

영동지역 관목류 5가지 수종 생엽의 연소특성

Combustional Characteristics of Living Leaves for Five Shrubs in Youngdong Areas

이해평* · 이시영** · 박영주***

Lee, Hae Pyeong · Lee, Si-Young · Park, Young Ju

Abstract

In this study, we have investigated the combustibility of five shrubs growing in Youngdong area such as *Lindera obtusiloba*, *Lespedeza maximowiczii*, *Zanthoxylum piperitum*, *Zanthoxylum schinifolium*, and *Corylus heterophylla* var. *thunbergii* using the ignition temperature tester, the cone calorimeter and the smoke density chamber in order to estimate the danger of a forest fire. The results showed that *Lespedeza maximowiczii* has the lowest ignition temperature, the fastest ignition time and the highest average release concentrations of CO and CO₂. *Zanthoxylum piperitum* and *Zanthoxylum schinifolium* showed the highest level in heat release and smoke release, respectively. Therefore, we have concluded that *Lespedeza maximowiczii* has the highest ignitibility, *Zanthoxylum piperitum* the most intensive fire spread and fire intensity, and *Zanthoxylum schinifolium* and *Lespedeza maximowiczii* most difficult to escape from a forest fire.

Key words : Shrubs, Ignition temperature, Total heat release, Total smoke release, Carbon Oxides

요 지

본 연구에서는 산림 내 가연물의 산불위험성을 판단하기 위하여 영동지역에서 자생하는 관목류(생강나무, 조록싸리나무, 초피나무, 산초나무, 개암나무)의 생엽을 대상으로 발화점시험기, 콘칼로리미터, 연기밀도시험기를 이용하여 연소특성을 고찰하였다. 조록싸리나무는 발화온도가 가장 낮고 착화시간이 가장 빨랐으며, CO와 CO₂의 평균방출농도가 가장 높은 것으로 나타났다. 초피나무는 가장 많은 열량을 방출하였으며, 산초나무는 가장 많은 연기를 발생한 것으로 나타났다. 따라서 산불발생 시 조록싸리나무는 다른 수종에 비하여 착화가 가장 용이하고 초피나무는 확산 및 화재강도가 가장 클 것으로 판단되며, 산초나무와 조록싸리나무는 다량의 연기발생에 따라 피난이 어려울 것으로 사료된다.

핵심용어 : 관목, 발화온도, 총열방출량, 총연기방출량, 탄소산화물

1. 서 론

최근 전국의 산불발생 피해는 빈도와 규모가 크게 증가하고 있다. 특히 강원도, 경상북도, 충청남도는 대형 산불이 많이 발생하는 지역으로 산불이 빈번하게 발생하고 있는데(산림청, 2007) 건조한 기후로 산불이 자주 발생하기도 하며, 지형적인 특성으로 건조기에 강한 바람이 많이 불고 군사시설과 취락농경지가 밀집되어 있으며, 산림 내 연료원이 많이 축적되어 있기 때문인 것으로 사료된다. 산불은 지형, 연료, 기상인자와 산불자체의 상호작용으로 인하여 복잡하게 전개되므로 산불의 발생 메커니즘을 해석하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다(이병두 등, 2005).

산불 메커니즘을 살펴보면, 산불발생 시 대부분의 산림 내 가연물들은 높은 에너지를 갖는 열원에 노출되면 착화되며,

착화 후 발생한 화염이 주위의 연료에 열을 전달하여 연료의 표면온도를 상승시킨다. 연료의 표면온도가 점화온도보다 높아지면 급격한 열분해가 일어나므로써 연료가스가 발생하게 되고 많은 열량을 방출하는 화염의 전파로 화재가 성장하게 된다. 화재의 전파는 화염부로 얼마나 많은 공기가 유입되는가에 따라서 결정되며 이들의 방출 특성은 충분한 공기 유입에 따라 연소물질로부터 열을 수반하게 되어 고온의 휘발성·가연성 증기와 가스 성분을 방출하게 된다. 경우에 따라서는 시야확보를 방해하는 요소로서 사람의 가시성과 방향성을 잃게 하여 독성가스에 노출되는 시간을 길어지게 하고 결과적으로 대피능력을 상실하게 되며(Marcelo M. Hirschler, 1990), 가시거리가 저하됨으로써 산불진화작업을 어렵게 한다. 또한 화염 속에서 연료의 연소로부터 발생된 고온의 가스와 입자들이 복사, 흡수, 산란, 반사 등을 통하여 전체 복사에너지를

*정희원 · 강원대학교 소방방재학부 교수(E-mail: crelab@kangwon.ac.kr)

**정희원 · 강원대학교 방재전문대학원 교수

***정희원 · 강원대학교 방재전문대학원 박사과정

결정하게 되며 열분해 생성물인 메탄(CH₄), 일산화탄소(CO), 수소(H₂), 탄소(C) 등은 산불발생 후 산림식생의 손실을 가져올 뿐만 아니라 토양 변화로부터 산림식생의 변화 등의 2차 피해를 유발하기도 한다(이규승, 2004). 이러한 열분해 생성물의 특성은 가연성 연료의 조성과 가열온도, 공급공기량 등의 연소조건과 밀접한 관계가 있으며, 연료의 열분해와 연소로부터 발생한 연기 및 연소생성물은 시시각각 화재진행의 양상에 따라 변하므로 연기의 농도와 유독성은 별도 인자들로 분리하여 고려해야만 한다. 발생한 연기는 연소생성물과 흡입된 공기의 혼합 형태로서 농도와 유독성은 연소물질에 따라 매우 밀접한 상관관계가 있다(이복영, 1993). 화재는 이러한 여러 메커니즘이 복합적으로 작용하는 현상이므로 화재 강도를 예측하기 위해서는 확산특성, 발화특성, 연기의 특성, 독성 등에 대한 종합적인 연구가 필요하다. 해외의 경우, 산림에서 화염으로부터의 복사 열전달량에 대한 예측을 통하여 한 곳에서의 화재가 더 이상 확대되는 것을 막아주는 안전지역의 크기를 설정하고 화재의 안정성 여부를 결정하기도 한다(김충익, 1998 : 김진국, 1996).

따라서 본 연구에서는 산불발생 시 착화특성, 확산특성, 연기특성을 고찰하고자 발화온도 시험기와 콘칼로리미터, 그리고 연기밀도시험기를 이용하여 산불다발지역인 강원도 영동 지역에서 자생하는 관목류들 가운데 주요 5가지 수종인 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 조록싸리나무(*Lespedeza maximowiczii*), 초피나무(*Zanthoxylum piperitum*), 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*), 그리고 개암나무(*Corylus heterophylla var. thunbergii*)를 실험대상으로 선정하고 생엽을 채취하여 연소특성을 고찰함으로써 산불의 화재위험성을 예측하기 위한 연소 자료를 확보하는데 목적을 두고 연구를 수행하였다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 실험내용

2.1.1 실험 대상지

본 연구에서는 Table 1에 제시한 산림청 임업통계 자료를 이용하여 전국의 산불발생건수 및 피해면적 현황(산림청, 2007)을 파악한 후, 산불피해 면적이 30 ha 이상의 대형산불 피해면적이 가장 큰 강원도지역을 대상지로 선정하였다.

2.1.2 연료 및 함수율 측정

강원도 영동지역에서 자생하는 관목류 수종들 가운데 생강나무, 조록싸리나무, 초피나무, 산초나무, 개암나무를 대상으로 생엽을 채취하여 함수율을 측정하였다. 함수율은 3회 측정에 대한 평균값을 사용하였으며, 연료의 채취 시기는 7월~9월 사이 맑은 날이 5일 이상 유지된 다음날 동일 장소에서 채취하여 연료로 사용하였으며 연소특성 시험에 앞서 채취한 연료들의 함수율을 측정하였다. 함수율은 표준측정 방법인 ASTM D 2016(American Society for Testing and Material) (김현중 등, 2004 : 심종섭 등, 1994)에 근거하여 재료 200g을 103±2°C의 온도로 설정한 건조기(dry oven) 내에서 24시간 이상 건조시킨 후 항량이 될 때까지 중량을 측정하여 함수율을 측정하였다. 항량 측정기준은 4시간 간격으로 무게

Table 1. Statistical yearbook of forest(2007)

Region	Number of cases	Area (ha)	Number of largesizecases	Largesizearea (ha)
Gangwon	882	33,484.7	37	32,233.1
Gyeonggi	691	1,075.4	1	78.0
Gyeongnam	580	1,373.0	8	481.0
Gyeongbuk	1,074	2,919.7	13	1,189.6
Gwangju	151	162.4	0	0
Daegu	223	252.7	0	0
Daejeon	199	147.9	0	0
Busan	311	287.8	1	33.5
Seoul	322	42.8	0	0
Ulsan	238	847.0	5	353.4
Incheon	239	161.0	0	0
Jeonnam	760	1,853.7	7	382.3
Jeonbuk	479	1,175.4	6	616.4
Jeju	35	77.9	0	0
Chungnam	485	3,108.9	4	2,409.7
Chungbuk	472	726.5	0	0

를 측정하였을 때 0.1%의 무게변화가 없을 때까지 식(1)에 의하여 산출하였다.

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

여기서, MC(moisture content)는 함수율[%], W는 건조 전 시료의 중량[g], W₀은 완전 건조시킨 시료의 중량을 나타낸다. 또한 연료의 형태는 실제 산불발생 시 연료의 형태와 동일한 조건을 적용하기 위하여 원형 상태로 사용하였다.

2.1.3 연소특성 실험

본 연구에서는 산불발생 시 산림 내 연료의 착화특성, 확산특성, 연기특성을 고찰하고자 연소특성 시험을 수행하였다. 착화특성으로는 자연발화온도(무염착화), 착화시간(발염착화시간) 및 화염종료시간을 측정하여 분석하였으며, 확산특성으로는 총열방출량(THR, Total heat release) 및 열방출율(HRR, Heat release rate), 총산소소모량(TOC, Total oxygen consumed)을 분석하였고 연기특성으로는 가시거리 예측을 위한 총연기 방출량(TSR, Total smoke release) 및 최대연기밀도(Ds, Smoke density)와 연기온도(Ts, Smoke temperature), 연소생성물인 CO 및 CO₂ 방출농도와 잔류량 특성을 분석하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 착화특성 분석

산림 내 연료의 착화특성 분석을 위하여 일본 Kuramochi사의 모델명 KRS-RG-9000의 Group식 발화온도 시험기(홍윤명 등, 1992)와 영국 FTT사의 Dual Cone Calorimeter(ISO 5660-1, 2002)를 사용하여 발화온도(IT, Ignition temperature)와 착화시간(ITT, Time to ignition) 및 화염종료시간(FTT, Time to flameout)을 측정하였다. 발화온도 측정 시, 발염의

Table 2. Experimental conditions of ignition temperature

Items	Contents
Model	KRS-RG-9000
Method of measurement	Group
Weight	20 mm
Condition of material	Raw
Waiting time of ignition (s)	4

Table 3. Experimental conditions of smoke density chamber and cone calorimeter

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

Table 4. Experimental conditions of smoke density chamber

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

확인 은 육안에 의해 판단하고, 발화대기 시간은 4초로써 착화원 없이 물질이 자연발화 할 때의 최저온도로 측정되며, 발화는 연소의 개시와 관련된 거동의 일부로서 속도제어 매커니즘으로 열의 발생속도와 확산속도가 평형을 나타내는 점으로 정의된다. 발화 후 자연소화 되기까지의 화염유지시간은 재료가 복사열에 노출되면서 착화가 일어나는 시간과 착화가 종료될 때의 시간 즉 자연소화 될 때까지의 시간(화염종료시간)을 말하며 화염의 유무를 육안으로 판단하여 분석시스템에 기록하여 확인하였다. 구체적인 실험조건은 Table 2에 제시하였다.

2.2.2 확산특성 분석

산불발생 시 확산특성을 분석하기 위하여 콘칼로리미터를 사용하여 총열방출량 및 열방출율과 총산소소모량을 분석하였으며, 결과값은 3회 반복실험하여 측정된 값의 평균값을 사용하였다. 구체적인 실험조건은 Table 3에 제시하였다.

2.2.3 연기특성 분석

산불발생 시 연기특성을 고찰하기 위하여 영국 FTT사의 연기밀도시험기(ASTM E 662, 2003)와 콘칼로리미터(ISO 5660-1, 2002)를 사용하여 가시거리 확보를 위한 발연량 특성으로서 총연기방출량, 최대연기밀도, 연기온도를 측정하고 연소생성물인 CO 및 CO₂ 방출농도와 잔류량 특성을 분석하였으며, 결과값은 3회 반복실험하여 측정된 값의 평균값을 결과값으로 사용하였다. 실험조건은 Table 4에 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 산불발생 시, 산림 내 연료의 화재강도 및 산불동태 예측을 판단하기 위하여 강원도 영동지역에 자생하는 관목류 주요 수종 5가지를 대상으로 선정하여 생엽을 채취하여 함수율을 측정하고 연소실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

3.1 함수율 측정

Table 5에는 시험에 앞서 관목류 5가지 수종의 생엽에 대한 함수율을 측정하여 제시하였다. 함수율은 152~309%로 측정되었으며 수종에 따라 차이를 보였다.

3.2 착화 특성

Table 6에는 관목류 5가지 수종의 생엽에 대한 착화특성을 제시하였다. 관목류 생엽의 발화온도 범위는 310°C~410°C인 것으로 나타났으며, 수종간 약간의 차이를 확인할 수 있었다. 310°C정도의 가장 낮은 발화온도를 나타낸 조록싸리나무는 복사열에 노출된 다음, 가장 빠른 시간인 12초에 착화가 개시되어 49초 동안 화염을 유지하는 것으로 나타났다. 또한 산초나무와 개암나무의 발화온도는 380°C정도였으며, 초피나무의 발화온도는 410°C인 것으로 나타났는데 착화는 일어나지 않았다. 반면, 생강나무는 발화온도가 410°C로서 초피나무

Table 5. Percentages of moisture contents for living leaves of five shrubs

Species	Moisture Contents (%)
<i>Lindera obtusiloba</i> (생강나무)	205.32
<i>Lespedeza maximowiczii</i> (조록싸리나무)	167.41
<i>Zanthoxylum piperitum</i> (초피나무)	308.85
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> (산초나무)	287.94
<i>Corylus heterophylla var. thunbergii</i> (개암나무)	151.62

Table 6. Characteristics of ignition for living leaves of five shrubs

Items	<i>Lindera obtusiloba</i>	<i>Lespedeza maximowiczii</i>	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	<i>Corylus heterophylla var. thunbergii</i>
Time to ignition (s)	39	12	not recorded	not recorded	not recorded
Time to flameout (s)	41	61	not recorded	not recorded	not recorded
Ignition temperature (°C)	410	310	410	380	380

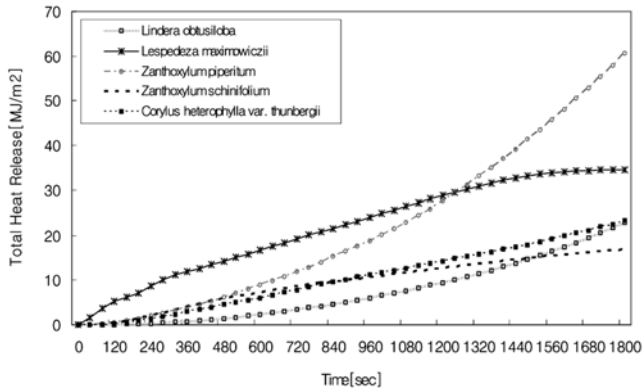


Fig 1. Total heat release for living leaves of five shrubs

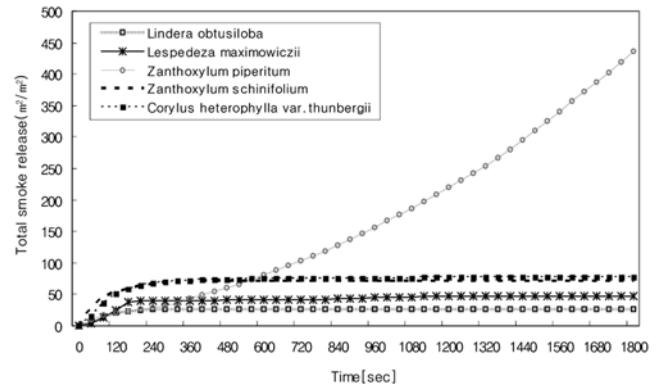


Fig 3 Total smoke release for living leaves of five shrubs

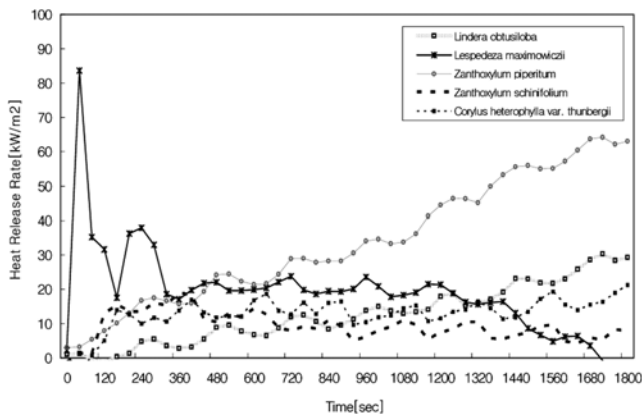


Fig 2. Heat release rate for living leaves of five shrubs

와 동일한 것으로 나타났으나 착화가 일어났으며, 복사열에 노출된 다음 39초에 착화가 개시되어 2초 동안 화염을 유지하는 것으로 나타남으로써 수종간 차이를 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 수종간 구성하고 있는 잎의 조직 즉, 잎을 구성하는 기본 조직계의 대부분은 잎살(mesophyll)인데 이것은 세포사이 공간(intercellular space)이 많고 수종에 따라 잎의 외부표면(external surface)과 세포간극으로 되어 있는 내부표면(internal surface)의 비가 다르고 수종간 구성하고 있는 잎의 조직 및 구성 성분과 및 수분 함유량에 따른 차이(임경빈, 2007)에 기인한 것으로 사료되며, 착화특성은 일관성이 없는 것으로 나타났다.

3.3 확산특성

Fig. 1에는 중량 50 g의 시료를 대상으로 시간에 따른 총 열방출량 곡선을 나타내었으며, Fig. 2에는 열방출율 곡선을

나타내었다.

총열방출량은 시료 표면적당 시간에 대한 함수로 표현되는 열방출율을 주어진 시간으로 적분하여 누적된 값으로 구하였으며, 열방출율은 시료 표면적당 발생하는 열량의 크기로 나타내었다. 또한 최대열방출율은 재료 표면적당 발생한 순간적인 열량의 크기이다.

Fig. 1의 수종별 총열방출량은 17~61 MJ/m²의 열을 방출하는 것으로 분석되었다. 연소 시 총산소소모량이 34.5 g으로 가장 많은 산소가 소모되어 초피나무의 경우, 60.50 MJ/m²의 가장 많은 열량을 방출하여 산초나무와 개암나무, 생강나무에 비하여 2.6배 이상 높았다.

Fig. 2의 평균열방출율은 9~34 kW/m²로 나타났으며, 초피나무는 총열방출량이 가장 높고, 평균열방출율도 34kW/m²로 가장 높은 것으로 나타났다. 이에 대한 결과값들을 Table 7에 제시하였다. 따라서 초피나무는 산발발생 시, 다른 수종에 비하여 발열량이 높기 때문에 주위의 온도를 상승시켜 열확산속도가 빨라 화재강도 및 확산이 빠르게 진행될 것으로 사료된다.

3.4 연기특성

3.4.1 총연기방출량, 연기밀도, 연기온도

Fig. 3의 총연기방출량은 중량 50 g 연소시 26~435 m³/m²의 연기가 방출되어 수종간 큰 차이가 나타났다. 총열방출량이 가장 높은 초피나무는 435 m³/m²의 가장 많은 연기를 방출하였다. 따라서 산발발생 시, 초피나무는 다른 수종에 비하여 연기방출량이 많기 때문에 시계를 차단하여 가시거리 확보가 가장 어려울 것으로 사료된다.

Fig. 4의 최대연기밀도는 조록싸리나무가 177.65 Ds정도로

Table 7. Characteristics of flame spread for living leaves of five shrubs

Species		<i>Lindera obtusiloba</i>	<i>Lespedeza maximowiczii</i>	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	<i>Corylus heterophylla var. thunbergii</i>
Classification	Mean (kW/m ²)	12.95	19.12	33.60	9.43	12.79
	Peak (kW/m ²)	34.10	85.49	67.30	21.07	21.42
	At time (s)	1,785	35	1,780	395	1,695
Total heat release (MJ/m ²)		22.90	34.40	60.50	17.00	23.20
Total oxygen consumed (g)		12.90	24.00	34.50	11.10	15.50

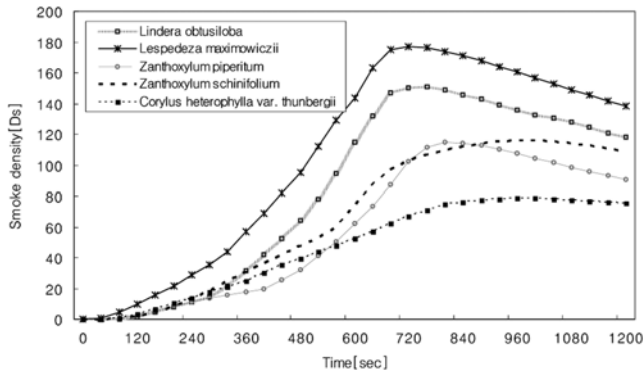


Fig 4. Smoke density for living leaves of five shrubs

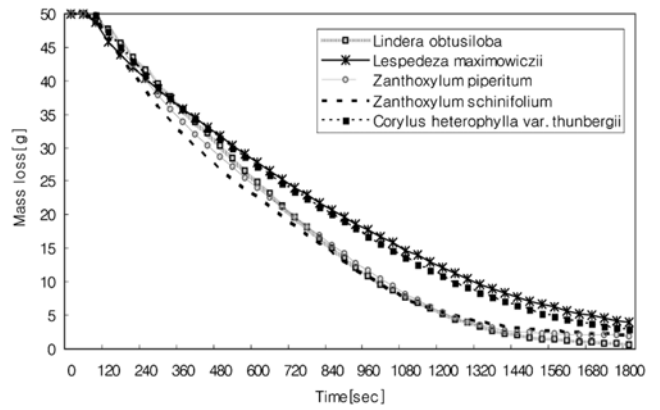


Fig 6. Mass loss for living leaves of five shrubs

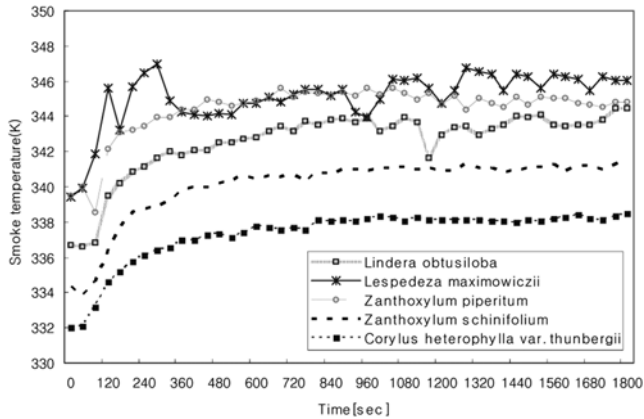


Fig 5. Smoke temperature for living leaves of five shrubs

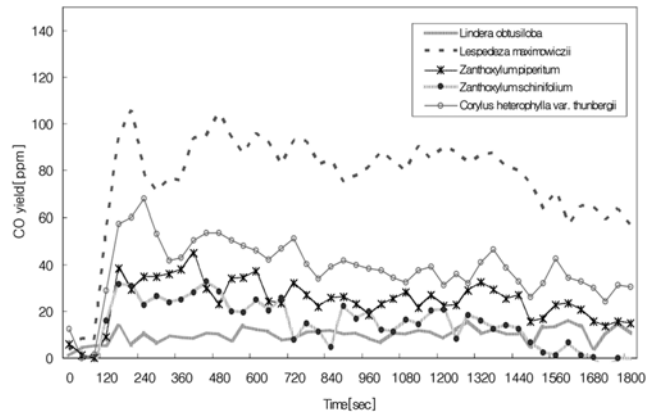


Fig 7. CO yields for living leaves of five shrubs

가장 높았으며, 개암나무의 78.61 Ds에 비하여 2.26배 정도 높아 수종간 차이가 나타났다. 또한 최대연기밀도에 도달하는 시간은 모든 수종에서 복사열에 노출된 다음 700~800 s 정도로서 수종간 큰 차이는 없었지만 최대연기밀도가 가장 높은 조록싸리나무의 경우, 산불발생 시 다른 수종과 비교하여 연소초기에 많은 연기를 방출하기 때문에 연기의 어려움이 클 것으로 사료된다. 또한 방출되는 연기온도는 339~346 K 범위로 분석되었다.(Table 9) 이와 같은 발연특성은 연료의 조성 및 기열온도 공급량 등의 연소조건과 관련되어 고온의 휘발성·가연성 증기와 가스성분을 방출하게 되며 시계를 차단하는 요소로서 가시성과 방향성을 잃게 된다(Marcelo M. Hirschler, 1990).

3.4.2 CO, CO₂ 및 잔류물

Fig. 7과 Fig. 8에는 수종별 중량 50 g의 생엽을 대상으로 착화한 다음 연소가 지속될 때 시간변화에 따른 CO와 CO₂의 방출농도를 나타내고 있다. Fig. 7의 수종별 CO의 방출농도를 살펴보면 조록싸리나무는 다른 수종에 비하여 연소초기부터 실험종료 때까지 CO의 농도가 현저하게 높았다. 평

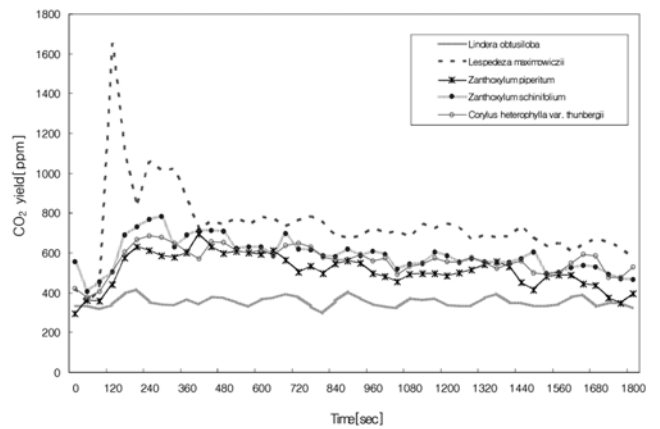


Fig 8. CO₂ yields for living leaves of five shrubs

균 방출농도는 Table 9에서 알 수 있듯이 0.07 kg/kg로서 가장 높은 것으로 나타났는데 생강나무와 산초나무에 비하여 방출농도가 7배 정도 높았다. 또한 Fig. 8의 수종별 CO₂의 방출농도를 살펴보면 CO의 방출농도가 가장 높은 조록싸리

Table 8.Characteristics of smoke release for living leaves of five shrubs

Items	<i>Lindera obtusiloba</i>	<i>Lespedeza maximowiczii</i>	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	<i>Corylus heterophylla var. thunbergii</i>
Total smoke release (m ² /m ²)	26.30	46.10	435.00	71.40	76.80
Peak smoke temp. (K)	343.98	346.27	345.61	339.99	338.45
Max. Smoke density (Ds)	151.24	177.65	115.41	116.04	78.61

Table 9. Concentrations of the combustion gases for living leaves of five shrubs

Items		<i>Lindera obtusiloba</i>	<i>Lespedeza maximowiczii</i>	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	<i>Corylus heterophylla var. thunbergii</i>
CO yields	Mean (kg/kg)	0.0085	0.0741	0.0215	0.0100	0.0400
	Peak (ppm)	17.66	107.65	44.76	31.73	67.97
	At time (s)	710	230	400	160	240
CO ₂ yields	Mean(kg/kg)	0.4800	1.1000	0.7000	0.8500	0.8900
	Peak (ppm)	420.40	2015.11	455.90	781.48	686.07
	At time (s)	154	107	70	280	240
Mass loss	Initial ass (g)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
	Mass loss (g)	47.70	45.20	48.40	47.90	47.30
	Final mass (g)	12.30	4.80	1.60	2.10	2.70

나무가 연소초기에 급격히 CO₂량이 증가하는 것으로 나타났으며, 평균방출농도는 1.1 kg/kg으로 가장 높았는데 이에 대한 결과를 Table 9에 제시하였다.

조록싸리나무는 연소초기에 착화가 시작되면서 CO와 CO₂의 방출농도가 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, CO는 108 ppm, CO₂는 2,015 ppm으로 다른 수종들과 연소초기에 현저한 차이를 보였다. 이는 연소 시 대피시간이 짧게 되어 많은 가스의 노출로부터 피난능력을 상실하게 됨을 의미한다. 이러한 CO와 CO₂의 생성은 목재의 주성분인 셀룰로오스(cellulose)의 열분해로부터 organic aldehyde나 유기산으로 분해된 다음, 보다 높은 온도에서 생성되며(이병근, 2005), 연소생성물인 CO와 CO₂ 등은 산불발생 후 2차 피해를 유발하기도 한다(이규승, 2004).

또한, Fig. 6에는 중량 50 g의 시료에 대한 중량변화 곡선을 나타내었다. 열분해에 의한 감량변화를 살펴보면 초피나무의 총중량감소가 가장 큰 것으로 나타났으며, 중량감소가 가장 작은 생강나무는 12.30 g으로 수종별 잔류량의 차이가 나타났다. 이러한 잔류량의 차이는 수종에 따라 잎의 외부표면과 세포간극으로 되어 있는 내부표면의 비가 달라 수종간 구성하고 있는 잎의 조직과 수분 함유량에 따른 차이(임경빈, 2007)와 고온조건에서 열분해된 다음 남게 되는 무기화합물인 칼슘, 칼륨, 마그네슘, 망간, 규소와 같은 원소를 함유하는 불연성 화합물(김현중 등, 2004)의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

1. 착화특성의 분석결과, 관목류 생엽의 발화온도의 범위는 310°C~410°C로서 수종간 차이가 나타났으며, 발화온도가 310°C로 가장 낮은 조록싸리나무는 복사열에 노출된 다음, 가장 빠른 시간인 12초에 착화가 개시되어 49초 동안 화염이 되었다. 또한 산초나무와 개암나무의 발화온도는 380°C, 초피나무의 발화온도는 410°C로 착화는 일어나지 않았다. 반면 생강나무는 초피나무와 발화온도가 410°C로 동일하였지만 착화가 일어남으로써 수종간 차이를 보였다. 따라서 조록싸리나무는 산불발생 시 다

2. 른 수종에 비하여 착화가 가장 용이할 것으로 사료된다.
2. 확산특성의 분석결과, 관목류 생엽의 총열방출량은 17~61 MJ/m²로 초피나무는 연소 시 총산소소모량이 34.5 g으로 가장 많은 산소가 소모되어 60.50 MJ/m² 정도의 가장 많은 열량을 방출하여 산초나무와 개암나무, 생강나무에 비하여 2.6배 이상 높은 것으로 나타났다. 또한 평균열방출율은 9~34 kW/m²로 총열방출량이 가장 높은 초피나무가 34 kW/m²로 평균열방출율이 가장 높았다.
3. 연기특성의 분석결과, 총연기방출량은 중량 50 g의 시료에 대하여 26~435 m³/m²의 연기가 방출되어 수종간 차이가 있었다. 총열방출량이 가장 높은 초피나무가 435 m³/m²의 가장 많은 연기를 방출하였다. 최대연기밀도는 조록싸리나무가 177.65 Ds로 가장 높았으며 개암나무의 78.61 Ds에 비하여 2.2배 정도 높아 수종간 차이가 있었다. 따라서 산불발생 시 초피나무는 다른 수종에 비하여 연기방출량이 많기 때문에 시계를 차단하여 가지 거리 확보가 어려울 것으로 판단된다. 최대연기밀도가 가장 높은 조록싸리나무의 경우 산불발생시 다른 수종과 비교하여 연소초기에 가장 많은 연기를 방출하여 피난대피의 어려움이 클 것으로 사료된다.
4. 또한, CO 및 CO₂ 방출농도특성의 분석결과, 조록싸리나무는 다른 수종과 비교하여 연소초기부터 실험종료 시까지 CO의 농도가 높아 평균 방출량은 0.07 kg/kg으로 생강나무와 산초나무에 비하여 7배 정도 높았다. 조록싸리나무는 연소초기에 CO₂의 농도 또한 급격히 증가하여 평균방출량은 1.1 kg/kg으로 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 산불발생 시, 조록싸리나무는 연소초기에 착화가 시작되면서 CO와 CO₂의 방출농도가 급격히 증가하여 대피시간이 짧아지므로 가스의 노출로부터 피난의 어려움이 클 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 S210808 L0101004)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

참고문헌

- 김진국 (1996) 공기유입이 화재강도에 미치는 영향에 대한 실험적 연구. **방재기술**, 한국화재보험협회.
- 김충익 (1998) 화재의 복사 열전달에 관한 연구. **방재기술**, 한국화재보험협회.
- 김현중, 엄영근, 이진제, 정희석, 최인규 (2004) **목재공학개론**. 선진문화사.
- 산림청 (2007) **임업통계연보**. pp. 183-188.
- 심중섭, 신동소, 이화형, 임기표, 조남석, 조병목 (1994) **임산화학**. 향문사.
- 이규송 (2004) 동해안 산불피해지에서 산불 후 경과 년수에 따른 식생구조의 발달. **한국생태학회논문집**, 한국생태학회, 제27권, 제2호, pp. 99-106.
- 이병근 (2005) **신임산공학개론(I)**. 영남대학교출판부.
- 이병두, 이시영, 정주상 (2005) 2005년 강원도 양양산불 행동 특성. **한국화재소방학회 논문집**, 한국화재소방학회, 제19권, 제4호, pp. 1-3.
- 이복영 (1993) 연기와 연기감지기술에 대한 고찰. **방재기술**, 한국화재보험협회.
- 임경빈 (2007) **신고 조림학원론**. 향문사.
- 홍윤명, 정국삼 (1992) **안전공학실험**. 동화기술.
- ASTM E 662 (2003) *Test method for specific optical density of smoke generated by solid materials*.
- ISO 5660-1 (2002) *Reaction to fire part 1, rate of heat release from building products(Cone Calorimeter)*. Generer.
- Marcelo M. Hirschler (1990) *Fire hazard and toxic potency 0.1 the smoke from burning materials*. *Advance In Combustion Toxicology*, pp. 229-230.

◎ 논문접수일 : 09년 03월 11일

◎ 심사의뢰일 : 09년 03월 12일

◎ 심사완료일 : 09년 04월 23일