

왕겨의 heat flux별 연소특성에 관한 연구

Combustion characteristics of rice-husk according to the change of heat flux

박은영, 박덕신, 조영민, 박병현, 이철규
한국철도기술연구원 환경·화재연구팀

Eun-young Park, Duckshin Park, Youngmin Cho, Byunghyun Park, Cheulkyu Lee
Environment and Fire Control Research Team, Korea Railroad Research Institute

Abstract

Biomass burning is a source of greenhouse gases, carbon dioxide, methane, and nitrous oxide. Under the ideal conditions of complete combustion, the burning of biomass produces carbon dioxide and water vapor. Since complete combustion is not achieved under any conditions of biomass burning, other carbon species, including carbon monoxide, methane, non-methane hydrocarbons and particulate carbon are produced. In this study, we analyze the combustion characteristics of rice-husk, such as heat release rate, smoke production rate, the percentage variation of CO and CO₂, oxygen consumption rate, and mass loss under different heat fluxes (20, 50 and 70kW). As a result, at 20kW incomplete combustion is occurred so that the percentage of CO is high in initial burning and total smoke release is higher than the others. At 50kW and 70kW, the combustion behaviors is very similar except the variation of CO percentage.

1. 서론

바이오매스 연소는 온실 가스, 이산화탄소, 메탄 그리고 질산화물 등의 배출원이다. 게다가 바이오매스 연소는 화학적으로 활성도가 높은 일산화탄소나 아산화질소 같은 물질을 생성하여 오존과 같은 다른 온실 가스 생성에 영향을 미치기도 한다(Levin, 1994). 이러한 연소 과정은 토지 이용 변경이나 개간을 위하여 태우거나 바이오매스 에너지로 활용하기 위한 활동, 농업 잔류물 등의 소각 등으로 인하여 지속적으로 증가하고 있다. 실제로 바이오매스 연소는 이산화탄소 증가량의 40%, 대류권 오존의 38%에 기여하고 있는 것으로 나타났다(ES&T, 1995). 바이오매스 에너지는 전 세계 에너지 소비의 15%를 차지하고 있으며, 특히 후진국에서는 38%를 차지하고 있다고 한다(Bhattacharya, et al., 2000).

연소에 의해 바이오매스의 고정 탄소는 다시 대기로 돌아가게 되어, 전 지구적 탄소 순환 및 온실가스 농도에 상당한 영향을 미치게 된다. 우리나라의 경우 가로수에서 발생하는 낙엽과 가을철 농작물 수확 후 생긴 잔여물들이 대부분 노천 소각되고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 불법 노천 소각으로 인한 온실가스 배출 증가로 인하여 지구 온난화 현상이 가속화되고 있음

에도 이에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 가을철 농작물의 대표적 잔여물인 왕겨를 대상으로 콘 칼로리미터를 이용하여 heat flux를 달리하였을 때 연소 특성에 어떠한 변화가 나타나는지 관찰하여, 추후 바이오매스 연소가 온실 가스 배출에 미치는 영향에 대한 연구의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 주요 지수

콘 칼로리미터를 이용한 본 실험에서는 왕겨의 연소특성을 알아보기 위하여 몇 가지 지수를 이용하였다. 이 지수는 heat release rate, smoke production rate, CO, CO₂의 % concentration, oxygen consumption rate 그리고 mass로 표 1에 정리하였다.

Table 1. Key parameters deduced from the test.

Contents	Unit	Comments
Heat release rate	kW/m ²	Heat release rate per unit area
Smoke production rate	m ² /s	Smoke production rate per unit time(sec.)
The percentage of CO, CO ₂	%	The concentration of carbon monoxide, carbon dioxide in emission gas
Oxygen consumption rate	g/s	Oxygen consumption rate per unit time(sec.)
Mass	g	Mass of remained sample during combustion

2.2 실험장치 및 방법

본 연구에서는 영국 FTT사의 듀얼 타입 콘 칼로리미터를 사용하여 왕겨의 heat flux에 따른 일산화탄소, 이산화탄소 방출량, 발열량 및 발연량 등을 동시에 측정하였다. 실험은 ISO 5660 Part 1 및 Part 2의 방법을 따랐다.

3. 결과

콘 칼로리미터를 이용하여 왕겨의 heat flux별 연소 특성을 측정한 결과를 표 2에 제시하였다. TTI(time to ignition)는 실험시작 시간부터 시료에 불꽃이 붙는 순간까지의 시간을 기록한 것으로 20kW heat flux에서 불꽃이 매우 늦게 붙는 것을 알 수 있었다. 또한 TTF(time to flameout)는 시료에 붙었던 불꽃이 사라질 때까지의 시간으로, TTI에서 TTF까지의 시간을 불꽃이 있는 동안 연소한 flaming phase로 볼 수 있다. 50kW와 70kW의 heat flux에서는 거의 유사한 flaming phase 시간이 나타났으나, 20kW에서는 매우 짧은 것으로 나타나 연소과정동안

smoldering phase가 주로 나타남을 알 수 있었다. heat flux가 증가할수록 최대발열량은 높아지고, 최대발열량에 이르는 시간은 짧아지는 경향을 나타내었다. 그리고 총연기발생량은 50kW heat flux에서 가장 낮게 나타났다. 연소가 진행되는 동안 발생하는 일산화탄소와 이산화탄소의 평균값은 heat flux가 낮을수록 더 높은 값을 나타내었다.

Table 2. Combustion characteristics of risk-husk at different heat fluxes

	Heat flux		
	20kW	50kW	70kW
TTI(s)	52	7	2
TTF(s)	97	280	248
THR(MJ/m ²)	6.30	26.94	36.31
t _{fp} (s)	60	15	12
TSR(m ² /m ²)	38.3	19.8	28.9
CO yield(kg/kg)	0.1145	0.0713	0.0475
CO ₂ yield(ke/ke)	1.86	1.64	1.46

그림 1에서 연기발생률은 시료에 불꽃이 붙기 직전에 매우 높게 나타났다가 착화가 되면서 감소하는 경향을 보였으며, 열발생률 역시 착화시간에 따라 달라지는 것을 알 수 있었다. 70kW heat flux에서는 연소 후반부까지 연기가 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이는 왕겨가 완전히 연소되면서 나타나는 현상으로 보이며, 열발생률이 후반부에 감소하는 것 역시 완전 연소에 의한 것으로 보인다.

그림 2에서 연소 진행에 따른 산소 소모율은 초기에는 높다가 시간이 지나면서 점차 낮아지는 경향을 보였으며, 산소 소모가 가장 많은 일어나는 시간은 불꽃이 시료에 붙은 이후인 것으로 나타났다. 그림 3에 보인 왕겨의 질량은 연소 초기에 급격하게 감소하다 일정시간 이후 완만한 곡선을 나타내었다. heat flux가 높을수록 완전한 연소가 일어나고, 곡선 상에서 뚜렷한 변곡점을 보였다.

그림 4에서 일산화탄소는 낮은 heat flux에서 더 높게 생성되었으며, heat flux가 증가할수록 최고 생성 농도에 도달하는 시간이 지연됨을 알 수 있었다. 500초 이상 지나면서 heat flux에 상관없이 일정하게 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 이산화탄소 역시 연소 초기에 최대치를 보이다가 급격히 감소하여 400초 이후에는 모든 heat flux에서 일정한 농도로 배출되었다.

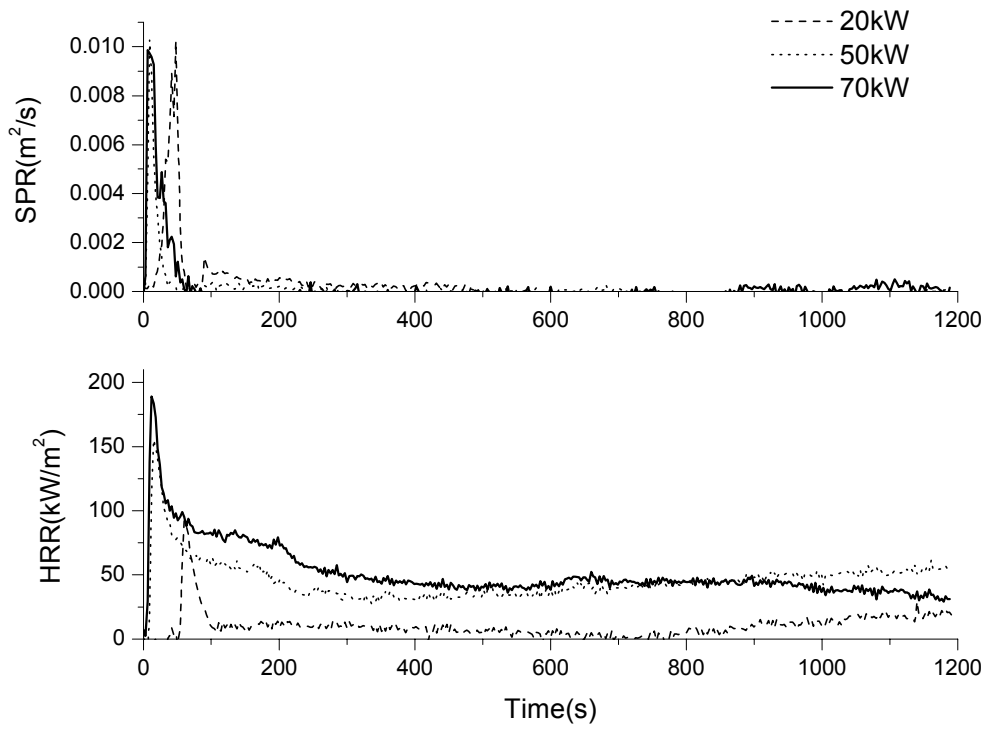


Figure 1. Smoke production rates and heat release rates of the rice-husk at different heat flux.

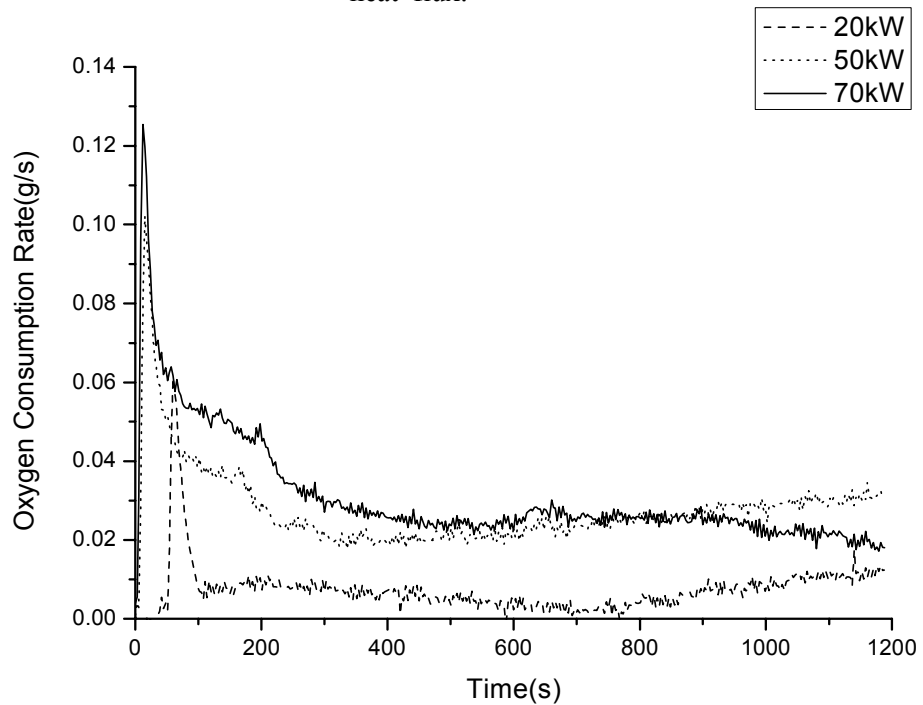


Figure 2. Oxygen consumption rates of the rice-husk at different heat flux.

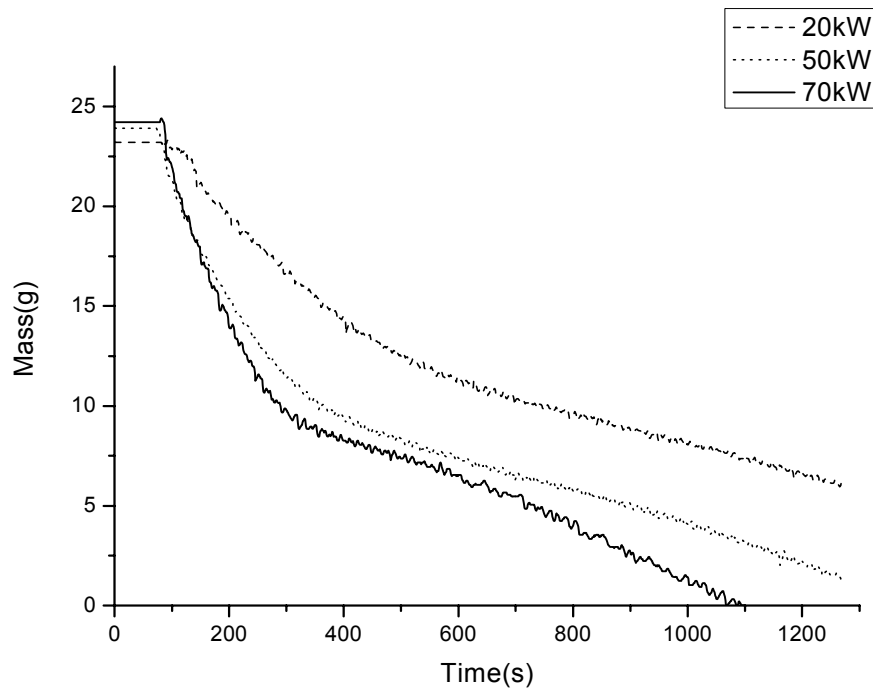


Figure 3. The mass of remained rice-husk during combustion at different heat flux.

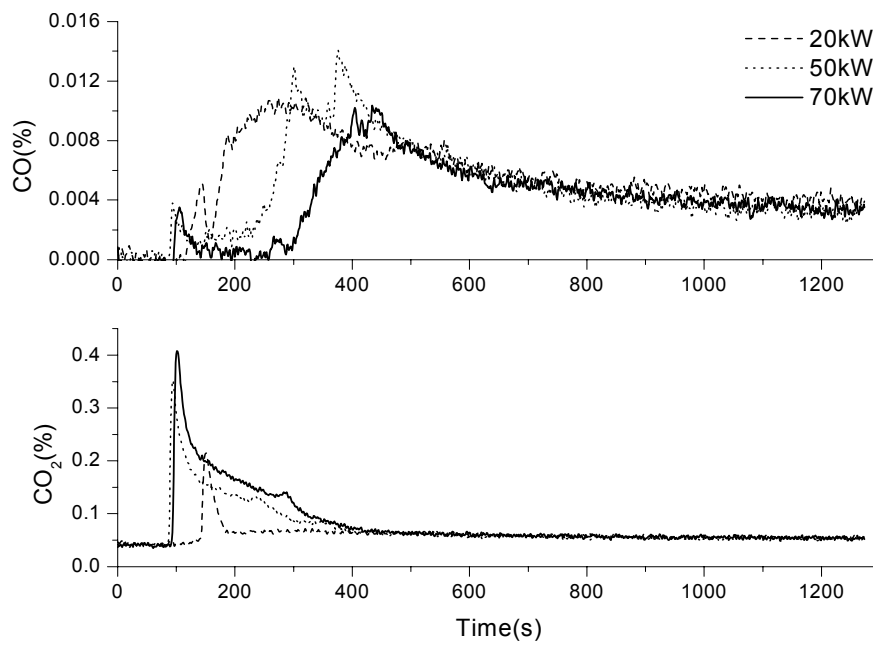


Figure 4. The percentage of CO and CO₂ in emission gas.

4. 결론

큰 칼로리미터를 이용하여 heat flux별 왕겨의 연소특성을 측정한 결과, heat flux가 낮은 경우(20kW) 연소되지 않은 잔류 시료가 많았으며, 이산화탄소와 일산화탄소의 배출이 높게 나타났다. 또한 heat flux가 낮을수록 점화시간(TTI)이 길었으며, flaming phase 시간이 짧아 완전 연소가 이뤄지지 않았음을 알 수 있었다. 반면 heat flux이 50kW, 70kW 인 경우 flaming phase가 240초 이상으로 길게 나타나 이산화탄소와 일산화탄소의 배출량이 20kW heat flux 조건에 비해 낮게 나타났다. 이와 유사하게 연기생성량도 20kW에서 가장 높은 것으로 나타났다. 연구결과 바이오매스의 불완전 연소 시 지구온난화에 영향을 미칠 수 있는 일산화탄소나 이산화탄소 등의 연소가스 발생이 증가하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

Bhattacharya, S.C., P. Abdul Salam, Mahen Sharma(2000) Emissions from biomass energy use in some selected Asian countries, Energy 25, 169-188.

ES&T(1995) The Global Impact of Biomass Burning, An interview with EPA'S Robert Huggett.

Levine, J. S.(1994) Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change, Chapter 9. Biomass burning and the production of greenhouse gases, edit. Zepp, R. G., John Wiley and Sons, Inc.