

P-21

영동지역 봄철 산불기간 중 소나무림 지표연료의 임내 연료습도변화 예측

Prediction of fuel moisture change on pinus densiflora surface fuels after
rainfall in East sea region.

이시영* · 이명욱** · 권춘근¹ · 염찬호¹ · 이해평^{***}

Si-Young Lee¹, Myung-Woog Lee^{**}, Chun-Geun Kwon^{***}, Chan Ho Yeom^{***}, Hae-Pyeong Lee^{****}

Abstract

This study is the result between the variation of fuel moisture and the risk of forest fire through measuring the change of moisture containing ratio on-site and its average analysis for each diameter of surface dead fuels in the forest. The measurement was performed on six days from the day after a rainfall. The fuel moisture on-site was measured on the day when the accumulated rainfall was above 5.0mm, and the measurements was 2 times in spring.

From the pine forest which were distributed around Samcheok and Donghae in Kangwondo, three regions were selected by loose, medium, and dense forest density, and the fuel moisture was measured on the ranges which are less than 0.6cm, 0.6-3.0cm, 3.0-6.0cm, and more than 6.0cm in the forest for six days from the day after a rainfall.

The study showed that the moisture containing ratio converged on 3 - 4 days for surface deads fuels which diameter are less than 3.0cm and the convergence was made more than six days for ones which diameters are more than 3.0cm except the surface dead fuel of 3.0-6.0cm diameter of loose forest density.

Key words : Forest fire, Fuel moisture contents, Surface deads fuels,

1. 서 론

우리나라 산불은 봄철 산불 조심기간중 매년 전국 산불 발생건수의 약 60%가 발생되고 있다. 특히, 강원도 영동지방의 경우 30ha이상의 대형산불 37건 중 46%인 17건이 이 기간중에 발생하였으며, 이는 봄철 중국 대륙에서 불어오는 편서풍이 태백산맥을 넘으며 발생하는 쾨(foehn)현상에 의해 산림연료가 건조해져 산불이 대형화되는 것으로 알려져 있다. 산림연료의 수분 함량은 산불의 발생 및 강도 그리고 확산속도에 영향을 미치게 되는 중요한 인자로서 정확한 산림연료의 수분함량을 예측 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(Deeming, 1977) 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(Fosberg et al., 1977).

우리나라의 경우 산불위험도에 관한 연구로서는 수종별, 영급별 지표물량과 임내의 기상 및 연료 습도 변

* 정회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 조교수: E-mail: lsy925@kangwon.ac.kr

** 정회원 · 한중대학교 토목환경공학과 · 조교수
* 학생회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 석사과정
* 학생회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 석사과정

*** 정회원 · 강원대학교 소방방재학부 · 조교수

화를 조사하여 산불위험도를 분석하였으며(정연하 등, 1989), 광릉 지역에서 측정된 습도측정봉 자료와 기상 자료를 이용하여 산불위험예측식을 만들어 산불위험예보제를 개발한 바 있다(이시영, 1995).

그러나, 강우 후 일정기간 임내의 지피물을 직접 채취하여 함수비를 측정하고 기상인자를 고려하여 연료 습도를 예측하는 연구는 거의 시도된 바가 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 봄철 영동지방 소나무림 지역에 대하여 강우 후 일정기간 연료습도변화를 실측하는 한편, 기상인자를 고려하여 통계분석을 실시하여 그 결과를 토대로 산불발생위험도와와의 관계를 분석하여 산불방지의 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험내용 및 방법

봄철 산불조심 기간 중 누적강우량이 6.5 mm인 '07년 3월 4일 익일부터 6일간, 누적강우량이 10.5mm인 '07년 4월 17일 익일부터 6일간 강원도 삼척시와 동해시에 위치한 소나무림 중 임분 밀도가 소, 중, 밀 지역을 선정하여 임내 지표연료를 직경별 0.6cm 이하, 0.6~3cm, 3~6cm, 6cm 이상에 대하여 강우 후 경과일수별 연료습도 변화를 매일 10시 동일한 시간대에 측정하였다.

시험구 크기는 각각의 임분에 대하여 10m×10m의 조사구를 선정된 후 각 조사구의 3방향(상, 중, 하)에서 0.2×0.2m의 소조사 plot을 선정된 후 시료를 매일 일정량의 샘플을 채취하여 24시간동안 105℃에서 건조시킨 후 무게를 측정하여 함수비를 분석하였고, 시료채취 당시의 동일한 시간대에 온도, 상대습도, 풍속, 조도를 측정하였다. 강우후 6일간의 직경별 연료습도의 함수비 자료와 동일한 시간대의 기상자료를 이용하여 통계프로그램인 SPSS를 이용하여 6일간 측정된 평균 함수비를 종속변수로 기상인자인 조도, 풍속, 강우 후 경과일수, 실효습도를 독립변수로 하여 통계분석을 실시하였다. <표 1>에는 본 연구의 연료습도 조사지의 임황 및 지황인자를 나타내었다.

<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

3. 결과 및 고찰

3.1 조사지의 기상인자 및 통계분석 결과

<표 2>는 각각의 조사지의 기상인자로 임분별로 강우종료 후 측정된 6일간의 상대습도, 풍속, 조도의 자료이다. <표 2>에서는 소나무림 소, 중, 밀 지역에서 편의 상 조사기간 중 2회 측정된 기상요소의 일부만 기재하였다. 한편, <표 3>은 '07년 3월과 4월 2차례 내린 강우 후 6일간 측정된 임내의 연료습도 자료와 기상인자와의 관계를 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 산정한 임분별 연료습도 예측식이다.

<표 2> 임분별 조사지의 일별 기상인자

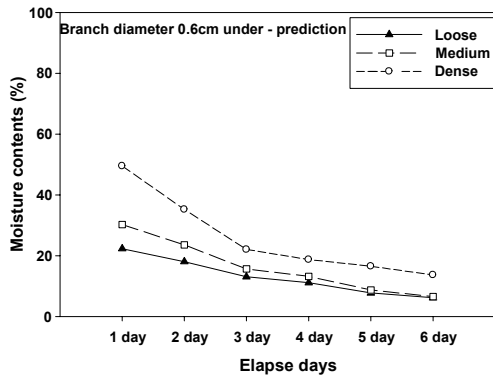
기간	소		중		밀	
	1일자	3월5일	4월18일	3월5일	4월18일	3월5일
온도(℃)	6.7	11.4	6.0	10.4	6.2	10.8
습도(%)	33.7	41.9	35.9	55.8	36.5	53.3
풍속(m/s)	3.2	0.9	0.8	2.0	1.3	0.5
조도(lux)	522 ^{*100}	795 ^{*100}	68.8 ^{*100}	89.6 ^{*100}	53.8 ^{*100}	83.0 ^{*100}
풍향	북서	북서	북동	북동	북서	북서
6일자	3월10일	4월23일	3월10일	4월23일	3월10일	4월23일
온도(℃)	10.8	13.1	11.2	13.5	9.4	12.3
습도(%)	16.2	31.3	19.8	46.2	19.5	36.9
풍속(m/s)	1.9	0.8	0.8	0.7	1.5	0.9
조도(lux)	690 ^{*100}	236 ^{*100}	42.9 ^{*100}	83.2 ^{*100}	39.3 ^{*100}	61.2 ^{*100}
풍향	북서	북동	북서	북서	북동	북서

<표 3> 기상인자를 이용한 소나무 임내 지표연료의 연료습도예측식

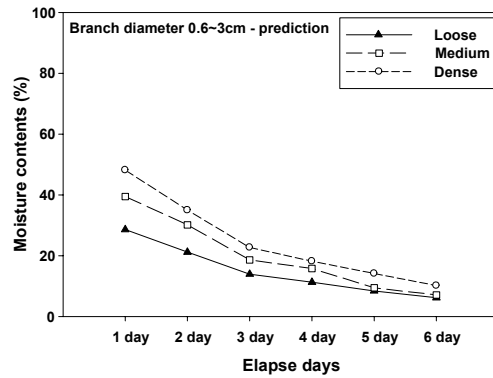
연료두께 0.6cm 이하	소	$FMC = 9.847 + 0.002996*(ALUX) - 2.973*(WS) - 2.686*(ED) + 0.350(EH)$	$(R^2=0.76)$
	중	$FMC = 5.675 + 0.007672*(ALUX) - 3.387*(WS) - 4.857*(ED) + 0.569(EH)$	$(R^2=0.79)$
	밀	$FMC = -14.485 + 0.01298*(ALUX) - 0.290*(WS) - 5.589*(ED) + 1.12(EH)$	$(R^2=0.79)$
연료두께 0.6~3cm	소	$FMC = 2.036 + 0.005162*(ALUX) - 1.773*(WS) - 3.344*(ED) + 0.55(EH)$	$(R^2=0.82)$
	중	$FMC = 0.121 + 0.0126*(ALUX) - 5.617*(WS) - 7.072*(ED) + 0.898(EH)$	$(R^2=0.78)$
	밀	$FMC = 0.906 + 0.008044*(ALUX) - 1.671*(WS) - 5.343*(ED) + 0.923(EH)$	$(R^2=0.81)$
연료두께 3~6cm	소	$FMC = 22.004 - 0.0026*(ALUX) + 1.23*(WS) - 1.687*(ED) + 0.177(EH)$	$(R^2=0.71)$
	중	$FMC = 92.857 - 0.012*(ALUX) - 2.195*(WS) - 7.01*(ED) - 0.903(EH)$	$(R^2=0.71)$
	밀	$FMC = 103.555 - 0.0078*(ALUX) - 8.069*(WS) - 8.59*(ED) - 0.369(EH)$	$(R^2=0.71)$
연료두께 6cm 이상	소	$FMC = 21.651 + 0.01854*(ALUX) + 4.090*(WS) - 7.696*(ED) + 0.807(EH)$	$(R^2=0.89)$
	중	$FMC = 84.613 + 0.001578*(ALUX) + 0.723*(WS) - 2.647*(ED) + 0.166(EH)$	$(R^2=0.50)$
	밀	$FMC = 163.983 - 0.0083*(ALUX) - 0.475*(WS) - 8.39*(ED) - 1.022(EH)$	$(R^2=0.40)$

*범례: FMC=연료습도(%), ALUX=누적조도(Lux), WS=풍속(m/s), ED=경과일수(일), EH=실효습도(%)

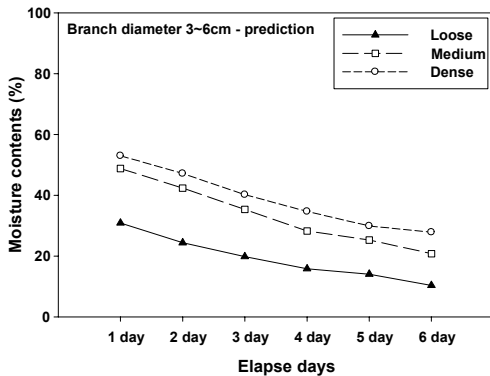
3.2 강우후 소나무 임분밀도별 연료습도 변화 분석



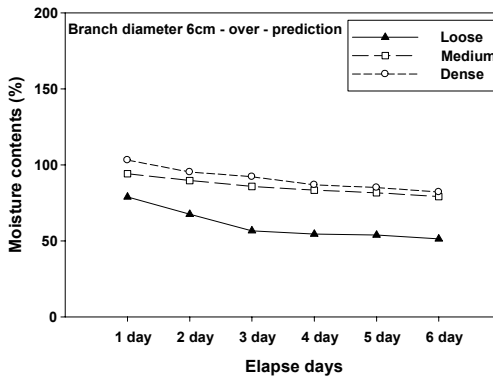
<그림 1> 직경 0.6cm 이하 지표연료 함수비 변화



<그림 2> 직경 0.6~3cm의 지표연료 함수비 변화



<그림 3> 직경 3~6cm의 지표연료 함수비 변화



<그림 4> 직경 6cm 이상 지표연료 함수비 변화

'07년 3월과 4월 2차례 내린 강우 후 6일간 측정된 임내의 연료습도 자료와 기상인자와의 관계를 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 분석한 결과인 <표 3>을 사용하여 지표연료 직경별 임분별 연료습도 변화를 <그림 1> - <그림 4>에 나타내었다.

통계분석결과 <그림 1>, <그림 2>의 직경 3.0cm 이하의 지표연료의 임분별로 차이는 있으나 강우 익일 후 3 - 4일 경과후에 연료습도가 약 17% 이하로 떨어져 산불의 위험성이 시작되는 것으로 분석되었으며, <그림 3>의 지표연료 직경 3.0cm - 6.0cm의 소임분의 경우에도 직경 3.0cm 이하의 지표연료와 마찬가지로 강우 익일 후 4일이 경과된 후에 연료습도가 약 17% 이하로 떨어져 산불의 위험성이 시작되는 것으로 분석되었다.

지표연료 직경 3.0cm - 6.0cm인 <그림 3>의 중, 밀임분의 경우 연료습도 감소기울기는 직경 3.0cm 이하의 지표연료의 연료습도 감소기울기에 비해 완만함을 보이고 있으며, 6일이 경과하여도 산불의 위험성이 시작되는 함수비인 17% 이하로 떨어지지 않고 있음을 나타내고 있다.

<그림 4>의 직경 6.0cm 이상의 지표연료의 경우 소임분의 연료습도가 감소하는 경향은 직경 3.0cm 이하의 지표연료와 유사한 경향을 보이고 있으나 강우 익일 후 6일이 경과한 후에도 산불의 위험성이 시작되는 함수비인 17% 이하로 떨어지지 않음을 보이고 있으며 중, 밀임분의 경우는 초기 함수비와 6일후의 함수비의 변화가 거의 없는 것으로 분석되었다.

<그림 1> - <그림 4>의 결과에 의하면 직경 3.0cm 이하의 지표연료는 강우 후 맑은 날씨가 지속될 경우 3 - 4일 후면 연료습도가 약 17% 이하로 떨어져 산불의 위험성이 시작되는 것으로 분석되었으며, 지표연료의 직경이 3.0cm 이상의 지표연료는 강우 후 상당기간 연료습도가 17% 이상의 함수비를 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

- 1) '07년 3월과 4월 2차례 내린 강우 후 6일간 측정된 임내의 연료습도 자료와 기상인자와의 관계를 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 분석한 결과 직경 3.0cm이하의 지표연료는 임분별로 차이는 있으나 강우 익일 후 3 - 4일 경과 후에 연료습도가 약 17% 이하로 떨어져 산불의 위험성이 시작되는 것으로 분석되었다.
- 2) 직경 3.0cm 이상의 지표연료의 경우 직경 3.0cm - 6.0cm 이하의 소임분을 제외하고는 지표연료의 연료습도 감소는 강우 익일 후 6일이 경과하여도 산불의 위험성이 시작되는 함수비인 17% 이하로 떨어지지 않고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Deeming, J.E. & R.E. Burgan & J.D. Cohen. 1977. The national fire-danger rating system-1978. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT 39:1-63.
2. Fosberg, M.A. 1977. Forecasting the 10-Hour Timelag Fuel Moisture. USDA For. Serv. Res. Pap. RM-187:1-10.
3. 정연하 · 이시영 · 염육철 · 여운홍. 1989. 산화위험을 예측에 관한 연구. 임업연구원 연구보고38:117-123.
4. 이시영. 1990. 환경인자가 산불의 온도 및 진행속도에 미치는 영향. 동국대학교 대학원 석사학위논문:44pp.
5. 이시영. 1995. 산불발생 위험도 및 연소확대 요인 분석에 관한 연구. 동국대학교 대학원박사학위논문:104pp.
6. 이시영외. 2002. 삼림환경보전학. 향문사:34-70.