

굴참나무 생엽의 월별 연소특성에 관한 연구

The Characteristics of Combustion for Living Leaves in *Quercus variabilis* with Monthly Seasonal Variations

박영주* · 오진열** · 이시영*** · 이해평****

Park, Young-Ju · Oh, Jin-Youl · Lee, Si-Young · Lee, Hae-Pyeong

Abstract

In this study, we have examined the monthly combustion characteristics of *Quercus variabilis*, a representing *Quercus Spp.* in Korea, using its living leaves over the period of from June to October. As a result, we were able to identify that their moisture content was about 114%~155%. The leaves of *Quercus variabilis* collected in October showed the lowest moisture content and non-flaming ignition temperature. The leaves of July showed the fastest flaming ignition time of 27s while those from September showed the longest persistence of flame with 105s, and also showed the highest total heat release amount. There was a noticeable difference in each month of the above period regarding total heat release amount and total smoke release amount with a gradual increase from June to October. The maximum smoke density was a bit higher in October leaves but there was no significant monthly difference. In addition, July leaves were shown to reach the maximum value in the shortest time of 795s.

Key words : *Quercus variabilis*, Living Leaf, Moisture Content, Total Heat Release, Total Smoke Release, Ignition Temperature

요 지

본 연구에서는 우리나라 산림의 주요 분포 수종 가운데 참나무류의 대표 수종인 굴참나무의 생엽을 대상으로 월별(6월~10월) 연소특성을 고찰하였다. 함수율은 114%~155% 정도였으며, 10월의 생엽은 수분함유량과 무연착화온도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 7월 생엽은 27s 정도의 가장 빠른 시간에 발연착화 되었으며, 9월의 생엽은 105s 정도로 가장 오랜 시간동안 화염이 지속되고 총열방출량도 가장 높은 것으로 나타났다. 총열방출량과 총연기방출량은 모두 월별로 차이를 보였는데 6월부터 10월 까지 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 최대연기밀도는 10월의 생엽이 약간 높은 것으로 나타났지만 월별 차이는 거의 없었으며, 7월의 생엽은 다른 생엽들보다 상대적으로 빠른 시간인 795s에 최대값에 도달하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 굴참나무, 생엽, 함수율, 발열량, 발연량, 발화온도

1. 서 론

산불은 제반 산림환경 인자들의 영향에 따라 산불의 형태가 결정된다. 즉, 발화지역의 연료, 기상 및 지형조건 등에 의해 진행 방향이나 지표화, 수관화 등으로 구분되는 화두의 발전 형태가 결정되며, 주위 환경인자의 상호작용을 통해 산불의 강도 및 진행속도 등이 결정된다. 또한, 이러한 연료, 기상, 지형조건 가운데 한 요소의 변화는 매우 갑작스럽고 빠르게 산불확산속도와 형태에 영향을 준다. 확산요소 가운데 연료는 경가연물, 중가연물, 녹색가연물 등에 따라 다양한 형태로 산불이 확산된다(정주상 등, 2002). 경가연물로는 낙엽, 건초, 죽은 나뭇가지 등과 같이 발화하면 곧바로 타버리는

것들이 있으며, 중가연물은 원목, 나무줄기, 큰 나무가지 등으로 일단 발화하면 서서히 타는 것들이지만 장시간 강열하게 연소하므로 진화하기에 매우 어려운 가연물들이다. 녹색가연물은 푸르게 자라고 있는 임목, 나뭇가지, 잎, 풀들이 해당되나 침엽수 잎은 휘발성분을 갖고 있어서 산불의 확산을 촉진시킨다. 또한, 산불화제 성상은 경가연물과 중가연물, 녹색가연물에 따라 서로 다르게 나타나지만 일반적으로 불에 강한 수종으로는 대체로 나무가 서있는 상태에서 수피가 두꺼운 수종 즉, 활엽수종이 내화성이 높다(정주상 등, 2002). 따라서 이러한 관점에서 산림 환경인자들의 특성에 따른 산불강도 또는 화두의 연소형태를 밝히는데 초점을 두고 많은 연구들(Andrews, P.L. etc, 1999; Evans, David D. etc, 2004;

*정회원 · 강원대학교 화학공학연구소 연구교수(E-mail : yjpolymer@kangwon.ac.kr)

**강원대학교 산업과학대학원 석사과정

***정회원 · 강원대학교 방재전문대학원 조교수

****정회원 · 강원대학교 소방방재학부 부교수(교신저자)

Mitchell, J, 2006; Muraszew, A, 1976; Ronald G. RehmA. etc, 2009; Woycheese, J.P, 2001)이 진행되고 있으나 지금까지 산림내 연료에 대한 국내 연구는 전무하며, 가연물 형태나 수종에 따른 체계적인 연구가 필요한 실정이다.

우리나라 산림의 대표적인 분포수종을 살펴보면, 국토면적의 65%를 차지하는 수종은 소나무류와 참나무류이다. 참나무류는 우리나라 임목축적량의 27%를 차지하고 있으며, 재질이 좋아 용재가치가 높은 대표적인 활엽수종이다(임경빈, 2007). 대부분 수종의 잎은 가을에 떨어지지만 활엽수종인 졸참나무(*Quercus serrata*), 상수리나무(*Quercus acutissima*), 굴참나무(*Quercus variabilis*) 등의 잎은 갈색으로 변색되더라도 가지에 그대로 매달려 겨울을 지나고 봄이 되어 새 잎이 나올 때 낙엽이 된다(정연하 등, 1989). 우리나라와 같은 온대지방의 수목은 겨울에는 휴면상태로 들어가고 봄이 되면 생장을 시작한다. 봄부터 여름에 걸쳐 왕성하게 자라던 것이 모든 환경조건이 충분한데도 불구하고 생장의 정상현상이 있어 수체 내의 수분함량도 감소하며, 물질대사 활동도 점점 약해진다. 산림연료는 기후나 시기적으로 이러한 생장 차이가 있어 산발발생 시 산발위험성 예측 및 산발동태 예측에 필요한 계절별 함수량과 연소특성에 대한 기초적 자료가 절실히 요구된다(심주석 등, 2003).

따라서, 본 연구에서는 산발발생시 산림내 연료의 산발동태 예측을 판단하기 위하여 우리나라 산림의 주요 분포수종 가운데 참나무류의 대표수종인 굴참나무를 대상으로 생엽의 생장시기인 6월~10월 사이의 생엽을 월별 채취하여 연소특성 시험을 수행하였다. 연소특성 시험을 수행하기 위하여 함수율을 측정하고, 발화온도시험기(Ignition temperature tester), 콘칼로리미터(Cone calorimeter), 연기밀도시험기(Smoke density chamber tester)를 이용하였으며, 월별 착화특성, 화재특성, 발연특성의 비교를 통하여 산발발생시 산발동태 예측 등에 필요한 기초자료 확보에 주안점을 두었다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연료 및 대상지 선정

연료의 선정은 우리나라 온대기후 지역에서 자생하는 참나무류 가운데 대표수종인 굴참나무를 선정하였으며, 참나무류 생엽의 생장시기인 6월에서 10월 사이 월별 생엽을 채취하여 실험연료로 사용하였다.

산발발생 시 산발의 형태는 지표화, 수관화 등으로 구분하며, 지표화 연료로는 지표의 표면과 그 부분에 매장된 연료로서 낙엽이나 잡초 등이 해당되며, 수관화는 관목 또는 교목의 상부에서 상부로 발전되는 산발로서 생엽은 공중연료로서 수관화의 산발동태 예측에 필요한 생엽을 실험 연료로 사용하였다.

연료채취 대상지는 대형 산불이 많이 발생하는 지역으로 알려진 강원도 영동지역(삼척시 소재 봉화산)을 대상지로 선정하고, 시료의 채취 시기는 한 달 간격으로 매월 맑은 날이 5일 이상 지속된 다음날 채취하였으며, 시료의 형태는 실제 산발발생 시 연료의 형태와 동일한 조건을 적용하기 위하여

원형 상태로 사용하였다.

2.2 함수율 측정

함수율 측정은 ASTM D2016(American Society for Testing and Material)에 의한 식 (1)에 따라 산출하였다(김현중 등 : 2004). 함수율 측정방법으로는 재료 200 g을 취하여 온도를 103±2°C에서 일정하게 유지하도록 설정된 건조기 내에서 24시간 이상 항량이 될 때까지 건조시킨 후, 중량을 측정하여 함수율을 산출하였다. 항량 측정기준은 4시간 간격으로 무게를 측정하여 0.1%의 무게 변화가 없을 때까지로 하였으며, 함수율 측정은 3회 측정된 결과의 평균값을 결과값으로 사용하였다. 여기서, MC(moisture content)는 함수율 [%], W는 건조 전 시료의 중량[g], W₀은 완전 건조시킨 시료의 중량을 나타낸다.

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

2.3 착화특성 분석

월별 착화특성 분석을 위하여 무염착화온도와 발염착화시간 및 소염시간을 측정하였다. 무염착화온도 측정은 일본 Kuramochi사의 모델명 KRS-RG-9000의 발화온도시험기를 사용하였다. 발화는 연소의 개시와 관련된 거동의 일부로서 속도제어 메커니즘으로 열의 발생속도와 확산속도가 평형을 나타내는 점으로 정의된다(홍윤명 등, 1992). 발염착화시간(발염착화가 발생하여 측정된 시간)과 소염시간 측정은 영국 FTT사의 콘칼로리미터(ISO 5660-1, 2002)를 사용하였으며, 소염시간 측정과 동시에 화염지속시간을 분석하였다. 콘칼로리미터에서 기록된 발염착화시간은 화염 유무를 육안으로 판단하여 분석시스템에 기록하였으며 구체적인 실험조건은 Table 1에 제시하였다.

2.4 발열특성 분석

월별 화재특성을 분석하기 위하여 콘칼로리미터를 이용하여 총열방출량(THR, Total Heat Release)과 평균열방출율(Mean HRR, Mean Heat Release Rate)을 분석하였으며, 실험조건은 더 이상 중량감소 변화가 없을 때의 시간에서 실험을 종료하여 계산된 값을 사용하였다(ISO 5660-1, 2002). 결과값은 3회 실험하여 측정된 값의 평균값을 사용하였고, 실험조건은 Table 2에 제시하였다.

2.5 발연특성 분석

월별 굴참나무 생엽의 발연특성을 분석하기 위하여 총연기

Table 1. Experimental conditions of ignition temperature

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

Table 2. Experimental conditions of cone calorimeter

Items	Cone calorimeter
Size(mm)	100×100
Weight(g)	50
Heat flux(kW/m ²)	50
Test time(s)	time until there was no more weight decrease
Material condition	raw

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

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

방출량과 연기밀도를 분석하였다. 총연기방출량(TSR, Total Smoke Release) 분석은 콘칼로리미터를 이용하였으며, 연기 밀도 분석은 연기밀도시험기(Smoke Density Chamber)로 non-flaming 방식의 수직시험을 적용하여(ASTM E 662, 2003) 최대연기밀도를 측정하였다. 결과값은 3회 실험하여 측정된 값의 평균값을 사용하였으며 실험조건은 Table 3에 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 참나무류 가운데 대표수종인 굴참나무의 생엽을 대상으로 월별(6월~9월) 연소특성을 비교하는 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결과들을 얻을 수 있었다.

3.1 함수율 특성

잎이 수분을 함유하는 3가지 형태는 첫째, 수분이 세포와 세포사이에 들어 있는 형태(이 수분은 공기의 습도변화에 따

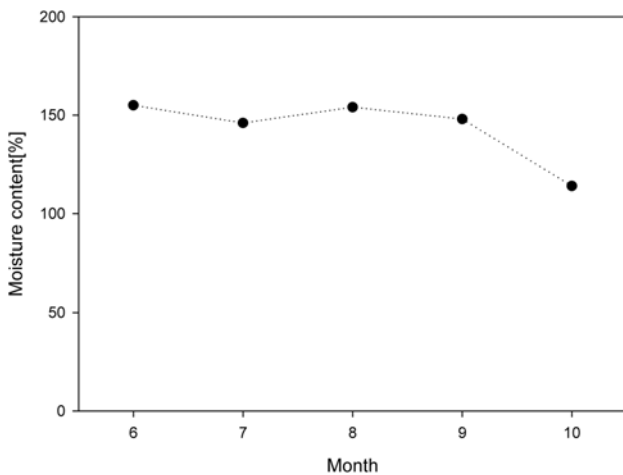


Fig. 1. Percentages of moisture contents for the living leaves in *Quercus variabilis* with monthly.

라 변한다), 둘째는 수분이 세포 속에 들어 있는 형태이며, 셋째는 수분이 결정수가 되어 함유되는 형태로 나타나게 되는데 건조한 연료는 생장이 불규칙해지면서 세포형태 변화에 따라 수분함량이 변화 되면서 나타나게 된다(현성호 등, 2003). 또한, 생엽의 함수율은 기온, 바람, 습도 등과 같은 기상조건의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다. Fig. 1에는 굴참나무 생엽의 월별 함수율 측정값을 나타내었는데 월별 함수율을 살펴보면, 6월 155.34%, 7월 146.26%, 8월 154.21%, 9월 147.62%, 10월 114.26%의 수분을 함유하는 것으로 나타났으며, 6월에서 9월 사이는 함수율 변화가 크지 않지만 10월에는 함수율이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 가장 낮은 함수율을 나타낸 10월 이외의 나머지 생엽들은 큰 차이를 보이지 않았으며, 전체적으로 114%~155%의 수분을 함유하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 착화특성

무염착화에 영향을 주는 인자들로 열의 축적, 열전도율, 발열량, 습도(수분), 표면적 등이 있으며, 열을 발하는 반응에서 촉매적 작용을 가진 물질이 존재하면 반응은 가속되어 열의 축적이 크게 되어 자연발화 되기 쉬운 것으로 알려져 있다(현성호 등, 2003). Fig. 2에는 굴참나무 생엽의 월별 무염착화온도에 대한 곡선을 나타내었는데 굴참나무 생엽은 289°C~377°C 온도구간에서 무염 착화가 일어났으며, 월별 무염착화온도를 살펴보면, 6월 377°C, 7월 312°C, 8월 310°C, 9월 310°C, 10월 290°C로 나타났다. 이와 같은 결과로부터 7월, 8월, 9월은 무염착화온도 차이가 크지 않으나 6월 연료는 377°C, 10월 연료는 289°C에서 무염착화가 일어나는 차이를 나타냈다.

Table 4에는 굴참나무 생엽에 대한 월별 발염착화시간을 측정하여 제시하였다. 6월의 생엽은 발염착화가 측정되지 않았으며, 대체로 수분을 적게 함유한 7월~10월 사이의 생엽에서 발염착화가 측정되는 차이를 보였다. 발염착화시간을 살펴보면, 7월 27s, 8월 47s, 9월 35s, 10월 40s에 착화되어 7월 생엽은 가장 빠른 시간인 27s에 발염착화 되었고, 8월의 생엽은 47s에 발염착화 되어 가장 늦게 발염착화 되는 것

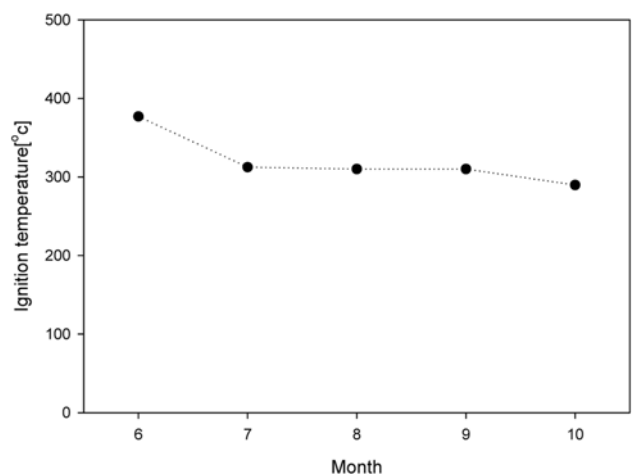


Fig. 2. Ignition temperature for the living leaves in *Quercus variabilis* with monthly seasonal variations.

Table 4. Characteristics of ignitibility of living leaves in *Quercus variabilis* with monthly seasonal variations

Items \ Month	6	7	8	9	10
Ignition time(s)	-	27	47	35	40
Flameout time(s)	-	80	99	140	100
Flame duration time(s)	-	53	52	105	60
Ignition temperature(°C)	377	312	310	310	290

로 나타났다. 또한 9월 생엽은 7월의 생엽보다 8s 늦게 착화가 시작되었으나 가장 긴 시간 105s 동안 화염이 지속되는 것으로 나타났다. 이러한 착화시간 차이는 잎이 수분을 함유하는 함수율의 영향에 그치지 않고 시기 변화에 따른 잎의 조직 및 성분변화와 이에 따른 연소 시 발생하는 휘발성 분비의 차이에 따라 착화현상에 영향을 미치는 것으로 사료된다(현성호 등, 2003).

3.3 발열특성

Fig. 3에는 굴참나무 생엽의 월별 총열방출량 곡선을 나타내었으며, Fig. 4에는 열방출율 곡선을 나타내었다. 총열방출

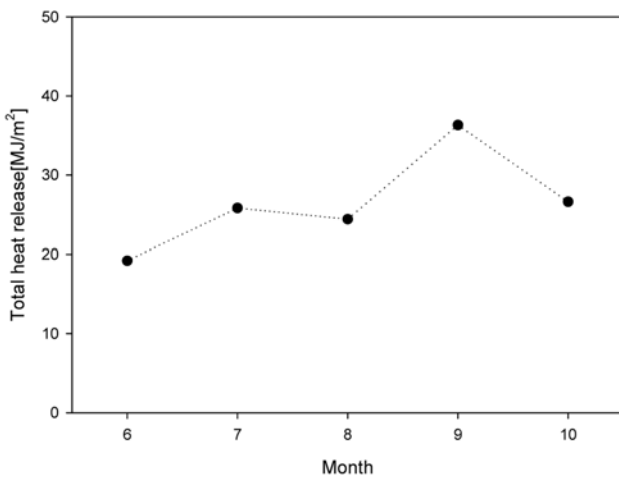


Fig. 3. Total Heat release of living leaves in *Quercus variabilis* with monthly seasonal variations.

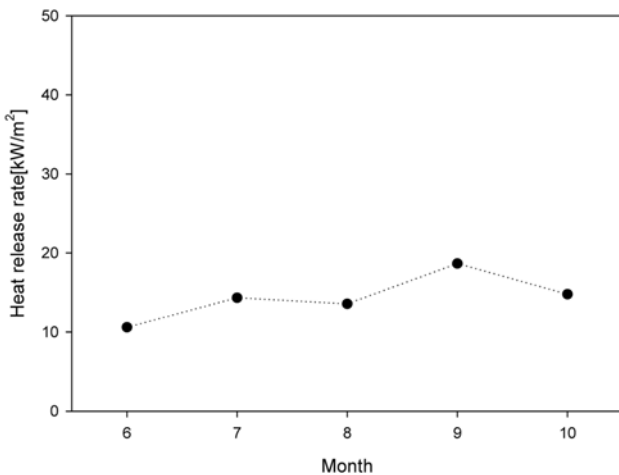


Fig. 4. Heat release rate of living leaves in *Quercus variabilis* with monthly seasonal variations.

량은 19 MJ/m²~36 MJ/m² 범위에서, 평균열방출율은 11 kW/m²~19 kW/m² 범위에서 월별 약간의 차이를 보였다. 총열방출량을 살펴보면, 6월은 19.00 MJ/m², 7월 25.80 MJ/m², 8월 24.40 MJ/m², 9월 36.30 MJ/m², 10월 26.60 MJ/m²로 나타나, 6월의 경우 발열량이 가장 낮고 9월에 급격히 증가 후 10월에 약간 감소하는 것으로 나타났으나 발열량이 점차 증가하는 경향을 보였다. 9월의 경우는 총열방출량과 평균열방출율이 가장 높은 것으로 나타났는데 이는 발염착화 후 가장 오랜 시간 화염이 지속되기 때문인 것으로 사료된다.

나무의 성분은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌이 주성분이고, 소량의 회분, 수지, 유지, 정유, 탄닌, 색소 등이 함유되어 있으며, 함유율에 있어서 셀룰로오스는 침엽수, 활엽수 모두 50%, 헤미셀룰로오스는 침엽수 20%, 활엽수 30%, 리그닌은 침엽수 30%, 활엽수 20% 정도이다(이승훈, 2009). 그런데 월별 나무의 구성 성분이 크게 변하지는 않으며, 월별 함수율 변화에 따른 비중의 차이는 나타나는 것으로 알려져 있다. 또한, 목재의 비중이 달라지면 열전도도 값이 변하는데 이것은 공극 중에 존재하는 건조 공기의 열전도율이 세 포벽의 열전도율에 비하여 작기 때문이다(김현중 등, 2004). 따라서 수분 함유량 변화에 따라 연료의 조직 및 밀도차이가 달라짐으로써 저밀도의 연료는 고밀도 연료보다 더 낮은 온도에서 착화되는 차이를 보이며, 연소 시 가연성 기체의 농도비에 의해 연소속도 등에 영향을 받아 발열량 특성이 다르게 나타난 것으로 사료된다(현성호 등, 2003). 하지만 본 연구는 목재의 줄기가 아닌 생엽을 대상으로 실험하였기 때문에 생엽은 수분 함량에 따른 구성 성분이나 비중의 변화가 차이가 있을 수 있기 때문에 추가적인 성분분석 등을 통한 확인이 필요한 것으로 사료된다.

3.4 발연특성

Fig. 5에는 굴참나무 생엽의 월별 총연기방출량 곡선을 나타내었으며, Fig. 6에는 최대연기밀도 곡선을 나타내었다. 총연기방출량을 살펴보면, Table 5에 제시하듯이 68~316 m²/m² 범위에서 월별 큰 차이를 보였다. 월별 총열방출량은 6월 68.80 m²/m², 7월 242.20 m²/m², 8월 283.59 m²/m²로 나타나 8월까지 연기방출량이 점차 증가하는 경향으로 나타났으며 9월에 166.20 m²/m²으로 감소 후 10월에 315.60 m²/m²으로 다시 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 6월과 9월의 경우 상대적으로 연기발생량이 작게 나타났는데, 9월은 발염착화 후 가장 긴 시간 화염이 지속되면서 완전연소가 이루어진 부분이 상대적으로 크게 발생하였기 때문에 나타난 결과라 사료되며, 6월의 경우 발염착화 되지 않고 무염착화에 의해서만 연기가 발생하여 상대적으로 연기발생량이 작게 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 6의 최대연기밀도를 살펴보면, 176 Ds~225 Ds 사이에서 월별 약간의 차이를 보였다. 6월은 채취량의 부족으로 결과에서 누락되었으며, 7월 198.63 Ds, 8월 177.16 Ds, 9월 176.02 Ds로 나타나 큰 차이는 없는 것으로 나타났으나 10월의 경우 224.86 Ds로 증가하여 최대연기밀도가 가장 높게 나타났다. 또한, 최대연기밀도에 도달하는 시간을 살펴

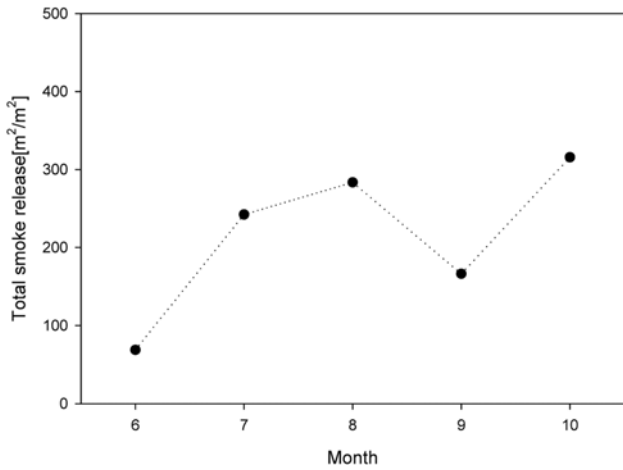


Fig. 5. Total smoke release of living leaves in *Quercus variabilis* with monthly seasonal variations.

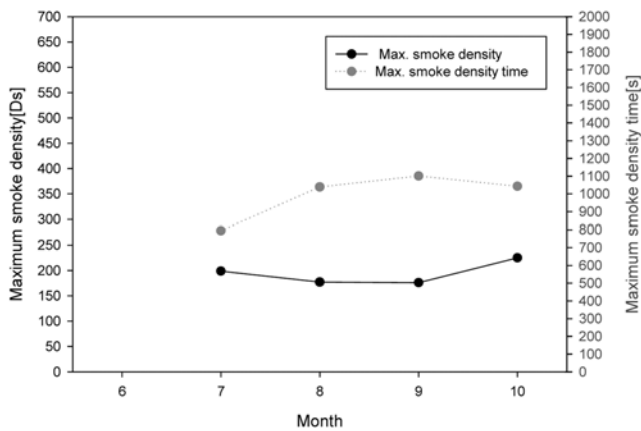


Fig. 6. Maximum smoke density of living leaves in *Quercus variabilis* with monthly seasonal variations.

Table 5. Characteristics of flame spread of living leaves in *Quercus variabilis* with monthly seasonal variations

Items \ Month	6	7	8	9	10
Total heat release (MJ/m²)	19.20	25.80	24.40	36.30	26.60
Mean heat release rate (kW/m²)	10.59	14.33	13.56	18.67	14.77

보면 8월, 9월, 10월은 1,000s~1,100s 정도의 시간 사이에서 최대연기밀도 값에 도달하는 것으로 나타났으나, 7월의 경우 가장 빠른 시간인 794s 에서 최대값에 도달하는 것으로 나타났다. 이에 대하여 Table 6에 제시하였다. 이와 같이 최대 연기밀도에 도달하는 시간이 짧다는 것은 그만큼 빠른 시간에 많은 양의 연기를 방출하는 것을 의미하며, 이러한 발연 특성은 시계를 차단하는 요소로서 가시성과 방향성을 잃게 되며 연료의 조성과 가열온도 등의 연소조건에 따라 다르게 나타난다(Marcelo M. Hirschler, 1990).

4. 결 론

본 연구에서는 산불발생 시 산림 내 연료의 시기별 산불위

굴참나무 생엽의 월별 연소특성에 관한 연구

Table 6. Characteristics of smoke release of living leaves in *Quercus variabilis* with monthly seasonal variations

Items \ Month	6	7	8	9	10
Total smoke release (m²/m²)	68.80	242.20	283.50	166.20	315.60
Max. smoke density (Ds)	-	198.63	177.16	176.02	224.86
Max. smoke density time (s)	-	794	1,039	1,101	1,043

협성을 예측하기 위하여 우리나라 산림의 주요 분포수종 가운데 참나무류의 대표수종인 굴참나무를 대상으로 월별 생엽을 채취하여 착화특성, 화재특성, 발연특성 등을 분석한 결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- 1) 함수율특성 결과, 6월~10월 사이 채취한 굴참나무 생엽은 114%~155% 범위에서 수분을 함유하여 월별 차이를 보였으며, 6월에서 9월 사이 연료는 함수율 변화가 크지 않으나 10월 연료는 급격히 함수율이 감소하여 연료가 건조해짐을 알 수 있었다.
- 2) 착화특성 결과, 굴참나무 생엽은 289°C~377°C 온도구간에서 무염착화가 일어났으며 7월, 8월, 9월은 무염착화 온도 차이가 크지 않으나 6월 연료는 377°C, 10월 연료는 289°C에서 무염착화가 일어나는 차이를 보였다. 7월의 경우 가장 빠른 시간에 발염착화 되었고, 9월은 7월의 생엽보다 8s 늦게 착화가 시작되었으나 가장 긴 105s 시간동안 화염이 지속되는 것으로 나타났다.
- 3) 발열량특성 결과, 총열방출량은 19 MJ/m²~36 MJ/m², 평균열방출율은 11 kW/m²~19 kW/m² 범위에서 월별 차이를 보였다. 발열량은 6월 연료가 가장 낮은 값을 보였으며 10월까지 점차 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 9월의 연료에서는 총열방출량과 평균열방출율이 가장 높은 것으로 나타났는데 이는 발염착화 후 가장 긴 시간 동안 화염이 지속되어 발열량이 증가한 것으로 사료된다.
- 4) 발연량특성 결과, 총연기방출량은 68~316 m²/m², 최대연기밀도는 176Ds~225Ds 범위에서 월별 차이를 보였다. 총연기방출량은 6월 연료는 68 m²/m²로 가장 낮고, 10월의 연료는 316 m²/m²로 가장 많은 연기를 방출하는 것으로 나타났다. 또한, 10월 연료는 최대연기밀도가 224.86 Ds로 가장 높은 것을 알 수 있었으며, 최대연기밀도에 도달하는 시간은 8월, 9월, 10월의 경우는 큰 시간차이는 없으나 7월의 경우 가장 빠른 시간에 최대값에 도달하는 것으로 나타났다. 최대연기밀도에 도달하는 시간이 짧다는 것은 그만큼 빠른 시간에 많은 양의 연기를 방출하는 것을 의미한다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 S210810 L010130)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

참고문헌

- 김현중, 엄영근, 이연제, 정희석, 최인규 (2004) **목재공학개론**. 선진문화사.
- 심주석, 한상섭 (2003) 낙엽성 참나무류의 생리, 생태적 특성(3)-광도변화에 대한 잎의 광합성 반응. **한국임학회 논문집**, 한국임학회, 제 92권 3호, pp.208-214.
- 이승훈 (2009) **화재조사 이론과 실무**. 동화기술.
- 임경빈 (2007) **신구조림학원론**. 향문사.
- 정연하, 이시영, 염육철, 여운홍 (1989) **산화위험을 예측에 관한 연구**. 임업연구원 연구보고, 산림청.
- 정주상, 이시영, 강영호 (2002) GIS 및 판별분석에 의한 삼척산 불지역의 소나무임분 피해도 추정. **한국임학회 논문집**, 한국임학회, 제 91권 3호, pp.355-361.
- 현성호, 이창우, 차시환 (2003) **방화방목공학**. 신광문화사
- 홍운명, 정국삼 (1992) **安全工學實驗**. 동화기술.
- Andrews, P.L., Bevins, P.L. (1999) *BEHAVE Fire Modeling System: Redesign and Expansion*. Fire Management Notes 59-16-19.
- ASTM E 662 (2003) Test method for specific optical density of smoke generated by solid materials.
- Evans, David D., Rehm, Ronald G., and Baker, Elisa S. (2004) *Physics-Based Modeling for WUI Fire Spread-Simplified Model Algorithm for Ignition Structures by Burning Vegetation*. NISTIR 7179.
- ISO 5660-1 (2002) *Reaction to Fire Part 1, Rate of Heat Release from building products(Cone Calorimeter)*. Generer.
- KS F 2271 (1990) *Test Method for Incombustibility Finish Material and Procedure of Building*.
- Marcelo M. Hirschler. (1990) *Fire hazard and toxic potency 0.1 the smoke from burning materials*, Advance In Combustion Toxicology, pp.229-230.
- Mitchell, J. (2006) *Wind-Enabled Ember Dousing*. Fire Safety J., 41:6, pp.444-458.
- Muraszew, A., Fedele, J.F. (1976) *Statistical Model for Spot Fire Spread*. The Aerospace
- Ronald G. RehmA., William (Ruddy) Mell (2009) *A simple model for wind effects of burning structures and topography on wildland-urban interface surface-fire propagation*. International Journal of Wildland Fire No. 18-290-301 Corporation Report No, ATR-77758801.
- Woycheese, J.P. (2001) *Wooden Disk Combustion for Spot Fire Spread*. 9th Fire Science and Engineering Conference Proceedings (INTERFLAM), Interscience Communications, London, UK, pp.101-112.

◎ 논문접수일 : 2010년 04월 12일

◎ 심사의뢰일 : 2010년 04월 19일

◎ 심사완료일 : 2010년 05월 26일