



우분 기반 고품연료의 저위발열량 제고를 위한 도심 유래 폐기물 활용 가능성 연구

박단비¹⁾ · 김철웅²⁾ · 유대황³⁾ · 이경모³⁾ · 허중수⁴⁾ · 임정옥^{3),5)*}

Feasibility Study on Improving Lower Heating Value of Cattle Manure-based Solid Fuel by Utilization of Urban Waste

Danbi Park¹⁾ · Cheol Woong Kim²⁾ · Dae-Hwang Yoo³⁾ · Gyeong Mo Lee³⁾ · Jeung Soo Huh⁴⁾ · Jeong Ok Lim^{3),5)*}

Received 23 May 2019 Revised 2 July 2019 Accepted 12 July 2019

ABSTRACT Cattle manure is a good candidate as a solid fuel. But its heat value is relatively low. Urban waste, such as leaves, coffee sludge, and fruit skin, are being produced increasingly and they require cost and labor for collection and processing. This study evaluated ways to improve the lower heat value of cattle manure-based solid fuel by utilizing urban waste. Among the many type of urban waste, coffee sludge, fallen leaves, and tangerine skin were chosen. Various samples were prepared by mixing cattle manure and urban waste at a ratio of 5:5, and their heating value was analyzed at the Korea Chemical Convergence Research Institute. The results demonstrated that all samples had a heating value higher than 3,000 kcal/kg. Therefore, a mixture of urban waste and cattle manure can be a new renewable energy resource.

Key words Cattle manure(우분), Urban waste(도심폐기물), New and renewable energy(신재생에너지), Lower heating value(저위발열량)

1. 서론

우리나라 에너지원별 소비실적을 보면 2017년 통계청 기준으로 석탄과 석유의 소비실적이 전체 실적의 약 65%를 차지한다^[1]. 그만큼 화석연료는 현대사회에서 없어서는 안 될 에너지 자원이다. 하지만 화석연료는 여러 세대를 거쳐 만들어지고, 재생이 불가능해 이용할 수 있는 양에 한계가 있다. 또한 이를 태울 때 발생하는 물질이 환경오염을 유발하므로 이를 대체할 에너지원에 대한 연구가 오래전부터 이루어져왔다. 우리나라에서도 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(법률 제 14670호, 2017.3.21. 일부개정)’을 만들어 신에너지 및 재생에너지의 기술개발 및 이

-
- 1) Researcher, Institute for Global Climate Change and Energy, Kyungpook National University
 - 2) Post doctor, Institute for Global Climate Change and Energy, Kyungpook National University
 - 3) Professor, Institute for Global Climate Change and Energy, Kyungpook National University
 - 4) Professor, Institute for Global Climate Change and Energy, School of Materials Science and Engineering, Kyungpook National University
 - 5) Professor, Biomedical Research Institute, Joint Institute for Regenerative Medicine, Kyungpook National University

*Corresponding author: jolim@knu.ac.kr

Tel: +82-53-200-6950 Fax: +82-53-427-5447

용을 촉진하고, 활성화하여 환경 보존에 이바지하고자 노력하고 있다.

신·재생에너지 중 하나로 가축분뇨 기반 고형연료가 있다. 가축분뇨는 많은 환경오염의 원인이 되는데, 특히 미세먼지의 원인이 되는 암모니아를 다량 함유하고 있다^[2]. 가축 분뇨를 고형연료화 하면 미세먼지를 줄일 수 있어 환경 개선에 도움이 되고, 축산 농가에서 대용량으로 발생하는 축산 분뇨를 경제적으로 환원할 수 있어 효율적인 자원의 선순환을 돕는다. 특히 축산분뇨 중 우분은 고형연료화에 많이 이용된다.

이성현 등은 우분의 연료적인 특성을 분석했는데 완전 건조 후 발열량이 1,626~4,444kcal/kg으로 나타났으며, 평균 발열량은 약 3,500kcal/kg으로 나타났음을 확인했다^[3]. ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행규칙’에 따르면 바이오 고형연료제품의 저위발열량은 3,000kcal/kg 이상이어야 하므로, 우분은 에너지원으로 충분히 활용할 만한 자원이다^[4].

그러나 이성현 등이 실험한 내용에서 시료 중 발열량이 평균치에 못 미치는 샘플이 많았고, 특히 이물질이 유입되거나 혐기소화과정으로 유기물이 가스화 된 샘플의 발열량이 낮았던 것으로 보아 우분을 안정적으로 고형연료화하기 위해서는 다른 유기물들을 첨가해서 활용하고, 가연성 물질의 유입을 최소화하는 것이 중요할 것으로 판단된다^[3].

우분을 활용한 고형연료의 발열량을 높이기 위해서 우분을 압착 처리해 수분량을 감소시키거나 왕겨, 우드펠릿 등의 바이오매스를 혼합하는 등의 연구가 이루어지고 있다^[5,6]. 이를 참고해서 본 연구에서는 도심에서 쉽게 얻을 수 있는 폐기물 중 유기성 바이오매스 폐기물을 선정해 우분과 혼합하여 우분 기반 고형연료의 저위발열량 제고 가능성을 연구했다. 도심에서 얻을 수 있는 유기성 바이오매스 폐기물로는 커피찌꺼기, 낙엽, 굴껍질을 선정했는데, 이 폐기물들은 발생하는 양에 비해 재활용도가 낮아 처리하는데 많은 비용이 발생한다.

우리나라에서 소비되는 커피는 대부분의 양이 수입되는데 2018년 관세청 통계를 기준으로 약 15만 톤의 커피가 수입됐다^[7]. 커피는 추출 수 98% 이상의 양이 찌꺼기로 남고, ‘폐기물관리법’에 따라 커피찌꺼기는 생활폐기물로 분류되어 대부분 매립 또는 소각 처리된다^[4]. 이혜성 등이 우분에

Table 1. Proximate analysis and ultimate analysis of cattle manure and coffee sludge^[6]

	Moisture (%)	Ash (%)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Cl (%)
Cattle manure	78.8	5.3	7.2	0.9	11.3	0.3	0.1	0.2
Coffee sludge	58.3	0.6	21.5	3.0	16.1	0.8	0.0	0.0

커피찌꺼기를 혼합해서 저위발열량 제고 가능성을 확인했고, 이 연구에서 확인한 우분과 커피찌꺼기의 수분, 회분, 원소 분석 결과를 Table 1에 제시했다^[6]. 연구 결과에 의하면 우분과 커피찌꺼기의 수분을 제외한 회분 등 원소 함량은 고형연료 품질 기준치에 적합하여 연료로써의 활용 가능성이 확인된다. 선행 연구를 참고하여 본 연구에서는 우분과 커피찌꺼기의 수분 값을 낮추기 위해 건조하여 실험에 사용했다.

가로수 낙엽은 2017년 기준으로 서울시의 경우 매년 30,000톤이 발생하고 이 중 58%인 17,400톤이 폐기된다^[8]. 낙엽을 모아서 퇴비로 만드는 등의 친환경적인 처리 방법을 시행하고 있지만, 폐기되는 양이 더 많아 처리에 높은 비용이 발생하므로 효율적인 활용방안에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

감귤은 우리나라에서 가장 많이 생산되고 소비되는 과실이다. 통계청 ‘농작물 생산조사’에 따르면 2017년 기준으로 감귤은 약 59만 톤 생산되었는데, 감귤 껍질은 식용이 어렵고, 과실의 많은 부분을 지하기 때문에 감귤 소비량에 비해 많은 양의 부산물이 발생한다. 껍질은 사료나 한약재 등으로 사용하기도 하지만, 이는 일부분에 불과해 재활용할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다^[9].

따라서 본 연구에서는 발효, 탈취, 건조과정을 거친 우분에 도심에서 발생하는 폐기물인 커피찌꺼기, 낙엽, 굴껍질을 혼합해 저위발열량을 제고할 수 있는지 확인했다. 그리고 낙엽은 매 계절 발생하는 것이 아니므로, 이를 대체할 수 있는 것으로 가로수 중 높은 비율을 차지하는 은행나무와 플라타너스 중 회분 함량이 비교적 낮았던 은행잎을 우분에 혼합해 실험했다^[10].

우분과 각 폐기물들의 혼합 비율은 우분과 커피찌꺼기만을 혼합해 실험한 선행연구를 참고하여^[6] 부스르짐이 적어 펠릿으로 만들 수 있고, 발열량도 3,000kcal/kg 이상으로

나온 5:5의 비율로 결정했다. 우분 연료와 각 시료는 각각 5:5의 비율로 혼합한 다음 한국화학융합시험연구원에 의뢰해 바이오 고품연료제품 품질 기준치에 해당하는 수분 및 회분 분석, 황과 염소 원소 분석, 중금속 함량과 저위 발열량 분석을 통해 연료로써 이용 가능성을 평가했다.

2. 재료 및 실험 방법

2.1 재료

우분연료는 발효, 탈취, 건조과정을 거친 우분연료를 C 회사로부터 제공받아 사용했다. C커피 전문점에서 제공받아 실온에서 건조한 후 사용했다. 은행잎은 ‘그린네츄럴’에서 건조된 은행잎(충북 음성)을 구매해 사용하였고, 낙엽은 직접 길에서 수거해 이물질들을 제거한 뒤, 커피찌꺼기와 같은 실온에서 자연 건조한 후 사용했다. 굴껍질은 대구 약전 골목 한약 재료상에서 구매한 것 300g과 가정에서 발생한 굴껍질을 자연 건조한 것 700g을 사용했다.

2.2 실험방법

우분연료와 커피찌꺼기, 낙엽, 은행잎, 굴껍질을 각각 분

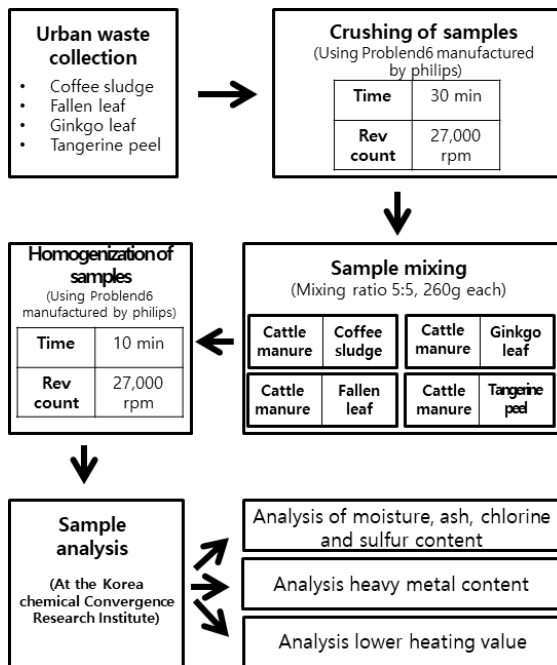


Fig. 1. Schematic drawing of experimental process

쇄한 다음 5:5의 비율로 혼합하고, 이를 한국화학융합시험평가원에 의뢰해 저위발열량, 회분, 수분, 중금속 함량 등을 분석했다. 분석방법은 ‘환경부고시 제 2014-135호’를 따랐고, 분석 장비는 Thermo사의 FLASHEA 1112 Series 원소분석기, Parr 6400 발열량 측정기, 타스 코리아사의 AQF-2100H 할로젠·황 분석기, Perkin Elmer사의 Oprime 5300 DV ICP를 사용했다

2.2.1 시료 분쇄 및 혼합

각 시료를 자연 건조한 후, philips사에서 제조한 problend6 믹서로 분쇄해 가루상태로 만들었다. 분쇄한 시료를 각각 260g 칭량하고, Table 2와 같은 비율로 혼합했다. 혼합한 시료는 믹서를 이용해 27,000rpm으로 10분간 섞은 후, 육안으로 시료의 색이 고루 섞임을 확인하고 혼합을 완료했다. 혼합을 완료한 시료는 비닐팩에 담아 밀봉하여 ‘한국화학융합시험연구원’으로 직접 가져가 시험 분석을 의뢰했다.

Table 2. Samples and materials information

Sample	Material	Ratio of mixture
Control	Cattle manure only	
Sample 1	Cattle manure : Coffee sludge	5:5
Sample 2	Cattle manure : Ginkgo leaf	5:5
Sample 3	Cattle manure : Fallen leaf	5:5
Sample 4	Cattle manure : Tangerine peel	5:5

2.2.2 수분, 회분, 염소, 황 함량 분석 방법

1) 수분 분석

시료를 담은 트레이를 미리 105 ± 2°C에서 1시간 건조시킨 후 즉시 무게를 확인하고 파쇄하지 않은 시료 적당량 (0.5~2kg)을 취하여 트레이와 시료의 무게를 정확히 측정했다.

105 ± 2°C의 건조기 안에서 항량이 될 때까지 건조시킨 다음 즉시 무게를 정확히 3회 측정하여 평균을 결과 값으로 했다.

트레이의 무게로부터 다음 식에 따라 시료의 수분을 계산하고, 소수점이하 첫째 자릿수까지 표기했다.

$$\text{수분(\%)} = \frac{(M_2 - M_1) - (M_3 - M_1)}{(M_2 - M_1)} \times 100$$

M_1 : 건조된 빈 트레이의 무게(g)

M_2 : 트레이와 시료의 무게(g)

M_3 : 트레이와 건조 후 시료의 무게(g)

2) 회분 분석

도가니를 미리 $550 \pm 10^\circ\text{C}$ 에서 30분간 강열하고 데시케이터 안에서 식힌 후 사용하기 직전에 무게를 단 다음 건조된 분석용 시료 적당량(20g 이상)을 취하여 도가니와 시료의 무게를 정확히 측정했다.

질산암모늄용액(25%)을 넣어 시료를 적시고 가열로의 온도를 $250 \pm 10^\circ\text{C}$ 까지 약 50분간 올리고, 60분간 온도를 유지하여 휘발성분들이 날아갈 수 있도록 했다. 가열로의 온도를 60분간 분당 5°C 올린 후 이 온도를 최소 120분간 유지시켜 가열한 도가니는 꺼내어 두꺼운 철판에서 약 10분간 식도록 둔 후 실리카겔이 담겨있는 데시케이터 안에 넣어 주위온도까지 온도가 떨어지면 무게를 정확히 3회 측정하고 평균을 결과 값으로 했다.

시료와 도가니의 무게로부터 다음 식에 따라 건조된 시료의 회분함량(%)을 계산하고, 소수점 이하 첫째 자릿수까지 표기한다.

$$\text{회분함량(\%)} = \frac{(M_3 - M_1)}{(M_2 - M_1)} \times 100$$

M_1 : 도가니의 무게(g)

M_2 : 연소 전의 도가니와 시료의 무게(g)

M_3 : 연소 후의 도가니의 무게(g)

3) 염소, 황 함량 분석

이온크로마토그래프를 이용하여 분석했다. 장치에 표준 용액을 먼저 주입하여 검정곡선을 작성한 다음, 여과한 시료를 이온크로마토그래프에 주입하여 크로마토그램을 측정 한 다음 미리 작성한 검정곡선으로부터 시료의 농도(mg/L)을 산출했다.

2.2.3 중금속 분석 방법

마이크로파 용해법, 오븐용해법, 산분해법 중 하나의 방법으로 금속별로 시료에 맞게 전처리한 후 유도결합플라즈마/원자발광분광법, 원자흡수분광광도법 및 전용 분석 방법을 사용하여 기기분석을 통해 금속 함량을 분석했다.

2.2.4 저위발열량(HI) 분석 방법

채취시료의 수분 함량(%)을 측정하고 105°C 에 건조한 분석용 시료를 발열량측정기를 사용하여 시료의 고위발열량(Hh)을 측정했다.

Thermo사의 FLASHEA 1112 Series 원소분석기를 사용하여 시료의 수소 함량(%)을 측정한 후 저위발열량을 아래 식에 의해 산출하였고, 나온 결과 대조군인 우분만을 실험한 결과값과 실험군간의 차이에 대한 유의성을 T -검정으로 통계분석 하였다. 대조군을 제외한 실험군 샘플들은 각 3회 반복 시험하였다.

$$HI = Hh - 600 \times \{9 \times H / 100 \times (1 - W / 100) + W / 100\}$$

HI : 저위발열량(cal/g)

Hh : 고위발열량(cal/g)

H : 수소 함량(%)

W : 수분 함량(%)

3. 결과 및 고찰

3.1 수분, 회분, 염소, 황 함량 분석 결과 및 고찰

수분, 회분, 염소 및 황의 함량을 분석한 결과를 Table 3에 제시했다. 각 시료의 수분량은 커피찌꺼기를 혼합한 시료가 11.7%, 낙엽을 혼합한 시료가 9.1%, 은행잎을 혼합한 시료가 8.8%, 굴껍질을 혼합한 시료가 9.9%로 모두 고형연료 품질기준치인 25% 이하에 모두 적합한 것으로 나타났다.

회분량은 커피찌꺼기를 혼합한 시료가 23.5%, 낙엽을 혼합한 시료가 29.5%, 은행잎을 혼합한 시료가 21.1%, 굴껍질을 혼합한 시료가 28.8%로 고형연료제품의 기준치인

Table 3. Total moisture, ash, contents of chloride and sulfur, heavy metal in samples

	Total moisture (%)	Ash (%)	Cl (%)	S (%)	Heavy metal (mg/kg)				
					Hg	Cd	Pb	As	Cr
Quality standard value	≤25	≤15	≤0.5	≤0.6	≤0.6	≤ 5.0	≤ 100.0	≤ 5.0	≤ 70.0
Sample 1	11.7	23.5	0.49	0.0	0.04	0.09	4.5	ND	8.1
(Mixed with coffee sludge)									
Sample 2	9.1	29.5	0.54	0.0	0.04	1.29	9.6	ND	17.7
(Mixed with fallen leaf)									
Sample 3	8.8	21.1	0.73	0.0	0.02	1.10	8.2	ND	14.6
(Mixed with ginkgo leaf)									
Sample 4	9.9	28.8	1.18	0.0	0.02	1.19	5.0	ND	10.9
(Mixed with tangerine peel)									

15% 이하를 초과한 값으로 나타났다.

황은 모든 시료에서 검출되지 않았고 염소 함량은 커피 찌꺼기를 혼합한 시료에서 0.49%, 낙엽을 혼합한 시료에서 0.54%, 은행잎을 혼합한 시료에서 0.73%, 굴껍질을 혼합한 시료에서 1.18%로 나타났다.

본 실험에서 분석한 결과와 비교하게 위해서 기존에 연구된 우분, 커피찌꺼기, 낙엽의 회분 함량을 Table 4에 제시했다. 이성현 등이 연구한 ‘우분과 커피찌꺼기 혼합물의 고행연료로서의 활용 가능성’ 연구 결과를 보면 우분과 커피찌꺼기의 회분량은 각각 5.3%, 0.6%로 고행연료제품 품질 기준치에 적합한 값이 나타났고^[6], 김동섭 등이 연구한 ‘낙엽 기반 펠릿의 특성 변화 연구’에서는 플라타너스 잎과 은행잎의 회분이 각각 4.8%, 4.5%로 5% 이하의 값으로 나타났다^[8].

이러한 기존 연구들을 참고했을 때, 커피찌꺼기와 낙엽 및 은행잎을 혼합한 시료의 회분량이 고행연료제품 품질

기준치를 넘어서지 않을 것으로 보이나 본 연구에서는 회분량이 고행연료 품질 기준치를 넘어서는 것으로 결과가 나타났다. 이는 종류가 같은 시료라 하더라도 시료를 얻은 경로에 따라 회분량이 달라지는 것으로 판단된다. 특히, 낙엽의 경우 은행잎만을 혼합한 시료에 비해서 회분량이 높았던 것으로 보아 본 연구에서 낙엽을 직접 수거하여 실험을 진행했기 때문에 혼입된 이물질이 비교적 많아 회분 함량이 더 높아진 것으로 보인다.

염소 함량도 커피찌꺼기를 혼합한 시료를 제외한 시료에서는 기준치인 0.5%이하보다 높은 값으로 나타났다. 특히 굴껍질에서 가장 높은 염소 함량이 나타났는데, 굴껍질을 손으로 제거하는 과정에서 염화나트륨이 유입되었거나, 시료를 보관하는 과정에서 주변의 염소가 유입된 것으로 보여 충분히 보완 가능할 것으로 판단된다.

3.2 중금속 분석 결과 및 고찰

중금속 분석 결과를 Table 3에 제시했다. 수은의 경우 바이오 고행연료제품 품질기준치가 0.6mg/kg 이하이고, 커피를 혼합한 시료에서 0.04mg/kg, 낙엽을 혼합한 시료에서 0.04mg/kg, 은행잎을 혼합한 시료에서 0.02mg/kg, 굴껍질을 혼합한 시료에서 0.02mg/kg으로 나타났다. 카드뮴은 품질기준치가 5.0mg/kg 이하이고, 커피를 혼합한 시료에서 0.09mg/kg, 낙엽을 혼합한 시료에서 1.29mg/kg,

Table 4. Ash content of cattle manure, coffee sludge and tangerine peel^[6,8]

Sample	Ash content(%)
Cattle manure	5.3
Coffee sludge	0.6
Tangerine peel	4.5

은행잎을 혼합한 시료에서 1,10mg/kg, 굴껍질을 혼합한 시료에서 1,19mg/kg 나타났다.

납은 품질기준치가 100mg/kg 이하이고 커피를 혼합한 시료에서 4.5mg/kg, 낙엽을 혼합한 시료에서 9.6mg/kg, 은행잎을 혼합한 시료에서 8.2mg/kg, 굴껍질을 혼합한 시료에서 5.0mg/kg로 나타났다.

비소는 모든 시료에서 검출되지 않았고, 마지막으로 크롬은 품질기준치가 70.0mg/kg 이하이고 커피를 혼합한 시료에서 8.1mg/kg, 낙엽을 혼합한 시료에서 17.7mg/kg, 은행잎을 혼합한 시료에서 14.6mg/kg, 굴껍질을 혼합한 시료에서 10.9mg/kg로 나타났다. 따라서 모든 시료의 중금속 함량은 기준치에 적합한 것으로 확인됐다.

3.3 저위발열량 분석 결과 및 고찰

저위발열량 분석 결과를 Fig. 2와 Table 5에 제시했다. 대조군인 우분연료의 저위발열량은 2,760kcal/kg로 고정

연료의 기준치^[9]인 3,000kcal/kg에 미치지 않았다. 커피찌꺼기를 혼합한 시료의 저위발열량은 3,510kcal/kg, 3,290kcal/kg, 3,500kcal/kg으로 평균 3,500kcal/kg의 비교적 높은 저위발열량이 나타났고 표준편차는 10kcal/kg으로 나타났다. 낙엽을 혼합한 시료의 저위발열량은 3,440kcal/kg, 3,110kcal/kg, 2,950kcal/kg으로 평균 3,167kcal/kg, 표준편차 250kcal/kg으로 나타났다. 은행잎을 혼합한 시료의 저위발열량은 3,270kcal/kg, 3,230kcal/kg, 3,220kcal/kg으로 평균값 3,230kcal/kg, 표준편차 26kcal/kg으로 나타났다. 굴껍질을 혼합한 시료의 저위발열량은 3,220kcal/kg, 2,950kcal/kg, 2,980kcal/kg으로 평균 3,050kcal/kg, 표준 편차 148kcal/kg으로 나타났다. 저위발열량의 평균값은 커피찌꺼기, 은행잎, 낙엽, 굴껍질 순으로 높았고 모든 시험군의 저위발열량은 대조군의 저위발열량보다 높게 나타났다. 표준편차는 낙엽을 혼합한 시료에서 가장 높게 나타났는데, 이는 낙엽을 직접 수거하

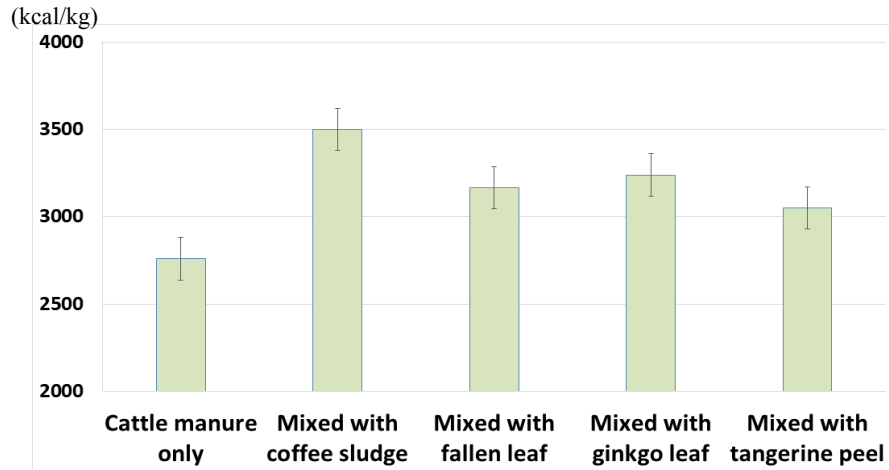


Fig. 2. Lower heating value of tested samples (mean±SD), n=3

Table 5. Statistical figures of lower heating value of tested samples

	Control (Cattle manure only)	Sample1 (Mixed with coffee sludge)	Sample2 (Mixed with fallen leaf)	Sample3 (Mixed with ginkgo leaf)	Sample4 (Mixed with tangerine peel)
Test1	2760	3510	3440	3270	3220
Test2		3490	3110	3230	2950
Test3		3500	2950	3220	2980
Mean	2760	3500	3167	3240	3050
SD		10	250	26	148
p-value		0,00006087	0,1062	0,001011	0,07692

는 과정에서 이물질이 섞여서 구성 성분이 고르지 못하기 때문인 것으로 보인다. 각 시료의 저위발열량과 대조군의 저위발열량을 t -검정으로 통계적인 유의성을 확인한 결과, 커피찌꺼기를 혼합한 시료와 은행잎을 혼합한 시료의 p -value가 0.01값 이하로 나온 것으로 대조군의 저위발열량 값과는 확실히 차이가 나타나 이 두 물질을 혼합하였을 때는 발열량이 증가하는 것으로 확인된다.

4. 결론

본 연구에서는 가축분뇨를 이용한 고행연료 중 연소성이 가장 좋은 우분을 기반으로 만든 연료의 저위발열량을 높이기 위해 도심에서 발생하는 폐기물 중 발생량에 비해 재활용도가 낮고, 주변에서 쉽게 구할 수 있는 커피찌꺼기, 은행잎, 굴껍질을 혼합하여 바이오 고행연료제품 품질 기준치에 해당하는 수분, 회분, 염소, 황분, 중금속 함량 및 저위발열량을 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 우분연료만을 시험했을 때는 저위발열량이 2,760 kcal/kg으로 ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행규칙’에 따른 고행연료 저위발열량 기준치 이하의 값이 나왔다. 우분연료의 저위발열량의 편차가 큰 것을 감안했을 때,^[3] 우분은 연료로써의 가능성은 있지만, 단일 연료로 사용했을 때 안정적으로 3,000 kcal/kg 이상의 저위발열 내지 못하기 때문에 다른 유기물을 혼합하여 효율적인연료로 개발할 필요성이 있다.
- 2) 도심에서 쉽게 구할 수 있고, 발생량에 비해 재활용도가 낮아 많은 처리 비용이 발생하는 커피찌꺼기, 낙엽, 굴껍질 등을 우분연료에 혼합했을 때, 연료로 활용 가능한 지를 확인하기 위해 고행연료 품질 기준 따라 수분, 회분, 황과 염소의 함량, 중금속 함량을 분석했다. 그 결과, 회분과 염소의 함량을 제외한 모든 값이 고행연료 품질 기준치에 적합한 것으로 확인됐다. 회분과 염소 함량도 기준치에 많이 벗어나지 않고, 선행 연구를 참고했을 때 우분과 커피찌꺼기, 낙엽 등의 회분 및 염소 함량이 기준치를 넘어서지 않

기 때문에 시료를 잘 선택하고 품질 기준을 만족하는 혼합 비율을 추가적으로 확인하여 보완 가능할 것으로 보인다.

- 3) 우분을 기반으로 한 고행연료에 커피찌꺼기, 낙엽, 은행잎, 굴껍질을 혼합한 각 시료의 평균 저위발열량은 커피찌꺼기를 혼합한 시료가 3,500kcal/kg, 낙엽을 혼합한 시료가 3,167kcal/kg, 은행잎을 혼합한 시료가 3,240kcal/kg, 굴껍질을 혼합한 시료가 3,050 kcal/kg으로 모두 3,000kcal/kg 이상으로 나타났다. 특히, 커피찌꺼기와 낙엽을 혼합한 시료의 저위발열량은 대조군인 우분의 저위발열량과의 p -value가 0.01이하인 유의한 값으로 통계 분석되어 우분을 기반으로 한 고행연료에 도심에서 발생한 폐기물을 혼합하였을 때, 우분의 저위발열량을 제고할 수 있음이 확인됐다.

본 연구를 통해 도심폐기물을 우분에 섞었을 때 발열량이 모두 높아진 결과를 얻었다. 회분과 염소의 함량이 고행연료 품질 기준치를 넘어서는 값으로 나타났으나 기존 연구를 참고했을 때, 각 시료의 회분 및 염소 함량이 품질 기준치를 많이 넘어서지 않기 때문에 적절한 혼합 비율을 찾는 추가적인 연구를 진행하면 품질기준치에 적합한 고행 연료를 만들 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 도심에서 발생한 커피찌꺼기, 낙엽, 굴껍질과 같은 폐기물을 우분에 혼합하였을 때, 새로운 신재생 에너지 원으로 활용할 수 있는 가능성이 있음을 확인했다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(No. 20174010201420)과 한국남부발전, 산림청의 융·복합 기반 임산업의 신산업화 기술개발 과제(과제번호 2017057A001720-AB01)의 지원을 받아 수행하였기에 이에 감사드립니다.

References

- [1] Korean Statistical Information Service, “Consumption performance statistics by energy source in Korea”, http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01#SelectStatsBoxDiv
- [2] Shin, D.W., Joo, H.S., Seo, E.J., and Kim, C.Y., 2017, “Preliminary Study on Ammonia Management Policy to Reduce Secondary Generation of Fine Dust”, Korea Environmental Institute.
- [3] Lee, S.H., Yu, B.K., Ju, S.Y., Kang, Y.G., and Jung, G.H., 2016, “Characteristics of solid fuel from cattle manure”, *New. Renew. Energy*, 12(4), 64-69.
- [4] Enforcement Rule of the Law Concerning the Promotion of Saving and Recycling of Resources (Ministry of Environment ordinance No.798. 2018. 12. 31), <http://www.law.go.kr/lsBylInfoP.do?bylSeq=7902941&lsiSeq=206534&efYd=20190101>
- [5] Jeong, K.H., Kim, J.K., Lee, D.J., and Cho, W.M., 2016, “Effect of Compression Treatment on Characteristics of Solidified Cow Manure Fuel”, *J. of KORRA*, 24(2), 67-74.
- [6] Lee, H.S., Hwang, D.H., and Kim, Y.J., 2016, “Availability of mixture of cattle manure and used coffee grounds as solid refuse fuel”, *Journal of the Korean Society of Urban Environment*, 16(2), 201-205.
- [7] Korea Customs Service, 2018 Customs Service Trade Statistics, <https://unipass.customs.go.kr:38030/ets/>
- [8] Kwon, E.J., Kil, T.H., Woo, J.M., Yu, Y.K., and Park, Y.S., 2017, “A Study on the Preparation of Biomass Adsorbent from Oak Fallen Leaves”, *J. of KSWN*, 34(4), 395-401.
- [9] Choi, G.W. and Lee, J.W., 2017, “Physicochemical Quality Characteristics of Pork Patty with Tangerine (Citrus unshiu) Peel”, *J. Life Sci.*, 27(2), 123-130.
- [10] Kim, D.S., Kim, D.S., and Sung, Y.J., 2018, “Modification of the functional properties of the pellet made with fallen leaves”, *J. Korea TAPPI*, 50(30), 12-18.
- [11] Kim, S.J. and Lee, J.H., 2013, “A study on the possibility that livestock waste to RDF”, *J. of KORRA*, 21(2), 51-55.
- [12] Choi, Y.S., Choi, S.K., Kim, S.J., Jeong, Y.W., and Han, S.Y., 2018, “Bio-SRF Production from Organic Wastes and Co-combustion of bio-SRF with Pulverized-coal”, *New. Renew. Energy*, 14(3), 37-43.