

우분과 계분에 대한 탄화물의 에너지 특성

이민석 · 김재경 · *이승희

경기대학교 공과대학 환경에너지공학과

Characteristics of Carbonization Residue from Cow and Chicken Manure

Min-Seok Lee, Jae-Kyung Kim and *Seung-Whee Rhee

Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Kyonggi University

요 약

우분과 계분의 삼성분, 원소분석 등으로 기초특성을 파악하고, 탄화공정을 통하여 얻어진 우분과 계분 탄화물의 에너지특성에 대하여 비교, 검토하였다. 우분과 계분의 최적 탄화조건은 탄화물의 저위발열량과 수율을 곱한 총발열량으로 도출하였으며, 우분이 탄화온도 300°C, 탄화시간 20분으로, 계분이 350°C, 15분으로 나타났다. 최적 탄화조건에서 우분과 계분 탄화물의 저위발열량은 우분이 4,378 kcal/kg, 계분이 3,462 kcal/kg으로 평가되었다. 최적 탄화조건을 통해 생성된 우분 탄화물은 고형연료제품기준을 만족하는 신재생 에너지원으로 활용이 가능한 것으로 판단되었으나 계분 탄화물은 원료의 개질 등을 통한 발열량 증가가 필요한 것으로 평가되었다.

주제어 : 우분, 계분, 탄화공정, 발열량, 수율

Abstract

The basic properties of cow and chicken manure such as proximate analysis and element analysis were estimated and the comparison to energy characteristics of carbonization residue between cow and chicken manure was evaluated. The optimum carbonization condition of cow and chicken manure was decided by total heating value of carbonization residue which was expressed by multiplying low heating value by yield. The optimum carbonization conditions for carbonization time and temperature can be decided by 15 min, and 350°C for chicken manure, and 20 min, and 300°C for cow manure. At the optimum carbonization conditions, low heating values for the carbonization residue of cow and chicken manure are evaluated by 4,378kcal/kg, and 3,462kcal/kg, respectively. The residues of cow manure were satisfied with the standard of solid fuel product. However, the residue of chicken should be improved by materials changes to be used as a renewable energy source.

Key words : Cow manure, Chicken manure, Carbonization, Heating value, Yield

· Received : July 17, 2014 · Revised : September 24, 2014 · Accepted : October 8, 2014

*Corresponding Author : Seung-Whee Rhee (E-mail : swrhee@kgu.ac.kr)

Environmental Engineering, Kyonggi University, 94-6 Iui-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 443-760, Korea
Tel : +82-31-249-9736 / Fax : +82-31-258-1165

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

국제적으로 고유가 시대 도래와 환경오염을 대비하여 석유, 석탄 등의 화석연료 사용저감대책을 마련하고 있으며, 이와 동시에 안전하고 친환경적인 에너지 확보에 적극적인 투자를 하고 있다. 또한, 세계 각국의 친환경적 에너지 수요가 증가하면서 신재생에너지에 대한 관심이 급증하고 있으며, 신재생에너지원 확보를 위하여 다각적으로 노력하고 있다. 우리나라도 신재생에너지의 개발과 공급을 확대 실시하기 위하여 2012년부터 신재생에너지 공급의무화 제도(RPS)를 실시하였으며, 발전설비규모 500 MW 이상의 발전 사업자에게 신재생에너지 공급을 의무적으로 시행하도록 하고 있다.¹⁾

그러나 발전사들은 신재생에너지 공급의무화 제도에 따른 의무 이행률을 달성하지 못하고 있으며, 2013년 기준으로 640억 원에 이르는 미이행 과징금을 납부해야 하는 실정이다.²⁾ 이에 따라 우리나라 정부는 의무 이행률을 낮추거나 목표 달성 시기를 늦춰주는 완화 계획을 발표하기에 이르렀고 신재생에너지 산업의 성장을 위하여 다양한 신재생에너지 확보기술이 필요하다. 폐기물과 바이오매스를 이용한 신재생에너지원 확보기술은 다방면에서 연구가 진행되고 있으며, 유기성폐기물 중 가축분뇨는 해양배출이 금지되어 육상처리방안의 시급하며 에너지원으로써 적용하는 방안이 필요하다.

국내 가축분뇨는 2011년도 기준 127,984톤/일이 발생하였으며, 가축분뇨 중 우분은 59,116톤/일, 그리고 계분은 20,561톤/일이 발생하고 있으며³⁾, 두 가축분뇨의 발생량은 전체 가축분뇨 발생량 중 약 62%를 차지하고 있다. 가축분뇨는 비료화, 위탁처리, 공공처리 등으로 처리하고 있으며, 이 중 퇴비화나 액비화를 통한 비료화가 가장 많이 이용되고 있다.

현재 가축분뇨의 처리는 가축전염병의 지속적인 발병과 그로 인한 가축에 대한 항생제 투여가 시행됨에 따라 기존처리방안이 문제시되고 있다. 혐기성소화를 통한 가축분뇨의 가스화는 항생제가 독성물질로 작용하며 혐기성미생물의 활성을 저하시키는 문제점을 나타내고 있다. 또한, 가축분뇨를 이용한 비료는 가축전염병 확산 등의 문제로 이동을 제한하는 경우가 종종 발생하여 가축분뇨 비료화의 문제가 되고 있다. 가축전염병을 예방하며 악취 및 침출수로 인한 2차 오염 피해를 막기 위한 가축분뇨의 위생적 처리는 평균으로 고온, 고압에서 진행되어야 한다. 고온, 고압의 많은 에너지를 소모하는 처리과정과 동시에 탄화공정을 적용함으로써 가축분뇨

의 에너지화를 도모하는 것이 필요하다.

세계 각국에서 목질계 바이오매스를 이용하여 에너지원으로 이용하고 있으며, 다양한 바이오매스를 이용한 탄화기술 개발이 활발하게 추진되고 있다.^{4,6)} 국내의 탄화에 대한 연구는 목질계 바이오매스⁷⁻¹¹⁾와 하수슬러지¹²⁻¹⁵⁾를 이용하여 대부분 진행되고 있으며, 가축분뇨를 적용한 탄화 연구는 계분과 돈분에 대하여 일부 진행되었다. 그러나 조금 더 다양한 유기성 바이오매스를 적용한 탄화공정에 대한 연구와 탄화물의 에너지원으로써의 가치를 평가하는 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 탄화공정에 적용하기 위한 가축분뇨 시료로써 우분을 선정하여 기초적인 열적 특성을 검토하고자 하였다. 또한 우분에 대한 탄화공정 적용성을 검토하고자 우선적으로 가축분뇨의 기초특성인 삼성분, 원소분석, 발열량 등을 파악하고, 이 결과를 계분의 기초특성과 비교 검토를 하였다. 그리고 우분과 계분의 분뇨 탄화물에 대하여 걸보기밀도, 발열량, 수율 등을 비교, 검토하였으며, 탄화시간과 탄화온도에 따른 우분 탄화물의 에너지 특성을 파악하여 최적 탄화조건을 선정하고자 하였으며, 최적 탄화조건을 통하여 얻어진 탄화물의 고형연료로써의 가치를 알아보고자 하였다.

2. 실험 장치와 방법

2.1. 실험 재료

본 연구에서는 가축분뇨 중 우분을 시료로 사용하였으며, 충청북도 J시에서 사육되는 한우분뇨를 사용하였다. 본 실험인 탄화공정에 사용하는 우분시료는 시료의 균질화를 위하여 전처리를 하였으며, 전처리는 105±5°C의 온도에서 24시간 이상 건조 후에 220 μm 크기의 체로 걸러 체를 통과한 건조 우분을 시료로 준비하였다.

2.2. 실험장치 및 방법

가축분뇨 시료 중 계분¹⁶⁾은 기존 연구를 참고하여 시료에 대한 기본 특성과 탄화물에 대한 분석결과를 나타내었으며, 우분은 실험을 진행하여 분석결과를 나타내었다. 가축분뇨 시료는 각 시료의 기본 특성을 삼성분, 걸보기밀도, 원소분석, 발열량 등을 분석결과를 토대로 검토하였고, 가축분뇨를 탄화공정에 적용하여 얻어진 탄화물도 시료와 마찬가지로 기본 특성 분석결과를 토대로 비교 분석하였다.

우분을 탄화시키기 위한 실험장치의 구성은 전기로, 온도조절기, 유량조절기, 석영관, 가스포집장치 등으로

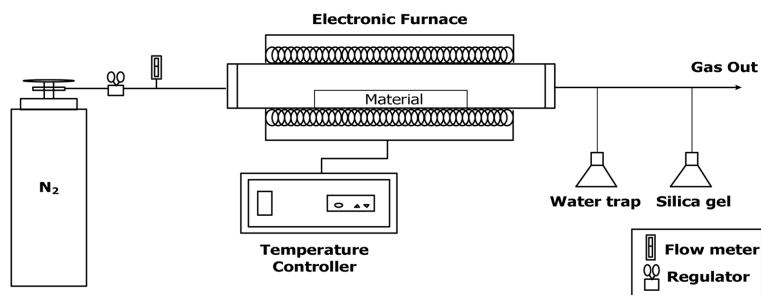


Fig. 1. A schematic diagram of carbonization apparatus for live-stock manure.¹⁷⁾

이루어져있다. 우분 시료가 담긴 석영관은 환원 분위기를 조성하기 위하여 질소가스를 80~100 mL/min의 유량으로 지속적으로 흘려보내주었다. 탄화실험은 환원 분위기가 조성된 이후에 온도를 설정온도까지 승온시켜 설정온도에 도달한 시점부터 탄화시간을 측정하며 실행하였다. 승온속도는 탄화온도 300~350°C에 도달하기까지 약 15분 정도 소모되어 평균 20°C/min으로 나타낼 수 있다. 우분과 계분을 이용한 탄화물의 특성은 탄화 온도를 250°C에서 400°C까지 변화시켜 온도에 따른 영향을 검토하였으며, 탄화 시간을 5분에서 30분까지 변화시켜 시간에 따른 영향도 검토하였다.

우분 탄화물의 기본 특성 파악을 위한 원소분석은 Elemental Analyzer(EA 110)를 이용하여 측정하였고, 발열량 측정은 Bomb Calorimeter(Parr 6201)를 이용하였다. 우분 시료와 탄화물의 열적 특성은 열중량분석기(Thermal Analyzer, STA S-1500)를 이용하여 측정하였다. 연료비를 평가하기 위해 휘발분은 KS E ISO 562, 회분은 KS E ISO 1171의 시험방법에 따라 측정하였으며, 고정탄소는 4성분 분석을 통하여 수분이 제외된 건조 시료에서 휘발분과 회분을 제외하여 구하였다.¹⁸⁻²¹⁾

탄화공정 실험에서 탄화물의 수율(Yield)은 식 (1)에 의해 표현할 수 있다.²²⁾

$$Yield (\%) = \frac{W_f}{W_o} \times 100 \quad (1)$$

여기서 W_o 는 탄화공정 전의 중량, W_f 는 탄화공정 후의 중량을 나타낸다.

가축분뇨의 발열량은 Bomb Calorimeter에 의해 측정되는 측정발열량(H_d)으로부터 고위발열량(H_h)을 식(2)와 같이 구할 수 있으며, 고위발열량으로부터 저위발열량(H_l)을 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$H_h = H_d \times \frac{100 - W}{100} \quad (2)$$

$$H_l = H_h - 600(9H + W) \quad (3)$$

가축분뇨를 포함한 유기성 바이오매스의 탄화물 연소 성지수(Combustibility index, CI)는 식 (4)을 사용하여 산출할 수 있다.²³⁾

$$CI(kcal/kg) = \frac{High \ heating \ value}{Fuel \ ratio} \times (115 - Ash\%) \times \frac{1}{105} \quad (4)$$

여기서 High heating value는 건조기준 고위발열량, Fuel ratio는 탄화물의 연료비, Ash는 탄화물의 회분량을 나타낸다.

3. 연구 결과 및 검토

3.1. 우분과 계분의 기본 특성

탄화 공정에 적용하기 위하여 탄화시료로써 우분과 계분의 기본 특성을 평가하였으며, 기본 특성 평가인자는 삼성분, 원소분석 그리고 발열량을 선정하였다. 우분과 계분의 삼성분 분석 결과는 Table 1에 나타내었으며, 계분의 수분이 81.27%로 높았고 우분의 수분이 75.10%로 낮았으나 대체적으로 높은 수분함량을 보였다. 가연분과 회분은 수분을 모두 제외한 건조기준으로 나타내었을 때 가연분은 우분이 79%로 높았고 계분이 76%로 약간 낮았으며, 이와 반대로 회분은 계분이 24%로 약간 높았고 우분은 21%로 낮게 나타났다. 가축분뇨의 겉보기밀도는 계분이 습윤기준 0.92 g/cm³으로 높았으며, 우분은 습윤기준 0.74 g/cm³로 비교적 낮게 나타났다. 우분과 계분의 발열량은 일반적으로 에너지원으로 판단하는 기준인 저위발열량을 기준으로 비교하였으며, 우분과 계분의 저위발열량은 402 kcal/kg과

Table 1. Proximate analysis of cow and chicken manure

Type		Cow manure		Chicken manure ¹⁶⁾	
		Dry basis	Wet basis	Dry basis	Wet basis
Proximate analysis [%]	Combustible matter	78.80	14.50	75.55	12.39
	Ash	21.20	10.40	24.45	6.34
	Moisture	-	75.10	-	81.27
Bulk density [g/cm ³]		0.522	0.744	0.492	0.916
High heating value (H _h) [kcal/kg]		932		734	
Low heating value (H _l) [kcal/kg]		402		191	

Table 2. Element analysis of cow and chicken manure

Carbonization material	Element content (%)					
	C	H	O	N	S	Ash
Cow manure	49.40	5.90	20.26	3.24	N/D	21.20
Chicken manure ¹⁶⁾	38.24	5.44	28.94	2.23	0.70	24.45

191 kcal/kg으로 매우 낮았다. 우분과 계분의 원소분석 결과는 Table 2에 나타내었으며, 탄화공정에서 최종 생성물로 얻어지는 탄소 함량은 우분이 49%로 높았고, 계분이 38%로 낮았다.

우분과 계분 시료의 열적특성은 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 24시간 이상 건조한 시료를 질소로 조성한 환원분위기에서 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 씩 승온시키며 우분과 계분의 상태 변화를 조사하였다. 우분과 계분의 TGA 곡선은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 200°C 에서 500°C 부근까지 우분과 계분 시료의 중량이 급격하게 감소하였다. 500°C 이후에서도 중량 감소가 있었지만 감소가 완만하게 일어났으며, 900°C 부근까지 중량 감소가 나타났다. 900°C 부근에서 가축분뇨의 중량은 우분이 총 중량의 21%정도까지, 계분이 총 중량의 24%정도까지 감소하였다. 우분과 계분의 DTG 분석 결과는 Fig. 2에 나타낸 바와 같으며 우분은 초기부터 100°C 부근까지 발열반응이 진행되었고 그 이후부터 650°C 부근까지 흡열반응이 진행되었다. 계분은 초기부터 300°C 부근까지 흡열반응이 진행되었고 이후 550°C 부근까지 발열반응이 진행되었다.

3.2. 우분과 계분 탄화물의 특성

3.2.1. 탄화물의 겉보기밀도

탄화공정 실험을 실시한 후, 탄화물의 겉보기밀도는 대체적으로 우분이 높게 나타났고, 계분 탄화물의 겉보기밀도는 우분 탄화물의 겉보기밀도에 비하여 상대적으로

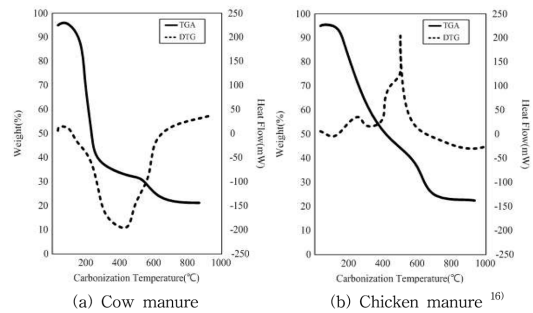


Fig. 2. TGA and DTG curves for cow and chicken manure.

로 낮게 나타났다. 탄화시간에 따른 우분 탄화물의 겉보기밀도는 Fig. 3(a)에서와 같이 탄화시간이 증가할수록 서서히 증가하여 탄화시간 20분에서 $0.74 \text{ g}/\text{cm}^3$ 으로 나타났고 그 이후에서는 거의 일정한 값을 나타내었다. 계분 탄화물은 탄화시간에 따라 겉보기밀도의 차이가 거의 없었으며, 약 $0.25 \text{ g}/\text{cm}^3$ 으로 측정되었다.

탄화온도에 따른 우분 탄화물의 겉보기밀도는 Fig. 3(b)에서와 같이 250°C 의 $0.72 \text{ g}/\text{cm}^3$ 에서 300°C 의 $0.74 \text{ g}/\text{cm}^3$ 으로 증가하였으며, 그 이상의 온도에서는 서서히 감소하였다. 계분 탄화물은 우분 탄화물의 경향과는 상이하게 250°C 의 $0.29 \text{ g}/\text{cm}^3$ 에서 탄화온도 350°C 의 $0.25 \text{ g}/\text{cm}^3$ 으로 감소하여 온도의 증가에 의한 탄화물의 부피팽창이 약간 일어났지만, 그 이상의 온도에서는 거의 일정한 것으로 나타났다.

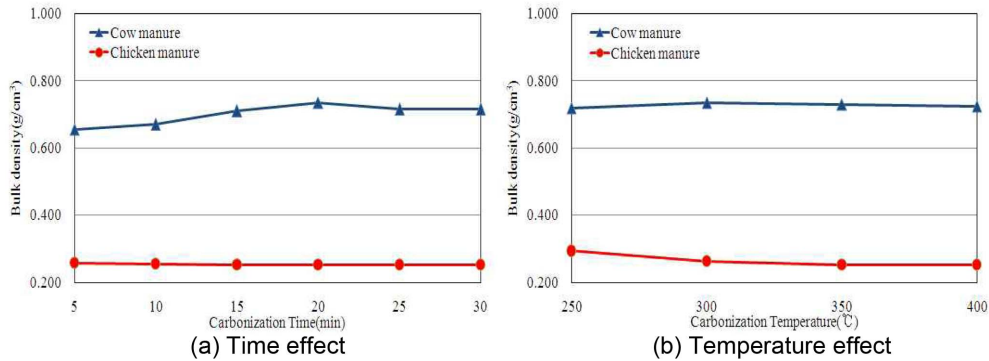


Fig. 3. Bulk density of carbonization residue from cow and chicken manure.

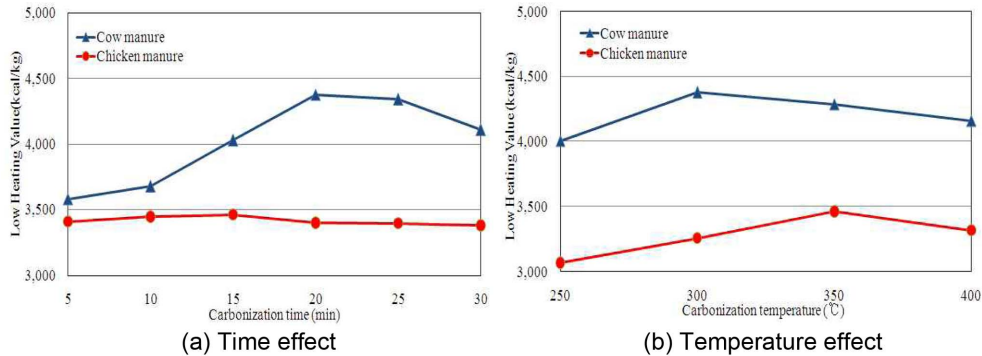


Fig. 4. Low heating value for carbonization residue from cow and chicken manure.

3.2.2. 탄화물의 발열량과 수율

탄화물의 발열량은 에너지원으로서 평가하기 위한 중요한 인자이며 발열량이 높을수록 가치가 높은 에너지원으로 평가한다. 탄화물의 발열량은 탄화공정이 고온에서 진행되며 수분이 모두 제거되므로 측정발열량이 고위발열량으로 평가된다. 하지만 대기 중에 보관하면 수분이 포함되어 고위발열량과 저위발열량이 차이가 날 수 있으나 탄화공정을 거친 탄화물에서의 고위발열량과 저위발열량은 거의 차이가 없다. 탄화시간에 따른 우분과 계분 탄화물의 저위발열량은 Fig. 4(a)에서와 같이 우분 탄화물이 계분 탄화물보다 높은 발열량으로 나타났다. Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 탄화시간에 따른 우분 탄화물의 저위발열량은 5분에서 3,584 kcal/kg으로, 20분에서 4,378 kcal/kg으로 증가하였고, 30분에서는 4,110 kcal/kg으로 감소하였다. 탄화시간에 따른 저위발열량은 계분 탄화물에 대하여 탄화시간 15분에서 3,462 kcal/kg으로 증가하였으나 그 후 시간부터 감소하였다.

Fig. 4(b)에서와 같이 탄화온도에 따른 우분과 계분

탄화물의 저위발열량은 탄화시간에 따른 탄화물의 저위발열량과 동일하게 우분 탄화물과 계분 탄화물의 순서로 측정되었다. 탄화온도에 따른 우분 탄화물은 250°C에서 4,007 kcal/kg으로, 300°C에서 4,378 kcal/kg으로 증가하였고 이후에는 400°C에서 4,163 kcal/kg으로 감소하였다. 탄화온도에 따른 저위발열량은 계분 탄화물에 대하여 탄화온도 350°C에서 3,462 kcal/kg으로 증가하였으나, 400°C부터는 감소하였다. 탄화온도 400°C 이후부터 탄화물의 발열량이 감소하는 이유는 고온에서 탄화물에 자체산화가 일어나기 때문이므로 고온탄화보다는 저온탄화가 에너지 확보 차원에서 매우 큰 장점이 있다.

탄화온도와 탄화시간에 따른 우분과 계분 탄화물의 수율을 검토하여 Fig. 5에 나타내었다. 탄화시간에 따른 우분과 계분 탄화물의 수율은 탄화온도를 가축분뇨 탄화물의 저위발열량이 가장 높게 측정된 온도로 고정하였으며, 탄화시간은 5분부터 30분까지 변화를 주었다. 우분 탄화물의 수율은 Fig. 5(a)에서와 같이 탄화시간 5분에서 59.0%로 나타났고 탄화시간이 증가함에 따라 감소하여 30분에서 51.0%로 나타났다. 계분 탄화물의

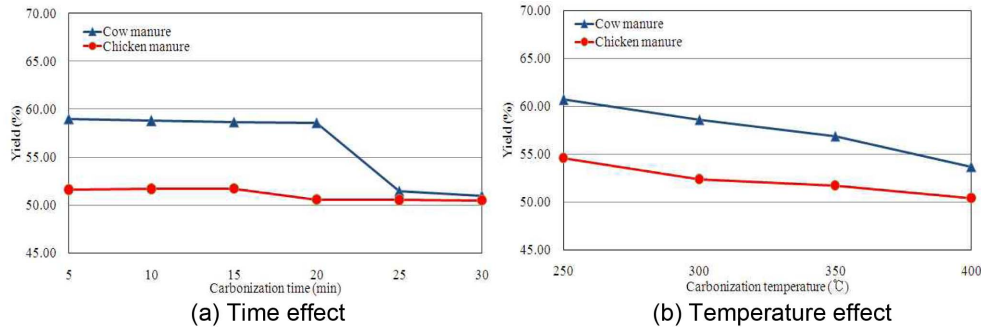


Fig. 5. Yield of carbonization residue from cow and chicken manure.

Table 3. Proximate analysis of carbonization residue from cow and chicken manure

Carbonization material	Carbonization condition	Volatile combustible matter (%)	Fixed carbon (%)	Ash (%)	Combustibility index (kcal/kg)	Fuel ratio
Cow manure	300°C, 20min	33.28	39.43	27.29	3,100	1.18
Chicken manure ¹⁶⁾	350°C, 15min	27.73	34.17	38.10	2,523	1.23

수율은 탄화시간 증가에 따라 탄화시간 5분에서 51.7%로 나타났고 30분에서 51.5%로 나타났다. 탄화시간에 따른 우분과 계분 탄화물의 수율은 탄화시간이 증가함에 따라 우분과 계분 탄화물의 수율이 동일하게 감소하였다. 이러한 경향은 탄화시간이 증가될수록 유기물의 손실이 증가되어 전체 탄화물의 무게가 감소하는 것으로 판단된다.

탄화온도에 따른 탄화물의 수율은 Fig. 5(b)에서와 같이 탄화시간에 따른 탄화물의 수율과 마찬가지로 저위 발열량이 가장 높은 탄화시간으로 고정하여 탄화온도를 250°C에서 400°C로 변화를 주어 평가하였다. 우분 탄화물은 탄화온도 250°C에서 60.7%로, 400°C에서 53.7%로 탄화온도 증가에 따라 수율이 감소하였다. 계분 탄화물은 탄화온도의 증가에 따라 수율이 감소하여 우분 탄화물과 비슷한 경향을 보였다.

탄화시간에 따른 가축분뇨 탄화물의 발열량은 탄화시간이 증가함에 따라 증가하다가 일정 시간 이후에는 감소하고 있다. 그러나 수율은 탄화시간의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있으므로 탄화물의 발열량과 수율을 곱하여 나타낸 총발열량에 의해서 탄화공정의 최적 조건을 설정할 수 있다. 일정한 탄화온도에서의 우분은 탄화시간 20분, 계분은 탄화시간 15분에서 가장 높은 총발열량을 나타내어 이 탄화시간을 최적조건으로 선정하였다.

또한, 가축분뇨 탄화물의 발열량은 탄화온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이다가 일정 온도 이상에

서는 감소하는 것으로 측정되었으며, 탄화물의 수율은 탄화온도가 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 이에 따라 탄화물의 발열량과 수율을 곱한 총발열량은 우분은 300°C에서, 계분은 350°C에서 가장 높게 나타나므로 이 온도를 최적온도로 선정하였다.

3.2.3. 탄화물의 연료비와 연소성지수

우분과 계분 탄화물의 에너지 특성 중 연료비와 연소성지수를 비교하기 위하여 우분과 계분 탄화물 각각의 최적 탄화조건에서 생성된 탄화물의 4성분 분석 결과, 연료비 그리고 연소성지수를 Table 3에 나타내었다. 탄화물의 연료비는 고정탄소와 휘발가연분의 비로써 평가할 수 있으며, 일반적으로 유연탄의 연료비는 1.5 정도로 나타난다. 총발열량에 따른 최적 탄화조건에서 탄화시킨 탄화물의 연료비는 우분이 1.18으로, 계분이 1.23으로 평가되었다. 우분과 계분 탄화물의 연료비는 대체적으로 유연탄의 연료비보다 다소 낮은 것으로 평가되었다.

연소성지수는 발열량, 연료비 그리고 회분함량에 따라 측정할 수 있으며, 탄화물의 연소시 연소성지수가 3,000 kcal/kg에서 5,500 kcal/kg까지의 범위에 존재하면 연료로써 적합하다고 할 수 있다. 최적 탄화조건에 따른 가축분뇨 탄화물의 연소성지수는 우분이 3,100 kcal/kg으로, 계분이 2,523 kcal/kg으로 평가되었다. 우분 탄화물은 연료로 사용하면 단독 연소가 가능한 것으로 평가되었으나, 계분 탄화물은 3,000 kcal/kg 이하의 연소성지수

를 나타내므로 연료의 개질을 통한 연소성지수의 확보가 필요한 것으로 판단되었다.

4. 결 론

우분과 계분은 가축전염병 방지와 악취물질 제거 등의 안전하고 위생적인 처리를 위하여 열적처리가 필요하며, 열처리와 동시에 탄화공정을 도입하였다. 탄화공정에 적용하기 위한 우분과 계분의 삼성분, 원소분석 등으로 기초특성을 파악하고, 탄화공정을 통하여 얻어진 우분과 계분 탄화물의 에너지특성에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 우분과 계분의 삼성분에서 수분함량은 우분 75.1%로 계분 81.3%보다 낮았고, 건조기준에서 가연분은 우분 79%로 계분 76%보다 약간 높았으며, 저위발열량은 우분이 402 kcal/kg으로, 계분 191 kcal/kg보다 약간 높게 나타났다.

2. 우분과 계분의 최적 탄화조건은 탄화물의 저위발열량과 수율을 곱한 총발열량으로 도출하였으며, 우분이 탄화온도 300°C, 탄화시간 20분으로, 계분이 350°C, 15분으로 나타났다. 최적 탄화조건에 따른 우분과 계분 탄화물의 저위발열량은 우분이 4,378 kcal/kg, 계분이 3,462 kcal/kg으로 평가되었다.

3. 최적 탄화조건에 따른 우분과 계분 탄화물의 연료비는 우분이 1.18으로, 계분이 1.23으로 측정되었다. 우분 탄화물의 연소성지수는 3,500 kcal/kg보다 높아 안정적인 연소가 가능하지만 계분탄화물은 기준보다 낮아 연소성지수의 확보가 필요한 것으로 판단되었다.

4. 우분 탄화물은 고품질연료제품 품질기준인 저위발열량 3,500 kcal/kg 이상, 염소 함량 2.0% 이하를 모두 만족하여 에너지원으로 사용할 수 있으나, 계분 탄화물은 저위발열량이 기준에 약간 만족하지 못하였으므로 원료의 개질 등을 통한 발열량 증가가 필요한 것으로 판단되었다.

감사의 말

본 논문은 2014년도 SL공사의 환경에너지대학원 인재양성 프로그램에서 지원받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

References

1. Ministry of trade industry & energy, 2008 : *The 3rd Basic Plan for New and Renewable Energy Technology Development and Usage/Distribution*.
2. Korea energy management corporation, 2013 : *The annual mandatory quotas of the regulated power providers under the RPS*.
3. Ministry of environment, 2011 : *Live-stock manure handling & disposal statics*.
4. Maiti, S., Dey, S., Purakayastha, S., Ghosh, B., 2006 : *Physical and thermochemical characterization of rice husk char as a potential biomass energy source*, Bioresource Technology, 97, pp2065-2070.
5. Pelaez-Samaniego, M. R. et al., 2006 : *Improvements of Brazilzn carbonization industry as part of the creation of a global biomass economy*, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 12, pp1063-1086.
6. Wopasuwannarak, N., Potisri, P., Tanthapanichakoon, W., 2004 : *Carbonization Characteristics of Thai Agricultural Residues*, Sustainable Energy and Environment, pp 302-305.
7. Bae, J. H., 2006 : *Regional economic impact of potential utilization of ligneous biomass*, Proceedings of the 2006 Autumn conference of the Korea society for New and Renewable Energy management, pp217-220.
8. Han, K. S., Kim, B. R., 2006 : *Characteristics of charcoal from wood pellet*, Journal of Korean society of wood science technology, 34(3), pp15-21.
9. Kang, B. S., Park, Y. K., Kim, J. S., 2006 : *Influence od reaction temperature on bio-oil production from rice straw by the pyrolysis*, Journal of Korean Inst. of Resources Recycling, 15(1), pp12-19.
10. Lee, S. H. et al., 2006 : *Characteristics of bio-oil derived from Quercus Acutissima in a fluidized bed pyrolyser*, Journal of Korean Inst. of Resources Recycling, 15(1), pp3-11.
11. Park, S. W., Yang, J. K., Baek, K. R., 2013 : *Fuel ratio and combustion characteristics of torrefied biomass*, Journal of Korea society of waste management, 30(4), pp376- 382.
12. Park, S. W., 2005 : *Carbonization technology for recycling wastes as fuel*, Journal of Korea society of waste management, 22(3), pp226-235.
13. Park, S. W., 2013 : *Effects of carbonization and solvent-extraction on combustion characteristics of sewage sludge*, Journal of Korea society of waste management, 30(5), pp492-498.
14. Rhee, S. W., 2009 : *An energy characteristics of carbonization residue produced from sewage sludge cake*, Korea

- Chem. Eng. Res., 47(2), pp230-236.
15. Rhee, S. W., Park, H. S., 2010 : *An effect of sewage sludge content on energy characteristics of carbonization residue of waste biomass*, Journal of Korea society of waste management, 27(7), pp617-624.
 16. Lee, M. S., Kim, J. K., Rhee, S. W., 2014 : *Characteristics of carbonization residue from chicken manure*, Journal of Korea society of waste management, 31(1), pp105-112.
 17. Rhee, S. W., Choi, H. H., 2009 : *Energy characteristics of carbonization residue produced from food waste*, Journal of Korea society of waste management, 26(1), pp36-43.
 18. Lee, Y. K. et al., 1995 : *Thermo-decomposition behavior of GaAs scrap by thermogravimetry*, Journal of Korean Inst. of Resources Recycling, 4(3), pp10-18.
 19. Rhee, S. W., Cho, Y. H., 2008 : *A study on characteristics of carbonization residue produced from woody biomass*, Journal of Korea society of waste management, 25(6), pp533-539.
 20. Rhee, S. W., 2011 : *An effect of sewage sludge content on energy characteristics of carbonization residue of waste biomass*, Proceedings of the 2011 Spring conference of the Korea society of waste management, pp36-37.
 21. Rhee, S. W., Choi, H. H., Park, H. S., 2011 : *A study on characteristics of carbonization residue produced from manure and woody biomass*, Journal of Korea society of waste management, 27(7), pp617-624.
 22. Rhee, S. W., Choi, H. H., Park, H. S., 2011 : *A study on energy characteristics of carbonization residue produced from rice husk*, Journal of Korea society of waste management, 28(3), pp303-310.
 23. Korea Power Learning Institute, 2008 : *Combustion management practices*, pp224-229.



이 민 석

- 현재 경기대학교 환경에너지공학과 석사과정



김 재 경

- 현재 경기대학교 환경에너지공학과 석사과정



이 승 희

- 현재 경기대학교 환경에너지공학과 교수
- 현재 한국자원리싸이클링학회 정회원