

산불발화지점의 임상 및 지형특성을 이용한 산불발생위험지수 개발 Developing of Forest Fire Occurrence Danger Index Using Fuel and Topographical Characteristics on the Condition of Ignition Point in Korea

이시영[†] · 원명수* · 한상열**

Si-Young Lee[†] · Myoung-Soo Won* · Sang-Yoel Han**

국립삼척대학교 방재기술전문대학원, *국립산림과학원 산불연구과, **경북대학교 임학과
(2005. 10. 31. 접수/2005. 12. 12. 채택)

요 약

전국 산불피해지 126개소의 사례조사에서 얻은 발화지점의 임상 및 지형조건을 빈도 분석하여 산불발생 가중치에 의한 산불발생위험지수를 개발하였다. 그 결과 산불발화 지점의 임상별 빈도는 침엽수림 87개소(69%), 혼효림 21개소(16.7%), 활엽수림 18개소(14.3%)로 나타났으며, 이를 다시 가중치별로 1-10단계까지 지수화한 결과 임상별 산불발생위험지수는 침엽수림 10, 혼효림 3, 활엽수림 2로 나타났다. 또한, 산불발화 지점의 지형별 발생빈도는 산록하단부가 90개소(71.4%), 방위별 빈도는 남서방향인 22개소(17.5%)로 가장 높게 나타났으며, 이를 다시 지형인자인 고도 및 방위에 의한 각각의 가중치를 최대 5로 하여 지수화한 결과 고도별 발생지수는 산록상부 5, 산록상부 1.5, 산복하부 1.0, 산정하부/산복상부 각각의 지수가 0.5로 나타났고, 방위별로는 남서 5.0, 북서/북동 각각 4.5, 남동/남 각각 4.0, 북/서 2.5, 동 1.5로 나타났다.

ABSTRACT

This study has developed Forest Fire Occurrence Danger Index (FFODI) using fuel and topographical characteristics for the practical purposes of forecasting forest fire occurrence danger rating. This was made on the basis of the 126 forest fire site according to field survey. The result of fire frequency analysis showed 87 sites on conifer (69%), 21 on mixed (16.7%) and 18 (14.3%) on non-conifer. The scale for Fuel Model Index(FMI) ranges from 1 to 10 and Topography Model Index(TMI) from 1 to 5. FMI is 10 on the conifer, 3 on the mixed and 2 on the non-conifer. In case of topographical analysis, it was estimated that 90 site (71.4%) of ignition point was bottom foot hill and 22 site (17.5%) was on the southwest. TMI in southwest direction is 5.0, 4.5 in the northwest and the northeast, 4.0 in the southeast and the south, 2.5 in the north and the west and 1.5 in the east. TMI in the bottom foot hill is 5 in the bottom foot hill, 1.5 in the upper foot hill, 1.0 in the bottom middle slope and 0.5 in the upper middle slope and bottom ridge.

Keywords : Forest fire, Occurrence probability, Fuel and topographical characteristics, Forest fire occurrence danger index

1. 서 론

최근 산림녹화와 가뭄, 지역적인 기상 이변으로 산불이 빈번하게 발생하고 대형화되고 있다. 특히 과거 대형 산불이 주로 동해안지역에서 발생하였으나 최근에는 숲이 울창해지면서 과거 큰 산불이 없었던 서해

안까지 발생하여 전국적으로 규모가 확대되는 경향이다.

우리나라에서 발생하고 있는 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 실

[†] E-mail: LSY925@samcheok.ac.kr

화가 산림에 피해를 줄 정도로 발화·연소·확산되기 위해서는 산불발생 당시의 습도, 풍속, 기온 및 임내 가연성물질의 습도 등 연소 환경을 구성하는 기상적 요인과 깊은 상관관계를 가지고 있다. 이 외에도 발화 장소의 지형조건과 수종구성도도 관계가 깊다. 홍성길은 산의 지형은 경사의 방위에 따라서 햇빛을 받는 양이 다르므로 풍향·풍속이 다르고, 연료의 건조정도가 달라지는데 남향 경사는 북향 경사보다 햇빛을 많이 받아 온도가 높고, 따라서 상대습도가 낮아 연료가 건조하여 산불발생 위험도가 높다고 하였고, 산불은 해발고도에 따라 눈 녹는 시기, 식물이 생장활동 시기가 다르기 때문에 산불발생 빈도 또한 다르다고 하였고⁶⁾, 이시영은 산림내의 산불위험성을 판단하기 위해서는 산림을 구성하고 있는 임내가연물들의 종류, 량, 분포, 식물의 생육상태 등을 조사 하는 것은 물론, 각각의 연소물 종류에 대한 연소용이성에 대하여도 조사가 필요하다 하였다³⁾. 따라서 산불의 발생은 인위적인 요인, 기상적인 요인 외에도 임상 및 지형과 산불과의 관계 규명을 통하여 산불 위험도를 예측하는 실용적인 모델 개발에 주력하여 체계적이고 합리적인 산불예방 및 관리체계를 구축할 필요성이 있다.

미국에서는 1940년대부터 산림내 가연성물질의 함수율을 중심으로 하는 모델을 개발하였는데 Deeming 등에 의하여 개발된 Fire Danger Rating System은 산불진행에 따른 물리적 습성을 근거로 9개의 Fuel Model을 구분하고, 기본적인 몇 가지 구조를 중심으로 지수화 하여 완성하였다¹⁰⁾. 또한 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 지수를 분리하여 현존하는 식생들의 수분함유상태에 대한 예측모형을 추가·개발하였다¹¹⁾. 그 후 산불위험을 추정체계를 보완하는 많은 연구들이 수행되었는데, Bradshaw 등은 NFDRS의 Spread Index를 보완하여 NFDRS의 유효성을 확인하였다⁸⁾. Van wagner는 연료, 지형, 기상인자와 산불발화가능성을 포함한 캐나다 산불위험율시스템(CFFDRS)을 개발하여 지금까지 활용하고 있다¹⁴⁾.

우리나라에서의 산불발생위험도에 관한 연구는 Cheong 등이 수종별, 영급별, 지피물량과 임내의 기상 및 연료 습도변화를 조사하여 산불위험도를 분석하였다¹⁾. 또한 Choi와 Han은 기상자료와 산불발생과의 관계를 로짓과 프로빗 확률모형(logistic & probit regression model)을 적용하여 산불발생확률식을 개발하였으며⁹⁾, Lee 등은 습도측정용 자료와 기상자료를 이용하여 산불위험

예측식을 개발한 바 있다¹¹⁾. 또한 Lee 등은 강원도를 대상으로 지역별 산불발생원인과 기상조건과의 관계를 규명하였으며¹³⁾, 수치산림입지도를 이용한 산불발생위험지역을 구분⁷⁾한 바 있다.

따라서 본 연구는 기 연구한 기상조건과 산불발생과의 관계 외에 지금까지 수행되지 않았던 임상 및 지형 특성에 의한 산불발생위험지수를 개발하였다.

2. 연구방법

2.1 임상특성에 의한 산불발생위험지수 개발

임상(林相)조건이 산불발생에 미치는 영향을 구명하기 위하여 지난 10년간(91~01) 산불발생지 가운데 Fig. 1과 같이 126개소의 전국 산불발생발화지점에 대한 현장조사를 실시하였다. 조사내용은 산불이 발생한 후 산불발생 현상이 수종갱신 등에 의해 변형이 되기 전 인 1년 이내에 산불현장을 답사하여 발화지점의 산불발화 임상특성을 조사하였다. 즉, 발화지점의 수종을 파악한 후 이를 다시 침엽수림, 활엽수림, 혼효림의 3가지 임상으로 구분하였다. 여기에서 침엽수림은 침엽수가 전체 산림면적의 75% 이상을 점유하는 경우로 설정하고, 활엽수림은 활엽수가 75% 이상을 점유하는 경우로 구분하였다. 이외 침엽수나 혹은 활엽수가 75% 미



Fig. 1. Field survey area about ignition point.

만을 점유하는 임상은 혼효림으로 설정하였다.

여기서 수종을 이용하지 않고 임상을 적용한 이유는 우리나라 전체 산림지역을 수종별로 구분할 수 없는 현실적 제약조건과 조사지점의 구성 수종들이 너무 다양하여 이를 계량화하는 것이 어렵기 때문이었다.

조사된 자료는 산불발화지점의 임상조건별 빈도분석(frequency analysis)을 실시한 후 임상별 산불발생빈도를 가중치별로 1-10단계까지 지수화한 임상특성에 의한 산불위험지수(Fuel Model Index; FMI)를 개발하였다.

2.2 지형특성에 의한 산불발생위험지수 개발

지형(地形)특성에 의한 산불발생위험지수도 임상특성에 의한 위험지수와 동일하게 전국 126개소의 현장 조사를 통하여 개발하였다. 즉, 지형특성에는 발화지점의 수직적 분포인 발화 위치(평지, 산록부, 산복부, 산정부)를 조사하였으며, 수평적 분포인 발화지점의 방위(동, 서, 남, 북, 북동, 남동, 북서, 남서)를 조사하였다. 조사된 자료를 이용하여 산불발화지점의 지형특성을 빈도분석(frequency analysis)하고, 이를 다시 지형별 산불발생빈도를 가중치별 1-10단계로 구분하되 고도 및 방위별 최대위험지수를 5까지 지수화한 지형특성에 의한 산불위험지수(Topography Model Index; TMI)를 개발하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 임상(林相)특성에 의한 산불발생위험지수 개발

산불발생지점 126개소에서 조사한 임상별 종류는 Fig. 2와 같이 침엽수림이 87개소로 전체의 약 69.0%를 차지하는 것으로 나타났으며, 다음으로 혼효림이 21개소(16.7%), 활엽수림이 18개소(14.3%)에서 발생하였다. 즉, 침엽수림에서 산불이 발생하는 위험율이 활엽수림보다도 약 5배 높다는 것을 알 수 있으며, 혼효림

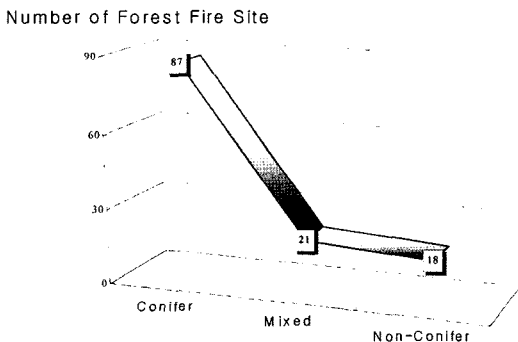


Fig. 2. Number of forest fire site on fuel model.

Table 1. Fuel Model Index(FMI)

Index	Danger Rate	Fuel Model Index (FMI)
1	Low	-
2		Non-Conifer
3	↑	Mixed
4		-
5	Normal	-
6	Normal	-
7		-
8	↓	-
9		-
10	High	Conifer

과 활엽수림에서 산불이 발생할 위험율은 낮다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 이시영이 ‘담뱃배에 의한 연소물 종류별 발화율’ 실험결과에서 구멍한 침엽수낙엽(31%)이 활엽수낙엽(11%) 보다 발화율이 높다는 연구결과와 일치하였다²⁾.

다음으로 임상에 의한 산불발생위험지수(Fuel Model Index, FMI)를 개발하기 위하여 가장 많은 발생빈도를 나타낸 침엽수림을 지수 10으로 설정하고 나머지 혼효림과 활엽수림의 발생빈도에 따른 상대적 가중치를 계산하여 지수를 설정하였다. 여기서 지수를 10으로 한 이유는 기 개발한 기상에 의한 산불발생위험지수⁵⁾와 동일한 척도로 나타내기 위해서이다. 그 결과 Table 1과 같이 침엽수림이 지수 10일 때, 혼효림은 지수 3으로 나타났으며, 활엽수림은 지수 2로 평가되었다.

3.2 지형특성에 의한 산불발생위험지수 개발

지형에 의한 산불발생위험지수(Topography Model Index, TMI)의 개발은 임상에 의한 산불발생위험지수(Fuel Model Index, FMI)를 개발하는 과정과 동일하게 진행하였다. 즉, Fig. 1의 126개소 산불발화 지점을 대상으로 지형정보를 파악하여 이용하였다. 지형요인에는 발화지점의 수직적 분포인 발화지점의 위치(산록하부, 산록상부, 산복하부, 산복상부, 산정하부)와 향을 동, 서, 남, 북, 북동, 남동, 북서, 남서로 구분하여 조사하였다.

그 결과 Table 2와 Fig. 3과 같이 발화지점은 산록하단부가 90개소(71.4%), 산록상단부 20개소(15.9%), 산복하단부 13개소(10.3%), 산복상단부 2개소(1.6%), 산정하단부 1개소(0.8%)로 나타나, 고도에 따라 아래로 갈수록 산불발생이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 산

Table 2. Number of forest fire site on direction & ignition point

Direction	N	%	Ignition Point	N	%
N	12	9.5	Bottom Foot Hill	90	71.4
NE	19	15.1	Upper Foot Hill	20	15.9
E	6	4.8	Bottom Middle Slope	13	10.3
SE	18	14.3	Upper Middle Slope	2	1.6
S	17	13.5	Bottom Ridge	1	.8
SW	22	17.5	Sum	126	100.0
W	12	9.5			
NW	20	15.9			
Sum	126	100.0			

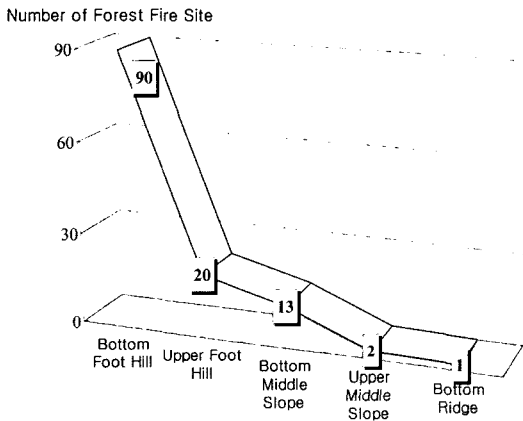


Fig. 3. Number of forest fire site on ignition point.

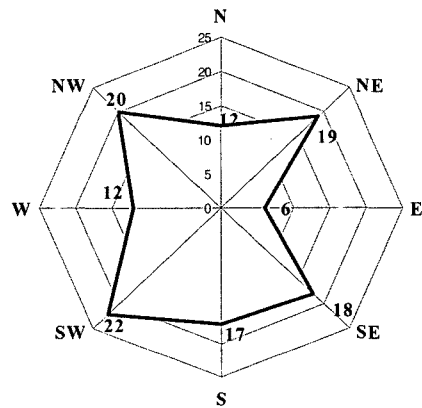


Fig. 4. Number of forest fire site on direction.

록하단부가 접근성이 용이하며, 특히 논·밭두렁 소각 시 산림이 근접해 있는 곳이 산록하단부이기 때문이다.

또한, 산불발화지점의 방위는 Table 2와 Fig. 4와 같이 남서방향이 22개소(17.5%), 북동 19개소(15.1%), 남동 18개소(14.3%), 남향 17개소(13.5%) 순으로 나타났다. 이상의 결과에서 남향이 북향보다 산불발생의 빈도가 높은 것으로 나타났지만, 그 차이는 기대한 것만큼 크지 않은 것으로 나타났다.

이 결과는 이시영 등이 기술한 산불발생 위험성이 높은 지역은 사람이 많이 다니는 소로, 임도(林道)등과, 농산폐기물과 논·밭두렁 태우기를 실시하는 산록하단부에서 가장 많이 발생하고, 사면방향은 남쪽이나 남서쪽에 가까울수록 산불발생 위험성이 높다는 연구결과와 일치하는 경향이었다⁴⁾.

다음으로 산불발생지의 방위와 고도별 발화지점에 대한 빈도를 이용하여 지형에 의한 산불발생위험도를 지수화 하였다. 즉, 방위와 발화지점에는 발생빈도가

Table 3. Topography Model Index(TMI)

Index	Danger Rate	TMI	
		Direction	Ignition Point
0.5	Low	-	Bottom Ridge/Upper Middle Slope
1.0	↑	-	Bottom Middle Slope
1.5		E	Upper Foot Hill
2.0		-	-
2.5	Normal	N / W	-
3.0	Normal	-	-
3.5	↓	-	-
4.0		SE / S	-
4.5		NW / NE	-
5.0	High	SW	Bottom Hill

가장 높은 남서향과 산록하단부를 지수 5로 하고 나머지 항목들에 대한 산불발생 가중치를 계산하여 지형에

의한 산불발생위험지수(TMI)를 작성하였다(Table 3). 이때 방위와 고도별 발화지점에 의한 최대 위험지수를 5로 설정한 이유는 지형에 의한 산불발생위험에는 2개의 요인(방위와 발화지점위치)이 선정되어 이를 합한 최대 지수가 10이 되게 하기 위해서였다. 예를 들어, 남서향이며 산록하단부에 위치한 지형에서는 방위지수가 5.0, 발화지점 지수가 5.0임으로 이 둘을 합한 지수 값인 10으로 계산되며, 정서향이며 산록하부인 지형에서의 TMI는 방위지수 2.5, 발화지점지수 5.0을 더한 7.5가 지수 값이다.

4. 결 론

우리나라에서 발생하고 있는 산불의 일차적인 원인으로 논·밭두렁소각, 등산객, 성묘객, 무속행위자, 산림약초채취자 등 사람의 부주의에 의해 시작되지만 이와 같은 실화가 산림에 피해를 줄 정도로 발화·연소·확산되기 위해서는 산불발생 당시의 습도, 풍속, 기온 및 임내 가연성물질의 습도 등 연소 환경을 구성하는 기상적요인 외에 발화 장소의 지형 및 임상조건과도 깊은 관계가 있다. 따라서 본 연구에서는 전국을 대상으로 지난 10년간(91~01) 산불피해지 126개소의 현장 조사를 통하여 산불발화지점의 임상(林相) 및 지형(地形)특성을 조사하여, 이를 다시 빈도분석과 산불발생 가중치로 1-10까지 지수화한 임상 및 지형특성에 의한 산불발생위험지수를 개발하였다.

이번 개발한 산불발생위험지수는 기 개발한 기상특성을 이용한 전국 산불발생확률모형과 함께 산림환경인자 중 임상 및 지형조건에 의한 산불발생 가중치를 구분한 논문으로 의의가 있다고 할 수 있다. 다만, 우리나라의 산불발생 원인이 인위적인 실화인 점과 지역별, 시기별로 산불발생 건수와 원인이 다르기 때문에 이러한 부분에서의 새로운 지수개발이 필요하다. 또한, 위 논문은 산불발생에 관한 지수개발이지만, 향후에는 산불확산에 의한 지수개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정연하, 이시영, 염육철, 여운홍, “산화위험을 예측에

관한 연구”, 임업연구원 연구보고, Vol. 38, pp.117-123(1989).

2. 이시영, “담뱃불에 의한 산불발생”, 산림, Vol. 11, pp.50-52(1993).

3. 이시영, “산불발생 위험도 및 연소확대요인 분석에 관한 연구”, 동국대학교 박사학위논문. pp. 104(1995).

4. 이시영 외, 삼림환경보전학. 향문사, pp.44(2002).

5. 이시영, 한상열, 원명수, 안상현, 이명보, “기상특성을 이용한 전국산불발생확률모형 개발”, 한국농림기상학회지, Vol. 6, No. 4, pp.242-249(2004).

6. 홍성길, 기상과 화재. 교학연구사, 124(1987).

7. 안상현, 원명수, 강영호, 이명보, “수치산림입지도를 이용한 산불발생위험지역 구분”, 한국화재소방학회논문집. Vol. 19. No. 3, pp.64-69(2005).

8. L. S. Bradshaw, J. E. Deeming, R. E. Burgan, and J. D. Cohen, “The 1978 National Fire-danger Rating System : Technical Documentation”, USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-169. pp. 44(1983).

9. K. Choi and S. Y. Han, “Developing Forest Fire Occurrence Probability Model Using Meteorological Characteristics”, Journal of Korean Forestry Society Vol. 5, No. 1, pp.15-23(1996).

10. J. E. Deeming, J. W. Lancaster, M. A. Fosberg, R. W. Furman, and M. J. Schroeder, “National Fire-Danger Rating System”, USDA Forest Service Research Paper. RM-84. pp. 165(1972).

11. J. E. Deeming, R. E. Burgan, and J. D. Cohen, “The National Fire-Danger Rating System 1978”, USDA Forest Service Gen Tech Rep INT-39. pp. 63(1977).

12. S. Y. Lee, B. S. Lee, and J. H. Lim, “Prediction of Forest Fire Danger Rate Using Fuel Moisture Stick”, KFRI Journal of Forest Science Vol. 55, pp.150-157(1997).

13. S. Y. Lee, S. Y. Han, S. H. An, J. S. Oh, M. H. Jo, and M. S. Kim, “Regional Analysis of Forest Fire Occurrence Factors in Kangwon Province”, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology Vol. 3, No. 3, pp.135-142(2001).

14. C. E. Van Wager, 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. pp.37(1987).