

산불통계자료를 이용한 산불위험지수 고찰

김선영¹ · 이병두¹ · 이시영² · 정주상¹

¹서울대학교 산림과학부, ²삼척대학교 방재기술전문대학원

(2005년 9월 9일 접수; 2005년 10월 21일 수락)

Evaluation of the Forest Fire Danger Rating Index Based on National Forest Fire Statistics Data

Seon Young Kim¹, Byungdo Lee¹, Si Young Lee² and Joosang Chung¹

¹Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

²The Professional Graduate School of Disasters Prevention Technology,

Samcheok National University, Samcheok, Korea

(Received September 9, 2005; Accepted October 21, 2005)

ABSTRACT

An accurate fire danger rating model can contribute to effective forest fire prevention activities. This study evaluates the national forest fire danger rating index based on forest fire statistics data from 1999 to 2002. The number of fires was related to the forest fire danger rating index ($R^2=0.67$), and no correlation was found with burned areas. A one-way ANOVA test between forest fire danger rating levels and forest fire statistics data indicated that a difference in the number of fires was found among 'danger', 'precaution' and 'none' levels, but 'precaution' and 'none' levels could not be delineated. In the case of a burned area, no difference was found among the three levels.

Key words : Forest fire, Forest fire danger rating index, Forest fire statistics data

I. 서 론

산불위험예보란 산불이 발생할 정도를 지형, 연료, 기상 등의 산불환경인자를 분석하여 지수 혹은 등급형태로 예고하는 것을 의미한다. 산불환경인자 중 지형인자는 기상이나 연료인자에 비해 시간에 따른 변화의 폭이 작고 변화의 속도 또한 느리기 때문에(Pyne *et al.*, 1996; Lee *et al.*, 2001) 산불위험지수는 기상인자와 연료인자만을 이용해서 분석하는 것이 일반적이다.

이러한 산불위험지수는 산불예방활동에 기초 자료로 활용되어 산불감시 및 예방활동의 효율성을 증진할 수 있기 때문에 여러 나라에서 각국의 실정에 맞게 개발하여 운용하고 있다. 이러한 일례로 미국에서는 1940

년대부터 산림 내 기연성물질의 함수율을 중심으로 하는 모델을 개발하였는데, Deeming *et al.*(1972)은 산불확산 특성에 따라 9개의 연료 모델로 구분하여 산불위험지수 모델을 제시하였다. 1978년에는 건조지수 및 연료 모델을 개선하고 현존 식생의 수분함유상태에 대한 예측모형을 추가하여 NFDRS(National Fire Danger Rating System)를 개발하였다. 이 모델은 이후에도 지속적으로 개선되었으며, Haines *et al.*(1978)은 NFDRS의 유효성을 검토한 바 있다. 캐나다에서는 CFFDRS(Canadian Forest Fire Danger Rating System)를 개발하여 산불위험도를 예보하고 있는데, 이 시스템은 산불에 영향을 미치는 산불기상지수시스템(FWIS, Forest Fire Weather Index System)과 산

불행동예측시스템(FBPS, Forest Fire Behavior Prediction System)으로 구성되어 있다.

우리나라에서는 전나무로 만든 연료습도측정봉(Fuel Moisture Stick)과 실효습도, 강수량, 최고온도, 적산일사량 등과 같은 기상자료를 이용하여 산불위험지수를 산출하는 모델을 개발하였는데(Cheong *et al.*, 1989; Lee, 1994; Choi *et al.*, 1996; Lee *et al.*, 1997), 이 모델을 이용하여 1부터 100까지의 산불위험지수를 산출하고 이를 다시 세단계의 산불위험예보 등급인 위험(81~100), 경계(61~80), 없음(0~60)으로 구분하여 2002년까지 예보하였다(산림청, 2000). 현재 이 예보시스템은 일별 기상위험지수, 임상 위험지수, 지형 위험지수를 통합하여 전국산불위험지수를 전국 251개 시·군·구 단위로 예보하는 웹기반 산불위험예보시스템(Lee *et al.*, 2004)으로 대체되었다.

한편, 이러한 모델을 통해 제시된 산불위험지수는 실제 산불 발생 및 확산자료를 통해 다각도로 검토되어야 한다(Patricia *et al.*, 1996). 따라서 본 연구에서는 2002년까지 산림청 산불위험예보를 통해 예보되었던 산불위험지수, 산불위험예보 등급과 실제 산불발생 자료와의 관계를 통계적으로 분석하여 산불위험예보의 개선방안을 제시하고자 한다.

II. 자료 및 방법

연구자료는 크게 산불위험예보자료와 산불발생현황 자료로 나뉘는데, 산불발생현황자료로는 산림청의 산불 통계자료를 이용하여 발생건수와 피해면적을 추출하였고, 산불예보자료로는 산림청에서 발표한 산불위험지수 및 산불위험예보등급 자료를 이용하였다. 산불위험지수는 0에서 100사이의 값을 가지며, 산불위험예보등급은 위험경보(81~100), 경계경보(61~80), 없음(0~60)의 세 등급으로 구분되어 있다. 이러한 산불위험예보 지역은 Fig. 1에서와 같이 산림청에서 기상예보가 가능한 기상청 기상대를 중심으로 전국을 23개 권역으로 나누어 매년 봄철에는 2월 1일부터 5월 15일까지, 가을철에는 11월 1일부터 12월 15일까지 산림청 홈페이지를 통하여 Fig. 2와 같은 화면[위험(적색), 경계(노란색), 없음(흰색)]으로 하루 전날 발령되었다.

본 연구에서 각 자료들의 시간적 범위는 1999년에서 2002년까지 4년간, 2월 1일에서 5월 15일까지 3개월 15일의 자료(417일)를 이용하였다. 이러한 시간

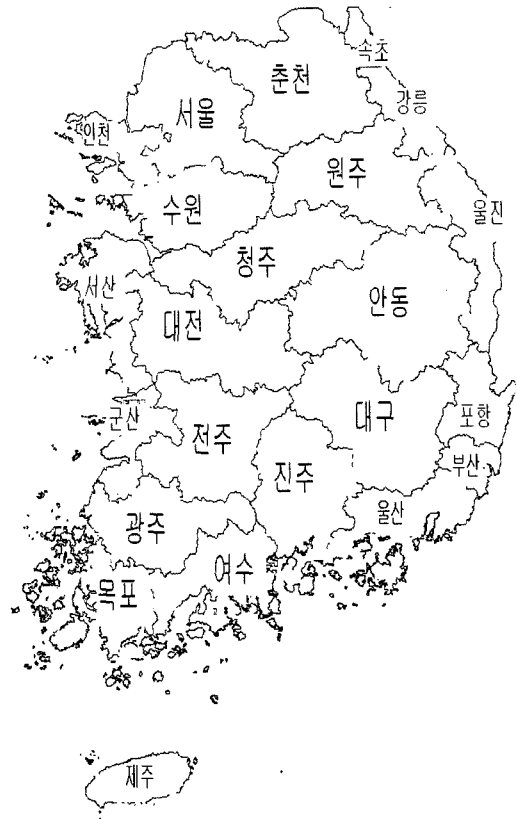


Fig. 1. The 23 division for fire danger rating system.

적 범위는 산림청 홈페이지로부터 활용 가능한 산불위험지수자료가 1999년부터 축적된 것에 기인하였다. 또한, 공간적 범위는 산림청에서 정한 전국 23개 권역으로 하였다. 이상의 자료 범위 내에서 산불위험지수와 발생건수, 피해면적과의 관계를 분석하기 위해 회귀분석을 실시하였다. 아울러 산불위험지수를 바탕으로 세 등급으로 구분되어 예보되는 산불위험예보 등급 간에 발생건수, 피해면적의 차이가 있는지를 알아보기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 우리나라 산불발생현황

1999년에서 2002년까지 총 4년간 봄철 산불기간(2월 1일부터 5월 15일까지)에 발생한 산불발생건수는 1,959건, 피해면적은 30,097ha였다. Table 1에서와 같이 연도별 산불발생건수를 살펴보면 1999년에 237건, 2000년, 2001년에는 각각 618건, 608건으로 약 3배

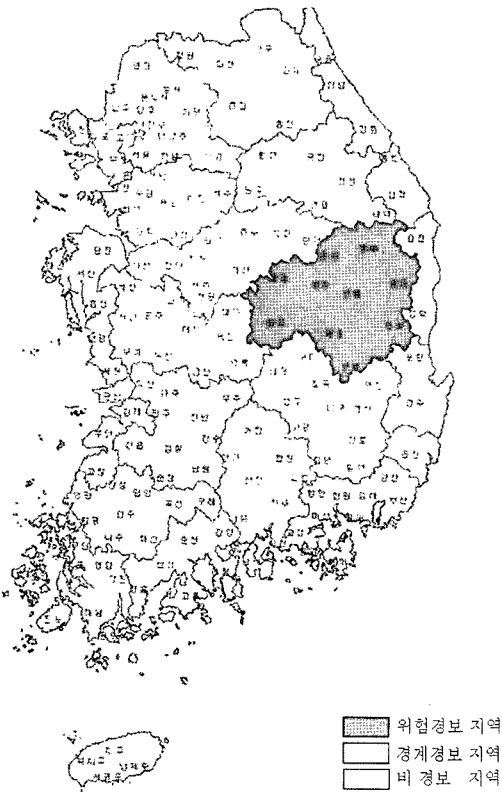


Fig. 2. Example of fire danger rating system.

Table 1. Number of forest fires and burned area (ha) by year

Year	1999	2000	2001	2002	Mean
No. of fires	237	618	608	496	490
Burned area (ha)	412	25,497	689	3,499	7,524
Burned area per fire (ha/case)	1.7	41.3	1.1	7.1	3.8

증가하였으며, 2002년에는 496건으로 조금 감소하였다. 산림피해면적은 2000년에 동해안 산불(23,794 ha)의 영향으로 25,497 ha가 연소되어 가장 많은 면적을 기록하였으며, 2002년에는 서해안에서 발생한 청양·예산 산불, 김제·익산 산불 등 대형 산불의 발생으로 3,499 ha의 산림이 연소되었다.

Table 3. Distribution of fire danger rating index for 10 sections

Range	~10	~20	~30	~40	~50	~60	~70	~80	~90	~100
Count	1,237	341	531	828	623	1,345	929	932	665	2,160
Rate(%)	12.9	3.6	5.5	8.6	6.5	14	9.7	9.7	6.9	22.5

Table 2. Mean of fire danger rating index by month

Month	February	March	April	May
Mean	48.2	59	68.7	50.3

4년간의 월별 평균 산불발생 건수와 피해면적은 2월에서 4월까지의 증가하다가 5월에 줄어드는 경향을 보이고 있다. 4월에 건수와 면적 모두 가장 높는데, 4월의 평균 건수는 203건(41.5%)이고 평균 피해면적은 7,040 ha(93.6%)이다. 4월의 평균 피해면적이 현저히 높은 것은 2000년 동해안 산불과 2002년 서해안 산불과 같은 대형 산불이 모두 4월에 발생하였기 때문이다.

3.2. 산불위험지수의 특성

4년간 연평균 산불위험지수는 57.6이었으며 1999년과 2000년에 65정도로 높았다가 2001년과 2002년에 50정도로 낮아졌다. 또한 월평균 산불위험지수는 2월에서 4월까지 48.2에서 68.7로 증가하다가 5월에 다시 감소하였는데, 산불발생현황의 결과와 비슷한 경향을 띄고 있다(Table 2).

산불위험예보의 기초 자료가 되는 산불위험지수를 10개 구간으로 나누어 권역에 관계없이 각 구간에 해당되는 산불위험지수의 발령회수를 계산해 본 결과, Table 3에서와 같이 ‘없음’에 해당하는 [0~60]구간의 발령회수는 4,905회, ‘경계’의 [61~80]구간은 1,861회, ‘위험’의 [81~100]구간은 2,825회였다. 가장 많이 발령된 구간은 [91~100]구간으로 총 2,160회가 발령되었고 이는 전체 발령 횟수 중 약 23%에 해당되는 수치이다.

3.3. 산불발생현황과 산불위험지수 회귀분석 결과

산불위험지수(x)와 산불발생건수(y)의 관계를 분석하기 위하여 다중회귀분석을 수행한 결과, 추정된 회귀식은 $y=5E-05x^2-0.0003x+0.0157(E=2.71182818\cdots)$ 이며 이때 R²는 약 0.67로 위험지수와 산불발생건수와의 밀접한 연관이 있는 것으로(P<0.0001, F 값 : 163.05) 분석되었다. 그러나, 산불위험지수와 산불발생 피해면적과의 사이에는 통계적으로 의미 있는 회귀관

Table 4. Result of ANOVA classified by fire danger rating class (by date)

Class	Mean occurrence (SD)		Mean burned area (SD)	
Danger	4.74 (7.51)	b	131.95 (1,359.58)	a
Precaution	1.47 (2.38)	b	2.00 (7.42)	a
None	0.99 (1.96)	b	1.15 (4.78)	a

(* Same letters indicate same group.)

Table 5. Result of ANOVA classified by fire danger rating class (by division)

Class	Mean occurrence (SD)		Mean burned area (SD)	
Danger	14.13 (10.84)	a	16.41 (23.74)	a
Precaution	18.83 (14.05)	b	25.62 (25.95)	a
None	49.09 (35.07)	b	1,365.44 (4,048.90)	a

Table 6. Actual days of fire occurrence compared with fire danger rating class

Class	Days without fires	Days with fires	Days of alert issued	Rate*
Danger	68	170	238	28.6
Precaution	147	148	295	49.8
None	199	129	328	60.7
Total	414	447	861	

(*Days without fires/days of alert issued)

계가 분석되지 않았다.

3.4. 산불위험예보 등급별 분산분석 결과

산불위험예보 등급별로 실제 날짜별 산불발생과의 차이가 있는지를 알아보기 위하여 일원분산분석을 실시한 결과, 산불발생건수의 경우 ‘위험’과 ‘경계’, ‘위험’과 ‘없음’은 등급 간에 차이가 존재하였으나 ($\alpha < 0.05$), ‘경계’와 ‘없음’ 등급에서는 차이가 존재하지 않았다. 산불발생 피해면적의 경우에는 ‘위험’과 ‘경계’, ‘없음’ 세 등급 모두에 있어서 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 4). 서울 등 23개 권역별 분산분석도 날짜별 분석과 마찬가지로, 산불발생건수는, ‘위험’과 나머지 두 집단 간에 차이가 있었으나, 산불발생 피해면적의 경우 세 등급의 집단 간 차이는 존재하지 않았다(Table 5). 이러한 분석결과는 각 위험예보 등급이 발생했을 때 산불의 발생여부를 분석한 Table 6과 비슷했는데, ‘위험’ 등급이 예보된 날(238일) 중 산불이 발생하지 않는 날은 28.6%인 68일이

었다. ‘경계’ 등급은 예보된 295일 중 147일에 산불이 발생하지 않았다.

IV. 결 론

1999년부터 2002년까지 총 4년간의 산불위험지수와 산불발생건수, 피해면적과의 관계를 분석한 결과, 산불발생 건수는 산불위험지수와 밀접한 관련이 있었다. 하지만 산불위험예보 등급 간 분석에서는 위험등급과 그 밖의 등급 간 차이만 존재하고, 나머지 등급 간에는 차이를 보이지 않았다. 즉 산불위험지수가 높을수록 산불발생건수는 증가하지만, 산불위험지수를 구분한 산불위험예보의 등급은 실제 산불발생 현황을 잘 반영하지 못하고 있음을 파악할 수 있었다. 산불피해 면적에 대해서는 산불위험지수와 등급 양쪽 모두에서 의미 있는 결과가 도출되지 않았는데, 이것은 산불발생 피해면적이 산불발생확률 뿐만 아니라 산불확산정도 및 진화과정에 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 향후 제시되어야 할 산불위험예보모델은 이러한 점을 감안하여 산불이 발생할 위험지수에 있어 위험지수 범위수정에 의한 등급의 조정과 산불이 얼마나 빨리 확산될 것인가를 표현할 수 있는 지수를 모두 포함하여 고려할 수 있어야 할 것이다.

또한 이번 연구에서는 2002년까지 운영되었던 산불위험예보 모델에 대해서 고찰하였지만, 현재 운영되고 있는 산불위험예보모델에 대해서도 통계분석이 가능한 정도의 자료축적이 이루어진 다음 본 연구와 같은 동일한 연구가 진행되어 모델에 대한 고찰과 개선이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

V. 요 약

정확한 산불위험예보는 효율적인 산불감시 및 예방 활동에 기여할 수 있다. 본 연구에서는 2002년까지 운영되었던 산림청 산불위험예보시스템의 산불위험지수, 산불위험예보 등급과 실제 산불발생과의 관계를 고찰하였다. 산불위험지수와 산불발생건수의 회귀분석 결과, 비교적 높은 설명력(약67%)을 가진 반면 산불위험지수와 산불발생 피해면적과는 특별한 상관관계가 없었다. 산불위험예보 등급별로 산불발생의 차이 분석을 위해 일원분산분석을 실시한 결과, 산불발생 건수의 경우 ‘위험’과 ‘경계’, ‘없음’ 등 세 등급에 차이가 존재했으나, ‘경계’와 ‘

없음'은 구별되지 않았다. 산불발생 피해면적의 경우 '위협'과 '경계', '없음' 세 등급 모두에 있어서 차이가 발견되지 않았다. 따라서 금후에는 기존모델에 대한 산불 위험지수 위험등급조정과 더불어 산불확산지수가 고려된 통합산불위험지수 모델의 개발이 필요하다.

인용문헌

- Andrews, P. L., and S. B. Larry, 1996: Interpretation of the national fire danger rating system for yellowstone national park. Ecological Implications of fire in greater yellowstone. 211-216.
- Cheong, Y. H., S. Y. Lee, Y. C. Yeom, and W. H. Yeo, 1989: Danger rating of forest fire. *KFRI Journal of Forest Science* **38**, 117-123. (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* **86**(1), 15-23. (in Korean, with English abstract)
- 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, Fochy 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.
- Haines, D. A., 1983: Fire-danger rating and wildfire occurrence in the Northeastern United States. *Forest Science*. **29**(4), 679-696.
- Korea Forest Service. 2000: Forest & Forestry Technique [II], 339-341. (in Korean)
- Lee, B. D., J. S. Chung, H. H. Kim, and S. Y. Lee, 2001: Analyzing spread rate of Samcheok forest fire broken out in 2000 using GIS. *Journal of Korea Forestry Society* **90**(6), 781-787. (in Korean, with English abstract)
- Lee, S. Y., M. S. Won, S. Y. Han, T. K. Kim, D. H. Kim and M. B. Lee. 2004: Development of Web-based Forest Fire Danger Rating System. Proceeding of Korea Forest Society Conference. 44-46. (in Korean)
- Lee, S. Y., B. Y. 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., 1994: Estimation on Forest Fire Danger Rating and Factors Burning Behavior. Dongkuk University. Doctoral dissertation. 104pp. (in Korean with English abstract)
- Pyne, S. J., P. L. Andrews, and R. D. Laven, 1996: Introduction to Wildland Fire, JOHN WILEY & SONS, INC. 48-127.