

지표화 연료의 열량분석에 관한 방법 연구

김응식, 김장환, 이명보*, 김동현*, 이시형**, 박형주***

호서대학교, 국립산림과학원, 삼척대학교**, 호원대학교***

A Study of calory analysis methods about surface fire fuel

Eung-Sik Kim, Jang-Hwan Kim, Myung-Bo Lee*, Dong-Hyun Kim*,

Si-Yong Lee**, Hyung-Ju Park***

Hoseo University, Korea Forest Research Institute*, Samcheok National University**,
Howon University***

1. 서론

산불이 발생했을 경우 임내의 연소물량(Fuel Load), 크기, 분포, 화두의 연료상 깊이(Depth of the fuel bed), 연료의 수분함량 등에 따라 산불의 형태 및 강도가 달라질 수 있다. 산불은 진행 상태와 피해의 양상에 따라서 지표화, 수간화, 수관화, 지중화, 비산화(Spot fire) 등으로 구분한다.

본 연구에서는 지표화 연소물질인 낙엽에 대하여 가장 보편적인 침엽수종과 활엽수종으로 소나무와 굴참나무낙엽을 선택하여, 이들 연료의 열량분석 방법과 연소시 발생하는 제반 변수의 추출 방법에 대해서 논하였다. 제시된 방법에 의하여 얻어진 데이터들은 산불위험성을 분석 및 산불확산모델 개발의 기본적인 자료를 제공한다.^{1,2,3,4)}

2. 이론

2-1. 이론적 배경

지표화는 산불 중 가장 대표적인 형태로서 지표에 쌓여 있는 잡초, 낙엽, 잔목 등이 연소하는 형태로, 지표면에 가연물이 많을 때는 지표화로부터 수간화, 수관화를 일으킨다. 지표화의 연소속도는 지형, 기상, 바람의 영향을 받으며, 경사지의 경우 시간당 4~7km의 속도로 진행하고 바람이 강할 때에는 10km이상 속도로 진행된다.⁵⁾ 수간화는 나무의 줄기가 타는 산불로서 지표화가 강렬하게 연소할 때 일어나는 산불 형태이다. 수관화는 나무의 수관을 태우는 것으로서 나무의 수관(지엽)을 연소 시키는 산불이다. 대개의 경우 지표화에서 나뭇가지에 불이 닿아 바람과 화염이 세어지면 복사열과 상승기류의 영향을 받아 나무 위쪽으로 붙어서 수관화를 일으키게 된다. 지중화는 낙엽층 밑에 있는 유기물층이 타는 산불로서 우리나라에서는 지중화가 직접 일어나는 경우는 거의 없다.

지표화는 산불 확산에 초기단계로서 가장 기본적으로 연구 되어야할 대상이다. 하지만 현재까지 국내에서 이에 대한 방법론 및 실험 데이터는 산발적으로 보고 되고 있으

며, 이의 범위도 매우 제한적이다.^{6,7)} 따라서 본 논문에서는 연구방법, 측정시스템 및 연구초기단계의 데이터를 소개하여 앞으로의 연구에 있어서 이를 활용하고자 한다. 지표화 연료에 영향을 주는 인자들은 연료의 함수량, 연료물량(Fuel load), 밀도, 연료의 두께 등이 있다. 이들 인자들에 따라 산불의 발생강도 및 산불 진행속도에 직접적인 영향을 미칠 수 있다.⁸⁾

3. 실험

그림 1은 지표화의 열량 및 연소시 발생하는 제반 변수들의 측정 시스템의 개략도이다.

바스켓 중심축과 주위온도 측정용 열전대(K Type) 32개를 그림1.의 T1~T31과 같이 배치하였다. 이중 11개를 수직 중심축에 25cm 간격으로 지름이 1.6mm인 고감도 열전대를 설치하였고 바스켓 주위에는 20개의 일반 실드 처리된 열전대를 사용 하였으며, 나머지 한개는 대기온도를 측정하였다. 수직에 사용된 열전대는 직경이 작을수록 반응시간이 짧아지나 제작이 힘들고, 고장율이 높다.

그림1.의 4번 로드셀을 사용하여 침엽수와, 활엽수의 연소 시 질량 감소량을 1초 간격으로 측정하였다. 원통형 바스켓의 지름은 20cm, 30cm 두 종류이며, 높이는 10cm로 고정하였다. 바스켓에 침엽수 30~250g과 활엽수 30~150g를 바꿔가며 넣고, 연료별 질량의 발열량을 측정하였다.

점화 후 연소가 시작되면, 화염의 수직과 수평온도를 측정하였으며, 기체의 유속을 측정하기 위해 유속 0~50m/s, 온도 0~500℃의 측정범위를 갖는 기체유속계를 바스켓의 직상부 1.5m에 설치하였다.

화염의 높이는 비디오카메라를 이용 점화와 동시에 측정을 시작하여 불꽃이 완전히 없어지는 시점까지 측정하였다.

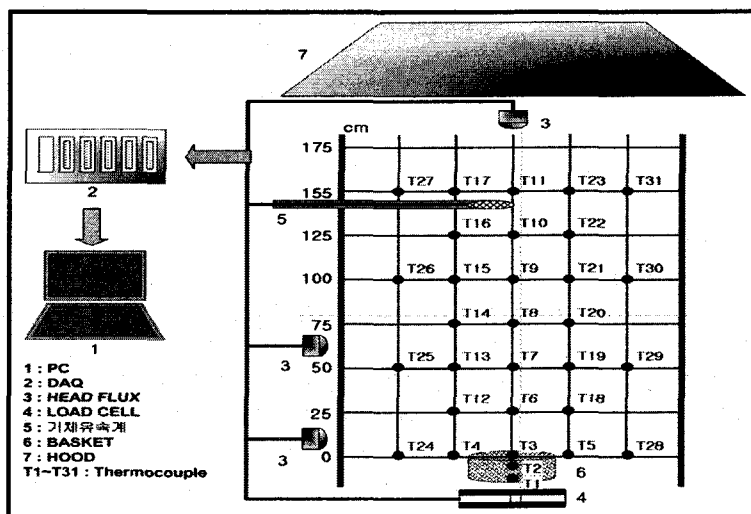


그림 1. 전체 시스템 및 Thermocouple 배치도

Heat Flux Transducer는 바스켓 측면과 수직 상부에 그림 1의 3번과 같이 설치 복사열을 측정하였다. 온도와 복사열은 DAQ를 이용하여 기록하였고, 기체유속 및 로드

셀은 별도의 인터페이스 Program를 이용하여 데이터를 저장하였다. 지표화 연료에 대한 열량분석은 시차 주사열량계(Differential Scanning Calorimetry, DSC), 열 중량 분석(Thermogravimetric Analysis, TGA), Oxygen Bomb Calorimeter를 측정 하였다. 그림 2은 침엽수종에 대한 TGA와 DSC의 측정 결과이다.

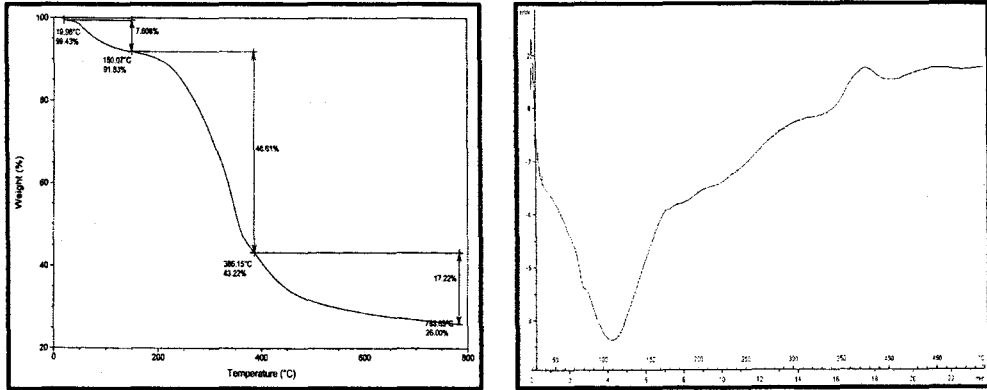


그림 2. TGA 및 DSC 데이터

4. 결과 및 토론

그림 3은 바스켓의 지름에 따른 연료의 질량감소 속도를 측정한 결과이다. 바스켓의 크기가 30cm인 연료가 가장 많은 감소량을 보였으며, 침엽수가 활엽수에 비해 빠른 것으로 나타났다.

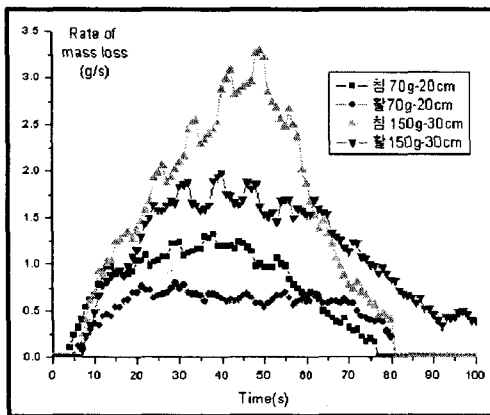


그림 3. 바스켓의 지름별 질량감소속도

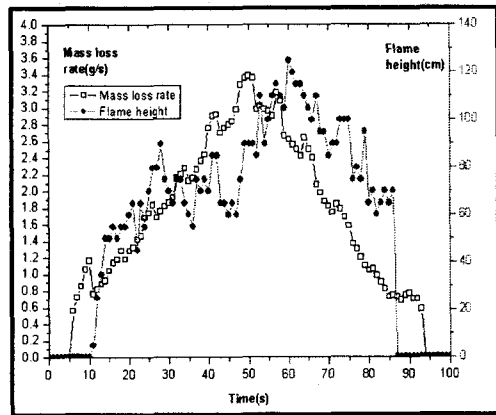


그림 4. 질량감소속도와 화염높이 관계

그림 4은 최대 질량감소 속도와 최대 화염높이의 관계를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 화염높이와 질량감소속도는 거의 일치하고 있었으며, 이들 두 데이터 사이에는 약 10초 간격의 시간이 관찰 되었다. 질량감소가 끝나기 10초 전에 화염이 소멸되는 추세를 가지고 있다.

화염을 비디오카메라로 녹화하였으며, 1초 단위로 재생, 화염의 높이를 판독하였다.

그림 5은 최대화염 높이와 열방출속도(HRR : Heat Release Rate)의 관계로 얻어진 그래프이다. 기존의 Heskestad식을 이용한 화염의 높이 식과 비교 하여 가시화 시켰다. 9,10)

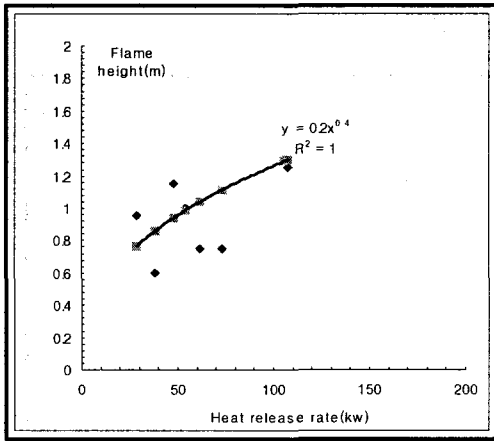


그림5. 최대 화염높이와 열방출속도

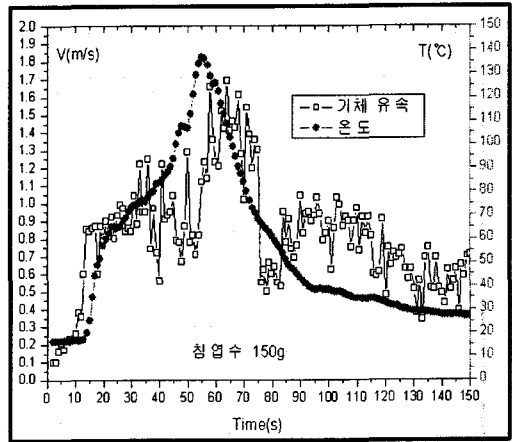
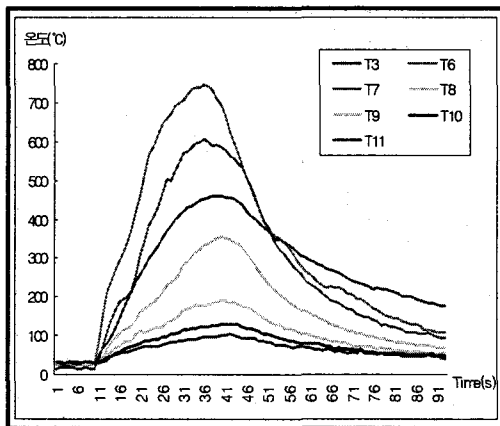
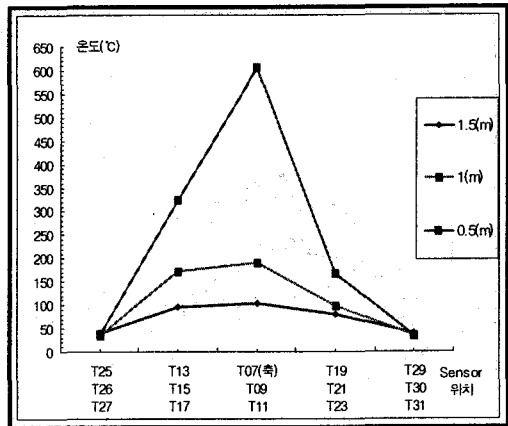


그림 6. 중심축 기체유속(침150g, D:0.2m)

그림 6은 바스켓 중심축 직상부의 기체유속과 온도로 연료 연소 시 기체유속과 온도가 비례하는 것을 볼 수 있다. 그림 7(a)은 바스켓 중심축 열전대 위치별 온도 분포로 최대 약 750°C정도를 보여주고 있으며, 화염이 시작되는 면보다 0.25m부근에서 온도가 가장 높게 측정되었다. 그림 7(b)은 바스켓 중심축에서 수평으로 0.5, 1, 1.5m의 위치에 열전대 설치하고 측정하였다. 온도 분포는 0.5m에서 최고 약 600°C정도이며 중심축을 기준으로 좌우로 대칭적으로 온도분포가 이루어지고 있음을 알 수 있었다.



(a) 시간에 따른 수직 분포



(b) 공간에 따른 수평분포

그림 7. 화염 중심축 온도 분포(침50g)

그림 8은 복사열을 측정하기 위해 Heat Flux Transducer(10kw/m²)를 바스켓의 측면과 화염의 중심축 상부에 설치하였다. 중심축 상부에서 복사열이 가장 높게 측정되었다.

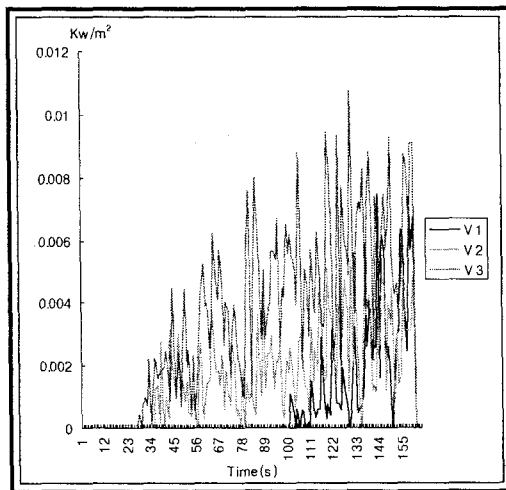


그림 8. 복사열 측정(침50g-지름0.2m)

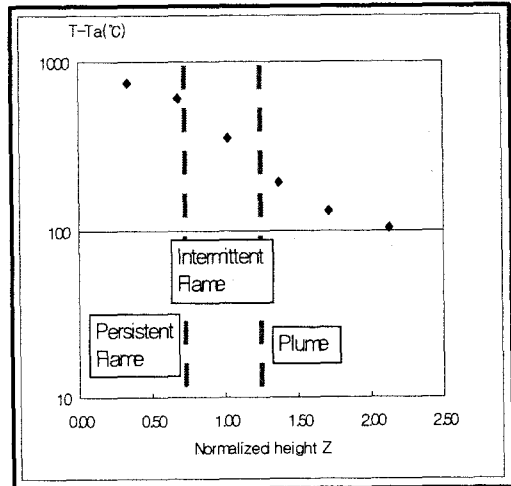


그림 9. 정규화염높이와 수직온도 분포

그림 9은 정규화염높이와 수직 온도 분포를 나타낸 그래프이다. 그림에서와 같이 화염의 높이를 Persistent flame, Intermittent flame, Plume으로 구분하고, 최고 온도는 Persistent flame부근에서 약 700~800℃ 관찰 되었다.^{11,12)}

5 토론

이상에서 제시된 방법론으로 연소시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째 연료 점화 방법에 대한 기준 제시가 필요하다. 둘째 지표화 연료를 그림 5, 9에서와 같이 기존의 Pool Fire 분석기법을 사용하여 분석하였으며, 탄화계 연료인 낙엽도 이들과 비슷한 양상을 보임을 알 수 있었다. 셋째 복사열량계의 사용에 있어서 거리 및 측정 위치에 대해 많은 고찰 필요하다. 넷째 열유체의 온도 및 속도를 측정 하였다.

참고문헌

1. 김응식, 산불연소 확산 예측모델 알고리즘 및 프로그램 개발, 산림청, 1997년
2. 김응식 이시영 김홍 송종훈 김수영 : “유동장 해석을 통한 산불확산예측프로그램의 개발”, 한국임학회지 87(4):528~534, 1998년
3. 정주상, 이병두, 김형호 : “산불확산예측 프로그램 개발. 대형산불방지 및 생태계 복원기술 심포지움 자료. 28-53.
4. 이명보, 정주상, 조명희, 김응식 : 산불피해저감을 위한 진화기술 개발, 산림청 국립산림과학원, 2004~2005년[1] 류장혁, 이광원, : “산불의 실태와 대책”, 한국농촌경제연구원, 1996, 9-10
5. 류장혁, 이광원 : “산불의 실태와 대책”, 한국농촌경제연구원, 1996, 9-10
6. 김동현, 이명보, 강영호, 이시영 : “지표물질 착화성 실험을 통한 발화위험성 분석”, 한국방재학회 2006년
7. 채희문 이찬용 : “산불 확산에 영향을 미치는 임지내 산림연료와 경사도에 관한 연구”, 한국농림기상학회지 제5권제3호 pp.179~184, 2003년

8. 이시영 : “환경인자가 산불의 온도 및 진행속도에 미치는 영향”, 동국대학교석사학위 논문 pp.44, 1990년
9. G. Heskestad, Fire Safety J.5(1983) 109
10. James G. Quintiere : “Enclosure Fire Dynamics”, Delmar Publishers
11. B.J. McCaffrey, Purely Buoyant Diffusion Flames: Some Experimental Results, National Bureau of Standards Report No NBSIR79-1910, 1979
12. J.L. Dupuy, Fires from a cylindrical forest fuel burner : combustion dynamics and flame properties, combustion and flame, 2003, 65-76