

## 기후변화에 따른 소나무와 굴참나무의 연소특성

김해림 · 이시영 · 박영주\* · 이해평\*\*

강원대학교 방재전문대학원, 강원대학교 화학공학연구소\*,

강원대학교 소방방재학부\*\*

### Characteristics of Combustion for Living Leaves in *Pinus Densiflora* and *Quercus variabilis* According to Climatic Change

Kim, Hae Rim · Lee, Si Young · Park, Young Ju\* · Lee, Hae Pyeong\*\*

Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

\*Chemical Engineering Research Center, Kangwon National University

\*\*Dept. of Fire & Emergency Management, Kangwon National University

#### 요 약

본 연구에서는 소나무와 굴참나무의 생엽을 대상으로 기후변화에 따른 연소특성을 분석하고자 월별 기온 및 습도 등과 같은 기상조건별 연소특성을 비교하는 연구를 수행하였다. 소나무의 경우, 연중 내내 생엽의 채취가 가능하지만 굴참나무의 경우에는 생엽 채취가 가능한 6월부터 10월까지를 실험 대상으로 선정하였다. 기상조건은 각 시료별 생엽을 채취한 일자의 기상청 발표 자료를 적용하였으며, 연소특성분석은 콘칼로리미터, 연기밀도시험기, 발화점시험기 등과 같은 장비들을 활용하였다. 분석결과로는 열방출량을 비롯하여, 연기방출량, 함수율, 발화점 등을 측정하여 비교하였다.

#### 1. 서 론

산불의 1차적인 원인은 인위적인 요인과 밀접한 관계가 있지만 이것이 산불로 발생하기까지는 산불발생 당시의 습도, 풍속, 기온 등 기상인자와 임내 가연성물질의 연료습도(fuel moisture contents), 발화 장소의 지형조건 및 수종의 구성과도 깊은 관계가 있고, 사회과학적인 인자인 인구, 소득수준, 여가시간, 관광인구 등과도 관계가 있는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 따라서, 본 연구에서는 소나무와 굴참나무의 생엽을 대상으로 기상청 기상 자료를 활용하여 기후변화에 따른 연소특성을 분석하고자 콘칼로리미터(cone calorimeter)와 연기밀도시험기(smoke density chamber), 발화점시험기(ignition point tester)를 활용하여 산불위험성 예측 등에 필요한 기초자료를 확보하는데 목적을 두었다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1 시료의 선정 및 채취시기

시료의 선정은 우리나라 전체 산림의 42% 정도를 차지하고 있는 침엽수종인 소나무와 온대기후 지역에서 자생하는 활엽수종인 참나무류 가운데 굴참나무를 선정하였다. 소나무 생엽의 채취 시기는 2008년 6월부터 2009년 5월이었으며, 굴참나무는 활엽수의 특성상 2008년 6월부터 10월까지의 생엽을 채취하여 실험에 사용하였다. 매월 시료의 채취 시기는 맑은 날이 5일 이상 지속된 다음날 채취하였으며, 기상 자료는 기상청에서 제공된 자료를 활용하였다. 시료의 형태는 실제 산불발생 시 연료의 형태와 동일한 조건을 적용하기 위하여 원형 상태로 사용하였다.

### 2.2 함수율 측정

함수율 측정을 위해 ASTM D2016(American Society for Testing and Material)의 식 (1)에 따라 산출하였다.<sup>2)</sup> 측정방법으로는 시료 200g을 취하여 온도 103±2℃로 일정하게 유지하도록 설정된 건조기 내에서 24시간 이상 항량이 될 때까지 건조시킨 후, 4시간 간격으로 0.1%의 무게 변화가 없을 때까지 중량을 측정하여 함수율을 산출하였다. 함수율 측정은 3회 측정한 결과의 평균값을 결과 값으로 사용하였다. 여기서, MC(moisture content)는 함수율[%], W는 건조 전 시료의 중량[g], W<sub>0</sub>은 완전 건조시킨 시료의 중량을 나타낸다.

$$MC(\%) = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

### 2.3 화재특성 분석

화재특성을 분석하기 위하여 콘칼로리미터를 사용하여 총열방출량(THR, Total Heat Release)을 분석하였으며, 실험조건은 더 이상 중량감소 변화가 없을 때 실험을 종료하여 계산된 값을 사용하였다<sup>3)</sup>. 실험 결과값은 3회 실험하여 측정된 값들의 평균값을 사용하였고, 실험조건은 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Experimental conditions for analysis of combustion characteristics

Items	Cone calorimeter	Smoke density chamber
Size(mm)	100×100	75×75
Weight(g)	50	10
Heat flux(kW/m <sup>2</sup> )	50	25
Test time(s)	time until there was no more weight decrease	1,200
Material condition	raw	raw

### 2.4 발연특성 분석

발연특성을 분석하기 위하여 콘칼로리미터를 이용하여 총연기방출량(TSR, Total Smoke Release) 분석하였고, 연기밀도시험기의 non-flaming 방식의 수직시험<sup>7)</sup>을 적용하여 최대연기밀도를 측정하였다. 결과값은 3회 실험하여 측정된 값의 평균값을 사용하였으며 실험조건은 Table 1에 제시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 함수율특성

Fig. 1에 소나무와 굴참나무의 월별 함수율을 나타내었다. 2008년 6월부터 2009년 5월까지의 소나무는 71%~168%, 2008년 6월부터 10월까지의 굴참나무는 114%~155%의 값을 나타내었다. 소나무의 경우 다른 계절에 비해 겨울철에 함수율이 낮게 측정이 되었으며, 굴참나무는 9월까지 큰 차이가 없다가 10월에는 114% 정도로 크게 감소한 것으로 나타났다.

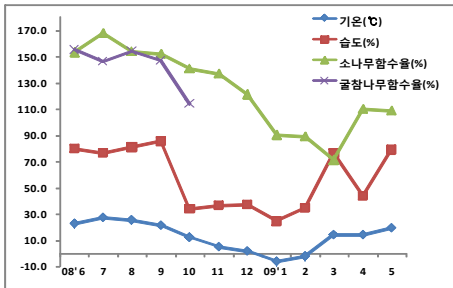


Fig. 1. Characteristics of moisture contents

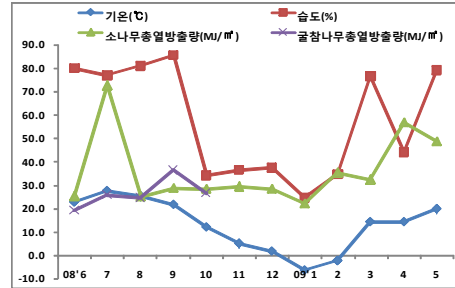


Fig. 2. Characteristics of total heat release

#### 3.2 화재 특성

Fig. 2에 소나무와 굴참나무의 월별 총열방출량을 나타내었다. 소나무의 경우 봄, 여름의 시기인 4월부터 7월 사이를 제외한 시기의 총열방출량은 22~35.2MJ/m<sup>2</sup>의 범위에 열을 방출하였다. 굴참나무의 경우 19.2~36.3MJ/m<sup>2</sup>의 범위로 나타났으며, 6월부터 10월까지 점점 증가하는 경향을 보이고 있다.

#### 3.3 발연특성

Fig. 3과 4에 각각 총연기방출량과 최대연기밀도의 결과값을 나타내었다. 소나무의 총연기방출량을 살펴보면, 봄철(4월~5월)에 상대적으로 많은 연기를 방출하였으며, 여름철(6월~9월)에는 일정한 범위 내에서 값을 나타내었다. 최대연기밀도는 2008년 6월~11월과 2008년 12월~2009년 5월의 결과값들이 거의 일정한 범위 내에서 나타나고 있다. 굴참나무의 경우 총연기방출량은 68.8m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>으로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 점차 증가하다 9월에 급격히 낮아진 후, 10월에는 가장 높은 315.6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>으로 나타났다. 최대연기밀도는 176Ds~224Ds로 일정한 패턴은 나타나지 않지만 크게 벗어나지 않는 범위의 결과값을 나타내었다.

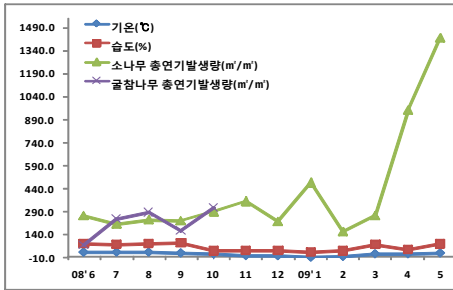


Fig. 3. Total heat release

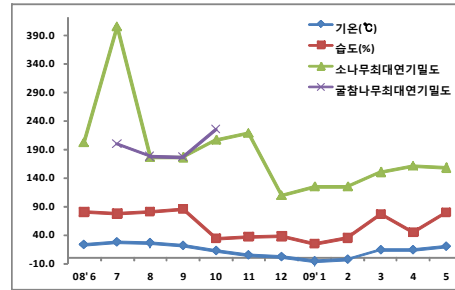


Fig. 4. Maximum smoke density

#### 4. 결론

기후변화에 따른 소나무와 굴참나무의 연소특성 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 함수율의 경우, 소나무는 71%~168%, 굴참나무는 114%~155%의 수분을 함유하고 있었다. 소나무의 경우 다른 계절에 비해 겨울철에 함수율이 낮게 측정이 되었으며, 9월까지 큰 차이가 없다가 10월에는 114% 정도로 크게 감소한 것으로 나타났다.
- 2) 소나무는 온도와 습도가 낮아지는 가을, 겨울 시기에 총열방출량이 22~35.2MJ/m<sup>2</sup>의 범위로 상대적으로 안정적인 값을 나타내고 있으며, 굴참나무의 경우 19.2~36.3MJ/m<sup>2</sup>의 범위로 나타났으며, 6월부터 10월까지 점점 증가하는 경향을 보이고 있다.
- 3) 소나무는 봄철(4월~5월)에 상대적으로 많은 연기를 방출하였으며, 여름철(6월~9월)에는 일정한 범위 내에서 값을 나타내었다. 굴참나무는 생업을 대상으로 한 실험이라 다른 계절과 비교할 수는 없지만, 침엽수인 소나무와 비슷한 범위내의 결과값을 나타내는 것을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 S210810L010130)’의 지원에 의하여 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 류장혁 외1명 (1996). “산불의 실태와 대책” 한국농촌경제 연구원 정책연구보고서 p15, p.211.
2. ASTM E 662 (2003). Test method for specific optical density of smoke generated by solid materials.
3. ISO 5660-1 (2002). “Reaction to Fire Part 1, Rate of Heat Release from building products(Cone Calorimeter)”, Generer.