P-33

소나무와 굴참나무의 개체별 화재하중 및 탄소배출량 분석

박영주 · 이해평 · 황미정 · 김민중 · 이시영
강원대학교

Analysis of Individual Fire Loads and CO_2 Emission for *Pinus Densiflora* and *Quercus Variabilis*

Young Ju Park · Hae Pyeong Lee · Me Jung Hwang · Min Jung Kim · Si Young Lee
Kangwon National University

요 약

본 연구에서는 산불발생에 따른 화재강도를 예측하고 취약성을 분석하기 위하여 소나무와 굴참나무를 대상으로 개체별 화재하중과 탄소배출량 분석 연구를 수행하였다. 화재하중은 소나무 3,566 THR/kg, 굴참나무 3,922 THR/kg 정도인 것으로 분석되었다. 또한, 이산화탄소 배출량은 소나무 3,761.3 CO_2/kg, 굴참나무 4,829.98 CO_2/kg 정도인 것으로 분석되었으며, 일산화탄소 배출량은 소나무 182.176 CO/kg, 굴참나무 291.746 CO/kg 정도 배출하는 것을 알 수 있었다. 따라서 바이오매스량이 동일할 경우 굴참나무는 소나무보다 상대적으로 화재하중이 크게 작용하여 화재강도가 큰 것으로 나타났으며, 탄소배출량 또한 많아 산불에 취약한 것으로 나타났다.

1. 서 론

전세계적으로 산불 발생면적은 연간 10억 5천 2백만 ha에 달한다. 우리나라는 대륙성 기후의 영향으로 봄과 가을철에 이상건조가 계속되고 바람도 자주 불기 때문에 이 기간에 산불이 집중적으로 발생하여 귀중한 산림자원과 인명피해를 초래하고 있다. 특히 1973년부터의 치산녹화사업이 성공적으로 이루어진 결과 산림이 울창해지고 낙엽이 퇴적되는 등 산림내 가연물의 밀도가 높아져 일단 산불이 발생되면 대형화할 가능성이 크다.

한국의 면적은 100,033 ㎢이며, 그 중 산림이 차지하는 면적은 63,688.43 ㎢으로서 약 63.67%정도이다. 이러한 지리적인 여건 때문에 산불의 발생빈도가 높은데, 최근 10년간 (2001년~2010년) 연 평균 478건의 산불이 발생하였다[4]. 따라서 산불에 의한 온실가스 배출량을 추정과 화재강도를 예측하기 위하여 연소실험으로부터 실질적인 정량화가 필요하다. 한국의 산림면적은 6,368,643 ha로 그 가운데 활엽수가 차지하는 면적은 1718916 ha

로 약 27%에 해당한다. 일반적으로 활엽수는 침엽수에 비해 내화력이 우수한 것으로 알려져 있으며, 산불에 약하거나 강한 차이가 생기는 것은 수엽의 발화온도에 차이가 있기 때문이다.

본 연구에서는 활엽수종 가운데 참나무의 대표수종인 굴참나무를 대상으로 산불의 화재강도 및 산불동태를 예측에 필요한 개체별의 화재하중을 분석하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연료의 선정 및 바이오매스량 적용

화재하중 및 탄소배출량을 분석하기 위하여 대상 연료는 산불에 가장 취약한 수종으로 알려진 소나무와 내화수종으로 알려진 참나무류 가운데 굴참나무를 선정하였다. 바이오매스량은 수간화 및 수관화 대상연료에 해당되는 생엽, 가지, 줄기를 대상으로 산출하였다.

2.2 탄소배출량 및 화재하중 분석

탄소배출량과 화재하중 분석을 수행하기 위하여 콘칼로리미터를 사용하였으며, 구체적인 실험조건은 Table 1에 제시하였다. 더 이상 중량 변화가 없을 때 실험을 종료하였으며, 결과값은 3회 측정한 결과의 평균값을 사용하였다. 연소효율이 100%라는 가정에 따른 부위별 총열방출량과 이산화탄소 및 일산화탄소 배출량을 분석하였다. 화재하중과 탄소배출량은 식 (1), 식 (2), 식 (3)에 의해 산출하여 분석하였다.

Table 1. Experimental Conditions of Cone Calorimeter

Items	Contents
Size(㎜)	100×100
Weight(g)	50
Heat flux(kW/㎡)	50
Test time(s)	Time until there was no more weight decrease
Material condition	Raw

$$\text{개체별 THR} = \text{생엽 THR/kg} + \text{가지 THR/kg} + \text{줄기 THR/kg} \quad (1)$$

$$\text{개체별 } CO_2 = \text{생엽 } CO_2\text{/kg} + \text{가지 } CO_2\text{/kg} + \text{줄기 } CO_2\text{/kg} \quad (2)$$

$$\text{개체별 CO} = \text{생엽 CO/kg} + \text{가지 CO/kg} + \text{줄기 CO/kg} \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 화재하중특성

Table 2에는 소나무와 굴참나무의 부위별 총열방출량과 이산화탄소 및 일산화탄소 배출량을 제시하였다. 부위별 총열방출량을 살펴보면, 소나무의 경우 생엽 1,270 MJ/㎡·kg,

가지 948 MJ/㎡·kg, 줄기 1,348 MJ/㎡·kg 이었으며, 굴참나무의 경우 생엽 362 MJ/㎡·kg, 가지 1,530 MJ/㎡·kg, 줄기 2,030 MJ/㎡·kg 정도 배출하는 것으로 나타났다. 따라서 식 (1)에 의해 산출된 화재하중은 소나무는 3,566 THR/kg, 굴참나무 3,922 THR/kg인 것으로 분석되었다. 이러한 화재하중 차이는 산불발생 시 바이오매스량에 따라 발열량이 다르게 작용하여 화재강도가 다르게 나타날 것으로 사료된다.

Table 2. Analysis of Individual Fire Loads and CO_2 Emission for *Pinus Densiflora* and *Quercus Variabilis*

Species		Pinus Densiflora	Quercus Variabilis
T.H.R [MJ/㎡/kg]	Living Leaf	1,270	362
	Branch	948	1,530
	Stem	1348	2,030
	Total Heat Release	3,566	3,922
CO_2 Emission [CO_2/kg]	Living Leaf	986.2	1,463.16
	Branch	1,080.3	1,658.36
	Stem	1,694.8	1,708.46
	Total CO_2	3,761.3	4,829.98
CO Emission [CO/kg]	Living Leaf	66.68	185.316
	Branch	35.258	57.194
	Stem	80.238	49.236
	Total CO	182.176	291.746

3.2 탄소배출량 특성

이산화탄소 배출량은 소나무의 경우 생엽 986.2 CO_2/kg, 가지 1,080.3 CO_2/kg, 줄기 1,694.8 CO_2/kg 정도였으며, 굴참나무의 경우 생엽 1,463.16 CO_2/kg, 가지 1,658.36 CO_2/kg, 줄기 1,708.46 CO_2/kg 정도 배출하였다.

일산화탄소 배출량은 소나무의 경우 생엽 66.686 CO/kg, 가지 35.258 CO/kg, 줄기 80.238 CO/kg 정도였으며, 굴참나무의 경우 생엽 185.316 CO/kg, 가지 57.194 CO/kg, 줄기 49.236 CO/kg 정도 배출하는 것으로 나타났다.

따라서 식 (2)에 의해 산출된 이산화탄소 배출량은 소나무 3,761.3 CO_2/kg, 굴참나무 4,829.98 CO_2/kg인 것으로 분석되었으며, 일산화탄소 배출량은 소나무 182.176 CO_2/kg, 굴참나무 291.746 CO_2/kg인 것으로 분석되었다.

이와 같이 산불에 취약한 것으로 알려진 소나무는 오히려 동일 바이오매스량의 경우 굴참나무보다 상대적으로 탄소배출량이 적은 것으로 나타났으며, 굴참나무는 상대적으로 탄소배출량이 많아 산불에 취약한 것으로 나타났다.

4. 결 론

1) 부위별 총열방출량을 살펴보면, 소나무의 경우 생엽 1,270 MJ/㎡·kg, 가지 948 MJ/㎡·kg, 줄기 1,348 MJ/㎡·kg 이었으며, 굴참나무의 경우 생엽 362 MJ/㎡·kg, 가지

1,530 MJ/㎡·kg, 줄기 2,030 MJ/㎡·kg 정도 배출하는 것으로 나타나 화재하중은 소나무는 3,566 THR/kg, 굴참나무 3,922 THR/kg인 것으로 분석되었다. 이러한 화재하중 차이는 산불발생 시 바이오매스량에 따라 발열량이 다르게 작용하여 화재강도가 다르게 나타날 것으로 사료된다.

2) 이산화탄소 배출량은 소나무의 경우 생엽 986.2 CO_2/kg, 가지 1,080.3 CO_2/kg, 줄기 1,694.8 CO_2/kg 정도였으며, 굴참나무의 경우 생엽 1,463.16 CO_2/kg, 가지 1,658.36 CO_2/kg, 줄기 1,708.46 CO_2/kg 정도 배출함을 알 수 있었다. 또한, 일산화탄소 배출량은 일산화탄소 배출량은 소나무의 경우 생엽 66.686 CO/kg, 가지 35.258 CO/kg, 줄기 80.238 CO/kg 정도였으며, 굴참나무의 경우 생엽 185.316 CO/kg, 가지 57.194 CO/kg, 줄기 49.236 CO/kg 정도 배출하는 것을 알 수 있었다. 따라서 이산화탄소 배출량은 소나무 3,761.3 CO_2/kg, 굴참나무 4,829.98 CO_2/kg 정도인 것으로 분석되었으며, 일산화탄소 배출량은 소나무 182.176 CO_2/kg, 굴참나무 291.746 CO_2/kg정도 배출함을 알 수 있었다. 따라서 산불에 취약한 수종으로 알려진 소나무는 굴참나무보다 탄소배출량이 상대적으로 적은 것을 알 수 있었다.

3) 화재하중과 탄소배출량 분석 결과, 화재에 취약한 수종으로 알려진 소나무는 굴참나무보다 오히려 화재하중이 작고, 탄소배출량도 작은 것으로 분석되었는데, 이는 부위별 착화특성 차이와 착화 후 화염지속시간 차이와 부위별 성분차이에 기인한 것으로 사료되나, 실제 산불발생 시에는 바이오매스량 적용과 기상 등의 환경 인자에 따라 변수가 작용할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(과제번호 2011-0005926).

참고문헌

1. 산림청 (1998). “'98산불통계자료”, p.16.
2. 산림청, “기후변화대응 산림종합대책-Ⅲ:분야별 실천과제”, 2008.
3. IPCC, “National Greenhouse Gas Inventories Programme”, Good Practice Guidance for Land, 2003.
4. 산림청, “2010 산림기본통계 산출결과”, pp. 2, 2011.
5. 산림청, “최근 산불발생 추세(2001~2010)”, Land-Use Change and Forestry.
6. ISO 5660-1, “Reaction to fire part 1, rate of heat release from building products(Cone Calorimeter)”, 2002.