

## 소나무 부위별 연소에 따른 탄소배출량 분석

박영주 · 김민중\* · 이해평\*

강원대학교 화학공학연구소, 강원대학교 소방방재학부\*

### Analysis of Carbon Emissions According to Combustion of Tree Branch, Bark and Living Leaf in *Pinus Densiflora*

Park, Young Ju · Kim, Min Jung\* · Lee, Hae Pyeong\*

Chemical Engineering Research Center, Kangwon National University,

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

#### 요 약

본 연구에서는 산불발생 시 온실가스의 배출량을 추정하기 위한 기초 연구로서 산림연료의 연소에 따른 탄소배출량을 분석하였다. 산림연료는 소나무를 대상으로 생엽, 가지, 수피 등 부위별로 연소실험을 수행하였으며, 콘칼로리미터를 이용하여 일산화탄소와 이산화탄소의 배출량을 분석하였다. 중량 50g의 연료 기준, 일산화탄소의 배출량은 1.8~4.0g 정도였으며, 이산화탄소의 배출량은 49.3~84.7g 정도를 나타냈다. 부위별로 큰 차이를 나타냈는데 수피는 생엽과 가지보다 상대적으로 많은 일산화탄소와 이산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다.

#### 1. 서 론

교토의정서의 발효 이후 세계 각국은 산불, 산림전용 등 산림교란에 의해 발생하는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 및 비이산화탄소(non-CO<sub>2</sub>)의 흡수 및 배출량을 정량화하여 경제적으로 불이익을 받지 않기 위한 연구 개발을 활발히 진행하고 있다. 그러나 우리나라에서는 산불로 인하여 배출되는 이산화탄소 및 비이산화탄소를 정량적으로나 과학적으로 측정 및 평가할 수 있는 기초 연구가 이루어지고 있지 못한 실정이다. 산불에서 직접 배출된 온실가스 배출량을 추정하기 위해서는 우선적으로 바이오매스 축적량(연료량) 파악이 중요하며, 이에 따른 연소된 연료량 파악과 연소효율, 배출계수가 이용된다. 국내에서는 연소된 연료량을 파악하기 위하여 임상도를 활용하여 산불피해 이전의 임상별 임목축적량과 바이오매스 축적량 환산식 이용과 침엽수와 활엽수의 확장계수 적용을 위해 임상별 전건비중, 수간대 지상부 바이오매스 비율, 지상부대 전체 바이오매스 비율을 적용하여 연료량을 추정하고 있다<sup>1)</sup>.

따라서, 본 연구에서는 산림 바이오매스 연소 시 배출되는 온실가스 배출량을 추정하기 위한 기초 연구로서 소나무의 부위별 연소 시 배출되는 탄소배출량을 분석하였다. 콘칼로리

미터를 이용하여 부위별 이산화탄소 및 일산화탄소 배출량을 고찰함으로써 산불발생 시 개체별 연소효율에 따른 온실가스 배출량을 추정하는데 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 실험내용 및 방법

### 2.1 실험내용

#### 2.1.1 연구대상지 및 연료의 선정

연구대상지는 대형 산불 피해지인 강원도 영동지역을 대상으로 산불에 가장 취약한 침엽수의 대표수종인 소나무를 선정하였다. 개체별 탄소배출량 추정을 위하여 생엽, 가지, 수피부위를 분류하여 시료를 채취하였다. 연료의 형태는 실제 산불발생 시 연료의 형태와 동일한 조건을 적용하기 위하여 원형 상태로 사용하였다.

#### 2.1.2 함수율 측정 및 연소실험

연소실험을 수행하기 전에 소나무의 부위별(낙엽, 생엽, 수피) 생재함수율(moisture content of green wood)을 측정하였다. 연소실험은 생재상태로 연료를 준비하여 실험하였으며, 탄소산화물인 일산화탄소와 이산화탄소 배출량을 분석하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 함수율 측정

연료의 생재함수율 측정은 ASTM D 2016(American Society for Testing and Material)<sup>2)</sup>에 따라 200g의 양을 정량하여 105℃의 건조기에서 건조시키면서 4시간 단위로 중량변화가 없을 때까지 중량을 측정하였다. 결과값은 3회 측정된 결과의 평균값을 사용하였다.

#### 2.2.2 탄소배출량 분석

소나무의 부위별 탄소배출량을 분석하기 위하여 콘칼로리미터<sup>3)</sup>를 사용하여 일산화탄소와 이산화탄소 배출량을 분석하였다. 결과값은 3회 측정된 결과의 평균값을 사용하였으며, 실험조건은 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Experimental conditions of cone calorimeter

Items	Cone calorimeter
Size(mm)	100×100
Weight(g)	50
Heat flux(kW/m <sup>2</sup> )	50
Test time(s)	중량감소 변화가 없을 때까지의 시간
Material condition	Raw

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 함수율 특성 분석

Fig. 1에는 소나무의 부위별 함수율을 측정된 결과를 나타내었다. 함수율은 생엽의 경우 167.08%, 가지 117.14%, 수피 27.06%로 측정되어 부위별 함수율의 차이는 큰 것으로 나타났으며, 수피는 생엽과 가지에 비하여 함수율이 현저히 낮은 것으로 나타났다. 이러한 함수율의 차이는 동일 개체 내에서도 심재와 변재, 수고부위, 수간과 가지 등 성장부위에 따라 다를 뿐만 아니라 지리적 입지와 계절에 따라서도 차이를 나타내며, 이에 따른 연소특성은 부위별로 차이를 보인다.<sup>4)</sup>

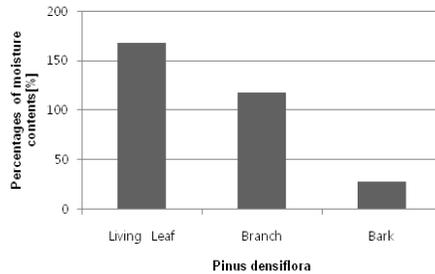


Fig. 1. Percentages of moisture contents in Pinus densiflora

### 3.2 탄소배출량 특성 분석

Fig. 2에는 소나무 생엽, 가지, 수피의 일산화탄소 배출량을 나타내었다. 중량 50g에 대한 일산화탄소 배출량을 살펴보면, 생엽 3.33g, 가지 1.76g, 수피 4.01g 정도 배출하는 것으로 나타났으며, 수피는 생엽과 가지보다 상대적으로 많은 일산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 따라서 수피는 산불발생 시 가장 많은 일산화탄소를 배출할 것으로 예측된다.

이러한 일산화탄소 배출량의 차이는 소나무 성분 가운데 terpene류의 산화나 탄소 또는 탄소화합물의 불완전연소로부터 생성되며, 침엽수 잎의 정유는 주로 terpene으로 구성된 것이 특징이다.<sup>5)</sup>

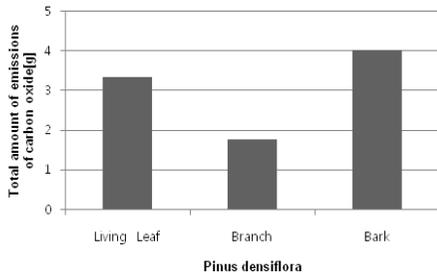


Fig. 2. Total amount of emissions of carbon oxide in Pinus densiflora

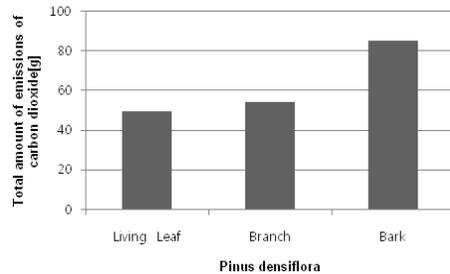


Fig. 3. Total amount of emissions of carbon dioxide in Pinus densiflora

이러한 불완전 연소는 산소가 부족하거나, 구성 성분에 따라 연소온도가 낮으면 완전연소가 일어나지 못하여 일산화탄소를 방출하게 되는데, 실제 산발발생 시 산소부족현상은 나타나지 않음에 따라 충분한 산소공급의 조건에서 실험을 수행하여 산소부족에 따른 불완전 연소는 일어나지 않은 것으로 사료된다.

Fig. 3에는 소나무 생엽, 가지, 수피의 이산화탄소 배출량을 나타내었다. 중량 50g에 대한 이산화탄소 배출량을 살펴보면, 생엽 49.31g, 가지 54.02g, 수피 84.74g 정도 배출하는 것으로 나타났으며, 수피는 생엽과 가지보다 상대적으로 많은 일산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 이러한 일산화탄소 배출량의 차이는 주요 성분인 cellulose, hemicellulose, lignin의 생엽, 가지, 수피부위별 함량 차이와 추출성분인 유지, 수지, 정유, 무기물, 단백질 등의 부성분, 회분, 다량의 수분 등에 의한 차이로 나타나게 되며, 또한, 같은 수종 내에서도 개체와 채취부위에 따라서 그 조성이 다르게 나타난다<sup>6)</sup>. 따라서 수피는 구체적인 함량에 따른 차이는 밝힐 수 없지만 pentosan과 hemicellulose, lignin 성분에 따른 완전연소가 크게 작용하여 산발발생 시 가장 많은 이산화탄소를 배출할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

- 1) 소나무 부위별 일산화탄소 배출량 결과, 중량 50g에 대하여 1.76~4.01g 정도 배출하는 것을 알 수 있었으며, 수피는 생엽과 가지보다 상대적으로 많은 일산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다.
- 2) 이산화탄소 배출량 결과, 49.31~84.74g 정도 배출하여 부위별 큰 차이가 있는 것을 알 수 있었으며, 이산화탄소 배출량 또한 수피가 생엽과 가지보다 상대적으로 많은 일산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다.
- 3) 수피의 구체적인 함량에 따른 차이는 확인할 수 없었지만 pentosan과 hemicellulose, lignin 성분에 따른 완전연소와 불완전 연소가 크게 작용하여 산발발생 시 생엽과 가지보다 탄소배출량이 많을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(과제번호 2010-0002686).

#### 인용문헌

1. 원명수 외 (2008). "Landsat TM 영상자료를 활용한 삼척 대형산불 피해지의 비이산화탄소 온실가스 배출량 추정" 한국농림기상학회지, Vol. 10, No. 1, pp.17-24.
2. 심종섭 외 (1994). "임산화학" 향문사. pp.137-145.
3. ISO 5660-1 (2002). Reaction to fire part 1, rate of heat release from building products(Cone Calorimeter). Generer.

4. 강춘원 외 (2008). “신고 목재물리 및 역학” 향문사. pp.45-122.
5. F.J. Wen and K.S. Yoo (2005). “Charaterization of Volatile Essential Oil from Needle Leaves by Gas Chromatography-Mass Spestrometry” J. of the Korea Society for Environmental Analysis, Vol. 8, pp.181-185.
6. Bordasch, R, P., and A.A. Berryman (1977). Host Resistance to the Fir Engraver Beetle. *Scorytusventralis* (Coleptera:S,colytidae) Repellency of *Abies Grandis* Resins and some Monoterpenes. *Can. Entomol.* 109. pp.95-100.