

P-11

## 소나무와 떡갈나무의 주요 부위별 연소특성에 관한 연구

### The Combustion Characteristics of Tree Branches, Barks, Living Leaves and Dead Leaves in Pinus densiflora and Quercus Dentata

박영주\* · 이시영\* · 신영주\* · 김수영\* · 김영탁\*\* · 이해평\*\*\*

Young-Ju Park\* · Si-Young Lee\* · Young-Ju Sin\* · Su-Young Kim\* · Young-Tak Kim\*\* · Hae-Pyeong Lee\*\*\*

#### Abstract

In this study, we have carried out the cone calorimeter test to examine the thermal characteristics, such as total smoke production(TSP), smoke temperature and oxygen consumption, of significant parts of above trees which are representative species of Young Dong Province of Korea.

The smoke production of dead leaves and living leaves of pinus densiflora was increased rapidly at the early period of combustion. So the total smoke production of this parts was 8.3 times higher than other parts. The TSP of branches and barks of quercus dentata was 14.4 and 7.2 times higher than of pinus densiflora respectively. And also the maximum smoke temperature was about 338.35~353.25 K. The significant difference of oxygen consumption was not detected for dead leaves, branches and barks. However, the oxygen consumption of living leaves which have high percentage of moisture content is the lowest.

**Keywords** : Smoke release, Pinus densiflora, Quercus dentata, Moisture content, Oxygen consumption

본 연구에서는 영동지역의 대표 수종인 소나무와 떡갈나무를 대상으로 주요 부위별 열적 특성을 고찰하고자 콘칼로리미터 시험(ISO 5660-1)을 수행하여 총연기발생량과 연기온도, 연소에 따른 산소소모량을 분석하였다. 소나무의 낙엽과 생엽은 연소초기에 급격하게 연기방출량이 증가하면서 가지와 수피에 비하여 총연기방출량이 약 8.3배 정도 높은 것으로 나타났으며 떡갈나무의 가지와 수피는 소나무보다 가지는 14.4배 정도, 수피는 7.2배 정도 높은 것으로 나타났다. 또한, 연기발생 최고온도는 338.35~353.25 K 사이로 나타남을 알 수 있었으며 산소소모량은 낙엽, 가지, 수피는 큰 차이는 없는 것으로 나타났으나 함수율이 높은 생엽의 경우 산소소모량이 가장 작게 나타남을 알 수 있었다.

## 1. 서 론

산불화재는 실내 화재와는 달리 공기가 충분히 유입됨에 따라 산불이 확산되며 산불 발생 시 눈에 보이는 공중에 뜬 미연소 가연물인 연기는 시계를 차단하는 요소로서 산불 진화를 저해하게 된다. 임내 연료의 대부분은 열분해 및 연소에 따라서 열과 연기 및 가스를 방출한다. 이들의 방출특성은 연료의 화학조성과 온도, 공급공기량 등의 연소조건과 관련으로 결정되어 진다. 연기는 연소물질로부터 열을 수반하게 되어 가열

\* 학생회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 박사과정 · E-mail : yjpolymer@kangwon.ac.kr

정회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 조교수

학생회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 박사과정

학생회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 석사과정

\*\* 학생회원 · 강원대학교 산업대학원 · 석사과정

\*\*\* 정회원 · 강원대학교 소방방재학부 · 조교수

에 따라 뜨거운 휘발성 가연성 증기를 방출하며 연기입자를 특별히 분리하지 않고 가스 성분을 포함하고 연기층에서의 온도는 그다지 높지 않고 산소와의 혼합도 완전치 못하여 이 가스의 연소는 불완전 연소상태가 되며 미 연소된 고체입자는 분산되어 검은 연기형태로 발생이 되며 연기량에 관해 연소시의 연기와 같은 거 무척칙한 생성물과 흡인된 공기의 혼합은 총 생성된 연기로서 간주되며 농도와 유독성은 연소물질에 따라 상당한 상관관계가 있다.<sup>1)~3)</sup>

따라서, 산불화재 시 연료의 열분해와 연소에 의해 생성되는 연기의 양을 정량화하여 발연특성을 나타낼 필요가 있으며 이러한 연료의 연소특성은 산불 진화 시 위험성 예측 요소로서 가장 기본적으로 연구되어야 할 것으로 사료되며 산불발생 피해현황에 따라 대형 산불의 다발지역인 강원도 영동지역을 대상으로 임상별 대표수종인 소나무와 떡갈나무를 선정하여 부위별 발연량 분석과, 연기온도 및 산소소모량에 대한 분석을 수행함으로써 산불의 가시거리 예측에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

연료 채취는 실제 산불 발생 시의 연료의 위험성을 그대로 적용하기 위하여 연료를 인위적으로 제작하지 않고 원형 그대로를 실험에 사용하였으며 부위별 채취한 시료들의 함수율은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Percentages of Moisture Content for Pinus Densiflora and Quercus Dentata

부 위 \ 수 종	소나무	떡갈나무
생엽	60.19	62.70
낙엽	32.07	17.93
가지	53.52	29.52
수피	22.81	19.94

### 2.2 실험방법

소나무와 떡갈나무의 부위별 연소시에 발생하는 총연기발생량과 연기온도 및 연료가 연소되면서 발생하는 산소 소모량을 측정하기 위하여 영국 FTT사(Fire Testing Technology Co.)의 Dual 콘칼로리미터<sup>4)</sup>를 사용하여 측정하였으며 실험조건은 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Experimental Conditions of Cone Calorimeter

구성요소 \ 실험	조 건
규격(mm)	100×100 (가로×세로)
복사열(kW/m <sup>2</sup> )	50 (온도 : 770 ℃)
시편 고정	수평
연소시간(s)	1800
중량(g)	50
연소 분위기	공기

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 연기방출량 특성 분석

Table 3의 소나무 부위별 총연기방출량은 소나무의 낙엽과 생엽은 가지와 수피에 비하여 평균 8.3배 정도

높은 것으로 나타났으며 가지부위는 착화전에 76.06% 정도의 연기가 방출되었다. Table 4의 떡갈나무의 가지는 소나무 가지보다 14.4배 높은 것으로 나타났으며 떡갈나무 역시 가지부위가 착화전의 총연기방출에 대하여 96.16%의 연기가 방출되었다.

Table 3. Characteristics of Smoke Release for Pinus Densiflora

구분	부위별		낙엽		생엽		가지		수피	
	Smoke release	Time(s)	Smoke release	Time(s)	Smoke release	Time(s)	Smoke release	Time(s)	Smoke release	Time(s)
Total Smoke Release(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	267.5	0~1800	286.7	0~1790	40.1	0~755	26.3	0~1800		
Non-flaming phase(s)	0.1	0~9	21.3	0~49	30.5	0~350	4.2	0~20		
Flaming phase(s)	267.4	10~1800	265.9	50~1800	9.6	351~755	22.1	21~1800		
Max. Smoke Release(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0.0079	50	0.0305	725	0.0016	150	0.0004	925		

Table 4. Characteristics of Smoke Release for Quercus Dentata

구분	부위별		낙엽		생엽		가지		수피	
	Smoke release	Time(s)	Smoke release	Time(s)	Smoke release	Time(s)	Smoke release	Time(s)	Smoke release	Time(s)
Total Smoke Release(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	263.6	0~1790	147.8	0~1795	576.6	0~1180	188.4	0~1460		
Non-flaming phase(s)	0.5	0~9	35.7	0~59	531.4	0~312	76.7	0~103		
Flaming phase(s)	263.1	10~1790	112.1	60~1795	45.2	313~1180	111.7	104~1460		
Max. Smoke Release(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0.0020	25	0.0091	25	0.0250	100	0.0228	100		

3.2 연기온도 특성 분석

Figure 1은 소나무 부위별 연소 시 발생하는 연기의 온도변화 곡선을 나타내었으며 부위별 연소 시 발생하는 최대 연기온도는 338.35~353.25 K 사이로 나타났다. Figure 2는 떡갈나무 부위별 연기의 온도 변화 곡선을 나타내었으며 부위별 최대 연기온도는 335.10 K~363.70 K 사이로 나타났다. 이에 대하여 Table 5에 나타내었다.

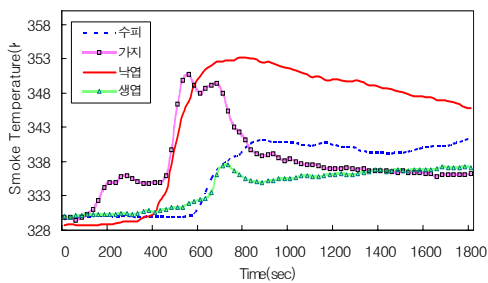


Figure 1. Peak smoke temperature of pinus densiflora.

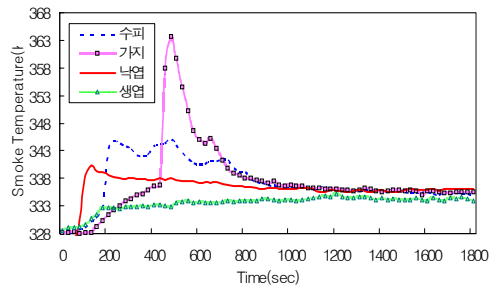


Figure 2. Peak smoke temperature of quercus dentata.

Table 5. Peak Smoke Temperature of Pinus Densiflora and Quercus Dentata

구분	낙엽		생엽		가지		수피	
	Peak Smoke Temp.(K)	Time (s)	Peak Smoke Temp.(K)	Time (s)	Peak Smoke Temp.(K)	Time (s)	Peak Smoke Temp.(K)	Time (s)
소나무	353.25	775	338.35	1679	351.99	481	342.77	875
떡갈나무	340.98	114	335.10	1200	363.70	475	345.26	475

### 3.3 산소소모량 특성 분석

Figure 3은 소나무 부위별 시간변화에 따른 산소소모량을 나타내었으며 Figure 4는 부위별 총산소소모량을 나타내었다. 총산소소모량은 건조한 낙엽이 41.90 kg/kg으로 가장 산소소모량이 많은 것으로 나타났다. Figure 5는 떡갈나무 부위별 시간변화에 따른 산소소모량을 나타내었으며 Figure 6은 총산소소모량을 나타내었다. 부위별 산소소모량은 소나무와 마찬가지로 연소 초기시간 600 s내에 가장 많은 양의 산소가 소모되었으며 총산소소모량은 수피가 총산소소모량이 43.11 kg/kg으로 가장 많은 양의 산소가 소모되었다. 이에 대하여 Table 6에 제시 하였다.

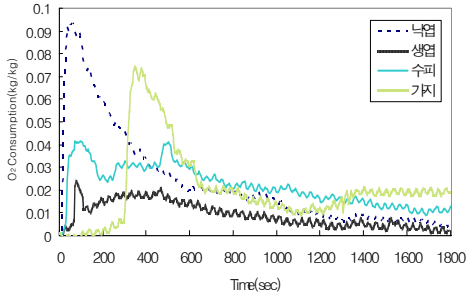


Figure 3. Oxygen consumption curves of tree branches, barks, living leaves and dead leaves in pinus densiflora.

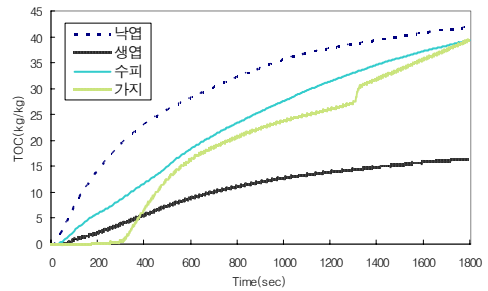


Figure 4. Total oxygen consumption curves of tree branches, barks, living leaves and dead leaves in pinus densiflora.

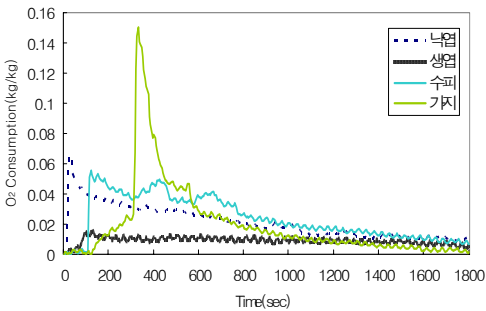


Figure 5. Oxygen consumption curves of tree branches, barks, living leaves and dead leaves in quercus dentata.

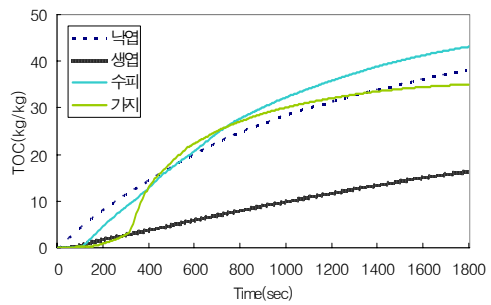


Figure 6. Total oxygen consumption curves of tree branches, barks, living leaves and dead leaves in quercus dentata.

Table 6. Oxygen Consumption of Pinus Densiflora and Quercus Dentata

산소소모량		부위별			
		낙엽	생엽	가지	수피
소나무	Total(kg/kg)	41.90	16.30	39.35	39.41
	Peak(kg/kg)	0.09	0.02	0.20	0.04
	Peak time(sec)	60	75	1315	95
떡갈나무	Total	38.07	16.26	35.04	43.11
	Peak(kg/kg)	0.07	0.01	0.15	0.06
	Peak time(sec)	30	95	330	120

#### 4. 결 론

본 연구에서는 영동지역 산림 내 침엽수 대표수종 소나무와 활엽수 대표수종 떡갈나무의 낙엽, 생엽, 가지, 수피 4가지 부위의 중량 50 g에 대하여 연소에 따른 총연기방출량 및 연기온도와 산소소모량 분석결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- 1) 임상 부위별 중량 50 g에 대한 총연기방출량 결과 소나무의 낙엽과 생엽은 가지와 수피에 비해 평균 8.3배 정도 높은 것으로 나타났으며 떡갈나무는 총연기방출량이 부위별 차이가 큰 것으로 나타났고 가지가 총연기방출량이 가장 높게 나타나 소나무 보다 14.4배 정도 높고 수피는 7.2배 정도 높은 것을 알 수 있었다.
- 2) 소나무와 떡갈나무 부위별 연기온도 특성 결과 소나무의 연기온도는 338.35~353.25 K 사이로 나타났으며 건조한 낙엽은 775 s에서 급격히 연기온도가 증가하여 353.25 K로 가장 높게 나타났으며 또한, 떡갈나무의 연기온도는 335.10~363.70 K 사이로 나타났으며 가지부위가 475 s에서 363.70 K로 가장 연기온도가 높은 것을 알 수 있었다.
- 3) 소나무와 떡갈나무 부위별 산소소모량 분석결과 소나무는 낙엽이 총산소소모량이 41.90 kg/kg으로 가장 높았으며 연소초기 착화 후(Flaming phase)에 산소소모량이 급격히 증가하는 것을 알 수 있었고 생엽이 산소소모량이 가장 작음을 알 수 있었다. 또한, 떡갈나무의 경우 수피가 43.11 kg/kg으로 산소소모가 가장 많았으며 산소소모가 가장 작은 부위는 생엽으로 나타남을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 이덕준, 왕남웅, “연기와 연기감지기술에 대한 고찰”, 방재시험연구원 방재기술 제 15호, pp.28-30(1993).
2. 이지섭, “연소가스 독성에 관한 연구”, 방재시험연구원 방재기술 제 26호, pp.28-30(1999).
3. 김진국, “공기유입이 화재강도에 미치는 영향에 대한 실험적 연구”, 방재시험연구원 방재기술 제 21호, pp.28-30(1996).
4. ISO 5660-1, “Reaction to Fire Part 1, Rate of Heat Release from building products(Cone Calorimeter)”, Generer(1993).