

소나무림과 잣나무림의 산불 잠재위험성 비교

Comparison of Forest Fire Potential Hazards for *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* Stands

Sungyong Kim*, Sukhee Yoon**, Youseung Kim***, Byungdoo Lee****,

Youngjin Lee*****, Mina Jang*****

National Institute of Forest Science, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

Department of Forest Resources, Kongju National University, Yesan 340-802, Korea

Abstract

This study aims to analyze the characteristics of surface fuel load and estimate potential crown fire transition hazards in *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* stands. Surface fuels were collected from 144 samples in *Pinus densiflora* stands and 53 samples in *Pinus koraiensis* stands. A forest fire spread equation presented in foreign countries was applied to analyze the potential crown fire transition hazard in Korea. The results of the data analysis showed that the shrub fuel layer and herb fuel layer of the load in *Pinus densiflora* stand was less than those in *Pinus koraiensis* stand due to allelopathy. It is also found that dead leaves and snags fuel was higher in *Pinus densiflora* stand than *Pinus koraiensis* stand, which indicates that *Pinus koraiensis* stand has relatively less risk of crown fire hazard than *Pinus densiflora* stand.

Key words: forest fire, hazard, surface fuel, *pinus densiflora*, *pinus koraiensis*

* Tel. +82-2-961-2686. Fax. +82-2-961-2699. E-mail. kitaco1@korea.kr

** Tel. +82-2-961-2940. Fax. +82-2-961-2699. E-mail. shyoon337@korea.kr

***Tel. +82-2-961-2941. Fax. +82-2-961-2699. E-mail. yu6975@korea.kr

****Tel. +82-2-961-2696. Fax. +82-2-961-2699. E-mail. byungdoo@korea.kr

*****Tel. +82-41-330-1308. Fax. +82-41-330-1308. E-mail. leeyj@kongju.ac.kr

*****Corresponding author. Tel. +82-41-330-1313. Fax. +82-41-330-1308. E-mail. jmn1607@naver.com

Submission & Publication Process

Received: Sep. 30, 2015 / Revised: Oct. 26, 2015 / Accepted: Nov. 17, 2015

국문초록

본 연구에서는 우리나라를 대표하는 침엽수종 소나무림과 잣나무림을 대상으로 지표층 연료의 특성을 파악하고, 수관화 전이 잠재 위험성을 비교하고자 하였다. 이를 위해 소나무 임분과 잣나무 임분에 서 지표층연료를 144 sample, 53 sample을 채취하여 분석에 이용하였으며, 국외에서 제시된 바 있는 물리적 산불수학식을 적용하여 수관화 전이 잠재위험성을 분석하였다. 본 연구 결과에 의하면, 잣나무림은 타감작용의 여파로 관목층과 초본층 연료량이 소나무림에 비해 적은 것으로 나타났으나, 낙엽, 낙지층 연료량은 소나무림에 비해 많은 것으로 분석되었다. 수관화 전이 잠재위험성 분석에서는 수관화 전이 결정 강도, 수관화 전이 결정 화염길이, 수관화 전이 결정 확산속도 모두 잣나무림이 높은 결과치를 나타내었는데, 이는 잣나무림이 소나무림에 비해 수관화 전이 위험성이 낮음을 의미한다. 이러한 원인은 잣나무림이 소나무림에 비해 지표층 연료에 함유되어 있는 수분의 양이 많고, 임분의 평균 지하고가 높기 때문으로 사료된다.

주제어: 산불, 위험, 지표연료, 소나무, 잣나무

1. 서론

산불은 연소되는 연료의 위치에 따라 토양의 부식층 및 뿌리가 연소되는 지중화(Ground fire), 지표에 있는 초본·관목·낙엽 등이 연소되는 지표화(Surface fire), 임목의 줄기와 수피가 연소되는 수간화(Stem fire), 수관층의 가지와 잎이 연소되는 수관화(Crown fire)로 구분된다. 지중화의 경우 연소되는 지점이 노출되지 않아 특성을 파악하기 어려우며, 우리나라에서는 발생하지 않는다. 또한 수간화는 지표화에서 수관화로 전이되는 중간 형태로써 독립적인 산불로 구분하기 어렵다. 따라서 연구적 측면에서 산불은 크게 지표화와 수관화로 나눌 수 있다. 산불의 발화는 대부분 지표층에서 시작하므로 지표층 연료는 산불의 초기 행동과 대형화 유무를 판단하는 중요한 요소이다(Fernandes, 2001; Sendberg et. al, 2001; Fernandes et. al, 2004; Fernandes et. al, 2006).

지표층 연료는 크게 4개의 범주(낙엽층, 낙지층, 초본층, 관목층)로 나눌 수 있는데, 이러한 인자는 산불 발생 시 상호 복합적인 작용을 통해 화염의 강도를 변화시킨다. 따라서 산림 내 지표층 연료의 특성을 파악하면 산불 확산의 예측과 산불 잠재 위험성을 명확히 규명할 수 있다. 미국에서는 1950년 대부터 물리적 모델을 기반으로 하여 화염이 확산되는 화선의 열 방출량, 연료 소비량, 산불확산속도를 예측하는 모델을 개발한 바 있으며, 현장에서 조사된 지표층 연료자료와 열전도 원리를 이용한 지표화 강도 모델을 개발한 바 있다(Byram, 1959; Rothermel, 1972; Andrews and Rothermel, 1982; Andrews, 1986). 이러한 모델은 FARSITE, FDS(Fire Dynamic Simulator) 등과 같은 산불 확산 시뮬레이션 프로그램에 주요 변이 인자로 활용되고 있다(Finney, 1998).

국내에서는 충남, 충북, 전북지역 소나무림과 참나무림의 지표층 연료를 수집 및 분석하여 연료량, 연료습도, 산불확산강도 등을 수치로 제시한 바 있고(Jang, 2012), 연료습도의 변화를 경사향, 수종, 태양광량에 따라 분석한 바 있다(Lee, 1990). 또한 4차 수치임상도와 산림 내 지표층 연료량 현장조사

자료를 결합하여 산림 지표층 연료량 지도를 개발하였다(Won et al, 2011). 그러나 이러한 연구는 대상 수종을 침엽수림, 활엽수림으로 단순하게 분류하였고, 지역을 국한하여 진행한 연구로써 우리나라 전체 산림을 대표할 수 없는 한계를 지닌다. 특히 국내에서 제시된 연구 결과들은 지표층 연료특성이 산불 행동과 어떠한 상관성이 존재하는지를 명확하게 분석한 사례는 전무한 실정이다.

한편, 소나무림과 잣나무림은 침엽수종으로써 산불에 취약한 수종으로 분류되는데, 소나무림에서는 산불이 수관화로 전이된 사례가 많으나, 잣나무림의 경우 수관화로 전이 된 사례가 극히 드물다. 이러한 현상에 대해 의견이 분분하나, 명확한 근거를 제시한 사례는 부족하다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 소나무림과 잣나무림을 대상으로 지표층 연료를 수집하여 연료습도, 층위별 연료량, 연료분포 등을 비교 분석하고, 국외 물리적 산불 수학적식에 적용하여 소나무림과 잣나무림의 수관화 전이 잠재위험성을 비교하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

연구대상지는 우리나라 침엽수림 면적에서 56.1%(1,447,439ha)를 차지하고 있는 소나무림과 8.3%(214,357ha)를 차지하고 있는 잣나무림을 대상으로 연구를 진행하였다(Korea Forest Service, 2014). 소나무림은 영남을 고려하여 충청남도도와 전라북도 일대에서 36plot을 선정하였으며, 경상북도와 강원도 일대에서는 총 12plot 선정하여 분석에 이용하였다. 잣나무림의 연구대상지는 가장 많이 분포하는 경기도 가평군과 양평군지역에서 영남을 고려하여 총 9plot, 강원도 홍천군과 정선군에서 총 12plot을 선정하여 분석에 이용하였다<Table 1>.

<Table 1> Information of study sites

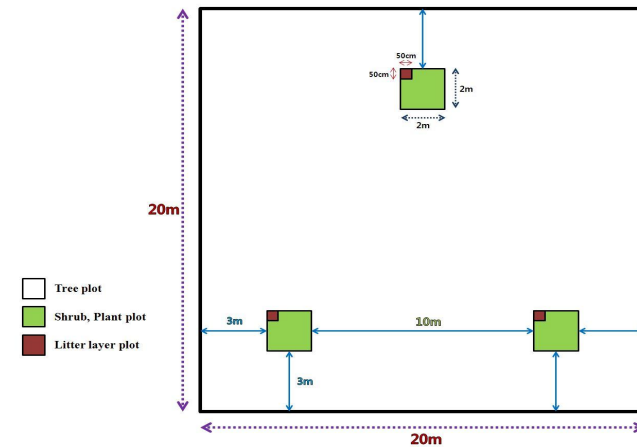
Species	No. of plots	No. of samples	select of age class
<i>Pinus densiflora</i>	48	144	I, II, III, IV, V, VI
<i>Pinus koraiensis</i>	21	63	I, II, III, IV, V

2. 조사 및 분석방법

1) 지표층 연료량 조사

영남에 따른 지표층 연료의 특성을 파악하기 위해 표준지 별 2m×2m 크기의 정방형구를 임분의 표준이 되는 세 지점에 설치하고, 지점별로 모든 관목을 절취하여 생중량을 측정하였으며, 초본, 낙엽, 낙지 연료는 관목층 조사구 내에 0.5m×0.5m의 방형구를 설치하여 자료를 수집하였다. 또한 지표층 연

료량 추정을 위하여 각 부분별 전체 중량의 25% 이상의 시료를 채취하였다<Figure 1>.



<Figure 1> Method of plot design

2) 지표층 수분함량 측정

수집된 지표층 연료는 95℃로 설정된 건조기에 향량에 도달할 수 있도록 건조한 후 그 중량을 측정, 단위면적당 관목, 초본, 낙엽, 낙지의 연료량을 추정하였다. 그 후 생중량과 건조된 중량을 이용하여 지표층 연료의 수분함량을 측정하였다. 다음은 Anderson(1978)이 제시한 수분함량 분석방법에 의거 사용된 식(1)을 나타낸 것이다.

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

여기서

SFMC = Surface fuel moisture content(%), W_w = Weight of sample before dry-oven,

W_d = Weight of sample after dry-oven.

3) 수관화 전이 잠재위험성 분석

국외에서 제시된 수관화 전이 잠재 위험성 평가 모델은 물리적 현상을 분석한 모델로써 수학적 기법의 연결을 통해 지표화에서 수관화로 전이되는 위험성을 판단하는 지표로 활용된다

(Dimitrakopoulos et al, 2007). 물리적인 관점에서 행동특성을 판단할 수 있는 지표는 화염강도, 화염길이, 화염의 확산속도 등이며, 복합적인 상호작용에 의해 수관화 전이 유무를 판별할 수 있다.

지표화 강도는 산불의 화선이 앞으로 나아가고자하는 에너지를 의미하며, 단위시간 당 산불 화선의 화염길이에 따른 열 방출에 대한 수치이다. 이와 관련하여 Van Wagner(1977)는 지표화 강도의 이론을 지표화로부터 방출된 열에너지가 최소 한계점에 이르거나 그 범위를 초과할 시 수관화의 발생 가능성이 높아진다고 정의하면서 다음과 같은 수관화 전이를 결정하는 임계 결정강도 식(2)을 응용하여 개발하였다.

$$[aCBH(460 + 26FMC)]^{3/2} = 259.81L^{2.174} \quad (2)$$

여기서,

CSI = Critical surface fire intensity(kW/m),

a = 0.01(constant, dimensionless),

CBH = Crown base height(m),

FMC = Foliage moisture content(%),

L = Flame length of surface fire(m).

즉, 수관화 전이 임계 결정강도와 지표화 강도가 같다고 가정한다면, 임계 지하고와 임계 수분함량이 결정된다는 원리이다. 또한 이러한 식은 다시 응용하게 되면 수관화 전이 임계 화염길이를 지하고와 앞의 수분함량에 의해 추정이 가능하다. 이 식(3)은 다음과 같다.

$$L_0 = 0.0775 [aCBH(460 + 26FMC)]^{0.69} \quad (3)$$

한편, 수관화 전이 결정 확산속도(Critical surface fire rate of spread)는 산불 행동과 예측에 있어 대형 산불을 관리하고, 처방화입을 적용하기 위한 결정적인 중요 요소이며(Fernandes, 2001), 식 (4)에 의해 추정된다. 이러한 식들을 수관화 전이의 유무를 판별할 시 유용하게 활용될 수 있는 수학적식이다.

$$RSO = \frac{CSI}{300 \times SFC} \quad (4)$$

여기서,

RSO= Critical surface fire rate of spread (m/min),

CSI = Critical surface fire intensity (kW/m),

SFC = Surface fuel consumption (kg/m²).

III. 연구결과

1. 연구대상지 임분 통계

<Table 2> Summary of the observed statistics for *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*

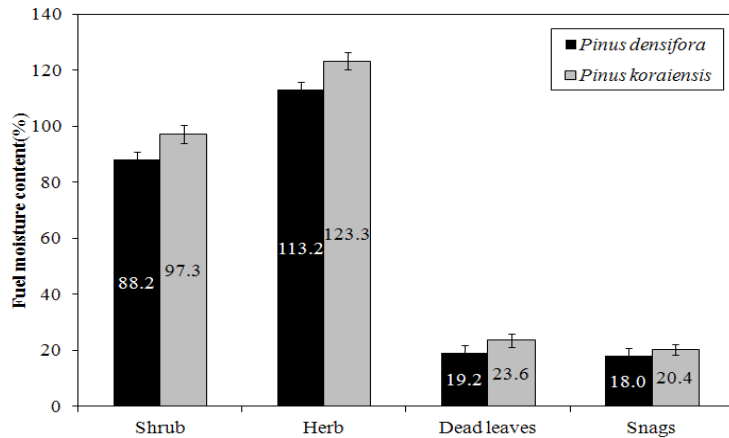
Species	Age class	DBH (cm)	Total height (m)	Crown height (m)	Stand density (trees/ha)
<i>Pinus densiflora</i>	I	3.1	2.2	0.4	3,980
		1.3-4.8	1.2-3.1	0.2-0.5	2,750-6,300
	II	8.6	7.8	3.6	2,650
		6.8-14.0	6.1-9.6	2.8-5.2	1,900-3,400
	III	12.3	9.4	5.3	2,250
		9.0-16.6	7.2-13.9	4.2-6.1	1,800-2,800
IV	15.3	11.1	6.1	1,875	
	11.0-19.3	8.4-14.7	4.9-7.4	1,500-2,700	
V	18.3	13.6	7.1	1,430	
	13.9-22.8	10.1-18.1	5.1-8.9	1,100-2,000	
VI	21.7	14.9	7.4	1,025	
	15.0-25.0	11.6-22.0	5.1-9.9	800-1,400	
<i>Pinus koraiensis</i>	I	3.6	2.1	0.4	3,633
		2.3-5.6	1.8-3.1	0.2-0.7	2,800-4,300
	II	8.9	7.5	2.9	2,633
		5.9-11.0	6.1-9.9	1.8-3.7	1,850-3,100
	III	13.6	9.0	5.0	2,200
11.0-15.6		8.2-10.9	3.7-5.6	1,600-2,600	
IV	17.9	12.3	6.3	1,350	
	15.0-21.1	10.4-15.7	5.0-6.9	1,050-1,600	
V	22.5	13.2	8.7	950	
	16.9-24.0	10.1-16.2	6.5-10.4	600-1,100	

소나무림과 잣나무림의 임분 통계를 현장조사 자료를 통해 분석한 결과는 <Table 2>와 같다. 소나무림의 영급별 평균 흉고직경은 I영급 3.1cm, II영급 8.6cm, III영급 21.7cm, IV영급 15.3cm, V영급 18.3m, VI영급 22.8m이었고, 평균 수고는 I영급 2.2m, II영급 7.8m, III영급 9.4m, IV영급 11.1cm, V영급 13.6cm, VI영급 14.9cm이었다. 잣나무의 영급별 평균 흉고직경은 I영급 3.6cm, II영급 8.9cm, III영급 13.6cm, IV영급 17.9cm, V영급 22.5cm, 이었고, 수고는 I영급 2.1m, II영급 7.5m, III영급 9.0m, IV영급 12.3m, V영급 13.2m이었다. 잣나무림의 VI영급은 대상지 선정에 제약이 있어 조사되지 않았다. 전체적으로 영급이 증가함에 따라 흉고직경과 수고는 증가하고, 임분밀도는 감소하는 일반적

인 패턴을 보였으며, 영급에 따라 잣나무림이 소나무림에 비해 흉고직경과 수고 생장이 좋고, 임분밀도가 낮은 것으로 분석되었다.

2. 지표층 연료의 수분함량

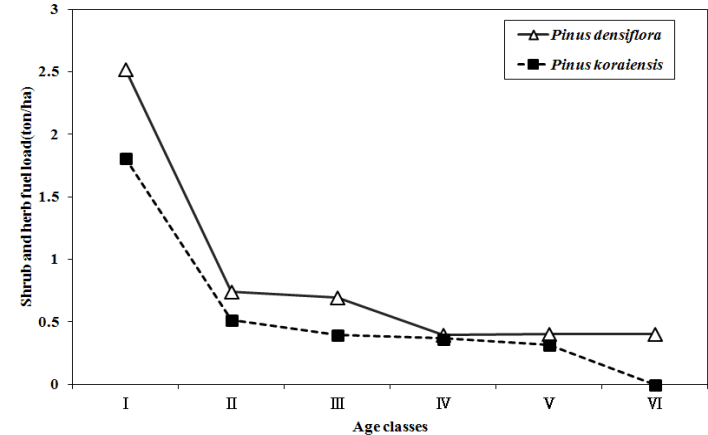
소나무림과 잣나무림의 임분 내 지표층 연료의 수분함량을 분석한 결과는 <Figure 2>와 같다. 소나무림의 관목층, 초본층 수분함량은 각각 88.2%, 113.2%로 분석되어 잣나무림 초본층, 관목층 수분함량 97.3%, 123.3%에 비해 낮은 수치를 나타내었다. 또한 소나무림의 낙엽층, 낙지층의 수분함량은 각각 19.2%, 18.0%로 분석되어 잣나무림의 23.6%, 20.4%에 비해 낮은 수치였다. 이러한 원인은 잣나무 임분의 경우 소나무 임분에 비해 수관층의 발달이 활발하게 일어나 임내에 투과되는 광량이 적다. 따라서 잣나무림이 소나무림에 비해 수분이 증발하는 양이 적어 발생한 현상으로 사료된다(Lee et al, 2009). 기존 연구결과에서는 산림 내 지표층 수분함량이 20% 이하로 내려가게 되면 산불 발생 확률이 급격히 높아진다는 연구결과가 있다(Kwon, 2014). 따라서 20% 이하의 수분함량을 보이는 소나무림은 산불 발생 확률이 높아지는 반면에 잣나무림은 상대적으로 산불 발생 확률이 낮을 것으로 판단되어 진다.



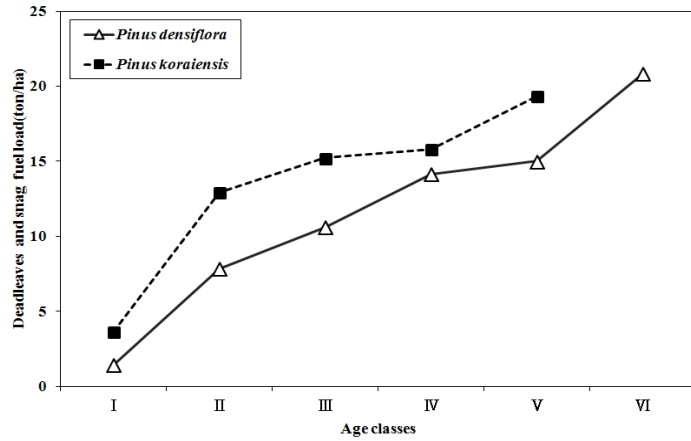
<Figure 2> Surface fuel moisture contents of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*(Bars represent ± S.E. of the Mean)

3. 영급별 지표층 부위별 연료량 변화

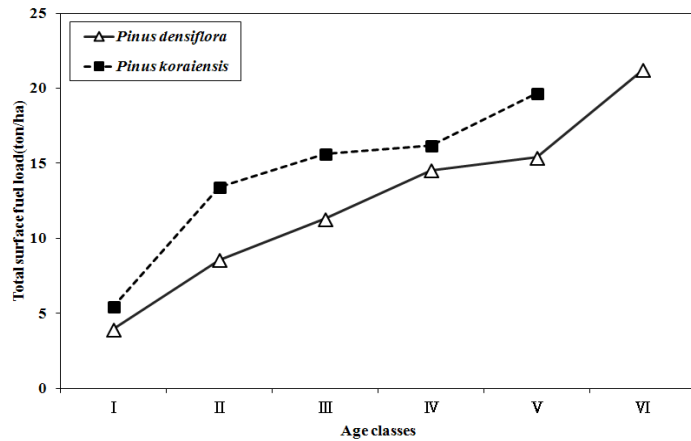
영급변화에 따른 소나무림과 잣나무림의 지표층 연료량 변화를 분석한 결과, 관목층과 초본층을 합산한 연료량은 임령이 증가하면서 감소하는 패턴을 보였다<Figure 3>. 특히 I 영급에서 II 영급으로 성장하면서 연료량이 급격히 감소하였는데, 이는 I 영급 임분의 경우 수관 발달이 미약하고, 임분 내의 광량이 높아 하층식생의 성장환경이 좋기 때문에 발생한 현상으로 판단되어 진다(Tom, 2006). 반면에 낙엽, 낙지층을 합산한 연료량은 임령이 증가하면서 낙엽의 퇴적량이 늘어나는 현상으로 지속적으로 연료량이 증가하는 패턴을 보였다<Figure 4>. 영급에 따른 전체 지표층 연료량의 경우에는 임령이 증가하면서 연료량이 많아지는 패턴을 보였는데, 이는 관목과 초본층에 비해 낙엽과 낙지층이 전체 지표층 연료에서 차지하는 비율이 높기 때문에 발생한 현상이다. 따라서 관목, 초본층 보다는 낙엽, 낙지층 연료량의 변화가 산불 확산 유무에 있어 영향이 큰 인자로 판단되어 진다<Figure 5>. 이와 관련한 기존 연구결과를 보면, 산불방지용 숲가꾸기를 실시한 후 일정 시간이 경과하게 되면 상층부 수관층 울폐도가 낮아져 수관화 확산 위험성은 줄어들지만, 임내 투과되는 광량의 증가로 인해 관목, 초본층 발달이 활발하게 일어나 수관화 전이 위험성은 상대적으로 높아질 가능성을 제시한 바 있다(Scott and Reinhardt, 2001). 그러나 본 연구 결과와 같이 관목, 초본층 연료량이 낙엽, 낙지층의 퇴적량에 비해 전체 지표층 연료에서 차지하는 비율이 현저히 낮으므로 고강도의 숲가꾸기 후 시간이 경과하여도 수관화 전이 위험을 높이는 데 크게 기여하지 못할 것으로 판단된다. 따라서 숲가꾸기는 산불 확산 위험성을 줄이는데 유용한 인위적인 관리 방법이라고 판단되어 진다.



<Figure 3> Relationships between shrub and herb fuel load by age class



<Figure 4> Relationships between deadleaves and snag fuel load by age class

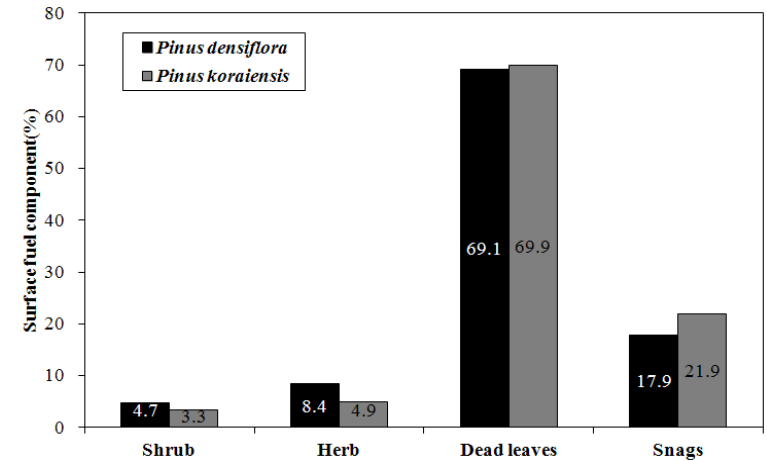


<Figure 5> Relationships between total surface fuel load by age class

4. 지표층 부위별 연료량 비율

소나무림과 잣나무림의 지표층 부위별 연료량 비율을 분석한 결과, 소나무림이 잣나무림에 비해 관목, 초본층의 비율이 높았으며, 낙엽, 낙지층의 비율은 낮은 것으로 분석되었다<Figure 6>. 이는 타감

작용에 의한 현상으로 볼 수 있는데, 침엽수종별 피톤치트 발생량을 보면 우리나라에 조림된 주요 침엽수종 중에서 잣나무 수종이 가장 많은 피톤치트 발생량을 보인다(Korea Forest Service, 2015). 피톤치트는 테르펜 성분에 의해 발생하며, 테르펜은 타감작용과 직접적인 연관이 있다(Bariceric et al, 2001). 따라서 테르펜 성분이 많은 잣나무림에서 관목과 초본의 생장억제 현상이 작용했을 것으로 판단되어 진다.



<Figure 6> Surface fuel loads distribution of fuel component for *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*

5. 영급별 수관화 전이 결정강도

수관화 전이 결정강도를 추정하기 위해서는 수관층의 수분함량이 필요하나, 임목 벌채를 통해서만 측정이 가능하므로 시간과 비용이 많이 소모되는 단점이 있다. 따라서 실제 수관층의 수분함량(소나무 108.6%, 잣나무 114.8%)을 임목벌채를 통해 분석한 연구의 결과를 활용해 분석에 이용함으로써 시간과 비용을 절약하였다(Kim et al, 2012; Kim et al, 2015). 영급에 따른 수관화 전이 결정강도를 분석한 결과, 잣나무림이 소나무에 비해 II영급을 제외한 모든 임분에서 수관화 전이에 필요한 열소비량(Heat consumption)이 높은 것으로 나타났다. 이는 열 소비량이 높을수록 수관화 전이에 필요한 에너지의 양이 많음을 의미하기 때문에 잣나무림이 소나무림에 비해 수관화 전이 위험성이 낮다고 볼 수 있다<Table 3>. 한편, Fernandes et al,(2004)은 포르투갈 Pinaster pine III영급 임분의 수관화 전이 결정강도를 2,232 kW/m로 제시하고 있는데, 이는 본 연구 결과와 매우 유사한 수치이다.

<Table 3> Critical values to assessment of surface fire intensity by age class

Age class	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Pinus koraiensis</i>
	kW/m	
II	1166.47	1024.26
III	2101.39	2249.19
IV	2792.25	3287.46
V	3360.84	5048.49
VI	3898.47	5124.29

6. 영급별 수관화 전이 결정 화염길이

소나무림과 잣나무림의 수관화 전이 결정 화염길이를 분석한 결과, 낮은 임령에서는 잣나무림이 소나무림에 비해 화염길이가 낮은 것으로 분석되었으나, 임령이 높아질수록 역전 현상이 발생하였다 <Table 4>. 이는 수관화 전이 결정 화염길이가 낮을수록 수관화 위험성이 높다는 의미로 해석했을 시, 잣나무림이 유령림에서 수관화 전이 위험성이 높으나, 시간이 경과함에 따라 낮아진다는 해석이 가능하다.

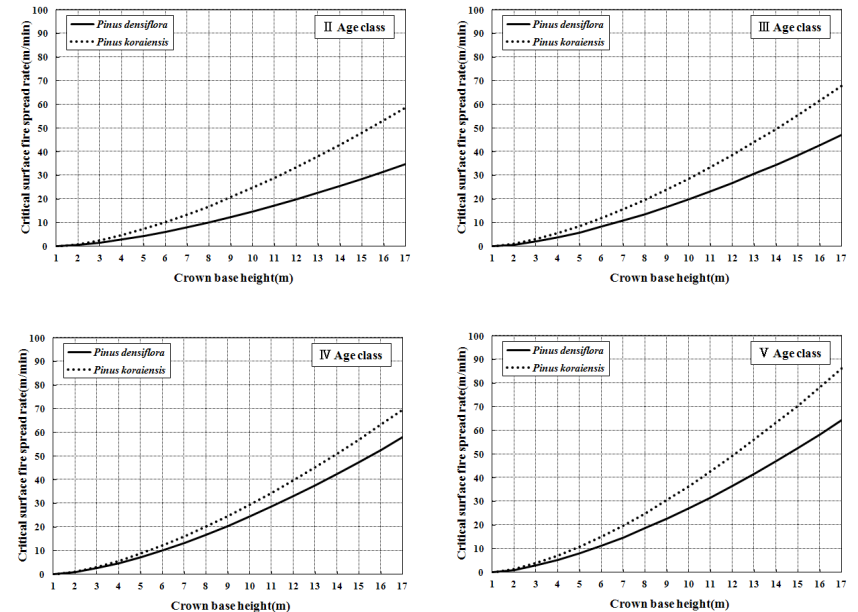
<Table 4> Critical values to assessment of flame length by age class

Age class	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Pinus koraiensis</i>
	m	
II	1.97	1.886
III	2.61	2.71
IV	2.97	3.17
V	3.27	3.96
VI	3.45	4.00

7. 영급별 수관화 전이 결정 확산속도

수관화 전이 결정 확산속도를 추정하는데 필요한 인자는 수관화 전이 결정강도와 지표층 연료량이 다. 본 연구에서는 영급별 층위에 대한 연료량 자료를 이용하여 영급에 따른 소나무림과 잣나무림의 수관화 전이 결정 확산속도를 추정하였다(Figure 7). 수관화 전이 결정 확산속도가 높다는 것은 산불 확산속도가 빠르게 진행되어도 수관화로 전이될 가능성이 낮음을 의미한다. 분석결과, II영급, 평균 지하고가 5m 일 경우를 가정하였을 시 소나무림에서는 6.14m/min의 산불 확산속도에서 수관화로 전이되는 것으로 분석되었으나, 잣나무림의 경우 동일조건에서 10.25m/min에서 수관화로 전이되는 것으로 분석되었다. III영급에서도 동일 조건에서 소나무림 8.16m/min, 잣나무림 11.86m/min으로 나타났으며, IV영급의 경우, 소나무림 9.87m/min, 잣나무림 12.18m/min, V영급의 경우, 소나무림 10.99m/min, 잣나무림 15.08m/min으로 나타났다. 기존 국외에서 제시된 연구결과를 보면, Aleppo pine II영급 임

분에 대한 수관화 전이 결정 확산속도를 지하고 5m로 가정했을 시 7.43m의 임계치를 제시하고 있다. 따라서 우리나라 소나무림은 그리스 Aleppo pine 임분에 비해 수관화 전이 위험성이 높은 것으로 판단되며, 이에 반해 잣나무림은 수관화 전이 위험성이 낮은 것으로 판단되었다(Dimitrakopoulos and Mitsopoulos, 2007).



<Figure 7> Critical surface fire spread rate by age class in *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 우리나라를 대표하는 침엽수종 소나무림과 잣나무림을 대상으로 지표층 연료의 특성을 파악하고 수관화 전이 잠재 위험성을 비교하였다. 이를 위해 소나무 임분과 잣나무 임분에서 지표층연료를 144 sample, 53 sample을 채취하여 분석에 이용하였으며, 국외에서 제시된 바 있는 물리적 산불수확식을 적용하여 수관화 전이 잠재위험성을 분석하였다. 본 연구 결과에 의하면, 잣나무림은 타감작용의 여파로 인하여 관목층과 초본층 연료량이 소나무림에 비해 적은 것으로 나타났으나, 낙엽,

낙지층 연료량은 소나무림에 비해 많은 것으로 분석되었다. 수관화 전이 잠재위험성 분석에서는 수관화 전이 결정 강도, 수관화 전이 결정 화염길이, 수관화 전이 결정 확산속도 모두 잣나무림이 높은 결과치를 나타내었는데, 이는 잣나무림이 소나무림에 비해 수관화 전이 위험성이 낮음을 의미한다. 이러한 원인은 잣나무림이 소나무림에 비해 지표층 연료에 함유되어 있는 수분의 양이 많고, 임분의 평균 지하도가 높기 때문으로 사료된다. 본 연구의 결과는 산불에 취약한 침엽수종에 대한 연료 메커니즘을 규명하는데 유용한 정보로 활용됨은 물론이고, 산불 위험성을 평가하는데 있어 중요한 자료로 활용될 수 있다.

References

- Anderson, H. E., D. S. Robert, and W. M. Robert. 1978. Timelag and Equilibrium Moisture Content of Ponderosa Pine Needles. USDA Forest Service Research paper INT - 202
- Andrews, P. L. and R. C. Rothermel. 1982. Charts for Interpreting Wildland Fire Behavior Characteristics. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden. General Technical Report INT-131.
- Andrews, P. L. 1986. BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System - BURN Subsystem, Part 1. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden. General Technical Report INT-194.
- Baricevic, D., L. Milevoj. and J B., Borstnik. 2001. Insecticidal Effect of Oregano Origanum Vulgare L. ssp. Hirtum Inter. *Journal of Horticult Society*. 7: 84-88.
- Byram, G. M. 1959. Combustion of Forest Fuels. Davis, K. P.(eds) *Forest fire : Control and Use*. New York: McGraw-Hill. 61-89.
- Dimitrakopoulos, A. P., I. D. Mitsopoulos. and D. I. Raptis. 2007. Nomographs for Predicting Crown Fire Initiation in Aleppo Pine(*Pinus halepensis* Mill.) Forests. *European Journal of Forest Research*. 126: 555-561.
- Fernandes, P. M. 2001. Fire Spread Prediction in Shrub Fuels in Portugal. *Forest Ecology and Management*. 144: 67-74.
- Fernandes, P. M., C. Loureiro. and H. Botelho. 2004. Fire Behavior and Severity in a Maritime Pine Stand under Differing Fuel Conditions. *Annals of Forest Science*. 61: 537-544.
- Fernandes, P., A. Luz., C. Loureiro., P. Godinho-Ferreira. and H. Botelho. 2006. Fuel Modelling and Fire Hazard Assessment Based on Data from the Portuguese National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management*. 234S: S229.
- Finney, M. A. 1998. *FARSITE : Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation*. Rocky Mountain Research Station. 47.
- Dimitrakopoulos, A. P., I. D. Mitsopoulos. and D. I. Raptis. 2007. Nomographs for Predicting Crown Fire Initiation in Aleppo Pine(*Pinus halepensis* Mill.) Forests. *European Journal of Forest Research*. 126: 555-561.
- Jang, Mi Na. 2012. Fuel Characteristics of the Different Forest Layers and Assesment of Potential Crown Fire Hazard. Masteris Thesis. Kongju National University.
- Kim, Sung Yong, Byung Doo Lee, Yeon Ok Seo and Young Jin Lee. 2011. Crown Fuel Characteristics and Allometric Equations of *Pinus densiflora* Stands in Youngju Region. *Journal of Korea Forest Society*. 100(2): 266-272.
- Kim, Sung Yong, Mi Na Jang, Byung Doo Lee and Young Jin Lee. 2015. Allometric Equations for Crown Fuel Biomass of *Pinus koraiensis* Stands in Korea. *Journal of Korea Forest Society*. 104(1): 104-110.
- Korea Forest Service. 2014. <http://www.forest.go.kr/>
- Korea Forest Service. 2015. <http://www.forest.go.kr/>
- Kwon, Choon Geun. 2014. A Study on Estimations of Forest Surface Fuel Moisture Content Change on Affecting Forest Fires. - Focus on the Gangwondo Yeongdong area -. Ph.D. Dissertation. Kangwon National University.
- Lee, Si Young, 1990. Effects of Environmental Factors Influencing Fire Intensity and Rate of Spread. Ph.D. Dissertation, University of Dongkook.
- Lee, Young Jin, Yeon Ok Seo, Sang Moon Park, Jung Kee Pyo, Rae Hyun Kim, Yeong Mo Son, Kyeong Hak Lee and Hyung Ho Kim. 2009. Estimation of Biomass for 27 Years Old Korean Pine (*Pinus koraiensis*) Plantation in Gangneung, Gangwon Provence. *Journal of Agriculture and Life Science*. 43(1): 1-8.
- Rothermel, R. C. 1972. A Mathematical Model for Prediction Fire Spread in Wildland Fuels. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden. General Technical Report INT-115.
- Scott, J. H. and E. D. Reinhardt. 2001. Assessing Crown Fire Potential by Linking Models of Surface and Crown Fire Behavior. Research Paper. RMRS-RP-29, U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 59.
- Sendberg, D. V., R. D. Ottmar. and G. H. Chshon. 2001. Characterizing Fuels in the 21st Century. *International Journal of Wildland Fire*. 10: 381-387.
- Tom, D. G. 2006. Guidelines for Thinning Ponderosa Pine for Improved Forest Health and Fire

Prevention. 11.

Van Wagner, C. E. 1977. Conditions of the Start and Spread of Crown Fires. *Canadian Journal of Forest Research*. 7: 23-34.

Won, Myung Soo, Young Jin Lee, Yeon Ok Seo, Kyo Sang Koo, Suk Hee Youn and Myung Bo Lee. 2011. Estimation on forest fire potential hazard by fuel load change of forest strata in forest stand. Korea Society of Hazard Mitigation Conference. 318-320.

Korean References translated from the English

권춘근. 2014. 산불에 영향을 미치는 산림지표연료 습도변화 추정에 관한 연구. -강원도 영동 지역을 중심으로-. 강원대학교 방재전문 대학원. 석사학위논문.

김성용, 이병두, 서연옥, 이영진. 2011. 영주지역 소나무림의 수관연료특성 및 수관연료량 추정. 한국임학회지. 100(2): 266-272.

김성용, 장미나, 이병두, 이영진. 2015. 잣나무림의 수관연료량 추정을 위한 상대생장식 개발. 한국임학회지. 104(1): 104-110.

이시영. 1990. 환경인자가 산불의 온도 및 진행속도에 미치는 영향. 동국대학교 대학원. 석사학위논문.

이영진, 서연옥, 박상문, 표정기, 김래현, 손영모, 이경학. 2009. 강릉지방 27년생 잣나무 조림지의 바이오매스에 관한 연구. 농업생명과학연구 43(1): 1-8.

원명수, 이영진, 서연옥, 구교상, 윤석희, 이명보. 2011. 산림 층위별 연료량 변화와 임내의 산불잠재위험성 평가. 한국임학회 2011년 산림과학 공동학술발표논문집 318-320.

장미나. 2012. 산림내 층위별 연료특성과 수관화 잠재위험성 평가. 공주대학교 일반대학원. 석사학위논문.

김성용: 공주대학교에서 “산불위험성 평가를 위한 주요 침엽수종의 연료특성 분석에 관한 연구”로 농학박사학위를 취득하였으며(2015. 08), 현재는 국립산림과학원 산림방재연구과에서 박사연구원으로 재직 중이다. 주 연구 분야는 산불 연료모델과 관련된 연구를 수행하였고, 이를 통해 “우리나라 주요 침엽수종의 수관연료특성 평가”, “숲가꾸기 사업이 수관층 연료특성에 미치는 영향” 등을 논문을 작성하였다.(kitaco1@korea.kr)

윤석희: 동국대학교에서 “사막화 방지를 위한 내화성·내염성 포플러 선발”로 인문학석사학위를 취득하였으며(2005. 02), 현재는 국립산림과학원 기후변화연구센터에서 산악기상 관측망 구축 연구 사업을 수행하고 있다. 주 연구는 산악기상관측망 정보를 활용한 적정위치 분석 및 평지기상과 산악기상의 비교특성 연구를 수행하고 있다.(shyoon337@korea.kr)

김유승: 고려대학교에서 “근적외선 카메라를 이용한 소나무제선충 피해지의 고사목 조기진단 방법 개발”로 농학석사학위를 취득 하였으며(2007. 02), 현재는 산불 연료도감 작성 기법에 대한 연구를 수행하고 있다. 주 연구 분야는 공간기술을 활용한 산불위험 정량화이다.(yu6975@korea.kr)

이병두: 서울대학교에서 “GIS와 RS를 이용한 2000년 삼척산불 행동 특성 분석 및 산불확산에측도모델 개발”로 농학박사학위를 취득하였으며(2005. 08), 현재는 국립산림과학원 산림방재연구과에서 연구관으로 재직 중이다. 산불과 관련된 다양한 연구 과제를 수행하였고, 이를 통해 다수의 논문을 발표하였다. 주 연구 분야는 산불예방 및 진화기술, 산불위험 평가 분야이다.(byungdoo@korea.kr)

이영진: 현재 공주대학교 산림자원학과에서 정교수로 재직 중이며, 주 전공 분야는 산림자원 측정 및 산림 경영이다. 2010년부터 산림자원 측정을 응용하여 산불 연구를 수행하였으며, 이를 통해 산불연구 발전에 크게 기여하였다. 산불과 관련된 주요 논문으로는 “숲가꾸기 사업이 수관층 연료특성에 미치는 영향”, “영주지역 소나무림의 수관연료특성 및 수관연료량 추정” 등이 있다. (leeyj@kongju.ac.kr)

장미나: 공주대학교에서 “산림내 층위별 연료특성과 수관화 잠재위험성 평가”로 농학석사학위를 취득하였으며(2012. 02), 현재 공주대학교 산림자원학과에서 박사과정에 있다. 산불과 관련된 다양한 연구 과제를 수행하였고, 이를 통해 다수의 논문을 발표하였다. 주 연구 분야는 지표층 연료특성을 통한 산불 위험성 분석 분야이다.(jmn1607@naver.com)