

유증건조를 이용한 축산분뇨슬러지의 고형연료화 공정 연구

이준호¹, 박소연¹, 이경호², 하진욱^{3*}

¹순천향대학교 화학공학·환경공학과, ²순천향대학교 디스플레이신소재공학과,
³순천향대학교 에너지환경공학과

A study on the RDF(Refuse Derived Fuel) making process of Livestock manure sludge by oil-drying method

Junho Lee¹, Soyeon Park¹, Kyeongho Lee², Jin-Wook Ha^{3*}

¹Department of Chemical & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

²Department of Display Materials Engineering, Soonchunhyang University

³Department of Energy & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

요약 본 연구에서는 유증건조 공정으로 가축분뇨 슬러지 고형 연료를 제조하기 위한 최적 조건을 선정하는 연구를 수행하였다. 연구결과물(슬러지 고형 연료)의 특성 평가를 위하여 유증 증발량 측정 실험, 슬러지 유증건조 실험, 그리고 건조 슬러지 성형 실험을 수행하였으며, 칼로리미터와 PXRF 장비를 이용하여 고형 연료의 성능을 측정하였다. 또한, 현재 시중에서 일반적으로 사용되고 있는 목재 고형 연료와 본 연구에서 개발한 슬러지 고형 연료 사이의 열량 비교 연구를 수행하였다. 실험결과에 따르면 대량생산 및 환경 친화적 측면을 함께 고려하였을 때, 30g의 슬러지를 130℃의 식물성 기름으로 25분간 처리하는 것이 고형연료 생산에 가장 적합한 조건으로 나타났다. 본 연구에서 제조한 슬러지 고형 연료의 열량은 5211kcal/kg이었으며, 이는 시중에서 널리 사용되고 있는 목재 고형 연료의 열량보다 큰 값이다. 마지막으로, PXRF 측정 결과 황을 제외한 중금속은 검출되지 않았다. 그러므로 추후 산업용 제조기술로의 개발 시 황 성분 제어 공정에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

Abstract In this study, we found the optimal manufacturing conditions of livestock manure sludge RDF with the oil-drying method. We performed oil evaporation, oil drying and pelletizing of the sludge to evaluate the value of the product (sludge RDF), and measured the performance of the product using calorimeter and PXRF equipment. Also, we conducted the calorie comparison test between sludge RDF manufactured in this study and wood RDF generally used in the field. Experimental results showed that 30g of the sludge treated by vegetable oil at 130℃ for 25 minutes were the optimal conditions to make the sludge RDF (considering the aspects of eco-friendly and mass production). The caloric value of the sludge RDF manufactured in this study was 5211kcal/kg which is higher than that of wood RDF used widely in the market. Finally, PXRF results showed sludge RDF contains no heavy metals with the exception of sulfur. Therefore, we recommend more study about the sulfur control process for future development of the industrial manufacturing process.

Keywords : Livestock manure sludge, Oil-drying, Pelletizing, RDF, Waste recycling

1. 서론

1.1.1 제도적 배경

가축분뇨는 인간이 가축을 기르기 시작한 이래 계속
해서 문제가 되어왔으며 1975년 8월 발효된 런던협약에

1.1 연구 배경

본 논문은 중소기업청 산학협력 연구마울 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jinwook Ha(Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1634 email: chejwh@sch.ac.kr

Received October 17, 2016

Revised (1st November 25, 2016, 2nd December 14, 2016)

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

의해 폐기물의 해양투기가 2016년부터 전면 금지되었고^[1] 이에 따라 수중매립이 주 처리 방법이었던 하수 및 폐수슬러지의 친환경적인 처리 방법에 대한 개발이 절실했다. 또한 2015년 파리 협정에서 온실가스의 배출량을 2035년까지 5%줄이기로 합의함에 따라 석유 및 석탄에너지 대신 신재생에너지의 사용 필요성이 대두되었다. 이에 환경부는 하수슬러지 건조연료화 목표를 2010년 7.9%에서 2015년 42.5%로 크게 확대하였다.^[2] 이에 따라 지속 가능한 친환경 축산업 구현을 위해 자연 순환 농업 기반 구축의 필요성이 증가하였다.

1.1.2 기술적 배경

가축의 배설물로 이루어진 축산분뇨슬러지는 하수슬러지에 비해 유기물의 함량이 높기 때문에 높은 열량을 필요로 하는 고형연료로서의 가치가 더욱 높지만 분뇨의 특성 상 수분 함량이 많게는 90%까지도 육박하여 건조에 어려움이 있다. 보고된 가축분뇨에 함유된 수분 및 열량은 Table 1과 같다^[3]. 가축분뇨를 재활용하는 방식에는 연료화 이외에도 비료화 등의 방법이 있으나 그 양이 비료의 소요량보다 많아 제품의 경쟁력 향상과 에너지 전환비를 향상을 위해 고형연료화의 연구가 더욱 필요한 시점이다.

Table 1. Calorie & water content in varrious Livestock manure sludges

	cattle	milk cow	pig	chicken
water content (wt. %)	84.7	88.8	83.5	84.9
Calorie (Kcal/kg)	614	436.9	758	492.5
dried Calorie (Kcal/kg)	4056	3927.2	4591.4	-

1.2 연구 목표

본 연구에서는 가축분뇨슬러지에 대한 유증 건조기술의 적용 시 처리 전, 후의 물리화학적 변화를 분석하고 건조된 슬러지를 활용하여 함수율이 10%이내이고 중금속이 검출되지 않으며 재사용 고형 연료로서 적합한 열량을 가진 고형연료를 생산하는 공정을 확립하고자 하였다.

2. 본론

2.1 실험 이론

2.1.1 슬러지의 구조

슬러지란 하수 및 폐수처리시설의 처리공정에서 나오는 고형의 폐기물을 말한다. 유기물을 풍부하게 함유해 연료로써의 가치가 높은 대신 수분 함량이 많아 연소 건조 공정이 필요하다는 문제점이 있다. 또한 슬러지는 성장과 조성에 따라 불규칙한 형태를 갖고 있어 함수율의 감소에 많은 영향을 미치며 미생물의 호화(糊化)현상으로 인하여 슬러지 내의 수분이 쉽게 제거되기 어렵다는 특성을 갖고 있다. 슬러지를 감싸는 수분의 형태를 Fig. 1에 나타내었다.

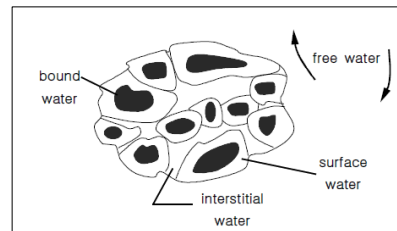


Fig. 1. Types of water in the sludge

가장 외부에 있는 수분을 자유수(free water)라고 하며 일반적인 건조에 의해 쉽게 제거될 수 있다. 간극수(interstitial water)는 슬러지 분자와 분자 사이에 존재하는 수분으로 압착 등의 기본적 물리공정으로 제거가 가능하다. 표면수(surface water)는 불규칙한 슬러지 분자의 외부표면과 맞닿아있는 수분으로 분자와의 전기적 인력으로 인해 제거가 어렵다. 마지막으로 내부수(bound water)는 슬러지 분자와 화학적으로 결합해있는 수분으로써 일반적인 공정으로는 제거가 불가능하고 화학적 처리가 필요하다^[4]. 따라서 건조공정을 통해 슬러지에서 제거 가능한 수분은 자유수와 간극수, 그리고 일부 표면수 정도라고 할 수 있다.

2.1.2 건조법의 종류

슬러지를 건조하는 방법에는 크게 열의 대류를 이용한 직접 건조와 슬러지에 간접적으로 열을 가하는 간접 건조법이 있다. 직접건조법은 슬러지에 직접적으로 열풍을 가하여 수분을 증발시키는 방식이다. 사용 실례가 많으며 사용이 간편하나 타 건조법에 비해 유출되는 열량

이 많아 효율이 떨어진다. 간접건조법은 열매체를 통해 열전도를 이용하여 슬러지를 건조하는 방식이다. 이 방식은 열효율이 높으나 진공 또는 감압을 사용하여 부대 시설비용이 추가적으로 필요하다.

유증건조법은 이 중 간접건조법에 해당하며 비열이 낮고 비중이 물보다 낮은 각종 유류를 사용하여 수분을 급속 증발시키는 방법이다. 이 방법은 식품산업에서 이루어지는 튀김기술과 유사하며, 함수율이 높고 점결성이 강한 편인 슬러지 내의 수분도 제거할 수 있으며 유류 자체의 열량으로 인해 수분과 치환된 유류 분의 열량까지 추가로 얻을 수 있다는 장점이 있다. 반면에 건조과정에서 일정량의 폐유가 지속적으로 소모되며 유분 및 수증기 분리 장치가 필요한 점, 악취제거공정의 필요성 등의 문제점은 앞으로 개선되어야 할 사항이다^[4]. 이 중 유류의 소모량과 추후 연속공정 시 보충해줘야 할 폐유의 소요량을 파악하기 위해 유증발량 실험을 진행하였다.

2.1.3 유류 특성

본 연구에서는 같은 조건 하에서 유류의 종류 별로 유증건조 실험을 수행하였다. 현행법 상 폐기물 중 기름성분을 5% 이상 함유한 것을 폐유(Waste oil)이라 하고 지정폐기물로 분류하는데 폐유는 내부에 불순물이 많아 소각시설이 아닌 곳에서 연소할 수 없으며, 점도가 높아 연소가 어렵고 회분의 함량이 많아 연료유로 사용하는 경우 반드시 정제하여 사용하여야 한다^[5]. 본 연구에서는 이러한 폐유를 활용하여 슬러지의 유증건조를 실시하는 것을 목표로 하였다.

2.1.4 연료의 정의와 조건

연료는 “화학에너지 또는 핵에너지를 효율적이고 지속적으로 빛이나 열의 형태로 변화시킬 수 있는 물질”이며 보통 공기 또는 산소의 존재에서 지속적으로 산화반응을 일으켜 열에너지를 발생하는 분자나 화합물을 지칭한다. 이러한 연료는 단위질량당 발열량이 크고 연소반응에서 공기(산소)와 혼합범위를 폭넓게 조정할 수 있어야 하고 저장, 운반 등의 취급이 용이하며 안정성이 높아야 한다. 가격이 경쟁적이어야 하고 공급이 안정적인지도 중요하다. 공해방지의 측면에서는 황이나 질소화합물과 같은 유해물질이 포함되어있지 않고 연소 시에 환경오염물질의 배출이 적어야 한다^[6]. Table 2에 화력발전소에서 현재 대체연료로 사용되고 있는 wood pellet의

연료화 기준을 정리하였다.

본 연구에서는 이러한 조건을 만족시키기 위하여 발열량이 4500kcal/kg 이상인 펠렛 형태의 건조 슬러지 고형연료를 개발하고자 하였다.

Table 2. Standards of the wood pellet in power plant

Contents	Standard
water content (wt. %)	Max.10
Calorie (Kcal/kg)	Min. 4,040
Cl (Chlorine) (wt. %)	Max. 0.1
S (Sulphur) (wt. %)	Max. 0.1
Hg (wt. %)	Max. 0.0006
Cd (wt. %)	Max. 0.005
Pb (wt. %)	Max. 0.1
As (wt. %)	Max. 0.005
Cr (wt. %)	Max. 0.07

2.2 실험 방법

2.2.1 유증발량 측정 실험

유류가 액체 상태에서 가열하였을 때 시간과 온도의 변화에 따라 증발 및 기화가 되어 유증건조 전과 후의 유류의 무게 차이가 일어날 수 있기 때문에 건조중의 유류 무게의 변화를 측정하여 유증발량을 확인하고자 하였다. 본 실험에서는 식물성 오일과 동물성 오일, 광물성 오일인 경유, 그리고 혼합유로 엔진오일을 선정하였고, 가열 시 각 유류 별 증발량을 파악하기 위해 직접 고안한 유증건조 장치에 유류를 각각 500g씩 따른 후 110, 120, 130℃에서의 분당 증발량을 측정하여 그래프로 정리하였다.

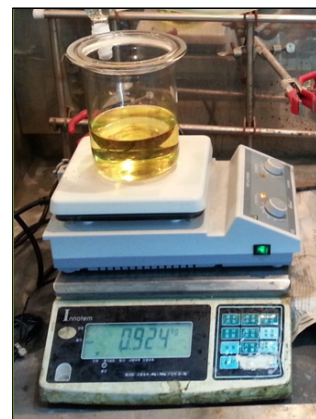


Fig. 2. Experimental equipment of oil drier

2.2.2 슬러지 유중건조 실험

유중건조 효율 실험에서는 온도를 각각 110℃, 120℃, 130℃로 유지하며 Fig. 2의 장비에 유류 500g을 넣고 10g, 20g, 30g으로 정량한 시료를 넣어 유중건조 한 후 슬러지의 분당 함수율을 측정한 그래프를 작성하였다. 건조시간은 주어진 조건 하에서 모든 슬러지 케이크의 내부 함수율(무게 대비)이 10% 이하가 되는 50분까지로 하였다. 시간 t일 때의 함수율의 계산법은 다음과 같다.

$$C_{w,t}(wt. \%) = \frac{M_t - M_f + M_{t,o}}{M_i} \times 100$$

$C_{w,t}$ = Water contents at the time, t

M_i = Initial Mass of the sludge

M_f = Mass of the fried sludge

M_t = Mass of the sludge in the time, t

$M_{t,o}$ = Mass of the evaporated oil in the time, t

2.2.3 건조슬러지 성형화 연구

건조 슬러지의 펠렛 성형 시 연료의 균질성을 높이기 위해 실험 2.2.2의 결과를 활용하여 130℃ 식물성 기름 조건에서 25분 간 유중 건조한 30g의 슬러지를 분쇄한 뒤 펠렛 성형기로 성형하였다.

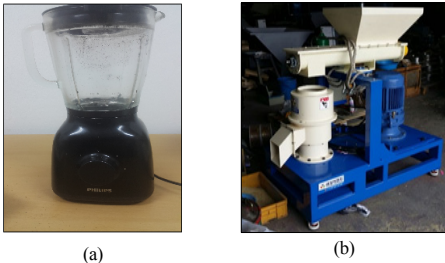


Fig. 3. Photographs of the
(a) Mixer and (b) Lab scale Pelletizer

2.2.4 슬러지 펠렛 특성 고찰 연구

앞의 실험에서 성형된 시료의 성능을 고찰하기 위해 IKA사의 C1 Calorimeter를 사용하여 펠렛의 발열량을 측정하였고, Bruker사의 S1 Titan LE PXRF(Portable X-Ray Fluorescence)를 사용하여 슬러지 내 중금속 및 오염물질을 분석하였다.

C1 Calorimeter의 Bomb 내부 온도는 chiller를 사용

해 19℃로 유지하였으며 연소 가스는 99% O₂를 사용하였다. 시료를 0.1~0.4g 채취하여 정확한 무게를 기기에 입력하고 준비되어 있는 Bomb 내부에 시료가 든 도가니를 올린 뒤 발열필라멘트에 50kcal/kg의 열량을 가진 전열선을 연결하여 점화하였다. 열량은 1차 Bomb과 그 외부 냉각수 온도의 변화를 기기 내부 프로그램으로 계산한 값을 사용하였다.

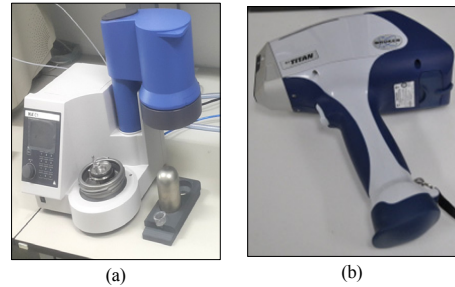


Fig. 4. Photographs of the
(a) C1 calorimeter and (b) S1 Titan LE PXRF

펠렛을 연소시켰을 때 발생할 수 있는 8대중금속과 대기오염의 주범으로 손꼽히는 황 및 질소산화물의 발생을 예방하기 위해 PXRF(Portable X-Ray Fluorescence)를 이용하여 슬러지의 원소측정을 실시하였다. 측정방법은 모든 측정범위를 분석할 수 있는 Geochem general, 측정 시간은 60초였다.

2.2.5 목재와 슬러지 펠렛의 성능비교연구

현재 화력발전소 등지에서 사용되는 목재 펠렛과 슬러지 펠렛의 성능비교연구를 위해 슬러지 펠렛, 목본 펠렛과 함께 목분과 슬러지의 혼합 비율이 다른 sample 6개를 제작하여 열량을 비교하였다.

Table 3. Weight % of the dried sludge and saw dust at different samples

Sample No.	wt(%)	
	Dried sludge	Saw dust
1	100	0
2	80	20
3	60	40
4	40	60
5	20	80
6	0	100

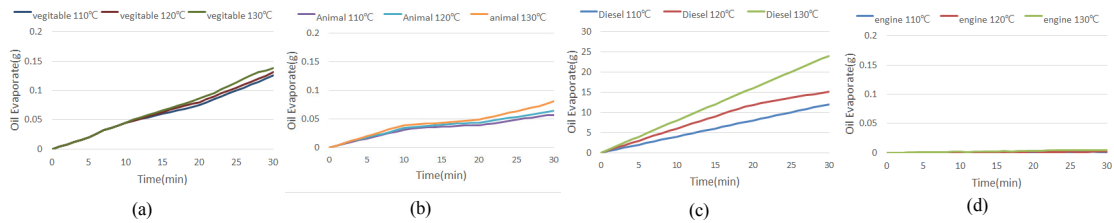


Fig. 5. The amounts of oil evaporated at different oils: (a)vegetable oil, (b)animal oil, (c)diesel oil and (d)engine oil

2.3 결과 및 고찰

2.3.1 유증발량 측정 실험

유류의 가열시간 별 증발량 측정을 실시하였고 Fig. 5에 정리하였다.

증발량은 경유가 30분간 측정하였을 때 12g에서 24g까지 현격한 감소량을 보이는 반면 식물성기름과 동물성기름 및 엔진오일은 30분 동안 0.1g정도의 변화를 보여 상대적으로 증발량이 매우 적었다.

경유는 가열 시 유증의 증발량이 많고 결과의 편차가 비교적 커서 추후 실험에 오차를 유발할 수 있으므로 가

열매체로는 부적합했으며 엔진오일은 가열 시 유증의 증발량이 0.004g으로 매우 적었지만 엔진오일 자체에 불순물이 많고 거품이 끓어오르는 현상과 용기내벽에 들러붙는 현상이 심해 가열매체로 사용하기 어렵다는 결론을 내렸다.

2.3.2 슬러지 유증건조 실험

유증건조에 시간에 따른 동·식물성 기름 별 슬러지 건조효율을 파악하기 위하여 유증건조 효율 실험을 진행하였고 그 결과가 Fig. 6과 같이 나타났다.

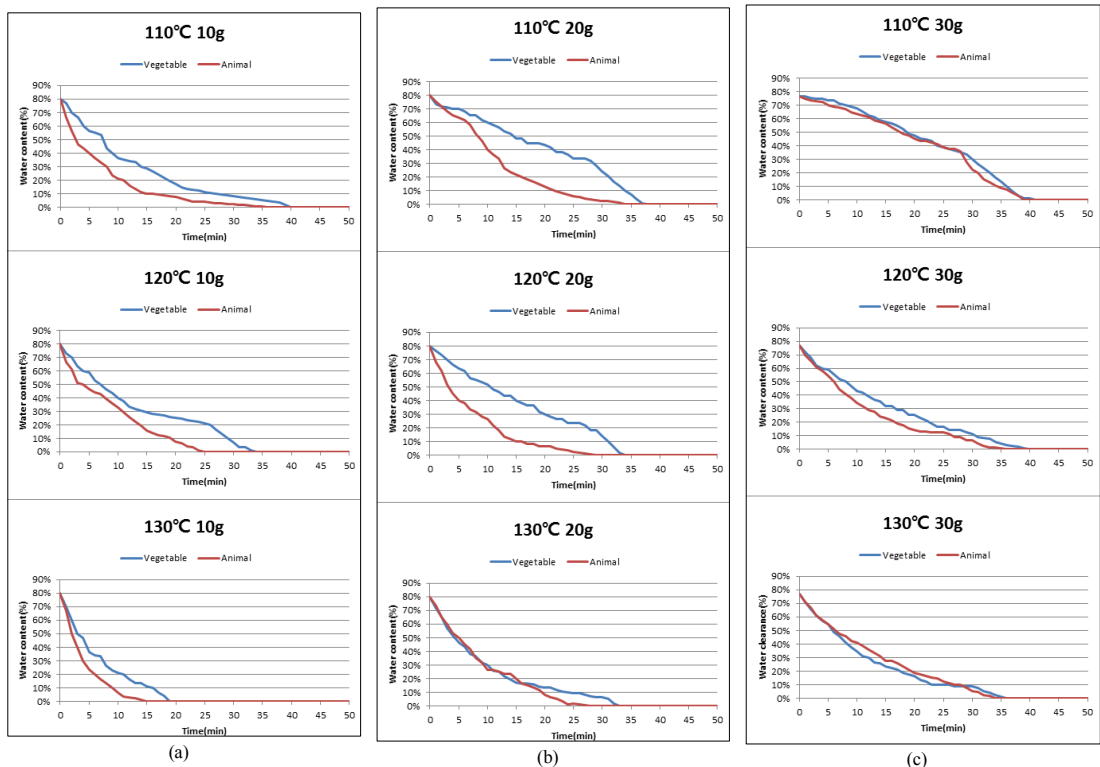


Fig. 6. The variation of water contents of the sludge at different temperatures: (a)10g, (b)20g, (c)30g

실험 결과 대체로 동물성 기름에서의 건조속도가 식물성기름에 비해 약 5%정도 빨랐으나 고온에서 다량 건조할수록 비슷한 수치를 갖는 것으로 나타났다. 또한 10g의 슬러지가 다른 양의 슬러지보다 건조되는 속도가 빨랐으나 온도가 올라갈수록 20g 과 30g 역시 비슷한 건조속도를 나타냈다.

함수율의 경우 슬러지를 완전건조 하는 데에는 거의 50분 가까운 시간이 소요되었으나 고형연료의 조건을 만족하는 함수율 10%는 20분 내외로 건조 완료되었다. 결론적으로 온도가 높을수록 건조 속도는 빨라지며 질량에 의한 건조속도 저하가 낮아지는 경향을 보였다. 120℃의 20g 동물성 기름 15분 조건이 가장 효율적인 것으로 나타났으나 추후 대량생산을 고려하면 동물성 기름보다 식물성 기름이 수집이 용이하며 환경 친화적인 측면과 인체에 대한 안정성 측면에서 130℃의 30g 식물성 기름 25분 조건이 더 적합하다고 판단된다.

2.3.3 건조슬러지 성형화 연구

건조슬러지 성형화 연구를 수행한 결과 유중건조 후의 슬러지는 믹서를 이용하여 연료로 성형하기 적합하도록 균일한 크기의 슬러지 분말로 분쇄하였다. 이를 펠렛 성형기로 성형하였고 그 결과 Fig. 7 (c)와 같이 균질한 고형 연료 펠렛을 얻을 수 있었다.

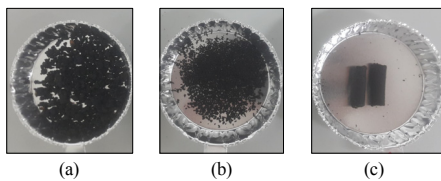


Fig. 7. Images of the the materials:

- (a) oil-dried sludge, (b) grinded sludge and
(c) sludge pellet

2.3.4 슬러지 펠렛 특성 고찰 연구

성형 후 슬러지의 실제 발열량을 측정한 결과 건조 후 슬러지의 발열량은 5211kcal/kg으로 연구 목표로 계획하였던 4500kcal/kg을 충분히 상회하는 결과를 보여주었다. 또한 Table 4에 정리한 PXRF 분석 결과 건조 후 슬러지에서 S성분이 기준치보다 다소 높게 분석되었으므로 건조한 슬러지를 고형연료로 이용할 때 SO_x 발생에 의한 2차 오염에 대비하여 흡수탑 등의 오염방지설비가 필요할 것으로 파악되었다. 또한 기타 중금속(Hg,

Cd, Pb, As, Cr)은 시료에 따라 약간씩 차이를 보였으나 대체로 기준치 이하로 검출되었다.

Table 4. Analysis result of PXRF

Category	Analysis value (wt. %)
Cl (Chlorine)	0.0428
S (Sulphur)	1.4256
Hg	0
Cd	0
Pb	0.028
As	0
Cr	0

2.3.5 목재와 슬러지 펠렛의 성능비교연구

건조 슬러지와 목분을 섞은 sample들을 Fig. 8에 정리하였다.

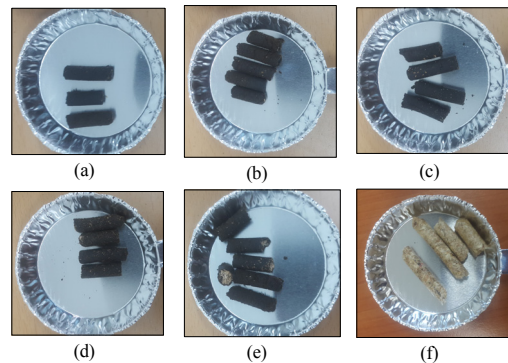


Fig. 8. The images of prepared samples in Table 3:
(a) Sample 1, (b) Sample 2, (c) Sample 3,
(d) Sample 4, (e) Sample 5 and (f) Sample 6

외형상으로는 1, 2번, 3, 4번이 서로 비슷한 특징을 나타내었는데 1, 2번의 경우 목분이 드러나지 않는 검은 색의 슬러지 색을 나타냈다. 3, 4번 sample 은 펠렛 중에 목분이 간혹 섞인 모습이 발견되었으며 1, 2번 sample에 비해 색이 조금 더 갈색을 띄었다. 5번의 경우 3, 4번과 비슷하였으나 성형된 펠렛 단면에서 다량의 목분이 발견되었다. sample들의 열량 변화를 Table 5에 정리하였다.

Table 5. Calory measurement result of the samples

Sample	1	2	3	4	5	6
Calory (kcal/kg)	5211	5090	4861	4672	4543	4220

발열량 측정 결과 건조슬러지인 1번 sample의 발열량이 가장 높았고 목분을 섞을수록 발열량이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 본 연구 공정을 통해 제조한 고품질연료가 연료로서의 사용 가능성이 충분히 높으며 기존의 목재 펠릿을 충분히 대체할 수 있다고 판단하였다.

2.3.6 목재와 슬러지 펠릿의 경제성 비교

본 과제에서 개발한 슬러지 펠릿의 예상가격과 시중 목재 펠릿의 가격을 비교하여 Table 6에 정리하였다.

Table 6. Comparison of prices between wood pellet and sludge RDF

Market of pellet	Price per ton(won)	Type of Supply
wood pellet for individual	295,500(\$250)	imported
wood pellet for industry	212,760(\$180)	imported
wood pellet for power plant	130,020(\$110)	imported
sludge pellet	75,000	domestic

(exchange rate : 1dollar = 1,182won)

슬러지 펠릿의 예상가격은 건조공정 비용을 4~5만원, 펠릿 성형공정의 비용을 3만원으로 추산하여 계산하였다. 이 가격은 수입하여 시장에 공급되는 목재 펠릿 가격의 개인시장 대비 약 25%, 발전소 공급가격의 약 60%에 해당되는 것으로 목재 펠릿 대체 연료로서의 가격 경쟁력이 충분하다고 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 유증건조법을 이용하여 슬러지 고품질 연료를 만들 수 있는 최적의 조건을 파악하고자 유증발량 측정 실험과 슬러지 유증건조 실험, 건조슬러지의 성형화 연구, Calorimeter와 PXRf 분석을 통한 슬러지 펠릿 성능 고찰, 추가적으로 현재 시중에 유통되는 목재 펠릿과의 성능비교시험을 실시하였다. 그 결과 가축분뇨슬러지를 유증건조한 뒤 균일하게 분쇄하여 성형한 고품질연료는 건조 후 5211kcal/kg의 열량을 보여 연료로서의 가능성을 보여주었고 이때 130℃의 식물성 기름 조건에서 30g의 슬러지를 25분 간 유증건조 하는 것이 가장 적합

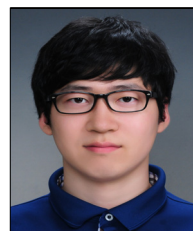
한 것으로 나타났다. 또한 PXRf 측정 결과에서는 기타 중금속은 거의 검출되지 않았으나 황의 비율이 높게 나타났다으므로 추후 연소기술로의 개발 시 환경오염물질의 배출을 막기 위해 추가적인 오염방지설비가 필요할 것으로 예측되었다. 끝으로 열량(Table 5) 및 가격(Table 6)을 비교할 때, 본 연구에서 개발한 슬러지 고품질 연료는 시장에 널리 공급되고 있는 기존의 목재 고품질 연료를 충분히 대체할 수 있다고 판단된다.

References

- [1] Hyo-un Jin, Young-man yoon, Ji-Whan Hong, Byeongsu Byeon, Pylsoo Na, young-mi An, Seung-whan Kim, Seungyong Oh, Jongmi Hong, "Study on quality and grade standards of livestock manure solid fuel products", *Ministry of the Environment*, pp. 1-2, 2013.
- [2] Junhoe Gu, "Livestock manure disposal statistics (as of 2014)", *Ministry of the Environment*, 2014, http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pageOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=%EA%B0%80%EC%B6%95&menuId=10263&orgCd=&seq=6778, Mar. 2016.
- [3] Sang-gi Yoon, "The annual report of livestock research subcommittee", *National Institute of Animal Science*, p. 60, 2003.
- [4] Kwang-su Lim, "A study on the livestock sludge drying characteristics using oil-drying technology", *Hanbat Univ. publishers*, pp. 4-24, 2011.
- [5] Jaeho Lim, "The study on the characteristic of Immersion frying for the thermal drying of sewage sludge and the de-oiling", *Hanbat Univ. publishers*, pp. 14-23, 2013.
- [6] Kwangryul Kim, Ikjun Yeon, *The latest combustion technology*, Donghwa technology publishers, p. 15, 2005.

이 준 호(Junho Lee)

[정회원]



- 2015년 8월 : 순천향대학교 에너지 환경공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 순천향대학교 화학공학, 환경공학과 (공학석사)

<관심분야>

폐자원재활용, 신재생에너지

박 소 연(Soyeon Park)

[정회원]



- 2016년 8월 : 순천향대학교 에너지 환경공학과 (공학사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 화학공학, 환경공학과 석사과정 재학

<관심분야>

폐자원재활용, 신재생에너지

이 경 호(Kyeongho Lee)

[정회원]



- 1988년 5월 : (미) Virginia Polytechnic Institute & State University 재료공학과 (공학석사)
- 1993년 5월 : (미) Virginia Polytechnic Institute & State University 재료공학과 (공학박사)
- 1993년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 디스플레이신소재공학과 교수

<관심분야>

에너지소재, 전자소재, 디스플레이 소재

하 진 욱(Jin-wook Ha)

[정회원]



- 1990년 8월 : (미) 일리노이주립대 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 5월 : (미) 일리노이주립대 화학공학과 (공학박사)
- 2004년 1월 ~ 2004년 8월 : 일본 쑤꾸바과학도시, AIST, 초빙연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 에너지환경공학과 교수

<관심분야>

폐자원에너지화, 화학공학, 환경공학