

가을철 소나무림에서 강우 후 지표연료 습도변화 예측모델 개발

Development of surface fuels humidity variation prediction model after precipitation at Deciduous forests during the Autumn.

권춘근* · 이시영** · 이해평***

Kwon Chun-Geun, Lee Si-Young, Lee Hae-Pyeong

Abstract

본 연구는 가을철 산불조심기간 중 영동지방 활엽수림에 대하여 임분별로 강우 후 익일부터 6일간 임내의 지표연료를 직경별 0.6cm 이하, 0.6~3.0cm, 3.0~6.0cm, 6.0cm 이상에 대한 연료습도 변화를 실측하는 한편, 기상인자를 고려한 통계분석을 실시하여 경과일 수별 연료습도추정 예측식을 개발하였다. 결정계수인 R^2 값은 0.75~0.90의 적합성을 나타내었으며, 향후 강우 후 기상자료를 이용하여 임내 연료습도를 예측하여 산불위험예보로 활용하는데 매우 유용한 자료로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

key words : surface fuels, fuels humidity

1. 서 론

우리나라 산불의 대부분은 산불 조심기간중 매년 전국 산불 발생건수의 약 60%를 차지하고 있다. 산불에 중요한 영향을 미치는 산림연료의 수분 함량은 산불의 발생 및 강도 그리고 확산속도에 영향을 미치게 되는 중요한 인자로서 수분함량이 높은 경우 산불발생 확률이 낮아지는 반면, 수분함량이 낮을 경우 산불 발생률이 높게 나타나는 것이 일반적인 특징이다. 따라서 산림연료의 수분함량을 판단하기 위해서는 온도, 습도, 바람, 강우량 등과의 관계를 구명하는 것이 필요하다.

미국의 경우 Ponderosa 소나무로 만든 연료습도측정봉(Fuel Moisture Stick)을 이용하여 지표물의 건조과정 예측법이 연구된 후 이를 기초로 1978년 NFDRS(National Fire Danger Rating System)를 개량하여 산불위험도 측정에 실용화하고 있고, 그 외 가연성 지표물의 연료습도 변화와 산불위험도에 관하여 연구된 바 있다.

* 정회원 · 강원대학교 방재전문대학원 · 박사과정 · E-mail: kg3333@kangwon.ac.kr

** 정회원 · 강원대학교 방재전문대학원 · 조교수 · (교신저자) E-mail: lsy925@kangwon.ac.kr

*** 정회원 · 강원대학교 소방방재학부 · 조교수

우리나라의 경우 산불위험도에 관한 연구로서는 수종별, 영급별 지피물량과 임내의 기상 및 연료 습도 변화를 조사하여 산불위험도를 분석하였으며, 광릉 지역에서 측정된 습도측정봉 자료와 기상자료를 이용하여 산불위험예측식을 만들어 산불위험예보제를 개발한 바 있다.

따라서, 본 연구는 가을철 산불조심기간 중 영동지방 활엽수림에 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 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 조사지 및 조사방법

연구 대상지역은 표 1과 같이 강원도 삼척시에 분포한 활엽수림 중 임분 밀도가 소임분, 중임분, 밀임분 지역을 선정하여 2009년 가을철 산불조심 기간 중 강우 후 임내 연료 습도 변화를 조사하였다. 조사기준은 누적강우량이 5.0 mm 이상 내린 날을 기준으로 강우 후 익일부터 6일간 조사하고, 가을철 조사 기간 중 표 2와 같이 2회에 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

임분 밀도	임황인자					지황인자				낙엽 및 부식층 두께(cm)		
	수종	평균수 고 (m)	평균흉고 직경(cm)	울폐도 (%)	임목 본수 (ha)	해발 (m)	사면향 방위	측정 위치	평균경 사	낙엽층	부식층	계
소	떡갈나무	1.7	5.3	20	500	27	S20E	산록	13°	1.0	1.8	2.8
중	굴참나무	6.7	11.3	60	1700	38	S30E	산록	11°	2.1	2.8	4.9
밀	굴참나무	7.2	12.2	70	2000	40	S20W	산록	9°	2.2	3.0	5.2

표 2. 연료습도 실측기간

구분 일시	강우일	실측기간	누적강우량
1차 조사	'09년 11월 10일 - 11월 13일	11월 14일 - 11월 19일	30.5 mm
2차 조사	'09년 11월 28일 - 11월 30일	12월 1일 - 12월 6일	41.0 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.

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

여기서 FMC 는 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 2회에 걸쳐 측정된 6일간의 연료습도를 종속변수로 동일한 시간대에 측정된 기상인자인 조도, 풍속, 상대습도, 임분밀도(소, 중, 밀), 강우의일 후 경과일수를 독립변수로 하여 통계분석을 실시하였다.

종속변수인 연료습도는 조사구별 상, 중, 하 위치에서 측정된 연료습도를 사용하였으며, 독립변수인 상대습도는 강우 4일전 습도와 조사당일 습도까지 5일간의 습도를 실효습도로 변환하여 사용하였으며, 실효습도란 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 경과일 수별로 임분밀도는 더미변수를 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 이 임분밀도가 연료습도에 미치는 영향을 회귀모형으로 분석하였으며, 회귀모형식은 식(3)과 같다.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 D1X_4 \quad (3)$$

여기서 $\hat{Y} = FMC$ 의 추정치, X_4 = 임분밀도로 소임분, 중임분, 밀임분 세 집단을 가지고 있으므로, 더미변수의 개수는 두 개가 된다. 따라서, 분석될 회귀모형은 식(4)와 같이 하였다.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 D1X_4 + D2X_4 \quad (4)$$

여기서 X_4 가 소임분이면, $D1X_4 = 1$, $D2X_4 = 0$ 으로 할당하고, X_4 가 중임분이면,

$D1X4 = 0$, $D2X4 = 1$ 로 할당하고, $X4$ 가 밀입분이면, $D1X4 = 0$, $D2X4 = 0$ 을 사용하여 회귀분석을 실시하였다. 이와같은 방법으로 통계분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 연료습도 예측 모델 개발

표 3은 SPSS 통계프로그램을 이용하여 2회에 걸쳐 측정된 각각의 입분별 강우 익일 후 6일간의 측정된 연료습도를 독립변수로 조사당일 기상인자인 실효습도, 풍속, 조도, 경과일수를 종속변수로 사용하여 개발한 예측식이다. 다만, 관련인자 중 풍속의 경우 경과일수에 따른 연료습도 변화의 상관분석결과 상관성이 적은 것으로 조사되어 제외하였고, 입분별 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(유의 확률 = 0.00 < 0.05), 총변동에 대한 설명력은 90.1%, 87.9%, 75.4%, 80.4% 였다.

표 3. 통계분석에 의한 연료습도 예측식

0.6cm 이하	$FMC=1.780+0.009*\text{Log}_{10}(\text{EH})-0.062*\text{Log}_{10}(\text{ALUX})-0.176*(\text{L})-0.119*(\text{M})-0.599*\text{Log}_{10}(\text{ED})$	($R^2=0.901$)
0.6~3.0 cm	$FMC=2.169-0.079*\text{Log}_{10}(\text{EH})-0.173*\text{Log}_{10}(\text{ALUX})-0.07*(\text{L})-0.065*(\text{M})-0.499*\text{Log}_{10}(\text{ED})$	($R^2=0.879$)
3.0~6.0 cm	$FMC=2.357+0.056*\text{Log}_{10}(\text{EH})-0.343*\text{Log}_{10}(\text{ALUX})+0.0463*(\text{L})-0.054*(\text{M})-0.223*\text{Log}_{10}(\text{ED})$	($R^2=0.754$)
6.0cm 이상	$FMC=1.904-0.091*\text{Log}_{10}(\text{EH})-0.164*\text{Log}_{10}(\text{ALUX})-0.164*(\text{L})-0.042*(\text{M})-0.181*\text{Log}_{10}(\text{ED})$	($R^2=0.804$)

*법례: FMC=연료습도(%), $\text{log}_{10}(\text{EH})$ =실효습도(%), $\text{log}_{10}(\text{ALUX})$ =누적조도, $\text{log}_{10}(\text{ED})$ =경과일수(일), L=소, M=중

4. 결론

- 1) SPSS 통계프로그램을 이용하여 입분별 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 0.75~0.90의 적합성을 나타내었다
- 2) 향후 강우 후 기상자료를 이용하여 입내 연료습도를 예측하여 산불위험예보로 활용하는데 매우 유용한 자료로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 S210809L010130)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

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(산불분야저자), (2002). 산림환경보전학, 향문사, pp. 34-70.
6. 日本 森林保存研究會. (1983). 森林災害の見方, pp. 13-97.
7. 정연하 · 이시영 · 염육철 · 여운홍. (1989). 산화위험을 예측에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 38:117-123.
8. 채희문. (2003). 산림미세연료에 의한 초기 산불확산에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교, pp. 10-91.
9. 손충기, 백영균, 박정환, (2007). 내가하는 통계분석 SPSS, 학지사, pp. 271-291.