

# 영동지역 주요 침엽수종 및 활엽수종 생엽의 연소특성에 관한 연구

이해평 · 이시영\* · 박영주\*\*

강원대학교 소방방재학부 · \*강원대학교 방재전문대학원  
(2009. 3. 10. 접수 / 2009. 8. 14. 채택)

## A Study on Combustion of Living Leaves for Various Coniferous Trees and Broadleaf Trees in Youngdong Areas

Hae-Pyeong Lee · Si-Young Lee\* · Young-Ju Park\*\*

School of Fire & Disaster Prevention, Kangwon National University

\*Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

(Received March 10, 2009 / Accepted August 14, 2009)

**Abstract :** This study was fulfilled to investigate the forest fire risk of forest fuels based on the combustion characteristics of living leaves of coniferous trees and broadleaf trees naturally growing in Youngdong areas of Gangwon Province by using cone calorimeter and smoke density chamber. According to the result, *Pinus densiflora* and *Pinus rigida* among coniferous trees released a greater amount of heat release than other kinds. The total smoke release varied depending on the species, whereas *Pinus koraiensis* showed the largest amount of smoke release. With regard to maximum smoke density, it was much higher in coniferous trees than in broadleaf trees. With regard to smoke temperature, *Pinus densiflora* showed the lowest compared to other kinds up until 200s from the ignition, but all most trees uniformly maintained constant temperature of about 70°C after 200s. The concentrations of CO and CO<sub>2</sub> release were drastically increased at about 150s and then gradually decreased thereafter. *Pinus densiflora* showed a bit higher CO release than broadleaf trees, but there was no distinct difference in CO<sub>2</sub> release among trees.

**Key Words :** heat release rate, total heat release, total smoke release, smoke density, carbon oxides

### 1. 서론

산불발생 시 화재의 전파 및 전이과정 등은 산림 내 연료의 종류 및 형태 등에 따라 다양한 화재성상과 패턴을 보인다. 연료의 화재특성은 연료의 종류 및 형태에 따라 착화성, 발연성, 발열속도, 유독성, 발열량 등 복합적인 연소형태의 차이를 보이기 때문에 연료의 화재강도 예측을 위하여 산림 내 가연물의 종류 및 형태를 파악하여야 한다.

우리나라의 임상별 분포는 소나무 단순림이 전체의 78.3%를 차지하고 그 밖에 인공 조림된 리기다 소나무, 낙엽송 등의 침엽수림이 약 1.1% 분포하며 활엽수림 및 침활혼효림으로 구성된 임분이 약 14.4%로 나타났으며 바다에 접한 동해의 해안선을 따라 좁은 대상으로 곰솔(*Pinus thunbergii*)림이 나타났으나 대부분 지역은 소나무림이 점유하고 있음을 알

수 있다<sup>1)</sup>.

침엽수와 활엽수는 식물학적으로 매우 달라<sup>2)</sup> 산불발생시 다른 산불형태를 보인다. 또한 목질의 일 반적인 열분해 반응은 3단계의 과정을 거치는데 1 단계는 휘발성 물질과 목탄이 생성되는 열분해, 2 단계는 휘발성 물질의 열분해, 3단계는 목탄의 열분해 반응으로 나누어지게 되며 열분해에 의해 생성된 물질은 결국 휘발성 물질과 목탄으로 구별되며 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, 그리고 CH<sub>4</sub> 가스 등의 혼합물로 구성되어 있으나 구성비에 따라 차이가 있다<sup>3)</sup>.

산불발생 시 일단 연소가 시작되면 발화 장소의 주위에 있는 가연물은 대류, 전도, 복사 과정을 통해 열을 받아 타기 시작하며, 불길은 점차 주위로 퍼져 연소가 확대 된다. 화염의 크기가 작을 때는(통상적으로 10cm 이하) 주위로의 열전달이 주로 대류, 전도 열전달에 의하여 일어나지만 화염의 크기가 커지면(20cm 이상) 복사 열전달에 의한 비중이 급격히 상승하게 된다. 따라서 실질적인 화재에서

\* To whom correspondence should be addressed.  
yjpolymer@kangwon.ac.kr

의 복사열전달량이 화염의 전파에 직접적인 영향을 미치게 된다. 화염에서의 복사열전달량에 대한 예측을 통하여 산림에서는 한곳에서의 화재가 더 이상 퍼지는 것을 막아주는 안전지역의 크기를 설정하기도 한다<sup>4)</sup>.

따라서 본 연구에서는 산불발생 시 산림 내 연료 가운데 침엽수와 활엽수의 연소특성을 고찰하고자 전국에서 대형 산불이 가장 많이 발생하는 지역으로 산불 피해면적이 가장 큰 강원도 영동지역을 대상으로 하였으며 콘칼로리미터와 연기밀도시험기를 이용하여 영동지역에서 자생하는 교목류 가운데 4가지 수종의 침엽수인 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 리기다소나무(*Pinus rigida*), 해송(*Antipathes japonica*)과 3가지 수종의 활엽수인 졸참나무(*Quercus serrata*), 떡신갈나무(*Quercus dentato-mongolica*), 굴참나무(*Quercus variabilis*)를 실험대상으로 선정하고 생엽을 채취하여 착화특성, 화재특성, 발연특성을 고찰함으로써 산불의 화재위험성을 예측하기 위한 화재강도 및 동태예측에 필요한 연소 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

## 2. 실험내용 및 방법

### 2.1. 실험내용

#### 2.1.1. 연료 및 함수율 측정

연료의 선정은 강원도 영동지역에서 자생하는 교목류 가운데 침엽수종의 소나무, 잣나무, 리기다소나무, 해송나무, 활엽수종의 졸참나무, 떡신갈나무, 굴참나무를 대상으로 생엽을 채취하여 연소특성 시험에 앞서 채취한 시료들의 함수율을 측정하였다. 함수율 측정은 ASTM D2016(American Society for Testing and Material)<sup>2)</sup>에 의하여 측정하였으며 측정방법으로 재료 200g을 취하여 103±2℃에서 온도를 유지하도록 설정한 건조기(dry oven) 내에서 24시간 이상 건조시킨 후 항량이 될 때까지 중량을 측

정하여 함수율을 측정하였으며 항량 측정기준은 4시간 간격으로 무게를 측정하였을 때 0.1%의 무게 변화가 없을 때까지로 하여 식 (1)에 의하여 산출하였으며 그 결과값은 Table 1에 제시하였다. 여기서, MC(moisture content)는 함수율[%], W는 건조 전 시료의 중량[g], W<sub>0</sub>은 완전 건조시킨 시료의 중량을 나타낸다. 함수율의 측정은 3회 측정에 대한 평균값을 결과값으로 사용하였으며 생엽의 채취 시기는 7~9월 사이 맑은 날이 5일 이상 지속되는 다음날 채취하여 연료로 준비하여 사용하였으며 연료의 형태는 실제 산불발생 시 연료의 형태와 동일한 조건을 적용하기 위하여 원형 상태로 사용하였다.

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

#### 2.1.2. 연소특성 시험

본 연구에서는 산불발생 시 산림 내 연료 가운데 침엽수 4수종과 활엽수 3수종의 착화특성, 화재특성, 발연특성을 고찰하고자 연소특성 시험을 수행하였다. 착화특성 분석을 위하여 착화시간(TTI, Time to ignition), 화염종료시간(FTT, Time to flame-out)을 측정하여 분석하였으며 화재특성 분석을 위하여 총열방출량(THR, Total heat release), 열방출율(HRR, Heat release rate), 평균열방출율(Mean HRR, Mean Heat release rate), 산소소모량(Oxygen concentration) 분석을 하였으며 발연특성 분석을 위해서 총연기방출량(TSR, Total smoke release), 최대연기밀도(Max. Ds, Maximum Smoke density), 연기온도(Ts, Smoke temperature)를 분석하고 연소생성물로 CO 및 CO<sub>2</sub> 방출농도와 잔류량 특성분석을 하였다. 결과값은 3회 반복 실험하여 측정된 값의 평균값을 사용하였다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 착화특성 분석

산림 내 연료의 착화특성 분석을 위하여 콘칼로리미터를 사용하여 착화시간과 화염종료시간을 측정하여 화염유지시간을 분석하였다. 착화(TTI) 후 자연소화(FTT) 되기까지의 화염유지시간은 연료가 복사열에 노출되면서 착화가 발생한 후부터 자연소화 될 때까지의 시간을 말하며 화염유무를 육안으로 판단하여 분석시스템에 기록하였다. 실험조건은 Table 2에 제시하였다.

Table 1. Percentages of moisture content of various coniferous trees and broadleaf trees

Species		Living leaves
coniferous trees	<i>Pinus densiflora</i>	164.62
	<i>Pinus koraiensis</i>	106.73
	<i>Pinus rigida</i>	148.80
	<i>Antipathes japonica</i>	112.85
broad-leaved trees	<i>Quercus serrata</i>	154.84
	<i>Quercus dentato-mongolica</i>	143.85
	<i>Quercus variabilis</i>	106.53

Table 2. Experimental conditions of smoke density chamber and cone calorimeter

Items	Contents
Size(mm)	100×100
Weight(g)	50
Heat flux(kW/m <sup>2</sup> )	50
Test time(s)	1,800
Material condition	Raw

### 2.2.2. 화재특성 분석

산불발생 시 화재특성 분석을 위하여 영국 FTT사의 Dual Cone Calorimeter<sup>5)</sup>를 사용하여 총열방출량, 열방출율, 평균열방출율과 산소소모량을 분석하였으며 실험조건은 Table 2에 제시하였다. 총열방출량은 시료표면적당 시간에 대한 함수로 표현되는 열방출율을 주어진 시간에 대해 적분하여 누적된 값으로 구하였으며 열방출율은 시료 표면적당 발생하는 열량의 크기로 나타내며 평균열방출율은 총열방출율을 주어진 시간에 대해 나누어진 값으로 표현된다.

### 2.3. 발연특성 분석

산불발생 시 발연특성을 고찰하기 위하여 연기밀도 분석을 위하여 영국 FTT사의 연기밀도시험기<sup>6)</sup>를 사용하였으며 non flaming 방식을 적용하였다. 실험조건은 Table 3에 제시하였다. 총연기방출량, 연기온도, 연소생성물의 CO 및 CO<sub>2</sub> 방출농도, 잔류량 변수의 분석을 위하여는 콘칼로리미터 시험기를 사용하였으며 실험조건은 Table 2에 제시하였다.

Table 3. Experimental conditions of smoke density chamber

Items	Contents
Size(mm)	75×75
Weight(g)	10
Heat flux(kW/m <sup>2</sup> )	25
Test time(s)	1,200
Material condition	Raw

## 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 산불발생 시 산림 내 연료의 화재강도 및 산불동태 예측을 판단하기 위한 기초 데이터를 제공하기 위하여 착화특성, 화재특성, 발연특성 등의 연소특성을 고찰하고자 강원도 영동지역에 자생하는 주요 교목류 가운데 침엽수 4가지 수종과 활엽수 3가지 수종의 생엽을 대상으로 연소특성 시험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

### 3.1. 착화특성

침엽수 4가지 수종과 활엽수 3가지 수종 생엽의 착화특성을 Table 4에 제시하였다. 도표를 살펴보면, 활엽수종인 굴참나무, 떡신갈나무, 졸참나무는 착화시간과 소멸시간이 기록되어 있지만 침엽수의 경우에는 착화시간과 소멸시간이 기록되지 않았는데 이는 본 연구에서 사용한 콘칼로리미터의 경우 무염착화가 아닌 발염착화에 대한 시간을 측정하기 때문인 것으로 사료된다. 활엽수종 가운데 졸참나무는 27s 정도의 가장 빠른 시간에 발염착화가 일어났으며, 50s에 착화가 종료되어 23s 동안 화염을 유지하는 것으로 나타났다. 침엽수종인 소나무, 잣나무, 리기다소나무, 해송의 경우, 열방출량이 활엽수보다 상대적으로 높게 나타난 것으로 볼 때, 발염착화에 대한 시간은 확인되지 않았지만 무염착화가 일어난 것으로 사료된다.

### 3.2. 화재특성

Fig. 1에는 침엽수 4수종과 Fig. 2에는 활엽수 3수종의 생엽 50g을 대상으로 시간 변화에 따라 연소로 인해 방출된 총열방출량 곡선을 나타내었다.

침엽수종의 총열방출량은 28~72MJ/m<sup>2</sup>의 열을 방출하는 것으로 나타났으며, 연소 시 산소소모량이 가장 많은 소나무는 72.4MJ/m<sup>2</sup>, 리기다소나무는 62.7 MJ/m<sup>2</sup>의 열량을 방출하여 소나무와 리기다소나무가 대체로 많은 열량을 방출하는 것으로 나타

Table 4. Characteristics of ignitibility and flame spread of living leaves for various coniferous and broadleaf trees

Items		Pinus densiflora	Pinus koraiensis	Pinus rigida	Antipathes japonica	Quercus serrata	Quercus dentato-mongolica	Quercus variabilis
Ignitibility	Time to ignition(s)	not recorded	not recorded	not recorded	not recorded	35	45	27
	Time to flameout(s)	not recorded	not recorded	not recorded	not recorded	63	60	50
Flame characteristics	Total heat release(MJ/m <sup>2</sup> )	72.4	28.2	62.7	31.5	29.3	26.90	25.8
	Mean heat release rate(kW/m <sup>2</sup> )	40.24	15.66	34.81	17.47	16.59	15.32	14.57
	Total oxygen consumed(g)	44.92	19.42	38.34	21.56	20.08	18.70	18.28

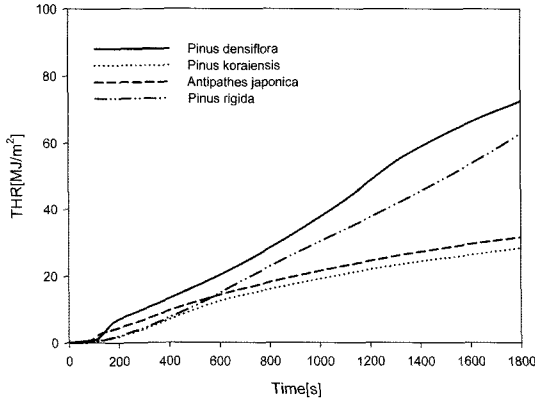


Fig. 1. Total heat release of living leaves for various coniferous trees.

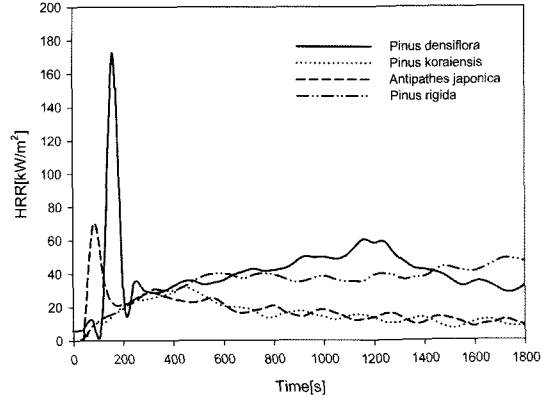


Fig. 3. Heat release rate of living leaves for various coniferous trees.

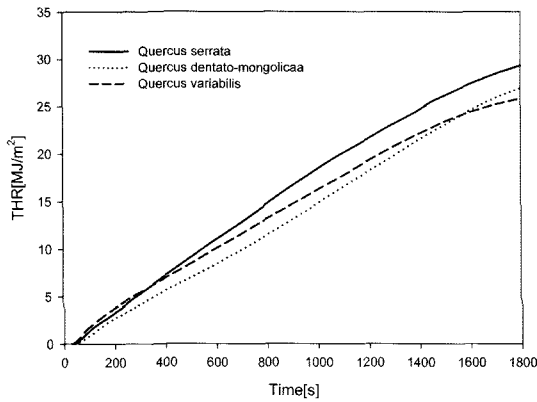


Fig. 2. Total heat release of living leaves for various broadleaf trees.

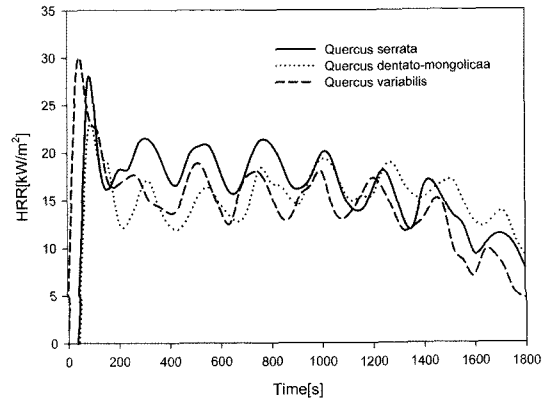


Fig. 4. Heat release rate of living leaves for various broadleaf trees.

났으며 활엽수종은 26~29MJ/m<sup>2</sup>의 열량을 방출하였으며 수종간 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

Fig. 3과 4는 침엽수와 활엽수의 생엽을 대상으로 측정한 열방출율을 나타낸 것이다. Fig. 3의 침엽수종 가운데 소나무와 해송은 다른 수종과는 달리 150s 정도에서 최대의 열방출을 피크가 나타났으며, Fig. 4에 제시한 활엽수종의 경우에는 수종간 차이가 크지 않음을 알 수 있었다.

Table 4에 제시한 총열방출량과 평균열방출율을 살펴보면, 소나무와 리기다소나무는 다른 수종에 비하여 총열방출량과 평균열방출율이 약간 높은 것으로 나타났다. 따라서 산불발생시 다른 수종에 비하여 발열량이 높기 때문에 주위의 온도를 상승시키고 열확산속도가 빠르기 때문에<sup>7)</sup> 화재강도가 크고 화재전파가 빠르게 진행될 것으로 사료된다.

따라서, 산불발생시 침엽수는 활엽수보다 산불에 취약하며, 동일 환경 조건에서 침엽수 근락지역

에서 산불로 인한 위험성 및 피해의 정도가 높은 것으로 보고된 선행 연구결과들<sup>8-11)</sup>과도 일치하는 것으로 생각된다.

### 3.3. 발연특성

#### 3.3.1. 총연기방출량, 최대연기밀도, 연기온도

Fig. 5에는 침엽수종, Fig. 6에는 활엽수종의 총연기방출량 곡선을 나타내었으며 Fig. 7에는 최대연기밀도 곡선을 나타내었다.

ISO 5660-2에 따르면 총연기방출량(TSR, Total smoke release, m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)은 단위면적당 총연기발생량으로서 연기발생은 면적에 비례하기 때문에 면적에 대해서 표준화시킨 값을 사용하고 있다.

여기서 총연기발생량(m<sup>2</sup>)은 해당구간에서 연기방출율(m<sup>2</sup>/s)을 시간에 대해서 적분한 값에 해당한다. 연기온도의 측정은 연소중 연기를 덕트내의 0.5 mW 헬륨-네온 레이저를 통과하여 측정된 연기로

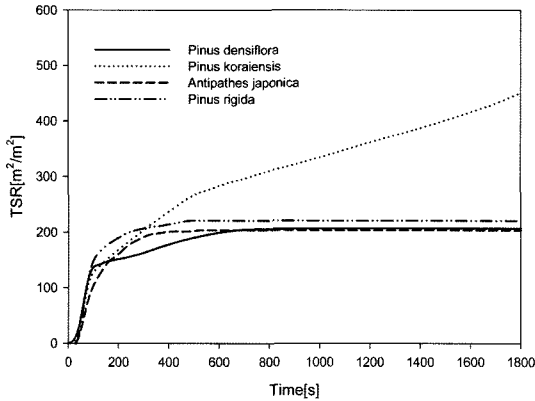


Fig. 5. Total smoke release of living leaves for coniferous trees.

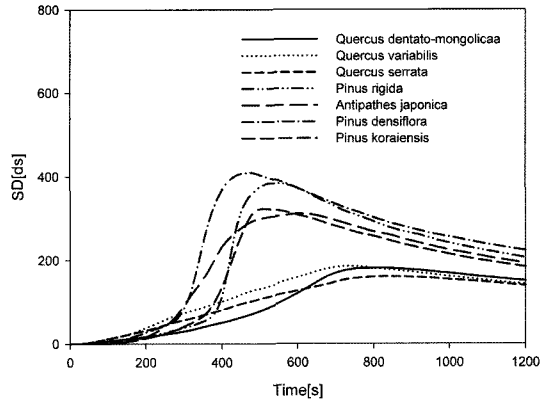


Fig. 7. Maximum smoke density curves of living leaves for coniferous trees and broadleaf trees.

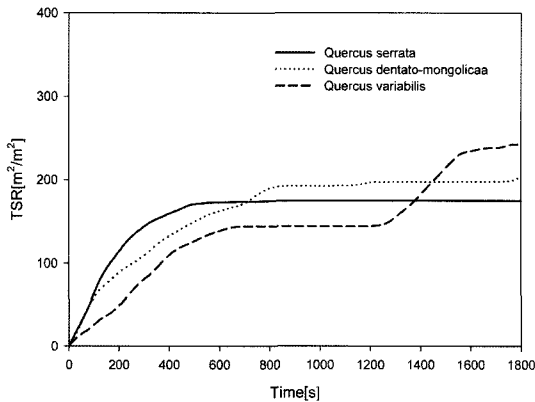


Fig. 6. Total smoke release of living leaves for broadleaf trees.

부터 thermocouple에 의해 온도가 측정된다. 총연기방출량은 중량 50g에 대하여 침엽수종은 209~451m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, 활엽수종은 175~242m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>의 연기를 방출하는 것으로 나타나 수종간 많은 차이를 보였으며 잣나무가 450m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>의 가장 많은 연기를 방출하는 것으로 나타났으며 다른 수종은 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

Fig. 7의 연기밀도는 침엽수종은 활엽수종보다 최대연기밀도가 현저히 높고 최대연기밀도에 도달하는 시간이 짧은 것으로 나타났다.

최대연기밀도가 높고 최대연기밀도에 도달시간이 짧다는 것은 피난시간이 짧게 됨을 의미한다. 따라서 산불발생 시 침엽수는 연소초기에 연기방출량이 많아 활엽수종보다 가시거리예측이 어려울 것으로 사료되며 총연기발생량이 가장 높은 소나무는 산불발생 시 가장 많은 연기를 방출하기 때문에 피난에 어려움이 클 것으로 사료된다.

Fig. 8과 9에는 침엽수종과 활엽수종 생엽에 대한 연기온도를 각각 제시하였다. Fig. 8에 제시한

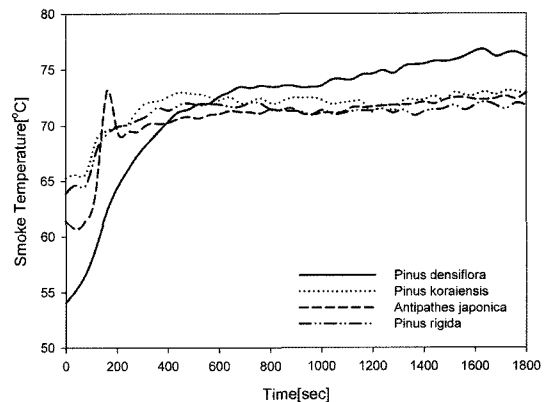


Fig. 8. Smoke temperature of living leaves for coniferous trees.

Table 5. Characteristics of smoke release for living leaves of various coniferous and broadleaf trees

Items	Pinus densiflora	Pinus koraiensis	Pinus rigida	Antipathes japonica	Quercus serrata	Quercus dentato-mongolica	Quercus variabilis
Total smoke release(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	207.20	450.5	221.0	209.4	174.9	203.20	242.2
Peak smoke temp.(°C)	77	73	72	73	70	71	71
Max. Smoke density(Ds)	411.00	328.82	383.30	311.51	163.77	181.42	185.88
Max. Ds time(s)	470	510	520	600	843	736	738

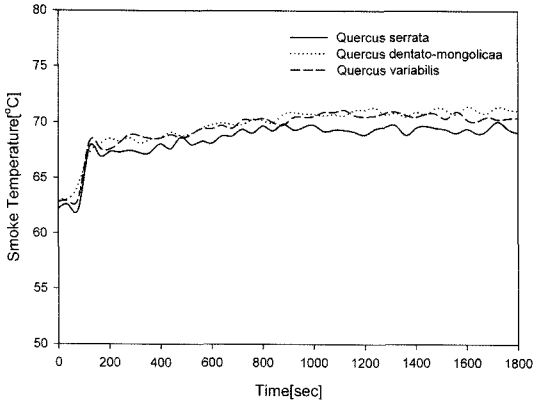


Fig. 9. Smoke temperature of living leaves for broadleaf trees.

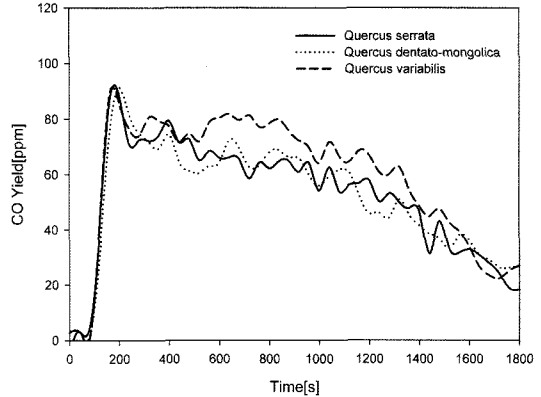


Fig. 11. CO concentrations of living leaves for broadleaf trees.

침엽수종의 연기온도를 살펴보면, 수종간 큰 차이는 나타나지 않았다. 소나무의 경우는 200s 이전에 가장 낮은 연기온도가 나타났지만 200s 이후에는 70°C 정도의 온도를 유지하는 것으로 나타났다. Fig. 9의 활엽수종의 연기온도는 침엽수종과 마찬가지로 대부분 200s 이후에서 70°C를 유지하는 것으로 나타났으며, 수종간 큰 차이는 없는 것으로 확인되었다.

### 3.3.2. CO 및 CO<sub>2</sub>, 잔류물

Fig. 10과 11에는 침엽수종과 활엽수종 생엽의 중량 50g의 시료들을 대상으로 착화한 다음 연소가 지속되는 시간변화에 따른 CO의 방출농도를 나타내었다. Fig. 12와 13에는 침엽수종과 활엽수 생엽의 CO<sub>2</sub>의 방출농도를 나타내고 있다.

Fig. 10과 11의 CO 방출농도는 모든 수종에서 150s 정도에 급격히 증가하는 것을 볼 수 있으며 침엽수종은 140~170ppm, 활엽수종은 90ppm 정도의 최대값을 보였다.

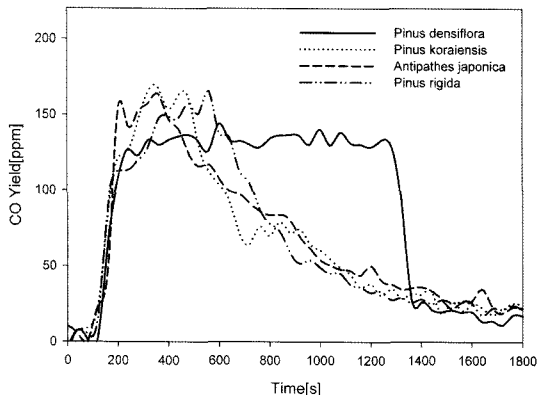


Fig. 10. CO concentrations of living leaves for coniferous trees.

Fig. 10에서 알 수 있듯이 침엽수의 경우는 CO 방출농도가 150s 정도에서 급격히 증가하여 700s 정도부터 서서히 감소하는 경향을 나타냈다. 소나무의 경우는 700s 이후에도 피크가 길게 유지되어 1,400s 정도에서 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 활엽수의 경우, CO의 방출농도는 수종간 차이가 크지 않음을 확인할 수 있었다.

Fig. 12와 13의 CO<sub>2</sub> 방출농도 또한 모든 수종에서 150s 정도에 급격히 증가하였으며 침엽수종은 0.1~0.2ppm, 활엽수종은 0.08~0.09ppm 정도의 최대값을 나타냈다. 침엽수의 CO<sub>2</sub> 방출농도를 나타낸 Fig. 12를 살펴보면 다음과 같다. 잣나무는 150s 정도에서 CO<sub>2</sub>의 최대방출농도가 나타났으며, 소나무는 다른 수종들과는 달리 600~1,200s의 긴 구간에서 최대피크를 유지하는 것을 알 수 있었다. 활엽수의 CO<sub>2</sub> 방출농도를 나타낸 Fig. 13을 살펴보면 수종간 차이가 크지 않음을 알 수 있었다.

따라서 침엽수와 활엽수종의 CO와 CO<sub>2</sub>의 방출농도는 대체로 모든 수종에서 연소 초기 150s 정도에 급격히 농도가 증가한 후 서서히 감소하는 경향으로 나타났으며 소나무는 CO와 CO<sub>2</sub>의 평균방출농도가 높은 것으로 나타났으며 평균방출농도는 Table 6에 제시하듯이 침엽수종 CO는 0.057~0.066 kg/kg, CO<sub>2</sub>는 0.85~0.98kg/kg, 활엽수종 CO는 0.049~0.054kg/kg, CO<sub>2</sub>는 0.90~0.96kg/kg,으로 나타나 침엽수는 활엽수보다 CO는 약간 높은 것으로 나타났으며 CO<sub>2</sub>는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 침엽수종이 활엽수종보다 CO의 발생량이 높게 나타난 것은 침엽수종의 경우, 완전연소보다 불완전연소가 상대적으로 많이 발생하여 CO가 높게 측정된 것으로 사료된다.

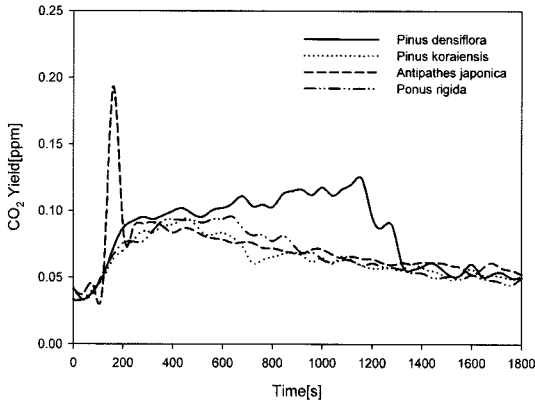


Fig. 12. CO<sub>2</sub> concentrations of living leaves for coniferous trees.

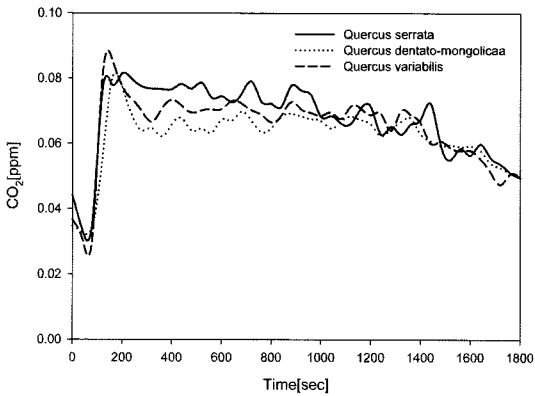


Fig. 13. CO<sub>2</sub> concentrations of living leaves for broadleaf trees.

Table 6에는 침엽수와 활엽수의 열분해에 따른 중량변화의 결과를 제시하였다. 침엽수의 잔류물은 초기 중량의 0.40~1.80% 정도인 것으로 나타났으며, 활엽수의 잔류물은 5.80~8.16% 정도인 것으로 나타났는데 수종간 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 산불발생 시 산림 내 연료의 화재강도 및 산불동태 예측을 위한 기초 데이터를 제공하기 위하여 침엽수종과 활엽수종의 생엽에 대한 연소특성 시험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 활엽수종은 26~29MJ/m<sup>2</sup>의 열량을 방출하였으며 수종간 차이는 없는 것으로 나타났다. 침엽수종의 총열방출량은 28~72MJ/m<sup>2</sup>의 열을 방출하는 것으로 나타났으며, 소나무와 리기다소나무가 다른 수종에 비해서 많은 열량을 방출하는 것으로 나타났다.

2) 침엽수종의 총연기방출량은 209~451m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, 활엽수종은 175~242m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> 정도인 것으로 나타났으며, 잣나무는 450m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>의 가장 많은 연기를 방출하는 것으로 나타났다. 침엽수종은 활엽수종보다 최대연기밀도가 높은 것으로 나타났으며, 최대연기밀도에 도달하는 시간이 짧은 것으로 나타났다.

3) 모든 수종들이 150s 부근에서 CO와 CO<sub>2</sub>의 방출농도가 급격히 증가하였다가 서서히 감소하였지만 소나무와 잣나무는 약간의 차이를 나타냈다. CO의 평균방출농도는 침엽수가 활엽수보다 약간 높은 것으로 나타났지만 CO<sub>2</sub>의 평균방출농도는 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

- 1) 임주훈, 신수철, 이시영, 김명수, 오정수, “산불피해입분의 맹아특성을 이용한 내화수종대 조성”, 한국산림자원청정확회 학술발표회, pp. 6~7, 2002.
- 2) 김현중, 엄영근, 이연제, 정희석, 최인규, “목재공학개론”, 선진문화사, pp. 186~187, 2004.

Table 6. Concentrations of the combustion gases for living leaves of various coniferous and broadleaf trees

Items		Pinus densiflora	Pinus koraiensis	Pinus rigida	Antipathes japonica	Quercus serrata	Quercus dentato-mongolica	Quercus variabilis
CO yields	Mean(kg/kg)	0.0666	0.0569	0.0583	0.0611	0.0485	0.0486	0.0542
	Peak(ppm)	144.08	168.02	165.67	163.79	88.37	91.40	88.08
	At time(s)	600	360	560	360	200	200	160
CO <sub>2</sub> yields	Mean(kg/kg)	0.98	0.85	0.90	0.92	0.96	0.8993	0.92
	Peak(ppm)	0.1239	0.0930	0.9554	0.1933	0.0816	0.0801	0.0856
	At time(s)	1,160	440	640	160	200	160	160
Mass loss	Initial mass(g)	50	50	50	50	50	50	50
	Mass loss(g)	49.80	49.60	49.10	49.60	46.50	45.92	47.10
	Final mass(g)	0.2	0.4	0.9	0.4	3.5	4.08	2.9

- 3) 이병근, “신임산공화개론(I), 영남대학교출판부, pp.161~163, 2005.
- 4) 김충익, 화재의 복사 열전달에 관한 연구, 한국화재보험협회, 방재기술, 제25호, pp. 10~17, 1998.
- 5) ISO 5660-1, “Reaction to Fire Part 1, Rate of Heat Release from building products(Cone Calorimeter)”, Generer, 1993.
- 6) ASTM E 662, “Test method for specific optical density of smoke generated by solid materials”, 2003.
- 7) 김동현, 이명보, 강영호, 이시영, “지표물질 착화성 실험을 통한 발화위험성 분석”, 한국방재학회 춘계학술발표지, pp. 379~384, 2006.
- 8) 박형주, 김응식, 김장환, 김동현, “복사열을 이용한 소나무와 굴참나무 낙엽의 연소특성 분석”, 한국화재소방학회 논문지, 제21권, 제3호, pp. 41~46, 2007.
- 9) 이시영, 안상현, “지표화 산불피해지의 수종별 임목 고사율 비교분석”, 한국방재학회논문집, 제9권, 제2호, p. 41, 2009.
- 10) 이병두, 정주상, 이명보, 김동현, “산불확산예측 모델의 개발”, 한국화재소방학회 춘계학술논문발표회 논문집, pp. 231~235, 2006.
- 11) 김장환, 김응식, 박형주, 이명보, 김동현, “지표화 연료의 열량분석에 관한 실험방법 연구”, 한국화재소방학회 논문지, 제22권, 제3호, pp. 261~262, 2008.