

소나무 수관 부위별 연료량 추정식 개발 및 수관연료밀도 분석

이병두 · 원명수 · 김신영* · 윤석희 · 이명보
국립산림과학원 산림방재연구과

Allometric Equations of Crown Fuel Biomass and Analysis of Crown Bulk Density for *Pinus densiflora*

Byungdoo Lee, Myoung Soo Won, Seon Young Kim*,
Suk-Hee Yoon and Myung-Bo Lee

Division of forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 수관화 위험성 평가에 필요한 소나무 수관층 연료특성을 분석하기 위해 수관 부위별로 연료량을 추정할 수 있는 상대생장식을 개발하고, 수관연료밀도를 분석하였다. 이를 위해 대구 팔공산의 소나무 임분을 대상으로 10본의 소나무를 벌채하고, 수간, 가지, 잎 부분의 고사여부와 가지의 굵기 별로 구분하여 무게를 측정하였다. 상대생장식은 흉고직경(D) 또는 흉고직경과 수고(H)를 이용하는 회귀식을 이용하여 추정하였다. 평균적으로 추정식 $\ln Wt = \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H$ 의 결정계수가 가장 높고($R^2_{adj} = 0.835-0.996$) 표준추정오차가 가장 낮았지만($SEE = 0.074-0.638$), 잎과 작은 가지 항목에서는 추정식들간 결정계수 및 표준추정오차의 차이가 미미하였다. 각 부위별 연료량을 수관체적으로 나눈 수관연료 밀도는 잎만을 고려했을 때 0.067 kg/m^3 , 잎과 직경이 0.5 cm 이하인 가지까지 포함했을 때 0.097 kg/m^3 로 나타났다. 흉고직경이 증가함에 따라 잎과 잔가지 부위의 수관연료밀도 증가폭은 미미하였다.

Abstract: To analyze the characteristics of canopy fuel in *Pinus densiflora* stand, which is essential to assess the crown fire hazard, allometric equations for estimation of crown fuel biomass were developed by subjectively categorized crown fuel component and crown bulk density was analyzed by available fuel component categories. Ten trees were destructively sampled at *Pinus densiflora* stand in Mt. Palgong in Daegu and their crown fuels were weighed separately for each fuel category by size classes and by living and dead. Regression equations that estimate crown fuel load by diameter at breast height(D) or additional total height(H) were derived. The adjusted coefficient of determination values were the highest ($R^2_{adj} = 0.835-0.996$) and standard error of estimate were the lowest ($SEE = 0.074-0.638$) in the allometric equation $\ln Wt = \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H$ in average. However, in needles and small branches categories, the differences in R^2_{adj} and SEE between equations were not significant. Crown bulk density (CBD), which was calculated by crown fuel load divided by crown volume, was 0.067 kg/m^3 in average when only needles were considered as available crown fuel and 0.097 kg/m^3 when needles and branches ($0-0.5 \text{ cm}$ diameter) were considered. The increments of CBD of needles and small branches were little even when diameter at breast height increased.

Key words : crown fuel biomass, crown bulk density, allometric equation, Japanese red pine

서론

우리나라의 대표적 침엽수종인 소나무는 전체 산림면적의 23.1%, 침엽수림 면적의 55%로 전국적으로 넓은 분포면적을 차지하고 있다(산림청, 2009). 하지만 소나무림은 활엽수와는 달리 산불이 집중되는 봄철 시기에 수관층에 잎이 존재하고, 잎과 가지에 정유성분을 함유하고

있어 수관화로 확산될 가능성이 높아 산불에 취약하다. 따라서 산불이 지표화에서 수관화로 전이되는 방식을 구명하고, 숲아베기, 가지치기 등 산림관리를 통해 수관화를 방지하기 위해서는 수관층의 연료 특성 분석을 통한 수관화 잠재성 평가 기법 마련이 요구된다.

수관화 잠재성 평가와 관련된 연구는 수관층 연료량 산정과 이를 바탕으로 한 수관화 확산에 관계된 매개변수, 수관연료밀도(canopy bulk density), 수분함유량(foliar moisture content), 지표면에서 수관층까지의 높이(canopy

*Corresponding author
E-mail: dancingsy@gmail.com

base height)에 관한 연구 등으로 진행되고 있다(Sando and Wick, 1972; Reinhardt *et al.*, 2000). 수관층 연료량, 곧 수관층의 건중량은 임분 내 모든 개별 임목의 수관층에 존재하는 모든 연료의 합을 의미하기 때문에 현장조사를 통해 측정하기 위해서는 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 수관층 연료량을 추정하기 위해서는 표본목(sample tree)의 벌채를 통해 개발한 상대성장식을 이용하는 방법(Cruz *et al.*, 2003; 이병두 등, 2006)이나 광학센서를 통한 엽면적지수 등을 이용하는 방법(Keane *et al.*, 2005) 등 간접적 방법이 주로 이용되고 있다.

특히 상대성장식은 식물의 물질생산 관점에서 오래 전부터 개발되어 왔으며 흉고직경과 수고 등 산림조사 자료를 이용하여 쉽게 추정할 수 있기 때문에 널리 이용되는 방법이다. 국내에서도 산림의 생산력 혹은 물질분배(biomass allocation)의 관점, 또한 최근에는 탄소계정의 관점에서 다양한 수종을 대상으로 상대성장식이 개발되고 있다(박인협과 김준선, 1989; 박인협과 이석면, 1990; 조현길과 안태원, 2000; 이경학 등, 2002; 박인협 등, 2005).

그러나 국내에서 개발된 대부분의 상대성장식은 수관을 잎과 가지 굵기에 따라 구분하지 않고 단순화하여 추정하는 경우가 대부분이기 때문에, 수관화 확산시 주로 연소되는 부위가 잎과 굵기가 작은 잔가지(Scott and Reinhardt, 2001)라는 점을 고려했을 때 수관연료 혹은 연소량을 추정하는데 어려움이 제기되고 있다. 따라서 최근에 산불의 관점에서 수행된 많은 연구들은 상대성장식을 잎과 가지 굵기 별로 또는 고사여부의 관점에서 분류하여 추정한 경우가 많다(Brown, 1978; Kucuk *et al.*, 2007; Mitsopoulos and Dimitrakopoulos, 2007).

한편 수관화 확산과 관련하여 중요한 매개변수인 수관 연료밀도는 지표화에서 수관화로의 전이단계와 전이된 산불이 인접한 수관으로 확산되는데 자주 이용되는 주요한 변수이다. Sando와 Wick(1972)은 수관연료밀도를 단위 수관 체적당 이용가능한 수관층 연료의 양으로 정의하였으며, 수관화가 일어날 수 있는 충분한 수관연료밀도에 대한 기준으로 수관화시 연소될 수 있는 작은 크기의 가지와 잎을 합쳐 0.037 kg/m³를 제시한 바 있다. 이 때 연소될 수 있는 작은 가지의 기준으로 6 mm 이하의 가지(Brown and Bradshaw, 1994), 혹은 6.3 mm(1/4 inch) 이하의 가지가 제시된 바 있으며, 1 cm 이상의 가지는 거의 연소되지 않는다고 하였다(Call and Albini, 1997).

따라서 본 연구는 수관화에 취약한 소나무림을 대상으로 수관화 확산 예측에 관련한 기초 자료를 마련하기 위하여 소나무의 잎과 가지 굵기 별로 부위별 연료량 상대성장식을 추정하고, 연구대상지 소나무림의 수관연료밀도의 특성을 분석하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구 대상지는 대구광역시 동구 팔공산에 위치한 28년 생 소나무림을 선정하였다. 이 지역은 소나무단순림 지역으로 2008년 5월 9일 산불이 발생하여 수관화로 확산된 지역이다. 임목밀도는 ha당 2,300본이었고, 평균흉고직경과 수고가 각각 13.2 cm, 10.7 m이었다. 임분이 위치한 지형적 조건은 표고 133 m, 경사 12°인 남사면이었다.

2. 자료 수집 및 분석

1) 수관층 연료 부위별 상대성장식 추정

표본목은 10 m×10 m의 Plot에서 실시한 산림조사 자료를 바탕으로 흉고직경별로 고르게 분포되도록 총 10본을 선정하였다. 각 소나무는 지표면에서 최대한 가깝게 벌채한 다음 수고를 측정하였고, 수간기준으로 1 m 간격마다 수관층 연료의 무게를 측정하였다. 수관층 연료는 크게 수간, 잎, 가지, 솔방울로 구분하였고, 가지는 직경 굵기를 기준으로 다시 0-0.5 cm, 0.5-1 cm, 2-4 cm, 4 cm 이상으로 구분하여 무게를 측정하였다. 또한 각 수관 부위별로 고사 여부도 구분하였다. 현장에서 수집한 시료 중 20%는 실험실로 가져와 105°C로 설정된 건조기에서 항량까지 건조시킨 다음 무게를 측정하였다.

수관 부위별 연료량을 추정하기 위한 함수식으로 물질생산 연구에서 많이 이용되고 있는 세 가지 상대성장식 1) $\ln Wt = \alpha + \beta \ln D$, 2) $\ln Wt = \alpha + \beta \log D^2 H$, 3) $\ln Wt = \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H$ 을 이용하였다(여기에서 Wt : 부위별 연료량(건중량, kg), D : 흉고직경(cm), H : 수고(m), α , β , γ : 추정모수). 각 상대성장식의 모수는 수관 부위별 연료량과 흉고직경 및 수고 값에 자연로그를 취한 다음, 산점도를 통해 상관관계를 살펴본 후 회귀분석을 통하여 추정하였다. 추가적으로 수간과, 수간을 제외한 모든 수관 부위의 값을 합한 총 수관연료량, 이를 살아있는 부위만으로 한정된 생(生)수관연료량과 죽은 부위만을 고려한 사(死)수관연료량으로 구분한 상대성장식에 대해서도 회귀분석을 실시하였다. 추정된 상대성장식의 적합성은 수정된 결정계수(R^2_{adj})와 표준추정오차(SEE)를 통해 파악하였다.

2) 수관연료밀도

Sando와 Wick(1972)이 제안한 것처럼 수관형태를 고려하여 수관체적과 수관연료밀도를 추정하기 위해 현장조사시 표본목마다 1 m 단위로 수관폭을 측정하였다. 장축과 단축의 두 방향으로 구분하여 측정하였으며, 장축은 수관폭이 가장 긴 곳을, 단축은 이 축에 수직 방향으로 측정하였다. 수관 체적을 추정하기 위한 수관형태식은 신만용 등(1999)의 연구결과를 이용하였고, 수관 모형의 밀도는

장측과 단측의 평균 수관폭 길이를 이용하였다.

본 연구에서 수관연료밀도는 임분 단위의 수관층(canopy) 연료밀도와 달리 개별 소나무의 수관연료밀도를 의미하며, 수관연료량을 그 나무가 차지하고 있는 수관체적으로 나누어서 계산하였다. 이 때 잎 혹은 잎과 굽기별 가지의 범위를 설정하여 각각 수관연료밀도를 구분하여 산출하였다. 연구 대상지 소나무림의 수관연료밀도 특징을 살펴 보기 위하여 연료정의별로 수관연료밀도의 평균과 표준편차를 산출하였으며, 흉고직경의 크기에 따른 수관연료 밀도를 비교·분석하였다.

결과 및 고찰

1. 수관 부위별 연료량 추정식

Table 1은 벌채된 소나무의 기술 통계값을 정리한 것으로 평균 흉고직경은 19.2 cm, 최소 5 cm, 최대 34.5 cm 이었다. 평균 수고는 10.7 m이었다.

Figure 1은 흉고직경에 대한 수관 부위별 연료량의 변화를 그림으로 나타낸 것이다. 흉고직경이 커질수록 전체 및 수관 부위별 연료량이 증가하는 것으로 나타났다. 증가폭은 부위별로 다르게 나타났으며 잎보다는 가지 부위에서, 작은 가지보다는 큰 가지에서 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 즉 흉고직경이 클수록 잎에 비해 큰 가지의 비율이 높아지는 것으로 나타났다. 한 임분 내에서 흉고직경이 클수록 수관급이 높은 개체라고 가정했을 때, 이는 우세목에 속하는 임목의 경우 이미 차지한 성장영역을 확고히

Table 1. Descriptive statistics of *Pinus densiflora* sampled trees.

Variables	Diameter at breast height (cm)	Height (m)
Number of samples	10	10
Minimum	5.0	7.1
Maximum	34.5	13.8
Mean	19.2	10.7
Standard deviation	9.4	2.3

하기 위해 가지성장에 주력한다는 Shin(1989)의 연구결과와 비슷한 맥락에서 이해될 수 있다.

세 가지 상대성장식에 대한 모수 추정 결과는 Table 2와 같다. 세 가지 상대성장식 모두 흉고직경에 대한 모수 β 가 양(+)의 값을 갖는 것으로 나타나 흉고직경이 클수록 수관연료량이 증가됨을 알 수 있다. 그러나 상대성장식 $\ln Wt = \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H$ 에서 수고에 대한 모수 γ 가 음(-)의 값으로 나타나고 $\ln Wt = \alpha + \beta \ln D$ 의 β 에 비해 추정식 $\ln Wt = \alpha + \beta \ln D^2 H$ 의 β 값이 작게 나타나고 있음을 볼 때, 흉고직경에 의한 수관연료량이 수고에 의해 수정되는 것을 알 수 있다. 즉 흉고직경만을 이용하여 수관연료량을 추정하면 흉고직경과 수고를 모두 이용한 경우에 비해 수관연료량이 높게 도출될 수 있다.

Table 3은 추정된 모수에 대한 적합성 검증 결과로써, 대부분의 수관 부위에 대하여 결정계수가 높게 산출되었다 (0.826-0.996). 상대성장식 $\ln Wt = \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H$ 은 총수관연료량, 생수관연료량, 시수관연료량과 세부 수관 부위 중

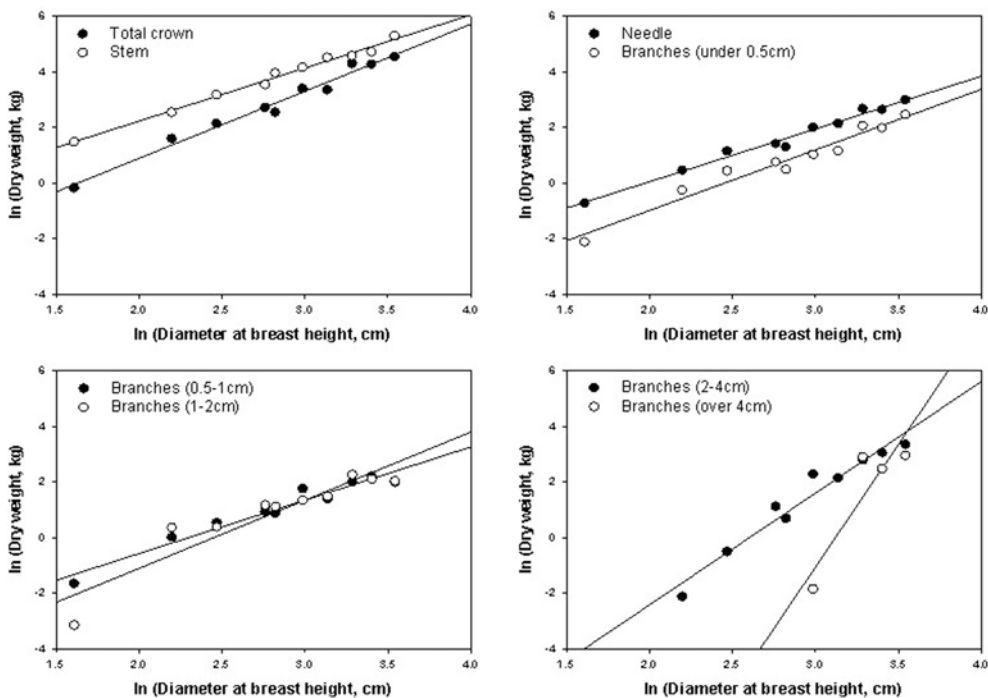


Figure 1. Scatter plot of various crown fuel components and the diameter at breast height.

Table 2. Parameters for allometric equations of crown fuel components on diameter at breast height for *Pinus densiflora* in Mt. Palgong, Daegu.

Components of fuels (kg)	$\ln Wf = \alpha + \beta \ln D$		$\ln Wf = \alpha + \beta \ln D^2 H$		$\ln Wf = \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H$			
	α	β	α	β	α	β	γ	
Needles	-3.7483	1.8994	-4.8537	0.8082	-2.9649	2.0761	-0.5440	
Branch	< 0.5 cm	-5.3514	2.1824	-6.5817	0.9236	-3.3577	2.6319	-1.3844
	0.5-1 cm	-4.4126	1.9220	-5.5400	0.8189	-3.8644	2.0456	-0.3807
	1-2 cm	-6.0170	2.4577	-7.4214	1.0425	-4.2902	2.8470	-1.1991
	2-4 cm	-10.470	4.0262	-12.7650	1.7079	-9.9988	4.1298	-0.3237
	> 4 cm	-27.577	8.8409	-28.8660	3.3551	-13.7962	10.6606	-7.9742
Live crown	-4.2264	2.4263	-5.6163	1.0296	-2.6187	2.7888	-1.1164	
Dead crown	-5.4369	2.4052	-6.7838	1.0168	-2.9924	2.9564	-1.6975	
Total crown	-3.9363	2.4142	-5.3130	1.0236	-2.1632	2.8140	-1.2313	
Stem	-1.5891	1.9107	-2.7693	0.8215	-2.6798	1.6648	0.7574	
Total	-1.6268	2.0478	-2.8564	0.8760	-1.8231	2.0036	0.1364	

* α, β, γ : parameters, D : diameter at breast height (cm), H : tree height (m).

Table 3. Adjusted coefficient of determination and standard error of estimate for each allometric equation form.

Components of fuels	$\ln Wf = \alpha + \beta \ln D$		$\ln Wf = \alpha + \beta \ln D^2 H$		$\ln Wf = \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H$		
	R^2_{adj}	SEE	R^2_{adj}	SEE	R^2_{adj}	SEE	
Needles	0.9803	0.1598	0.9635	0.2177	0.9812	0.1561	
Branch	< 0.5 cm	0.9544	0.2827	0.9266	0.3588	0.9656	0.2456
	0.5-1 cm	0.9421	0.2823	0.9287	0.3132	0.9356	0.2978
	1-2 cm	0.8476	0.6136	0.8268	0.6540	0.8352	0.6380
	2-4 cm	0.9444	0.4286	0.9245	0.4997	0.9357	0.4609
	> 4 cm	0.7109	1.2494	0.9245	0.4997	0.9507	0.5159
Live crown	0.9773	0.2193	0.9547	0.3100	0.9836	0.1866	
Dead crown	0.9339	0.3791	0.9043	0.4560	0.9459	0.3429	
Total crown	0.9771	0.2193	0.9529	0.3148	0.9855	0.1744	
Stem	0.9878	0.1260	0.9940	0.0884	0.9932	0.0941	
Total	0.9966	0.0714	0.9915	0.1124	0.9963	0.0744	

* R^2_{adj} : adjusted multiple coefficient of determination, SEE: standard error of estimate.

잎과 직경 0.5 cm 이하의 가지, 직경 4 cm 이상의 가지 부위에서 결정계수가 가장 높게 산출되었고, 표준추정오차는 낮은 것으로 나타났다. 이 외의 부위 즉, 직경이 0.5-1 cm, 1-2 cm, 2-4 cm인 가지 부위에 대해서는 $\ln Wf = \alpha + \beta \ln D$ 형태의 결정계수가 가장 높았다. 세 가지 추정식 중, 독립변수가 $D^2 H$ 인 상대생장식은 수간부위를 제외한 추정된 모든 항목에 대해 결정계수가 가장 낮게 나타났다. 그러나 수관화시 직경 1 cm 이상의 가지는 거의 연소되지 않는다는 국외 연구결과(Shinozaki *et al.*, 1964)를 감안한다면, 세 가지 상대생장식의 결정계수 및 표준추정오차간 차이는 미미하였다.

2. 수관연료밀도 특성

Table 4는 수관 부위별로 표본목들의 수관연료밀도의 평균과 표준편차를 정리한 것이다. 연료량에 포함되는 가지의 직경이 커질수록 수관연료밀도의 평균과 표준편차가

Table 4. Mean and standard deviation of crown bulk density in various available crown fuel aggregation for *Pinus densiflora* sampled trees.

Available crown fuel aggregation	Crown bulk density (kg/m ³)	
	Mean	Standard deviation
Needles	0.067	0.027
Needles and Branches (0-0.5 cm diameter)	0.097	0.037
Needles and Branches (0-1 cm diameter)	0.132	0.044
Needles and Branches (0-2 cm diameter)	0.166	0.046
Needles and Branches (0-4 cm diameter)	0.218	0.078
Total Needles and Branches	0.240	0.106

증가하였다. 잎 부위만을 포함하였을 때 평균 수관연료밀도는 0.067 kg/m³로 나타났으며, 잎과 직경 1 cm 이하인 가지를 포함했을 때 0.132 kg/m³로 분석되었다. 수관을 제외한 전체 잎과 가지의 평균 수관연료밀도는 0.24 kg/m³

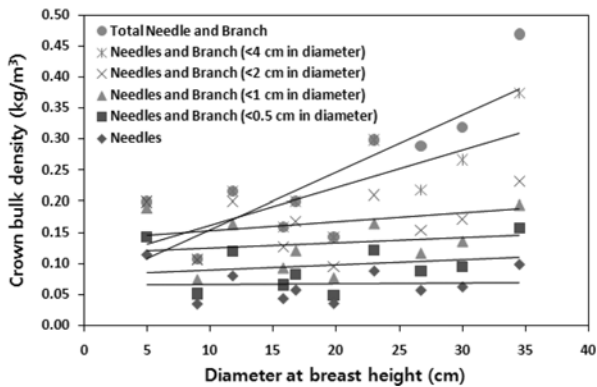


Figure 2. Crown bulk density of various available fuel components and diameter at breast height.

이었다. 이것은 Sando와 Wick(1972)이 작은 크기의 가지와 잎 부분에 대해 제시한 0.037 kg/m³에 비해 훨씬 높은 것으로 나타났다.

Figure 2는 수관 부위별 수관연료밀도를 흉고직경의 크기에 따라 나타낸 것이다. 먼저, 잎 부위만을 연료량으로 간주한 경우 흉고직경이 큰 임목이나 작은 임목이나 수관연료밀도가 거의 동일한 것으로 나타났다. 이는 Shinozaki 등(1964)이 잎을 제외한 기타 비동화기관의 밀도가 계속 증가하더라도 단위 면적당 잎면적밀도는 특정 시점이 지나면 일정하게 유지되는 현상에 대하여 고찰한 바와 같이, 본 연구 대상지의 조사 임분의 경우 임령이 28년인 중령림으로서 수관층이 어느 정도 울폐되었기 때문에 판단되었다.

잎 외에 직경이 0-5 cm인 가지, 0-1 cm인 가지, 0-2 cm인 가지를 연료량으로 포함한 경우에도 수관연료밀도가 거의 변하지 않는 것으로 나타났다. 직경이 2 cm 이상인 가지를 보유한 임목의 경우 흉고직경이 클수록 수관연료밀도가 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 수관화시 직경 1 cm 이상의 가지는 거의 연소되지 않는다는 국외 연구사례(Call and Albini, 1997)와 같이 직경 1 cm 이상인 가지를 연료로 간주하지 않는다면, 본 연구 대상지의 소나무림의 경우 향후 계속 성장하더라도 연소가능한 수관연료밀도의 증가폭은 크지 않을 것으로 추정된다.

결론

본 연구에서는 대구 팔공산의 소나무 임분을 대상으로 수관 부위별 연료량 추정을 위한 상대성장식을 개발하고, 대상 임분에 대한 수관연료밀도의 특성을 분석하였다. 추정된 모든 연료량 부위에 대해서는 평균적으로 상대성장식 $\ln W_t = \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H$ 에서 가장 결정계수가 높고 표준추정오차가 낮았지만, 수관화시 연소될 수 있는 잎과 작은 가지 항목들에서는 상대성장식들 간 결정계수 및 표준추

정오차의 차이가 미미하였다. 각 부위별 연료량을 수관체적으로 나눈 수관연료밀도는 잎 부위만을 연료로 간주했을 경우 0.067 kg/m³, 잎과 직경 1 cm 이하인 가지를 포함하였을 때 0.132 kg/m³로 나타났다. 흉고직경이 커짐에도 불구하고 잎과 잔가지 부위의 수관연료밀도 증가폭이 미미한 것으로 나타났다. 향후 수관화 행동 예측, 수관화 위험성 평가 등을 위해서는 이러한 수관연료특성에 대한 지속적인 연구가 요구되며, 아울러 수관화 발생지에서의 부위별 연소량 추정에 관한 연구가 요구된다.

인용문헌

1. 박인협, 김동엽, 손요환, 이명중, 진현오, 최윤오. 2005. 서울 남산지역 신갈나무 천연림의 물질생산. 한국환경생태학회지 19(3): 299-304.
2. 박인협, 김준선. 1989. 한국산 4개 지역별 소나무천연림의 물질 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78(3): 323-330.
3. 박인협, 이석면. 1990. 한국산 4개 지역별 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2): 196-204.
4. 산림청. 2009. 임업통계연보. 제39권.
5. 신만용, 정동준, 이태희. 1999. 우리나라 주요 수종별 수관형태식 개발에 관한 연구. 한국산림측정학회지 2(1): 3-11.
6. 이경학, 손영모, 노대균, 권순덕. 2002. 우리나라 주요 6수종의 수간중량 추정식. 한국임학회지 91(2): 206-212.
7. 이병두, 김형호, 장광민, 정주상, 이명보, 이시영. 2006. 2005년 양양산불 피해 소나무림의 연소량 추정. 한국환경생태학회지 20(2): 267-273.
8. 조현길, 안태원. 2000. 자연생태계 수목의 생장에 따른 탄소저장 및 흡수량 지표. 한국환경생태학회지 14(3): 175-182.
9. Brown, J.K. 1978. Weight and density of crowns of Rocky Mountain conifers. Research Paper INT-197, U.S. Department of Agriculture, Forest Service. pp. 56.
10. Brown, J.K. and Bradshaw, L.S. 1994. Comparisons of particulate emissions and smoke impacts from presettlement, full suppression and Prescribed Natural Fire periods in the Selway-Bitterroot Wilderness. International Journal of Wildland Fire 4(3): 143-155.
11. Call, P.T. and Albini, F.A. 1997. Aerial and surface fuel consumption in crown fires. International Journal of Wildland Fire 7(3): 259-264.
12. Cruz, M. G., Alexander, M.E. and Wakimoto, R.H. 2003. Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western North America. International Journal of Wildland Fire 12: 39-50.
13. Keane, R.E., Reinhardt, E.D., Scott, J., Gray, K. and Reardon, J. 2005. Estimating forest canopy bulk density using six indirect methods. Canadian Journal of Forest

- Research. 35: 724-739.
14. Kucuk, O., Saglam, B. and Bilgili, E. 2007. Canopy Fuel Characteristics and Fuel Load in Young Black Pine Trees. *Biotechnology and Biotechnological Equipment* 21(2): 235-240.
 15. Mitsopoulos, I.D. and Dimitrakopoulos, A.P. 2007. Allometric equations for crown fuel biomass of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Greece. *International Journal of Wildland Fire* 16: 642-647.
 16. Reinhardt, E.D., Keane, R.E., Scott, J.H. and Brown, J.K. 2000. Quantification of canopy fuels in conifer forests: Assessing crown fuel characteristics using destructive and non-destructive methods. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Lab, Missoula, MT.
 17. Sando, R.W. and Wick, C.H. 1972. A method of evaluating crown fuels in forest stands. Research Paper RP-NC-84, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experimental Station, St. Paul, pp. 10.
 18. Scott, J.H. and Reinhardt, E.D. 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. pp. 59.
 19. Shin, J.H. 1989. Crown Architecture and Differentiation in Tree Classes, Their Growth Strategies and Growth Model in *Pinus koraiensis* S. et Z. Plantations. Ph. D. thesis, Seoul National Univ., Korea, pp. 138.
 20. Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K. and Kira, T. 1964. A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory. I. Basic analysis. *Japanese Journal of Ecology* 14: 97-105.
-
- (2010년 3월 22일 접수; 2010년 4월 30일 채택)