

P-25

영동지역 봄철 산불기간 중 소나무림에서의 강우 후 임내 연료습도 변화 예측

이시영·채희문*·이명욱**·권춘근·염찬호

강원대학교 방재기술전문대학원, 강원도 자연환경연구사업소*, 한중대학교 토목환경공학과**

Prediction of fuel moisture contents after precipitation in the pine tree stand during forest fire period in the east sea region.

Si-Young Lee, Hee Mun Chae*, Myung-Woog Lee**, Chun-Geun Kwon, Chan Ho Yeom,
Professional Graduate School of Disaster Prevention Technology, Kangwon National University.
*Natural & Environmental Research Branch of Gangwon-Do.

**Department of Civil & Environmental engineering, Hanzhong University.

1. 서론

우리나라 산불은 대부분은 봄철 산불 조심기간(2월 15일부터 5월 15일까지)에 발생하고 있으며, 이 기간동안의 산불 발생건수는 매년 전국 산불 발생건수의 약 60%를 차지하고 있다. 특히, 산림청 통계에 따르면 '02-'05년 기간 중 강원도 영동지방의 경우 30ha이상의 대형산불 37건 중 46%인 17건이 발생하였으며, 이는 봄철 중국대륙에서 불어오는 편서풍이 태백산맥을 넘으면서 쉼(foehn)현상을 일으켜 고온 건조한 바람으로 바뀌면서 산림연료가 건조해져 대형화되는 것으로 알려져 있다.

특히, 산림연료의 수분 함량은 산불의 발생 및 강도 그리고 확산속도에 영향을 미치게 되는 중요한 인자로서 수분함량이 높은 경우 산불발생확률이 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 Deeming(1977)¹⁾은 Ponderosa 소나무로 만든 연료습도측정봉(Fuel Moisture Stick)을 이용하여 지피물의 건조과정 예측법을 발표한 후 이를 기초로 1978년 NFDRS(National Fire Danger Rating System)를 개량하여 산불위험도 측정에 실용화하고 있고, Fosberg et al., (1977)²⁾는 가연성 지피물의 연료습도 변화와 산불위험도에 관하여 연구한 바 있다.

우리나라의 경우 산불위험도에 관한 연구로서는 정연하 등(1989)³⁾이 수종별, 영급별 지피물량과 임내의 기상 및 연료 습도 변화를 조사하여 산불위험도를 분석하였으며, 이시영(1995)⁴⁾은 광릉 지역에서 측정된 습도측정봉 자료와 기상자료를 이용하여 산불위험예측식을 만들어 산불위험예보제를 개발한 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 봄철 영동지방 소나무림지역에서 강우후 연료습도변화와 산불발생위험도와의 관계를 분석하여 산불방지의 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험내용 및 방법

봄철 산불조심 기간 중 누적강우량이 6.5 mm 내린 날인 '07년 3월 4일 익일부터 6일간(3월5일-3월10일)과 누적강우량이 10.5mm 내린 날인 4월 17일 익일부터 6일간(4월18일-4월23일) 강원도

삼척시와 동해시에 분포한 소나무림 중 임분 밀도가 소, 중, 밀 지역을 임의로 선정하여 임내 낙엽층, 부식층 및 토양단면<토양상층(1층):0-5cm, 토양하층(2층):5-10cm>에 대한 강우 후 경과일 수별 연료습도 변화를 매일 10시 동일한 시간대에 측정하였다.

시험구 크기는 각각의 임분에 대하여 10m×10m의 조사구를 선정한 후 각 조사구의 3방향(상, 중, 하)에서 0.2 × 0.2 m의 소 조사 plot를 선정한 후 매일 일정량의 Sample 시료를 Vinyl 봉지에 채취하여 실험실로 옮긴 후 Dry oven에 24시간동안 105℃에서 건조시킨 후 무게를 측정하여 함수비를 분석하였고, 시료채취 당시의 동일한 시간대에 온도, 상대습도, 풍속, 조도를 측정하였다.

또한, SPSS 통계프로그램을 이용하여 6일간 측정된 함수비를 종속변수로 기상인자인 누적조도, 풍속, 강우 후 경과일수, 실효습도를 독립변수로 하여 통계분석을 실시하였다. 표 1은 조사지의 임황 및 지황인자를 나타낸 것이다.

<표 1> 조사지의 임황 및 지황인자

구분	임황인자					지황인자				낙엽 및 부식층 두께(cm)		
	수종	평균수고(m)	평균흉고 직경(cm)	유효도(%)	임목 분수(100m ² 당)	해발(m)	사면향 방위	측정 위치	평균 경사	낙엽층	부식층	계
소	소나무	7.0	23.5	20	4	94	S40W	산록	23°	1.3	2.3	3.6
중	소나무	10.70	18.93	60	14	20	S30W	산록	14°	1.7	3.5	5.2
밀	소나무	12.72	16.26	70	25	48	S30E	산록	7°	2.5	3.0	5.5

3. 결과 및 고찰

3.1 조사지의 기상인자

<표 2>는 각 조사지의 기상인자로 임분별로 강우종료 후 측정된 6일간의 상대습도, 풍속, 조도의 자료이다. 이 표에서는 소나무 소중밀 지역에서 편의 상 조사기간 중 2회 측정된 기상요소의 일부만 기재하였다. 표에서와 같이 밀도별로 1일차와 6일차에서 습도와 풍속은 약간의 차를 보여주지만 조도의 경우는 다소 많은 차이를 보여주고 있다.

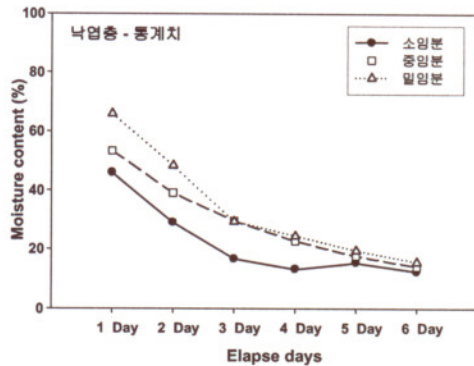
<표 2> 임분별 조사지의 일별 기상인자

기간 \ 밀도	소		중		밀	
	3월5일	4월18일	3월5일	4월18일	3월5일	4월18일
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
6일차	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

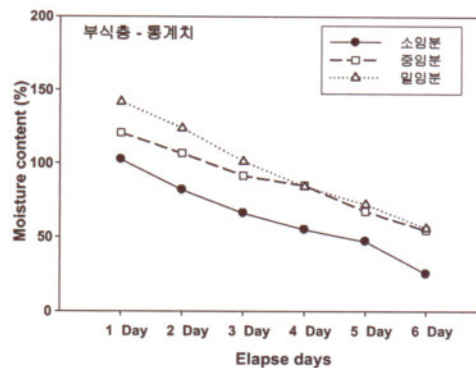
3.2 강우 후 소나무 임분 밀도별 연료습도 변화 분석

3월 강우 6.5mm와 4월 강우 10.5mm 2차례 내린 강우 후 연료습도 자료를 통합하여 기상인자와의 관계를 분석한 결과는 그림 1, 2, 3, 4에 나타난 바와 같다. 그림 1의 강우 익일 낙엽의 연료습도는 밀임분 경우 66%, 중임분 53%, 소임분 46%를 나타내다 소임분 경우는 3일차 되는 날 약 17%로 떨어져 산불의 위험성이 다소 시작되었으나 중, 밀임분의 경우는 5일차(18~19%)이상 되어야 산불위험성이 나타나는 것으로 분석되었다.

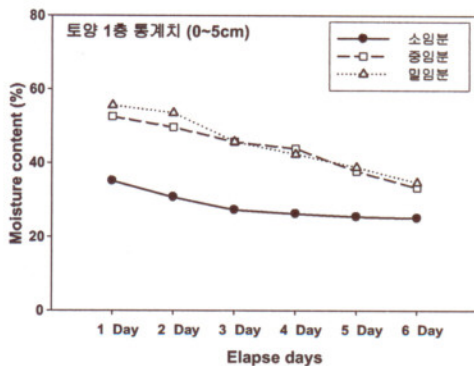
또한, 그림 2에서와 같이 부식층의 경우 연료습도는 강우 익일 소,중,밀 임분 공히 102~142%를 나타내다 6일차가 되어도 소임분의 경우 25%, 중, 밀임분의 경우 54~55%로 나타나 산불 초기발화의 위험성은 낮은 것으로 판단되었다. 그리고 그림3, 4의 토양층의 경우는 소임분 토양 1층인 상층의 경우만 중, 밀임분과 차이가 나타나 토양2층의 경우는 임분밀도와의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한, 토양 1층의 경우 표토 층으로 임내 기상요소에 영향을 받고 있으나 토양 2층의 경우는 표토로부터 5cm 아래에 위치하고 있어 임내 기상요소에 크게 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다.



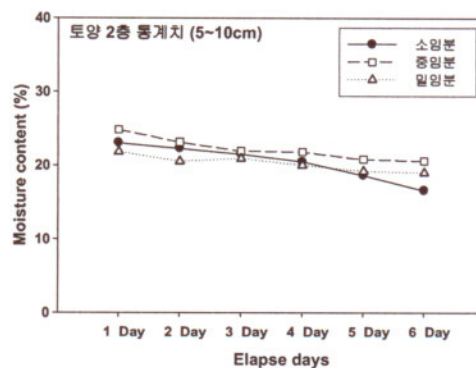
<그림 1> 낙엽층의 함수비 변화



<그림 2> 부식층의 함수비 변화



<그림 3> 토양 1층의 함수비 변화



<그림 4> 토양 2층의 함수비 변화

<표 3> 기상인자를 이용한 소나무 임내연료 연료습도예측식

낙엽층	소	$FMC = -29.291 - 0.007843*(ALUX) + 4.162*(WS) - 2.073*(ED) + 1.156(EH)$	$(R^2=0.878)$
	중	$FMC = -21.181 + 2.495*(ALUX) - 0.08484*(WS) + 2409*(ED) + 0.573(EH)$	$(R^2=0.804)$
	밀	$FMC = -3.456 + 4.492*(ALUX) - 0.05887*(WS) - 0.0877*(ED) + 1.217(EH)$	$(R^2=0.746)$
부식층	소	$FMC = 67.285 - 0.0125*(ALUX) - 5.587*(WS) - 1.785*(ED) + 1.031(EH)$	$(R^2=0.738)$
	중	$FMC = 42.603 + 6.039*(ALUX) + 0.463*(WS) - 40.672*(ED) + 1.281(EH)$	$(R^2=0.780)$
	밀	$FMC = 164.919 - 4.368*(ALUX) - 0.298*(WS) - 2.367*(ED) + 0.06034(EH)$	$(R^2=0.749)$
토양1층	소	$FMC = 18.158 - 0.002213*(ALUX) - 2.759*(WS) + 1.227*(ED) + 0.415(EH)$	$(R^2=0.515)$
	중	$FMC = 49.635 + 0.654*(ALUX) + 0.0833*(WS) - 9.685*(ED) + 0.08837(EH)$	$(R^2=0.573)$
	밀	$FMC = 63.328 + 2.794*(ALUX) - 0.103*(WS) + 0.161*(ED) - 0.05987(EH)$	$(R^2=0.533)$
토양2층	소	$FMC = 41.832 - 0.006431*(ALUX) - 0.763*(WS) - 0.04835*(ED) - 0.258(EH)$	$(R^2=0.460)$
	중	$FMC = 15.681 + 0.552*(ALUX) + 0.01198*(WS) - 0.852*(ED) + 0.144(EH)$	$(R^2=0.455)$
	밀	$FMC = 14.795 - 2.01*(ALUX) - 0.08574*(WS) - 3.719*(ED) + 0.108(EH)$	$(R^2=0.492)$

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

4. 결론

- 1) 강우(3월 6.5mm와 4월 10.5mm)후 연료습도와 기상인자와의 관계를 분석한 결과 강우 익일 낙엽의 연료습도는 밀입분 경우 66%, 중입분 53%, 소입분 46%를 나타내다 소입분 경우는 3일차 되는 날 약17%로 떨어져 산불의 위험성이 다소 시작되었으나 중, 밀입분의 경우는 5일차(18~19%)이상 되어야 산불위험성이 나타났다.
- 2) 부식층의 경우 연료습도는 강우 익일 소,중,밀 입분 공히 102~142%를 나타내다 6일차가 되어도 소입분의 경우 25%, 중, 밀입분의 경우 54~55%로 나타나 산불 초기발화의 위험성은 낮은 것으로 판단되었다.
- 3) 토양층 1층의 경우 표토 층으로 임내 기상요소에 영향을 받고 있으나, 토양 2층의 경우는 표토로부터 5cm 아래에 위치하고 있어 임내 기상요소에 크게 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다.

5. 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 연구보고 38:117-123.
4. 이시영. 1995. 산불발생 위험도 및 연소확대 요인 분석에 관한 연구. 동국대학교 대학원 박사학위논문:104pp.
5. 이시영외. 2002. 삼림환경보전학. 향문사:34-70.