

A Comparative Analysis of Fuel Moisture Contents Variation by *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* Stick for Estimating Moisture Contents in Forest Fire Surface Fuel in the Spring

Chan Ho Yeom^{1#}, Si Young Lee¹⁺, Hong Sek Park¹, Myoung Soo Won²

¹ Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Jungang-ro Samcheok, Gangwon-do, Korea

² Korea Forest Research Institute, Forest and Climate Change Center, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

Abstract

In these studies, we analyzed moisture contents variation in wood stick made from *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* for estimating moisture contents in forest fire surface fuel. For these studies, sample sticks were made by species (*Pinus densiflora* and *Quercus variabilis*), length (30cm and 50cm) and diameter (1cm, 1.5cm and 2cm). These sample sticks were installed on wildland around forest and moisture content in sample sticks was measured 5,724 times in spring (from March to May). The responsiveness for moisture contents variation in sample sticks was highest in *Pinus densiflora* (1cm of diameter and 50cm of length), followed by *Pinus densiflora* (1cm of diameter and 30cm of length), *Pinus densiflora* (1.5cm of diameter and 50cm of length), *Pinus densiflora* (2cm of diameter and 50cm of length), *Pinus densiflora* (1.5cm of diameter and 30cm of length) and *Pinus densiflora* (2cm of diameter and 30cm of length).

Key words: Forest fire, Forest fire fuel, Fuel moisture contents, Responsiveness

1. 서론

우리나라는 치산녹화 사업의 시행을 통해 전체 국토 면적의 64%에 해당하는 산림을 보유하게 되었다. 하지만 산림이 울창해지고, 낙엽층 등 지표 가연물이 퇴적되면서 산림 내 연료량이 급증한 반면에, 적절한 관리를 시행하지 않아 산불의 위험성이 높은 실정이며(Lee, et. al., 2009), 기후변화로 인한 기온상승으로 산림 내 연료의 수분함량이 감소하여 산불 위험성은 더욱 증대되고 있다(Kwak,

et. al., 2010). 우리나라 산불의 예보를 위해, 화원(인간, 자연 낙뢰 등)에 의해 산불 발화가 시작, 확대되는 연료 내의 수분량에 대한 정량적 측정에 의한 산불발화 가능성의 예측 및 예보가 필요하다. 이러한 이유로, 미국과 캐나다에서는 산불위험을예보시스템의 기본적인 요소로서, 연료 내 수분량의 정량적인 수치가 사용되고 있으며, 특히 미국의 경우 Ponderosa 소나무로 제작된 연료측정봉(Fuel moisture stick)을 이용하여 산림 내 연료의 건조관계를 측정하여 미국 산불위험도예보시스템

The 1st author: Chan Ho Yeom, Tel. +82-33-570-6806, Fax. +82-33-540-3149, e-mail. ypchanho@kangwon.ac.kr

+ Corresponding author: Si Young Lee, Tel. +82-33-570-6806, e-mail. lsy925@kangwon.ac.kr

(NFFDRS, National Fire Danger Rating System)의 주요 요소로 사용하고 있다. 또한, 캐나다에서는 실험실 환경과 임내환경에서 기상조건과 주요수종의 연료 내 수분량 변화를 장기간 추적 조사한 후, 이를 기초로 각 연료조건 별 산림연료 내 수분량을 지수화 하고, 이러한 각 지수를 산불위험 판단의 요소로 선정하여 캐나다 산불위험예보시스템(CFFDRS, Canadian Forest Fire Danger Rating System)의 기초가 되는 산불기후지수(Fire Weather Index)를 개발하여 운용 중에 있다.

미국과 캐나다에서는 이러한 연구결과를 기초로 실질적인 활용을 위해 다양한 산림연료의 연료 대치자(Proxy)를 개발하고, 자동기상측정 장치(AWS, Automatic Weather System)와 접목하여, 산불기상예보의 고도화 및 정확도 향상에 기여하고 있다. 이와 관련하여, 국내에서는 국립산림과학원 산불연구과(구)에서 국내 실제 연구사례를 바탕으로 제작한 산불연료습도 측정봉을 사용하여 무게를 위험지수로 환산하여 '94-'96년도에 산불예보제를 실용화한 사례가 있다.

실제 산불의 발생 대상물인 산림연료의 발화가능성을 정량적으로 예측하기 위한 연구는 산불예보시스템의 정확도 향상을 위해 필수적이며, 이를 위해 국내 실제 연구사례를 바탕으로 보다 확대된 기상요소와 산불연료의 수분량 변화와의 관계성을 구명하고, 산불연료 습도 측정센서를 제작하여 산불예보시스템의 고도화에 기여할 필요가 있다.

특히 침엽수 단순림으로 구성되어 있는 임분은 대형 산불로 이어질 수 있기 때문에 정확한 산불 예보와 이에 근거한 산불방재 대책이 필요하다.

산불은 임상, 연료의 종류, 연료의 배열 및 밀도와 같은 연료의 조건과 습도, 기온, 풍속과 같은 기상요인, 그리고 방위나 경사도와 같은 지형적 영향에 의해 복합적으로 발생한다(Davis, et. al., 1959). 특히, 기후변화에 의해 '전 지구적인 기후변화는 장기간에 걸친 온도 상승, 강우량의 변화 등으로 전 세계적으로 자연재해가 증가하고 있으며, 그 중 산불의 발생은 세계 각 곳에서 점차 대형화되고 있다'라고 예측하고 있으며(IPCC,

2007), 러시아, 호주, 미국 등 지역에서 이상 건조현상의 증가와 이로 인한 대형 산불이 발생하고 있어, 한반도도 이러한 이상 건조와 기상조건과 임상, 지형에 근거한 보다 체계적인 산불 예보 시스템 구축이 필요하다.

따라서 본 연구는 봄철 산불 지상연료습도 추정을 위한 소나무와 참나무 환봉의 연료습도 변화를 분석하여 보다 과학적인 산불위험예보에 대한 기초 자료를 제공코자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 재료 및 방법

1) 수종선정

우리나라 산림에 가장 많이 자생하고 있는 침엽수의 대표적인 수종인 소나무와 활엽수의 대표수종인 참나무를 연료습도 공시재료로 선정하였다.

2) 환봉제작 및 규격

본 연구에서는 환봉을 제작하기 위하여 수령 50~60년(흉고직경 약 28cm) 된 소나무와 수령 30~40년(흉고직경 약 28cm)의 참나무의 변재부를 판재로 제작 후 갱립기로 가공하여 각재로 제작하였고, 각재를 Moulding master 625H를 이용하여 환봉으로 제작하였다. 제작한 환봉의 완전건조를 위해 Dry-oven 85℃에서 환봉의 수분변화가 없을 때까지 완전건조를 하였다.

제작한 환봉의 규격은 <Table 1>과 같고, 환봉의 제작과정은 <Figure 1>과 같다.

Table 1. The specifications of sample sticks

The kind of trees	Length (cm)	Diameter (cm)	Quantity (ea)
<i>Pinus densiflora</i>	30	1	3
		1.5	3
		2	3
<i>Pinus densiflora</i>	50	1	3
		1.5	3
		2	3
<i>Quercus variabilis</i>	30	1	3
		1.5	3
		2	3
<i>Quercus variabilis</i>	50	1	3
		1.5	3
		2	3



Figure 1. The process of manufacturing sample sticks

3) 조사방법 및 규모

완전 건조된 환봉을 <Figure 2>와 같이 강원대학교 삼척캠퍼스 교내의 주변에 구조물이 없는 곳에 설치를 하였고, 우천 시 지면으로부터 이물질이 튀는 것을 방지하기 위해 10inch(약 25.4cm)를 높게 설치하였다.

조사기간은 산림청에서 지정한 봄철 산불조심기간(2월 15일~5월 15일) 동안인 3월 24일부터 5월 15일까지 총 53일 동안 1일 3회 10시, 14시, 18시에 측정을 하였고, 이 시기에 13회의 강우가 있었고, 평균 강우량은 9.4mm이었다.

조사규모는 2개의 수종 × 2길이 × 3두께 × 3반복 × 3회/1일 × 53일 = 총 5,724회 측정을 하였다.

조사방법은 조사현장에서 전자저울을 이용하여 완전 건조된 환봉의 건조량 무게와 설치 후 변화되는 수분량의 무게를 측정하였다.



Figure 2. The installation of sample sticks

2. 분석방법

1) FMC 변환

53일 동안 측정된 무게를 FMC(Fuel Moisture Content)로 변환을 하여 연료의 건조무게에 대한 수분 함량의 비율 측정하였다. FMC(Fuel Moisture Content)의 관련 연료습도 분석에 사용된 식은 (1)과 같다 (Kwon, 2014).

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

※ FMC는 연료습도(%), W_w 는 전중, W_d 은 후중

1일 3회(10시, 14시, 18시) 측정된 수분량의 값들을 평균화하여 1일 대표 FMC를 추출하였다.

2) FMC 비교분석

환봉의 수분량의 변화를 분석하기 위해 강우 후(평균 강우량 9.4mm) 최고 FMC, 최저 FMC, 편차 등을 산출하여 수종별, 길이별, 직경별 등으로 비교 분석하였다.

3) 표준편차 분석

평균화된 1일 대표 FMC 데이터를 통계분석 프로그램 IBM SPSS Statistics 19를 이용하여 수분변화량에 대한 표준편차 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수종별 FMC 변화 비교

수종별 환봉의 수분함량 변화를 비교한 결과 소나무

의 경우, 소나무 직경 1cm, 길이 50cm의 수분함량 최고 최저 편차가 37.5%로 가장 높았고, 그다음으로는 소나무 직경 1cm, 길이 30cm가 35.3%, 소나무 직경 1.5cm, 길이 50cm가 25.9%, 소나무 직경 2cm, 길이 50cm가 19.5%, 소나무 직경 1.5cm, 길이 30cm가 18.1%, 소나무 직경 2cm, 길이 30cm가 17.2% 순으로 나타났다.

참나무의 경우 참나무 직경 1cm, 길이 30cm의 수분함량 최고 최저 편차가 28.4%로 가장 높았고, 그다음으로는 참나무 직경 1cm, 길이 50cm가 18.1%, 참나무 직경 1.5cm, 길이 50cm가 12.5%, 참나무 직경 1.5cm, 길이 30cm가 10.4%, 참나무 직경 2cm, 길이 30cm가 10.1%, 참나무 직경 2cm, 길이 50cm가 8.8% 순으로 나타났다.

소나무 환봉의 수분함량 최고 최저 편차 평균은 25.6%이고, 참나무 환봉의 수분함량 최고 최저 편차 평균은 14.7%로 나타났다. 따라서 소나무 환봉이 참나무 환봉보다 더 민감도가 양호한 것으로 나타났으며, 이는 환봉의 직경이 작을수록 연료습도의 감소 기울기가 급하여 연료습도의 감소가 빠르게 진행되었으며 산불위험 연료습도에 도달하는 날짜도 빠르게 도달한다는 연구결과와 유사한 결과를 나타냈고(Kwon, 2009), 그 결과는 <Table 2>와 같다.

2. 길이별 FMC 변화 비교

길이 30cm의 소나무와 참나무 환봉의 수분함량 변화를 비교한 결과 소나무 직경 1cm의 수분함량 최고 최저 편차가 35.3%로 가장 높았고, 그다음으로는 참나무 1cm가 28.4%, 소나무 1.5cm가 18.1%, 소나무 2cm

Table 2. The comparison of moisture contents variation in *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* sample stick

Classifi- cation	Species of trees		<i>Pinus densiflora</i>						<i>Quercus variabilis</i>					
	The length		30cm			0cm			30cm			50cm		
	The diameter		1cm	1.5cm	2cm	1cm	1.5cm	2cm	1cm	1.5cm	2cm	1cm	1.5cm	2cm
The maximum moisture contents after a rainfall(%)	39.2	31.2	25	44	33.4	32.2	32.3	22.4	24	32.7	21.6	20.4		
The minimum moisture contents after a rainfal(%)	3.9	13.1	7.8	6.5	7.5	12.7	3.9	12	13.9	14.6	9.1	11.6		
The difference of Max. and Min.(%)	35.3	18.1	17.2	37.5	25.9	19.5	28.4	10.4	10.1	18.1	12.5	8.8		
Average deviation(%)	25.6						14.7							

17.2%, 참나무 1.5cm가 10.4%, 참나무 2cm가 10.1% 순으로 나타났다.

길이 50cm의 소나무와 참나무 환봉의 수분함량 변화를 비교한 결과 소나무 직경 1cm의 수분함량 최고 최저 편차가 37.5%로 가장 높았고, 그다음으로는 소나무 1.5cm가 25.9%, 소나무 2cm가 19.5%, 참나무 1cm 18.1%, 참나무 1.5cm가 12.5%, 참나무 2cm가 8.8% 순으로 나타났다.

길이 50cm 환봉의 수분함량 최고 최저 편차 평균은 20.4%이고, 길이 30cm 환봉의 편차 평균은 19.9%로 나타났다. 따라서 길이 50cm 환봉이 길이 30cm 환봉보다 민감도가 양호한 것으로 나타났다.

따라서 수분량 변화에 가장 많은 영향을 주는 인자는 수종뿐만 아니라 환봉의 길이와도 관계가 있는 것으로 사료되었다. 그 결과는 <Table 3>과 같다.

3. 직경별 FMC 변화 비교

직경 1cm의 소나무와 참나무 환봉의 수분함량 변화를 비교한 결과 소나무 길이 50cm의 수분함량 최고 최저 편차가 37.5%로 가장 높았고, 그다음으로는 소나무 길이 30cm가 35.3%, 참나무 30cm가 28.4%, 참나무 50cm 18.1% 순으로 나타났다.

직경 1.5cm의 소나무와 참나무 환봉의 수분함량 변화를 비교한 결과 소나무 길이 50cm의 수분함량 최고 최저 편차가 25.9%로 가장 높았고, 그다음으로는 참나무 길이 50cm가 12.5%, 소나무 30cm가 10.9%, 참나무 30cm 10.4% 순으로 나타났다. 1.5cm 직경별 환봉의 수분변화는 길이 50cm의 소나무 환봉이 가장 민감한 것으로 나타났다.

직경 2cm의 소나무와 참나무 환봉의 수분함량 변화를 비교한 결과 소나무 길이 50cm의 수분함량 최고 최

Table 3. The comparison of moisture contents variation according to the length(30cm, 50cm)

Classifi-cation	Species of trees	30cm						50cm					
	The length	<i>Pinus densiflora</i>						<i>Quercus variabilis</i>					
	The diameter	1cm	1.5cm	2cm	1cm	1.5cm	2cm	1cm	1.5cm	2cm	1cm	1.5cm	2cm
The maximum moisture contents after a rainfall(%)		39.2	31.2	25	32.3	22.4	24	44	33.4	32.2	32.7	21.6	20.4
The minimum moisture contents after a rainfall(%)		3.9	13.1	7.8	3.9	12	13.9	6.5	7.5	12.7	14.6	9.1	11.6
The difference of Max. and Min.(%)		35.3	18.1	17.2	28.4	10.4	10.1	37.5	25.9	19.5	18.1	12.5	8.8
Average deviation(%)		19.9						20.4					

Table 4. The comparison of moisture contents variation according to the diameter (1cm, 1.5cm, 2cm)

Classifi-cation	The diameter	1cm				1.5cm				2cm			
	The length	30cm		50cm		30cm		50cm		30cm		50cm	
	Species of trees	<i>Quercus varia-bilis</i>	<i>Pinus densi-flora</i>										
The maximum moisture contents after a rainfall(%)		32.3	39.2	32.7	44	22.4	29.4	21.6	33.4	24	25	20.4	33.2
The minimum moisture contents after a rainfall(%)		3.9	3.9	14.6	6.5	12	18.5	9.1	7.5	13.9	7.8	11.6	12.7
The difference of Max. and Min.(%)		28.4	35.3	18.1	37.5	10.4	10.9	12.5	25.9	10.1	17.2	8.8	20.5
Average deviation (%)		29.8				14.9				14.2			

저 편차가 20.5%로 가장 높았고, 그다음으로는 소나무 길이 30cm가 17.2%, 참나무 30cm가 10.1%, 참나무 50cm 8.8% 순으로 나타났다. 2cm 직경별 환봉의 수분 변화는 길이 50cm의 소나무 환봉이 가장 많은 것으로 나타났다.

또한, 직경 1cm 환봉의 수분함량 최고 최저 편차 평균은 29.8%, 직경 1.5cm 환봉의 편차 평균은 14.9%, 직경 2cm 환봉의 편차 평균은 14.2%로 나타났다. 산림 연료의 직경이 작을수록 연료습도의 수분변화가 빠르게 진행된다는 연구결과와 유사한 결과를 나타냈고 (Lee, 2010) 그 결과는 <Table 4>와 같다.

4. 통계분석에 의한 표준편차 비교

통계분석 프로그램 IBM SPSS Statistics 19를 이용한 표준편차 분석 결과 소나무 직경 1cm, 길이 50cm가 6.40483으로 수분함량 최고 최저 편차가 가장 큰 것으로 나타났고 그다음으로는 소나무 직경 1cm, 길이 30cm가 5.75782, 참나무 직경 1cm, 길이 30cm가 5.01993, 소나무 직경 1.5cm, 길이 50cm가 4.20000, 소나무 직경 2cm, 길이 50cm가 3.50131, 참나무 직경 1cm, 길이 50cm가 3.18843, 소나무 직경 2cm, 길이 30cm가 3.04546, 소나무 직경 1.5cm, 길이 30cm가 2.88453, 참나무 직경 1.5cm, 길이 30cm가 2.88453, 참나무 직경 1.5cm, 길이 50cm가 2.20148, 참나무 직

경 2cm, 길이 30cm가 1.87273, 참나무 직경 2cm, 길이 50cm가 1.68949 순으로 나타났다.

따라서 전체 표준편차 비교에서는 수종, 길이, 직경에 따라 수분함량 최고 최저 편차가 큰 것으로 나타났다. 그 결과는 <Table 5>와 같다.

IV. 결론

선행 연구인 연료습도측정봉을 이용한 산불 발생 위험을 예측(1997)에 관한 연구에서 실험을 하였지만 연료습도 공시재료가 100g으로 한정되어 있어 수종별, 길이별, 직경별 등 수분변화량에 대한 연구는 수행되지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 국내 사례를 바탕으로 우리나라 산림에 가장 많이 자생하고 있는 침엽수의 대표적인 수종인 소나무와, 활엽수의 대표수종인 참나무를 선정하고, 소나무와 참나무 환봉의 수종별(소나무, 참나무), 길이별(30cm, 50cm), 직경별(1cm, 1.5cm, 2cm) 등 연료습도 변화를 분석하여 산불예보시스템에 고도화의 기초 자료를 제공코자 산림청에서 지정한 봄철 산불조심기간(2월 15일~5월 15일) 동안인 3월 24일부터 5월 15일까지 총 53일 동안 측정된 무게를 FMC(Fuel Moisture Contents)로 변환하여 연료의 건조무게에 대한 수분함량의 비율을 계산하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 수종별 FMC 변화 비교

수종별 최고, 최저 연료습도 편차에 의한 민감도 비교 시 소나무 경우 편차 평균 25.6%, 참나무 경우 편차 평균 14.7%로 나타나 소나무가 참나무보다 더 민감도가 양호한 것으로 나타났다.

2. 길이별 FMC 변화 비교

길이별 최고, 최저 연료습도 편차에 의한 민감도 비교 시 30cm는 10.1~35.3%, 50cm는 8.8~37.5%로 나타나 50cm가 30cm보다 더 민감도가 양호한 것으로 나타났다.

Table 5. The results of analysis about standard deviations of moisture contents variation in sample sticks

No.	Fuel moisture contents sample sticks	The standard deviation
1	<i>Pinus densiflora</i> (1cm, 50cm)	6.40483
2	<i>Pinus densiflora</i> (1cm, 30cm)	5.75782
3	<i>Quercus variabilis</i> (1cm, 30cm)	5.01993
4	<i>Pinus densiflora</i> (1.5cm, 50cm)	4.20000
5	<i>Pinus densiflora</i> (2cm, 50cm)	3.50131
6	<i>Quercus variabilis</i> (1cm, 50cm)	3.18843
7	<i>Pinus densiflora</i> (2cm, 30cm)	3.04546
8	<i>Pinus densiflora</i> (1.5cm, 30cm)	2.88453
9	<i>Quercus variabilis</i> (1.5cm, 30cm)	2.88453
10	<i>Quercus variabilis</i> (1.5cm, 50cm)	2.20148
11	<i>Quercus variabilis</i> (2cm, 30cm)	1.87273
12	<i>Quercus variabilis</i> (2cm, 50cm)	1.68949

3. 직경별 FMC 변화 비교

직경별 최고, 최저 연료습도 편차에 의한 민감도 비교 시 1cm는 18.1~37.5%, 1.5cm는 10.4~25.9%, 2cm는 8.8~20.5% 순으로 나타나 1cm가 가장 민감도가 양호한 것으로 나타났다.

4. 통계분석에 의한 표준편차 비교

통계분석 프로그램 IBM SPSS Statistics 19를 이용한 표준편차 분석 결과 소나무 직경 1cm, 길이 50cm가 6.40483으로 가장 편차가 큰 것으로 나타났다. 소나무 직경 1cm, 길이 50cm는 직경이 가장 작고, 소나무이고, 길이가 가장 긴 환봉으로, 수분변화가 가장 많아 다른 환봉 중 가장 민감한 것으로 판단되었다.

따라서 강우 후 수종별, 길이별, 직경별 수분함량 최고 최저 표준편차 비교결과 소나무(직경 1cm, 길이 50cm) > 소나무(직경 1cm, 길이 30cm) > 참나무(직경 1cm, 길이 30cm) > 소나무(직경 1.5cm, 길이 50cm) > 소나무(직경 2cm, 길이 50cm) > 참나무(직경 1cm, 길이 50cm) > 소나무(직경 2cm, 길이 30cm) > 소나무(직경 1.5cm, 길이 30cm) > 참나무(직경 1.5cm, 길이 30cm) > 참나무(직경 1.5cm, 길이 50cm) > 참나무(직경 2cm, 길이 30cm) 순으로 민감도가 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 2016년도 「산악기상 정보 서비스 및 현장실용화 기술개발」 위탁연구 및 2016년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음 (관리번호-620160117).

References

IPCC. 2007. *Climate Change Synthesis Report*.
 Japan Fire Research Station. 1988. *Study of Spot Combustion in Wildfires*. 21: 148.

Korea Forest Service. 2011. *New Policy Changes and Response Measures through Forest Fire Statistical Analysis*.
 Korea Forest Service. 2013. *Forest Fire Annual Statistical Report*.
 Korea Forest Service. 2014. *Forest Fire Annual Statistical Report*.
 Korea Forest Service. 2015. *The Development of Forest Fire Damage Mitigation Techniques for the Principal Facilities in Forest*.
 Kwak, Han Bin, Woo Kyun Lee, Si Young Lee, Myoung Soo Won, Kyo Sang Koo, Byung Doo Lee, and Myung Bo Lee. 2010. Cause-specific Spatial Point Pattern Analysis of Forest Fire in Korea. *Forest Science and Technology*. 99(3): 259-266.
 Kwon, Chun Geun, Si Young Lee, Chan Ho Yeom, and Heung Seok Park. 2013. Analysis of Forest Fire Risk Factors near Buddhist Temple Cultural Assets within Forest Areas. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 9(10): 107-124.
 Kwon, Chun Geun, Si Young Lee, Chan Ho Yeom, and Heung Seok Park. 2014. A Study on Forest Fire Risk Factors near Facilities within Forest Areas. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 10(1): 65-80.
 Kwon, Chun Geun, Si Young Lee, Hea Pyeong Lee, and Joo Young Cha. 2011. Comparison of Surface Fuel Moisture after Rainfall in Pine Tree Forests during Spring/Autumn Season in Young Dong Region (Case Study on Surface Fuel and Soil Layer Moisture). *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 11(6): 157-166.
 Kwon, Chun Geun. 2009. A Study on the Forecast of Fuel Moisture Contents's Changes in the Pine Tree Forest after Rainfall. Master's thesis. Kangwon National University.
 Kwon, Chun Geun. 2014. A Study on Development of a Forest Fuel Moisture Content Change Prediction Model(Focus on Predicting Forest Fire Dangers). Ph.D. Dissertation. Kangwon National University.
 Lee, Si Young, Chun Geun Kwon, Myung Woog Lee, and Hae Pyeong Lee. 2010. Development of Prediction Model of Fuel Moisture Changes after Precipitation in the Spring for the Pine Forest Located the Yeongdong Region : Focused on the Down Wood Material Diameter. *Transactions of Korean Institute of Fire Science and Engineering*. 18-26.

Lee, Si Young, Hee Mun Chae, Myung Woog Lee, Chun Geun Kwon, and Chan Ho Yeom. Prediction of Fuel Moisture Contents after Precipitation in the Pine Tree Stand during Forest Fire Period in the East Sea Region. *Transactions of Korean Institute of Fire Science and Engineering*. 464-467.

National Emergency Management. 2009. *Institutionalization of Calculating Damages by Draught, Yellow Dust, Cold Wave, Heat Wave, and Forest Fire Disasters*.

Korean References Translated from the English

곽한빈, 이우균, 이시영, 원명수, 구교상, 이병두, 이명보. 2010. 우리나라 산불 발생의 원인별 공간적 특성 분석. *한국임학회지*. 99(3): 259-266.

권춘근, 이시영, 염찬호, 박홍석. 2013. 산림 내 사찰문화재 주변의 산불위험인자 분석. *한국위기관리논집*. 9(10): 107-124.

권춘근, 이시영, 염찬호, 박홍석. 2014. 산림 내 주요시설물 주변의 산불위험성 연구. *한국위기관리논집*. 10(1): 65-80.

권춘근, 이시영, 이해평, 차주영. 2011. 영동지역 봄·가을철 소나무림에서 강우 후 연료습도변화 비교(지표연료 및 토양습도를 중심으로). *한국방재학회논문집*. 11(6): 157-166.

권춘근. 2009. 소나무림에서의 강우 후 임내 연료습도 변화에 측에 관한 연구. 강원대학교 석사학위논문.

권춘근. 2014. 산불에 영향을 미치는 산림지표연료 습도변화 추정에 관한 연구(강원도 영동 지역을 중심으로). 강원대학교 박사학위논문.

산림청. 2011. 산불 통계 분석을 통한 산불정책 변천 및 대응 방안.

산림청. 2013. *산불통계연보*.

산림청. 2013. *전국 산불방지 종합대책*.

산림청. 2014. *산불통계연보*.

산림청. 2015. 산림 내 주요시설물 지역 산불피해 저감기술 개발.

소방방재청. 2009. 가뭄, 황사, 폭염, 한파, 산불 재난관련 피해액 산정기준 마련 등 제도화 방안 연구.

이시영, 채희문, 이명욱, 권춘근, 염찬호. 2007. 영동지역 봄철 산불기간 중 소나무림에서의 강우 후 임내 연료습도 변화 예측. *한국화재소방학회*. 464-467.

이시영, 권춘근, 이명욱, 이해평. 2010. 영동지역 봄철 소나무림에서 강우후 연료습도변화 예측모델 개발(지표연료 직경두께를 중심으로). *한국화재소방학회*. 18-26.

일본소방연구소. 1988. 임야화재 비화연소에 관한 연구. 21: 148.

Received: Nov. 3, 2016 / Revised: Dec. 1, 2016 / Accepted: Dec. 6, 2016

산불 지상연료습도 추정을 위한 봄철 소나무와 굴참나무 환봉의 연료습도 변화 비교분석

국문초록 본 연구에서는 봄철 산불 지상연료습도 추정을 위한 소나무와 참나무 환봉의 연료습도 변화 비교를 위해 수종별(소나무, 참나무), 길이별(30, 50cm), 직경별(1, 1.5, 2cm)로 환봉을 제작하여 임외에 설치 후 봄철(3~5월) 환봉의 수분변화량을 2개 수종 × 2개 길이 × 3개 두께 × 3반복 × 3회/1일 × 53일 = 총 5,724회 측정하였다. 측정된 환봉의 수분변화량을 FMC(Fuel Moisture Contents)로 변환하여 연료의 건조무게에 대한 수분함량의 비율을 계산하여 수종별, 길이별, 직경별 환봉의 연료습도 표준편차를 비교하였다. 그 결과 수종별 수분변화량에서는 소나무가 참나무보다 수분변화량이 큰 것으로 나타났다. 따라서 소나무환봉의 수분변화량은 소나무(직경1cm 길이50cm) > 소나무(직경1cm 길이30cm) > 소나무(직경1.5cm 길이50cm) > 소나무(직경2cm 길이50cm) > 소나무(직경1.5cm 길이30cm) > 소나무(직경2cm 길이30cm) 순으로 민감도가 높은 것으로 나타났다.

주제어 : 산불, 산림연료, 연료습도, 민감도

Profiles **Chan Ho Yeom** : He is attained Master of Engineering degree at Kangwon University Graduate School of Disaster Prevention with his study on “Effect of Forest Care on Forest Fire Damages”(2009.02), and presented numerous Forest Fire-related papers. Currently he completed Ph.D. in Kangwon University Graduate School of Disaster Prevention(2015.02), and his current expertise is the study of forest fire behaviors using GIS (ypchanho@kangwon.ac.kr).

Si Young Lee : He is attained Ph.D. in Agriculture at Dong-Guk University with study of “Assessment of Forest Fire Risk and Factor for Expansion of Fires”(1995.08). Currently, He is an associate professor of Kangwon University Graduate School of Disaster Prevention. Published works include papers on Forest Fire Physics, Fire Prevention Education, Forest Protection and Forest Fires. His main areas of study include Forest Fire Prevention, Fire Fighting Technology, Forest Fire Weather, and Disaster Management(lsy925@kangwon.ac.kr).

Houng Sek Park : He attained Master of Agriculture degree at Dong-Guk University College of Agriculture, Department of Forestry with study of “Effective Management of Urban Vegetation”(2002. 08), and also attained Ph.D.(2008. 08), presenting numerous papers on Forest Fires. Currently, He is a lecturer on the topic of climate and disaster at Kangwon University Dogye Campus, Department of Disaster Management. His main areas of study include Forest Fire Behavior Prediction, Forest Fire Prevention and Correlation between Climate Change and Forest Fires(parkhs08@naver.com).

Myoung Soo Won : He attained the degree of Master in Agriculture at the Department of Forest Resources, College of Life and Resources Science, Dongguk University with “A Study on Forest Environment Analysis Using Multi-spectral Imagery and Digital Elevation Model of Remote Sensing”(2000.02), and also attained the degree of Doctor of Philosophy in Environment Science & Ecological Engineering at the Graduate School, Korea University with “Analysis of Burn Severity in Large-fire Area Using Satellite Imagery”(2013.07). He works for Lab. of Mountain Meteorology Research, Center for Forest & Climate Change, National Institute of Forest Science now. His main research field includes Forest Fire Danger Rating and Forecasting Based on Mountain Meteorology(forestfire@korea.kr).