

반탄화 기술을 이용한 가축분뇨의 고형연료화 가능성 연구

이용호* · 어용 에르덴 · 박대원†

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지환경공학과
(2019년 4월 24일 접수: 2019년 6월 27일 수정: 2019년 6월 27일 채택)

Feasibility Study on Use of Livestock Manure as Solid Refuse Fuel by Torrefaction Method

Yongho Lee* · Oyun-Erdene Sanjusren · Daewon Pak†

*Department of Environment Energy Engineering, Graduate School of Energy & Environment,
Seoul National University of Science & Technology*

(Received April 24, 2019; Revised June 27, 2019; Accepted June 27, 2019)

요약 : 본 논문은 유기성 폐자원의 하나인 가축분뇨(우분)를 사용하여 고형연료화 가능성을 연구하고자 하였으며 생성물 제작 시 반탄화 방법을 이용하였다. 우분의 낮은 발열량을 개선하기 위해 첨가물을 사용하였으며 첨가물은 입엽부산물인 톱밥과 계절성 폐기물인 낙엽을 사용하여 폐기물을 자원화 하고자 하였다. 반탄화 실험 진행 시 반응온도는 200-260°C까지 20°C씩 차이를 두어 생성물을 제작하였으며 반응 시간은 15분, 30분, 45분으로 나누어 생성물을 제작 후 실험 조건이 반탄화 생성물에 미치는 영향을 알고자 하였다. 첨가물은 우분 대비 9:1, 8:2(우분:첨가물)의 비율로 섞어 시료 제작 후 반응생성물을 제작하였다. 본 실험을 통해 우리나라 고형연료제품 기준인 3,500 kcal/kg에 준하는 생성물을 얻을 수 있었으며, 첨가물을 추가하여 개선된 생성물을 얻을 수 있었다.

주제어 : 고형연료, 낙엽, 반탄화, 유기성폐자원, 톱밥

Abstract : In the study, used torrefaction method to make sample from organic waste of livestock manure for Biomass-solid refuse fuel feasibility study of torrefied materials. Fallen leaves and sawdust added in torrefaction methods with livestock manure, that additives were used to improve the lower calorific value of livestock manure. During the torrefaction experiment, the reaction temperature was varied from 200 °C to 260 °C and 20 °C to prepare a sample. The reaction time was divided into 15, 30 and 45min to determine the effect of the experimental conditions on the torrefied products. The additives were mixed at a ratio of 9:1 and 8:2 (Cow manure: additive) relative to the livestock manure. Through this experiment, it was obtained 3,500 kcal/kg standard product of solid fuel produced in Korea and improved product was obtained by adding additives.

†Corresponding author
(E-mail: daewon@seoultech.ac.kr)

Keywords : Fallen leaves, Livestock manure, Organic waste, Sawdust, Solid refuse fuel, Torrefaction subscript, MCA Analysis: moisture, combustible, ash analysis

1. 서론

우리나라는 에너지의 약 96% 이상을 수입에 의존하고 있으며, 총 소비에너지의 약 35%를 차지하는 석유의 경우 국제유가 변동 시 우리나라 경제적 변화를 즉각적으로 야기하게 되어 에너지 안보 측면에서 매우 취약한 상태이다. 따라서 지속개발 가능한 에너지원 확보 및 기술개발이 필요하다. 우리나라의 바이오에너지 잠재량은 총 14.1천만 Gcal/년으로, 임업부산물 9.5천만 Gcal/년(67.9%), 도시고형폐기물 2.4천만 Gcal/년(16.7%), 가축분뇨 1.6천만 Gcal/년, 농산부산물 0.6천만 Gcal/년(4.0%) 순으로 집계되고 있다. 가축분뇨는 농촌에서 발생하는 주요한 바이오에너지 자원으로 향후 농업부문 바이오에너지 개발 및 이용에 있어 중요한 위치를 차지하고 있다 [1]. 가축분뇨를 에너지원으로 사용하고자 하는 시도는 지속되어 왔지만 제도적 기준이 없었기 때문에 주로 퇴비화를 통한 처리에만 크게 의존하고 있다. 하지만 퇴비화를 통한 가축분뇨 처리 시 도시화로 인해 농경지의 지속적인 감소율을 보이고 있는 우리나라 상황에서 수용의 한계를 보이고 있다[2,3]. 가축분뇨를 단독으로 사용해 고형연료화 시 원료의 낮은 발열량으로 인해 연료화의 어려움을 갖는다. 따라서 임업부산물(톱밥) 등을 혼합 후 발효, 건조시켜 성형 시 고형연료로써 가치를 높일 수 있다[4-6].

폐목재의 경우 발생량은 연간 약 5,115톤/일이 발생하며 이 중 임업부산물이 약 48%로 가장 높

은 발생량을 보이고 있다. 이 중 톱밥은 주로 축산폐수 정화용, 유기질비료 제조용 및 연료 등으로 사용되어 왔으나 목재자원의 자급률이 10%미만인 현 상황에서 수입이 발생하는 실정이며, 일반폐기물로 분류되어 처리 및 관리가 어려워 환경오염의 원인으로 간주되고 있다[7-9]. 이와 더불어 낙엽의 경우 계절성 폐기물로 연간 약 4만톤이 발생되고 있지만, 발생량의 약 12%만이 재활용되고 있으며 단순소각 및 매립으로 처리되고 있어 국토가 제한적인 우리나라의 경우 처리 시 많은 비용이 발생되고 있다[10].

본 연구는 비교적 낮은 반응온도에서 이뤄지는 반탄화(torrefaction) 방법을 통해 원료의 손실을 최소화 하여 고형연료 가능성을 도출하고자 하였으며, 톱밥과 낙엽을 첨가제로 사용하여 폐자원 재활용과 더불어 원료의 낮은 발열량을 개선하여 고형연료로써 사용 가능성을 도출하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구는 반탄화 반응을 통해 가축분뇨를 사용하여 고형연료 가능성을 도출하고자 하였으며, 반응물 생성 시 낮은 원료의 발열량 개선을 위해 임업부산물인 톱밥과 계절성 폐기물인 낙엽을 첨가제로 사용하여 생성물을 개선하고자 하였다. 실험 진행 시 열에너지는 전기적 회화로를 사용하여 공급하였으며 사용된 반응기는 Fig. 1과 같다. 반응기는 총 부피 1.3L의 스테인레스강으로 제작

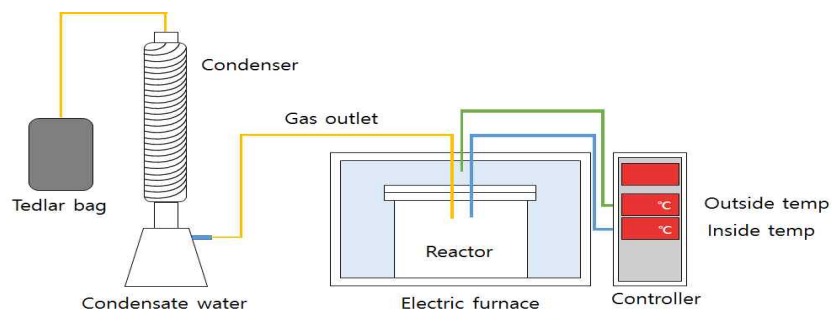


Fig 1. Schematic diagram of torrefaction reactor.

하였으며, 반응기 내부와 회화로 내부의 온도 센서를 부착하여 반응온도 차이를 최소화 하고자 하였다. 발생하는 가스는 응축기를 통해 침출수와 가스로 분리하여 포집하였다.

2.1. 실험재료

본 연구를 위해 가축분뇨(우분)는 경기도 안성에 위치한 한우농가에서 채취 후 사용하였으며 실험에 사용된 우분의 물리·화학적 조성은 Table 1과 같다.

실험 진행 시 우분의 함수율과 낮은 발열량을 개선시키기 위해 첨가제(톱밥, 낙엽)를 추가하여 생성물을 제작하였다. 첨가제 중 톱밥은 서울시 노원구에 위치한 목공소에서 배출된 폐목재 재활용 1등급에 해당하는 부산물을 사용하였으며 물리·화학적 조성은 Table 2와 같다. 또한 서울시 노원구에 위치한 S대학의 캠퍼스 내 발생된 활엽수의 낙엽을 채취 후 파쇄 하여 실험을 진행하였으며, 사용된 낙엽의 물리·화학적 조성은 Table 3과 같다.

2.2. 실험방법

반탄화 방법을 통해 생성물 제작 시 반응온도는 200–260°C로 20°C씩 차이를 두어 반응온도가 생성물에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 반응시간은 15분, 30분, 45분으로 차이를 두어 진행하였다.

실험 진행 시 질소를 충전하여 무산소 상태의 조건으로 반응을 진행하였다. 생성물 제작 시 100 g을 투입하여 실험을 진행하였으며, 첨가제 추가 시 9:1, 8:2(우분:첨가제)의 wt%비율로 혼합 후 폐기물공정시험법 제 2항의 구획법을 이용하여 혼합시료 제작 후 실험을 진행하였다.

2.3. 분석방법

반탄화 생성물은 삼성분석, 원소분석(Vario macro cube, GmbH, Germany), 발열량분석(AC500, Leco, U.S.A), FT-IR(Nicolet iS10, Thermo scientific, U.S.A) 분석을 진행하였으며 이를 통해 고형연료로써 사용 가능성을 도출하고자 하였다.

Table 1. Physical and chemical composition of livestock manure

MCA Analysis(%)		Ultimate Analysis(wt%)	
Moisture	68.94	C	3.25
		H	8.01
Combustion	15.27	O	8.39
		S	0.18
Ash	15.79	N	29.44

Table 2. Physical and chemical composition of sawdust

MCA Analysis(%)		Ultimate Analysis(wt%)	
Moisture	5.28	C	44.80
		H	5.64
Combustion	15.27	O	89.88
		S	45.74
Ash	15.79	N	0.13

Table 3. Physical and chemical composition of fallen leaves

MCA Analysis(%)		Ultimate Analysis(wt%)	
Moisture	28.70	C	32.45
		H	4.63
Combustion	15.27	O	62.31
		S	40.24
Ash	15.79	N	0.14

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 삼성분 분석(MCA Analysis)

반탄화 반응을 통해 생성된 생성물의 삼성분 분석을 진행하였다. 분석 진행 시 폐기물 공정시험법을 사용하여 진행하였으며 생성물의 수분변화는 Fig. 2와 같다. 초기 시료 분석 시 톱밥의 경우 낙엽에 비해 낮은 수분함량을 갖는 것을 알 수 있었다. 회분함유량 역시 낙엽이 더 높은 것을 알 수 있었는데, 이는 낙엽의 경우 대기 중 노출기간이 길어짐에 따라 먼지와 이물질 등의

영향으로 더 높은 회분과 함수율을 나타낸 것으로 사료된다. 화력발전소의 경우 회분 발생 시 회분의 용융으로 인하여 회분 응집현상이 발생되는데, 회분 응집 시 공정의 효율성 감소를 야기하기 때문에 고형연료 제작 시 회분의 함량은 중요하다 할 수 있다[11-15]. 삼성분 분석 결과 가축분뇨를 사용하여 고형연료화 진행 시 회분의 발생량 측면에서 가축분뇨 단독 사용 대비 톱밥을 첨가물로 섞어 사용 할 시 회분의 감소를 일으켜 더욱 효과적인 고형연료 제작이 가능할 것이라 판단된다.

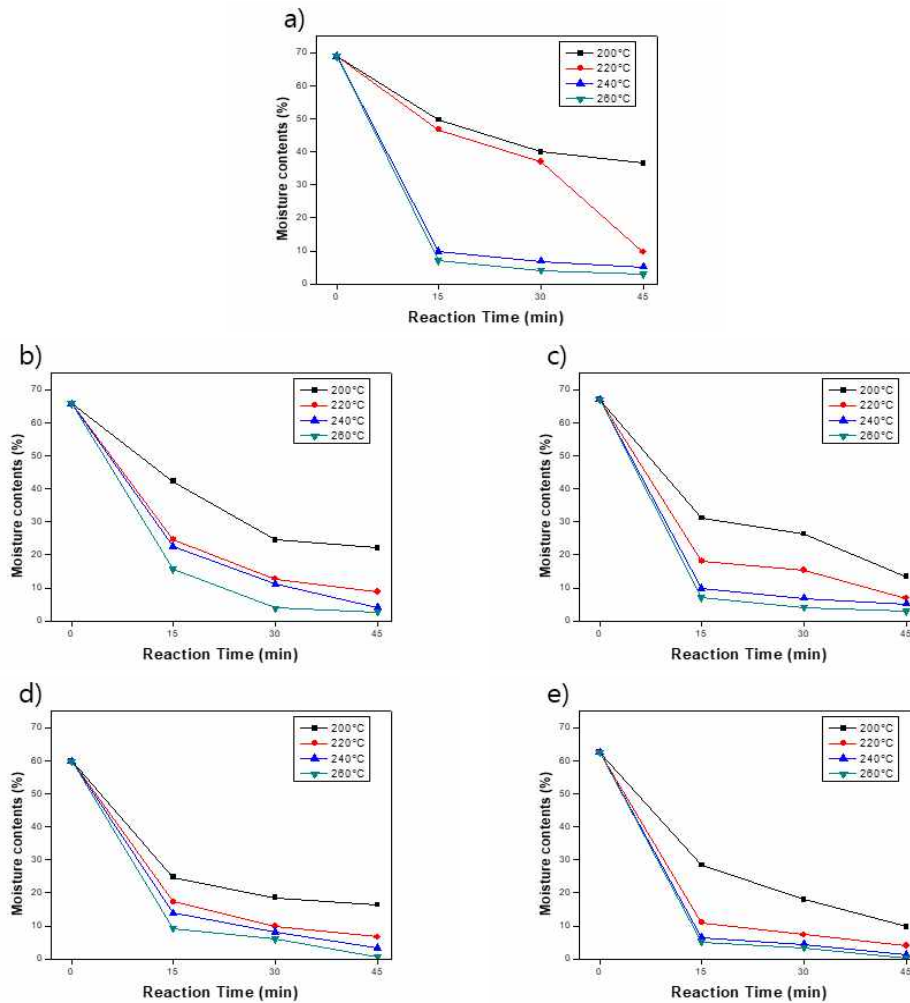


Fig. 2. Moisture analysis of torrefied products a) cow manure, b) cow manure and sawdust mixture(9:1), c) cow manure and fallen leaves mixture(9:1), d) cow manure and sawdust mixture(8:2), e) cow manure and fallen leaves mixture(8:2).

Table 4. Cow manure product MCA analysis

Classification		Moisture(%)	Combustion(%)	Ash(%)
Condotion	Temp			
RT	Temp			
Raw product		68.94	15.27	15.79
15min	200℃	49.78	34.22	16.00
	220℃	46.80	36.93	16.27
	240℃	36.96	45.74	17.30
	260℃	31.56	50.97	17.47
30min	200℃	40.04	43.63	16.33
	220℃	37.03	46.63	16.70
	240℃	16.63	65.81	17.56
	260℃	6.49	75.87	17.64
45min	200℃	36.50	46.80	16.70
	220℃	9.59	72.36	18.05
	240℃	5.62	75.71	18.67
	260℃	5.15	76.13	18.72

Table 5. Cow manure and sawdust(9:1) mixture product MCA analysis

Classification		Moisture(%)	Combustion(%)	Ash(%)
Condotion	Temp			
RT	Temp			
Raw product		65.79	21.71	12.50
15min	200℃	42.28	45.19	12.53
	220℃	24.59	62.48	12.93
	240℃	22.65	64.34	13.01
	260℃	15.65	71.05	13.30
30min	200℃	24.53	62.86	12.61
	220℃	12.69	74.28	13.03
	240℃	11.20	75.35	13.45
	260℃	3.88	82.14	13.98
45min	200℃	22.07	65.07	12.86
	220℃	8.81	77.81	13.38
	240℃	4.16	82.55	13.79
	260℃	2.73	83.22	14.05

Table 6. Cow manure and sawdust(8:2) mixture product MCA analysis

Classification		Moisture(%)	Combustion(%)	Ash(%)
Condotion	Temp			
RT	Temp			
Raw product		59.84	31.06	9.10
15min	200℃	24.80	65.71	9.49
	220℃	17.28	72.52	10.15
	240℃	13.88	75.15	10.97
	260℃	9.30	78.96	11.74
30min	200℃	18.55	71.44	10.01
	220℃	9.86	79.43	10.71
	240℃	8.14	80.44	11.42
	260℃	6.07	81.44	12.49
45min	200℃	16.40	71.96	11.64
	220℃	6.63	81.43	11.94
	240℃	3.36	83.82	12.02
	260℃	0.74	86.24	13.02

Table 7. Cow manure and fallen leaves(9:1) mixture product MCA analysis

Condotion		Classification		Moisture(%)	Combustion(%)	Ash(%)
		RT	Temp			
Raw product				67.05	19.96	12.99
15min		200℃		31.14	51.54	17.32
		220℃		18.11	63.26	18.63
		240℃		9.93	71.23	18.84
		260℃		7.01	72.67	20.32
30mim		200℃		26.43	54.63	18.94
		220℃		15.40	65.59	19.01
		240℃		6.93	72.89	20.18
		260℃		4.13	73.89	21.98
45min		200℃		13.41	66.55	20.04
		220℃		6.87	72.43	20.70
		240℃		5.24	73.94	20.82
		260℃		2.94	74.14	22.92

Table 8. Cow manure and fallen leaves(8:2) mixture product MCA analysis

Condotion		Classification		Moisture(%)	Combustion(%)	Ash(%)
		RT	Temp			
Raw product				62.58	25.31	12.11
15min		200℃		28.38	58.28	13.34
		220℃		11.06	72.96	15.98
		240℃		6.56	77.34	16.10
		260℃		5.24	77.79	16.97
30mim		200℃		18.00	65.37	16.63
		220℃		7.33	75.95	16.72
		240℃		4.46	77.50	18.05
		260℃		3.44	77.98	18.58
45min		200℃		9.69	72.72	17.59
		220℃		4.04	77.24	18.72
		240℃		1.27	77.77	20.96
		260℃		0.31	78.09	21.60

3.2. 발열량 및 원소분석(High Heating Value and ultimate analysis)

생성물을 이용하여 고위발열량 분석을 진행하였다. 발열량 분석 시 발열량은 고형연료제품 품질 시험·분석 방법(환경부 고시 제2007-201호) 중 4등급에 해당하는 3,500 kcal/kg을 기준으로 생성물을 평가하였다. 실험 결과 반응온도와 시간이 증가할수록 함수율이 낮아짐에 따라 발열량 값은 증가하는 경향을 보였으며, 반응온도 상승 시 반응시간이 발열량에 미치는 영향은 적어지는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 가축분뇨를 사용

하여 반탄화 반응을 통해 고형연료화 진행 시 반응온도가 생성물 발열량 값에 미치는 영향이 더 큰 것을 알 수 있었다. 발열량 분석 시 함수율 10% 미만의 생성물은 모두 고형연료 기준인 3,500 kcal/kg에 부합하는 결과를 나타냈다. 낙엽을 첨가제로 사용한 생성물의 경우 톱밥을 첨가제로 사용한 생성물에 비해 발열량 값이 낮은 결과를 보였는데, 이는 삼성분 분석 결과 고찰과 같이 낙엽 함수율과 이물질 등으로 인한 결과라 사료된다.

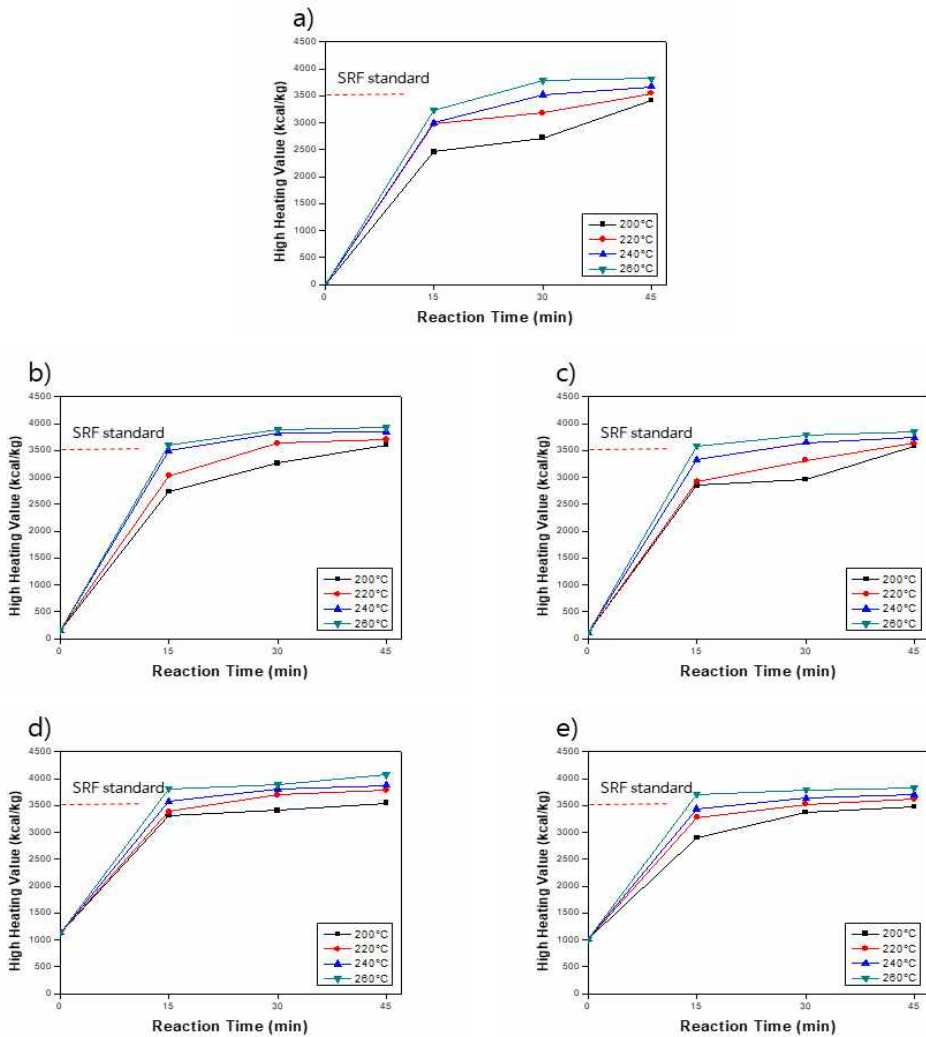


Fig 3. High heating value(HHV) analysis of torrefied products a) cow manure, b) cow manure and sawdust mixture(9:1), c) cow manure and fallen leaves mixture(9:1), d) cow manure and sawdust mixture(8:2), e) cow manure and fallen leaves mixture(8:2).

Table 9-13의 원소분석 결과를 토대로 생성물의 O/C와 H/C의 원자수 비율의 관계를 Van krevelen diagram 으로 분석 시 반탄화 반응을 통해 생성물의 석탄밴드가 개선되어 원료 대비 저급석탄(O/C: 0.2-0.38, H/C: 0.8-1.3)의 범위 까지 개선되는 현상을 보였다. 반응온도가 낮을 시 석탄밴드 개선율은 반응시간에 영향을 받는 것을 알 수 있었지만 반응온도가 상승 할수록 반응시간에 따른 석탄밴드 개선율은 미비하였다. 또

한 첨가제 사용 시 더 효율적인 석탄밴드 개선율을 보였다. O/C, H/C의 비율이 석탄밴드 분석 이 연료의 등급을 판단하는 기준으로 사용될 때 C/O, C/H의 비율은 연료의 생물학적 안정성 및 연소 시 오염물질(soot 등)과 관계되는 요소로 작용한다[16]. C/O 비의 경우 바이오매스 연료가 자연적으로 분해되어 일산화탄소 등의 가스로 변화될 수 있는 가능성을 나타내며, C/H의 비율은 연소 시 열분해에 의해 발생하는 휘발성 가스량

을 나타내어 석탄과 혼소 시 불꽃(Fire ball)의 안정성과 관계된다[18]. 우분을 사용하여 반탄화 반응을 통해 생성물 제작 시 C/O 비는 초기시료 0.27에서 최대 1.10까지 개선되는 현상을 보였으며 C/H 비율의 경우 0.95에서 7.25 까지 개선되는 현상을 보였다. 따라서 반탄화 반응을 통해 생성물 제작 시 생성물의학적 안정성과 연소 시 안정성을 개선할 수 있다 판단하였다.

3.3. FT-IR 분석(FT-IR analysis)

반탄화 반응은 건조와 탄화 중간의 입장을 취하고 있다. 바이오매스를 건조 처리 시 수분의 재흡수의 단점을 갖으며 이로 인해 건조 생성물의 생물학적 변성이나 오염에 취약하다. 탄화는 높은 반응온도로 인해 투입되는 에너지의 양이 많으며, 원료의 에너지 손실이 큰 단점을 갖는다. 반탄화는 탄화에 비해 높은 반응온도로 물리적 변화 뿐

Table 9. HHV and ultimate analysis of torrefied products from cow manure

Classification		C (wt%)	H (wt%)	O (wt%)	N (wt%)	S (wt%)	HHV (kal/kg)
Condotion	Temp						
Raw product		8.01	8.39	29.44	3.25	0.18	-
15min	200°C	27.28	6.81	43.54	2.39	0.50	2,460.10
	220°C	28.05	6.95	41.93	2.56	0.34	2,971.49
	240°C	34.17	5.98	39.90	2.82	0.32	2,992.55
	260°C	30.79	6.41	37.54	2.42	0.26	3,234.05
30min	200°C	31.82	6.54	37.02	2.70	0.27	2,722.95
	220°C	37.64	5.60	38.40	2.98	0.32	3,183.46
	240°C	31.10	6.27	36.73	2.48	0.51	3,516.95
45min	260°C	36.13	5.97	39.95	2.88	0.37	3,787.61
	200°C	40.05	5.64	37.69	2.98	0.34	3,414.11
	220°C	35.17	5.77	39.08	2.84	0.29	3,549.00
	240°C	40.57	5.59	37.46	3.06	0.31	3,671.36
	260°C	40.30	5.64	36.60	2.96	0.31	3,819.98

Table 10. HHV and ultimate analysis of torrefied products from cow manure and sawdust mixture(9:1)

Classification		C (wt%)	H (wt%)	O (wt%)	N (wt%)	S (wt%)	HHV (kal/kg)
Condotion	Temp						
Raw product		12.23	1.77	57.98	1.62	0.05	156.39
15min	200°C	30.59	4.84	40.31	2.38	0.40	2,736.33
	220°C	36.60	5.46	40.43	2.48	0.27	3,029.75
	240°C	36.91	5.55	42.17	2.38	0.20	3,488.82
	260°C	39.35	5.81	42.56	2.65	0.21	6,301.81
30min	200°C	39.83	6.00	42.90	2.47	0.16	3,261.27
	220°C	41.83	6.16	42.15	2.49	0.17	3,633.83
	240°C	40.07	5.95	44.70	2.75	0.35	3,817.54
45min	260°C	42.35	6.16	44.61	2.60	0.19	3,887.78
	200°C	42.12	6.22	42.80	2.78	0.19	3,607.32
	220°C	42.48	6.31	45.93	2.24	0.11	3,701.14
	240°C	42.85	6.10	42.61	2.40	0.12	3,850.62
	260°C	45.20	6.15	41.41	2.40	0.18	3,925.53

Table 11. HHV and ultimate analysis of torrefied products from cow manure and fallen leaves mixture(9:1)

Classification		C (wt%)	H (wt%)	O (wt%)	N (wt%)	S (wt%)	HHV (kal/kg)
Condotion RT	Temp						
Raw product		36.02	5.78	40.61	2.46	0.21	121.51
15min	200°C	34.39	5.84	36.84	2.63	0.50	2,851.09
	220°C	29.78	5.99	34.68	2.34	0.29	2,918.52
	240°C	40.99	5.89	37.78	2.56	0.26	3,330.74
	260°C	38.49	6.25	40.54	2.56	0.26	3,589.26
30min	200°C	36.53	5.95	35.85	2.41	0.21	2,959.13
	220°C	42.72	5.83	35.70	2.80	0.25	3,321.52
	240°C	39.91	5.62	36.72	2.94	0.46	3,653.38
	260°C	41.89	5.95	37.95	2.80	0.31	3,792.58
45min	200°C	41.28	5.71	38.40	2.79	0.30	3,587.48
	220°C	39.78	5.69	38.40	2.70	0.26	3,636.34
	240°C	44.17	5.83	41.18	2.58	0.21	3,737.05
	260°C	44.86	5.62	17.33	2.62	0.22	3,848.78

Table 12. HHV and ultimate analysis of torrefied products from cow manure and sawdust mixture(8:2)

Classification		C (wt%)	H (wt%)	O (wt%)	N (wt%)	S (wt%)	HHV (kal/kg)
Condotion RT	Temp						
Raw product		15.79	8.58	51.36	1.67	0.32	1,132.28
15min	200°C	37.19	6.59	39.09	2.46	0.28	3,308.55
	220°C	42.06	6.26	42.22	2.52	0.17	3,389.62
	240°C	38.81	5.97	28.69	2.49	0.12	3,572.19
	260°C	39.06	6.31	42.74	2.53	0.14	3,814.85
30min	200°C	44.45	6.37	44.26	2.50	0.18	3,408.20
	220°C	43.72	6.17	43.21	2.56	0.12	3,699.99
	240°C	38.53	6.03	40.05	2.54	0.37	3,813.03
	260°C	42.73	6.23	42.14	2.67	0.17	3,888.51
45min	200°C	44.34	6.18	42.83	2.36	0.11	3,549.18
	220°C	42.57	6.39	42.79	2.68	0.12	3,787.85
	240°C	44.64	6.22	42.45	2.27	0.09	3,775.23
	260°C	46.07	6.32	42.10	2.47	0.07	4,071.46

아니라 화학적 변화를 일으켜 수분재흡수를 방지하고 탄화에 비해 원료의 에너지 손실이 적은 장점을 갖는다. 따라서 FT-IR 분석을 통해 본 실험을 통해 생성된 생성물의 O-H 결합(3,400-3,200 cm^{-1}) 파장과 C-O 결합(1,200-1,000 cm^{-1}) 파장을 분석하여 화학적 구조 변화를 알아보려고 하였고 수산기의 감소를 분석하여 운반이나 저장 시 개선점을 분석하고

자 하였다.

Fig. 4에서 보여지듯이 초기 시료(a)는 높은 함수율로 인해 O-H 결합과 C-O 결합에서 높은 파장을 나타내는 것을 알 수 있다. 반탄화 반응 온도 260°C, 반응시간 45분의 생성물(b)의 경우 초기시료 대비 O-H 결합과 C-O 결합이 개선됨을 알 수 있었으며 이를 통해 반탄화 반응으로 생성물 제작 시 단순히 수분제거 반응 뿐 아니라

Table 13. HHV and ultimate analysis of torrefied products from cow manure and fallen leaves mixture(8:2)

Condotion		Classification					HHV (kal/kg)
		C (wt%)	H (wt%)	O (wt%)	N (wt%)	S (wt%)	
RT	Temp						
Raw product		16.51	8.81	56.57	1.19	0.09	1,017.43
15min	200°C	25.85	7.51	35.14	2.06	0.42	2,900.48
	220°C	38.78	6.50	38.56	2.46	0.28	3,275.27
	240°C	41.41	5.87	40.26	2.30	0.22	3,436.49
	260°C	42.76	6.20	38.12	2.53	0.23	3,710.32
30min	200°C	42.86	6.11	39.16	2.53	0.21	3,373.23
	220°C	42.29	6.01	38.22	2.51	0.22	3,527.87
	240°C	36.94	5.24	24.66	2.41	0.36	3,633.48
	260°C	42.41	5.96	33.97	2.42	0.23	3,793.49
45min	200°C	42.13	6.05	38.32	2.40	0.20	3,480.49
	220°C	41.76	6.09	40.99	2.36	0.19	3,622.90
	240°C	40.01	6.07	38.33	2.12	0.15	3,705.25
	260°C	43.09	5.89	37.44	2.21	0.18	3,825.50

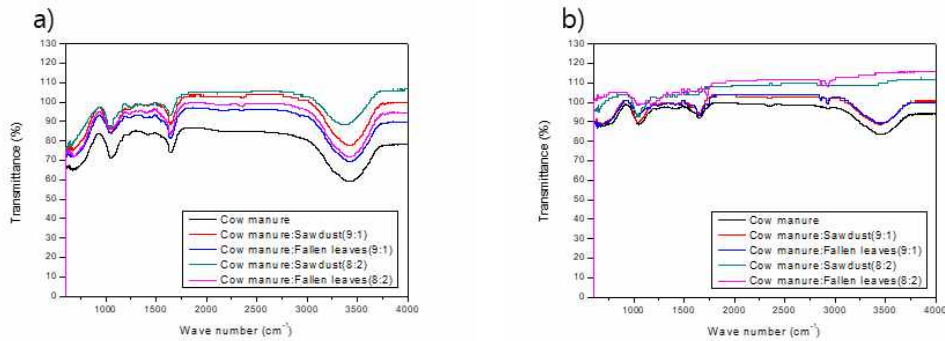


Fig 4. FT-IR analysis of products a) Raw products, b) Torrefied products of torrefaction reaction in 260°C, 45min.

화학적 반응이 동시에 이뤄지는 것을 알 수 있었으며, 건조방법에 비해 수분 재흡수의 문제점을 갖지 않는 생성물을 제작할 수 있을 것이라 판단하였다.

4. 결론

본 연구는 가축분뇨를 사용하여 반탄화 반응을 통해 고형연료로써 사용 가능성을 알아보고자 하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 반탄화 반응을 통해 생성물 제작 시 반응 시간이 생성물 개선에 큰 영향을 미치지만 고온으로 반응온도가 상승 시 반응 시간이 생성물에 미치는 영향은 적어진다.
2. 가축분뇨를 사용하여 반탄화 반응을 통해 생성물 제작 시 첨가물을 통해 고형연료로써 개선이 가능하지만 첨가물에 의한 생성물 회분의 함량이 증가하는 현상을 야기한다.
3. 반탄화 생성물의 경우 석탄밴드의 개선과 생물학적 안정성과 연소 시 개선점을 보였

으며 적정반응을 통해 우리나라 고행연료제 품기준(3,500 kcal/kg)에 만족하는 생성물을 얻을 수 있다.

4. 생성물의 분석결과 단순 수분제거 뿐 아니라 화학적 구조 변화가 동반되기 때문에 반탄화 반응 이용 시 생성물의 수분 재흡수를 낮출 수 있을 것이라 사료된다.

상기 결과를 통해 반탄화 반응을 이용하여 가축분뇨를 고행연료로 제작 시 첨가물을 통해 생성물의 개선을 이룰 수 있으며, 수분재흡수 및 생물학적 안정성이 높아지는 것을 알 수 있었다. 반탄화 생성물을 고행연료로 사용 시 ICP-MS 등을 사용하여 중금속 및 화학물질의 추가적인 분석과 생성물 제작 시 발생하는 가스, 침출수 등의 추가적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

1. Hyoeon Jin, Yeongman Yun, et al., "Study on the quality and grade standards of livestock manure solid fuel products", *Korea ministry of environment*, (2013).
2. Korea ministry of agriculture, food and rural affairs, "Agriculture, forestry and livestock food statistics", *Korea ministry of agriculture, food and rural affairs*, (2015).
3. Sunghyoun Lee, et al., "Characteristics of solid fuel from cattle manure", *New & renewable energy*, Vol.5, No.4 pp. 64-69, (2016).
4. Seongjung Kim, Jehak Lee, "A study on the possibility that livestock waste to RDF", *Korea organic resources recycling association*, Vol.21, No.2 pp. 53-57, (2013).
5. Yongho Lee, "A study on the possibility of solid fuel by torrefaction methods using sewage sludge", Master's thesis, Seoul national university of science & technology, (2017).
6. G.H. Lee, "Thermal and Physicochemical Characteristics of Solid Fuel Extruded with Cattle Feedlot Manure", *Journal of biosystems engineering*, Vol.35, No.1 pp.64-68, (2010).
7. Sweeten, John M., et al., "Combustion of cattle feedlot manure for energy production", *Energy in agriculture*, Vol.5, No.1 pp.55-72, (1986).
8. Jaegyeong Kwon, "Meet with wood, plastic", (2017). "The meet with wood, plastic", *National institute of forest science*, (2017).
9. Seung Won Oh, "Manufacturing and physical properties of Composite Board with Sawdust and Orange Peels", *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, Vol.41, No.6 pp. 528-534, (2013).
10. Hyo Yeon Choi, "Development of pretreatment for bio-ethanol production using fallen leaves", *Master's thesis, Seoul national university of science & technology*, (2015).
11. Martin A. Elliott, "Chemistry of Coal Utilization (MA Elliot, Ed.), 2nd Suppl", *Wiley*, (1981).
12. Singer, J. G., "Combustion Fossil Power Systems, Combustion Engineering", Inc., *Windsor*, (1981).
13. Raask, E., "Mineral impurities in coal combustion: behavior, problems, and remedial measures", *Taylor & Francis*, (1985).
14. Attig, R. C., & Duzy, A. F., "Coal ash deposition studies and application to boiler design", *Proceedings of American Power Conference*, Vol.31, pp.290-300, (1969).
15. R. Gupta, T. Wall, L. Baxter, Barnhart, Impact of mineral impurities in solid fuel combustion "The sintering test-An index to ash fouling tendency," *Trans*, pp.1229-1236, (1956).

16. Weon Joon Lee, "Study on Torrefaction Characteristics of Solid Biomass Fuel and Its Combustion Behavior", *Korea organic resources recycling association*, Vol.23, No.4 pp.86-94, (2015).
17. Hyun Ha Moon, "A study on the possibility of solid fuels by mixing ratio of sewage sludge and sawdust using torrefaction", *Master's thesis, Seoul national university of science & technology*, (2017).