

## 영동지역 봄철 소나무림에서 강우후 지표연료 직경별 연료습도변화 예측모델 개발 및 검증

### The model development and verification for surface branch wood fuels moisture prediction after precipitation during spring period at the east coast region

이시영\* · 이명욱\*\* · 권춘근\* · 염찬호\* 이해평\*\*\*

Si-Young Lee\*, Myung-Woog Lee\*\*, Chun-Geun Kwon\*, Chan Ho Yeom\*, Hae-pyeong Lee\*\*\*

#### Abstract

In this study, we developed a fuel moisture variation prediction model on each day after precipitation during a spring forest fire exhibition period. For this research, we selected plots in pine forest on Sam-Chuck si and Dong-hae si in Kangwon do according to a forest density(low, mediate, high) and classified a surface woody fuel by a diameter.(below 0.6cm, 0.6~3cm, 3~6cm, and above 6cm).

A validity of this model was verified by appying a fuel moisture variation after percipitation in this spring. In the result, R<sup>2</sup> was 0.76~0.92. This model will be a useful for improvement of a forest fire danger rate forcast through a prediction a fule moisture in forest

**key words** : surface fuels, fuels humidity

#### 1. 서 론

우리나라 동해안의 경우 대부분의 산림이 소나무 단순림으로 구성되어 있으며, 또한 봄철 산불 조심기간 동안의 상대적으로 낮은 상대습도 강한 풍속(7~15%, 순간 최대 풍속 27m/sec: 동해안 산불지역 정밀 조사 보고서 2000) 등에 의하여 연료의 조건이 산불이 발생하기에 적당한 조건으로 변화 하였을 것으로 예측되고 있으나 현재 우리나라에서는 이에 대한 연구가 시도 되지 않고 있는 실정이다. 산림연료의 수분변화에 대한 탐색은 산불 발생가능성의 지표로서 이미 미국과 캐나다 등에서 연구 되어 오고 있으며, 이들 토대로 정확한 산불 예보시스템을 구축하고자 노력 중에 있다.

산림연료의 수분 함량의 변화는 미국과 캐나다에서 산불 위험을 예보 시스템의 기본적인 지수로서 사용 되어지고 있으며(Stock et al. 1987 과 Van wagner 1975) 이러한 지수의 변화에 따라 산불 발생 확률 및 확산속도 등을 예측하고 있다. 이중 Canadian Fire Danger Rating System에 기상인자에 의한 연료의 수분 변화를 분석하여 매일의 산불 위험율을 예측하는 산불기후지수(Fire Waether Index)의 인자들 중 하나인 Fine Fuel Moisture Code(FFMC, 산림미세연료의 수분 코드)는 강우, 바람, 온도, 상대습도 등의 변수로 인하여 각각의 연료의 수분 변화를 분석하는 방법을 사용하고 있다. 또한 Van wagner(1968)는 유사한 기후조건에서의 Pinus resinosa 조림지에서의 산불이 발생시 연료의 수분 함량의 차이에 의하여 확산속도는 매우 다르게 나타난다고 보고한 바 있다. 그러나 우리나라의 경우 산불 발생조건에 대한 연구가 대단히 미흡하며, 그중 산림연료에 대한 수분 함량의 분석이 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구는 봄철 산불조심기간 중 영동지방 소나무림에 대하여 임분별로 강우 후 익일부터 6일간 임내의 직경별 0.6cm 이하, 0.6~3.0cm, 3.0~6.0cm, 6.0cm 이상의 지표연료에 대한 연료습도 변화를 실측하는 한편, 기상인자를 고려한 통계분석을 실시하여 연료습도 변화 예측 모델을 개발하여 산불예방의 기초 자

\* 국립강원대학교 방재기술전문대학원: E-mail: [lsy925@kangwon.ac.kr](mailto:lsy925@kangwon.ac.kr)

\*\* 한중대학교 토목환경공학과

\*\*\* 국립강원대학교 소방방재학부

료를 제공하고자 한다.

**2. 실험내용 및 방법**

**2.1 조사지 및 조사방법**

연구 대상지역은 표 1과 같이 강원도 삼척시와 동해시에 분포한 소나무림 중 임분 밀도가 소임분, 중임분, 밀임분 지역을 선정하여 2007년 봄철 산불조심 기간 중 강우 후 임내 연료습도 변화를 조사하였다. 조사 기준은 누적강우량이 5.0 mm 이상 내린 날을 기준으로 강우 후 익일부터 6일간 조사하고, 봄철 조사 기간 중 표 2와 같이 4회에 걸쳐 조사하였다.

조사방법은 조사구의 크기를 각각의 임분에 대하여 10m × 10m로 하였으며, 시료채취는 조사구내 0.2m × 0.2m의 소조사 plot을 3방향(상, 중, 하)로 설정하여 직경별 0.6cm 이하, 0.6~3.0cm, 3.0~6.0cm, 6.0cm 이상의 지표연료에 대하여 매일 동일 시간인 10시에 vinyl 지퍼백에 샘플을 채취하여 무게를 측정한 후 실험실로 운반하였다.

**<표 1> 조사지의 임황 및 지황인자**

구분	임황인자					지황인자				낙엽 및 부식층 두께(cm)		
	수종	평균수고(m)	평균흉고 직경(cm)	울폐도(%)	임목본수(ha)	해발(m)	사면 방위	측정 위치	평균 경사	낙엽층	부식층	계
소	소나무	7.0	23.5	20	400	94	S40W	산록	23°	1.3	2.3	3.6
중	소나무	10.70	18.93	60	1400	20	S30W	산록	14°	1.7	3.5	5.2
밀	소나무	12.72	16.26	70	2500	48	S30E	산록	7°	2.5	3.0	5.5

**<표 2> 연료습도 실측기간**

구분 일시	강우일	실측기간	누적강우량
1차 조사	'07년 3월 4일	'07년 3월 5일 - 3월10일	6.5 mm
2차 조사	'07년 3월 28일 - 4월 1일	4월 2일 - 4월 7일	62.5 mm
3차 조사	'07년 4월 17일	4월18일 - 4월23일	10.5 mm
4차 조사	'07년 5월 1일	5월 2일 - 5월 7일	18.5 mm

**2.2 연료습도 분석**

직경별 0.6cm 이하, 0.6~3.0cm, 3.0~6.0cm, 6.0cm 이상의 지표연료에 대하여 연료의 수분건조가 일정한 상태에 도달하여 더 이상의 수분건조가 이루어지지 않는 단계인 EMC(Equilibrium Moisture Contents)의 수준에 다 다를 때 까지인 105℃ 24시간동안 dry-oven에서 건조시킨 후 무게를 측정하여 연료습도를 분석하였다. 연료습도 분석에 사용된 식(1)은 다음과 같다.

$$FMC(\%) = \left( \frac{W_w - W_d}{W_d} \right) \times 100 \tag{1}$$

여기서 FMC는 연료습도(%),  $W_w$ 는 전중,  $W_d$ 은 후중이다.

**2.3 연료습도 변화 예측 모델 개발 및 검증**

연료습도 예측 모델 개발을 위하여 SPSS 통계분석프로그램을 사용하였으며 4회에 걸쳐 측정된 6일간의 연료습도를 종속변수로 동일한 시간대에 측정된 기상인자인 조도, 풍속, 상대습도, 임분밀도(소, 중, 밀), 강우 익일 후 경과일수를 독립변수로 하여 통계분석을 실시하였다.

종속변수인 연료습도는 조사구별 상, 중, 하 위치에서 측정된 연료습도를 사용하였으며, 독립변수인 상대 습도는 강우 4일전 습도와 조사당일 습도까지 5일간의 습도를 실효습도로 변환하여 사용하였으며, 실효습도

란 당일과 전일들의 상대습도에 가중치를 붙여 얻어지는 평균습도로, 본 연구에서의 적용한 실효습도는 당일의 상대습도를 포함하여 5일간의 상대습도의 누적치를 이용하였고, 식(2)와 같다.

$$He = (1-r)(H) + rH_1 + r^2H_2 + r^3H_3 + r^4H_4 \quad (2)$$

여기서  $r$ 은 계수 0.7,  $H$ 는 당일의 상대습도,  $H_n$ 은 n일전의 상대습도이다. 풍속은 조사당시의 풍속을, 조도는 조사 당일부터 누적된 조도를, 경과일수는 강우 종료 후 경과일수별로 임분밀도는 더미변수를 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 이 임분밀도가 연료습도에 미치는 영향을 회귀모형으로 분석하였으며, 회귀모형식은 식(3)과 같다.

$$\widehat{Y} = b_0 + b_1DX_1 \quad (3)$$

여기서  $\widehat{Y} = FMC$ 의 추정치,  $X_1$  = 임분밀도로 소임분, 중임분, 밀임분 세 집단을 가지고 있으므로, 더미변수의 개수는 두 개가 된다. 따라서, 분석될 회귀모형은 식(4)와 같이 하였다.

$$\widehat{Y} = b_0 + b_1DX_1 + DX_2 \quad (4)$$

여기서  $X_1$ 가 소임분이면,  $DX_1 = 1$ ,  $DX_2 = 0$ 으로 할당하고,  $X_1$ 가 중임분이면,  $DX_1 = 0$ ,  $DX_2 = 1$ 로 할당하고,  $X_1$ 가 밀임분이면,  $DX_1 = 0$ ,  $DX_2 = 0$ 을 사용하여 회귀분석을 실시하였다. 이와 같은 방법으로 통계분석을 통해 획득된 모형식으로 부터 '08년 봄철 산불조심기간 중 누적강우량이 13.0mm 내린 날인 3월 14일 익일부터 6일간(3월 15일 - 3월 20일) 측정된 기상인자를 대입하여 예측값과 관측값 사이의 비교분석을 위해 T - test를 통해 모델 검증 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 연료습도 예측 모델 개발

표 3은 SPSS 통계프로그램을 이용하여 4회에 걸쳐 측정된 각각의 임분별 강우 익일 후 6일간의 측정된 연료습도를 독립변수로 조사당일 기상인자인 실효습도, 풍속, 조도, 경과일수를 종속변수로 사용하여 개발한 예측식이다. 다만, 관련인자 중 풍속의 경우 경과일수에 따른 함수비 변화의 상관분석결과 상관성이 적은 것으로 조사되어 제외하였고, 임분별 더미변수를 사용 회귀분석을 실시하여 산정된 직경별 0.6cm 이하, 0.6~3.0cm, 3.0~6.0cm, 6.0cm 이상의 경과일수별 연료습도 추정식은 아래와 같다. 여기서 직경별 0.6cm 이하, 0.6~3.0cm, 3.0~6.0cm, 6.0cm 이상 지표연료의 회귀식은 통계적으로 유의하며(유의확률 = 0.00 < 0.05), 총변동에 대한 설명력은 91.5%, 84.9%, 76.1%, 82.1% 였다.

<표 3> 통계분석에 의한 연료습도 예측식

0.6cm 이하	$FMC = 1.560 + 0.177 * \log_{10}(EH) - 0.075 * \log_{10}(ALUX) - 0.160 * (L) - 0.126 * (M) - 0.501 * \log_{10}(ED)$	$(R^2 = 0.915)$
0.6~3 cm	$FMC = 1.883 + 0.139 * \log_{10}(EH) - 0.189 * \log_{10}(ALUX) - 0.049 * (L) - 0.073 * (M) - 0.371 * \log_{10}(ED)$	$(R^2 = 0.849)$
3~6 cm	$FMC = 1.973 + 0.348 * \log_{10}(EH) - 0.364 * \log_{10}(ALUX) + 0.0747 * (L) - 0.066 * (M) - 0.051 * \log_{10}(ED)$	$(R^2 = 0.761)$
6cm 이상	$FMC = 2.057 - 0.027 * \log_{10}(EH) - 0.0071 * \log_{10}(ALUX) - 0.176 * (L) - 0.037 * (M) - 0.150 * \log_{10}(ED)$	$(R^2 = 0.821)$

\*법례: FMC=연료습도(%), log10(EH)=실효습도(%), log10(ALUX)=누적조도, log10(ED)=경과일수(일), L=소, M=중

### 3.2. 예측모델의 검증

'08년 봄철 산불조심기간 중 누적강우량이 13.0mm 내린 날인 3월 14일 익일부터 6일간(3월 15일 - 3월 20일) 측정된 기상자료를 회귀분석에 의한 연료습도 예측식에 대입하여 예측값을 산출한 후 관측값과 비교하기 위해 t 검증을 실시한 결과 예측값과 관측값의 차이는 1% 수준에서 유의함을 나타내었다.

## 4. 결 론

- 1) SPSS 통계프로그램을 이용하여 임분별 더미변수를 적용 회귀분석을 실시하여 직경별 0.6cm 이하, 0.6~3.0cm, 3.0~6.0cm, 6.0cm 이상 지표연료의 경과일수별 연료습도추정 예측식을 개발하였으며, 결정계수인  $R^2$  값은 0.76~0.92의 적합성을 나타내었다
- 2) 산불조심 기간 중 임분별 누적강우량 5.0 mm 이상의 강우에 대하여 연료습도와 기상자료를 실측하여 통계분석을 통해 개발된 예측식을 이용하여 '08년 3월 15일 - 3월 20일에 측정된 기상자료를 이용하여 지표연료의 연료습도를 산출한 결과 예측값과 매우 일치하는 결과를 얻었으며 향후 강우 후 기상자료를 이용하여 임내 연료습도를 예측하여 산불위험예보로 활용하는데 매우 유용한 자료로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 S210808L0101004)'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## 5. 참고문헌

1. 동해안 산불 지역 정밀조사 보고서 I (2000). 동해안 산불 피해지 공동 조사단. 15-26.
2. Stock, B.J., Alexander, M.E., Lawson, B.D. and Van Wanger, C.E. (1987). Canadian Forest Fire Danger Rating System. User' Guide. The Canadian Forest Service Fire Danger Group.
3. Van Wagner, C.E. (1975). A comparison of the Canadian and American Forest Fire Danger Rating System. Petawawa Forest Experiment Station. Chalk River, Ontario. Information Report PS-X-59. 22pp.
4. Van Wagner, C.E. (1968). Season variation in moisture content of eastern canadian tree foliage and the possible effect on crown fires. Canadian Forest Branch. Publication. No. 1204. 15pp.
5. 이시영(산불분야야자), (2002). 삼림환경보전학, 향문사, pp. 34-70.
6. 손충기, 백영균, 박정환, (2007). 내가하는 통계분석 SPSS, 학지사, pp. 271-291.