

## 산림화재 종합위험등급화에 관한 연구 A Study on the Wildland Fire Total Hazard Classification

김동현<sup>†</sup> · 김태구 · 김광일

Kim, Dong-hyun<sup>†</sup> · Kim, Tea-Gu · Kim, Kwang-II

\*인제대학교 산업안전보건학과  
(2001. 08. 14 접수/2001. 09. 22 채택)

### 요 약

최근 전 세계적으로 개발을 위한 고의적인 방화와 기상이변에 의한 산림화재의 급증과 피해규모가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이와 같은 대형 산림화재는 국내에서도 같은 경향으로 나타나고 있다. 산림화재에 가장 효과적인 대응 방법은 화재발생 후의 진압보다는 화재예방 활동이라고 볼 수 있으며, 우선적으로 시급한 연구과제는 산림화재 예방 시스템에 관한 연구라 할 수 있다. 본 연구에서는 산림화재의 종합적 위험등급 개발을 위해 산림화재에 영향을 미치는 인자들에 대해 실험 및 자료들을 분석·고찰하여 6개 인자에 대한 개별적 위험성을 나타내었으며 각 인자들의 위험성 기여도에 따른 가중치를 적용하여 종합위험등급을 설정하였다.

### ABSTRACT

Recently, intentional arsons for exploitation and wildland fire caused by abnormal change of weather are increasing as well as the damage scale due to such fire in the world. The number of such big wildland fire is also increasing in Korea these days. Fire prevention activity can be said as more important than fire putting-out activity after a fire occurrence for the most effective way to cope with wildland fire, and the research on wildland fire prevention system is what we need to do urgently. In this study, I examined and analyzed the experiments and data about the factors influencing wildland fire and stated the dangerousness of each factor for all of the 6 factors and set up the general dangerousness rating applying each factor's contribution to the dangerousness.

**Keywords** : Wildland fire, Total hazard classification, Fuel model, Weather factor, Terrain factor, FBPS, NFDRS

### 1. 서 론

산림화재 종합위험성평가는 산림화재 위험성 인자인 연료, 기상, 지형의 상대적 위험도에 따라 결정되어진다. 이러한 인자들은 크게 두 가지로 산림화재에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 첫째는 화재 발생 가능성에 영향을 미치는 인자와 둘째는 화재발생 후 화재의 확산속도에 영향을 미치는 인자로 대별될 수 있다.<sup>1)</sup> 연료와 기상인자는 전자와 후자 둘 다에 결정적인 영향을 미치고 지형인자는 후자에만 크게 영향을 미친다고 볼 수 있다.<sup>2)</sup> 따라서 산림화재 종합위험성은 이러한 화재 발생 가능성과 화재 확산속도라는 위험성 분류 내

에서 개별적 인자들의 위험성 기여도를 적용함이 타당하다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 연료의 형태, 경사도, 기상형태, 사면의 향, 수종의 열량분석, 사면의 향과 바람에 따른 화재 위험성을 실험과 자료의 고찰을 통해 정량화하고 기존의 정량화 되어진 기상과 연료 인자들의 값과 더불어 각 인자들의 화재 위험성등급을 화재위험 기여도에 대한 가중치를 적용함으로써 산림화재 종합위험등급을 표현하였다.

이 표현기법은 각 지역별, 산림 구획별, 주요 산 등에 대한 산림화재에 대한 위험성 정도를 기상과 연료의 상태에만 의존하지 않고 지형의 특성 및 연료의 종류에 대한 고려를 함으로써 보다 정확하고 세부적인 산림의 화재 위험성 정도를 표현할 수 있다. 이 방법을 통해 얻어진 각 인자들의 위험성 등급은 자동 연산

<sup>†</sup> E-mail: jsh1052@chollian.net

프로그램을 통해 종합위험등급으로 표현되어질 수 있다.

## 2. 위험성 인자와 위험등급

### 2.1 연료형태

연료에 대한 산림화재 위험성은 화재 발생 가능성과 화재 확산속도에 모두 영향을 미치며 연료가 가지는 여러 가지 특성에 따라 이에 대한 위험성의 정도가 달라질 수 있다. 연료에 대한 화재 위험성의 인자는 산림지역에 존재하고 있는 연료의 종류, 배열상태, 수목의 크기, 그리고 down, dead woody fuel 등의 조사에

의해 결정되어질 수 있다. 이러한 식별 가능한 연료의 상태를 대표적으로 모델화한 것이 Fire Behavior Prediction System(FBPS)<sup>2)</sup>과 National Fire Danger Rating System(NFDRS)<sup>3)</sup>이다. 이들 두 System에서의 연료 모델은 Grass, Shrub, Timber, 그리고 Slash로 크게 4개의 집단으로 분류한다. 각 Fuel Model에 대한 분류와 Hazard Level은 Table 1과 같다.

### 2.2 경사도

경사의 Percentage Grade는 식 (1)에 의해 산출된다. Elevation Difference와 Distance는 지도상의 임

Table 1. Description of Fuel Models Used in Fire Behavior as Documented by Albini (1976) and Fuel Hazard Level<sup>2)</sup>

Fuel Model	Typical Fuel Complex	Fuel Loading				Total Fuel Loading	Fuel Bed Depth
		1 hour	10 hours	100 hours	Live		
	<b>Grass and grass-dominated</b>	Tons/ha				Tons/ha	(cm)
1	Short grass (Height : 0.3 m)	3	0	0	0	3	30
2	Timber (grass & understory)	8.1	4.1	2	2	16.2	30
3	Tall grass (Height : 0.76 m)	12.5	0	0	0	12.5	76
	<b>Chaparral and shrub fields</b>						
4	Chaparral (Height : 1.82 m)	20.3	16.2	8.1	20.3	64.9	182
5	Brush (Height : 0.61 m)	4.1	2.0	0	8.1	14.2	61
6	Dormant brush, hardwood slash	6.1	10.1	8.1	0	24.2	76
7	Southern rough	4.6	7.6	6.1	1.5	19.8	76
	<b>Timber litter</b>						
8	Closed timber litter	6.1	4.1	10.1	0	20.3	6
9	Hardwood litter	11.8	1.7	0.6	0	14.1	6
10	Timber (litter & understory)	12.5	4.2	20.3	8.1	45.1	30
	<b>Slash</b>						
11	Light logging slash	6.1	18.2	22.3	0	46.6	30
12	Medium logging slash	16.2	56.8	66.9	0	139.9	70
13	Heavy logging slash	28.4	93.2	113.5	0	235.1	91

Hazard Class	Fuel Models	Expected Fire Behavior
1(No)	None	None
2(Low)	Models 1, 2	Low-moderate intensity, short duration fire, ROS moderate-high, fire spread fairly easy to stop
3 (Medium)	Models 5, 8, 9	Low-moderate intensity, moderate duration fire: flare-ups not uncommon, ROS slow-moderate, short-to-medium range spotting possible(<402 m), moderate-high, fire spread fairly easy to stop
4(High)	Models 6, 7, 10, 11, 12	Moderate intensity, short-moderate duration fire: flare-ups frequent, ROS slow-moderate, short-to-medium range spotting possible(<402 m), fire spread may be difficult to stop. Models 10, 11, 12 Medium to high-intensity, moderate-to-long duration medium-to-long range spotting possible(>402 m), fire spread may be difficult to stop.
5 (Extreme)	Models 3, 4, 13	High intensity, short-to-long duration fire: typically involves entire fuelbeds, ROS moderate-fast, spotting possible, fire spread may be difficult to stop.

**Table 2.** A Slope Classification using the National Fire Danger Rating System(NFDRS)

Slope Degree	Slope Classification
0~26	1
27~40	2
41~55	3
56~75	4
over 75 percent	5

의 두 지점을 연결하여 Elevation Difference와 Distance를 측정하여 축척비에 대해 실제거리로 환산한 후 식 (1)에 대입하여 계산한다.

$$\text{Slope}(\%) = \frac{\text{Elevation Difference}}{\text{Distance}} \times 100 \quad (1)$$

경사도에 따른 위험성 등급은 NFDRS에서 정의하고 있는 위험등급(Table 2)을 따른다.

### 2.3 기상

기상인자에 대한 위험성은 크게 바람의 세기와 수분함유량(공기중 또는 연료)에 의해 결정되어진다. 기상인자에 대한 위험성의 정량화작업은 미국의 National Fire Danger Rating System(NFDRS, 1977)에서 사용하고 있는 Fire Weather Index System과 가뭄지수(Drought Index), 상대습도, 그리고 풍속 등에 따른 산림화재 위험성 표현의 방법이 있다.<sup>3)</sup> 산림화재에 대한 기상인자의 종합적인 위험성의 표현은 캐나다와 미국의 National Fire Danger Rating System(NFDRS, 1977)에서 사용하고 있는 Fire Weather Index System이 가장 효과적이다. Fine Fuel Moisture Code(FFMC)은 surface litter와 다른 fine fuel에 대한 수분함유량을 나타낸 것으로 하루의 Time lag에 대한 값이다. 이 값은 Fine fuel에 대한 가연성 정도를 상대적으로 나타내는 것이다. Duff Moisture Code(DMC)는 지표층

의 나뭇가지나 낙엽 등에 대한 수분함유량을 숫자로 Code화한 것으로 지표층 연료의 깊이는 각 산림지역의 평균 깊이를 적용하였다. Drought Code(DC)는 깊고 촉촉한 유기물들에 대한 연료층의 수분함유량을 숫자로 Code화한 것으로 이 Code는 산림지역 연료들에 대한 주기적인 건조 영향의 지표로 사용된다. Initial Spread Index(ISI)는 화재확산정도가 예상되는 정도를 숫자로 지수화한 것이다. 이 값은 연료의 양에 관계없이 Fine Fuel Moisture Code와 Wind Velocity에 대한 관계값이다. Buildup Index(BUI)는 초기 화재 확산이 일어난 후 화재의 전파에 의해 연소 가능한 연료의 양을 나타낸 것으로 Duff Moisture Code와 Drought Code에 대한 관계값이다.

Buildup Index (BUI)의 산출식은 식 (2)와 같다.

$$\text{if } P \leq (0.4 \times D), \text{ BUI} = 0.8 \times \frac{(P \times D)}{(P + 0.4 \times D)} \quad (2)$$

P=Duff Moisture Code(DMC),  
D=Drought Code(DC)

Fire Weather Index(FWI)의 주요 산출식은 식 (3)과 같다.

$$\text{if } \text{BUI} \leq 80, \text{ B} = 0.1 \times (2 + 0.626 \times 0.809 \sqrt{\text{BUI}}) \times \text{BUI} \quad (3)$$

B=common in calculate, S=Fire Weather Index,  
ISI=Initial Spread Index, BUI=Buildup Index

기상조건에 따른 위험성 평가는 Table 3과 같이 기온, 습도, 강우량, 바람등을 고려한 Fire Weather Index를 기준으로 하였다.

### 2.4 사면의 향

사면의 향에 따른 화재위험성은 태양복사에너지의 수용률에 따른 연료의 수분함유량과의 관계이다. 태양의 복사에너지를 가장 많이 받는 사면의 지형은 그림

**Table 3.** Hazard Classification of Fire Behavior Characteristics and Fire Weather Index

Classification	Frantal Fire Intensity (FFI)(kW/h)	Surface Head Fire		Fire Weather Index (FWI)
		Flame Length(m)	Flame Height(m)	
1	<10	<0.2	<0.1	03
2	10~500	0.2~1.4	0.1~1.0	4~13
3	500~2000	1.4~2.6	1.0~1.9	14~23
4	2000~4000	2.6~3.5	1.9~2.5	24~28
5	>4000	>3.5	>2.5	>29

**Table 4.** A Aspect Classification using the Montana Department of State Lands System

Aspect	Classification
N-NW	1
W-NW	2
E-SE	3
S-SW	4

지 못한 사면의 지형보다 연료의 온도 뿐 아니라 수분 함유량의 건조율이 상대적으로 높으며 이는 발화 가능성과 확산속도의 증가에 영향을 미치는 인자이다.

사면의 향에 따른 위험등급은 Montana Department of State Lands System(Table 4)에서 사용하고 있는 등급을 이용하였다.

**2.5 수종의 열량분석에 따른 위험등급**

수종의 열량분석에 따른 위험성 분류는 DSC 열량분석값에 대해 상대적 위험성을 등급화(Table 5)하였다.

**2.6 사면의 향과 바람에 따른 위험등급**

경사면과 바람 방향의 상관관계는 Vector Plotting

**Table 6.** Terrain-Weather Mutual Factor Classes by the Different Impacts of Wind and Slope

Classification	Wind No.	Effect of Fire Spread Rate
1	5	No wind, No effect
2	4	The more impede fire spread rate from upslope
3	3	Slowly impede fire spread rate
4	2	Slowly increase fire spread rate
5	1	Quickly increase fire spread rate

Method에 의해 설명되어 질 수 있다. Slope와 Wind의 Scalar의 크기가 각각 1이라고 가정하면 Slope와 Wind의 내각이 0~120° 사이에는 Vector의 값이 항상 1 이상의 Vector 값을 가지는 화염속도 상승구간이다. 내각의 범위가 120~180°의 경우에는 1이하의 Vector 값을 가지는 화염속도 감소구간이 된다고 볼 수 있다.

경사면에 대한 바람의 방향의 위험성의 구분은 사면의 향과 바람의 방향과의 내각에 따라 나누었다(Table 6).

**Table 5.** Classification of trees according to Caloric values by DSC and Example for the forestry<sup>1)</sup>

Classification	1	2	3	4
Content				
Calorie(kcal/g)	≤1.50	1.50~2.50	2.51~3.50	3.51≤

No.	Main trees	Classification	No.	Main trees	Classification
1	호오리새	2	16	서어나무	2
2	새	2	17	개서어나무	2
3	참억새	2	18	이대-느티나무	2
4	철쭉꽃	3	19	철쭉꽃-소나무	3
5	사스래나무	3	20	산철쭉-소나무	3
6	산겨이삭-구상나무	2	21	싸리나무-소나무	3
7	신갈나무-구상나무	3	22	진달래-소나무	3
8	철쭉꽃-신갈나무	3	23	잣나무림	3
9	신갈나무	4	24	리기다소나무림	3
10	소나무-신갈나무	4	25	일본잎갈나무림	3
11	산수국-물오리나무	3	26	밤나무	2
12	졸참나무	3	27	왕대림	3
13	소나무-졸참나무	3	28	목초지	3
14	굴참나무	3	29	암석지	2
15	갈참나무	2	30	차나무-동백나무	2

### 3. 산림화재 종합위험등급화

#### 3.1 산림화재 종합위험등급

산림화재에 영향을 미치는 연료, 기상, 경사등의 상호간의 위험 증가 효과 등을 실험 및 위험성 평가 자료를 토대로 연료형태, 경사도, 기상형태, 사면의향, 수종의 열량분석, 사면의 향과 바람의 6개 인자들에 대해 위험성 정도를 나타내었다. 산림화재의 발생 가능성 그리고 확산속도에 대한 위험성에 있어서 6개 인자들 모두 같은 크기의 산림화재 위험성에 영향을 주는 것은 아니다. 따라서 각 인자들에 대해 위험성 기여도를 산정하여 가중치를 적용하여야 한다. 여기서는 Montana Department of State Lands System, Insurance Services Organization(ISO)에서 개발한 FireLine System 그리고 Department of Housing and Urban Development(HUD) Study system에서 사용하고 있는 각각의 위험성 인자들에 대한 부여 점수치를 비교하여 가중치를 산정하였다.

종합위험등급의 산정 흐름은 Fig. 1과 같다.

#### 3.2 종합위험등급의 평가 적용에

1996년 4월과 2000년 4월에 각각 발생한 강원도 산불에 대해 산림화재 종합위험등급을 적용하여 실제 산림화재 위험성과 당시의 위험 상황 등을 비교 평가하고자 한다. 위 두 화재에 대한 발생 당시의 기상조건

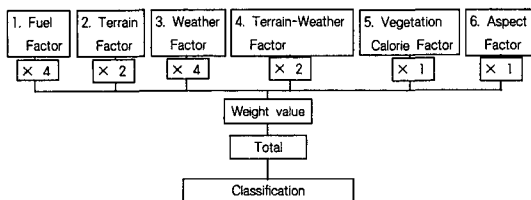


Fig. 1. Wildland Fire Total Hazard Evaluation Flow.

과 지형 그리고 연료에 대한 자료를 토대로 종합위험등급에 적용하였다. 두 화재의 당시 조건은 Table 7과 같으며 기상조건을 제외하고 다른 인자들에 대한 값에는 큰 차이를 나타내지 않고 있어 Fig. 1과 같이 적용하여 평가하였다. 평가 결과, 가중치를 적용

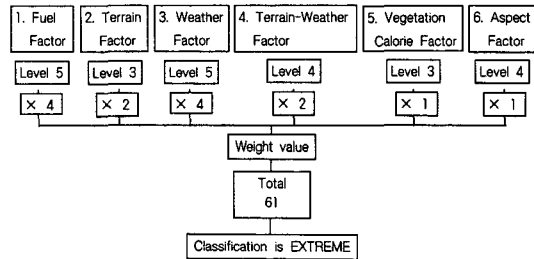


Fig. 2. Wildland Fire Total Hazard Evaluation for Kwangwon Wildland Fire Occurs in the 1996 and 2000.

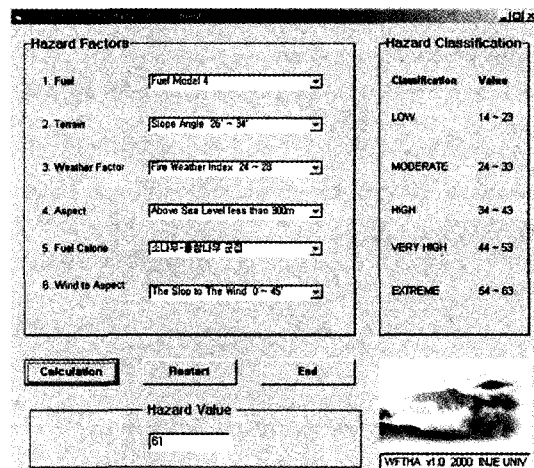


Fig. 3. Wildland Fire Total Hazard Assessment Tool apply to the Kwangwon Wildland Fire Occurs in the 1996 and 2000.

Table 7. The Present Environment in Kwangwon Wildland Fire occurs in the 1996 and 2000

Conditions \ Date	1996. 04. 23	2000. 04. 07
1. Weather	Max. Wind Speed : 27 m/s Min. Humidity : 26% Continued Drought	Max. Wind Speed : 26.8 m/s Min. Humidity : 11% Continued Drought
2. Fuel	Fuel level 5	Fuel Level 5
3. Terrain	About 21°	About 21°
4. Occurrence Aspect	A Single Burn	Many of fire on similar time
5. Damage Areas(ha)	3,762	23,789

한 위험성 값이 61로 EXTREME에 해당하는 극도의 산림화재 위험성을 나타내었다. Fig. 2과 같은 실제 화재사례 및 실시간 화재 위험예측을 위한 자동 연산 프로그램의 하나로 Fig. 3의 WFTHA(Wildland Fire Total Hazard Assessment) Tool을 제작하였다.

#### 4. 결 론

산림화재 종합위험등급화에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 산림화재의 종합위험등급을 설정하기 위해 산림화재 발생가능성, 화재확산속도에 주요한 영향을 미치는 6가지 인자들을 규정하였다.

둘째, 6가지 인자들에 대한 개별적 위험성을 열분석 실험 및 외국의 산림화재 위험성평가 자료의 고찰을 통해 설정하였다.

셋째, 개별적 위험성 등급에 대해 가중치를 두어 산림화재 종합위험등급을 개발하였다.

넷째, 산림화재 종합위험등급에 대해 실제 산불지역에 대한 당시의 위험성을 평가한 결과 Extreme 단계의 위험성수준을 보였으며, 이는 실제 화재의 위험성과 일치한다고 볼 수 있다.

#### 참고문헌

1. 김동현, 김광일, “지리산 수목분포에 따른 열량분석 및 산불 위험도 평가”, 한국화재·소방학회, 1999년 추계학술대회 논문초록집(1999).
2. Alexander, M.E. and W.J. De Groot, “Fire behavior in Jack Pine Stands as Related to the Canadian Forest Fire Weather Index System”, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Poster (with text) (1988).
3. Quintilio, D., G.R. Fahnestock, and D.E. Dube. “Fire Behavior in Upland Jack Pine: the Darwin Lake Project”, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Information Report NOR-X-174(1977).
4. Philips, Clinton B, “Instructions for Zoning Fire Hazard Severity in State Responsibility Area in California”, Resources Agency, California Department of Forestry, State of California, December (1983).
5. Barrette, Brian, “System for Rating Structural Vulnerability in SRA, Sacramento, California, September(1999).