

## 영동지역 봄철 소나무림에서 연료습도변화 예측모델 개발 (낙엽 및 토양습도를 중심으로)

### Development of Prediction Model of Fuel Moisture Changes in the Spring for the Pine Forest Located the Yeongdong Region (Focused on the Fallen Leaves and Soil Moisture Level)

이시영 · 권춘근<sup>†</sup> · 이명욱\* · 이해평\*\* · 차주영\*\*\*

Si-Young Lee · Chun-Geun Kwon<sup>†</sup> · Myung-Woog Lee\* ·  
Hae-Pyeong Lee\*\* · Joo Young Cha\*\*\*

강원대학교 방재전문대학원, \*한중대학교 공학부, \*\*강원대학교 소방방재학부,  
\*\*\*북해도대학 북방생물권필드과학센터  
(2010. 1. 15. 접수/2010. 4. 9. 채택)

#### 요 약

강우 후 경과일수에 따른 연료습도 변화는 산불위험도 예측과 산불감시원 활용에 매우 중요하다. 따라서 이러한 산불위험 조건을 구명하기 위해 2007년 봄철 영동지방 소나무림에서 임분 밀도별로 5mm 이상 강우 후 낙엽층, 부식층, 토양층에 대한 산불위험도와 각 층에 대한 연료습도변화 예측모델을 개발하였다. 연구결과 소 임분 지역은 강우 3일 후부터, 중·밀임분 지역은 5일 후부터 산불발생 위험수준인 17% 정도의 연료 습도를 나타냈다. 반면, 부식층은 6일이 경과 되어도 30% 이상의 연료 습도를 나타냈으나, 토양 상·하층은 약간의 변화 또는 거의 변화가 없었다. 이러한 결과를 토대로 각 층위별 연료습도 변화 예측모델( $R^2 = 0.56\sim 0.87$ )을 개발하였으며, 2008년 동일기간의 강우 후 기상 실측자료를 적용하여 예측모델을 검증한 결과 1% 수준에서 유의성이 있음을 알 수 있었다.

#### ABSTRACT

The fuel moisture changes accompanying with the elapsed days after a rainfall is very important to predict the risk of forest fire and make a good use of forest fire guard. So, to investigate the conditions for the risk of forest fire, it was studied the risk of forest fire for fallen leaves level, rotten level, and soil level after more-than-5 mm-rainfall according to the different forest density of pine forests which were located in Yeong-dong region in the Spring of 2007. The result of the study showed that the around 17% of fuel moisture which was the risky level for forest fire was reached after three days of a rainfall in the coarse dense forest region and after five days in the medium or highly dense forest region. However, for the rotten level represents more than 30% of fuel moisture even after six days after the rainfall, and the lower and upper level of the soil represented a slight or almost no changes. Based on the result, the prediction model ( $R^2 = 0.56\sim 0.87$ ) for the change of fuel moisture was developed, and it was examined by applying to actual meteorological measurements in the same period of 2008. It showed a meaningful result of 1% level of distinction.

**Key words** : Forest fire, Fuel moisture, Forest density, Prediction model

#### 1. 서 론

산림청통계에 의하면 우리나라 산불은 주로 봄·가을철 산불조심기간에 발생하고 있으며, 특히 봄철 발

생건수는 매년 전국 산불 발생건수의 약 60%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있고, 특히 '02~'05년 전국에서 발생한 대형 산불 37건 중 17건인 46%가 영동지방에 집중되어 있으며, 이는 봄철 중국대륙에서 불어오는 편서풍이 태백산맥을 넘으면서 쉼(föhn)현상을 일으켜 영동지방의 산림구조를 산불에 건조한 취약한

<sup>†</sup>E-mail: kc3338@kangwon.ac.kr

상태로 만들기 때문이다.<sup>1)</sup>

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.<sup>2)</sup> 따라서 산림연료의 수분함량을 정확하게 예측하기 위해서는 산림 내 산림연료의 특성과 온도, 습도, 조도, 풍속, 강우량 등 기상조건과의 관계를 구명하는 것이 필요하다.

미국의 경우 Ponderosa 소나무로 만든 연료습도측정봉(Fuel Moisture Stick)을 이용하여 지피물의 건조과정 예측법을 개발한 후,<sup>3)</sup> 이 예측법을 기초로 1978년 NFDRS(National Fire Danger Rating System)부터 산불 위험도 측정에 실용화하고 있으며, 이외에도 가연성 지피물의 연료습도 변화와 산불위험도에 관하여 연구가 진행된 바 있다.<sup>4)</sup> 특히, 산림 내에 축적되어 있는 고사한 산림연료는 산불의 잠재성에 대단히 중요한 역할을 하며 산불 발생과 연료의 수분 함량에 관계에 있어서 수분 함량의 증가는 연료를 발화시키기 위한 보다 많은 에너지가 필요하므로,<sup>5,6)</sup> 어떤 임지에서 연료의 수분 함량은 연료의 구조와 량에 의존하며(고사한 연료/생존 연료의 비율, 밀집율(compactness), 공극율(porosity), 연료의 크기, 기후조건(강우, 상대습도, 온도)

과 관련이 많은 것으로 보고되었다.<sup>7)</sup>

국내에서는 수종별, 영급별 지피물량과 임내의 기상 및 연료습도 변화를 조사하여 산불위험도를 분석하였으며,<sup>8)</sup> 광릉 지역에서 측정한 습도측정봉 자료와 기상 자료를 이용하여 산불위험예측식을 만들어 산불위험예보제를 개발한 바 있다.<sup>9)</sup>

그러나, 강우 후 임내의 낙엽층, 부식층, 토양층에 대한 연료습도 변화를 실측하여 산불발생 위험도와와의 관계를 연구한 것은 매우 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 봄철 산불조심기간 중 영동지방 소나무림에서 임분 밀도별로 강우 후 낙엽층, 부식층, 토양층에 대한 습도변화를 실측하는 한편, 기상인자와의 관계를 분석하여 강우 후 연료습도변화 예측모델을 개발하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 조사지 및 조사방법

본 연구는 2007년 봄철 산불조심 기간 중 Table 1과 같이 강원도 삼척시와 동해시에 분포한 소나무림 중 임분 밀도가 소, 중, 밀인 지역을 선정 후 강우 후 연료습도 변화를 조사하였다.<sup>10)</sup> 조사 기준은 누적강우량이 5.0mm 이상 내린 날을 기준으로<sup>11)</sup> 강우 후 익일

**Table 1.** Stand Investigation and Site Investigation in the Survey Site

Item	Stand Investigation					Site Investigation					Fallen Leaves and Humus Layer Thickness (cm)		
	Species	Average Height (m)	Average DBH (cm)	Degree of Closure (%)	Trees (ha)	Altitude (m)	Direction	Survey Location	Average Slope (°)	GPS	Fallen Leaves Layer	Humus Layer	Total
Loose	Pinus Densiflora	7.0	23.5	20	400	94	S40W	bottom	23	N 37° 30' 04.6" E 129° 05' 34.7"	1.3	2.3	3.6
Medium	Pinus Densiflora	10.70	18.93	60	1400	20	S30W	bottom	14	N 37° 27' 35.7" E 129° 09' 22.2"	1.7	3.5	5.2
Dense	Pinus Densiflora	12.72	16.26	70	2500	48	S30E	bottom	7	N 37° 29' 21.7" E 129° 06' 16.6"	2.5	3.0	5.5

**Table 2.** Survey Period of Fuel Moisture

Investigation	Item	Duration of Rainfall	Survey Period	Accumulation Rainfall
First Investigation		'07 March 4	'07 March 5~March 10	6.5 mm
Second Investigation		'07 March 28-April 1	'07 April 2~April 7	62.5 mm
Third Investigation		'07 April 17	'07 April 18~April 23	10.5 mm
Fourth Investigation		'07 May 1	'07 May 2~May 7	18.5 mm

부터 6일간 Table 2와 같이 4회에 걸쳐 조사하였다.

조사구의 크기는 각각의 임분에 대하여 10m × 10m로 하였으며, 시료채취는 조사구내 0.2m × 0.2m 크기의 소조사 plot 3(상, 중, 하) 곳을 설정하여, 낙엽층, 부식층 및 토양상층(0~5cm), 토양하층(5~10cm)에 대하여 매일 동일 시간대인 10시에 vinyl 지퍼백에 샘플을 채취하여 무게를 측정 한 후 실험실로 운반하였다.

또한, 시료채취와 동일한 시간대에 기상측정 장비인 Kestrel 4000을 사용하여 온도, 상대습도, 풍속을 측정하였고, 조도의 경우는 INS DX-200 장비를 사용하여 측정하였다.

2.2 분석방법

2.2.1 연료습도 변화 분석

현장에서 채취한 낙엽층, 부식층 및 토양상층(0~5cm), 토양하층(5~10cm)의 시료를 실험실로 운반 후 105°C, 24시간 동안 Dry-oven에서 건조시킨 후<sup>12)</sup> 무게를 측정하여 연료습도 (Fuel Moisture Contents, FMC)를 산정한 후 강우 후 임분밀도별, 층위별 연료습도변화를 비교 분석하였다. 다음의 (1)은 연료습도 분석에 사용된 식을 나타낸 것이다.

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

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

2.2.2 연료습도변화 예측모델 개발 및 검증

연료습도변화 예측모델 개발을 위하여 4회에 걸쳐 측정 한 6일간의 연료습도를 종속변수로, 동일한 시간대에 측정 한 기상요소인 조도, 풍속, 상대습도, 실효습

도, 임분밀도(소, 중, 밀), 강우의일 후 경과일수를 독립변수로 하여 SPSS 통계분석을 실시하였다.<sup>13)</sup>

특히, 기상요소의 경우 풍속은 조사당시의 풍속을, 조도는 조사 당일부터 누적된 조도를, 경과일수는 강우 종료 후 경과일수별로, 임분밀도는 더미변수를 이용하여 회귀분석을 실시하였으며, 기본 회귀모형 식은 다음 (2)와 같다.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 D1X4 \quad (2)$$

여기서  $\hat{Y}$  = FMC의 추정치, X4 = 임분밀도로서 본 연구에서는 소임분, 중임분, 밀임분 등 세 집단을 가지므로, 더미변수를 두 개로 하였고, 따라서 분석에 사용할 회귀모형은 다음 식 (3)과 같다.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 D1X4 + D2X4 \quad (3)$$

또한, 추정식에서 X4가 소임분이면  $D1X4 = 1$ ,  $D2X4 = 0$ 로 할당하고, X4가 중임분이면  $D1X4 = 0$ ,  $D2X4 = 1$ 로 할당하였고, X4가 밀임분 이면,  $D1X4 = 0$ ,  $D2X4 = 0$ 로 정하여 회귀분석을 실시하였다. 이와 같은 방법으로 개발한 회귀식의 검정을 위하여 2008년 봄철 산불 조심기간 중 누적강우량이 13.0mm 내린 날인 3월 14일 익일부터 6일간(3월 15일-3월 20일) 측정 한 기상요소를 회귀식에 적용하여 예측 값과 관찰 값을 T-test를 통해 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 강우 후 임내 연료습도 변화 비교

3.1.1 임분밀도별 비교

Figure 1~Figure 4는 강우 후 경과일수에 따른 낙엽층, 부식층의 연료습도 변화와 토양상층, 토양하층의

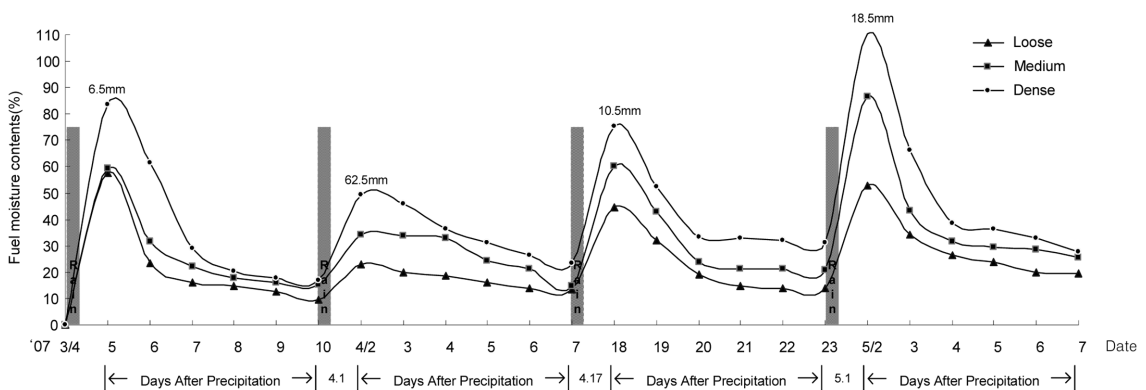


Figure 1. FMC changes of fallen leaves layer.

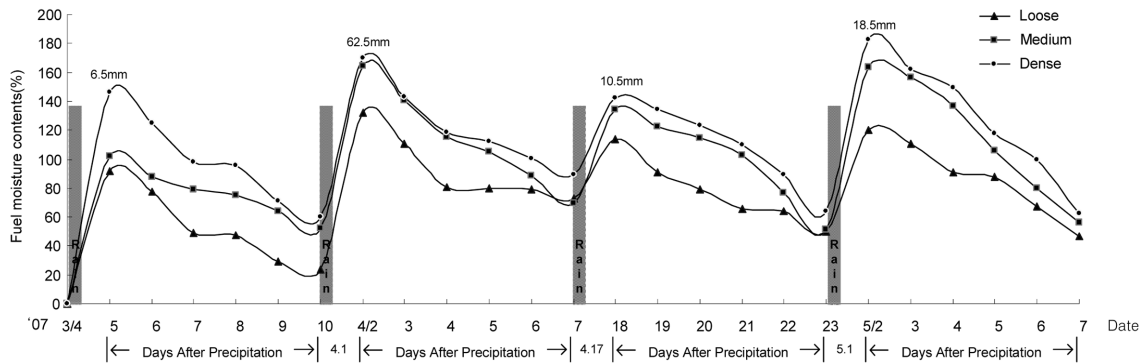


Figure 2. FMC changes of humus layer.

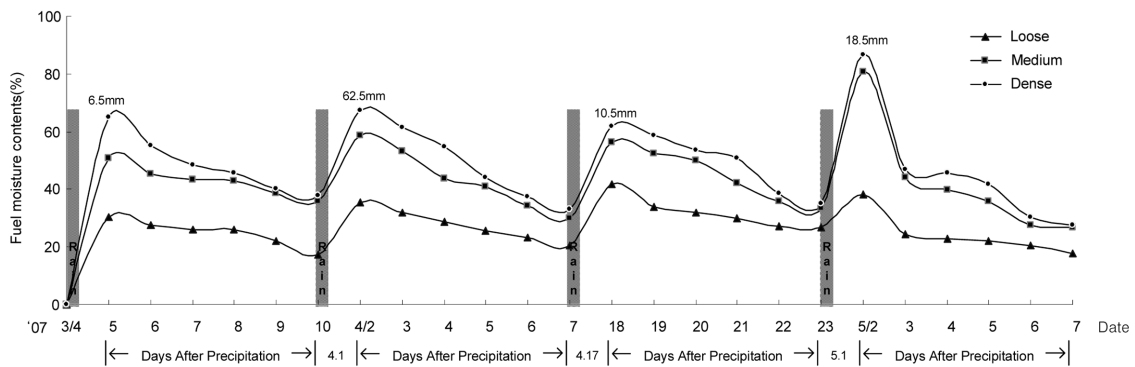


Figure 3. FMC change of soil layer (0~5 cm).

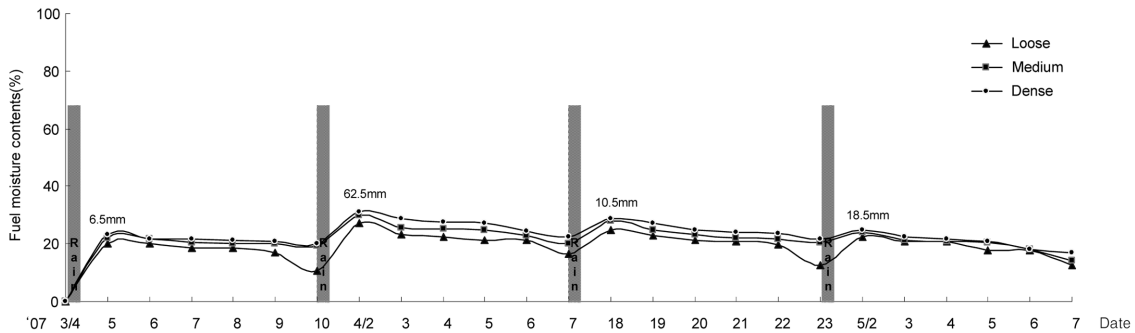


Figure 4. FMC changes of soil layer (5~10 cm).

토양습도 변화를 입분 밀도별로 나타낸 것이다. 즉, Figure 1의 낙엽층 연료습도 변화의 경우 밀입분이 중입분에 비해 2~23% 높게 나타났으며, 소입분에 비해서는 5~57% 높게 나타났다.

또한, 밀입분과 중입분의 일부 구간의 경우 강우 5일 후부터 연료습도가 18~19%를 나타내 산불의 위험

성이 다소 시작되었으나, 소입분의 경우는 3일 후부터 산불발생의 위험수준인<sup>14)</sup> 17%의 연료습도를 나타내어 산불위험성이 높아지는 경향을 나타냈다. 이것은 소입분 지역이 일사와 바람의 영향으로 연료습도에 많은 영향을 주었기 때문으로 판단되며, 이것은 강우 4일 후 침엽수림지에서 지표낙엽의 함수량이 13~17% 사이가

된다는 연구결과와 유사한 결과를 나타냈다.<sup>15)</sup> 또한, 낙엽의 건조상태와 함수량과의 관계에 있어 함수량이 20% 이하로 내려간다면 가연성이 강하고 급속한 산불 위험성이 된다고 하였다.<sup>16)</sup>

특히, 지피물이 적은 장소에서 강우의 영향은 빠르게 나타나 연료습도가 빠른 속도로 높아지지만 반면에 건조속도도 빠르게 나타남을 알 수 있었다.

Figure 2의 부식층의 연료습도 변화의 경우 밀입분은 중입분의 연료습도에 비해 2~42% 높게 나타났으며, 소입분에 비해서는 14~63% 높게 나타났다.

또한, 강우 익일 후 소, 중, 밀 입분 공히 높은 연료 습도를 나타내고 있었으며, 6일이 경과되어도 연료 습도가 25~93%를 유지하고 있어 산불 초기발화의 위험성은 낮은 것으로 나타났다. 또한, Figure 3의 토양상층의 토양습도변화의 경우 밀입분이 중입분에 비해 2~14% 높게 나타났으며, 소입분에 비해서는 2~48% 높게 나타나고 있으며, 강우 6일이 경과되어도 토양습도가 20~38%를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

Figure 4의 강우 후 토양하층의 토양습도 변화 경우 소, 중, 밀 입분 공히 경과 일수에 따른 습도변화는 19~31%를 유지하는 등 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 토양 상층의 경우는 표토 층으로 실내 기상 변화에 영향을 받고 있으나, 토양 하층의 경우는 표토로부터 5cm 아래에 위치하고 있어 실내 기상변화에 그다지 영향을 받지 않는 것으로 나타났고, 입분 밀도의 영향은 그다지 없음을 알 수 있었다.

3.1.2 층위별 비교

Figure 5~Figure 7은 강우익일 후 경과일수에 따른 입분 밀도별 낙엽층, 부식층의 연료습도변화와 토양상층, 토양하층의 토양습도 변화를 층위별로 비교한 것이다. 즉, Figure 5의 소 입분 지역에서 층위별 연료 습도 변화의 경우 낙엽층이 8~52%, 부식층이 29~139%, 토양상층이 18~40%, 토양하층이 10~23%를 나타냈으며, 특히 부식층은 낙엽층에 비해 21~87% 높은 연료 습도를 나타냈다. 이 경우 강우 직후에는 지피물이 표

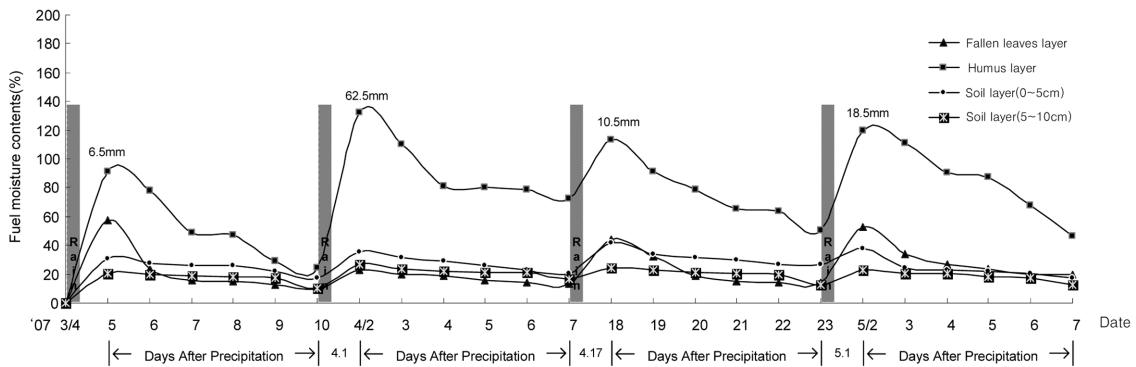


Figure 5. FMC changes of loose stand.

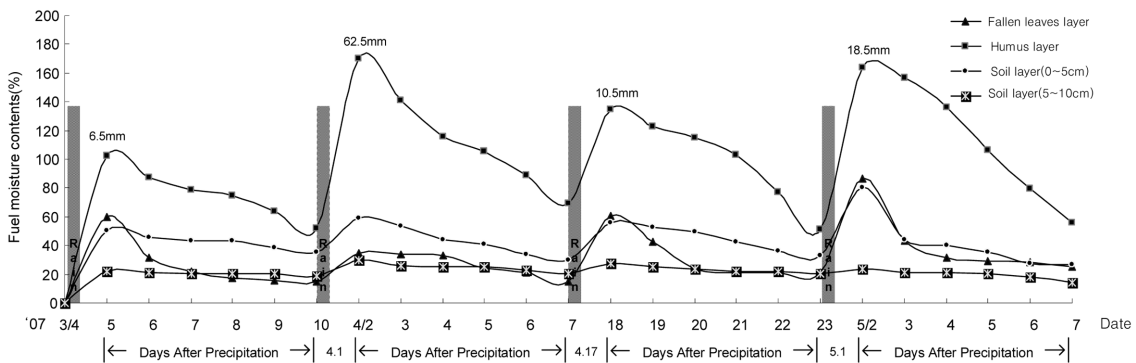


Figure 6. FMC changes of medium stand.

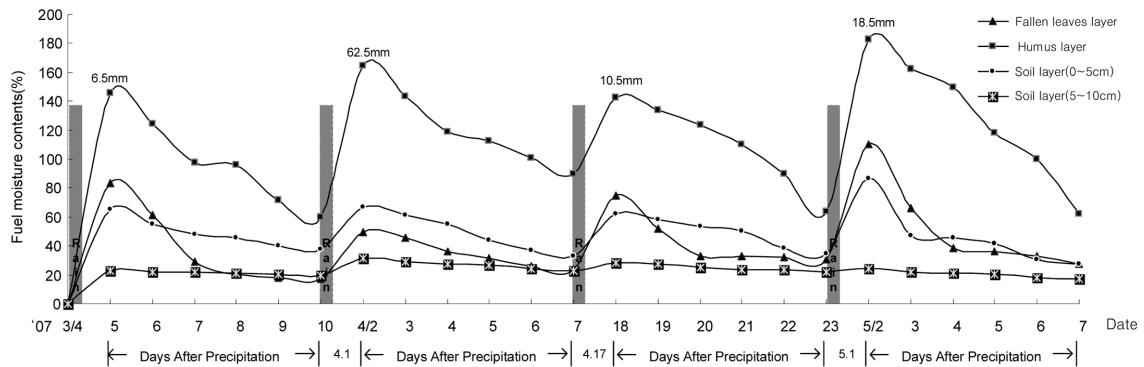


Figure 7. FMC changes of dense stand.

면부터 건조하고, 지피물의 양이 많을 경우에는 지피물의 내부는 표면층보다 수 시간 또는 수일 늦게 건조함을 알 수 있었다. 이것은 부식층이 낙엽층에 덮여 있어 공기 중에 노출되어 있지 않아 낙엽층에 비해 습도, 풍속, 조도 등에 영향을 덜 받고 있으며, 일부는 부식층 아래의 토양층으로부터 수분이 올라왔기 때문에 높은 연료습도를 유지한 것으로 판단된다.

또한, Figure 6의 중 임분 지역의 연료습도 변화의 경우 부식층이 51~168%, 낙엽층이 13~86%, 토양상층이 36~80%, 토양하층이 18~30%를 나타냈으며, 특히 부식층은 낙엽층에 비해 38~82% 높은 연료습도를 나타냈다. 그리고 Figure 7의 밀 임분 지역의 연료습도 변화의 경우 부식층이 61~198%, 낙엽층이 42~107%, 토양상층이 24~81%, 토양하층이 19~31%를 나타냈으며, 특히 부식층은 낙엽층에 비해 43~91% 높은 연료습도를 나타냈다. 이러한 결과를 볼 때 소 임분 지역이 중, 밀 임분지역 보다 부식층과 낙엽층의 연료습도차가 7~21% 낮게 나타나 각 층위별 산불위험도가 더 높음을 알 수 있었다. 또한, 강우 직후에 지피물의 건조는 표면에서만 일어나고 내부는 상당히 늦게 건조하

였고, 강우가 시작되었어도 수 시간 늦게 함수율이 증가함을 알 수 있었다. 특히, 지피물이 두껍게 퇴적되어 있는 경우에 공중으로부터 물을 살포하면 물은 표면만을 적시게 되고, 그 내부는 건조한 상태로 남아있어 다시 강풍이 분다면 재발화의 위험성이 있을 것으로 판단된다.

### 3.2 연료습도변화 예측모델 개발

Table 3과 4는 SPSS 통계프로그램을 이용하여 개발한 낙엽층, 부식층의 연료습도 변화와 예측모델과 토양상층, 토양하층의 토양습도변화 예측모델 그리고 분산분석 결과를 나타낸 것으로, 낙엽층, 부식층, 토양상·하층의 예측모델의 적합도는 86.7%, 74.9%, 87.4%, 56.4%였으며, 회귀식은 통계적으로 유의하였다(유의확률 = 0.000 < 0.05).

### 3.3 예측모델의 검증

Figure 8~Figure 11은 2008년 봄철 산불조심기간 중 누적강우량이 13.0mm 내린 날인 3월 14일 익일부터 6일간(3월 15일~3월 20일) 측정된 기상자료를 연료습도

Table 3. Fuel Moisture's Predictive Expression by Statistics Analysis

Fallen Leaves Layer	$FMC = 0.725 + 0.611 * \text{Log}_{10}(\text{EH}) + 0.06413 * \text{Log}_{10}(\text{ALUX}) - 0.290 * (\text{L}) - 0.140 * (\text{M}) - 0.482 * \text{Log}_{10}(\text{ED})$	( $R^2 = 0.867$ )
Humus Layer	$FMC = 2.151 + 0.301 * \text{Log}_{10}(\text{EH}) - 0.228 * \text{Log}_{10}(\text{ALUX}) - 0.004 * (\text{L}) - 0.04 * (\text{M}) - 0.120 * \text{Log}_{10}(\text{ED})$	( $R^2 = 0.749$ )
Soil Layer (0~5 cm)	$FMC = 2.071 - 0.146 * \text{Log}_{10}(\text{EH}) + 0.01318 * \text{Log}_{10}(\text{ALUX}) - 0.266 * (\text{L}) - 0.049 * (\text{M}) - 0.428 * \text{Log}_{10}(\text{ED})$	( $R^2 = 0.874$ )
Soil Layer (5~10 cm)	$FMC = 1.617 - 0.009 * \text{Log}_{10}(\text{EH}) - 0.083 * \text{Log}_{10}(\text{ALUX}) - 0.02 * (\text{L}) - 0.016 * (\text{M}) - 0.106 * \text{Log}_{10}(\text{ED})$	( $R^2 = 0.564$ )

\*범례: FMC = 연료습도(%),  $\log_{10}(\text{EH})$  = 실효습도(%),  $\log_{10}(\text{ALUX})$  = 누적조도,  $\log_{10}(\text{ED})$  = 경과일수(일), L = 소임분, M = 중임분

Table 4. Analysis of ANOVA

Item	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Fallen Leaves Layer	Regression	3.019	5	.604	85.835	.000
	Residual	.464	66	.007		
	Total	3.484	71			
Humus Layer	Regression	1.642	5	.328	33.493	.000
	Residual	.549	66	.008		
	Total	2.191	71			
Soil Layer (0~5 cm)	Regression	1.524	5	.305	91.482	.000
	Residual	.220	66	.003		
	Total	1.744	71			
Soil Layer (5~10 cm)	Regression	.280	5	.056	17.074	.000
	Residual	.216	66	.003		
	Total	.496	71			

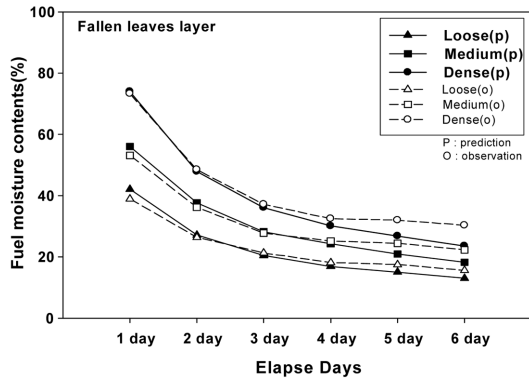


Figure 8. FMC changes of fallen leaves layer.

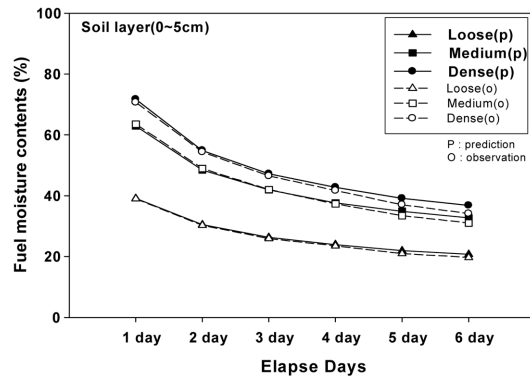


Figure 10. FMC changes of soil layer.

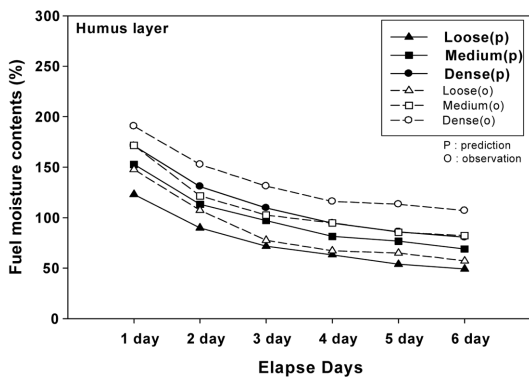


Figure 9. FMC changes of humus layer.

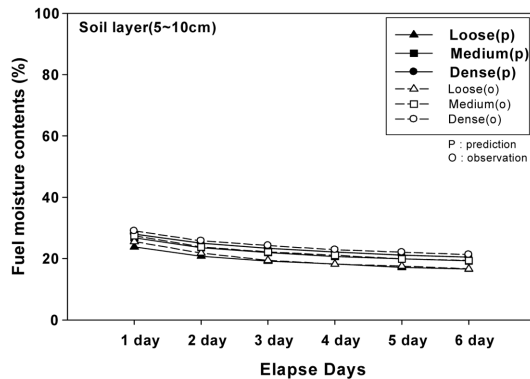


Figure 11. FMC changes of soil layer.

변화 예측식에 적용하여 예측 값을 산출한 후 관측 값과 비교한 결과이다. 따라서 Figure 8의 소임분, 중임

분, 밀임분의 낙엽층의 경우 예측 값은 관측 값에 비해 1~4일차에는 매우 적합하게 예측하고 있으나, 5~6

Table 5. Analysis of t-test

Item	N	M	SD	T	P
Prediction	72	46.864	34.656	-4.517	.000
Observation	72	50.968	40.852		

일차에는 관측 값에 비해 다소 낮게 예측되었다. 또한, Figure 9의 소임분, 중임분, 밀임분의 부식층의 경우 관측 값은 예측 값에 비해 다소 높은 연료습도 값을 보이고 있다. 그리고 Figure 10과 Figure 11의 토양상·하층의 경우 예측 값과 관측 값이 상당히 일치하는 결과를 나타내었다. 위의 결과에서 관측 값과 예측 값에 차이가 발생하는 것은 2007년과 2008년의 기상변화가 영향을 준 것으로 판단된다. 그러나 Table 5에서와 같이 예측 값과 관측 값 차의 유의성을 검증하기 위해 T-test를 실시한 결과, 예측 값과 관측 값 사이에는 1% 수준에서 유의성을 나타냈다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 영동지방 소나무림에서 2007년 봄철 산불조심기간 중 4차에 걸쳐 누적 강우량 5.0mm 이상의 강우에 대하여 임분별로 강우 후 익일부터 6일간 임내의 낙엽층, 부식층, 토양층에 대한 연료습도 변화를 실측하여 산불발생위험도와와의 관계를 분석하고, 연료습도변화 예측모델을 개발하고자 하였다.

1) 연료습도의 변화 분석 결과 낙엽층의 밀임분과, 중임분일부구간의 경우 강우 후 5일 후 연료습도가 약 18~19%로 산불의 위험성이 다소 시작되었으나 소임분의 경우 3일 후 약 17%의 연료습도를 나타내 산불의 위험성이 높아지는 것으로 나타났다. 이것은 지피물이 적은 장소에서 강우의 영향은 빠르게 나타나 연료습도가 빠른 속도로 높아지지만, 반면에 건조속도도 빠르게 나타남을 알 수 있었다.

2) 부식층의 경우 강우 익일 소, 중, 밀 임분별 110%, 145%, 160% 높은 연료습도를 나타내고 있으며 6일이 경과되어도 소임분 30%, 중, 밀임분의 경우 6570%로 산불 초기발화의 위험성은 낮은 것으로 나타났다. 이 경우 지피물이 두껍게 퇴적되어 있는 경우에 공중으로부터 물을 살포하면 물은 표면만을 적시게 되고, 그 내부는 건조한 상태로 남아있어 다시 강풍이 분다면 재발화의 위험성이 있을 것으로 판단된다.

3) 토양층의 경우 토양상층은 강우 익일 후 경과일수에 대해 점진적으로 토양의 연료습도가 감소하는 경향을 보였으나, 토양하층의 경우 강우와 임분밀도와 상

관없이 매우 일정한 연료습도 분포를 보였다.

4) SPSS 통계프로그램을 이용하여 낙엽층, 부식층, 토양상층, 토양하층의 연료습도변화 예측모델을 개발 ( $R^2 = 0.56\sim 0.87$ )하였으며, 2008년 봄철 동일기간 강우 후 기상실측 자료를 적용하여 예측모델의 검증을 실시한 결과 1% 수준에서 유의성이 있었다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. 동해안 산불 피해지 공동 조사단, “동해안 산불 지역 정밀조사 보고서”, pp.15-26(2000).
2. 이시영(산불분야저자), 산림환경보전학. 향문사, pp.34-70(2002).
3. J.E. Deeming, R.E. Burgan, and J.D. Cohen, The national fire-danger rating system-1978. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT 39: pp.1-63(1977).
4. M.A. Fosberg, Forecasting the 10-Hour Timelag Fuel Moisture. USDA For. Serv. Res. Pap. RM-187: pp.1-10(1977).
5. W.L. Fons, “Analysis of Fire Spread in Light Forest Fuels”, Journal of Agricultural Research, Vol.72, pp.93-121(1946).
6. G. Xanthopoulos and R.H. Wakimoto, “A Time to Ignition Temperature-moisture Relationship for Branches of Three Western Conifers”, Canadian Journal of Forest Research, Vol.23, pp.253-258 (1993).
7. J.K. Brown, Physical Fuel Properties of Ponderosa Pine Forest Floors and Cheargrass. U.S. Forest Service Research Paper INT-74. 16(1970).
8. 정연하, 이시영, 염육철, 여운홍, “산화위험을 예측에 관한 연구”, 임업연구원 연구보고, Vol.38, pp.117-123 (1989).
9. 이시영, 이봉수, 임주훈, “습도측정봉을 이용한 산불 발생위험을 예측”, 산림과학논문집, Vol.55, pp.150-157(1997).
10. H. Tanskanen, A. Venalainen, P. Puttonen, and A. Granstrom, “Impact of Stand Structure on Surface Fire Ignition Potential in Picea Abies and Pinus Sylvestris Forest in Southern Finland”, Canadian Journal of Forest Research, Vol.35, pp.410-420 (2005).
11. B.J. Stock, M.E. Alexander, B.D. Lawson, and Van C.E. Wanger, Canadian Forest Fire Danger Rating



- System. User' Guide. The Canadian Forest Service Fire Danger Group(1987).
12. H.E. Anderson, R.D. Schuette, and R.W. Mutch, Timelag and equilibrium moisture content of ponderosa pine needles. United States Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper INT-202. Intermountain Research Station, Ogden, Utah, p.28(1978).
  13. 손충기, 백영균, 박정환, 내가하는 통계분석 SPSS. 학지사, pp.271-291(2007).
  14. S.J. Pyne, Introduction to Wildland Fire - Fire Management in the United States, John Wiley and Sons, New York(1984).
  15. 이시영, 산불발생 위험도 및 연소확대 요인 분석에 관한 연구, 동국대학교 박사학위논문, pp.22-23(1994).
  16. 임야화재연구회, 개정 임야화재실무수인서, 산림화재 대책협회, p.146(1984).