

**PA29) 콘 칼로리미터를 이용한 바이오매스의 연소특성에 관한 연구(II) - 고춧단, 깻단, 옥수수단, 콩단에 대해서 -**

**A Study on the Combustion Characteristics of Biomass the use of Cone-calorimeter(II) : the Case of Pepper, Sesame, Cone, and Bean Stem**

박병현 · 박덕신 · 조영민 · 박은영  
 한국철도기술연구원 환경·화재연구팀

**1. 서 론**

2005년 2월 교토의정서의 발효로 온실가스에 의한 지구 온난화가 지구 규모의 대기환경에서 심각한 이슈로 대두되고 있다. 바이오매스를 소각할 때 발생하는 입자상물질은 지구온난화현상을 유발시키는 원인의 하나로 밝혀진 바 있으며, 자동차나 산업시설보다 더 많은 양의 입자상 물질이 바이오매스의 소각에 의해 배출된다고 보고된 바 있다 (Bernard, 2002). 우리나라에서도 바이오매스의 소각에 의한 대기 오염이 심각한 수준인 것으로 알려져 있으며, 특히, 가로수에서 발생하는 낙엽과 가을철 농작물의 수확 후 방치된 잔여물은 대부분 수거 후 노천소각(opening burning) 되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 고춧단, 깻단, 옥수수단과 콩단을 실험대상물질로 선정하여 콘 칼로리미터를 사용하여 연소시 발열량(heat released rate), 발연량(smoke production rate), 일산화탄소 발생량(carbon monoxide concentration), 이산화탄소 발생량(carbon dioxide concentration), 질량 감소율(mass loss rate) 등을 분석하여 바이오매스의 연소특성과 온실가스의 발생량을 파악하고자 하였다.

**2. 실험 재료**

본 연구에서는 고춧단, 깻단, 옥수수단과 콩단 등 네 가지 바이오매스를 시료를 사용하였다. 각 시료는 분쇄기(TP-6792, Tefal)를 이용하여 5 mm 이하로 분쇄하였으며, 시료는 수분의 영향을 최소화하기 위해 105°C 오븐에서 60분간 건조하였다(Bhattacharya *et al.*, 2002a). 바이오매스는 시료에 함유된 원소 성분에 의해 다른 연소특성을 보이므로 Automatic Elemental Analyzer(EA 1110, CE instruments)를 이용하여 원소 분석을 실시하고, 결과를 표 1에 제시하였다.

Table.1 Elemental analysis of the sample materials. (wt.%)

Sample	Moisture	Ash	Carbon	Hydrogen	Nitrogen	Sulfur	Oxygen
Pepper stem	10.2	28.3	49.0	6.56	2.23	0.31	39.8
Sesame stem	9.5	29.2	47.8	5.86	0.72	0.02	42.3
Cone stem	20.6	36.0	47.9	5.92	1.09	0.06	40.2
Bean stem	6.7	24.4	43.8	6.18	3.3	0.01	41.9

**3. 실험 장치 및 방법**

국내외에서 재료의 연소특성 평가에 널리 사용되는 duel-cone calorimeter를 사용하여 바이오매스에 의한 CO, CO<sub>2</sub> 발생량, 발열량 및 발연량을 동시에 측정하였다. 실험은 ISO 5660 Part 1 및 Part 2의 방법을 따랐으며, 실험에 사용된 duel-cone calorimeter를 그림 1에 제시하였다. 이 장치는 bench scale의 산소소모열량계(oxygen depletion calorimeter)로서, 그림에서 100 mm×100 mm 크기의 샘플에 100 kW/m<sup>2</sup>까지의 복사열을 방출할 수 있는 꼭대기가 잘려진 원뿔형의 히터 모양에서 그 이름이 유래되었다. 이 장비는 콘 형태의 복사전기히터, 산소분석장치, 유량측정용 레이저가 부착된 배기 시스템, 시료의 질량을 측정하기 위한 질량 측정장치, 시료 홀더, 스파크 점화회로, 열량 측정을 위한 heat flux meter, 메탄 열량측정을 위한 버너 및 데이터 수집/분석시스템, CO 와 CO<sub>2</sub> 측정을 위한 NDIR analyzers로 구성되어

있다. 본 실험에서는 분쇄한 시료를 고정하기 위해 100×100×36 mm 크기로 제작된 시료홀더를 사용하

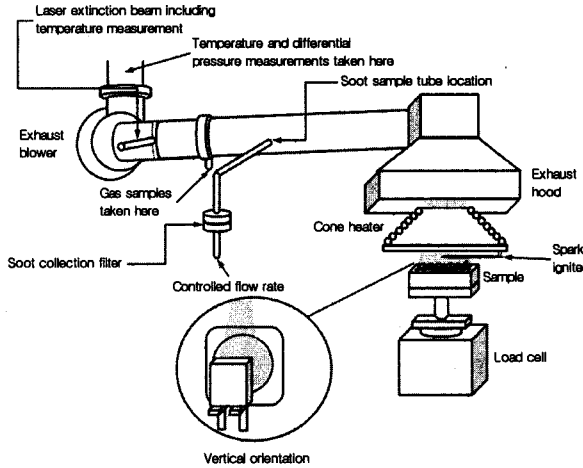


Fig. 1. Schematic diagrams of the cone-calorimeter.

Table 2. Combustion characteristics of sample biomass.

Parameter	Materials			
	Pepper stem	Sesame stem	Cone stem	Bean stem
<i>Thermal data</i>				
TTI(s)	9	4	4	8
pkHRR(kW/m <sup>2</sup> )	203.68	172.2	168.70	108.09
t <sub>fp</sub> (s)	20	15	9	20
$\bar{Q}_{60}$ (kW/m <sup>2</sup> )	148.5	109.2	102.8	123.6
$\bar{Q}_{180}$ (kW/m <sup>2</sup> )	111.2	75.2	70.7	89.9
THR(MJ/m <sup>2</sup> )	62.5	27.6	30.7	67.1
m <sub>L</sub> (%)	71.7	70.8	63.9	75.5
$\Delta H_c$ (MJ/kg)	12.01	12.01	11.69	12.38
<i>Smoke</i>				
TSR(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	39.8	3.1	58.0	84.2
CO yield(kg/kg)	0.0092	0.0129	0.0173	0.0039
CO <sub>2</sub> yield(kg/kg)	1.54	1.70	1.64	1.70

였다. 시료홀더와 그리드는 동일한 조건을 주기 위해 모든 시료에 동일하게 적용하였다. 배기 팬은 24 l/s로 고정하였으며, pyrolysis gas에 점화하기 위하여 spark igniter를 사용하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 네 가지 시료의 최대발열량에 이르는 시간은 9~20초로 다양한 수치를 보였으며, 고춧단의 경우 최대발열량이 203.7 kW/m<sup>2</sup>으로 발열량이 가장 높았다. 콩단의 경우 가장 늦게 최대 발열량에 도달했으며, 최대발열량도 가장 낮게 나타났지만 연소시간은 가장 오랫동안 지속되는 현상을 보였다. 깻단의 경우 연소시 연기의 발생량이 가장 적었다. 반면 옥수수단의 경우 점화 전·후에 가장 많은 연기가 발생했고, 소화된 후에도 계속해서 연기가 발생하였다. 네 가지 시료의 연기발생량은 콩단 > 옥수수단 > 고춧단 > 깨단의 순으로 높게 나타났다. 원소분석 결과, 옥수수단, 고춧단, 깻단의 수분함유량이 각각 20.6%, 10.2%, 9.5%로 나타나 수분함량과 연기발생량이 직접적인 관련이 있는 것으로 판단되었다. CO 발생량은 옥수수단에서 0.0173 kg/kg으로 가장 높았고, 콩단에서 0.0039 kg/kg으로 가장 낮은 수치를 보임으로써 대상 시료 중 옥수수단이 가장 큰 CO 발생원인을 확인할 수 있었다. 이 값은 Bhattacharya *et al.* (2002a)의 연구에서 wood chip을 대상으로 한 실험결과인 0.0174~0.0259 kg/kg와 거의 유사한 결과였다. 지구 온난화에 가장 큰 영향을 미치는 CO<sub>2</sub>의 경우 네 가지 바이오매스에서 거의 비슷한 수준인 1.54~1.70 kg/kg으로 발생하였으며, 이는 역시 Bhattacharya *et al.* (2002a)의 연구결과인 CO<sub>2</sub> 발생량 1.59~1.605 kg/kg과 거의 유사한 결과였다. CO<sub>2</sub>가 가장 많이 배출된 깻단과 콩단의 수분함량은 각각 6.7%, 9.5%로서 네 가지 시료 중 수분함량이 가장 적은 두 가지 시료에서 가장 많은 CO<sub>2</sub>가 발생한 것을 통해 CO<sub>2</sub> 발생량은 바이오매스에 함유된 수분의 함량과도 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. 질량 감소율은 콩단이 가장 높았으며, 옥수수단은 상대적으로 적어서 연소가 서서히 진행되는 것으로 나타났다. 이는 바이오매스의 구조에서 그 원인을 찾을 수 있을 것으로 판단된다. 유효연소열에서는 콩단의 경우 12.38 MJ/kg인 것에 비해 옥수수단은 11.69 MJ/kg으로 질량감소율이 높을수록 유효연소열이 높은 경향을 보였다.

### 참 고 문 헌

- Bernd, R.T. and Simoneit (2002) Biomass burning-a review of organic tracers for smoke from incomplete combustion, *Applied Geochemistry*, 17, 129-162.
- S.C. Bhattacharya et al., Effects of selected parameters on performance and emission of biomass-fired cookstoves, *Biomass and Bioenergy*, 2002a, Vol. 23, 387-395