

바이오매스의 연소 성능과 회재 특성

문지홍* ** · 김광수*** · 정재용* · 박민선* · 박은혜**** · 윤정준***** · 황정호** · 이은도* ***†

Biomass Combustion Performance and Ash Characteristics

Jihong Moon* **, Kwangsoo Kim***, Jaeyong Jeong*, Minsun Park*, Uenhyae Park***, Jeongjun Yoon*****, Jungho Hwang**, Uendo Lee* ***†

ABSTRACT

Diversification of combustion fuel is the demands of the times and biomass is the most attractive option since it can contribute to the prevention of global warming at the same time. Due to the national renewable obligation, generally called Renewable Portfolio Standard (RPS), many power companies are considering direct combustion of biomass or co-firing with coal. In order to use biomass as a fuel, informations of its combustion characteristics and ash related problems should be investigated. In this study, combustion performance of biomass was assessed in a bubbling fluidized bed combustor, and ash characteristics of various biomass fuels were studied with standard test method.

Key Words : Biomass, Combustion, Ash melting, Bubbling Fluidized Bed (BFB)

전 세계적으로 에너지 자원의 다양화는 대체 에너지로서의 역할과 환경적인 측면에서 시급한 문제로 대두되고 있다. 국내에서도 2012년 RPS (Renewable Portfolio Standards)를 시행하면서 신재생에너지 자원의 보급화를 독려하고 있다. 신재생에너지로서 많은 비중을 차지하고 있는 폐자원이나 바이오매스에 대한 관심이 커지면서 신수종 고체연료의 활용도 더욱 다양화되고 있고 연료 특성에 대한 정보가 중요시되고 있다.

바이오매스 연료를 에너지로 전환시키는 방법 중 하나인 유동층 연소는 유동화 물질과 연료사이의 열 및 물질전달 성능이 뛰어나 보다 다양한 고체연료를 연소시킬 수 있는 장점이 있다. 유동층 연소 기술은 석탄의 경우 기존 연구를 통해 비교적 정립이 잘 되어있으나 바이오매스와 폐자원 같은 저급연료들을 활용하는 기술은 부족한 편이다. 유동층 연소에서 다양한 연료를 접목시키기 위해서는 연료에 대한 정보와 연소 특성의 정립이 필요하다.

유동층은 조업 압력에 따라 상압 유동층과 가압 유동층으로 나뉘고 유동층의 특성에 따라 기포 유동층과 순환 유동층 등으로 나누어진다. 본 연구에서는 실험실 규모 상압 기포 유동층

반응기에서 다양한 바이오매스 연료들의 연소 특성을 살펴보았다. 고체 연료들을 유동층 반응기에 투입하여 발생하는 연소가스를 측정하여 바이오매스 연료들의 연소특성을 비교하고, 연소 후 남아 있는 회재의 특성을 살펴보았다. 그림 1은 자체 제작한 소형 유동층 반응기의 모습이다. 반응기 크기는 내경 100 mm, 높이 1100 mm 이고 분산판은 27 mm 간격으로 tuyere 3개가 삼각 배치되었고, 직경 3 mm 노즐이 각각 4개씩 배치되어있다.



Fig. 1 Figure of BFB combustor

* 한국생산기술연구원 에너지시스템연구그룹
 ** 연세대학교 청정공학협동과정
 *** 과학기술연합대학원대학교 청정공정및시스템공학
 **** 환경대학교 화학공학과
 ***** 한국생산기술연구원 그린소재기술센터
 † 연락처자, uendol@kitech.re.kr
 TEL : (041)589-8574 FAX : (041)-589-8323

연소 운전 시, 회재는 반응기나 보일러 벽, 배관 표면에 부착하여 열전달을 방해하고 결과적으로 운전효율을 저하시킬 수 있다. 따라서 이러한 고체연료 회재의 슬래깅(sludging)이나 파울링(fouling) 현상은 대상 연료의 적용 가능성 및 운전조건을 파악하는데 있어 필수적이다. 슬래깅은 연소실의 온도가 회재의 녹는점보다 높은 영역에서 회재의 입자가 용융되는 현상이므로 이 경우 가스흐름을 따라 배출되다가 보일러 튜브 표면에 부딪칠 때 급격히 냉각되면서 굳어져 부착, 쌓일 수 있다. 이 때 부착력은 온도, 부착면의 위치, 방향, 충돌력 및 회재의 용융 특성에 의해 영향을 받으며, 회분의 녹는점이 낮은 연료는 슬래깅이 심하다. 파울링은 회분에 포함된 휘발성분들이 연소 중에 휘발하여 연소가스와 함께 흐르다 저온영역의 표면에 응축 및 부착하는 현상으로 보일러 튜브 내부에 불순물이 부착되어 열효율의 감소를 야기 시키는 현상이다. 이러한 슬래깅이나 파울링에 따른 비용 즉, 에너지손실, 청소비용, 유지비용, 생산손실 등이 운전비용에서 많은 비중을 차지하므로 회재의 특성을 파악, 대처하는 것은 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 그동안 석탄 회분에 대한 연구는 많이 이루어졌지만 바이오매스 회분에 대한 연구는 미비한 편이다. 본 연구에서는 바이오매스의 회 용융점기준인 CEN/TS에 맞춰 다양한 바이오매스 연료의 용융점을 알아보고, 슬래깅&파울링 지표에 따라 융착성향을 예측하여 대상 바이오매스 연료의 연소 적합성에 대해 판단하고자 하였다.

고체연료 회재의 용융온도는 온도에 따른 시료의 형태변화에 따라 그림 2와 같이 4가지 온도를 측정하게 된다. 용융온도 중에서 유동점과 최초변형점의 차이가 융착회분의 강도를 나타내는 지표가 되기도 하며, 차이가 작으면 융착회분의 두께가 얇고 견고하여 제거가 힘들다고 알려져 있다. 표 1은 다양한 바이오매스 연료들을 공업분석, 원소분석과 회재 성분을 분석한 결과를 정리한 표이다. 국내 바이오매스 연료를 비롯하여 인도네시아와 말레이시아 등에서 재배된 다양한 고체연료를 연구대상으로 삼았다. 슬러지의 경우 열수가압 반응을 통해 전처리를 시킨 하수슬러지를 이용하였다.



Fig. 2 Phases in the ash melting process.

Table 1 Component analysis of biomass fuels

	EFB (M)	Wood (K)	Sludge	PS (I)	SC (I)	EFB (I)	CP (I)
Moist. (%)	8.4	10.0	8.09	15.3	12.9	13.9	15.3
V.M. (%)	71.8	79.8	58.4	62.3	71.2	79.7	73.5
Ash (%)	0.8	3.8	26.1	20.1	1.9	4.4	2.9
F.C. (%)	19.1	6.4	7.5	2.3	14.9	2.07	8.3
N	0.3	0.1	6.4	4.3	2.1	2.7	3.1
C	47.3	49.5	55.3	43.6	44.8	44.4	47.3
H	5.7	6.2	7.8	6.0	6.0	6.3	5.5
S	<0.1	<0.1	0.8	0.1	<0.1	0.1	<0.1
O	46.6	44.1	29.7	46.2	47.2	46.7	44.1
Fe ₂ O ₃	4.4	6.3	18.9	3.6	14.5	5.9	24.6
In ₂ O ₃		9.6		5.2		25.8	
MnO	1.3	10.5	0.9	3.5	2.7	1.6	0.6
SO ₃	4.2	1.9			2.2	3.8	
TiO ₂	0.4	0.43	1.4	0.2	1.8	0.1	0.9
CaO	65.9	50.9	33.2	7.5	14.9	36.5	23.3
K ₂ O	15	17	3.2	14	20.5		41.3
P ₂ O ₅	0.5		19.1				
SiO ₂	7.5		9.7	63.3	42.8	23.6	

- PS-Paddy Straw
- SC-Sugar Cane
- EFB-Empty Fruit Bunches
- CP- Coco Peat
- (M)-Malaysia
- (K)-Korea
- (I)-Indonesia

Table 2 Melting point of ash oxide components.

Oxide	Melting point	Chemical property
SiO ₂	1716°C	Acidity
Al ₂ O ₃	2043°C	Acidity
TiO ₂	1837°C	Acidity
Fe ₂ O ₃	1566°C	Alkalinity
CaO	2520°C	Alkalinity
MgO	2800°C	Alkalinity
Na ₂ O	Sublimation 1277°C	Alkalinity
K ₂ O	Thermonoltsis 350°C	Alkalinity

Table 3 Melting point of ash compounds.

Compound	Melting point
Na ₂ SiO ₃	877°C
K ₂ SiO ₃	977°C
Al ₂ O ₃ Na ₂ O ₆ SiO ₂	1100°C
Al ₂ O ₃ K ₂ O ₆ SiO ₂	1150°C
Fe ₂ SiO ₂	1143°C
CaOFe ₂ O ₃	1250°C
CaOMgO ₂ SiO ₂	1390°C
CaSiO ₃	1540°C

표 2는 회재의 성분들 중 대표적인 산화물들의 용융점과 화학적 성질을 나타낸 표이다. 염기성 물질은 용착성을 증가시키며 특히 Fe, Ca가 용융온도를 낮추는 물질로 용착성향을 증가시키는 주요 물질이다. 산성 물질은 용착성을 막아주는 역할을 하는데 특히 실리카는 용착성향을 막아주는 역할을 하지만 표 3과 같이 다른 화합물과 반응하여 새로운 화합물 형태가 되면 용융점을 낮추는 물질로 용착성향을 증가시키는 주요물질이기도 하다. 이러한 용착성향을 지표로 판단해 보기 위해 표 4와 같은 슬래깅&파울링 지표를 계산하는 식을 이용하여 다양한 바이오매스 연료들의 용착성향을 판단해 보았다.

Table 4 Slagging and fouling indices.

Index	Formula
Base-Acid Ratio	$\frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$
Iron Calcium ratio	$\frac{Fe_2O_3}{CaO}$
Iron plus Calcium	$Fe_2O_3 + CaO$
Silica Percentage	$\frac{SiO_2 \times 100}{SiO_2 + Fe_2O_3 + CaO + MgO}$
Total Alkali	$Na_2O(as\%) + 0.6509K_2O(as\%)$

후 기

본 연구는 한국지역난방공사 및 지식경제부 에너지자원기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] J.H. Moon, J.W. Lee, U.D. Lee, "Economic analysis of biomass power generation schemes under renewable energy initiative with Renewable Portfolio Standards (RPS) in Korea", Bioresource Technology, Vol. 102, 2011, pp. 9550 - 9557.
- [2] S.H. Lee, C.S. Park, "Prediction of slagging Propensity of Coal Ash", Energy Engg. J, Vol. 4, No. 1, 1995, pp. 42-51.
- [3] S.J. Kim, K.S. Nam, J.S. Lee, S.S. Seo, K.H. Lee, K.S. Yoo, "Evaluation of Economic Feasibility of Power Generation System using Waste Woody Biomass in a CFBC Plant", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 48, No. 1, 2010, pp. 39-44.
- [4] A.A. Khana, W. de Jonga, P.J. Jansensb, H. Spliethoffc, "Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies", Fuel Processing Technology, Vol. 90, Issue 1, 2009, pp. 21 - 50.