대치와 부합하는 부호를 보이고 있으며, 추정모형의 적합도는 X2-값이 190.4로 1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 82.2%로 높게 나타났다.

경상남도 지역에서는 유의성 있는 독립변수로는 실효습도만이 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 추정모형의 적합도는 X2-값이 84.3으로 1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 74.3%로 나타났다.

마지막으로 경상북도 지역에서는 유의성 있는 독립변수로는 실효습도와 최고기온 그리고 평균풍속으로 나타났으며, 실효습도와 최고기온은 1% 수준에서 평균풍속은 5%수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 추정모형의 적합도는 X2-값이 304.6으로 1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 75.9%로 나타났다.

한편, 모형에 이용된 기상변수의 단위는 기상대에서 예보되는 단위를 실제 적용하였다. 즉 실효습도는 (%)×10으로 한 단위를, 최소습도는 (%) 단위, 최고기온은 (°C)×10으로 한 단위를 적용하였으며, 풍속(최대풍속, 평균풍속)의 경우는 (m/s)×10으로 한 단위를 적용하였다.¹⁾ 어떤 특정일의 실효습도가 45.3%라면 모형의 독립변수에는 453을 적용하고, 최소습도가 39%라면 39를 대입한다. 또한, 최고기온이 13.5°C라면 135를 모형에 대입하고, 최대 혹은 평균풍속이 8.6m/s라면 86을 대입한다.

이상의 추정모형을 지역별로 기상자료를 이용하여 산발발생확률식으로 다시 정리하면 아래와 같다.

$$\text{강원도} : [1 + \exp\{-(2.494 + (0.004 \cdot \text{최고기온}) - (0.008 \cdot \text{실효습도}))\}]^{-1}$$

$$\text{경기도} : [1 + \exp\{-(6.732 + (0.007 \cdot \text{최고기온}) - (0.014 \cdot \text{실효습도}))\}]^{-1}$$

$$\text{충청남도} : [1 + \exp\{-(7.405 - (0.015 \cdot \text{실효습도}))\}]^{-1}$$

$$\text{충청북도} : [1 + \exp\{-(7.256 - (0.015 \cdot \text{실효습도}))\}]^{-1}$$

$$\text{전라남도} : [1 + \exp\{-(7.384 - (0.014 \cdot \text{실효습도}))\}]^{-1}$$

$$\text{전라북도} : [1 + \exp\{-(5.556 + (0.005 \cdot \text{최고기온}) - (0.013 \cdot \text{실효습도}))\}]^{-1}$$

$$\text{경상남도} : [1 + \exp\{-(2.216 - (0.006 \cdot \text{실효습도}))\}]^{-1}$$

$$\text{경상북도} : [1 + \exp\{-(5.396 + (0.004 \cdot \text{최고기온}) - (0.014 \cdot \text{실효습도}) + (0.027 \cdot \text{평균풍속}))\}]^{-1}$$

3.2. 산발발생확률모형의 신뢰성 검증

전국 8개 광역도별 각각 기상대의 일별 기상자료(기온, 상대습도, 풍속)를 독립변수로 산발발생일을 종속변수(발생일 1, 비발생일 0)로 설정하여 확률모형으로 변환할 수 있는 로지스틱 모형을 적용하여 통계적으로 유의한 산발발생확률모형을 개발하였다.

여기서는 이들 추정확률모형이 얼마나 예측력이 뛰어난가를 검토하기 위하여 분석에 이용된 1997년부터 2001년간의 8개 지역별 시계열 기상인자를 추정모형에 대입하여 산발발생확률들을 계산하는 사후검정분석을 실시하였다. 추정된 확률들을 산발발생일과 비발생일로

1) 어떤 특정일의 실효습도가 45.3%라면 모형의 독립변수에는 453을 적용하고, 최소습도가 39%라면 39를 대입한다. 또한, 최고기온이 13.5°C라면 135를 모형에 대입하고, 최대 혹은 평균풍속이 8.6m/s라면 86을 대입한다.

Table 4. Reliability evaluation of estimating forest fire occurrence probability model.

Regions	Gangwon	Gyeonggi	Chungnam	Chungbuk	Jeonnam	Jeonbuk	Gyeongnam	Gyeongbuk
Mean of non occurring days	0.2456	0.2830	0.2424	0.2027	0.2562	0.1559	0.2351	0.2321
Mean of occurring days	0.5197	0.6544	0.6314	0.4581	0.5394	0.4399	0.3582	0.5871
t-value	16.530**	21.178**	21.278**	14.873**	16.126**	16.798**	9.508**	20.324**

**significant at 1% level

구분하여 모형의 정확성과 신뢰성을 검증하였다. 그 결과는 Table 4와 같이 나타났으며, 실제로 산불이 발생한 날들의 평균 산불발생확률이 산불이 발생하지 않은 날들의 산불발생확률보다도 통계적으로 높다는 것이 1% 수준에서 유의성이 있는 것으로 확인되었다.

이를 시각적으로 알아보기 위하여 각 지역별로 산불 발생일과 비산불발생일에서 추정된 평균들을 그래프로 그려보면 Fig. 1과 같다. 실제로 산불이 발생한 날의 확률이 실제로 산불이 발생하지 않았던 날보다 추정 예측값이 높다는 것을 확인할 수 있다.

3.3. 기상에 의한 일일 산불발생위험지수의 개발

앞에서 전국의 지역별 기상자료를 이용한 산불발생확률모형이 효과적으로 산불발생위험을 예측할 수 있다는 것이 확인되어, 여기에서는 지역별 산불발생확률모형에서 사후검정으로 예측된 과거의 지역별 산불발생확률 예측치들을 이용하여 산불발생위험지수를 설정하였다.

산불발생위험지수의 설정은 과거 5년간(1997-2001년)의 2·3·4·5월의 지역별 기상자료를 지역별 확률모

형에 대입하여 얻어진 확률들의 총예측치를 이용하여 10% 구간별 백분위수를 추정하고 해당 예측 확률구간을 지수화하여 설정하였다. 그 결과는 Table 5와 같다.

다음은 Table 5에서 설정한 DWI를 지역별 산불발생확률모형에서 사후검정으로 예측된 과거의 지역별 산불발생확률 예측치에 적용하여 기상에 의한 일일 산불발생위험지수(DWI)를 산출하였으며, 구분된 과거 일일 DWI를 지역별로 실제 산불발생일과 비발생일로 구분하여 살펴보았다(Table 6).

Table 6에서는 실제로 산불이 발생한 날들의 DWI는 높은 반면, 실제로 산불이 발생하지 않은 날의 DWI는 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 DWI가 산불발생의 위험정도를 매우 잘 예측할 수 있는 모형이라는 것을 의미한다.

8개 도별 지역간에 있어서 산불 발생건수가 많은 경기도, 경상북도, 강원도 지역의 DWI는 산불 발생건수가 상대적으로 적은 충청북도, 전라북도, 경상남도의 DWI보다도 높은 지수값에서 산불발생일의 빈도수가 높은 것을 알 수 있다.

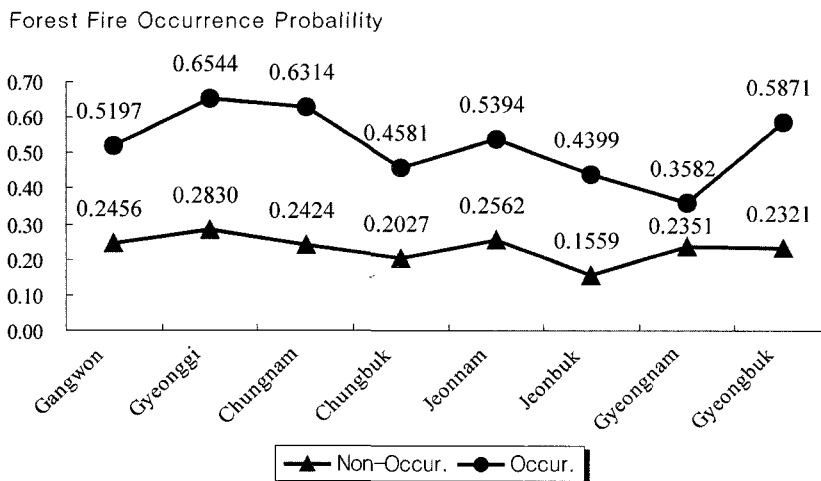


Fig. 1. Mean between daily forest fire occurrence and non occurrence by regional groups using prediction model.

Table 5. Daily weather index (DWI) by forest fire occurrence probability model.

Ratio interval	DWI	Estimating Ratio interval
10%	1	[.0000~.0406]
20%	2	[.0407~.0818]
30%	3	[.0819~.1307]
40%	4	[.1308~.1917]
50%	5	[.1918~.2648]
60%	6	[.2649~.3615]
70%	7	[.3616~.4711]
80%	8	[.4712~.6004]
90%	9	[.6005~.7562]
100%	10	[.7563~1.000]

Table 6. Frequency value of daily weather index by weather data of the past.

Regions	Class	Daily weather Index (DWI)										Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Gangwon	Occur.	1	8	9	16	17	21	36	47	62	53	270
	Non-occ.	50	71	56	50	49	49	44	45	24	7	445
Gyeonggi	Occur.	2	4	6	8	10	22	26	41	63	149	331
	Non-occ.	62	44	48	45	46	50	45	34	43	18	435
Gyeongnam	Occur.	-	3	8	11	45	31	31	38	16	-	183
	Non-occ.	2	39	98	91	86	70	50	34	9	-	479
Gyeongbuk	Occur.	1	4	21	8	13	16	33	32	69	100	297
	Non-occ.	90	74	46	52	44	40	28	41	32	11	458
Jeonnam	Occur.	-	2	2	10	54	56	50	37	57	35	220
	Non-occ.	52	62	59	60	15	18	44	31	32	13	469
Jeonbuk	Occur.	6	13	10	12	11	17	21	37	19	25	171
	Non-occ.	118	91	86	63	44	37	24	16	13	2	494
Chungnam	Occur.	2	2	6	9	8	21	34	29	50	110	271
	Non-occ.	94	61	42	51	42	47	42	33	33	13	458
Chungbuk	Occur.	2	3	6	16	18	26	13	40	24	25	173
	Non-occ.	87	80	62	62	62	44	44	30	19	3	493
Total	Occur.	14	39	68	90	176	210	244	301	360	497	1,916
	Non-occ.	555	522	497	474	388	355	321	264	205	67	3,731

IV. 결 론

본 연구는 과거 산불발생 시계열자료와 전국 기상자료를 이용하여 광역지역(도별) 산불발생확률모형을 개발하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

각 도별 산불발생과 관련되는 기상요인으로 최고기온, 실습습도, 평균풍속 등으로 나타났으며, 각 지역별로 산불발생확률모형을 개발하다. 추정모형의 적합도는 모든 지역이 1% 수준에서 유의성이 있었으며, 표본내 예측력은 74.0~82.2%로 나타났다.

개발된 산불발생확률모형 예측력의 정확성과 신뢰성을 검증하기 위하여 분석에 이용된 1997년부터 2001

년간의 8개 지역별 시계열 기상인자를 추정모형에 대입하여 산불발생확률들을 계산하는 사후검정분석을 실시한 결과 실제로 산불이 발생한 날들의 평균 산불발생확률이 산불이 발생하지 않은 날들의 산불발생확률보다도 통계적으로 높다는 것이 1% 수준에서 유의성이 있는 것으로 확인되었다.

과거 지역별 기상자료를 지역별 확률모형에 대입하여 얻어진 확률들의 총예측치를 이용하여 10%구간별 백분위수를 추정하고 해당예측 확률구간을 지수화하여 산불발생위험지수를 산출하였으며, 구분된 과거 일일 DWI를 지역별로 실제 산불발생일과 비발생일로 구분하여 살펴본 결과 실제로 산불이 발생한 날들의 DWI

는 높은 반면, 실제로 산불이 발생하지 않은 날의 DWI는 낮은 것으로 나타나 DWI가 산불발생의 위험 정도를 매우 잘 예측할 수 있는 모형이라는 것을 알 수 있다.

이들 모형을 이용한 산불발생의 위험예측은 산불의 예방, 조기발견 및 진화장비와 인원의 효율적인 배치를 통해 산불발생에 따른 시간적·경제적 비용을 절감하여 산불피해를 최소화할 수 있으며, 더 나아가 통합적인 산불관리체계의 이론적 기초로도 제공될 수 있을 것으로 기대된다.

인용문헌

- 松本由友, 1951: 森林火災の發生と溫度の關係に就て. 日林誌. 59, 179-181.
- Boychuk, D., and D. L. Martell, 1988: A Markov Chain model for evaluating seasonal fire fighter requirements. *Forest Science* 34(3), 647-661.
- Cheong, Y. H., S. Y. Lee, Y. C. Yeom, and W. H. Yeo, 1989: Danger rating of forest fire. *KFRI Journal of Forest Science* 49, 92-102. (in Korean with English abstract)
- Cheong, Y. H., S. Y. Lee, and Y. C. Yeom, 1994: Evaluation of forest fire warning period and estimation of forest fire danger rating index. *KFRI Journal of Forest Science* 49, 92-102. (in Korean with English abstract)
- Choi, K., and S. Y. Han, 1996: Developing forest fire occurrence probability model using meteorological characteristics. *Journal of Korean Forestry Society* 85(1), 15-23. (in Korean with English abstract)
- Cunningham, A. A., and D. L. Martell, 1972: A stochastic model for the occurrence of man-caused forest fires. *Canadian Journal of Forest Research* 3, 282-287.
- Deeming, J. E., J. W. Lancaster, M. A. Fosberg, R. W. Furman, and M. J. Schroeder, 1972: The National Fire-Danger Rating System. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper. RM-84, 165pp.
- Deeming, J. E., R. E. Burgan, and J. D. Cohen, 1977: The National Fire-Danger Rating System 1978. USDA Forest Service General Technical Report INT. 39, 63pp.
- Fried, J. S., and J. K. Gilles, 1988: Stochastic representation of fire occurrence in a wildland fire protection planning model for California. *Forest Science* 34(4), 948-959.
- Haines, D. A., 1983: Fire-danger rating and wildfire occurrence in the northeastern United States. *Forest Science* 29(4), 679-696.
- Lee, S. Y., B. S. Lee, and J. H. Lim, 1997: Prediction of forest fire danger rate using fuel moisture stick. *KFRI Journal of Forest Science* 55, 150-157. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. Y., S. Y. Han, S. H. An, J. S. Oh, M. H. Jo, and M. S. Kim, 2001: Regional analysis of forest fire occurrence factors in Kangwon Province. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3(3), 135-142. (in Korean with English abstract)
- Van Wager, C. E., 1987: Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forest Service. Petawawa National Forestry Institute. Chalk River Ontario. Forestry Technical Report. 35, 37pp.