

석탄, 바이오매스, 고분자 화합물 단입자 연소특성의 실험적 관측

이후경* · 최상민**

Experimental observation of combustion characteristics of coal, biomass, and petro-chemical hydrocarbon particles

Hookyung Lee*, Sangmin Choi**

고체상 연료는 산업로 내에서 열에너지 공급을 위한 연소, 합성가스 생산을 위한 가스화, 금속정련을 위한 환원제, 폐기물 소각 등 다양한 에너지 관련 분야에서 사용되고 있다. 고체연료는 형성과정에 따라 주로 두 가지로 분류되는데 석탄, 나무 등 자연발생적으로 형성된 연료 그리고 PVC (Polyvinyl Chloride), PE (Polyethylene), PP (Polypropylene) 등 석유화학 공정을 통해 만들어진 고분자 화합물로 나눌 수 있다. 이들은 종이, 플라스틱, 고무, 직물 등과 함께 섞여 폐기물로서 분류되기도 한다. 석탄은 오랜 시간동안 가장 널리 사용되어온 대표적인 고체연료로서 최근 바이오매스와의 혼소를 통한 개선된 연소효율, 경제성, 낮은 기술적 위험부담 때문에 두 연료의 중요성은 더욱 부각되고 있고 [1], PVC 및 PE는 국제적으로 가장 많이 생산되고 있는 열가스성 수지로서 그 사용량은 계속 증가되고 있다 [2].

대부분 고체연료는 짧은 체류시간 동안 높은 반응성을 확보하기 위해 마이크론 단위의 직경을 가지도록 전처리(미분)된다. 연소로 및 가스화기, 소각로 등 반응기 내부의 연소현상 모델링은 단입자 연소모형을 기본으로 이루어진다. 이러한 고체연료 단입자 연소과정의 현상학적 이해는 연소모형 성립을 위해 필수적이기 때문에 실험적 관측을 통해 다양한 고체연료 단입자의 연소특성을 살펴볼 필요가 있다. 고체연료의 연소과정은 가열, 수분증발, 휘발분 방출 및 연소, 화 연소 단계로 구분되고 있으며, 이 중 연료별 특징적 가시화염을 확인할 수 있는 휘발분 연소과정은 구형 화염(spherical flame)을 형성한다는 가정을 가진 연소모형이 널리 사용되고 있다 [3-6].

이전 우리 연구에서는 고체연료 단입자의 연소과정을 체계적으로 살펴보기 위한 실험적 접근과 석탄 단입자 연소과정이 보고되었다 [7]. 실제 연소조건과 유사한 환경에서 $t_0=0$, $T_0=298K$ 의 초기

조건을 가지는 석탄 단입자는 고온의 유동장 내에 수직으로 투입되고 시공간에 따라 연소상태가 명확하게 드러났다. 그 결과, 기존 단입자 연소모델의 적절한 평가와 개선을 위한 논의가 가능한 관측 방법이 제시되었다. 본 연구에서는 석탄을 비롯하여 앞서 언급된 에너지 관련 산업에서 다양하게 사용되고 있는 여러 가지 고체연료의 단입자 수준에서의 휘발분 연소과정을 관측하여 그 연소모형 형성에 대한 이해를 돕고자 한다.

실험장치와 방법에 대한 내용은 참고문헌 [7]에 표기되어 있으며, 본 연구에서 사용될 고체연료는 탄소, 석탄 (역청탄), 바이오매스로서 Wood, PKS (Palm kernel shell), 고분자 중합체 화합물로서 PVC, PVA (Polyvinyl Alcohol), PEG (Polyethylene Glycol), PEO (Polyethylene Oxide)가 선정되었다. 석탄과 바이오매스의 원소, 공업분석 결과는 Table 1에 표기되었고, 고분자 화합물들은 Aldrich®에서 구입되었다.

Table 1 Solid fuel properties.

Solid fuel		Proximate analysis [wt.%]		Ultimate analysis [wt.%]	
		W	VM	C	H
C o a l	Bituminous ^a	W	2.38	C	70.38
		VM	35.32	H	4.65
		FC	49.62	O	7.91
		Ash	12.68	N	1.48
				S	0.52
B i o m a s s	Wood ^b	W	8.50	C	46.82
		VM	86.80	H	5.61
		FC	4.40	O	40.72
		Ash	0.30	N	0.10
				S	0.01
P a l m k e r n e l s h e l l ^b	Palm kernel shell ^b	W	9.75	C	48.42
		VM	59.57	H	5.73
		FC	15.93	O	39.05
		Ash	14.75	N	1.04
				S	0.014
				Cl	0.012

^a air-dried basis, ^b wet basis

* KAIST 기계공학과

† 연락저자, smchoi@kaist.ac.kr

TEL : (042) 350-3030 FAX : (042) 350-3210

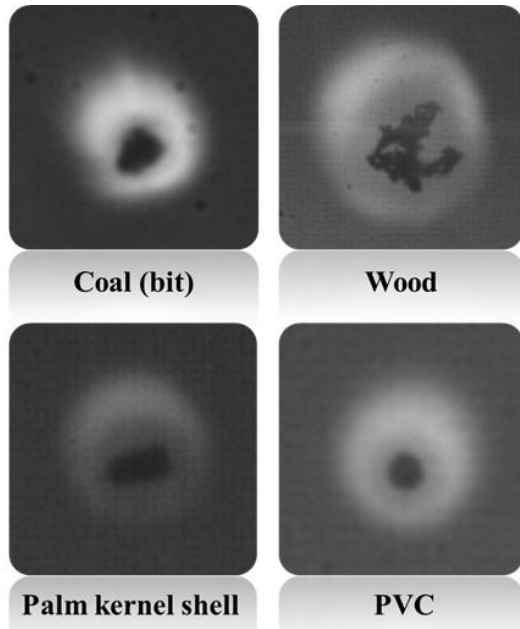


Fig. 1 Spherical volatile flames of single coal, wood, palm kernel shell, and PVC particles entrained into hot gas flow.

위에서 언급된 고체연료 중 coal, wood, palm kernel shell, PVC 네 가지 연료만이 고체 단입자를 둘러싼 뚜렷한 휘발분 화염이 형성되었다 (Fig. 1). 하지만 이들 고체입자들은 물리적 구조 및 화학적 성분이 모두 다르기 때문에 이들로부터 방출된 휘발분의 성분과 형성 메커니즘 역시 모두 다르다. 석탄은 soot한 휘발분 성분이 방출되어 입자와 주위 유동장간 간섭(slip velocity), 산소 농도에 따라 그 형태가 규칙적으로 변화한 반면, 바이오매스의 휘발분 방출은 석탄에 비해 방출 및 전파 속도가 매우 빠르고 non-soot한 휘발분 물질 특성상 투명한 동심원 화염이 발생되었다. PVC는 염소 성분의 영향으로 가장 밝고 뚜렷한 화염이 형성되며 산소 농도가 낮을수록 과동을 일으키며 불안정한 휘발분 화염 형성 및 소멸 과정을 보였다.

후 기

본 연구는 KAIST BK21 Plus 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] A. Williams, M. Pourkashanian, J.M. Jones, "Combustion of pulverised coal and biomass", *Prog. Energy Combust. Sci.* 27 (2001) 587-610.
- [2] J.R. Fried, *Polymer Science and Technology* 2nd ed., Pearson Education, New Jersey, 2003.
- [3] L.D. Timothy, A.F. Sarofim, J.M. Beer, "Characteristics of single particle coal combustion", *Proc. Combust. Inst.* 19 (1982) 1123-1130.
- [4] S. Choi, C. Kruger, "Modeling coal particle behavior under simultaneous devolatilization and combustion", *Combust. Flame* 61 (1985) 131-144.
- [5] T.X. Phuoc, P. Durbetaki, "Heat and mass transfer analysis of a coal particle undergoing pyrolysis", *Int. J. Heat Mass Transfer* 30 (1987) 2331-2339.
- [6] V.S. Gururajan, T.F. Wall, R.P. Gupta, J.S. Truelove, "Mechanisms for the ignition of pulverized coal particles", *Combust. Flame* 81 (1990) 119-132.
- [7] H. Lee, S. Choi, "Experimental observation on sequential combustion processes of a single coal particle entrained into high-temperature gas environment", *Proc. 48th KOSCO symposium* (2014) 83-84.